共同研究報告書
整理番号第 500 号

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書

平成 30 年 9 月

国立研究開発法人　土木研究所
株式会社オリエンタルコンサルタンツ
ＪＦＥシビル株式会社

共同研究報告書
整理番号第 500 号

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書

国立研究開発法人　土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

株式会社オリエンタルコンサルタンツ

Ｊ　Ｆ　Ｅ　シ　ビ　ル　株　式　会　社

上席研究員　七澤　利明*
主任研究員　河野　哲也**
招聘研究員　小野　潔
大森　貴行
原田　健彦
梅林　福太郎
高瀬　弘***
林　克弘****
大竹　省吾
岩上　憲一
尾添　仁志
神田　恭太郎

*現　国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造研究部構造・基礎研究室　室長
**現 国立大学法人富山大学大学院理工学研究部 准教授
***国立研究開発法人　土木研究所　現交流研究員（平成 29 年 4 月～　）
****国立研究開発法人　土木研究所　元交流研究員（平成 26 年 4 月～平成 29 年 3 月）

要旨

昨今の地震被害や集中豪雨による斜面崩壊など、頻発する災害に対する緊急輸送路の建設は予防保全策として、また災害時における復旧道路として我が国の重要な課題の一つである。
本研究で扱う鋼多柱式連続ラーメン橋はフーチングを有しない一柱一基礎で構成される多柱式構造であり、工種の削減や地形改変の縮小などからコスト縮減や工期短縮の面において効果的である。しかしながら、道路橋として設計するとき、従来のフーチングを有する構造形式とは異なることから、道路橋と同等の性能を有することを客観的に検証する手法は明らかになっていない。本研究では本構造が持つ課題の内、「地震時における水平地盤抵抗特性」や「対象とする鋼管杭（電縫鋼管）の耐震性能の評価」を明らかにするために行った実験結果や解析結果を取りまとめたものである。

キーワード：鋼多柱式連続ラーメン構造，一柱一基礎構造，遠心力載荷実験，繰り返し載荷実験，動的載荷実験，電縫鋼管，耐震性能，許容ひずみ

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書

― 共同研究報告書の編構成 ―

第 1 編

「共　　通　　編」

第 2 編

「遠心場における静的載荷実験結果に基づく水平地盤抵抗特性の評価」

第 3 編

「遠心場における動的載荷実験結果に基づく地震時挙動の評価」

第 4 編

「電気抵抗溶接鋼管を用いた橋脚の耐震性能評価」

※各編の目次は各編ごとに記載

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書

第1編：共　通　編

～　目　次　～

1.　研究の背景 ---------- 1-1

2.　対象構造物の課題と研究対象 ---------- 1-3
　2.1　対象構造物の課題 ---------- 1-3
　2.2　研究の対象と報告書の区分 ---------- 1-5
　2.3　研究対象モデル ---------- 1-7

3.　用語の定義 ---------- 1-9

参考文献 ---------- 1-9

付　録

A1.類似構造物の実績整理 ---------- 1-11

1. 研究の背景

地震被害や集中豪雨による斜面崩壊など頻発する災害に対して、緊急輸送道路等の機能を早期に回復する道路建設技術の開発は、我が国の重要な課題の一つである。

一方、山岳地で施工条件の制約が大きい場合などにおいて、写真 1.1 や図 1.1 に示すような鋼多柱式連続ラーメン橋[1.1)]が採用される事例があり、一般的に建設されるフーチング（または頂版）を有し柱と基礎が個別の部材で構成された橋梁とは構造形式が異なる。このようなフーチングを有しない杭基礎は、コスト縮減や工期短縮の面において効果的であり，その設計手法について様々な研究[1.2)]がされている。しかし、本構造のように比較的柔構造で変位の大きい道路橋については、例えば次頁のような課題があり、標準的な構造形式である道路橋と同等の性能を有することを客観的に検証できる手法は明らかにされていない。

（a）　　（b）

写真 1.1　鋼多柱式連続ラーメン橋の例

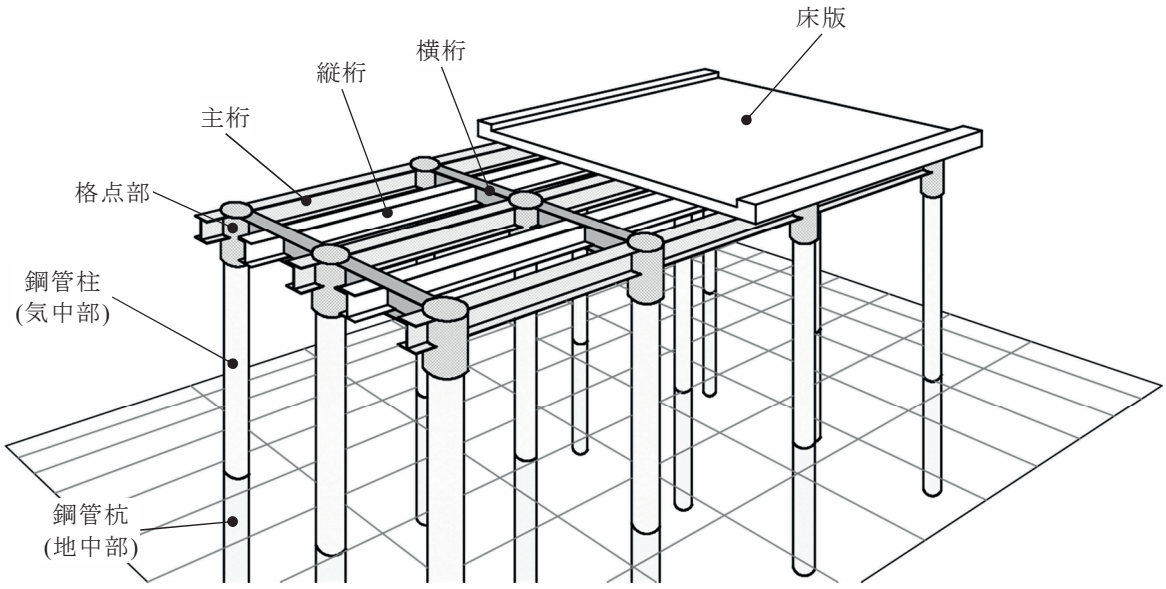


図 1.1　本研究で対象とする鋼多柱式連続ラーメン構造

＜課題＞

- フーチングを有しないため、柱と基礎の区分が明確でないことなど抵抗メカニズムが不明である。
- 例えば、道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編平成 24 年 3 月（以下、H24 道示 IV）[1.3)]で示される杭基礎の地盤抵抗モデルは、突出の無い（あるいは小さい）フーチングを有する構造に対して設定されたものであり、本構造のように突出長が大きく、地際での変形が大きい構造への適用性は不明である。
- 一柱一基礎構造には電縫鋼管が採用されることがあり、電縫鋼管を用いた場合の変形能を評価する方法については十分に明らかにされているとは言い難い。
- 上部構造と活荷重が直接柱に作用する格点部の構造は、疲労や耐久性の面から耐荷性能を十分に評価できる構造はない。
- 本構造を山岳部に適用したとき、岩盤を支持地盤とすることが想定され、その時の支持機構は不明確である。

以上の観点から、山岳地などで施工制約条件がある場面で合理的な構造設計を可能にするため、鋼多柱式ラーメン構造を有する道路橋を対象とした性能検証法の提案が望まれている。

2. 対象構造物の課題と研究対象

2.1　対象構造物の課題

図 2.1 に 1.で挙げた課題を有する部位を赤○で示す。また、課題の概要について表 2.1 に示す。表中の着色部は本共同研究の対象である。

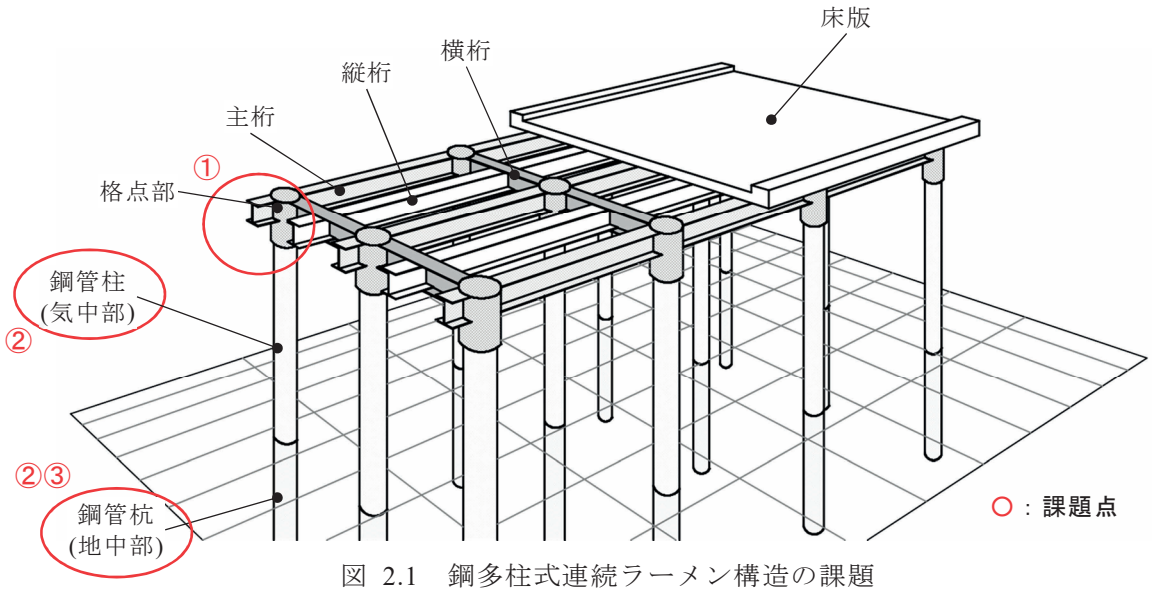


図 2.1　鋼多柱式連続ラーメン構造の課題

表 2.1　課題点の整理

課題の項目(H24 道示対象頁)		対応部位／課題の概要	研究課題
① 剛結部の性能 (結合方法)	力の伝達機構 H24 道示Ⅱ-16.10 隅角部	剛結部(格点部) ／剛結部の構造や性能(耐震・疲労他)が不明確。	結合部の性能照査 (基本性能／施工精度の影響等)
	疲労耐久性 H24 道示Ⅱ-6 疲労設計		
② フーチングを有しない鋼管柱と鋼管杭の耐震性能(水平抵抗)	破壊形態 H24 道示Ⅴ-5.5 地震の影響を支配的に受ける部材の基本	鋼管(柱・杭)／フーチングを有しない杭は、設計地盤面が曖昧である。そのため設計で使用する耐震設計上の地盤面やそれに関係する解析モデル、その評価方法(限界状態、許容値等)について H24 道示Ⅴの適用には検証が必要である。	静的問題**(報告書第 2 編)**と動的問題**(報告書第 3 編)**の両面から解析と実験による検証により抵抗特性を明らかにする。
	設計手法 H24 道示Ⅴ全般		
	細長い鋼管部材の耐震性能 H24 道示Ⅱ-4,15 H24 道示Ⅴ-11	鋼管柱・杭／地盤に拘束された細長い杭の細長比、細長比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ等が H24 道示の適用範囲を満足しない。	H24 道示適用範囲外となる細長い鋼管柱・杭の破壊形態、限界状態を明らかにし、耐震性能の評価方法を明らかにする。**(報告書第 4 編)**
③ 新規基礎形式の抵抗機構	支持力機構等 H24 道示Ⅳ -12.4,12.6 他	ﾀﾞｳﾝｻﾞﾎｰﾙﾊﾝﾏ工法によるﾓﾙﾀﾙ埋込み鋼管杭／H24 道示適用外の工法	鉛直・水平の抵抗機構の確立(支持力、ばね, etc.)
	斜面上における抵抗機構 (H24道示未記載)	構造全体／斜面における杭や本構造の性能は不明確	斜面の抵抗機構 入力地震動の問題等

以下に表 2.1 に示したそれぞれの課題についてその概要を述べる。

(1) 剛結部（格点部）の性能

剛結部（格点部）は鋼多柱式連続ラーメン橋の上部構造と下部構造を連結する部材である。上部構造と鋼管杭を直接溶接する方法や鋼管杭に径の大きな鋼管をモルタルで連結する方法など、一部メーカーによる技術として提案されているが一般化には至っていない。そのため、力の伝達機構とその構造細目、疲労耐久性や耐震性能（特に破壊に至るメカニズム）、施工時の出来高誤差と各種性能への影響など性能が明らかな構造を採用しなければならない。

(2) フーチングを有しない鋼管柱と鋼管杭の耐震性能

H24 道示Ⅳで示されている下部構造は、剛なフーチングにより基礎と躯体が結合することで、フーチングを境界としてその上下の躯体と基礎の設計を分離することができる構造である。

本構造のような一柱一基礎構造はフーチングを有しないためにそのような分離が出来ず、H24 道示で前提とした条件とは異なることから、地盤の抵抗範囲や許容値について検証が必要である。また、柱基部の損傷を前提とした破壊モード（図 2.2）についてもフーチングを有しないことから柱基部の損傷を前提とした設計手法とは異なり、これも検証が必要である。

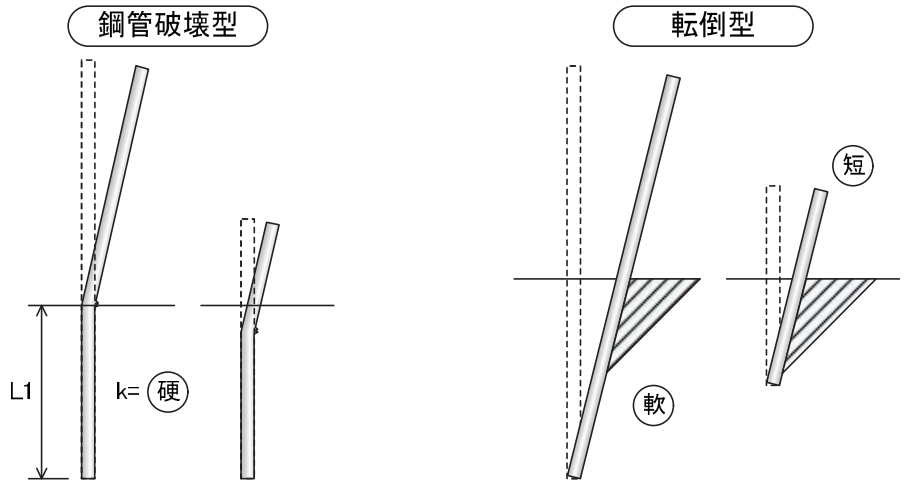


図 2.2 一柱一基礎構造の想定される破壊モード

さらに、下部構造を構成する鋼管杭（電縫鋼管）に着目したとき、塑性領域における変形性能などは道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編平成 24 年 3 月 [1.4)]（以下 H24 道示Ⅴ）に細長比パラメータ $0.2 \leqq \bar{\lambda} \leqq 0.4$ の範囲内において定義されているが、鋼多柱式連続ラーメン橋は類似の実績から $0.2 \leqq \bar{\lambda} \leqq 1.0$ の範囲で適用された事例などもあり、適用範囲の拡大や拡大された領域における変形性能が明らかとなっていない。

(3)　新規基礎形式の抵抗機構／斜面上における抵抗機構

鋼多柱式連続ラーメン橋の採用が有利となるのは、山岳部での橋梁建設など仮橋が必要となるケースであり、その時（山岳地での建設）の架設は岩盤掘削を要することが多い。この場合、基礎構造は岩盤に支持されることとなるが、岩盤の支持力特性は未だ研究段階である。

また、斜面上の基礎の抵抗力に関しては H24 道示Ⅳにはじめて掲載されたが、対象が深礎基礎であり、今回の様な細長い鋼管杭を対象としたとき「横方向の抵抗特性と斜面の傾斜角との関係」やその「影響範囲」などは十分に明らかにされていない。

2.2　研究の対象と報告書の区分

本研究の対象課題は、表 2.1 に示した課題点のうち課題点②「フーチングを有しない一柱一基礎構造の耐震性能評価」とする。

以下に研究フローと報告書の掲載項を示す。

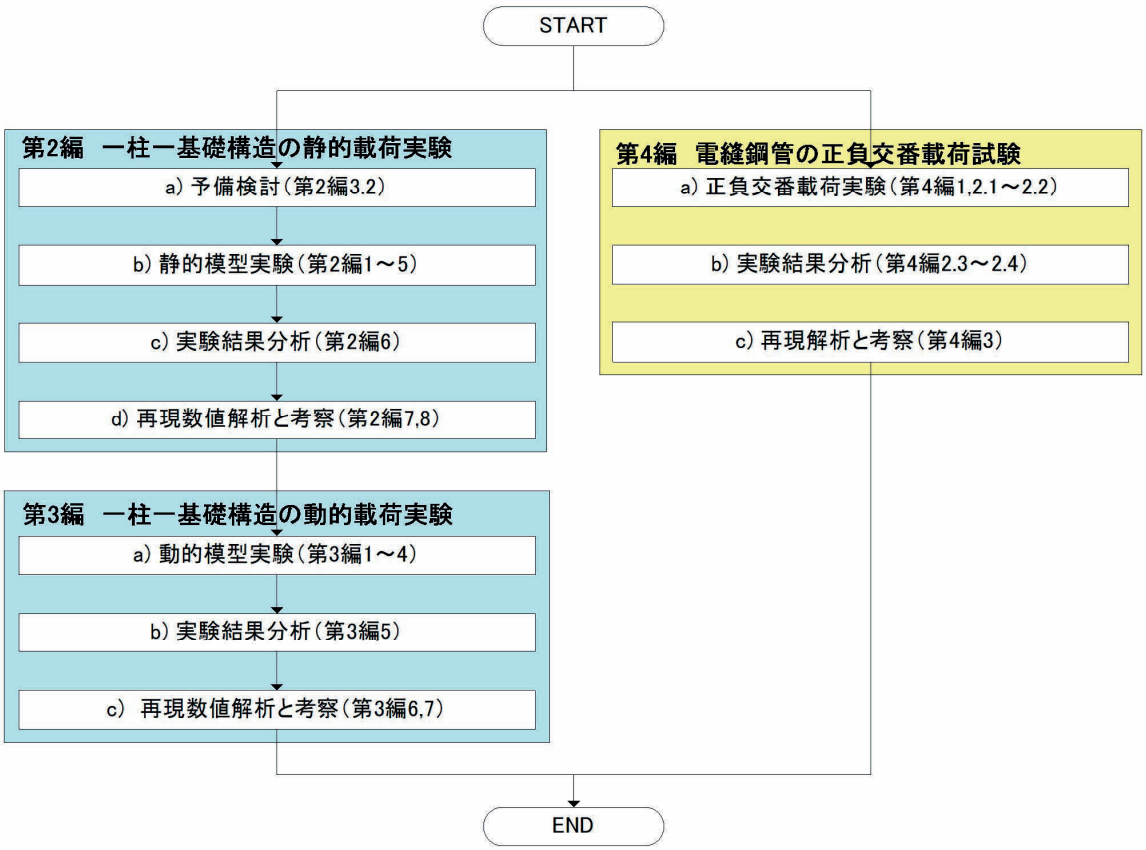


図 2.3　研究フロー

(1)第１編　共通編（本編）

主に研究の背景や位置づけ、対象など研究全般に関わる項目を整理。

(2)第２編　遠心場における静的載荷実験結果に基づく水平地盤抵抗特性の評価

一柱一基礎構造の静的載荷実験を実施したものであり、特に本構造の水平地盤抵抗特性を明らかにする。

(3)第３編　遠心場における動的載荷実験結果に基づく地震時挙動の評価

一柱一基礎構造の動的載荷実験を実施したものであり、鋼多柱式連続ラーメン構造の動的な挙動を明らかにする。

(4)第４編　電気抵抗溶接鋼管の耐震性能評価法

電縫鋼管の正負交番載荷実験を実施したものであり、H24 道示Ⅴ[1.4)]の適用（細長比パラメータ 0.4）を超える範囲も含めた耐震性能を明らかにする。

鋼多柱式連続ラーメン橋の最終目的は斜面上における本構造の適用である。しかし、一本柱の抵抗は、交番では「山側」と「谷側」で異なるが、一方向に着目した場合は、斜面の上層部の影響を除き再現可能であることから、本研究においてはまず水平地盤で基本的な挙動を把握することを目的とする。

また、本研究は平成 26 年 4 月~平成 28 年 3 月に行われたものであることから道路橋示方書は平成 24 年版を参考としている。

2.3　研究対象モデル

本研究では、類似構造物の既往実績[付録 A1]から、平均的な寸法を設定し、標準モデルを作成した。次頁に標準構造図を示す。

類似構造物の実績は以下の項目について調査し、その平均値を標準モデル（標準構造図）として設定する。なお、研究の適用範囲（板厚・気中部の長さ・地盤剛性等）については各編に詳細を示す。

(1)　幅員

橋梁の幅員は 2 車線道路 2×0.6＋2×3.5 の総幅員 8.2m の橋梁実績が最も多いことから総幅員 8.2m を検討対象橋梁の幅員とする。

(2)　支間長

主桁に H588 材を使用した実績が最も多く、その時の平均支間長は約 6m である。

以上から支間長 6.0m を検討対象橋梁の支間長とする。

(3)　橋長

平均は 41m である。桁端部長を両側 1m とし、平均支間 6.0m を考慮すると 7 径間連続橋が平均的な橋長となる。以上から本構造の橋長は以下のように設定する。

支間長 6.0m×7+2m（桁端部長両側）＝44m

(4)　床版支間

ＲＣ床版で計画された実績が多く、床版支間は 1.75m とした実績が多いため、床版支間は 1.75m とする。

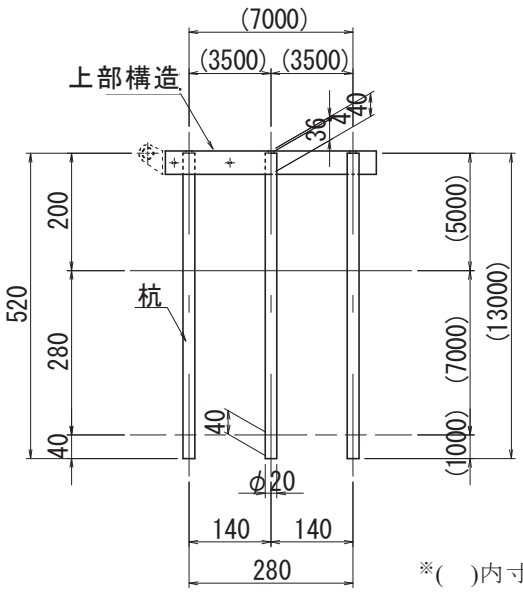
(5)　鋼管径と板厚

鋼管径の実績値はほとんどが電縫鋼管 φ500 である。板厚は 9mm が多く、必要に応じて板厚を厚く（最大 19mm）している。以上から検討モデルの基本値は 9mm（初期値）とする。

(6)　気中部の長さと地中部の長さ

鋼管の気中部の長さは 5m、地中部の長さは 8m 程度が最も多い。以上より左記の長さを標準長とする。

本頁にて設定した気中部の長さや柱間隔、上部構造の重量等は、実験模型の寸法を決める際の目標値としている（図 2.4 参照）。詳細は各編に示す。



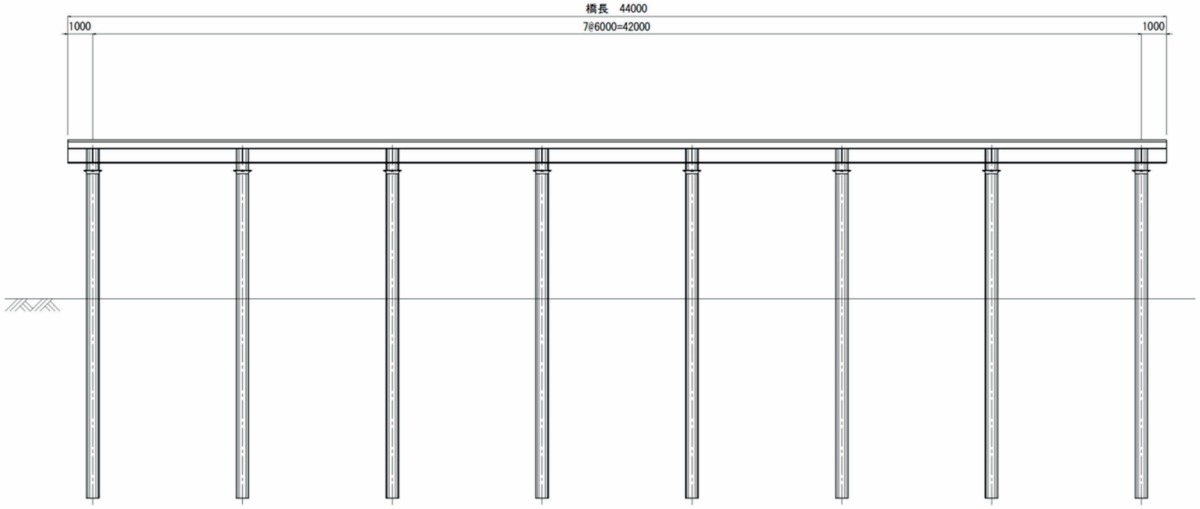
寸法は模型スケール（単位:mm）

※(　)内寸法は実物スケール（単位：mm）

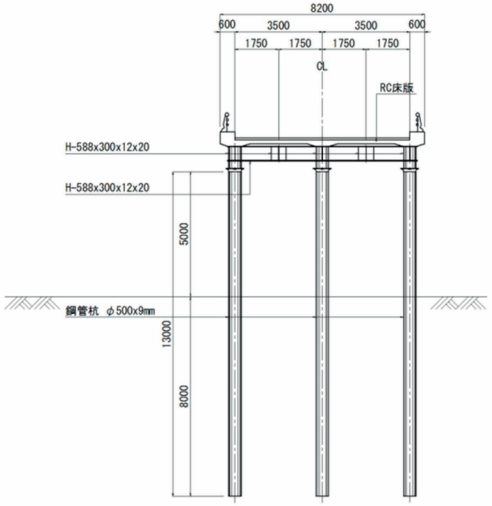
図 2.4　実験模型の寸法と標準モデルの関係

標 準 一 般 図

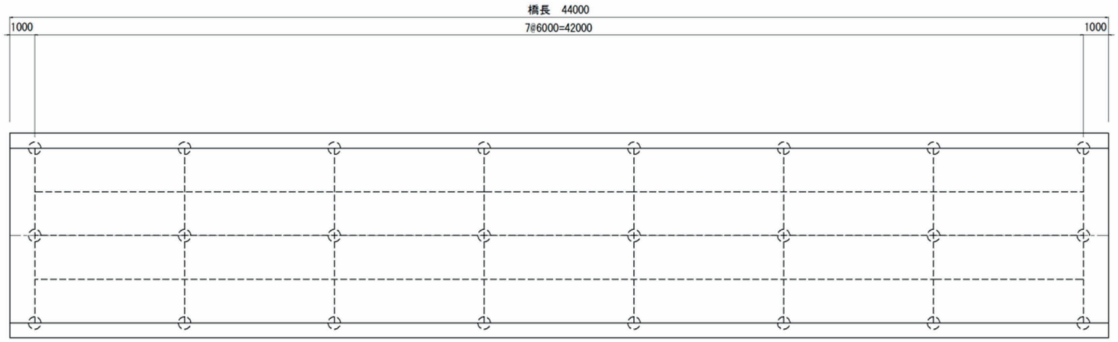
側　面　図 S=1:100



標準断面図 S=1:100



平　面　図 S=1:100



3. 用語の定義

用語	意味
鋼多柱式連続ラーメン構造（橋）	複数の一柱一基礎構造が上部工構造と結合し、主に道路橋や歩道橋を構成する構造（橋）。
一柱一基礎構造	橋脚柱と基礎杭が一連の部材となるフーチングを有しない構造。

参考文献

1.1) 例えば，財団法人道路保全技術センター：道路保全・建設技術審査証明報告書－メタルロード工法－，2010.

1.2) 例えば，建設省土木研究所 構造橋梁部基礎研究室：多柱式基礎の設計法に関する調査，土木研究所資料，第 1404 号，1980.

1.3) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2012.

1.4) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.

付　録

A1. 類似構造物の実績整理

A1. 類似構造物の実績整理

鋼多柱式連続ラーメン橋の検討対象モデルは、過去実績を踏まえた標準的な形状であることが望ましい。
そこで、既実績として類似構造物であるメタルロードの実績をとりまとめ、幅員や橋長をはじめとした構造諸元のデータ整理を行う。整理に当たっての条件を以下に示す。

a) 部材の名称は下図の通り。

b) データ整理の対象とする諸元は鋼多柱式連続ラーメン橋形状設定に必要な下図に示す①～⑦とする。

c) データ整理の対象は、既実績のうち土質データや構造諸元が明確な40橋とする。

図1　部材の名称等

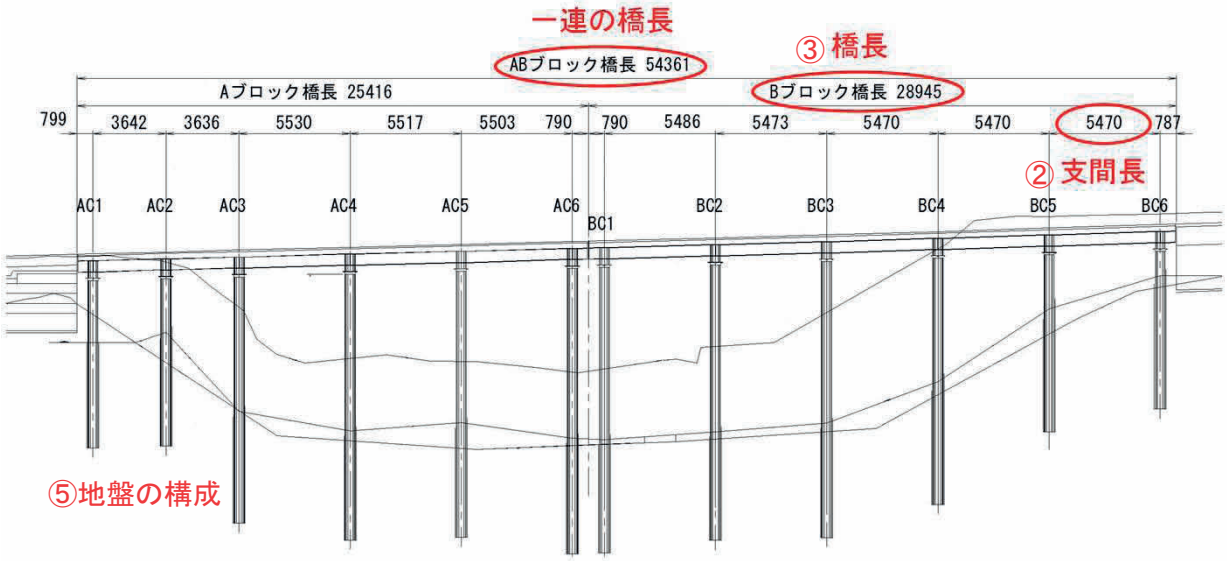
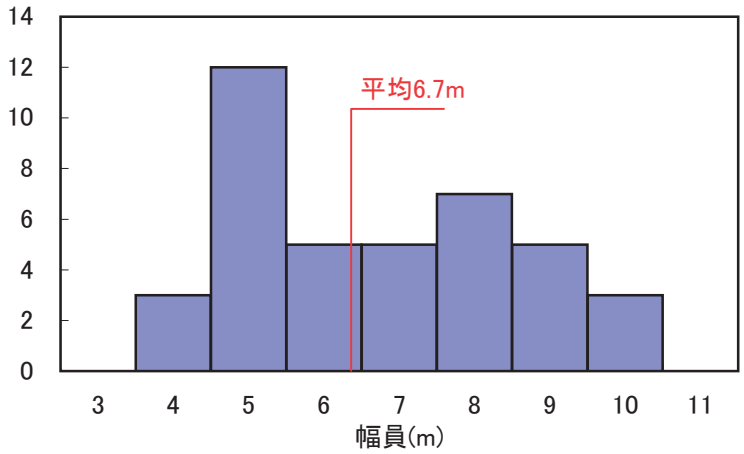


図2　橋長の考え方

①幅員：以下の条件について実績を整理する。



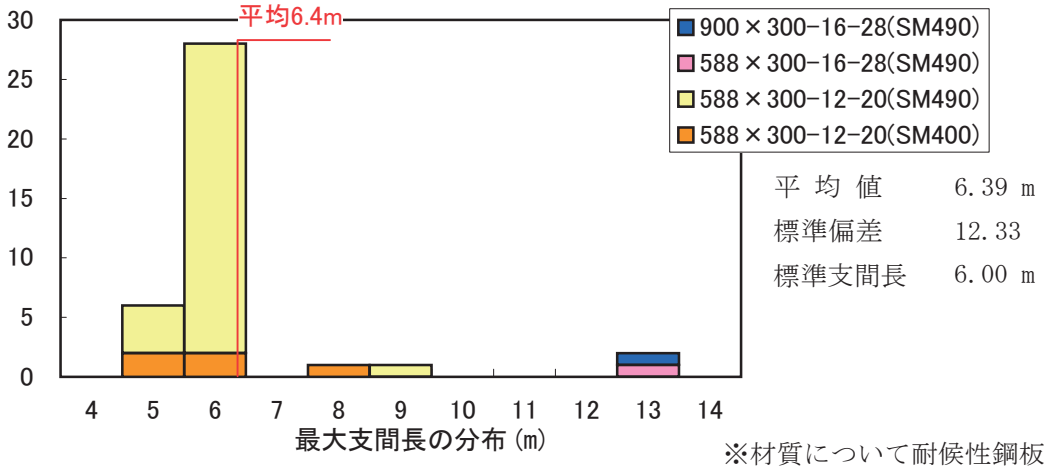
平 均 値　6.71 m
標準偏差　11.16

平均6.71mである。幅員の小さい橋梁は、山間部張出構造に適用した事例や１車線道路を示している。幅員が大きい橋梁は拡幅のある橋梁や歩道付きの橋梁を示している。なお、１橋内で幅員が変化する橋梁は平均値とした。

独立式で構築された橋梁の幅員は２車線道路2×0.6＋2×3.5の総幅員8.2mの橋梁実績が最も多い。

以上から、平均的な幅員かつ独立式で最も実績の多い**総幅員8.2m（第３種第３級相当）**を検討対象橋梁の幅員とする。

②支間長



平 均 値　6.39 m
標準偏差　12.33
標準支間長　6.00 m

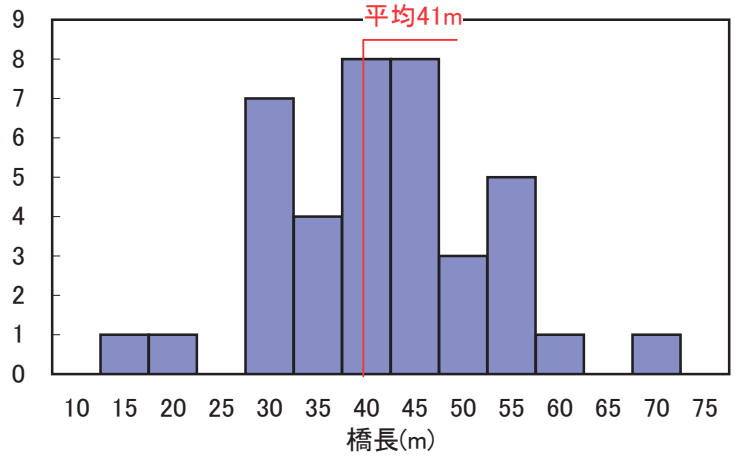
※材質について耐候性鋼板との区分分けはしない

全平均は6.4mである。H588材（H900など特殊部材を除くと）の平均は6.09mで、ほぼ6mとなる。

現地の状況に応じて支間長5.5m～6mの間で調整しており、資機材の搬入、施工性を鑑みると6m程度が経済的な支間長となるケースが多い。

以上から**支間長6.0mを検討対象橋梁の幅員とする。**

③橋長：一連の橋梁の場合は最も長い橋長を選出。



平 均 値　41.49 m
標準偏差　68.02

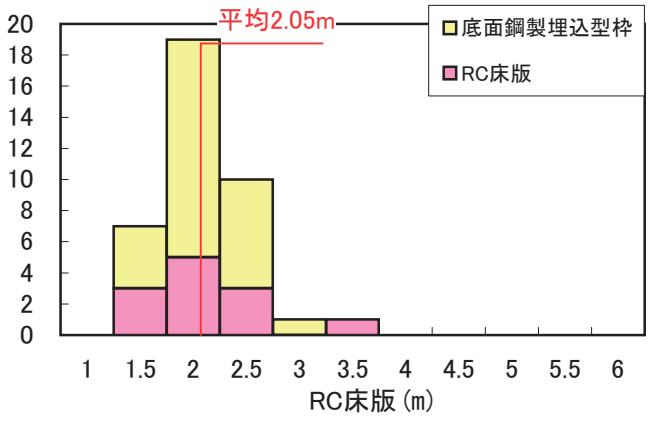
平均は41mである。桁端部長を両側1mとし、平均支間6.0mを考慮すると７径間連続橋が平均的な橋長となる。

橋長は現地条件等から決まるものであるが、40mを超えると温度応力による影響が大きくなることから橋長40m程度で抑えている傾向にある。

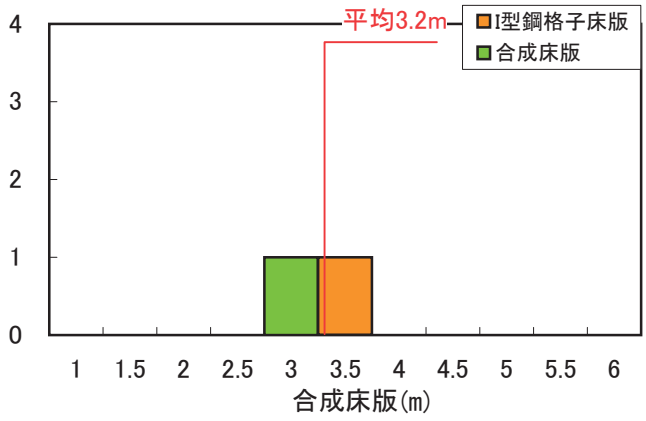
以上から本橋の橋長は以下のように設定する。

支間長6.0m×7+2m（桁端部長両側）＝44m

④床版支間：床版は床版の種類毎に分析



平 均 値　2.05 m　標準偏差　2.54



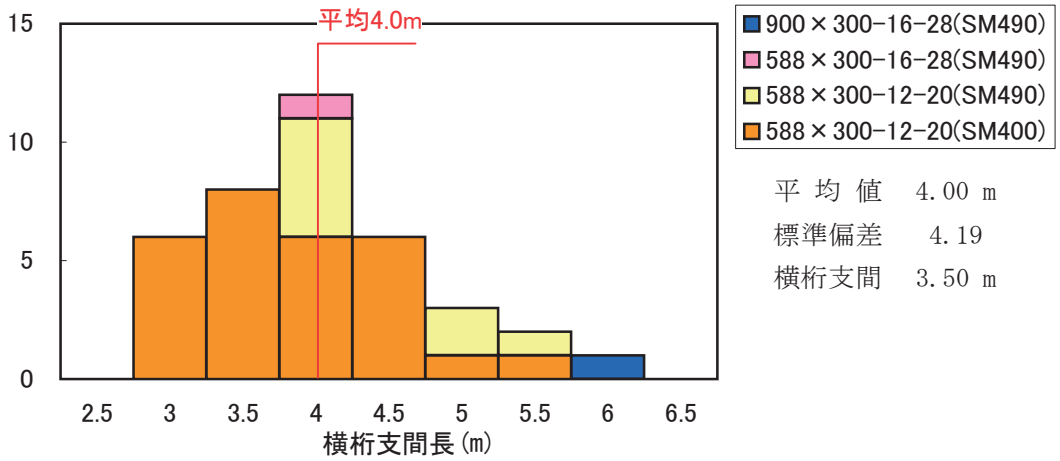
平 均 値　3.20 m　標準偏差　0.42

ＲＣ床版の実績が多く、床版支間の平均は2.05mである。

拡幅橋梁の床版支間が一部長い箇所があるため、床版支間としては大きめの平均値となるが、主桁間3.5mの時は縦桁が１本追加され、床版支間1.75mとした実績が多い。

また、底面鋼製埋め込み型枠を使用したＲＣ床版の実績も多いが、今回の研究では道路橋示方書に準じた**通常のＲＣ床版を対象にする。**

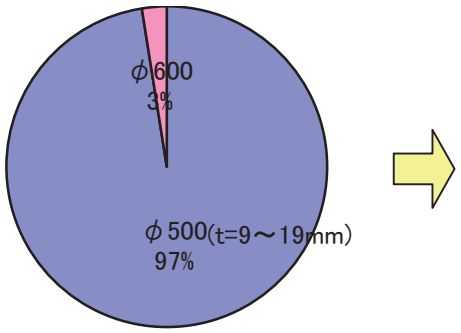
⑤横桁



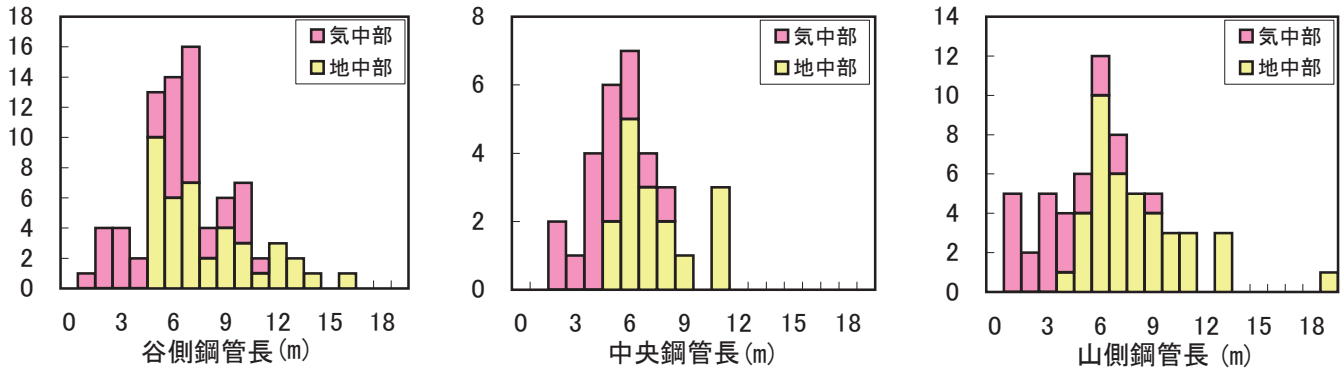
平 均 値　4.00 m
標準偏差　4.19
横桁支間　3.50 m

横桁は支柱により支えられた部材で、横桁支間＝支柱間隔とし、平均は4.0mである。
総幅員8.2mとしたときの**横桁支間は3.5m**となり、ほぼ平均値である。

⑥鋼管



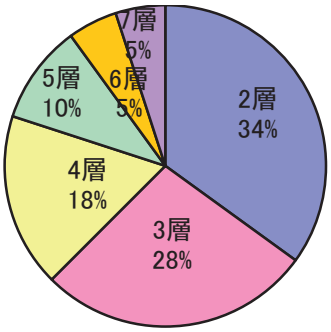
鋼管の実績値はほとんどがφ500である。
板厚は9㎜が多く、必要に応じて最大19㎜で厚くしている。
検討モデルの基本値は最も経済的な9㎜を初期値とする。



	平均値	標準偏差
気中部	5.99 m	16.21
地中部	8.03 m	18.35
気中部	4.46 m	7.54
地中部	7.37 m	8.28
気中部	2.03 m	15.57
地中部	8.07 m	18.18

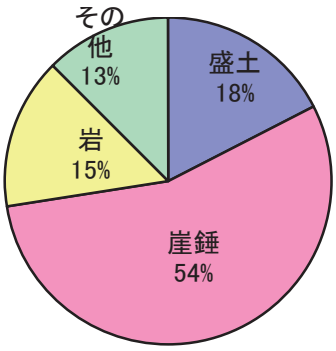
鋼管の長さは谷側、中央、山側それぞれについて集計した。
ステップ３までの研究では地盤の傾斜を考慮しないため、基本値は以下のように設定する。
杭の根入れ長・・・8m（平均値は谷側山側に関係なく8m程度が最も実績が多い）
柱の突出長　・・・5m（谷側6m～山側2mと変化があるが中央部では4～5mが多い）

⑦地層構成

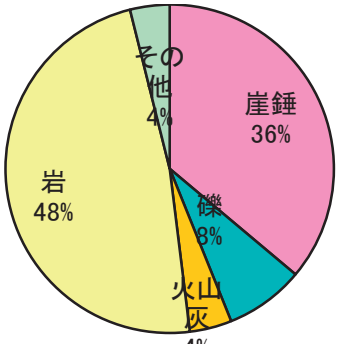


平 均 値　3.38 層
標準偏差　　9.02

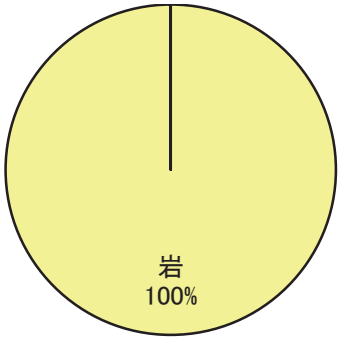
層数（支持層含む）



表層(1層目)の地層種別



2層目の地層種別



支持層の地層種別

支持層までの地層構成は2層構成と3層構成で過去実績の60%以上を超える。
　4層構成まで含めると80%に達することから、地層構成は多くない（複雑ではない）。
　1層目は盛土、または崖錐層で70%以上を占めている。
　2層目は崖錐層と岩層で84%を占めている。
　支持層に関しては100%岩盤である。
以上から、本研究では以下の地層を基本地層構成とする。

	ケース1	ケース2
1層目	崖錐層	崖錐層
2層目	支持層	岩盤 （支持層には成得ない）
3層目		支持層

⑦地層構成

番号	層数	偏差	分散	1層目			2層目				支持層			
				地層名	記号			地層名	記号			地層名	記号	
1	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	Dt	崖錘	砂子瀬層Sn				砂子瀬層Sn	砂子瀬層	Sn	岩
2	7	-3.63	13.14	盛土	Bn	盛土	段丘堆積物Dt(1)	段丘堆積物	Dt(1)	崖錘	火山礫凝灰岩LpTf	火山礫凝灰岩	LpTf	岩
3	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	Dt	崖錘	宇津野層Utb				宇津野層Utb	宇津野層	Utb	岩
4	4	-0.63	0.39	崖錘堆積物	Dt	崖錘	宇津野層(風化部)Uss	宇津野層(風化部)	Uss	岩	宇津野層(風化部)Utf	宇津野層(風化部)	Utf	岩
5	5	-1.63	2.64	盛土(礫質土)	Bn	盛土	礫混じり砂質土～礫質土Dt	礫混じり砂質土～礫質土	Dt	礫	片岩Gg	片岩	Gg	岩
6	3	0.38	0.14	盛土・表土	BS	盛土	段丘礫層Tg	段丘礫層	Tg	崖錘	大荷田礫層Og	大荷田礫層	Og	岩
7	6	-2.63	6.89	盛土	F	盛土	自破砕溶岩1bLv1	自破砕溶岩1	bLv1	岩	溶岩2Lv2	溶岩2	Lv2	岩
8	4	-0.63	0.39	火山灰砂層	Vs	その他	シルト混じり火山灰層Vsc	シルト混じり火山灰層	Vsc	火山灰	第1玄武岩層Ba	第1玄武岩層	Ba	岩
9	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	Dt	崖錘	硅質千枚岩Ftm2				硅質千枚岩Ftm2	硅質千枚岩	Ftm2	岩
10	2	1.38	1.89	崩積土	Dt-g	崖錘	緑色岩GSl				緑色岩GSl	緑色岩	GSl	岩
11	3	0.38	0.14	礫混じり火山灰	Vgs	その他	火山灰質砂礫Vcgl				火山灰質砂礫Vcgl	火山灰質砂礫	Vcgl	岩
12	2	1.38	1.89	Tr	Tr	崖錘	DavDav				DavDav	Dav	Dav	岩
13	2	1.38	1.89	崖錘	Dt	崖錘	花崗岩CH				花崗岩CH	花崗岩	CH	岩
14	7	-3.63	13.14	BK1	BK1	その他	BK2BK2	BK2	BK2	その他	TMSTms-w	TMS	Tms-w	岩
15	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	T1	崖錘	マイクロナイトMy				マイクロナイトMy	マイクロナイト	My	岩
16	2	1.38	1.89	2-dt1	2-dt1	崖錘	OgOg				OgOg	Og	Og	岩
17	3	0.38	0.14	崩積土	E	崖錘	風化花崗岩Dfd	風化花崗岩	Dfd	岩	花崗岩CL	花崗岩	CL	岩
18	4	-0.63	0.39	崖錘堆積物	ta	崖錘	番所溶岩wVd	番所溶岩	wVd	岩	烏帽子溶岩cAn	烏帽子溶岩	cAn	岩
19	3	0.38	0.14	崖錘堆積物	-	崖錘	花崗閃緑岩(風化)-	花崗閃緑岩(風化)	-	岩	花崗閃緑岩-	花崗閃緑岩	-	岩
20	3	0.38	0.14	堆積物	t1	崖錘	堆積物t2	堆積物	t2	崖錘	片麻岩Hgc	片麻岩	Hgc	岩
21	3	0.38	0.14	強風化頁岩	MSsW1	岩	風化頁岩MSsW2	風化頁岩	MSsW2	岩	弱風化頁岩MSsW3	弱風化頁岩	MSsW3	岩
22	3	0.38	0.14	塊状石英安山岩層	W2Dal	岩	塊状石英安山岩層W1Dal	塊状石英安山岩層	W1Dal	岩	塊状石英安山岩層Dal	塊状石英安山岩層	Dal	岩
23	4	-0.63	0.39	崩土	Dt	崖錘	強風化帯Issh1	強風化帯	Issh1	岩	弱風化帯Issh3	弱風化帯	Issh3	岩
24	4	-0.63	0.39	粘性土	-	その他	粘性土質礫質土-	粘性土質礫質土	-	礫	軟岩Ⅱ-	軟岩Ⅱ	-	岩
25	5	-1.63	2.64	第1層	tl	崖錘	第2層rd-sg	第2層	rd-sg	崖錘	第5層GD(CM)	第5層	GD(CM)	岩
26	5	-1.63	2.64	Dt1	Dt1	崖錘	Dt2Dt2	Dt2	Dt2	崖錘	CMCM	CM	CM	岩
27	2	1.38	1.89	頁岩	DL	岩	頁岩DH				頁岩DH	頁岩	DH	岩
28	3	0.38	0.14	頁岩	DL	岩	頁岩DH	頁岩	DH	岩	頁岩CL	頁岩	CL	岩
29	5	-1.63	2.64	盛土	FL	盛土	崖錘堆積物Dt	崖錘堆積物	Dt	崖錘	デイサイト質凝灰岩Da	デイサイト質凝灰岩	Da	岩
30	4	-0.63	0.39	軟岩Ⅰ	D	岩	軟岩ⅡCL	軟岩Ⅱ	CL	岩	硬岩CH	硬岩	CH	岩
31	2	1.38	1.89	崖錘	Dt	崖錘	砂質片岩S.sch(D)				砂質片岩S.sch(D)	砂質片岩	S.sch(D)	岩
32	3	0.38	0.14	土砂	-	その他	強風化岩D級	強風化岩	D級	岩	風化岩CL級	風化岩	CL級	岩
33	3	0.38	0.14	盛土	Rg	盛土	崖錘tl	崖錘	tl	崖錘	基盤岩Ss	基盤岩	Ss	岩

番号	層数	偏差	分散	1層目			2層目				支持層			
				地層名	記号			地層名	記号			地層名	記号	
34	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	Rd	崖錘	凝灰角礫岩Ab				凝灰角礫岩Ab	凝灰角礫岩	Ab	岩
35	4	−0.63	0.39	盛土	B	盛土	崖錘堆積物Dt	崖錘堆積物	Dt	崖錘	頁岩Sh(CM)	頁岩	Sh(CM)	岩
36	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	Dt	崖錘	チャート岩Ccs				チャート岩Ccs	チャート岩	Ccs	岩
37	6	−2.63	6.89	崖錘	Dt	崖錘	段丘堆積物Tg	段丘堆積物	Tg	崖錘	石灰岩Cls	石灰岩	Cls	岩
38	2	1.38	1.89	頁岩CL級	CL	岩	頁岩CM級CM				頁岩CM級CM	頁岩CM級	CM	岩
39	3	0.38	0.14	崖錘堆積物	Dt	崖錘	風化頁岩Wsh	風化頁岩	Wsh	岩	基盤岩ShSs	基盤岩	ShSs	岩
40	2	1.38	1.89	崖錘堆積物	Dt	崖錘	砂岩頁岩交互層Alt(CL)				砂岩頁岩交互層Alt(CL)	砂岩頁岩交互層	Alt(CL)	岩
合計	135.00	0.00	81.38											
平均	3.38													
標準偏差	9.02													

層数

1層	0
2層	14
3層	11
4層	7
5層	4
6層	2
7層	2

地層区分

1層目		2層目		支持層	
盛土	7	崖錘	9	岩	40
崖錘	22	礫	2		
岩	6	火山灰	1		
その他	5	岩	12		
		その他	1		

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書

第２編：遠心場における静的載荷実験結果に基づく水平地盤抵抗特性の評価

～ 目 次 ～

1. 概　要 ---------- 2- 1
   1.1 研究の背景と目的 ---------- 2- 1
   1.2 検討ケース ---------- 2- 2

2. 実験装置 ---------- 2- 4
   2.1 中型遠心力載荷実験装置 ---------- 2- 4
   2.2 遠心場水平力載荷装置の概要 ---------- 2- 5
   2.3 実験土槽 ---------- 2- 6

3. 実験方法 ---------- 2- 7
   3.1 実験供試体 ---------- 2- 7
   3.2 載荷方法 ---------- 2-28
   3.3 計測項目 ---------- 2-30
   3.4 実験要領図 ---------- 2-31

4. データ処理方法 ---------- 2-36
   4.1 一般事項 ---------- 2-36
   4.2 計測データの補正 ---------- 2-37
   4.3 地際部における残留変位の算定 ---------- 2-38
   4.4 放物線近似による諸物理量の算出 ---------- 2-39

5. 載荷実験結果---------- 2-44
   5.1 検討ケース一覧 ---------- 2-44
   5.2 荷重と変位の関係 ---------- 2-45
   5.3 柱－杭の諸物理量分布 ---------- 2-59
   5.4 地盤反力と変位の関係 ---------- 2-66
   5.5 地表面の相対変位 ---------- 2-69

6. 載荷実験結果の分析 ---------- 2-70
   6.1 水平方向地盤反力係数 ---------- 2-70
   6.2 柱－杭の荷重－水平変位関係から見る周辺地盤の変状 ---- 2-77
   6.3 柱－杭の諸物理量分布特性 ---------- 2-79

7. 再現数値解析と考察 ---------- 2-85
   7.1 解析モデルと条件 ---------- 2-85
   7.2 荷重－変位関係 ---------- 2-87

7.3　深度分布図 ---------- 2-89
7.4　実験との比較結果を踏まえた修正再現解析 ---------- 2-92

8.　まとめ ---------- 2-98

参考文献 ---------- 2-100

付　録---------- 2-101
A1.地盤試料室内試験結果 ---------- 2-102
A2.アルミパイプ材料試験結果 ---------- 2-120
A3.載荷実験計測データ ---------- 2-123
A4.電算入出力データ ---------- 2-124
A5.写真帳 ---------- 2-125

1. 概　要

1.1　研究の背景と目的

「第 1 編：共通編」で述べたように、図 1.1 に示すような鋼多柱式連続ラーメン構造を有する道路橋には、地盤と杭基礎の関係において以下のような課題がある。

・通常の杭基礎と異なり、フーチングを有しない橋脚と基礎が連続した一柱一基礎構造であるため、地盤抵抗が期待できる範囲と地震時慣性力が作用するとみなせる範囲、すなわち設計地盤面が不明確である。
・H24 道示 IV で示される杭基礎の地盤抵抗モデルは、突出の無い（あるいは小さい）フーチングを有する構造に対して設定されたものであり、本構造のように突出長が大きく、地際での変形が大きい杭基礎への適用性は不明である。

本編では、フーチングを有しない橋脚と基礎が連続した一柱一基礎構造の静的水平地盤抵抗特性に着目し、一般的な橋梁耐震設計に用いられる解析モデルの内、H24 道示 IV に示される杭の軸直角方向の抵抗特性について、本構造に対する適用性を明らかにする。具体的には、遠心場での静的模型載荷試験により本構造が有する水平地盤抵抗特性をまず調べ、次に、設計実務で用いられる解析モデル（地盤抵抗特性の評価手法）を用いて再現数値解析を行い、本構造に対する同解析モデルの適用性について確認する。

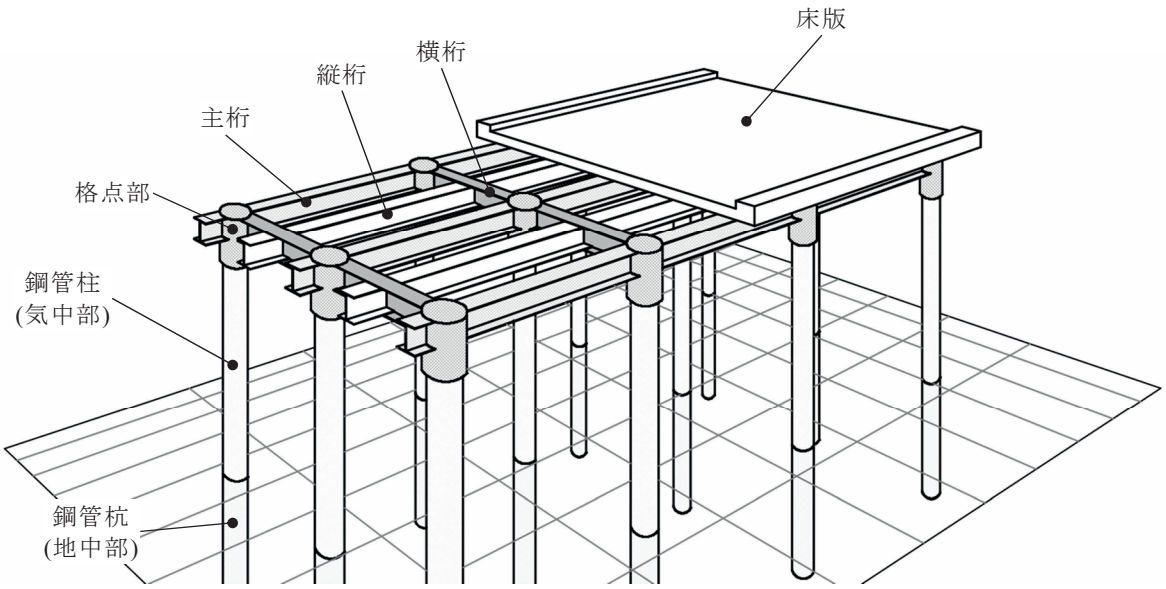


図 1.1　本研究で対象とする鋼多柱式連続ラーメン構造のイメージ

1.2 検討ケース

本研究では、類似構造物の既往実績（その１：共通編を参照）を踏まえ、下記条件で検討ケースを抽出する。

- 地盤抵抗特性に着目した実験を行うため、できるだけ単純化したモデルとする。
- 上部構造による拘束条件（柱－杭の変形モード）の違いが水平地盤抵抗特性に与える影響を把握するため、1 本柱モデルと 3 本柱モデルの 2 ケースを検討する。
- 類似構造物の既往実績より、柱－杭にはϕ500mm，t=9mm の鋼管を想定する。なお供試体製作のための相似則は、**3.1.1 節**を参照されたい。
- 地盤種別（ここでは、砂質土と粘性土）の違いによる影響を把握するため、2 種類の地盤に対して実験を行う。
- 対象とする地盤の硬さは、既往実績から N 値 10～20 程度の範囲で設定する。なお模型地盤の条件については **3.1.2 節**を参照されたい。

  ここで、地盤の変形係数 E_{50}=700N とすれば、

  地震時の変形係数αE_0(=8E_{50})=56～112MN/m^2

  ここに、 a ：地盤反力係数の換算係数（地震時）[2.1)]

  E_0 ：地盤の変形係数

  E_{50} ：供試体の一軸圧縮試験又は三軸圧縮試験から求めた変形係数

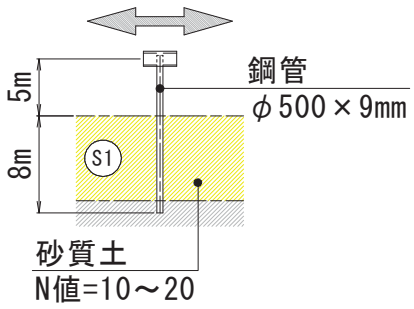
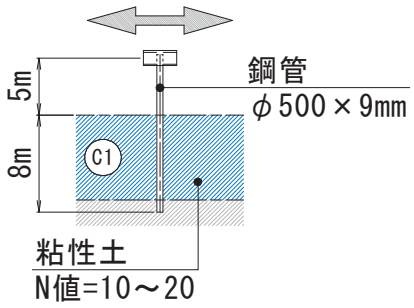
以上を踏まえ、本研究で対象とする検討ケースは、表 1.1 の 4 ケースとする。なお、ケース名称は、以下のルールに基づいて表記している。

<S1-5-1>

- S1-5-1
  - S1：地盤種別（S1：砂質土、C1：粘性土）
  - 5：気中部の高さ（5：5m）
  - 1：柱本数（1：1 本柱、3：3 本柱）

図 1.2　ケース名称の見方

表 1.1　実験ケース

<table>
<tr><th colspan="2">ケース</th><th>実験供試体概念図</th><th colspan="5">パラメータの設定および実験目的</th></tr>
<tr><td rowspan="2">砂質土シリーズ〈S1〉</td><td>〈S1-5-1〉</td><td rowspan="2"> 
</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部長
L[m]</td><td>気中部高
h[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m^2]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>1</td><td>砂質土</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・本研究における「標準モデル」とする。
・砂質土地盤における水平地盤抵抗特性を調べる。
・突出の無い杭に対する既往試験結果と比較することで、突出の有無が水平地盤抵抗特性に与える影響を把握する。
</td></tr>
<tr><td>〈S1-5-3〉</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部長
L[m]</td><td>気中部高
h[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m^2]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>3</td><td>砂質土</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・砂質土地盤における水平地盤抵抗特性を調べる。
・1本柱のケースと比較することで、柱頭部の拘束条件（杭の変形モード）の違いが水平地盤抵抗特性に与える影響を把握する。
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">粘性土シリーズ〈C1〉</td><td>〈C1-5-1〉</td><td rowspan="2"> 
</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部長
L[m]</td><td>気中部高
h[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m^2]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>1</td><td>粘性土</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・粘性土地盤における水平地盤抵抗特性を調べる。
・突出の無い杭に対する既往試験結果と比較することで、突出の有無が水平地盤抵抗特性に与える影響を把握する。
・砂質土のケースと比較することで、地盤種別の違いが水平地盤抵抗特性に与える影響を把握する。
</td></tr>
<tr><td>〈C1-5-3〉</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部長
L[m]</td><td>気中部高
h[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m^2]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>3</td><td>粘性土</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・粘性土地盤における水平地盤抵抗特性を調べる。
・1本柱のケースと比較することで、柱頭部の拘束条件（杭の変形モード）の違いが水平地盤抵抗特性に与える影響を把握する。
・砂質土のケースと比較することで、地盤種別の違いが水平地盤抵抗特性に与える影響を把握する。
</td></tr>
</table>

※表中の数字は、いずれも実スケールでの値を示す。

2. 実験装置

2.1　中型遠心力載荷実験装置

2.1.1　遠心力載荷模型実験

遠心力載荷模型実験は、縮尺 1/*n* の模型に重力加速度の *n* 倍（*nG*，*G* は重力加速度、本研究では実験装置のサイズより縮尺 1/25 を採用）の遠心加速度を作用させ、模型内に実物と同様の自重応力状態を再現することで実物大実験と等価な結果を得ることを目的とする。本手法によれば、力学的相似則と幾何学的相似則を同時に満足させることができるため、実物大での力学挙動を把握したい場合に経済的かつ効率的にデータを取得できる。

本実験では、このような利点を生かし、実地盤に近い応力状態となる遠心場において、鋼多柱式連続ラーメン構造の水平地盤抵抗特性を調査した。実施したのは、柱－杭あるいは地盤がそれぞれ降伏を超える範囲まで載荷を継続する正負交番水平載荷実験で、柱本数および地盤条件をそれぞれ変化させた縮小模型実験である。これら一連の実験は、遠心力載荷実験装置を使用し、遠心加速度 25*G* 下で実施した。なお本章で記す諸物理量は、特に断りのない限り、模型スケールでの値を表す。

2.1.2　中型遠心力載荷実験装置の概要

本実験は、写真 2.1 に示す国立研究開発法人土木研究所（以下、土研）所有の中型遠心力載荷実験装置（ビーム型遠心模型試験装置）を使用して実施した。本装置の主要諸元は、表 2.1 に示す通りである。

写真 2.1　中型遠心力載荷実験装置（土木研究所 HP より）

表 2.1　遠心力載荷装置の主な仕様（実スケール）

最大遠心加速度	静的試験：140G
有効回転半径	3.5m
駆動方式	交流電動機
制御方式	インバータ制御
電動機容量	200kW
着座機構	自由
容器の積載スペース	W1,200 × L1,200 × H1,000
アンバランス許容値	7G・ton 以下
最大積載容量	140G・ton
揺動架台	2 台

2.2　遠心場水平力載荷装置の概要

2.2.1　実験に使用する載荷装置

図 2.1 に遠心場で使用する水平力載荷装置を示す。本載荷装置は、変位制御でも荷重制御でも載荷が可能である。また、載荷速度 0～150mm/sec の交番載荷及び一方向載荷が可能で、波形作成ソフト[2.2)]により様々な種類の波形を入力することができる。さらに耐 G 構造で遠心場 100G まで使用可能である。

載荷装置はヒンジを介して上部構造物と連結する構造で、その連結作業は平行性を確認しながら慎重に行った。本実験では、土槽サイズに合わせて接続用治具を製作し、模型と接続した。中型土槽で使用するための条件は、以下の通りである。

- 載荷装置は、直接土槽天端に固定することで反力をとる構造とする
- 模型天端から載荷点までの高さは最低 75mm 必要
- 載荷ジャッキの拘束によって水平力以外の力が作用するのを防ぐ目的で、取り付けはヒンジタイプとする。
- 水平方向正負交番載荷試験を行うためのストロークを確保する

以上の条件から、治具を介してロードセルとヒンジを油圧シリンダに設け、模型と接続できるよう接続治具を作成した。なお、載荷装置に取り付けられている電圧型の変位計とロードセルの容量は、以下の通りである。その他詳細については、遠心場急速載荷装置取扱説明書[2.2)]を参照されたい。

＜載荷装置に内蔵されている計測器の容量＞

①　最大・最小変位：±50mm

②　最大・最小荷重：±12kN

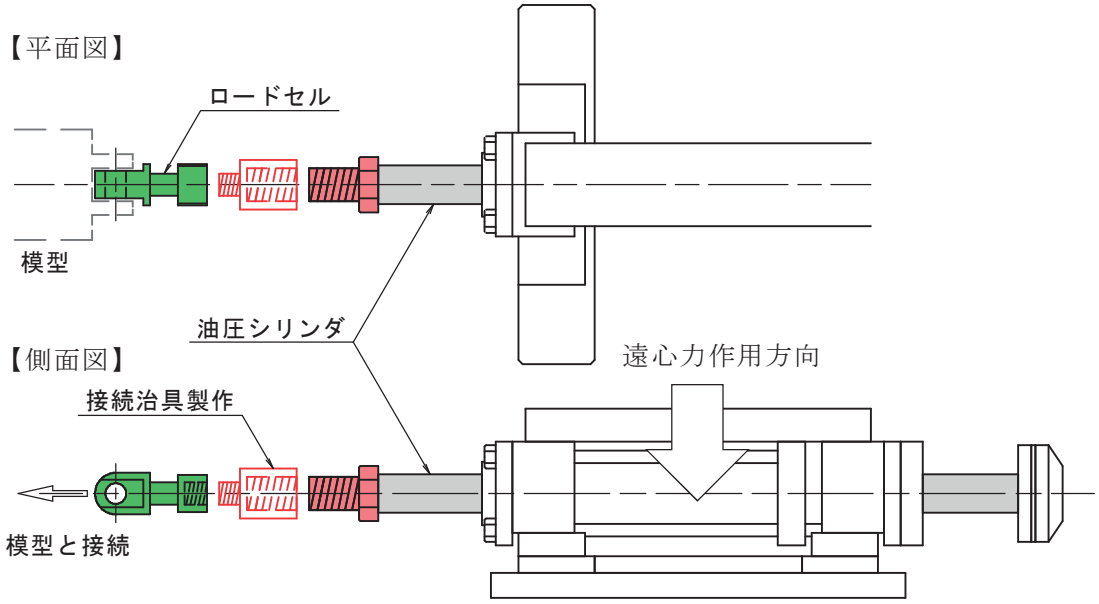


図 2.1　水平力載荷装置の接続

2.3　実験土槽

実験には、遠心載荷装置のプラットホームに搭載可能な、幅 800mm、奥行き 500mm 及び高さ 605mm（いずれも内寸法；実スケール）の鋼製剛土槽を用いた。形状寸法図ならびに姿写真を図 2.2 にそれぞれ示す。

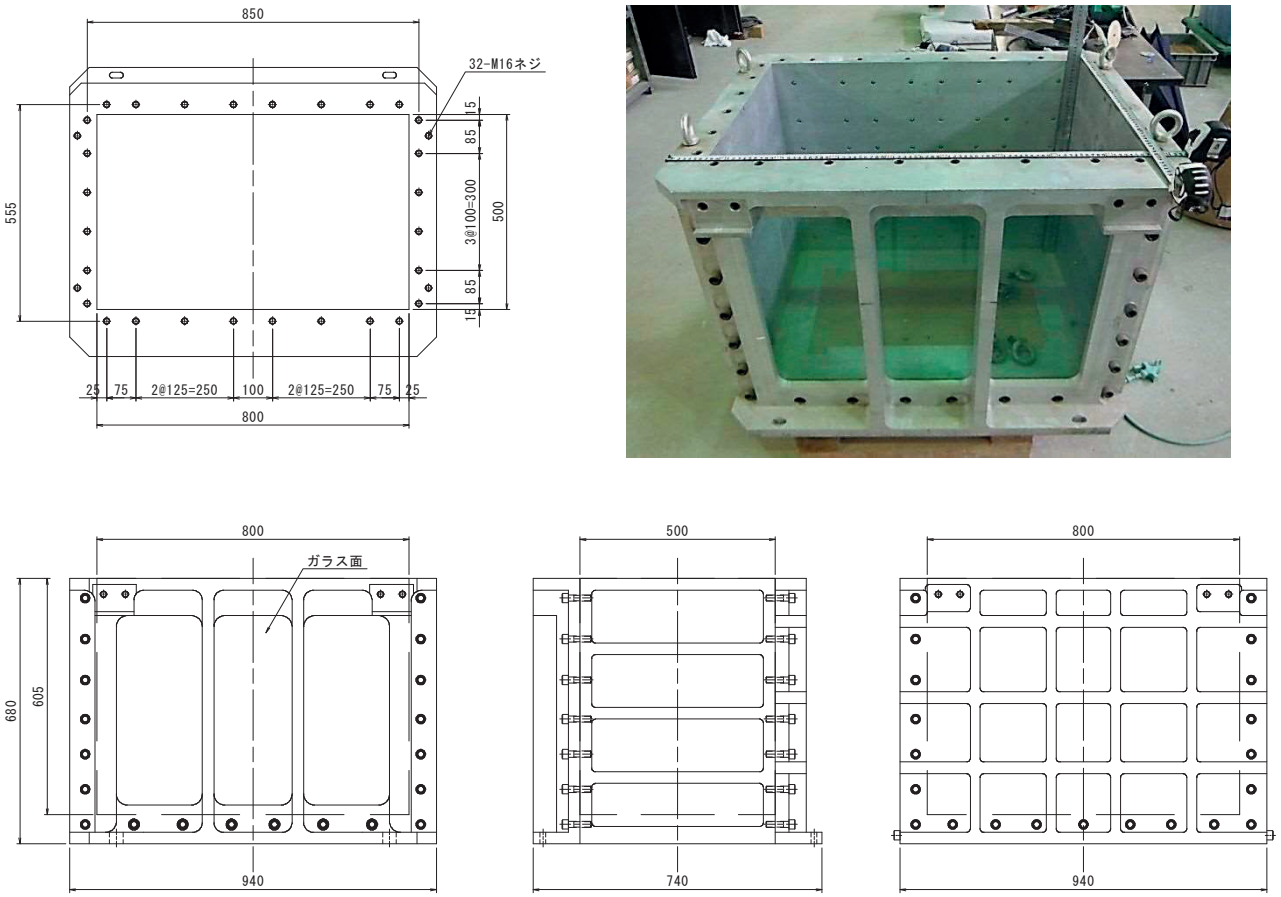


図 2.2　静的実験に用いる剛土槽（単位：mm）

3. 実験方法

3.1　実験供試体

3.1.1　相似則

既往の研究[2.3)]より、杭の水平挙動を評価する場合、杭と地盤の相対剛性が重要な要素であることがわかっているため、本実験ではそれを十分考慮する。即ち、実物（ターゲット）と同様の自重応力状態にある模型地盤において、実物の鋼管柱とほぼ等価な曲げ剛性を持つ材料を選定する。また柱－杭模型においては、曲げ剛性のみならず、死荷重時状態および杭の降伏耐力においても実物の鋼管柱とほぼ等価にする必要がある。

図 3.1 に示すように、遠心力 nG 場において、$1/n$ 縮尺の模型を用いる場合の相似則は、幾何学的には以下の通りである。

長さに関して　$l_m = l_p/n$ ---------- (3.1)

面積に関して　$A_m = A_p/n^2$ ---------- (3.2)

体積に関して　$V_m = V_p/n^3$ ---------- (3.3)

ここで、下添え字 p と m は、それぞれ原型(prototype)と模型(model)を意味する。

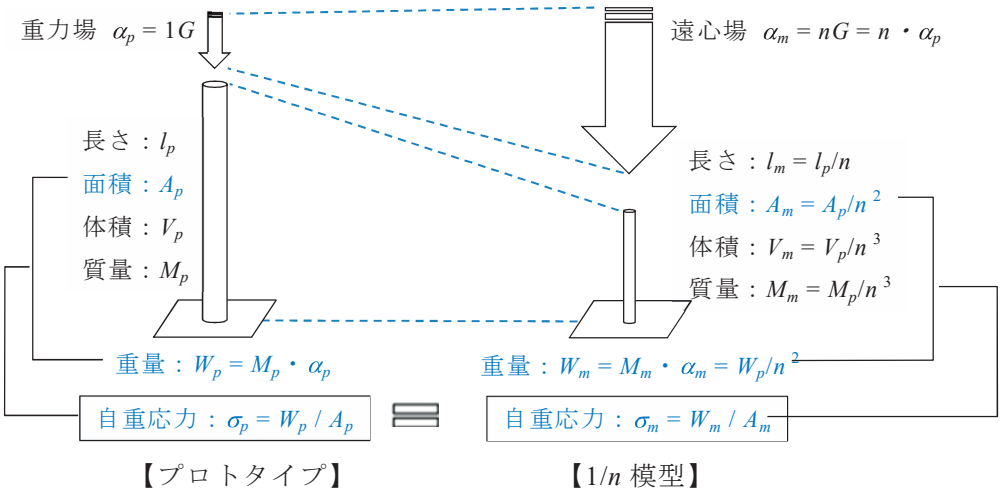


図 3.1　重力場にあるプロトタイプと nG 遠心場にある $1/n$ 模型の各諸量の関係（概念図）

また材料の単位体積重量は、nG 場であるため$\gamma_m = n \cdot \gamma_p$、したがって材料の重さ$W = V \cdot \gamma$に関して、

$$W_m = W_p/n^2 \quad \text{---------- (3.4)}$$

よって、模型の自重応力状態は、

$$\sigma_m = W_m/A_m = W_p/A_p = \sigma_p \quad \text{---------- (3.5)}$$

となる。つまり、nG 場において力に関する相似率を$1/n^2$とすれば、応力に関する相似率は全て 1 となる。次に、曲げ剛性 EI に関する相似率は以下の通りである。

材料の弾性係数 E に関して　$E_m = \dfrac{\sigma_m}{\varepsilon_m} = \dfrac{\sigma_m}{\sigma_p} \cdot \dfrac{\varepsilon_p}{\varepsilon_m} \cdot \dfrac{\sigma_p}{\varepsilon_p} = 1 \cdot 1 \cdot \dfrac{\sigma_p}{\varepsilon_p} = E_p$ ---------- (3.6)

ただし、$\varepsilon_m = \varepsilon_p$と仮定

断面二次モーメント I に関して $I_m = I_p/n^4$ ---------- (3.7)

よって、曲げ剛性 EI に関して、

$$(EI)_m = (EI)_p/n^4 \quad \text{---------- (3.8)}$$

そして、降伏耐力（ここでは降伏曲げモーメント M_y）に関しては、

$$M_{ym} = \frac{\sigma_{ym}}{y_m} \cdot I_m = \frac{\sigma_{ym}}{\sigma_{yp}} \cdot \frac{y_p}{y_m} \cdot \frac{I_m}{I_p} \cdot \frac{\sigma_{yp}}{I_p} \cdot y_p = 1 \cdot n \cdot \frac{1}{n^4} \cdot \frac{\sigma_{yp}}{I_p} \cdot y_p = M_{yp} \big/ n^3 \quad \text{---------- (3.9)}$$

ここに、y：杭の図心位置から評価位置までの距離。ただし、軸力 N=0 の場合(軸力がある場合には、応力に関する値が変わるのみで相似率に影響はない)。

以上より、「$1/n$ 縮尺模型」を用いて「力に関する相似率を $1/n^2$」とした場合、nG 場における代表物理量に関する相似率は下表に示す通りとなる。

表 3.1　nG 場における相似率

物理量	記号	次元	相似率 Prot./Model	重力(1G)場の場合
加速度	α	LT^{-2}	n	1
長さ	l	L	$1/n$	$1/n$
質量、体積	m, V	M, L^3	$1/n^3$	$1/n^3$
重量、力	W, F	MLT^{-2}	$1/n^2$	$1/n^3$
曲げモーメント	M	ML^2T^{-2}	$1/n^3$	$1/n^4$
応力度	σ	$ML^{-1}T^{-2}$	1	$1/n$
弾性係数	E	$ML^{-1}T^{-2}$	1	$1/n$
曲げ剛性	EI	ML^3T^{-2}	$1/n^4$	$1/n^5$

3.1.2　模型地盤

(1) 地盤材料

1) 砂質土地盤

砂質土層に使用した地盤試料は、東北硅砂 7 号であり、図 3.2 に示す粒度分布を有している。また、図 3.3 および図 3.4 には CD 三軸試験から求めたせん断抵抗角ϕ及び粘着力 c ならびに変形係数 E_{50} をそれぞれ示している。室内試験は相対密度 Dr を 60、80 および 90%に変化させた試料でそれぞれ行い、各定数との関係性を調べた。なお、CD 三軸試験では、Dr および深度(拘束圧)による違いを評価するために、圧密応力σ_cを 30、60 および 90kN/m^2 で変化させた。ここで、CD 三軸試験の供試体は、後述する模型地盤と同じ要領で密度管理を行い、静的締固めにより作成した。結果をとりまとめて表 3.2 に示す。

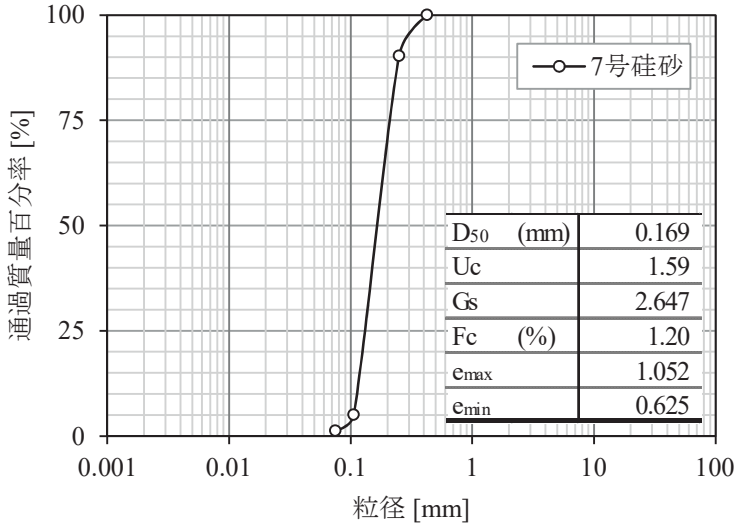


図 3.2　実験に使用した東北硅砂 7 号の粒径加積曲線

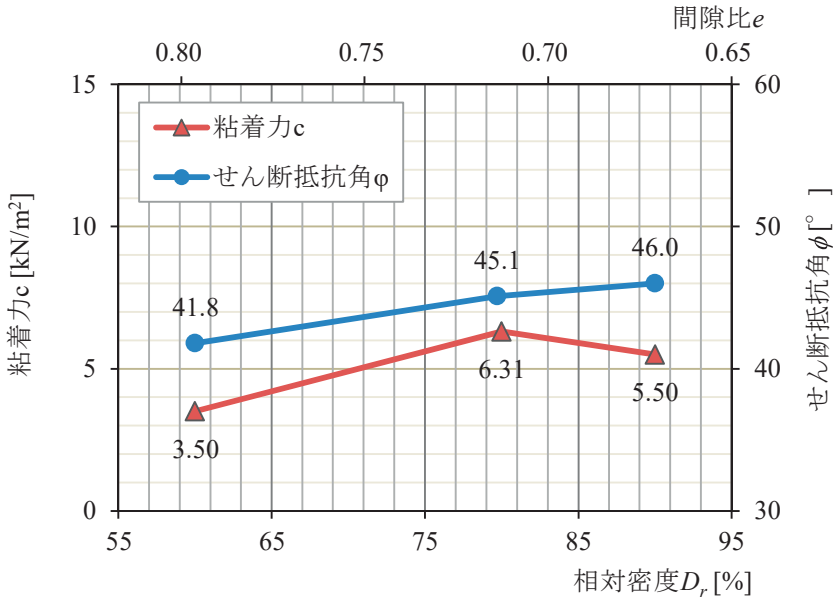


図 3.3　実験に使用した東北硅砂 7 号の相対密度 D_r とせん断定数 c およびϕの関係

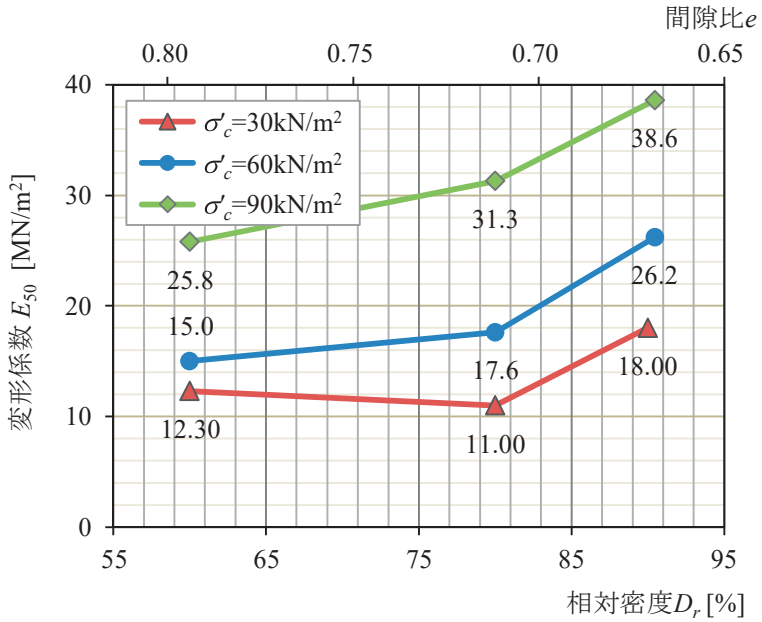


図 3.4　実験に使用した東北硅砂 7 号の相対密度 D_r と変形係数 E_{50} の関係

表 3.2　室内試験結果一覧（7 号硅砂）

相対密度 D_r [%]	乾燥密度 ρ_d [g/cm^3]	拘束圧 σ_c [kN/m^2]	変形係数 E_{50} [MN/m^2]	せん断定数	
				粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]
40	1.432	30.0	12.1	4.5	38.5
	1.438	60.0	21.2		
	1.434	90.0	27.5		
60	1.473	30.0	12.3	3.5	41.8
	1.474	60.0	15.0		
	1.479	90.0	25.8		
80	1.540	30.0	11.0	6.3	45.1
	1.543	60.0	17.6		
	1.545	90.0	31.3		
90	1.584	30.0	18.0	5.5	46
	1.587	60.0	26.2		
	1.587	90.0	38.6		

2) 粘性土地盤

粘性土層には、圧密作業が不要で突き固め法により作成可能な DL クレーを使用した。ただし、事前の室内試験結果より、一般的な粘性土としては大きいせん断抵抗角（ϕ=36.5° 程度）を有しており、これを改善する目的でカオリンクレーを全体量の 25%混入させた混合土を作成して地盤試料とした。

図 3.5～図 3.7 に粒径加積曲線、CD 三軸試験から求めたせん断定数および変形係数をそれぞれ示す。ここで、CD 三軸試験の供試体は、後述する模型地盤と同じ要領で密度管理を行い、静的締固めにより作成した。また室内試験結果を一覧にとりまとめて表 3.3 に示す。

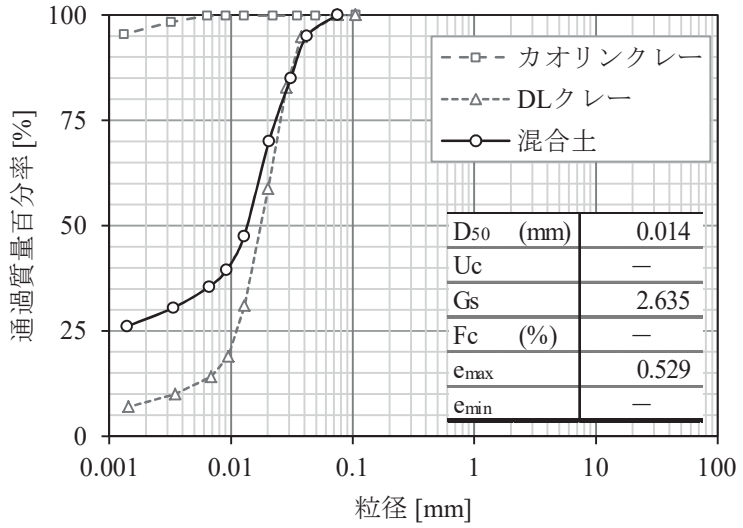


図 3.5　実験に使用した混合土（カオリンクレー(1)+DL クレー(3)）の粒径加積曲線

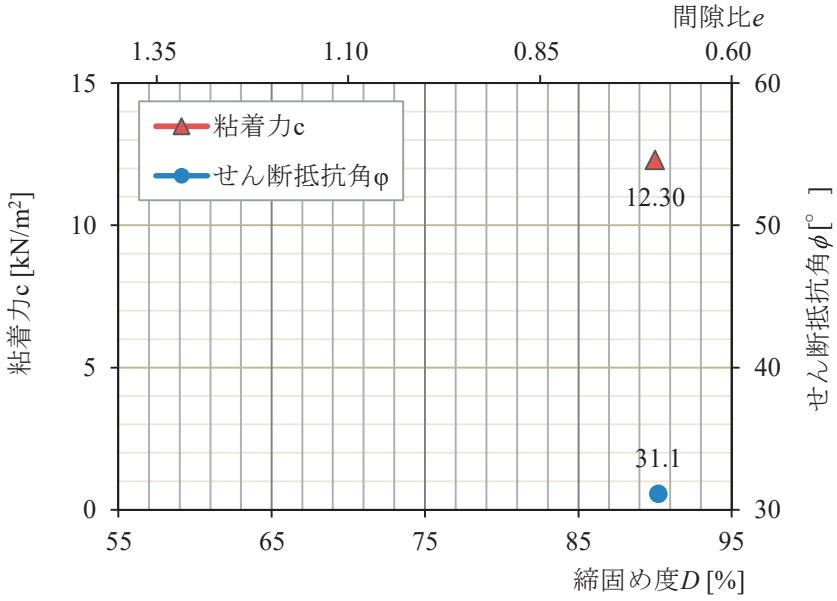


図 3.6　実験に使用した混合土の締固め度 D とせん断定数 c およびϕの関係

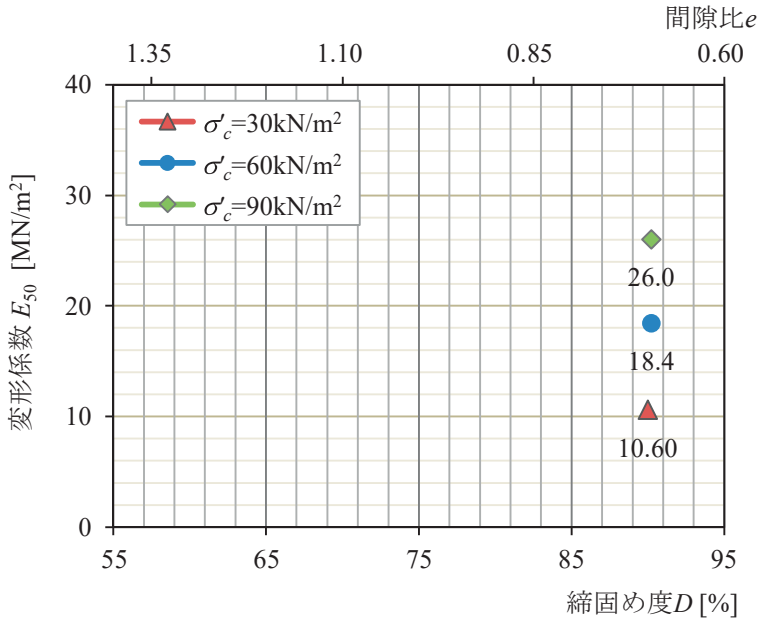


図 3.7　実験に使用した混合土の締固め度 D と変形係数 E_{50} の関係

表 3.3　室内試験結果一覧（混合土）

締固め度 D [%]	乾燥密度 ρ_d [g/cm^3]	拘束圧 σ_c [kN/m^2]	変形係数 E_{50} [MN/m^2]	せん断定数	
				粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]
90	1.554	30.0	10.6	12.3	31.1
	1.557	60.0	18.4		
	1.555	90.0	26.0		

(2) 模型地盤の作成

1) 目標とする地盤条件

砂質土および粘性土地盤ともに、目標 N 値=10～20 の地盤を想定しているので、砂質土地盤では 7 号硅砂：相対密度 D_r=80%を、粘性土地盤では混合土：締固め度 D=90%をそれぞれ目標とした。また、図 3.8 に示すように、層厚は模型スケールで支持層から 280mm（支持層への根入れ長 2D）とし、粘性土地盤のみ 280mm の内、下層 10mm を排水層（7 号硅砂：D_r=90%）とした。なお、図中括弧で示す値はプロトタイプ換算値を表している。目標とする地盤条件を表 3.4 および 3.5 にそれぞれ示す。

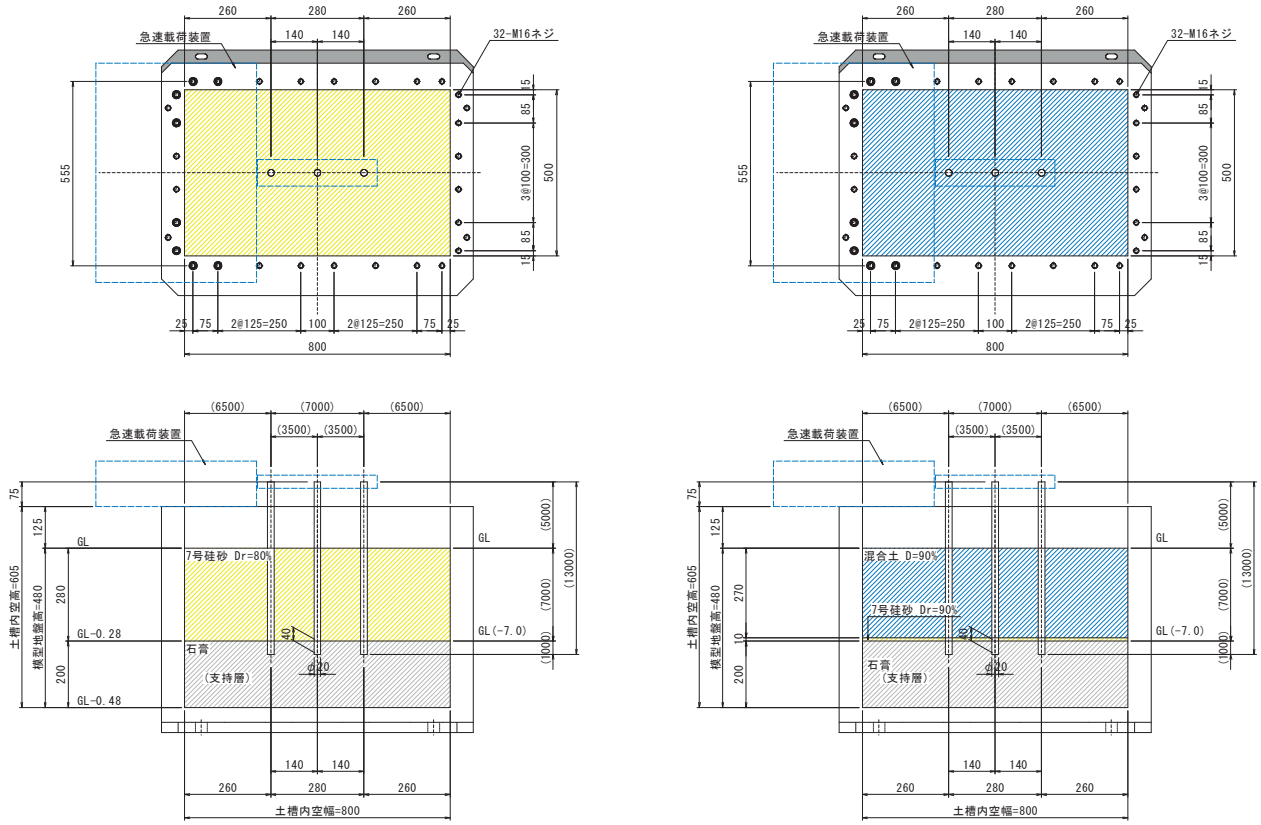


図 3.8　模型地盤平面図および側面図（左：砂質土地盤、右：粘性土地盤）

表 3.4　目標とする地盤条件（砂質土）

相対密度 D_r [%]	せん断定数		単位体積重量 γ [kN/m^3]	地震時変形係数 αE_0 ($=8E_{50}$) [MN/m^2]	αE_0に相当する N値 E_{50}/700 (参考値)	地表面からの深度の目安※ [mm, (m)]
	粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]				
80	6.3	45.1	15.1	88	**16**	79.6 ,(1.99)
				141	25	158.8 ,(3.97)
				250	45	238.4 ,(5.96)

※三軸試験の各拘束圧に相当する深度。括弧内数値は、実スケール換算値。

表 3.5　目標とする地盤条件（粘性土）

締固め度 D [%]	せん断定数		単位体積重量 γ [kN/m^3]	地震時変形係数 αE_0 ($=8E_{50}$) [MN/m^2]	αE_0に相当する N値 E_{50}/700 (参考値)	地表面からの深度の目安※ [mm, (m)]
	粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]				
90	12.3	31.1	15.3	85	**15**	78.4 ,(1.96)
				147	26	156.8 ,(3.92)
				208	37	235.2 ,(5.88)

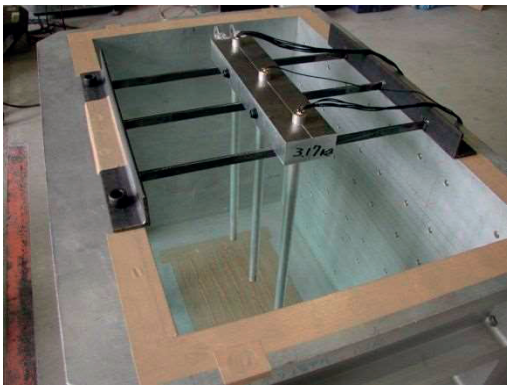
※三軸試験の各拘束圧に相当する深度。括弧内数値は、実スケール換算値。

2) 作成方法

支持層は、石膏で固めることにより作成する。また上層の地盤は、気乾状態で突き固めることにより作成する。その際、柱－杭模型はガイド（写真 3.1）により仮留めしておき、地盤の上昇に合わせて治具を取り外す。

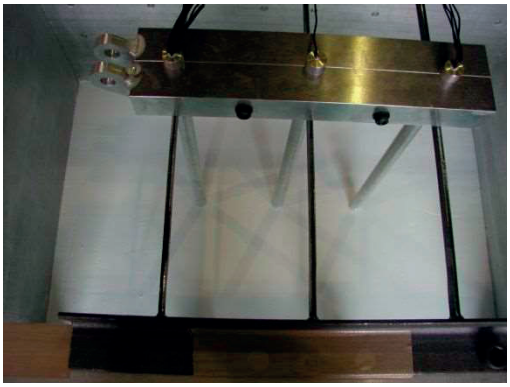
写真 3.1　柱－杭模型設置用ガイド

模型地盤作成状況を以下に示す。

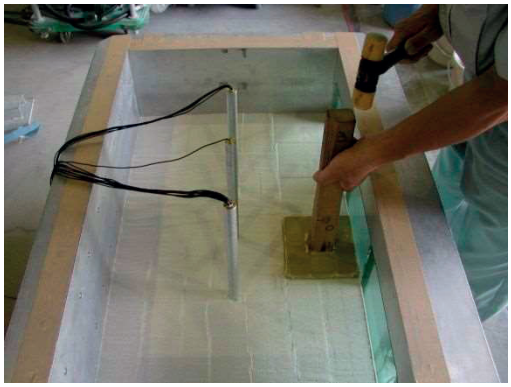


①柱－杭模型仮留め状況

②石膏打設状況



③石膏（支持層）完成状況



④東北硅砂７号（上層）敷設・突き固め状況

写真 3.2　模型地盤作成状況

3) 地盤の密度管理

上層の砂質土層および粘性土層に使用した試料の代表的な物性値を以下に示す。

①砂質土層：7 号硅砂の物性			
・土粒子の密度試験	ρ_s	2.647	(g/cm^3)
・最大・最小密度試験	$\rho_{d\max}$	1.629	(g/cm^3)
	$\rho_{d\min}$	1.290	(g/cm^3)
②粘性土層：カオリン粘土＋DL クレー混合土の物性			
・混合割合		カオリン+DL クレー（乾燥質量比=1:3）	
・土粒子の密度試験	ρ_s	2.635	(g/cm^3)
・締固め試験	$\rho_{d\max}$	1.723	(g/cm^3)
	ω_{opt}	16.9	(%)
③実験土槽の仕様（模型スケール）			
・幅		80.0	(cm)
・高さ		60.5	(cm)
・奥行き		50.0	(cm)

目標とする模型地盤を作成するための密度管理値を表 3.6～表 3.8 にとりまとめて示す。なお粘性土層の模型地盤では､遠心場での圧密排水を促すため支持層上部に層厚 1cm の砂質土層を設けた。表 3.7 に示すように、いずれのケースにおいても、実際の相対密度 D_r あるいは締固め度 D は目標値にほぼ等しくなった。

表 3.6　各ケースにおける模型地盤の密度管理値(1)

ケース名称※	柱本数	地層区分	地盤材料	層厚 [cm]	控除体積（杭等） [cm^3]	地盤の体積 [cm^3]	試料の投入量 [N]	含水比 ω [%]
S1-5-1 改	1	砂質土	7 号硅砂	28.0	87.96	111,912.0	1,699.5	0.0
S1-5-3 改	3	砂質土	7 号硅砂	28.0	263.89	111,736.1	1,697.9	0.0
C1-5-1 改	1	粘性土	混合土	27.0	84.78	107,915.2	1,914.8	17.1
		砂質土	7 号硅砂	1.0	3.14	3,996.9	63.1	0.0
C1-5-3 改	3	粘性土	混合土	27.0	254.34	107,745.7	1,919.2	17.1
		砂質土	7 号硅砂	1.0	9.42	3,990.6	63.0	0.0

※末尾の「改」は、改良型治具を用いたケースであることを表す（3.1.5 節参照）

表 3.7　各ケースにおける模型地盤の密度管理値(2)

ケース名称※	柱本数	地層区分	地盤材料	乾燥密度 ρ_d [g/cm^3]	相対密度 D_r [%]	締固め度 D [%]	間隙比 e
S1-5-1 改	1	砂質土	7 号硅砂	1.549	80.2	－	0.71
S1-5-3 改	3	砂質土	7 号硅砂	1.549	80.5	－	0.71
C1-5-1 改	1	粘性土	混合土	1.545	－	89.7	0.71
		砂質土	7 号硅砂	1.609	95.2	－	0.65
C1-5-3 改	3	粘性土	混合土	1.551	－	90.0	0.70
		砂質土	7 号硅砂	1.609	95.2	－	0.65

※末尾の「改」は、改良型治具を用いたケースであることを表す（3.1.5 節参照）

表 3.8　各ケースにおける模型地盤の密度管理値(3)

ケース名称※	柱本数	地層区分	地盤材料	飽和単位体積重量 γ_{sat} [kN/m^3]	水中単位体積重量 γ' [kN/m^3]	備　考
S1-5-1 改	1	砂質土	7 号硅砂	19.243	9.443	
S1-5-3 改	3	砂質土	7 号硅砂	19.248	9.448	
C1-5-1 改	1	粘性土	混合土	19.195	9.395	
		砂質土	7 号硅砂	19.610	9.810	排水層
C1-5-3 改	3	粘性土	混合土	19.231	9.431	
		砂質土	7 号硅砂	19.610	9.810	排水層

※末尾の「改」は、改良型治具を用いたケースであることを表す（3.1.5 節参照）

(3) ケース<C1-5-3 改>の地盤物性値

ケース<C1-5-3 改>では、実験装置の不具合により、供試体作成から載荷試験までの期間が空くこととなったため、実験後の模型地盤から凍結ブロックサンプリングにより採取した供試体により、再度室内試験を実施した。

下表に示す通り、上層部の変形係数は目標値に対して 1.5 倍程度の値となった。

表 3.9　ケース<C1-5-3 改>の模型地盤における地盤条件（粘性土）

締固め度 D [%]	せん断定数		単位体積重量 γ [kN/m^3]	地震時変形係数 αE_0 ($=8E_{50}$) [MN/m^2]	αE_0に相当する N値 E_{50}/700 (参考値)	地表面からの深度の目安※ [mm, (m)]
	粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]				
90	12.3	31.1	15.3	85	**15**	78.4 ,(1.96)
				147	26	156.8 ,(3.92)
				208	37	235.2 ,(5.88)

↑目標値　　↓供試体からのサンプリングによる試験値

サンプリング位置	せん断定数		単位体積重量 γ [kN/m^3]	地震時変形係数 αE_0 ($=8E_{50}$) [MN/m^2]	αE_0に相当する N値 E_{50}/700 (参考値)	地表面からの深度の目安※ [mm, (m)]
	粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]				
上層部	4.9	35.8	15.3	129	**23**	78.4 ,(1.96)
				206	37	156.8 ,(3.92)
				250	45	235.2 ,(5.88)
下層部	12.1	35.4	15.7	202	**36**	76.4 ,(1.91)
				181	32	152.8 ,(3.82)
				276	49	229.2 ,(5.73)

※三軸試験の各拘束圧に相当する深度。括弧内数値は、実スケール換算値。

3.1.3　柱－杭模型

(1)使用材料

実構造物で想定する柱－杭は外径 D=500mm で厚さ t=9.0mm の鋼管であり、実物と同じ材質で曲げ剛性 EI を合わせるには、模型スケールで D=20mm で t=0.36mm の鋼管が必要となり現実的ではない。よって、柱－杭模型には弾性係数 E が小さい材料を使用することで相似則を満足させる。即ち、実構造物とプロトタイプ換算値での EI を等しくすれば良いので、それぞれ添え字 t（target）と p（prototype）をそれぞれ付して整理すると、

$$\frac{(E\cdot I)_p}{(E\cdot I)_t}=1 \quad \text{----------(3.10)}$$

鋼管の断面二次モーメント I は、

$$I=\frac{\pi}{64}(D^4-d^4) \quad \text{----------(3.11)}$$

ここに、D：鋼管の直径、d：鋼管の内径

であるため、

$$\frac{E_p}{E_t}\cdot\frac{D_p^4-d_p^4}{D_t^4-d_t^4}=1 \text{ より、 } D_p^4-d_p^4=\frac{E_t}{E_p}(D_t^4-d_t^4) \quad \text{----------(3.12)}$$

両者の鋼管径を等しくして $D(=D_p=D_t)$ と置けば、

$$d_p=\sqrt[4]{D^4-\frac{E_t}{E_p}(D^4-d_t^4)} \quad \text{----------(3.13)}$$

板厚を t とすれば、$d=D-2t$ より、

$$t_p=\frac{D}{2}\left[1-\sqrt[4]{1-\frac{E_t}{E_p}\left\{1-\left(\frac{d_t}{D}\right)^4\right\}}\right] \quad \text{----------(3.14)}$$

ここで、実験模型の縮尺率は 1/25 であるので、模型杭の板厚 t_m は、

$$t_m=\frac{t_p}{25}=\frac{D}{50}\left[1-\sqrt[4]{1-\frac{E_t}{E_p}\left\{1-\left(\frac{d_t}{D}\right)^4\right\}}\right] \quad \text{----------(3.15)}$$

以上より、代表的な材料における柱－杭模型の板厚を算出すると表 3.10 の通りとなる。表中の弾性係数は、一般的な材料の公称値である。本実験では、材料の入手性および取扱いの容易さからアルミ材を採用した。この場合、板厚を模型スケールで 1.2mm 程度とすることで EI を等価にすることができる。

表 3.10　代表的な材料における柱－杭模型の板厚

材料	項目	杭径 D mm	板厚 t mm	弾性係数 E MN/m^2	採用可否
鋼	実構造(ﾀｰｹﾞｯﾄ)	500.0	9.00	2.00E+05	
	実験模型	20.0	0.36	2.00E+05	
黄銅	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ換算値	500.0	17.20	1.10E+05	△
	実験模型	20.0	0.69	1.10E+05	
銅	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ換算値	500.0	15.61	1.20E+05	△
	実験模型	20.0	0.62	1.20E+05	
アルミ	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ換算値	500.0	29.04	7.00E+04	◎
	実験模型	20.0	1.16	7.00E+04	

代表的なアルミ材に対する予備試験の結果、柱－杭模型には A1070 材を加工硬化した A1070H 材を採用した。材料試験の結果を以下に示す。

表 3.11　アルミ材 A1070H の機械的特性

番号	断面積 A mm^2	0.2%永久伸びに対する 荷重P_y kN	0.2%永久伸びに対する 応力σ_y N/mm^2	降伏歪※ ε_y μ	最大荷重 kN	最大応力 N/mm^2	弾性係数 E kN/mm^2
No.1	70.87	18.65	263.2	-	20.49	289.1	77.6
No.2	70.62	18.60	263.4	-	20.49	290.1	79.5
No.3	70.91	18.75	264.4	-	20.44	288.3	81.7
平均値	-	-	263.6	3,300	20.47	289.2	79.6

※降伏ひずみε_yは、0.2%永久伸びに対する応力度と弾性係数の平均値から求めた。

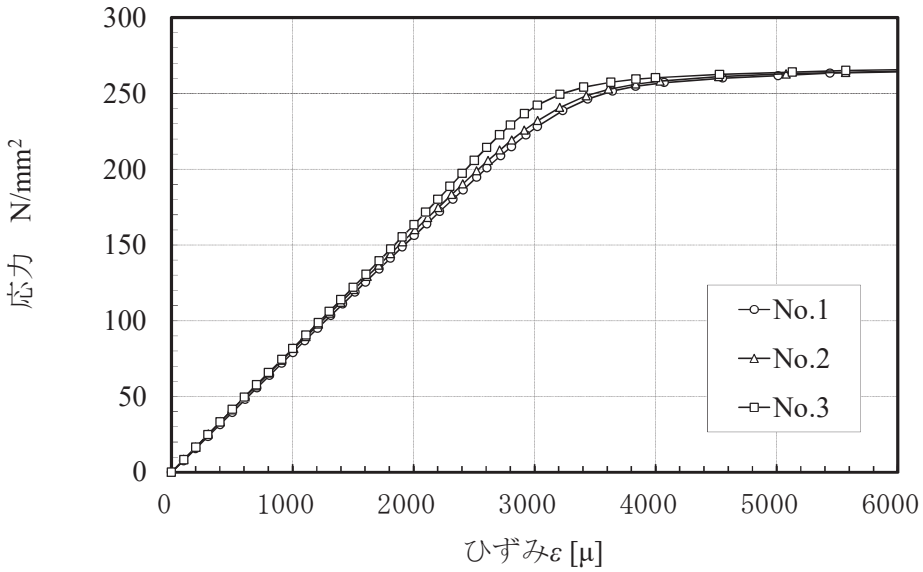
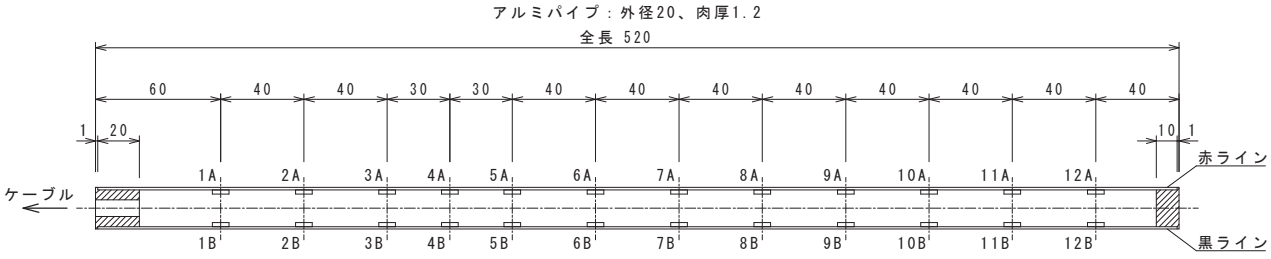


図 3.9　A1070H 材の引張試験結果

(2) 柱－杭模型

柱－杭模型には、前以てアルミ管内側にひずみゲージを設置した。設置間隔は、ひずみゲージの長さとケーブルの取り合いから、最小 2*D* を確保した。1 本柱および 3 本柱における柱－杭模型のひずみゲージ設置位置をそれぞれ図 3.10 および図 3.11 に示す。なお 3 本柱のケースでは、ケーブルの取り回しに配慮するとともに、ひずみ計測間隔が等間隔となるよう改良した（載荷高は同一）。

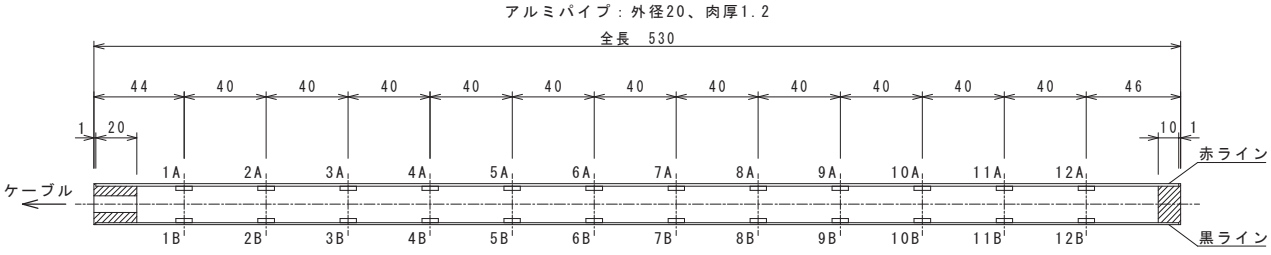


ケーブル長：５ｍ（コネクタなし）
ケーブル：外径２mm（４芯シールド線）

使用ゲージ：FLA-1-23（東京測器）
単軸ゲージ：抵抗値120Ω　ゲージ率：2.18±1%
Ａゲージ：黄-緑（リード色）
Ｂゲージ：青-白（　〃　）

接着剤：EB-2（東京測器）

図 3.10　1 本柱のケースにおける柱－杭模型詳細図



ケーブル長：５ｍ（コネクタなし）
ケーブル：外径２mm（４芯シールド線）

使用ゲージ：FLA-1-23（東京測器）
単軸ゲージ：抵抗値120Ω　ゲージ率：2.18±1%
Ａゲージ：黄-緑（リード色）
Ｂゲージ：青-白（　〃　）

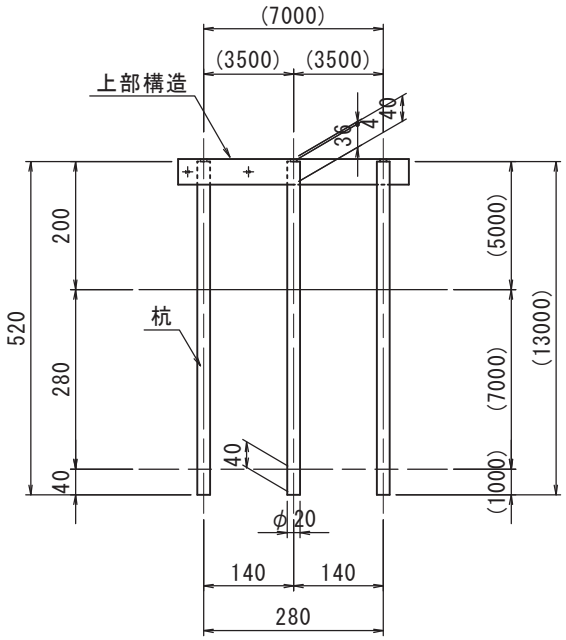
接着剤：EP-34B（共和電業）

図 3.11　3 本柱のケースにおける柱－杭模型詳細図

3.1.4　上部構造模型

(1) 上部構造反力（模型質量）

上部構造模型の質量は、実構造物（上部構造反力）と等価なものにする必要があり、その値は相似則より「実構造の上部構造反力×1/n^3（重力場）」である。ここで、実構造物における上部構造反力は表 3.12 に示す通りであり、1/25 縮尺模型においては、上部構造質量を 1 本柱と 3 本柱に対してそれぞれ約 1.0kg および約 3.1kg に調整しなければならない。



寸法は模型スケール（単位:mm）

※(　)内寸法はプロトタイプ換算値（単位：mm）

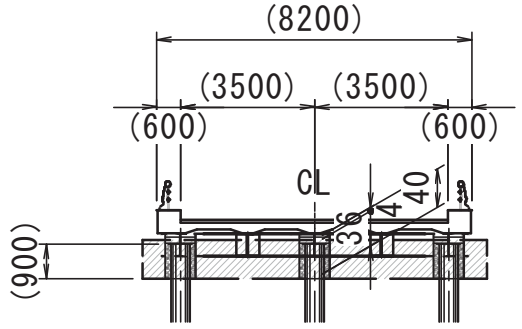
表 3.12　上部構造(実構造)反力

上部構造部材	重量[kN]
舗装、床版、高欄	400.0
主桁	44.0
横桁	10.3
剛結部(二重鋼管)	21.0
合計	475.3

※上表の値は、橋軸直角方向の杭 1 列あたりを想定（柱本数 3 本の場合）

重力場での模型上部構造質量は、

$$\frac{475.3/9.80665\times1000}{25^3}=3.102\,\mathrm{kg}$$



＜参考；上部構造の模型と実構造の関係イメージ＞

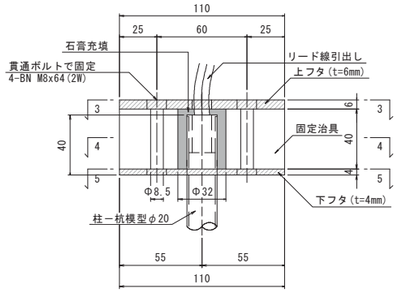
図 3.12　上部構造模型概念図

(2) 上部構造模型

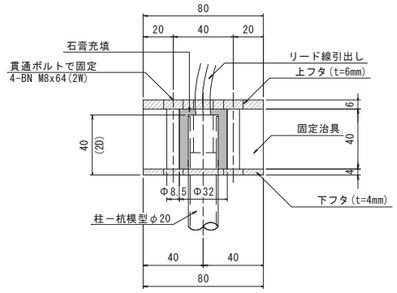
上部構造模型には、載荷ジャッキからの水平力を接続治具を介して柱頭部に伝える役割がある。また、3 本柱のケースでは柱頭部の接合条件を剛結構造とするため、剛性の高い構造にする必要がある。これらの条件と、実物に対する質量の相似条件を満足させる目的で、無垢のアルミ材を削り出すことにより製作した。上部構造模型詳細図を次頁に示す。

1本柱シリーズ

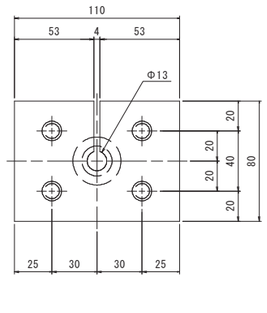
側面図
1-1



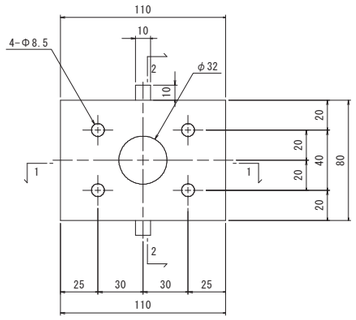
断面図
2-2



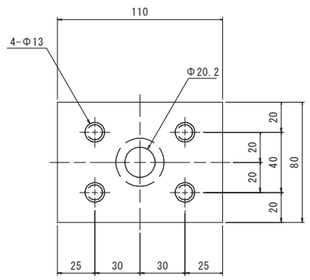
平面図
＜上フタ＞ 3-3



＜固定治具＞ 4-4

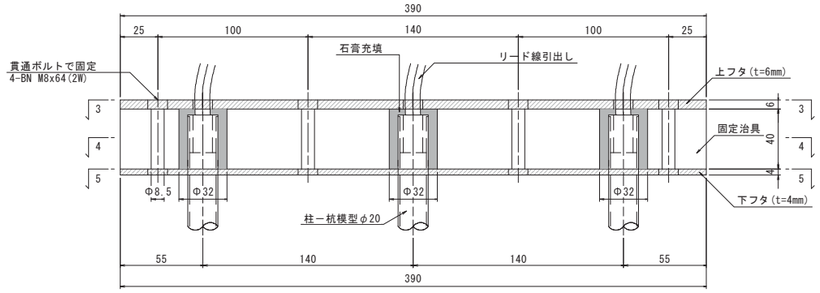


＜下フタ＞ 5-5

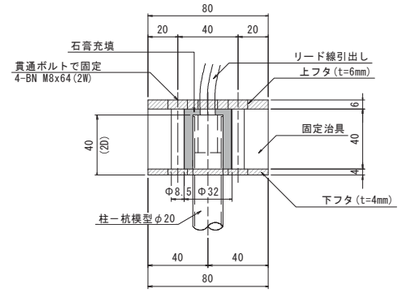


3本柱シリーズ

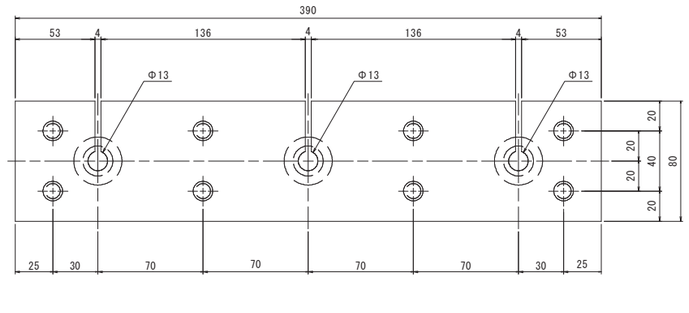
側面図
1-1



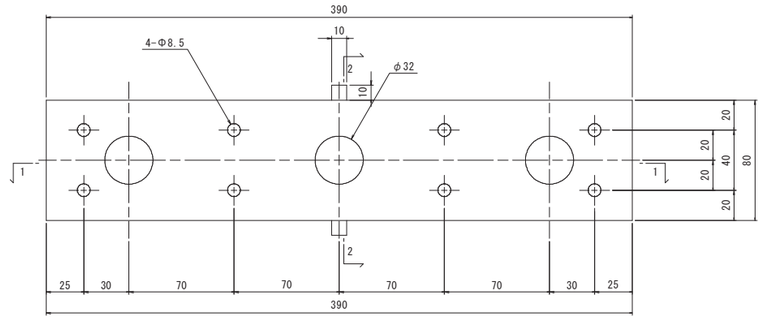
断面図
2-2



平面図
＜上フタ＞ 3-3



＜固定治具＞ 4-4



＜下フタ＞ 5-5

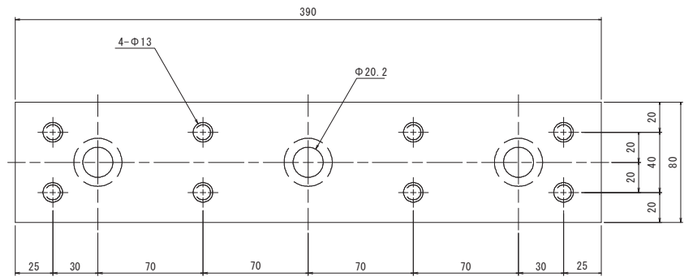


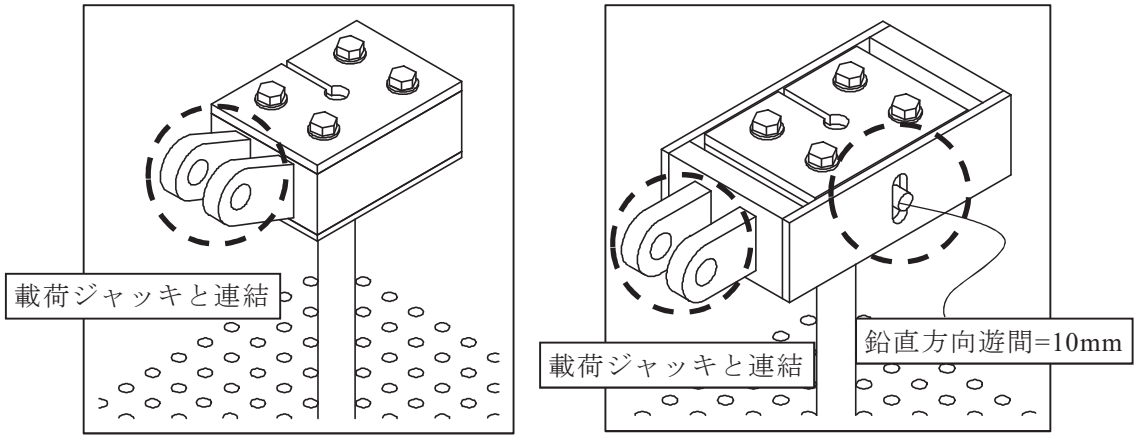
図 3.13　上部構造模型（柱頭部固定治具）詳細図

3.1.5　供試体セットアップ方法

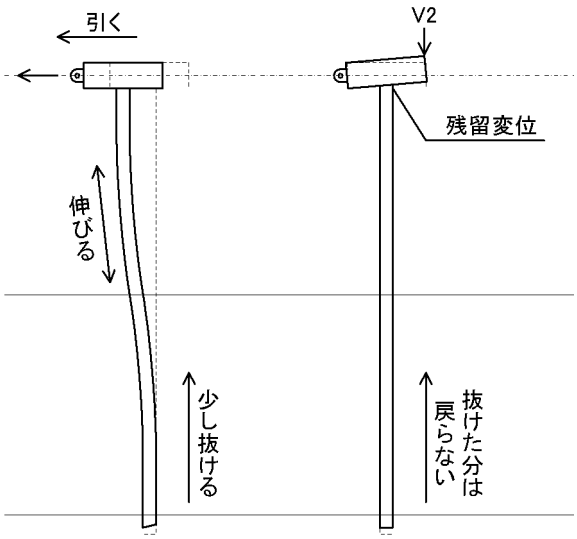
(1) 載荷ジャッキ連結用治具に関する予備検討

1) 検討概要

載荷試験を行うにあたり、本研究においては載荷ジャッキとの連結方法について改良を重ねている。当初の供試体では、図 3.14(a)に示すように、上部構造模型に直接突起を設けて載荷ジャッキと接続する構造を採用していた。しかし、後述するように、載荷ジャッキと上部構造を 1 箇所のヒンジ（図中破線丸印で示す）で連結したため、水平方向以外の拘束力が発生し、比較的小さい変位レベルの段階で柱－杭が引き抜かれるという問題があった（図(b)）。そのため、図(c)に示すように、上部構造模型と連結用治具を分離してヒンジ部（図中破線丸印で示す）を 2 箇所設け、さらに上部構造模型が載荷ジャッキの水平変位のみに追随する構造に改良した。検討結果を次項に記す。



(a)　当初の上部構造模型・兼連結用治具　　(c)　改良型連結治具



(b)　杭が引き抜けるメカニズム

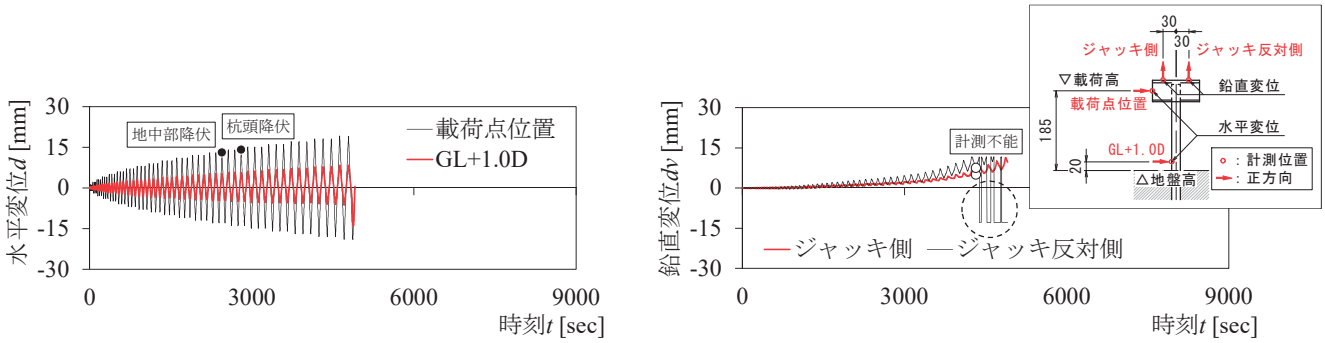
図 3.14　当初および改良型連結用治具（概念図）

2) 予備検討結果

図 3.15 および図 3.16 は、当初および改良後の治具を使用したケースに対する変位応答波形を示している。各図の(a)および(b)は、水平変位応答波形および鉛直変位応答波形をそれぞれ示したもので、ジャッキ加力方向および上方変位を正としてそれぞれ図示している（図中破線丸印は、異常値であり、上部構造模型のロッキング運動による傾きが大きく、変位計測不能となった範囲を表す）。

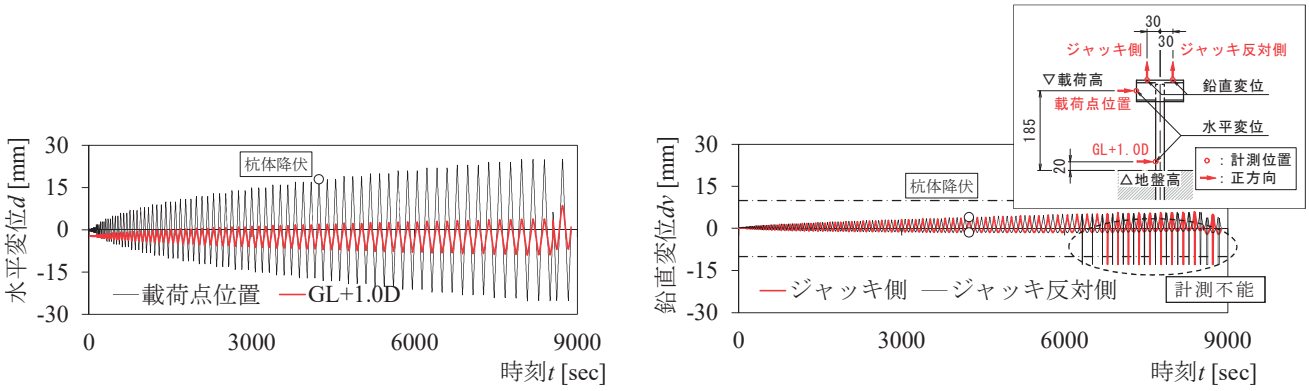
図 3.15(b)に示す当初治具に対する鉛直変位を見ると、赤線と黒線で示すジャッキ側およびジャッキ反対側の鉛直変位は、治具の回転による位相差はあるものの、ジャッキ反対側（黒）に比べてジャッキ側（赤）の変位量が小さい。これは正負交番載荷時における杭頭のロッキング運動をジャッキが拘束しているためと考えられる。すなわち、図 3.17(a)に示すように、ジャッキで押す時には杭頭はロッキング運動し易く、ジャッキで引く際には水平にスウェイ運動をしているものと推察される。このため、負載荷時に杭が徐々に引き抜かれたものと考えられる。

一方、図 3.16(b)に示す改良治具の鉛直変位は、軸ずれ量が小さく、左右の鉛直変位量も同程度である。このことから、改良後の治具では、図 3.17(b)に示すように鉛直方向が拘束されずにロッキング運動をしている様子が見てとれる。



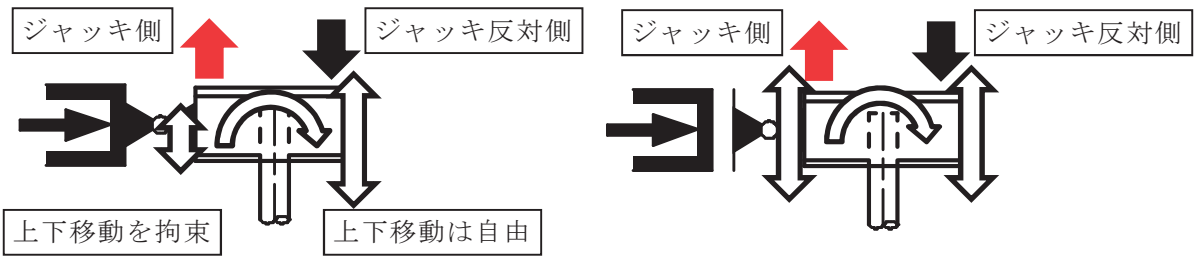
(a)水平変位応答波形　　(b)鉛直変位応答波形

図 3.15　当初治具使用時の変位応答波形



(a)水平変位応答波形　　(b)鉛直変位応答波形

図 3.16　改良治具使用時の変位応答波形



(a)　当初治具の変位拘束状況　　(b)　改良型治具の変位拘束状況

図 3.17　載荷ジャッキ連結用治具の変位拘束状況（概念図）

(2) 載荷ジャッキ連結用治具

予備検討結果を踏まえ、載荷ジャッキと上部構造模型は、下図の要領で連結用治具（図中、青色ハッチング部）を介して接続した。連結用治具は、上部構造模型が載荷ジャッキからの水平変位のみに追随するよう工夫した。

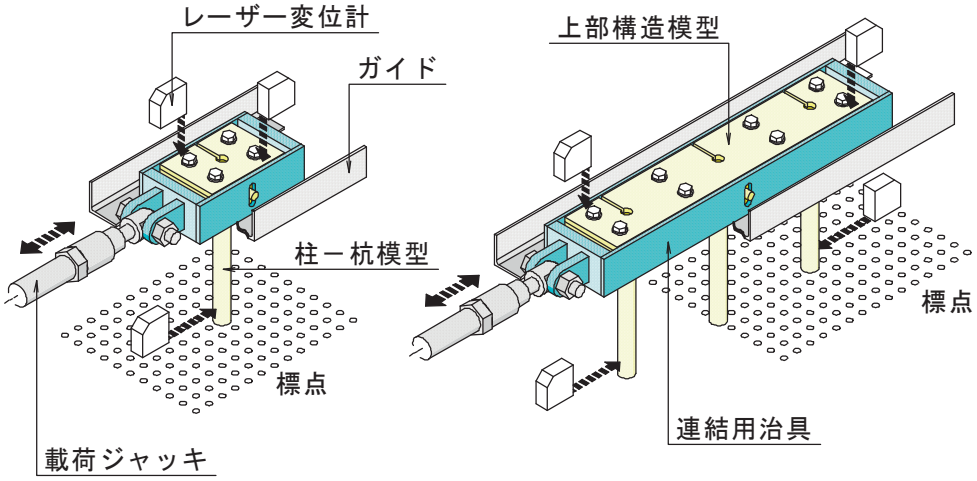


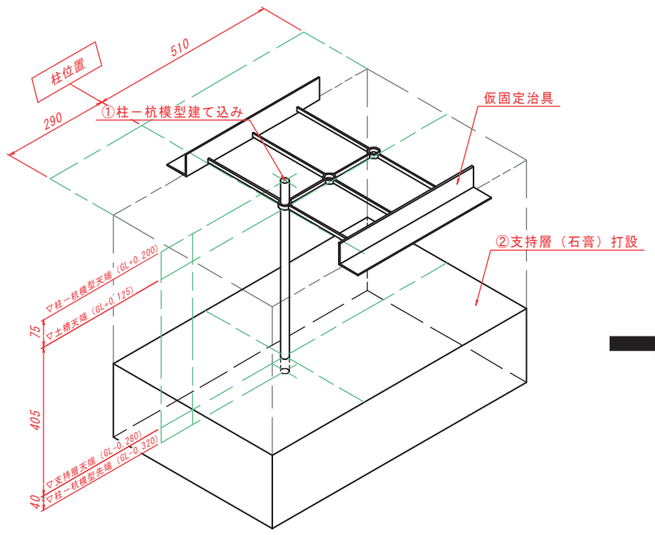
図 3.18　載荷ジャッキとの連結要領

(3) 供試体のセットアップ

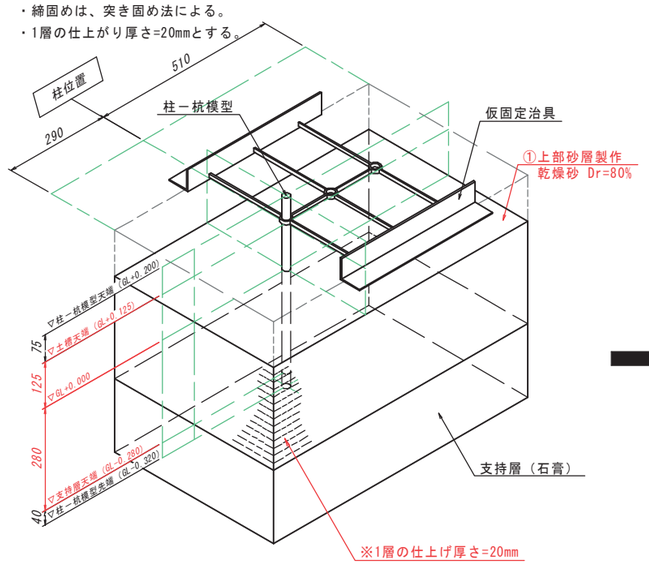
供試体は、次頁以降に示す要領でセットアップした。

【砂質土地盤用】（3本柱も同じ要領でセットアップを行う）

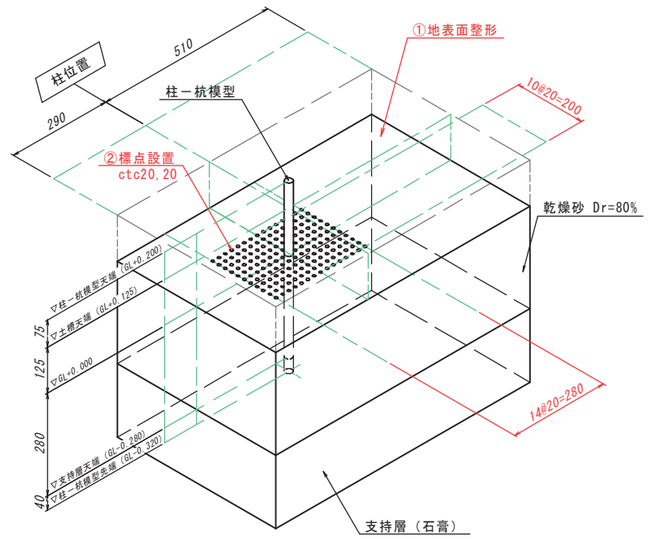
【Step 1】
①柱－杭模型建て込み（仮固定治具にて固定）
②支持層（石膏）打設



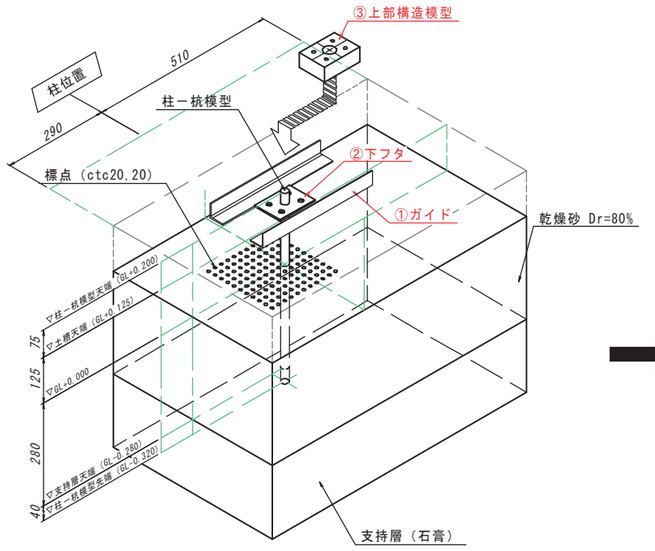
【Step 2】
①上部砂層製作
・目標とする相対密度となるよう層厚と
1層あたりの試料投入量で管理。
・締固めは、突き固め法による。
・1層の仕上がり厚さ=20mmとする。



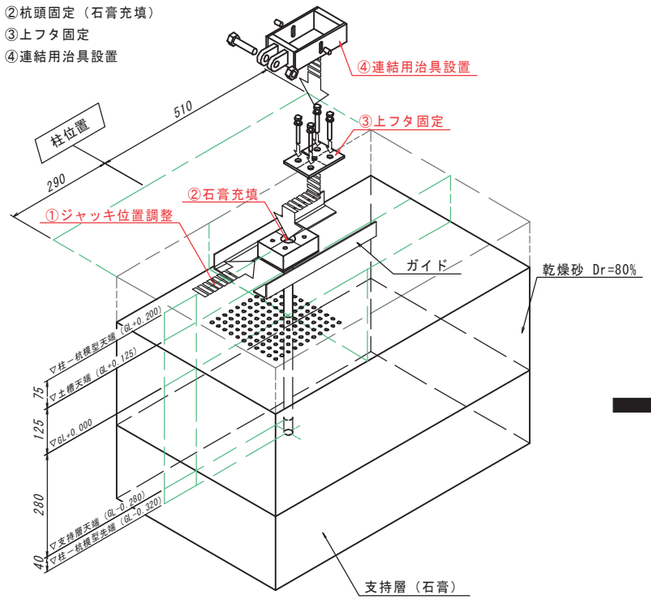
【Step 3】
①仮固定治具を取り外して、地表面を整形する。
②標点設置
③標点の計測（初期値）



【Step 4】
①上部構造模型仮置き用桟木設置
②下フタ設置
③上部構造模型設置



【Step 5】
①ジャッキ位置調整
②杭頭固定（石膏充填）
③上フタ固定
④連結用治具設置



【Step 6】
①計測機器設置・接続
②後片付け

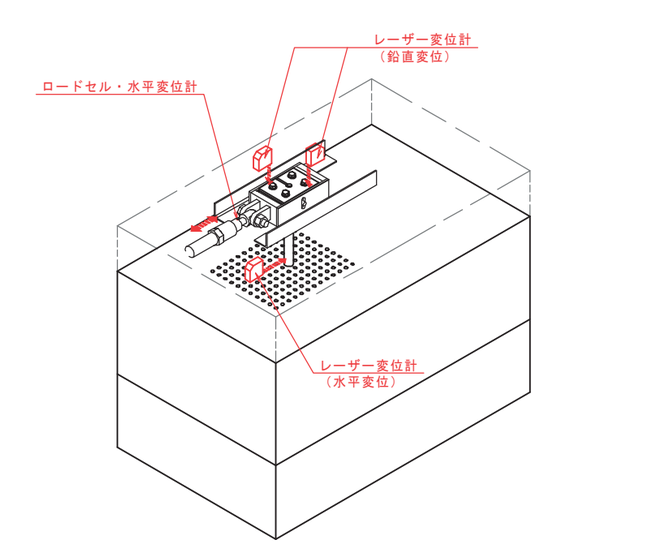
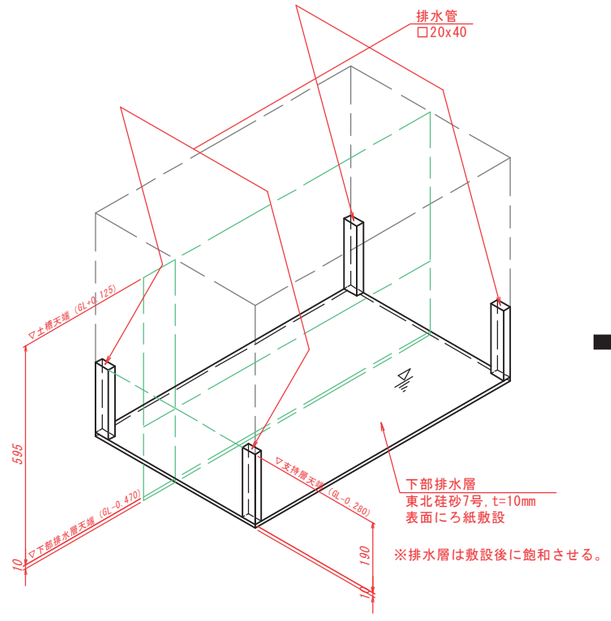


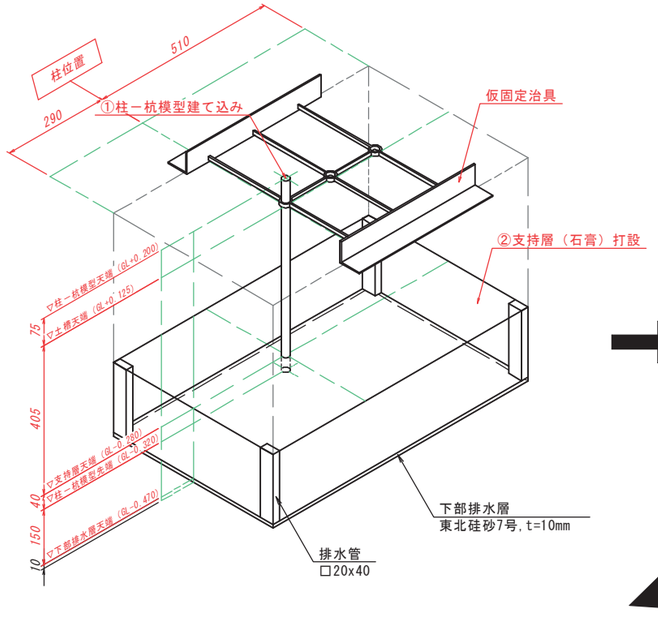
図 3.19　実験供試体セットアップ要領図(1)

【粘性土地盤用】（3本柱も同じ要領でセットアップを行う）

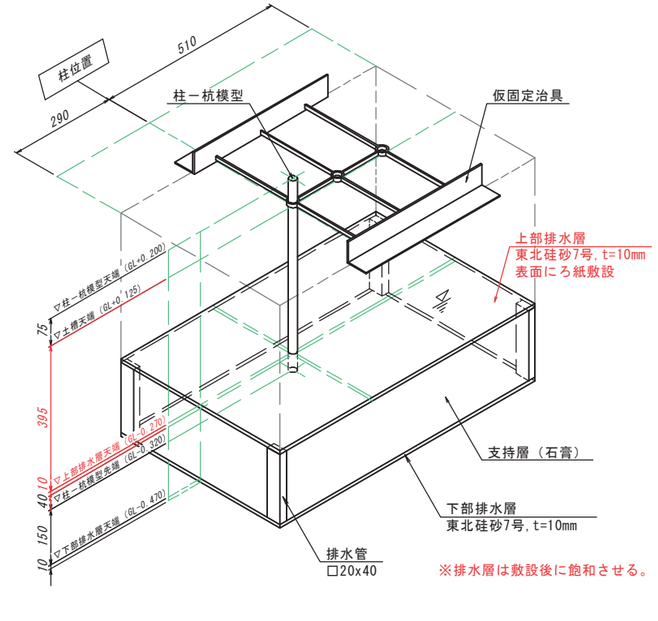
【Step 1】
①下部排水層の敷設
・敷設後、飽和させる。
②表面にろ紙敷設
③排水管の設置



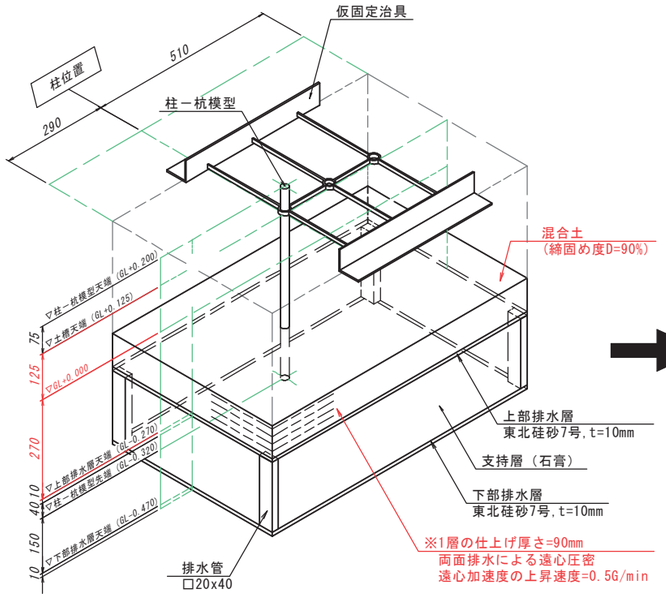
【Step 2】
①柱－杭模型建て込み（仮固定治具にて固定）
②支持層（石膏）打設



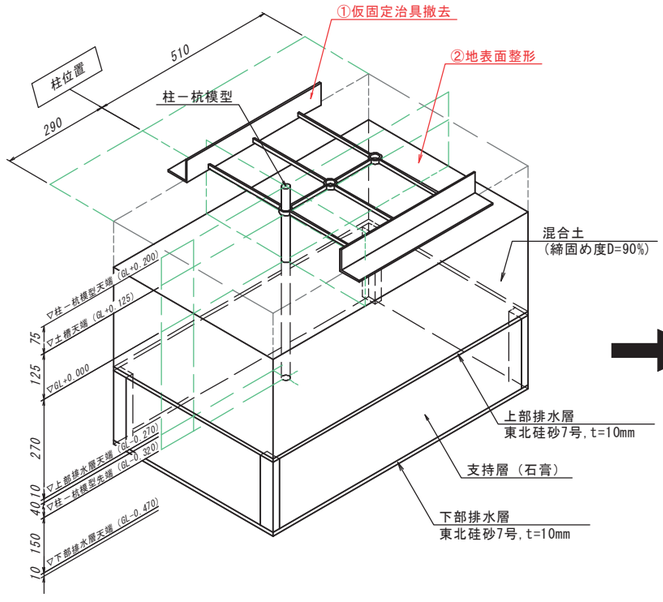
【Step 3】
①上部排水層の敷設
・敷設後、飽和させる。
②排水層表面にろ紙敷設



【Step 4】
①粘土層製作
・1層仕上げ厚=20mm



【Step 5】
①仮固定治具撤去
②地表面整形



【Step 6】
①標点設置
②標点の計測（初期値）

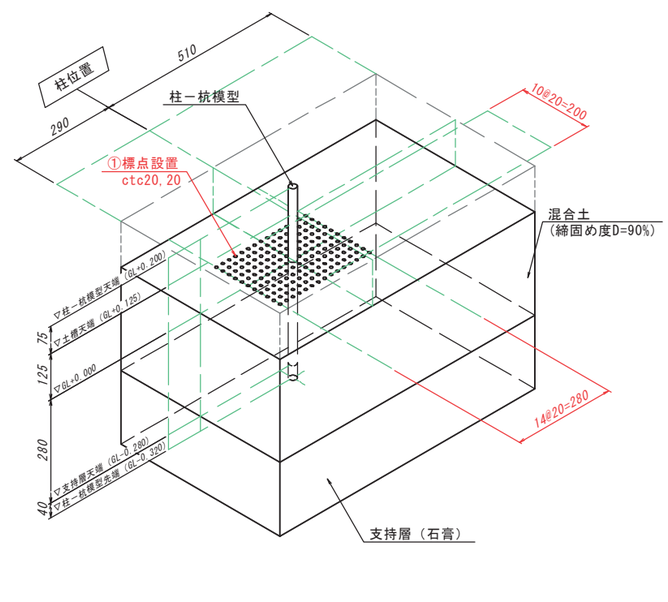


図 3.20　実験供試体セットアップ要領図(2)

【粘性土地盤用】（3本柱も同じ要領でセットアップを行う）

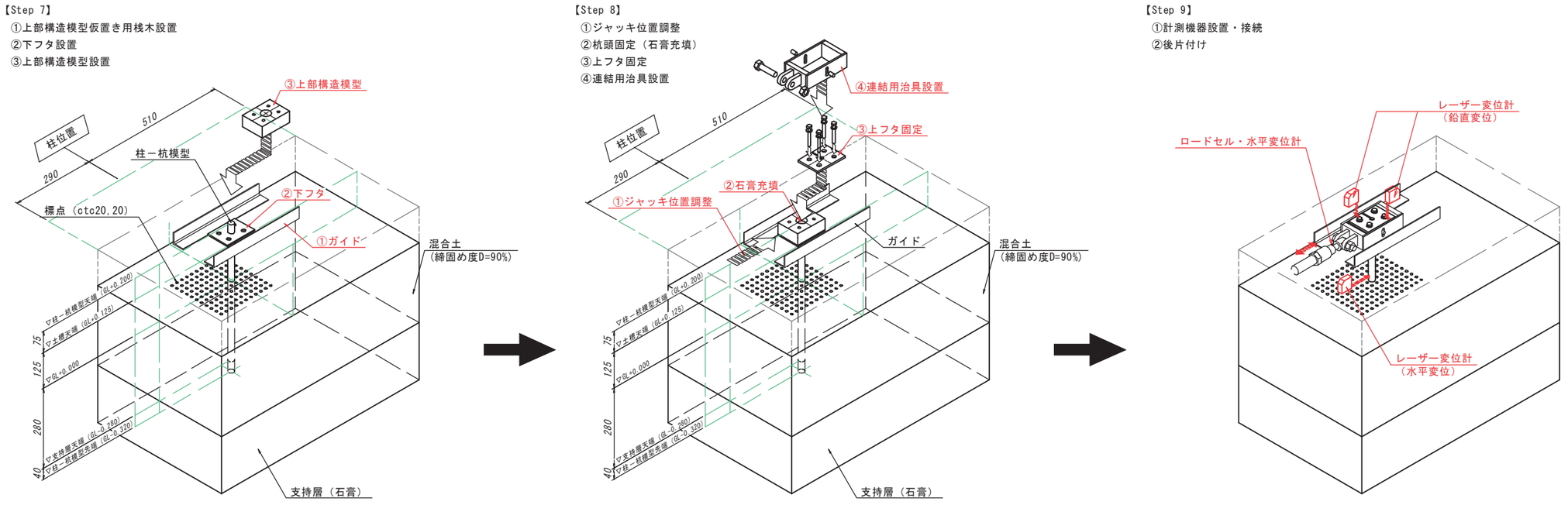


図 3.21　実験供試体セットアップ要領図(3)

3.2 載荷方法

本実験では、下表に示すように、地震外力のような繰返し荷重に対する影響を調べる目的で、載荷型式は正負交番載荷とし、試験方式は多サイクル実験とした[2.4)]。

表 3.13 実験目的と載荷方法

実験目的		載荷方法
主目的	副次要素	
設計耐力の確認	—	1 方向単サイクル
	塑性化・繰返しの影響	1 方向(正負交番)多サイクル
各種設計条件への適用	地盤の塑性化	1 方向多サイクル
	繰返しの影響	正負交番多サイクル

25G の遠心場で、下図に示すような正負交番 3 サイクル繰り返し水平方向載荷を、ジャッキを変位制御することで行った。水平変位は、初期変位$\overline{\delta_{t0}}$を 0.05D とし、計画最大変位をジャッキの最大ストロークに若干の余裕を持たせて 1.25D とした。また、$\overline{\delta_{t0}}$に対する倍率αを 1、2、3、・・・、25 とし、計画最大変位まで漸増載荷させた。初期変位$\overline{\delta_{t0}}$=0.05D は、予備検討[2.5)]で得られた実構造物（鋼；σ_y=235MPa；3 本柱）の初降伏変位であり、あくまでも目安値として設定したものである。

なお載荷速度は、実物大実験における載荷速度（=計画最大変位/8(mm/min)以下[2.3)]；実スケール換算時の計画最大変位 1.25D=625mm；**第 3 編**で詳述するように、速度に関する相似率は 1 である）ならびに実験にかかる所要時間を勘案し、0.5mm/sec とした。またピーク保持時間は、データサンプリング周波数（=0.5Hz）より 2sec とした。

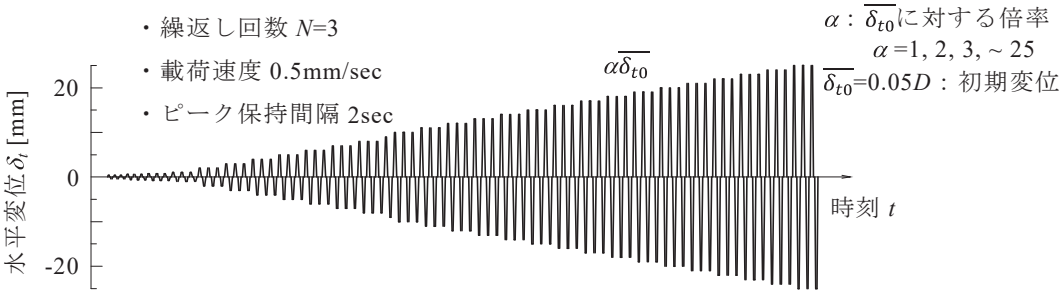


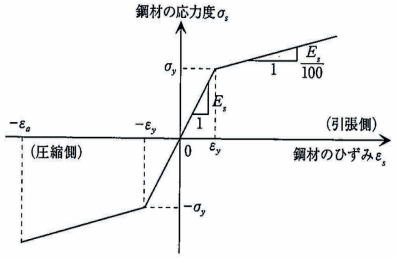
図 3.22 載荷方法(正負交番 3 サイクル繰返し水平載荷)

＜初降伏変位$\overline{\delta_{t0}}$=0.05D＞

予備検討[2.5)]では、実験モデル（実物スケール）を対象とした解析モデルに対し、水平方向のプッシュオーバー解析を行った。図 3.23 に解析モデルの概要を示す。解析モデルは道路橋示方書を基本とした既往の知見に基づいて定めた。鋼管の応力ひずみ曲線は同図中に示す通りである。このとき、鋼管が降伏ひずみに達する過程を分析し、鋼管のひずみが降伏ひずみに達する上部構造の変位を初降伏変位$\overline{\delta_{t0}}$とした。

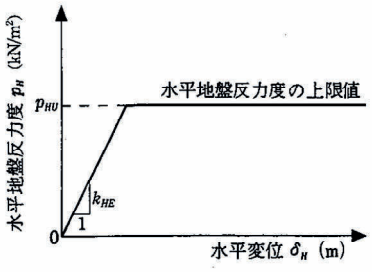
また予備検討[2.6)]では、本研究対象範囲における鋼管や地盤の剛性、受働土圧強度のばらつきなどを考慮してパラメトリック解析を実施した。図 3.24 に地盤の N 値を 30 と仮定し，地盤の粘着力 C=10kN/m^2、100kN/m^2 とした時の解析結果（水平力－変位関係）を示す。鋼管は①中央の柱頭部、②右側（押込側）の柱頭部、③左側（引抜側）の柱頭部、④右側（押込側）の地中部の順に降伏に達し、中央の柱頭部が降伏に達した時の上部構造の変位（初降伏変位）は約 25mm であり、これは鋼管直径 500mm の約 5%に相当した。いずれのケースにおいても初降伏変位は 25mm～50mm 程度であったことから、初降伏変位は$\overline{\delta_{t0}}$=0.05D と仮定し、上述の通り載荷方法を決定した。

【鋼材の応力ひずみ曲線】

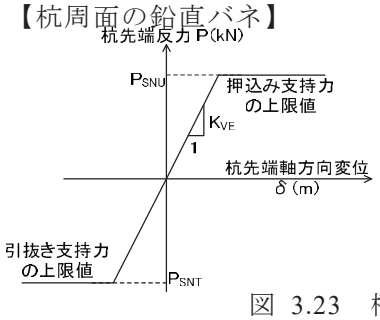


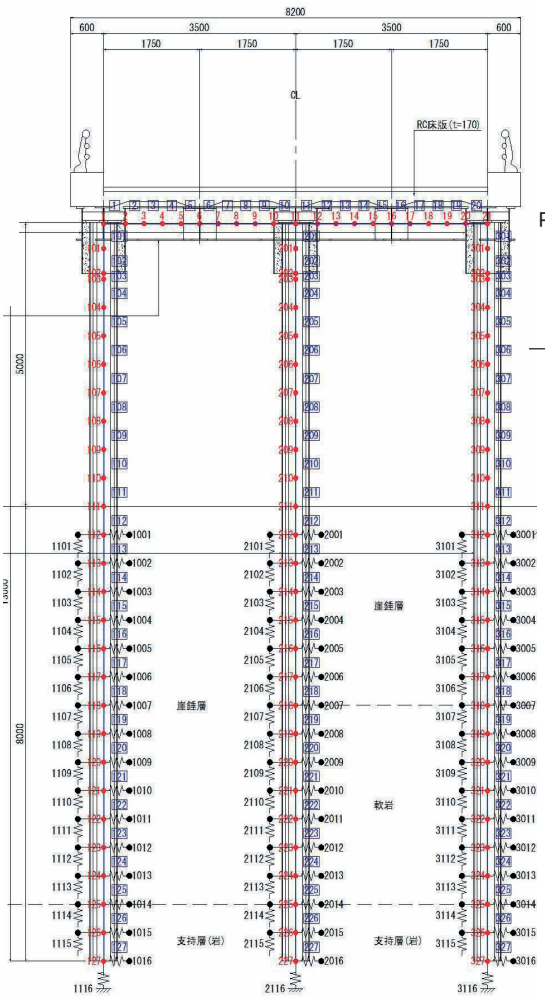
鋼材の応力度-ひずみ曲線は道示Ⅴ11.4 より引用。ファイバーモデルの材料情報として入力

【杭周面の水平バネ】

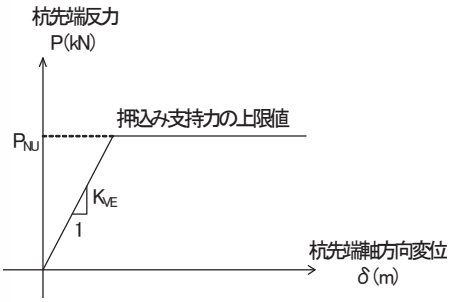


【杭周面の鉛直バネ】

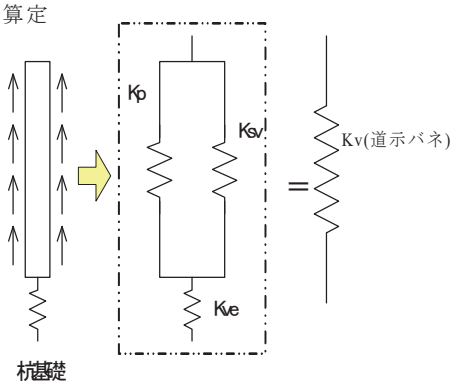




【杭先端の鉛直バネ】



杭先端の鉛直バネ Kve は、下図の関係が成り立つとして、フックの法則より算定



$$Kve = \frac{Kv(Kp + Ksv)}{Kp + Ksv - Kv}$$

図 3.23　橋軸直角方向の解析モデルと部材の履歴特性（実スケール）

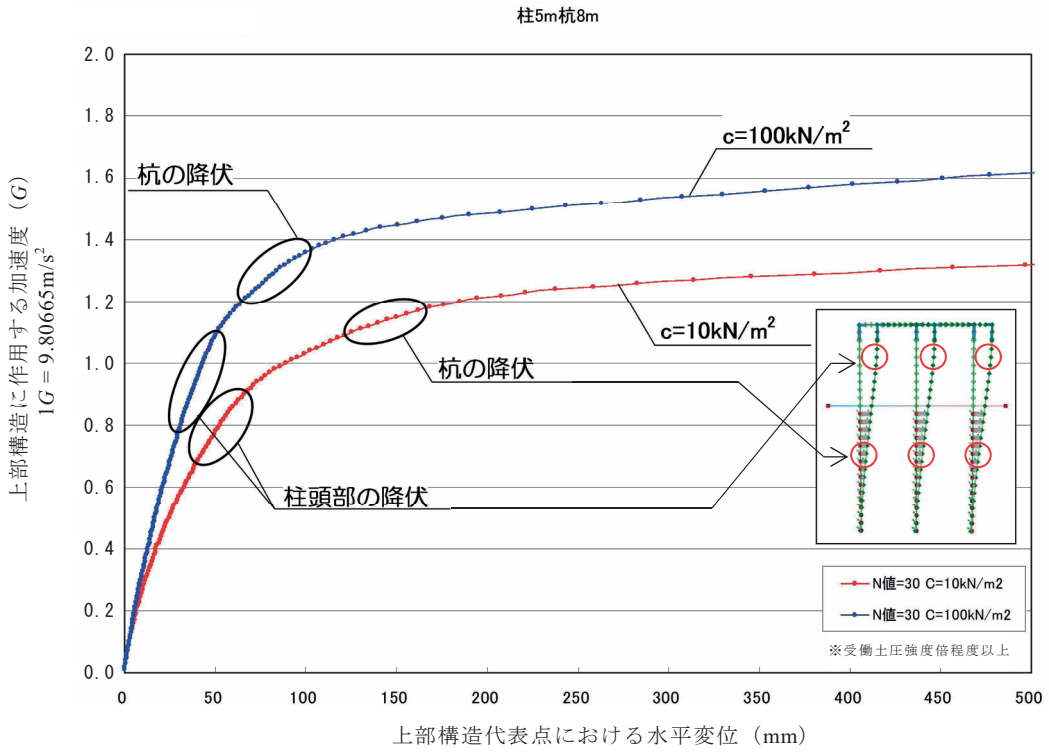


図 3.24　上部構造位置における水平力－変位関係（実スケール）

3.3　計測項目

載荷試験で計測する項目は、以下の通りである。計測チャンネル数とロガーの仕様から、データサンプリングは 2sec 間隔で行った．そのため、前項に示した載荷波形では、ピーク時と除荷時に 2sec 以上の保持時間を設けた。

計測位置図を図 3.25 および図 3.26 にそれぞれ示す。

① 載荷点水平力 P
② 載荷点水平変位 δ_t
③ 地際部水平変位 δ_g（3 本柱の場合は、左杭および右杭の地際部変位）
④ 上部構造模型鉛直変位 δ_v（2 箇所）
⑤ 柱－杭模型のひずみ ε_{Ai} および ε_{Bi}
　添え字 $_A$ および $_B$：ジャッキ反対側およびジャッキ側のひずみ
　添え字 $_i$：計測断面番号（上部から i = 1、2、・・・12）
⑥ 試験前後の地表面相対変位

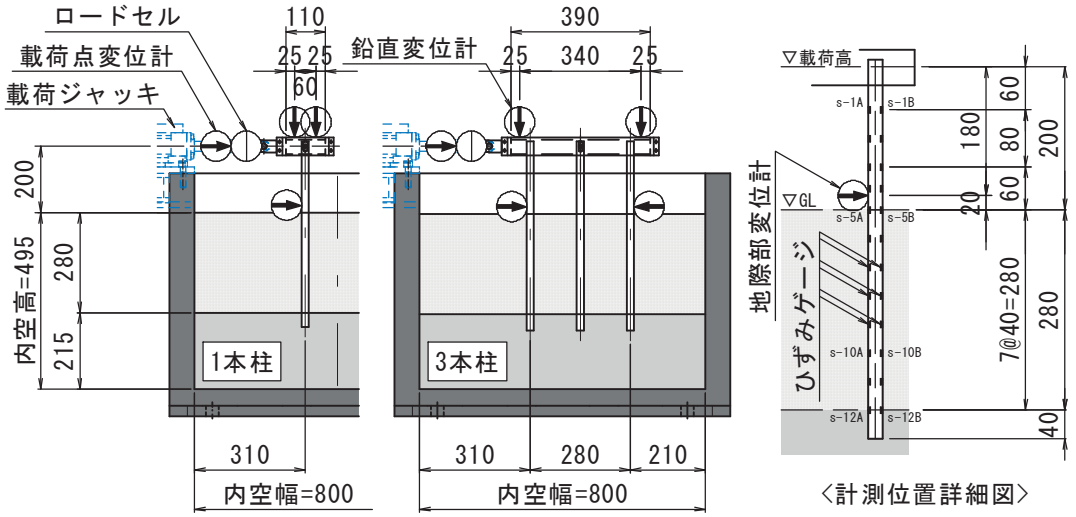
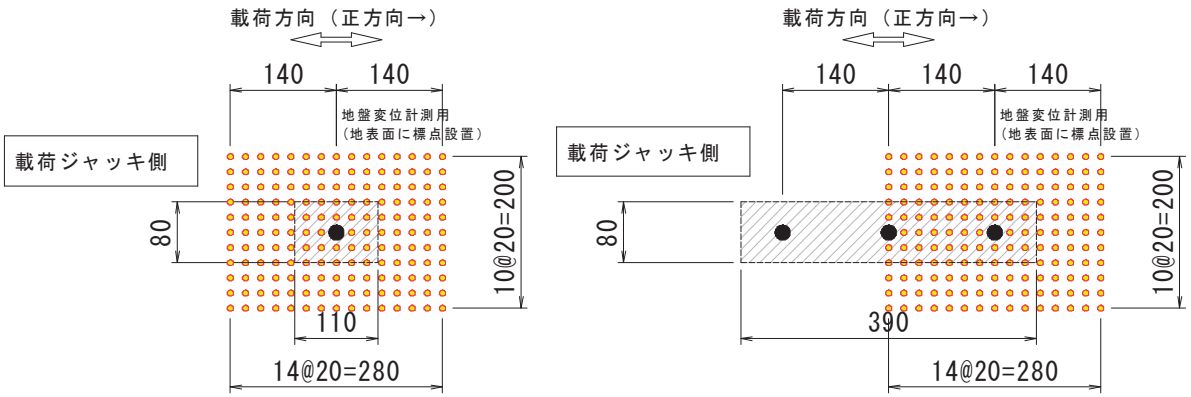


図 3.25　1 本柱および 3 本柱のケースにおける載荷試験計測項目



(a)1 本柱の場合　　(b)3 本柱の場合

図 3.26　標点設置位置図

3.4 実験要領図

次頁以降に各ケースにおける実験要領図(1)～(4)を添付する。

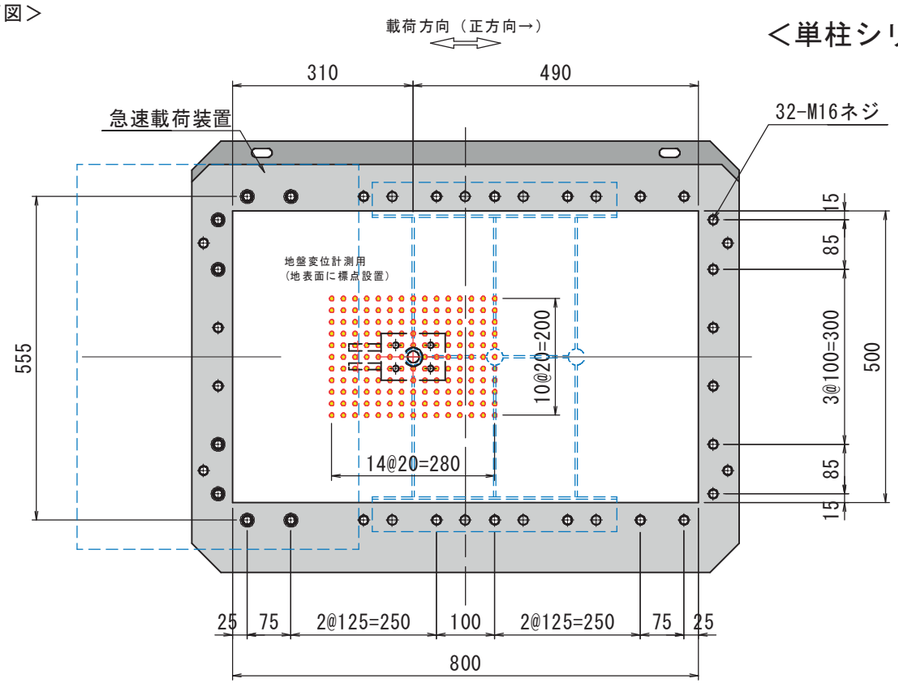
実験要領図に示された計測機器の記号は下表のとおりとする。

表 3.14　各計測記録および計測器記号

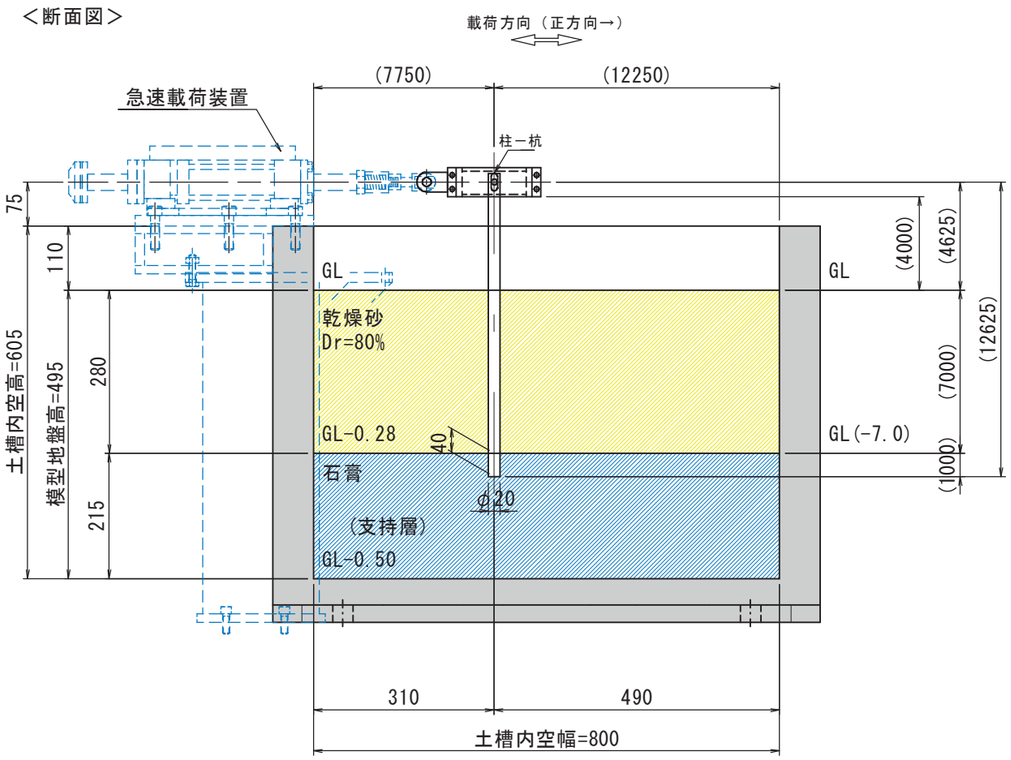
項目	記号
載荷点水平力	*Lc-Hx*
載荷点水平変位	*D-H*1
地位際部水平変位	*D-H*3
上部構造模型鉛直変位	*D-V*1,2
柱－杭模型のひずみ	*S-nA,B*

＜単柱シリーズ：S1-5-1改＞

＜平面図＞

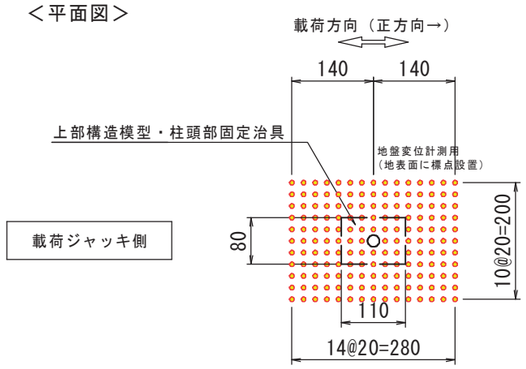


＜断面図＞

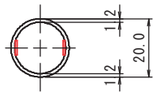


計測位置詳細図

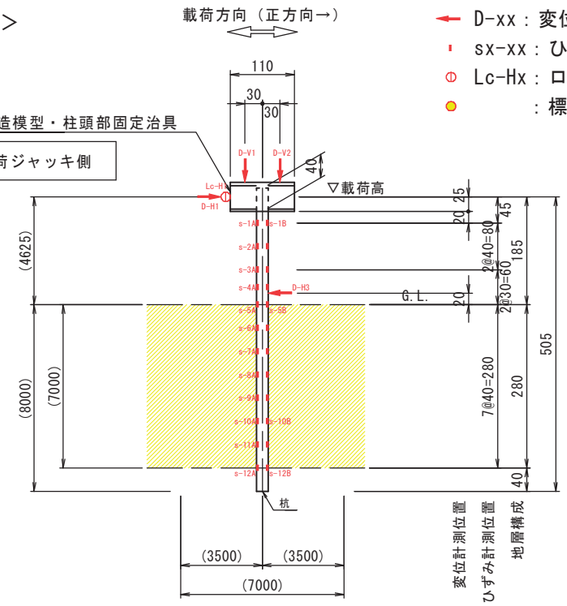
＜平面図＞



柱－杭模型断面図　S=1:2

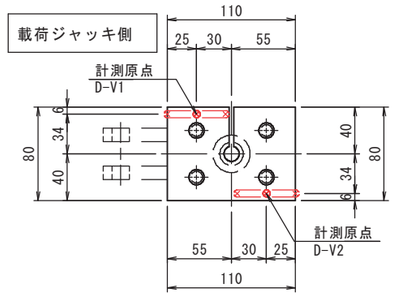


＜断面図＞



- D-xx：変位計
- sx-xx：ひずみゲージ
- Lc-Hx：ロードセル
- ：標点

鉛直変位計測位置図　S=1:5



載荷パターン図

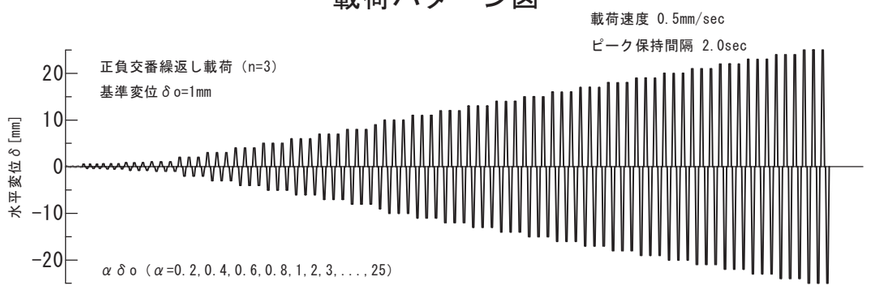
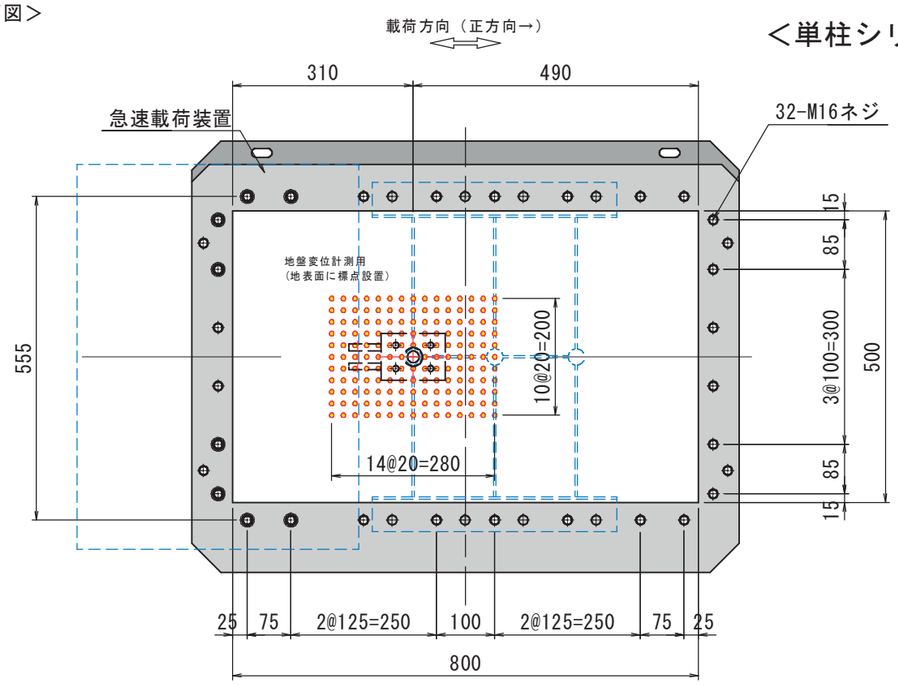
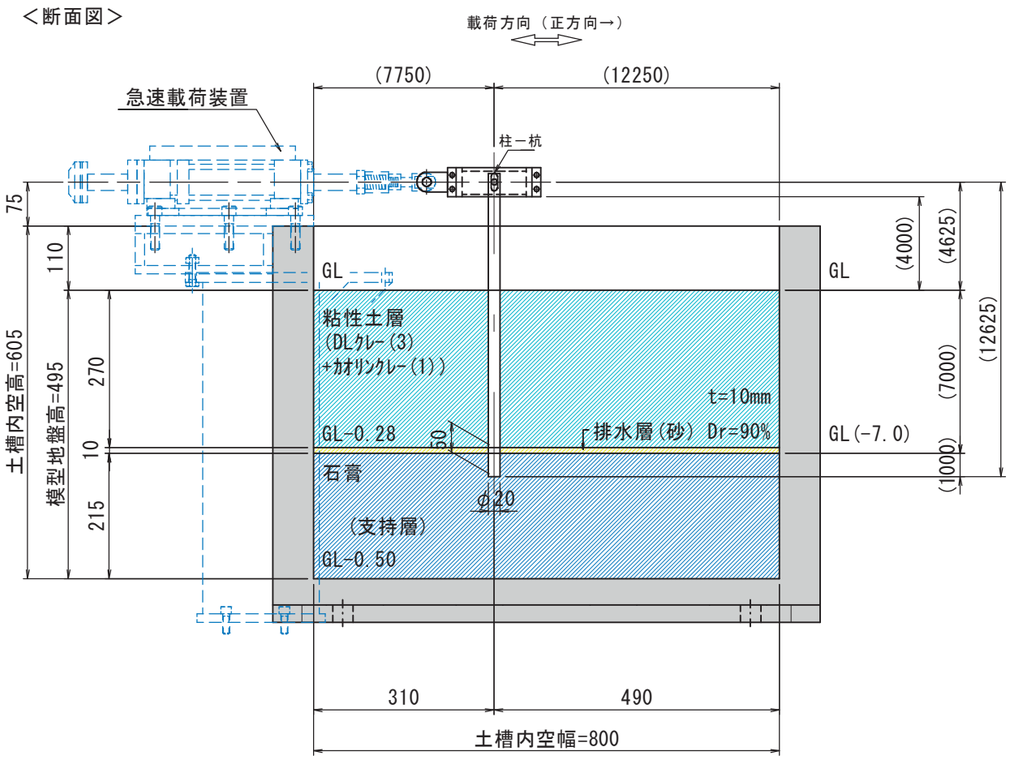


図 3.27　中型遠心実験要領図(1)

＜平面図＞



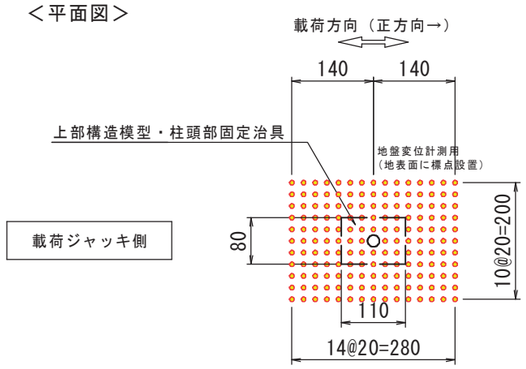
＜断面図＞



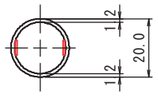
＜単柱シリーズ：C1-5-1改＞

計測位置詳細図

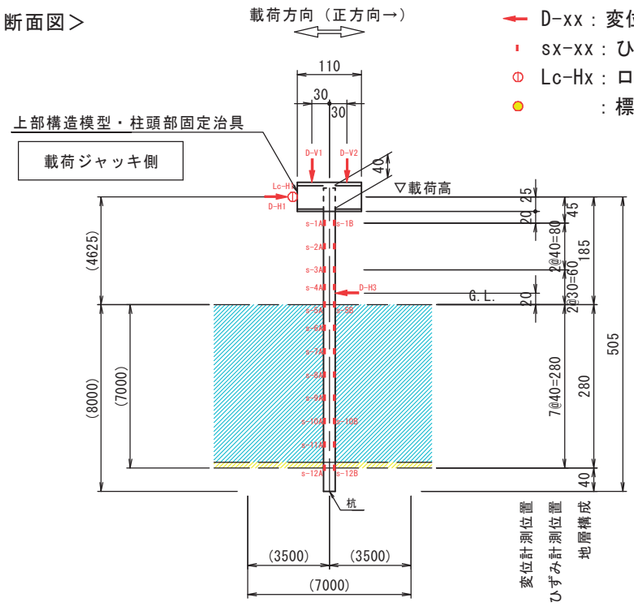
＜平面図＞



柱－杭模型断面図　S=1:2

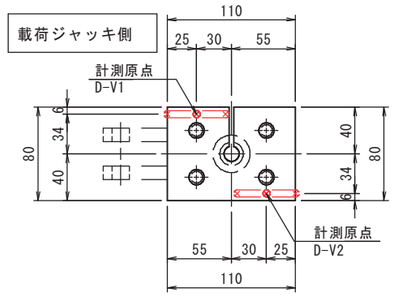


＜断面図＞



- D-xx：変位計
- sx-xx：ひずみゲージ
- Lc-Hx：ロードセル
- ：標点

鉛直変位計測位置図　S=1:5



載荷パターン図

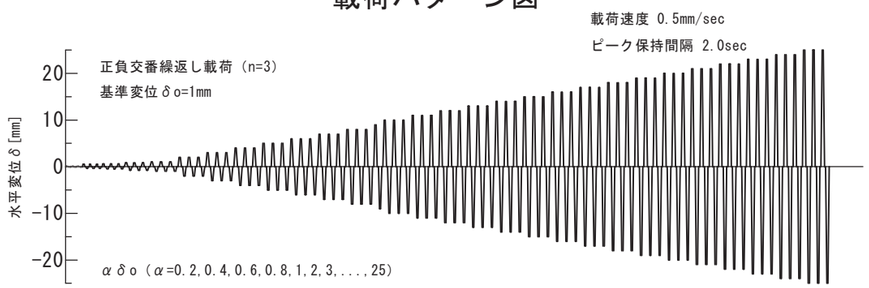
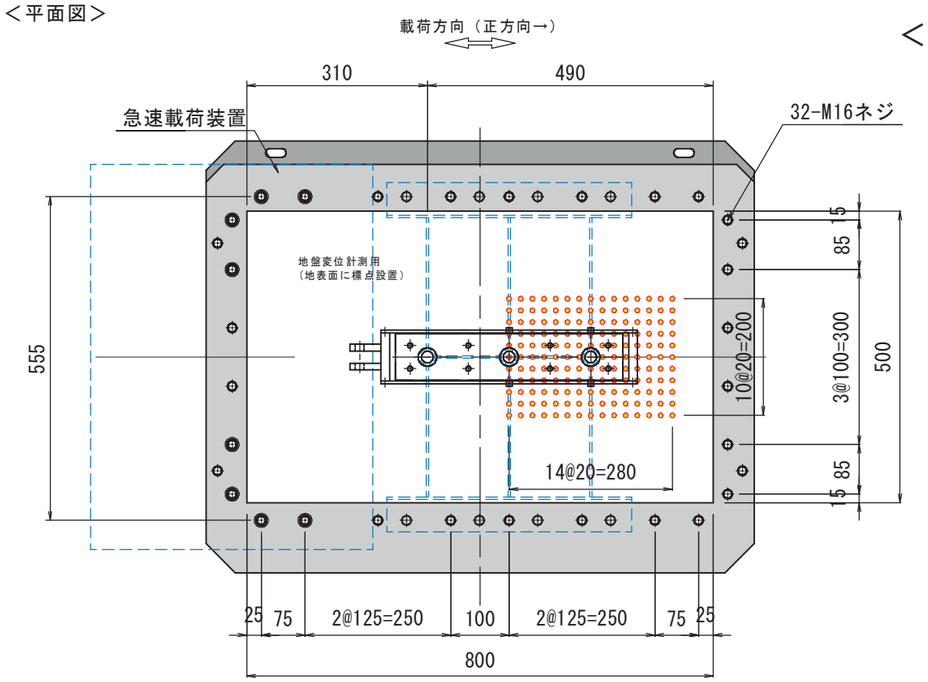
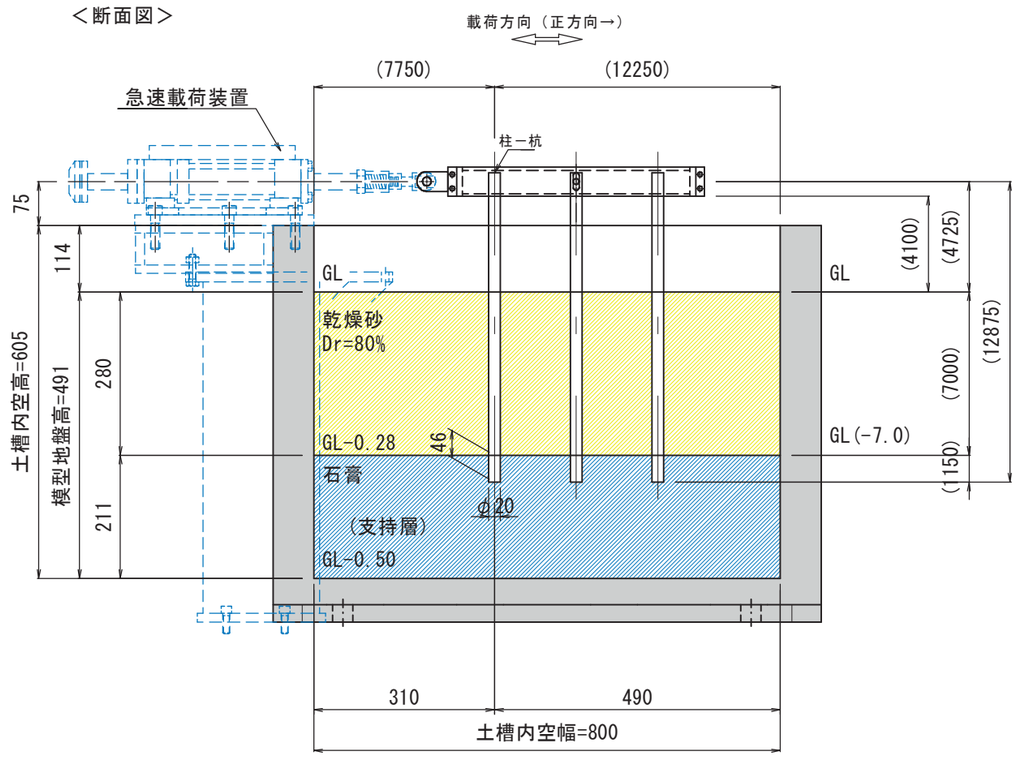


図 3.28　中型遠心実験要領図(2)

＜平面図＞



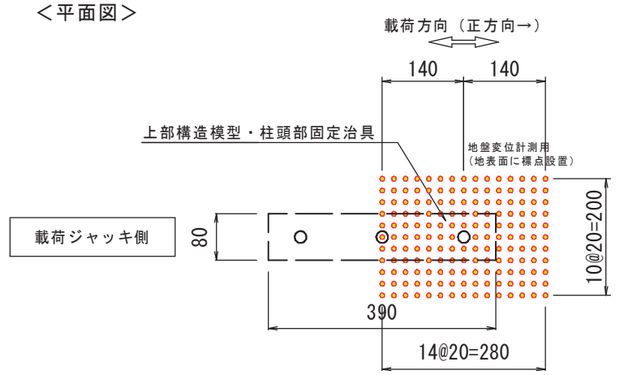
＜断面図＞



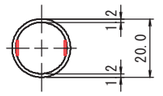
＜3本柱シリーズ：S1-5-3改＞

計測位置詳細図

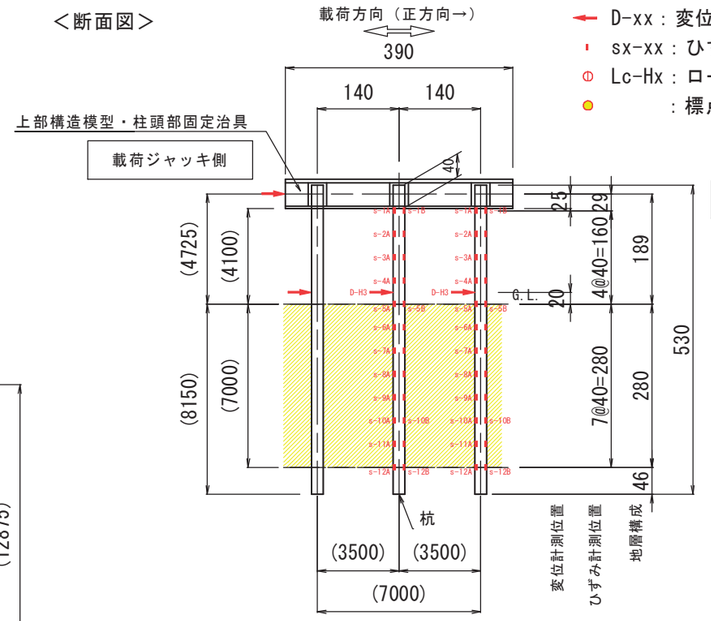
＜平面図＞



柱－杭模型断面図 S=1:2

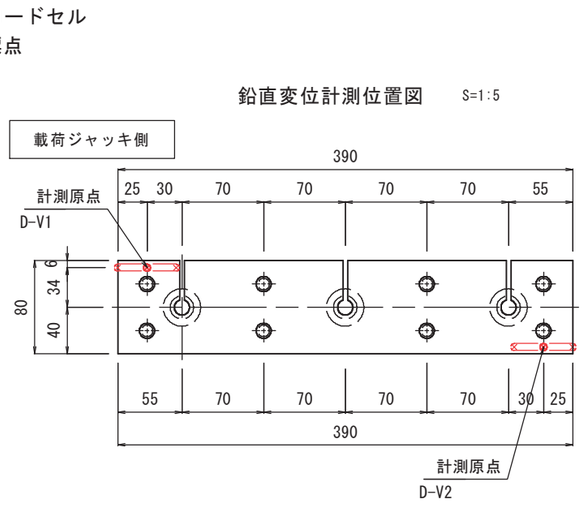


＜断面図＞



D-xx：変位計
sx-xx：ひずみゲージ
Lc-Hx：ロードセル
：標点

鉛直変位計測位置図 S=1:5



載荷パターン図

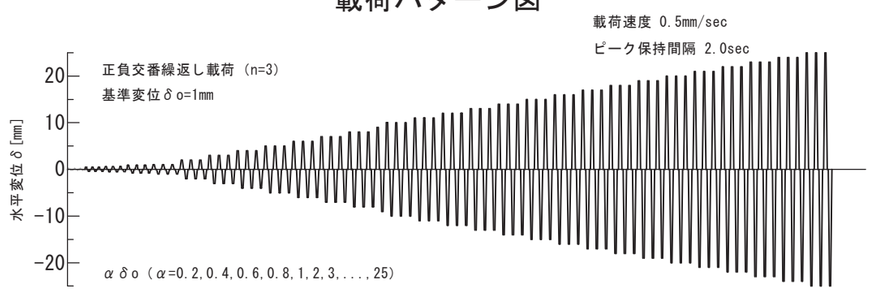
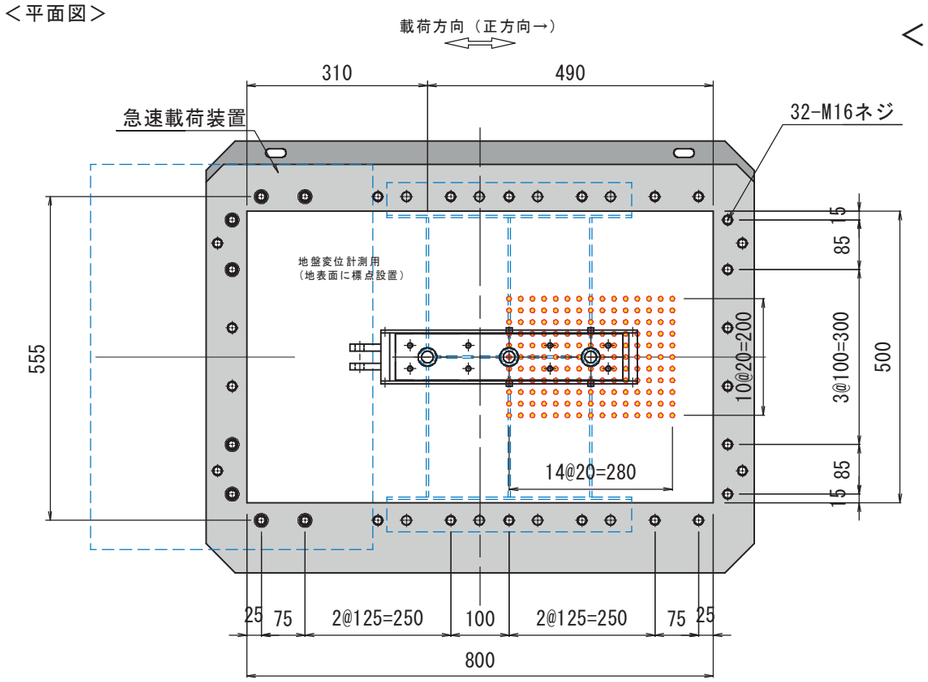
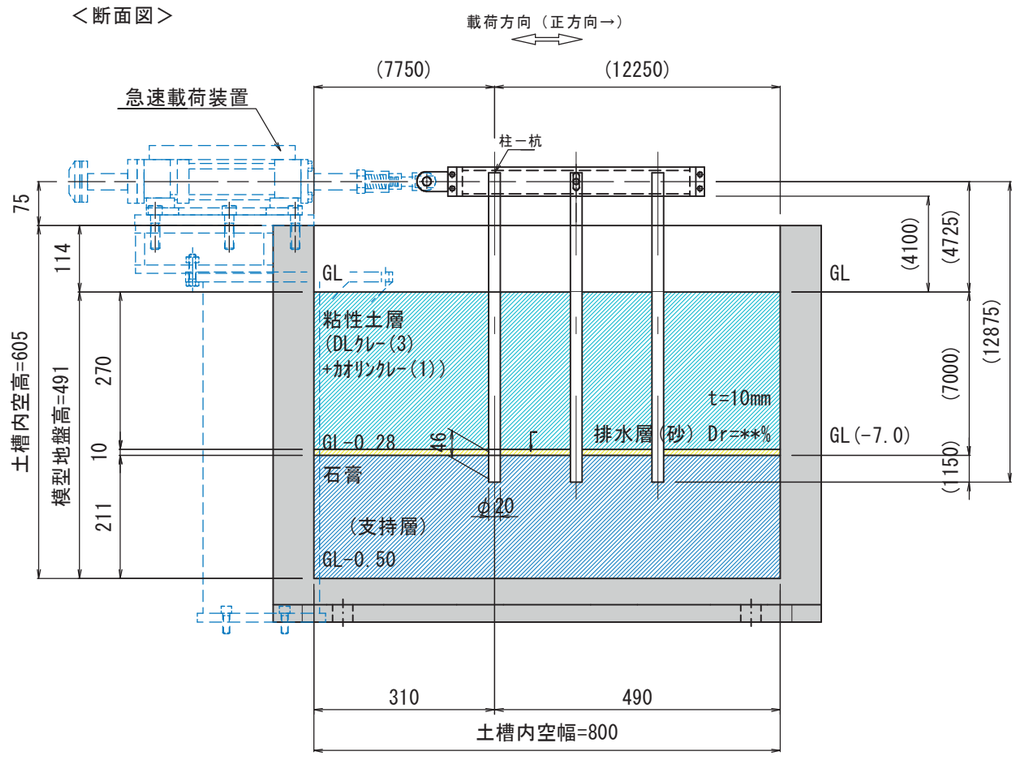


図 3.29　中型遠心実験要領図(3)

＜平面図＞



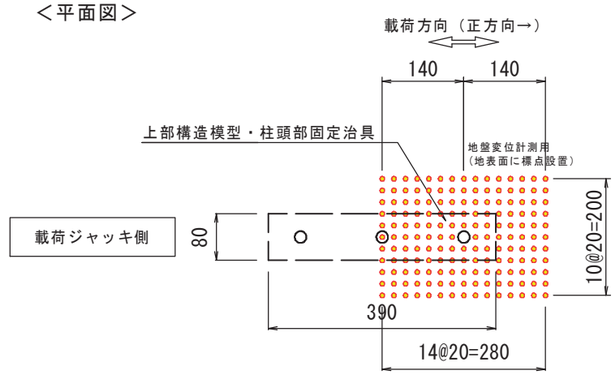
＜断面図＞



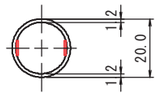
＜3本柱シリーズ：C1-5-3改＞

計測位置詳細図

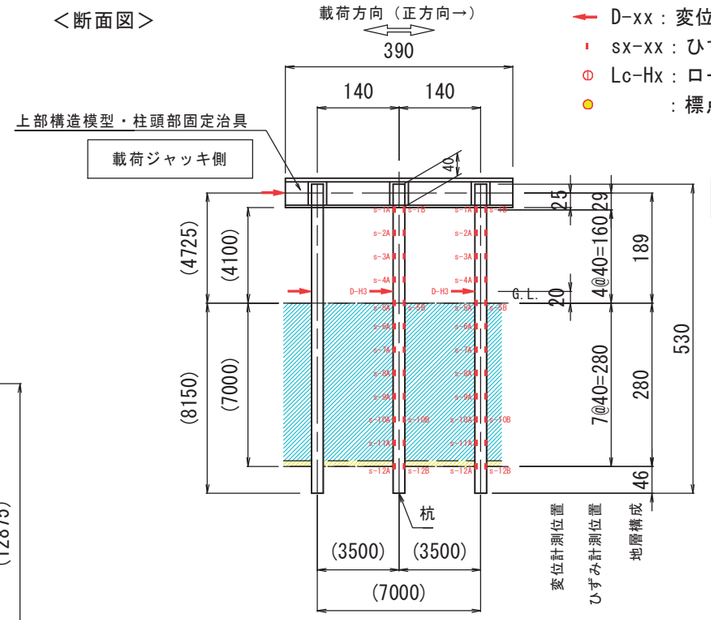
＜平面図＞



柱－杭模型断面図 S=1:2

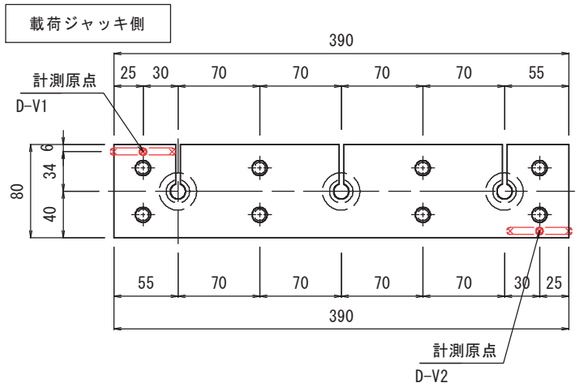


＜断面図＞



D-xx：変位計
sx-xx：ひずみゲージ
Lc-Hx：ロードセル
：標点

鉛直変位計測位置図 S=1:5



載荷パターン図

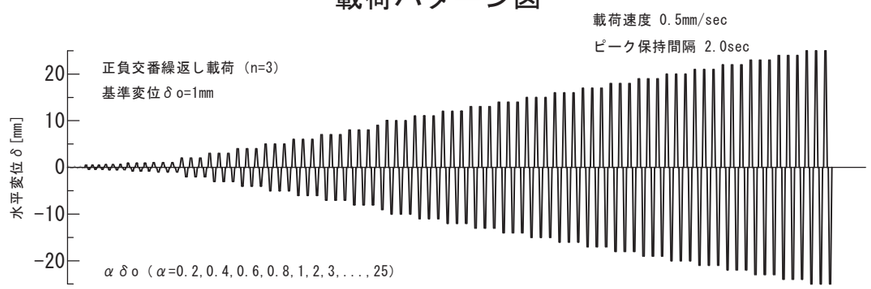


図 3.30　中型遠心実験要領図(4)

4. データ処理方法

4.1 一般事項

計測結果およびデータ処理に関わる諸物理量について、記号とその正負の向きについて下表にまとめて示す。

表 4.1 各計測記録および諸物理量の符号

項目	記号	符号
水平荷重	P	ジャッキ加力方向がプラス
柱頭部の外力としてのモーメント	M_t	ジャッキ側が引張になる方向がプラス
柱－杭の内力としてモーメント	M	ジャッキ側が引張になる方向がマイナス
柱－杭の軸力	N	圧縮がマイナス、引張がプラス
地盤反力度	$\overline{p}$	ジャッキ側から作用する力がマイナス
地盤反力	p	同　上
地表面からの深度	z	地表面をゼロ、下方がプラス
柱－杭の水平変位 　載荷点変位 　地際部変位（GL+1.0D）	δ δ_t δ_g	ジャッキ加力方向がプラス 同　上 同　上
上部構造模型の鉛直変位	δ_{vt}	上方がプラス、下方がマイナス
地表面（標点）相対変位	－	鉛直上向きをプラス ジャッキ加力水平方向をプラス 直交方向は右手座標系に準じる
柱－杭のたわみ（変位）	y	ジャッキ加力方向がプラス
柱－杭のひずみ	ε	圧縮がマイナス、引張がプラス

・地盤の高さは載荷の進行に伴い変動するが、初期地盤高を常に $GL \pm 0$ として参照する。
・各計測値は、実験前にキャリブレーションを実施した後、重力場（遠心力載荷前）においてゼロセットした。したがって、柱－杭のひずみには遠心場での上部構造模型（固定治具）自重載荷による影響も含まれる。

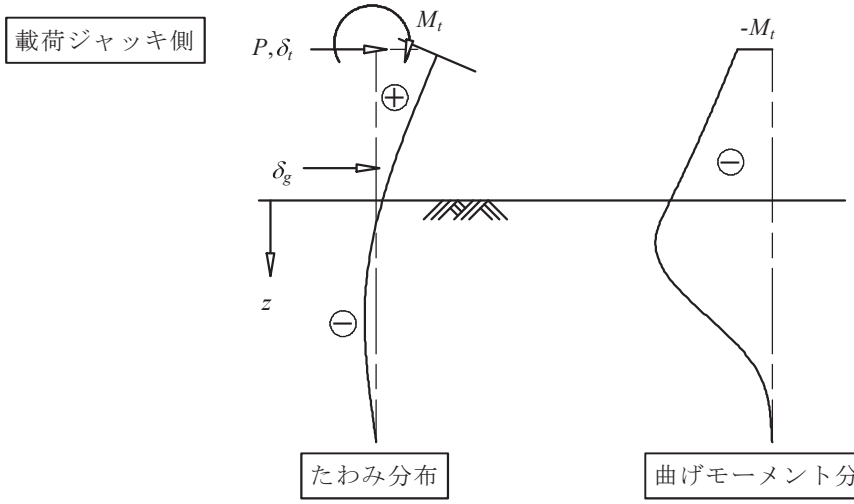


図 4.1 外力、たわみおよび曲げモーメントの符号の向き（概念図）

4.2　計測データの補正

4.2.1　載荷ジャッキによる計測値の補正

ジャッキ制御システムの仕様[2.2)]により、模型とジャッキの連結状況によっては出力値がゼロからのスタートにならない。また、ジャッキと連結治具ならびに連結治具と固定治具の結合はピン挿入により行ったが、実際にはピン孔の直径をピン径+0.2mm としている（ピンが挿入できないため）。さらに模型の製作誤差も考慮すれば、載荷ジャッキで計測した水平荷重と変位についてはゼロ補正と遊びの補正がそれぞれ必要である。

以下に補正手順を示す。

①荷重および変位計測結果よりピーク値を抽出し、荷重－変位関係が線形となる比較的小さい変位（ここでは、$\delta_t \leqq 1$mm）における計測値をサンプリングする。

②上記①でサンプリングした荷重と変位の平均値をとり、ゼロ補正を行う。

③ゼロ補正終了後のピーク値について、同じく小さい変位の数点をサンプリングし、線形補間して初期勾配を得る（図中、赤破線）。

④上記③で求めた赤破線が P=0 の軸と交わる点を、それぞれ正側・負側の“遊び量”として補正する。

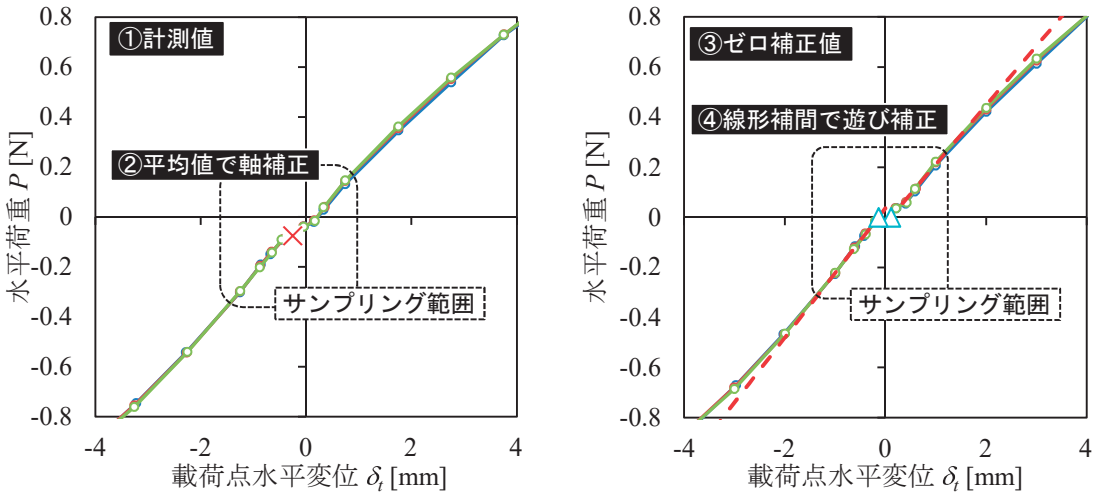


図 4.2　載荷ジャッキによる計測値の補正の例

4.2.2　ひずみゲージの異常値の取り扱い

載荷実験の進行に伴い、値が変化しないひずみ計測値（異常値）がいくつかあった。これらについては、上下断面のひずみ計測値を多項近似式により補間した。異常値を示したゲージ位置は、**参考資料 A3** に示す。なお、これらのゲージが異常値を示した原因は不明である。

4.3　地際部における残留変位の算定

模型地盤の弾性限界を判断するための残留変位は、水平荷重 P と地際部変位 δ_g の関係より、各載荷段階での除荷時の δ_g（$=\delta_{gr}$ と称す）として求める。本載荷実験は“変位制御”により実行したため、除荷時変位は以下の通り $P-\delta_g$ 履歴曲線が P=0 の軸と交差する点の変位として求める。実際には、P=0 点には計測値が無いため、多項近似式により補間することで求めた。

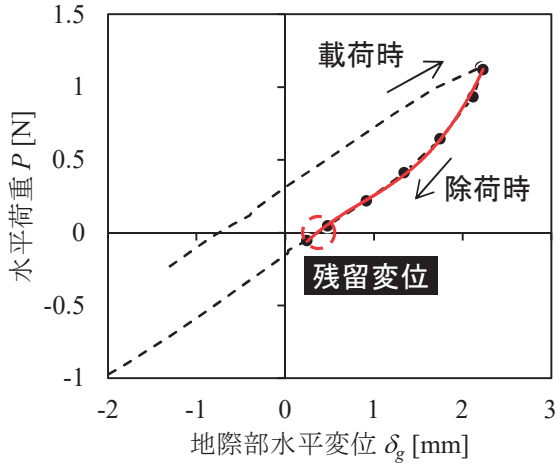


図 4.3　多項近似式補間による地際部における残留変位 δ_{gr} の算出の例

4.4　放物線近似による諸物理量の算出

柱－杭におけるたわみ角θ、たわみ（水平変位）y、曲げモーメントM、せん断力Qおよび水平地盤反力pの算出は、計測した柱－杭のひずみ分布から文献2.7)で提案された方法に基づき行う。

4.4.1　たわみ角およびたわみの分布

各深度で得られた軸ひずみ分布より、着目断面iにおける軸ひずみε_{Ni}を次式により求める。

$$\varepsilon_{Ni}=\frac{\varepsilon_{Ai}+\varepsilon_{Bi}}{2} \quad \text{----------} \quad (4.1)$$

ここで、　ε_{Ai}：断面iにおけるジャッキ側の計測ひずみ（μ）

ε_{Bi}：断面iにおけるジャッキ反対側の計測ひずみ（μ）

断面iにおける曲率ϕ_iは、ひずみゲージがアルミ管内面に貼り付けられていることを考慮して、式(4.2)により表される。

$$\phi_i=\frac{2(\varepsilon_{Ai}-\varepsilon_{Ni})}{D-2t} \quad \text{----------} \quad (4.2)$$

ここに、　D：柱－杭模型の外径（=20mm）

t：柱－杭模型の板厚（=1.2mm）

ある区間の曲率ϕが式(4.3)の放物線で表されるものと仮定し、未定係数a、bおよびcを3つの連続した断面の曲率ϕ_{i-1}、ϕ_iおよびϕ_{i+1}からまず決定する（図 4.4）。

$$\phi=az^2+bz+c \quad \text{----------} \quad (4.3)$$

ここに、　z：地表面からの深度(mm)

$$\boldsymbol{\varphi}=\mathbf{A}\cdot\mathbf{z}\ 、\ \begin{Bmatrix}\phi_{i-1}\\ \phi_i\\ \phi_{i+1}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}a\\ b\\ c\end{Bmatrix}\begin{bmatrix}z_{i-1}{}^2 & z_{i-1} & 1\\ z_i^2 & z_i & 1\\ z_{i+1}{}^2 & z_{i+1} & 1\end{bmatrix} \quad \text{----------} \quad (4.4)$$

ここに、　$\boldsymbol{\varphi}$：着目する3断面の曲率ベクトル

$\mathbf{A}$：未定係数ベクトル

$\mathbf{z}$：着目する3断面のzからなるマトリクス

(4.4)式の両辺に$\mathbf{z}^{-1}$を乗じて、

$$\mathbf{A}=\mathbf{z}^{-1}\cdot\boldsymbol{\varphi}\ 、\ \begin{Bmatrix}a\\ b\\ c\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}z_{i-1}{}^2 & z_{i-1} & 1\\ z_i^2 & z_i & 1\\ z_{i+1}{}^2 & z_{i+1} & 1\end{bmatrix}^{-1}\begin{Bmatrix}\phi_{i-1}\\ \phi_i\\ \phi_{i+1}\end{Bmatrix} \quad \text{----------} \quad (4.5)$$

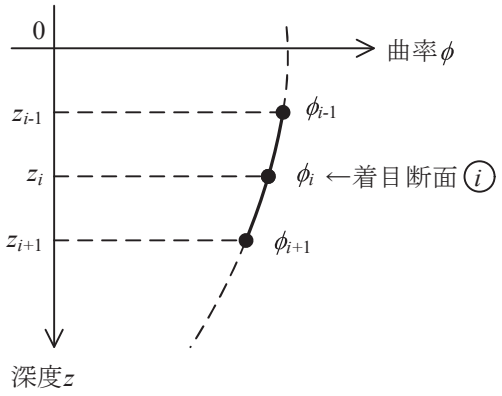


図 4.4　曲率ϕの分布

得られた係数値を式(4.3)に与えて得られる曲率分布から積分によりたわみ角θを求める。さらに水平変位yに対しても同様に操作して解を求める。具体的な手順は、以下に示す通りである。

1）杭先端（n+1 断面）の境界条件として、曲率ϕ_{n+1}=0（曲げモーメントがゼロ）およびたわみ角θ_{n+1}=初期値をそれぞれ仮定する。次に、n+1 と曲率ϕが既知な n 断面間について、曲率ϕが杭軸に沿って直線的に変化すると仮定して、n 断面のたわみ角θ_nを次式により求める。

$$\theta_n = \theta_{n+1} + \phi_n (z_n - z_{n+1})/2 \quad \text{----------} \quad (4.6)$$

2）n 断面より上方のたわみ角θ_{i-1}は、杭先端から上方に向かって曲率ϕを積分することで求める。すなわち、たわみ角が既知の i 断面より 1 つ上の i-1 断面のたわみ角θ_{i-1}は、次式により求める。

$$\theta_{i-1} = \theta_i + \frac{1}{3}a({z_{i-1}}^3 - z_i^3) + \frac{1}{2}b({z_{i-1}}^2 - z_i^2) + c(z_{i-1} - z_i) \quad \text{----------} \quad (4.7)$$

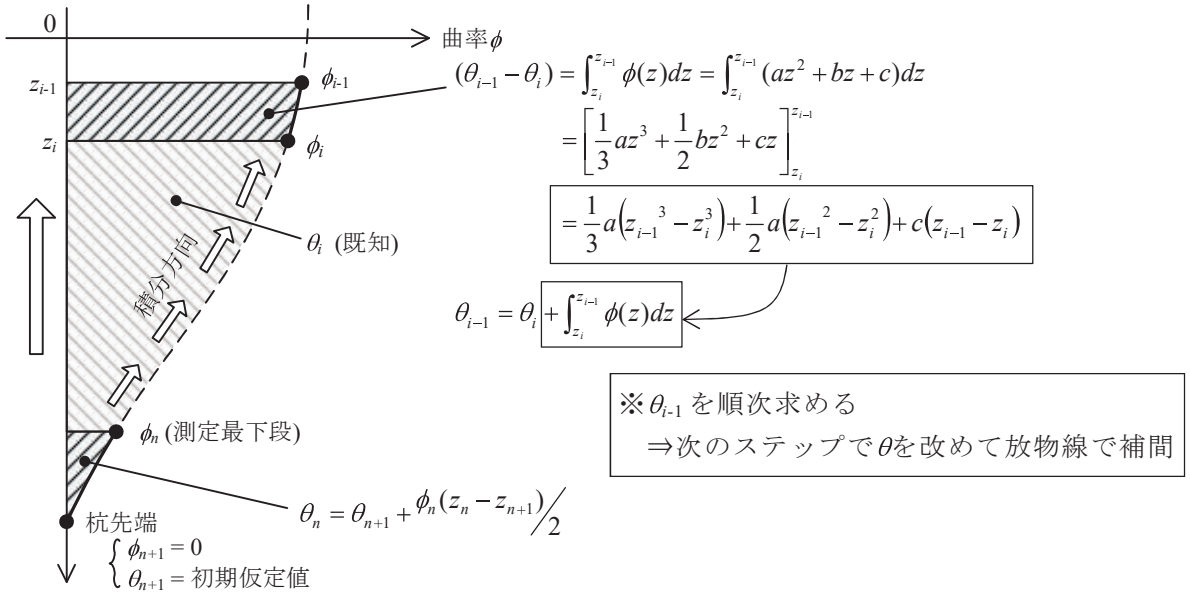


図 4.5　曲率ϕ分布からたわみ角θを算定する方法

3）水平変位 y に関しては、まず２）で得られた各断面の θ に対して、連続する 3 断面間の θ が式(4.8)の放物線で表されるものと仮定して未定係数 A、B および C を決定する。次に、載荷点位置での水平変位を y_0 と置き、式(4.9)を下方の断面へと順次適用して各断面における y をそれぞれ求める。ただし、杭先端の y_{n+1} に関しては、式(4.10)により求める。

$$\theta = Az^2 + Bz + C \quad \text{----------} \quad (4.8)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{3}A(z_{i+1}{}^3 - z_i^3) + \frac{1}{2}B(z_{i+1}{}^2 - z_i^2) + C(z_{i+1} - z_i) \quad \text{----------} \quad (4.9)$$

$$y_{n+1} = y_{n-1} + \frac{1}{3}A(z_{n+1}{}^3 - z_{n-1}{}^3) + \frac{1}{2}B(z_{n+1}{}^2 - z_{n-1}{}^2) + C(z_{n+1} - z_{n-1}) \quad \text{----------} \quad (4.10)$$

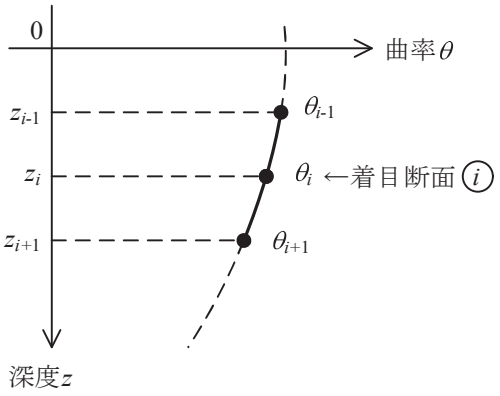


図 4.6　たわみ角 θ の分布

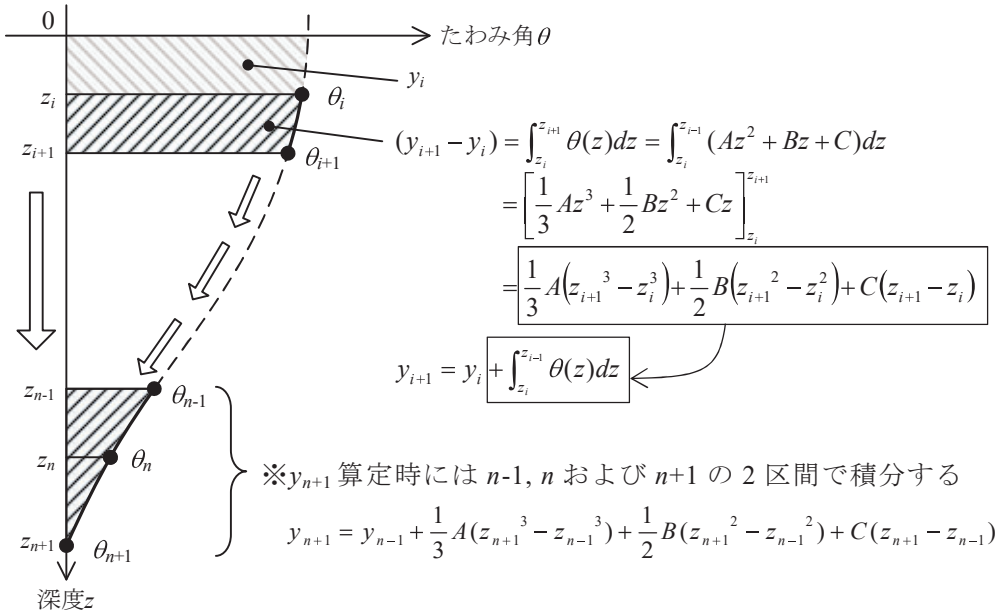


図 4.7　たわみ角 θ 分布からたわみ y を算定する方法

４） １）で仮定したθ_{n+1}を種々変化させて、３）で得られる杭先端の水平変位 y_{n+1} がゼロと見なせる状態を見出す。本検討では、収束判定値としてy_{n+1}<10^{-4}(mm)を与えた。以下に、本手順のフローを示す。

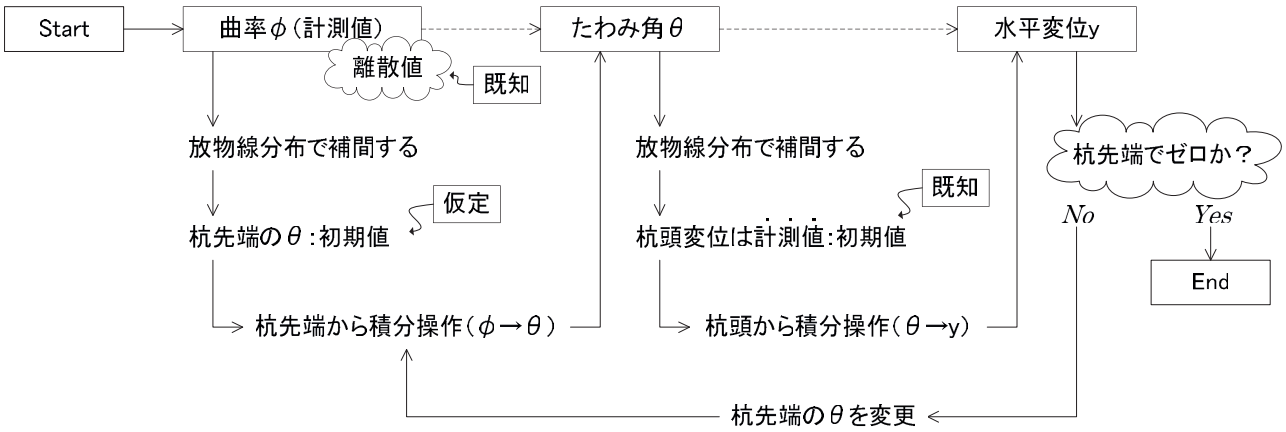


図 4.8　曲率ϕ→たわみ角θ→水平変位 y の算定フロー

4.4.2　曲げモーメント、せん断力および地盤反力の分布

せん断力 Q および地盤反力 p は、曲率ϕに柱－杭の曲げ剛性 EI（E：弾性係数、I：断面二次モーメント）を乗じて算出した曲げモーメントの分布に基づき算定する。すなわち、これまでと同様に連続する 3 断面の M が式(4.11)で表されるものと仮定し、まず未定係数α、βおよびγをそれぞれ算定する。そして、この式の z_i における微分係数値である式(4.12)により i 断面のせん断力 Q_i を求め、順次、下方の断面へと適用する。

$$M = \alpha z^2 + \beta z + \gamma \quad \text{----------(4.11)}$$

$$Q_i = 2\alpha z_i + \beta \quad \text{----------(4.12)}$$

地盤反力 p に関しても、同様の方法にて算定する。

$$Q = \xi z^2 + \psi z + \zeta \quad \text{----------(4.13)}$$

$$p_i = 2\xi z_i + \psi \quad \text{----------(4.14)}$$

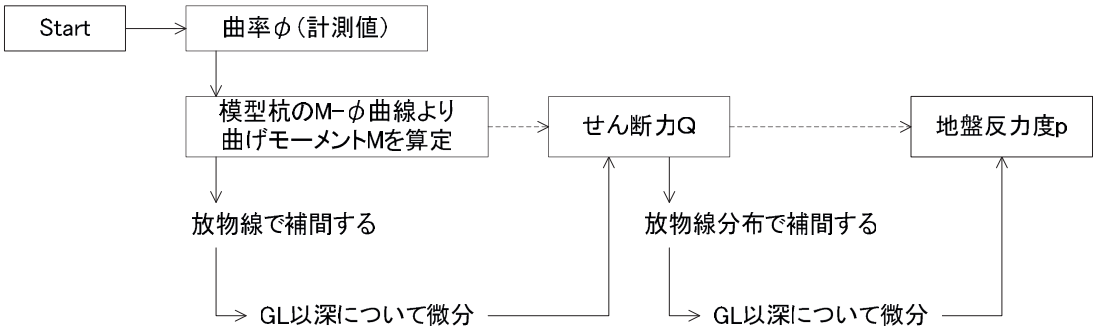


図 4.9　曲率ϕ→曲げモーメント M→せん断力 Q→地盤反力度 p の算定フロー

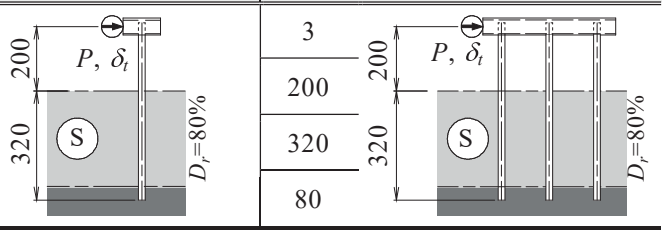
5. 載荷実験結果

5.1　検討ケース一覧

各検討ケースの名称、パラメータ並びに供試体概念図を表 5.1 および 5.2 にそれぞれとりまとめて示す。既述の通り、本実験で対象とする検討ケースは、地質（砂質土、粘性土）および柱本数（1 本、3 本）の組み合わせがそれぞれ異なる都合 4 ケースである。なお本章で記す諸物理量は、特に断りのない限り、いずれも模型スケールでの値を表しており、柱－杭の降伏は引張側あるいは圧縮側の計測ひずみのいずれかが降伏ひずみ（ε_y=3300μ）に達した状態とする。また文中に示す繰り返し載荷回数 n は、図 5.1 に示すように、正負交番 3 サイクル繰り返し載荷の内、正方向および負方向に各々載荷・除荷を行った回数を表す。

表 5.1　砂質土地盤；改良型治具における検討ケース

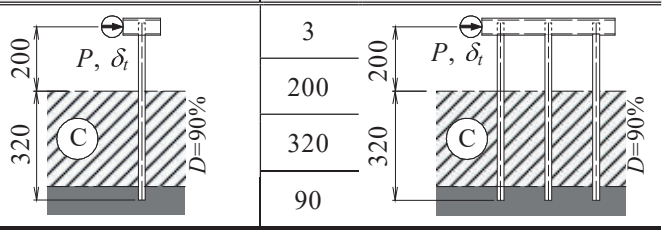
項目		記号	単位	検討ケース	
				名称：S1-5-1 改※	名称：S1-5-3 改※
柱－杭	本数	N	本	1	3
	柱高	h	mm	200	200
	杭長	L	mm	320	320
地盤	相対密度	D_r	%	80	80



※予備実験を踏まえて治具に改良を施したことから、末尾に「改」を付している。

表 5.2　粘性土地盤；改良型治具における検討ケース

項目		記号	単位	検討ケース	
				名称：C1-5-1 改※	名称：C1-5-3 改※
柱－杭	本数	N	本	1	3
	柱高	h	mm	200	200
	杭長	L	mm	320	320
地盤	締固め度	D	%	90	90



※予備実験を踏まえて治具に改良を施したことから、末尾に「改」を付している。

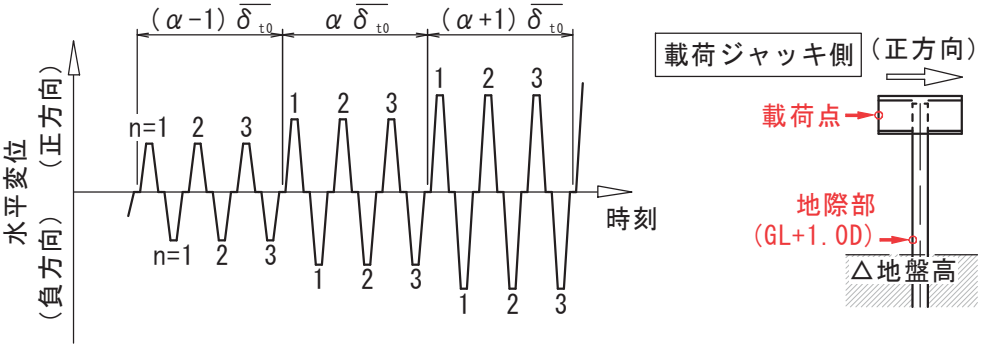


図 5.1　繰り返し載荷回数 n の表し方

5.2　荷重と変位の関係

5.2.1　載荷点における荷重－変位関係

(1) ケース：S1-5-1 改

ケース<S1-5-1 改>における載荷点の水平荷重 P－水平変位δ_t関係を次頁の表 5.3 にとりまとめて示す。左列は、$P-\delta_t$履歴曲線を示しており、正載荷時の第 1 象限および負載荷時の第 3 象限をそれぞれ取り出して図示したものである。また右列は、各載荷ステップにおけるピーク値の包絡線を示したものであり、図中×印は図 5.2 に示す柱－杭の降伏イベントをそれぞれ表す。なお凡例に示す n=1～3 は、繰り返し載荷回数を表す。表より、以下のことがわかる。

① P-δ_t 履歴曲線より、各載荷ステップでピークを迎えた後の除荷時の履歴曲線に着目すると、完全除荷後（P=0）において残留変位が生じており、除荷勾配は原点を指向せずに過去の最大点を指向する様子が見てとれる。

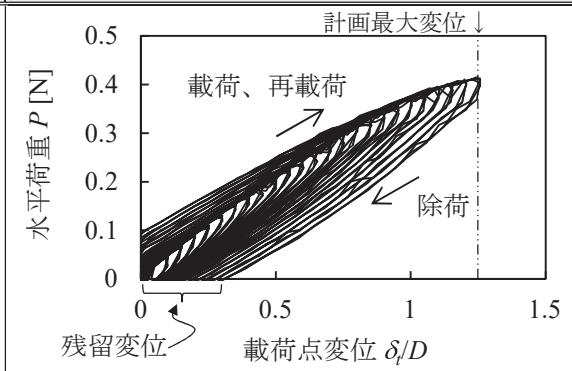
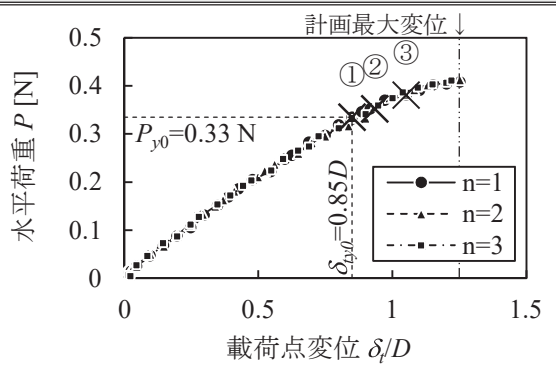
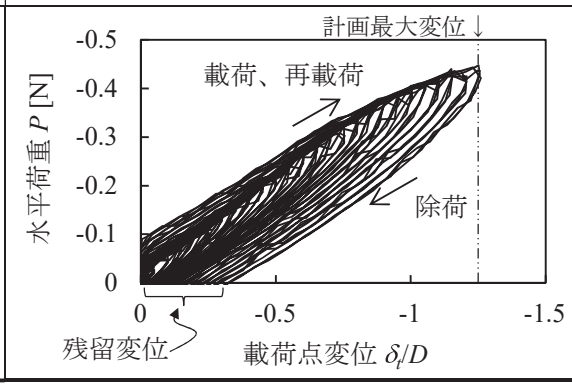
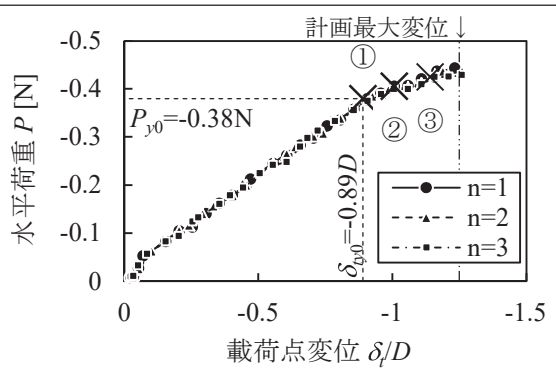
② ピーク値の包絡線より、柱－杭の初降伏は正載荷時および負載荷時ともに地中部（GL-2D）で生じ、その時の（水平荷重 P_{y0}，水平変位δ_{ty0}）は正載荷時と負載荷時でそれぞれ（0.33N，0.85D）および（-0.38N，-0.89D）である。

③ 水平荷重のピーク値は、初降伏の後、計画最大変位（1.25D）においてもなお最大値を保持している。

④ 表中、●、▲および■で表す n=1～3 の各ピーク値の包絡線に着目すると、いずれの線も重なっており、実験開始から終了まで多サイクル繰り返し載荷の影響による荷重低下はほとんど見られない。

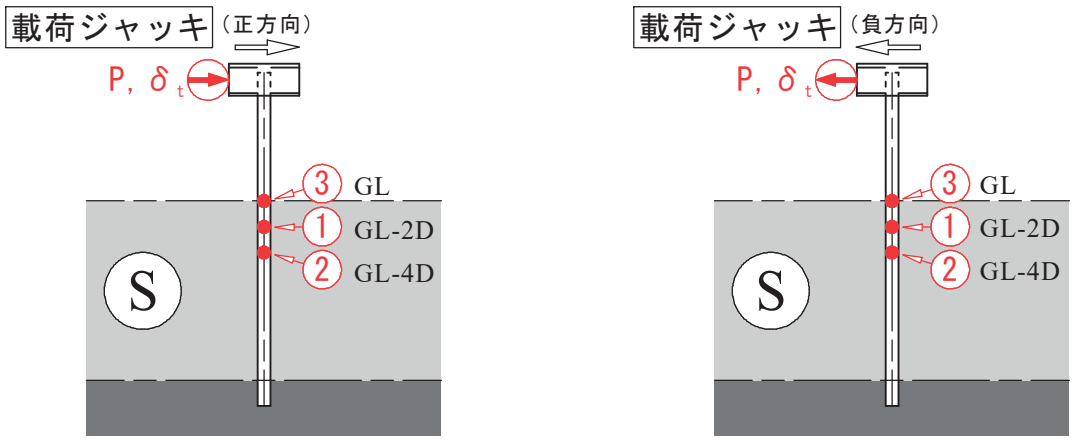
⑤ 正載荷時と負載荷時で履歴曲線の形状に大きな違いは見られない。

表 5.3　<S1-5-1 改>における載荷点の水平荷重 P－変位 δ_t 関係

	$P-\delta_t$ 履歴曲線	ピーク値の包絡線※
正載荷時		
負載荷時		

※表中×印：図 5.2 に示す柱－杭の降伏イベントを表す（数字は降伏順序）.

P_{y0}、δ_{ty0}：柱－杭の初降伏を表す.



(a) 正載荷時　　(b) 負載荷時

図 5.2　<S1-5-1 改>における柱－杭の降伏箇所および降伏順序（図中丸数字：降伏順序）

(2) ケース：S1-5-3 改

ケース<S1-5-3 改>における載荷点の $P-\delta_t$ 関係を表 5.4 にとりまとめて示す。また、正載荷時および負載荷時における柱－杭の降伏箇所および降伏順序をそれぞれ図 5.3 に示す。これらの結果から、以下のことがわかる。

① P-δ_t 履歴曲線より、各載荷ステップでピークを迎えた後の除荷時の履歴曲線に着目すると、完全除荷後（P=0）において残留変位が生じており、除荷勾配は原点を指向せずに過去の最大点を指向する様子が見てとれる。

② ピーク値の包絡線より、柱－杭の初降伏は正載荷時および負載荷時においてそれぞれジャッキ反対側および中央の柱頭部で生じ、その時の（P_{y0}，δ_{ty0}）は正載荷時と負載荷時でそれぞれ（1.49N，0.45D）および（-1.61N，-0.44D）である。

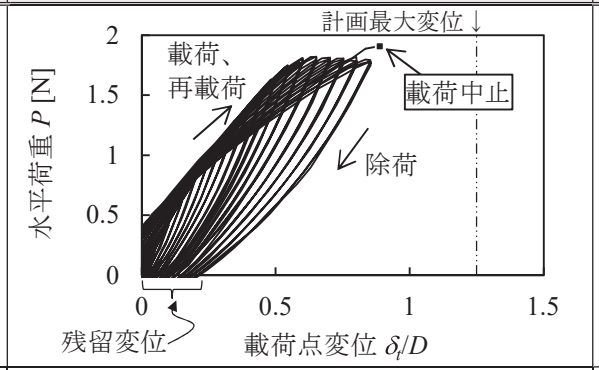
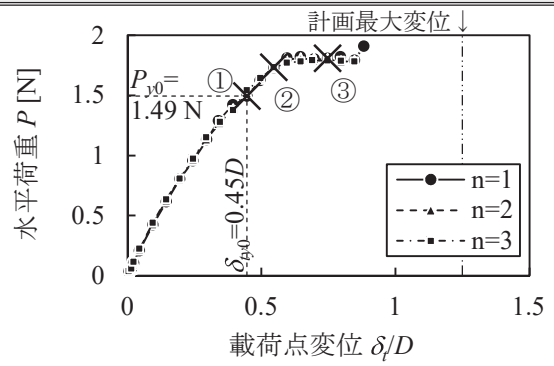
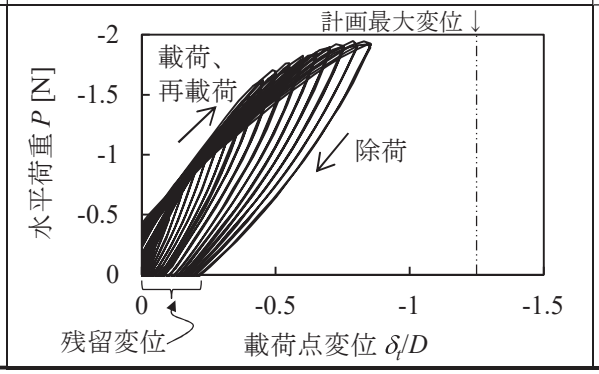
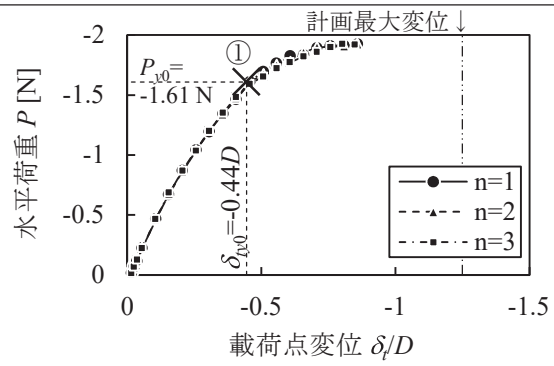
③ 1 本柱のケース<S1-5-1 改>に比べ、柱－杭の初降伏耐力 P_{y0} は大きく、柱本数が増えることにより耐荷力が増大することが確認できる。一方、初降伏変位 δ_{ty0} は 1 本柱のそれの半分程度である。

④ 表中、●、▲および■で表す n=1～3 の各ピーク値の包絡線に着目すると、いずれの線も重なっており、実験開始から終了まで多サイクル繰り返し載荷の影響による荷重低下はほとんど見られない。

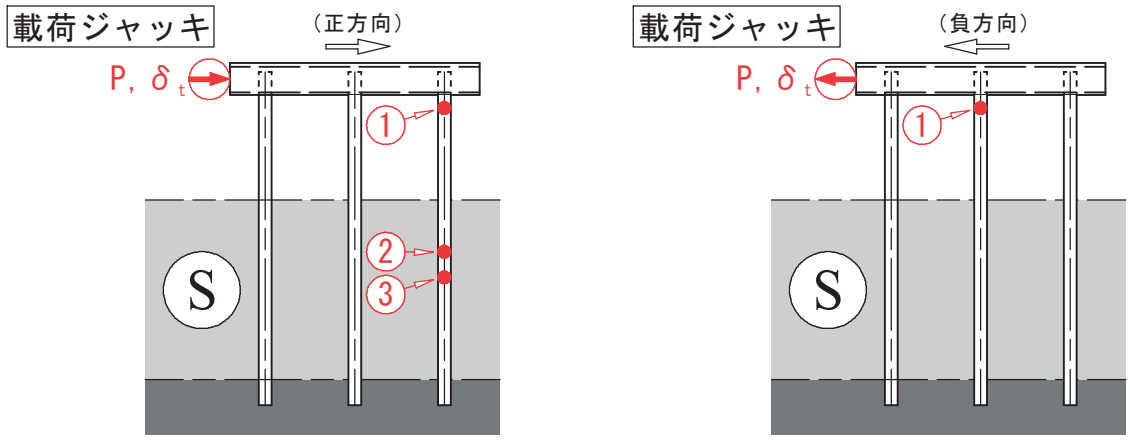
⑤ 正載荷時と負載荷時のピーク値の包絡線に着目すると、正載荷時では初降伏以降、荷重の増加は見られないのに対し、負載荷時では常に最大値を保持する傾向が見られる。

⑥ 本ケースでは、計画最大変位に達する前に、正載荷時の δ_t=0.9D 付近で水平荷重が急増したため載荷を中止している。

表 5.4　<S1-5-3 改>における載荷点の水平荷重 P－変位 δ_t 関係

	$P-\delta_t$ 履歴曲線	ピーク値の包絡線
正載荷時		
負載荷時		

※表中×印：図 5.3 に示す柱－杭の降伏イベントを表す（数字は降伏順序）.



(a) 正載荷時　　(b) 負載荷時

図 5.3　<S1-5-3 改>における柱－杭の降伏箇所および降伏順序（図中丸数字：降伏順序）

(3) ケース：C1-5-1 改

ケース<C1-5-1 改>における載荷点の $P-\delta_t$ 関係を表 5.5 にとりまとめて示す。また、正載荷時および負載荷時における柱－杭の降伏箇所および降伏順序をそれぞれ図 5.4 に示す。これらの結果から、以下のことがわかる。

① P-δ_t 履歴曲線より、各載荷ステップでピークを迎えた後の除荷時の履歴曲線に着目すると、砂質土のケース<S1-5-1 改>に比べて完全除荷後（P=0）の残留変位が小さく、除荷勾配は原点を指向する様子が見てとれる。また、載荷および再載荷時の勾配の違いについては 6.2.2 で詳述する。

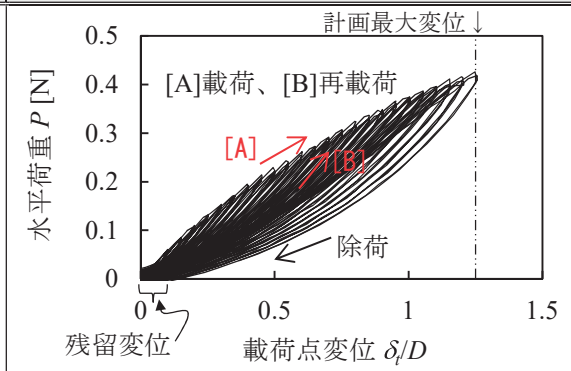
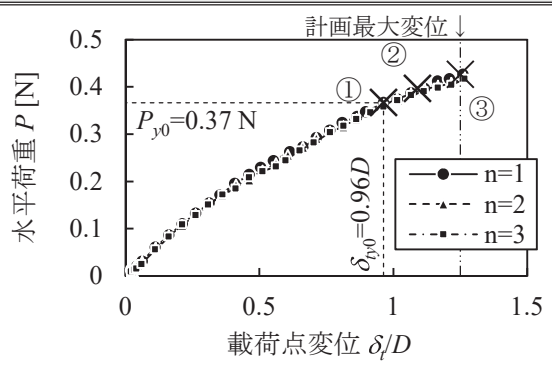
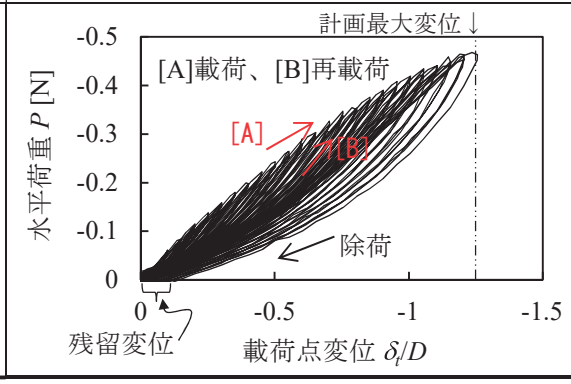
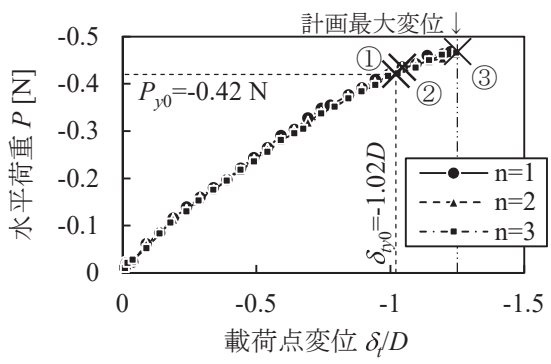
② ピーク値の包絡線より、柱－杭の初降伏は正載荷時および負載荷時ともに地中部（GL-2D）で生じ、その時の（P_{y0}, δ_{ty0}）は正載荷時と負載荷時でそれぞれ（0.37N, 0.96D）および（-0.42N, -1.02D）である。

③ <S1-5-1 改>と比べ、初降伏耐力 P_{y0} ならびに初降伏変位 δ_{ty0} ともに大差はない。

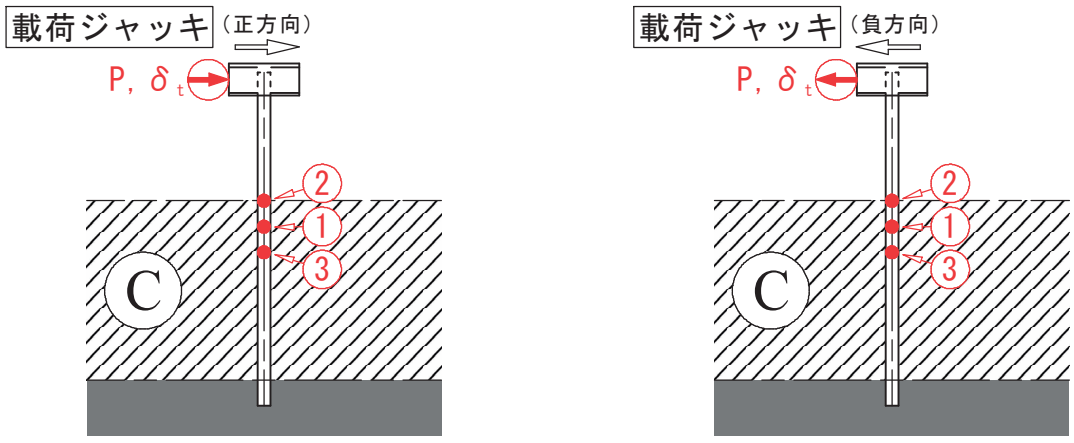
④ ケース<S1-5-1 改>と同様に、水平荷重のピーク値は、初降伏の後、計画最大変位（1.25D）においてもなお最大値を保持している。

⑤ ケース<S1-5-1 改>と同様に、表中、●、▲および■で表す n=1～3 の各ピーク値の包絡線に着目すると、いずれの線も重なっており、実験開始から終了まで多サイクル繰り返し載荷の影響による荷重低下はほとんど見られない。

表 5.5　<C1-5-1 改>における載荷点の水平荷重 P－変位 δ_t 関係

	$P-\delta_t$ 履歴曲線	ピーク値の包絡線※
正載荷時		
負載荷時		

※表中×印：図 5.4 に示す柱－杭の降伏イベントを表す（数字は降伏順序）.



(a) 正載荷時　　(b) 負載荷時

図 5.4　<C1-5-1 改>における柱－杭の降伏箇所および降伏順序（図中丸数字：降伏順序）

(4) ケース：C1-5-3 改

ケース<C1-5-3 改>における載荷点の $P-\delta_t$ 関係を表 5.6 にとりまとめて示す。また、正載荷時および負載荷時における柱－杭の降伏箇所および降伏順序をそれぞれ図 5.5 に示す。これら結果から、以下のことがわかる。

① 1 本柱のケース<C1-5-1 改>と同様に、P-δ_t 履歴曲線より、各載荷ステップでピークを迎えた後の除荷時の履歴曲線に着目すると、砂質土のケース<S1-5-3 改>に比べて完全除荷後（P=0）の残留変位が小さく、除荷勾配は原点を指向する傾向が見てとれる。

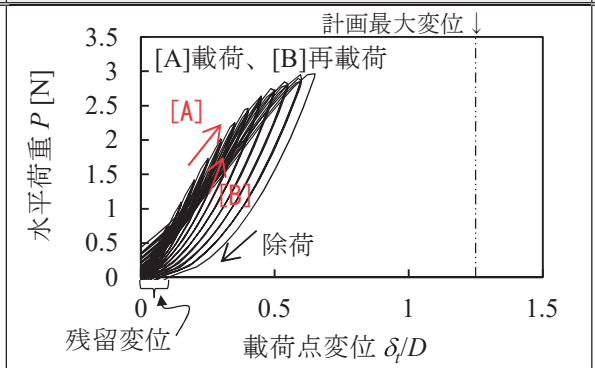
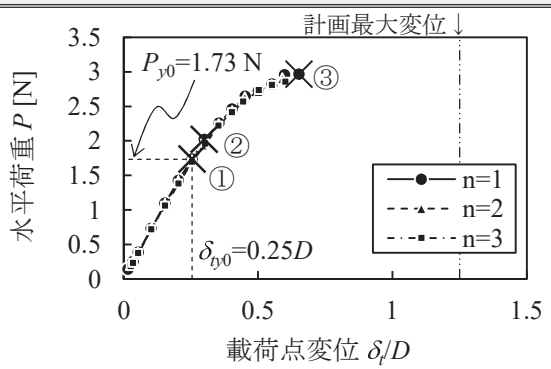
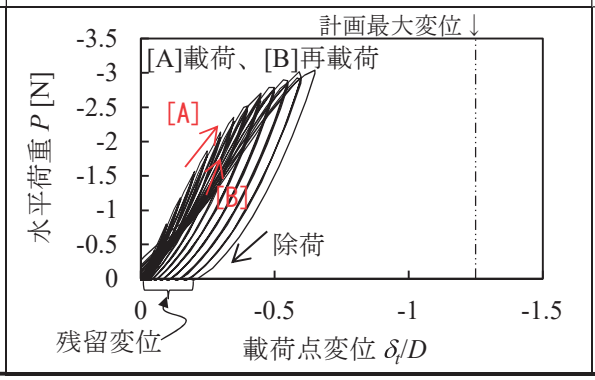
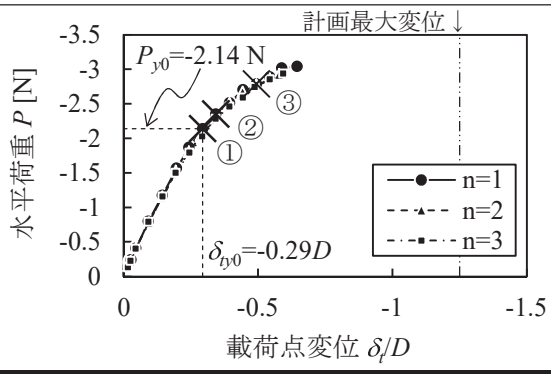
② ピーク値の包絡線より、柱－杭の初降伏は正載荷時および負載荷時においてそれぞれジャッキ反対側および中央の柱頭部で生じ、その時の（P_{y0}，δ_{ty0}）は正載荷時と負載荷時でそれぞれ（1.73N，0.25D）および（-2.14N，-0.29D）である。

③ 1 本柱のケース<C1-5-1 改>に比べ、初降伏耐力 P_{y0} は大きく、砂質土のケースと同様に柱本数が増えることにより耐荷力が増大することが確認できる。一方、初降伏変位 δ_{ty0} は 1 本柱のそれの 3 割程度である。

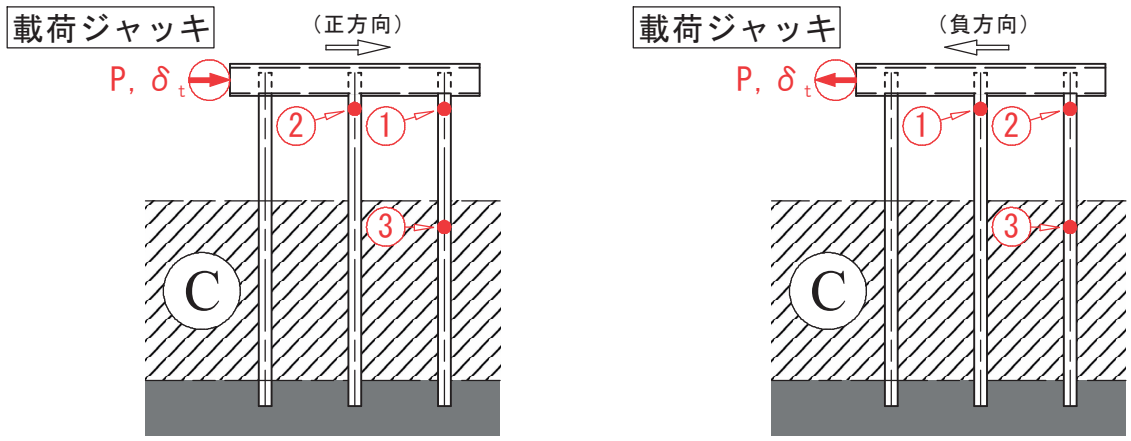
④ 1 本柱のケース<C1-5-1 改>と同様に、表中、●、▲および■で表す n=1～3 の各ピーク値の包絡線に着目すると、いずれの線も重なっており、実験開始から終了まで多サイクル繰り返し載荷の影響による荷重低下はほとんど見られない。

なお本ケースでは、図 5.6 に示すように、載荷途中でジャッキ反対側の柱－杭の柱頭部計測ひずみが-7500μ程度まで増加した後に低下し始めたため、柱頭部が破断してひずみが解放されたものと判断し、計画最大変位到達前に載荷を中止した。また柱頭部の破断は、載荷実験終了後の供試体にて目視確認した。

表 5.6　<C1-5-3 改>における載荷点の水平荷重 P－変位 δ_t 関係

	$P-\delta_t$ 履歴曲線	ピーク値の包絡線
正載荷時		
負載荷時		

※表中×印：図 5.5 に示す柱－杭の降伏イベントを表す（数字は降伏順序）.



(a) 正載荷時　　(b) 負載荷時

図 5.5　<C1-5-3 改>における柱－杭の降伏箇所および降伏順序（図中丸数字：降伏順序）

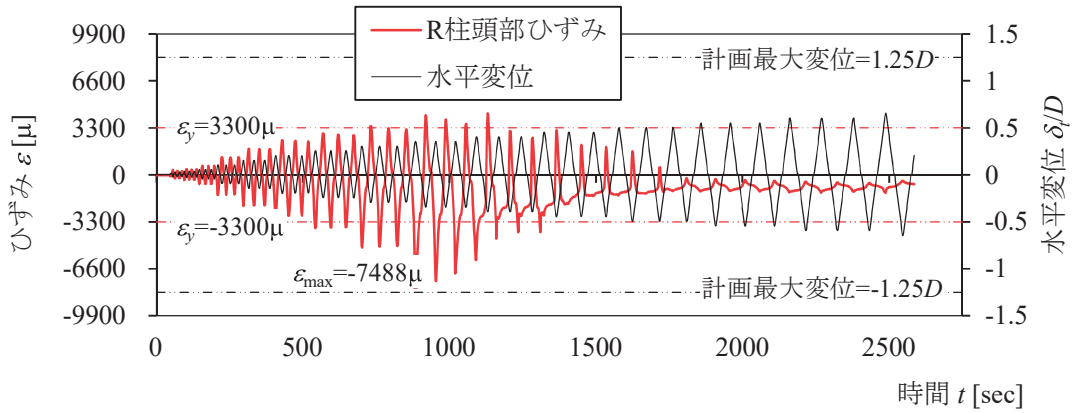


図 5.6　ジャッキ反対側の柱－杭の柱頭部計測ひずみの時刻歴波形

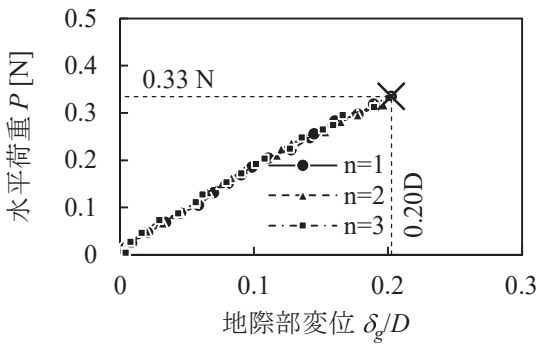
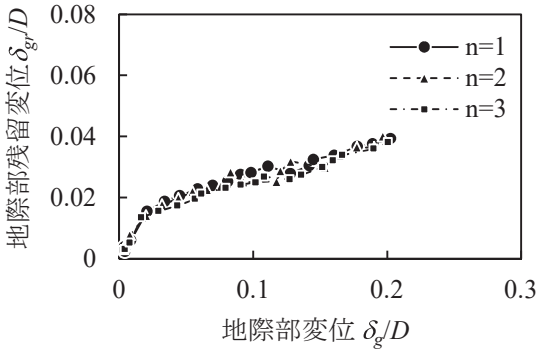
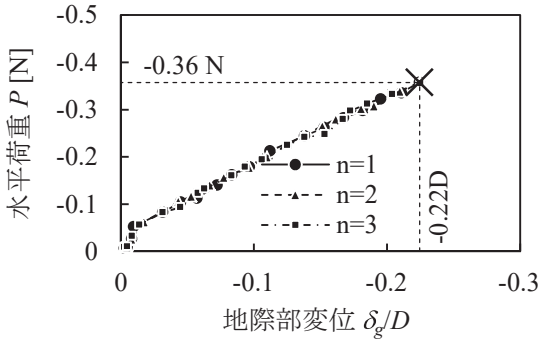
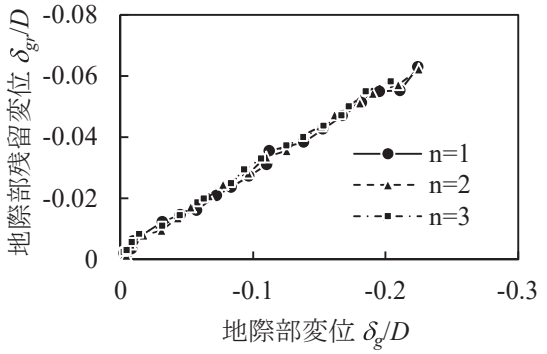
5.2.2　地際部の変位

(1) ケース：S1-5-1 改

ケース<S1-5-1 改>における、水平荷重 P－地際部水平変位 δ_g 関係ならびに地際部における残留変位 δ_{gr}－水平変位 δ_g 関係を表 5.7 にとりまとめて示す。表中、n=1～3 は、繰り返し載荷回数を表す。除荷後に生じる残留変位は、**4.3 節**に示した方法により各載荷ループで求めた。表より以下の事柄が分かる。

① 柱－杭初降伏時における地際部変位 δ_{gy0} は、正載荷時、負載荷時ともに±0.2D 程度である。
② δ_{gr}－δ_g 関係からは、正載荷および負載荷時ともに、明確な δ_{gr} の急増点は確認できない。また、繰返しによる δ_{gr} の増加傾向も見られない。

表 5.7　<S1-5-1 改>における地際部の水平荷重 P－変位 δ_g 関係および残留変位 δ_{gr}－δ_g 関係

	P－δ_g 包絡線	δ_{gr}－δ_g 関係
正載荷時		
負載荷時		

(2) ケース：S1-5-3 改

ケース<S1-5-3 改>における、水平荷重 P－地際部水平変位δ_g関係ならびに地際部における残留変位δ_{gr}－水平変位δ_g関係を表 5.8 および表 5.9 にとりまとめて示す。表中、R 杭および L 杭は、載荷ジャッキ反対側の柱－杭および載荷ジャッキ側の柱－杭に対する結果を表す。

表より以下の事柄が分かる。

① 正載荷時および負載荷時で柱－杭初降伏時における地際部変位δ_{gy0} の大きさが異なっており、その値は R 杭では負載荷時が大きく、L 杭では正載荷時が大きい。

② R 杭；正載荷時および L 杭；負載荷時の前列杭の結果からは、δ_g/D=0.08 付近から地際部残留変位δ_{gr} の増加割合が大きくなる傾向が見てとれる。

③ 上記②の R 杭；正載荷時および L 杭；負載荷時の前列杭の結果からは、繰り返しによるδ_{gr} の増加も見られる。

表 5.8 <S1-5-3 改>R 杭における地際部の水平荷重 P－変位δ_g関係および残留変位δ_{gr}－δ_g関係

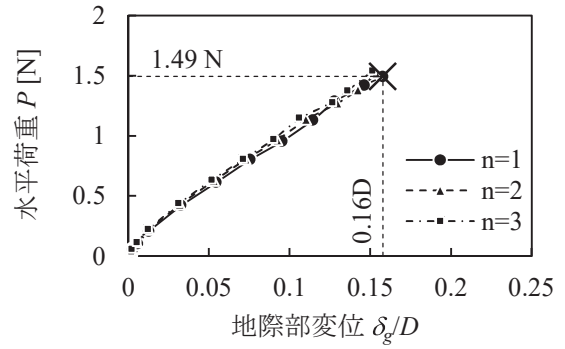
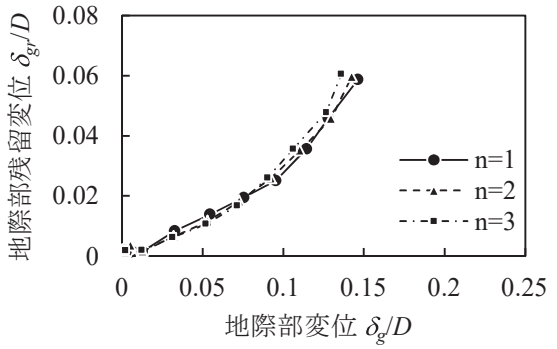
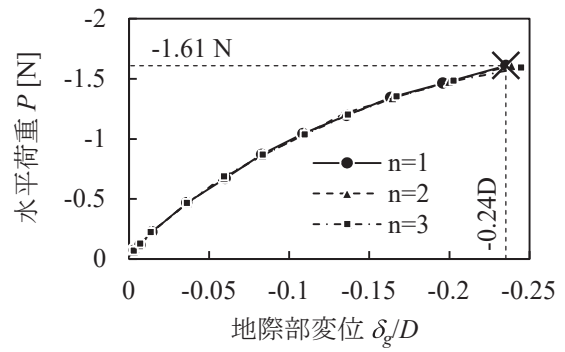
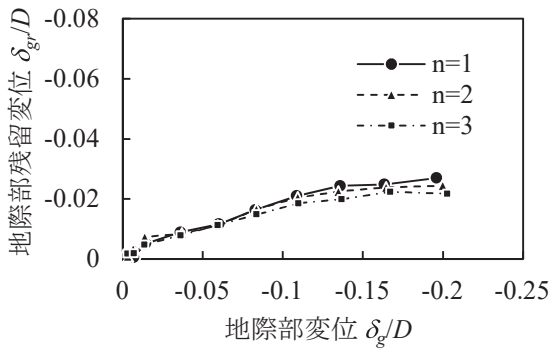
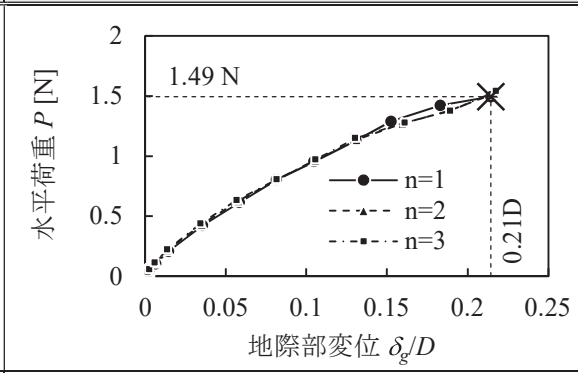
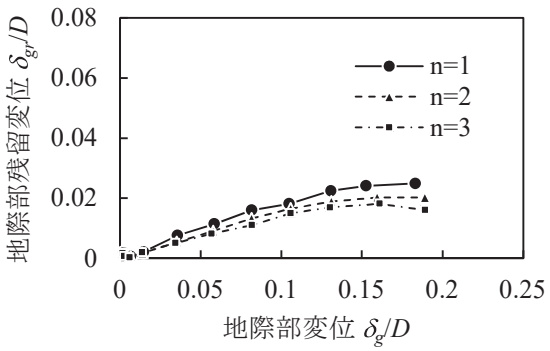
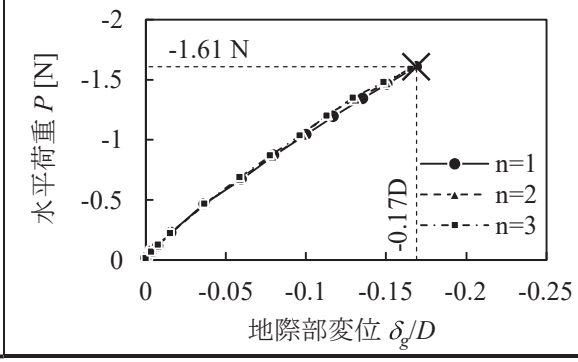
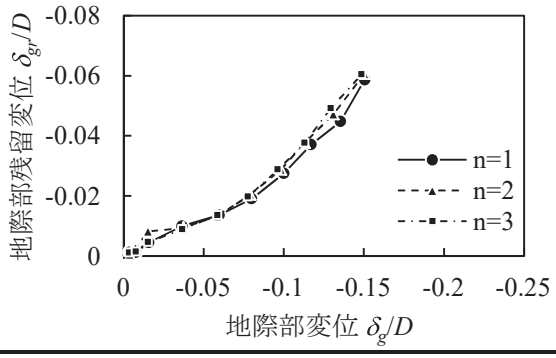
	$P-\delta_g$ 包絡線	$\delta_{gr}-\delta_g$ 関係
正載荷時（R 杭）		
負載荷時（R 杭）		

表 5.9　<S1-5-3 改>L 杭における地際部の水平荷重 P－変位 δ_g 関係および残留変位 δ_{gr}－δ_g 関係

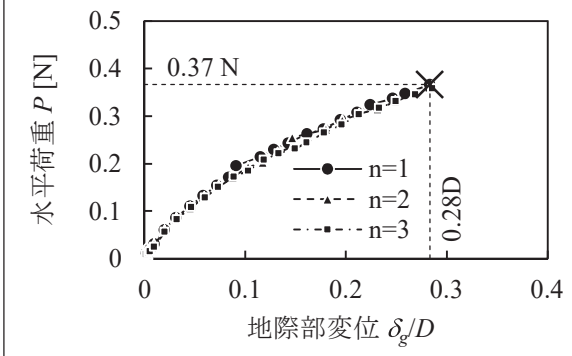
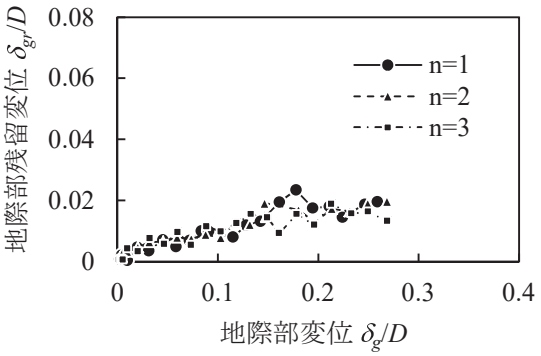
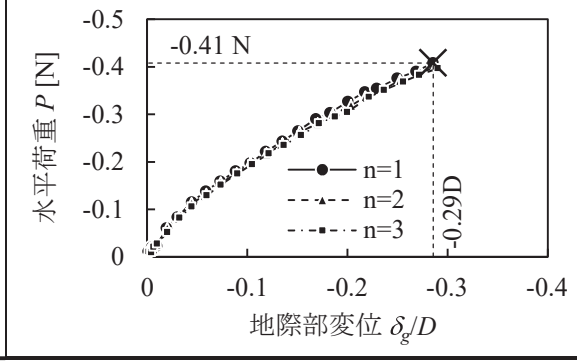
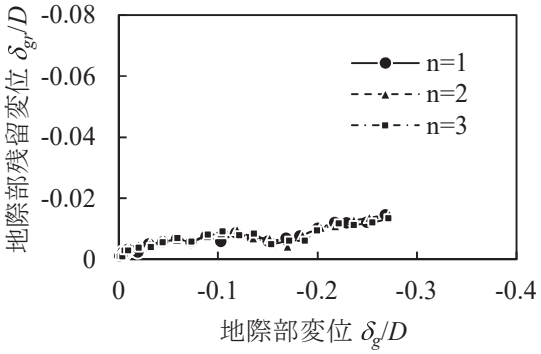
	$P-\delta_g$ 包絡線	$\delta_{gr}-\delta_g$ 関係
正載荷時（L 杭）		
負載荷時（L 杭）		

(3) ケース：C1-5-1 改

ケース<C1-5-1 改>における、水平荷重 P－地際部水平変位 δ_g 関係ならびに地際部における残留変位 δ_{gr}－水平変位 δ_g 関係を表 5.10 にとりまとめて示す。表より以下の事柄が分かる。

① 柱－杭初降伏時における地際部変位 δ_{gy0} は、正載荷時および負載荷時ともに±0.3D 程度であり有意な差は無い。
② δ_{gr} に着目すると、砂質土に比べて粘性土では残留変位が小さいことがわかる。
③ δ_{gr}－δ_g 関係からは、明確な残留変位の急増点は確認できない。

表 5.10　<C1-5-1 改>における地際部の水平荷重 P－変位 δ_g 関係および残留変位 δ_{gr}－δ_g 関係

	P－δ_g 包絡線	δ_{gr}－δ_g 関係
正載荷時		
負載荷時		

(4) ケース：C1-5-3 改

ケース<C1-5-3 改>における、水平荷重 P－地際部水平変位δ_g関係ならびに地際部における残留変位δ_{gr}－水平変位δ_g関係を表 5.11 および表 5.12 にとりまとめて示す。表より以下の事柄が分かる。

① 柱－杭初降伏時における地際部変位δ_{gy0}は、L 杭の正載荷時のみやや小さい値を示したが、P－δ_g関係に有意な差は見られない。

② δ_{gr}を見てみると、4 ケース中、最も小さい値を示している。

表 5.11 <C1-5-3 改>R 杭における地際部の水平荷重 P－変位δ_g関係および残留変位δ_{gr}－δ_g関係

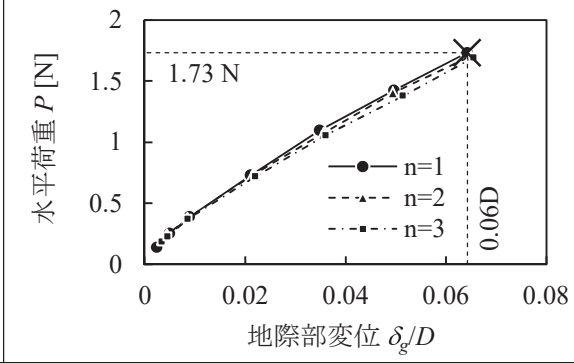
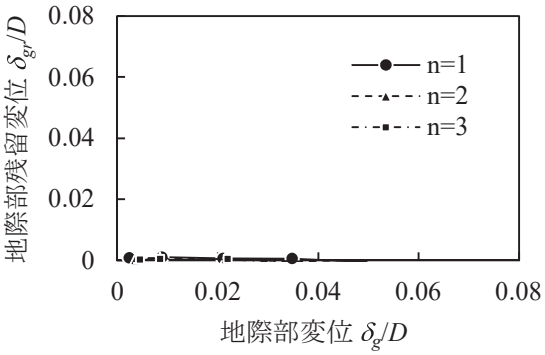
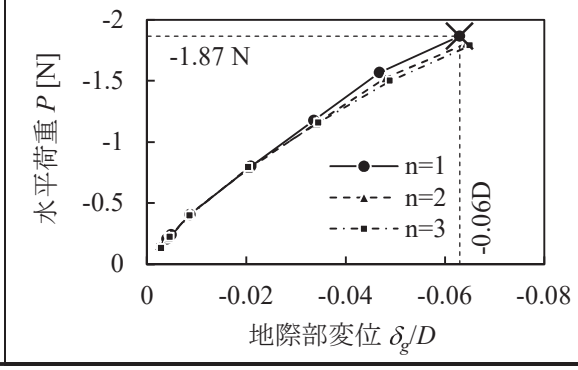
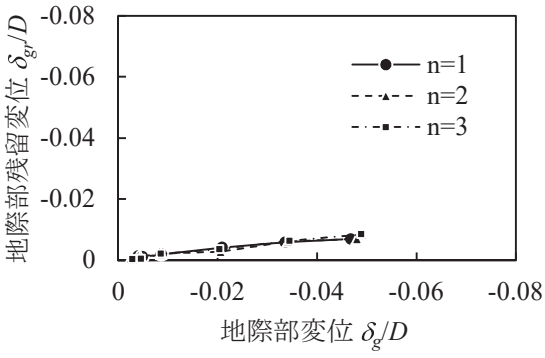
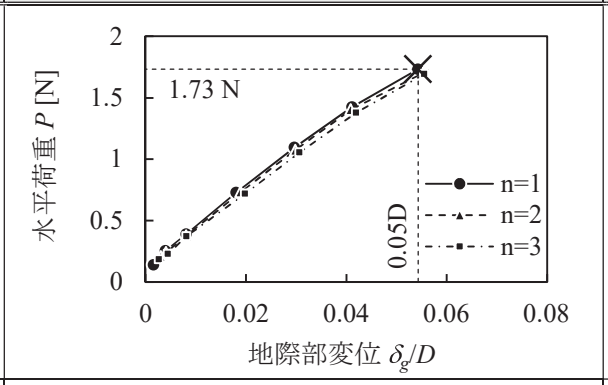
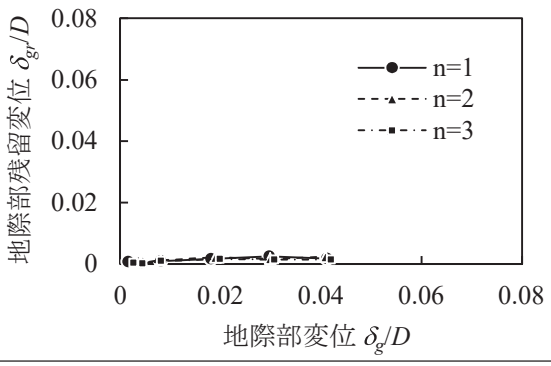
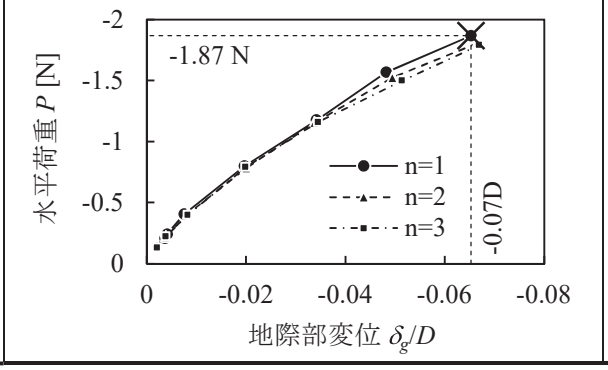
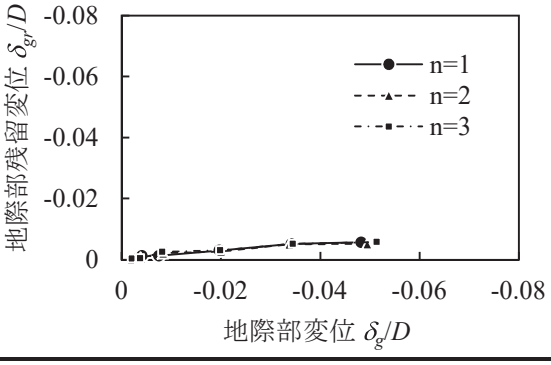
	P－δ_g 包絡線	δ_{gr}－δ_g 関係
正載荷時（R 杭）		
負載荷時（R 杭）		

表 5.12　<C1-5-3 改>L 杭における地際部の水平荷重 P－変位 δ_g 関係および残留変位 δ_{gr}－δ_g 関係

	$P-\delta_g$ 包絡線	$\delta_{gr}-\delta_g$ 関係
正載荷時（L 杭）		
負載荷時（L 杭）		

5.3　柱－杭の諸物理量分布

5.3.1　各検討ケースにおける算定結果

ここでは**4.4 節**に示した手法により求めた各物理量分布をケース毎にそれぞれ示す。結果は、代表として、処女載荷時のδ_t/D=0.05、0.1 および 0.15 におけるたわみ y、曲げモーメント M および地盤反力度 p の深度分布をそれぞれ示しており、地盤反力度は曲げモーメント M 分布を二階微分した値を杭径 D で除すことによりそれぞれ求めた。たわみ分布図には、各載荷段階におけるδ_g/D の計測値も示している。また曲げモーメント分布図には、地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m を載荷段階毎に示している。さらに、地盤反力度分布部には、第一不動点深度 l ならびに H24 道示 IV に示されるレベル 2 地震時における水平地盤反力度の上限値 p_{HU}（式(5.1)）をそれぞれ参考値として示している。

$$p_{HU} = \eta_p \alpha_p p_U \quad \text{----------} \quad (5.1)$$

ここに、

p_U　：地震時の受働土圧強度で式(5.2)で表される [kN/m^2]

α_p　：単杭における水平地盤反力度の上限値の補正係数

砂質土地盤：α_p=3.0

粘性土地盤：α_p=1.5

η_p　：群杭効果を考慮した水平地盤反力度の上限値の補正係数

砂質土地盤：$\eta_p a_p$ = 杭中心間隔/杭径 ($\leqq a_p$)

杭間隔=7D より、$\eta_p a_p$=7($\leqq$3.0) → η_p=1.0

粘性土地盤：η_p=1.0

$$p_U = K_{EP}\gamma z + 2c\sqrt{K_{EP}} \quad \text{----------} \quad (5.2)$$

K_{EP}　：地震時の受働土圧係数で式(5.3)で表される

γ　：土の単位体積重量 [kN/m^3]　※25G 遠心場では、25γを用いる。

z　：地表面からの深度 [m]

c　：土の粘着力 [kN/m^2]　※25G 遠心場においても重力場と同一

$$K_{EP} = \frac{\cos^2\phi}{\cos\delta_E\left(1-\sqrt{\dfrac{\sin(\phi-\delta_E)\sin\phi}{\cos\delta_E}}\right)} \quad \text{----------} \quad (5.3)$$

ϕ　：土のせん断抵抗角 [°]　※25G 遠心場においても重力場と同一

δ_E　：地震時の杭体と土の摩擦角で、-ϕ/6 [°]

(1) ケース：S1-5-1 改

ケース<S1-5-1 改>における結果をとりまとめて図 5.7 に示す。図より、以下の事柄がわかる。

① 載荷点変位δ_tを与条件とし、実測ひずみから求めた曲率分布により、収束計算にて求めたたわみ分布は、地際部変位δ_gに着目すると、概ね実際の柱－杭の変形状態を再現できているといえる。

② 図中△で示すδ_t/D=0.1 における分布図は、負載荷時では遊びの補正によりピーク値が小さくなったため、たわみ分布もそれに合せて正載荷時に比べて小さい値となっている。

③ δ_t/D=0.05 の時のδ_g/Dは概ね 1%程度であり、その値は載荷点変位の 1/5 程度である。

④ 地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m は 2D 程度で、載荷段階、載荷方向に依らず一定である。

⑤ 第一不動点深度 l は、概ね 5～6D 程度であることがわかる。

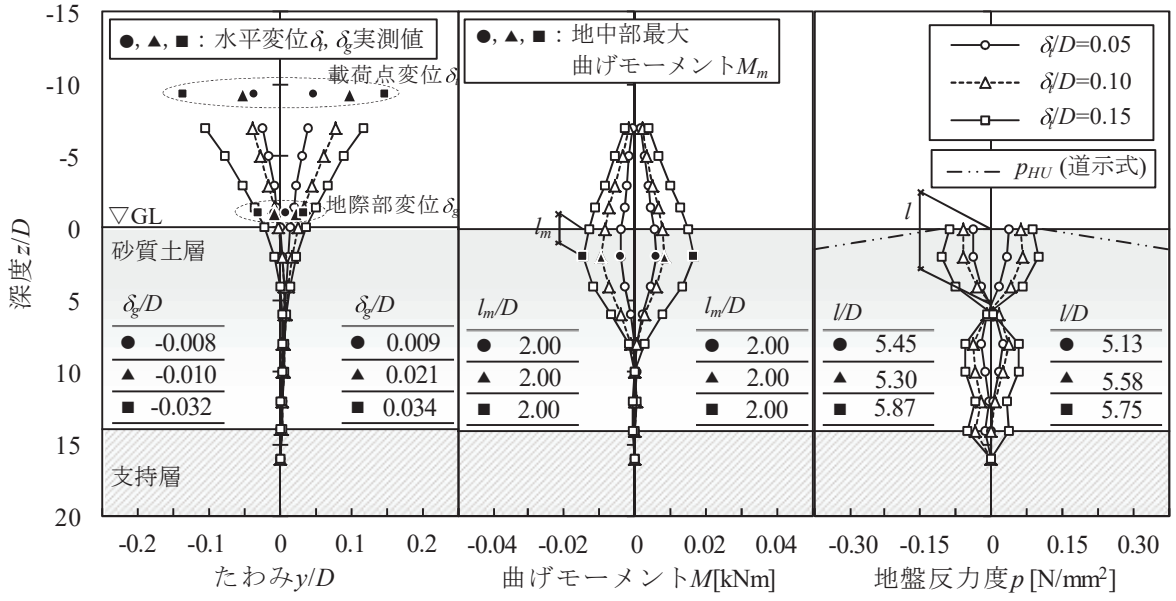
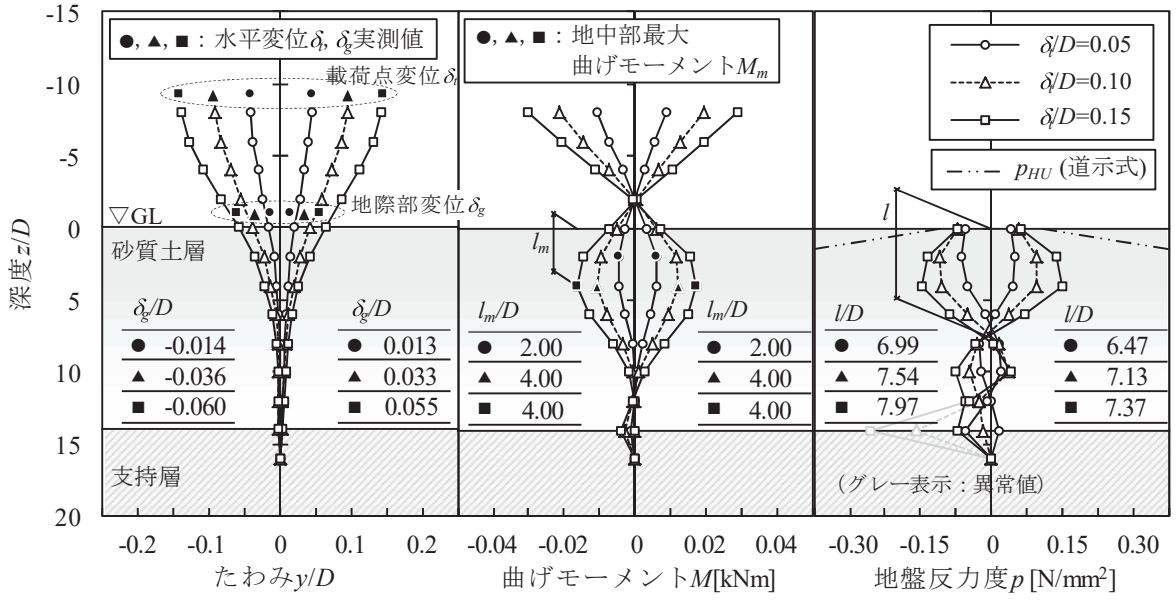


図 5.7　<S1-5-1 改>における諸物理量分布

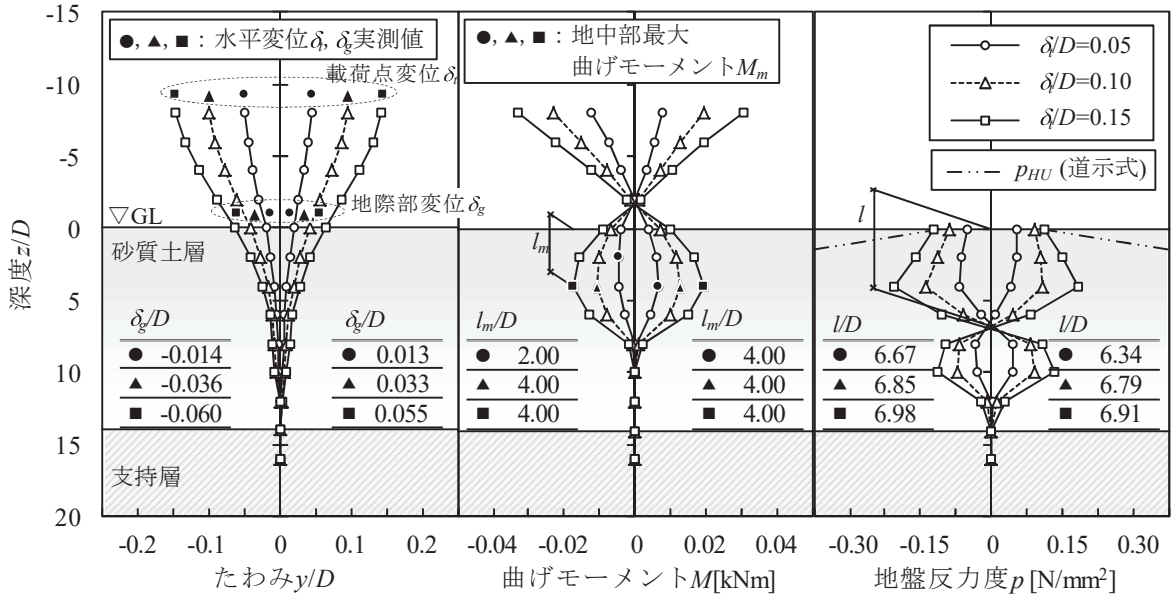
(2) ケース：S1-5-3 改

ケース<S1-5-3 改>における結果をとりまとめて次頁の図 5.8 に示す。図(a)および(b)は、それぞれジャッキ反対側の杭（R 杭）および中央の杭（C 杭）の曲率分布から求めた物理量である。図より、以下の事柄がわかる。

① δ_g に着目すると、曲率分布の二階積分により求めた変形は、変位計による実測値に比べて多少大きい値を示している。
② δ_t/D=0.05 の時の δ_g/D は概ね 1.5%程度であり、1 本柱に比べて大きい値となっている。
③ 曲げモーメント分布からは、柱頭部で回転拘束による曲げモーメントが発生し、気中部で正負逆転する様子がみてとれる。気中部の曲げモーメントがゼロとなる高さを表す見かけの突出長 $\bar{h}$ は、柱長 h（≒10D）よりも小さく、概ね 2D 程度である。
④ 地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m は、載荷初期段階で 2D、δ_t/D=1 および 1.5 では 4D であり、1 本柱に比べて深くなることがわかる。
⑤ 地盤反力度分布からは、地中部に比べて地表面付近の地盤反力度が小さい様子が見てとれる。
⑥ 第一不動点深度 l は、概ね 7～8D 程度であり、l_m と同様に 1 本柱に比べて深いことがわかる。



(a)R 杭の結果



(b)C 杭の結果

図 5.8　<S1-5-3 改>における諸物理量分布

(3) ケース：C1-5-1 改

ケース<C1-5-1 改>における結果をとりまとめて図 5.9 に示す。図より、以下の事柄がわかる。

① δ_g に着目すると、曲率分布の二階積分により求めた変形は、変位計による実測値に比べて多少大きい値を示しているが、概ね再現できている。

② δ_t/D=0.05 の時の δ_g/D は概ね 1%程度であり、その値は載荷点変位の 1/5 程度である。この値は、砂質土の 1 本柱（ケース<S1-5-1 改>）と同程度である。

③ 地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m は、δ_t/D=0.1 の正載荷時を除いて、地表面位置であり、砂質土のケースに比べて浅いことがわかる。

④ 地盤反力度分布を見ると、地表面から深度 2D 程度まで地盤反力度がほぼ一定となっている。

⑤ 第一不動点深度 l は、概ね 4～5D 程度であることがわかる。

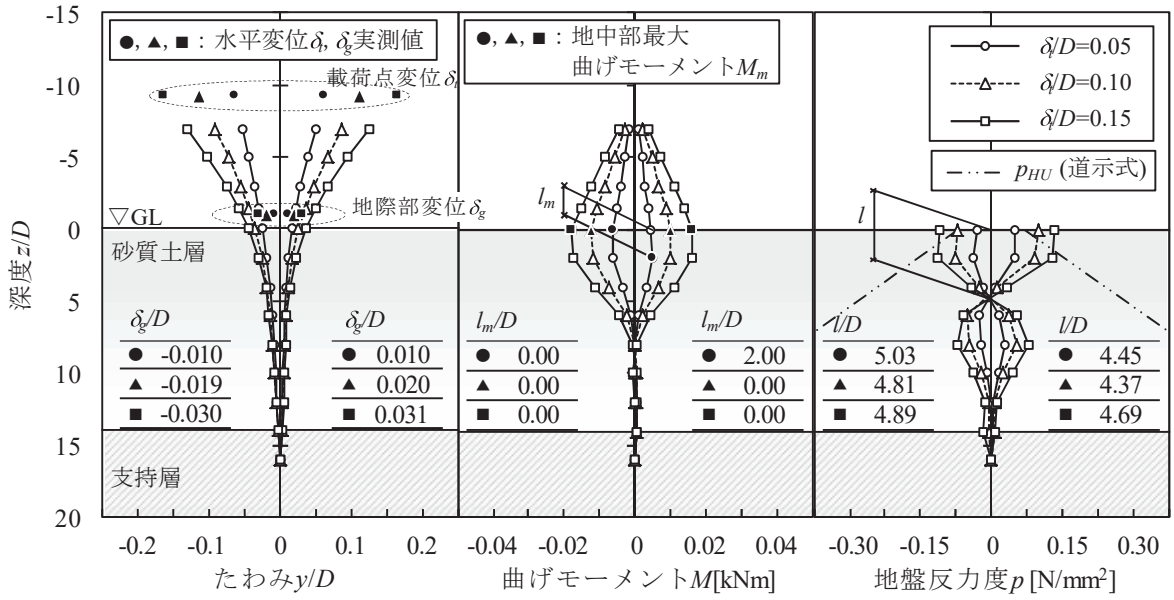
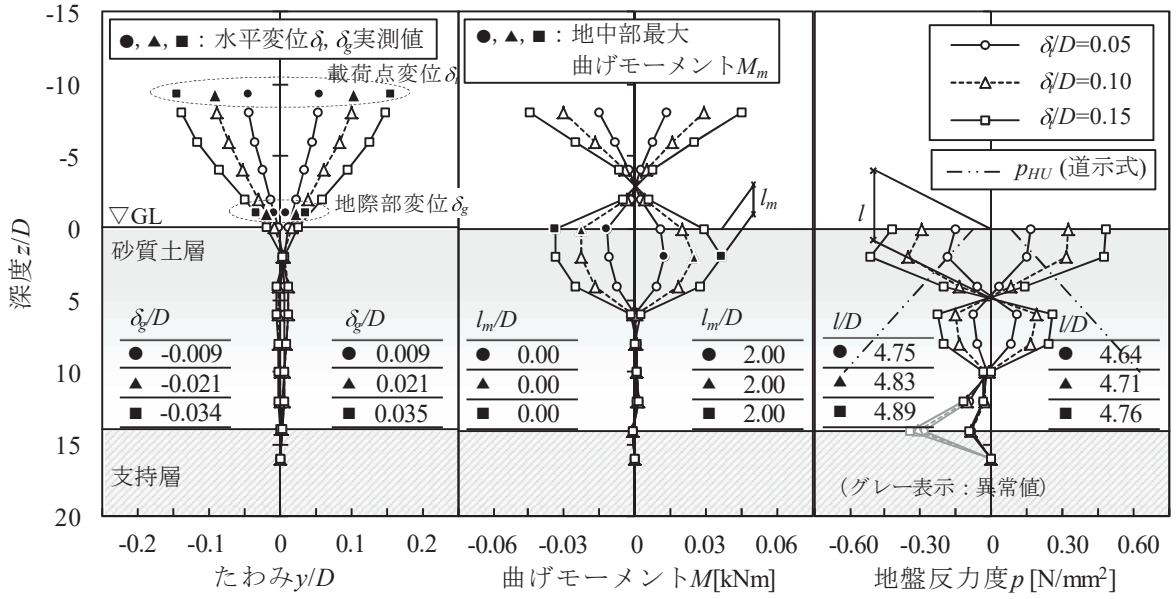


図 5.9　<C1-5-1 改>における諸物理量分布

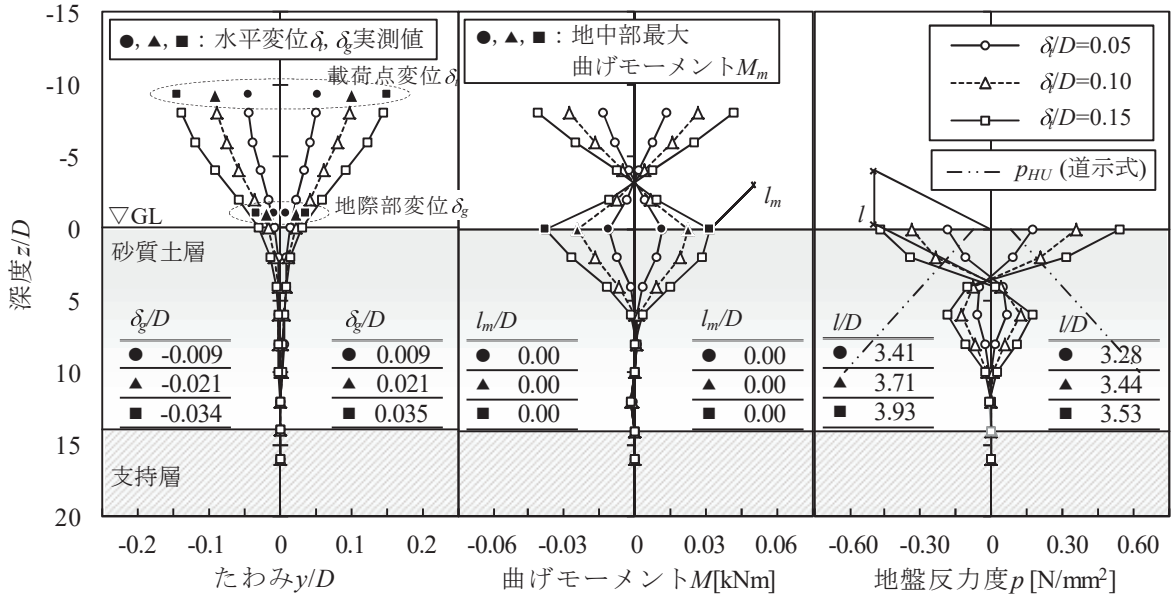
(4) ケース：C1-5-3 改

ケース<C1-5-3 改>における結果をとりまとめて次頁の図 5.10 に示す。図(a)および(b)は、それぞれ R 杭および C 杭の曲率分布から求めた物理量である。図より、以下の事柄がわかる。

① δ_g に着目すると、R 杭では概ね実測値と同程度の値を示しており、C 杭では実測値に比べて多少大きい値を示しているが、概ね再現できている。
② δ_t/D=0.05 の時の δ_g/D は概ね 1%程度であり、1 本柱と同程度となっている。
③ 曲げモーメント分布からは、柱頭部で回転拘束による曲げモーメントが発生し、気中部で正負逆転する様子がみてとれる。気中部の曲げモーメントがゼロとなる高さを表す見かけの突出長 $\bar{h}$ は、柱長 h（≒10D）よりも小さく、概ね 3D 程度である。
④ 地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m は、正載荷時で 2D、負載荷時では地表面位置となっており、1 本柱に比べて深くなる傾向が見てとれる。
⑤ 第一不動点深度 l は、概ね 5D 程度であり、l_m と同様に 1 本柱に比べて深くなる傾向が見てとれる。



(a)R 杭の結果



(b)C 杭の結果

図 5.10　<C1-5-3 改>における諸物理量分布

5.4　地盤反力と変位の関係

5.3.1 節で求めた地盤反力度 p および柱－杭のたわみ y の深度分布より、地表付近 3 点（z/D=0、2 および 4）における $p-y$ 関係を、砂質土と粘性土のケースでそれぞれとりまとめて表 5.13 および表 5.14 に示す。

表より、以下の事柄がわかる。

① 深度が深くなるにつれ $p-y$ 曲線の勾配が大きくなることがわかる。

② 1 本柱のケース（<S1-5-1 改>および<C1-5-1 改>）を比べると、地表面付近（z/D=0）では粘性土が砂質土に比べて地盤抵抗が大きいのに対し、z/D=2 以深では砂質土の方が地盤抵抗が大きい様子が見てとれる。

③ 上記②は、砂質土と粘性土の $P-\delta_t$ 関係に見たように、砂質土では除荷時に隙間に砂が入り込むことで再載荷時に地盤が抵抗するのに対し、ある程度自立性のある粘性土では隙間が埋まらず、再載荷時において地盤抵抗が小さくなる傾向からもわかる。

④ ケース<S1-5-3 改>に着目すると、正載荷時と負載荷時で傾向が異なっていることがわかる。

⑤ ケース<C1-5-3 改>では、他のケースと異なり、地表面付近の z/D=0 においても大きな地盤抵抗を有しており、確認できた範囲では顕著な剛性低下は見られなかった。

⑥ また z/D=2 以深では、地盤反力度の深度分布に見たように、変位の小さい範囲で地盤反力度の符号が逆転しており、主たる地盤の抵抗範囲は他のケースに比べて極端に浅いことがわかる。

表 5.13　砂質土の検討ケースにおける各深度の地盤反力度 p－変位 y 関係

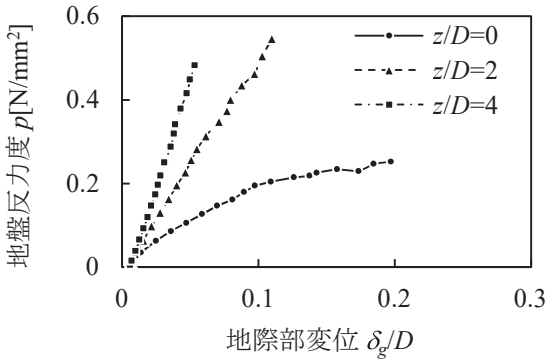
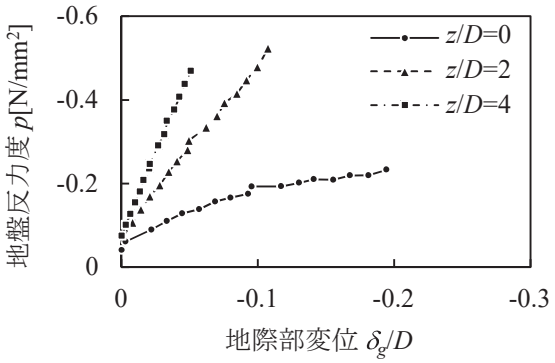
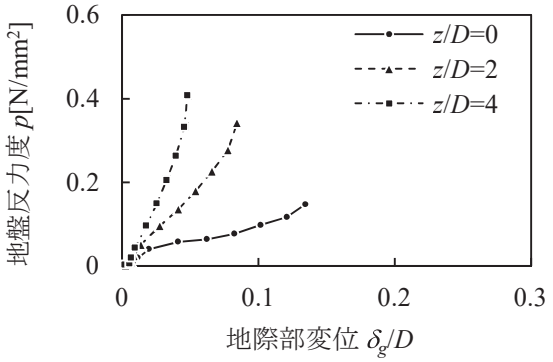
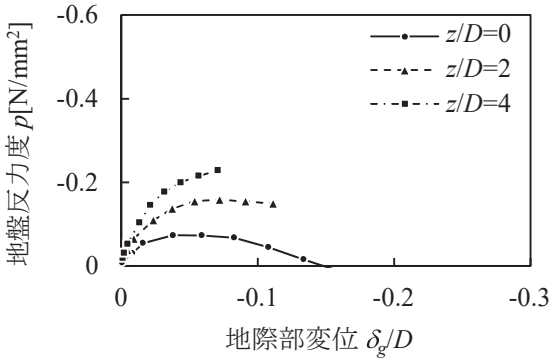
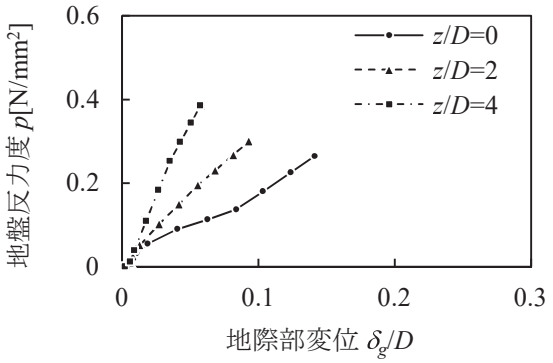
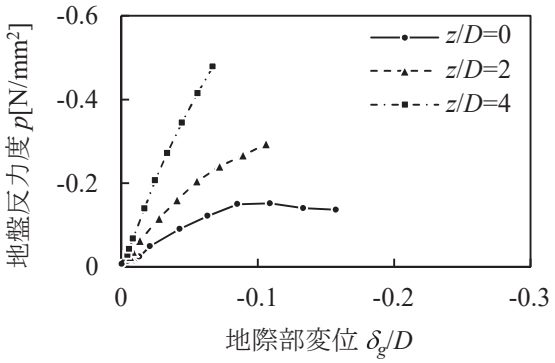
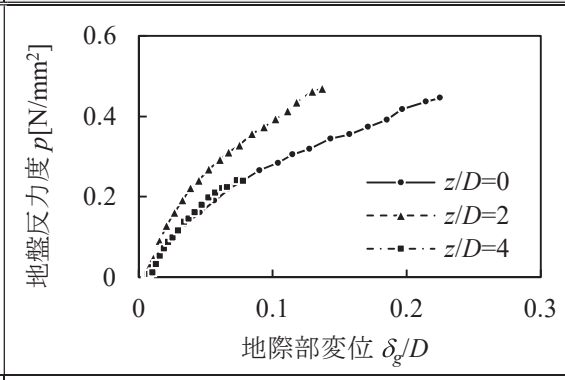
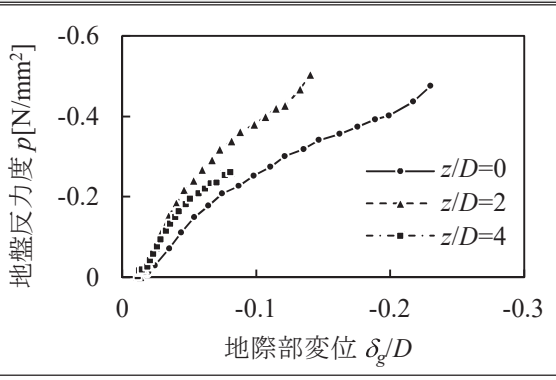
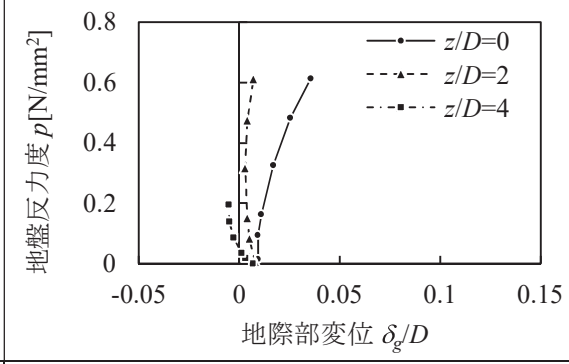
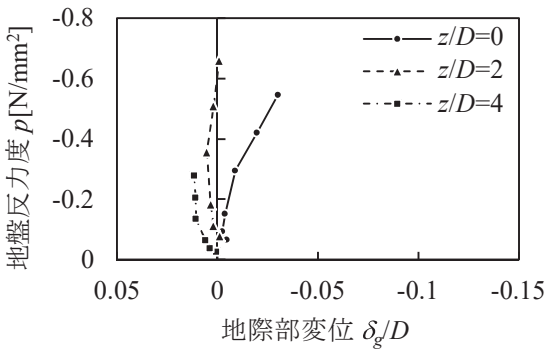
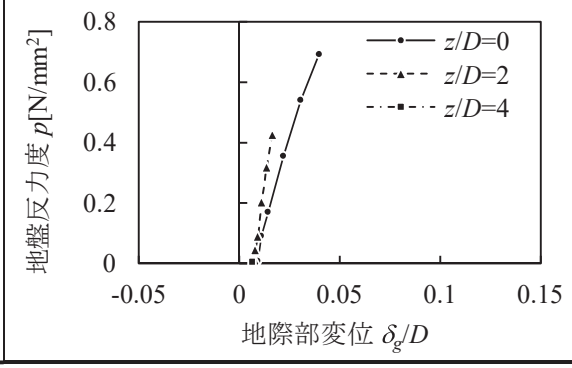
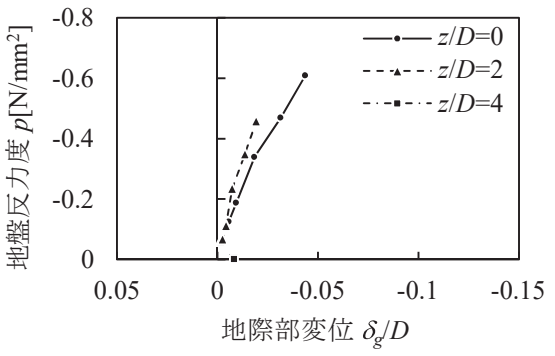
	正載荷時	負載荷時
<S1-5-1 改>		
<S1-5-3 改>　R 杭		
<S1-5-3 改>　C 杭		

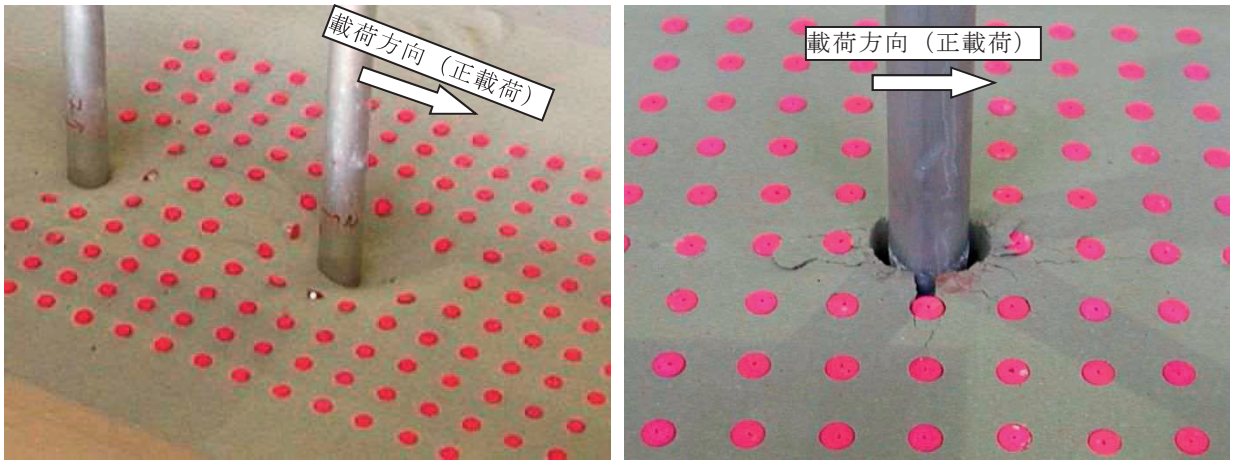
表 5.14　粘性土の検討ケースにおける各深度の地盤反力度 p－変位 y 関係

	正載荷時	負載荷時
<C1-5-1 改>		
<C1-5-3 改>　R 杭		
<C1-5-3 改>　C 杭		

5.5　地表面の相対変位

載荷実験終了後の地表面相対変位について、砂質土と粘性土の代表として<S1-5-3 改>および<C1-5-1 改>の様子をそれぞれ写真 5.1(a)および(b)に示す。砂質土では除荷時に隙間に砂が入り込むことで杭周辺がくぼむこと、粘性土では地盤の自立性が高く隙間が空く様子が見てとれる。

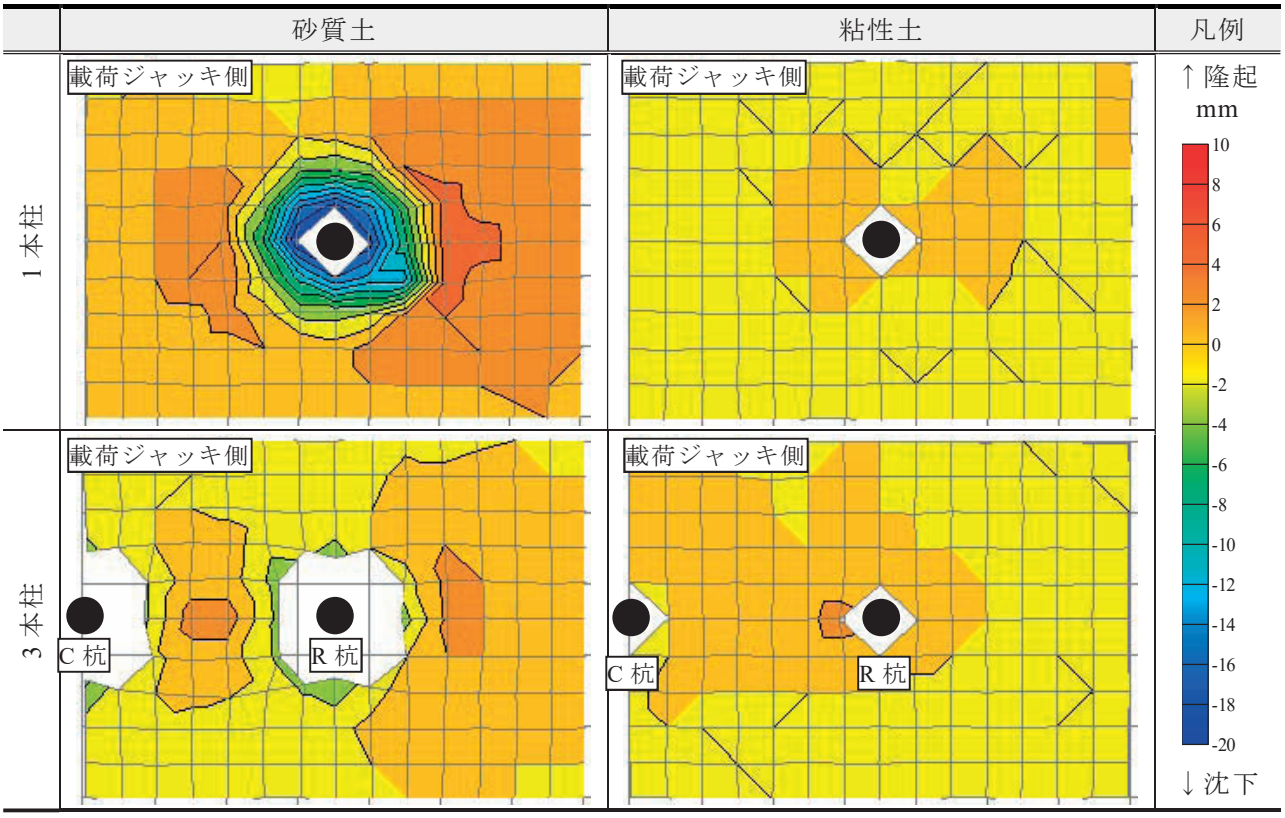
表 5.15 は、標点計測により得られた載荷実験前後における地表面の相対変位（平面図）を示したもので、鉛直方向相対変位についてはコンター表示している。ケース<S1-5-3 改>では、杭周辺の標点が消失したため計測不能であったが、砂質土のケースでは杭の周辺がくぼんでいる様子がわかる。一方、粘性土のケースでは砂質土に比べて地表面の乱れは大きくないが、写真 5.1(b)に示したように、地表面には隙間とひびわれが発生している。



(a)　砂質土の例<S1-5-3 改>（写真中央が R 杭）　　(b)　粘性土の例<C1-5-1 改>

写真 5.1　載荷実験終了後の地表面の様子（標点設置間隔=1*D*）

表 5.15　各ケースの載荷実験前後における地表面の鉛直方向相対変位



6. 載荷実験結果の分析

6.1 水平方向地盤反力係数

本節では、杭の水平方向地盤反力係数 k_H に着目し、突出（気中部）の有無による比較を行う。なお、突出の無い杭に対する k_H は、H24 道示 IV に示される算出式と地盤試料の室内試験結果を用いて求め、後述するひずみレベル依存性を考慮して算出したものを参考値とする。また突出の大きい杭に対する k_H は、前述の載荷実験結果から弾性床上のはりの一般解を用いて k_H を逆算して求める。

6.1.1 H24 道示 IV 算定式による水平方向地盤反力係数

各ケースで用いた地盤試料の室内試験結果をもとに、常時および地震時における水平方向地盤反力係数 k_H を H24 道示 IV に示される算定式(6.1)により求めた結果（以下、道示 k_H）を表 6.1 および表 6.2 にそれぞれ示す。表より、道示 k_H は、ケース<C1-5-3 改>を除いて、砂質土および粘性土ともに常時と地震時でそれぞれ 620MN/m^3 および 1330MN/m^3 程度であることがわかる。なお、ケース<C1-5-3 改>では常時と地震時でそれぞれ 950MN/m^3 および 2050MN/m^3 程度となり、他のケースに比べて 1.5 倍程度の道示 k_H である。

$$k_H = k_{H0}\left(\frac{B_H}{0.3}\right)^{-3/4} \quad \text{----------} \quad (6.1)$$

ここに、

k_H ：水平方向地盤反力係数 [kN/m^3]

k_{H0} ：平板載荷試験値相当の水平方向地盤反力係数で式(6.2)により求める [kN/m^3]

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3}\alpha E_{50} \quad \text{----------} \quad (6.2)$$

α ：地盤反力係数の換算係数で、常時：α=4、地震時：α=8

E_{50} ：三軸圧縮試験により求めた各地盤試料の変形係数 [kN/m^2]

B_H ：換算載荷幅で式(6.3)により求める [m]

$$B_H = \sqrt{D/\beta} \quad \text{----------} \quad (6.3)$$

β ：杭の特性値で式(6.4)により求める [m^{-1}]

$$\beta = \sqrt[4]{k_H D/4EI} \quad \text{----------} \quad (6.4)$$

EI ：杭の曲げ剛性 [kNm^2]

表 6.1　各供試体における常時の道示 k_H

供試体	地盤試料	変形係数 E_{50} [MN/m^2]	換算係数 α [-]	杭の特性値 β [m^{-1}]	換算載荷幅 B_H [m]	水平方向地盤反力係数 k_{H0} [kN/m^3]	水平方向地盤反力係数 k_H [kN/m^3]
<S1-5-1改>	7号硅砂	11.0	4	10.642	0.0434	146,667	625,771
<S1-5-3改>	7号硅砂	11.0	4	10.642	0.0434	146,667	625,771
<C1-5-1改>	混合土	10.6	4	10.534	0.0436	141,333	600,709
<C1-5-3改>	混合土	16.1	4	11.821	0.0411	214,667	952,713

表 6.2　各供試体における地震時の道示 k_H

供試体	地盤試料	変形係数 E_{50} [MN/m^2]	換算係数 α [-]	杭の特性値 β [m^{-1}]	換算載荷幅 B_H [m]	水平方向地盤反力係数 k_{H0} [kN/m^3]	水平方向地盤反力係数 k_H [kN/m^3]
<S1-5-1改>	7号硅砂	11.0	8	12.884	0.0394	293,333	1,344,579
<S1-5-3改>	7号硅砂	11.0	8	12.884	0.0394	293,333	1,344,579
<C1-5-1改>	混合土	10.6	8	12.753	0.0396	282,667	1,290,729
<C1-5-3改>	混合土	16.1	8	14.312	0.0374	429,333	2,047,072

6.1.2　水平方向地盤反力係数のひずみレベル依存性

水平方向地盤反力係数は、ひずみレベルに依存することが知られている。文献 2.8)では、水平方向地盤反力係数のひずみ依存性の指数則について、最新のデータをもとに確認を行っている。すなわち、突出の無い（1D 以下）の杭に対する既往実験結果に基づき、地盤種別、着目変位量ごとに様々な杭頭変位量に対する逆算 k_H を求め、杭頭変位 0.01D における逆算 $k_{H(1\%)}$ で標準化することで図 6.1 を得ている。その結果、ひずみレベル依存性の指数則として、既往の予測式と同じ-1/2 でほぼ近似できることを確認している。

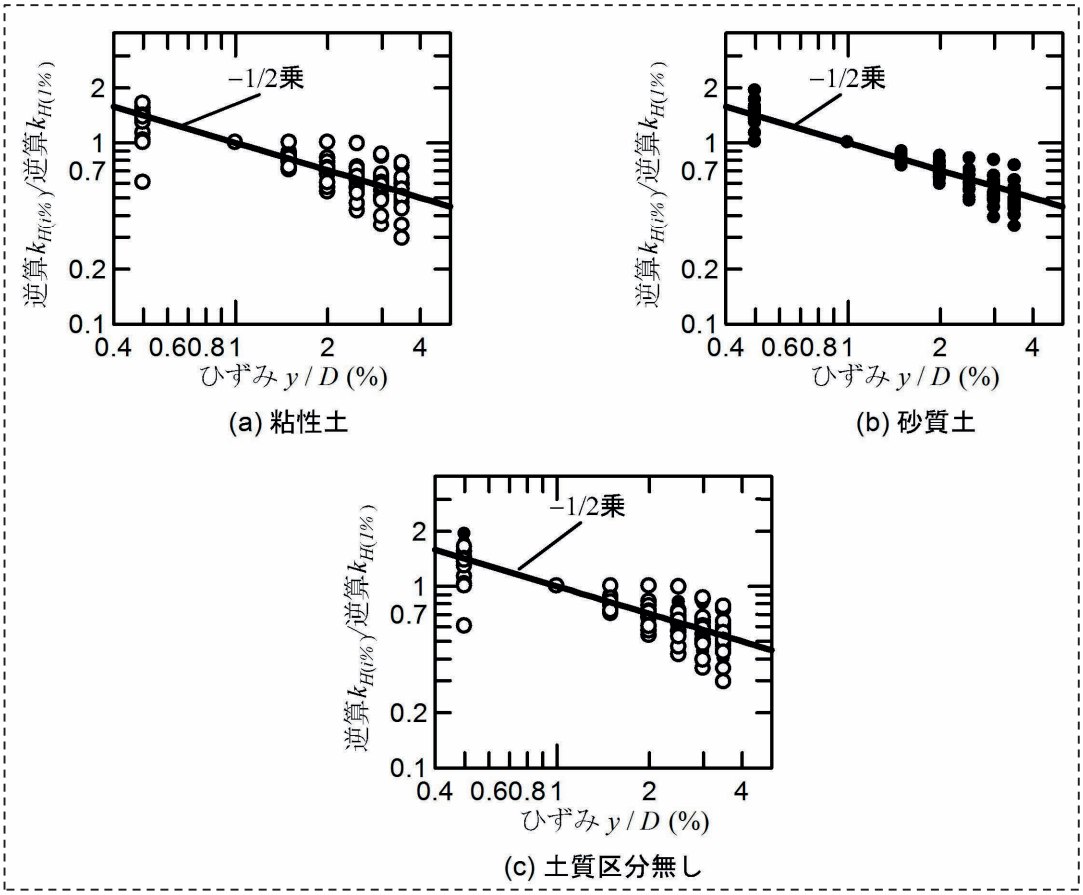


図 6.1　逆算 k_H/逆算 $k_{H(1\%)}$とひずみの関係（○：砂質土、●：粘性土）（文献 2.8）より引用）

6.1.3　弾性床上のはりの一般解を用いた水平方向地盤反力係数

(1) 水平方向地盤反力係数の逆算方法

模型地盤を一様な半無限長の弾性地盤とみなし、弾性床上のはりの一般解[2.9), 2.10)]を用いて荷重－変位関係から水平地盤反力係数 k_H を逆算する（以下、逆算 k_H と称す）。具体手順は、以下の通りである。

①弾性床上のはりの一般解には、以下で表される地上に突出している杭（h>0）に対する林－Changの式[2.11)]を適用する。変位には載荷点変位δ_t、あるいは地際部変位δ_gを用いて杭の特性値βを収束演算を伴う逆解析により求める。

載荷点変位δ_tで逆算する場合：

$$\delta_t = \frac{(1+\beta h)^3 + 0.5}{3EI\beta^3} P + \frac{(1+\beta h)^2}{2EI\beta^2} M_t \quad \text{---------- (6.5)}$$

地際部変位δ_gで逆算する場合：

$$\delta_g = \frac{P}{6EI\beta^3}\left[\beta^3 z^3 + 3\beta^3 \bar{h} z^2 - 3(1+2\beta\bar{h})\beta z + 3(1+\beta\bar{h})\right] \quad \text{---------- (6.6)}$$

ここに、

P：水平荷重（N）

M_t：載荷点位置における外力としてのモーメント（Nmm）

β：杭の特性値（mm^{-1}）であり、次式で表される。

$$\beta = \sqrt[4]{k_H D / 4EI}$$

k_H：水平方向地盤反力係数（N/mm^3）

D：柱－杭の外径（=20mm）

E：柱－杭の弾性係数（N/mm^2）

I：柱－杭の断面二次モーメント（mm^4）であり、次式で表される。

$$I = \frac{\pi}{64}\left\{D^4 - (D-2t)^4\right\}$$

t：柱－杭の板厚（=1.2mm）

h：気中部高（mm）

z：地表面からの深度（δ_g計測点：-20mm）※上方はマイナス

$\bar{h}$：見かけの突出長（mm）と称し、次式で表される。

$$\bar{h} = h + h_0 = h + \frac{M_t}{P}$$

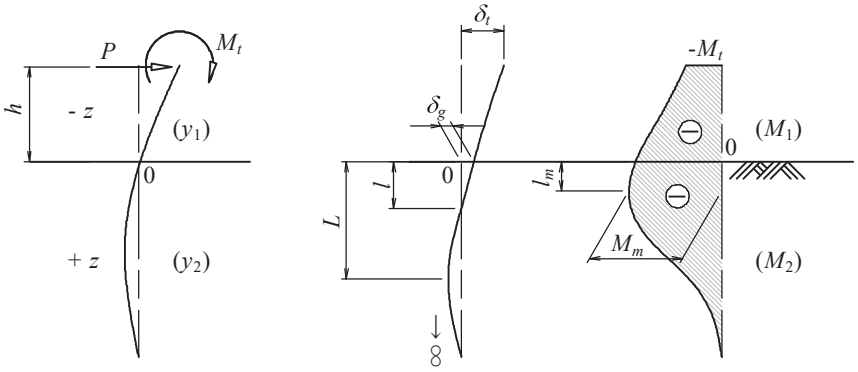


図 6.2　林－Changの一般解による各諸量の符号の向き

②上記①で得られたβから、次式により求めた k_H を逆算 k_H とする。

$$k_H = \frac{4EI\beta^4}{D} \quad \text{----------} \quad (6.7)$$

なお、地際部変位δ_gは、地表面 GL+1.0D の高さにおいてレーザー変位計により計測したものである。本文中、特に明記しない限りは、地際部の変位としてこのδ_gを用いる。なお地表面 GL±0 での変位$\overline{\delta_g}$は、得られたβをもとに次式で補正することにより求められる。

$$\overline{\delta_g} = \frac{(1+\beta\bar{h})^3}{2EI\beta^3}P \quad \text{----------} \quad (6.8)$$

6.1.4　道示 k_H と逆算 k_H の比較

表 6.3 は、各検討ケースにおける逆算 k_H－δ_g 関係を両対数グラフで表したもので、図中○印はそれぞれ **6.1.1 節**で示した常時と地震時における道示 k_H を示している。また実線と破線は、道示 k_H に対して、式(6.9)で表されるひずみレベル依存性[2.12),2.13)]を考慮した k'_H を表す。

$$k'_H = k_H \times \left(\frac{\delta_g / D}{0.01} \right)^{-1/2} \quad \text{----------} \quad (6.9)$$

なお逆算 k_H は、前述した方法により水平変位のピーク値ごとにそれぞれ求めた。さらに、図 6.3 は、逆算 k_H と常時および地震時における道示 k_H との関係を表したもので、図中横軸と縦軸はそれぞれ式(6.9)で得られるひずみレベル依存性を考慮した道示 k'_H、ならびに道示 k_H で標準化した逆算 k_H を示す。

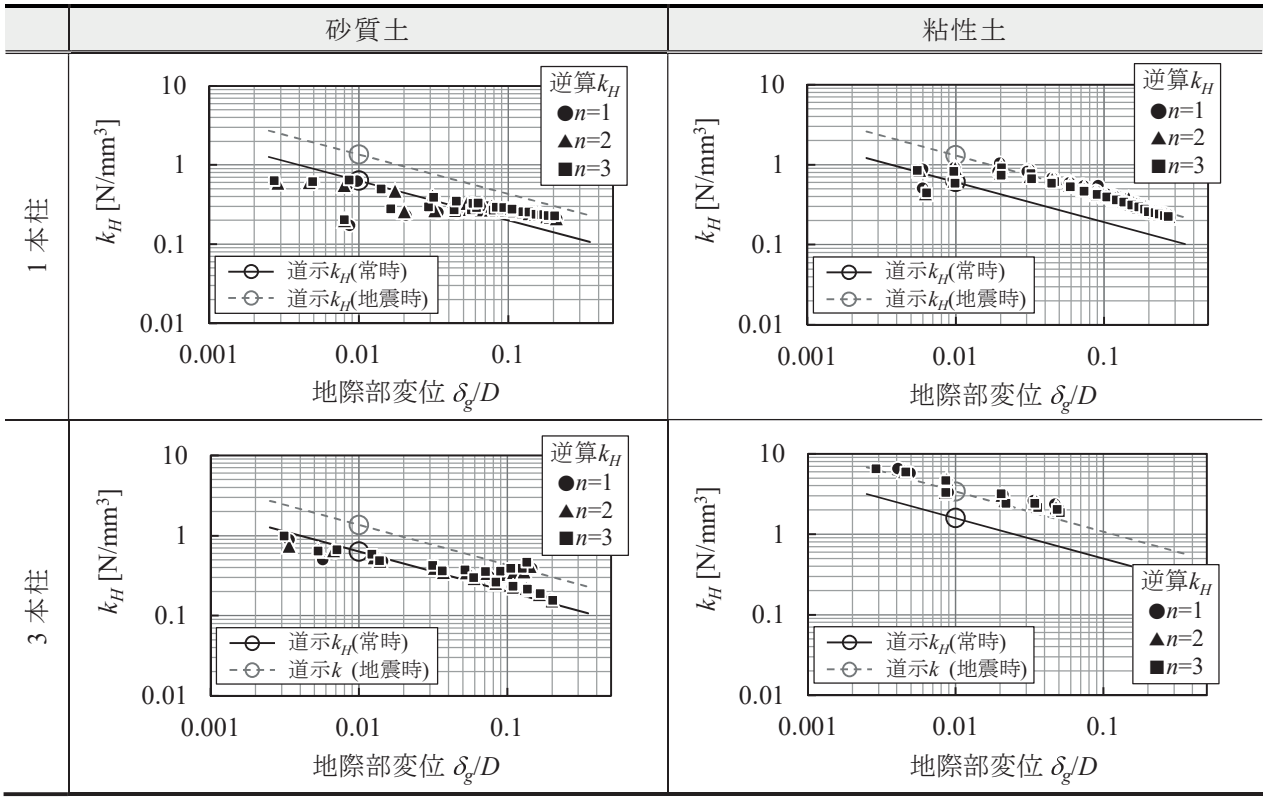
表 6.3 および図 6.3 より、以下の事柄がわかる。

① 表 6.3 では、1 本柱と 3 本柱を比べると、見かけの突出長 $\bar{h}$ に依らず、逆算 k_H には突出の無い杭と同様にひずみレベル依存性が見られる。また、その傾きはほぼ-1/2 で近似できることもわかる。

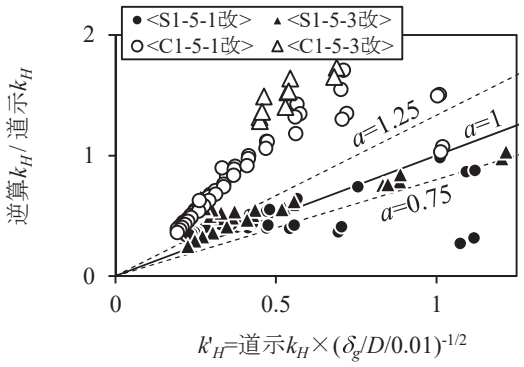
② いずれのケースにおいても逆算 k_H は、道示 k'_H と同程度の値を示している。

③ 道示 k'_H との関係を見た図 6.3 では、砂質土のケースでは常時の道示 k_H に、粘性土のケースでは地震時の道示 k_H にそれぞれ近い場合が多い傾向にある。

表 6.3　各検討ケースにおける逆算 k_H－変位 δ_g 関係

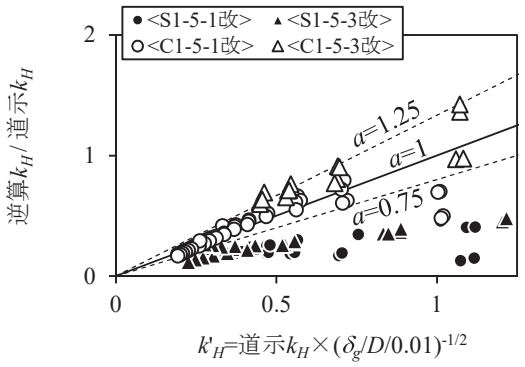


n：繰り返し載荷回数



※a = (逆算 k_H/道示 k_H) / k'_H

(a)　常時の道示 k_H との関係



※a = (逆算 k_H/道示 k_H) / k'_H

(b)　地震時の道示 k_H との関係

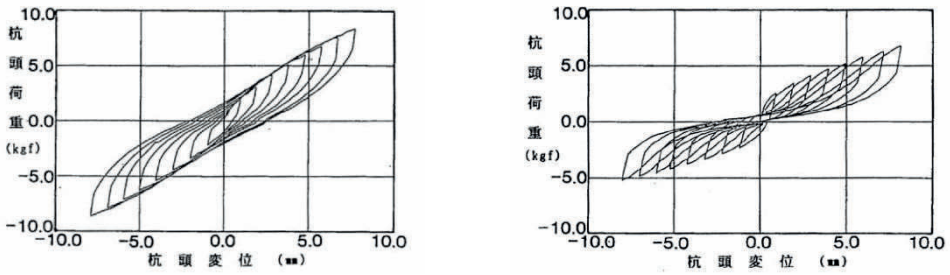
図 6.3　逆算 k_H と道示 k_H との関係

6.2　柱－杭の荷重-水平変位関係から見る周辺地盤の変状

一般的には、杭の地盤反力度と水平変位の関係は、微小変位領域から非線形性を示し、特に繰り返し作用に対して地表面から浅い深度領域では一定の地盤抵抗が期待できない状態になることが知られている。一般的な杭に比べて突出長の長い本構造においても、既述の通り、逆算 k_H にはひずみ依存性（-1/2 乗則）が見られ、地盤の非線形性が確認された。本研究では、遠心載荷装置内の模型実験であったため、水平載荷中の杭周辺の地盤変状については詳細に記録できていない。そこで、周辺地盤の変状に着目した既往研究成果と、本研究で得られた $P-\delta_t$ 関係および載荷実験前後の地表面相対変位について整理する。

6.2.1　既往の研究

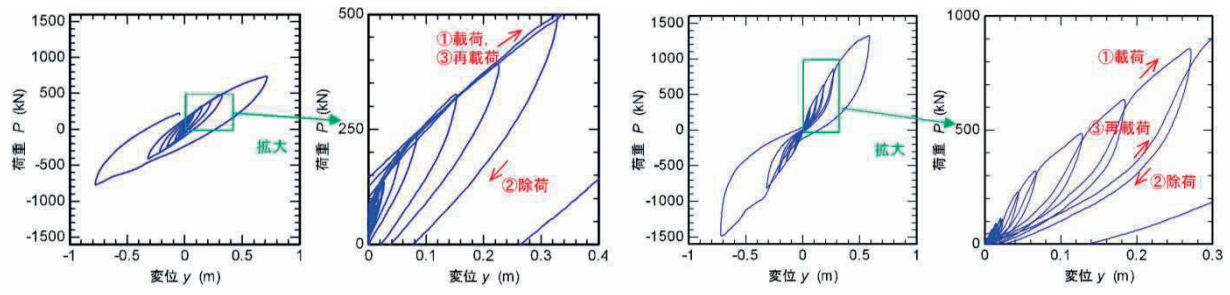
真野らは、地盤中に設置された杭が水平力を受ける際の杭および周辺地盤の挙動を模型実験により観察し、粘性土地盤と砂質土地盤とで杭頭水平力－水平変位関係が異なることに着目している[2.14)]。同模型実験で得られた砂質土地盤と粘性土地盤における杭頭荷重－水平変位関係をそれぞれ図6.4(a)および(b)に示す。図(a)に示す砂質土地盤のループ形状は、直線的な形をしており、繰り返しによる耐力低下はほとんど見られない。一方粘性土地盤では、繰り返し載荷を行うとループ形状の中央部が次第にくびれていく傾向が顕著になることを真野らは指摘している。さらに、その要因は、粘性土地盤の場合には、杭体と地盤の間に隙間が生じるからであると考察されている。



(a)　砂質土地盤　　(b)　粘性土地盤

図 6.4　真野らの研究による杭頭水平力－水平変位関係（文献 2.14)より引用）

また、谷本らは軟弱粘性土地盤に対する接円式固化改良地盤に支持される杭基礎の水平抵抗特性について調べる中で、固化改良の有無による履歴特性の違いについて言及している[2.15)]。すなわち図 6.5 に示すように、固化改良を施していない図(a)は紡錘型、固化改良を施した図(b)はスリップ型の履歴特性を有していることに触れ、この要因を、固化改良体の自立性の高さから、図(b)に示したケースでは基礎杭・固化体間に隙間を生じた後、再接触するまでの間の地盤抵抗が著しく低下したものと解釈されている。



(a) Case1 (軟弱粘性土地盤)　　(b) Case2 (固化改良地盤)

図 6.5　谷本らの研究による杭頭水平力－水平変位関係（文献 2.15)より引用）

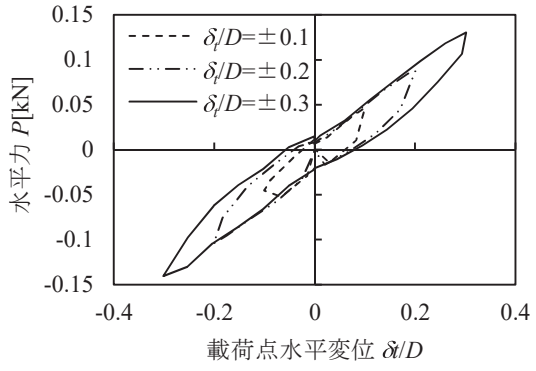
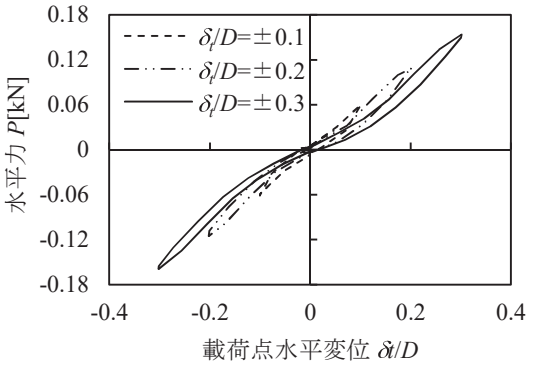
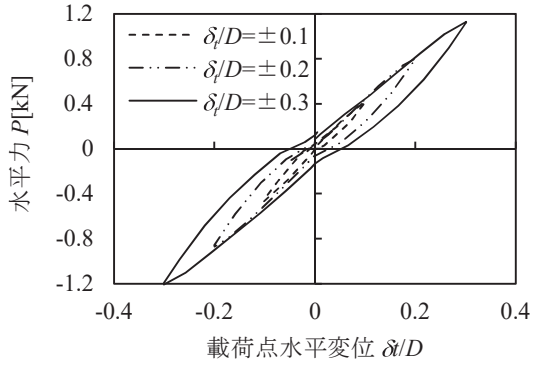
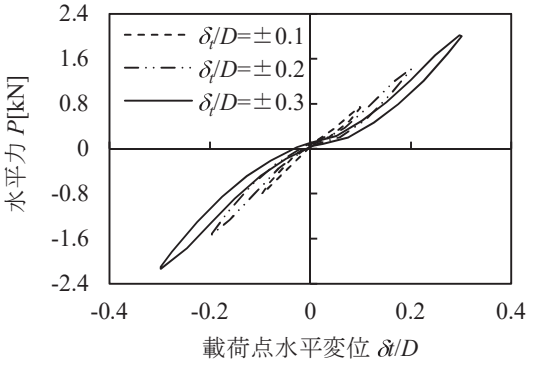
6.2.2　突出（気中部）の有無による違い

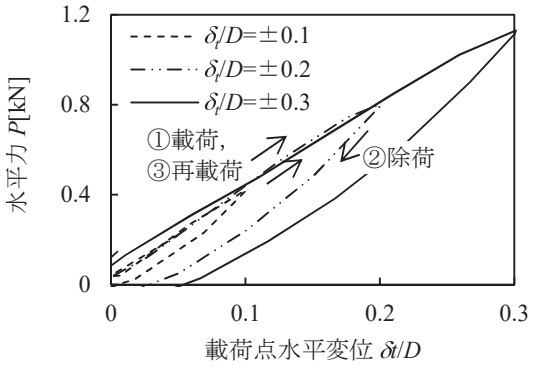
5.2 節で示したように、一般的な杭に比べて突出長の長い本構造においても、砂質土地盤と粘性土地盤で $P-\delta_t$ 関係が異なる傾向が見られた。表 6.4 は、各検討ケースにおける $P-\delta_t/D$ 関係について、δ_t/D=0.1、0.2 および 0.3 における正負交番処女載荷時のループを取り出して表示したものである。また 3 本柱に対する結果について、図 6.6 に第 1 象限を拡大した図を示す。

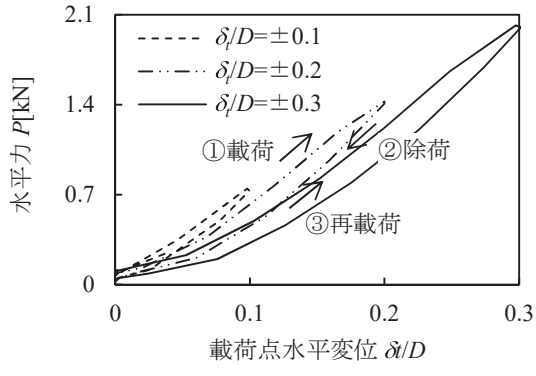
突出の無い杭と同様に、砂質土では紡錘型のループを示し、再載荷時においても変位レベルの小さい段階から地盤が抵抗する様子がわかる。一方、粘性土では、再載荷時において過去に受けた変位レベルまで（過去に生じた隙間から周面地盤に再接触するまで）地盤抵抗が低下し、その間の再載荷勾配は過去の除荷時勾配と同程度であることがわかる（5.5 節参照）。

つまり、荷重－変位関係に着目すると、比較的浅い深度領域での地盤抵抗特性は、突出の有無に関わらず、同様の傾向を示すことがわかった。またこの特性は、柱本数の違いに依らず同様であった。深度方向の抵抗特性の詳細については、次節以降で考察する。

表 6.4　各検討ケースにおける水平力 P－変位 δ_t/D 関係

	砂質土	粘性土
1 本柱		
3 本柱		





(a)　ケース<S1-5-3 改>　　(b)　ケース<C1-5-3 改>

図 6.6　本実験結果による水平力 P－変位 δ_t/D 関係（第 1 象限拡大図）

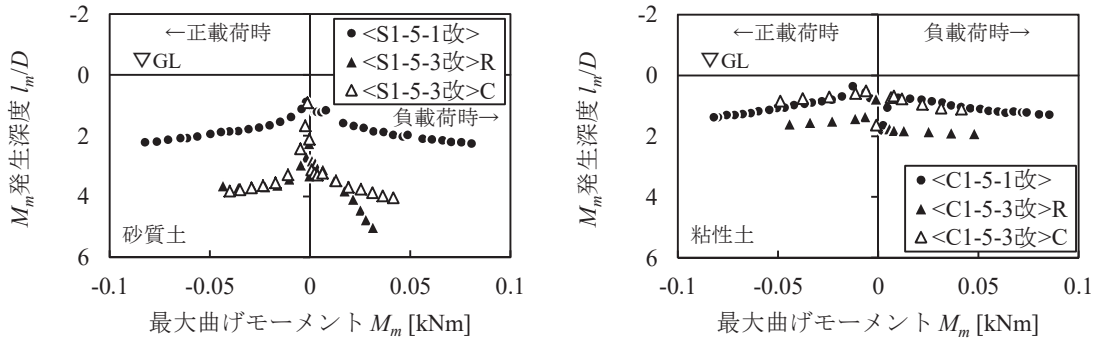
6.3　柱－杭の諸物理量分布特性

6.3.1　曲げモーメント分布

(1)突出の大きい杭における曲げモーメント分布特性

5.3 節で示した結果では、砂質土と粘性土でそれぞれ柱本数により地中部最大曲げモーメント M_m および M_m 発生深度 l_m に違いが見られた。図 6.7 は、各ケースにおける M_m（3 本柱のケースにおいては 1 本あたりの曲げモーメント）および l_m の関係を図示したもので、図(a)および(b)はそれぞれ砂質土と粘性土における結果を示している。

先の曲げモーメント分布図からは、1 本柱と 3 本柱の柱部で曲げモーメントがゼロになる点、すなわち式(6.6)で示した見かけの突出長$\overline{h}$には違いがあることがわかっており、$\overline{h}$が大きい1本柱では l_m が浅くなる傾向が図に見てとれる。つまり、$\overline{h}$が大きくなることで地中部杭の変形モードが変わり、地盤の主たる抵抗範囲が上方に遷移することがわかる。



(a)　砂質土における結果　　(b)　粘性土における結果

※凡例の R と C は、ジャッキ反対側の杭と中央の杭に対する結果をそれぞれ表す。

図 6.7　各ケースにおける地中部最大曲げモーメント M_m および M_m 発生深度 l_m の関係

以上の結果を踏まえ、以下ではまず突出のある柱－杭を弾性床上の半無限長のはりとみなし、一般解を用いて気中部高と l_m の関係について考察する。そして、本実験結果と文献 2.16)に示される既往の突出の無い杭に対する載荷実験結果を併せて得られた一般解と比較することで、突出の有無による違いについて考察する。

(2) 地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m と気中部高 h の関係

図 6.8 に示すように、突出のある柱ー杭を弾性床上の半無限長のはりとみなせば、柱頭部において水平力 P および外力としての曲げモーメント M_t が作用する系について M_m 発生深度 l_m は式(6.10)で表される。

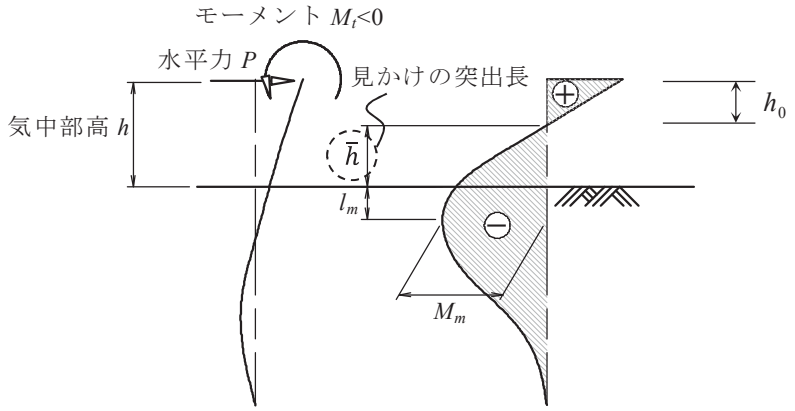


図 6.8　見かけの突出長$\bar{h}$の概念図（柱頭部に負のモーメントが作用する場合）

$$l_m = \frac{1}{\beta}\tan^{-1}\frac{1}{1+2\beta\bar{h}} \quad \text{----------(6.10)}$$

ここに、β：　杭の特性値(m^{-1})であり次式で表される

$$\beta = \sqrt[4]{k_H D / 4EI}$$

k_H：　水平方向地盤反力係数(N/mm^2)

D：　杭径(mm)

E：　杭の弾性係数(N/mm^2)

I：　杭の断面二次モーメント(mm^4)

$\bar{h}$：　見かけの突出長(mm)と称し、次式で表す

$$\bar{h} = h - h_0$$

h：　気中部高(mm)

h_0：　柱頭部から曲げモーメント第一ゼロ点までの高さ(mm)であり、次式で表される

$$h_0 = M_t / P$$

また、様々な条件を有する既往実験と比較するため、式(6.10)を杭の特性長 $1/\beta$ で無次元化すれば、

$$\beta l_m = \tan^{-1}\frac{1}{1+2\beta\bar{h}} \quad \text{----------(6.11)}$$

となり、βl_m と $\beta\bar{h}$ の関係を図示すれば、$y=\tan^{-1}\{1/(1+2x)\}$ のグラフとして図 6.9 の通り表される。例えば、突出の無い（h=0）杭の杭頭回転条件を自由と固定とした杭に対する見かけの突出長$\bar{h}$と l_m は、式(5.10)を用いて表 6.5 の通り算定される（図 6.9 の二点鎖線）。

表 6.5　突出の無い杭に対するβl_mと$\beta\bar{h}$

杭頭の回転拘束条件	突出長 h	杭頭モーメント M_t	見かけの突出長 $\bar{h}$	$\beta\bar{h}$	βl_m
自由	0	0	0	0	$\pi/4$
固定	0	$-P/2\beta$	$-1/2\beta$	$-1/2$	$\pi/2$

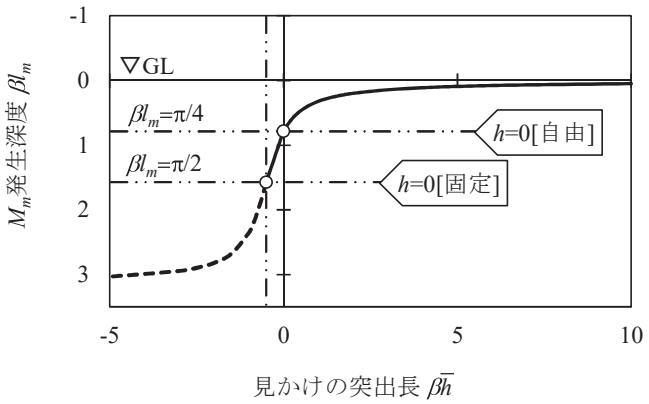


図 6.9　地中部最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m と見かけの突出長$\bar{h}$の関係

(3) 突出の有無による違い

図 6.10 は、各検討ケースおよび既往実験におけるβl_mと$\beta\bar{h}$の関係について示したもので、既往実験の凡例に示す 4 桁の数字は文献 2.16)における載荷実験の ID 番号である。図より、以下の事柄がわかる。

① 1本柱のケースでは、柱頭部の回転が拘束されないため$\beta\bar{h}$は3本柱に比べて大きくなり、βl_mは浅くなることがわかる。

② 3 本柱のケースでは、柱頭部の回転が拘束されるため$\beta\bar{h}$は突出の無い杭頭自由の杭に近くなりβl_mは深くなる。

③ いずれのケースにおいても、βl_mと$\beta\bar{h}$の関係は概ね一般解と一致する。特に、粘性土の3本柱は地盤条件が異なるため、その傾向を明確に把握することが困難であったが、$1/\beta$で無次元化することで、他のケースと同様に比較することができる。

④ 既往実験（●：h=0；1 本柱、■◆：h=0；群杭）についても、βl_mと$\beta\bar{h}$の関係は概ね一般解と一致しており、突出の有無に依らず、$\beta\bar{h}$を目安にすることで l_m の違いを捉えることができる。

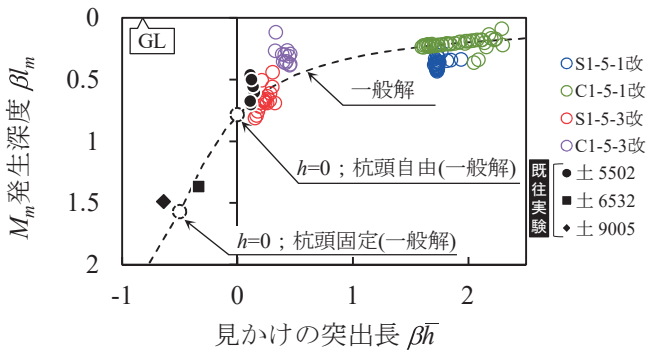


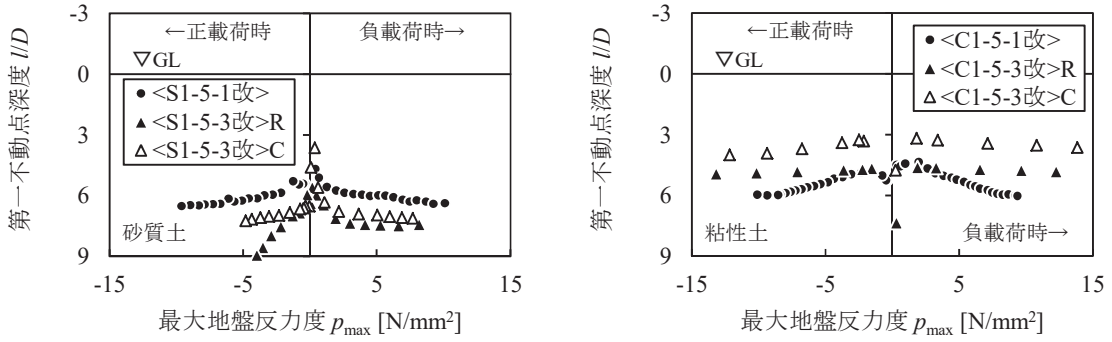
図 6.10　各検討ケースおよび既往実験におけるβl_mと$\beta\bar{h}$の関係

6.3.2　地盤反力度分布

(1)突出の大きい杭における地盤反力度分布特性

曲げモーメント分布と同様に、地盤反力度分布からは、第一不動点 l に各ケースで違いが見られた。図 6.11 は各ケースにおける最大地盤反力度および l の関係を図示したもので、図(a)および(b)はそれぞれ砂質土と粘性土における結果を示している。

砂質土では、l_m と同様に、見かけの突出長が大きいと、l は上方に位置する様子が見てとれ、地盤の主たる抵抗範囲が上方に位置することがわかる。一方、粘性土に対する結果からは、その傾向は見られなかった。これは、3.1.2(3)節に示す地盤条件の違いによるものと推察される。



(a)　砂質土における結果　　(b)　粘性土における結果

※凡例の R と C は、ジャッキ反対側の杭と中央の杭に対する結果をそれぞれ表す。

図 6.11　各ケースにおける最大地盤反力度および第一不動点 l の関係

(2) 地盤の抵抗範囲と気中部高の関係

前節で示した方法と同様に、図 6.12 に示すような突出のある柱－杭を弾性床上の半無限長のはりとみなし、柱頭部において水平力 P および外力としての曲げモーメント M_t が作用する系について第一不動点 l を求めれば式(6.12)で表される。

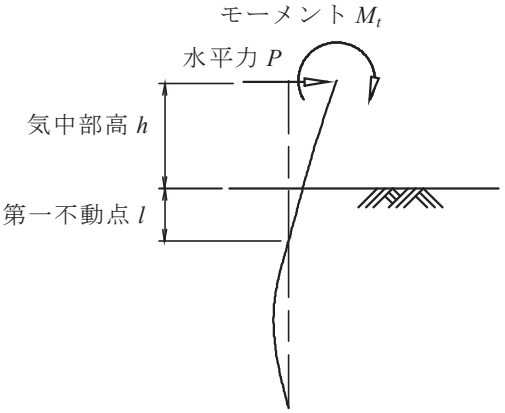


図 6.12　第一不動点の深度 l

$$l=\frac{1}{\beta}\tan^{-1}\frac{1+\beta\bar{h}}{\beta h'} \qquad \text{----------(6.12)}$$

さらに、式(6.12)を杭の特性長 $1/\beta$ で無次元化すれば、

$$\beta l=\tan^{-1}\frac{1+\beta\bar{h}}{\beta\bar{h}} \qquad \text{----------(6.13)}$$

となり、βl と $\beta\bar{h}$ の関係を図示すれば、$y=\tan^{-1}\{(1+x)/x\}$ のグラフとして図 6.13 の通り表される。例えば、突出の無い（$h=0$）杭の杭頭回転条件を自由と固定とした杭に対する見かけの突出長 $\bar{h}$ と l は、式(5.12)を用いて表 6.6 の通り算定される（図 6.13 の二点鎖線）。

表 6.6　突出の無い杭に対する βl と $\beta\bar{h}$

杭頭の回転拘束条件	突出長 h	杭頭モーメント M_t	見かけの突出長 $\bar{h}$	$\beta\bar{h}$	βl
自由	0	0	0	0	$\pi/2$
固定	0	$-P/2\beta$	$-1/2\beta$	$-1/2$	$3\pi/4$

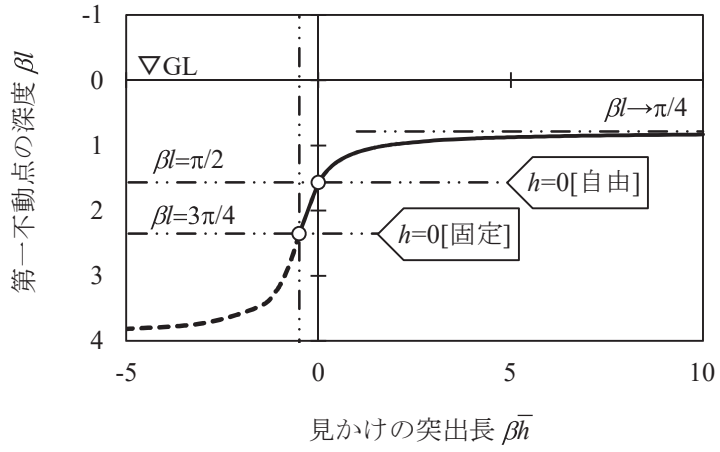


図 6.13　第一不動点の深度 l と見かけの突出長 $\bar{h}$ の関係

(3) 突出の有無による違い

図 6.14 は、各検討ケースおよび既往実験におけるβl と$\beta\bar{h}$の関係について示したもので、既往実験の凡例に示す 4 桁の数字は文献 2.16)における載荷実験の ID 番号である。図より、以下の事柄がわかる。

① $\beta\bar{h}$が大きい1本柱のケースでは、βl_m と同様に、βl が浅くなることがわかる。
② 3 本柱のケースでは、突出の無い杭頭自由の杭と同程度のβl となる。
③ いずれのケースにおいても、βl と$\beta\bar{h}$の関係は概ね一般解と一致する。βl_m と同様に、他のケースと傾向が異なった粘性土の3本柱においても、$1/\beta$で無次元化することで、比較が容易になる。
④ 既往実験（●：h=0；1 本柱、■◆：h=0；群杭）についても、βl と$\beta\bar{h}$の関係は概ね一般解と一致しており、突出の有無に依らず、$\beta\bar{h}$を目安にすることで地盤抵抗範囲の違いを捉えることができる。

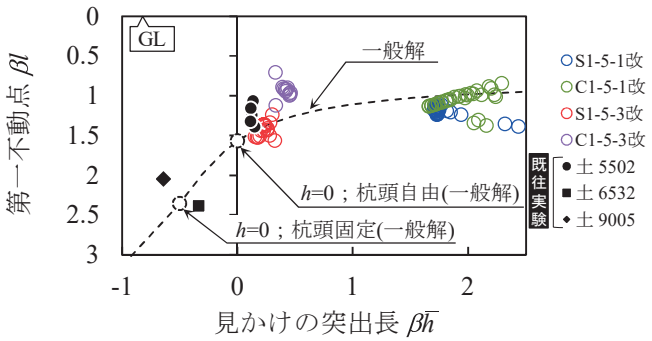


図 6.14　各検討ケースおよび既往実験におけるβl と$\beta\bar{h}$の関係

7. 再現数値解析と考察

7.1 解析モデルと条件

本研究で実施した再現解析モデルを図 7.1 に示す。また解析モデルの諸元を表 7.1 に示す。解析モデルは，実験で使用したアルミ管の諸定数，地盤定数は三軸試験から求めた E_{50} やせん断抵抗角を使用した。解析は，アルミ管柱頭部へ作用させる荷重を漸増させ，正負交番載荷試験で確認した繰り返し荷重のピーク値と比較する。

考慮する地盤抵抗はアルミ管柱前背面の水平地盤抵抗であり，式(7.1)～(7.3)に示す H24 道示 IV の杭基礎前面の水平地盤抵抗ばねによりモデル化した。

$$k_H = k_{H0}(B_H/0.3)^{-3/4} \quad (7.1)$$

$$k_{H0} = 1/0.3\,\alpha E_0 \quad (7.2)$$

$$p_{HU} = \eta_p \alpha_p p_U \quad (7.3)$$

ここに，k_H，k_{H0} は地震時の水平方向地盤反力係数であり，P_{HU} は水平方向地盤反力係数の上限値，P_U は地震時の受働土圧強度である。式中の諸係数は道示Ⅳより引用した。

検討ケースは実験検討ケースと同様、表 7.2 および表 7.3 に示す 1 本柱（砂、粘土）と 3 本柱（砂、粘土）の 4 ケースとした。

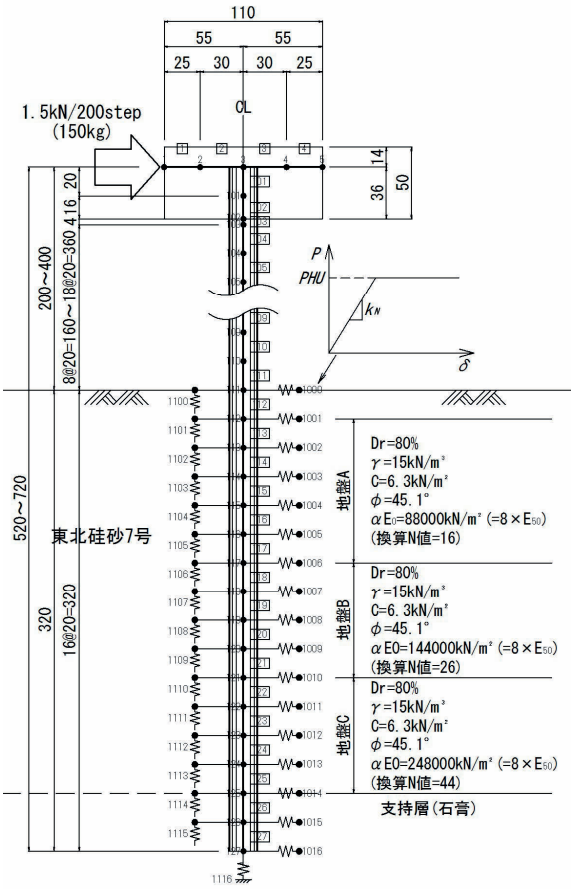


図 7.1　解析モデル(s1-5-1)

表 7.1　解析モデル諸元

部材断面の諸元

部材名	規格	断面積 (m^2)	単位質量 (kN/m)	断面二次モーメント		ヤング率 (kN/m^2)	曲げ剛性EIx (kN・m^2)
				Ix (m^4)	Iiy (m^4)		
アルミ管	φ20　t=1.2mm	0.000071	0.001949	3.14399E-09	-	70000000	0.22008

地盤ばね

地盤	KN (kN/m^3)	K1(kN/m)	PHU(kN)	δ1(mm)
A	1265000	1621.818992～1081.212662	0.0335～0.1117	0.0207～0.1033
B	2178000	1861.566148	0.1340～0.2010	0.0720～0.1080
C	3968000	3391.503432	0.2234～0.2904	0.0659～0.0856

表 7.2　砂質土地盤

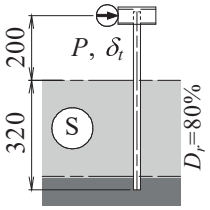
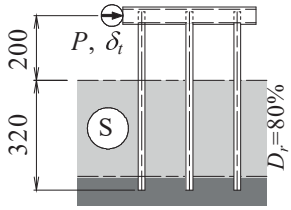
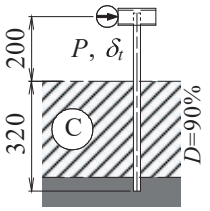
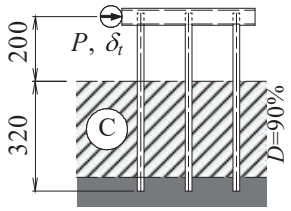
項目		記号	単位	検討ケース			
				名称：S1-5-1 改		名称：S1-5-3 改	
柱－杭	本数	N	本	1		3	
	柱高	h	mm	200		200	
	杭長	L	mm	320		320	
地盤	相対密度	D_r	%	80		80	

表 7.3　粘性土地盤

項目		記号	単位	検討ケース			
				名称：C1-5-1 改		名称：C1-5-3 改	
柱－杭	本数	N	本	1		3	
	柱高	h	mm	200		200	
	杭長	L	mm	320		320	
地盤	締固め度	D	%	90		90	

7.2 荷重－変位関係

次頁の図は、柱頭部と地際部における実験と解析の P-δ曲線を示す。縦軸は柱頭部に作用させた水平荷重，横軸に柱頭部，地際部のそれぞれ水平変位を柱径で無次元化したものを示す。

砂質土地盤については、実験値より解析値の方が大きくなっている。これに対し、粘性土地盤では、実験値よりも解析値の方が小さくなっている。これについては、7.4 にて後述する。

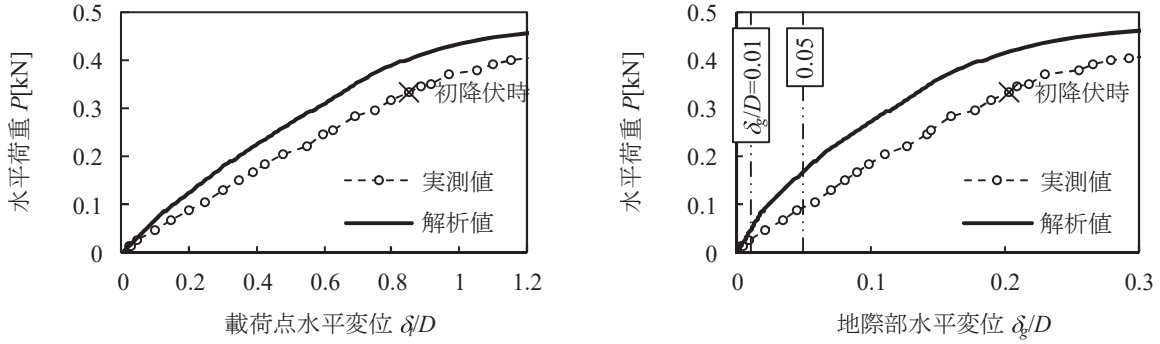


図 7.2　1 本柱-砂質土地盤（S1-5-1 改）

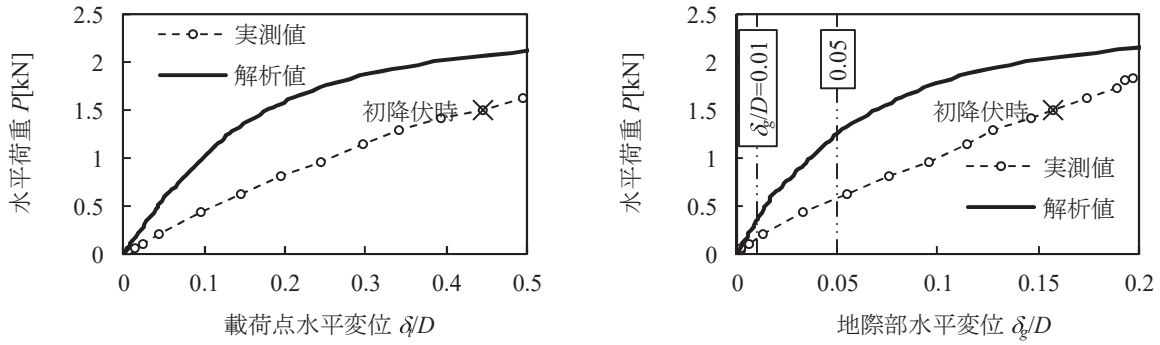


図 7.3　3 本柱-砂質土地盤（S1-5-3 改）

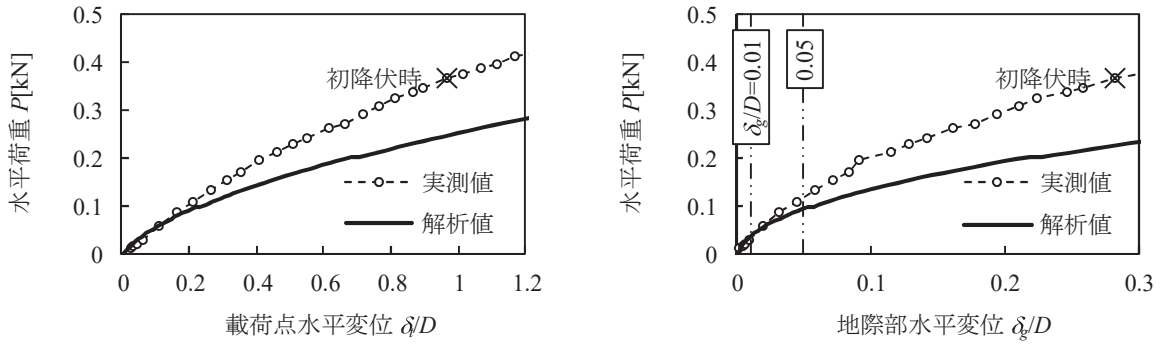


図 7.4　1 本柱-粘性土地盤（C1-5-1 改）

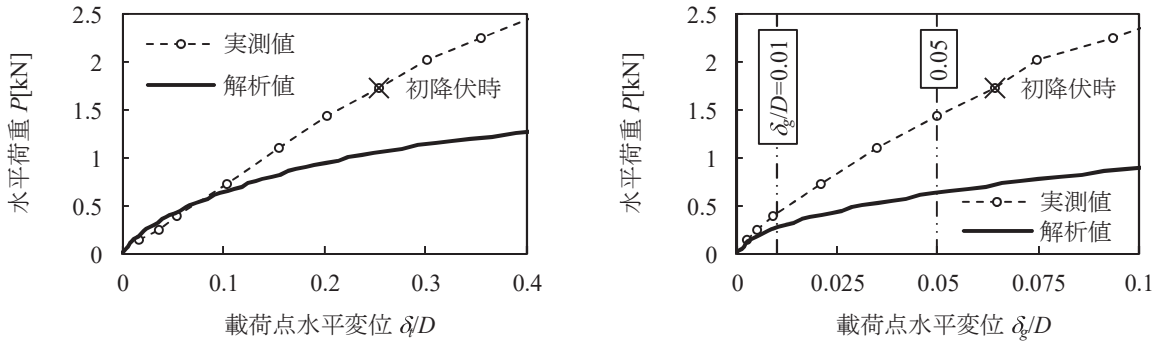


図 7.5　3 本柱-粘性土地盤（C1-5-3 改）

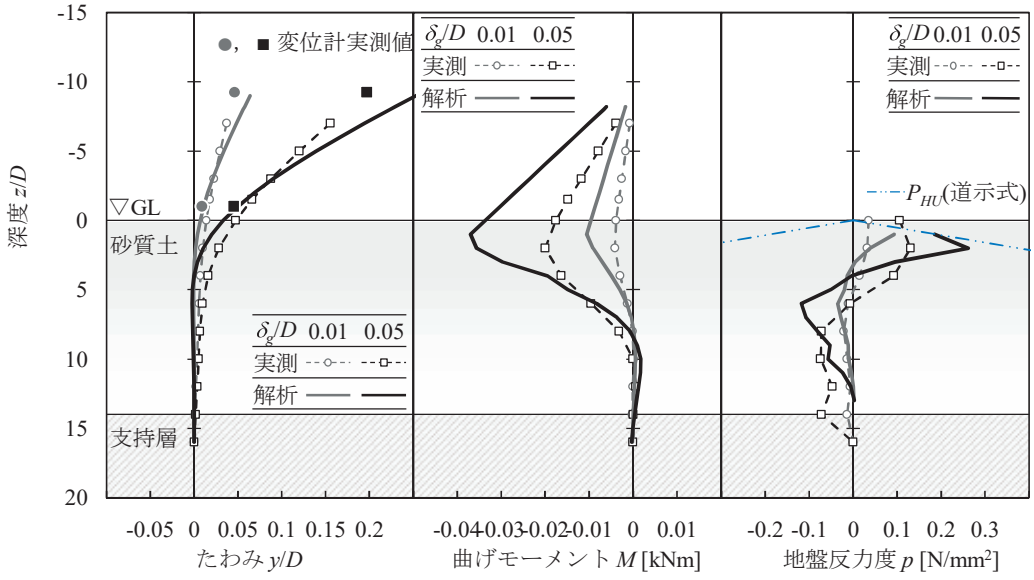
7.3 深度分布図

実験と解析の水平変位、曲げモーメント、地盤反力度の深度分布図を以下に示す。

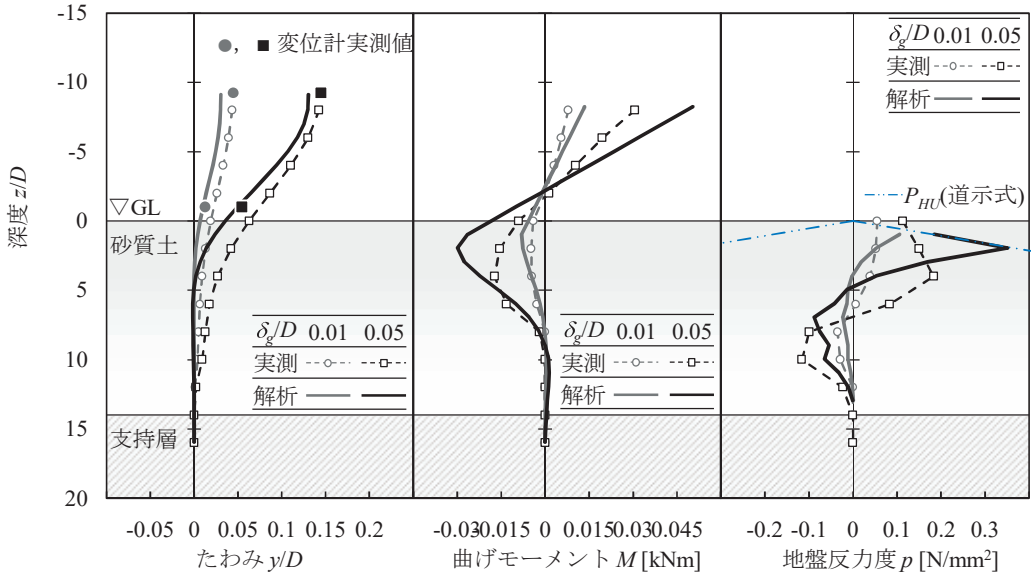
水平変位は横軸に水平変位を柱・杭径で無次元化した値を、縦軸に深度を柱・杭径で無次元化した値を示す。S1-5-1 は、上部工位置では、解析値の方が実験値よりも大きく、地際部では実験値の方が解析値よりも大きい。S1-5-3 は、実験値が全体的に解析値よりも大き目となっている。C1-5-1 は、解析値よりも全体的に実験値のほうが若干大き目であるが、概ね再現できているものと考えられる。C1-5-3 は、地上部の変位が解析値に比べ、実験値の方が大き目となっている。

曲げモーメントは、横軸に曲げモーメント、縦軸に深度を柱・杭径で無次元化した値を示す。S1-5-1 は解析値の方が実験値よりも大き目である。地中部の曲げ最大位置については、概ね同深度である。S1-5-3 は、解析値の方が実験値よりも大き目である。地中部の曲げ最大位置に着目すると、実験値よりも解析値の方が、浅い位置で発生している。C1-5-1 は、実験値よりも解析値の方が若干小さ目であるが、ほぼ同等の値であり、概ね再現できているものと考えられる。C1-5-3 は、実験値の方が解析値よりも大き目である。地中部の最大曲げモーメントの発生値は、解析値の方が、実験値よりも深い位置で発生している。

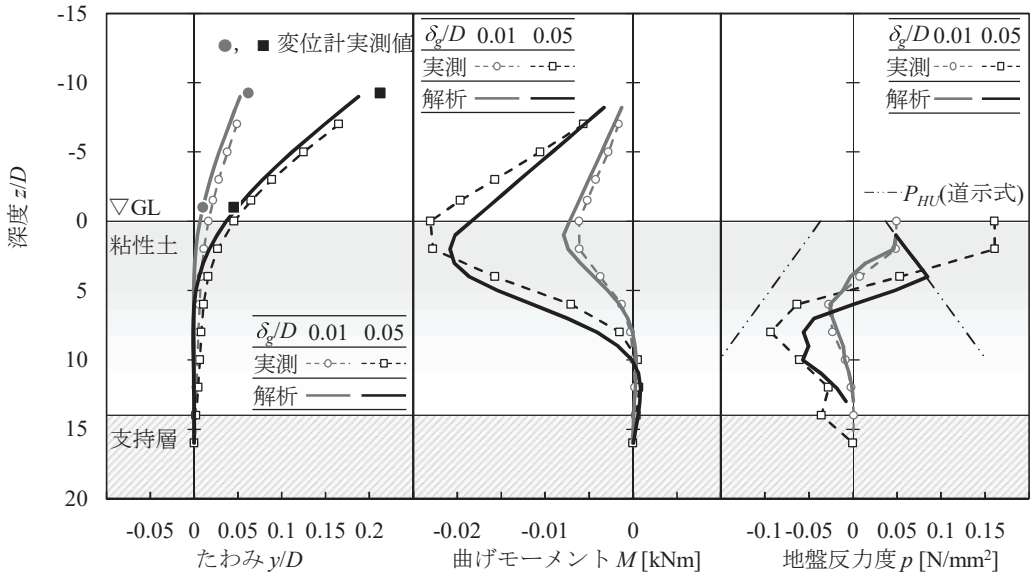
地盤反力度は、横軸に地盤反力度、縦軸に深度を柱・杭径で無次元化した値を示す。また、併せて、地盤反力度の上限値（道示式）も示している。砂質土地盤では、地表面付近の地盤反力度が実験値よりも大きくなっている。これは、道示式による地盤反力度の上限値が実際よりも大き目であることが考えられる。粘性土地盤では、砂質土地盤とは逆の傾向が見られた。



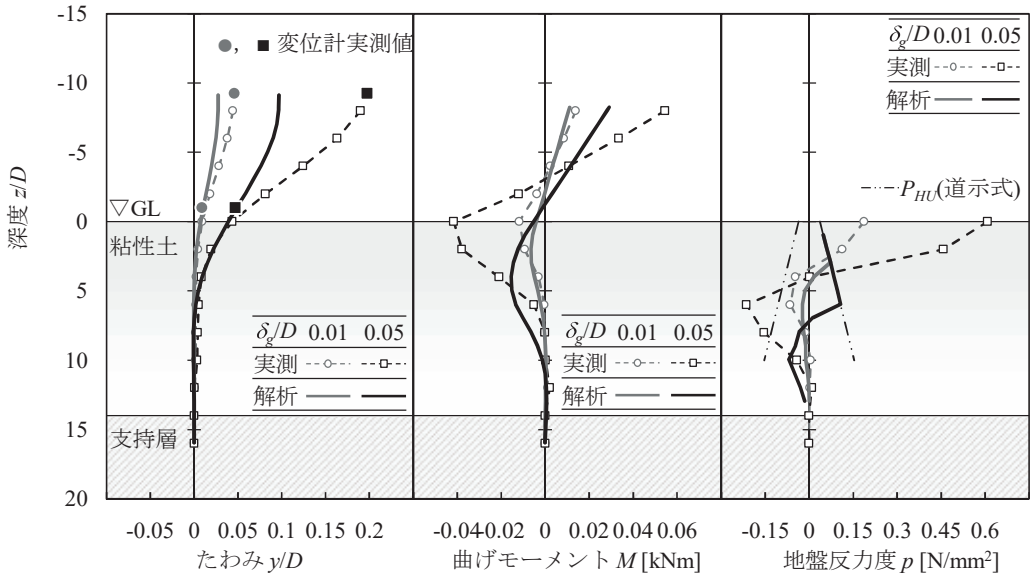
(1)S1-5-1



(2)S1-5-3



(3)C1-5-1



(4)C1-5-3

図 7.6　深度分布図

7.4　実験との比較結果を踏まえた修正再現解析

実験完了後の地際部の状況を写真 7.1、7.2 に示す。砂質土地盤は地表面の乱れの影響を受け、一方粘性土地盤は乱れていない（3 本柱も同様の状況であり、詳細は A2 写真帳参照）。これらの状況は 7.1～7.3 で仮定した再現解析モデルの水平地盤抵抗ばね条件とは異なることから、ここでは修正再現解析として、実験で確認された状況の再現を試みる。

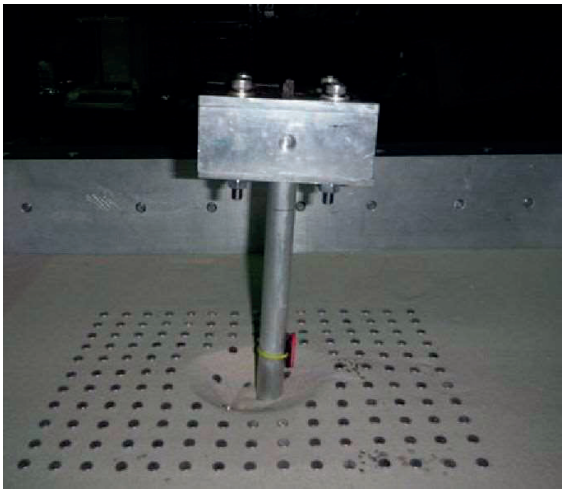


写真 7.1　S1-5-1 実験終了後

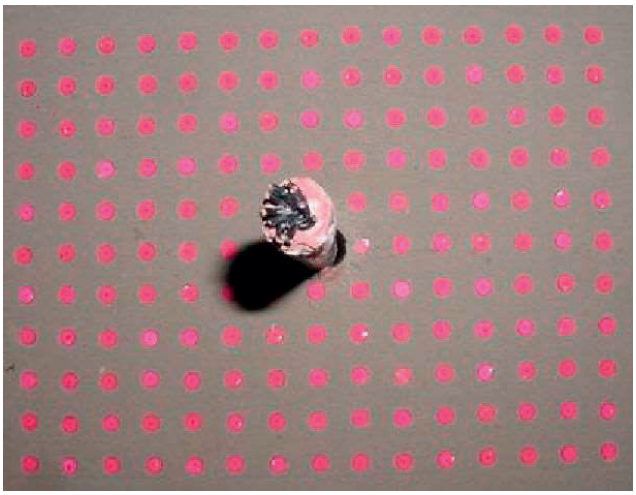


写真 7.2　C1-5-1 実験終了後

＜砂質土地盤における修正再現解析＞

砂質土地盤は杭と砂の間に砂が入り込み杭との間に隙間はない。地際部付近はその影響により砂が沈下し、気中部の長さが大きくなっていることが確認できる。この結果、繰り返し回数の増加に伴い気中部の長さが初期値から増大し、解析結果に乖離が生じたものと想定される。

ここでは、実験値との差異が大きい 3 本柱の結果を取り上げ、繰り返しの影響により増大する気中部の長さの変化、すなわち地際部付近の乱れの影響について着目し、設計地盤面と水平地盤反力度に着目した以下の 2 つの方法による修正再現解析を行う。

検討 1　H24 道示IV9.5 設計上の地盤面、H24 道示Ⅴ4.6 耐震設計上の地盤面にて設定された設計上の地盤面を地表面から 1D 間隔で地中方向へ下げた場合

検討 2　H24 道示IV表-解 12.10.1 で設定された水平地盤反力度の上限値の補正係数 α_p=3.0 を小さくした場合

＜粘性土地盤における修正再現解析＞

次に粘性土地盤について考える。粘性土地盤は地盤が自立し、杭との間に隙間が生じている。またひび割れや隆起など明らかな地盤の乱れは確認できなかった。そのため、実験値との差異が大きい 3 本柱の結果を取り上げ、水平地盤抵抗ばねを線形ばねとした上で、設計地盤面と水平地盤反力係数に着目した以下の 2 つの方法による修正再現解析を行う。

検討 3　H24 道示IV9.5 設計上の地盤面、H24 道示Ⅴ4.6 耐震設計上の地盤面にて設定された設計上の地盤面を地表面から 1D 間隔で地中方向へ下げた場合。

検討 4　H24 道示Ⅳ表-解 12.10.1 で設定された水平方向地盤反力係数の補正係数 α_k=1.5 を小さくした場合。

表 7.4 に検討 1～4 の概要をまとめる。

表 7.4　水平地盤抵抗ばねモデルの修正方法一覧表

		設計地盤面の影響検討	補正係数 α_k,α_p の影響検討
砂質土地盤	検討 1	○；設計地盤面を下げる	－
	検討 2	－	○；α_p を小さくする
粘性土地盤	検討 3	○；設計地盤面を下げる	－
	検討 4	－	○；α_k を小さくする

○：修正あり　／　－：修正なし

7.4.1　検討 1　S1-5-3 改 砂質土　設計地盤面の低下を考慮した修正再現解析

検討 1 では、設計地盤面を地表面としたケースから順に 1D 間隔（0.5m）毎に下げたケースについて考える。図 7.7 に P-δ 関係を示す。

解析結果からは、設計地盤面を地中方向へ下げることで実験値に近づく傾向を示し、図 7.7 地際部の水平変位 δ_g/D=0.01,0.05 に着目した時、地表面から 2m 下げたケースにおいて、地際部の水平変位がほぼ実験値と同値となることが確認できる。

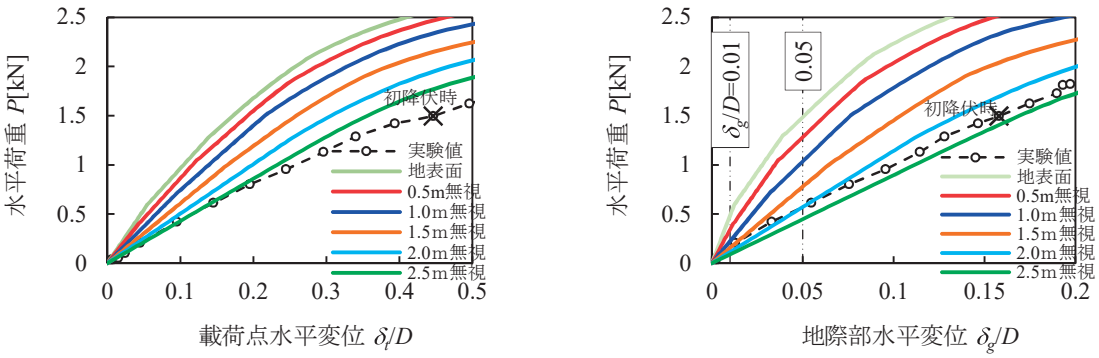


図 7.7　3 本柱-砂質土地盤（S1-5-3 改）設計地盤面の低下を考慮した P-δ 関係

次に、設計地盤面を地表面より 2m 下げたケースの深度分布図を図 7.8 に示す。ここでは当初再現解析モデルの深度分布も併せて示す。

たわみ図に着目すると、設計地盤面が下がった影響により、抵抗地盤がより深くなり、結果として杭の変位量もより深い位置まで変位している。その結果、実験値に近い傾向を示すことが確認できる。

曲げモーメントや地盤反力度の分布も当初再現解析モデルと比べて修正再現解析モデルの方が実験値に近い傾向を示すことが確認できる。

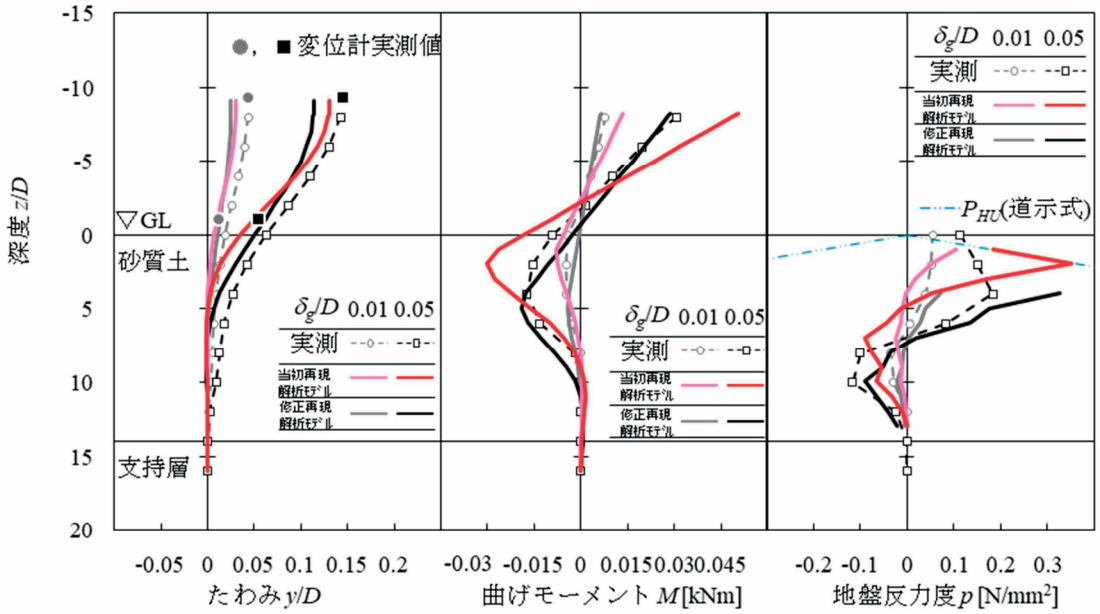


図 7.8　3 本柱-砂質土地盤（S1-5-3 改）設計地盤面の低下（DL-3m）を考慮した深度分布

7.4.2　検討 2　S1-5-3 改 砂質土　水平地盤反力度の上限値の低下を考慮した修正再現解析

検討 2 では、繰り返しの影響の増大に伴って地際部が乱れたことを踏まえて α_p=0.5~3.0 と地盤反力度の上限値が小さくなる方向に変化させたケースについて考える。図 7.9 に P-δ 関係を示す。

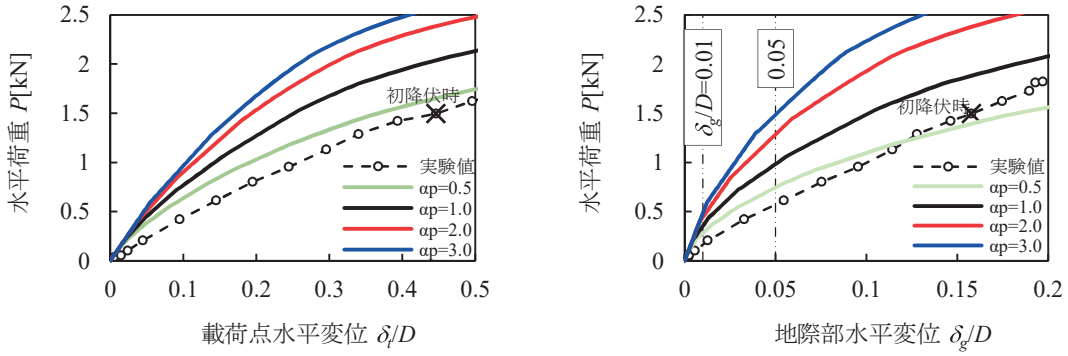


図 7.9　3 本柱-砂質土地盤（S1-5-3 改）水平地盤反力度の上限値の低下を考慮した P-δ 関係

α_p=0.5 としたケースが実験値に近い傾向を示すことが確認できる。

次に、α_p=0.5 としたケースの深度分布図を図 7.10 に示す。ここでは当初再現解析モデルの深度分布も併せて示す。

たわみ図に着目すると、当初再現解析モデルよりも水平地盤反力度が早く上限値に達することから、より深い位置まで杭が変化しており、実験値に近い傾向を示すことが確認できる。また、曲げモーメントや地盤反力度の分布も当初再現解析モデルよりも実験値に近い傾向を示すことが確認できる。

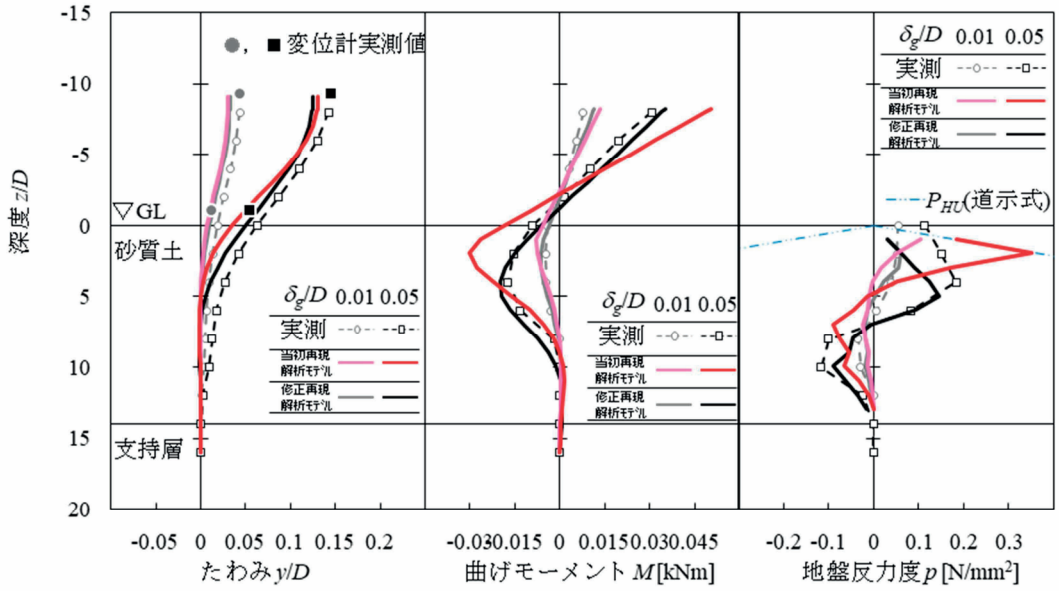


図 7.10　3 本柱-砂質土地盤（S1-5-1 改）水平地盤反力度の上限値の
低下（α_p=0.5）を考慮した深度分布

7.4.3　検討 3　C1-5-3 改 粘性土　設計地盤面の低下を考慮した修正再現解析

検討 3 では、水平地盤抵抗ばねを線形ばねとした上で、設計地盤面を地表面としたケースから順に 1D 間隔（0.5m）毎に下げたケースについて検討する。図 7.11 に *P-δ* 関係を示す。

解析結果からは、設計地盤面が地中部に下がる毎に実験値に近い傾向を示し、図 7.11 地際部の水平変位 δ_g/D=0.01,0.05 に着目した時、地表面から 1m 下げたケースにおいて、地際部の水平変位が実験値に近似することが確認できる。図 7.12 は設計地盤面を DL-1m とした時の深度分布を示したものであるが、当初再現解析に比べ、たわみ図、曲げモーメント図、地盤反力度分布ともに実験値に近い傾向を示していることが確認できる。

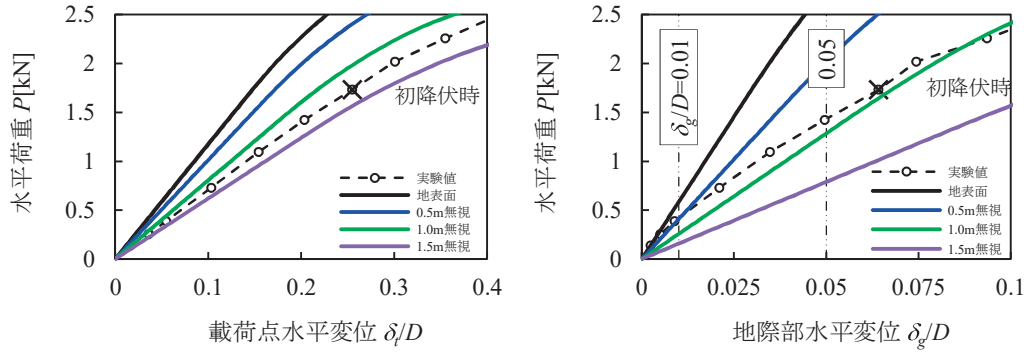


図 7.11　3 本柱-粘性土地盤（C1-5-3 改）設計地盤面の低下を考慮した *P-δ* 関係

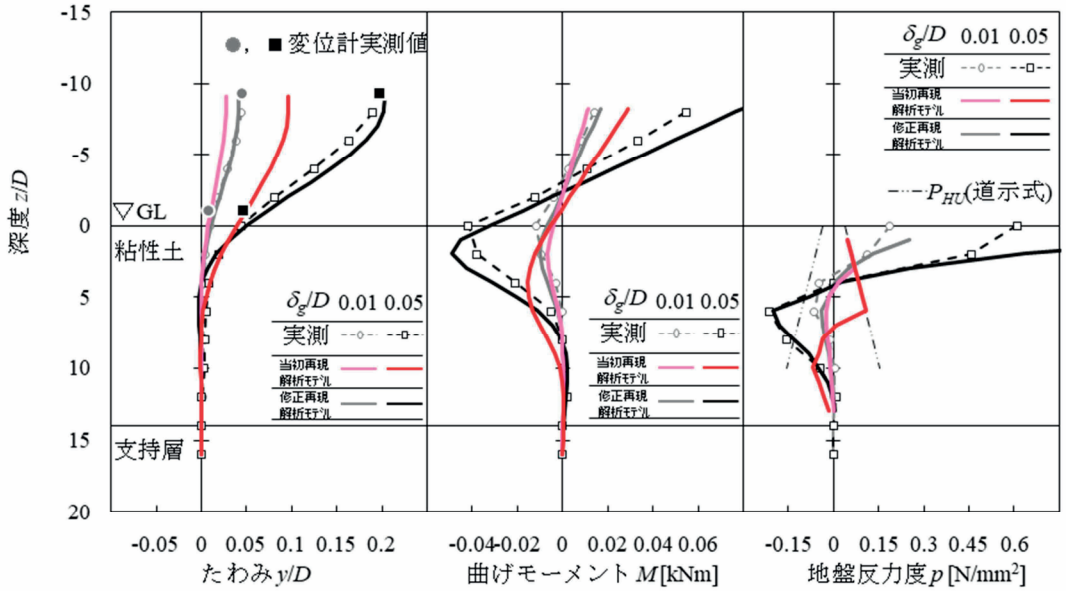


図 7.12　3 本柱-粘土地盤（C1-5-3 改）設計地盤面の低下（DL-1m）を考慮した深度分布

7.4.4　検討 4　C1-5-3 改 粘性土　水平地盤反力係数の補正係数の変化を考慮した修正再現解析

検討 4 では、水平地盤抵抗ばねを線形ばねとした上で、水平地盤反力係数の補正係数を α_k=0.5~2.0 と変化させた場合の修正再現解析を行う。

図 7.13 に修正再現解析結果を示す。また、δ_g/D=0.01,0.05 に着目した時、実験値に近い傾向を示す α_k=0.5 としたときの深度分布図を図 7.14 示す。*P-δ* 曲線、深度分布共に修正再現解析は実験値に近い傾向を示すことが確認できる。

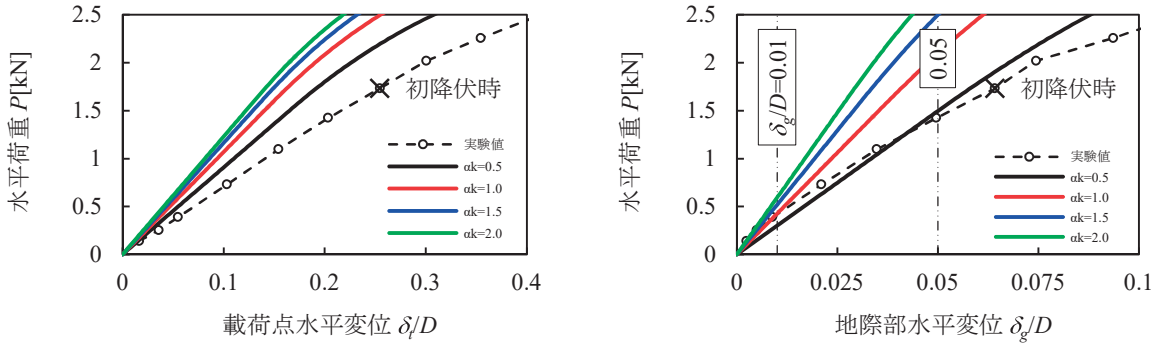


図 7.13　3 本柱-粘土地盤（C1-5-3 改）水平地盤反力度の補正係数の変化を考慮した *P-δ* 関係

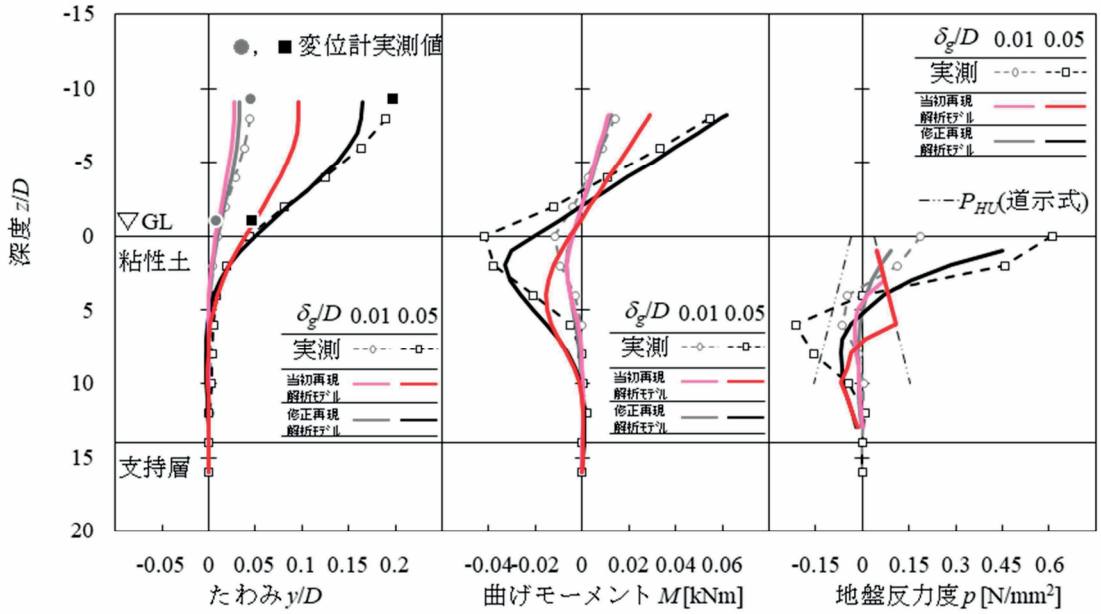


図 7.14　3 本柱-粘土地盤（C1-5-3 改）水平地盤反力度の補正係数(α_k=0.5)を考慮した深度分布

7.4.5　修正再現解析のまとめ

砂質土地盤の修正再現解析では、設計地盤面を下げたケースと水平地盤反力度の上限値 α_p を小さくした 2 ケースについて検討を行った。検討の結果、本実験で確認した砂質土地盤 3 本柱モデル（S1-5-3 改）においては、設計地盤面を 2m 下げたケースにおいて、また α_p=0.5 と低下させたケースにおいて、それぞれ水平変位 δ_g/D=0.01,0.05 の範囲で実験値に近い傾向を示すことが分かった。

次に粘性土地盤の修正再現解析では、水平地盤抵抗ばねを線形ばねとした上で、設計地盤面を下げたケースと水平地盤反力係数の補正係数 α_k を変化させたケースについて検討を行った。検討の結果、本実験で確認した粘性土地盤 3 本柱モデル（C1-5-3 改）においては、設計地盤面を 1m 下げたケースにおいて、また α_k=0.5 と低下させたケースにおいて、それぞれ水平変位 δ_g/D=0.01,0.05 の範囲で実験値に近い傾向を示すことが分かった。

8. まとめ

本研究では、遠心場における静的水平載荷模型実験によりフーチングを有しない一柱一基礎構造に対する水平地盤抵抗特性についてまず調べた。次に、実務設計で一般的に用いられる解析モデルによる再現数値解析と修正再現解析を行い、実務設計モデルの本構造に対する適用性を調べた。

本研究で得られた成果は、以下の通りである。

[1] 砂質土と粘性土のケースで、$P-\delta_t$ 関係に違いが見られた（本編 6.2 節参照）。すなわち、砂質土では除荷後に残留変位が生じ、粘性土では砂質土に比べて残留変位が小さく、突出の無い杭と同様の傾向を示した。このことは、載荷実験後の地表面相対変位の観察結果からも明らかになった。

[2] 粘性土のケースでは、砂質土に比べて残留変位が小さいことがわかった。これは、上記[1]に関連し、砂質土では繰り返し載荷に伴って杭周面の地盤が落ち込み、地盤抵抗が続くことで有意な残留変位が生じたこと。粘性土においては、地盤の自立性により隙間が埋まらないことにより有意な残留変位が生じなかったと考えられる。

[3] 最大曲げモーメント M_m 発生深度 l_m は、砂質土および粘性土ともに、3 本柱に比べて 1 本柱の方が浅くなった。また、気中部の曲げモーメント分布から、見かけの突出長$\overline{h}$を用いて整理すれば、気中部高は同じでも上部構造の拘束条件の違いにより、1 本柱に比べて 3 本柱の$\overline{h}$が短くなることがわかった。

[4] 上記[3]の違いについて、突出の無い杭に対する既往実験も含めた比較により、$\overline{h}$が大きくなるほど l_m は浅くなる傾向が見てとれた。

[5] 地盤反力度分布から、第一不動点 l の深度は、l_m と同様に、$\overline{h}$が大きくなるほど浅くなる傾向があることがわかった。

[6] 上記[3]～[5]の結果を、柱－杭を弾性床上のはりと見なした一般解と比較することで、「$\overline{h}$と杭の特性値βが変形モードに与える影響」としてそれぞれ整理でき、$\beta\overline{h}$が大きくなるほど、地盤の主たる抵抗領域が上方に遷移することを明らかにした。

[7] 地盤反力度分布から、地表面では地中部に比べて地盤反力度が小さくなる様子が見られたが、この性状と道示による極限地盤反力度 P_{HU} 分布との関係性は見出せなかった。

[8] 本載荷試験結果から求めた基準変位（δ_g/D=0.01）に対する逆算 k_H は、いずれのケースにおいても道示 k_H と同程度の値を示した。

[9] 基準変位以外のピーク値から求めた逆算 k_H は、道示 k_H にひずみ振幅依存性（-1/2 乗則）を考慮した値と同程度となった。

[10] 砂質土地盤に対し、H24 道示Ⅳの水平地盤抵抗ばねを使用した再現解析の結果、実験値よりも地盤反力度の上限値が大きく、変位量は小さくなる傾向を示すことが分かった。すなわち、実験値の方が再現解析よりも変位量は大きいことが分かった。

[11] そこで、実験で確認された「柱近傍の地盤がくぼむ傾向」に対し、設計地盤面を下げる方法、もしくは水平地盤反力度の上限値を小さくする修正再現解析を実施したところ、いずれの方法も実験値に近い傾向を示すことが確認できた。

[12] 粘性土地盤に対し、H24 道示 IV の水平地盤抵抗ばねを使用した再現解析の結果、$P-\delta$関係は変位が大きくなるに従って地盤ばねが水平地盤反力度の上限値に達し、実験値よりも大きな変位を示すことが分かった。すなわち実験値の方が再現解析よりも変位量は小さい。

[13] そこで、実験で確認された「柱近傍の地盤が崩壊に至らず、自立することで柱－杭との間に隙間が生じた」ことを踏まえ、水平地盤抵抗ばねを線形とした上で、設計地盤面を下げる方法、もしくは水平地盤反力係数の補正係数を小さくした修正再現解析を実施したところ、実験値に近い傾向を示すことが確認できた。

[14] 1 本柱と 3 本柱を比較すると、解析で得られた地中部最大曲げモーメント発生深度 l_m が 1 本柱よりも 3 本柱の方が深いことがわかった。これより 1 本柱と 3 本柱の変形モードの違いを解析で概ね評価できているものと考える。

以上のように、本研究では，気中部の高さの違いが変形モードに与える影響に着目することで、一般的な杭に比べて突出の大きい一柱一基礎構造の水平方向地盤抵抗特性について明らかにした。また、修正再現数値解析では 4 ケース提案し、実務設計を見据えた解析モデルの適用性について、現時点で課題はあるものの、有効性は確認できた。

残された課題は、以下の通りである。

[1] 本研究で対象とした範囲において、砂質土地盤では繰り返し載荷に伴って杭周面の地盤が落ち込むことや、粘性土地盤では、地盤の自立性により隙間が埋まらないことなど、地表面付近の地盤性状が実験値や再現解析結果に影響を与えることがわかった。特に、フーチングを有しない本構造に対して、地盤抵抗を期待する範囲、比較的浅い深度における極限地盤反力度の評価等に対して課題を残した。

[2] 本研究で示した修正再現解析結果は、気中部の高さ 5m、地中部の長さ 8m の構造でかつ N 値が 15 程度の地盤に限った結果である。また、設計地盤面が低下するメカニズムや砂質土地盤における水平地盤反力度の低下や粘性土における水平方向地盤反力係数の低下など、そのメカニズムは未解明である。そのため本修正再現解析結果の適用性については、さらなる検証が必要である。

今後は、実務設計するにあたり必要となる適用範囲を見極めた上で、本構造が有する水平地盤抵抗メカニズムの更なる解明を行い、鋼多柱式連続ラーメン構造の適切なモデル化について提案したい。

参考文献

2.1) 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，社団法人日本道路協会，2012.

2.2) 遠心場急速載荷装置取扱説明書，旧株式会社サーボテクノス，2005.

2.3) 香川崇章:土構造物の模型振動実験における相似則,土木学会論文報告集,第 275 号,pp.69-77,1978.

2.4) 杭の水平載荷試験方法・同解説，社団法人地盤工学会，2010.

2.5) 梅林福太郎，伊藤雪，大森貴行，神田恭太郎，原田健彦，尾添仁志：鋼多柱式ラーメン構造の耐震性能検証法に関する研究，第 69 回土木学会年次学術講演会，I-397，2014.

2.6) 大森貴行,原田健彦,梅林福太郎,伊藤雪:鋼多柱式連続ラーメン橋の設計手法開発（その１），ACK グループ技術報第 122 号，pp.4-13，2013.

2.7) 冨永晃司，山本春行：杭頭自由および固定の単杭が終局状態に至る水平挙動性状に関する理論と実験，構造工学論文集，Vol.37B，pp.1-10，1991.

2.8) 中谷昌一，白戸真大，河野哲也，中村祐二，野村朋之，横幕清，井落久貴：性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究，土木研究所資料第 4136 号，2009.

2.9) Hayashi, K.: Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage und ihre Anwendung auf den Tiefbau nebst einer Tafel der Kreis- und Hyperbelfunktionen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1921.

2.10) Hetényi, M.: Beams on Elastic Foundation: Theory with Applications in the Fields of Civil and Mechanical Engineering, Univ. of Michigan Press, 1946.

2.11) 例えば，杭基礎設計便覧，公益社団法人日本道路協会，2014.

2.12) 今井常雄:地盤の横方向 K 値の研究(3)－設計に用いる K 値－,土と基礎,Vol.17,No.11,pp.13-18,1969.

2.13) 今井常雄：地盤の横方向 K 値の研究(4)－LLT 測定結果によるクイの横方向挙動の計算法－，土と基礎，Vol.18，No.1，pp.11-16，1970.

2.14) 真野英之，鈴木康嗣，岸田英明：水平力を受ける杭及び周辺地盤の変形性状，日本建築学会関東支部研究報告集，1984.

2.15) 谷本俊輔，河野哲也，七澤利明，中谷昌一：接円式固化改良地盤に支持される杭基礎の水平抵抗特性に関する研究，地盤工学ジャーナル，Vol.8，No.4，pp.543-566，2013.

2.16) 中谷昌一，白戸真大，野々村佳哲，中村祐二：大きな変位を受ける杭基礎の地盤水平抵抗のモデル化について，土木研究所資料第 4100 号，2008.

付　録

A1. 地盤試料室内試験結果

A2. アルミパイプ材料試験結果

A3. 載荷試験計測データ

A4. 電算入出力データ

A5. 写真帳

A1. 地盤試料室内試験結果

[1] 7 号硅砂

(a) 粒度試験

(b) 土粒子の密度試験

(c) CD 三軸圧縮試験

[2] DL クレー

(a) CD 三軸圧縮試験

[3] 混合土

(a) CD 三軸圧縮試験

(b) CD 三軸圧縮試験（凍結ブロックサンプリングによる）

土質試験結果一覧表（基礎地盤）

調査件名　　整理年月日

整理担当者

	試料番号（深さ）		7号硅砂					
一般	湿潤密度 ρ_t	g/cm³						
	乾燥密度 ρ_d	g/cm³						
	土粒子の密度 ρ_s	g/cm³						
	自然含水比 w_n	%						
	間隙比 e							
	飽和度 S_r	%						
粒度	石分（75mm以上）	%						
	礫分[1]（2～75mm）	%	0.0					
	砂分[1]（0.075～2mm）	%	98.8					
	シルト分[1]（0.005～0.075mm）	%	1.2					
	粘土分[1]（0.005mm未満）	%						
	最大粒径	mm	0.425					
	均等係数 U_c		1.59					
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%						
	塑性限界 w_p	%						
	塑性指数 I_p							
分類	地盤材料の分類名		砂					
	分類記号		(S)					
圧密	試験方法							
	圧縮指数 C_c							
	圧密降伏応力 p_c	kN/m²						
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u	kN/m²						
	破壊ひずみ ε_f	%						
	変形係数 E_{50}	MN/m²						
		%						
せん断	試験条件							
	全応力	c kN/m²						
		ϕ °						
	有効応力	c' kN/m²						
		ϕ' °						

特記事項

1）石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS　0051

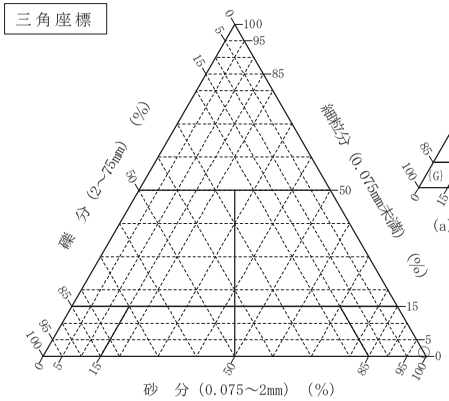
地盤材料の工学的分類

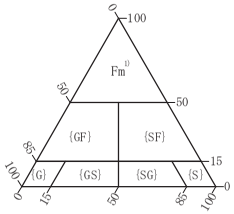
調査件名　　試験年月日

試験者

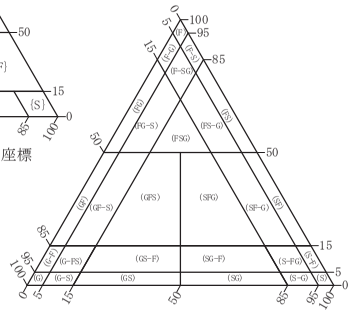
試料番号（深さ）		7号硅砂					
石分（75mm以上）	%						
礫分（2～75mm）	%	0.0					
砂分（0.075～2mm）	%	98.8					
細粒分（0.075mm未満）	%	1.2					
シルト分（0.005～0.075mm）	%						
粘土分（0.005mm未満）	%						
最大粒径	mm	0.425					
均等係数 U_c		1.59					
液性限界 w_L	%						
塑性限界 w_p	%						
塑性指数 I_p							
地盤材料の分類名		砂					
分類記号		(S)					
凡例記号		○					

三角座標



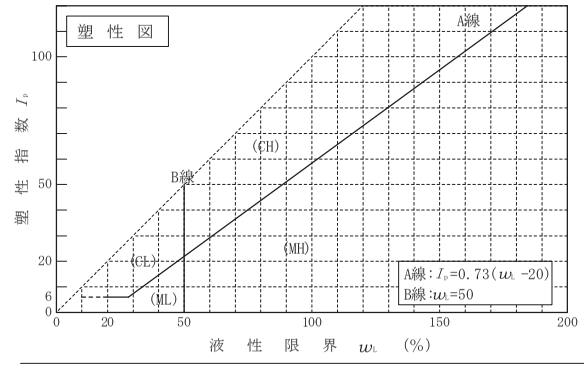


(a) 中分類用三角座標



(b) 粗粒土の小分類および細粒土の細分類用三角座標

塑性図



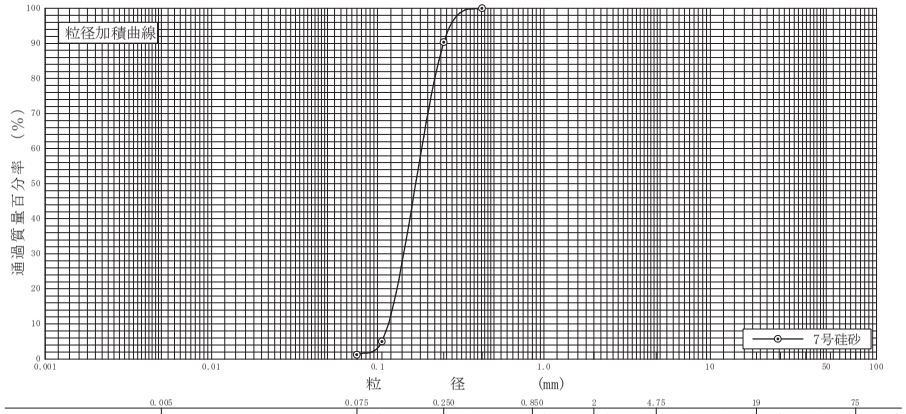
特記事項　1）主に観察と塑性図で判別分類

JIS A 1204 JGS 0131	土の粒度試験（粒径加積曲線）	

調査件名 ---------- 試験年月日 ----------

試験者

試料番号 （深さ）	7号硅砂				試料番号 （深さ）	7号硅砂	
ふるい分析	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗礫分 %	0.0	
	75		75		中礫分 %	0.0	
	53		53		細礫分 %	0.0	
	37.5		37.5		粗砂分 %	0.0	
	26.5		26.5		中砂分 %	9.7	
	19		19		細砂分 %	89.1	
	9.5		9.5		シルト分 %	1.2	
	4.75		4.75		粘土分 %		
	2		2		2mmふるい通過質量百分率 %	100.0	
	0.850		0.850		425μmふるい通過質量百分率 %	100.0	
	0.425	100.0	0.425		75μmふるい通過質量百分率 %	1.2	
	0.250	90.3	0.250		最大粒径 mm	0.425	
	0.106	5.0	0.106		60 % 粒径 D_{60} mm	0.1839	
	0.075	1.2	0.075		50 % 粒径 D_{50} mm	0.1694	
沈降分析					30 % 粒径 D_{30} mm	0.1434	
					10 % 粒径 D_{10} mm	0.1159	
					均等係数 U_c	1.59	
					曲率係数 U_c'	0.96	
					土粒子の密度 ρ_s g/cm³	−	
					使用した分散剤 溶液濃度，溶液添加量	−	
					20 % 粒径 D_{20} mm	0.1304	
					透水係数 m/s	3.22×10^{-5}	



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫
0.005	0.075	0.250	0.850	2	4.75	19	75

特記事項

JIS A 1202
~~JGS T 111~~

土粒子の密度試験（測定）

調査件名　　試験年月日

試験者

試料番号（深さ）			7号硅砂					
ピクノメーターNo.			1	10	19			
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量	m_b	g	159.967	160.145	162.241			
m_bをはかったときの内容物の温度	T	℃	26.0	26.0	26.0			
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$	g/cm³	0.9968	0.9968	0.9968			
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメーター)質量	m_a 1)	g	150.175	151.008	153.094			
試料の炉乾燥質量	容器No.		1	10	19			
	(炉乾燥試料+容器)質量	g	66.059	68.003	71.872			
	容器質量	g	50.369	53.338	57.197			
	m_s	g	15.690	14.665	14.675			
土粒子の密度	ρ_s	g/cm³	2.652	2.644	2.646			
平均値	ρ_s	g/cm³	2.647					
試料番号（深さ）								
ピクノメーターNo.								
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量	m_b	g						
m_bをはかったときの内容物の温度	T	℃						
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$	g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメーター)質量	m_a 1)	g						
試料の炉乾燥質量	容器No.							
	(炉乾燥試料+容器)質量	g						
	容器質量	g						
	m_s	g						
土粒子の密度	ρ_s	g/cm³						
平均値	ρ_s	g/cm³						
試料番号（深さ）								
ピクノメーターNo.								
(試料+蒸留水+ピクノメーター)の質量	m_b	g						
m_bをはかったときの内容物の温度	T	℃						
T℃における蒸留水の密度	$\rho_w(T)$	g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの(蒸留水+ピクノメーター)質量	m_a 1)	g						
試料の炉乾燥質量	容器No.							
	(炉乾燥試料+容器)質量	g						
	容器質量	g						
	m_s	g						
土粒子の密度	ρ_s	g/cm³						
平均値	ρ_s	g/cm³						

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \rho_w(T)$$

JIS A 1224
~~JGS 0161~~

砂の最小密度・最大密度試験

調査件名　　試験年月日

試験者

モールド	No.		TM-1		容積 V cm³		113.1
	質量	g	816.4				
試料番号（深さ）			7号硅砂				
最大	(炉乾燥試料+モールド)質量	g	1000.60	1000.80	1000.50		
	炉乾燥試料質量 m_1	g	184.20	184.40	184.10		
	乾燥密度 $\rho_{d\,max}$	g/cm³	1.629	1.630	1.628		
	平均値 $\rho_{d\,max}$	g/cm³	1.629				
最小	(炉乾燥試料+モールド)質量	g	962.50	962.40	962.40	962.10	962.10
	炉乾燥試料質量 m_2	g	146.10	146.00	146.00	145.70	145.70
	乾燥密度 $\rho_{d\,min}$	g/cm³	1.292	1.291	1.291	1.288	1.288
	平均値 $\rho_{d\,min}$	g/cm³	1.290				
土粒子の密度 ρ_s	g/cm³	2.647	最小間隙比 e_{min}	0.625	特記事項		
間隙比 e			最大間隙比 e_{max}	1.052			

試料番号（深さ）							
最大	(炉乾燥試料+モールド)質量	g					
	炉乾燥試料質量 m_1	g					
	乾燥密度 $\rho_{d\,max}$	g/cm³					
	平均値 $\rho_{d\,max}$	g/cm³					
最小	(炉乾燥試料+モールド)質量	g					
	炉乾燥試料質量 m_2	g					
	乾燥密度 $\rho_{d\,min}$	g/cm³					
	平均値 $\rho_{d\,min}$	g/cm³					
土粒子の密度 ρ_s	g/cm³		最小間隙比 e_{min}		特記事項		
間隙比 e			最大間隙比 e_{max}				

試料番号（深さ）							
最大	(炉乾燥試料+モールド)質量	g					
	炉乾燥試料質量 m_1	g					
	乾燥密度 $\rho_{d\,max}$	g/cm³					
	平均値 $\rho_{d\,max}$	g/cm³					
最小	(炉乾燥試料+モールド)質量	g					
	炉乾燥試料質量 m_2	g					
	乾燥密度 $\rho_{d\,min}$	g/cm³					
	平均値 $\rho_{d\,min}$	g/cm³					
土粒子の密度 ρ_s	g/cm³		最小間隙比 e_{min}		特記事項		
間隙比 e			最大間隙比 e_{max}				

表　圧密・排水三軸圧縮試験結果一覧

試料		7号硅砂		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		2.647		
最小乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm^3)		1.290		
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)		1.629		
相対密度 Dr (%)		40		
供試体 No.		1	2	3
圧密応力 σ_c (kN/m^2)		30.0	60.0	90.0
初期状態[注]	乾燥密度 ρ_{di} (g/cm^3)	1.430	1.432	1.425
	間隙比 e_i	0.851	0.848	0.856
	相対密度 D_{ri} (%)	47.0	47.7	45.5
圧密後	乾燥密度 ρ_{dc} (g/cm^3)	1.432	1.438	1.434
	間隙比 e_c	0.848	0.841	0.846
	相対密度 D_{rc} (%)	47.7	49.5	48.3
B 値		0.95	0.95	0.95
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$ (kN/m^2)	115.0	220.7	312.2
	軸ひずみ ε_f (%)	6.99	6.68	8.16
	体積ひずみ V_f (%)	−2.68	−2.28	−2.11
強度定数	せん断抵抗角 ϕ_d (°)	38.5		
	粘着力 c_d (kN/m^2)	4.5		
変形係数 E_{50} (MN/m^2)		12.1	21.2	27.5

注：供試体−20kN/m^{2}載荷時

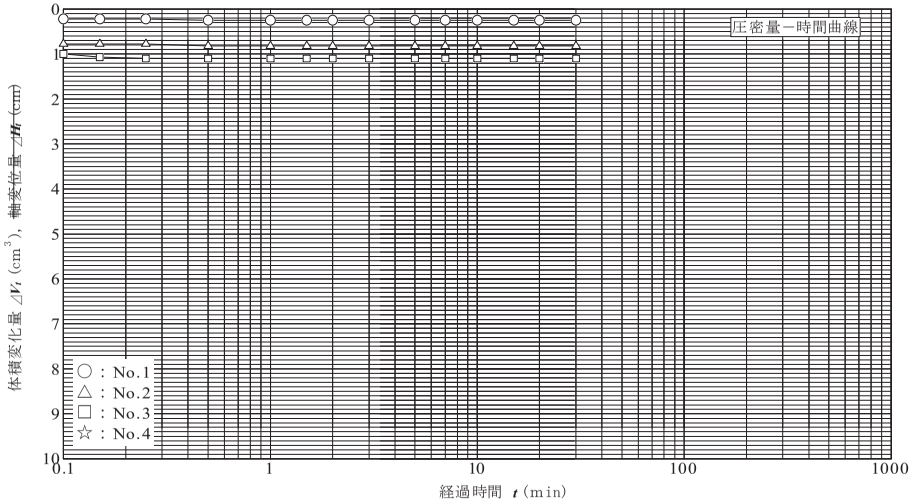
JGS 0524　土の三軸圧縮試験 [~~CU~~,~~CU~~,CD]（圧密前，圧密後 圧密量−時間曲線）

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）7号硅砂，Dr40%　　試験者

試料の状態[1]	再構成	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm3 [4]	1.290
供試体の作製方法[2]	空中落下法	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm3 [4]	1.629
土質名称	砂	圧密中の排水方法	両面排水
土粒子の密度 ρ_s [3] g/cm^3	2.647		

供試体 No.			1	2	3	
試験条件	セル圧 σ_c	kN/m^2	230	260	290	
	背圧 u_b	kN/m^2	200	200	200	
	圧密応力 σ_c'	kN/m^2	30	60	90	
圧密前	高さ H_0	cm	10.086	10.086	10.086	
	直径 D_0	cm	4.955	4.962	4.963	
	間隙比 e_0 [3]		0.851	0.848	0.856	
圧密後	圧密時間 t_c	min	30	30	30	
	体積変化量 ΔV_c	cm^3	0.25	0.82	1.10	
	軸変位量 ΔH_c	cm	0.003	0.008	0.015	
	体積 V_c	cm^3	194.24	194.22	194.02	
	高さ H_c	cm	10.083	10.078	10.071	
	炉乾燥質量 m_s	g	278.18	279.30	278.17	
	乾燥密度 ρ_{dc}	g/cm^3	1.432	1.438	1.434	
	間隙比 e_c [3]		0.848	0.841	0.846	
間隙圧係数B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$	kN/m^2	10.0	20.0	20.0	
	間隙水圧増加量 Δu	kN/m^2	9.5	19.0	19.0	
	測定に要した時間	min	1	1	1	
	B 値		0.95	0.95	0.95	



特記事項

1）試料の採取方法，試料の状態（塊状，凍結，ときほぐされた）等を記載する。
2）トリミング法，負圧法の種別，凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

[1 kN/m^2≒0.0102 kgf/cm^2]

JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,$\overline{\text{~~CU~~}}$,CD]（応力－ひずみ曲線）	

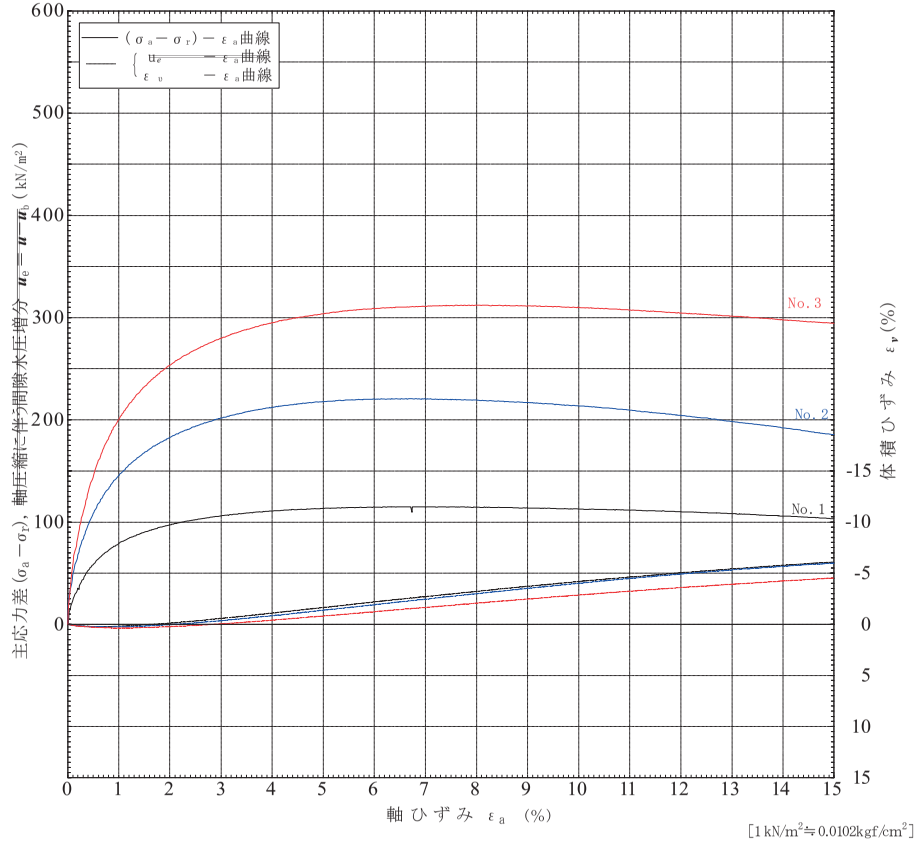
調査件名 ..... 試験年月日 .....

試料番号 （深さ）7号硅砂，Dr40% 試　験　者

土質名称	砂
最小乾燥密度 1)	1.290
最大乾燥密度 1)	1.629
ひずみ速度 %/min	0.1

特記事項　1）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

供試体 No.			1	2	3
~~セル圧~~・圧密応力		kN/m²	30.0	60.0	90.0
背圧	u_b	kN/m²	200.0	200.0	200.0
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$	kN/m²	115.0	220.7	312.2
	軸ひずみ ε_{af}	%	6.99	6.68	8.16
$\overline{\text{CU}}$	間隙水圧 u_f	kN/m²			
	有効軸方向応力 σ'_{af}	kN/m²			
	有効側方向応力 σ'_{rf}	kN/m²			
CD	体積ひずみ ε_{vf}	%	−2.68	−2.28	−2.11
	間隙比 e_f		0.898	0.882	0.885
供試体の破壊状況					



[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験 [~~UU~~, ~~CU~~, $\overline{\text{~~CU~~}}$, CD]（強度特性）	

調査件名 試験年月日

試料番号　7号硅砂，Dr40% 試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力			有効応力	
	c_d kN/m²	ϕ_d °	$\tan\phi_d$	c' kN/m²	ϕ' °
正規圧密領域	4.5	38.5	0.794		
過圧密領域					

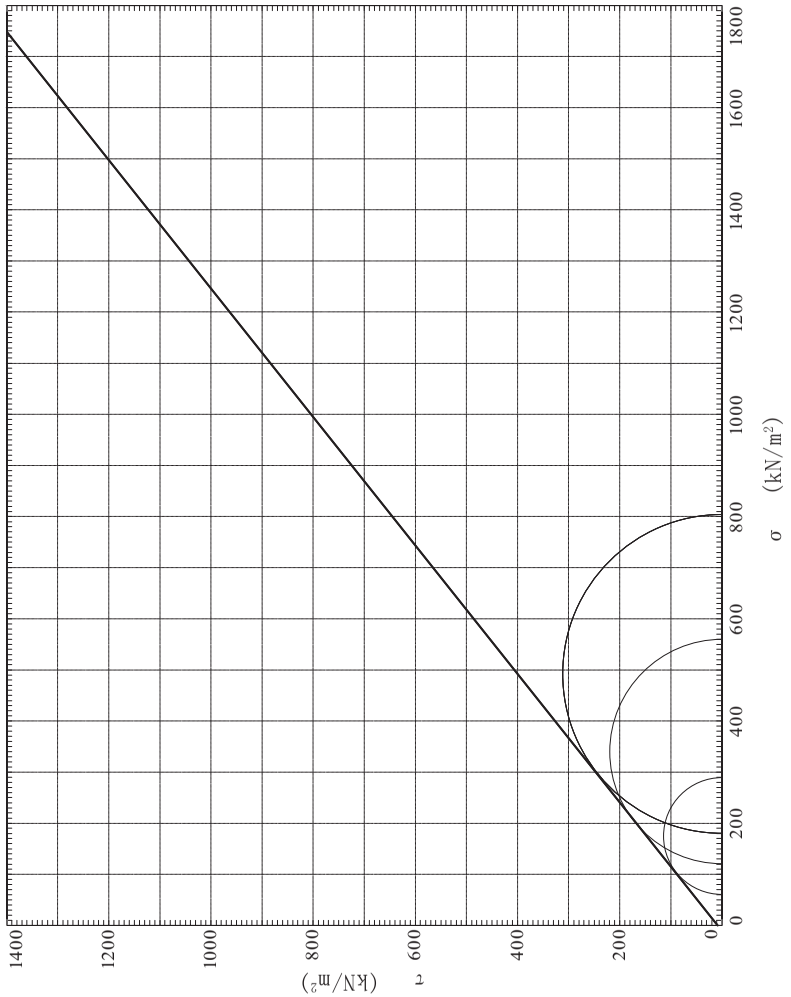


表　圧密・排水三軸圧縮試験結果一覧

試　料		7号硅砂								
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		2.647								
最小乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm^3)		1.290								
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)		1.629								
相対密度 Dr (%)		60			80			90		
供試体 No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3
圧密応力 σ_c (kN/m^2)		30.0	60.0	90.0	30.0	60.0	90.0	30.0	60.0	90.0
初期状態	乾燥密度 ρ_{di} (g/cm^3)	1.472	1.469	1.472	1.540	1.543	1.545	1.583	1.583	1.582
	間隙比 e_i	0.798	0.802	0.798	0.718	0.715	0.713	0.672	0.672	0.673
	相対密度 D_{ri} (%)	59.4	58.6	59.4	78.0	78.8	79.3	88.9	88.9	88.7
圧密後	乾燥密度 ρ_{dc} (g/cm^3)	1.473	1.474	1.479	1.542	1.547	1.550	1.584	1.587	1.587
	間隙比 e_c	0.797	0.796	0.790	0.717	0.711	0.708	0.671	0.668	0.668
	相対密度 D_{rc} (%)	59.7	60.0	61.4	78.5	79.8	80.6	89.2	90.0	90.0
B　値		0.97	1.00	0.95	0.98	0.95	0.95	0.99	0.95	0.98
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$ (kN/m^2)	138.7	250.0	378.5	178.0	318.3	469.6	184.7	329.9	492.8
	軸ひずみ ε_f (%)	4.85	6.68	5.72	5.25	5.32	5.04	4.04	4.65	4.61
	体積ひずみ V_f (%)	−2.10	−2.47	−1.87	−3.13	−2.60	−2.54	−3.08	−3.01	−2.77
強度定数	せん断抵抗角 ϕ_d (°)	41.8			45.1			46.0		
	粘着力 c_d (kN/m^2)	3.5			6.3			5.5		
変形係数 E_{50} (MN/m^2)		12.3	15.0	25.8	11.0	17.6	31.3	**18.0**	**26.2**	**38.6**

JGS **0524**

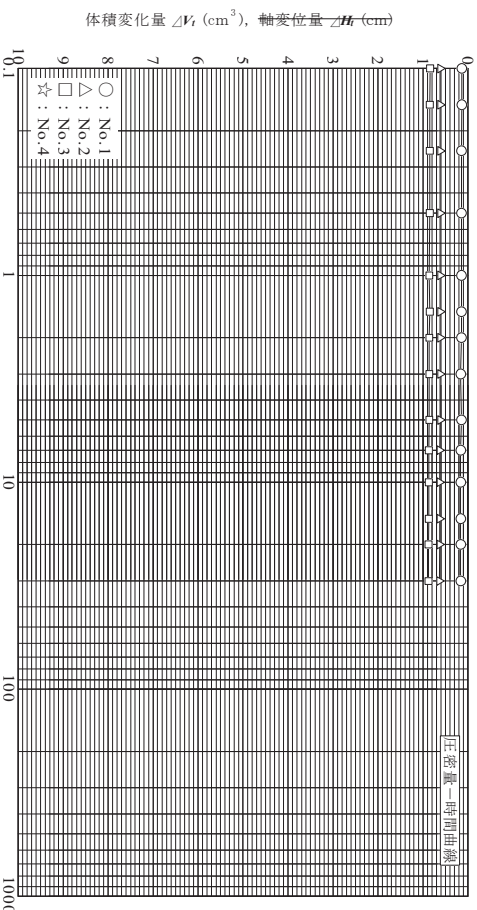
土の三軸圧縮試験 [CU,CU̅,CD] (圧密前，圧密後，圧密量−時間曲線)

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）7号硅砂，Dr60%　　試　験　者

試料の状態 1)	再構成	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm3 4)	1.290
供試体の作製方法 2)	空中落下法	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm3 4)	1.629

土質名称	砂	圧密中の排水方法			
土粒子の密度 ρ_s 3) g/cm^3	2.647				
供試体 No.	1	2	3		
試験条件	セル圧 σ_c kN/m^2	230	260	290	
	背圧 u_b kN/m^2	200	200	200	
	圧密応力 σ_c' kN/m^2	30	60	90	
圧密前	高さ H_0 cm	9.983	9.984	9.996	
	直径 D_0 cm	5.010	5.005	5.012	
	間隙比 e_0 3)	0.798	0.802	0.798	
圧密	圧密時間 t_c min	30	30	30	
	体積変化量 ΔV_c cm^3	0.16	0.64	0.88	
	軸変位量 ΔH_c cm	0.003	0.011	0.018	
圧密後	体積 V_c cm^3	196.64	195.79	196.33	
	高さ H_c cm	9.980	9.973	9.978	
	炉乾燥質量 m_s g	289.66	288.62	290.39	
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm^3	1.473	1.474	1.479	
	間隙比 e_c 3)	0.797	0.796	0.790	
間隙圧係数 B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$ kN/m^2	10.0	20.0	20.0	
	間隙水圧増加量 Δu kN/m^2	9.7	20.0	19.0	
	測定−読取時間 min	1	1	1	
	B 値	0.97	1.00	0.95	



特記事項

1) 試料の採取方法：試料の状態(乾燥状,湿潤,ふるわれた)等を記載する。
2) トリミング法,負圧法の種別：湿潤試料の場合は締固方法等を記載する。
3) 必要に応じて記載する。
4) 必要に応じて粘性土の場合は液性限界,塑性限界,砂質土の場合は最小乾燥密度,最大乾燥密度等を記載する。

[1 kN/m^2≒0.0102 kgf/cm^2]

JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,$\overline{\text{~~CU~~}}$,CD]（応力－ひずみ曲線）	

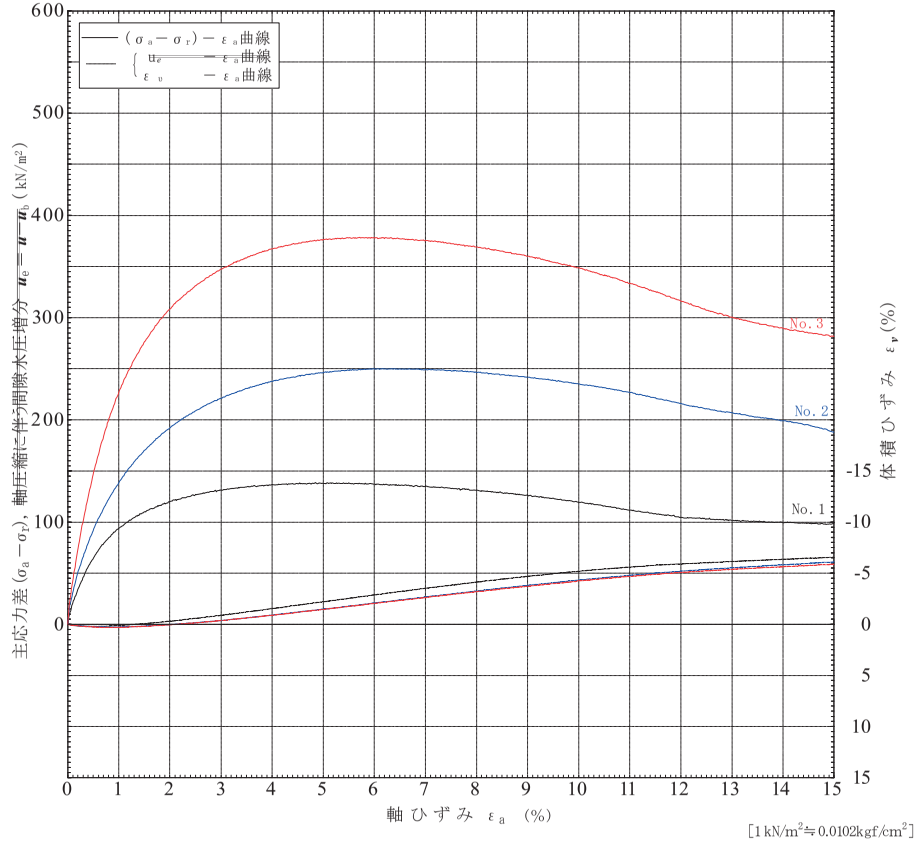
調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）7号硅砂, Dr60%　　試　験　者

土質名称	砂
最小乾燥密度 1)	1.290
最大乾燥密度 1)	1.629
ひずみ速度 %/min	0.1

特記事項　1）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

供試体 No.			1	2	3
~~セル~~圧・圧密応力		kN/m²	30.0	60.0	90.0
背圧	u_b	kN/m²	200.0	200.0	200.0
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$	kN/m²	138.7	250.0	378.5
	軸ひずみ ε_{af}	%	4.85	6.68	5.72
$\overline{\text{CU}}$	間隙水圧 u_f	kN/m²			
	有効軸方向応力 σ'_{af}	kN/m²			
	有効側方向応力 σ'_{rf}	kN/m²			
CD	体積ひずみ ε_{vf}	%	−2.10	−2.47	−1.87
	間隙比 e_f		0.835	0.840	0.823
供試体の破壊状況					



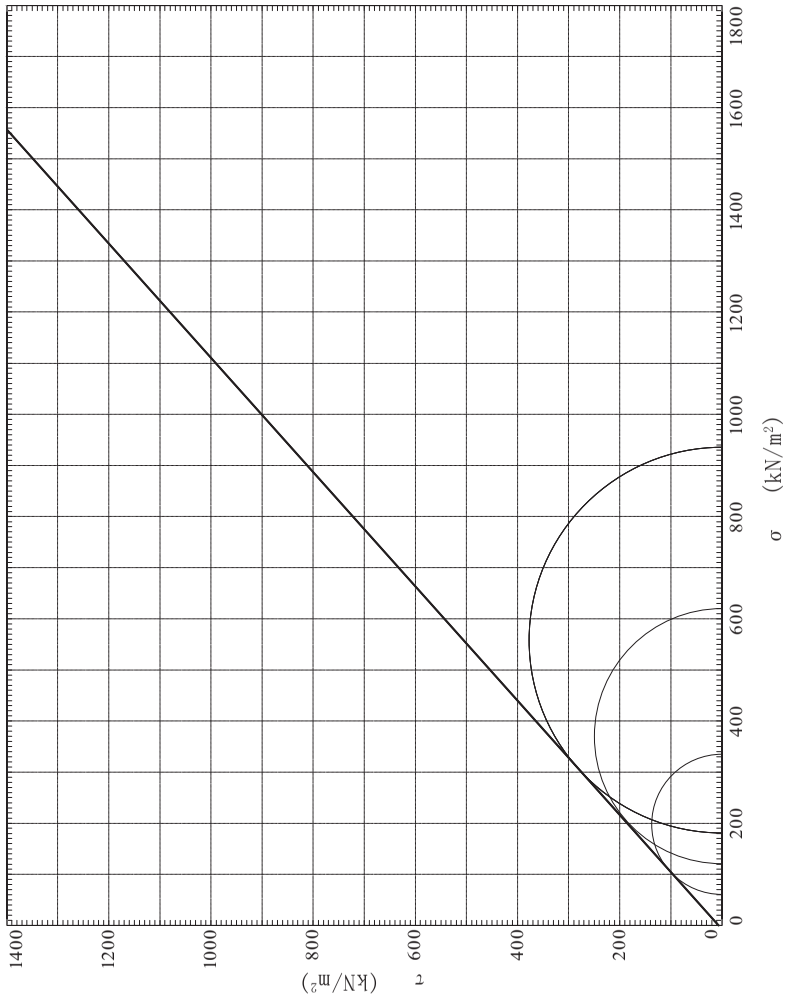
[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験 [~~UU~~, ~~CU~~, $\overline{\text{~~CU~~}}$, CD]（強度特性）	

調査件名　　試験年月日

試料番号　7号硅砂, Dr60%　　試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力 c_d kN/m²	全応力 ϕ_d °	全応力 $\tan\phi_d$	有効応力 c' kN/m²	有効応力 ϕ' °
正規圧密領域	3.5	41.8	0.895		
過圧密領域					

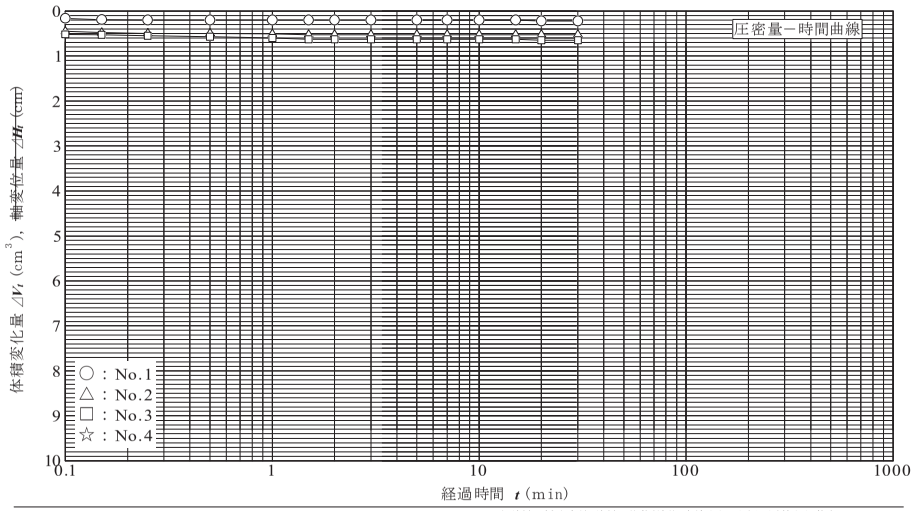


JGS 0524 | 土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,CD]（圧密前，圧密後 圧密量−時間曲線）

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）7号硅砂，Dr80%　　試験者

試料の状態 1)		再構成	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm³ 4)	1.290	
供試体の作製方法 2)		空中落下法	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³ 4)	1.629	
土質名称		砂	圧密中の排水方法	両面排水	
土粒子の密度 ρ_s 3)	g/cm³	2.647			
供試体 No.		1	2	3	
試験条件	セル圧 σ_c	kN/m²	230	260	290
	背圧 u_b	kN/m²	200	200	200
	圧密応力 σ'_c	kN/m²	30	60	90
圧密前	高さ H_0	cm	9.986	9.979	9.997
	直径 D_0	cm	5.013	5.005	5.005
	間隙比 e_0 3)		0.719	0.715	0.713
圧密後	圧密時間 t_c	min	30	30	30
	体積変化量 ΔV_c	cm³	0.22	0.53	0.65
	軸変位量 ΔH_c	cm	0.005	0.011	0.180
	体積 V_c	cm³	196.88	195.80	196.03
	高さ H_c	cm	9.981	9.968	9.817
	炉乾燥質量 m_s	g	303.51	302.84	303.87
	乾燥密度 ρ_{dc}	g/cm³	1.542	1.547	1.550
	間隙比 e'_c 3)		0.717	0.711	0.708
間隙圧係数 B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$	kN/m²	10.0	20.0	20.0
	間隙水圧増加量 Δu	kN/m²	9.8	19.0	19.0
	測定に要した時間	min	1	1	1
	B値		0.98	0.95	0.95



特記事項

1）試料の採取方法，試料の状態（塊状，凍結，ときほぐされた）等を記載する。
2）トリミング法，負圧法の種別，凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

[1 kN/m²≒0.0102 kgf/cm²]

JGS 0524 | 土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,~~CU~~,CD]（応力−ひずみ曲線）

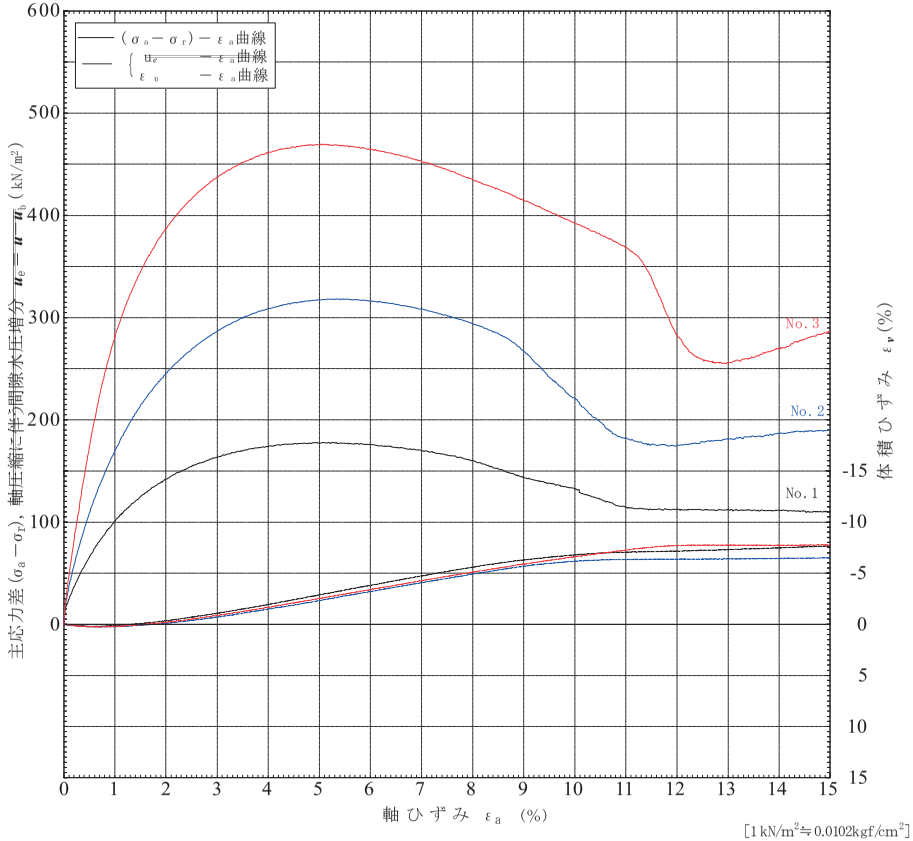
調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）7号硅砂，Dr80%　　試験者

土質名称		砂	供試体 No.	1	2	3
最小乾燥密度 1)		1.290	セル圧・圧密応力 kN/m²	30.0	60.0	90.0
最大乾燥密度 1)		1.629	背圧 u_b kN/m²	200.0	200.0	200.0
ひずみ速度 %/min		0.1	主応力差最大時 圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$ kN/m²	178.0	318.3	469.6
			軸ひずみ ε_{af} %	5.25	5.32	5.04
			CU 間隙水圧 u_f kN/m²			
			CU 有効軸方向応力 σ'_{af} kN/m²			
			CU 有効側方向応力 σ'_{rf} kN/m²			
			CD 体積ひずみ ε_{vf} %	−3.12	−2.60	−2.54
			CD 間隙比 e_f	0.771	0.756	0.751
			供試体の破壊状況			

特記事項

1）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。



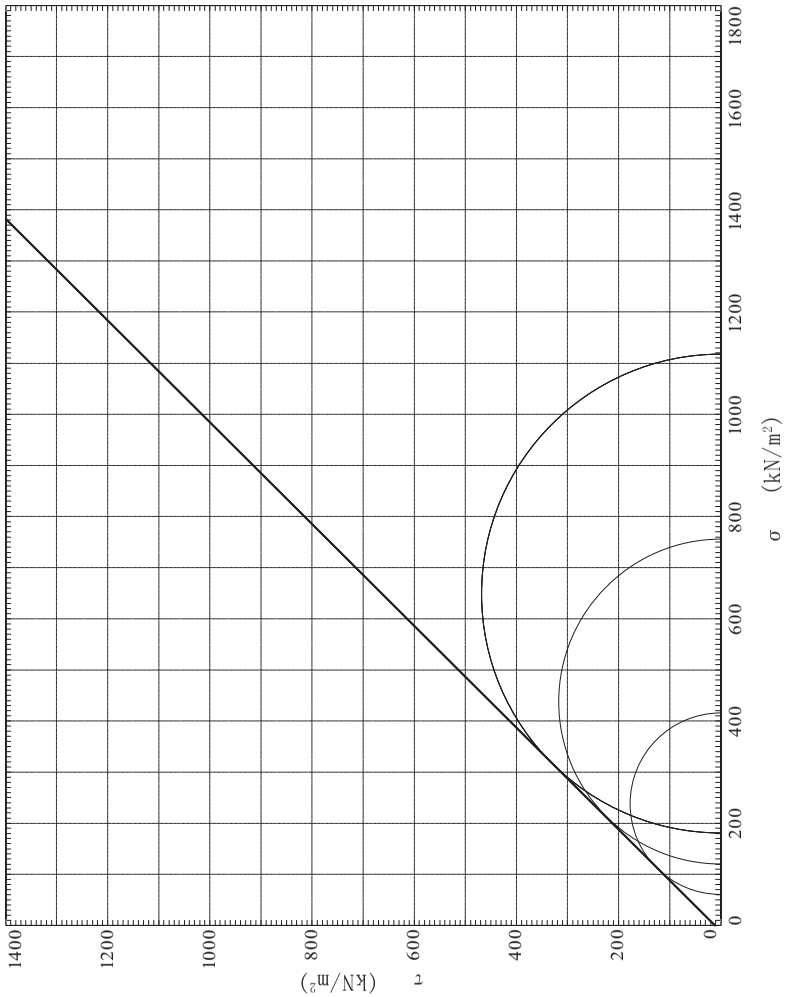
[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験［~~UU~~, ~~CU~~, ~~$\overline{CU}$~~, CD］(強度特性)	

調査件名　　試験年月日

試料番号　7号硅砂, Dr80%　　試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力			有効応力	
	c_d kN/m²	ϕ_d °	$\tan\phi_d$	c' kN/m²	ϕ' °
正規圧密領域	6.3	45.1	1.004		
過圧密領域					

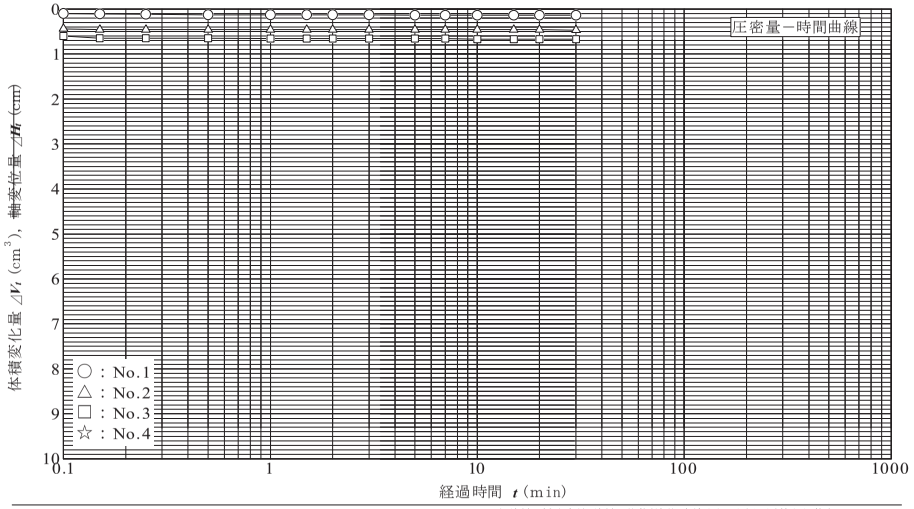


JGS 0524	土の三軸圧縮試験［~~CU~~, $\overline{CU}$, CD］(圧密前，圧密後 圧密量－時間曲線)	

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）　7号硅砂, Dr90%　　試験者

試料の状態 1)		再構成	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm³ 4)	1.290	
供試体の作製方法 2)		空中落下法	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³ 4)	1.629	
土質名称		砂	圧密中の排水方法	両面排水	
土粒子の密度 ρ_s 3) g/cm³		2.647			
供試体 No.		1	2	3	
試験条件	セル圧 σ_c kN/m²	230	260	290	
	背圧 u_b kN/m²	200	200	200	
	圧密応力 σ'_c kN/m²	30	60	90	
圧密前	高さ H_0 cm	10.000	9.993	9.990	
	直径 D_0 cm	5.000	5.010	5.005	
	間隙比 e_0 3)	0.672	0.672	0.673	
圧密後	圧密時間 t_c min	30	30	30	
	体積変化量 ΔV_c cm³	0.14	0.47	0.67	
	軸変位量 ΔH_c cm	0.003	0.011	0.015	
	体積 V_c cm³	196.21	196.53	195.88	
	高さ H_c cm	9.997	9.982	9.975	
	炉乾燥質量 m_s g	310.76	311.87	310.93	
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm³	1.584	1.587	1.587	
	間隙比 e_c 3)	0.671	0.668	0.668	
間隙圧係数B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$ kN/m²	10.0	20.0	20.0	
	間隙水圧増加量 Δu kN/m²	9.9	19.0	19.6	
	測定に要した時間 min	1	1	1	
	B値	0.99	0.95	0.98	



特記事項

1）試料の採取方法，試料の状態(塊状，凍結，ときほぐされた)等を記載する。
2）トリミング法，負圧法の種別，凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

［1 kN/m² ≒ 0.0102 kgf/cm²］

JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,$\overline{\text{CU}}$,CD] (応力－ひずみ曲線)	

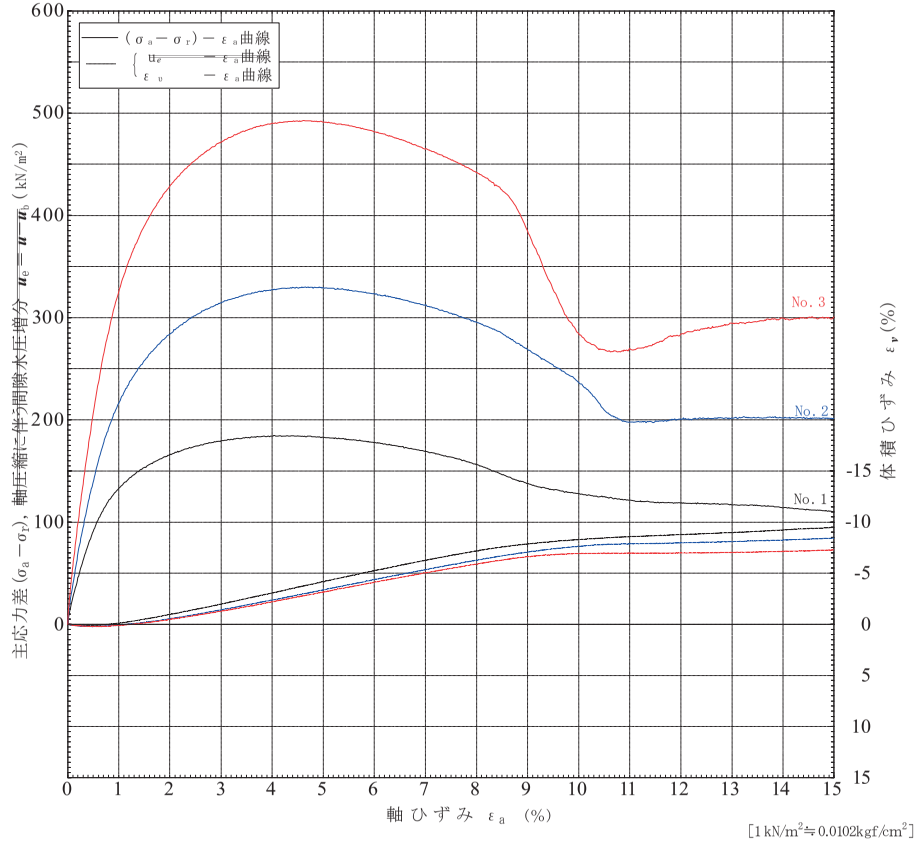
調査件名 ..... 試験年月日 .....

試料番号 (深さ)7号硅砂, Dr90% 試 験 者

土質名称	砂
最小乾燥密度 1)	1.290
最大乾燥密度 1)	1.629
ひずみ速度 %/min	0.1

特記事項 1) 必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

供試体 No.			1	2	3
セル圧・圧密応力		kN/m²	30.0	60.0	90.0
背圧	u_b	kN/m²	200.0	200.0	200.0
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$	kN/m²	184.7	329.9	492.8
	軸ひずみ ε_{af}	%	4.04	4.65	4.61
~~CU~~	間隙水圧 u_f	kN/m²			
$\overline{\text{CU}}$	有効軸方向応力 σ'_{af}	kN/m²			
	有効側方向応力 σ'_{rf}	kN/m²			
CD	体積ひずみ ε_{vf}	%	−3.08	−3.01	−2.77
	間隙比 e_f		0.723	0.718	0.714
供試体の破壊状況					



[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験 [~~UU~~, ~~CU~~, $\overline{\text{CU}}$, CD] (強度特性)	

調査件名 試験年月日

試料番号 7号硅砂, Dr90% 試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力 c_d kN/m²	全応力 ϕ_d °	全応力 $\tan\phi_d$	有効応力 c' kN/m²	有効応力 ϕ' °
正規圧密領域	5.5	46	1.037		
過圧密領域					

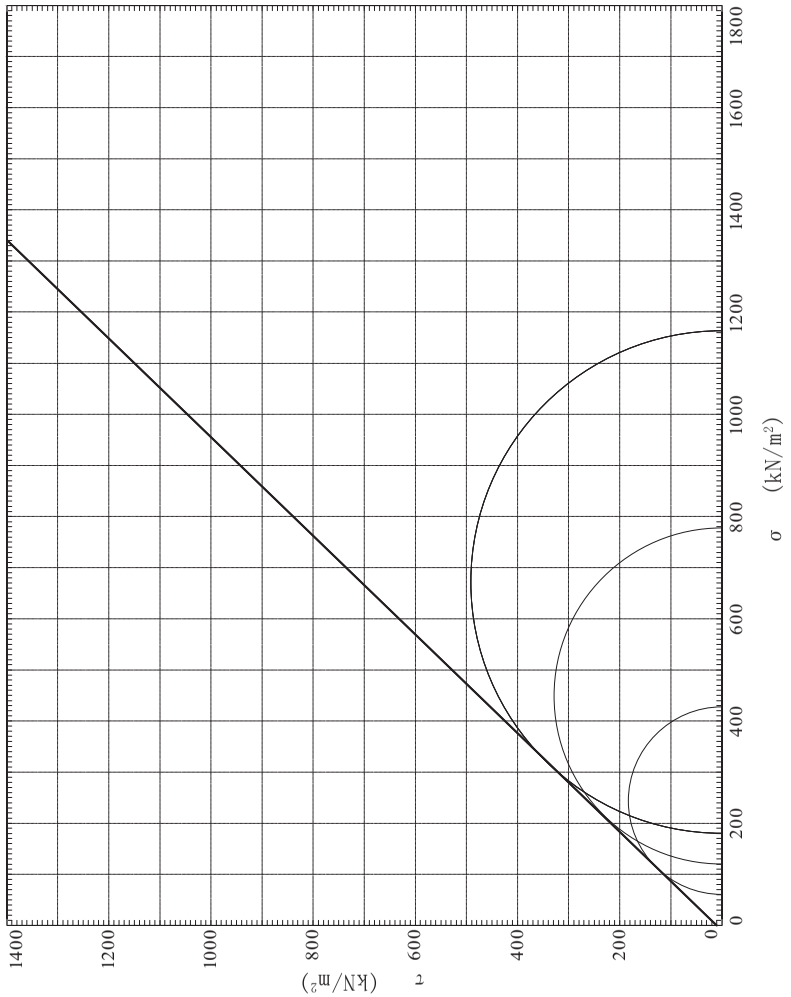


表　圧密・排水三軸圧縮試験結果一覧

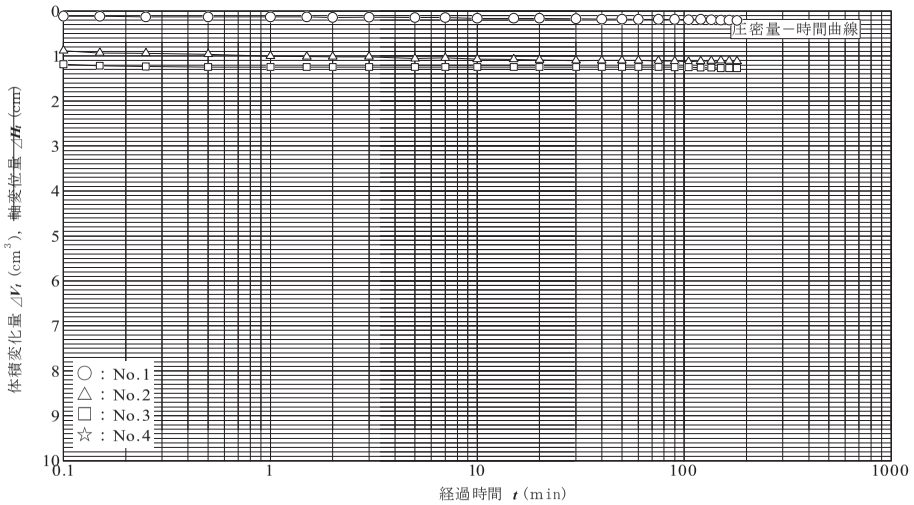
試料		DLクレー		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		2.669		
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)		1.500		
最適含水比 W_{opt} (%)		21.2		
締固め度 D値 (%)		100		
供試体 No.		1	2	3
圧密応力 σ_c (kN/m^2)		30.0	60.0	90.0
初期状態	湿潤密度 ρ_{ti} (g/cm^3)	1.827	1.824	1.824
	乾燥密度 ρ_{di} (g/cm^3)	1.503	1.499	1.502
	間隙比 e_i	0.776	0.781	0.777
	含水比 W (%)	21.5	21.7	21.5
	締固め度 D_i (%)	100.2	99.9	100.1
圧密後	乾燥密度 ρ_{dc} (g/cm^3)	1.505	1.508	1.511
	間隙比 e_c	0.773	0.770	0.766
	締固め度 D_c (%)	100.3	100.5	100.8
B 値		0.98	0.95	0.95
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$ (kN/m^2)	104.5	174.5	279.7
	軸ひずみ ε_f (%)	1.30	2.35	2.11
	体積ひずみ V_f (%)	−0.35	−0.21	−0.09
強度定数	せん断抵抗角 ϕ_d (°)	36.5		
	粘着力 c_d (kN/m^2)	2.4		
変形係数 E_{50} (MN/m^2)		13.7	14.2	23.8

JGS 0524　土の三軸圧縮試験 [~~CU~~,~~CU~~,CD]（圧密前，圧密後 圧密量−時間曲線）

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）DLクレー，D値100%　　試験者

試料の状態 1)		再構成	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm3 4)		
供試体の作製方法 2)		突固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm3 4)		
土質名称		シルト	圧密中の排水方法	両面排水	
土粒子の密度 ρ_s 3) g/cm^3		2.669			
供試体 No.		1	2	3	
試験条件	セル圧 σ_c kN/m^2	230	260	290	
	背圧 u_b kN/m^2	200	200	200	
	圧密応力 σ'_c kN/m^2	30	60	90	
圧密前	高さ H_0 cm	10.000	9.997	10.002	
	直径 D_0 cm	4.998	5.002	5.000	
	間隙比 e_0 3)	0.776	0.781	0.777	
圧密後	圧密時間 t_c min	180	180	180	
	体積変化量 ΔV_c cm^3	0.21	1.12	1.27	
	軸変位量 ΔH_c cm	0.005	0.027	0.029	
	体積 V_c cm^3	195.98	195.33	195.12	
	高さ H_c cm	9.995	9.970	9.973	
	炉乾燥質量 m_s g	294.92	294.50	294.90	
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm^3	1.505	1.508	1.511	
	間隙比 e_c 3)	0.773	0.770	0.766	
間隙圧係数B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$ kN/m^2	10.0	20.0	20.0	
	間隙水圧増加量 Δu kN/m^2	9.8	19.0	19.0	
	測定に要した時間 min	1	1	1	
	B 値	0.98	0.95	0.95	



特記事項

1）試料の採取方法，試料の状態（塊状，凍結，ときほぐされた）等を記載する。
2）トリミング法，負圧法の種別，凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

[1 kN/m^2≒0.0102 kgf/cm^2]

JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,$\overline{\text{~~CU~~}}$,CD] (応力－ひずみ曲線)	

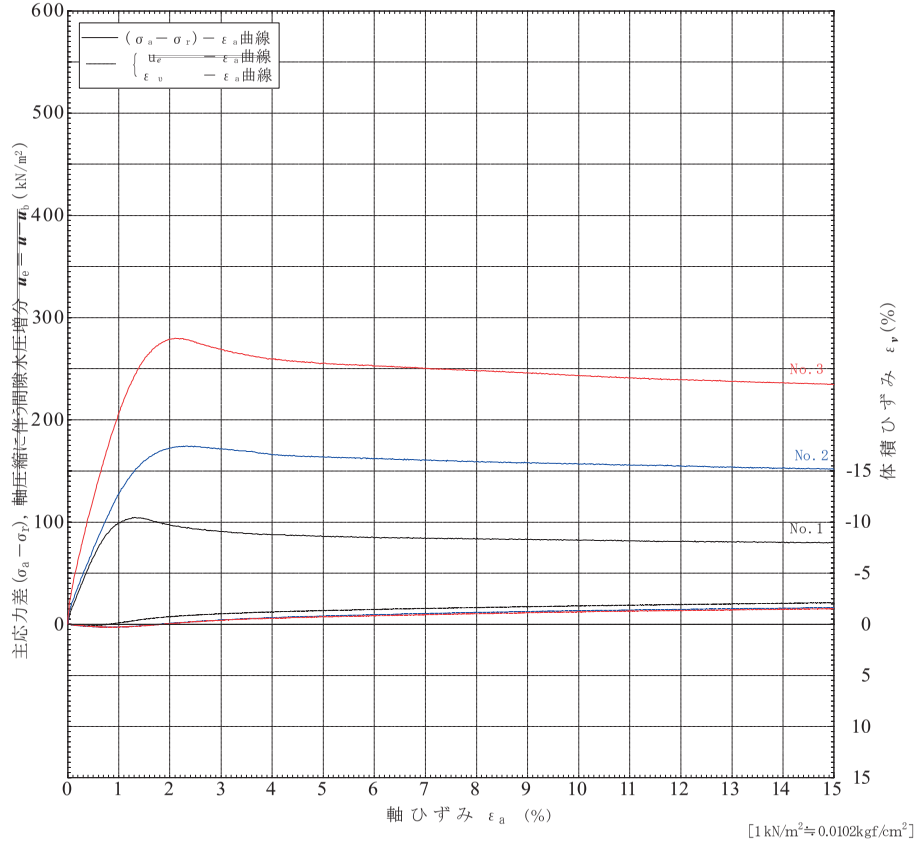
調査件名 ..... 試験年月日 .....

試料番号 (深さ)DLクレー, D値100% 試 験 者

土質名称	シルト
最小乾燥密度 1)	
最大乾燥密度 1)	
ひずみ速度 %/min	0.05

特記事項 1) 必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

供試体 No.			1	2	3
~~セル~~圧・圧密応力		kN/m²	30.0	60.0	90.0
背圧 u_b		kN/m²	200.0	200.0	200.0
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$	kN/m²	104.5	174.5	279.7
	軸ひずみ ε_{af}	%	1.30	2.35	2.11
$\overline{\text{CU}}$	間隙水圧 u_f	kN/m²			
	有効軸方向応力 σ'_{af}	kN/m²			
	有効側方向応力 σ'_{rf}	kN/m²			
CD	体積ひずみ ε_{vf}	%	−0.35	−0.21	−0.09
	間隙比 e_f		0.780	0.774	0.767
供試体の破壊状況					



[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験 [~~UU~~, ~~CU~~, $\overline{\text{~~CU~~}}$, CD] (強度特性)	

調査件名 試験年月日

試料番号 DLクレー, D値100% 試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力			有効応力	
	c_d kN/m²	ϕ_d °	$\tan\phi_d$	c' kN/m²	φ' °
正規圧密領域	2.4	36.5	0.741		
過圧密領域					

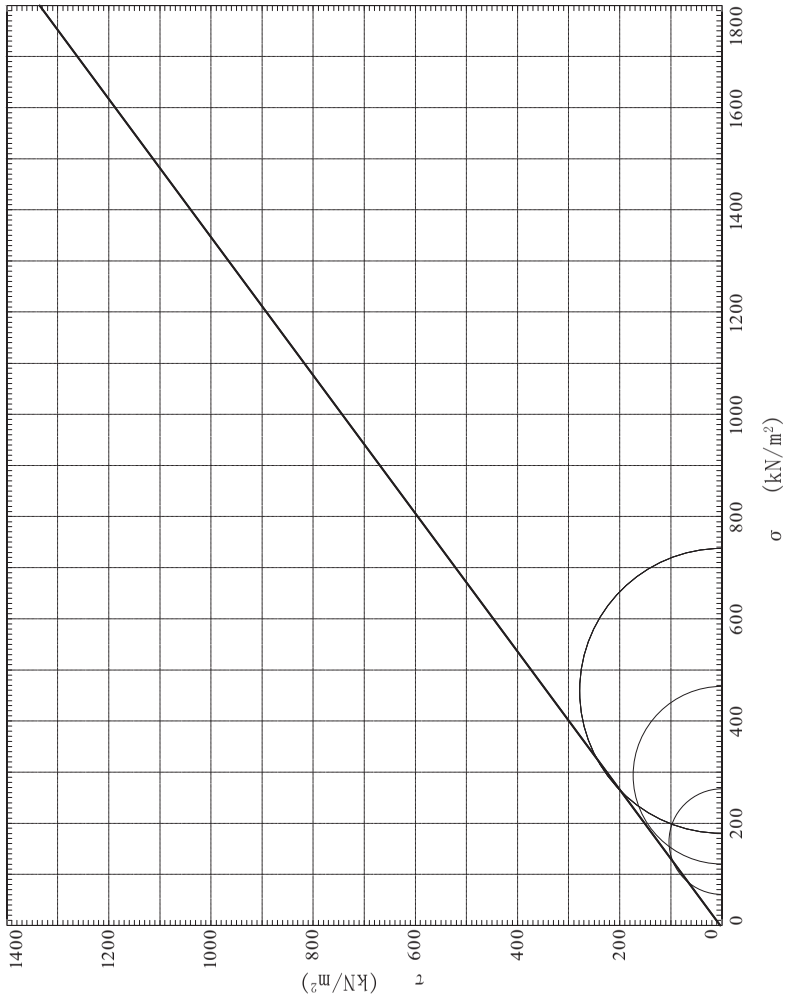


表　圧密・排水三軸圧縮試験結果一覧

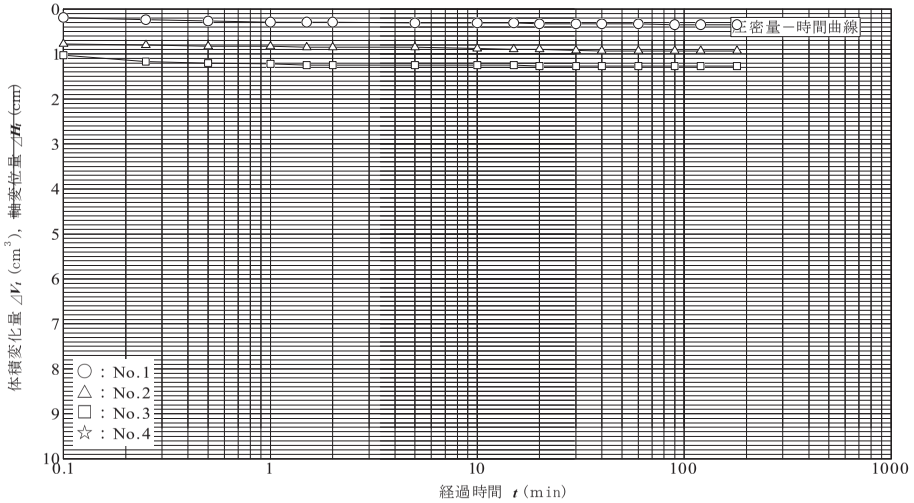
試料		混合土		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		2.635		
供試体 No.		1	2	3
圧密応力 σ_c (kN/m^2)		30.0	60.0	90.0
初期状態	乾燥密度 ρ_{di} (g/cm^3)	1.551	1.550	1.544
	間隙比 e_i	0.699	0.700	0.707
	締固め度 D_i (%)	90.0	90.0	89.6
圧密後	乾燥密度 ρ_{dc} (g/cm^3)	1.554	1.557	1.555
	間隙比 e_c	0.696	0.692	0.695
	締固め度 D_c (%)	90.2	90.4	90.2
B 値		0.95	0.96	0.95
主応力差最大時	圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$ (kN/m^2)	106.6	175.0	235.0
	軸ひずみ ε_f (%)	1.73	1.88	2.07
	体積ひずみ V_f (%)	−0.26	−0.14	0.01
強度定数	せん断抵抗角 ϕ_d (°)	31.1		
	粘着力 c_d (kN/m^2)	12.3		
変形係数 E_{50} (MN/m^2)		10.6	18.4	26.0

JGS 0524　土の三軸圧縮試験 [~~CU~~,~~CU~~,CD]（圧密前，圧密後 圧密量−時間曲線）

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）混合土D値90%　　試験者

試料の状態 1)		再構成	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm3 4)	
供試体の作製方法 2)		突固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm3 4)	
土質名称			圧密中の排水方法	両面排水
土粒子の密度 ρ_s 3) g/cm^3		2.635		
供試体 No.		1	2	3
試験条件	セル圧 σ_c kN/m^2	230	260	290
	背圧 u_b kN/m^2	200	200	200
	圧密応力 σ_c' kN/m^2	30	60	90
圧密前	高さ H_0 cm	9.988	9.992	9.990
	直径 D_0 cm	4.963	4.963	4.965
	間隙比 e_0 3)	0.699	0.700	0.707
圧密後	圧密時間 t_c min	180	180	180
	体積変化量 ΔV_c cm^3	0.35	0.93	1.27
	軸変位量 ΔH_c cm	0.011	0.020	0.032
	体積 V_c cm^3	192.87	192.37	192.15
	高さ H_c cm	9.977	9.972	9.958
	炉乾燥質量 m_s g	299.63	299.57	298.71
	乾燥密度 ρ_{dc} g/cm^3	1.554	1.557	1.555
	間隙比 e_c 3)	0.696	0.692	0.695
間隙圧係数B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$ kN/m^2	10.0	20.0	20.0
	間隙水圧増加量 Δu kN/m^2	9.5	19.2	19.0
	測定に要した時間 min	1	1	1
	B 値	0.95	0.96	0.95



特記事項

1）試料の採取方法,試料の状態(塊状,凍結,ときほぐされた)等を記載する。
2）トリミング法,負圧法の種別,凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界,塑性限界,砂質土の場合は最小乾燥密度,最大乾燥密度等を記載する。

[1 kN/m^2≒0.0102 kgf/cm^2]

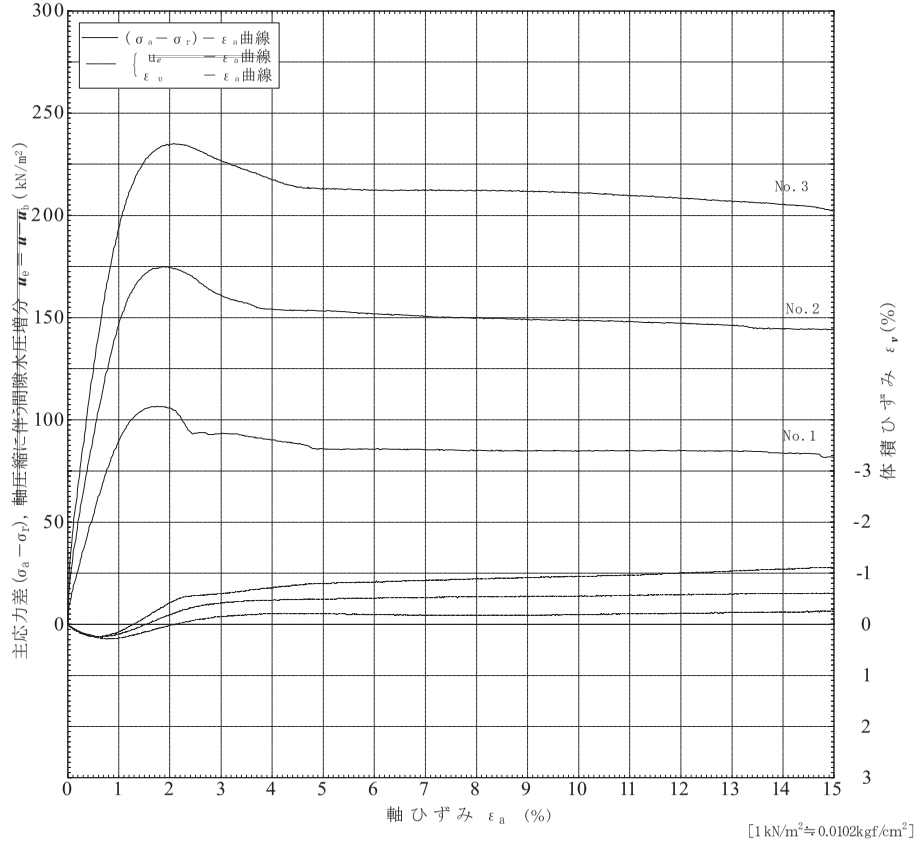
JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,$\overline{\text{~~CU~~}}$,CD]（応力－ひずみ曲線）	

調査件名 ..... 試験年月日 .....

試料番号（深さ）混合土D値90% 試　験　者

土質名称		供試体 No.		1	2	3	
最小乾燥密度 1)		~~セル~~圧・圧密応力	kN/m²	30.0	60.0	90.0	
最大乾燥密度 1)		背圧 u_b	kN/m²	200.0	200.0	200.0	
ひずみ速度 %/min	0.05	主応力差最大時 圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$	kN/m²	106.6	175.0	235.0	
		主応力差最大時 軸ひずみ ε_{af}	%	1.73	1.88	2.07	
		$\overline{\text{CU}}$ 間隙水圧 u_f	kN/m²				
		$\overline{\text{CU}}$ 有効軸方向応力 σ'_{af}	kN/m²				
		$\overline{\text{CU}}$ 有効側方向応力 σ'_{rf}	kN/m²				
		CD 体積ひずみ ε_{vf}	%	−0.26	−0.14	0.01	
		CD 間隙比 e_f		0.701	0.694	0.695	
		供試体の破壊状況					

特記事項　1）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。



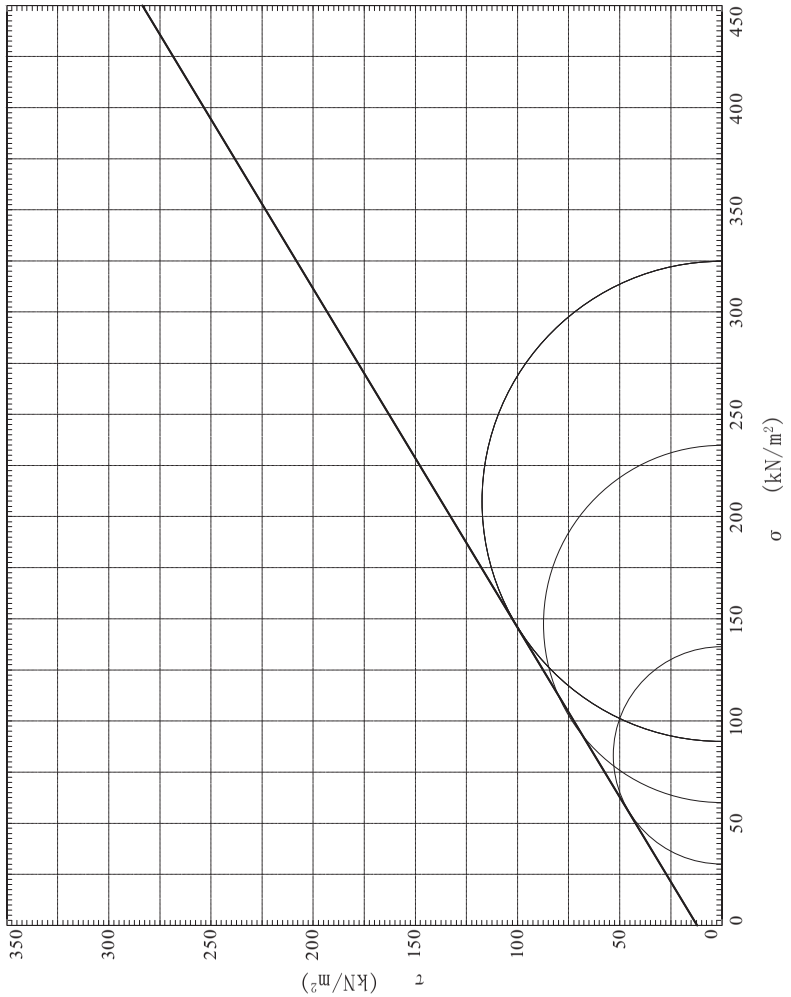
[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験 [~~UU~~, ~~CU~~, $\overline{\text{~~CU~~}}$, CD]（強度特性）	

調査件名 ..... 試験年月日 .....

試料番号 混合土D値90% 試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力 c_d kN/m²	全応力 ϕ_d °	全応力 $\tan\phi_d$	有効応力 c' kN/m²	有効応力 φ' °
正規圧密領域	12.3	31.1	0.604		
過圧密領域					

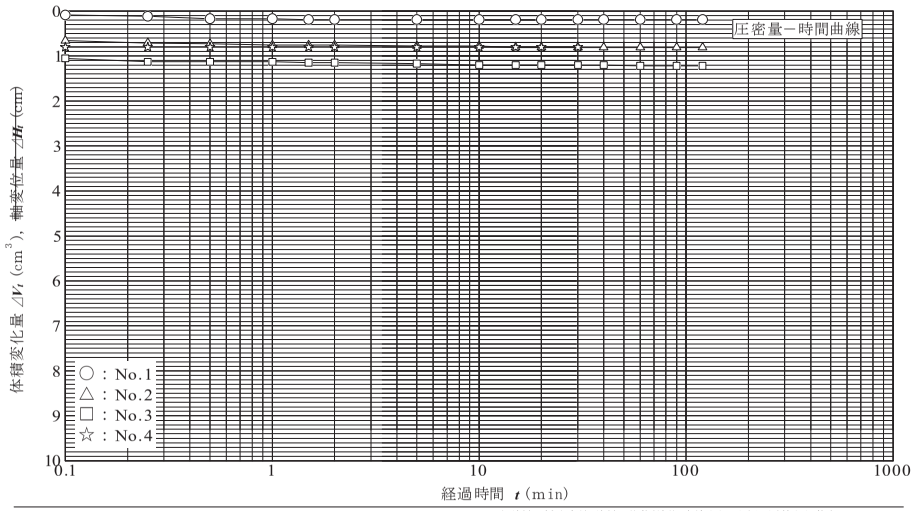


JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,CD]（圧密前，圧密後 圧密量−時間曲線）	

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）混合土上部　　試　験　者

試料の状態 1)		ブロック	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm³ 4)	
供試体の作製方法 2)		トリミング法	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³ 4)	
土質名称			圧密中の排水方法	両面排水
土粒子の密度 ρ_s 3)	g/cm³	2.647		
供試体 No.		No.1	No.2	No.3
試験条件	セル圧 σ_c	kN/m²	230	260	290
	背圧 u_b	kN/m²	200	200	200
	圧密応力 σ'_c	kN/m²	30	60	90
圧密前	高さ H_0	cm	9.983	9.983	9.988
	直径 D_0	cm	4.983	4.983	4.982
	間隙比 e_0 3)		0.718	0.700	0.675
圧密後	圧密時間 t_c	min	120	120	120
	体積変化量 ΔV_c	cm³	0.19	0.81	1.22
	軸変位量 ΔH_c	cm	0.003	0.012	0.020
	体積 V_c	cm³	194.50	193.88	193.48
	高さ H_c	cm	9.980	9.971	9.968
	炉乾燥質量 m_s	g	299.92	303.07	307.59
	乾燥密度 ρ_{dc}	g/cm³	1.542	1.563	1.590
	間隙比 e'_c 3)		0.717	0.694	0.665
間隙圧係数B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$	kN/m²	10.0	20.0	20.0
	間隙水圧増加量 Δu	kN/m²	9.5	19.8	19.0
	測定に要した時間	min	1	1	1
	B値		0.95	0.99	0.95



特記事項

1）試料の採取方法,試料の状態(塊状,凍結,ときほぐされた)等を記載する。
2）トリミング法,負圧法の種別,凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界,塑性限界,砂質土の場合は最小乾燥密度,最大乾燥密度等を記載する。

[1 kN/m²≒0.0102 kgf/cm²]

JGS 0524	土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,~~CU~~,CD]（応力−ひずみ曲線）	

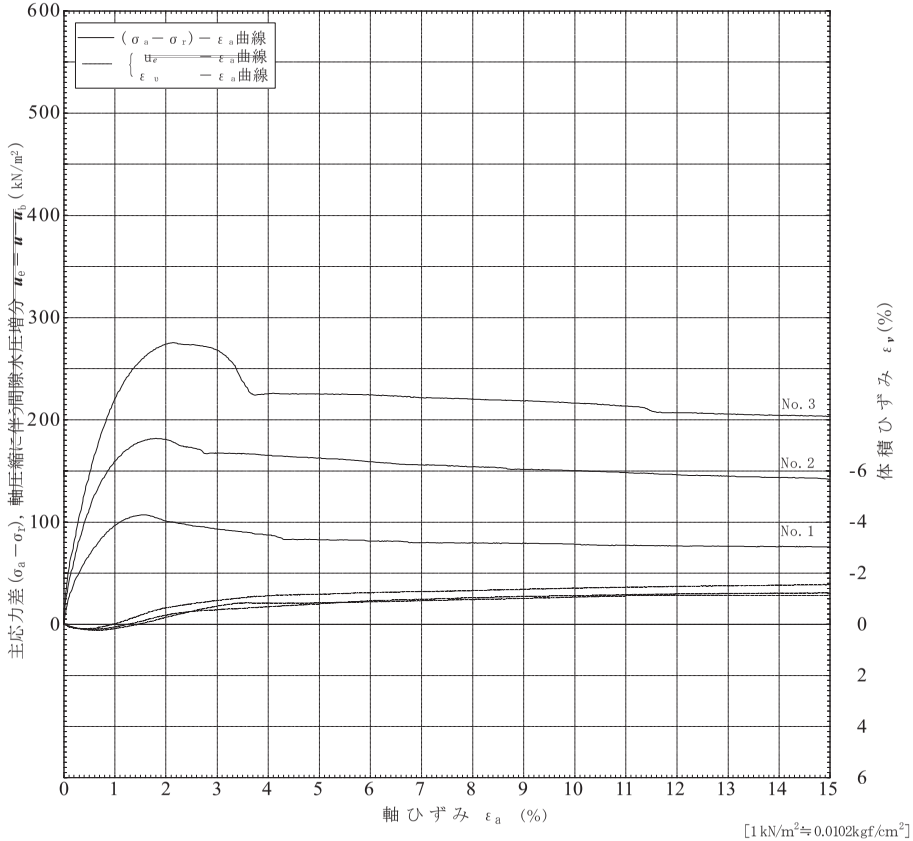
調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ）混合土上部　　試　験　者

土質名称			供試体 No.		1	2	3
最小乾燥密度 1)			セル圧・圧密応力	kN/m²	30.0	60.0	90.0
最大乾燥密度 1)			背圧 u_b	kN/m²	200.0	200.0	200.0
ひずみ速度 %/min		0.05	主応力差最大時 圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$	kN/m²	107.0	181.8	275.5
			主応力差最大時 軸ひずみ ε_{af}	%	1.51	1.80	2.13
			CU 間隙水圧 u_f	kN/m²			
			CU 有効軸方向応力 σ'_{af}	kN/m²			
			CU 有効側方向応力 σ'_{rf}	kN/m²			
			CD 体積ひずみ ε_{vf}	%	−0.37	−0.26	−0.33
			CD 間隙比 e_f		0.723	0.698	0.670
			供試体の破壊状況				

特記事項
変形係数 E_{50}
No.1：16.1MN/m²
No.2：25.7MN/m²
No.3：31.3MN/m²

1）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。



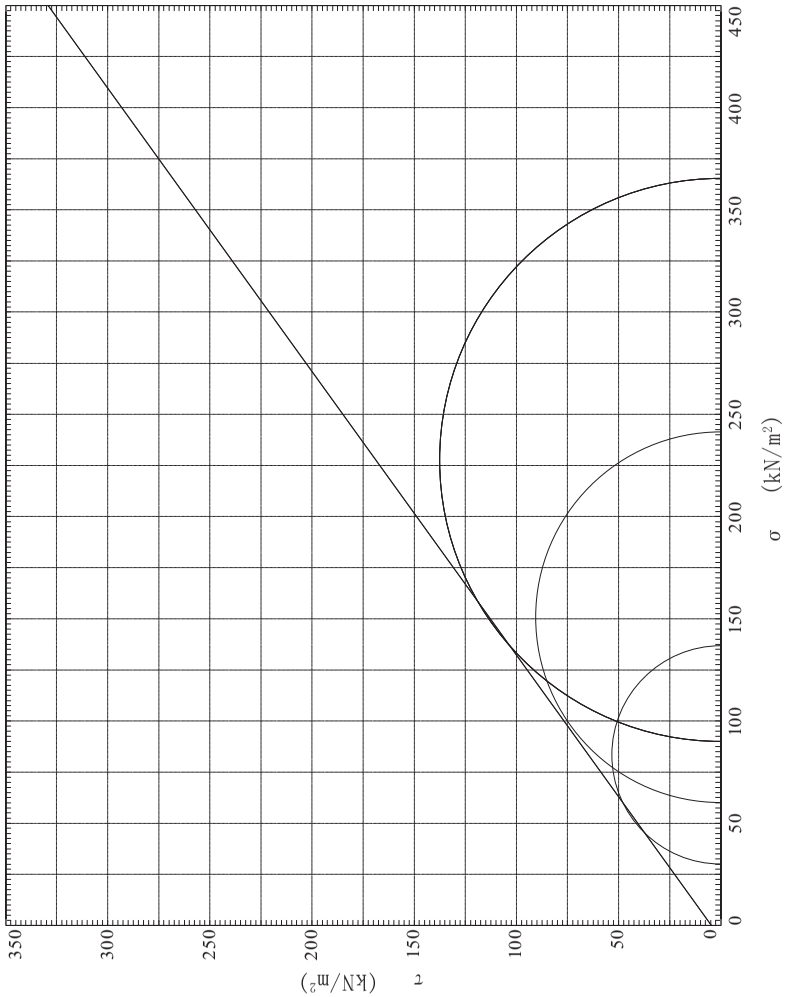
[1 kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

JGS 0524	三軸圧縮試験［~~UU~~, ~~CU~~, ~~$\overline{CU}$~~, CD］(強度特性)	

調査件名　　試験年月日

試料番号 混合土上部　　試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力			有効応力	
	c_d kN/m²	ϕ_d °	$\tan\phi_d$	c' kN/m²	ϕ' °
正規圧密領域	4.9	35.8	0.721		
過圧密領域					

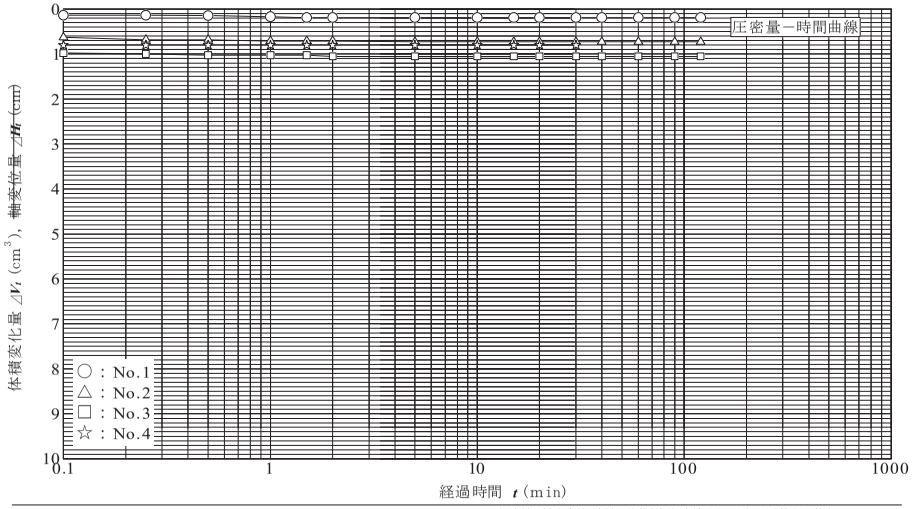


JGS 0524	土の三軸圧縮試験［~~CU~~,$\overline{CU}$,CD］(圧密前，圧密後 圧密量−時間曲線)	

調査件名　　試験年月日

試料番号（深さ） 混合土下部　　試験者

試料の状態 1)		ブロック	最小乾燥密度 ρ_{dmin} g/cm³ 4)		
供試体の作製方法 2)		トリミング法	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm³ 4)		
土質名称			圧密中の排水方法	両面排水	
土粒子の密度 ρ_s 3) g/cm³		2.647			
供試体 No.			No.1	No.2	No.3
試験条件	セル圧 σ_c	kN/m²	230	260	290
	背圧 u_b	kN/m²	200	200	200
	圧密応力 σ'_c	kN/m²	30	60	90
圧密前	高さ H_0	cm	9.988	9.992	9.988
	直径 D_0	cm	4.992	4.983	4.983
	間隙比 e_0 3)		0.653	0.654	0.667
圧密後	圧密時間 t_c	min	120	120	120
	体積変化量 ΔV_c	cm³	0.19	0.73	1.05
	軸変位量 ΔH_c	cm	0.004	0.011	0.170
	体積 V_c	cm³	195.30	194.13	193.73
	高さ H_c	cm	9.984	9.981	9.818
	炉乾燥質量 m_s	g	312.89	311.73	309.38
	乾燥密度 ρ_{dc}	g/cm³	1.602	1.606	1.597
	間隙比 e_c 3)		0.652	0.648	0.657
間隙圧係数B	等方応力増加量 $\Delta\sigma$	kN/m²	10.0	20.0	20.0
	間隙水圧増加量 Δu	kN/m²	9.6	19.4	19.0
	測定に要した時間	min	1	1	1
	B値		0.96	0.97	0.95



特記事項

1）試料の採取方法,試料の状態(塊状,凍結,ときほぐされた)等を記載する。
2）トリミング法,負圧法の種別,凍結試料の場合は解凍方法等を記載する。
3）必要に応じて記載する。
4）必要に応じて粘性土の場合は液性限界,塑性限界,砂質土の場合は最小乾燥密度,最大乾燥密度等を記載する。

［1 kN/m² ≒ 0.0102 kgf/cm²］

JGS 0524 | 土の三軸圧縮試験 [~~UU~~,~~CU~~,$\overline{\text{~~CU~~}}$,CD]（応力－ひずみ曲線）

調査件名 ..... 試験年月日 .....

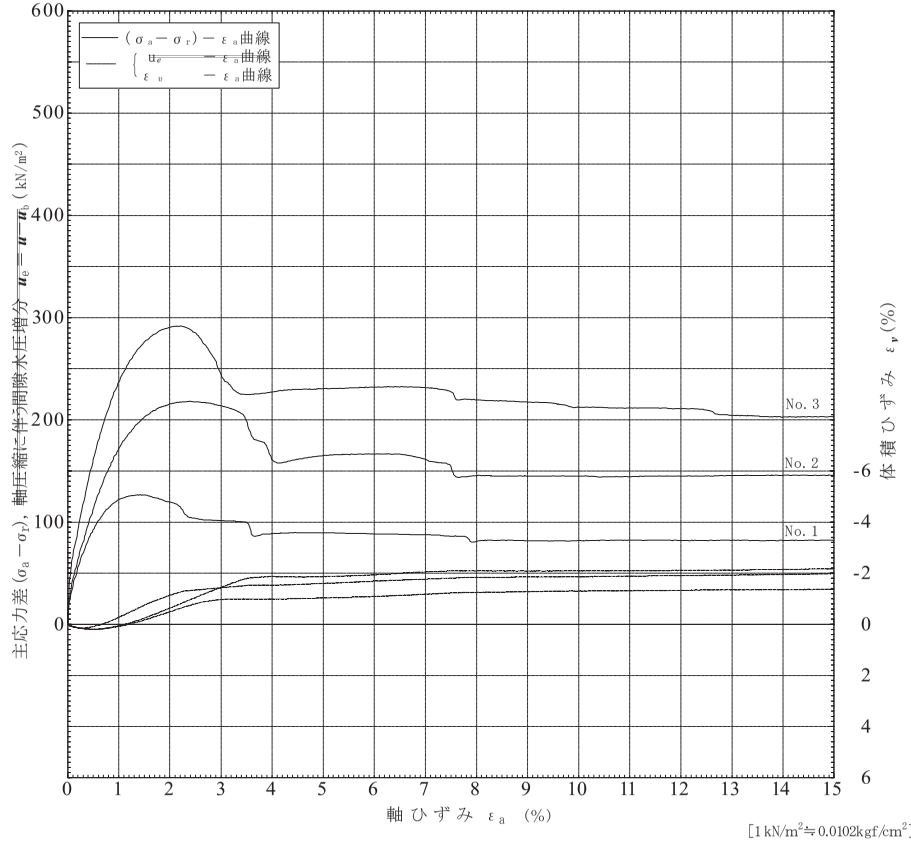
試料番号（深さ）混合土下部 試験者

土質名称		
最小乾燥密度 1)		
最大乾燥密度 1)		
ひずみ速度 %/min		0.05

供試体 No.			1	2	3
セル圧・圧密応力 kN/m²			30.0	60.0	90.0
背圧 u_b kN/m²			200.0	200.0	200.0
主応力差最大時		圧縮強さ $(\sigma_a-\sigma_r)_{max}$ kN/m²	126.7	218.0	291.7
		軸ひずみ ε_{af} %	1.37	2.38	2.21
	$\overline{\text{CU}}$	間隙水圧 u_f kN/m²			
		有効軸方向応力 σ'_{af} kN/m²			
		有効側方向応力 σ'_{rf} kN/m²			
	CD	体積ひずみ ε_{vf} %	−0.61	−0.95	−0.62
		間隙比 e_f	0.662	0.664	0.668
供試体の破壊状況					

特記事項 1）必要に応じて粘性土の場合は液性限界，塑性限界，砂質土の場合は最小乾燥密度，最大乾燥密度等を記載する。

変形係数 E_{50}
No. 1：25.2MN/m²
No. 2：22.6MN/m²
No. 3：34.5MN/m²



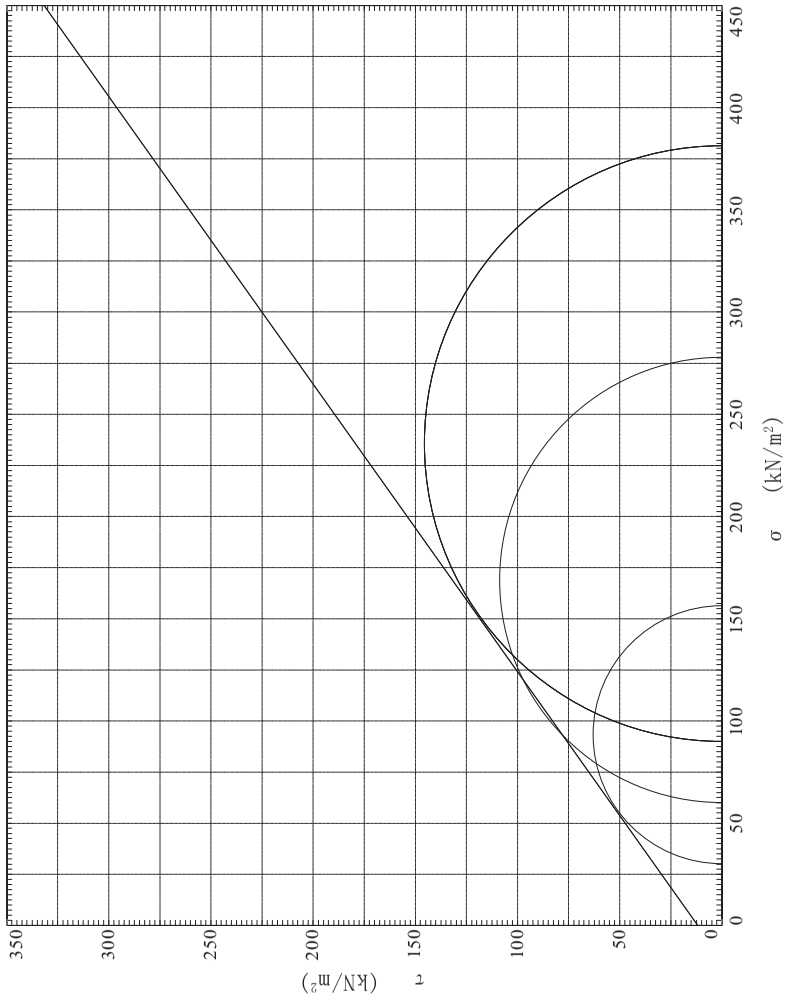
[1 kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

JGS 0524 | 三軸圧縮試験 [~~UU~~, ~~CU~~, $\overline{\text{~~CU~~}}$, CD]（強度特性）

調査件名 試験年月日

試料番号 混合土下部 試験者

強度定数 / 応力範囲	全応力			有効応力	
	c_d kN/m²	ϕ_d °	$\tan\phi_d$	c' kN/m²	φ' °
正規圧密領域	12.1	35.4	0.711		
過圧密領域					

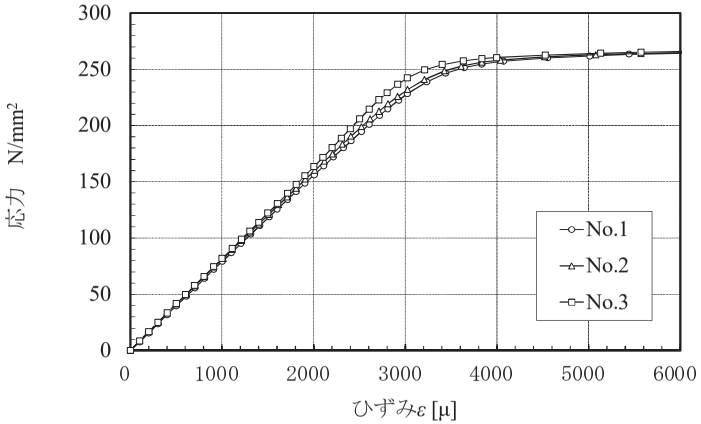


A2. アルミパイプ材料試験結果

[1] アルミの引張試験

○アルミ材の引張試験

番号	断面積 A mm^2	0.2%永久伸びに対する 荷重P kN	0.2%永久伸びに対する 応力σ N/mm^2	降伏歪※ ε μ	最大荷重 kN	最大応力 N/mm^2	弾性係数 E kN/mm^2
No.1	70.87	18.65	263.2	-	20.49	289.1	77.6
No.2	70.62	18.60	263.4	-	20.49	290.1	79.5
No.3	70.91	18.75	264.4	-	20.44	288.3	81.7
平均値	-	-	263.6	3,300	20.47	289.2	79.6



アルミ管の引張強度試験結果

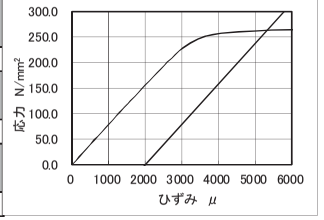
TP-Name : No.1

呼び名	0.2%永久伸びに対する荷重 kN [tf]	0.2%永久伸びに対する応力 N/mm^2 [kgf/cm^2]	降伏歪 μ	弾性係数 kN/mm^2 [E6kgf/cm^2]
	18.65 [1.90]	263.2 [2684]	–	77.58 [0.79]

断面積 mm^2	最大荷重 kN [tf]	最大応力 N/mm^2 [kgf/cm^2]
70.87	20.49 [2.09]	289.1 [2948]

伸び測定	標点距離 mm 試験前	標点距離 mm 試験後	伸び %
	49.78	56.19	12.9

絞り測定	直径 mm 試験前	直径 mm 試験後	絞り %
	–	–	



測定数 回	荷重 kN [tf]	引張応力 N/mm^2 [kgf/cm^2]	ひずみ μ	弾性係数 kN/mm^2 [E6kgf/cm^2]	計算
1	0.0 [0.00]	0.0 [0]	0	– [–]	
2	0.5 [0.06]	7.6 [78]	101	75.5 [0.77]	
3	1.1 [0.11]	15.6 [159]	200	78.2 [0.80]	*
4	1.7 [0.17]	23.6 [241]	302	78.1 [0.80]	*
5	2.2 [0.23]	31.5 [321]	402	78.4 [0.80]	*
6	2.8 [0.29]	39.6 [403]	502	78.8 [0.80]	*
7	3.4 [0.35]	48.1 [490]	610	78.8 [0.80]	*
8	3.9 [0.40]	55.7 [568]	706	78.9 [0.80]	*
9	4.5 [0.46]	64.0 [653]	811	78.9 [0.80]	*
10	5.1 [0.52]	71.9 [733]	911	78.9 [0.80]	*
11	5.6 [0.57]	79.1 [807]	1004	78.8 [0.80]	*
12	6.2 [0.63]	86.8 [885]	1101	78.8 [0.80]	*
13	6.7 [0.69]	94.9 [968]	1206	78.7 [0.80]	*
14	7.3 [0.75]	103.5 [1056]	1317	78.6 [0.80]	*
15	7.9 [0.80]	111.0 [1132]	1415	78.5 [0.80]	*
16	8.4 [0.86]	119.0 [1213]	1518	78.4 [0.80]	*
17	8.9 [0.91]	125.6 [1280]	1604	78.3 [0.80]	*
18	9.5 [0.97]	134.2 [1368]	1716	78.2 [0.80]	*
19	10.0 [1.02]	141.2 [1440]	1810	78.0 [0.80]	*
20	10.5 [1.07]	148.6 [1516]	1906	78.0 [0.80]	*
21	11.1 [1.13]	156.2 [1593]	2006	77.9 [0.79]	*
22	11.6 [1.19]	164.0 [1673]	2111	77.7 [0.79]	*
23	12.2 [1.24]	172.1 [1755]	2217	77.6 [0.79]	*
24	12.8 [1.30]	180.2 [1837]	2325	77.5 [0.79]	*
25	13.2 [1.35]	186.4 [1901]	2409	77.4 [0.79]	*
26	13.8 [1.41]	194.7 [1985]	2522	77.2 [0.79]	*
27	14.2 [1.45]	200.9 [2048]	2607	77.1 [0.79]	*
28	14.8 [1.51]	208.9 [2131]	2721	76.8 [0.78]	*
29	15.2 [1.55]	214.9 [2192]	2809	76.5 [0.78]	*
30	15.8 [1.61]	222.6 [2270]	2930	76.0 [0.77]	
31	16.2 [1.65]	228.2 [2327]	3024	75.5 [0.77]	
32	16.9 [1.72]	238.7 [2434]	3233	73.8 [0.75]	
33	17.5 [1.78]	246.3 [2512]	3439	71.6 [0.73]	
34	17.8 [1.82]	251.5 [2565]	3644	69.0 [0.70]	
35	18.1 [1.84]	254.7 [2597]	3835	66.4 [0.68]	
36	18.2 [1.86]	257.2 [2623]	4071	63.2 [0.64]	
37	18.4 [1.88]	260.1 [2653]	4554	57.1 [0.58]	
38	18.5 [1.89]	261.7 [2669]	5013	52.2 [0.53]	
39	18.7 [1.90]	263.4 [2686]	5440	48.4 [0.49]	
40	18.8 [1.91]	264.8 [2700]	6300	42.0 [0.43]	

記：*印表記行は弾性係数算出に採用した測定値を示す。

アルミ管の引張強度試験結果

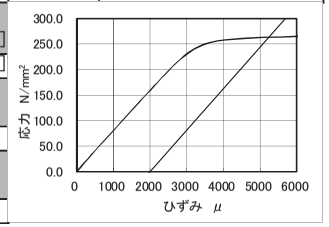
TP-Name : No.2

呼び名	0.2%永久伸びに対する荷重		0.2%永久伸びに対する応力		降伏歪	弾性係数	
	kN	[tf]	N/mm²	[kgf/cm²]	μ	kN/mm²	[E6kgf/cm²]
	18.60	[1.90]	263.4	[2686]	–	79.46	[0.81]

断面積	最大荷重		最大応力	
mm²	kN	[tf]	N/mm²	[kgf/cm²]
70.62	20.49	[2.09]	290.1	[2959]

伸び測定	標点距離 mm		伸び %
	試験前	試験後	
	50.02	57.17	14.3

絞り測定	直径 mm		絞り %
	試験前	試験後	
	–	–	



測定数	荷重		引張応力		ひずみ	弾性係数		計
回	kN	[tf]	N/mm²	[kgf/cm²]	μ	kN/mm²	[E6kgf/cm²]	算
1	0.0	[0.00]	0.0	[0]	0	–	[–]	
2	0.6	[0.06]	8.6	[88]	102	83.9	[0.86]	
3	1.2	[0.12]	16.5	[169]	200	82.5	[0.84]	
4	1.8	[0.18]	25.3	[258]	305	83.0	[0.85]	
5	2.4	[0.24]	33.4	[340]	403	82.8	[0.84]	
6	2.9	[0.30]	41.2	[420]	500	82.3	[0.84]	
7	3.5	[0.36]	49.5	[505]	603	82.0	[0.84]	
8	4.0	[0.41]	57.1	[583]	700	81.6	[0.83]	*
9	4.6	[0.47]	65.6	[669]	807	81.3	[0.83]	*
10	5.2	[0.53]	73.8	[753]	911	81.0	[0.83]	*
11	5.8	[0.59]	81.8	[834]	1012	80.8	[0.82]	*
12	6.3	[0.64]	89.6	[913]	1111	80.6	[0.82]	*
13	6.9	[0.70]	97.7	[996]	1215	80.4	[0.82]	*
14	7.4	[0.76]	104.9	[1070]	1307	80.3	[0.82]	*
15	7.9	[0.81]	112.1	[1144]	1400	80.1	[0.82]	*
16	8.5	[0.87]	120.7	[1231]	1508	80.0	[0.82]	*
17	9.1	[0.93]	129.3	[1318]	1618	79.9	[0.81]	*
18	9.6	[0.98]	136.6	[1393]	1713	79.8	[0.81]	*
19	10.2	[1.04]	144.2	[1471]	1810	79.7	[0.81]	*
20	10.7	[1.10]	152.1	[1551]	1911	79.6	[0.81]	*
21	11.3	[1.15]	160.0	[1632]	2013	79.5	[0.81]	*
22	11.9	[1.21]	168.2	[1715]	2119	79.4	[0.81]	*
23	12.3	[1.26]	174.8	[1782]	2206	79.3	[0.81]	*
24	12.9	[1.32]	183.3	[1869]	2315	79.2	[0.81]	*
25	13.4	[1.37]	190.2	[1939]	2406	79.0	[0.81]	*
26	14.0	[1.43]	198.9	[2028]	2522	78.9	[0.80]	*
27	14.5	[1.48]	205.7	[2098]	2616	78.6	[0.80]	*
28	15.0	[1.53]	212.6	[2168]	2713	78.4	[0.80]	
29	15.5	[1.58]	219.3	[2236]	2812	78.0	[0.80]	
30	15.9	[1.63]	225.8	[2302]	2916	77.4	[0.79]	
31	16.4	[1.67]	232.0	[2366]	3026	76.7	[0.78]	
32	17.0	[1.73]	240.8	[2455]	3209	75.0	[0.77]	
33	17.5	[1.79]	248.4	[2533]	3428	72.5	[0.74]	
34	17.8	[1.82]	252.7	[2577]	3611	70.0	[0.71]	
35	18.1	[1.84]	256.2	[2612]	3836	66.8	[0.68]	
36	18.2	[1.86]	258.2	[2633]	4039	63.9	[0.65]	
37	18.4	[1.88]	261.1	[2662]	4522	57.7	[0.59]	
38	18.6	[1.89]	262.9	[2681]	5080	51.8	[0.53]	
39	18.6	[1.90]	263.9	[2691]	5571	47.4	[0.48]	
40	18.7	[1.91]	264.9	[2701]	6087	43.5	[0.44]	

記:*印表記行は弾性係数算出に採用した測定値を示す。

アルミ管の引張強度試験結果

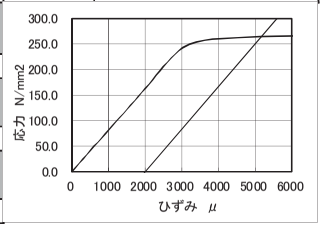
TP-Name : No.3

呼び名	0.2%永久伸びに対する荷重		0.2%永久伸びに対する応力		降伏歪	弾性係数	
	kN	[tf]	N/mm²	[kgf/cm²]	μ	kN/mm²	[E6kgf/cm²]
	18.75	[1.91]	264.4	[2696]	–	81.75	[0.83]

断面積	最大荷重		最大応力	
mm²	kN	[tf]	N/mm²	[kgf/cm²]
70.91	20.44	[2.08]	288.3	[2939]

伸び測定	標点距離 mm		伸び %
	試験前	試験後	
	49.82	56.44	13.3

絞り測定	直径 mm		絞り %
	試験前	試験後	
	–	–	



測定数	荷重		引張応力		ひずみ	弾性係数		計
回	kN	[tf]	N/mm²	[kgf/cm²]	μ	kN/mm²	[E6kgf/cm²]	算
1	0.0	[0.00]	0.0	[0]	0	–	[–]	
2	0.6	[0.06]	8.2	[84]	101	80.8	[0.82]	*
3	1.2	[0.12]	16.6	[169]	202	82.2	[0.84]	*
4	1.8	[0.18]	24.8	[253]	301	82.3	[0.84]	*
5	2.4	[0.24]	33.2	[339]	401	82.8	[0.84]	*
6	2.9	[0.30]	41.5	[423]	502	82.5	[0.84]	*
7	3.5	[0.36]	49.6	[505]	602	82.3	[0.84]	*
8	4.1	[0.42]	57.8	[589]	703	82.2	[0.84]	*
9	4.7	[0.48]	65.7	[670]	802	81.9	[0.84]	*
10	5.3	[0.54]	74.5	[759]	911	81.7	[0.83]	*
11	5.8	[0.59]	81.7	[833]	1001	81.6	[0.83]	*
12	6.4	[0.65]	90.6	[923]	1111	81.5	[0.83]	*
13	7.0	[0.71]	98.7	[1007]	1213	81.4	[0.83]	*
14	7.5	[0.77]	106.1	[1082]	1304	81.4	[0.83]	*
15	8.1	[0.82]	113.9	[1162]	1401	81.3	[0.83]	*
16	8.7	[0.88]	122.1	[1245]	1501	81.3	[0.83]	*
17	9.3	[0.94]	130.7	[1332]	1607	81.3	[0.83]	*
18	9.9	[1.01]	139.6	[1424]	1717	81.3	[0.83]	*
19	10.4	[1.07]	147.3	[1502]	1811	81.4	[0.83]	*
20	11.0	[1.12]	155.3	[1583]	1906	81.5	[0.83]	*
21	11.6	[1.18]	163.4	[1666]	2004	81.5	[0.83]	*
22	12.2	[1.24]	171.6	[1750]	2101	81.7	[0.83]	*
23	12.8	[1.30]	180.1	[1837]	2201	81.8	[0.83]	*
24	13.4	[1.36]	188.6	[1923]	2301	82.0	[0.84]	*
25	14.0	[1.43]	197.2	[2011]	2403	82.1	[0.84]	*
26	14.6	[1.49]	205.8	[2099]	2502	82.3	[0.84]	*
27	15.2	[1.55]	214.4	[2186]	2604	82.3	[0.84]	*
28	15.8	[1.61]	222.7	[2270]	2711	82.1	[0.84]	*
29	16.2	[1.66]	229.1	[2336]	2800	81.8	[0.83]	*
30	16.8	[1.71]	236.7	[2414]	2917	81.1	[0.83]	*
31	17.2	[1.75]	242.3	[2471]	3023	80.1	[0.82]	
32	17.7	[1.80]	249.5	[2544]	3210	77.7	[0.79]	
33	18.0	[1.84]	254.1	[2591]	3406	74.6	[0.76]	
34	18.3	[1.86]	257.4	[2625]	3631	70.9	[0.72]	
35	18.4	[1.88]	259.4	[2645]	3837	67.6	[0.69]	
36	18.5	[1.88]	260.4	[2656]	4000	65.1	[0.66]	
37	18.6	[1.90]	262.5	[2677]	4529	58.0	[0.59]	
38	18.7	[1.91]	264.1	[2693]	5130	51.5	[0.53]	
39	18.8	[1.92]	265.2	[2704]	5572	47.6	[0.49]	
40	18.9	[1.92]	265.8	[2711]	6105	43.5	[0.44]	

記:*印表記行は弾性係数算出に採用した測定値を示す。

A3. 載荷試験計測データ

計測データは、いずれも電子データとして付録に収録する。

[1] ケース<S1-5-1 改>

[2] ケース<S1-5-3 改>

[3] ケース<C1-5-1 改>

[4] ケース<C1-5-3 改>

A4. 電算入出力データ

再現解析に用いた電算入出力データは、いずれも電子データとして付録に収録する。

[1] ケース<S1-5-1 改>

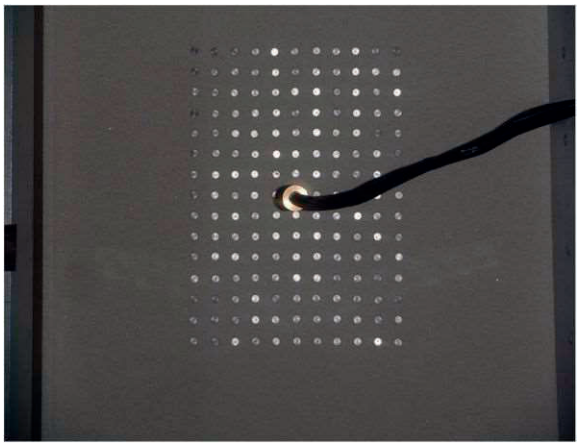
[2] ケース<S1-5-3 改>

[3] ケース<C1-5-1 改>

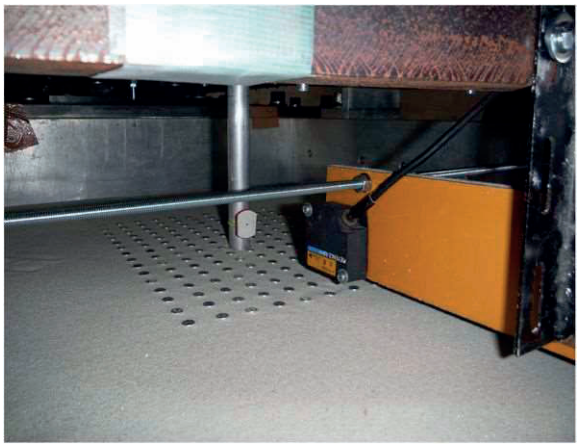
[4] ケース<C1-5-3 改>

A5. 写真帳

1 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備

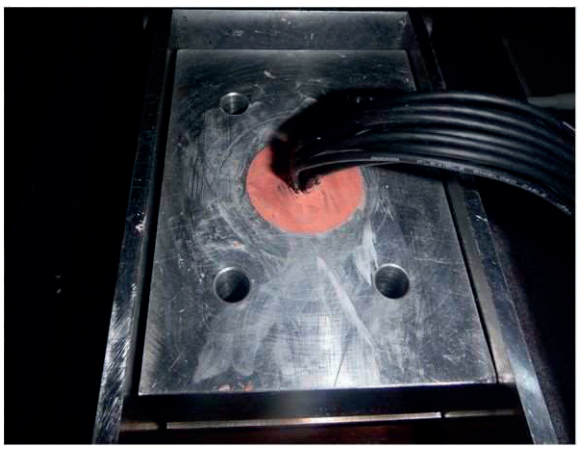


2 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
標点設置状況



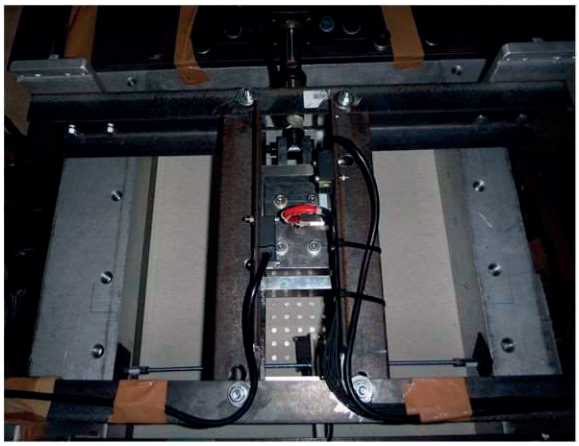
3 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
地際部変位計設置状況

4 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
地際部変位計設置状況

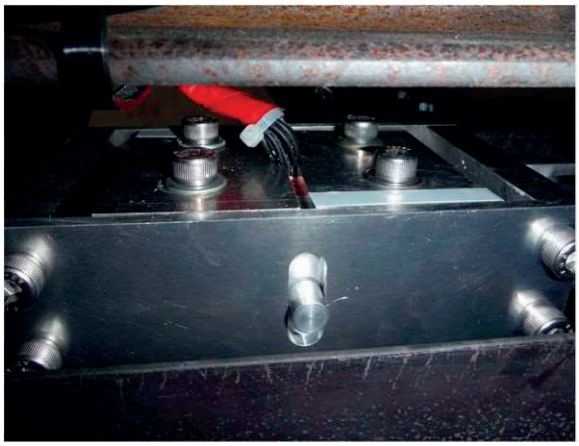


5 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
柱頭部拘束状況
（石膏充填完了時）

6 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
実験供試体セットアップ状況

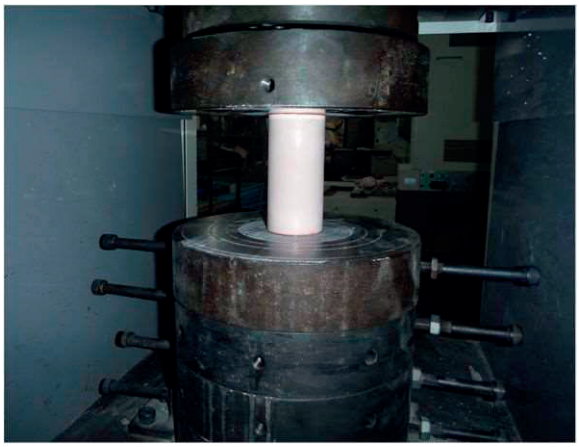


7 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
実験供試体セットアップ状況

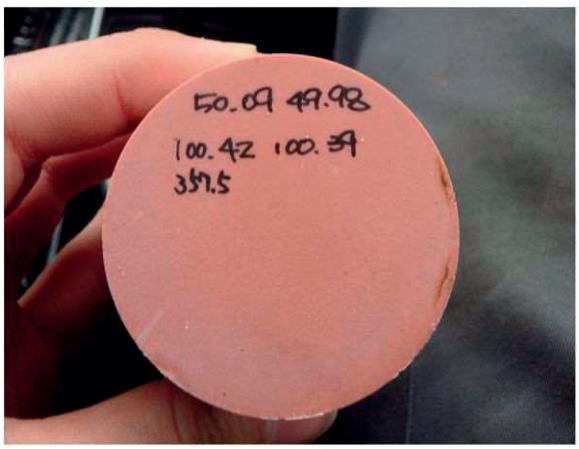


8 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
実験供試体セットアップ状況

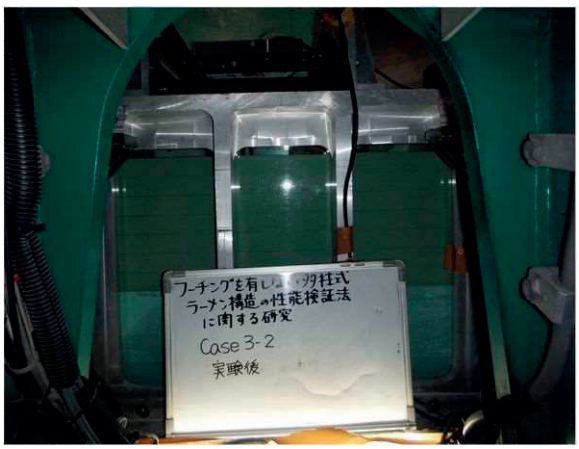
9 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
柱頭部石膏の強度確認状況



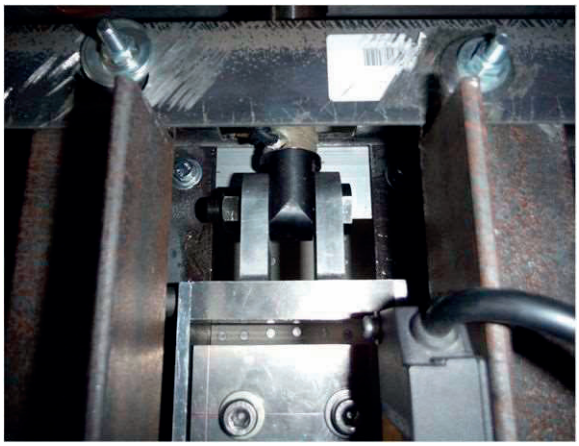
10 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
柱頭部石膏の強度確認状況



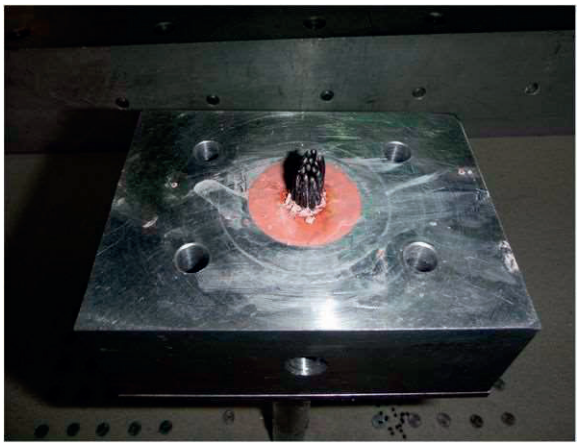
11 ケース＜S1-5-1改＞
実験準備
柱頭部石膏の強度確認状況



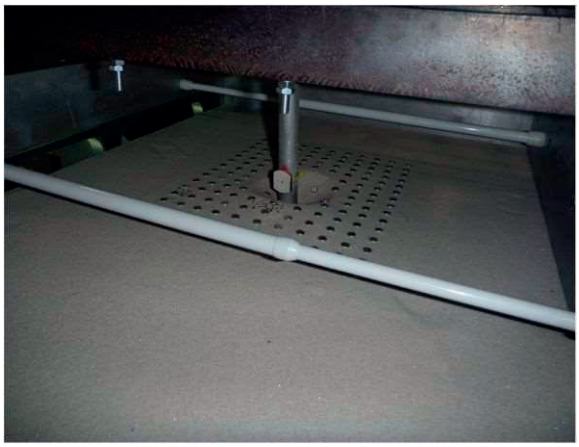
12 ケース＜S1-5-1改＞
実験後



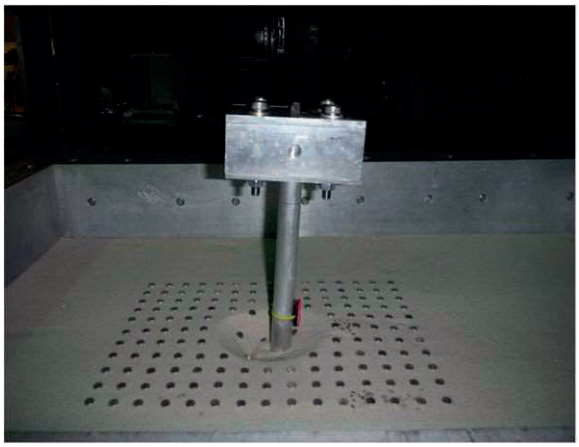
13 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
ジャッキ接続部状況



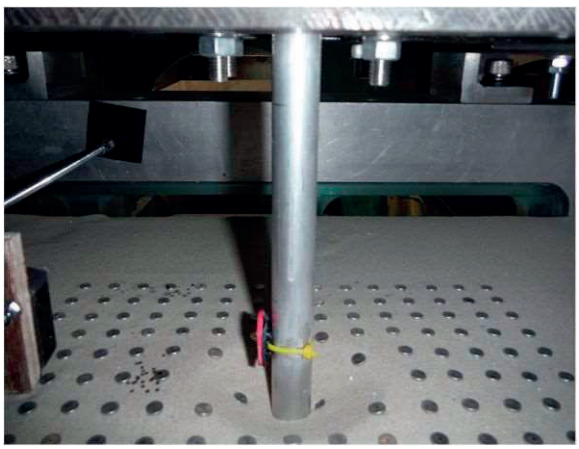
14 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
柱頭部拘束状況



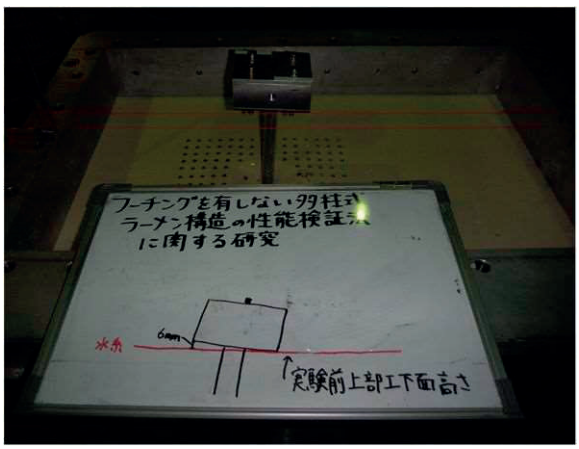
15 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
地表面の状況



16 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
地表面の状況

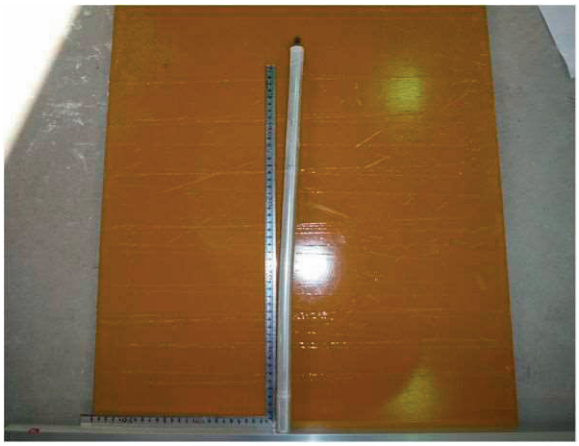


17 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
地表面の状況



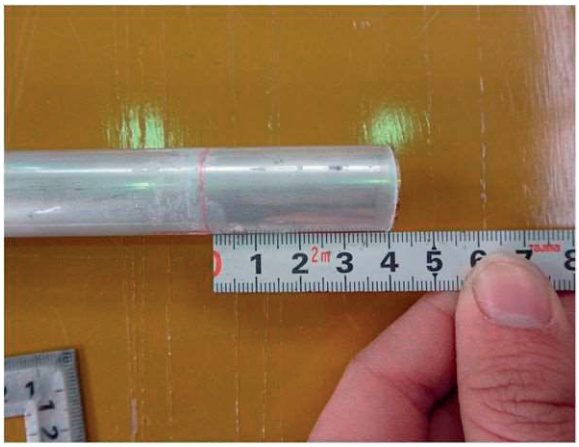
18 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
固定治具の変位

19 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
地中部杭の状況



20 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
地中部杭の状況

21 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
杭先端（支持層根入れ）部の状況

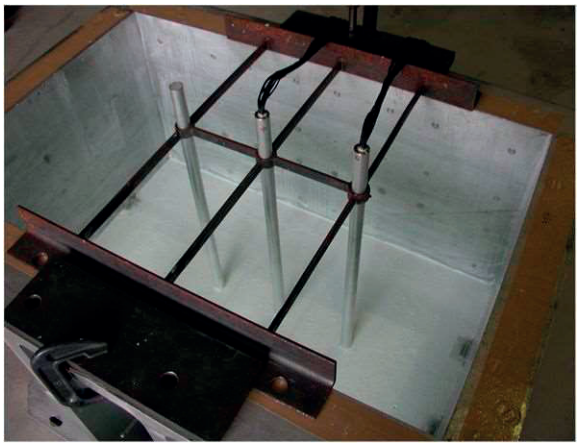


22 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
杭の引き抜け無し

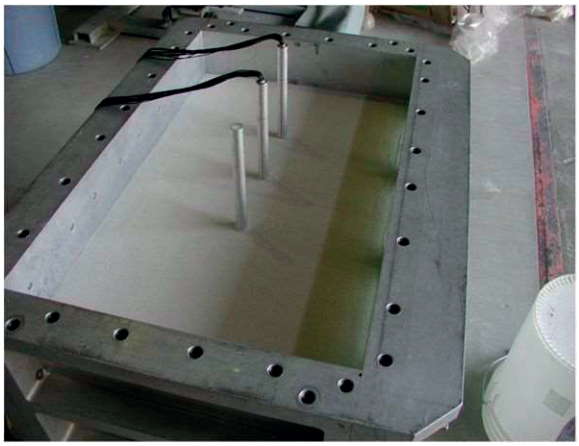
23 ケース＜S1-5-1改＞
実験後
柱－杭模型の状況

余　白

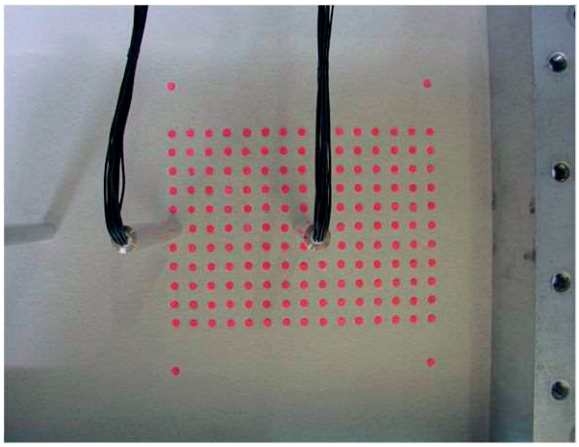
24



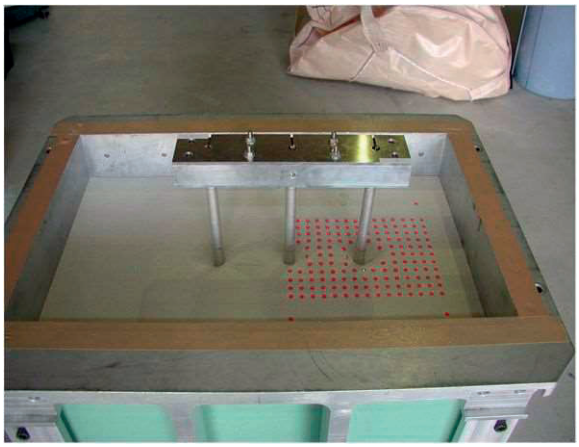
1 ケース＜S1-5-3改＞
実験準備
支持層設置状況



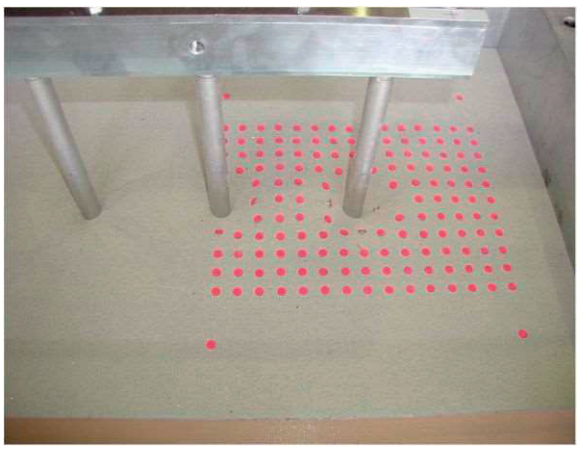
2 ケース＜S1-5-3改＞
実験準備
杭設置完了時



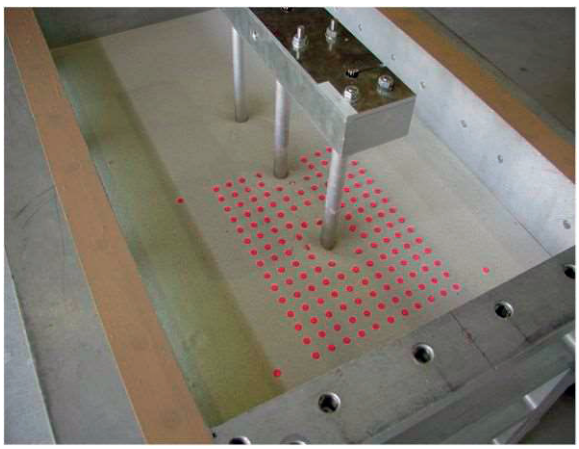
3 ケース＜S1-5-3改＞
実験準備
標点設置状況



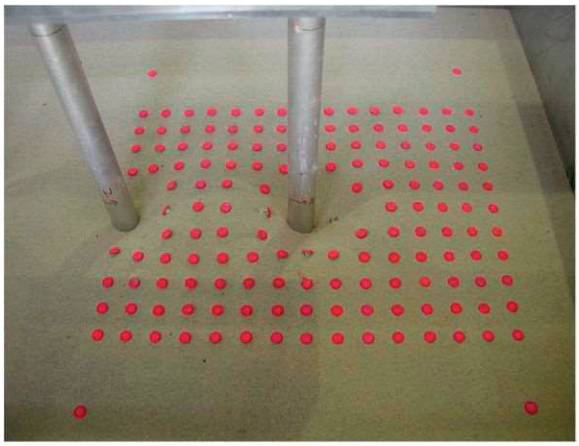
4 ケース＜S1-5-3改＞
実験後
供試体の様子



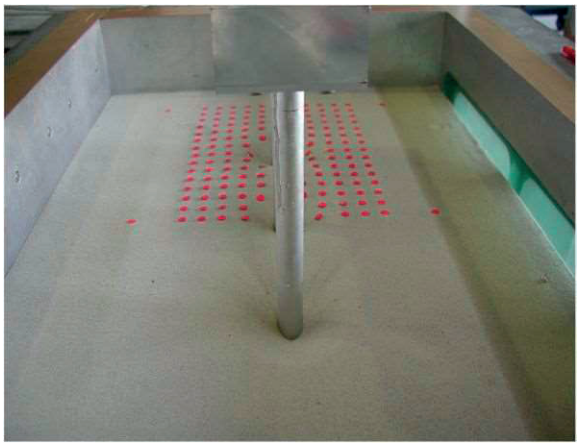
5 ケース＜S1-5-3改＞
実験後
地表面の状況



6 ケース＜S1-5-3改＞
実験後
地表面の状況



7 ケース＜S1-5-3改＞
実験後
地表面の状況



8 ケース＜S1-5-3改＞
実験後
地表面の状況

9 ケース＜S1-5-3改＞
実験後
柱ー杭模型の状況
柱頭部拘束状況
杭の引き抜け無し

余　白

10

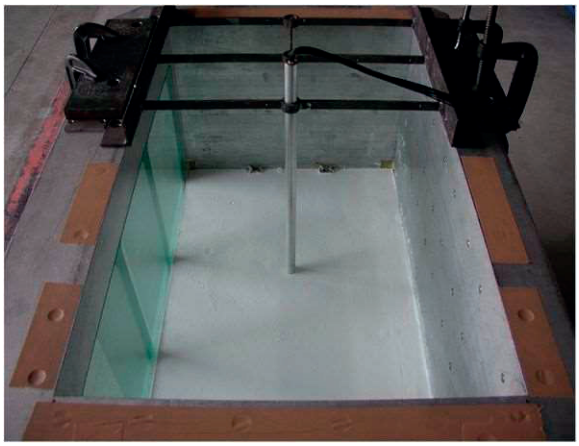
余　白

11

余　白

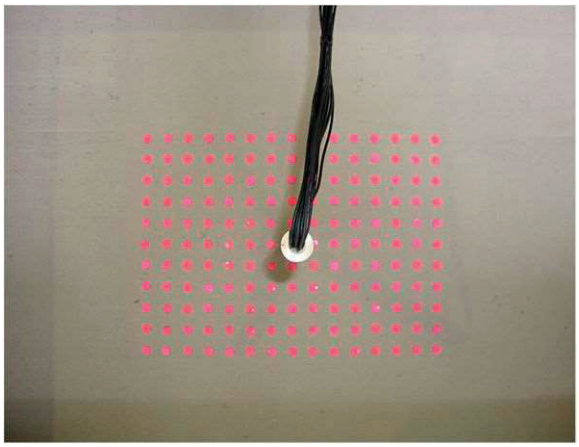
12

1 ケース＜C1-5-1改＞
実験準備
下部排水層設置状況

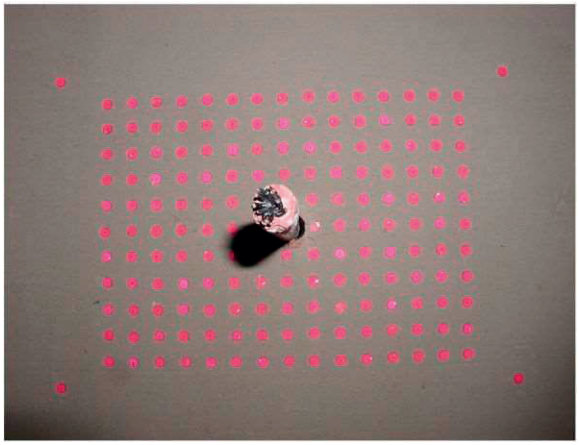


2 ケース＜C1-5-1改＞
実験準備
支持層設置状況

3 ケース＜C1-5-1改＞
実験準備
地盤模型製作状況

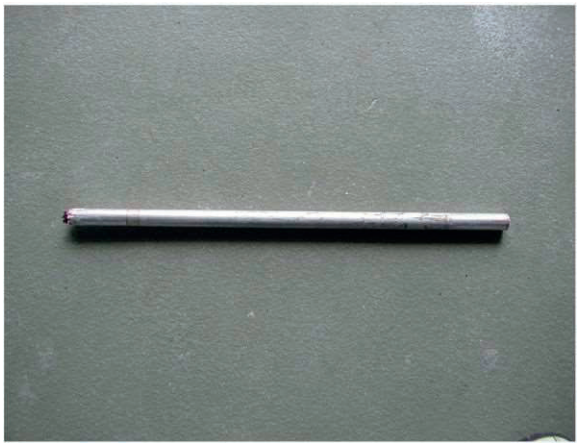


4 ケース＜C1-5-1改＞
実験準備
標点設置状況



5 ケース＜C1-5-1改＞
実験後
標点の状況

6 ケース＜C1-5-1改＞
実験後
支持層の状況
（杭の引き抜け無し）



余　白

7 ケース＜C1-5-1改＞
実験後
柱ー杭模型の状況

8

余　白

9

余　白

10

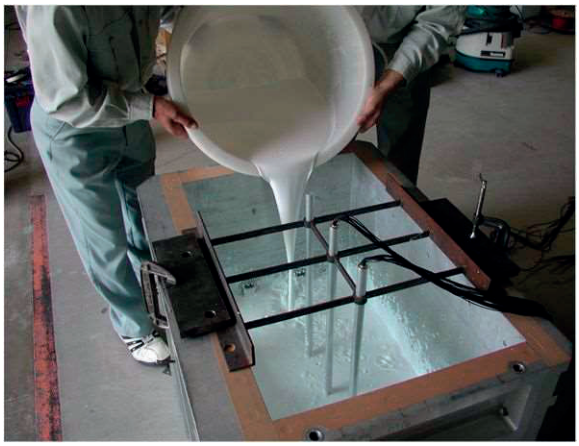
余　白

11

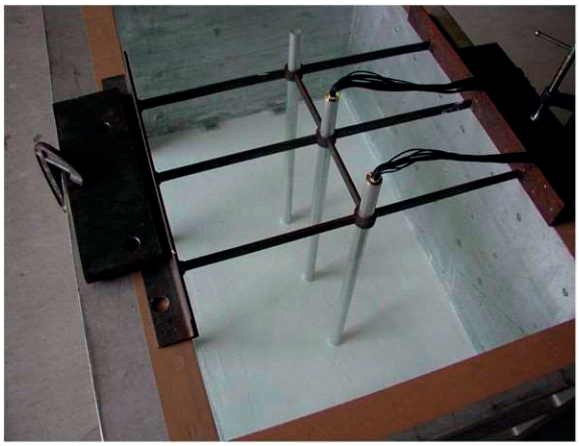
余　白

12

[4] ケース<C1-5-3改>

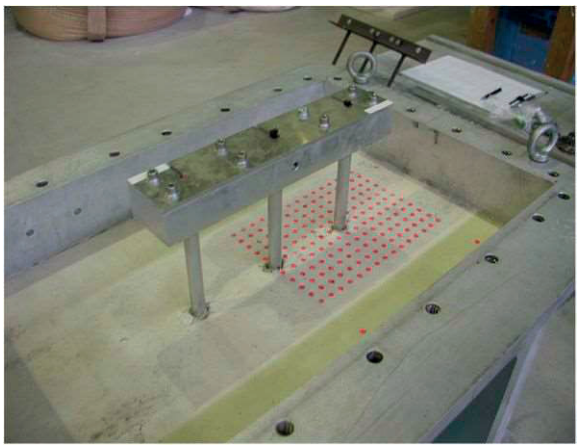


1 ケース＜C1-5-3改＞
実験準備
支持層充填状況

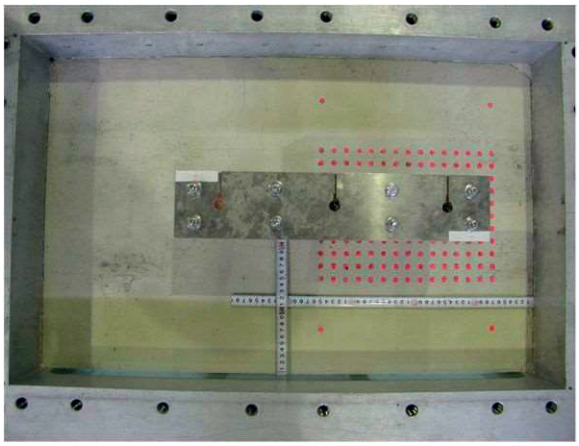


2 ケース＜C1-5-3改＞
実験準備
支持層設置状況

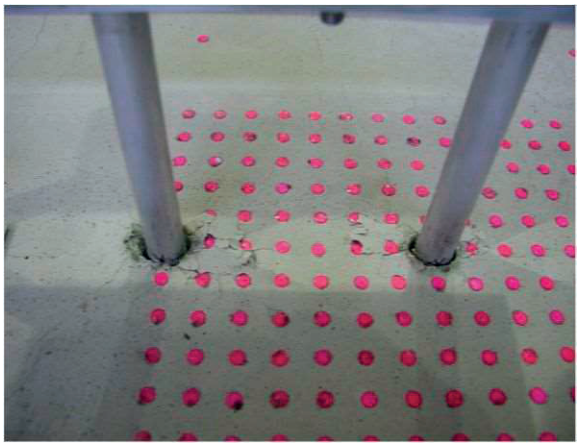
3 ケース＜C1-5-3改＞
実験準備
地盤模型製作状況



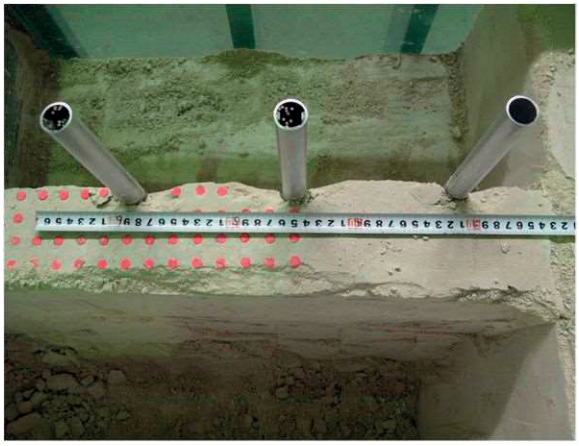
4 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
供試体全景



5 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
地表面の状況



6 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
地表面の状況

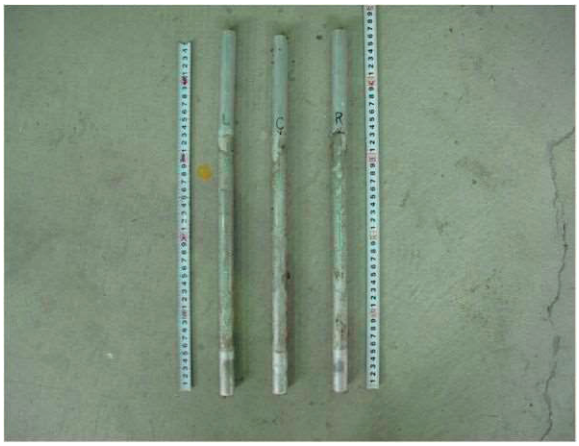


7 ケース＜C1-5-3改＞
実験後

8 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
地中部の状況

9 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
地中部の状況

10 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
地中部の状況



11 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
柱ー杭模型の状況

12 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
凍結ブロックサンプリングの状況

13 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
模型地盤供試体

14 ケース＜C1-5-3改＞
実験後
室内試験状況

余　白

余　白

15

16

余　白

余　白

17

18

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の
性能検証法に関する共同研究報告書

第 3 編：遠心場における動的載荷実験結果に基づく
地震時挙動の評価

～ 目 次 ～

1. 概要 ---------- 3- 1
   1.1 目的 ---------- 3- 1
   1.2 実験ケース ---------- 3- 2
   1.3 加振ケース ---------- 3- 3

2. 実験装置と材料 ---------- 3- 7
   2.1 遠心模型実験及び実験装置 ---------- 3- 7
   2.2 加振装置 ---------- 3- 8
   2.3 地盤材料と模型地盤・室内試験 ---------- 3- 9
   2.4 相似則と実験模型・室内試験 ---------- 3-13

3. 実験方法 ---------- 3-20
   3.1 実験方法 ---------- 3-20
   3.2 計測項目 ---------- 3-20
   3.3 実験計画図 ---------- 3-22

4. データ処理方法 ---------- 3-23
   4.1 一般事項 ---------- 3-23
   4.2 加速度 ---------- 3-24
   4.3 変位 ---------- 3-40
   4.4 曲げモーメント・せん断力 ---------- 3-44
   4.5 地盤反力度 ---------- 3-45

5. 実験結果 ---------- 3-46
   5.1 地盤の変位分布 ---------- 3-46
   5.2 模型及び地盤の固有周期とスペクトル分布 ---------- 3-47
   5.3 地盤反力度の最大分布 ---------- 3-51
   5.4 時刻歴応答変位 ---------- 3-63
   5.5 柱-杭の曲げモーメント ---------- 3-79
   5.6 柱-杭の変形モード ---------- 3-81

6. ＢＮＷＦモデルを用いた動的解析 ---------- 3-83
   6.1 解析モデル ---------- 3-83
   6.2 解析結果 ---------- 3-107

7.　まとめ ---------- 3-122

参考文献 ---------- 3-124

付　録

A1.電算入出力データ ---------- 3-126

A2.写真帳 ---------- 3-127

1. 概要

1.1　目的

「第 1 編：共通編」で述べたように、図 1.1 に示すような鋼多柱式連続ラーメン構造を有する道路橋には、地盤と杭基礎の関係において以下のような課題がある。

- 通常の杭基礎と異なり、フーチングを有しない橋脚と基礎が連続した一柱一基礎構造であるため、地盤抵抗が期待できる範囲と地震時慣性力が作用するとみなせる範囲、すなわち設計地盤面が不明確である。
- H24 道示 IV で示される杭基礎の地盤抵抗モデルは、突出の無い（あるいは小さい）フーチングを有する構造に対して設定されたものであり、本構造のように突出長が大きく、地際での変形が大きい杭基礎への適用性は不明である。

上記の課題を踏まえ、本研究では静的問題に加えて、動的問題についても研究の対象とし、フーチングを有しない杭基礎の抵抗特性や動的挙動を表す既往の地盤モデル[3.1)]の適用性を確認する。

以下に本研究の目的を記す。

- 遠心模型実験装置を用い、縮小模型における実験結果と地盤の動的抵抗特性を表す既往モデル[3.1)]の再現性について調査する。

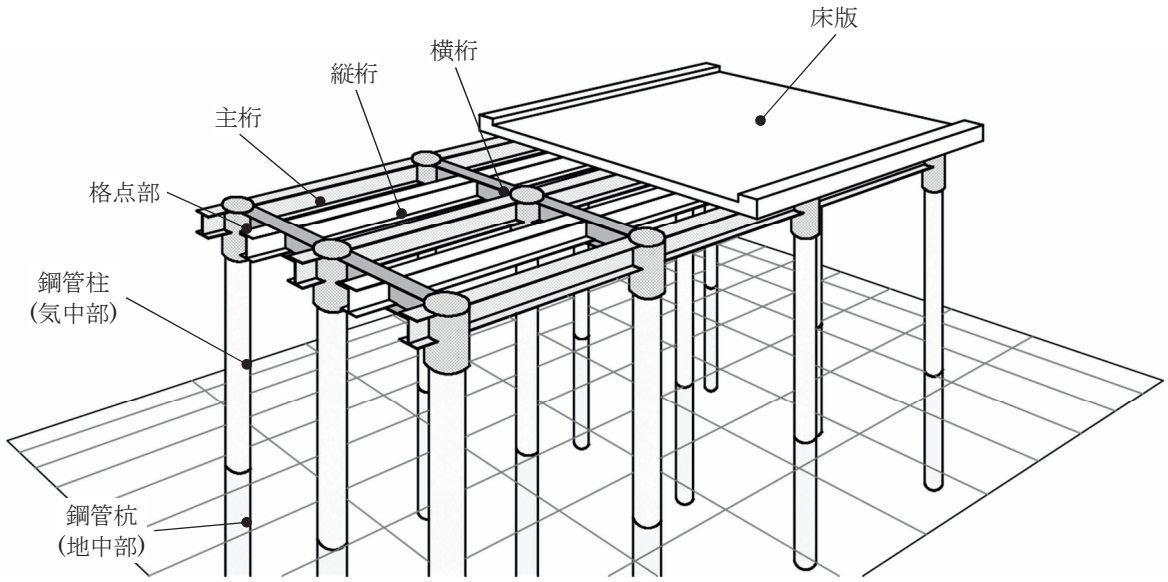
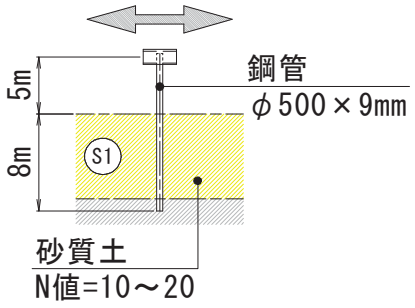
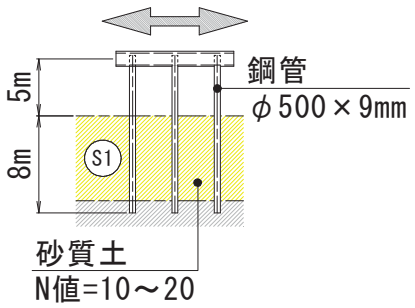
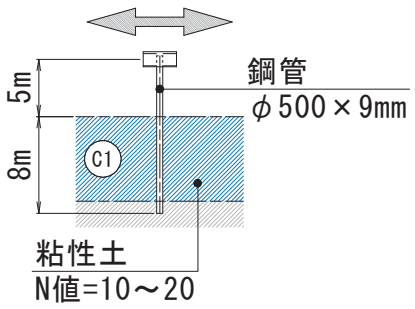
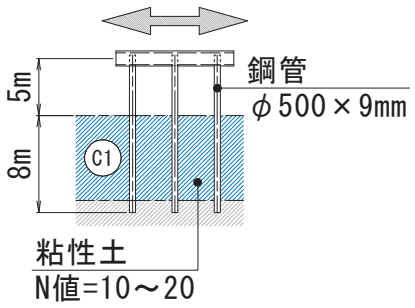


図 1.1　本研究で対象とする鋼多柱式連続ラーメン構造

1.2 実験ケース

動的実験のケースは、静的実験と比較することを目的に、同様の地盤、同様の供試体を使用する表 1.1 のケースとする。

表 1.1 実験ケース

<table>
<tr><th>ケース</th><th>実験供試体概念図</th><th>パラメータの設定および実験目的</th></tr>
<tr><td>砂質土シリーズ〈Series 1〉
〈case 1-2〉</td><td> 
</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部
長 L
[m]</td><td>気中部
高 h
[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m²]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>1</td><td>砂質土
ϕ=45.1°
C=6.3kN/m²</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・解析モデルの再現性の確認</td></tr>
<tr><td>砂質土シリーズ〈Series 1〉
〈case 1-2 〉</td><td> 
</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部
長 L
[m]</td><td>気中部
高 h
[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m²]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>3</td><td>砂質土
ϕ=45.1°
C=6.3kN/m²</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・解析モデルの再現性の確認
・変形モードの違いによる違いを確認</td></tr>
<tr><td>粘性土シリーズ〈Series 2〉
〈case 2-2〉</td><td> 
</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部
長 L
[m]</td><td>気中部
高 h
[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m²]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>1</td><td>粘性土
ϕ=31.1°
C=12.3kN/m²</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・解析モデルの再現性の確認</td></tr>
<tr><td>粘性土シリーズ〈Series 2〉
〈case 2-1 〉</td><td> 
</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3">構造条件</th><th colspan="2">地盤条件</th></tr>
<tr><td>地中部
長 L
[m]</td><td>気中部
高 h
[m]</td><td>柱数 N
[本]</td><td>地盤種別</td><td>地震時の
変形係数αE_0
[MN/m²]</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>3</td><td>粘性土
ϕ=31.1°
C=12.3kN/m²</td><td>56～112</td></tr>
</table>
■実験目的
・解析モデルの再現性の確認
・変形モードの違いによる違いを確認</td></tr>
</table>

1.3　加振ケース

加振ケースは、Series1 : 砂地盤と Series2 : 粘性土地盤の 2 供試体に対し、以下の Run1～7 を加振する。これにより Run 毎の振動特性を把握すると共に、同供試体、同地震波に対する地盤性状の違いによる振動特性についても確認する。

Run1 : Sweep 波
Run2 : 1 本柱の固有周期に併せた Sin 波
Run3 : 3 本柱の固有周期に併せた Sin 波
Run4 : Sweep 波
Run5 : L1 地震動
Run6 : Sweep 波
Run7 : L2 地震動（タイプⅡ）

次ページ以降に、加振ケースを示す。

なお、遠心装置で使用する地震波は、本遠心実験の中で地震波を作成する必要がある。
したがって、次頁以降に記す地震波は目標地震波であり、実際に振動装置に発生した地震波は後述する「**４．データ処理方法**」にて詳述する。
また、目標地震波を作成するために Series0 として、土層（砂質土）のみを振動する予備実験を行う。

表 1.2　Series0 加振ケース

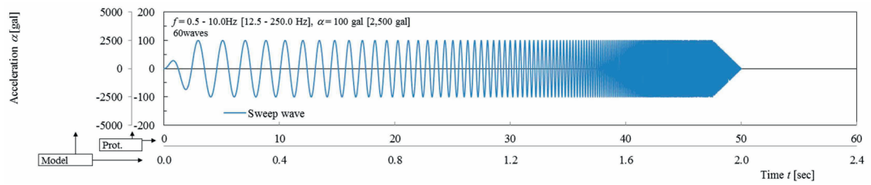
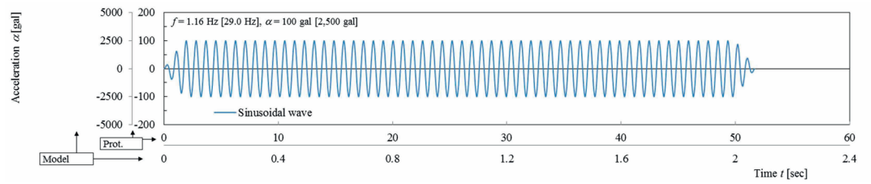
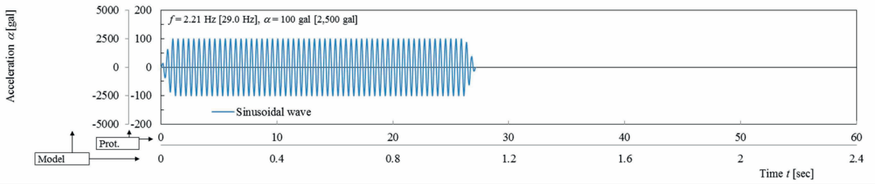
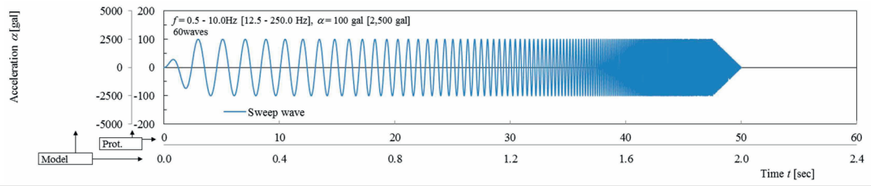
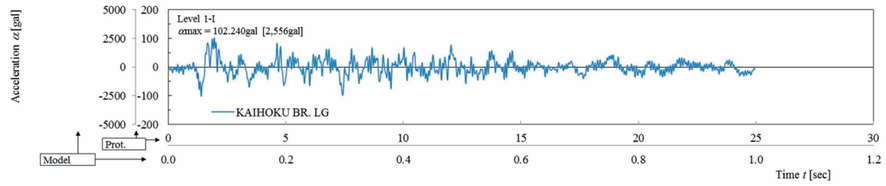
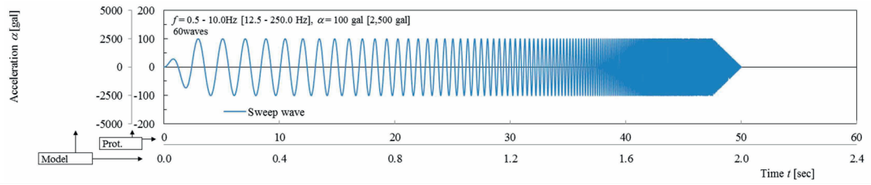
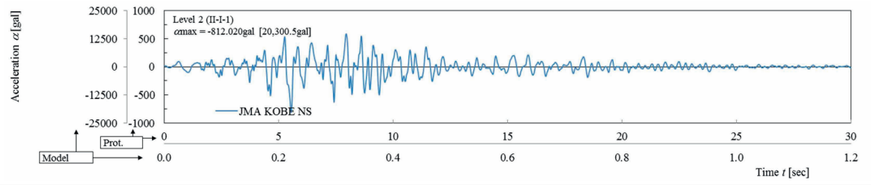
Series	Run	Ground condition				Input condition	備考
		Soil depth (m)	Soil density (g/cm^3)	Dr (%)	Measured v_s (m/sec)	Wave	
0	1	0.28	15	80	290	 Sweep	**目的**：入力波と応答波のチェック
	2	0.28	15	80	290	 Sinusoidal	**目的**：入力波と応答波のチェック
	3	0.28	15	80	290	 Sinusoidal	**目的**：入力波と応答波のチェック
	4	0.28	15	80	290	 Sweep	**目的**：Run1 と同様の挙動をしていることをチェック
	5	0.28	15	80	290	 L1 相当	＜L1 相当 　I 種地盤波形（S53 宮城県沖地震相当）＞ **目的**：入力波と応答波のチェック
	6	0.28	15	80	290	 Sweep	**目的**：Run1 と同様の挙動をしていることをチェック
	7	0.28	15	80	290	 L2 相当	＜L2 相当 　I 種地盤波形（神戸海洋気象台）＞ **目的**：入力波と応答波のチェック

表 1.3　Series1 加振ケース

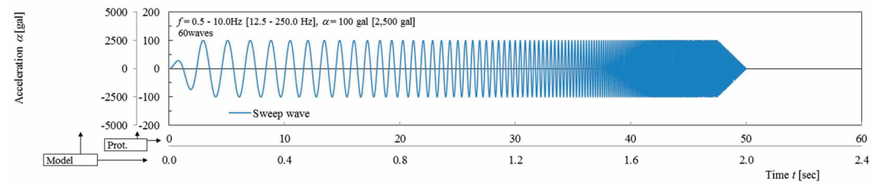
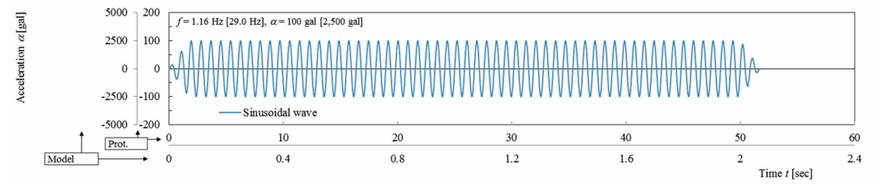
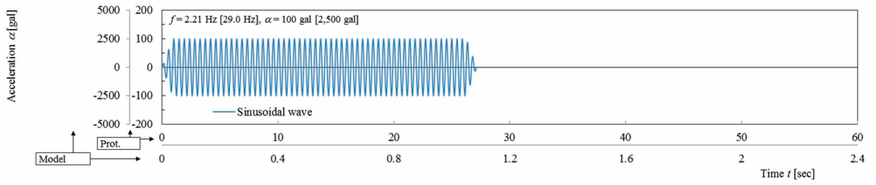
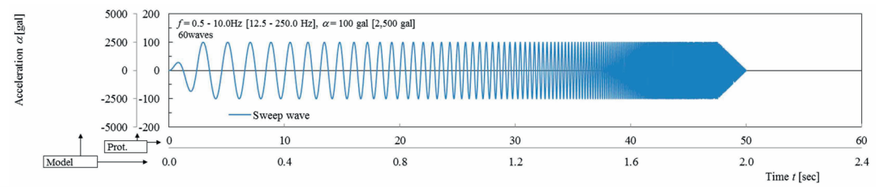
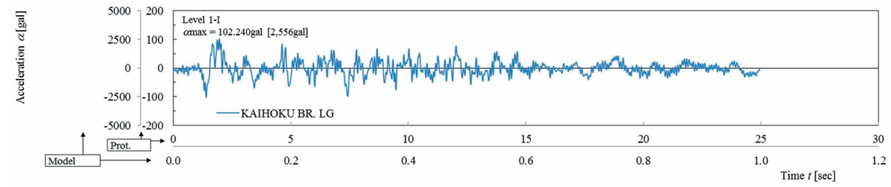
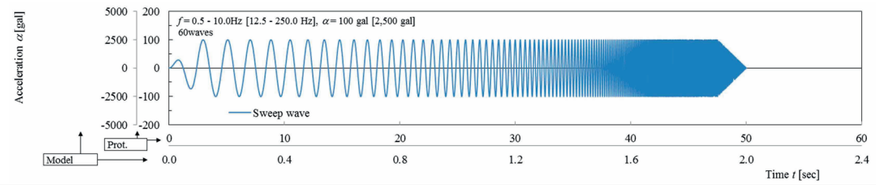
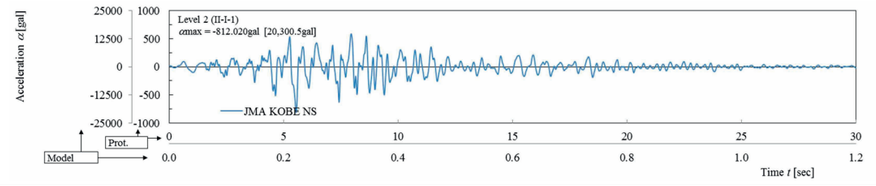
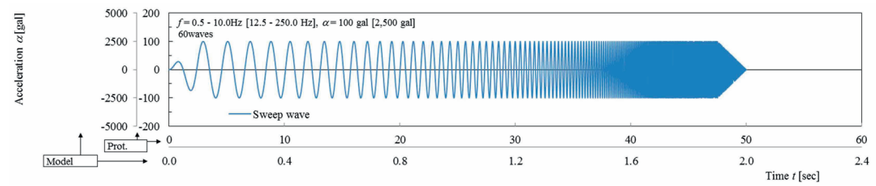
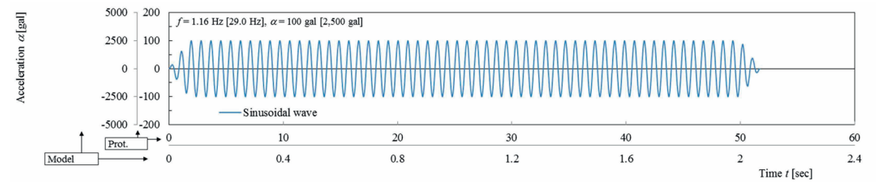
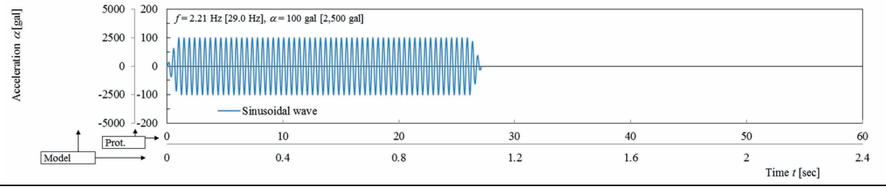
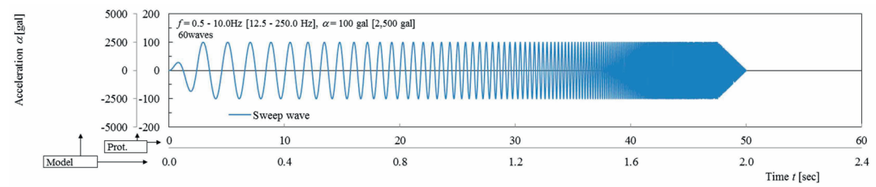
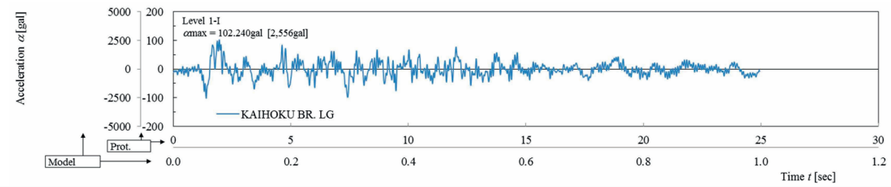
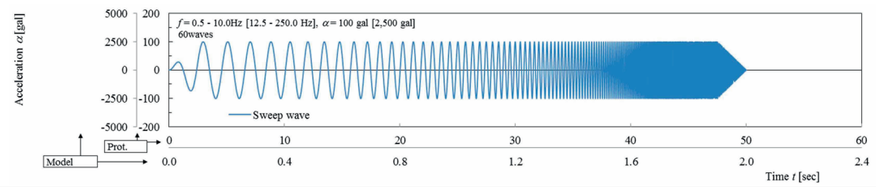
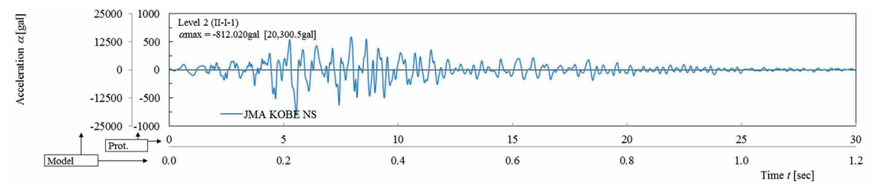
Series	Run	Ground condition				Input condition	備考
		Soil depth (m)	Soil density (g/cm^3)	Dr (%)	Measured v_s (m/sec)	Wave	
1	1	0.28	15	80	290	 Sweep	**目的**：１本柱と３本柱の周期チェック（モデル化の精査・確認） **詳細**:杭地際部の変位が 1%相当に対応する最大加速度で実施（試加振後の事前解析でチェック）。
	2	0.28	15	80	290	 Sinusoidal	**目的**：１本柱の共振チェック（モデル化の精査・確認） **詳細**：１本柱の１次固有周期で実施（事前解析＆Sweep 波でチェック）。 ※最大加速度は杭変位 1%相当
	3	0.28	15	80	290	 Sinusoidal	**目的**：３本柱の共振チェック（モデル化の精査・確認） **詳細**：３本柱の１次固有周期で実施（事前解析＆Sweep 波でチェック）。 ※最大加速度は杭変位 1%相当
	4	0.28	15	80	290	 Sweep	**目的**：１本柱と３本柱の周期が変わらないこと（模型が損傷していないこと）を再チェック。 **詳細**:杭地際部の変位が 1%相当に対応する最大加速度で実施。
	5	0.28	15	80	290	 L1 相当	＜L1 相当 　Ⅰ種地盤波形（S53 宮城県沖地震相当）＞ **目的**：Ｌ１地震に対する耐震性能・モデル化の精度をチェック **詳細**：道示 P114、Ⅰ種地盤波形（L1 相当）。事前シミュレーション解析により地際部の変位をチェック
	6	0.28	15	80	290	 Sweep	**目的**：１本柱と３本柱の周期が変わらないこと（模型が損傷していないこと）を再チェック。 **詳細**:杭地際部の変位が 1%相当に対応する最大加速度で実施。
	7	0.28	15	80	290	 L2 相当	＜Ｌ２相当 　Ⅰ種地盤波形（神戸海洋気象台）＞ **目的**：Ｌ２地震に対する解析モデルの精度、模型の耐震性能をチェックする。 **詳細**：Ⅰ種地盤波形（L2 相当）を載荷する。変位量が大きい場合どの程度精度良く再現できるか確認するため。

表 1.4　Series2 加振ケース

Series	Run	Ground condition				Input condition	備考
		Soil depth (m)	Soil density (g/cm^3)	Dr (%)	Measured v_s (m/sec)	Wave	
2	1	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 Sweep	**目的**：１本柱と３本柱の周期チェック（モデル化の精査・確認） **詳細**:杭地際部の変位が 1%相当に対応する最大加速度で実施（試加振後の事前解析でチェック）。
	2	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 Sinusoidal	**目的**：１本柱の共振チェック（モデル化の精査・確認） **詳細**：１本柱の１次固有周期で実施（事前解析＆Sweep 波でチェック）。 ※最大加速度は杭変位 1%相当
	3	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 Sinusoidal	**目的**：３本柱の共振チェック（モデル化の精査・確認） **詳細**：３本柱の１次固有周期で実施（事前解析＆Sweep 波でチェック）。 ※最大加速度は杭変位 1%相当
	4	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 Sweep	**目的**：１本柱と３本柱の周期が変わらないこと（模型が損傷していないこと）を再チェック。 **詳細**:杭地際部の変位が 1%相当に対応する最大加速度で実施。
	5	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 L1 相当	**目的**：Ｌ１地震に対する耐震性能・モデル化の精度をチェック **詳細**：道示 P114、Ⅰ種地盤波形（L1 相当）。
	6	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 Sweep	＜L1 相当 　Ⅰ種地盤波形（S53 宮城県沖地震相当）＞ **目的**：１本柱と３本柱の周期が変わらないこと（模型が損傷していないこと）を再チェック。 **詳細**:杭地際部の変位が 1%相当に対応する最大加速度で実施。
	7	0.28	15	DL クレー(3) カオリンクレー(1) 90%	280	 L2 相当	＜Ｌ２相当 　Ⅰ種地盤波形（神戸海洋気象台）＞ **目的**：Ｌ２地震に対する解析モデルの精度、模型の耐震性能をチェックする。 **詳細**：Ⅰ種地盤波形（L2 相当）を載荷する。変位量が大きい場合どの程度精度良く再現できるか確認するため。

2. 実験装置と材料

2.1　遠心模型実験及び実験装置

2.1.1　遠心模型実験

遠心模型実験[3.2,3)]は、縮尺 1/n の模型に重力加速度の n 倍（nG, G は重力加速度、本研究では縮尺 1/25 を採用）の遠心加速度を作用させ、模型内に実物と同様の自重応力状態を再現することで、実物大実験と等価な結果を得ることを目的とする。本手法によれば、力学的相似則と幾何学的相似則を同時に満足させることができるため、実物大での力学挙動を把握したい場合に、経済的かつ効率的にデータを取得できる。本実験では、このような利点を生かし、実地盤に近い応力状態となる遠心場において、鋼多柱式連続ラーメン構造の動的な力学挙動を詳細に調査する。

2.1.2　遠心載荷装置

本実験は、写真 2.1 に示す国立研究開発法人土木研究所の大型遠心力載荷実験装置（ビーム型遠心模型試験装置）を使用して実施する。本装置の主な仕様は、表 2.1 に示す通りである。

写真 2.1　大型動的遠心力載荷試験装置（土木研究所資料より抜粋）

表 2.1　遠心力載荷装置の主な仕様（実スケール）

有効回転半径	6.6m
最大遠心加速度	静的試験：150G 動的試験：100G
最大積載容量	400ton・G
揺動架台	2 台 静的試験：両側で可能 動的試験：片側で可能
容器の載荷スペース	幅　：2,400mm 奥行：1,300mm 高さ：1,000mm

2.2　加振装置

2.2.1　土槽

実験には、写真 2.2 に示すような、模型スケールで幅 800mm、奥行き 500mm 及び高さ 605mm（いずれも内寸法）の鋼製剛土槽を用いる。

写真 2.2　動的実験に用いる剛土槽

2.2.2　加振装置

写真 2.3 に遠心場で使用する加振装置を示す。

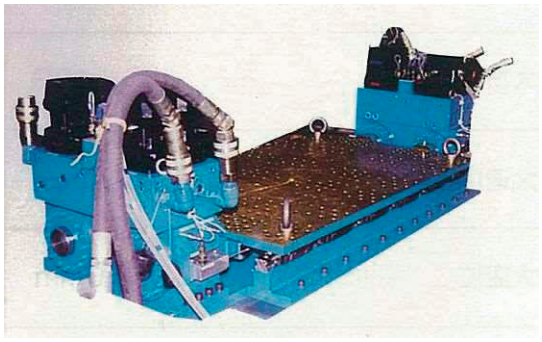


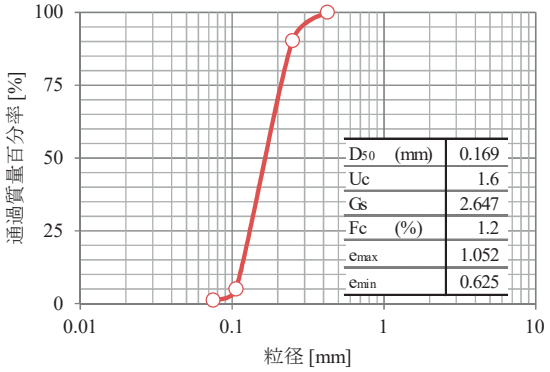
写真 2.3　加振装置

2.3　地盤材料と模型地盤・室内試験

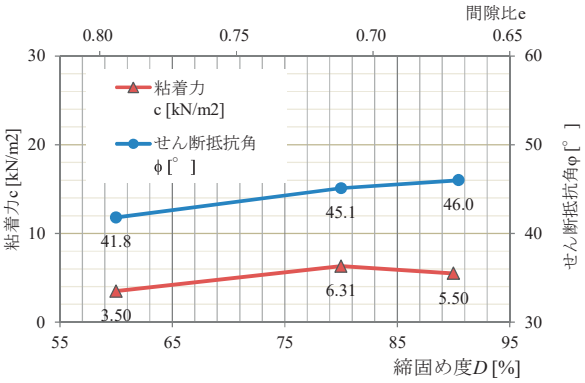
2.3.1　地盤材料と室内試験

(1) 砂質土地盤

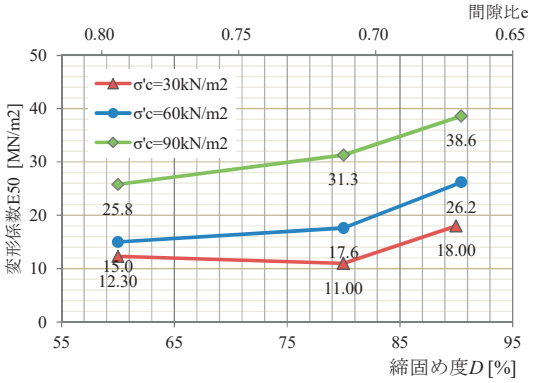
使用する地盤試料は、静的載荷試験で使用した東北硅砂 7 号であり、図 2.1 に示す粒度分布を有している。また、同図には CD 三軸試験から求めたせん断抵抗角 φ 及び粘着力 c と間隙比 e 及び相対密度 Dr の関係を示している（別途室内試験による。詳細は報告書第 2 編、付録 A1 を参照とする）。



(a) 相対密度と粒径加積曲線の関係



(b) 相対密度とせん断定数の関係



(c) 相対密度と変形係数の関係

図 2.1　実験に用いる砂地盤試料の粒径加積曲線と物理定数

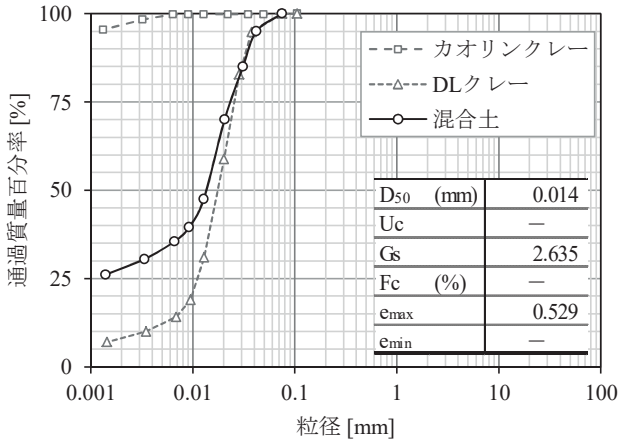
表 2.2　室内試験結果一覧（7 号硅砂）

相対密度 D_r [%]	乾燥密度 ρ_d [g/cm^3]	拘束圧 σ_c [kN/m^2]	変形係数 E_{50} [MN/m^2]	せん断定数	
				粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]
40	1.432	30.0	12.1	4.5	38.5
	1.438	60.0	21.2		
	1.434	90.0	27.5		
60	1.473	30.0	12.3	3.5	41.8
	1.474	60.0	15.0		
	1.479	90.0	25.8		
80	1.540	30.0	11.0	6.3	45.1
	1.543	60.0	17.6		
	1.545	90.0	31.3		
90	1.584	30.0	18.0	5.5	46
	1.587	60.0	26.2		
	1.587	90.0	38.6		

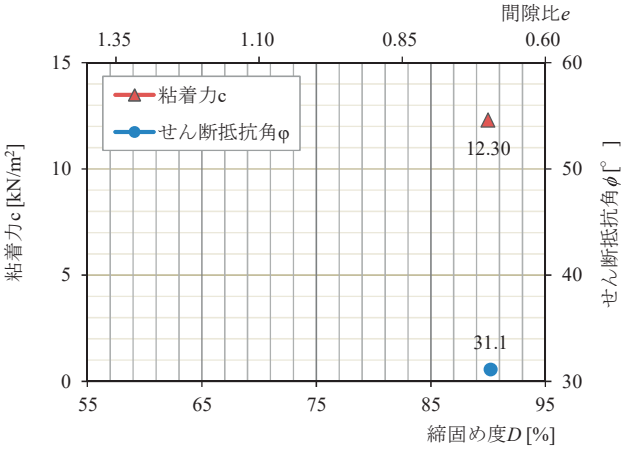
(2) 粘性土地盤

粘性土層には、圧密作業が不要で突き固め法により作成可能な DL クレーを使用した。ただし、事前の室内試験結果より、一般的な粘性土としては大きいせん断抵抗角（ϕ=36.5° 程度）を有しており、これを改善する目的でカオリンクレーを全体量の 25%混入させた混合土を作成して地盤試料とした。

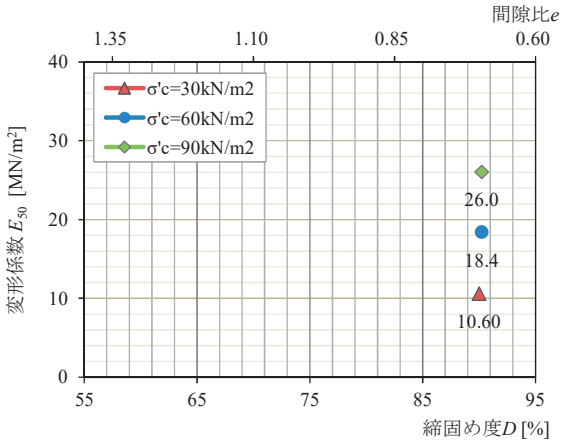
図 2.2 に室内試験により得られた粒径加積曲線、せん断定数および変形係数をそれぞれ示す。また室内試験結果を一覧にとりまとめて表 2.3 に示す。



(a) 混合土（カオリンクレー(1)+DL クレー(3)）の粒径加積曲線



(b)締固め度 D とせん断定数 c およびϕの関係



(c)締固め度 D と変形係数 E_{50} の関係

図 2.2　実験に用いる粘性土地盤試料の粒径加積曲線と物理定数

表 2.3　室内試験結果一覧（混合土）

締固め度 D [%]	乾燥密度 ρ_d [g/cm^3]	拘束圧 σ_c [kN/m^2]	変形係数 E_{50} [MN/m^2]	せん断定数	
				粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]
90	1.554	30.0	10.6	12.3	31.1
	1.557	60.0	18.4		
	1.555	90.0	26.0		

2.3.2　模型地盤の作成

(1) 目標とする地盤条件

砂質土および粘性土地盤ともに、目標 N 値=10～20 の地盤を想定しているので、砂質土地盤では 7 号硅砂 : 相対密度 D_r=80%を、粘性土地盤では混合土 : 締固め度 D=90%をそれぞれ目標とした。また、図 2.3 に示すように、層厚は支持層から 280mm（模型スケール ; 支持層への根入れ長 2D）とし、粘性土地盤のみ 280mm の内、下層 10mm を排水層とした。目標とする地盤条件を以下に示す。

表 2.4　目標とする地盤条件（砂質土）

相対密度 D_r [%]	せん断定数		単位体積重量 γ [kN/m^3]	地震時変形係数 αE_0 ($=8E_{50}$) [MN/m^2]	αE_0に相当する N値 E_{50}/700 (参考値)	地表面からの深度の目安※ [mm, (m)]
	粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]				
80	6.3	45.1	15.1	88	**16**	79.6 ,(1.99)
				141	25	158.8 ,(3.97)
				250	45	238.4 ,(5.96)

※三軸試験の各拘束圧に相当する深度。括弧内数値は、実スケール換算値。

表 2.5　目標とする地盤条件（粘性土）

締固め度 D [%]	せん断定数		単位体積重量 γ [kN/m^3]	地震時変形係数 αE_0 ($=8E_{50}$) [MN/m^2]	αE_0に相当する N値 E_{50}/700 (参考値)	地表面からの深度の目安※ [mm, (m)]
	粘着力 c [kN/m^2]	せん断抵抗角 ϕ [°]				
90	12.3	31.1	15.3	85	**15**	78.4 ,(1.96)
				147	26	156.8 ,(3.92)
				208	37	235.2 ,(5.88)

※三軸試験の各拘束圧に相当する深度。括弧内数値は、実スケール換算値。

(2) 地盤の作成

支持層は、石膏で固めることにより作成する。また、上層の地盤は、気乾状態で突き固めることにより作成する。その際、模型杭は治具により仮留めしておき、地盤の上昇に合わせて治具を取り外す。

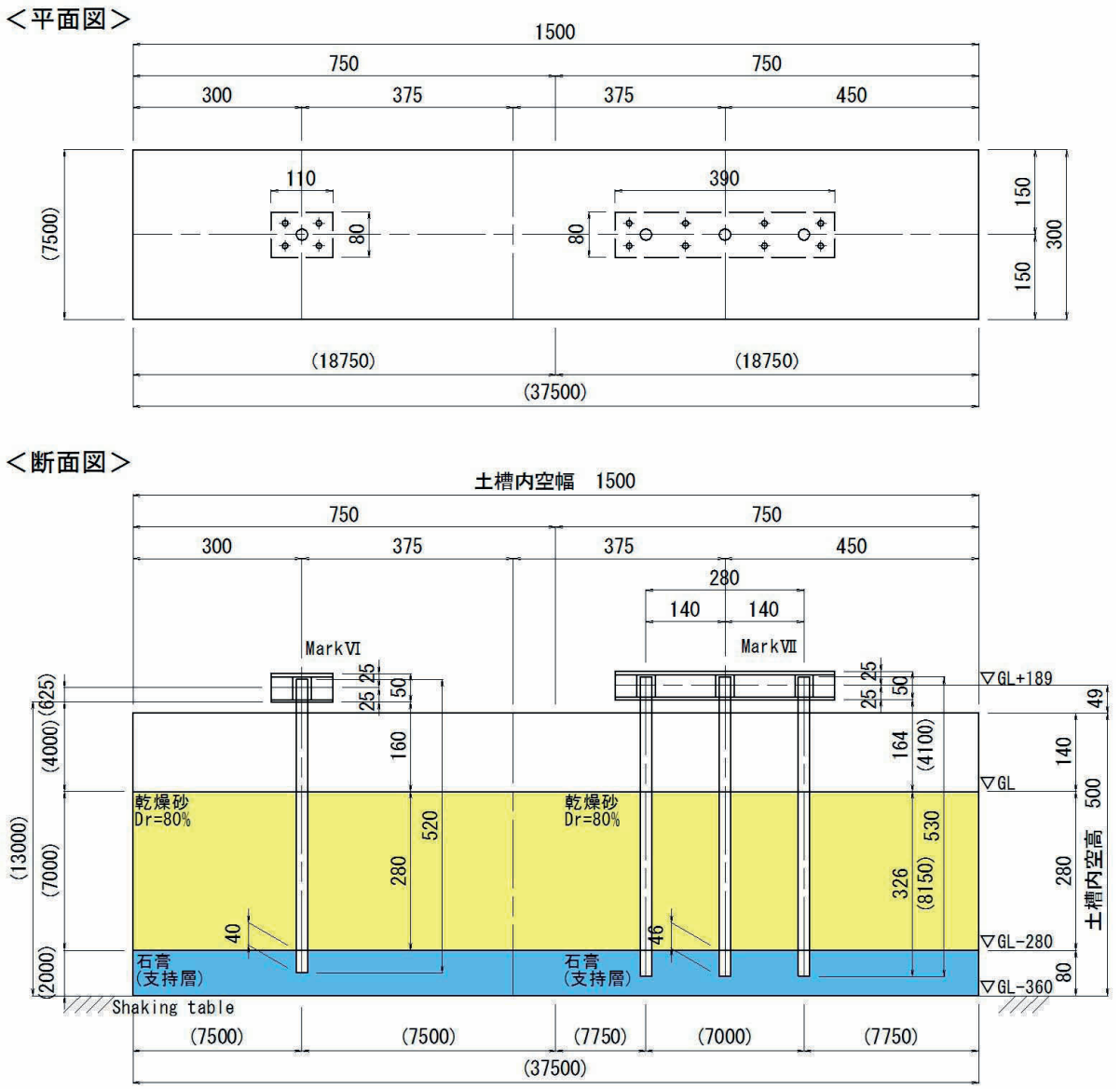
(a)1 本柱の固定状況　　(b)3 本柱の固定状況

写真 2.4　模型杭仮留め用治具

石膏で作る支持層には、杭先端を「杭径の 2 倍の長さ」根入れさせる。本ケースにおける模型地盤の構成を図 2.3 に示す。図に示すように、気中部高（=地表面から載荷点までの高さ）と地中部長（2D の根入れ長を含む）は、プロトタイプ換算値でそれぞれ約 5m と 8m である。したがって、載荷装置設置スペースを考慮すれば、土槽天端－140mm を地盤高、上層厚を 280mm にそれぞれ設定し、これより以深を支持層とする。

なお、以降に示す数値は、特に断りのない限り模型スケールの値として示している。

※()寸法は実物スケール（プロトタイプスケール）



寸法は模型スケール（単位:mm）←25G**下での実験**を想定。

※(　)内寸法はプロトタイプ換算値（単位：mm）。

図 2.3　模型地盤（杭長ℓ=8m）

2.4　相似則と実験模型・室内試験

2.4.1　相似則

既往の研究 [3.4,5)]より、杭の水平挙動を評価する場合、杭と地盤の相対剛性が重要な要素であることがわかっているため、本実験ではそれを十分考慮する。即ち、実物（ターゲット）と同様の自重応力状態にある模型地盤において、実物の鋼管杭とほぼ等価な曲げ剛性を持つ材料を選定する。また、本実験の一つの目的は「破壊モードの確認」である。したがって、模型杭においては曲げ剛性のみならず、死荷重状態および杭の降伏耐力においても実物の鋼管杭とほぼ等価にする必要がある。

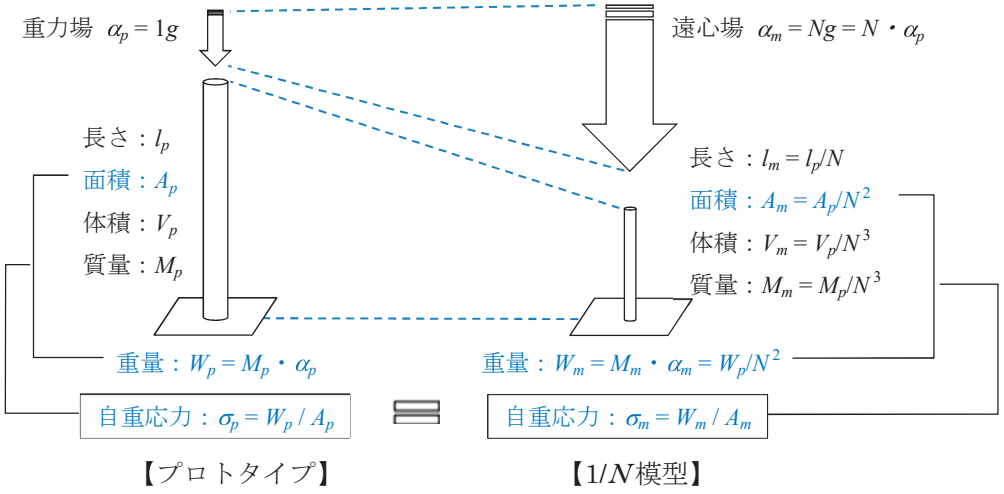


図 2.4　1/N 模型の作成

(1)応力に関する相似則

遠心力 Ng 場(g は重力加速度)において、1/N 縮尺の模型を用いる場合の相似則 [3.6,7)]は、幾何学的には以下の通りである。

長さに関して　$l_m = \alpha_l \cdot l_p$ より、 $\alpha_l = N^{-1}$ ----------(2.1)

面積に関して　$A_m = \alpha_A \cdot A_p$　より、 $\alpha_A = N^{-2}$ ----------(2.2)

体積に関して　$V_m = \alpha_V \cdot V_p$　より、 $\alpha_V = N^{-3}$ ----------(2.3)

ここで、下添え字 p と m は原型(prototype)と模型(model)を、αは相似率をそれぞれ意味する。また材料の単位体積重量は、Ng 場であるため、

$$\gamma_m = N \cdot \gamma_p \quad \text{----------(2.4)}$$

したがって材料の重さ$W = V \cdot \gamma$に関して、式(2.3)および(2.4)より、

$W_m = \alpha_F \cdot W_p$ より、 $\alpha_F = N^{-2}$ ----------(2.5)

よって、模型杭の自重応力は、

$$\sigma_m = \frac{W_m}{A_m} = \frac{\alpha_F}{\alpha_A} \cdot \frac{W_p}{A_p} = \frac{W_p}{A_p} = \sigma_p \quad \text{----------(2.6)}$$

となる。つまり、Ng 場において力に関する相似率α_F を N^{-2} とすれば、応力に関する相似率α_σは全て 1 となる。

(2) 曲げ剛性に関する相似則

曲げ剛性 EI に関する相似率α_{EI}は以下の通りである。

材料の弾性係数 E に関して　$E_m = E_p$ ----------(2.7)

ただし、$\varepsilon_m = \varepsilon_p$と仮定

断面二次モーメントIに関して$I_m = \alpha_I \cdot I_p$より、 $\alpha_I = N^{-4}$ ----------(2.8)

式(2.7)および(2.8)より、曲げ剛性 EI に関して、

$(EI)_m = \alpha_{EI}(EI)_p$より、 $\alpha_{EI} = \alpha_I = N^{-4}$ ----------(2.9)

また、降伏耐力（ここでは降伏曲げモーメント M_y）に関しては、

$$M_{ym} = \frac{\sigma_{ym}}{y_m} \cdot I_m = \frac{\sigma_{ym}}{\sigma_{yp}} \cdot \frac{y_p}{y_m} \cdot \frac{I_m}{I_p} \cdot \frac{\sigma_{yp}}{I_p} \cdot y_p = 1 \cdot N \cdot N^{-4} \cdot \frac{\sigma_{yp}}{I_p} \cdot y_p = M_{yp} \cdot N^{-3} \quad \text{----------(2.10)}$$

ここに、y : 杭の図心位置から評価位置までの距離。ただし、軸力 N=0 の場合(軸力がある場合には、応力に関する値が変わるのみで相似率に影響はない)。

(3) 動的問題における相似則

動的問題における相似率は、以下の通り求められる。いま、原型での 1 自由度振動系における運動方程式は、次式により表される。

$$m_p \cdot \frac{d^2 z_p}{dt_p^2} + c_p \cdot \frac{dz_p}{dt_p} + k_p \cdot z_p = 0 \quad \text{----------(2.11)}$$

ここに、m：質量、k：ばね定数、c：粘性定数、z：変位、t：時間。

ここで、原型と模型に対する各物理量は、各々の相似率をαとすれば、それぞれ以下のように対応する。

$$\left.\begin{aligned} z_m &= \alpha_l \cdot z_p \\ t_m &= \alpha_t \cdot t_p \\ m_m &= \alpha_m \cdot m_p \\ k_m &= \alpha_k \cdot k_p \\ c_m &= \alpha_c \cdot c_p \end{aligned}\right\} \quad \text{----------(2.12)}$$

式(2.12)より、模型について式(2.11)を整理すれば、

$$\frac{\alpha_t^2}{\alpha_m \cdot \alpha_l} \cdot m_m \cdot \frac{d^2 z_m}{dt_m^2} + \frac{\alpha_t}{\alpha_c \cdot \alpha_l} \cdot c_m \cdot \frac{dz_m}{dt_m} + \frac{1}{\alpha_k \cdot \alpha_l} \cdot k_p \cdot z_p = 0 \quad \text{----------(2.13)}$$

模型と原型を等しくおくので、各項にかかる係数が全て等しくなければならない。したがって、次式が成立する。

$$\frac{\alpha_t^2}{\alpha_m \cdot \alpha_l} = \frac{\alpha_t}{\alpha_c \cdot \alpha_l} = \frac{1}{\alpha_k \cdot \alpha_l} \quad \text{----------(2.14)}$$

よって、時間と粘性定数に関する相似率α_tおよびα_cは、それぞれ以下の通り表される。

$\alpha_t^2 = \dfrac{\alpha_m}{\alpha_k} = N^{-2}$　より、 $\alpha_t = N^{-1}$ ----------(2.15)

$\alpha_c = \alpha_t \cdot \alpha_k = N^{-2}$ ----------(2.16)

ここに、$\alpha_m = \alpha_V = N^{-3}$、$\alpha_k = \alpha_F / \alpha_l = N^{-1}$

式(2.15)は、時間縮尺を $1/N$ にすることを意味する。即ち、振動数 f に関して $a_f = N$。また、式(2.16)は液体の浸透現象を扱う場合に関係し、その場合、時間縮尺は $1/N^2$ となる。したがって、浸透現象を伴う振動現象を扱うには両者の時間縮尺を等しくする必要がある。つまり、浸透する液体の透水係数を $1/N$ にすれば、両者の時間縮尺はともに $1/N$ となり一致する。

以上より、「$1/N$縮尺模型」を用いて「力に関する相似率を $1/N^2$」とした場合、Ng場における代表物理量に関する相似率は下表に示す通りとなる。

表 2.6　Ng 場における相似率

物理量	記号	次元	相似率 Prot/Model	重力(1g)場 の場合
加速度	$\bar{\alpha}$	LT^{-2}	N	1
時間	t	T	$1/N$	$1/N^{0.5}$
長さ	l	L	$1/N$	$1/N$
質量、体積	m、 V	M、 L^3	$1/N^3$	$1/N^3$
重量、力	W、 F	MLT^{-2}	$1/N^2$	$1/N^3$
曲げモーメント	M	ML^2T^{-2}	$1/N^3$	$1/N^4$
応力度	σ	$ML^{-1}T^{-2}$	1	$1/N$
弾性係数	E	$ML^{-1}T^{-2}$	1	$1/N$
曲げ剛性	EI	ML^3T^{-2}	$1/N^4$	$1/N^5$

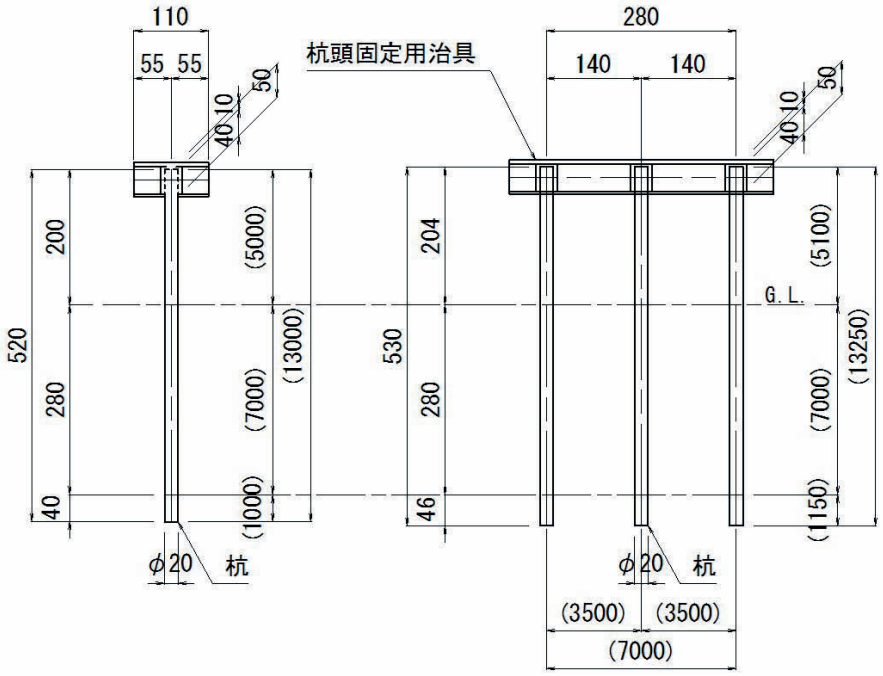
2.4.2　実験模型

使用できる土槽寸法、装置の配置および材料等の制約から、**実験模型の縮尺率を 1/25** とする。実験模型は、橋軸直角方向を対象としており、3 本×1 列の杭と 1 つの直方体で簡略化した上部構造からなる。

(1) 模型上部構造

模型上部構造の質量は、実構造物（上部構造反力）と等価なものにする必要があり、その値は相似則より「**実構造の上部構造反力×$1/N^3$（重力場）**」である。ここで、実構造物における上部構造反力は表 2.7 に示す通りであり、1/25 縮尺模型においては**上部構造質量を約 3.1kg に調整**する。

模型上部構造は、2 つ割りで製作し、杭材を挟み込んでネジにより固定する。



寸法は模型スケール（単位:mm）
※(　)内寸法はプロトタイプ換算値（単位：mm）

図 2.5　実験模型

表 2.7　上部構造反力一覧

	重量[kN]
舗装、床版、高欄	400.0
主桁	44.0
横桁	10.3
剛結部(二重鋼管)	25.3
合計	479.6

※上表の値は、橋軸直角方向の杭 1 列あたり

重力場での模型上部構造質量は、

$$\frac{479.6/9.80665\times1000}{25^3}=3.130\,\mathrm{kg}$$

3 本柱 ver 模型重量=30.69N（ボルト含む）

1 本柱 ver 模型重量=10.20N（ボルト含む）

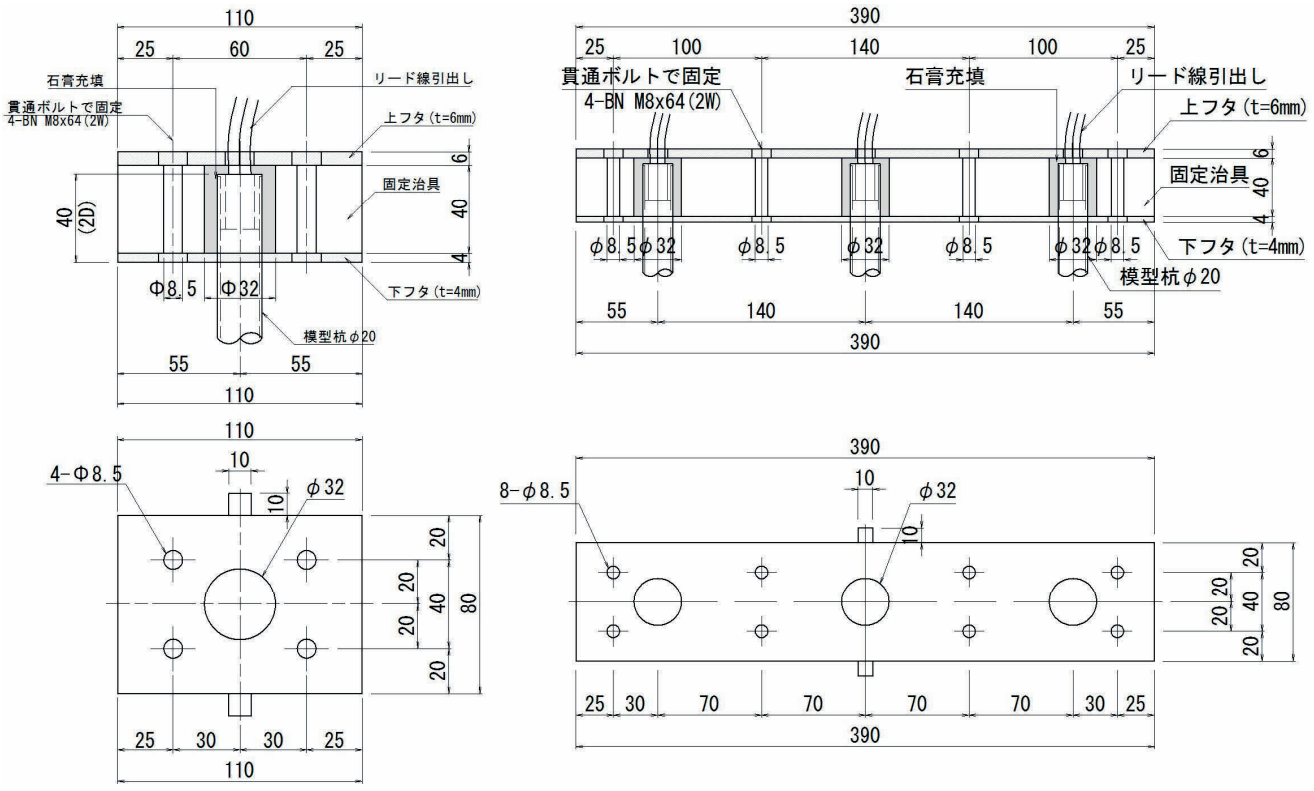


図 2.6　上部構造模型製作図

(2) 模型杭

実構造物と同じ材質で曲げ剛性 EI を合わせるには、φ20mm で厚さ t=0.36mm の鋼管が必要となり現実的ではない。よって、模型杭には弾性係数 E が小さい材料を使用することで相似則を満足させる。即ち、実構造物とプロトタイプ換算値での EI を等しくすれば良いので、それぞれ添え字 t(target) と p(prototype) を付して整理すると、

$$\frac{(E\cdot I)_p}{(E\cdot I)_t}=1 \quad \text{----------(2.17)}$$

鋼管の断面二次モーメント I は、

$$I=\frac{\pi}{64}(D^4-d^4) \quad \text{----------(2.18)}$$

ここに、D：鋼管の直径、d：鋼管の内径

であるため、

$$\frac{E_p}{E_t}\cdot\frac{D_p^4-d_p^4}{D_t^4-d_t^4}=1 \quad \text{より、} \quad D_p^4-d_p^4=\frac{E_t}{E_p}(D_t^4-d_t^4) \quad \text{----------(2.19)}$$

両者の鋼管径を等しくして $D(=D_p=D_t)$ と置けば、

$$d_p=\sqrt[4]{D^4-\frac{E_t}{E_p}(D^4-d_t^4)} \quad \text{----------(2.20)}$$

板厚を t とすれば、$d=D-2t$ より、

$$t_p = \frac{D}{2}\left[1-\sqrt[4]{1-\frac{E_t}{E_p}\left\{1-\left(\frac{d_t}{D}\right)^4\right\}}\right] \quad \text{----------(2.21)}$$

ここで、実験模型の縮尺率は 1/25 であるので、模型杭の板厚 t_m は、

$$t_m = \frac{t_p}{25} = \frac{D}{50}\left[1-\sqrt[4]{1-\frac{E_t}{E_p}\left\{1-\left(\frac{d_t}{D}\right)^4\right\}}\right] \quad \text{----------(2.22)}$$

以上より、代表的な材料における模型杭の板厚を算出すると下表の通りとなる。表中の弾性係数は、一般的な材料の公称値である。本実験では、材料の入手性および取扱いの容易さからアルミ材を採用した。この場合、板厚を 1.2mm 程度とすることで *EI* を等価にすることができる。

表 2.8　各種材料における模型板厚

材料	項目	杭径 *D* mm	板厚 *t* mm	弾性係数 *E* MN/m^2	採用可否
鋼	実構造(ﾀｰｹﾞｯﾄ)	500.0	9.00	2.00E+05	
	実験模型	20.0	0.36	2.00E+05	
黄銅	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ換算値	500.0	17.20	1.10E+05	△
	実験模型	20.0	0.69	1.10E+05	
銅	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ換算値	500.0	15.61	1.20E+05	△
	実験模型	20.0	0.62	1.20E+05	
アルミ	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ換算値	500.0	29.04	7.00E+04	◎
	実験模型	20.0	1.16	7.00E+04	

代表的なアルミ材に対する予備試験（報告書その２、付録 A2 参照）の結果、柱－杭模型には A1070 材を加工硬化した A1070H 材を採用した。材料試験の結果を以下に示す。

表 2.9　アルミ材 A1070H の機械的特性

番号	断面積 *A*	0.2%永久伸びに対する		降伏歪※ ε_y	最大荷重	最大応力	弾性係数 *E*
		荷重 P_y	応力 σ_y				
	mm^2	kN	N/mm^2	μ	kN	N/mm^2	kN/mm^2
No.1	70.87	18.65	263.2	-	20.49	289.1	77.6
No.2	70.62	18.60	263.4	-	20.49	290.1	79.5
No.3	70.91	18.75	264.4	-	20.44	288.3	81.7
平均値	-	-	263.6	3,300	20.47	289.2	79.6

※降伏ひずみ ε_y は、0.2%永久伸びに対する応力度と弾性係数の平均値から求めた。

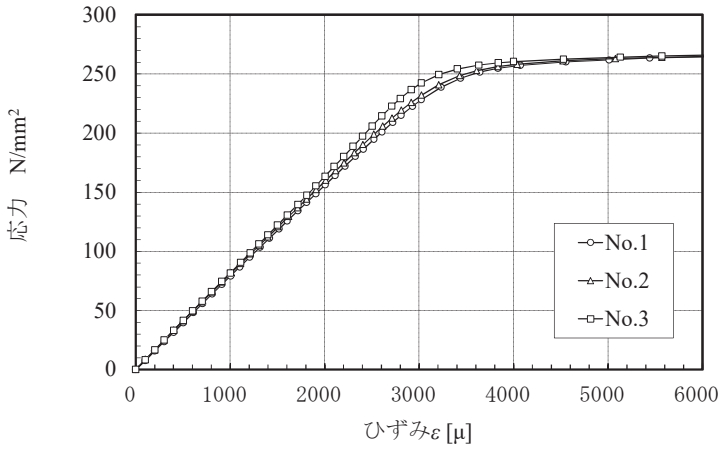


図 2.7　A1070H 材の引張試験結果

本実験で使用する模型杭の諸元は下表の通りである。

表 2.10　遠心模型実験に使用する模型諸元（アルミ製）

（単位：mm）

実験ケース	単柱	3 本柱
柱長　*h*	160	164
杭長　*ℓ*	320	326
杭径　*D*	20	20
板厚　*t*	1.2	1.2
本数×全長	2　× 520	6　× 530

3. 実験方法

3.1　実験方法

模型杭を模型地盤中の所定の位置に建て込み、遠心載荷装置のプラットフォームに搭載する。このとき、杭頭の支持条件は固定治具により剛結とし、杭先端は支持層に杭径の 2 倍程度根入れする。**遠心加速度** 25G で保持後、加振装置により加振する。

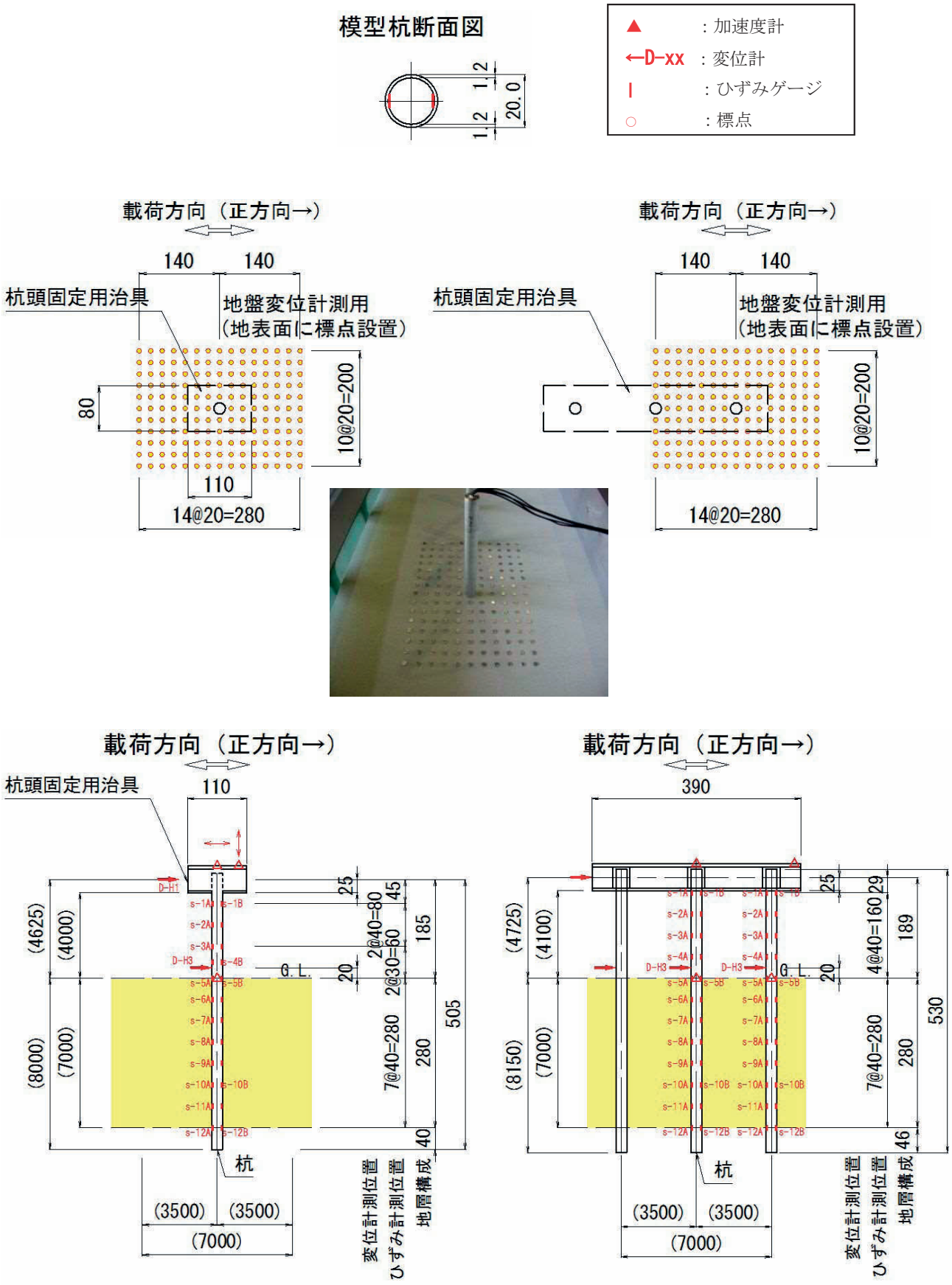
3.2　計測項目

計測項目[3.8,9,10]は、載荷点における水平荷重、変位に加え、地表面の変位及び両端の柱・杭の軸ひずみとする。変位計測では、計測点毎にターゲットを設置し、レーザー変位計、ポテンショメーター等でそれぞれ変位を計測する。柱・杭の軸ひずみは、アルミパイプの内側の所定位置にひずみゲージを貼り付けることで、ひずみ計測を行う。加速時計は、地中埋設、杭にバンド設置、上部構造治具への固定とする。

計測位置を次頁以降の図3.1と3.3実験要領図に示す。計測内容は下表にまとめる。

表 3.1　計測記号と項目

チャンネル	項目
AT、A0～4	地盤の加速度
AP1～3	杭地際部加速度
AF1、2	上部構造水平方向の加速度
AFV1、2	上部構造鉛直方向の加速度
DV1	地盤の鉛直変位
DHP1、2	杭地際部の水平変位
DHF1、2	上部構造水平変位
DVF1-1、1-2、2-1、2-2	上部構造鉛直変位
S1、2、3(-1～4、9、11)	曲げひずみ
S1、2、3(-5～8、10、12(A、B)	鉛直ひずみ



模型スケール、( )内はプロトタイプ換算値

図 3.1　実験模型及び計測機器の配置

3.3　実験計画図

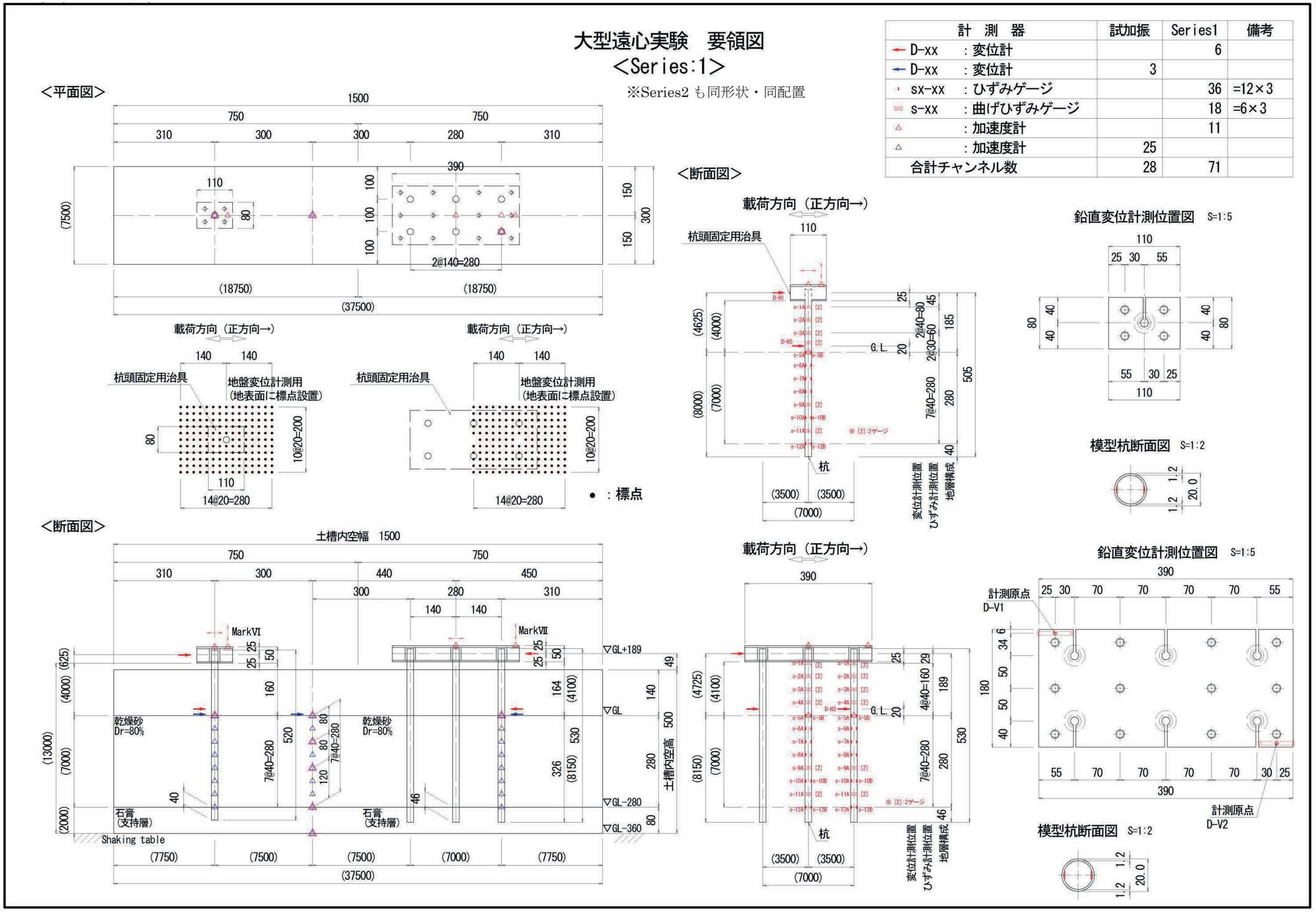


図 3.2　Series1実験計画図

4. データ処理方法

4.1　一般事項

4.1.1　初期値とサンプリング周波数

サンプリング周波数は Run1～Run 7 全て 5000Hz である。全てのセンサは加振直前にゼロクリアしていることから、各 Run 直前の状態を初期状態としている。しかし、一般に地盤作成時に生じる初期応力や模型形状の初期不整などに起因して、必ずしも実際の値はゼロではない（数値はゼロクリアしてもひずみや変位はわずかに生じているなど)。また、土は極小さなひずみレベルから非線形挙動をすることなどから、一回の Run の終了後には必ずしも全ての計測項目について加振前後の値が一致するとは限らない。しかし、本実験の目的が、各 Run について、提案する解析モデルによる再現性を確認するためのものであること、各加振タイプやレベルに応じて供試体に生じる損傷や地盤の乱れなどのイベントを確認することが目的であるため、それぞれの初期状態を適切に解析に反映させることで実験の目的を果たせると判断し整理を行った。

なお、後述するように地盤は実験の進行に伴い性状がわずかに変化する。これらの状態は実験データを分析し、解析に適切に反映することで対処することとした。

4.1.2　計測記録の符号

各項目とその正負の向きについて以下にまとめる。

表 4.1　計測記録の符号

チャンネル	項目	正側＋	負側－
AT、A0～4	地盤の加速度	右方向	左方向
AP1～3	杭地際部加速度	右方向	左方向
AF1、2	上部構造水平方向の加速度	右方向	左方向
AFV1、2	上部構造鉛直方向の加速度	右方向	左方向
DV1	地盤の鉛直変位	鉛直上方向	鉛直下方向
DHP1、2	杭地際部の水平変位	右方向	左方向
DHF1、2	上部構造水平変位	右方向	左方向
DVF1-1、1-2、2-1、2-2	上部構造鉛直変位	鉛直下向き	鉛直上向き
S1、2、3(-1～4、9、11)	曲げひずみ	左曲がり	右曲がり
S1、2、3(-5～8、10、12(A、B)	鉛直ひずみ	圧縮	引張

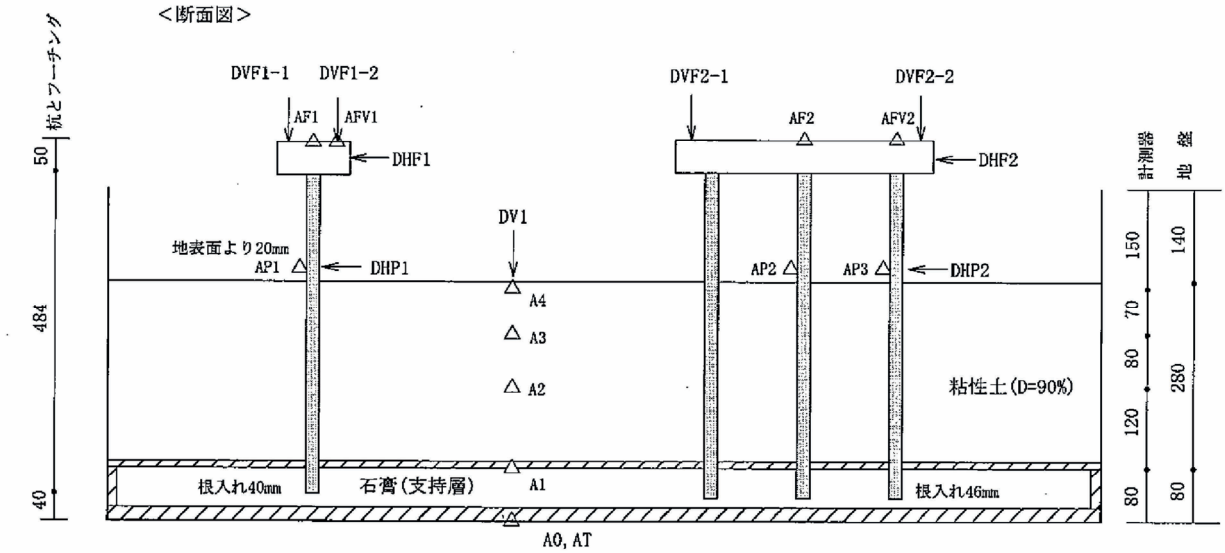


図 4.1　計測記録の配置図

4.2　加速度

4.2.1　地盤の加速度の評価

地盤の加速度は縮小模型(図 4.1 参照)に設置した加速度計(A1~A4)で計測したものであるとする。ある時刻における地盤の加速度の深度分布は、加速度計で得られた加速度データを各加速度計間で直線補完することにより求める。

地盤の加速度の深度分布を確認すると、振動台に設置した加速度 A0 と土層底面に構築した石膏上面の加速度 A1 とほぼ同程度の加速度を確認できる。また深度が浅くなる毎に加速度波形が増幅されていることも確認でき、予測通りの結果となっていることから、特に補正は行わず生値を評価することとした。なお、厳密には A0 と A1 の max 値で 1%～5%程度、Run 7（LEVEL2）で 7%程度の差があるが、本実験が 1/25 の縮小模型であることや、供試体の損傷や地盤の残留変位の有無などのイベントを確認することが目的であることから、実験結果を整理する上で問題ないと判断した。

表 4.2　地盤の加速度波形深度分布（その１）

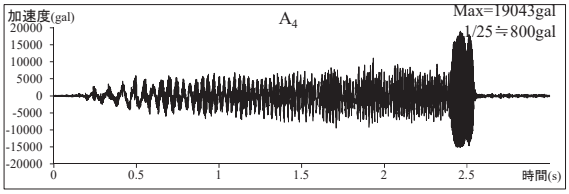
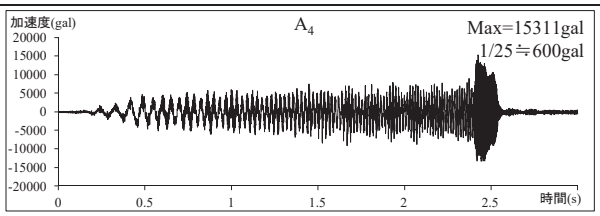
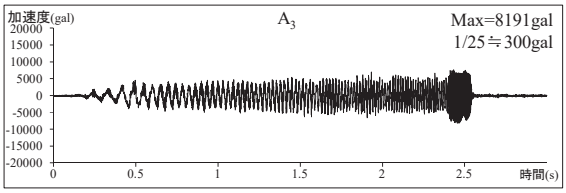
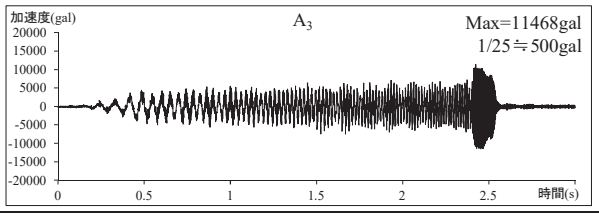
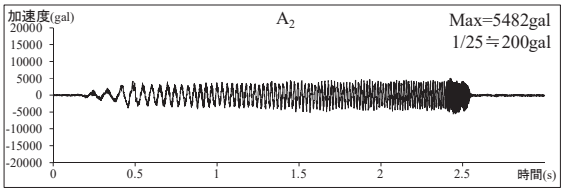
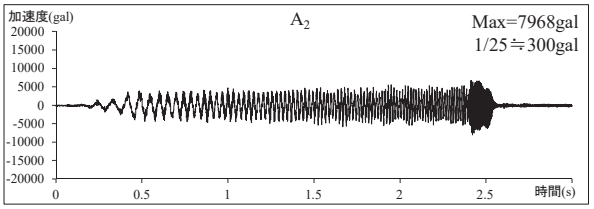
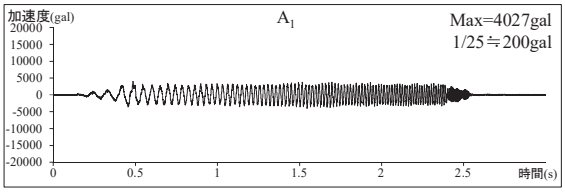
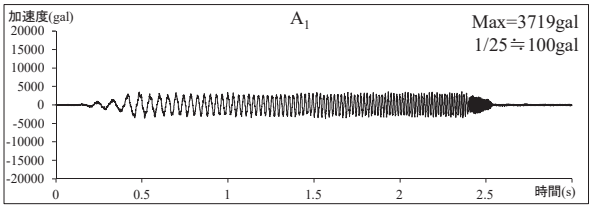
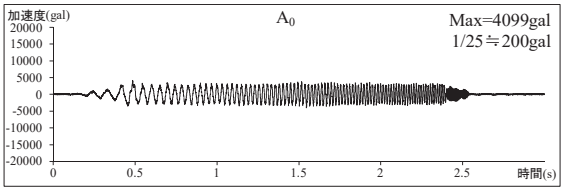
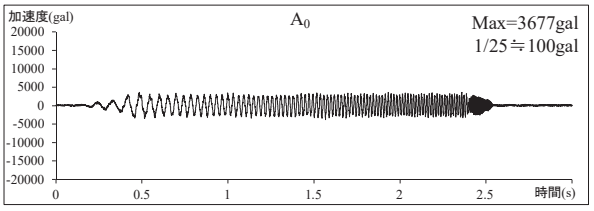
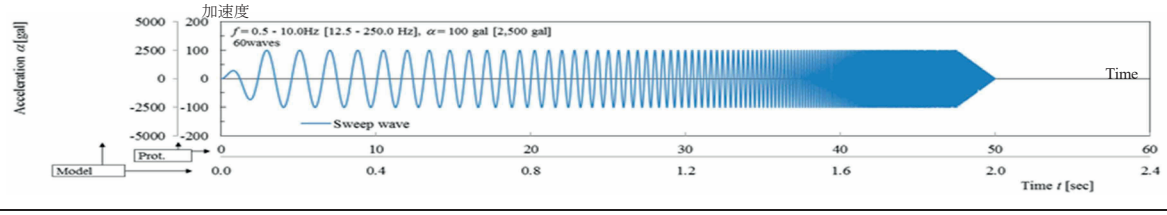
深さ (mm)	Series1 Run1 Sweep波	Series2 Run1 Sweep波
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

表 4.3　地盤の加速度波形深度分布（その 2）

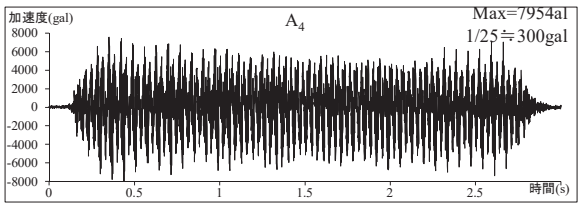
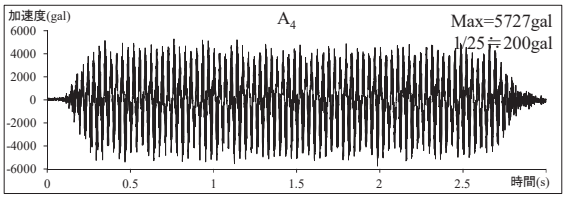
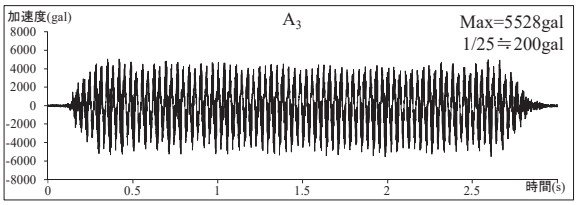
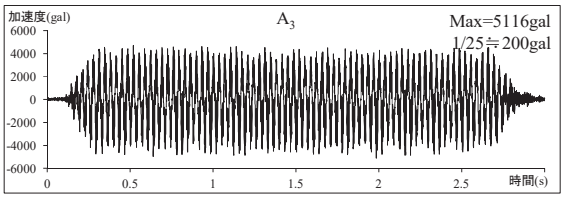
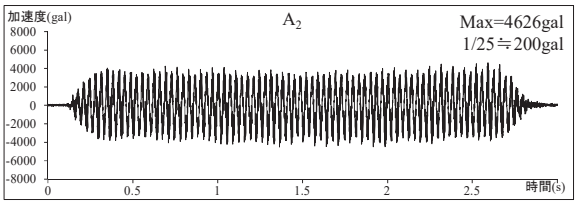
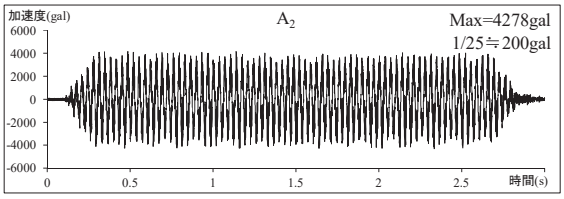
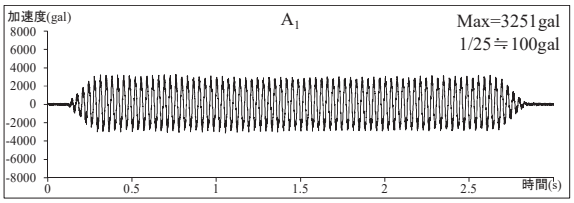
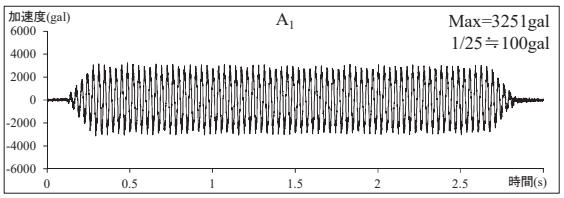
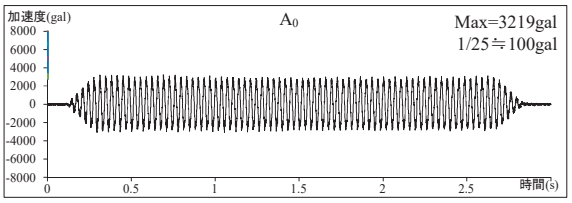
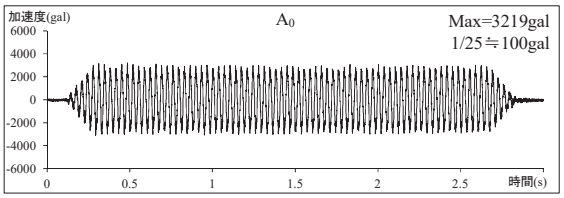
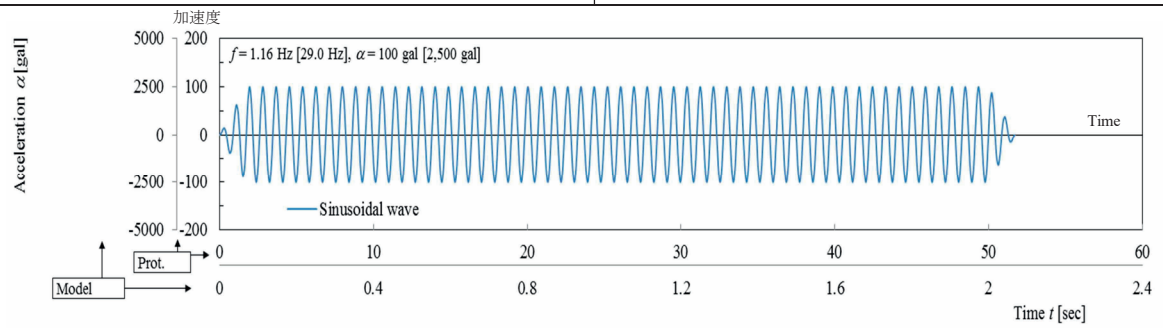
深さ (mm)	Series1 Run2 Sin波	Series2 Run2 Sin波
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

表 4.4　地盤の加速度波形深度分布（その 3）

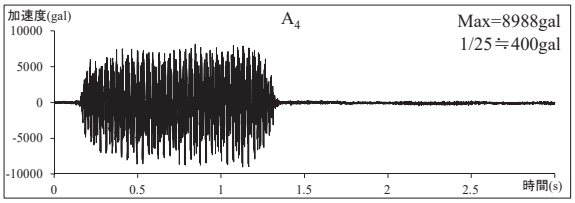
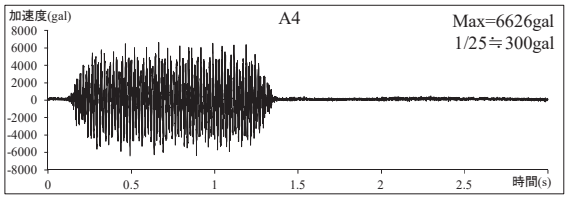
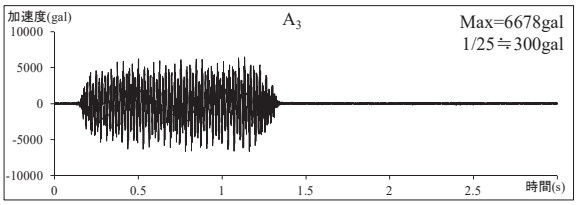
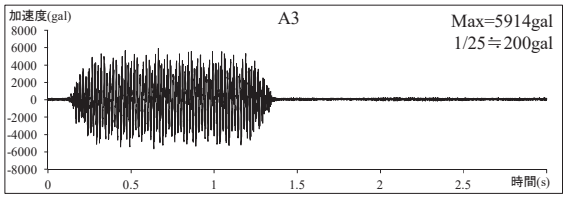
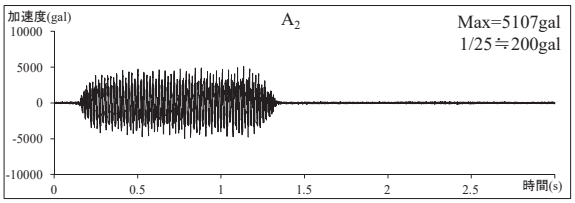
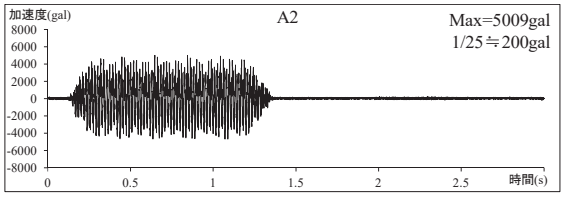
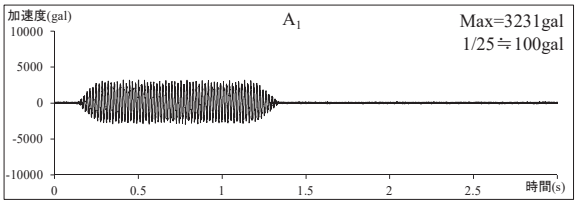
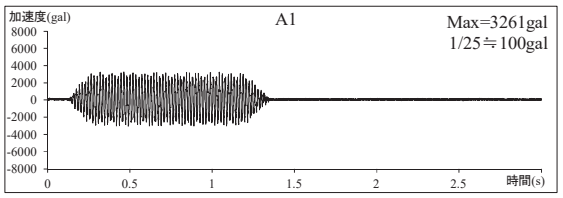
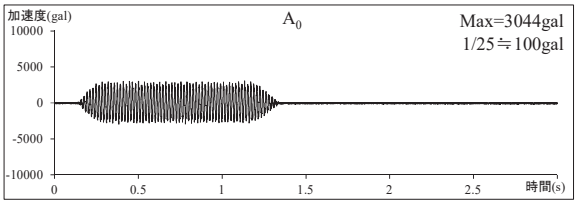
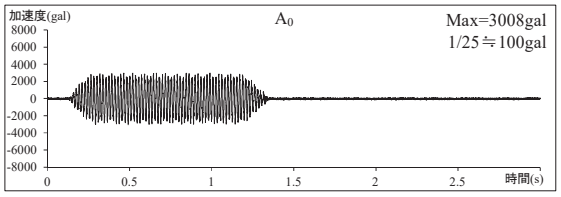
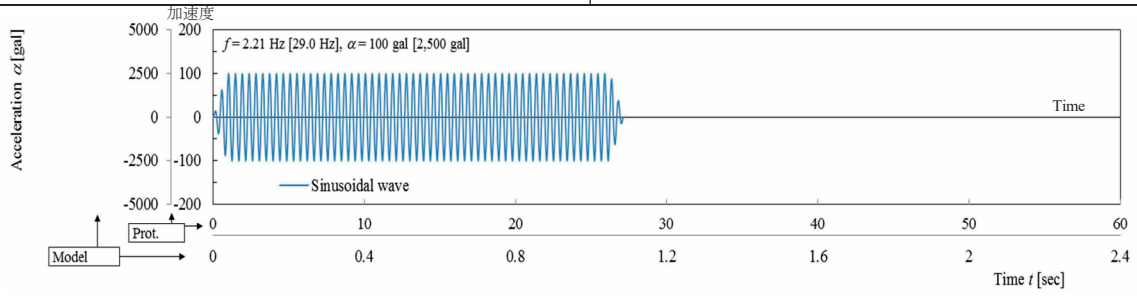
深さ (mm)	Series1 Run3 Sin波	Series2 Run3 Sin波
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

表 4.5　地盤の加速度波形深度分布（その 4）

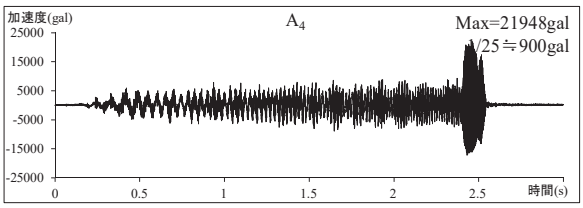
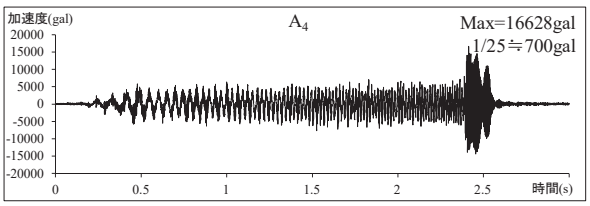
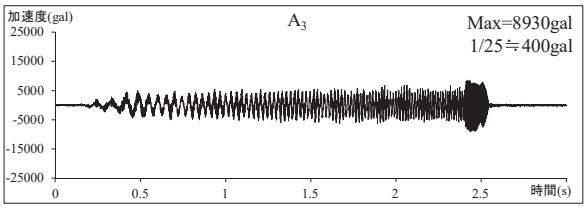
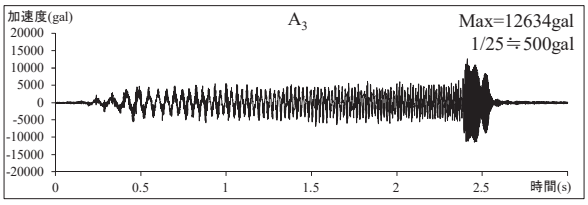
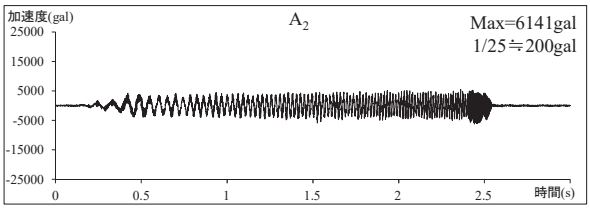
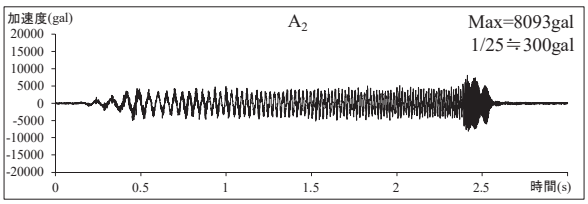
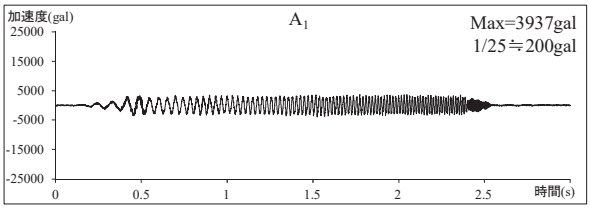
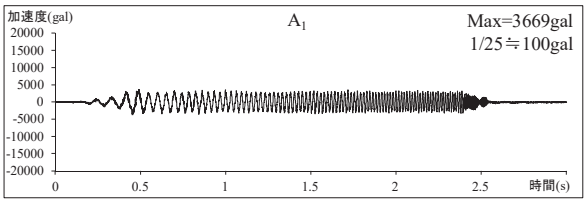
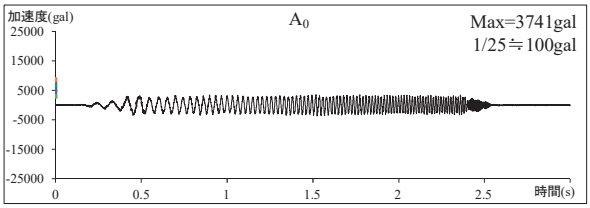
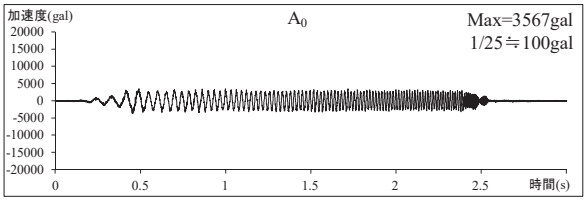
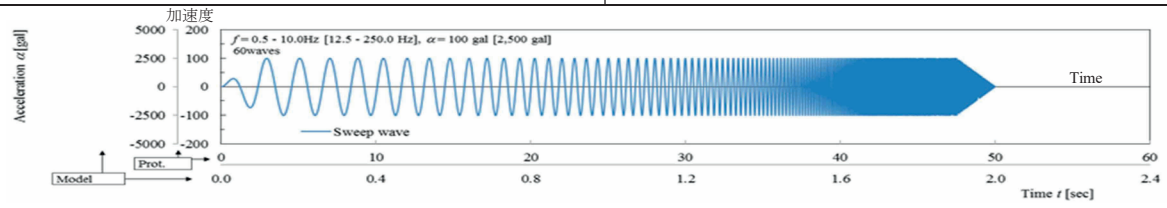
深さ (mm)	Series1 Run4 Sweep波	Series2 Run4 Sweep波
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

表 4.6　地盤の加速度波形深度分布（その 5）

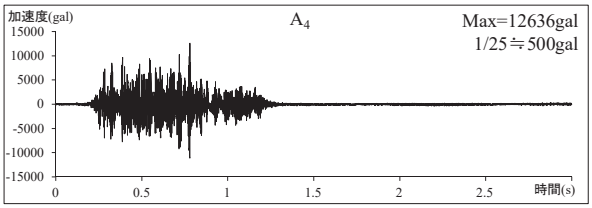
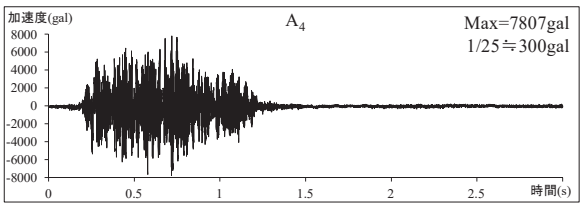
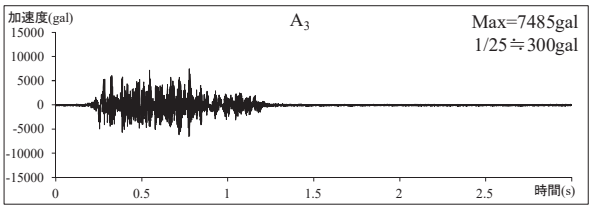
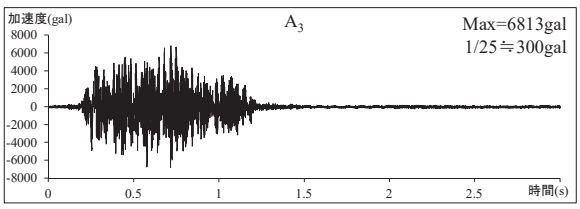
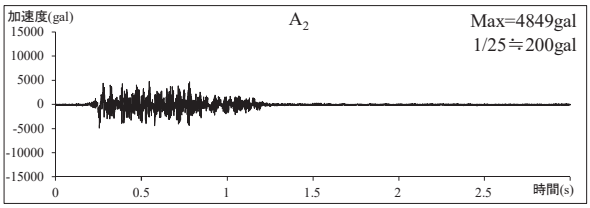
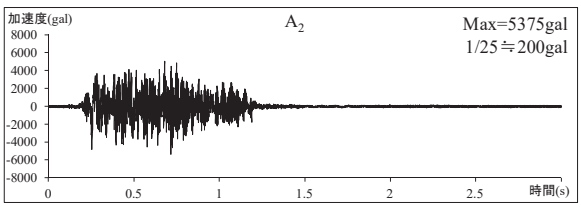
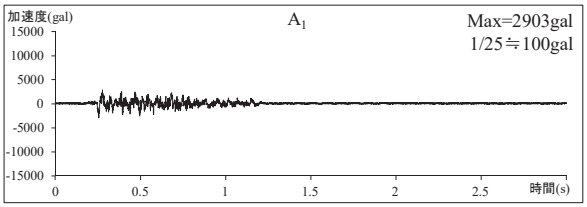
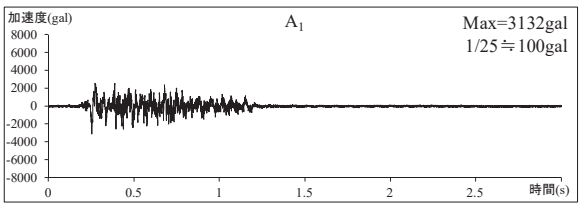
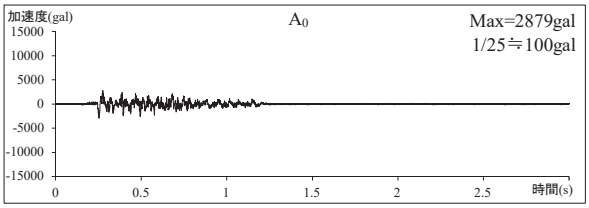
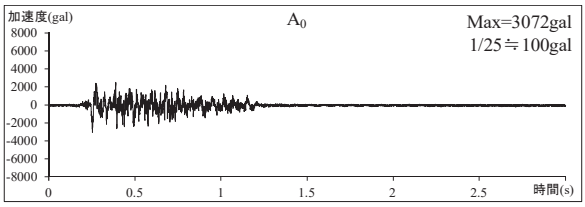
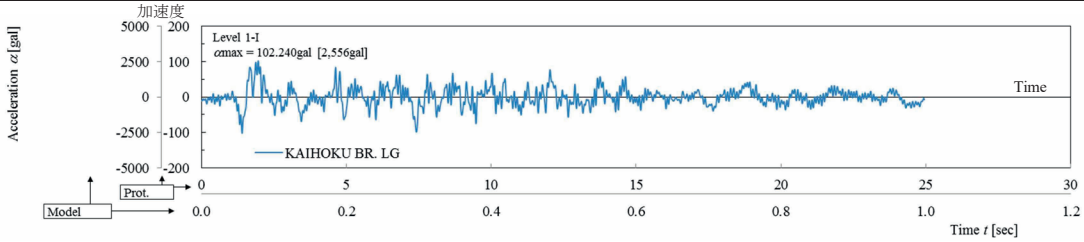
深さ (mm)	Series1 Run5 level1	Series2 Run5 level1
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

表 4.7　地盤の加速度波形深度分布（その 6）

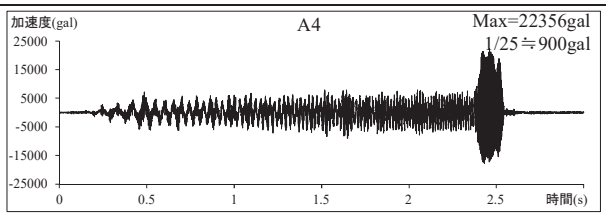
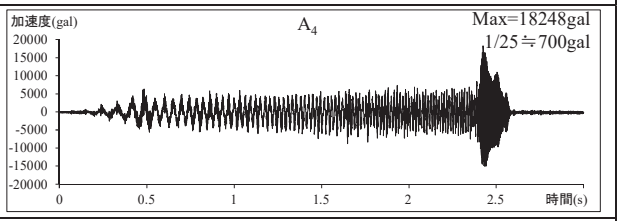
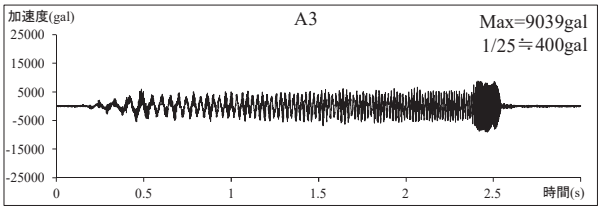
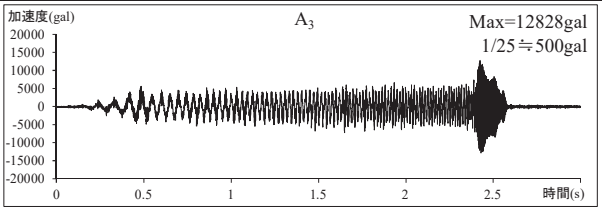
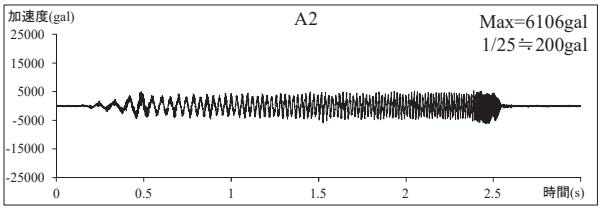
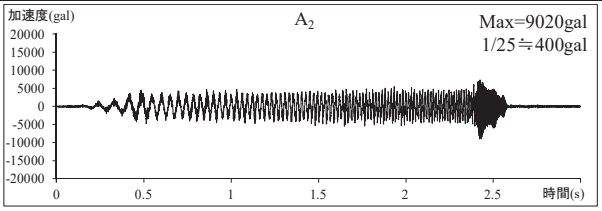
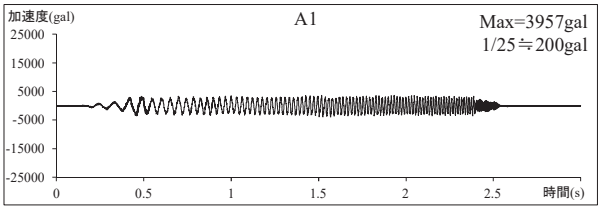
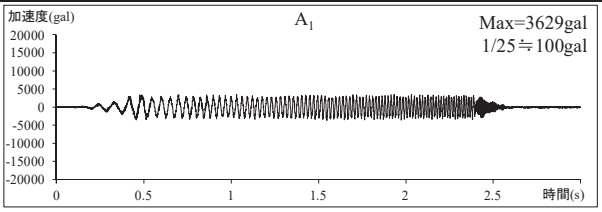
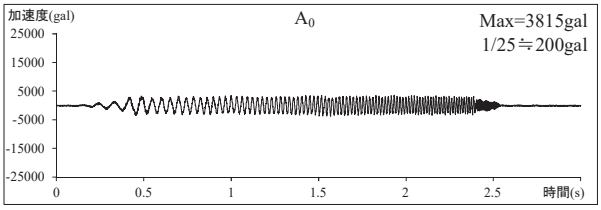
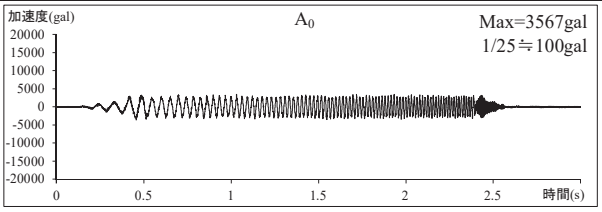
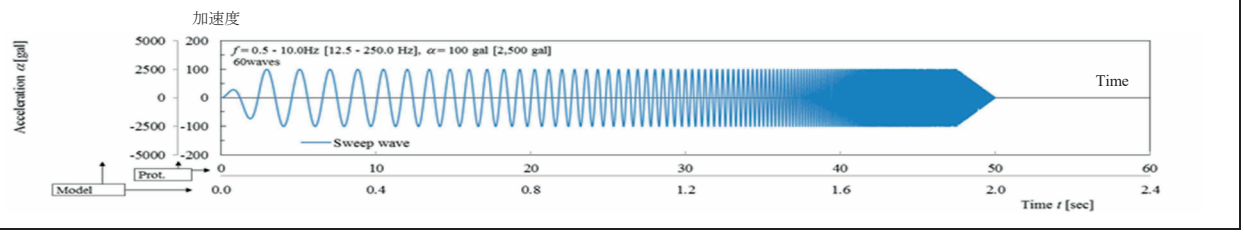
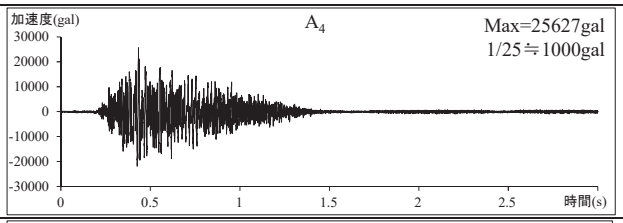
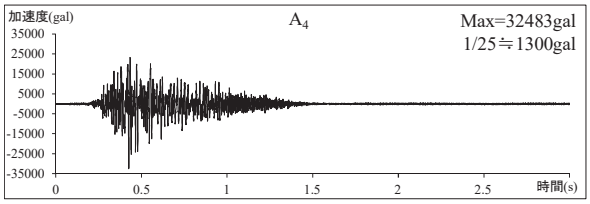
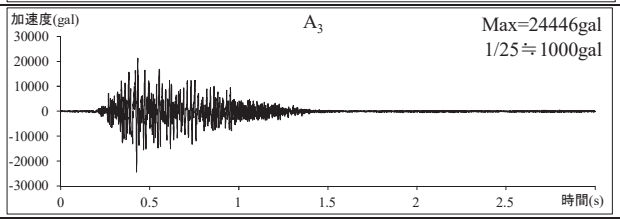
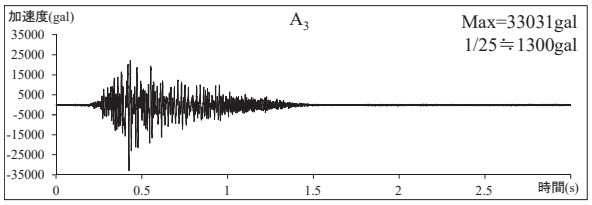
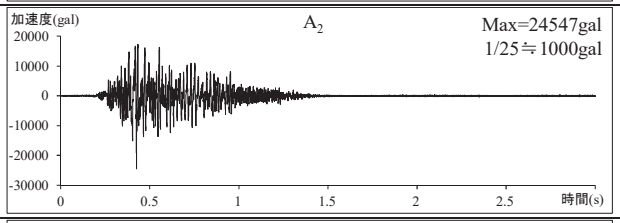
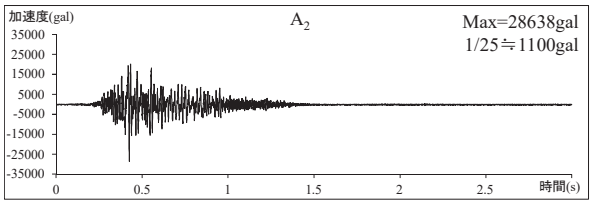
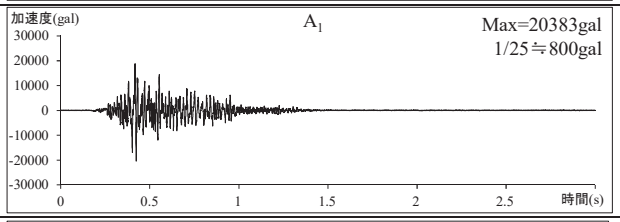
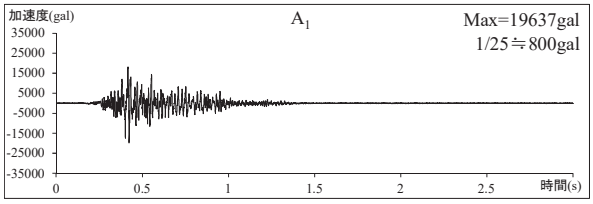
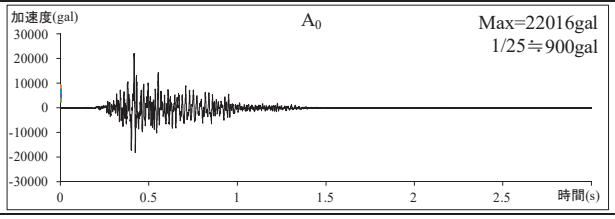
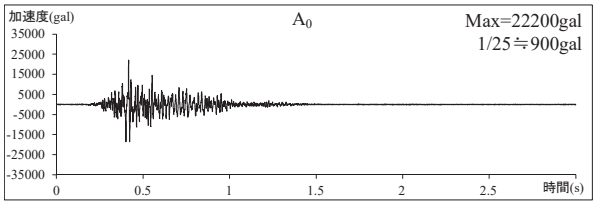
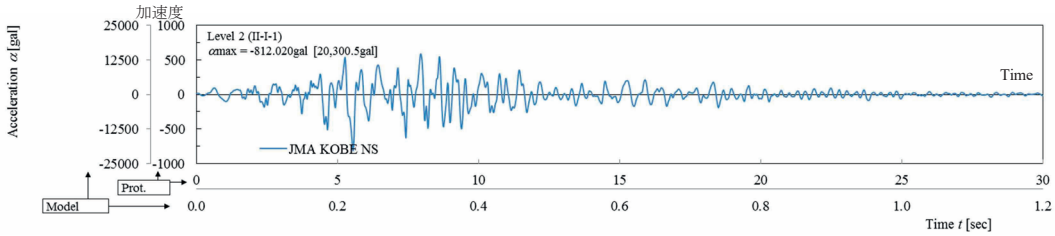
深さ (mm)	Series1 Run6 Sweep波	Series2 Run6 Sweep波
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

表 4.8　地盤の加速度波形深度分布（その 7）

深さ (mm)	Series1 Run7 level2	Series2 Run7 level2
-10		
-80		
-160		
-280 支持層上		
-360 支持層下		
入力波		

また、杭と地盤の相対変位を精度よく分析するためには、実験の進行に応じて生じる地盤の沈下も考慮する必要があるが、地表面位置の沈下量はほとんど生じていない(L2 クラスで 0.3mm 以下；表 4.9、S1 Run7 DV1 参照)ことから、今回の分析には影響しないと判断した。以下に Run 毎の沈下量を示す。

なお、Run1～6 がほとんど地表面沈下を生じていないことに対して、Run7 のみは 0.1mm～0.3mm 程度の地表面の沈下が確認出来る。地盤密度が向上し、地盤性状の変化が懸念されるが、表 4.10 で示すせん断波速度の計測結果（Run の前後でせん断波速度の変化がほとんどなかった）より地盤の性状は変化していないと判断した。ここでせん断波速度は各 Run の間でパルス波を入力し、加速度計により地盤の伝搬速度を計測したものである（表 4.10 参照）。

表 4.9　Run 毎の地表面の沈下量

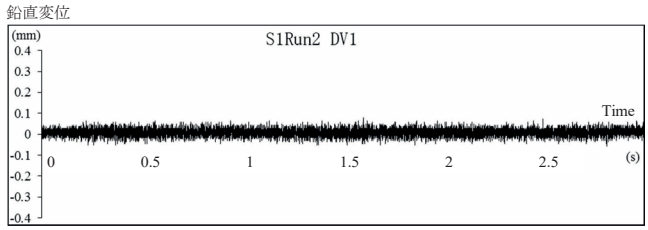
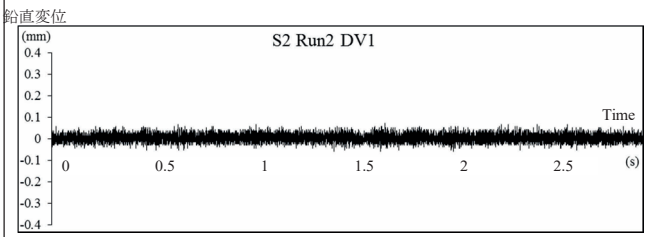
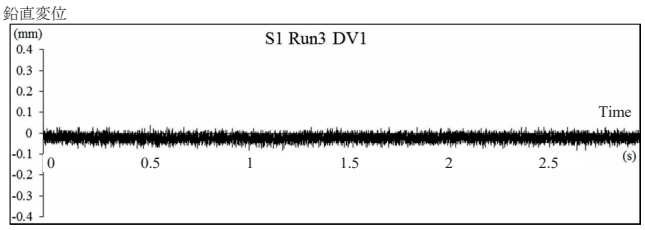
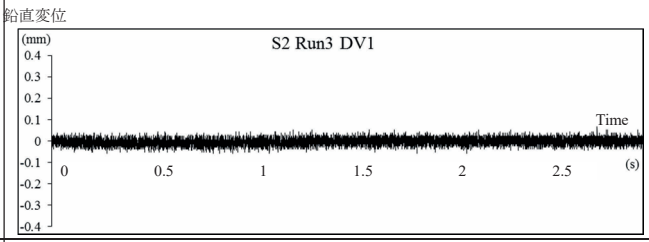
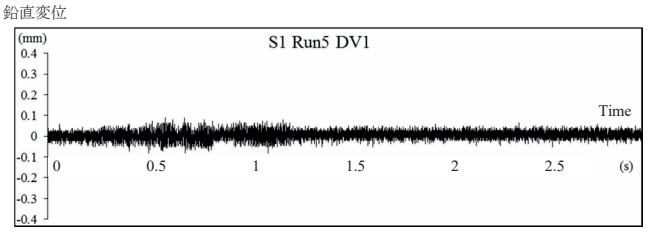
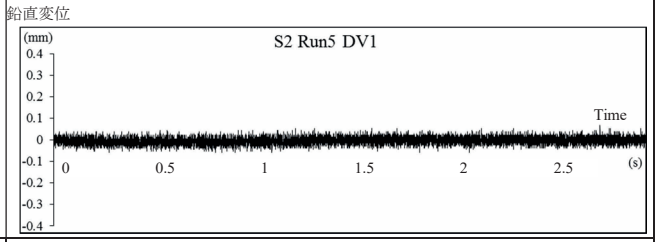
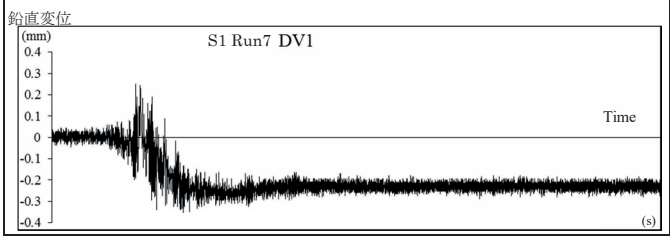
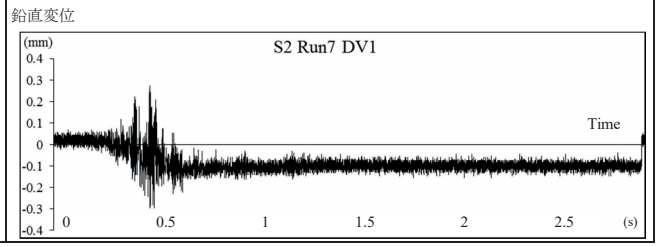
Series 1	Series 2
	
	
	
	

表 4.10　せん断波速度(その 1)

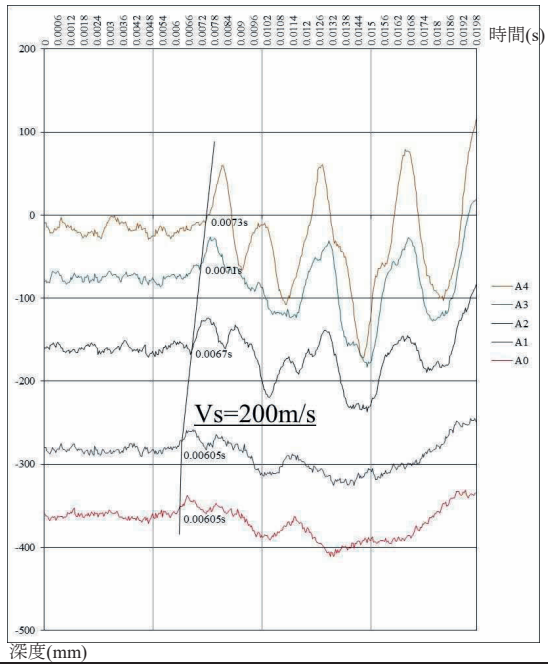
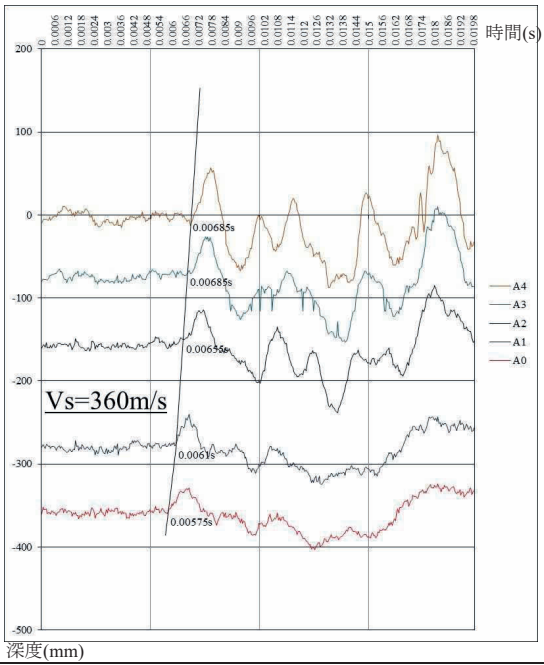
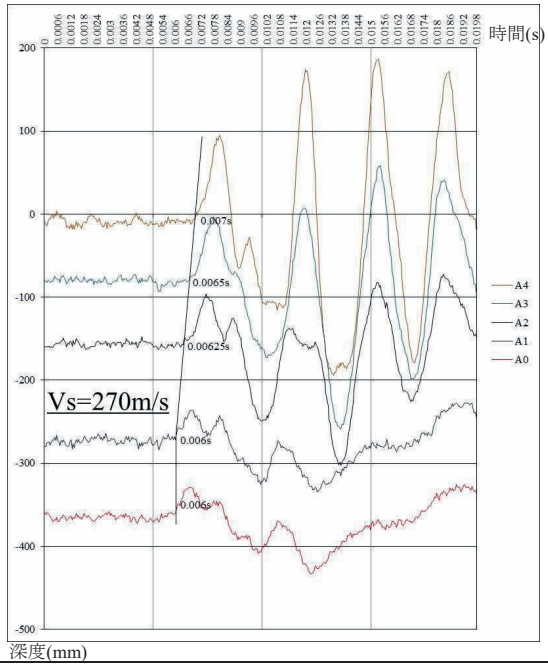
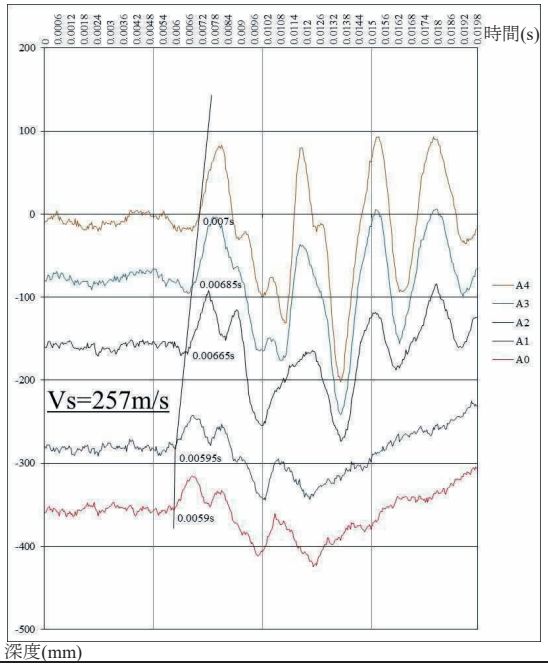
	Series 1	Series 2
加振前		
Run1 後		

表 4.10　せん断波速度(その 2)

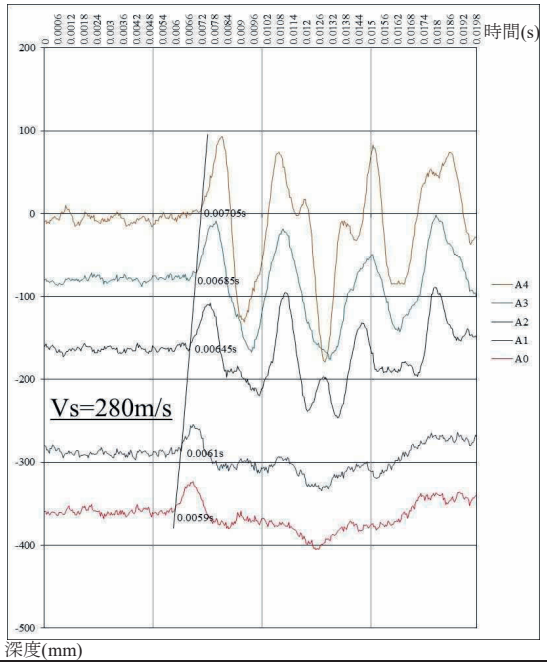
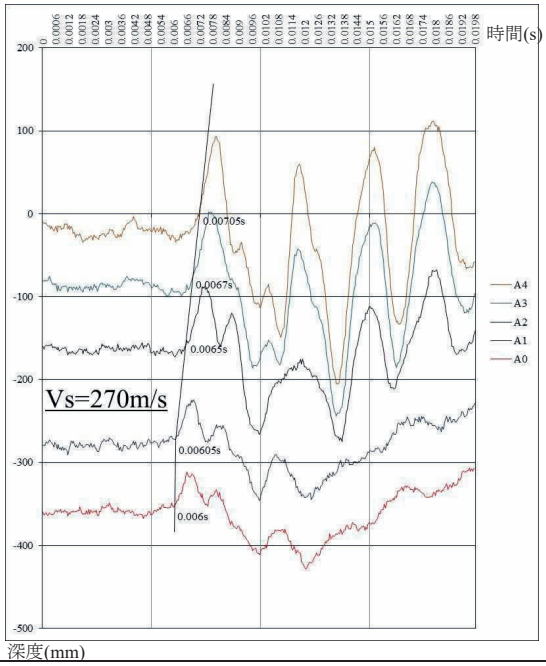
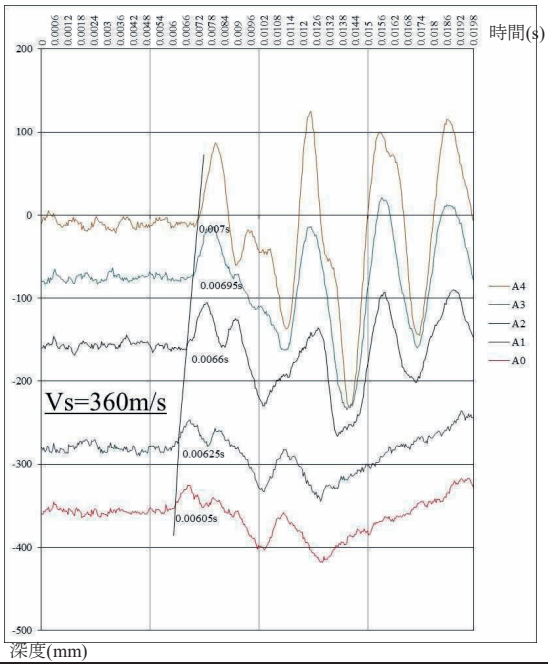
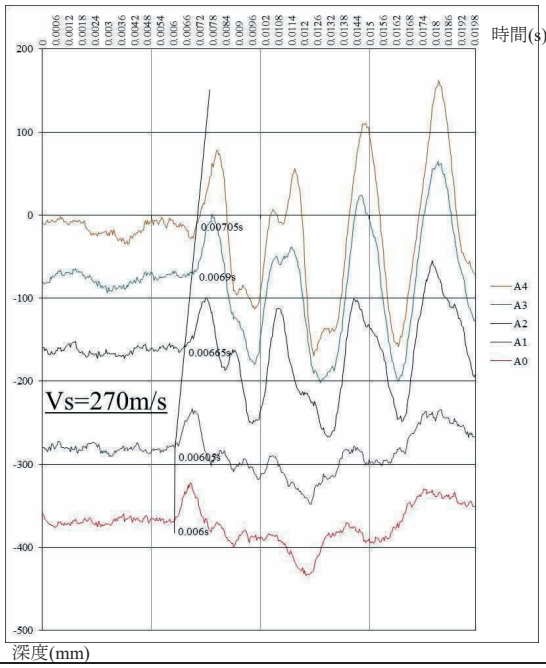
Run2 後		
Run3 後		

表 4.10　せん断波速度(その 3)

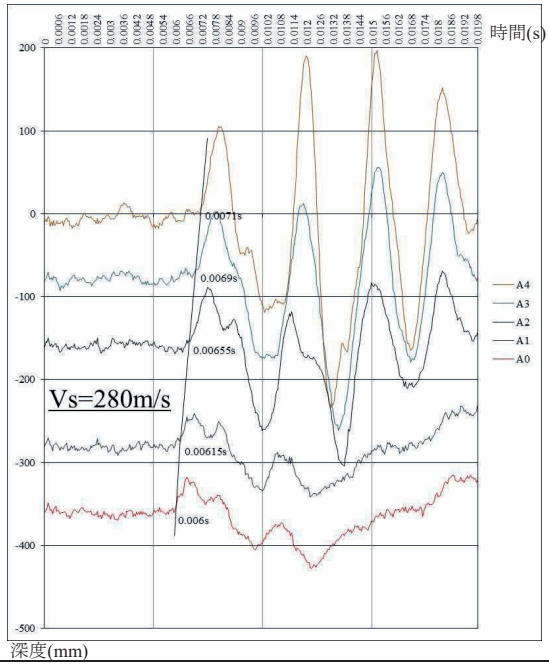
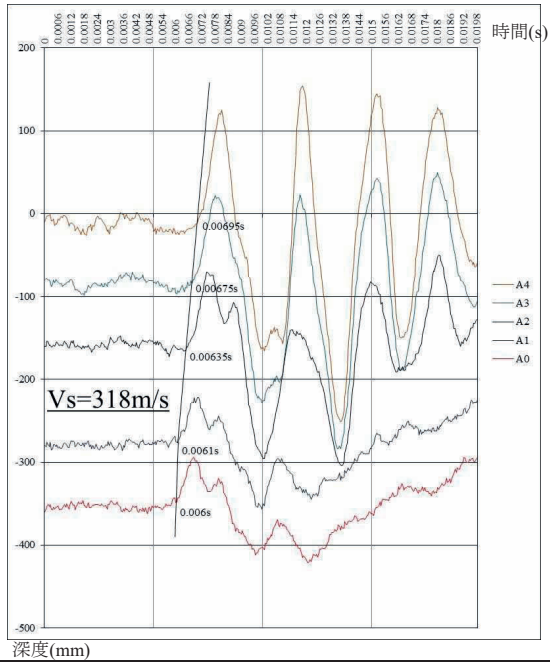
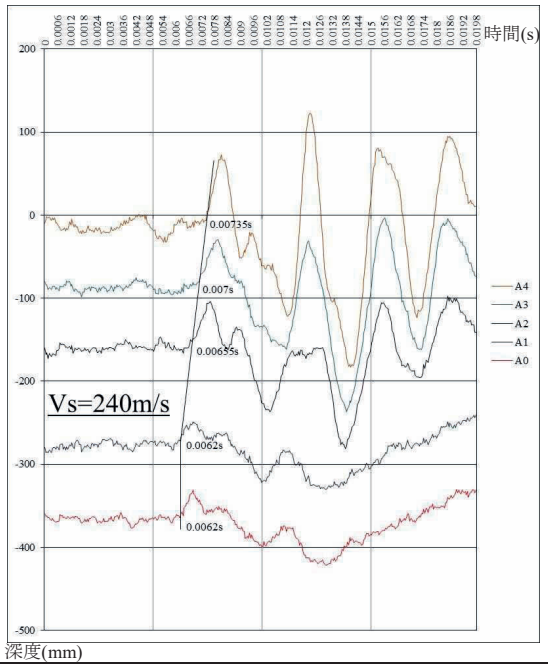
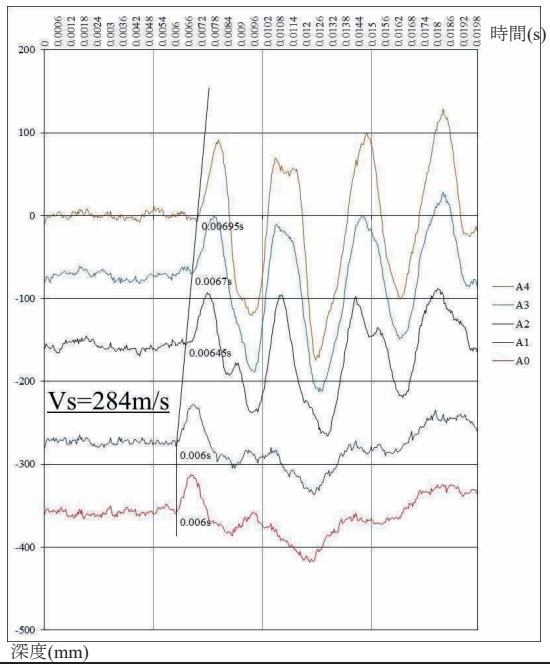
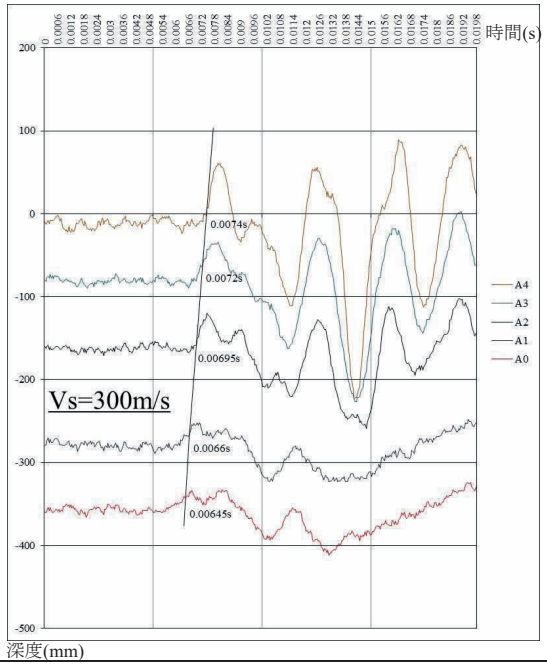
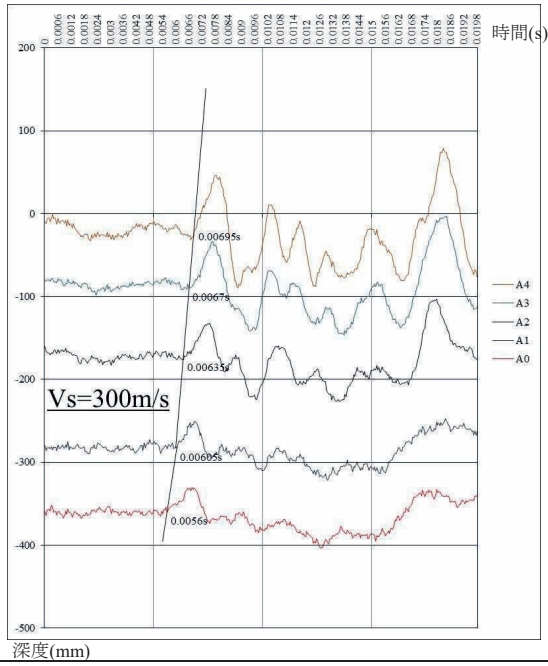
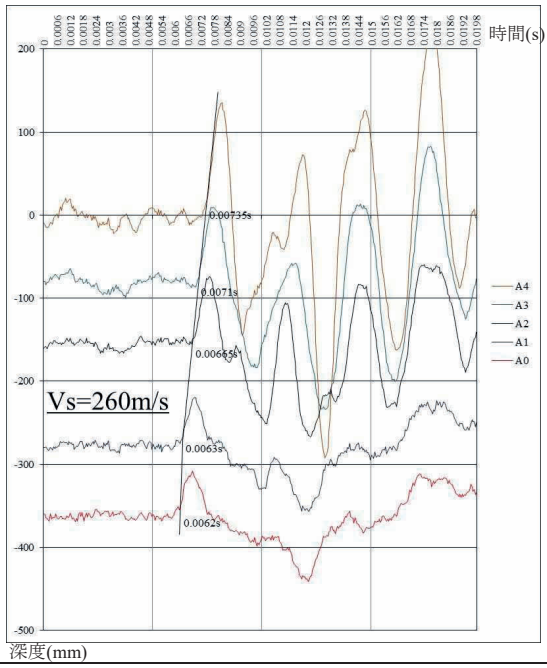
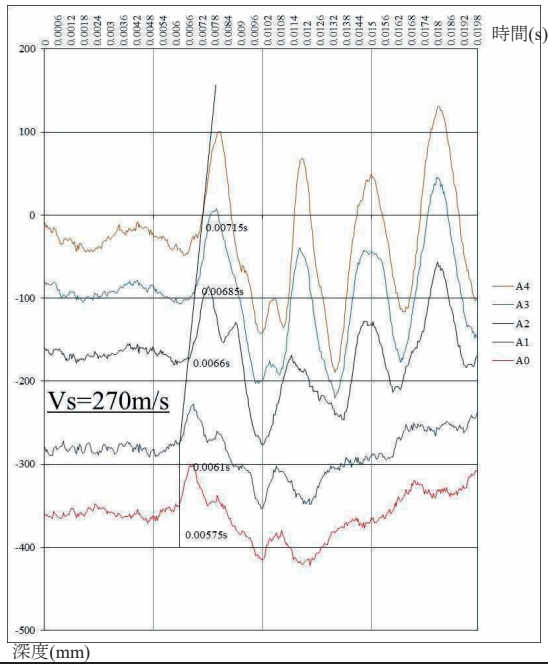
Run4 後		
Run5 後		

表 4.10　せん断波速度(その 4)

Run6 後		
Run7 後		
備考	全平均＝270m/s 加振前と Run7 後を除く平均＝290m/s	全平均＝291m/s 加振前と Run7 後を除く平均＝283m/s

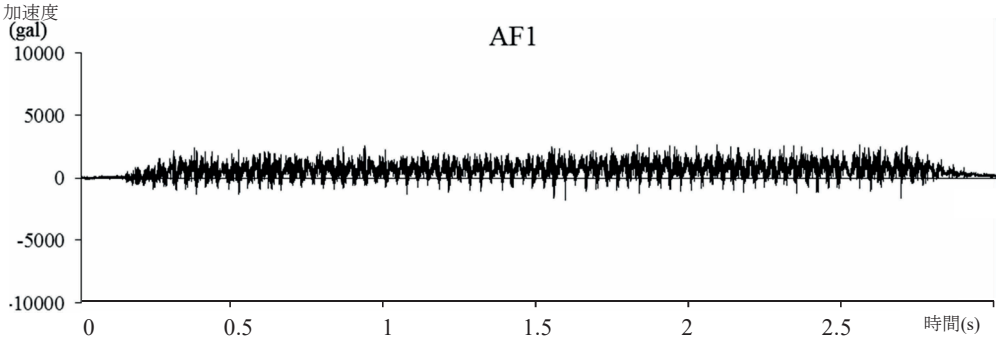
4.2.2　上部構造、杭の加速度の評価

杭（地際部）と上部構造（水平・鉛直）の加速度は縮小模型に設置した加速度計で計測したものであるとする。

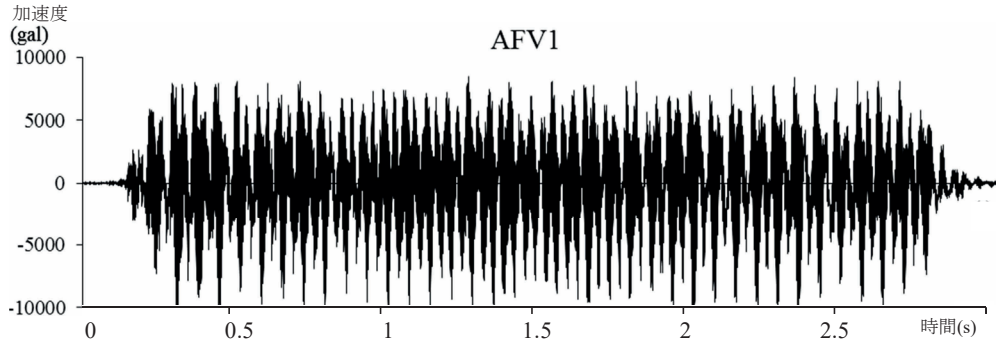
＜単柱の上部構造・杭の加速度＞

Run 2 と Run 5 で計測された上部構造水平方向 AF1、上部構造鉛直方向 AFV1、杭水平方向 AP1 の加速度波形を図 4.2 と図 4.3 に示す。AF1 は上部構造水平方向の加速度であるが、計測値が上部構造の鉛直加速度や杭地際部の水平方向の加速度と比べて小さい。本実験では水平方向に加振しているため、上部構造位置での水平方向の加速度が大きく出ると予測されたが、実験で得られた結果は異なる。以上から、加速度を使用した水平方向の変位に関する分析において、単柱の上部構造に設置された加速度（AF1・AFV1）計測結果は参考扱いとする。

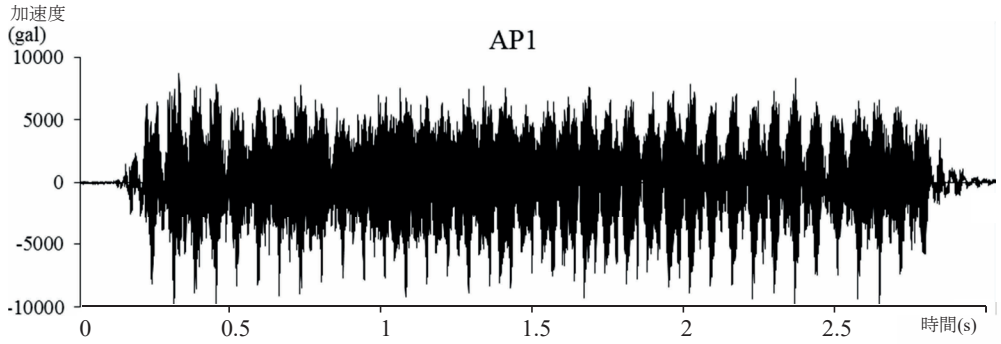
なお、3 本柱の加速度計は上記の様な逆転現象は生じていない。



(a)　AF1

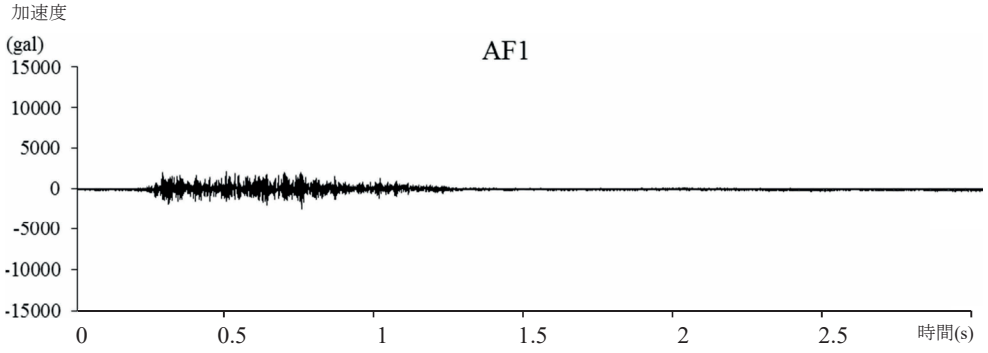


(b)　AFV1

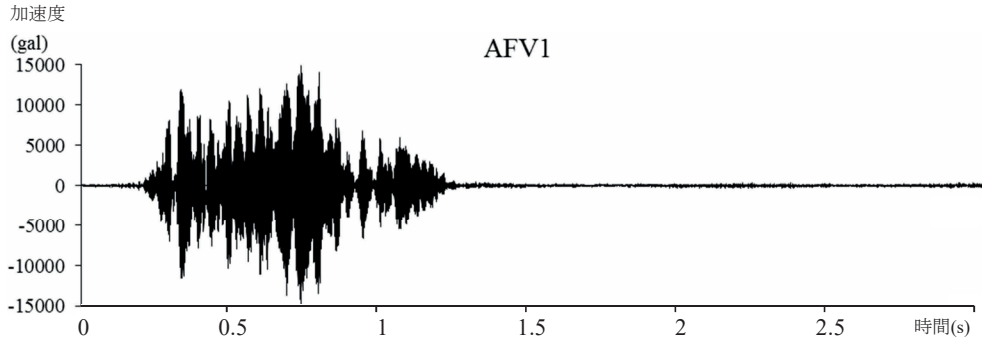


(c)　AP1

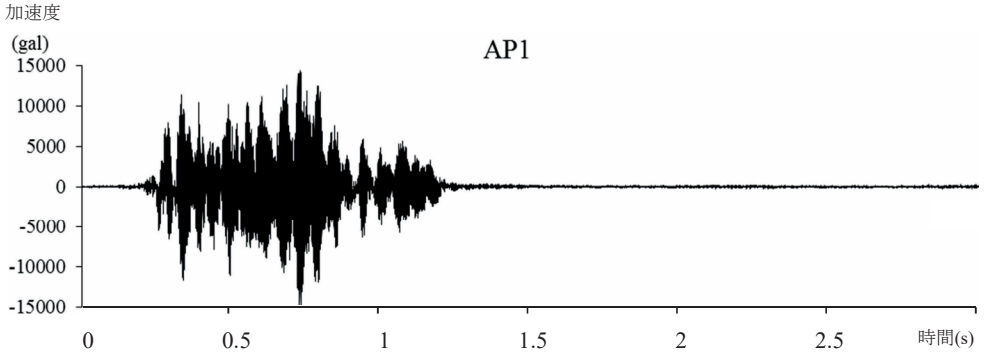
図 4.2　Series1 Run2　単柱の計測加速度



(a) AF1



(b) AFV1



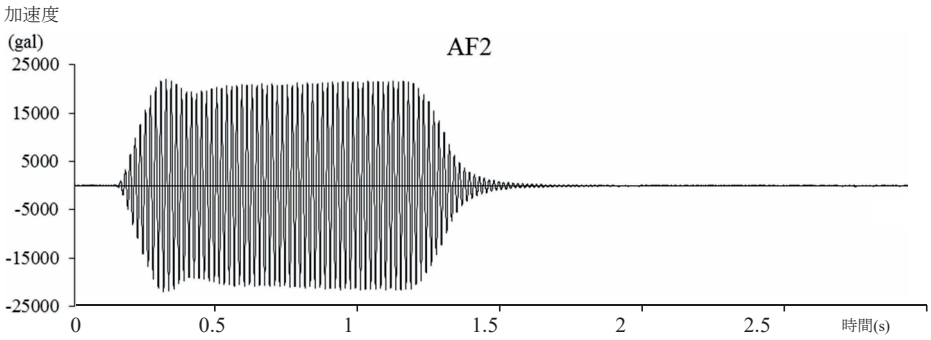
(c) AP1

図 4.3　Series1 Run5　単柱の計測加速度

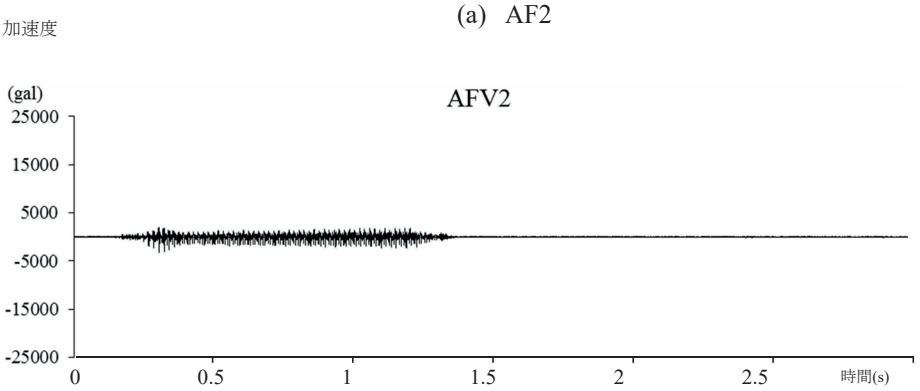
＜3 本柱の上部構造・杭の加速度＞

Run 3 と Run 5 で計測された上部構造水平方向 AF2、上部構造鉛直方向 AFV2、杭水平方向 AP2、AP3 の加速度波形を図 4.4 と図 4.5 に示す。AF2 の応答加速度に対し AFV2 の応答加速度は小さく、上部構造はほぼ水平移動をしていることが確認出来る。

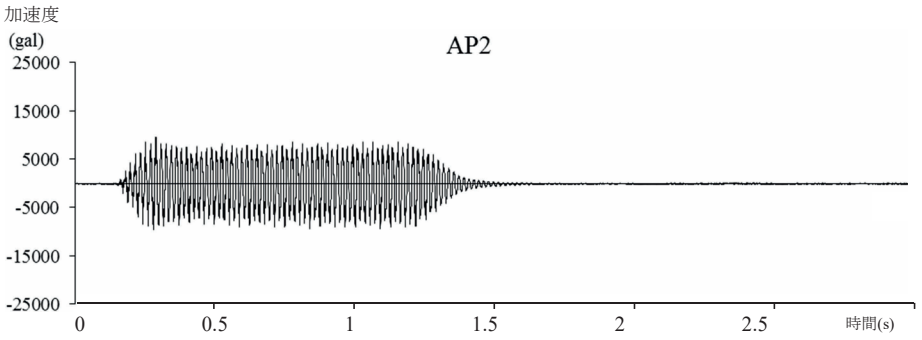
以上から 3 本柱の応答加速度は水平変位の推定等の基礎資料として活用する。



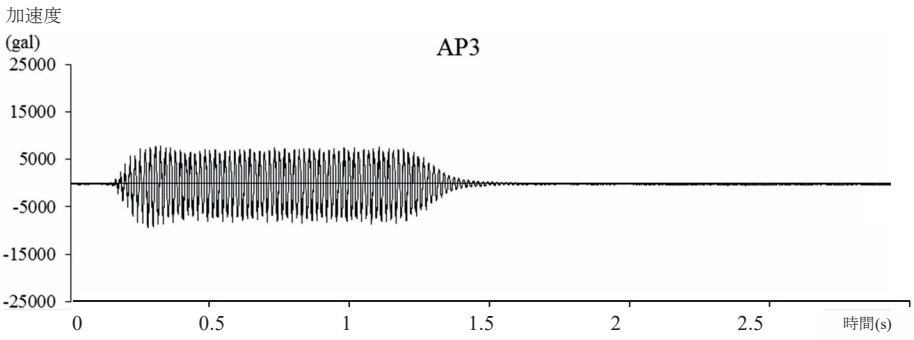
(a) AF2



(b) AFV2

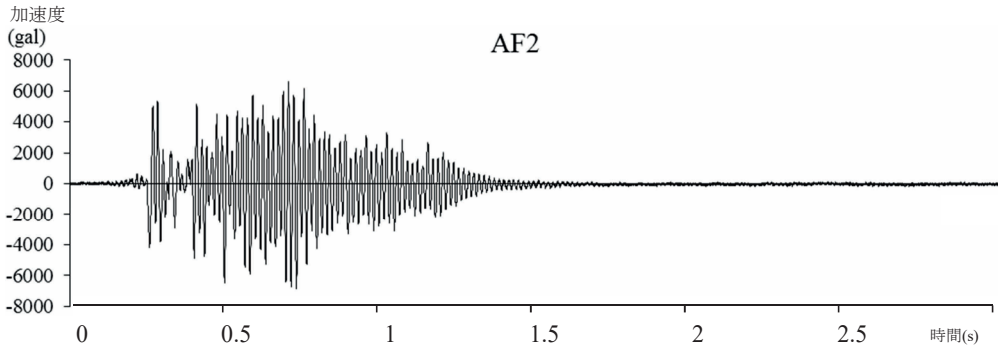


(c) AP2

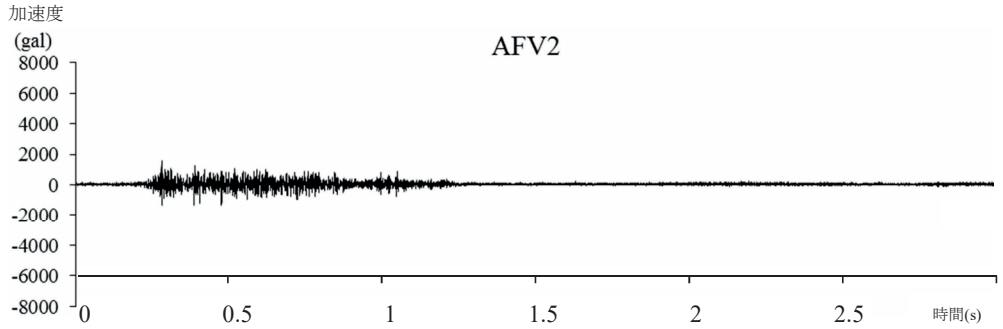


(d) AP3

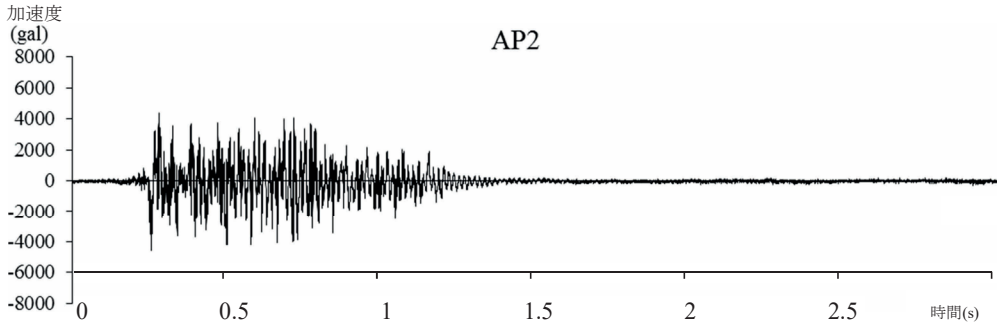
図 4.4　Series1 Run3　3 本柱の計測加速度



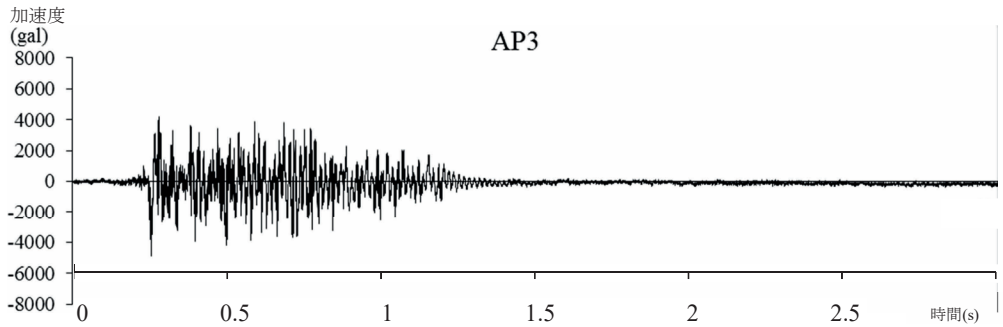
(a) AF2



(b) AFV2



(c) AP2



(d) AP3

図 4.5　Series1 Run5　3 本柱の計測加速度

4.3　変位

変位の算出方法としては以下の 3 種類があるが、それぞれ一長一短がある。

・加速度時刻歴記録の 2 階積分（上部構造・地際部・地中部）

・レーザー変位計による計測（上部構造・地際部のみ）

・ひずみゲージ時刻歴記録の 2 階積分（杭）

加速度計は任意の位置へ設置することが容易である一方、2 階積分の時にノイズの影響を受けやすい。また先に示したように単柱のレーザー変位計は 2 階積分の値より精度は高いが、地中部の変位が計測できないことや、レーザーを当てることの出来ない中杭の計測が出来ないなど短所がある。

以上から本研究における分析は、レーザー変位計での計測値を真値としつつ、２階積分から求めた値を補完値として杭全体の変位などを分析する。

4.3.1　加速度から変位を算定する方法

図 4.6 は Run2 により得られた単柱杭地際部の加速度時刻歴である。これをフィルタ処理無しでそのまま 2 階積分した場合、に図 4.7 示すように、算出した変位時刻歴は低周波ノイズの影響[3.8),3.9)]を受けて発散してしまう。そのため、加速度時刻歴データをハイパスフィルタに通すことで低周波ノイズによる悪影響を低減し、その後 2 階積分を行うことで図 4.8 に示すような変位時刻歴応答を得た。

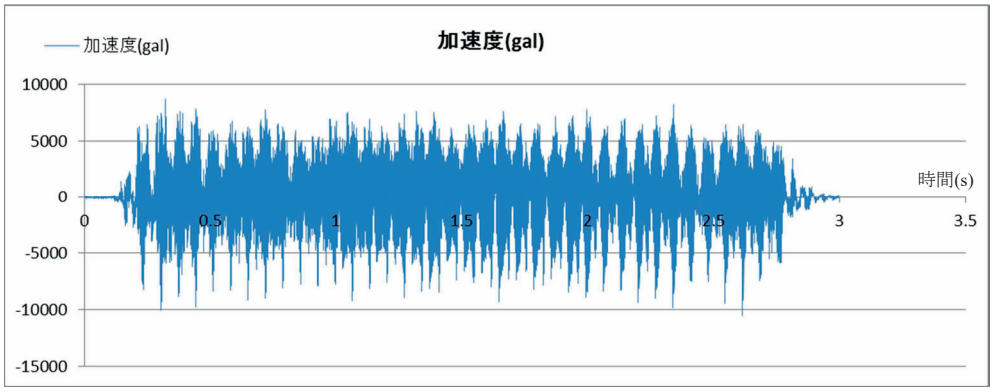


図 4.6　Series2 Run2 AP1

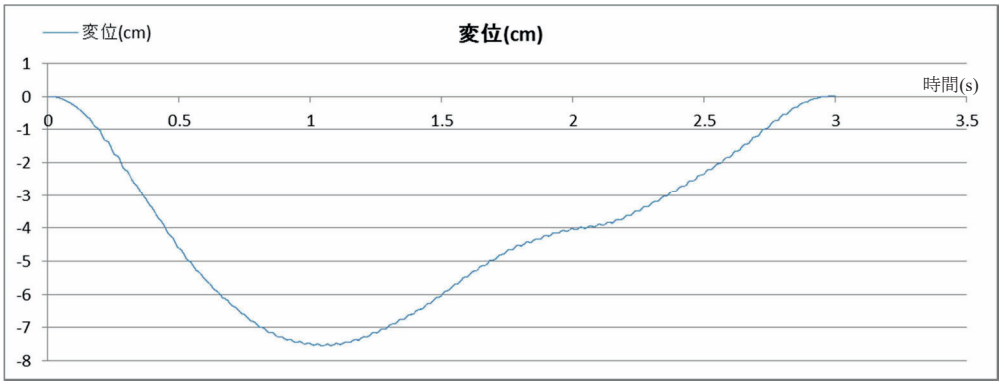


図 4.7　Series2 Run2 AP1 加速度波形の 2 階積分値／ノイズ処理無し

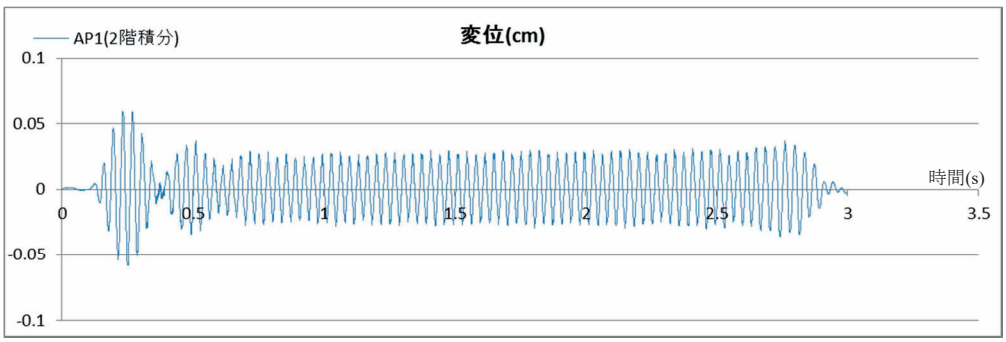


図 4.8　Series2 Run2 AP1 加速度波形の 2 階積分値／ノイズ処理有り

4.3.2　ひずみゲージ時刻歴記録から変位を求める方法

柱－杭における水平変位を求めるために算定するたわみ角θ、たわみ（水平変位）y、曲げモーメント M、せん断力 Q および水平地盤反力 p の算出は、計測した柱－杭のひずみ分布から参考文献 3.11) で提案された方法に基づき行う。

(1) たわみ角およびたわみの分布

各深度で得られたひずみ分布より、着目断面 i における軸ひずみε_{Ni}を次式により求める。

$$\varepsilon_{Ni}=\frac{\varepsilon_{Ai}+\varepsilon_{Bi}}{2} \quad \text{----------} \quad (4.1)$$

ここで、　ε_{Ai}：断面 i におけるジャッキ側の計測ひずみ（μ）

ε_{Bi}：断面 i におけるジャッキ反対側の計測ひずみ（μ）

断面 i における曲率ϕ_iは、ひずみゲージがアルミ管内面に貼り付けられていることを考慮して、式(4.2)により表される。

$$\phi_i=\frac{2(\varepsilon_{Ai}-\varepsilon_{Ni})}{D-2t} \quad \text{----------} \quad (4.2)$$

ここに、　D：柱－杭模型の外径（=20mm）

t：柱－杭模型の板厚（=1.2mm）

ある区間の曲率ϕが式(4.3)の放物線で表されるものと仮定し、未定係数 a、b および c を 3 つの連続した断面の曲率ϕ_{i-1}、ϕ_iおよびϕ_{i+1}からまず決定する（図 4.9）。

$$\phi=az^2+bz+c \quad \text{----------} \quad (4.3)$$

ここに、　z：杭頭からの距離

$$\boldsymbol{\varphi}=\mathbf{A}\cdot\mathbf{z}\ 、\ \begin{Bmatrix}\phi_{i-1}\\ \phi_i\\ \phi_{i+1}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}a\\ b\\ c\end{Bmatrix}\begin{bmatrix}z_{i-1}^{\ 2} & z_{i-1} & 1\\ z_i^2 & z_i & 1\\ z_{i+1}^{\ 2} & z_{i+1} & 1\end{bmatrix} \quad \text{----------} \quad (4.4)$$

(4.4)式の両辺に $\mathbf{z}^{-1}$ を乗じて、

$$\mathbf{A}=\mathbf{z}^{-1}\cdot\boldsymbol{\varphi}\ 、\ \begin{Bmatrix}a\\ b\\ c\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}z_{i-1}^{\ 2} & z_{i-1} & 1\\ z_i^2 & z_i & 1\\ z_{i+1}^{\ 2} & z_{i+1} & 1\end{bmatrix}^{-1}\begin{Bmatrix}\phi_{i-1}\\ \phi_i\\ \phi_{i+1}\end{Bmatrix} \quad \text{----------} \quad (4.5)$$

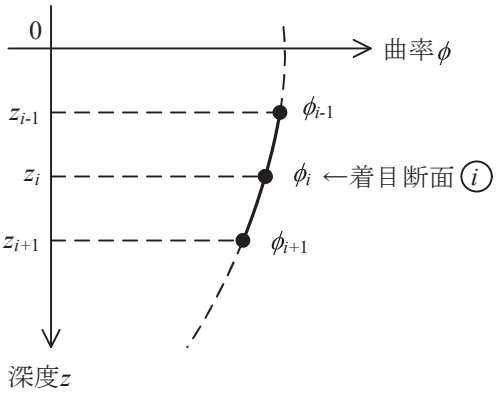


図 4.9　曲率ϕの分布

得られた係数値を式(4.5)に与え、積分によりたわみ角θを求める。さらに水平変位yに対しても同様に操作して解を求める。具体的な手順は、以下に示す通りである。

1）杭先端（n+1 断面）の境界条件として、曲率ϕ_{n+1}=0（曲げモーメントがゼロ）およびたわみ角θ_{n+1}=初期値をそれぞれ仮定する。次に、n+1 と曲率ϕが既知な n 断面間について、曲率ϕが杭軸に沿って直線的に変化すると仮定して、n 断面のたわみ角θ_nを次式により求める。

$$\theta_n = \theta_{n+1} + \phi_n (z_n - z_{n+1})/2 \quad \text{----------} \quad (4.6)$$

2）n 断面より上方のたわみ角θ_{i-1}は、杭先端から上方に向かって曲率ϕを積分することで求める。すなわち、たわみ角が既知の i 断面より 1 つ上の i-1 断面のたわみ角θ_{i-1}は、次式により求める。

$$\theta_{i-1} = \theta_i + \frac{1}{3}a(z_{i-1}{}^3 - z_i^3) + \frac{1}{2}b(z_{i-1}{}^2 - z_i^2) + c(z_{i-1} - z_i) \quad \text{----------} \quad (4.7)$$

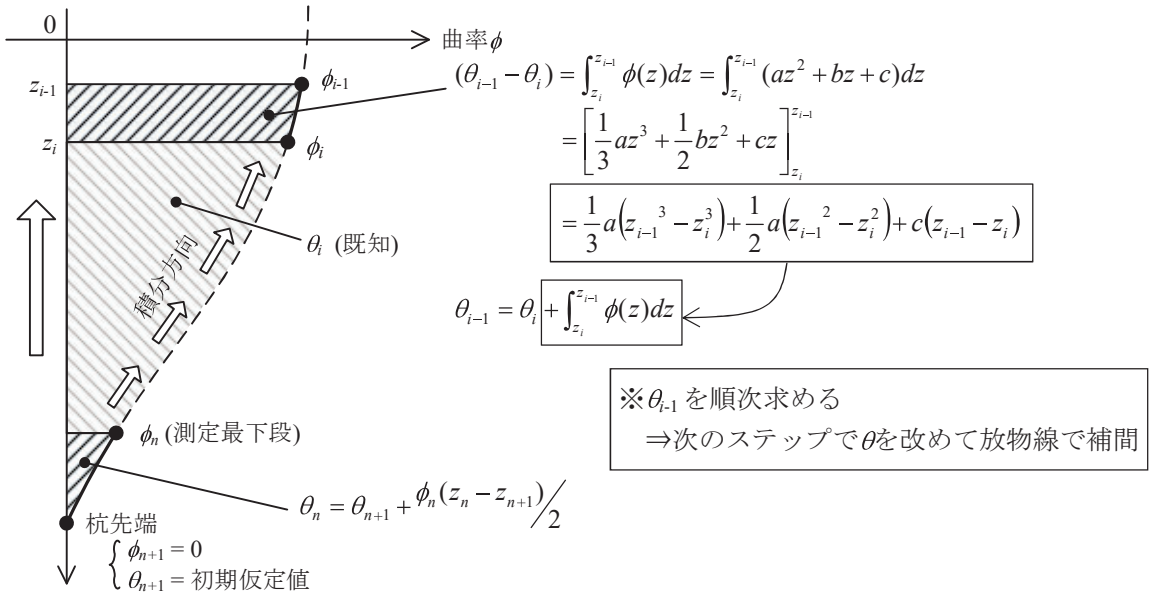


図 4.10　曲率ϕ分布からたわみ角θを算定する方法

３）水平変位 y に関しては、まず２）で得られた各断面のθに対して、連続する 3 断面間のθが式(4.8)の放物線で表されるものと仮定して未定係数 A、B および C を決定する。次に、載荷点位置での水平変位を y_0 と置き、式(4.9)を下方の断面へと順次適用して各断面における y をそれぞれ求める。ただし、杭先端の y_{n+1} に関しては、式(4.10)により求める。

$$\theta = Az^2 + Bz + C \quad \text{----------} \quad (4.8)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{3}A(z_{i+1}{}^3 - z_i^3) + \frac{1}{2}B(z_{i+1}{}^2 - z_i^2) + C(z_{i+1} - z_i) \quad \text{----------} \quad (4.9)$$

$$y_{n+1} = y_{n-1} + \frac{1}{3}A(z_{n+1}{}^3 - z_{n-1}{}^3) + \frac{1}{2}B(z_{n+1}{}^2 - z_{n-1}{}^2) + C(z_{n+1} - z_{n-1}) \quad \text{----------} \quad (4.10)$$

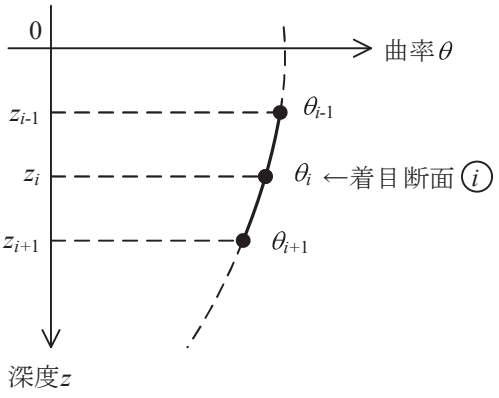


図 4.11　たわみ角θの分布

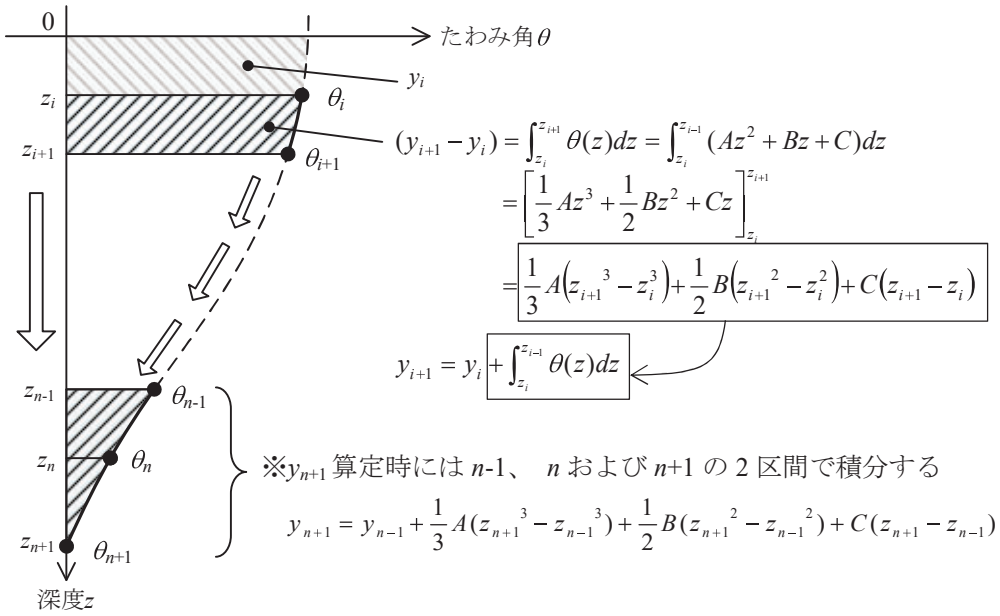


図 4.12　たわみ角θ分布からたわみ y を算定する方法

４）１）で仮定したθ_{n+1}を種々変化させて、３）で得られる杭先端の水平変位y_{n+1}がゼロと見なせる状態を見出す。本検討では、収束判定値として$y_{n+1}<10^{-4}$(mm)を与えた。以下に、本手順のフローを示す。

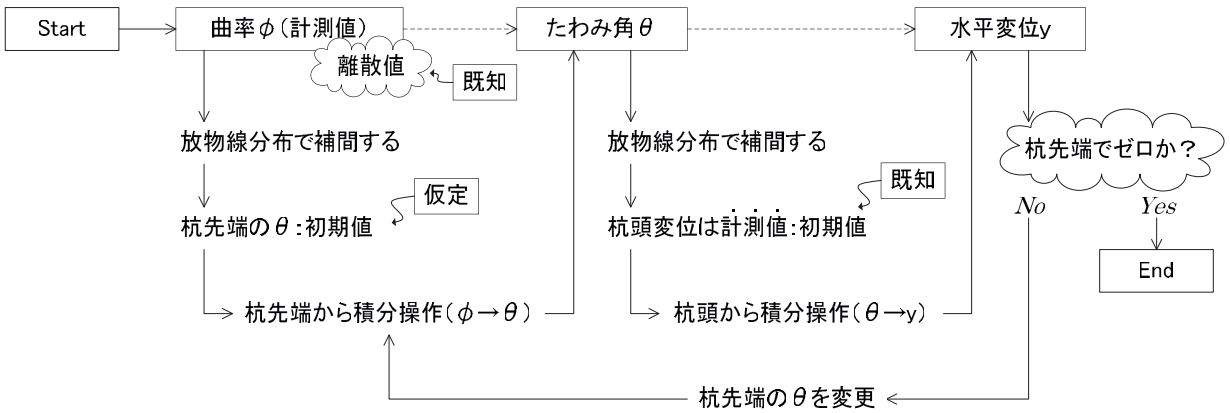


図 4.13　曲率ϕ→たわみ角θ→水平変位yの算定フロー

4.4　曲げモーメント・せん断力

せん断力Qは、曲率ϕに柱－杭の曲げ剛性EI（E：弾性係数、I：断面二次モーメント）を乗じて算出した曲げモーメントの分布に基づき算定する。すなわち、これまでと同様に連続する 3 断面のMが式(4.11)で表されるものと仮定し、まず未定係数α、βおよびγをそれぞれ算定する。そして、この式のz_iにおける微分係数値である式(4.12)によりi断面のせん断力Q_iを求め、順次、下方の断面へと適用する。

$$M = \alpha z^2 + \beta z + \gamma \quad \text{----------} \quad (4.11)$$

$$Q_i = 2\alpha z_i + \beta \quad \text{----------} \quad (4.12)$$

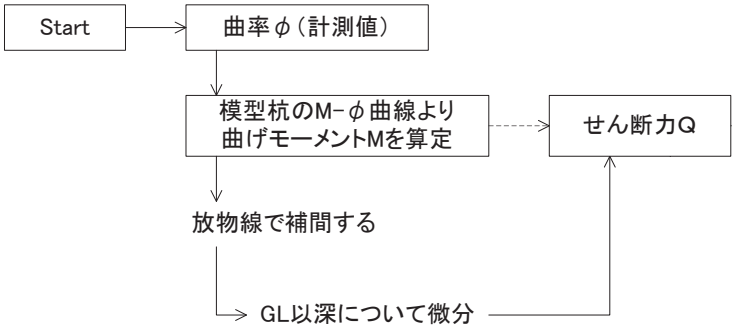


図 4.14　曲率ϕ→曲げモーメントM→せん断力の算定フロー

4.5 地盤反力度

本研究では、得られた曲げモーメント分布を次式のように差分法を用いて深度方向に 2 階微分することにより、地盤反力度 p を得た。

$$p_i = \frac{\dfrac{M_{i+1} - M_i}{z_{i+1} - z_i} - \dfrac{M_i - M_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}}{\dfrac{z_{i+1} - z_i}{2} + \dfrac{z_i - z_{i-1}}{2}} \cdot \frac{1}{D}$$

ここで、p は地盤反力度(kN/m^2)、M は曲げモーメント(kN･m)、z は深度(m)、D は杭径(m)、i は計測位置で(i+1)、(i-1)はその前後の計測位置である。

ひずみ分布を関数で近似し、その関数を深度方向に 2 階微分することにより地盤反力度分布を得る方法である。

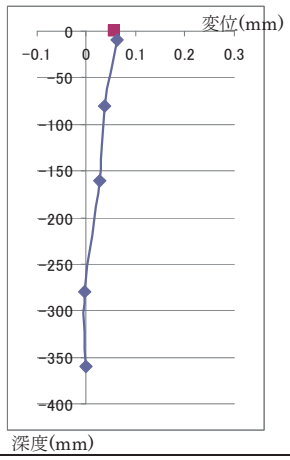
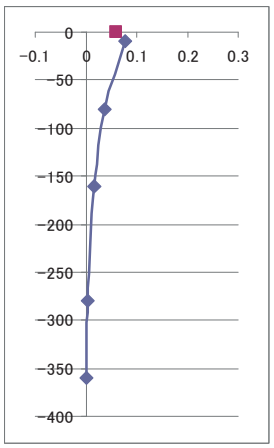
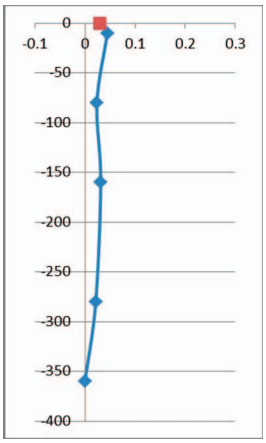
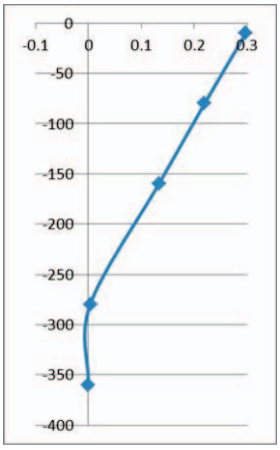
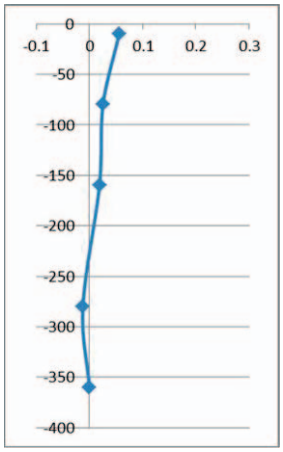
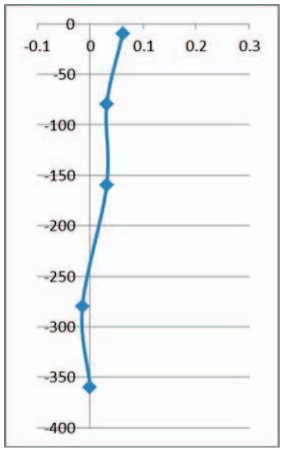
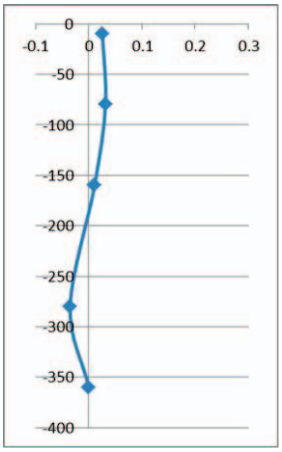
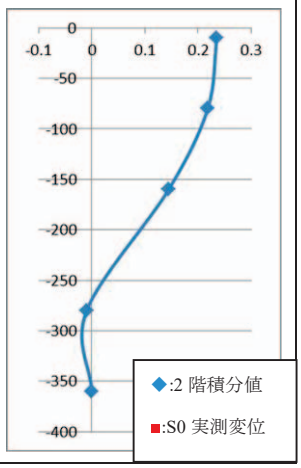
5. 実験結果

5.1　地盤の変位分布

地盤内で計測された加速度データより2階積分により求めた変位分布を以下に示す。なお、変位は加振実験で確認された地表面の最大時（同時間）の変位を示し、支持層下面（石膏下）を変位0と補正している。単位はmmとし、各図のスケールを合わせている。また、S0（砂質土）で計測された地表面位置の最大変位も併せて示す。

表 5.1　地盤の変位分布

(mm)

	Run2 Sin wave1	Run3 Sin wave2	Run5 level 1	Run7 level2
S1				
S2				

＜備考＞

地盤の変位について、Series0により3箇所実測変位を計測している。Run毎の地表面実測値を以下に示すが、Run2,3,5の地表面で計測された時刻歴応答加速度の2階積分値と概ね一致している。

また、Run1～6までは土層内3箇所で計測された最大変位はいずれも同程度の変位であるが、L2地震動のレベルについては、1箇所で変位レベルが大きく異なった。

Run1 Sweep　地表面実測値　max0.06,0.06,0.06mm　←　Sweep
Run 2 Sin　地表面実測値　max0.05,0.05,0.07mm　←　Sin
Run 3 Sin　地表面実測値　max0.05,0.06,0.07mm　←　Sin
Run 4 Sweep　地表面実測値　max0.06,0.06,0.07mm　←　Sweep
Run 5 L1　地表面実測値　max0.03～0.04mm　←　L1
Run 6 Sweep　地表面実測値　max0.08,006,0.06mm　←　Sweep
Run 7 L2　地表面実測値　max0.49,0.55,1.88mm　←　L2

5.2　模型及び地盤の固有周期とスペクトル分布

Sweep 波 Run1、Run4、Run6 のそれぞれで実測した地盤の時刻歴加速度 A4、杭の実測変位 DHP1、DHP2、上部工の実測変位 DHF1、DHF2 データをスペクトル分析した結果得られた固有周期を下表に示す。

なお、図中赤〇印は計測点を示す。

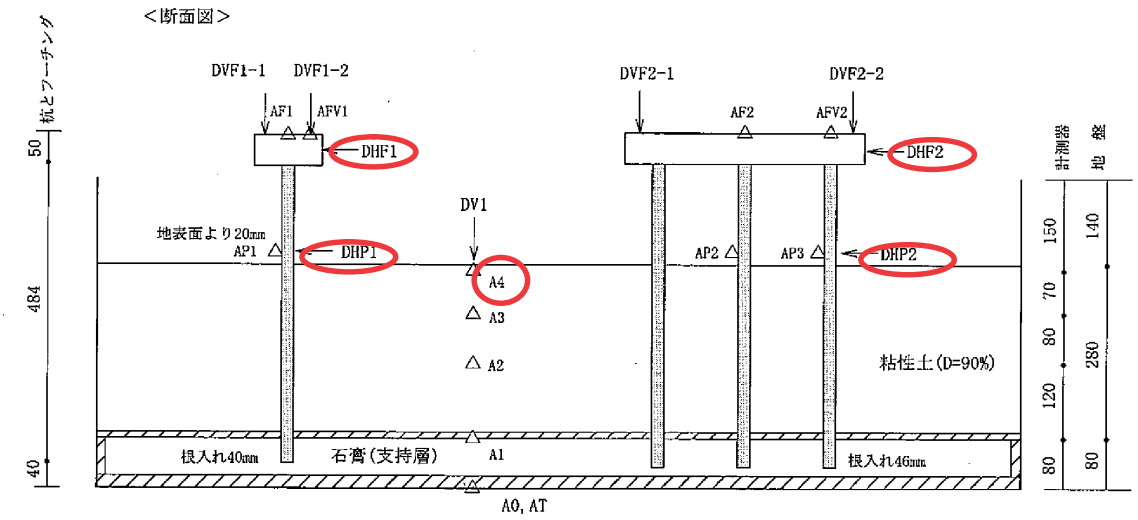


図 5.1　計測機器の設置位置

表 5.2　地盤と供試体の固有周期

(s)

Run	Series	地盤	1 本柱		3 本中	
		A4	DHP1	DHF1	DHP2	DHF2
Run1	1(sand)	0.366	1.107	1.107	0.529	0.529
	2(clay)	0.366	1.024	1.101	0.488	0.488
Run4	1(sand)	0.366	1.037	1.050	0.500	0.503
	2(clay)	0.366	1.092	1.078	0.518	0.522
Run6	1(sand)	0.366	1.050	1.050	0.497	0.500
	2(clay)	0.366	1.122	1.107	0.539	0.539

表 5.2 より、以下のことが確認出来る。

① 地盤の固有周期は S1、S2、Run 毎においても変化していない。

② S1 一本柱と三本注の固有周期は Run が進む毎に周期が短くなっているが、大きな変化はない

③ S2 一本柱と三本注の固有周期は Run が進む毎に周期が長くなっているが、大きな変化はない。

④ S1 と S2 の一本柱の固有周期差は 0～5%程度と大差ない。

⑤ S1 と S2 の三本注の固有周期差は 4～8%程度と一本柱と比べると差が大きい。

表 5.3 にスペクトル分析結果を示す。

表 5.3　スペクトル分析結果(その 1)

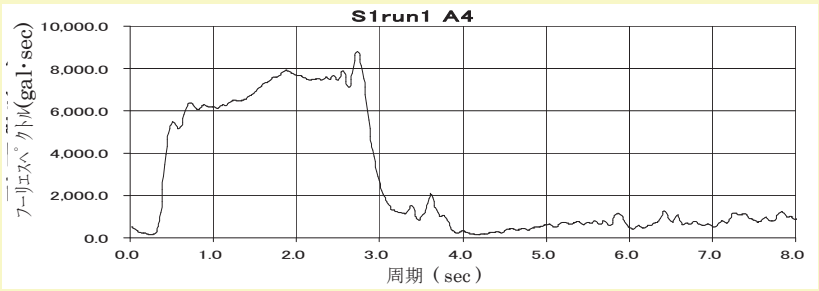
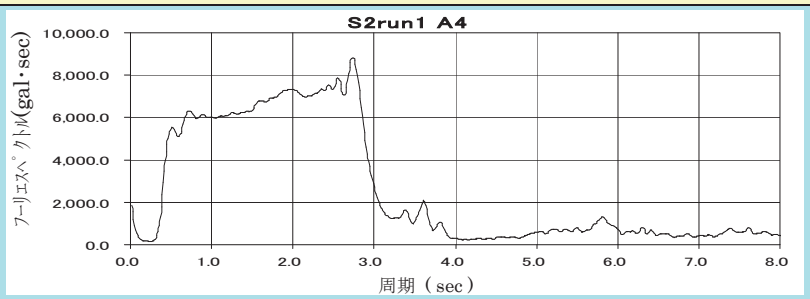
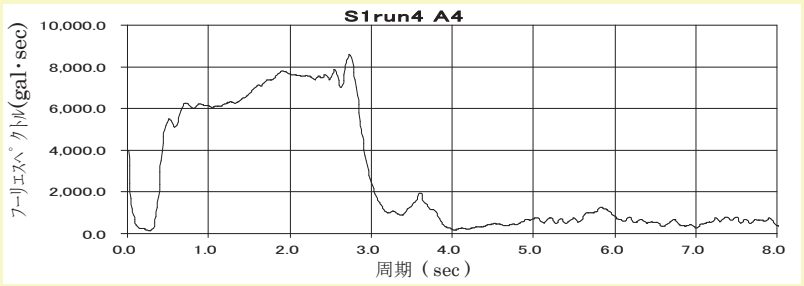
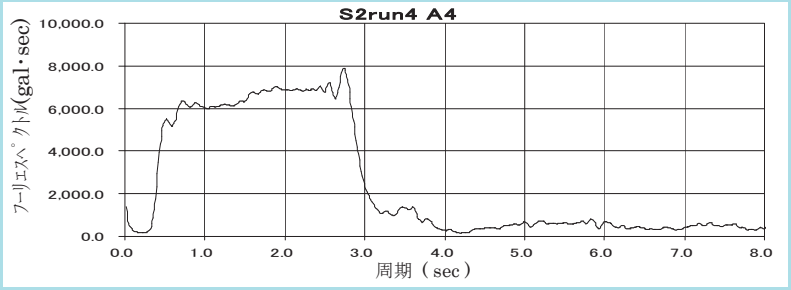
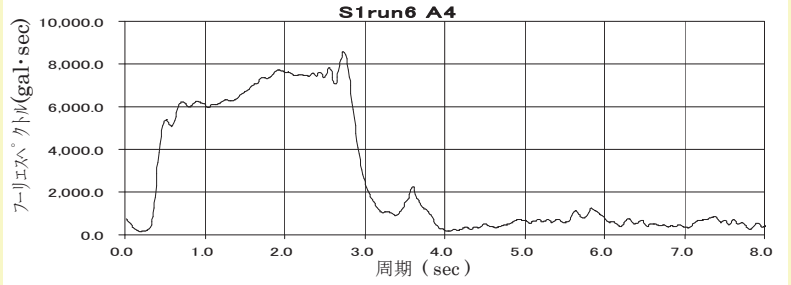
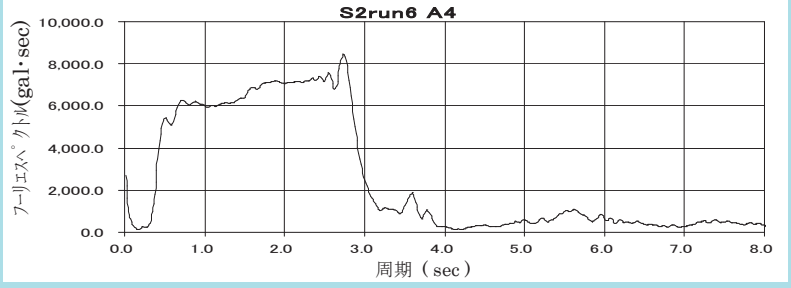
Run	Series	地盤
		A4
Run1	1(sand)	T=0.366s 
	2(clay)	T=0.366s 
Run4	1(sand)	T=0.366s 
	2(clay)	T=0.366s 
Run6	1(sand)	T=0.366s 
	2(clay)	T=0.366s 

表 5.3　スペクトル分析結果(その 2)

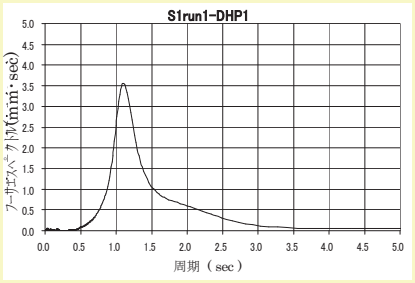
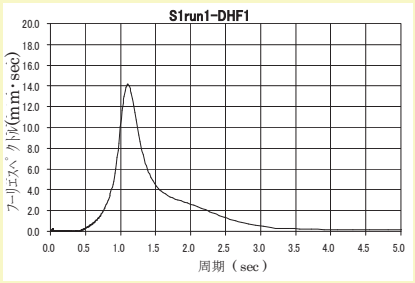
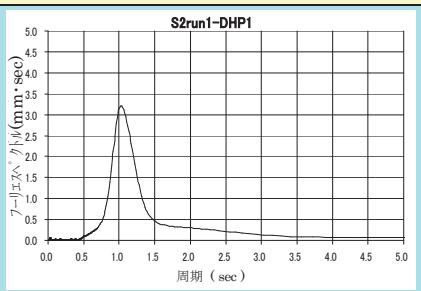
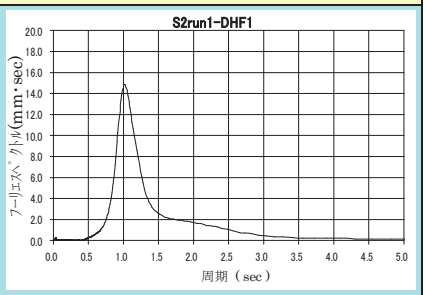
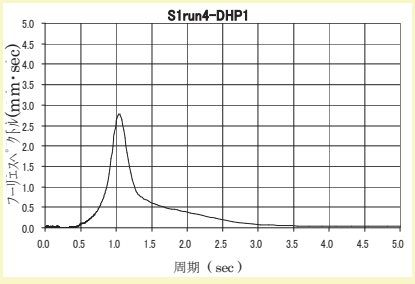
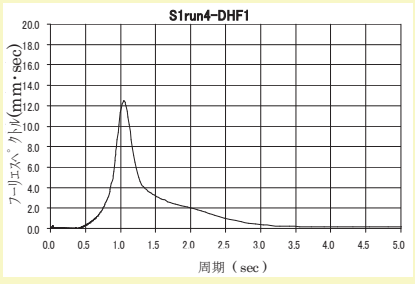
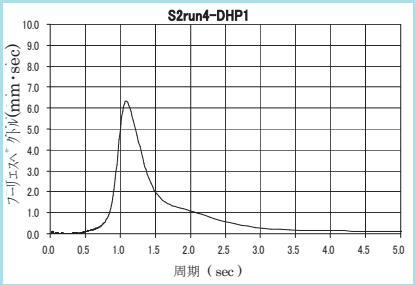
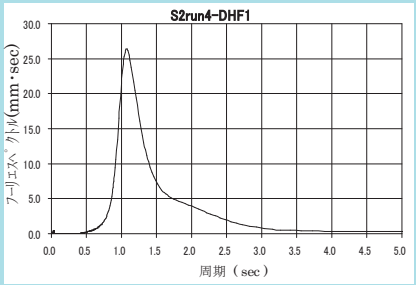
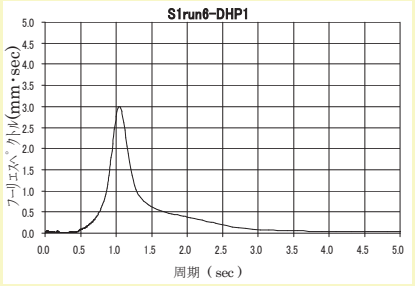
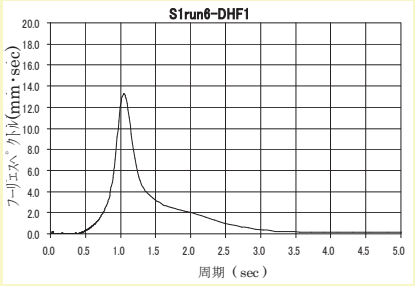
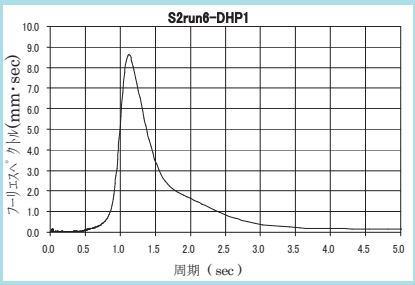
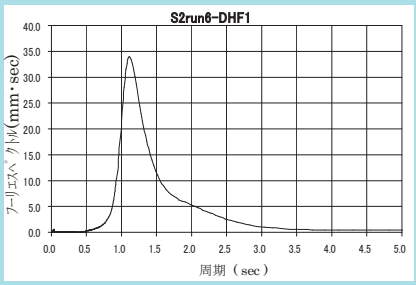
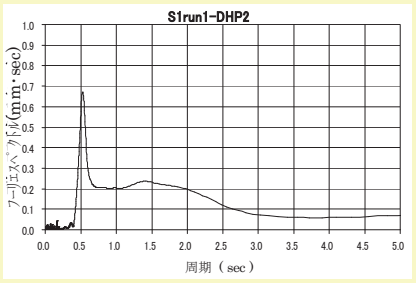
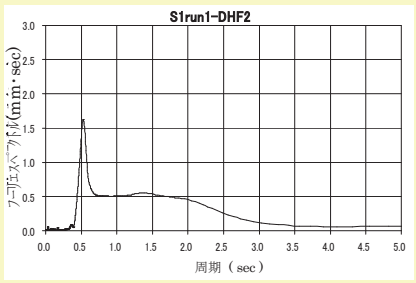
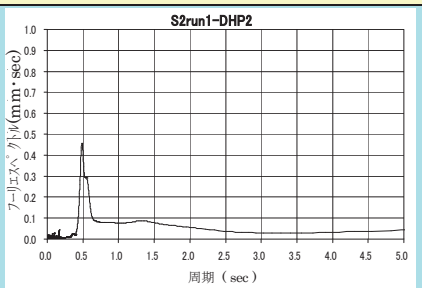
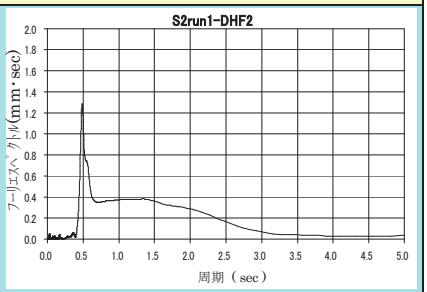
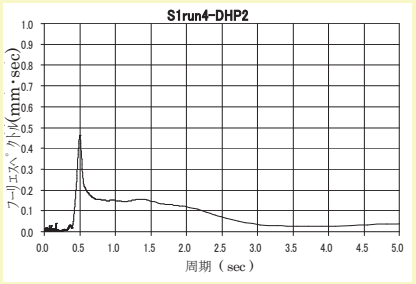
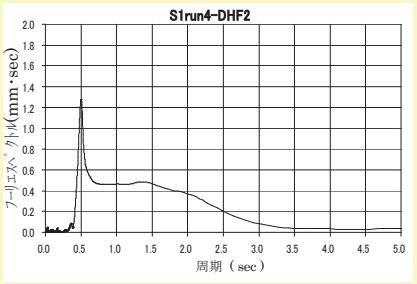
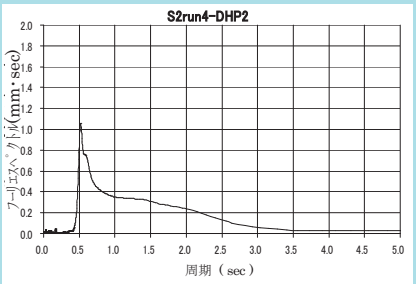
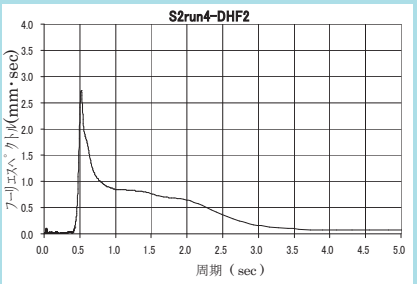
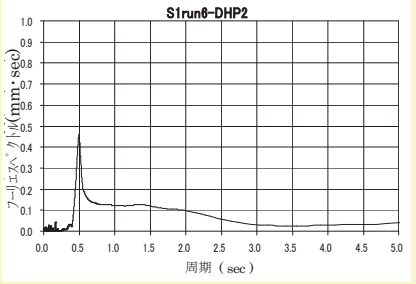
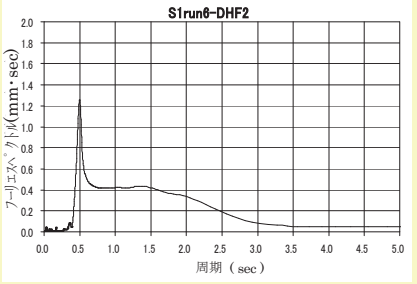
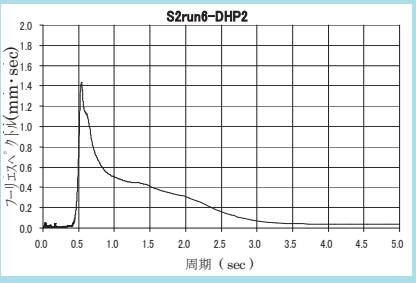
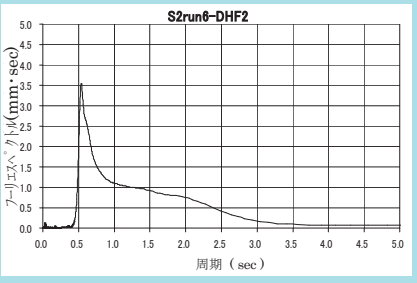
Run	Series	1 本柱	
		DHP1	DHF1
Run1	1(sand)	 1.107	 1.107
	2(clay)	 1.024	 1.101
Run4	1(sand)	 1.037	 1.050
	2(clay)	 1.092	 1.078
Run6	1(sand)	 1.050	 1.050
	2(clay)	 1.122	 1.107

表 5.3　スペクトル分析結果(その 3)

Run	Series	3 本中	
		DHP2	DHF2
Run1	1(sand)	0.529 	0.529 
	2(clay)	0.488 	0.488 
Run4	1(sand)	0.500 	0.503 
	2(clay)	0.518 	0.522 
Run6	1(sand)	0.497 	0.500 
	2(clay)	0.539 	0.539 

5.3 地盤反力度の最大分布

以下に示す各加振時において 1 本柱の杭及び 3 本柱の杭（中、右）に作用した地盤反力度に関して、最大値の深度方向分布図及び地際部の *p-y* 関係を示す。

加振ケースは以下のとおりである。

(1)Sin 波(単柱は Run2、3 本柱は Run3)

(2)Run5 L1 地震動相当

(3)Run7 L2 タイプⅡ地震動相当

ここで、最大値の深度方向分布図の縦軸 0m 位置は地際部を表しており、各深度の地盤反力度は全時刻の最大値をプロットしている。また、*p-y* 関係については、横軸を *D*(杭径)で無次元化しており、全時刻のループと最大地盤反力度が得られた時刻の前後の半ループずつをプロットしている。なお、本実験では、地中の変位を計測していないため、*p-y* 関係は地際部の変位を示している。

p-y 関係図を次頁以降に示し、以下に考察する。

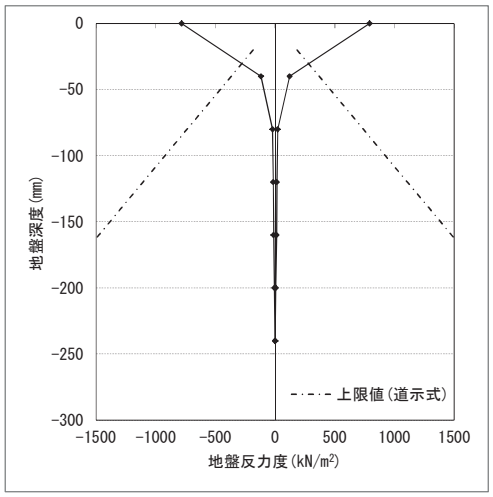
・砂地盤のケース、最大地盤反力度の深度分布において、地際に向けて地盤反力度が大きくなっているが、粘性土のケース、Sin 波、L1 地震波では 3 点目（-80mm）付近が 2 点目(-40mm)よりも地盤反力度が少し大きいなど、砂地盤に比べて地盤反力度 *p* は小さく、分布長も長い。

・3 本柱のケースにおいて、杭位置（中と右）で明確な差は見受けられない。すなわち、中と右で同様に地盤抵抗が生じたと考えられる。

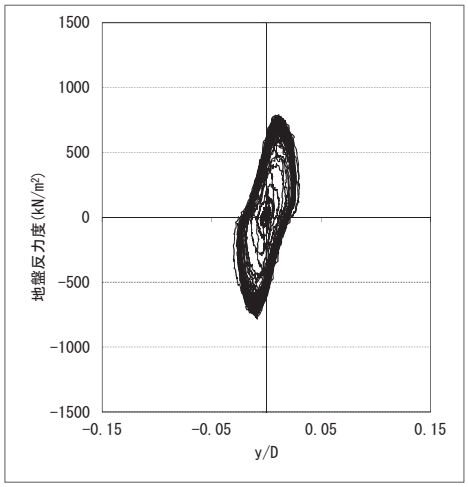
・粘性土の L2 地震においては、ある程度変位が増加した時点で地盤反力度 *p* が急増する。これは、杭と地盤の間に隙間が影響しているためと考えられる。

・砂地盤は、-40mm 以浅の位置で地盤反力度が H24 道示Ⅳの上限を超えている。実験完了後砂地盤と杭の間には隙間はなく、0.5*D* 程度のくぼみは確認されたが、隙間に砂が侵入し抵抗地盤として作用したと考えられる。

・粘性土は、Sin 波と L1 地震は、-40mm 以浅の位置で地盤反力度 *p* が H24 道示Ⅳの上限を超えているが、L2 地震は-40mm 以深も超えている（杭径の 3 倍程度以下は弾性域）。粘性土は実験完了時、杭との間に空隙は確認されたものの、崩壊には至っていない。

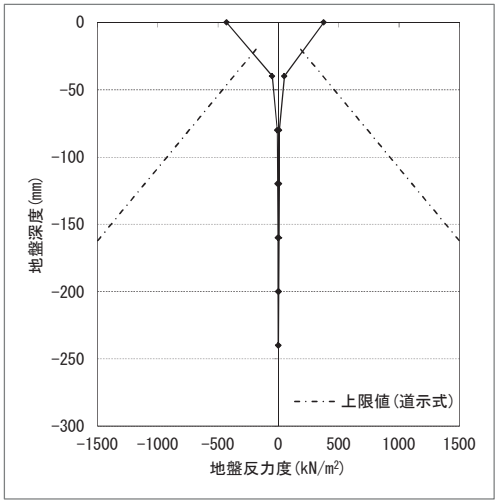


深度分布

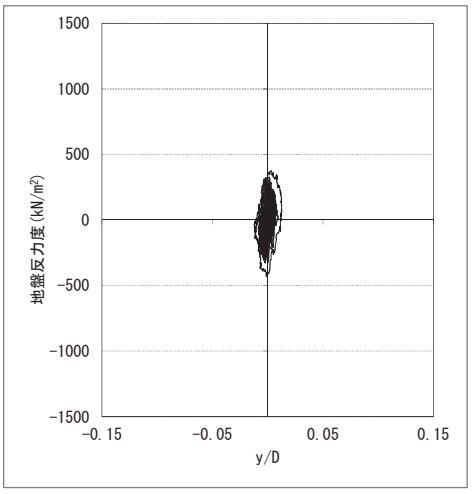


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run2 Sin 波

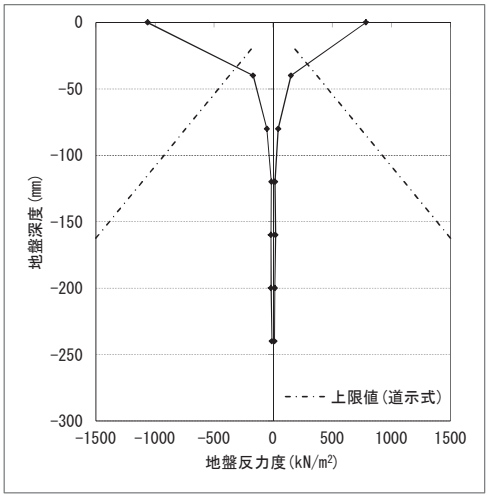


深度分布

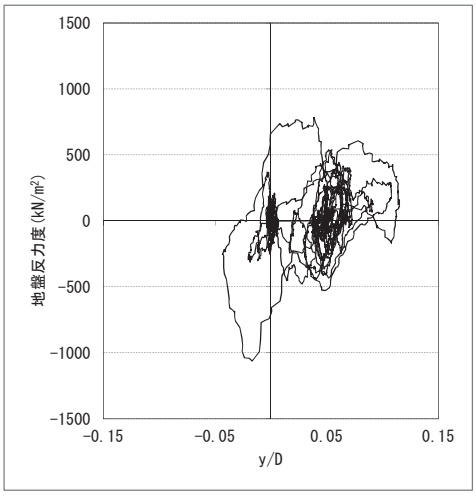


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run5 L1 地震



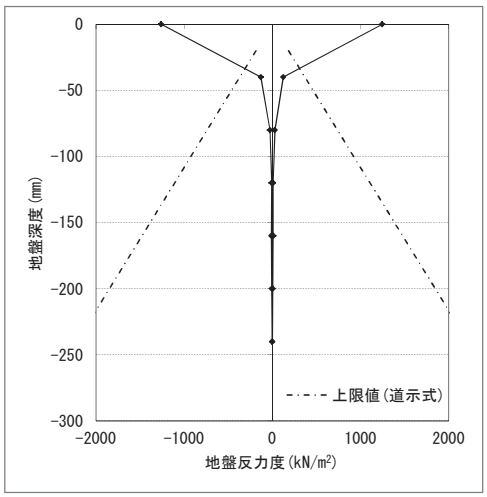
深度分布

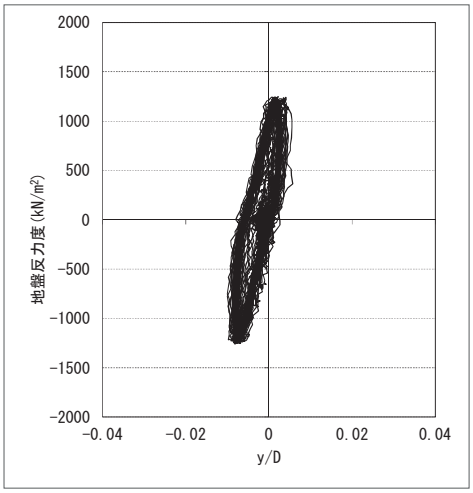


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run7 L2 地震

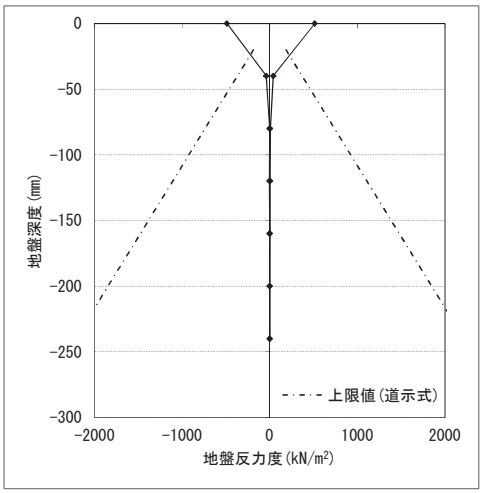
図 5.2　1 本柱-砂地盤

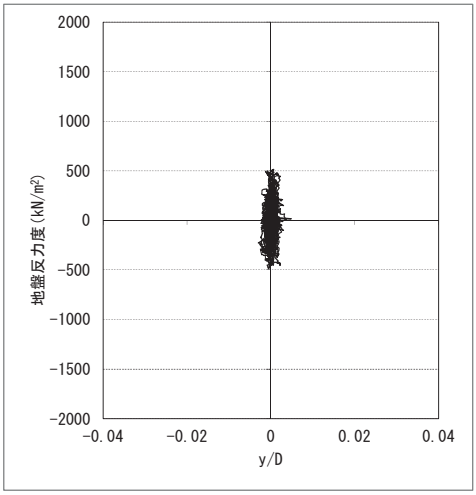




深度分布	*p-y* 関係(地際部-全時刻)

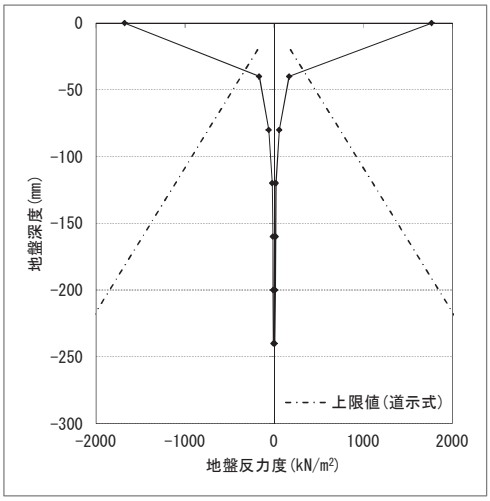
Run3 Sin 波

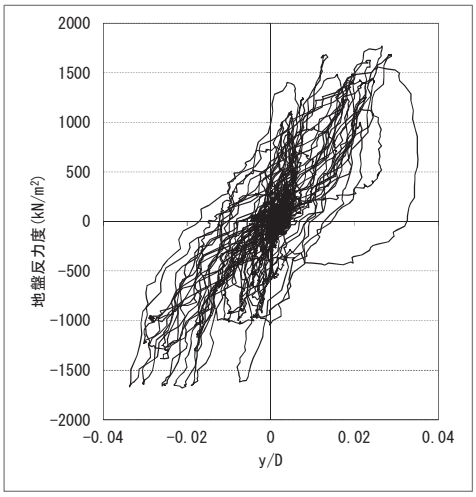




深度分布	*p-y* 関係(地際部-全時刻)

Run5 L1 地震

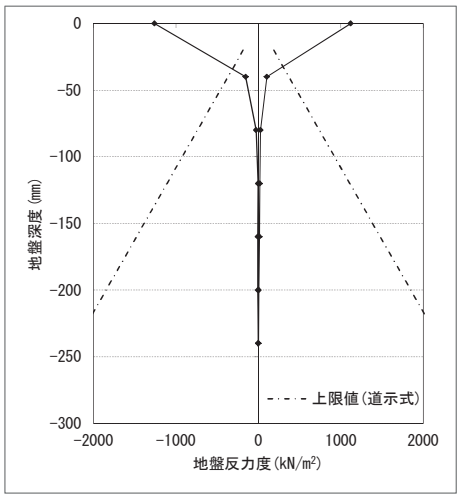




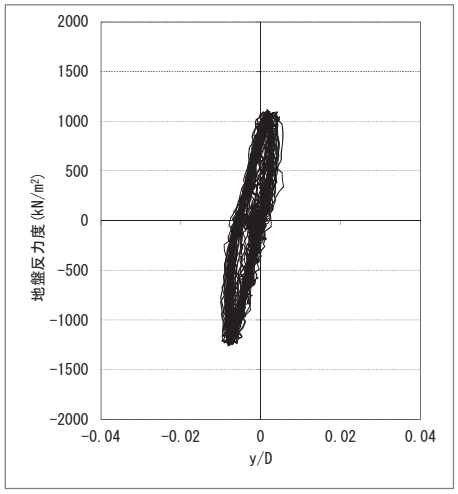
深度分布	*p-y* 関係(地際部-全時刻)

Run7 L2 地震

図 5.3　3 本柱(中)-砂地盤

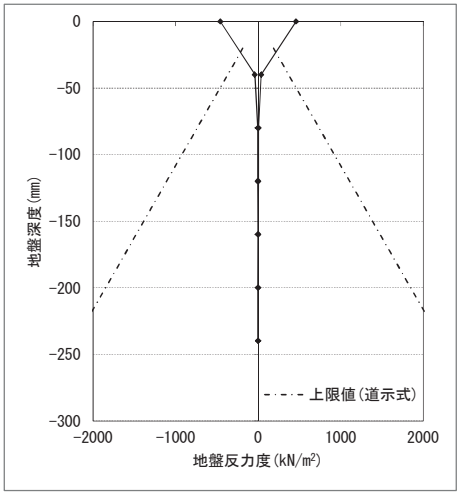


深度分布

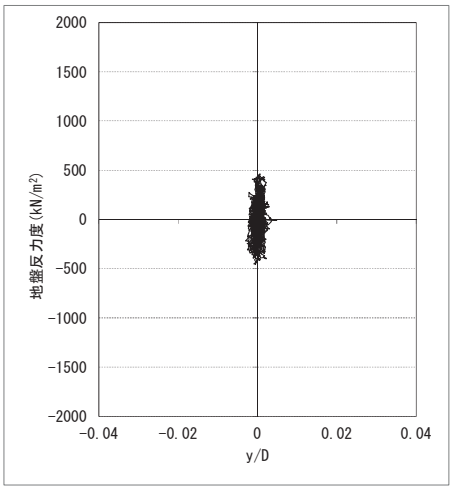


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run3 Sin 波

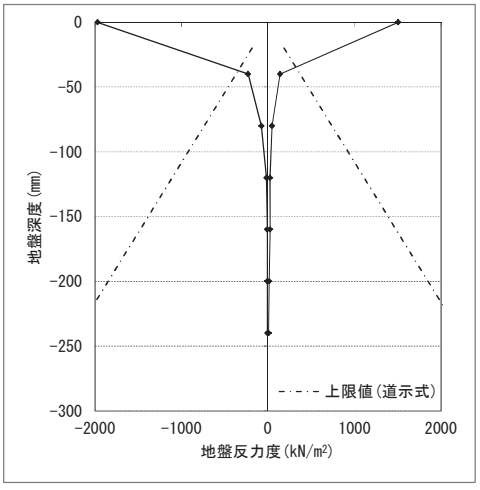


深度分布

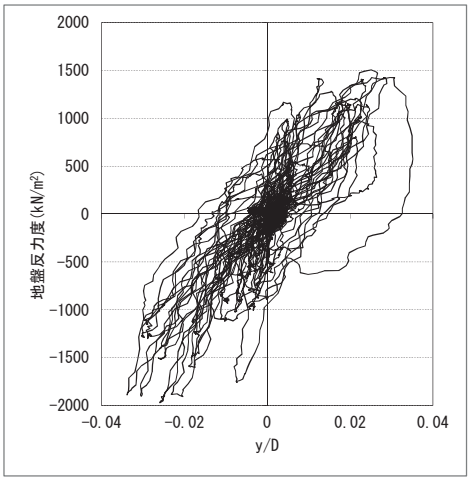


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run5 L1 地震



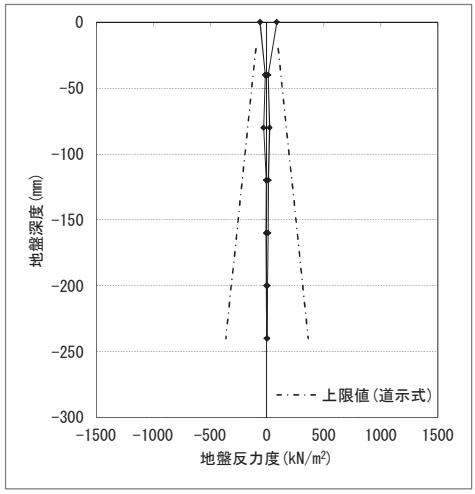
深度分布



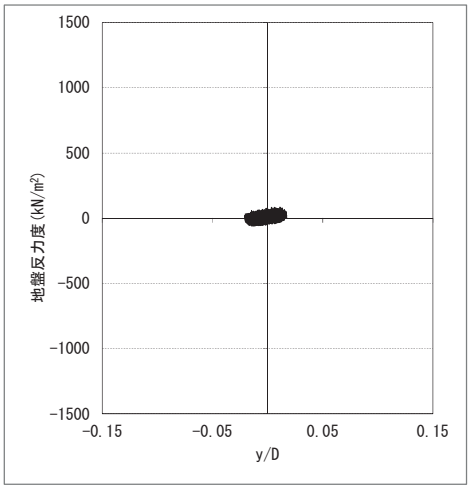
p-y 関係(地際部-全時刻)

Run7 L2 地震

図 5.4　3 本柱(右)-砂地盤

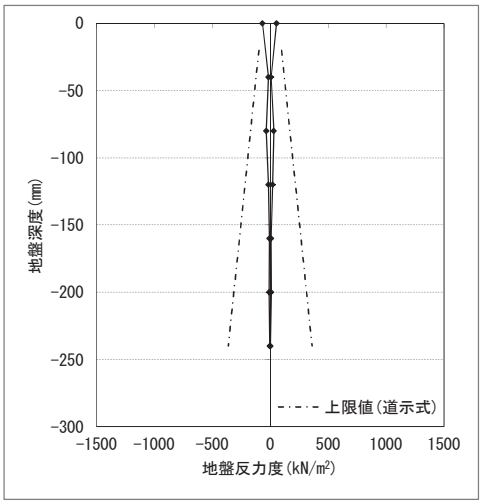


深度分布

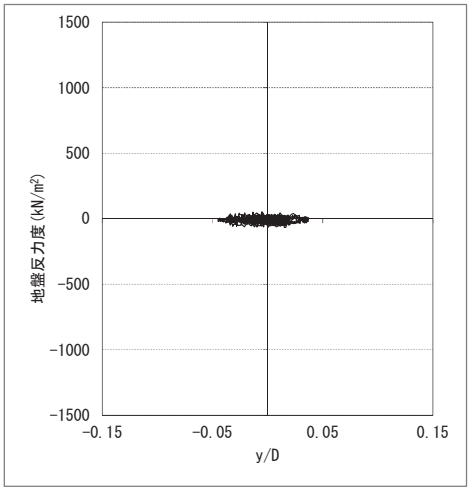


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run2 Sin 波

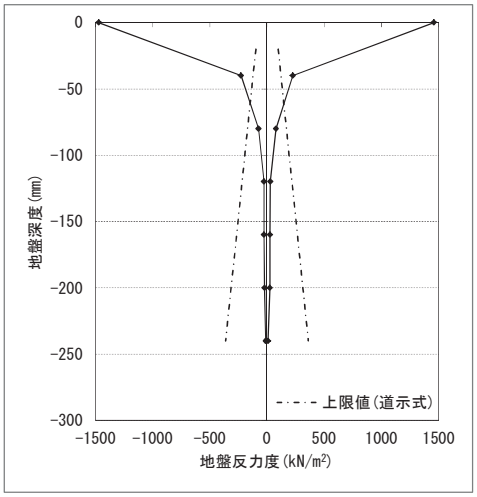


深度分布

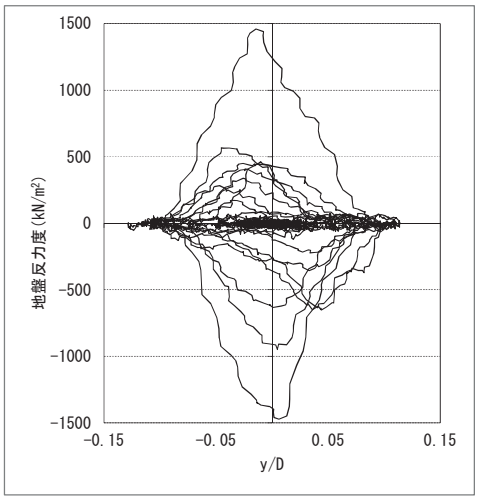


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run5 L1 地震



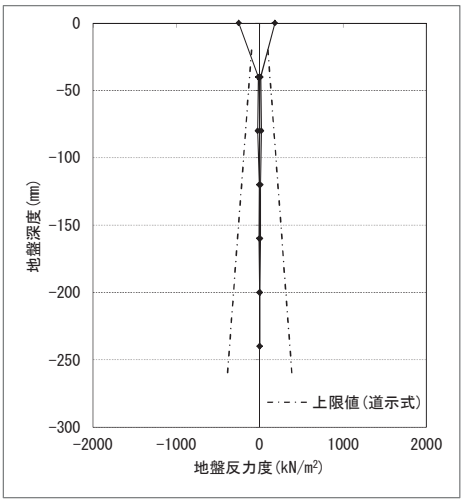
深度分布



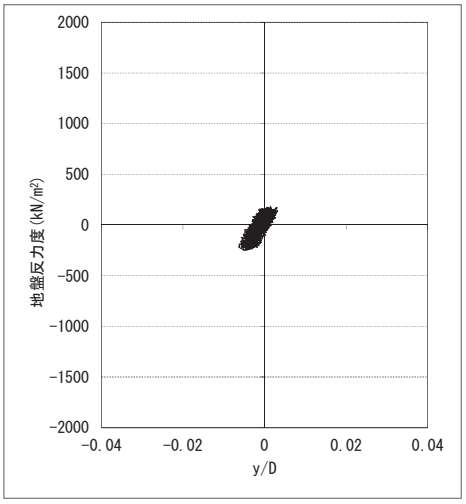
p-y 関係(地際部-全時刻)

Run7 L2 地震

図 5.5　1 本柱-粘土地盤

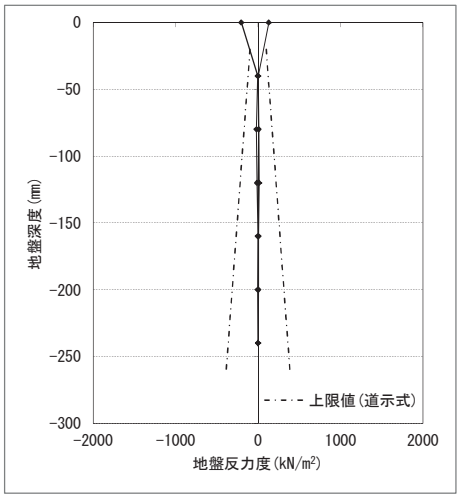


深度分布

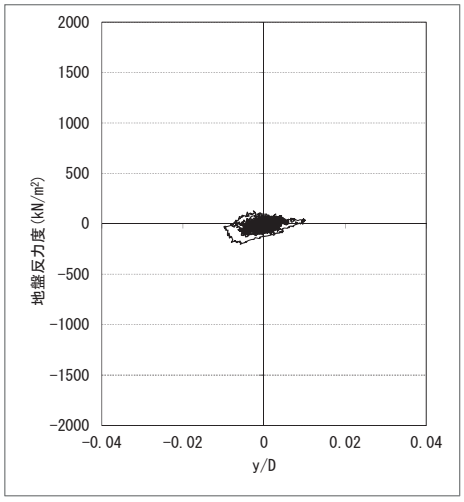


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run3 Sin 波

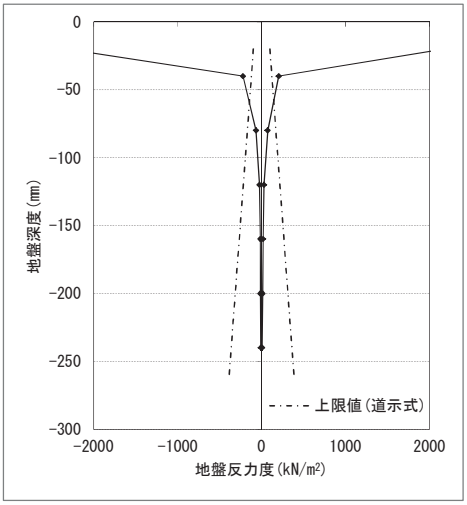


深度分布

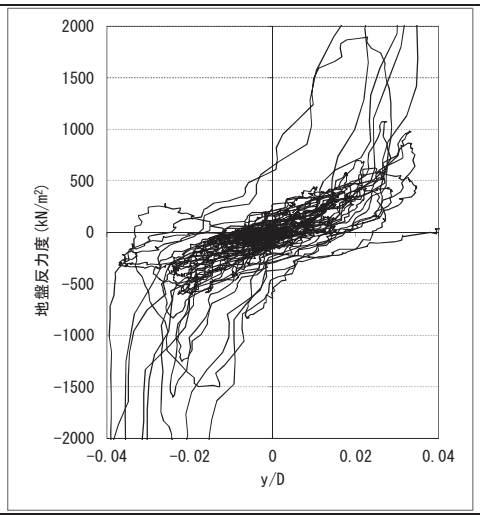


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run5 L1 地震



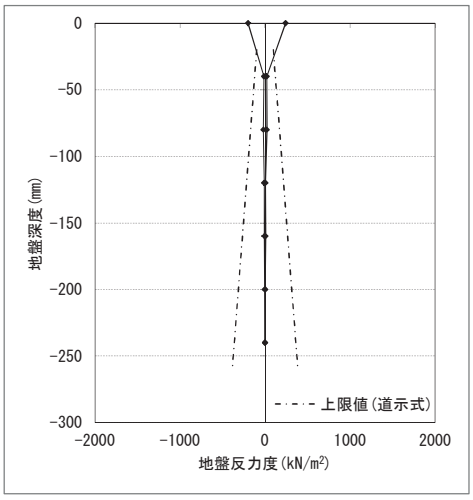
深度分布



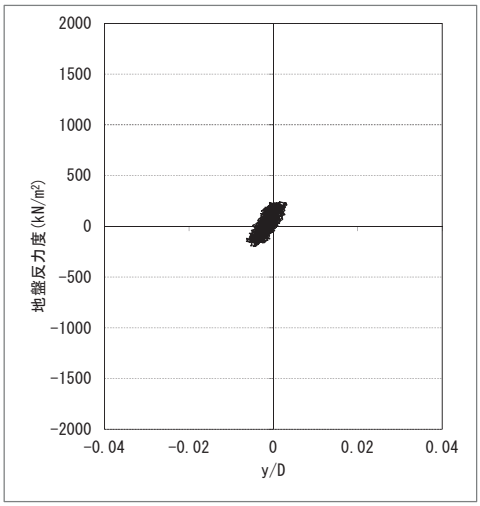
p-y 関係(地際部-全時刻)

Run7 L2 地震

図 5.6　3 本柱(中)-粘土地盤

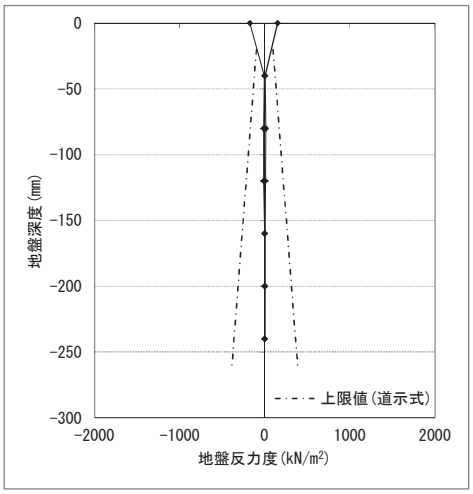


深度分布

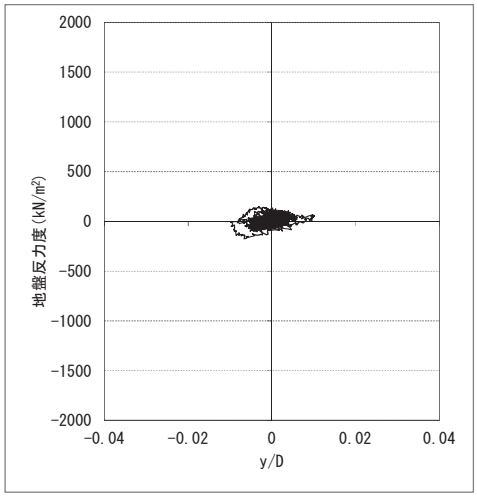


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run3 Sin 波

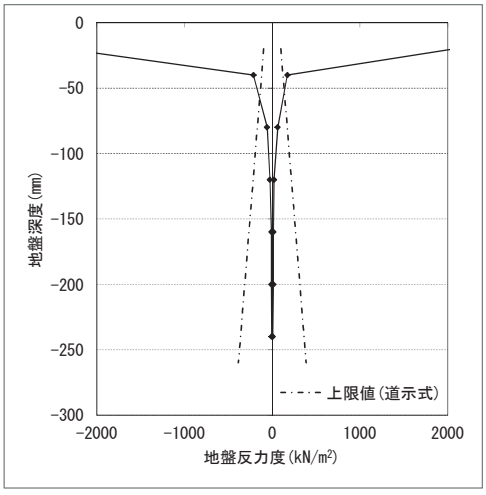


深度分布

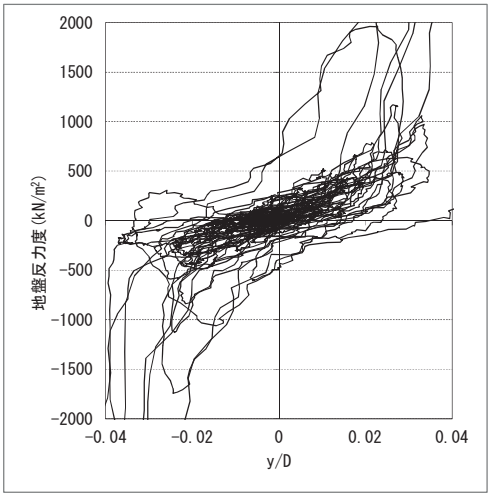


p-y 関係(地際部-全時刻)

Run5 L1 地震



深度分布



p-y 関係(地際部-全時刻)

Run7 L2 地震

図 5.7　3 本柱(右)-粘土地盤

次に、地際部の地盤反力度最大時付近の *p-y* 関係の他に、その前後の適当な STEP における *p-y* 関係についても示した。次ページ以降に *p-y* 関係を示す。

・砂地盤の 1 本柱の Run2 Sin 波においては、各ステップで明確な違いは無い。
・砂地盤の 1 本柱の Run5 L1 地震については、最大時のループがその後のステップのループを全体的に包括している。
・砂地盤の 1 本柱の Run7 L2 地震については、最大時とその前後のステップにおいて、最大時のループがその後のステップのループを全体的に包括している。ただし、最大時よりも後のケースについては、残留変位が生じている。
・砂地盤の 3 本柱の Run3 Sin 波においては、中杭と右杭での違いは微小である。全体的にグラフの第 3 象限にシフトしている。
・砂地盤の 3 本柱の Run5 L1 地震においては、中杭と右杭での違いは微小である。
・砂地盤の 3 本柱の Run7 L2 地震においては、中杭と右杭での違いは微小である。地盤反力度 H24 道示 IVが最大時の時は、線形よりの挙動をしているが、その前のステップにおいては、ループを描いている。
・粘土地盤の 1 本柱の Run2 Sin 波においては、各ステップで明確な違いは無い。
・粘土地盤の 1 本柱の Run5 L1 地震については、最大時のループがその前後のステップのループを全体的に包括している。
・粘土地盤の 1 本柱の Run7 L2 地震については、最大時と最小時のループが対称の形状であり、変位が 0 の時に地盤反力度が最大・最小を示している。
・粘土地盤の 3 本柱の Run3 Sin 波については、中杭と右杭が砂地盤に比べて少しずれが生じている。
・粘土地盤の 3 本柱の Run5 L1 地震においては、中杭と右杭での違いは微小である。
・粘土地盤の 3 本柱の Run7 L2 地震においては、ループが線形よりの挙動である。

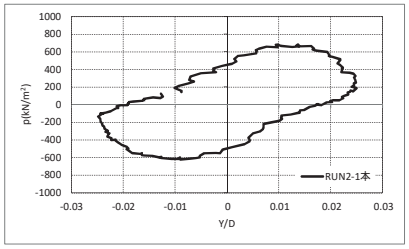
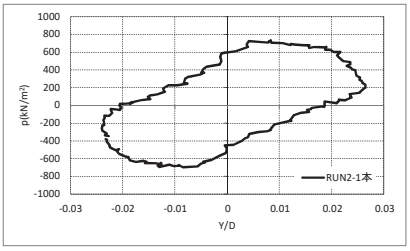
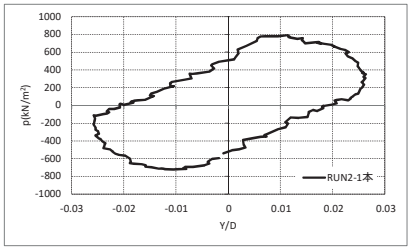
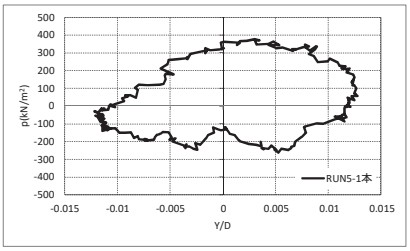
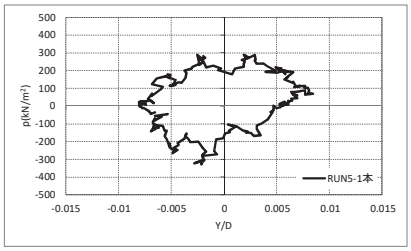
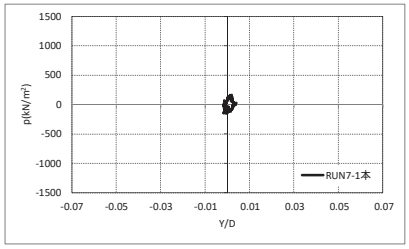
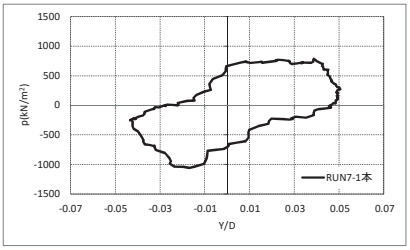
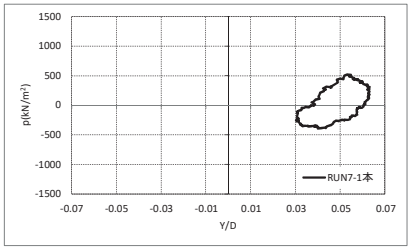
		
4000~4171step	8000~8171step(地盤反力最大)	12000~12171step
Run2 Sin 波		
		
	1417~1639step(地盤反力最大)	2744~2939step
Run5 L1 地震		
		
1170~1365step	2000~2165step(地盤反力最大)	4010~4185step
Run7 L2 地震		

図 5.8　1 本柱-砂地盤

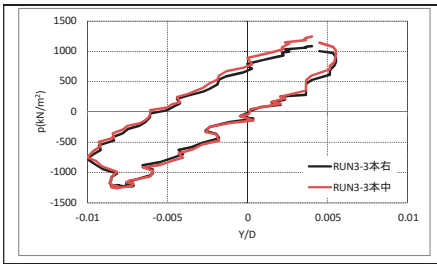
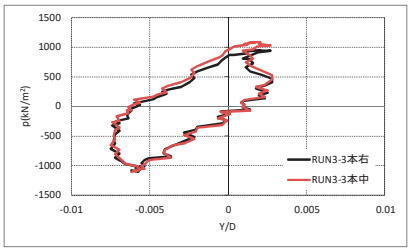
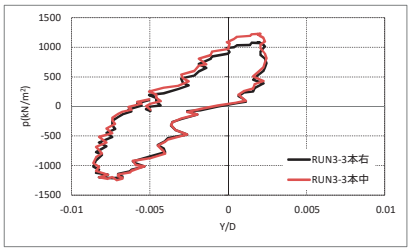
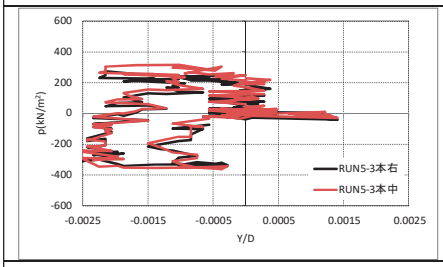
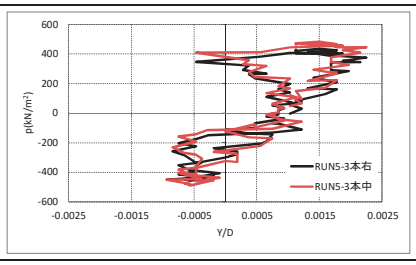
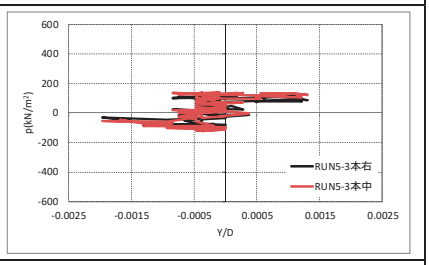
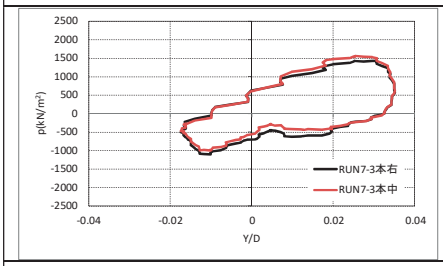
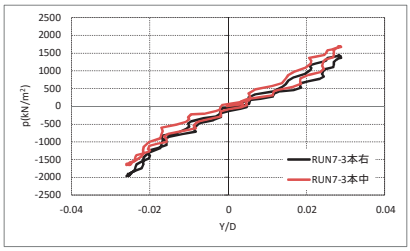
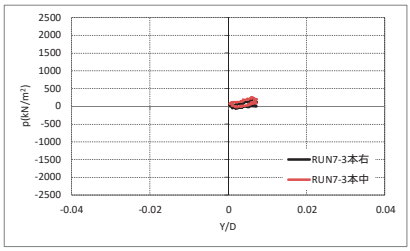
		
1500~1588step	2000~2089step(地盤反力最大)	6000~6095step
Run3 Sin 波		
		
1199~1357step	3459~3540step(地盤反力最大)	5559~5650step
Run5 L1 地震		
		
2059~3859step	3749~3859step(地盤反力最大)	4574~4635step
Run7 L2 地震		

図 5.9　3 本柱-砂地盤

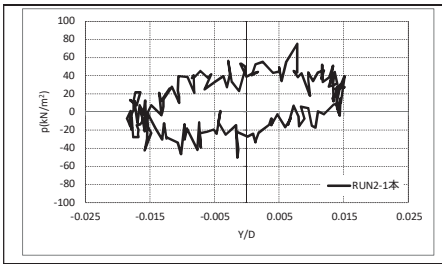
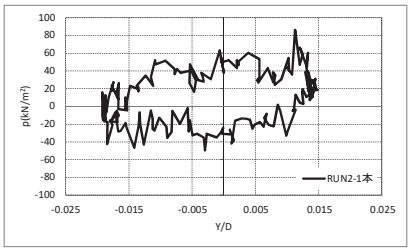
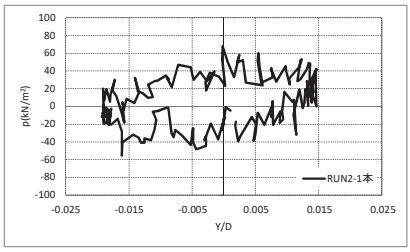
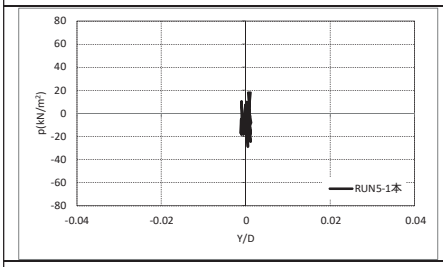
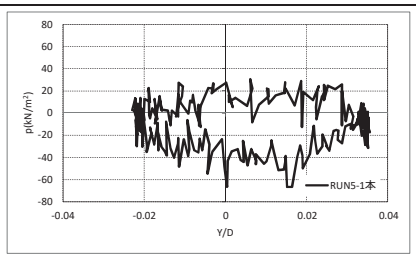
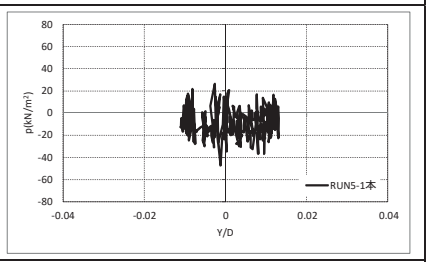
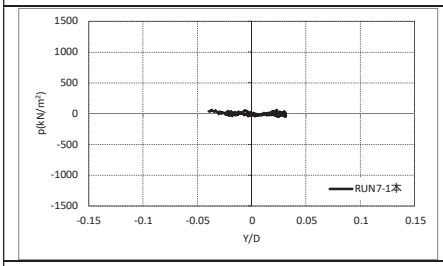
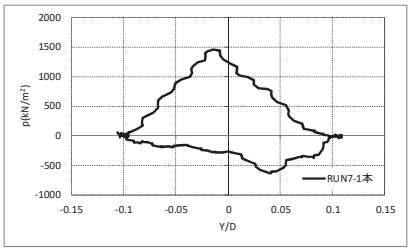
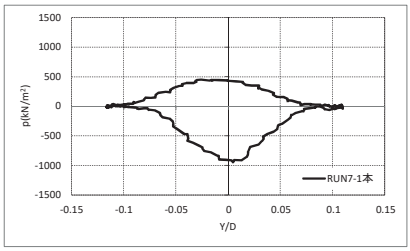
		
2629~2802step	5629~5803step(地盤反力最大)	10629~10803step
Run2 Sin 波		
		
621~670step	1321~1569step(地盤反力最大)	5321~5569step
Run5 L1 地震		
		
1501~1815step	2100~2314step(地盤反力最大)	3399~3649step
Run7 L2 地震		

図 5.10　1 本柱-粘土地盤

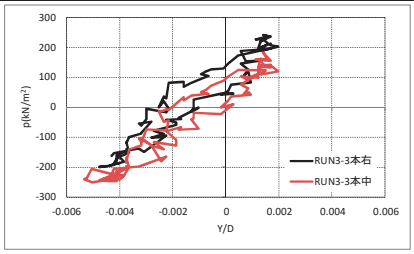
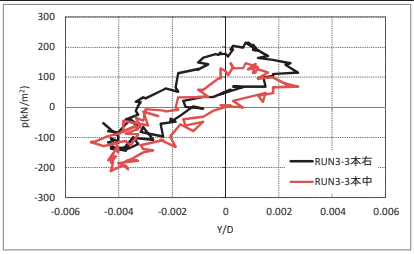
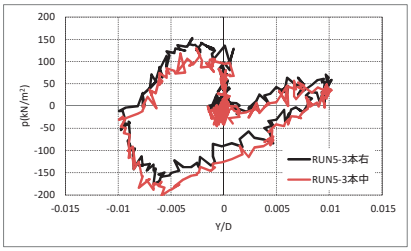
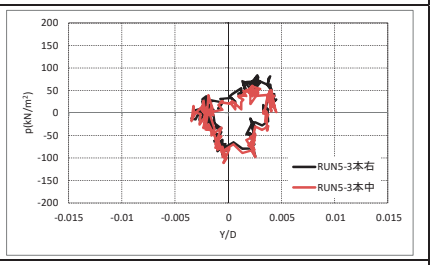
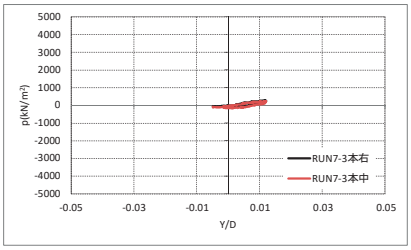
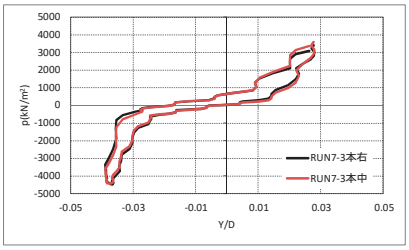
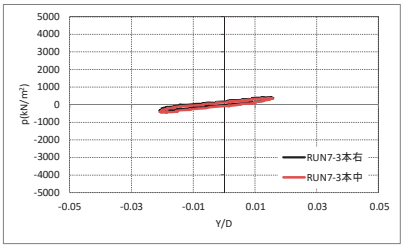
		
	1454~1556step(地盤反力最大)	5454~5556step
Run3 Sin 波		
		
	1149~1459step(地盤反力最大)	3709~3869step
Run5 L1 地震		
			
1652~1739step	2152~2239step(地盤反力最大)	3119~3239step
Run7 L2 地震		

図 5.11　3 本柱-粘土地盤

5.4　時刻歴応答変位

Run毎に観測した上部工と下部工の時刻歴応答変位（実測値）と加速度から求めた2階積分値の比較結果を次頁以降に示す。なお、赤〇印は、当該頁で示す計測点を示す（次頁以降同様）。

また、本頁以降、単柱の鉛直方向の加速度AFV1と水平方向の加速度AF1を比較した時、鉛直加速度AFV1の方が大きい結果となった。本実験では水平方向に加振しているため、水平方向の加速度が大きく出ると予測されたが、実験で得られた結果は本頁以降に示すとおり大小関係は逆転しており、原因は不明である。以上より単柱実験で確認された加速度値は参考値扱いとする。

Series1　Run2 Sin wave1

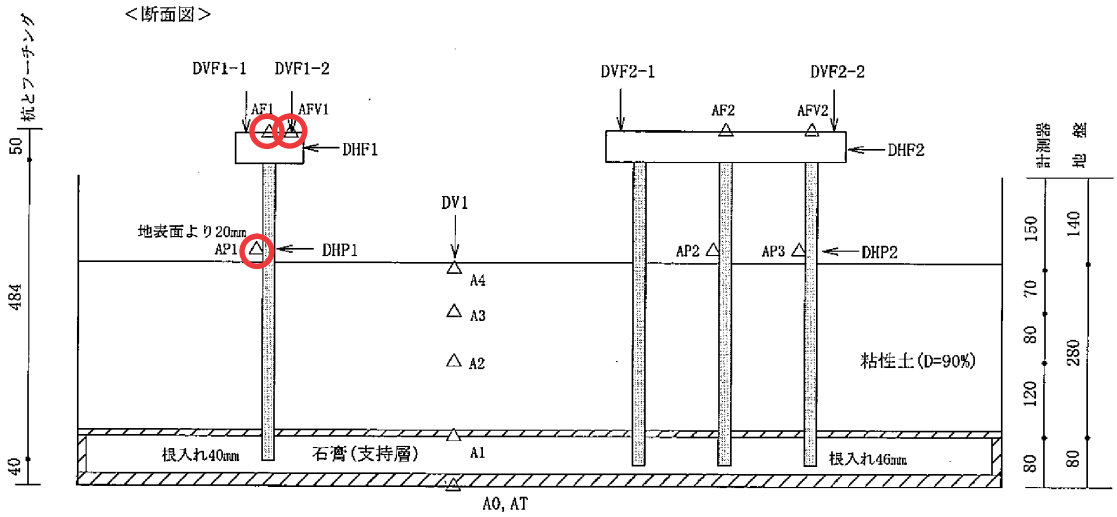
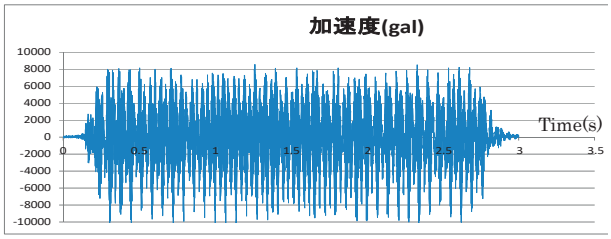
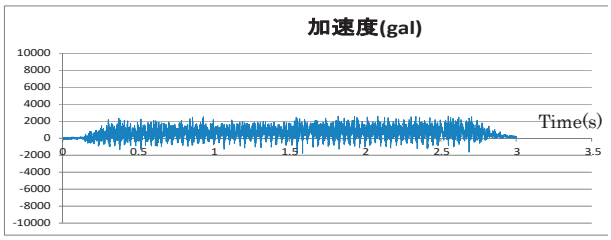


図 5.12　Series1 Run2 Sin wave1 1 本柱における加速度計測位置

AFV1（参考値）



AF1（参考値）



AP1

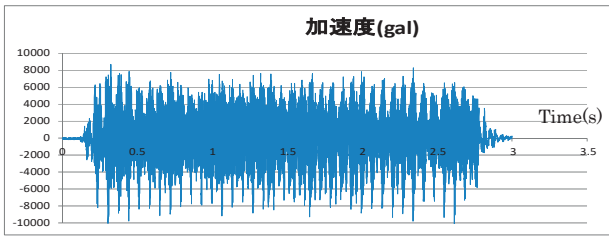


図 5.13　Series1 Run2 Sin wave1 1 本柱の実測値における時刻歴応答加速度

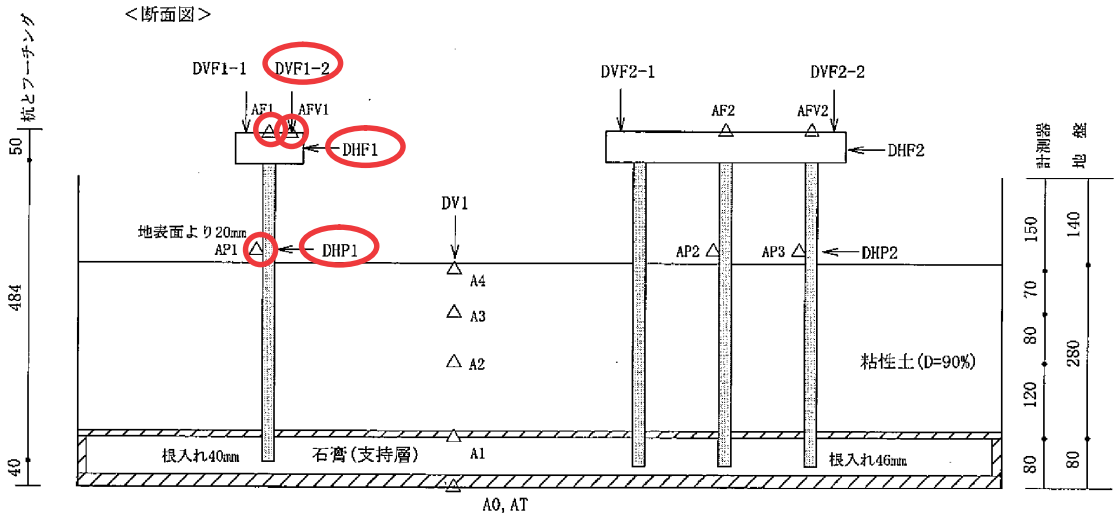
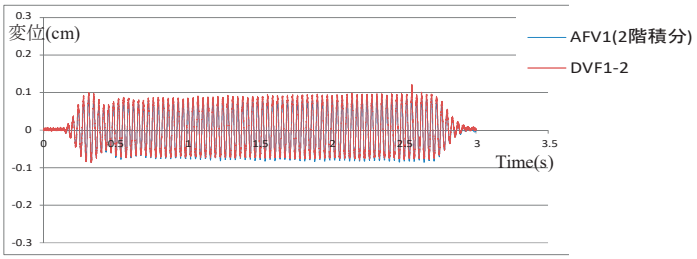
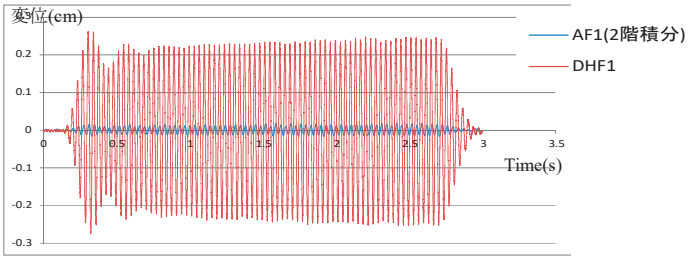


図 5.14　Series1 Run2 Sin wave1 1 本柱における加速度と変位の計測位置

DVF1-2 と AFV1（2 階積分値は参考値）



DHF1 と AF1（2 階積分値は参考値）



DHP1 と AP1（2 階積分）

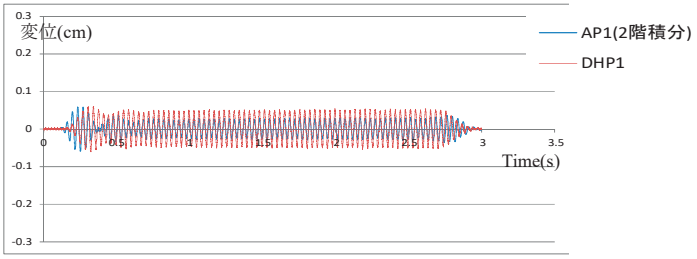


図 5.15　Series1 Run2 Sin wave1 1 本柱における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 地際部の変位は杭径の 3%程度発生している（杭径の 1%=0.2mm，最大変位=0.6mm(杭径の 3%)）。

② 上部工の鉛直変位は 1mm 程度生じており、上部工の回転運動が確認出来る。またその時、実測値と 2 階積分値は近似している。

③ 上部工の水平変位は 2.5mm 程度生じている。

④ 地際の変位については、加速度の 2 階積分値と近似している。

Series1　Run3 Sin wave2

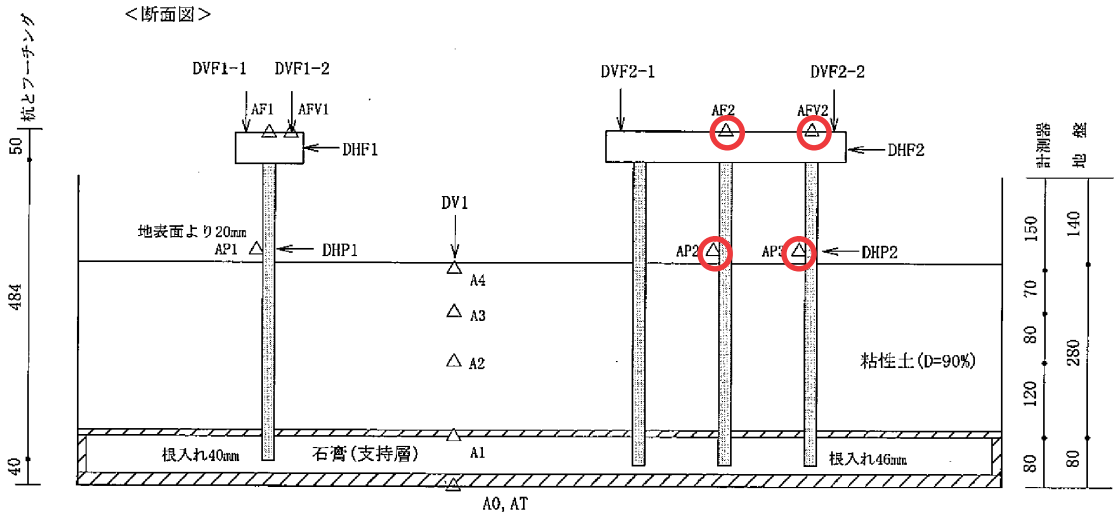
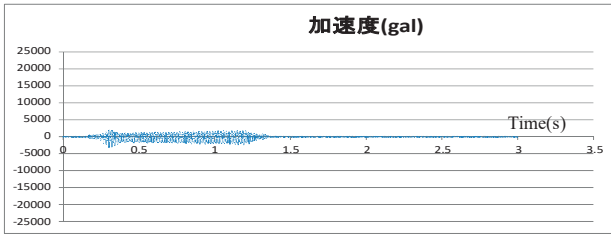
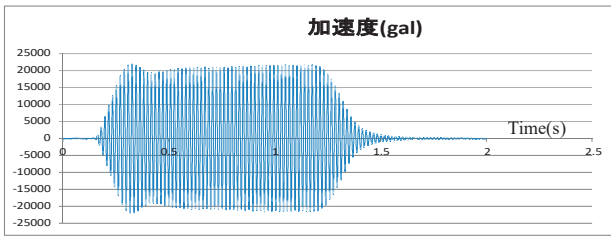


図　5.16　Series1 Run3 Sin wave2 3 本柱における加速度計測位置

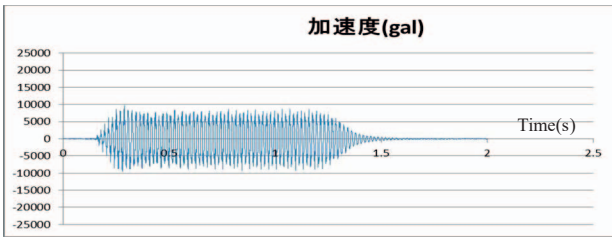
AFV2



AF2



AP2



AP3

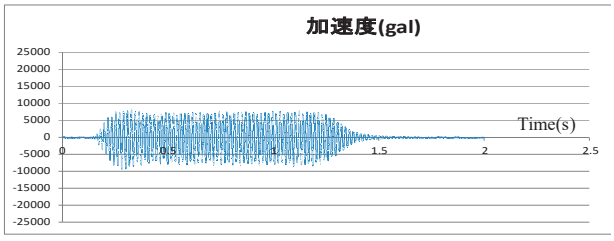


図　5.17　　Series1 Run3 Sin wave2 3 本柱の実測値における時刻歴応答加速度

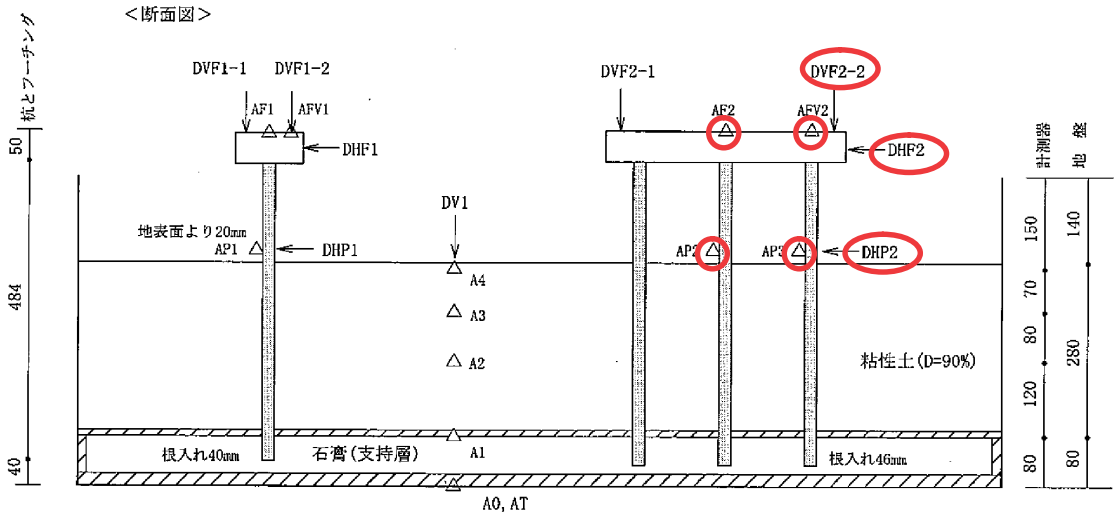
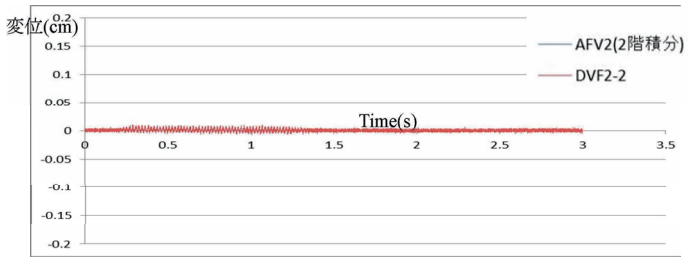
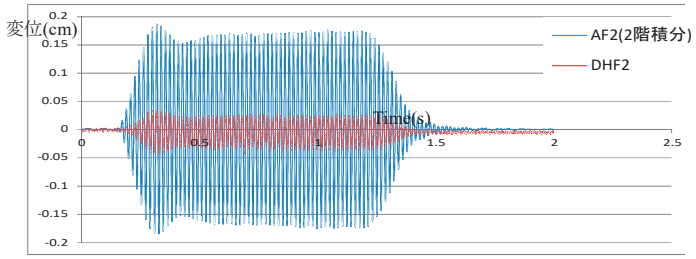


図 5.18　Series1 Run3 Sin wave2 3 本柱における加速度と変位の計測位置

DVF2-2 と AFV2（2 階積分）



DHF2 と AF2（2 階積分）



DHP2 と AP2（2 階積分）と AP3（2 階積分）

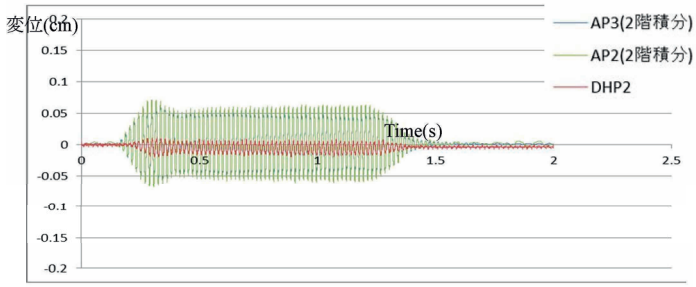


図 5.19　Series1 Run3 Sin wave2 3 本柱における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 地際部杭の水平変位は、杭径の 1%程度(0.2mm)程度の変位が生じている。

② 上部工の水平変位は最大で 0.4mm 程度と地際部の杭の変位の 2 倍程度しか生じていない。

③ 上部工、杭の水平変位については、計測された加速度の 2 階積分値により出した水平変位は、計測された実測変位よりも大きい。

④ 上部工の鉛直変位はほとんど生じていない。

Series1　Run5 L1

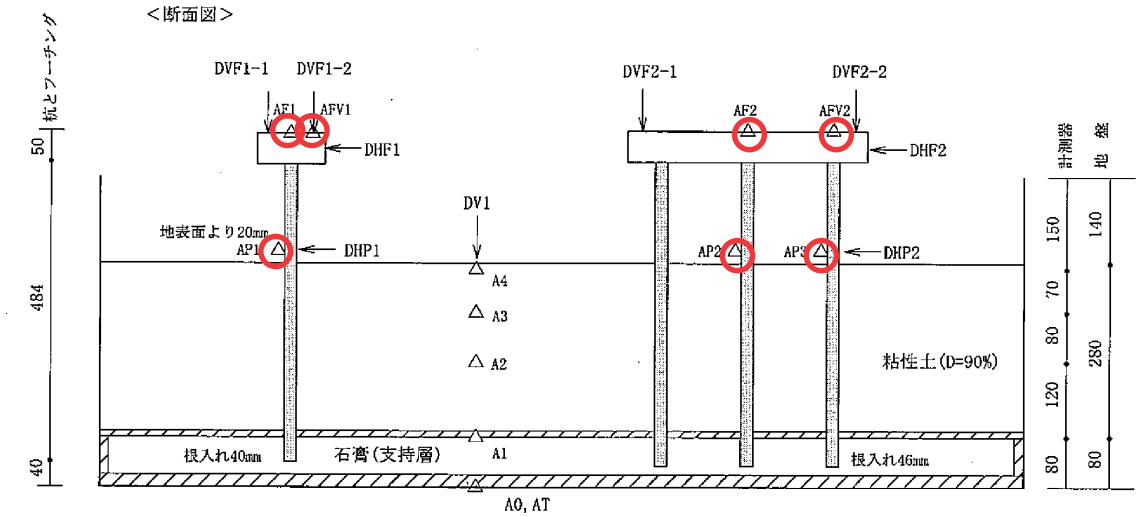
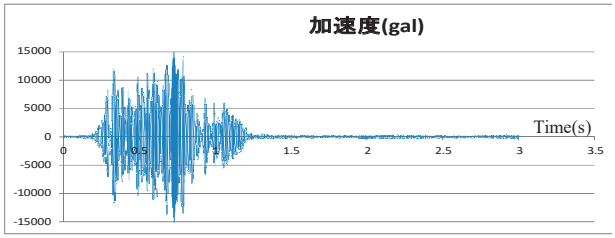
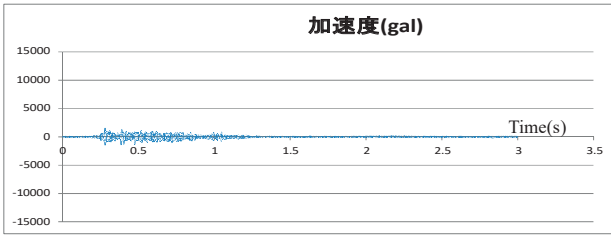


図　5.20　Series1 Run5 L1 における加速度計測位置

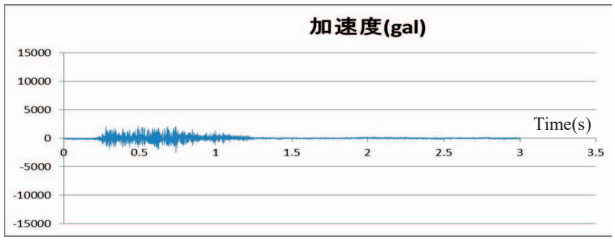
AFV1（参考扱い）



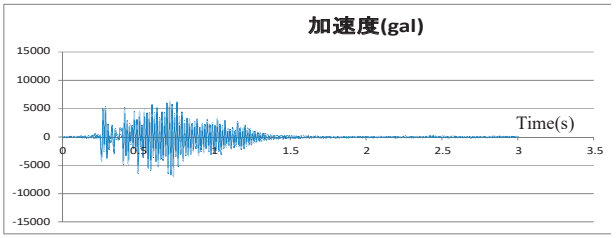
AFV2



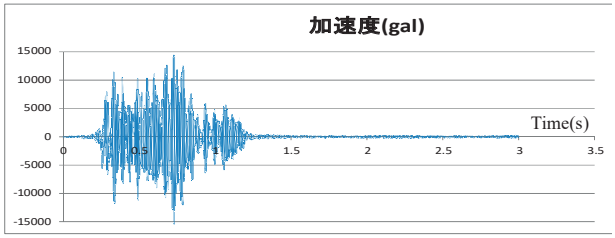
AF1（参考扱い）



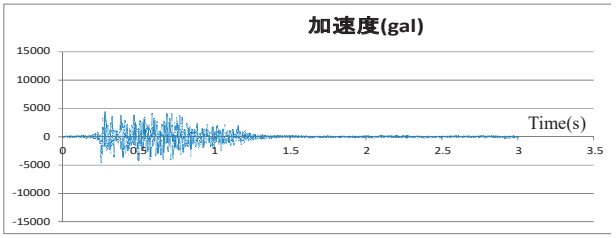
AF2



AP1



AP2



AP3

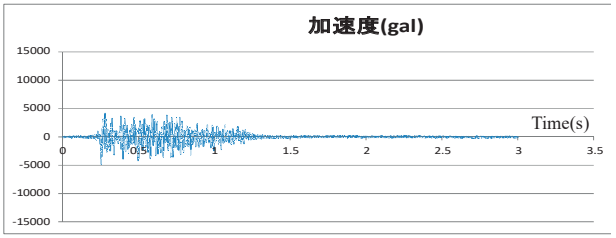


図　5.21　　Series1 Run5 L1 実測値における時刻歴応答加速度

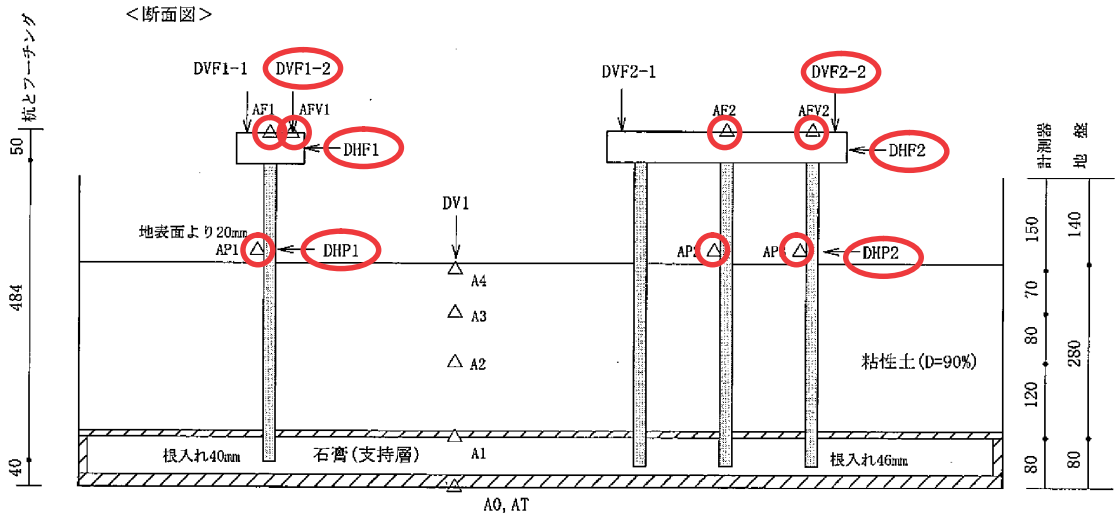
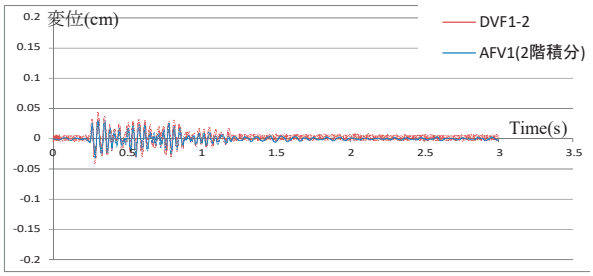
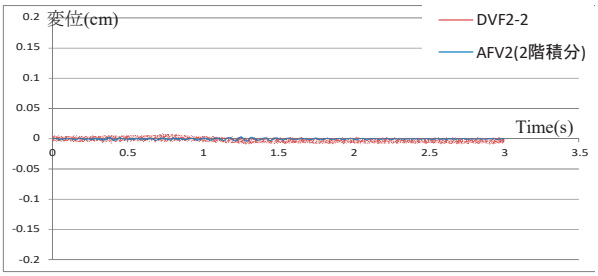


図 5.22　Series1 Run5 L1 における加速度と変位の計測位置

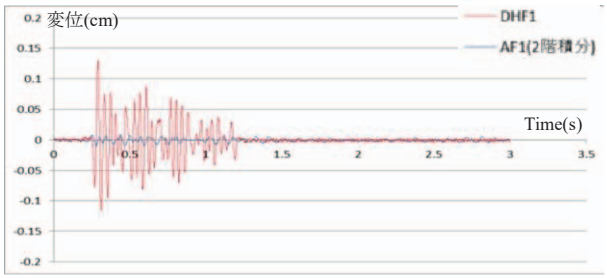
DVF1-2 と AFV1（2 階積分・参考値）



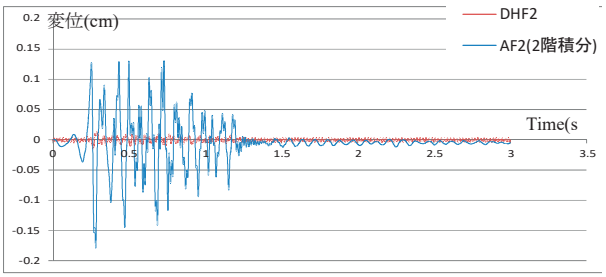
DVF2-2 と AFV2（2 階積分）



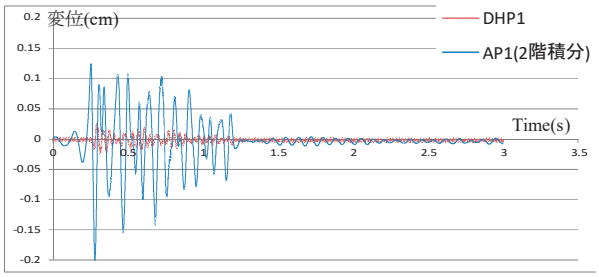
DHF1 と AF1（2 階積分・参考値）



DHF2 と AF2（2 階積分）



DHP1 と AP1（2 階積分）



DHP2 と AP2（2 階積分）と AP3（2 階積分）

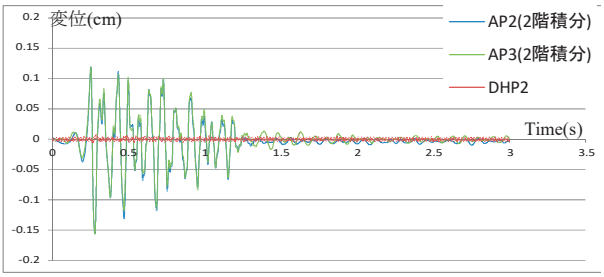


図 5.23　Series1 Run5 L1 における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 単柱の水平方向変位の最大値は、上部工 1.3mm、地際部杭 0.2mm 程度（杭径 1%程度）である。

② 3 本柱の水平方向変位の最大値は、上部工 0.14mm 程度、地際部杭 0.07mm 程度と単柱に比べて非常に小さい。

③ 加速度から 2 階積分により推定した変位は、実測値と比べて大きい。

Series1　Run7 L2

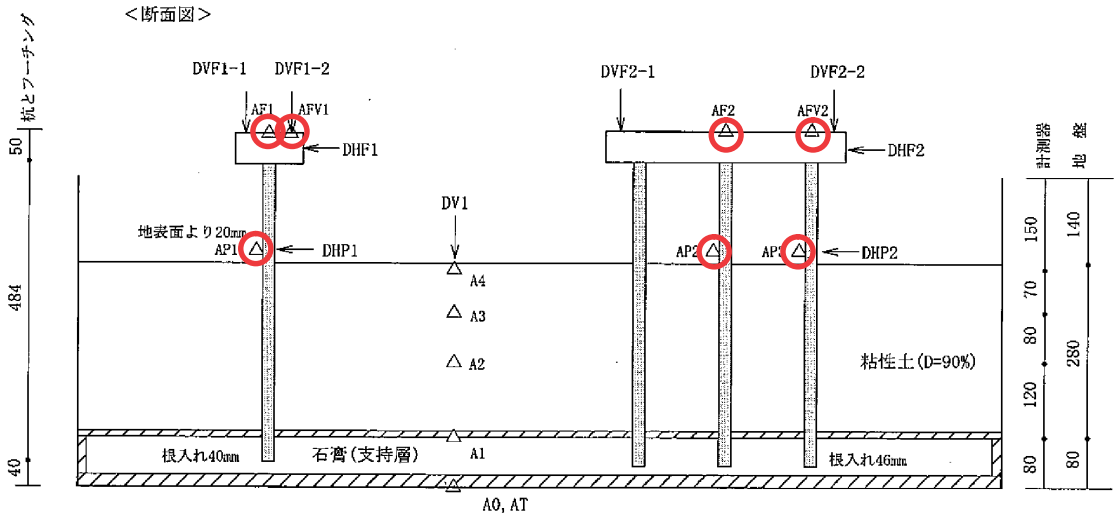
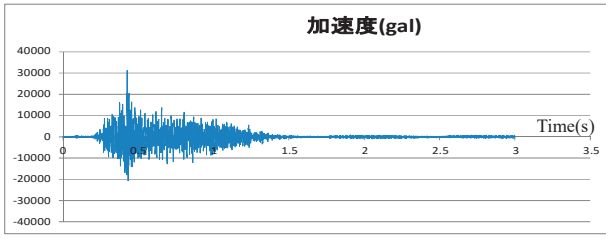
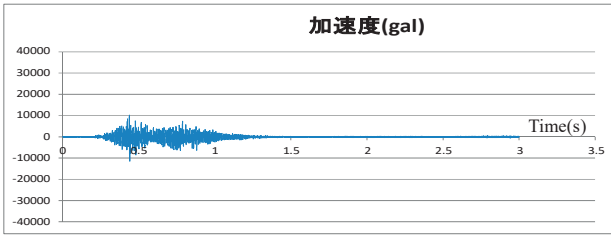


図　5.24　Series1 Run7 L2 における加速度計測位置

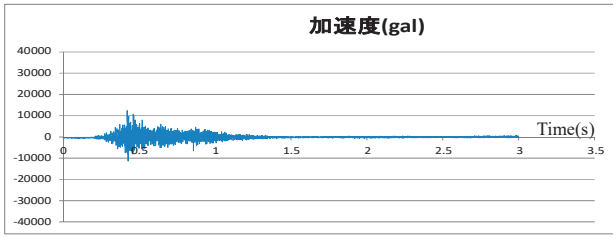
AFV1・参考扱い



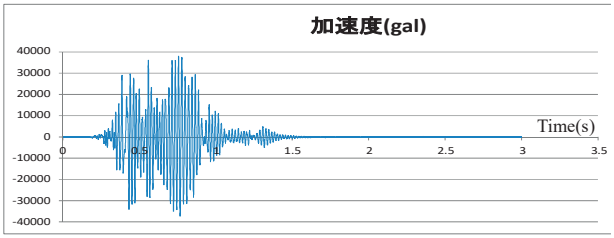
AFV2



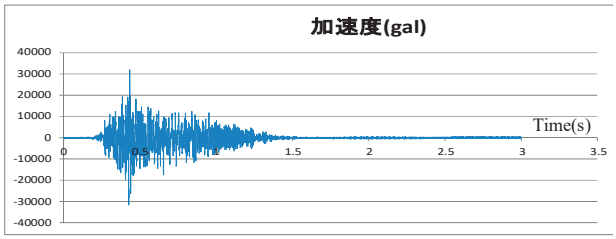
AF1・参考扱い



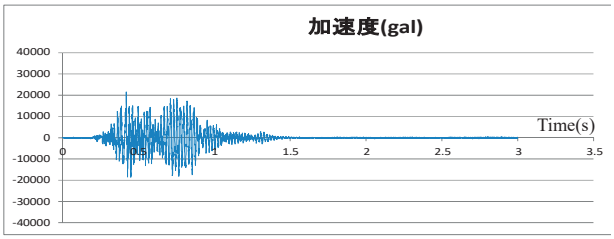
AF2



AP1



AP2



AP3

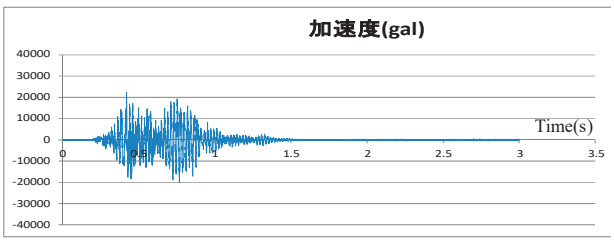


図　5.25　　Series1 Run7 L2 実測値における時刻歴応答加速度

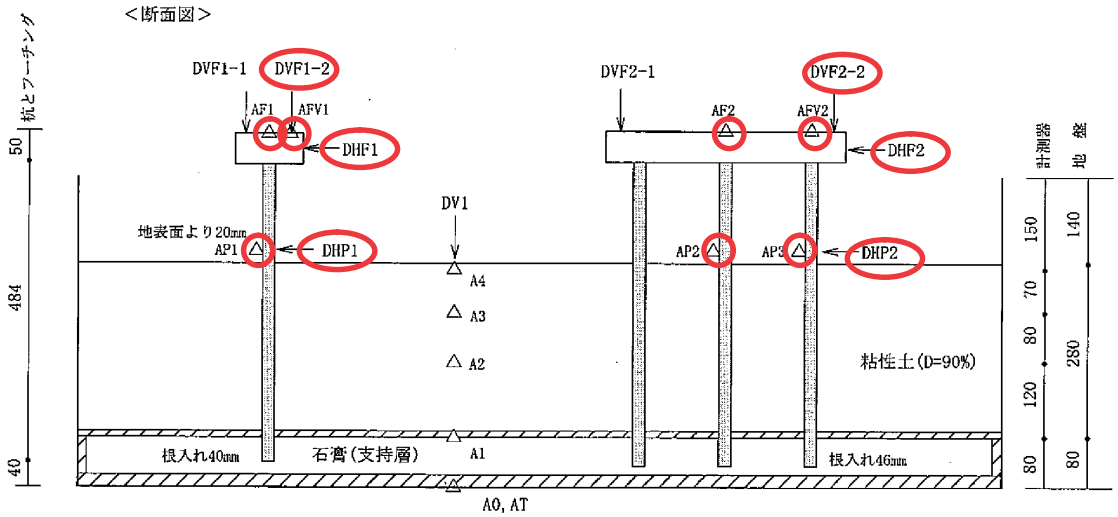
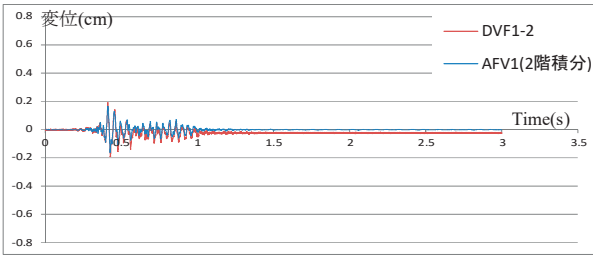
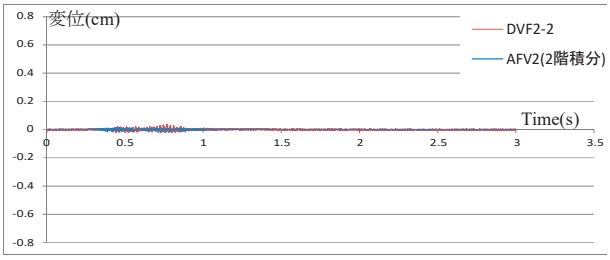


図 5.26　Series1 Run7 L2 における加速度と変位の計測位置

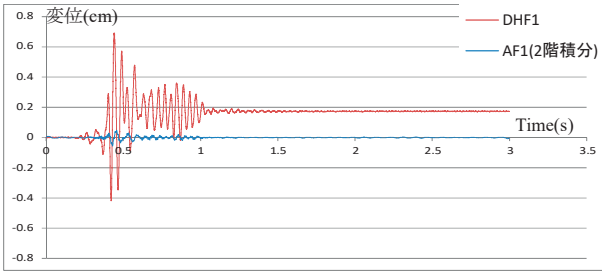
DVF1-2 と AFV1（2 階積分）



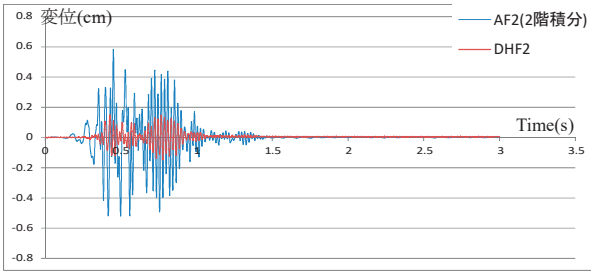
DVF2-2 と AFV2（2 階積分）



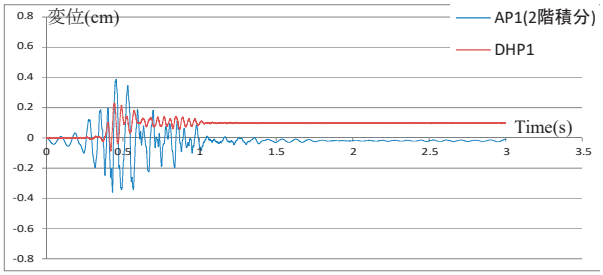
DHF1 と AF1（2 階積分）



DHF2 と AF2（2 階積分）



DHP1 と AP1（2 階積分）



DHP2 と AP2（2 階積分）と AP3（2 階積分）

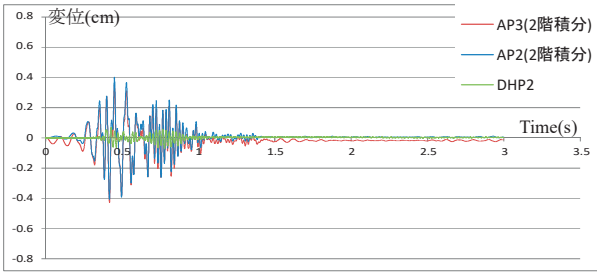


図 5.27　Series1 Run7 L2 における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 単柱の最大応答変位は上部工 7mm 程度、杭地際部 2mm 程度（杭径の 10%）である。

② 単柱は杭地際部で 1mm（杭径の 5%）程度の残留変位が生じた。

③ 3 本柱の最大応答変位は上部工 1.5mm 程度、杭地際部 0.7mm(杭径の 4%)程度しか生じていない。

④ 加速度の 2 階積分値から推定した変位量は、実測値と比べて大きい。

Series2　Run2 Sin wave1

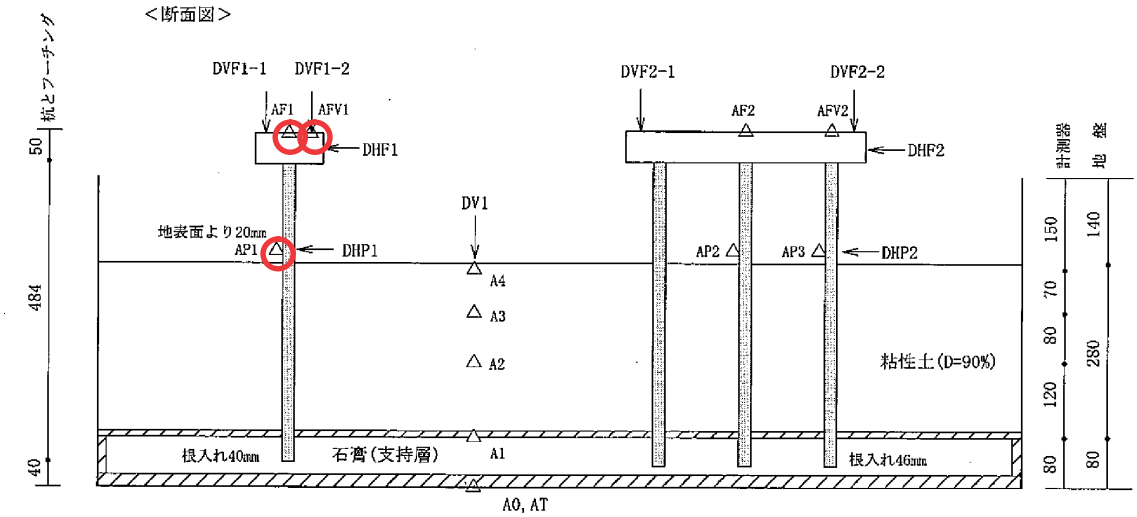
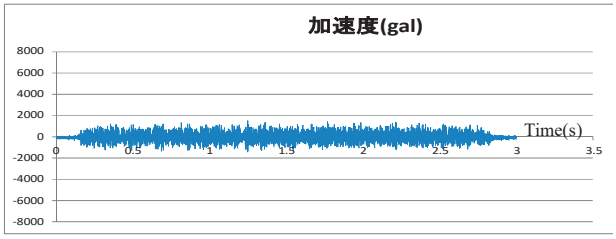
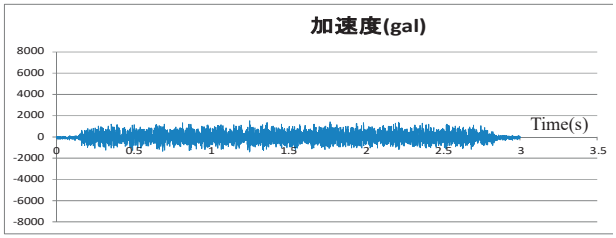


図 5.28　Series2 Run2 Sin wave1 1 本柱における加速度計測位置

AFV1



AF1・参考値



AP1

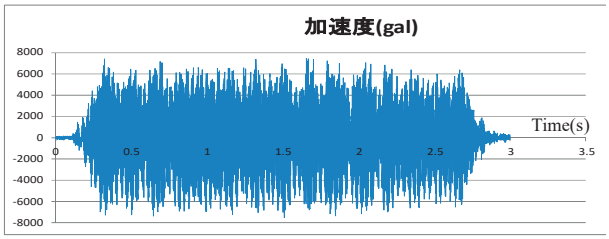


図 5.29　Series2 Run2 Sin wave1 1 本柱の実測値における時刻歴応答加速度

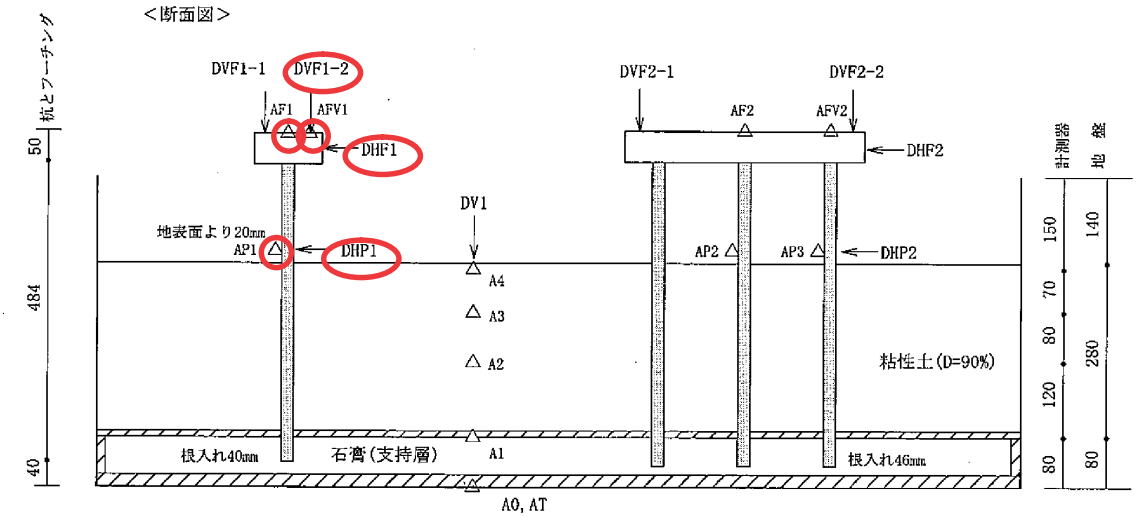
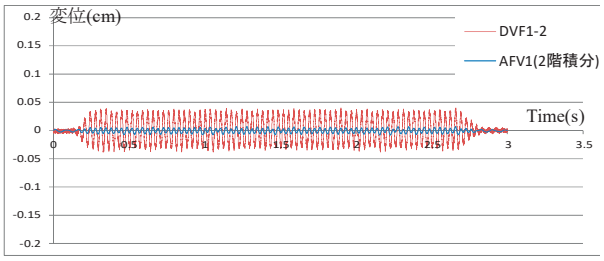
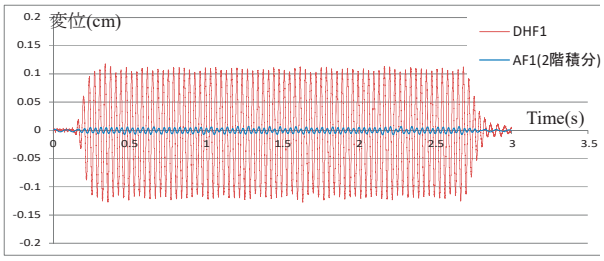


図 5.30　Series2 Run2 Sin wave1 1 本柱における加速度と変位の計測位置

DVF1-2 と AFV1（2 階積分）



DHF1 と AF1（2 階積分・参考値）



DHP1 と AP1（2 階積分）

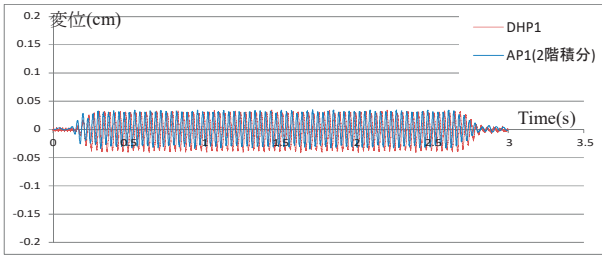


図 5.31　Series2 Run2 Sin wave1 1 本柱における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 地際部の変位は杭径の 2%程度発生しており（杭径の 1%=0.2mm，最大変位=0.4mm(杭径の 2%)）砂質土よりは小さい。

② 上部工の鉛直変位は 0.4mm 程度生じており、上部工の回転運動が確認出来るが、砂質土よりも小さい。

③ 上部工の水平変位は 1.2mmmm 程度生じており、砂質土の 1/2 程度の変位量である。

④ 地際の変位については、加速度の 2 階積分値と近似している。

Series2　Run3 Sin wave2

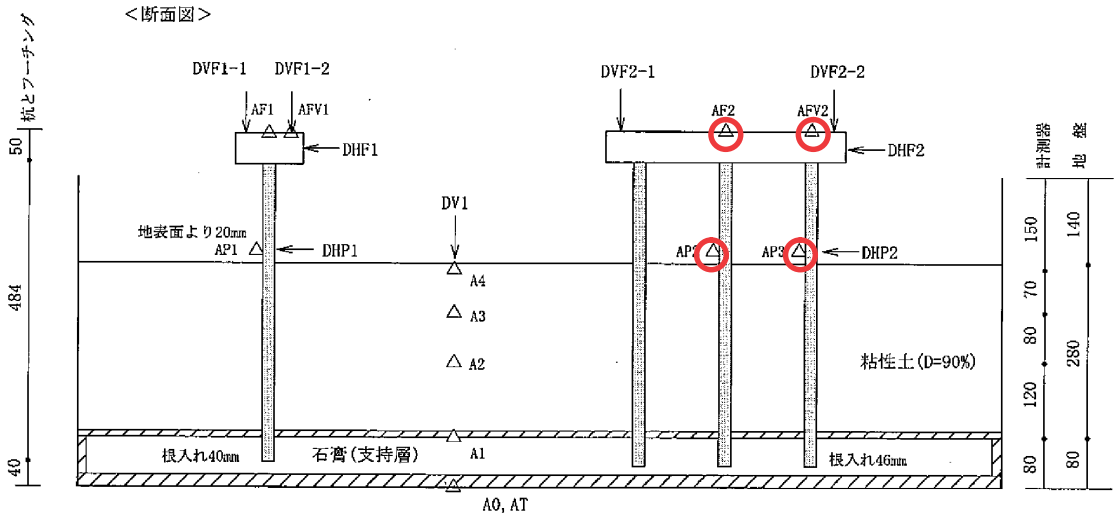
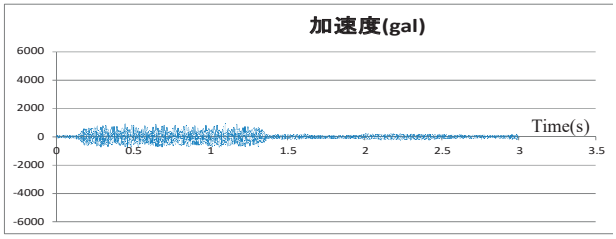
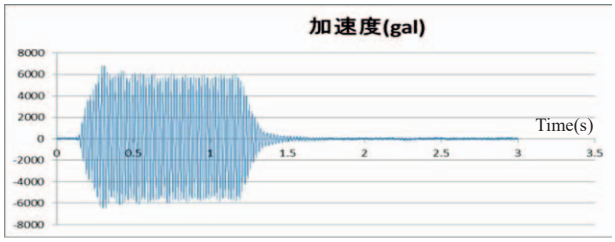


図 5.32　Series2 Run3 Sin wave2 3 本柱における加速度計測位置

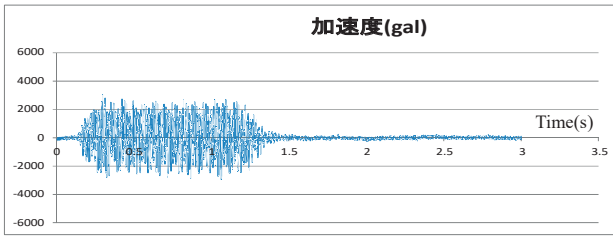
AFV2



AF2



AP2



AP3

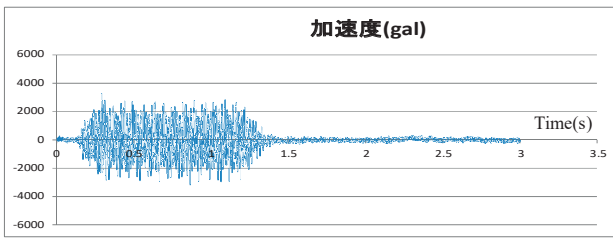


図 5.33　Series2 Run3 Sin wave2 3 本柱の実測値における時刻歴応答加速度

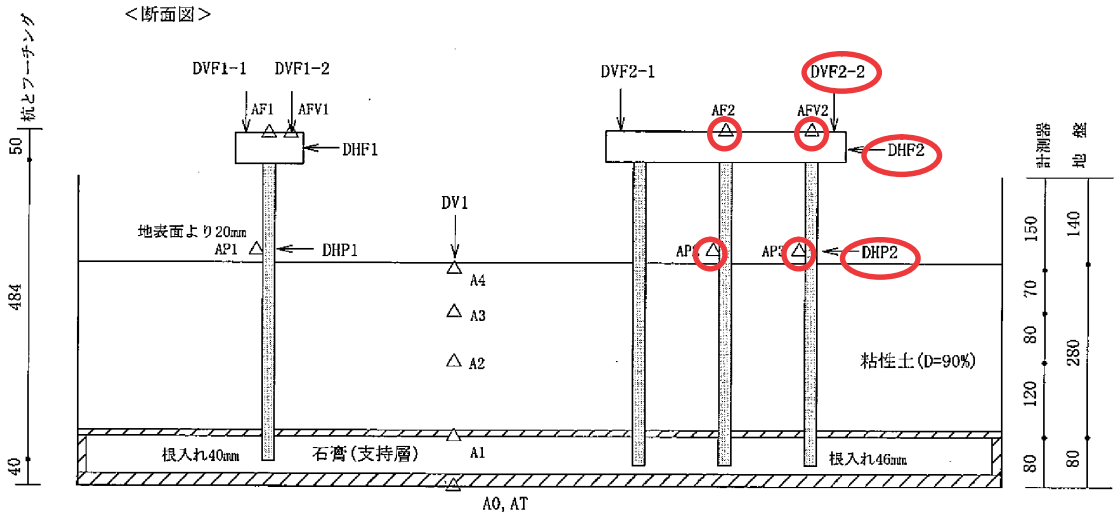
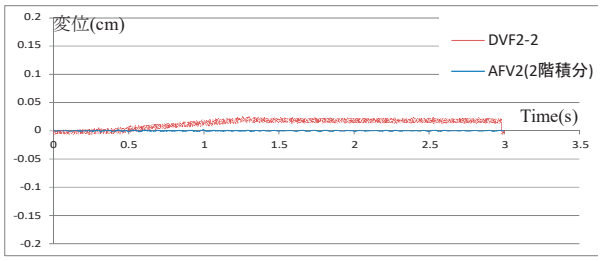
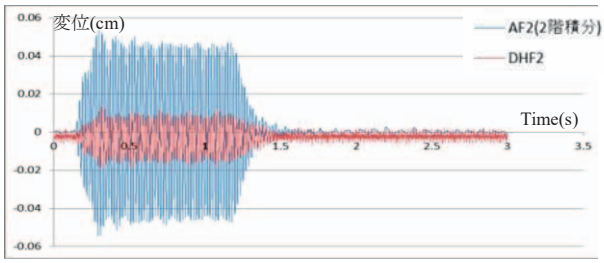


図 5.34　Series2 Run3 Sin wave2 3 本柱における加速度と変位の計測位置

DVF2-2 と AFV2（2 階積分）



DHF2 と AF2（2 階積分）



DHP2 と AP2（2 階積分）と AP3（2 階積分）

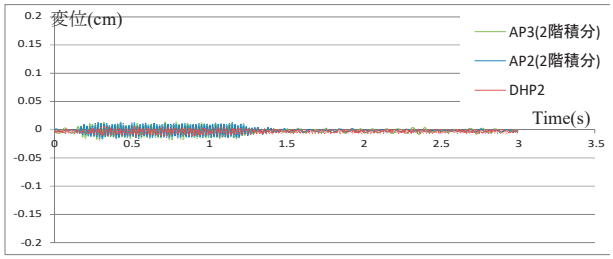


図 5.35　Series2 Run3 Sin wave2 3 本柱における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 地際部杭の水平変位は、杭径の 0.5%程度(0.1mm)程度の変位が生じている。Series1 とほぼ同様の変位量である。

② 上部工の水平変位は最大で 0.2mm 程度と地際部の杭の変位の 2 倍程度しか生じていない。

③ 上部工、杭の水平変位について、計測された加速度の 2 階積分値により出した水平変位は、計測された実測変位よりも大きい。

④ 上部工の鉛直変位は 0.25mm 程度鉛直下方向に変位が生じたが、加振後の残留変位は生じていない。

Series2　Run5 L1

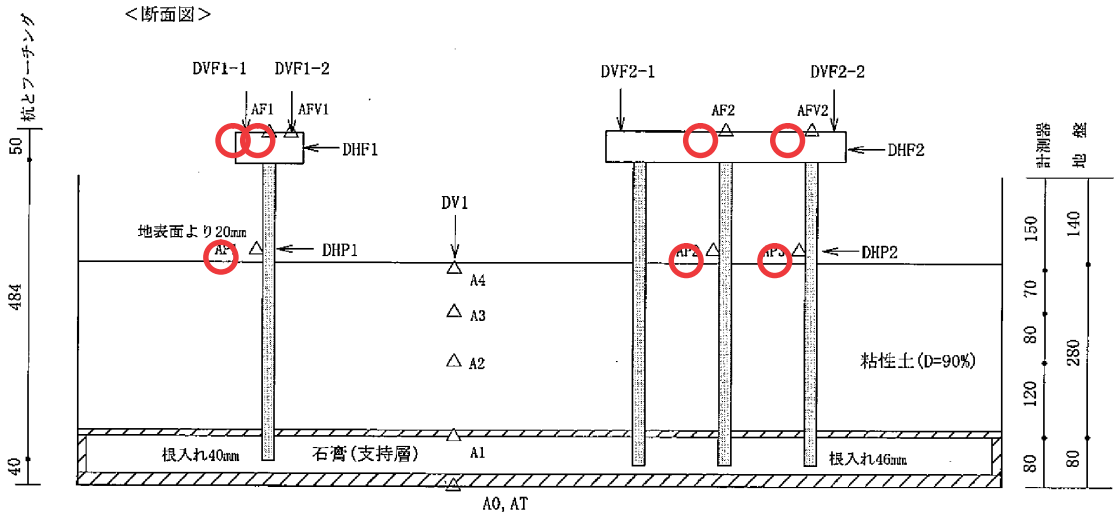
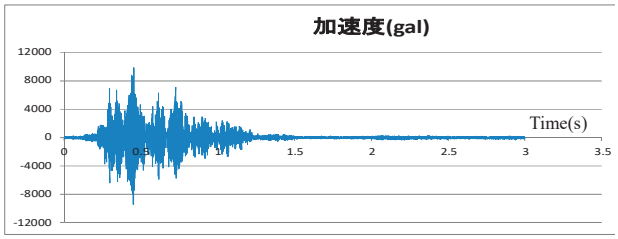
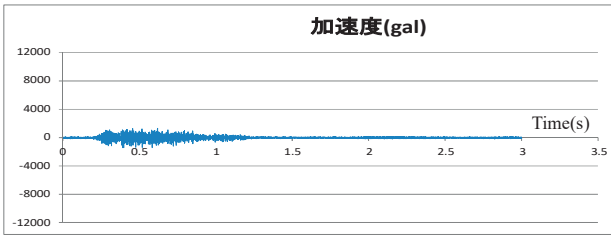


図 5.36　Series2 Run5 L1 における加速度計測位置

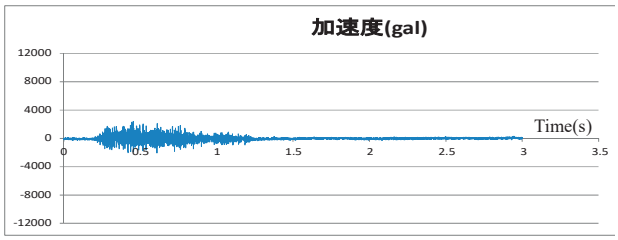
AFV1・参考値



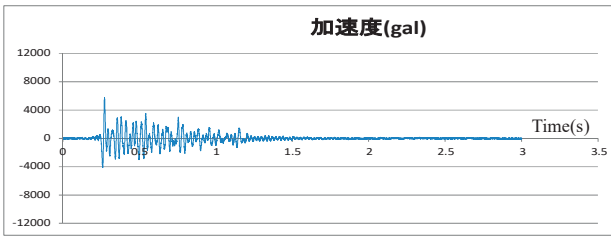
AFV2



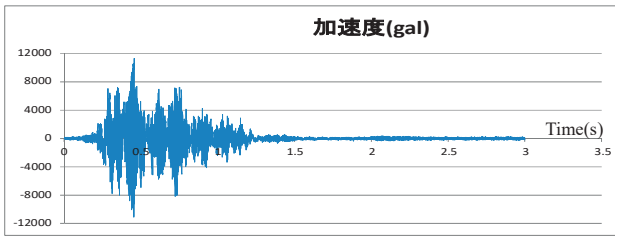
AF1・参考値



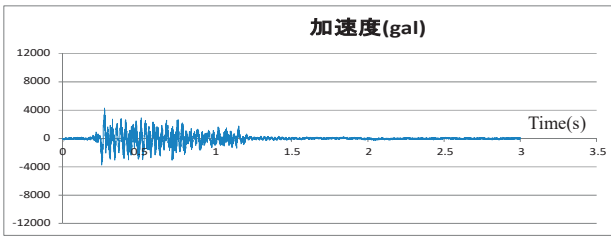
AF2



AP1



AP2



AP3

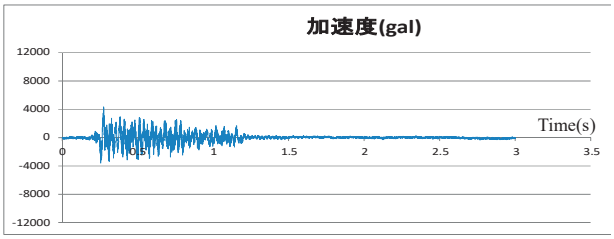


図 5.37　Series2 Run5 L1 実測値における時刻歴応答加速度

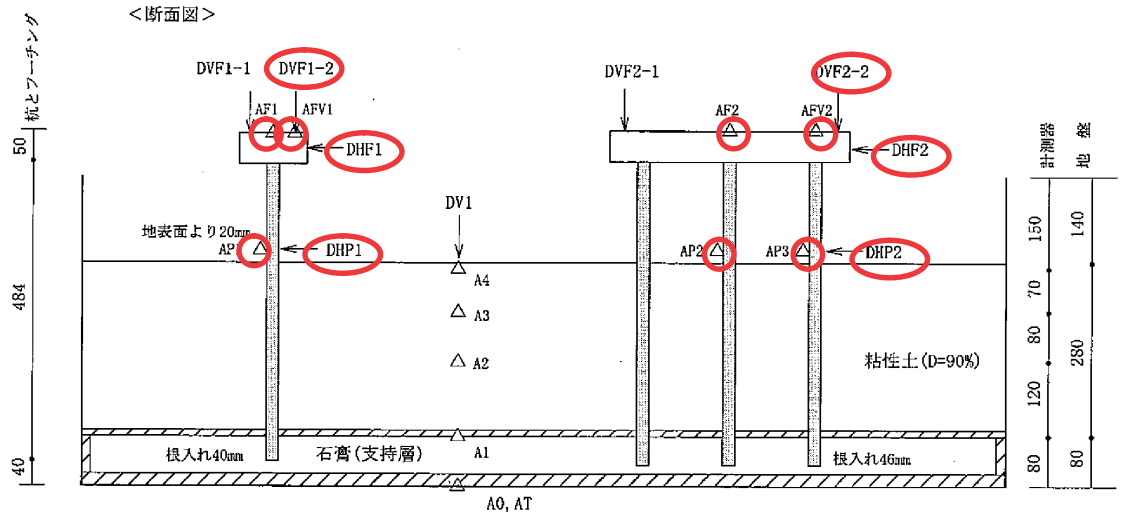
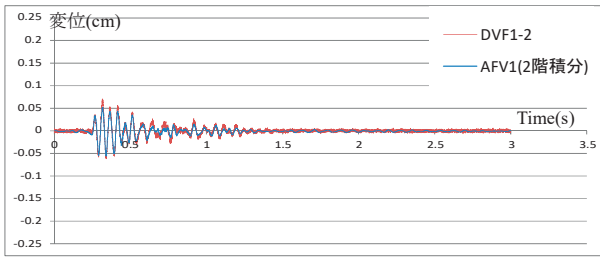
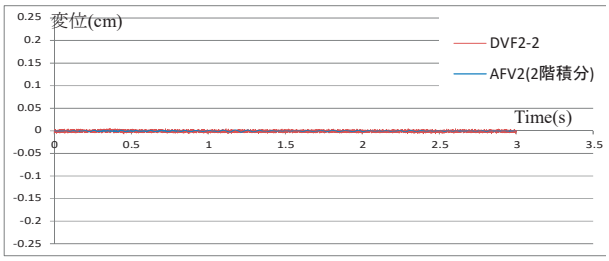


図 5.38　Series2 Run5 L1 における加速度と変位の計測位置

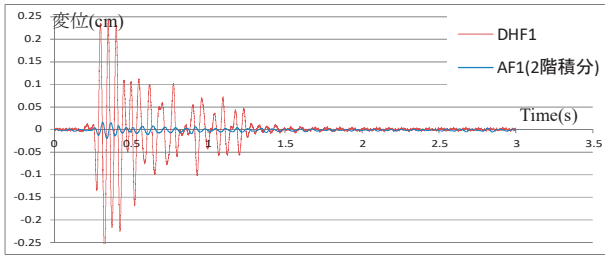
DVF1-2 と AFV1（2 階積分）



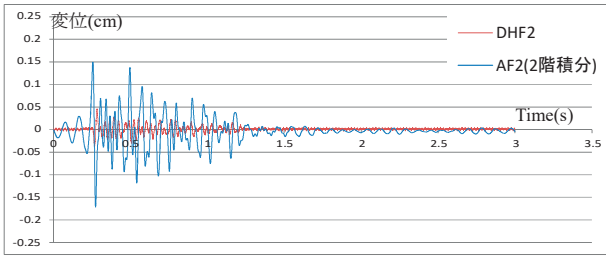
DVF2-2 と AFV2（2 階積分）



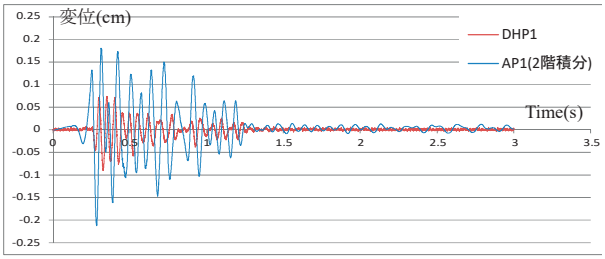
DHF1 と AF1（2 階積分）



DHF2 と AF2（2 階積分）



DHP1 と AP1（2 階積分）



DHP2 と AP2（2 階積分）と AP3（2 階積分）

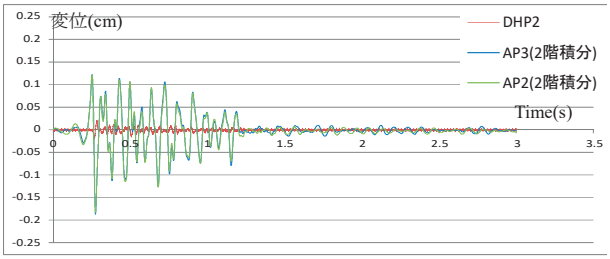


図 5.39　Series2 Run5 L1 における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 単柱の水平方向変位の最大値は、上部工 2.5mm、地際部杭 0.7mm 程度（杭径 3%程度）と Series1（上部工 1.3mm、地際部杭 0.2mm 程度（杭径 1%程度））に比べて 2 倍程度大きい。

② 3 本柱の水平方向変位の最大値は、上部工 0.5mm 程度、地際部杭 0.2mm 程度と Series1（上部工 0.14mm 程度、地際部杭 0.07mm 程度）に比べて 3 倍程度大きい。

③ 3 本柱の水平変位は地際部で杭径の 1%程度である。

④ 加速度から 2 階積分により推定した変位は、実測値と比べて大きい。

Series2　Run7 L2

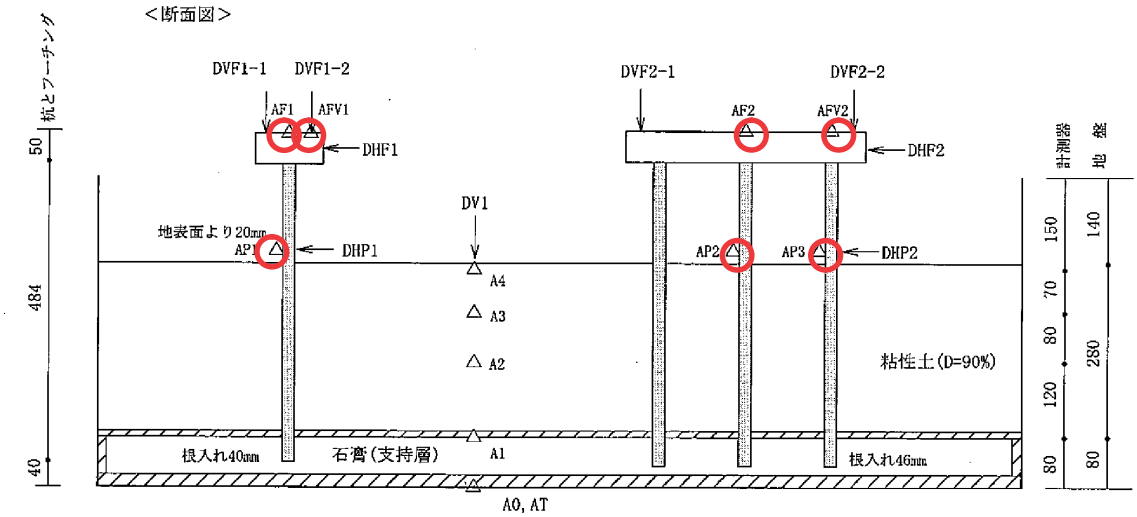
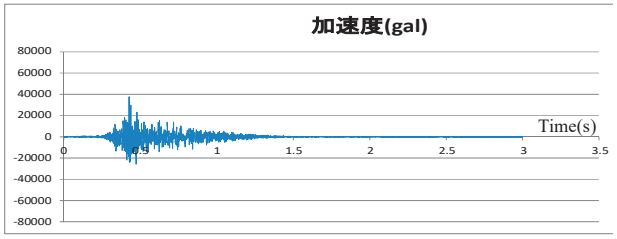
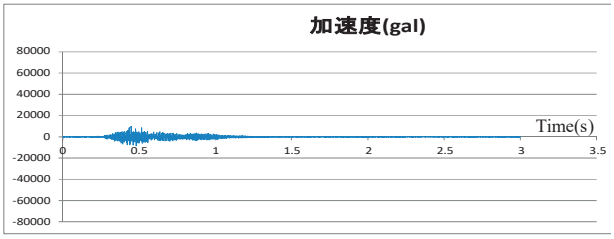


図　5.40　Series2 Run7 L2 における加速度計測位置

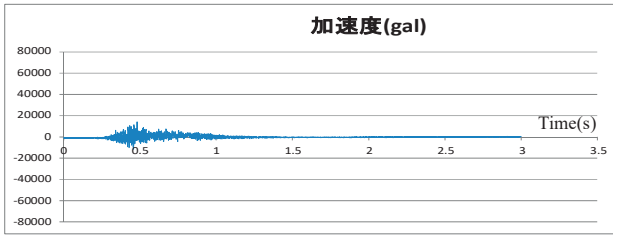
AFV1・参考値



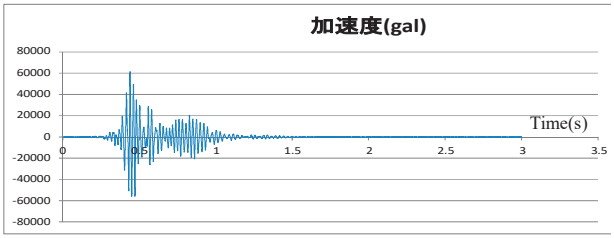
AFV2



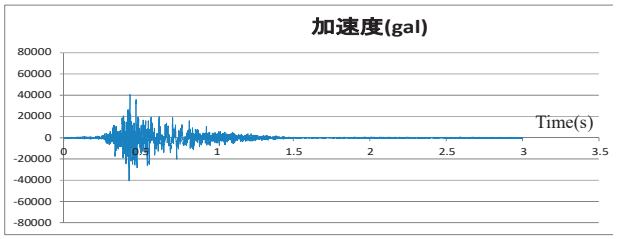
AF1・参考値



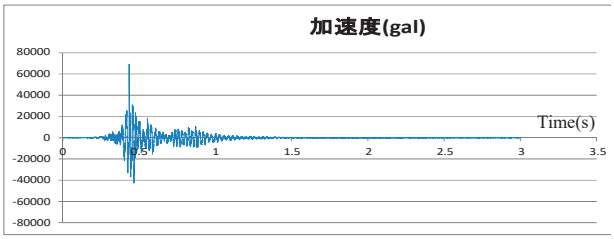
AF2



AP1



AP2



AP3

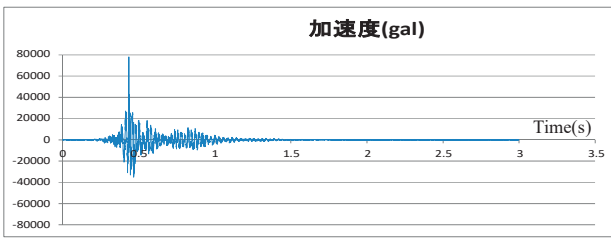


図　5.41　　Series2 Run7 L2 実測値における時刻歴応答加速度

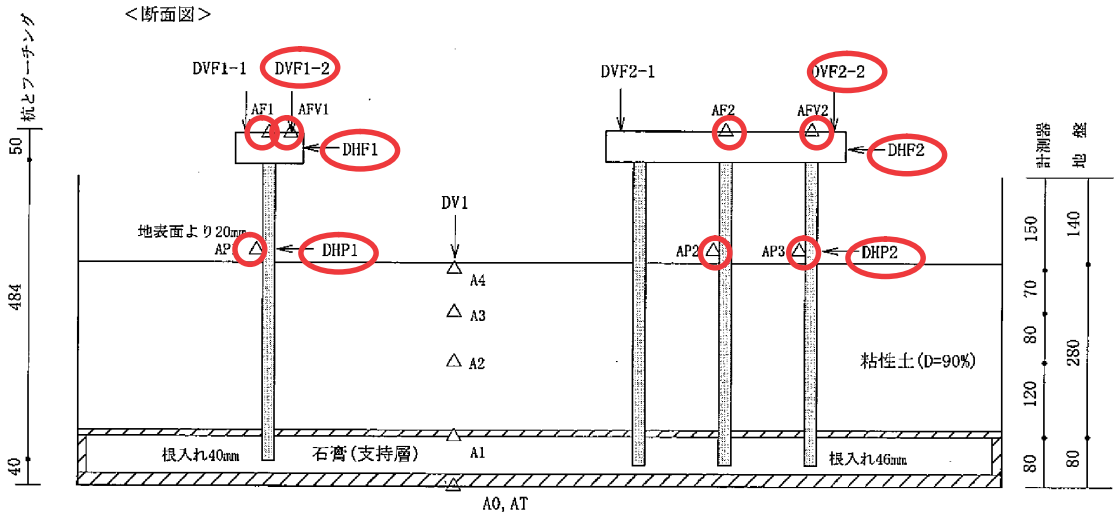
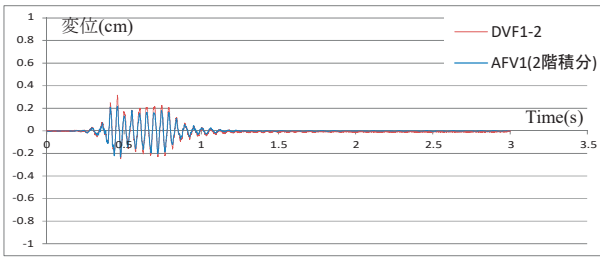
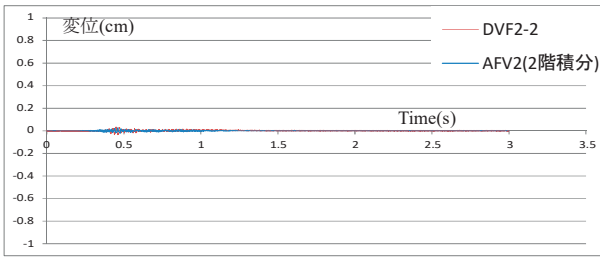


図 5.42　Series2 Run7 L2 における加速度と変位の計測位置

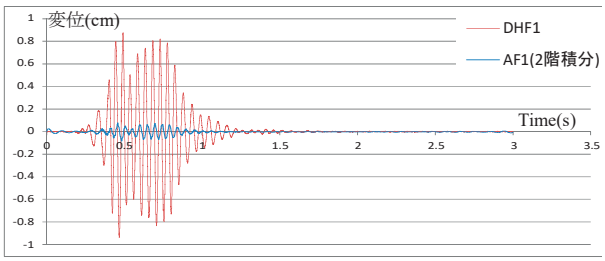
DVF1-2 と AFV1（2 階積分）



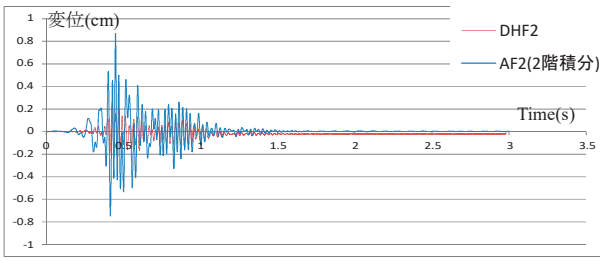
DVF2-2 と AFV2（2 階積分）



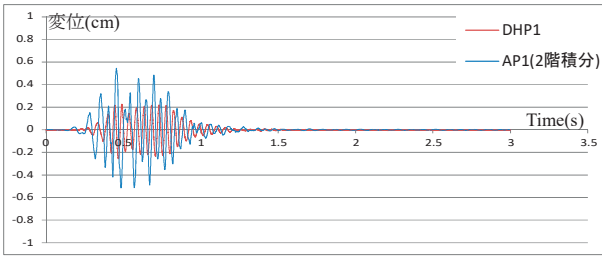
DHF1 と AF1（2 階積分・参考値）



DHF2 と AF2（2 階積分）



DHP1 と AP1（2 階積分）



DHP2 と AP2（2 階積分）と AP3（2 階積分）

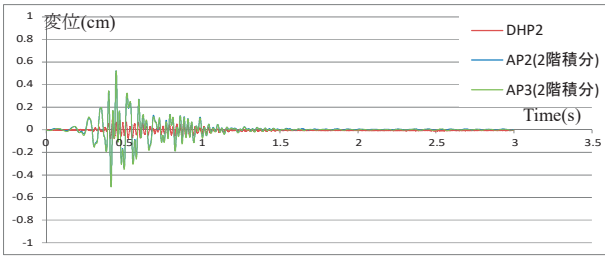


図 5.43　Series2 Run7 L2 における加速度の 2 階積分値と実測時刻歴応答変位値の比較

＜考察＞

① 単柱の最大応答変位は上部工 9mm 程度、杭地際部 2mm 程度（杭径の 10%）と Series1（上部工 7mm 程度、杭地際部 2mm 程度）の変位量とほぼ同様である。

② 3 本柱の最大応答変位は上部工 2.2mm 程度、杭地際部 1mm 程度と Series1（上部工 1.5mm 程度、杭地際部 0.7mm）とほぼ同様である。

③ 加速度の 2 階積分値から推定した変位量は、実測値と比べて大きい。

④ Series1 で確認された残留変位は Series2 では確認されなかった。

5.5　柱-杭の曲げモーメント

Run 毎に計測したひずみ分布から曲げモーメント分布を下表にまとめる。

深度分布結果から以下のことが確認出来る。

① Run2 Sin wave1 単柱について、Series1 の変位量が Series2 の変位量の 2 倍程度生じているため、2 倍程度大きなモーメントが発生しているが、モーメントのピーク位置は Series2 の方が深い。

② Run3 Sin wave2 3 本柱についても①と同様の傾向が確認出来る。

③ Run5 L1 単柱については、Series2 の変位量が Series1 の変位量の 2 倍程度生じているため、2 倍程度の大きなモーメントが発生している。モーメントのピーク位置は Series2 の方が Run2、Run3 と同様に深い。

④ Run5 L1 3 本柱は Series1,Series2 共に中杭と外杭で異なる挙動を示している。表 5.1 に示された地盤の 2 次モードの影響など、地盤による影響が考えられる。

⑤ Run7 L2 単柱については、Series1 の最大変位 7mm（地際部 2mm）と Series2 の最大変位 9mm（地際部 2mm）は同じくらいであるが、発生した断面力は Series1 の方が大きい。また、Series1 は計測最深部に断面力が生じており、さらに残留変位（地際部で 1mm 程度（杭径の 5%））が生じていることなどから、杭先端付近まで変形が生じたことが確認できる。

⑥ Run7 L2 3 本柱は Series1・Series2 で大きな差は生じなかった。

表 5.4　Run 毎の杭頭部変位最大時における M 図（その 1）

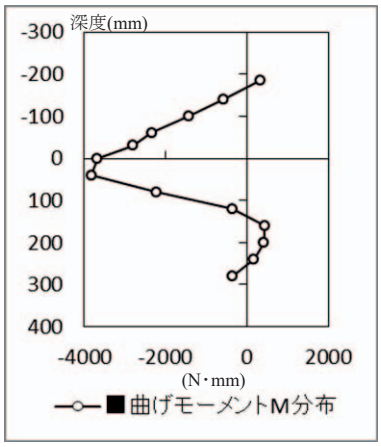
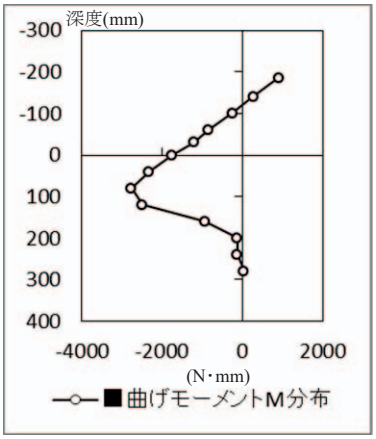
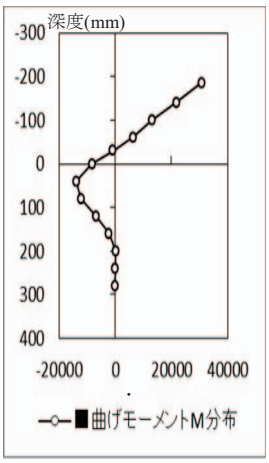
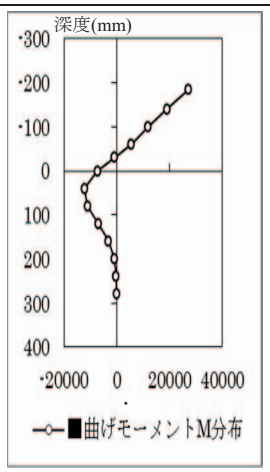
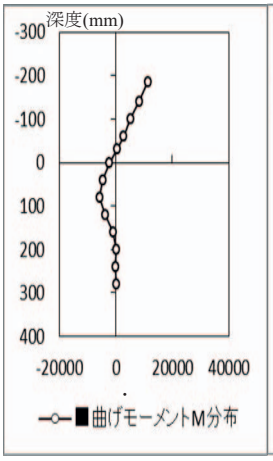
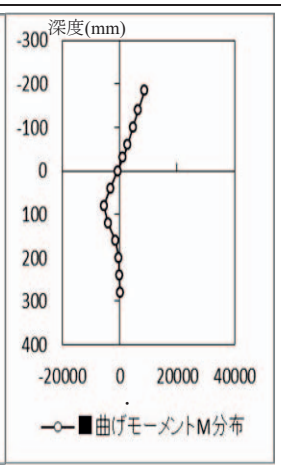
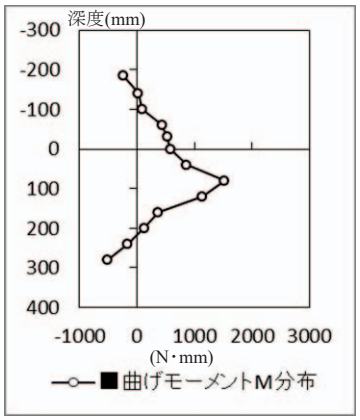
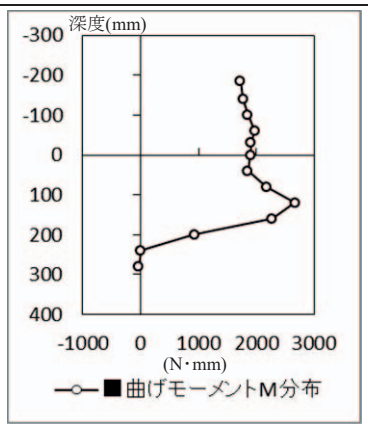
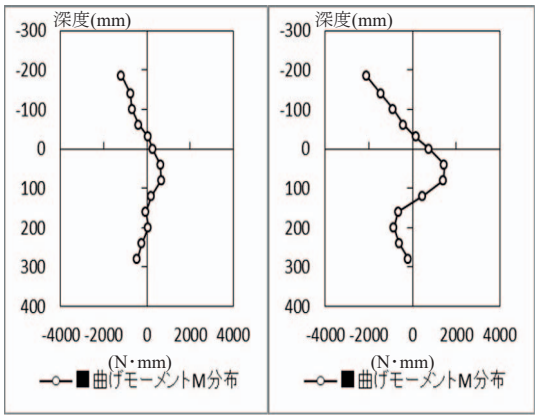
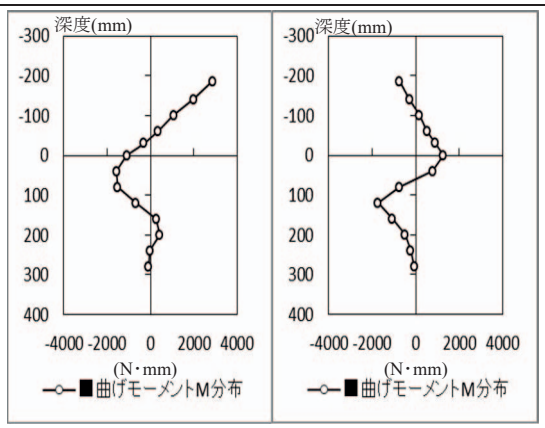
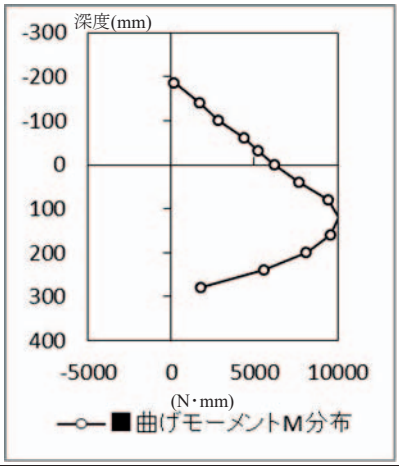
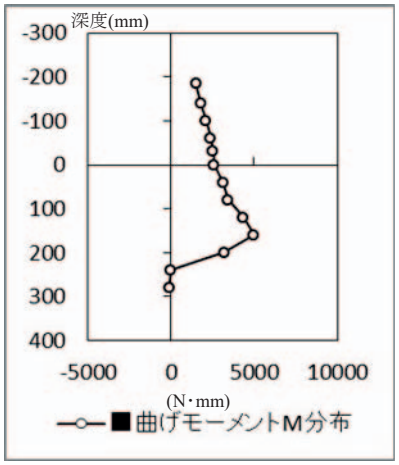
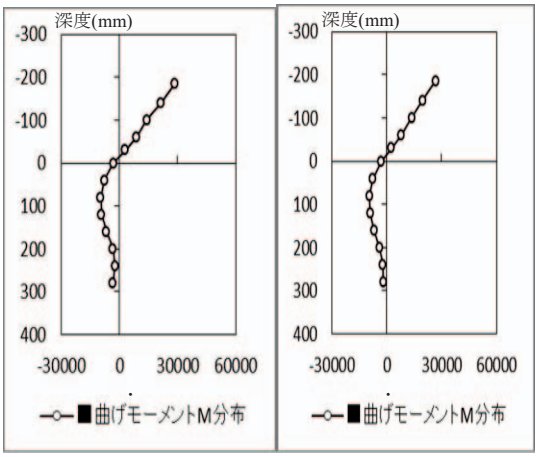
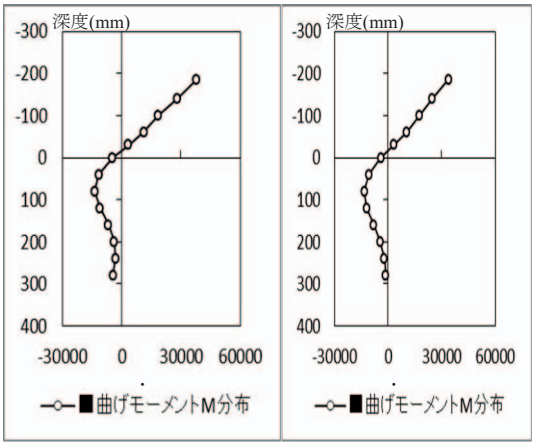
	Series1	Series2
Run2 Sin wave1 一本柱		
Run3 Sin wave2 三本柱	 	 

表 5.4　Run 毎の杭頭部変位最大時における M 図（その２）

	Series1	Series2
Run5 L1 一本柱		
Run5 L1 三本柱		
Run7 L2 一本柱		
Run7 L2 三本柱		

5.6　柱―杭の変形モード

Run 毎に計測したひずみ分布と上部工の実測変位から推定した変形モードを図 5-44～47 に示す。変形モードは Run2,3,5,7 とほぼ同様であったことから、ここでは Sin 波で観測された実測値（図中赤○）と上部工実測値と曲率分布を正とした変形モードを示す。なお、変形モードは上部工変位 max 時から 1 周期を示すものとし、1 周期を 9 断面で等間隔に抽出する。

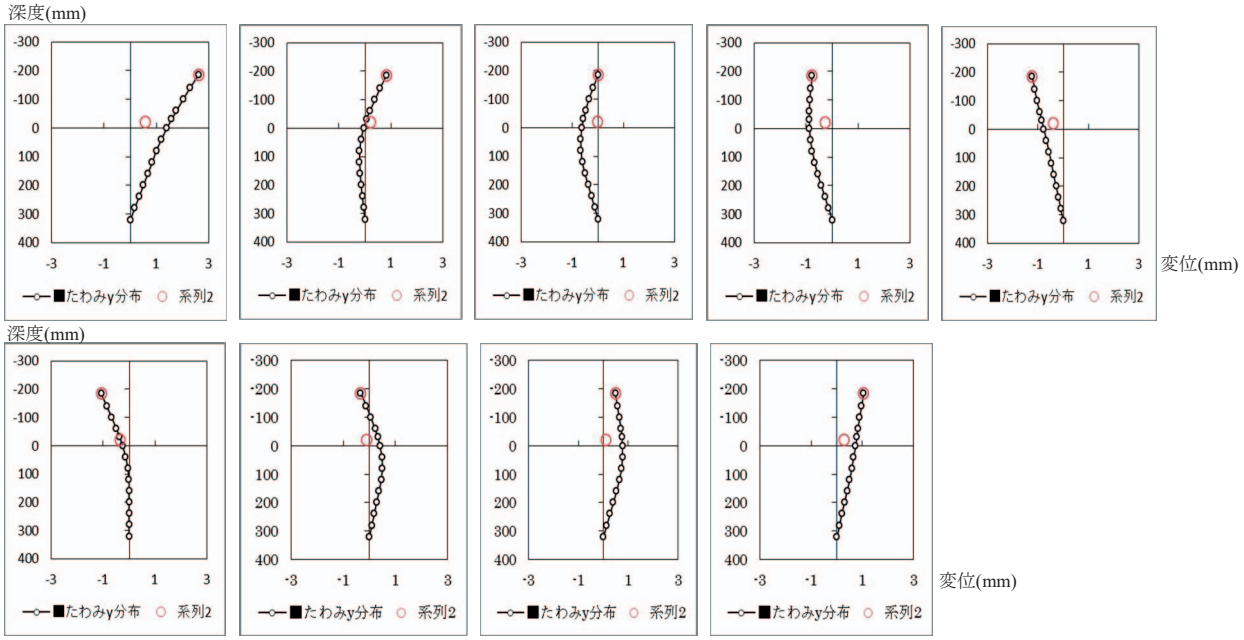


図 5-44　Series1・単柱・Run2・Sin 波における推定変形モード図

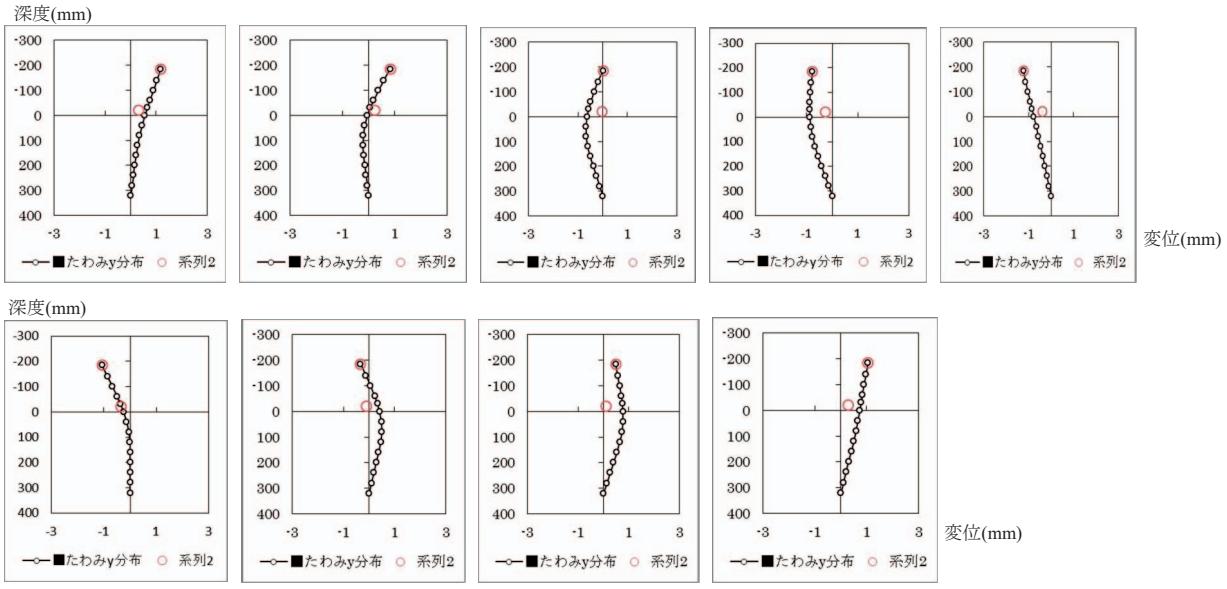


図 5-45　Series2・単柱・Run2・Sin 波における推定変形モード図

＜考察＞

① Series1、Series2 ともに単柱の変形モードに大きな差はない。

② 特に上部工変位最大時の変形モードは地際部の実測値と一致しない。これは上部工位置の実測値を正とし、杭の曲率を正として求めた結果であることを踏まえると、変位計測時の曲率分布がずれていることが懸念される。

③ 単柱は Sin 波において 1 次モードを示す。

④ L1 時、L2 時も最大変位時は同様の変形モードを示す。

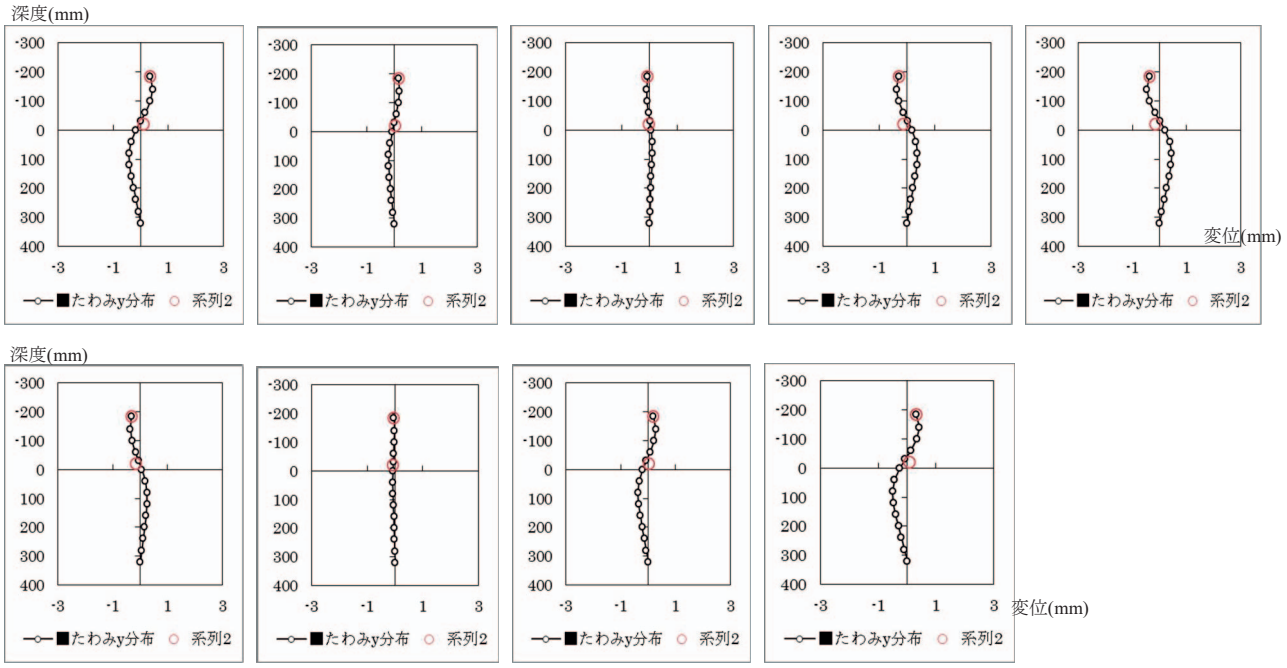


図 5-46　Series1・3 本柱・中杭・Run3・Sin 波における推定変形モード図

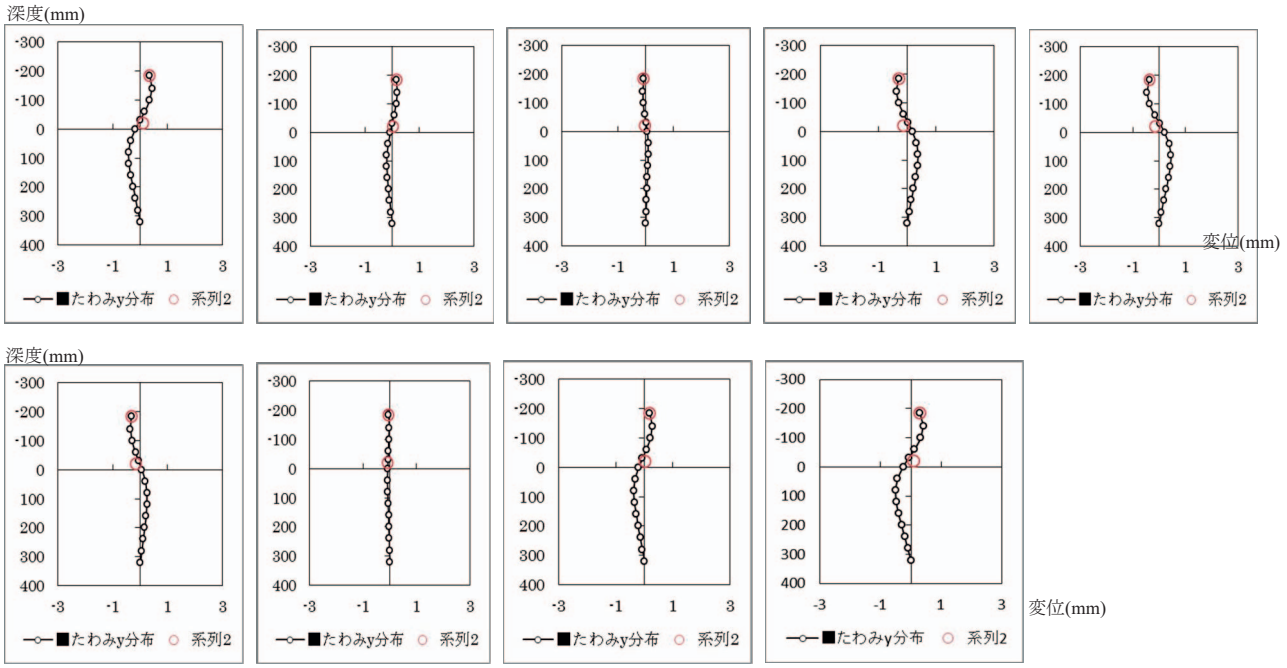


図 5-47　Series2・3 本柱・中杭・Run3・Sin 波における推定変形モード図

＜考察＞

① Series1、Series2 ともに単柱の変形モードに大きな差はない。

② 3 本柱のモードは上部工と地中部の杭が逆方向に動く 2 次モードを示す。

③ 2 次モードを示すことが変位量が小さい理由と推測される。

④ L1 時、L2 時も最大変位時は同様の変形モードを示す。

6. ＢＮＷＦモデルを用いた動的解析

本章では、Run2(Sin 波-1 本柱)、Run3(Sin 波-3 本柱)、Run5(L1 地震動)、Run7(L2 地震動)を数値シミュレーションした結果について報告する。数値シミュレーションモデルとして、Beam on Nonlinear Winkler Foundation(BNWF)モデルを用いた。以後、本資料では BNWF モデルと呼ぶ。

6.1　解析モデル

6.1.1　概要

解析モデルの概要を以下に示す。

・上部構造を剛な線形梁要素、柱-杭を FIBER 要素でモデル化した。

・入力は、実験で得られた自由地盤における深度ごとの加速度及びこれを積分することにより得られた変位を杭-地盤間の動的相互作用ばねを介して入力した。

基礎-地盤間の水平方向の荷重伝達を杭の FIBER 要素の節点毎に配置した分布ばねを用いてモデル化した。各節点位置のばねの荷重-変位関係は、当該節点位置の地盤反力度 p と相対変位 y 関係から評価され、荷重は、当該節点が負担する上下 FIBER 要素の 1/2 の投影面積を地盤反力度 p に乗じることで求めた。p-y 関係を求める際に必要な地盤パラメータの値については、室内試験の結果に基づき、単位体積重量、変形係数を設定した。杭軸方向の地盤抵抗は、非線形ばねを設置して、杭の節点毎にモデル化した。杭先端の非線形ばねについては、浮き上がりも考慮した。

地震動の入力は、自由地盤別途モデル化し、基盤から加速度を入力することも考えられたが、本実験では、深度ごとの地盤の応答加速度時刻歴が得られていたため、地盤の各深度の応答加速度時刻歴と、これより２回積分により算出した応答変位時刻歴を、相互作用ばねを介して入力することとした。

減衰については、レーリー減衰を用いた。

6.1.2　p-y関係

p-y 関係の履歴則は、土木研究所基礎チームにて開発されたモデル[3.12)]を用いた。これは、繰り返し圧縮・引張載荷を受ける地盤の抵抗強度が載荷パターンに応じて変化するという現象が考慮された履歴則である。

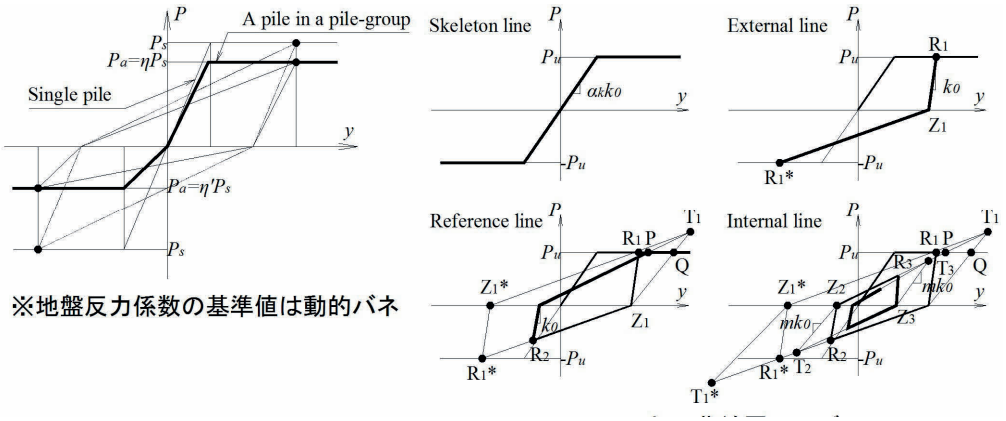


図 6.1　p-y 曲線の履歴モデル

(1) 骨格曲線

骨格曲線の選択は任意であるが、本研究では Bi-linear モデルを用いた。ここに、骨格曲線の初期剛性 k_h、地盤反力係数は k_0 を α_k 倍する。

$$k_h = \alpha_k k_0$$

実際の *p-y* 曲線の非線形挙動を Bi-linear カーブで近似しているため、近似するための補正係数 α_k が導入されている(α_k<1)。α_k の値は地盤の変形係数を求めたときのひずみレベルに依存する。除荷剛性 k_0 は次式で与えられる。

$$k_0 = \frac{E_0}{B_0} \times \left(\frac{B}{B_0}\right)^n$$

ここに、E_0 は微小ひずみ域における土の変形係数、B は杭径、B_0 は基準載荷幅であり、B=B_0 は無次元量である。n は地盤反力係数の載荷幅依存性を考慮するための係数である。B_0 や n の値は、Yoshida and Yoshinaka[3.13)]に従い、B_0＝0.3m、n=-3/4 とした。

極限地盤反力 p_u は、岸田・中井の解析解 [3.14)]に基づいて設定した。

(2) 履歴則

履歴則において、基本となる履歴則は最大点指向型である。骨格曲線上の点 R_1 にて変位が反転した後、p=0 へと除荷勾配 k_0 で向かい、p=0 上の点 Z_1 に達する。続いて、点R_1^*は原点に関して、点 R_1 の対称な点である。曲線 R_1-Z_1-R_1^*を外部曲線と呼ぶ。

外部曲線 R_1-Z_1-R_1^*上の点 R_2 で変位が反転し、その後骨格曲線まで単調に向かう経路 R_2-Z_2-P を参照曲線と呼ぶ。参照曲線は常にターゲット点 T_1 を目指す。ここにターゲット点 T_1 は直線Z_1^*-R_1 と Z_1-T_1 の交点である。点Z_1^*は点 Z_1 の原点に関する対称点である。直線 Z_1-T_1 は基準再載荷勾配 k_{Hr} を用いて、

$$k_{Hr} = mk_0$$

と定義される。ここに m は定数(≦1)である。m=1 とすると載荷パターンによらず最大点指向型になる。m=1 のときは再載荷時に除荷点 R_1 と異なる点を目指すため、外部曲線 R_1-Z_1-(R_1^*)上からの荷重反転後の経路及び地盤抵抗は荷重反転が生じた点に応じて異なる。内部曲線は載荷方向に応じて、常に外部曲線上もしくはその延長上の点 T_2、あるいは参照曲線上もしくはその延長上の点 T_3 のいずれかを目指す。ここに点 Z_2、T_2、Z_3、T_3 は点 Z_1、T_1 を設定するのと同じ手順で設定する。

これまでの数値解析結果では、m については以下の傾向が見られた。

- m には骨格曲線の α_k と同じオーダーの値を与えることで、一方向の繰返し載荷を厳しく受ける杭の挙動を数値評価できる。この場合、このモデルは載荷パターンに応じてあたかも骨格曲線が y 軸に平行に移動するというモデルに等しい。
- 比較的正負交番載荷状態に近い応答をしている場合は、数値解析結果は m の値の違いに対してほとんど変化しない。

そこで、本研究では、*p-y* 履歴則における載荷パターン依存性に関するパラメータ m=α_k とした。

実験模型Series1＜単柱モデル＞（1/25スケール）

	部材番号	節点番号	X	Y
上部工		1	-55.0000	0.0000
	1	2	-30.0000	0.0000
	2	3	0.0000	0.0000
	3	4	-30.0000	0.0000
	4	5	-55.0000	0.0000

	部材番号	節点番号	X	Y
下部工		101	0.0000	15.0000
	101	3	0.0000	0.0000
	102	102	0.0000	-5.0000
	103	103	0.0000	-25.0000
	104	104	0.0000	-45.0000
	105	105	0.0000	-65.0000
	106	106	0.0000	-85.0000
	107	107	0.0000	-105.0000
	108	108	0.0000	-125.0000
	109	109	0.0000	-145.0000
	110	110	0.0000	-165.0000
	111	111	0.0000	-185.0000
	112	112	0.0000	-205.0000
	113	113	0.0000	-225.0000
	114	114	0.0000	-245.0000
	115	115	0.0000	-265.0000
	116	116	0.0000	-285.0000
	117	117	0.0000	-305.0000
	118	118	0.0000	-325.0000
	119	119	0.0000	-345.0000
	120	120	0.0000	-365.0000
	121	121	0.0000	-385.0000
	122	122	0.0000	-405.0000
	123	123	0.0000	-425.0000
	124	124	0.0000	-445.0000
	125	125	0.0000	-465.0000
	126	126	0.0000	-485.0000
	127	127	0.0000	-505.0000

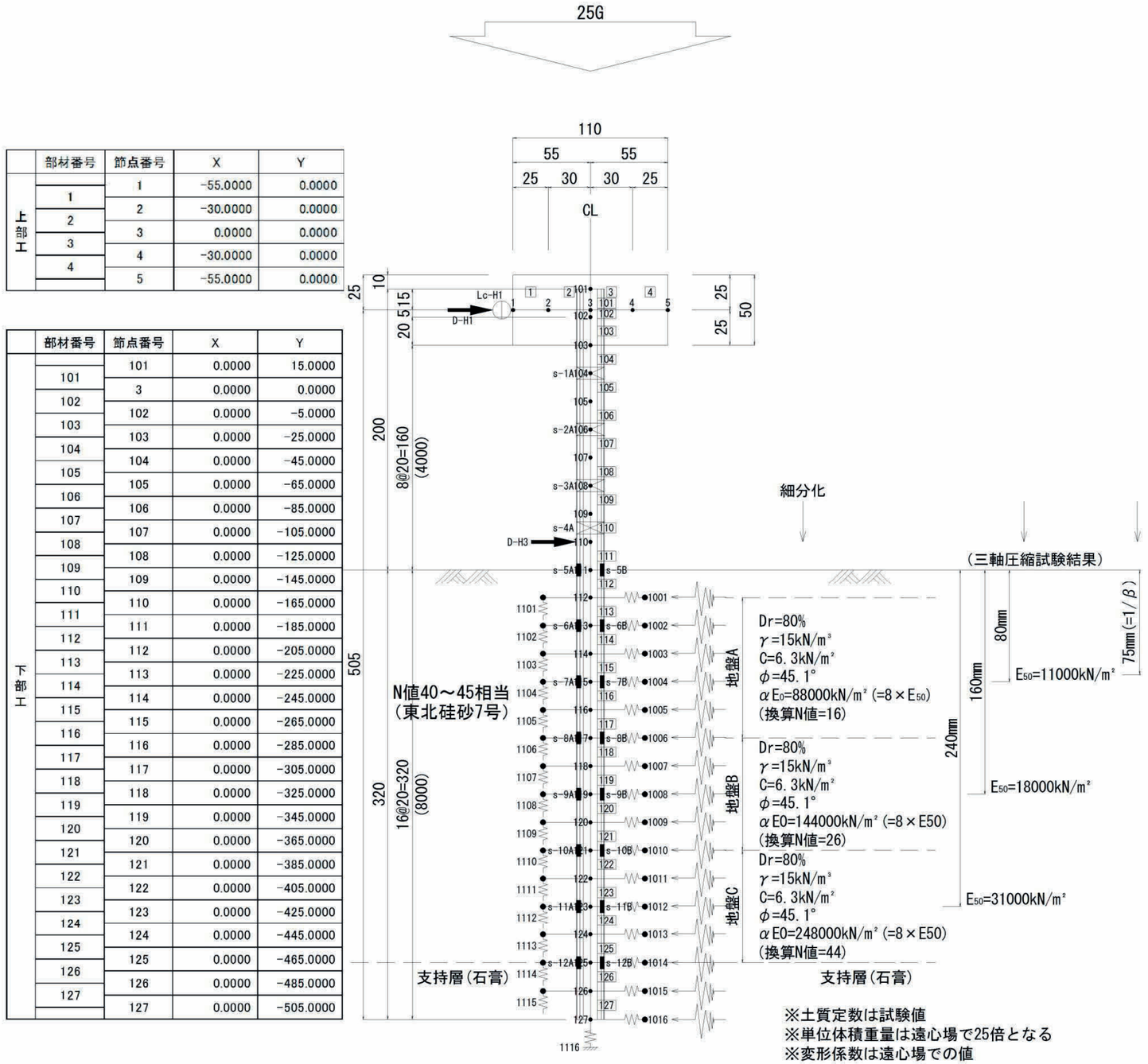
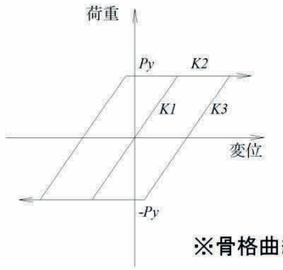


図 6.2　1本柱モデル

〔床版〕
荷重のみ考慮

〔上部構造，柱・杭構造〕
ファイバーモデル。ただし隅角部は剛部材
※鋼部材の履歴則は移動硬化則

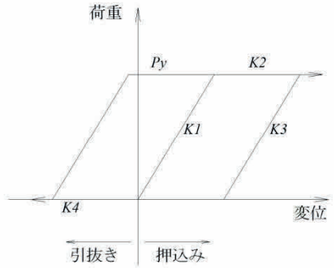
〔杭周面の鉛直抵抗バネ〕



第１勾配：初期バネ定数K_1
第２勾配：剛性低下後のバネ定数K_2
第３勾配：除荷時のバネ定数K_3
（K_3=K_1としてもよい）

※骨格曲線は静的モデルと同様

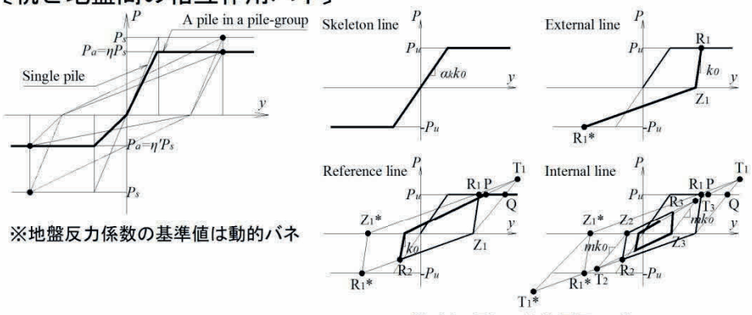
〔杭先端の鉛直抵抗バネ〕
非対称バイリニア型履歴曲線（片側スリップモデル）



第１勾配：初期バネ定数K_1
第２勾配：剛性低下後のバネ定数K_2
第３勾配：除荷時のバネ定数K_3
（K_3=K_1としてもよい）
第４勾配：引抜き時のバネ定数K_4
（K_4≒0）

※骨格曲線は静的モデルと同様

〔杭と地盤間の相互作用バネ〕



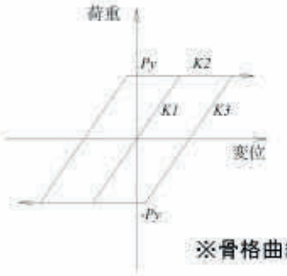
Winkler型p-y曲線履歴モデル

〔減衰〕
Rayleigh減衰（構造物と地盤それぞれに設定）

〔床版〕
荷重のみ考慮

〔上部構造，柱・杭構造〕
ファイバーモデル。ただし隅角部は剛部材
※鋼部材の履歴則は移動硬化則

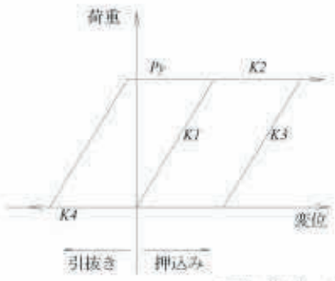
〔杭周面の鉛直抵抗バネ〕



第１勾配：初期バネ定数K_1
第２勾配：剛性低下後のバネ定数K_2
第３勾配：除荷時のバネ定数K_3
（K_3=K_1としてもよい）

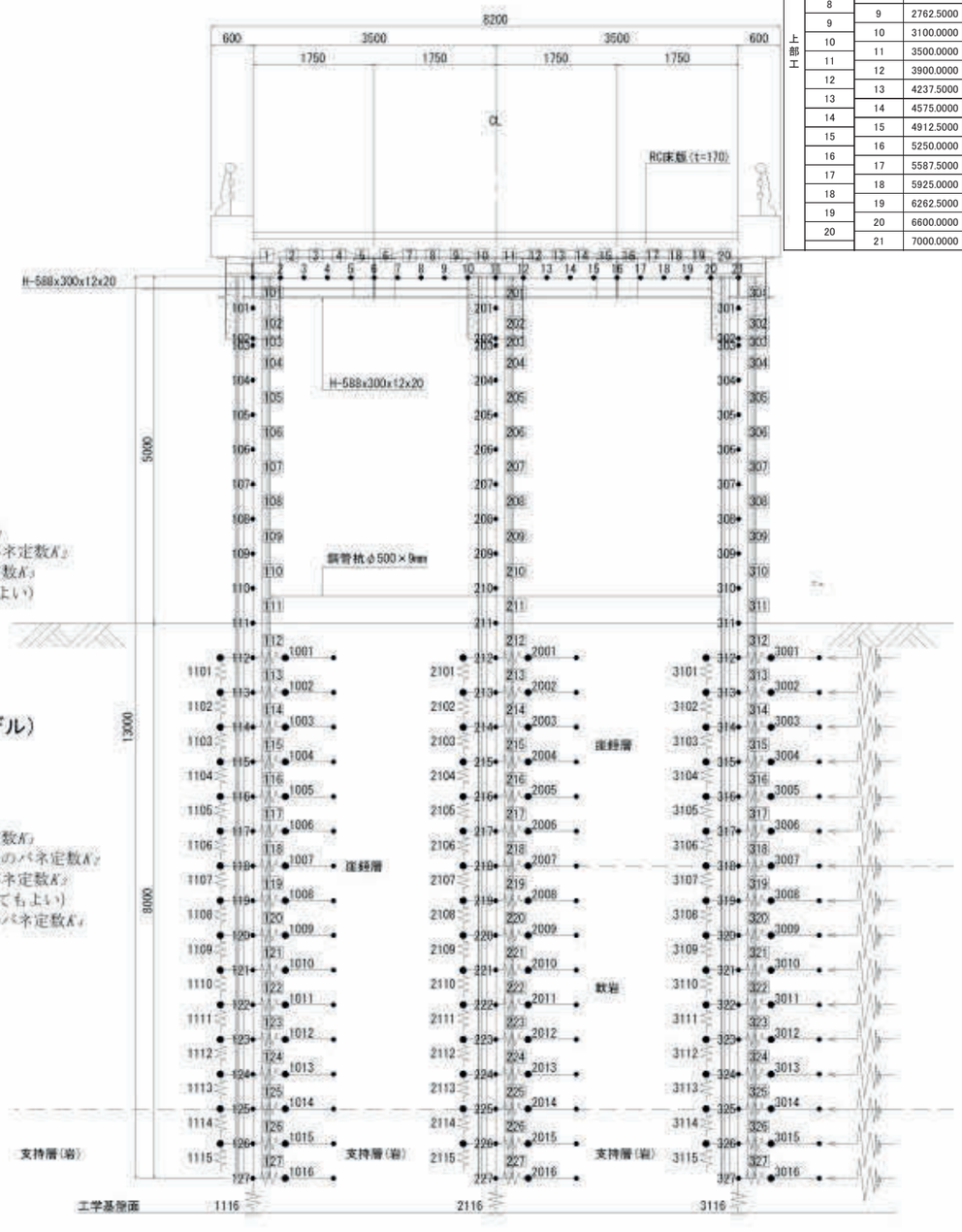
※骨格曲線は静的モデルと同様

〔杭先端の鉛直抵抗バネ〕
非対称バイリニア型履歴曲線（片側スリップモデル）



第１勾配：初期バネ定数K_1
第２勾配：剛性低下後のバネ定数K_2
第３勾配：除荷時のバネ定数K_3
（K_3=K_1としてもよい）
第４勾配：引抜き時のバネ定数K_4
（K_4≒0）

※骨格曲線は静的モデルと同様



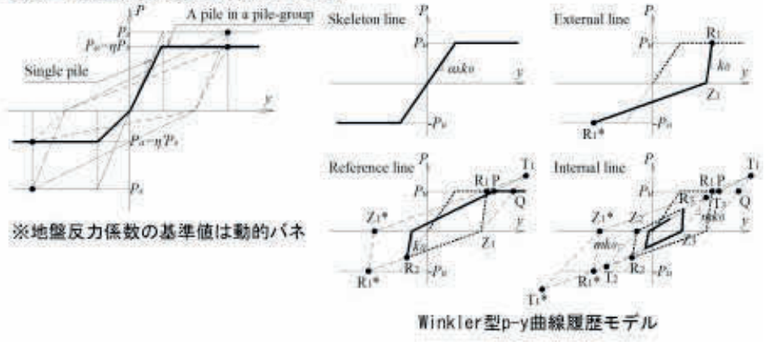
	部材番号	節点番号	X	Y
上部工	1	1	0.0000	0.0000
	2	2	400.0000	0.0000
	3	3	737.5000	0.0000
	4	4	1075.0000	0.0000
	5	5	1412.5000	0.0000
	6	6	1750.0000	0.0000
	7	7	2087.5000	0.0000
	8	8	2425.0000	0.0000
	9	9	2762.5000	0.0000
	10	10	3100.0000	0.0000
	11	11	3500.0000	0.0000
	12	12	3900.0000	0.0000
	13	13	4237.5000	0.0000
	14	14	4575.0000	0.0000
	15	15	4912.5000	0.0000
	16	16	5250.0000	0.0000
	17	17	5587.5000	0.0000
	18	18	5925.0000	0.0000
	19	19	6262.5000	0.0000
	20	20	6600.0000	0.0000
	21	21	7000.0000	0.0000

	部材番号	節点番号	X	Y
下部工	101	1	0.0000	0.0000
	102	101	0.0000	-437.5000
	103	102	0.0000	-875.0000
	104	103	0.0000	-975.0000
	105	104	0.0000	-1475.0000
	106	105	0.0000	-1975.0000
	107	106	0.0000	-2475.0000
	108	107	0.0000	-2975.0000
	109	108	0.0000	-3475.0000
	110	109	0.0000	-3975.0000
	111	110	0.0000	-4475.0000
	112	111	0.0000	-4975.0000
	113	112	0.0000	-5475.0000
	114	113	0.0000	-5975.0000
	115	114	0.0000	-6475.0000
	116	115	0.0000	-6975.0000
	117	116	0.0000	-7475.0000
	118	117	0.0000	-7975.0000
	119	118	0.0000	-8475.0000
	120	119	0.0000	-8975.0000
	121	120	0.0000	-9475.0000
	122	121	0.0000	-9975.0000
	123	122	0.0000	-10475.0000
	124	123	0.0000	-10975.0000
	125	124	0.0000	-11475.0000
	126	125	0.0000	-11975.0000
	127	126	0.0000	-12475.0000
		127	0.0000	-12975.0000

部材番号	節点番号	X	Y
201	11	3500.0000	0.0000
202	201	3500.0000	-437.5000
203	202	3500.0000	-875.0000
204	203	3500.0000	-975.0000
205	204	3500.0000	-1475.0000
206	205	3500.0000	-1975.0000
207	206	3500.0000	-2475.0000
208	207	3500.0000	-2975.0000
209	208	3500.0000	-3475.0000
210	209	3500.0000	-3975.0000
211	210	3500.0000	-4475.0000
212	211	3500.0000	-4975.0000
213	212	3500.0000	-5475.0000
214	213	3500.0000	-5975.0000
215	214	3500.0000	-6475.0000
216	215	3500.0000	-6975.0000
217	216	3500.0000	-7475.0000
218	217	3500.0000	-7975.0000
219	218	3500.0000	-8475.0000
220	219	3500.0000	-8975.0000
221	220	3500.0000	-9475.0000
222	221	3500.0000	-9975.0000
223	222	3500.0000	-10475.0000
224	223	3500.0000	-10975.0000
225	224	3500.0000	-11475.0000
226	225	3500.0000	-11975.0000
227	226	3500.0000	-12475.0000
	227	3500.0000	-12975.0000

部材番号	節点番号	X	Y
301	21	7000.0000	0.0000
302	301	7000.0000	-437.5000
303	302	7000.0000	-875.0000
304	303	7000.0000	-975.0000
305	304	7000.0000	-1475.0000
306	305	7000.0000	-1975.0000
307	306	7000.0000	-2475.0000
308	307	7000.0000	-2975.0000
309	308	7000.0000	-3475.0000
310	309	7000.0000	-3975.0000
311	310	7000.0000	-4475.0000
312	311	7000.0000	-4975.0000
313	312	7000.0000	-5475.0000
314	313	7000.0000	-5975.0000
315	314	7000.0000	-6475.0000
316	315	7000.0000	-6975.0000
317	316	7000.0000	-7475.0000
318	317	7000.0000	-7975.0000
319	318	7000.0000	-8475.0000
320	319	7000.0000	-8975.0000
321	320	7000.0000	-9475.0000
322	321	7000.0000	-9975.0000
323	322	7000.0000	-10475.0000
324	323	7000.0000	-10975.0000
325	324	7000.0000	-11475.0000
326	325	7000.0000	-11975.0000
327	326	7000.0000	-12475.0000
	327	7000.0000	-12975.0000

〔杭と地盤間の相互作用バネ〕



※地盤反力係数の基準値は動的バネ

Winkler型p-y曲線履歴モデル

〔減衰〕
Rayleigh減衰（構造物と地盤それぞれに設定）

図 6.3　3 本柱モデル

6.1.3 FIBER 要素

柱-杭の鋼管の FIBER 要素の特性は、移動硬化則を用い、バイリニアの骨格曲線を適用した。

表 6.1 にファイバー要素の節点座標及び断面積を示す。また、表 6.2 にアルミ管の物性値を示す。

表 6.1 FIBER 要素

Y座標(m)	Z座標(m)	断面積(m^2)
0.009364230	0.000819264	1.96872E-06
0.009079703	0.002432899	1.96872E-06
0.008519293	0.003972612	1.96872E-06
0.007700029	0.005391619	1.96872E-06
0.006646804	0.006646804	1.96872E-06
0.005391619	0.007700029	1.96872E-06
0.003972612	0.008519293	1.96872E-06
0.002432899	0.009079703	1.96872E-06
0.000819264	0.009364230	1.96872E-06
-0.000819264	0.009364230	1.96872E-06
-0.002432899	0.009079703	1.96872E-06
-0.003972612	0.008519293	1.96872E-06
-0.005391619	0.007700029	1.96872E-06
-0.006646804	0.006646804	1.96872E-06
-0.007700029	0.005391619	1.96872E-06
-0.008519293	0.003972612	1.96872E-06
-0.009079703	0.002432899	1.96872E-06
-0.009364230	0.000819264	1.96872E-06
-0.009364230	-0.000819264	1.96872E-06
-0.009079703	-0.002432899	1.96872E-06
-0.008519293	-0.003972612	1.96872E-06
-0.007700029	-0.005391619	1.96872E-06
-0.006646804	-0.006646804	1.96872E-06
-0.005391619	-0.007700029	1.96872E-06
-0.003972612	-0.008519293	1.96872E-06
-0.002432899	-0.009079703	1.96872E-06
-0.000819264	-0.009364230	1.96872E-06
0.000819264	-0.009364230	1.96872E-06
0.002432899	-0.009079703	1.96872E-06
0.003972612	-0.008519293	1.96872E-06
0.005391619	-0.007700029	1.96872E-06
0.006646804	-0.006646804	1.96872E-06
0.007700029	-0.005391619	1.96872E-06
0.008519293	-0.003972612	1.96872E-06
0.009079703	-0.002432899	1.96872E-06
0.009364230	-0.000819264	1.96872E-06
0.000000000	0.000000000	1.00000E-11

表 6.2 アルミ管の物性値

材料	管径 (mm)	管厚 (mm)	ﾔﾝｸﾞ係数 (kN/m^2)	降伏応力度 (N/mm^2)
アルミ管	20	1.2	70,000,000	260

6.1.4　重量

構造物の重量は節点に質点荷重として与えた。以下に 1 本モデルと 3 本柱モデルの各節点の重量を示す。

表 6.3　構造物重量

(1)1 本柱

節点番号	重量(kN/m)
1	0.001158125
2	0.002547875
3	0.002799
4	0.002547875
5	0.001158125
101	0.000014625
102	0.000024375
103	0.000039
104	0.000039
105	0.000039
106	0.000039
107	0.000039
108	0.000039
109	0.000039
110	0.000039
111	0.000039
112	0.000039
113	0.000039
114	0.000039
115	0.000039
116	0.000039
117	0.000039
118	0.000039
119	0.000039
120	0.000039
121	0.000039
122	0.000039
123	0.000039
124	0.000039
125	0.000039
126	0.000039
127	0.0000195

(2)3 本柱

節点番号	重量(kN/m)
1	0.0009154
2	0.001615863
3	0.001478925
4	0.001478925
5	0.001478925
6	0.001478925
7	0.001478925
8	0.001478925
9	0.001478925
10	0.001615863
11	0.0017918
12	0.001615863
13	0.001478925
14	0.001478925
15	0.001478925
16	0.001478925
17	0.001478925
18	0.001478925
19	0.001478925
20	0.001615863
21	0.0009154
101	0.000014625
102	0.000028275
103	0.0000234
104	0.000039
105	0.000039
106	0.000039
107	0.000039
108	0.000039
109	0.000039
110	0.000039
111	0.000039
112	0.000039
113	0.000039
114	0.000039
115	0.000039
116	0.000039
117	0.000039
118	0.000039
119	0.000039
120	0.000039
121	0.000039
122	0.000039
123	0.000039
124	0.000039
125	0.000039
126	4.485E-05
127	2.535E-05

6.1.5　地盤ばね

考慮する地盤抵抗はアルミ管柱前背面の水平地盤抵抗であり，式(6.1)～(6.6)に示す H24 道示Ⅴ及び H24 道示Ⅳの杭基礎前面の水平地盤抵抗ばねによりモデル化した。

$$k_H = k_{H0}(B_H/0.3)^{-3/4} \quad \text{----------(6.1)}$$

$$k_{H0} = 1/0.3\,E_D \quad \text{----------(6.2)}$$

$$k_{HE} = \eta_k \alpha_k k_H \quad \text{----------(6.3)}$$

$$k_{SV} = 1/3 k_{HE} \quad \text{----------(6.4)}$$

$$p_{HU} = \eta_p \alpha_p p_U \quad \text{----------(6.5)}$$

$$P_{SNU} = 8 \cdot N\text{値} \cdot A \quad \text{----------(6.6)}$$

ここに、式中の諸係数は H24 道示Ⅳ及び H24 道示Ⅴより引用した。

k_H：地震時の水平地盤反力係数(kN/m^3)

k_{H0}：水平方向地盤反力係数(kN/m^3)

B_H：換算載荷幅(m)

E_D：地盤の動的変形係数(kN/m^2)

k_{HE}：地震時保有水平耐力法に用いる水平方向地盤反力係数(kN/m^3)

η_k：群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の補正係数

α_k：単杭における水平方向地盤反力係数の補正係数

k_{SV}：周面摩擦鉛直方向地盤反力係数(kN/m^3)

p_{HU}：水平地盤反力度の上限値(kN/m^2)

η_p：群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の上限値の補正係数

α_p：単杭における水平地盤反力度の上限値の補正係数

p_U：地震時の受働土圧強度(kN/m^2)

P_{SNU}：周面摩擦力の上限値(中堀杭相当の周面摩擦力と仮定)(kN)

A：抵抗面積(m^2)

地盤ばねの特性を以下に示す。

表 6.4　地盤ばね特性

(1)砂質土

節点番号	分担長 (m)	深さ (m)	K_{HE} (kN/m^3)	K1 (kN/m)	PU (kN/m^2)	PU (kN)	δ1 (m)	K2 (kN/m)	Ksv (kN/m^3)	K1 (kN/m)	Psnu (kN)	δ1 (m)	K2 (kN/m)
112	0.020	0.02	4091000	2769	185	0.1251	0.0000	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
113	0.020	0.04	4091000	2769	370	0.2502	0.0001	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
114	0.020	0.06	4091000	2769	554	0.3753	0.0001	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
115	0.020	0.08	4091000	2769	739	0.5004	0.0002	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
116	0.020	0.10	4091000	2769	924	0.6255	0.0002	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
117	0.020	0.12	4091000	2769	1,109	0.7506	0.0003	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
118	0.020	0.14	4091000	2769	1,294	0.8757	0.0003	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
119	0.020	0.16	4091000	2769	1,478	1.0008	0.0004	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
120	0.020	0.18	4091000	2769	1,663	1.1259	0.0004	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
121	0.020	0.20	4091000	2769	1,848	1.2510	0.0005	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
122	0.020	0.22	4091000	2769	2,033	1.3761	0.0005	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
123	0.020	0.24	4091000	2769	2,218	1.5012	0.0005	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
124	0.020	0.26	4091000	2769	2,403	1.6263	0.0006	0.0001	1227300	1542	0.2	0.00	0.0001
125	0.010	0.27	4091000	1385			0.0000		1227300	771	0.1	0.00	
	0.010	0.28	8191000	2772	1,294		0.0000		2457300	1544	0.8	0.00	
				4157	2,587	1.7514	0.0004	0.0001	0	2315	0.4	0.00	0.0001
126	0.020	0.30	8191000	10000	1,000	0.6769	0.0001	0.0001	2457300	3088	2	0.00	0.0001
127	0.010	0.32	8191000	10000	1,000	0.3384	0.0000	0.0001	2457300	1544	1	0.00	0.0001

(2)粘性土

節点番号	分担長 (m)	深さ (m)	KHE (kN/m^3)	K1 (kN/m)	PU (kN/m^2)	PU (kN)	δ1 (m)	K2 (kN/m)	Ksv (kN/m^3)	K1 (kN/m)	Psnu (kN)	δ1 (m)	K2 (kN/m)
112	0.020	0.02	4162000	2811	98	0.0661	0.0000	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
113	0.020	0.04	4162000	2811	122	0.0823	0.0000	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
114	0.020	0.06	4162000	2811	146	0.0985	0.0000	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
115	0.020	0.08	4162000	2811	170	0.1147	0.0000	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
116	0.020	0.10	4162000	2811	194	0.1309	0.0000	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
117	0.020	0.12	4162000	2811	218	0.1471	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
118	0.020	0.14	4162000	2811	242	0.1633	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
119	0.020	0.16	4162000	2811	266	0.1795	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
120	0.020	0.18	4162000	2811	290	0.1957	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
121	0.020	0.20	4162000	2811	314	0.2120	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
122	0.020	0.22	4162000	2811	338	0.2282	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
123	0.020	0.24	4162000	2811	362	0.2444	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
124	0.020	0.26	4162000	2811	386	0.2606	0.0001	0.0001	1248600	1569	0.2	0.00	0.0001
125	0.010	0.27	4162000	1406			0.0000		1248600	785	0.1	0.00	
	0.010	0.28	8191000	2766	242		0.0000		2457300	1544	0.8	0.00	
				4172	410	0.2768	0.0001	0.0001	0	2328	0.4	0.00	0.0001
126	0.020	0.30	8191000	10000	1,000	0.6754	0.0001	0.0001	2457300	3088	2	0.00	0.0001
127	0.010	0.32	8191000	10000	1,000	0.3377	0.0000	0.0001	2457300	1544	1	0.00	0.0001

6.1.6　入力波形

(1) 波形の入力方法

地震動の入力は、実験で得られた自由地盤における深度ごとの加速度及びこれを積分することにより得られた変位を杭-地盤間の動的相互作用ばねを介して入力した。

実験では、A1～A4 において、地盤の応答加速度時刻歴波形が計測されている。この波形を解析モデルの地盤ばねを介して、入力するものとした。ただし、A1～A4 の 4 地点のみしか計測していないため、以下に示すように入力を行った。次ページ以降に入力した加速度波形と変位波形を示す。

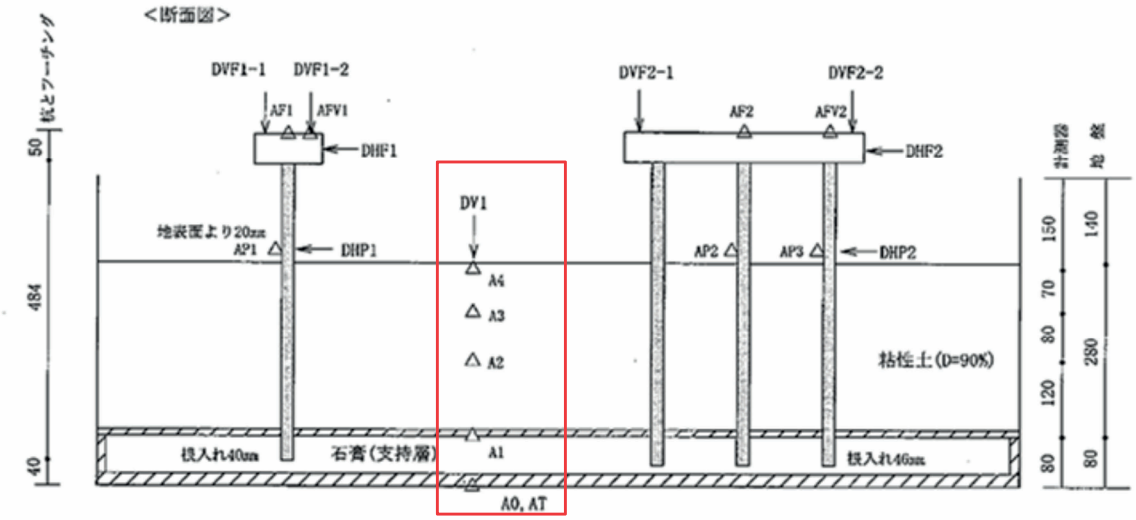


図 6.4　実験概略図

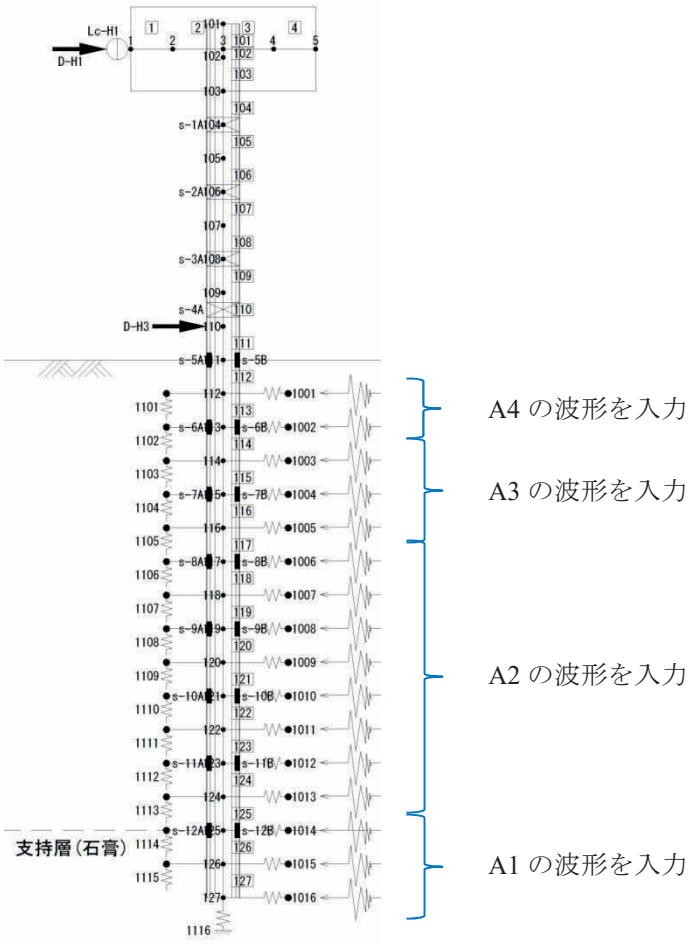


図 6.5　波形の入力方法

(2)Sin 波 （砂地盤-1 本柱用）

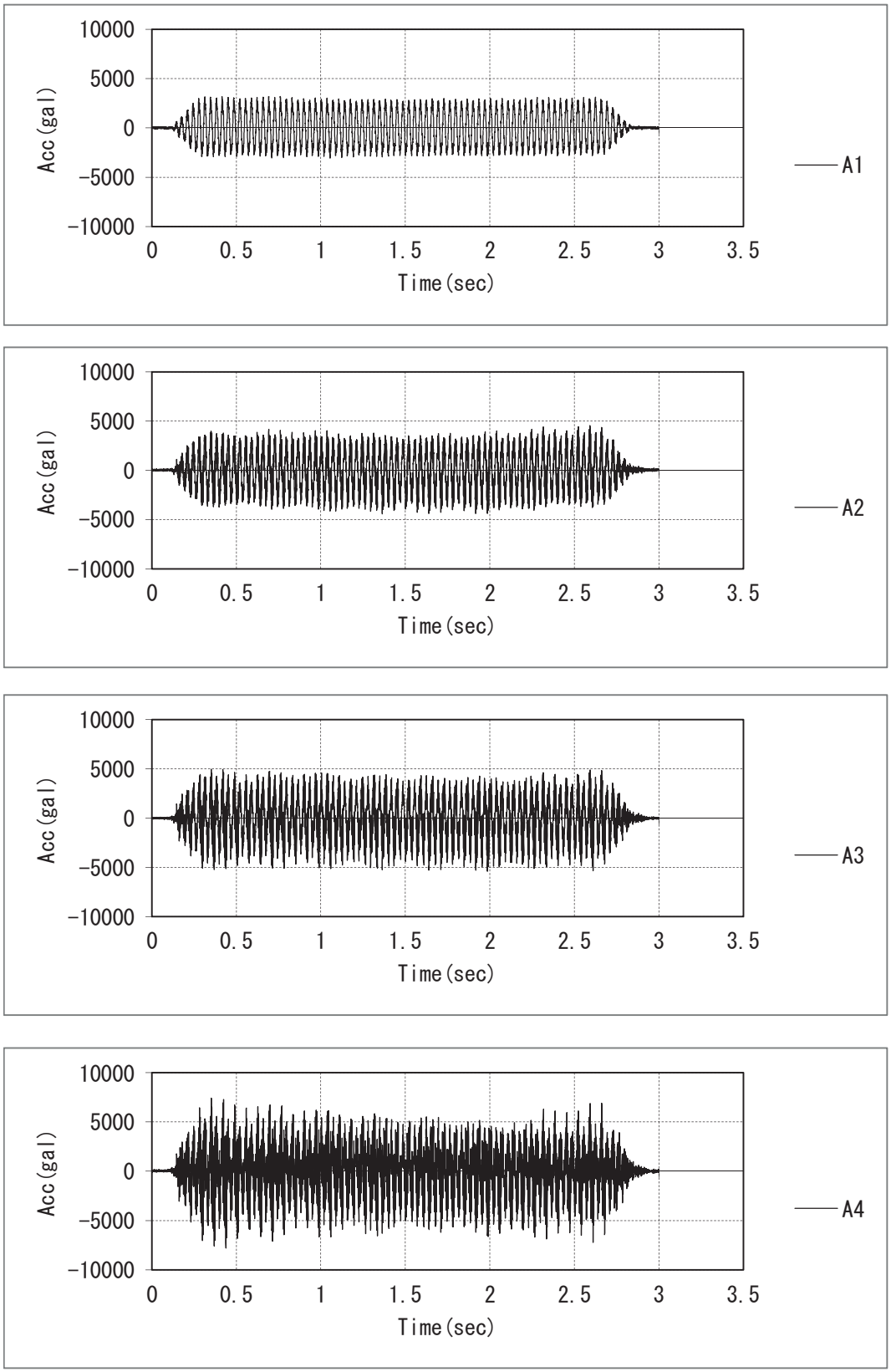


図 6.6　入力加速度(Sin 波-砂地盤-1 本柱用)

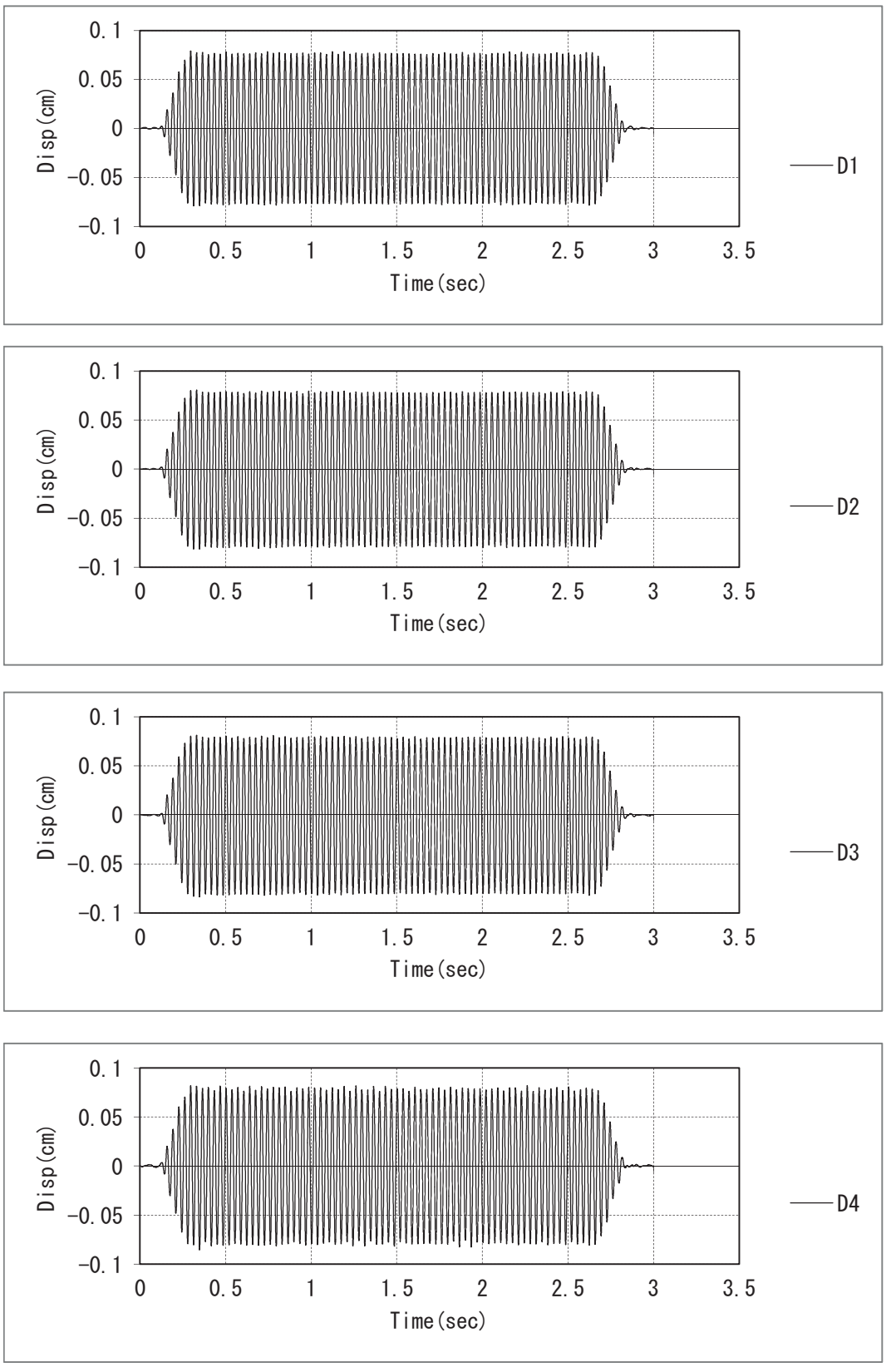
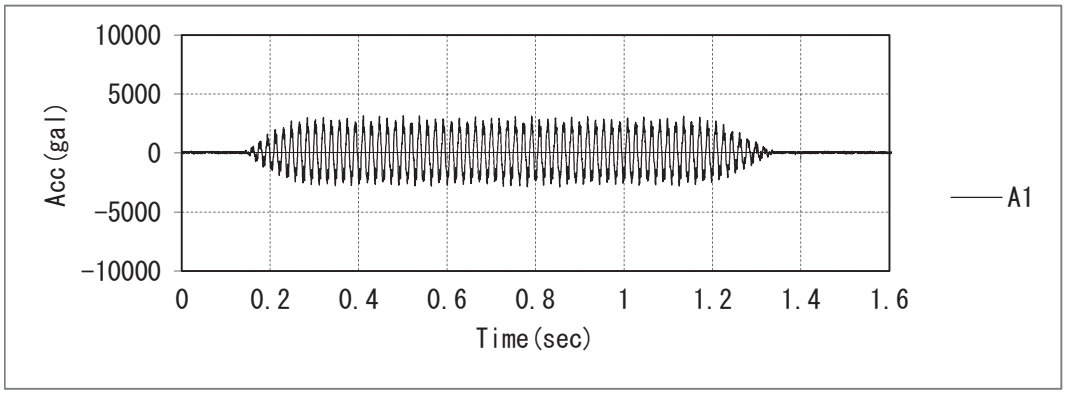
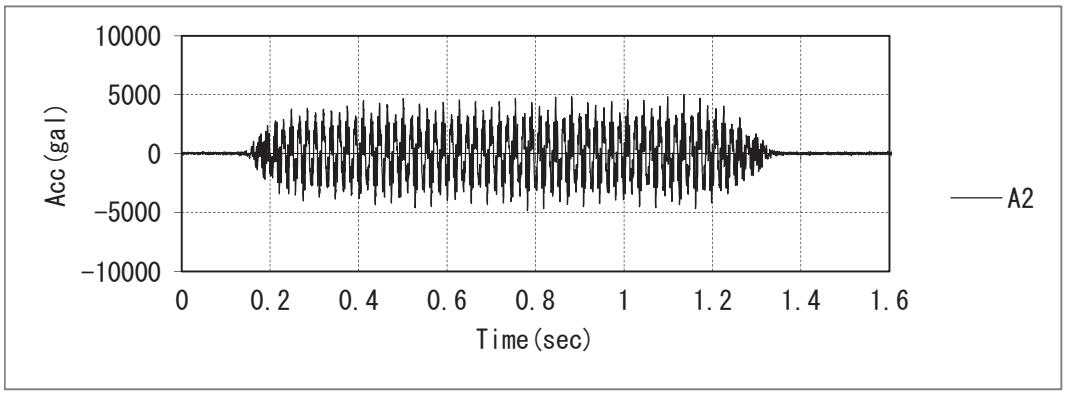
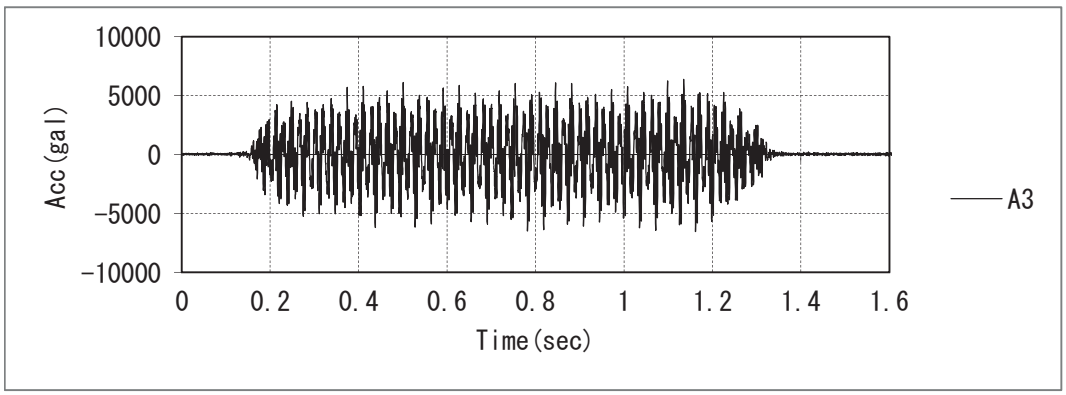


図 6.7　入力変位(Sin 波-砂地盤-1 本柱用)

(3)Sin 波(砂地盤-3 本柱用)







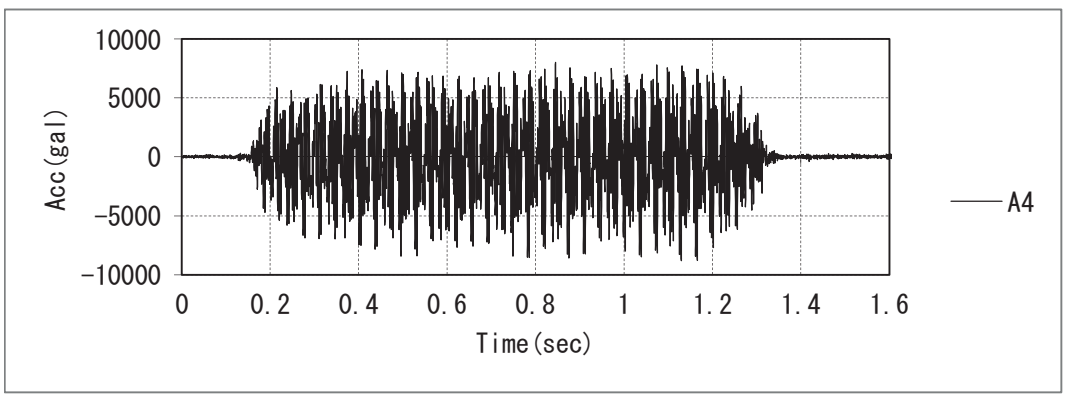


図 6.8　入力加速度(Sin 波-砂地盤-3 本柱用)

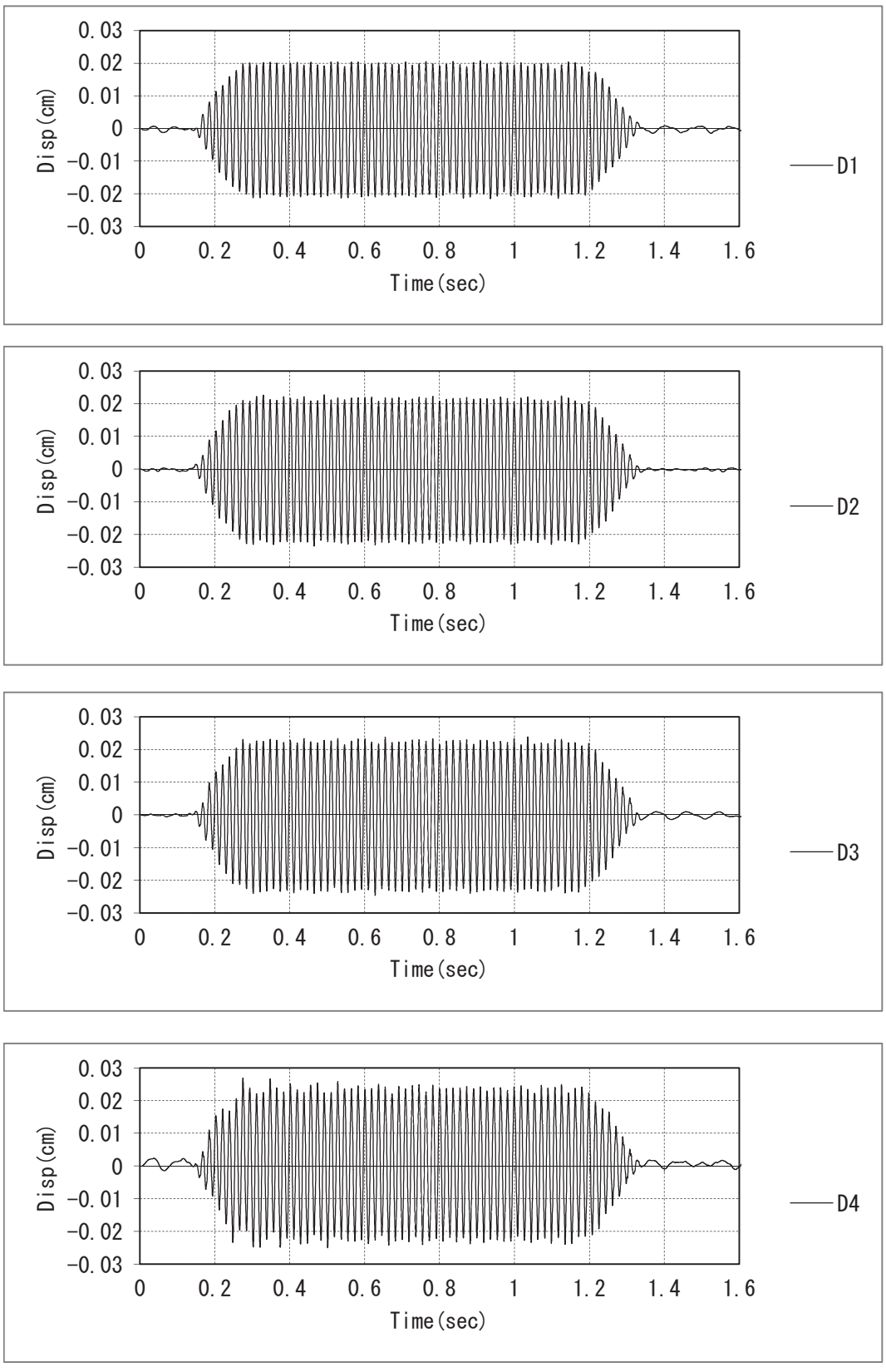


図 6.9　入力変位(Sin 波-砂地盤-3 本柱用)

(4)L1 地震波(砂地盤)

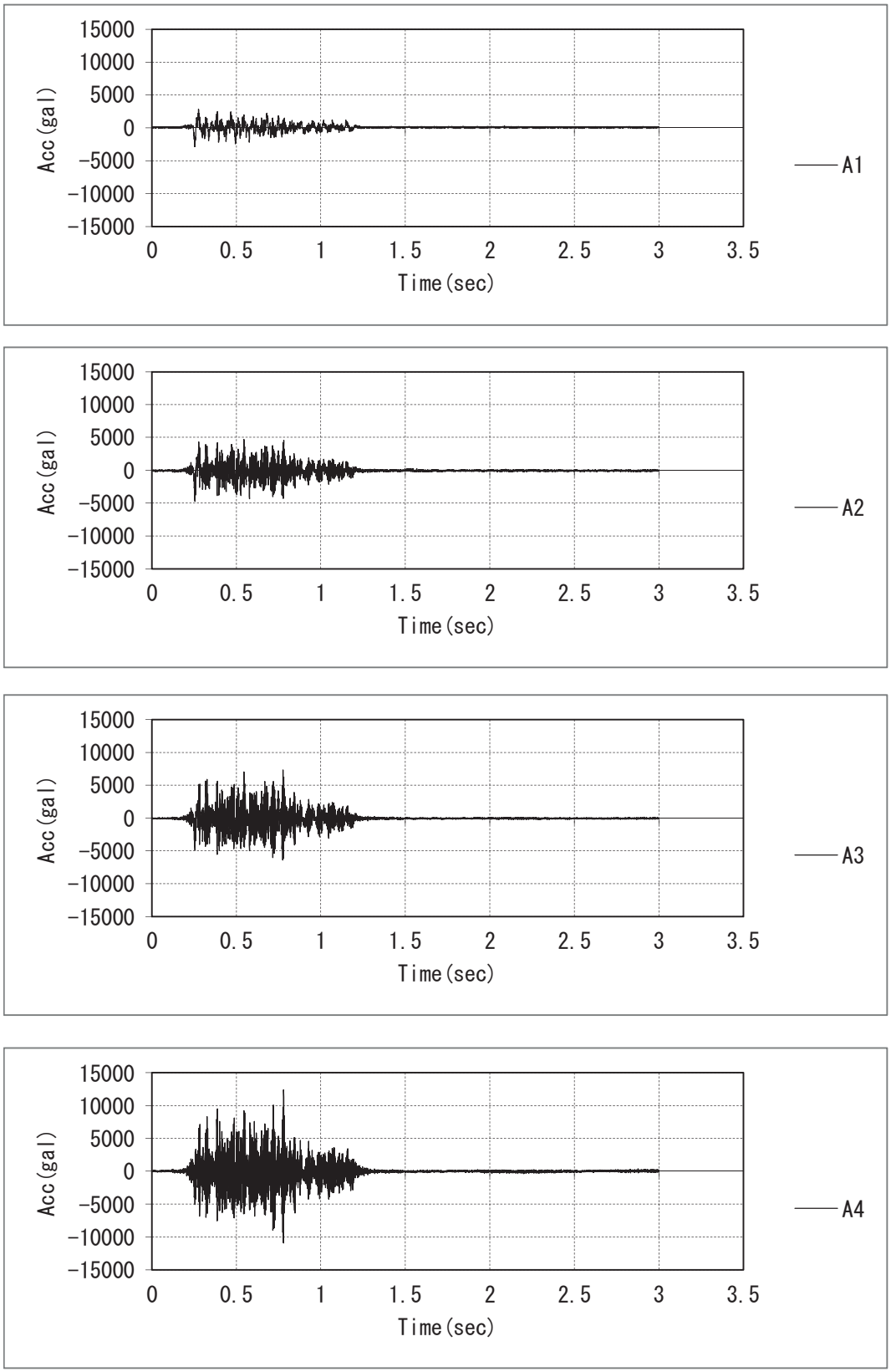


図 6.10　入力加速度(L1 地震-砂地盤)

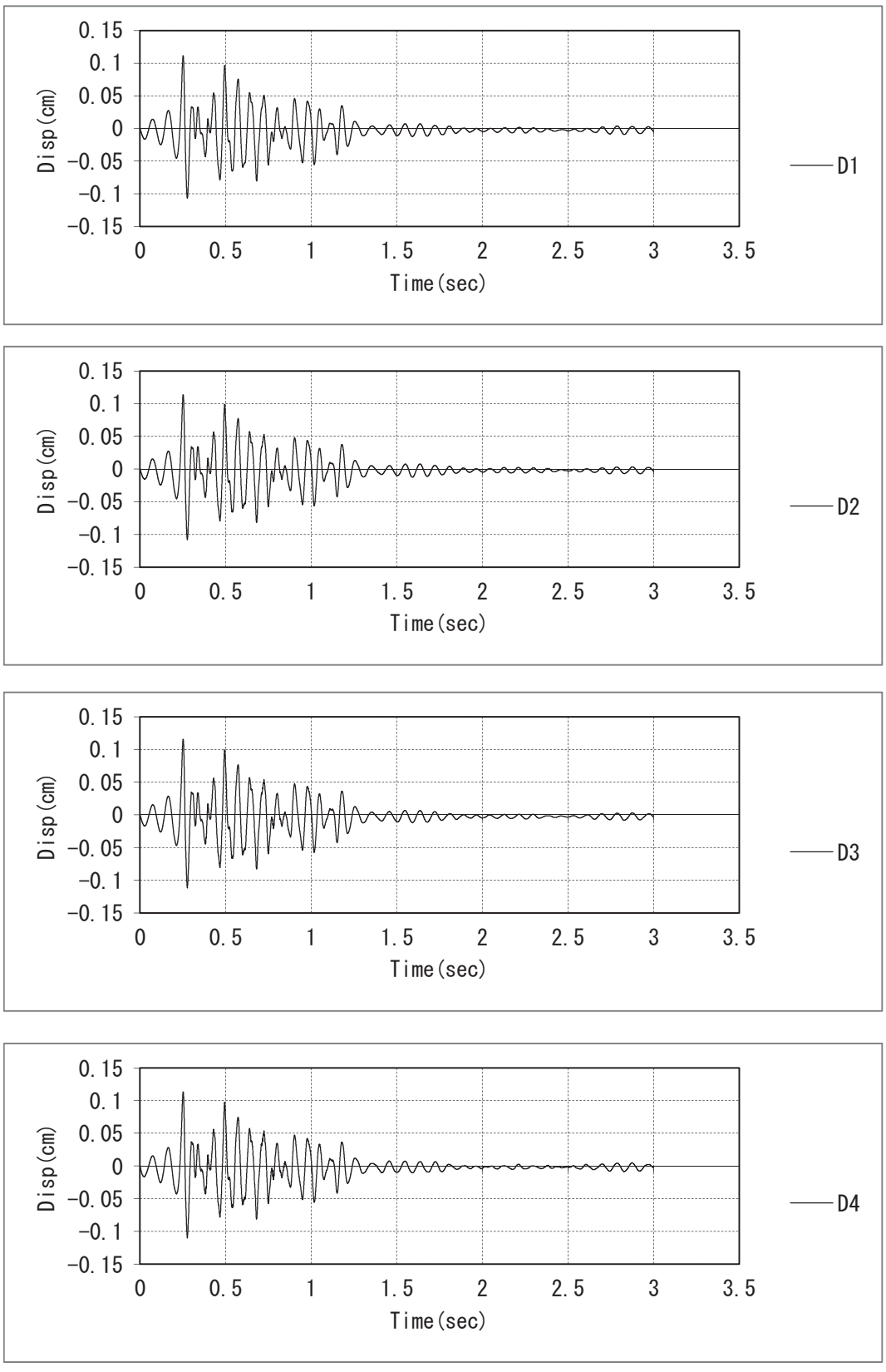


図 6.11　入力変位(L1 地震-砂地盤)

(5)L2 地震波(砂地盤)

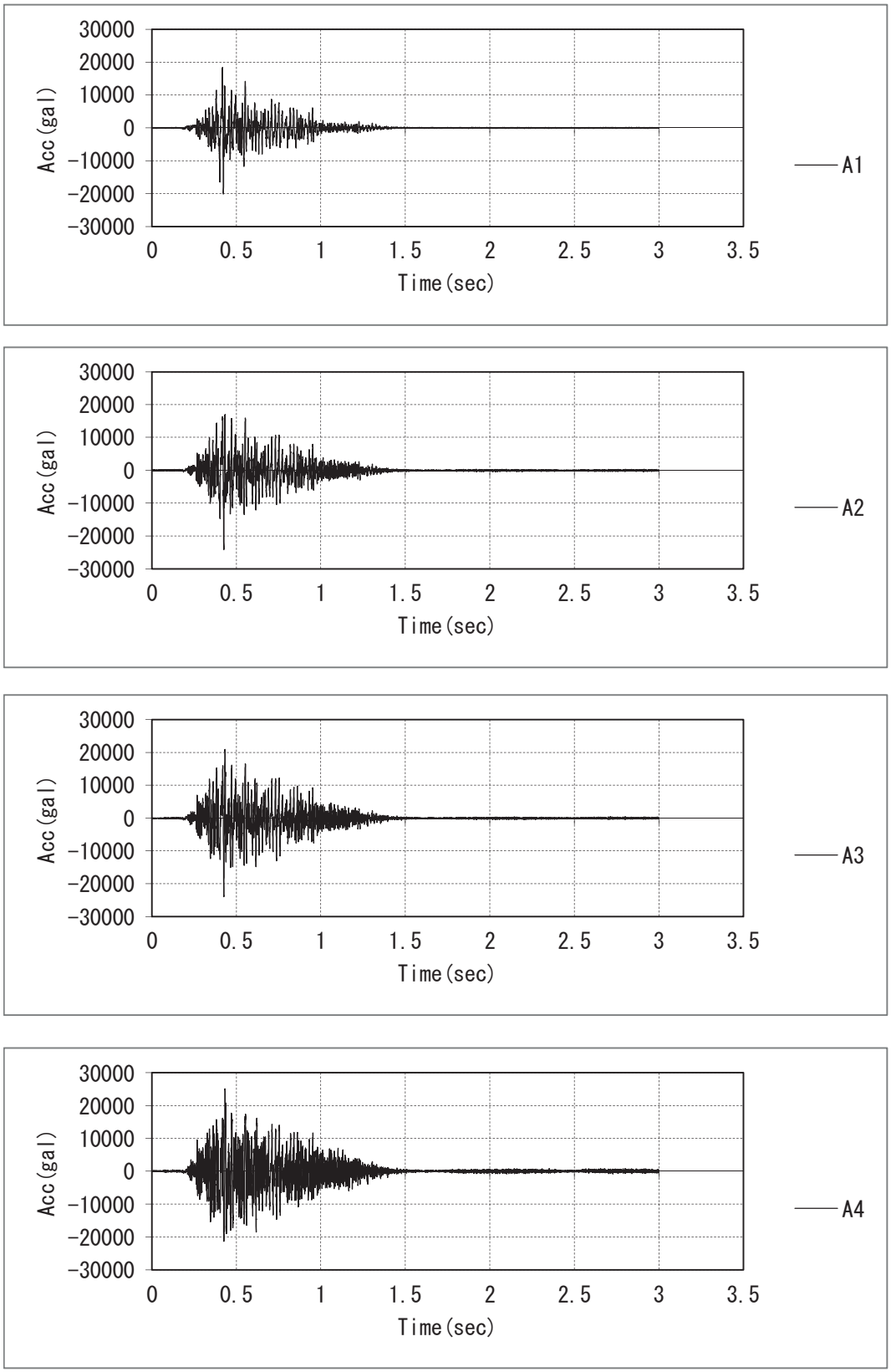
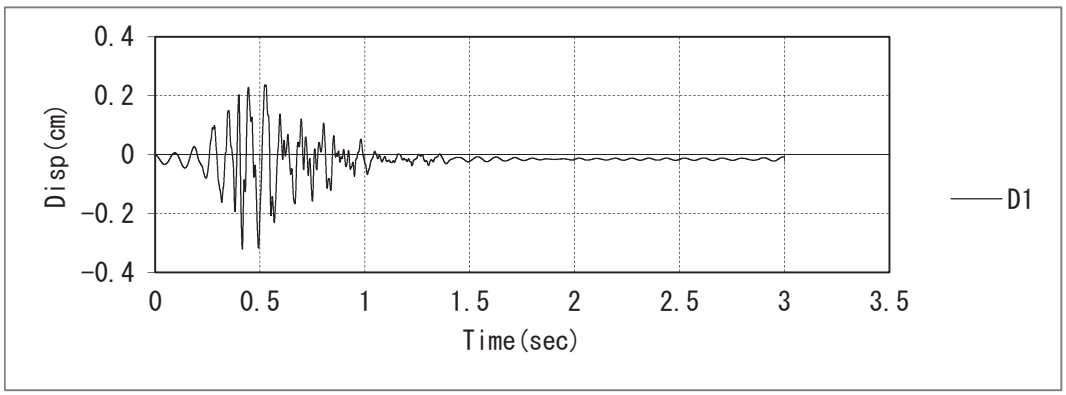
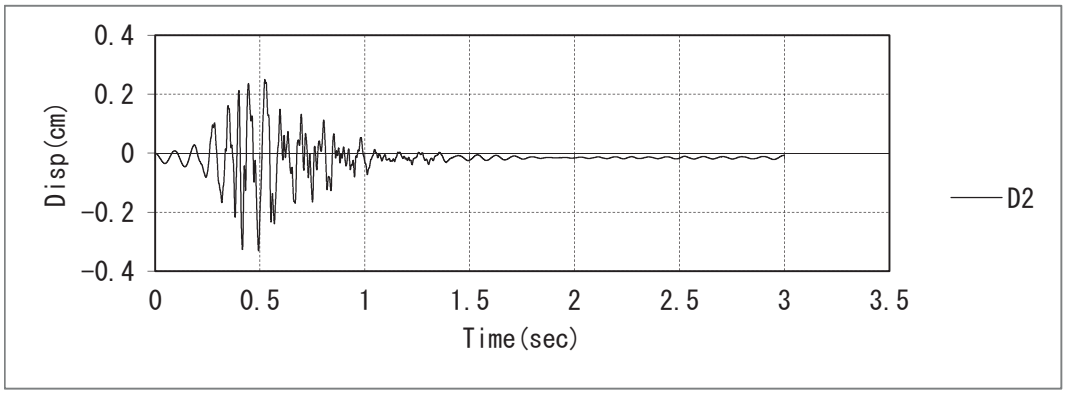
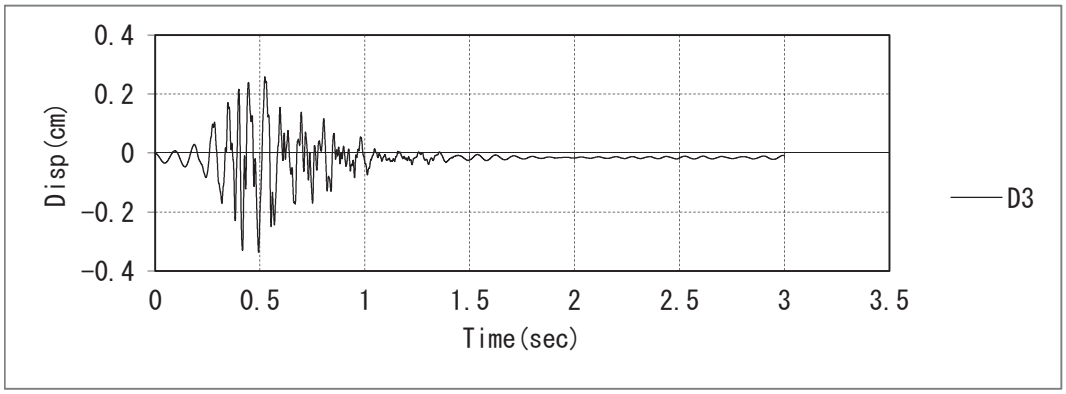


図 6.12　入力加速度(L2 地震-砂地盤)







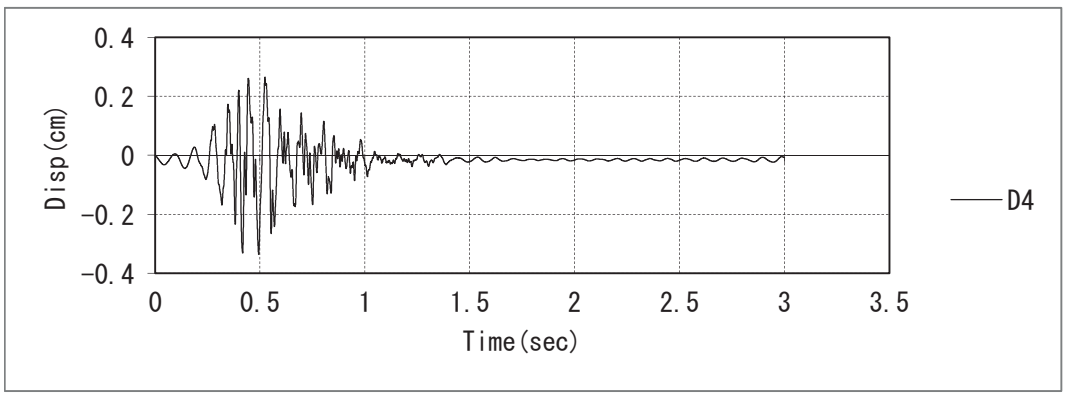


図 6.13　入力変位(L2 地震-砂地盤)

(6)Sin 波(粘土地盤-1 本柱用)

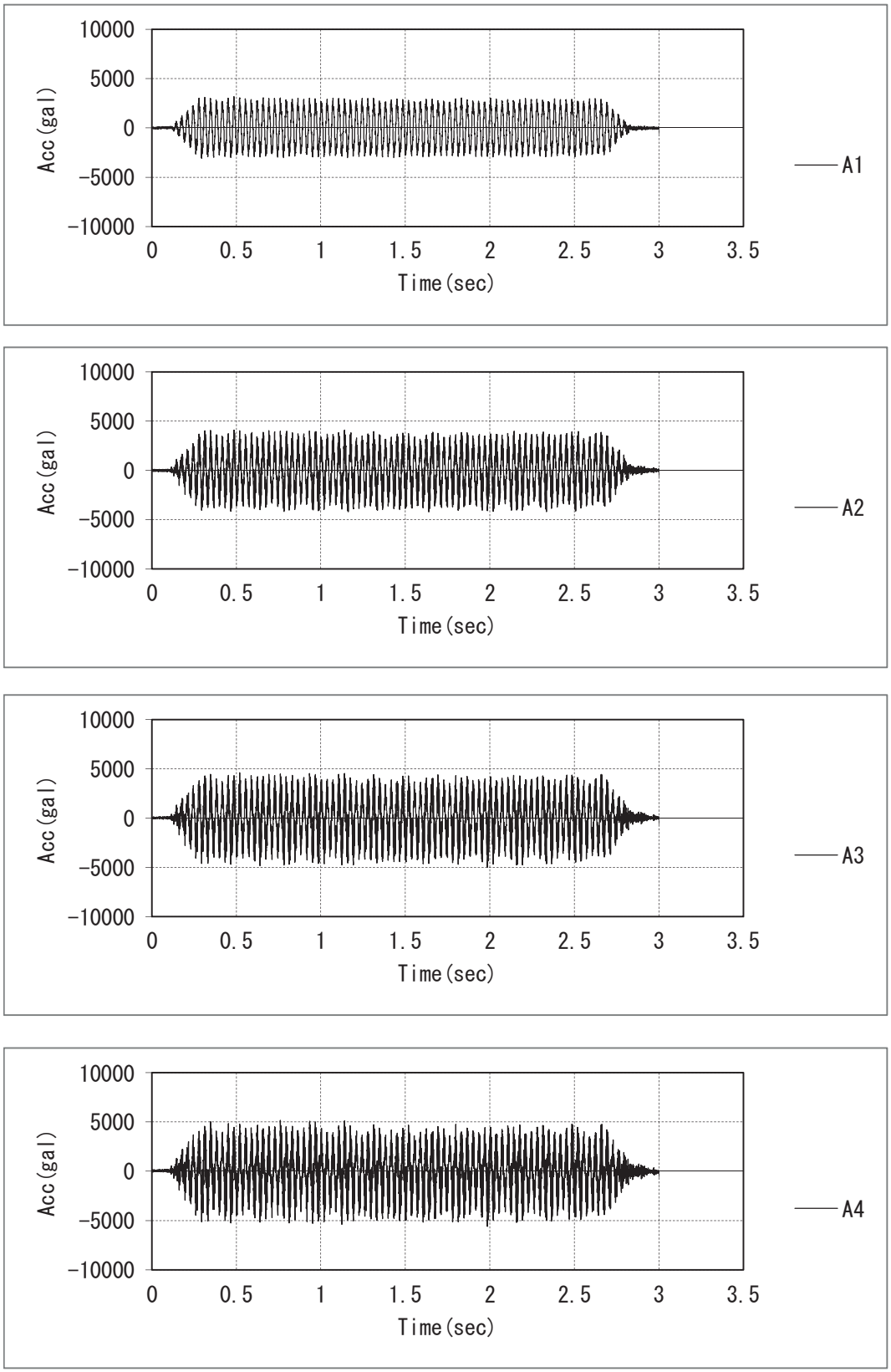
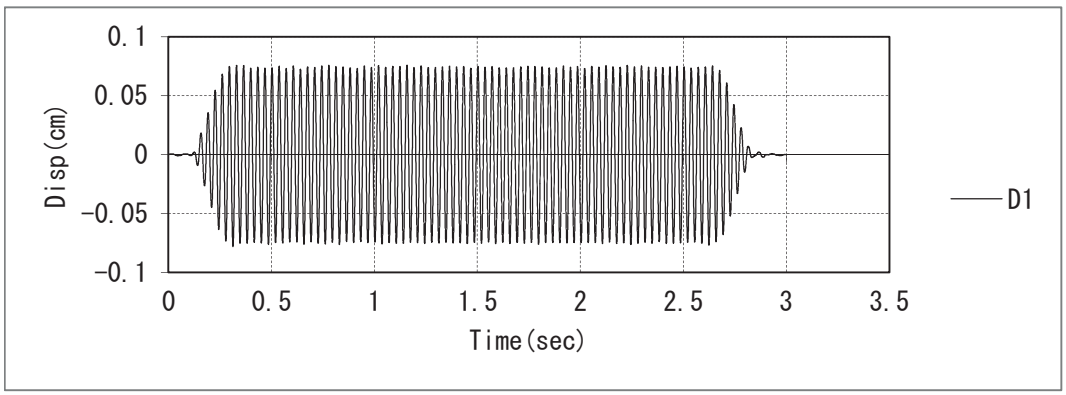
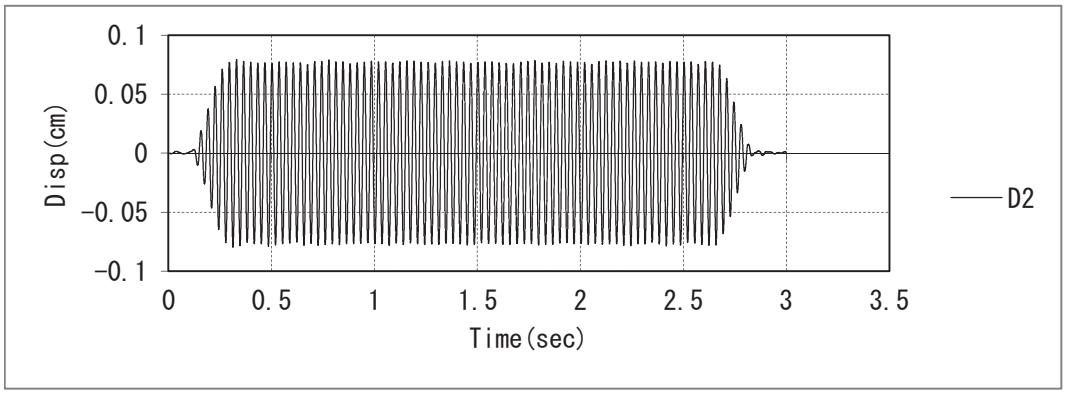
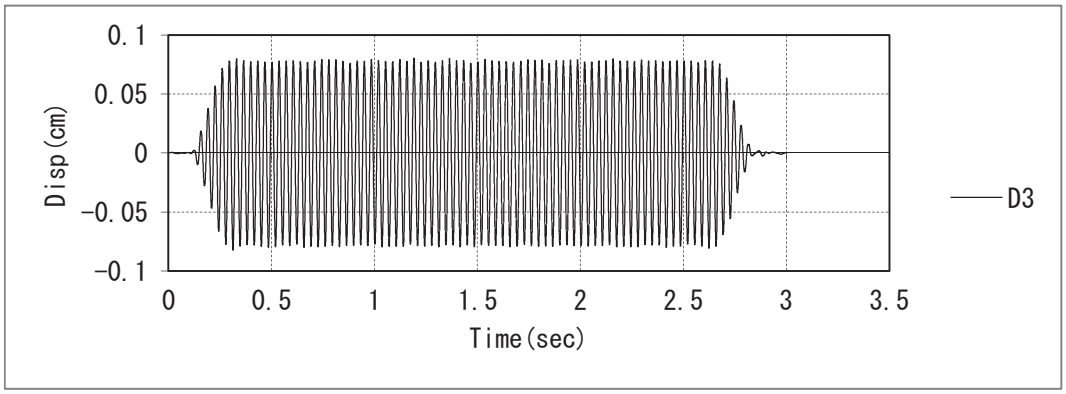


図 6.14　入力加速度(Sin 波-粘土地盤-1 本柱用)







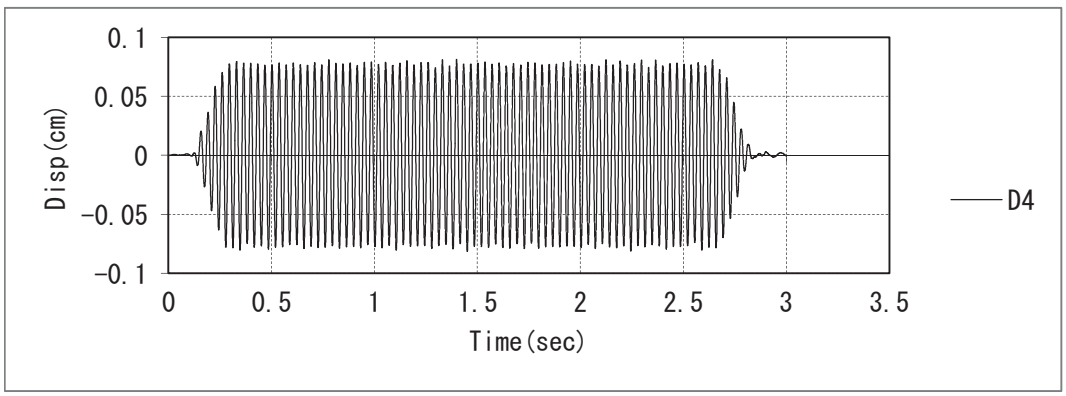


図 6.15　入力変位(Sin 波-粘土地盤-1 本柱用)

(7)Sin 波(粘土地盤-3 本柱用)

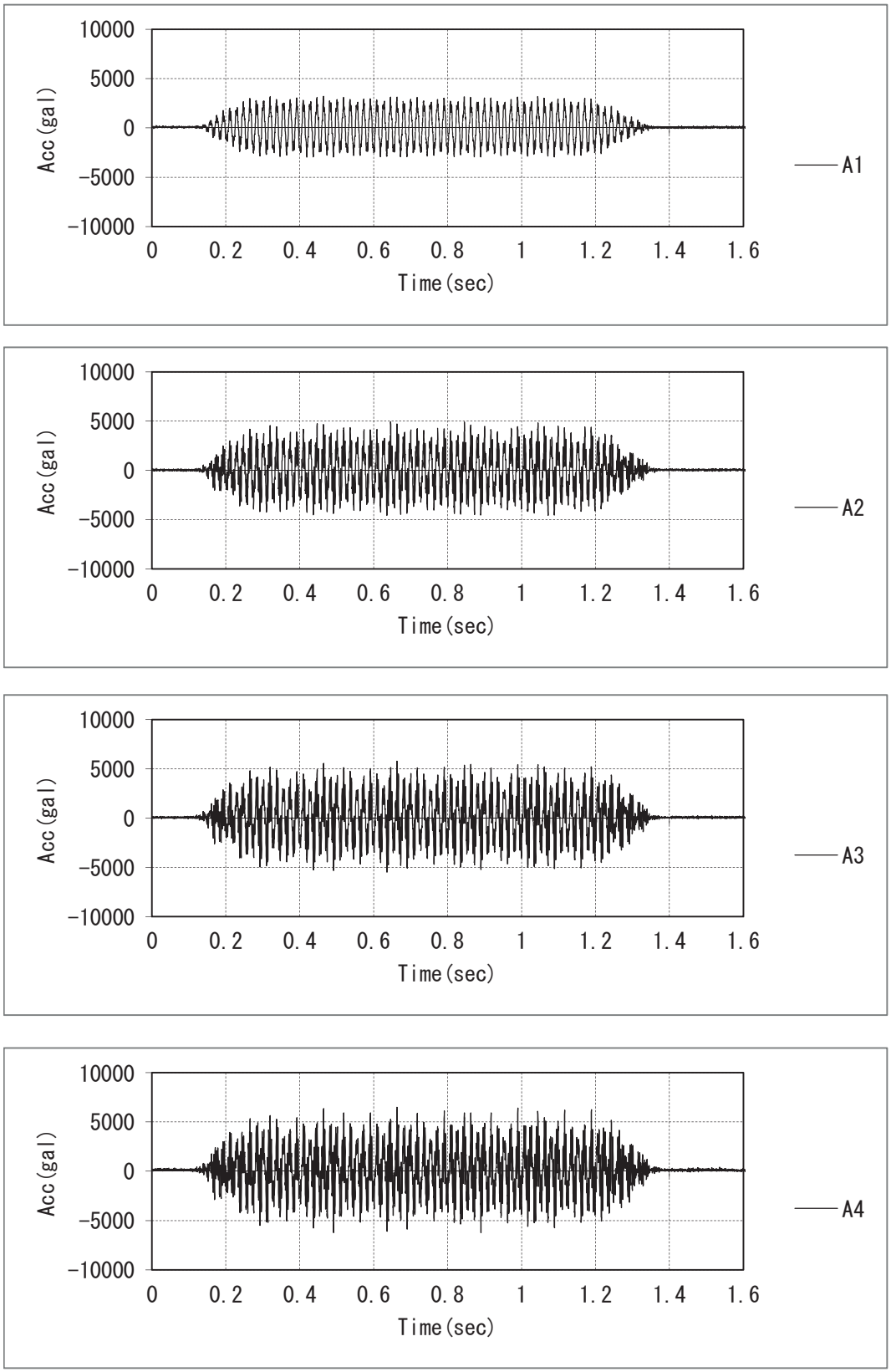


図 6.16　入力加速度(Sin 波-粘土地盤-3 本柱用)

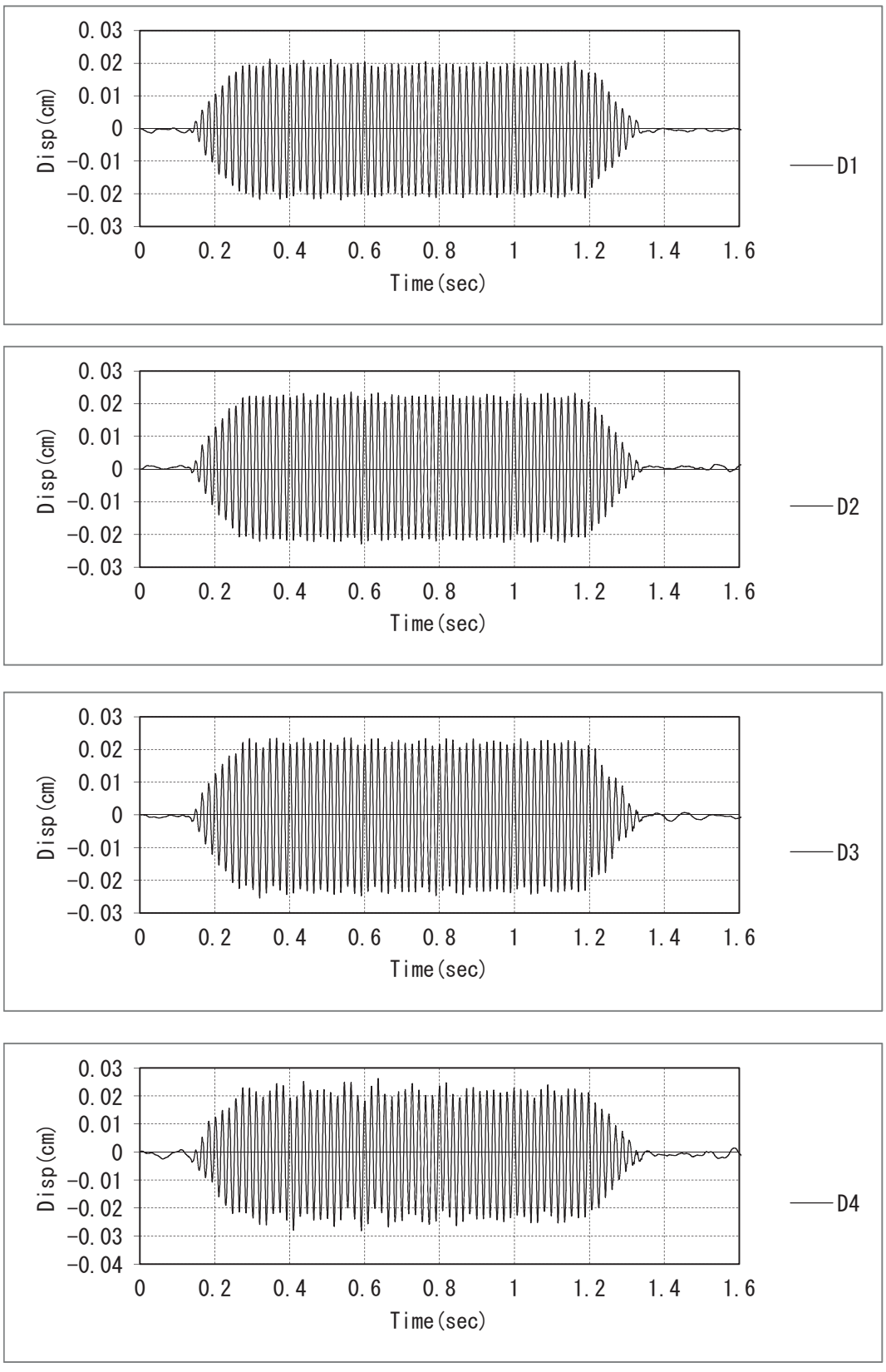


図 6.17　入力変位(Sin 波-粘土地盤-3 本柱用)

(8)L1 地盤相当波(粘土地盤)

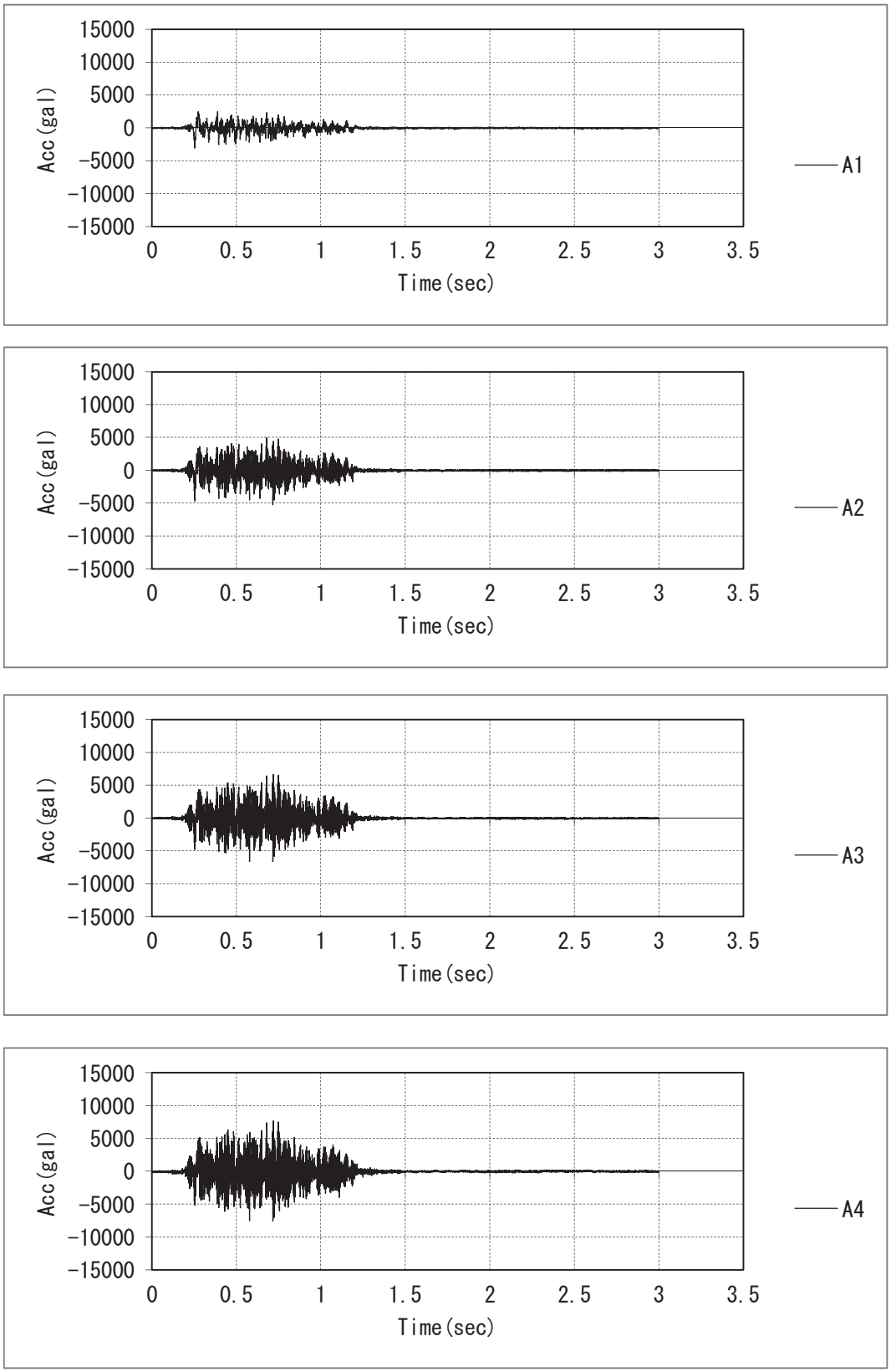


図 6.18　入力加速度(L1 地震波-粘土地盤)

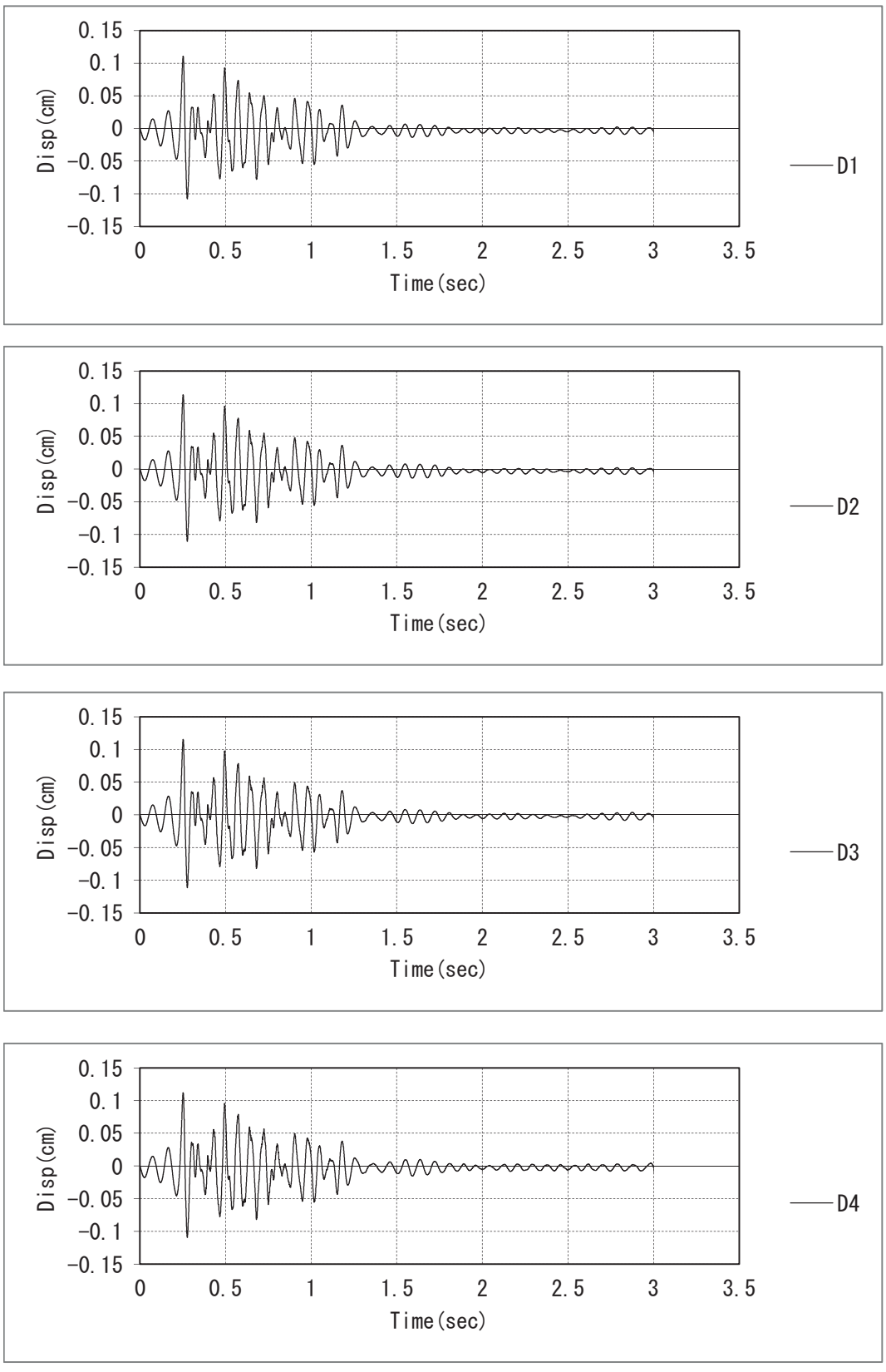


図 6.19　入力変位(L1 地震波-粘土地盤)

(9)L2 地盤相当波(粘土地盤)

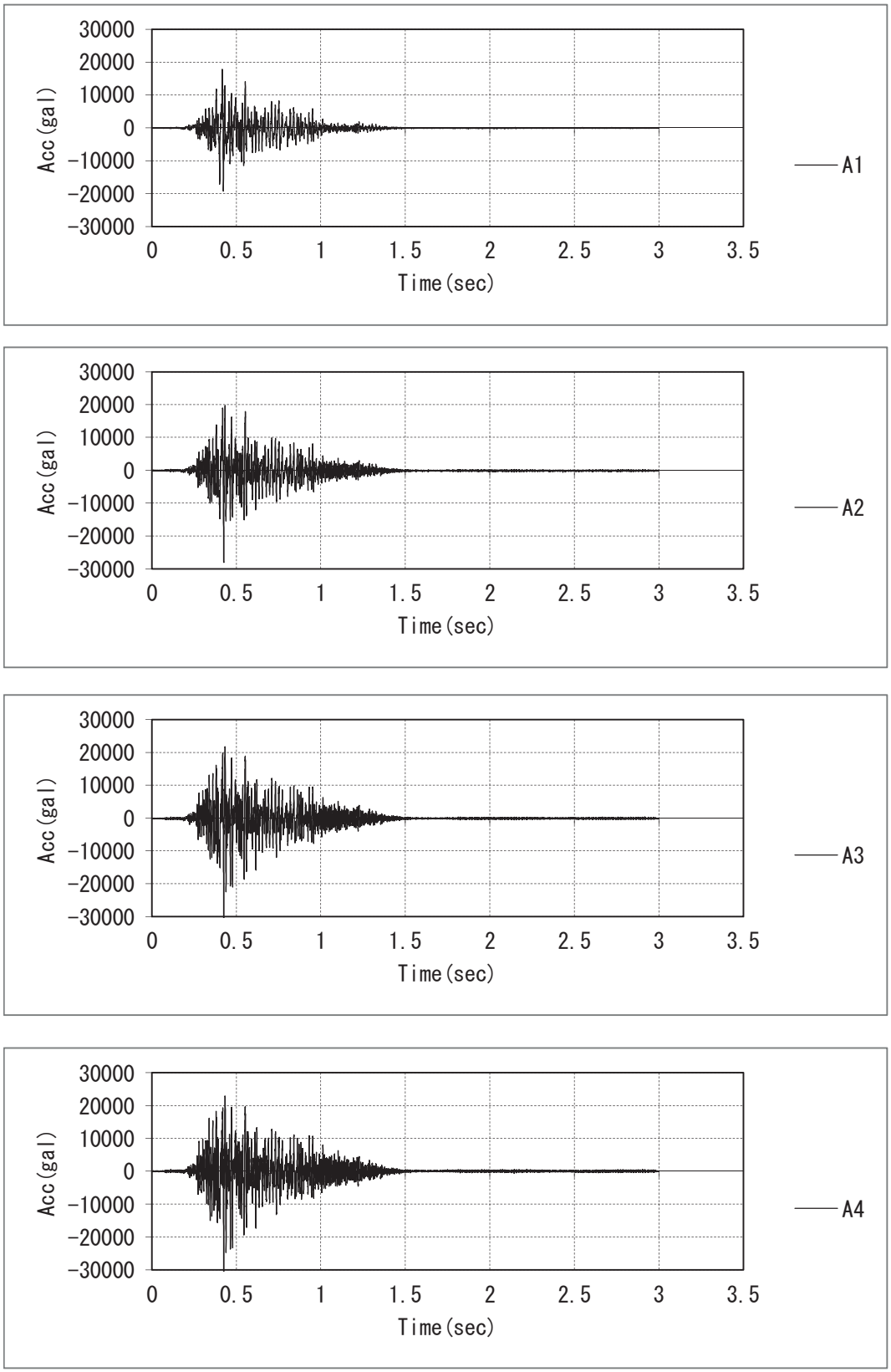
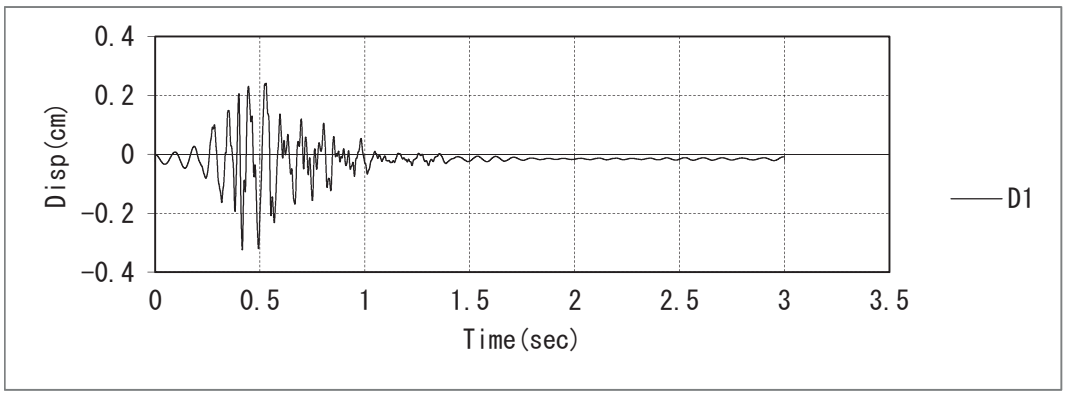
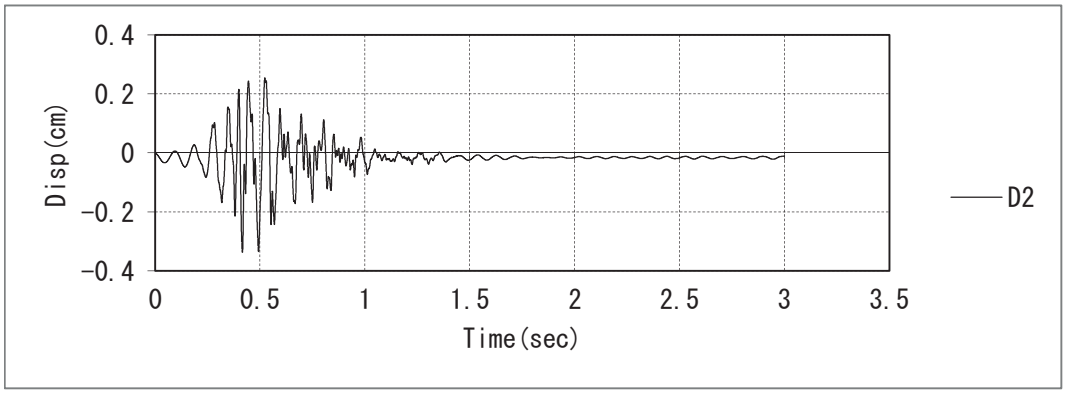
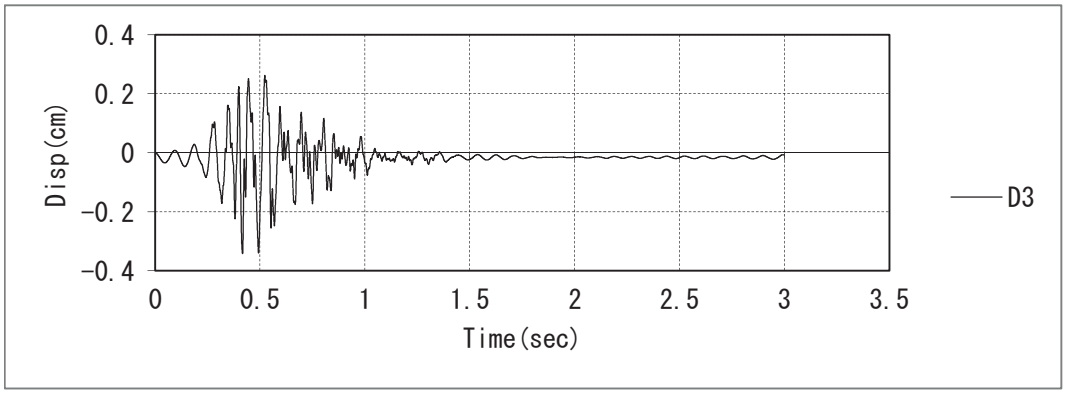


図 6.20　入力加速度(L2 地震波-粘土地盤)







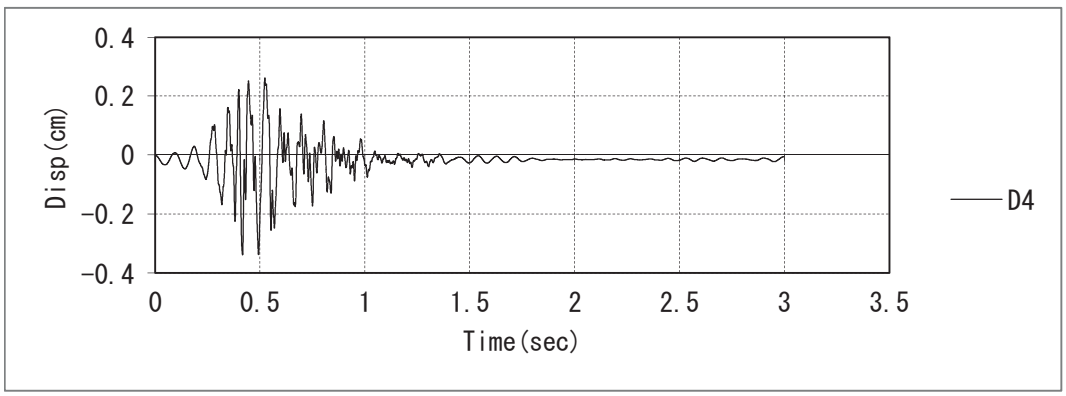


図 6.21　入力変位(L2 地震波-粘土地盤)

6.2　解析結果

6.2.1　解析ケース

解析ケースを以下に示す。

・構造は、1 本柱及び 3 本柱の 2 ケースとした。

・地盤は、砂と粘土の 2 ケースとした。

・荷重は、Sin 波、L1 地震動及び L2 地震動の 3 ケースとした。ただし、Sin 波は、1 本柱のケースは、1 本柱の固有周期に併せた波形、3 本柱のケースは、3 本柱の固有周期に併せた波形とした。

・合計、12 ケースについて、解析を実施し、実験値との比較を行った。

表 6.5　解析ケース

Case	構造	地盤	荷重
Case1	1 本柱	砂	Sin 波
Case2	1 本柱	砂	L1 地震動
Case3	1 本柱	砂	L2 地震動
Case4	3 本柱	砂	Sin 波(3 本柱)
Case5	3 本柱	砂	L1 地震動
Case6	3 本柱	砂	L2 地震動
Case7	1 本柱	粘土	Sin 波(1 本柱)
Case8	1 本柱	粘土	L1 地震動
Case9	1 本柱	粘土	L2 地震動
Case10	3 本柱	粘土	Sin 波(3 本柱)
Case11	3 本柱	粘土	L1 地震動
Case12	3 本柱	粘土	L2 地震動

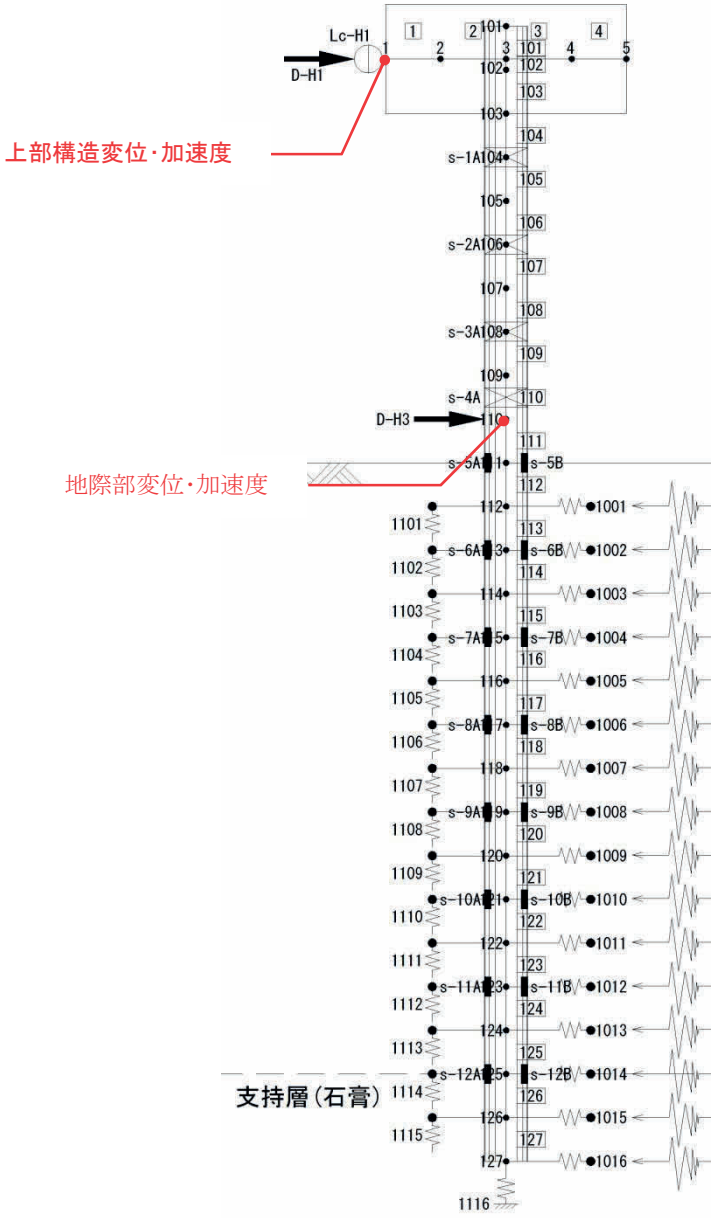


図 6.22　変位と加速度の抽出箇所（1 本柱）

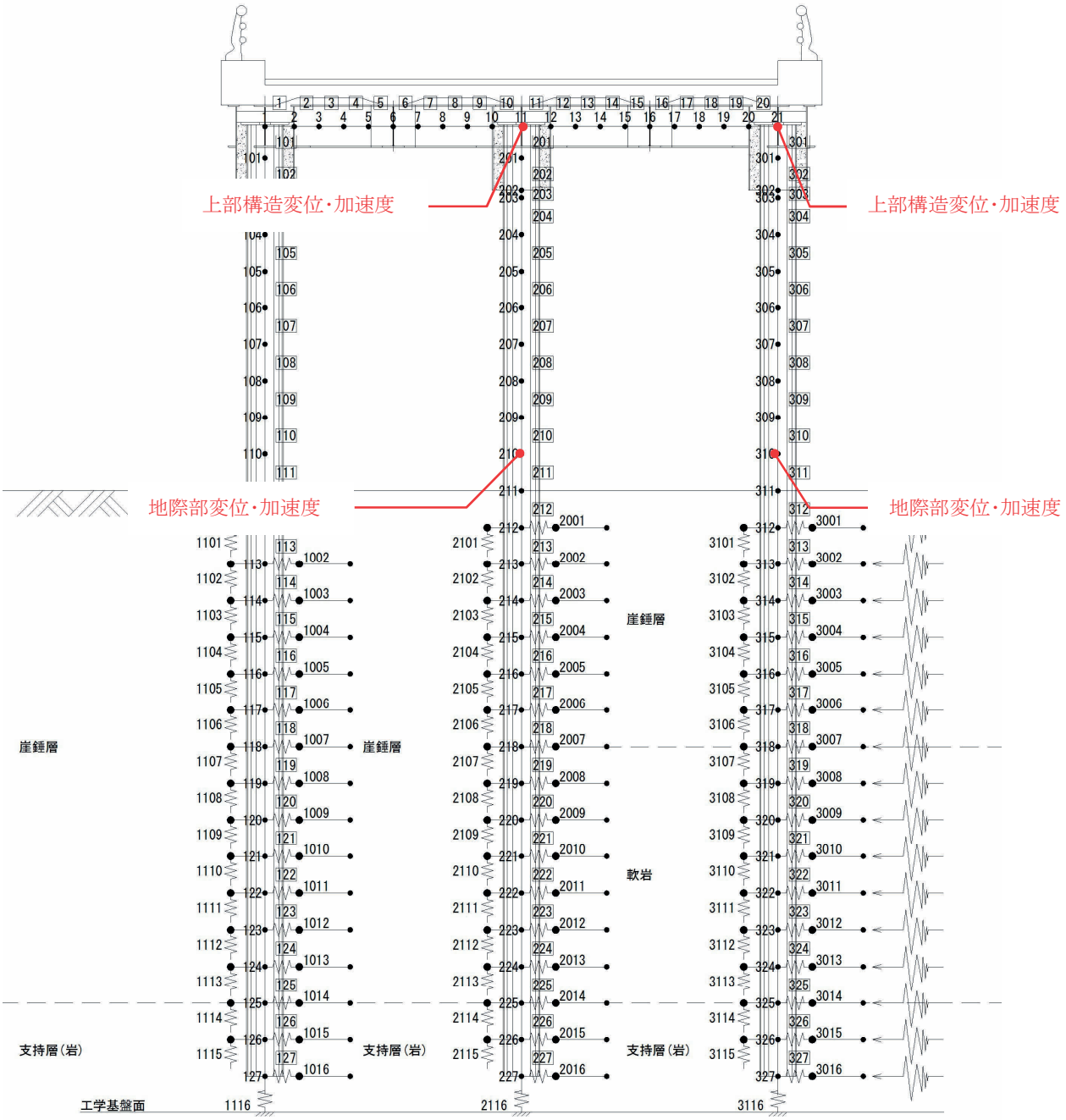


図 6.23　変位と加速度の抽出箇所（3 本柱）

6.2.2　Case1(1 本柱　Sin 波　砂質土)

Case1 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より、変位については、地際部及び上部構造の位置ともに概ね実験値と解析値が合っている。加速度については、地際部については概ね合うものの、上部構造位置では、実験値よりも解析値の方が大きい。これは、実験では、上部構造が水平方向よりも、鉛直方向に大きく振動しているためと考えられる。

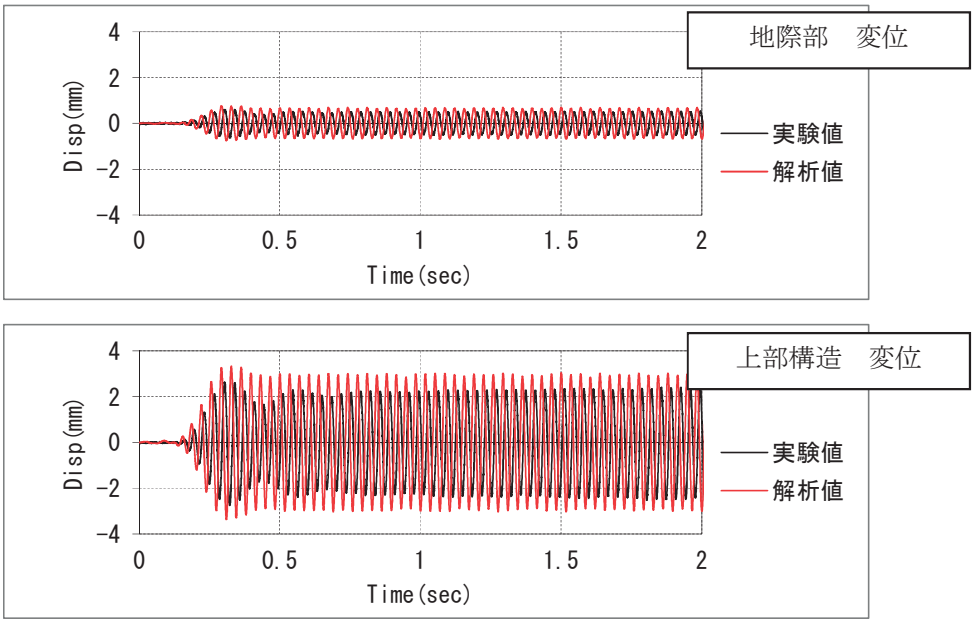


図 6.24　変位の比較

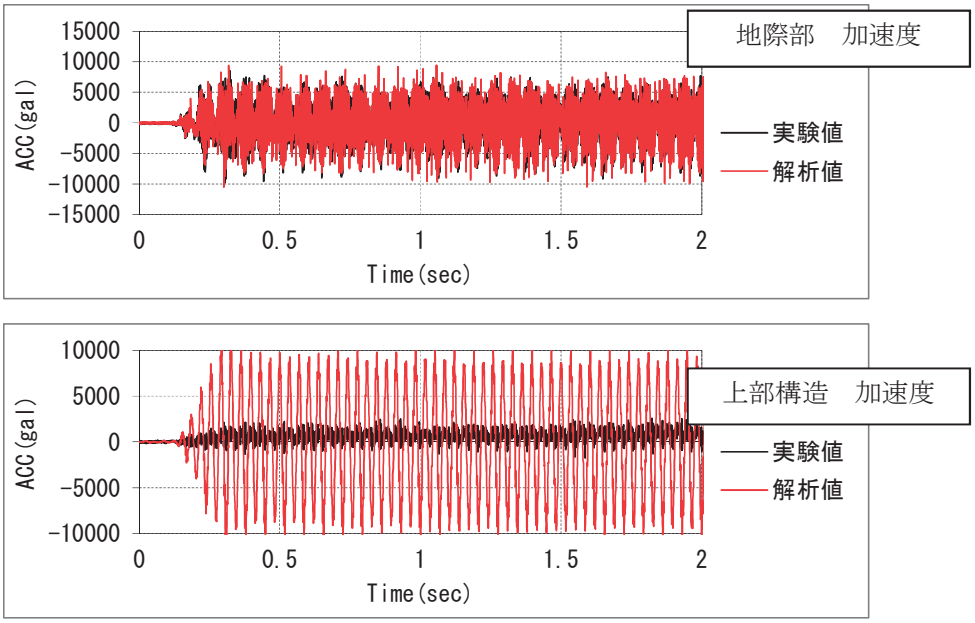


図 6.25　加速度の比較

6.2.3　Case2(1 本柱　L1 地震　砂質土)

Case2 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より変位は、波形形状は概ね再現できているものの、最大変位は実験値に比べ解析値の方が大きい。また、加速度については、地際部は概ね同様であるものの、上部構造位置では、解析値の方が大きめの値となっている。

これは、実験では、上部構造が水平方向よりも、鉛直方向に大きく振動しているためと考えられる。

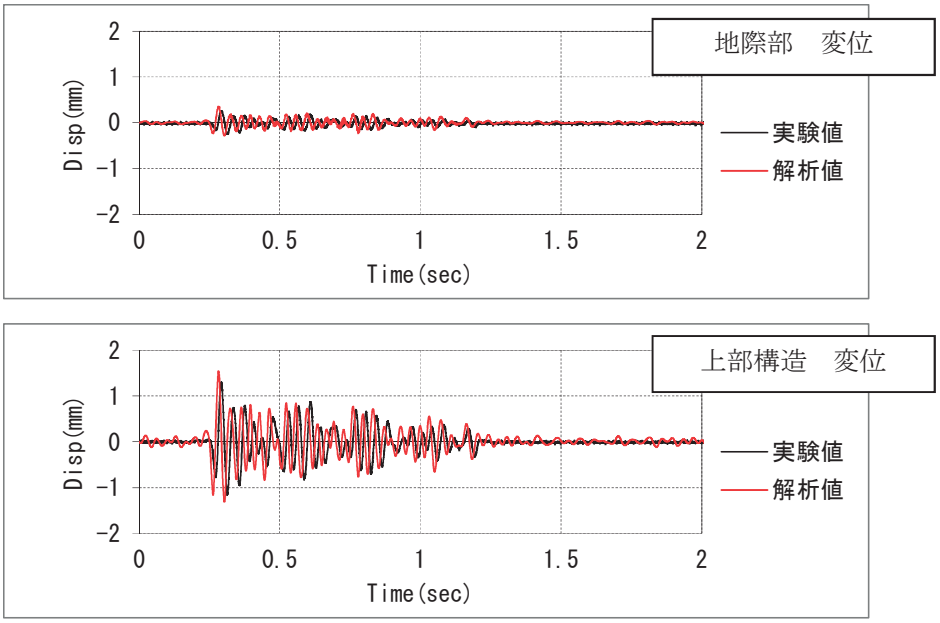


図 6.26　変位の比較

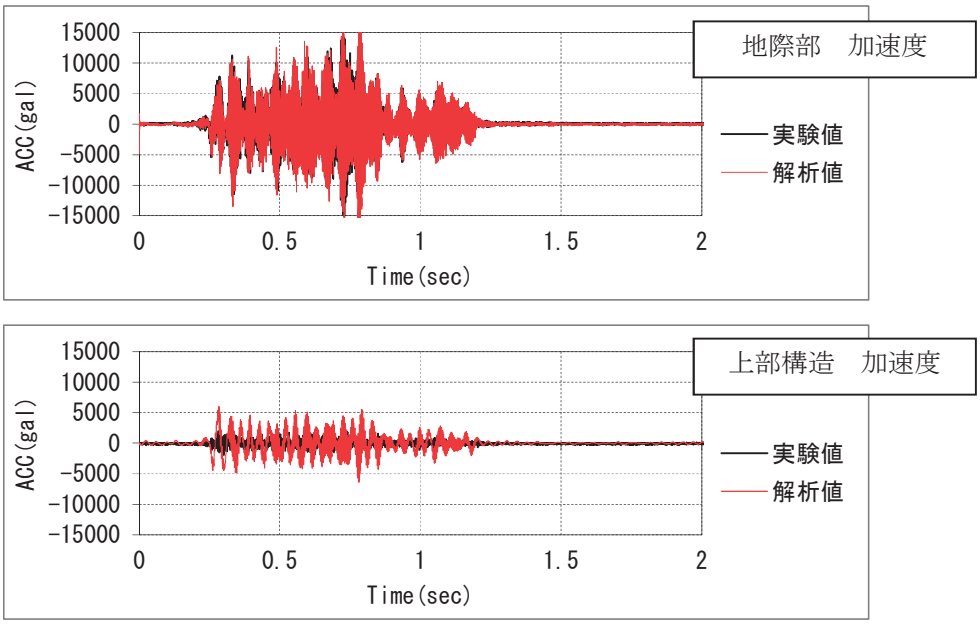


図 6.27　加速度の比較

6.2.4　Case3(1 本柱　L2 地震　砂質土)

Case3 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より変位は、地際及び上部構造の最大値や波形はほぼ同等であるが、実験値は地際部と上部構造位置で残留変位が生じているのに対して、解析では、残留変位は生じていない。柱杭上部構造が降伏していないことから、地盤の変形が原因と推定される。

加速度については、Case1 と 2 ほどの差はないものの解析値の方が大きめの値となっている。

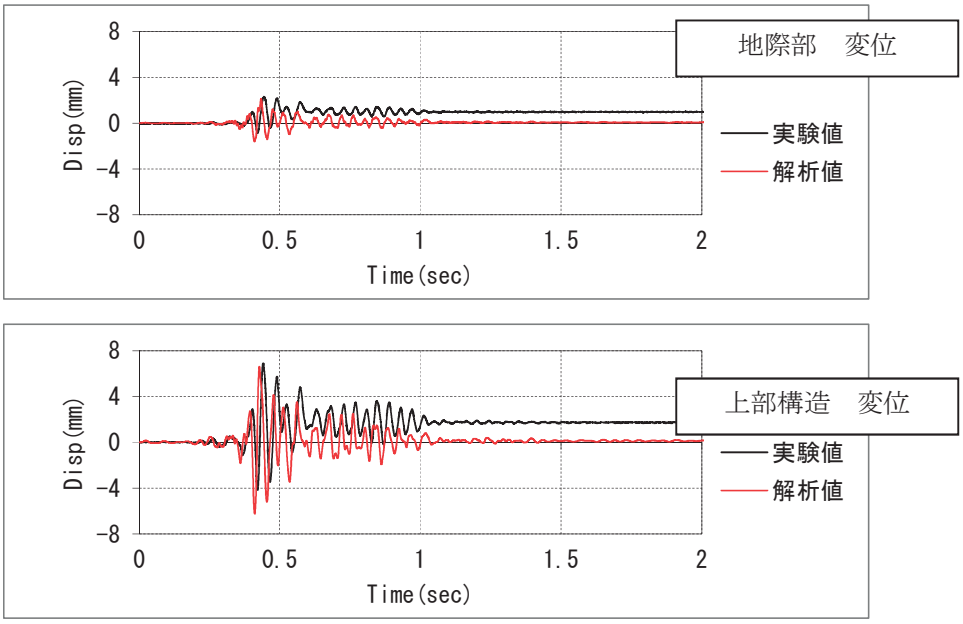


図 6.28　変位の比較

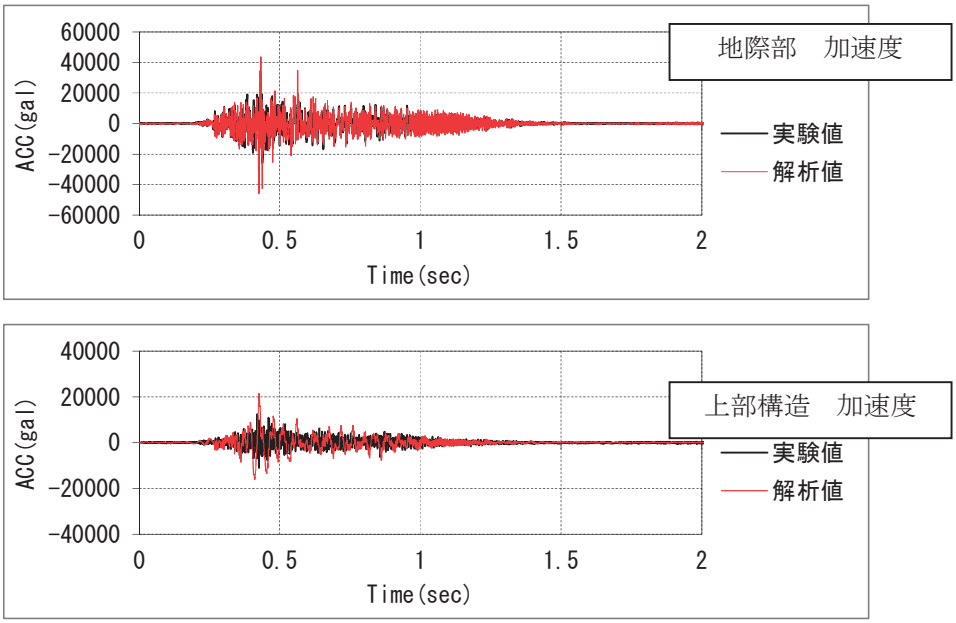


図 6.29　加速度の比較

6.2.5　Case4(3 本柱　Sin 波　砂質土)

Case4 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より、変位は、実験値よりも解析値の方が大きい。また、加速度は、地際部においては解析値の方が大きいが、上部構造位置においては、実験値の方が大きい。

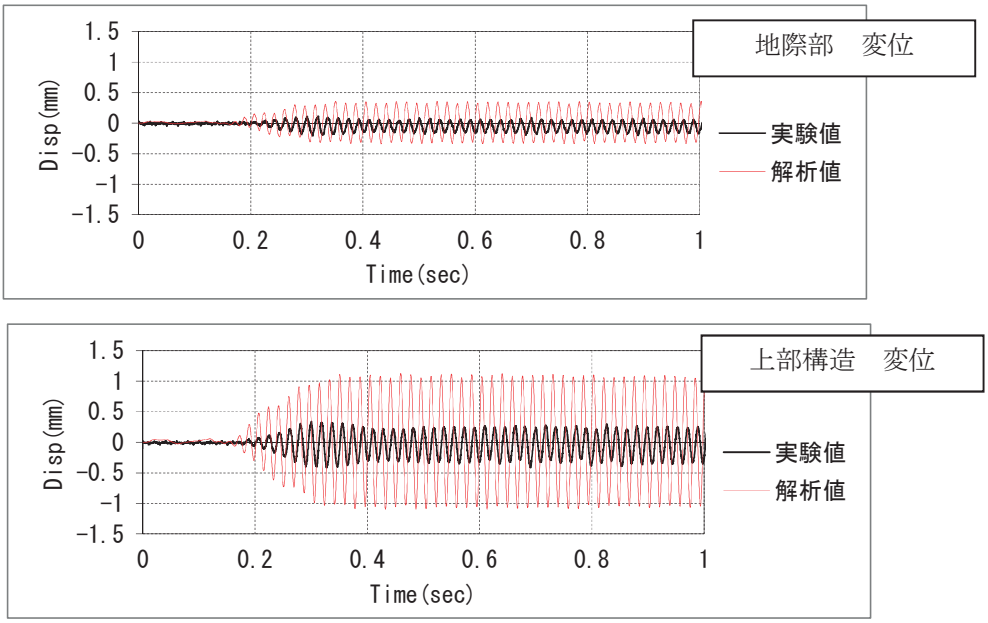


図 6.30　変位の比較

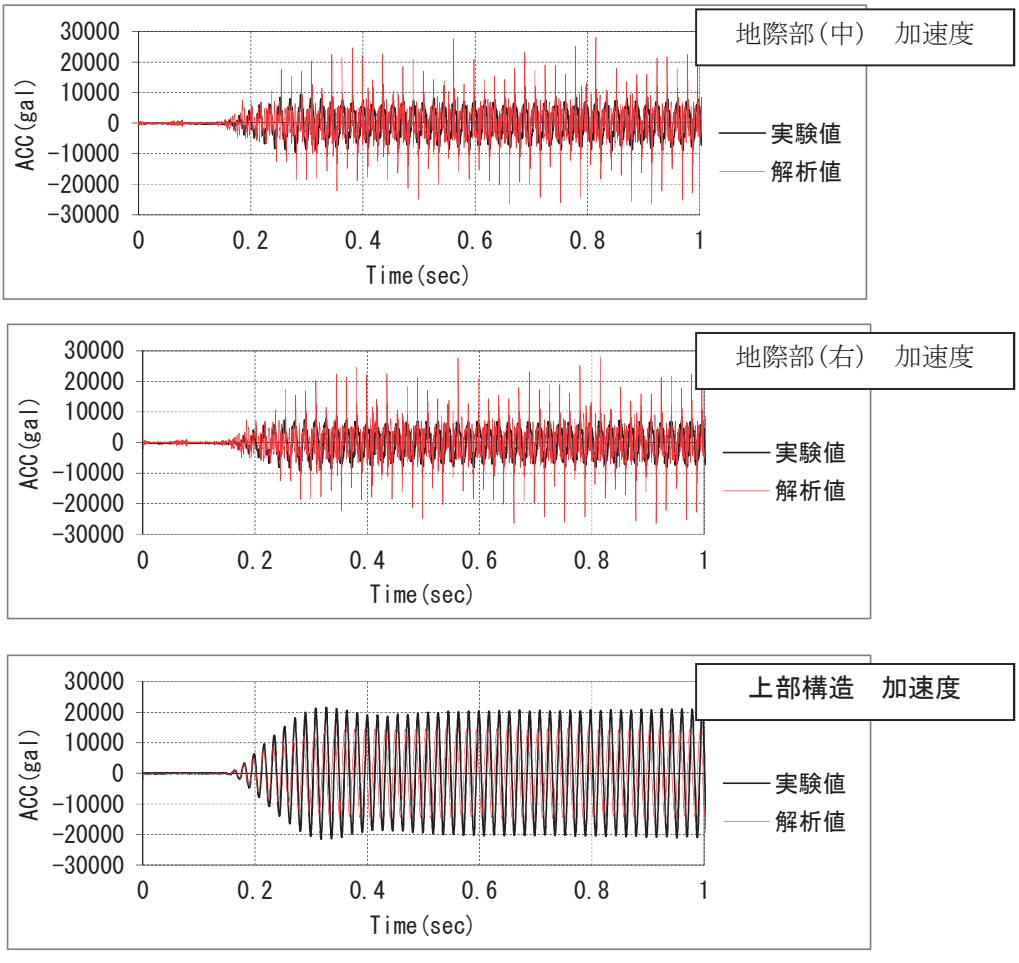


図 6.31　加速度の比較

6.2.6　Case5(3 本柱　L1 地震　砂質土)

Case5 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より、変位は、実験値よりも解析値の方が大きい。また、加速度は、地際部においては解析値の方が大きいが、上部構造位置においては、実験値の方が大きい。

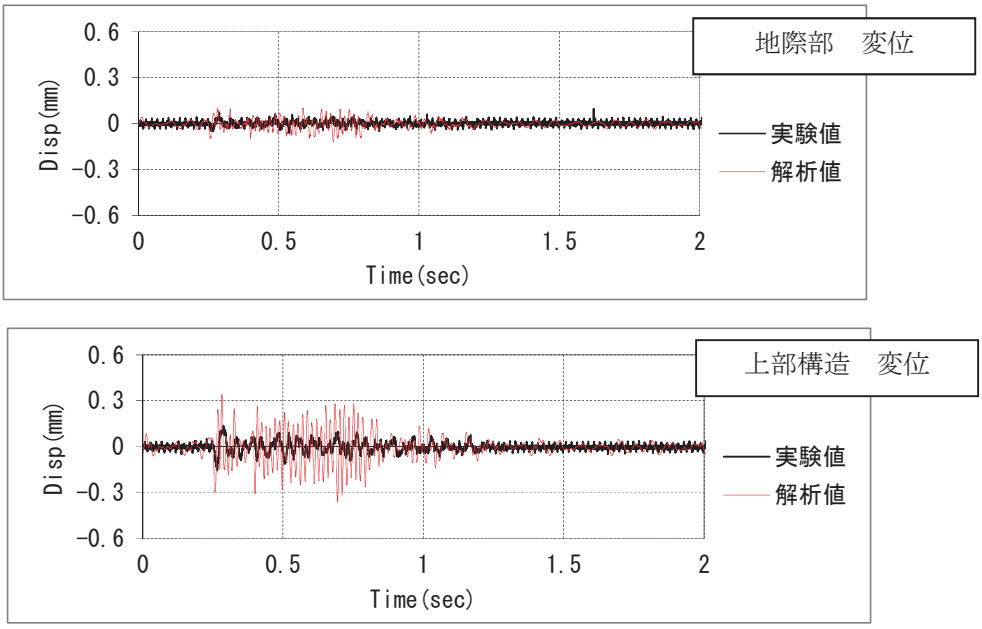


図 6.32　変位の比較

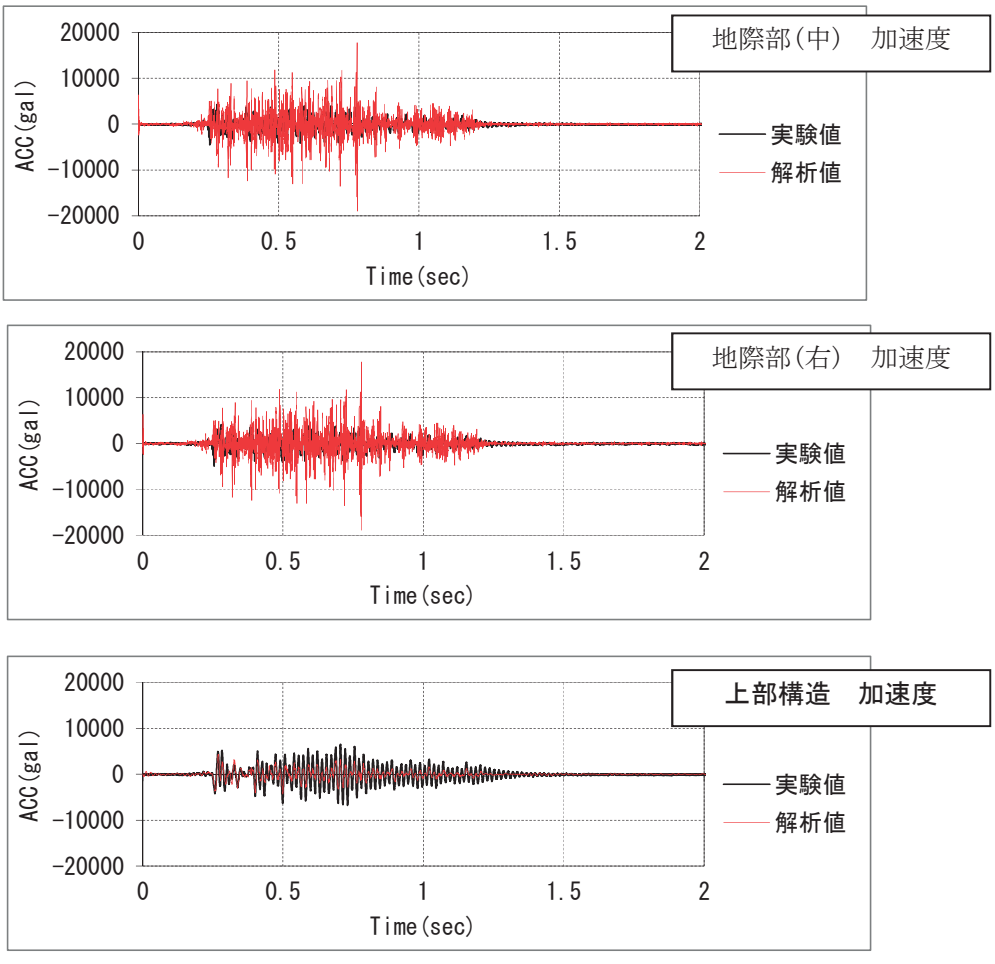


図 6.33　加速度の比較

6.2.7　Case6(3 本柱　L2 地震　砂質土)

Case6 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より、変位は、実験値よりも解析値の方が大きい。また、加速度は、地際部においては解析値の方が大きいが、上部構造位置においては、実験値の方が大きい。

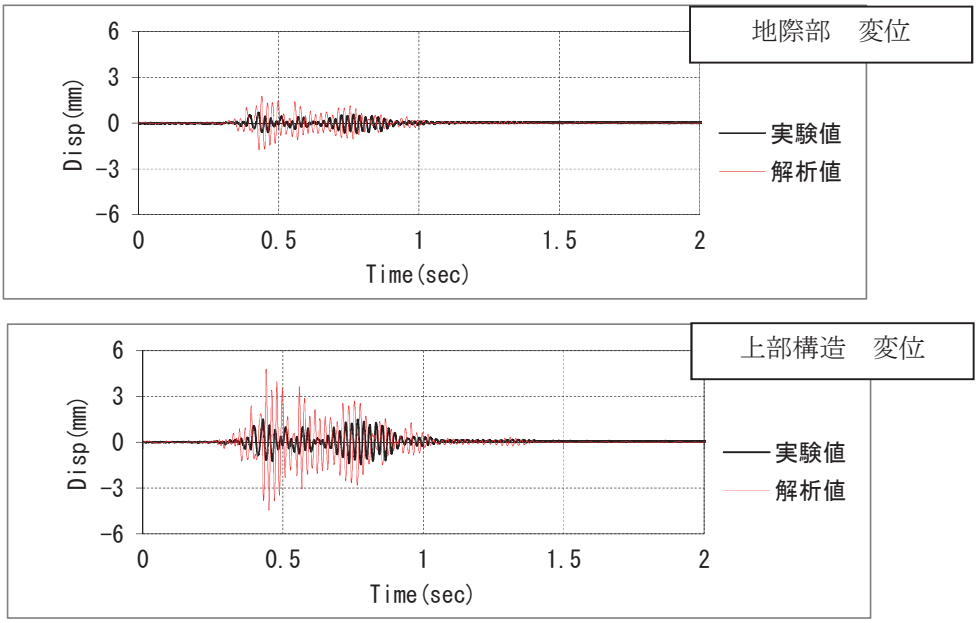


図 6.34　変位の比較

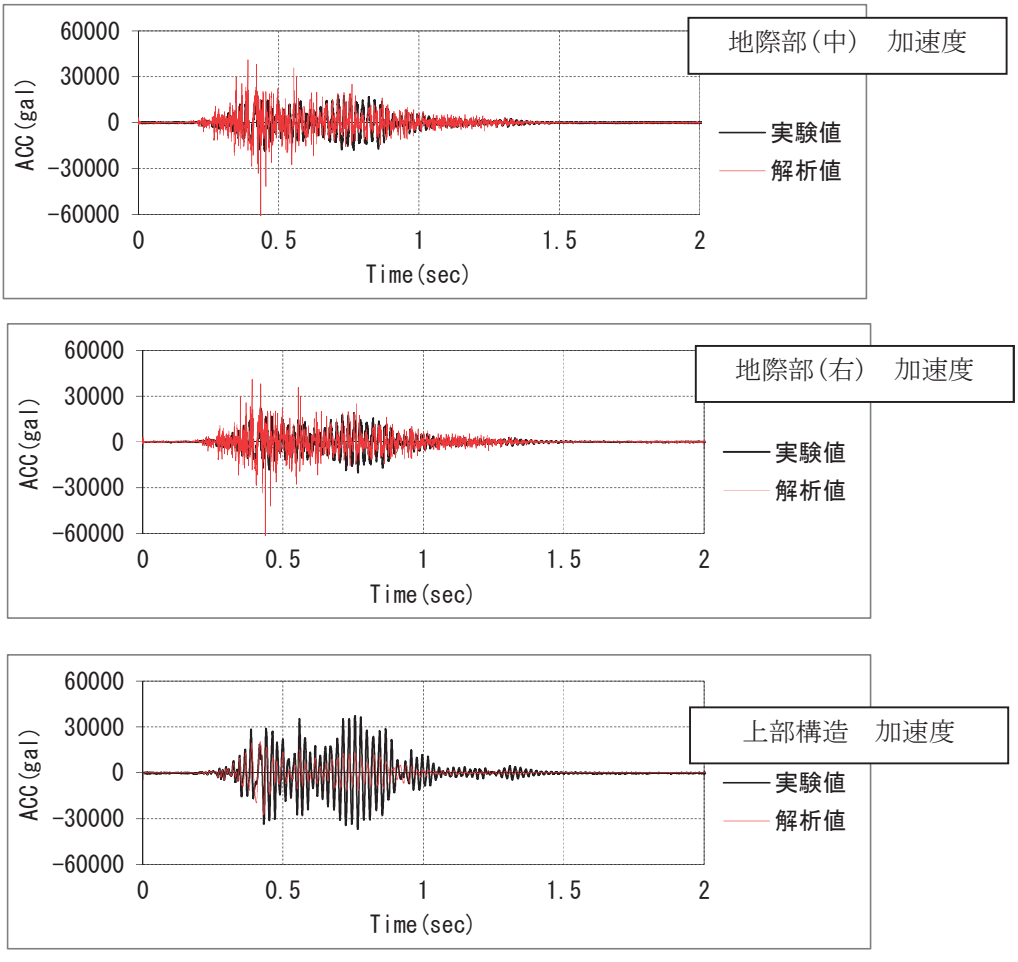


図 6.35　加速度の比較

6.2.8　Case7(1 本柱　Sin 波　粘性土)

Case7 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

図より、変位の最大値は実験値よりも解析値の方が大きい。

加速度は、上部構造位置においては、実験値よりも解析値の方が大きい。これは、実験では、上部構造が水平方向よりも、鉛直方向に大きく振動しているためと考えられる。

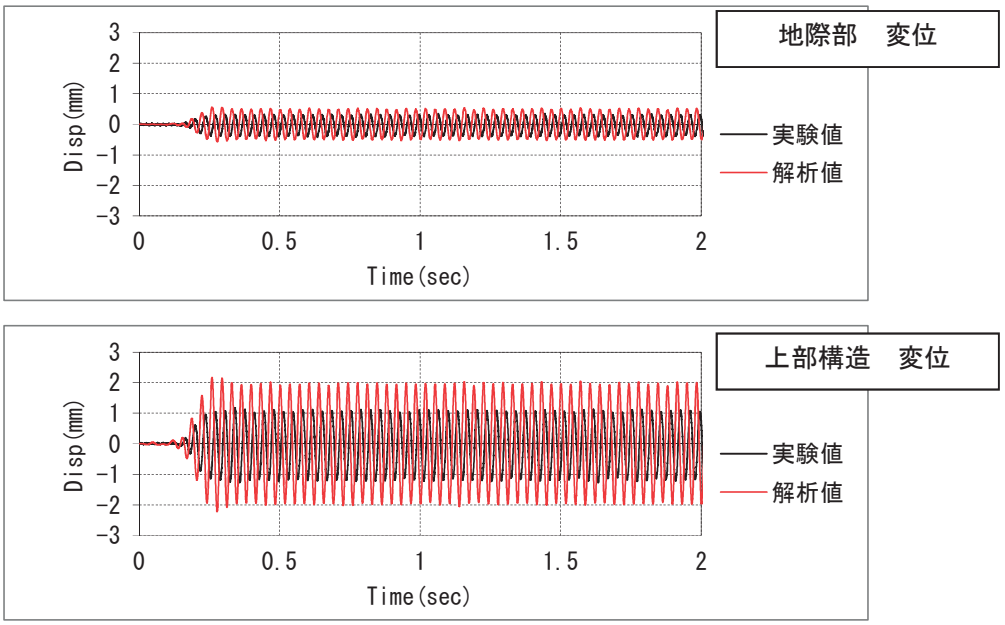


図 6.36　変位の比較

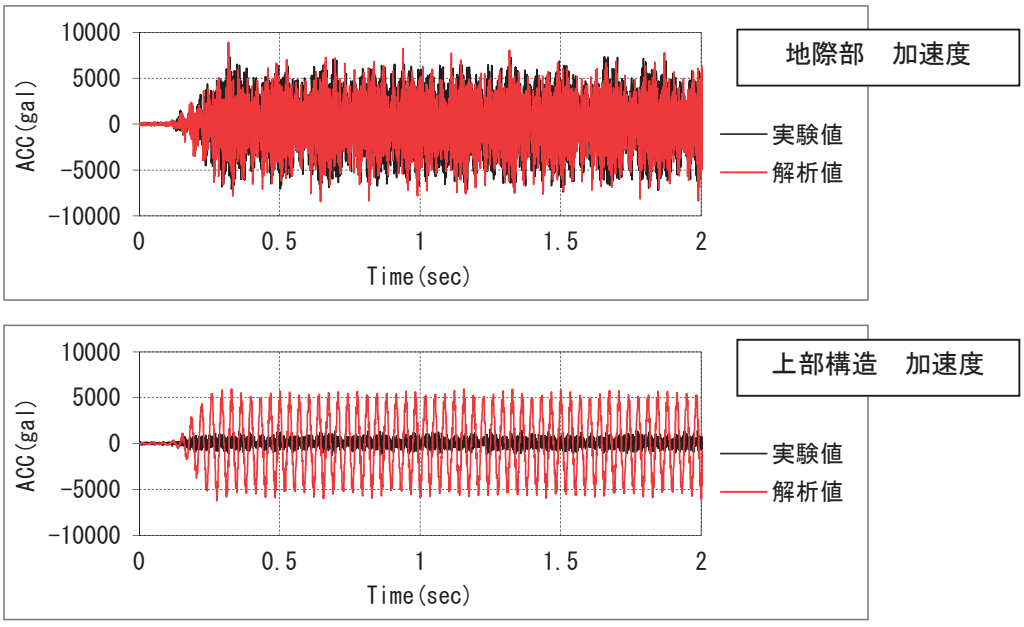


図 6.37　加速度の比較

6.2.9　Case8(1 本柱　L1 地震　粘性土)

Case8 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

変位は、実験値の方が、解析値よりも大きく、変位波形についても実験値と解析値で合致していない。加速度は、解析の方が、実験値よりも大きめの評価となっている。

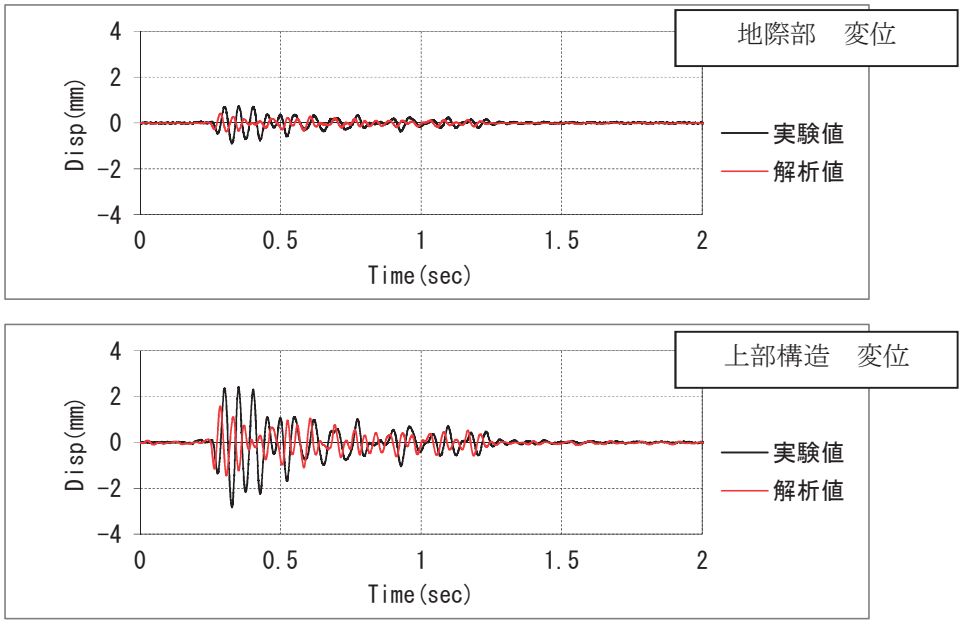


図 6.38　変位の比較

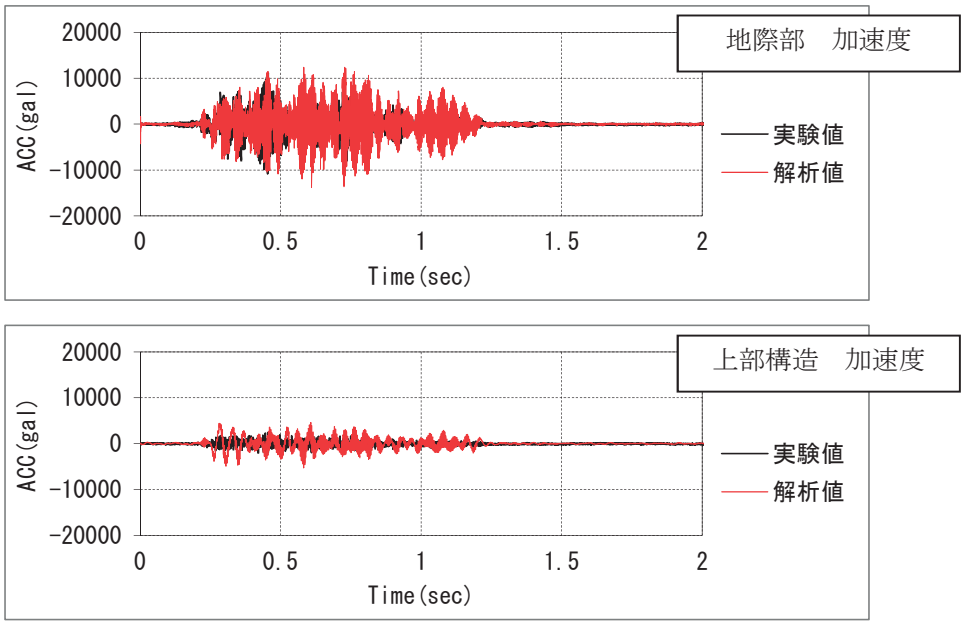


図 6.39　加速度の比較

6.2.10　Case9(1 本柱　L2 地震　粘性土)

Case9 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

変位は、最初の 2 振幅程度までは解析値と実験値は概ね合うが、これ以降は、実験では増幅しているが、解析は減衰している。解析と実験で、減衰が異なる可能性が考えられる。

加速度は、概ね同等である。

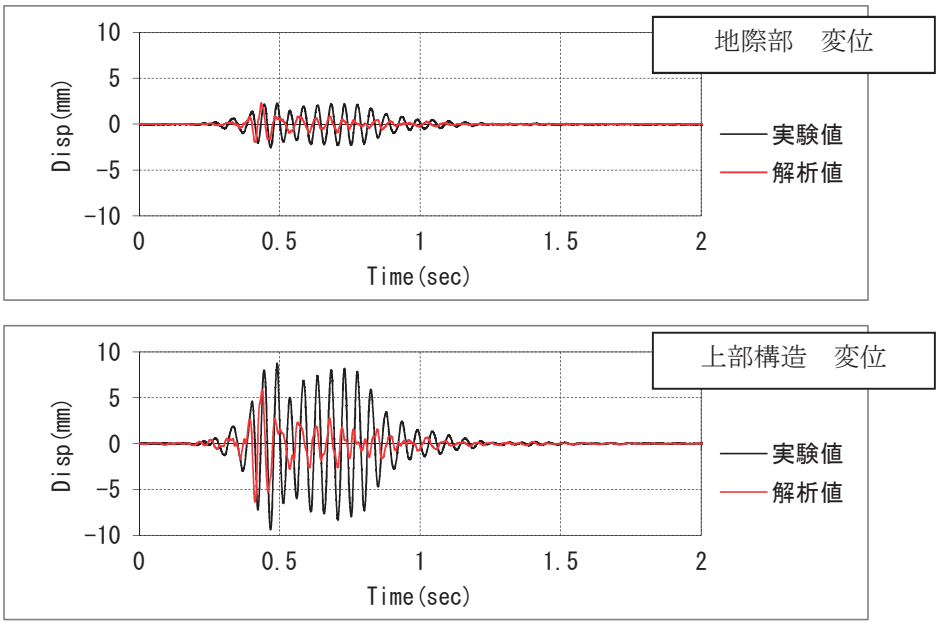


図 6.40　変位の比較

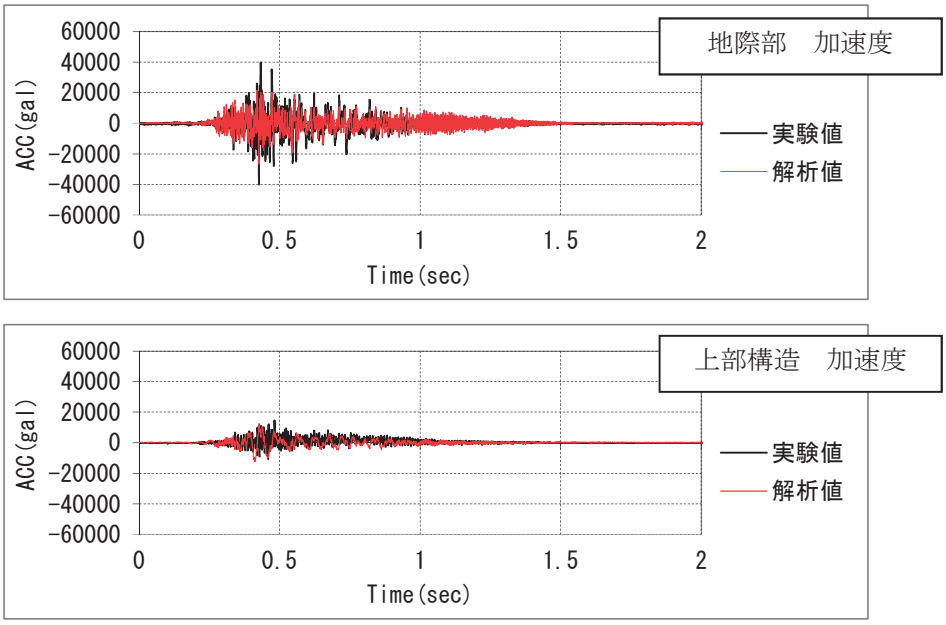


図 6.41　加速度の比較

6.2.11　Case10(3 本柱　Sin 波　粘性土)

Case10 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

変位は、解析の方が実験よりも大き目になっている。

加速度は、解析値の方が大きく、その傾向は地際部の方が顕著である。

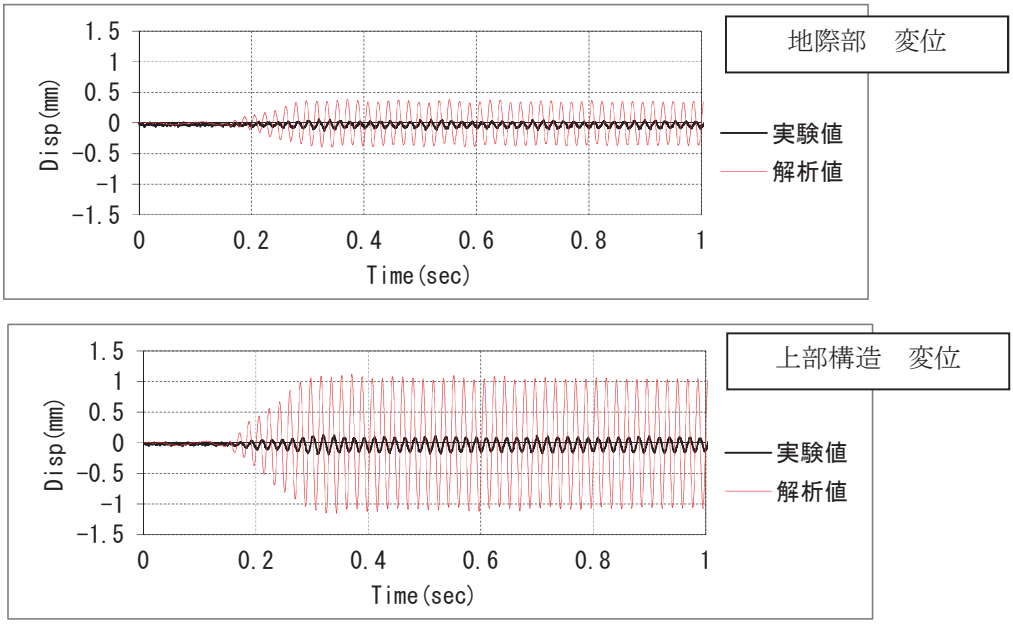


図 6.42　変位の比較

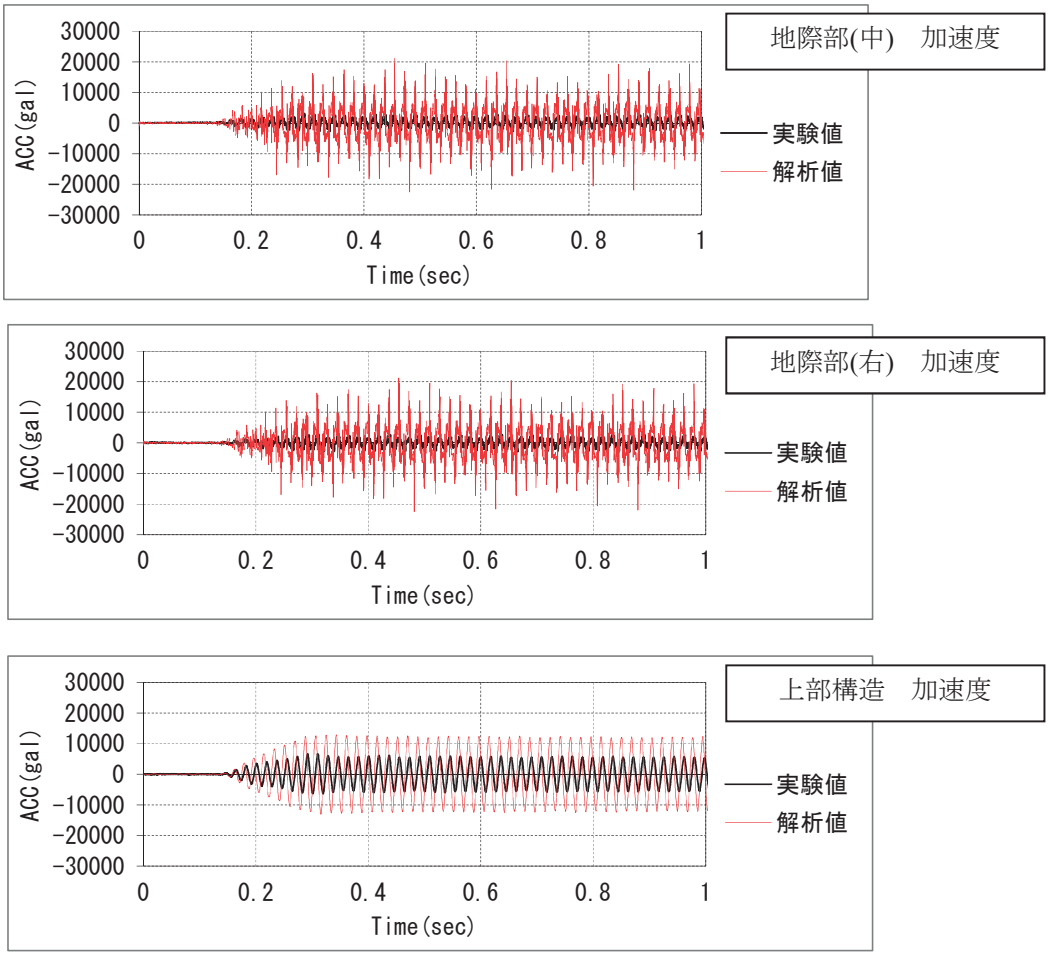


図 6.43　加速度の比較

6.2.12　Case11(3 本柱　L1 地震　粘性土)

Case11 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

変位、加速度ともに、実験と解析で概ね同等である。

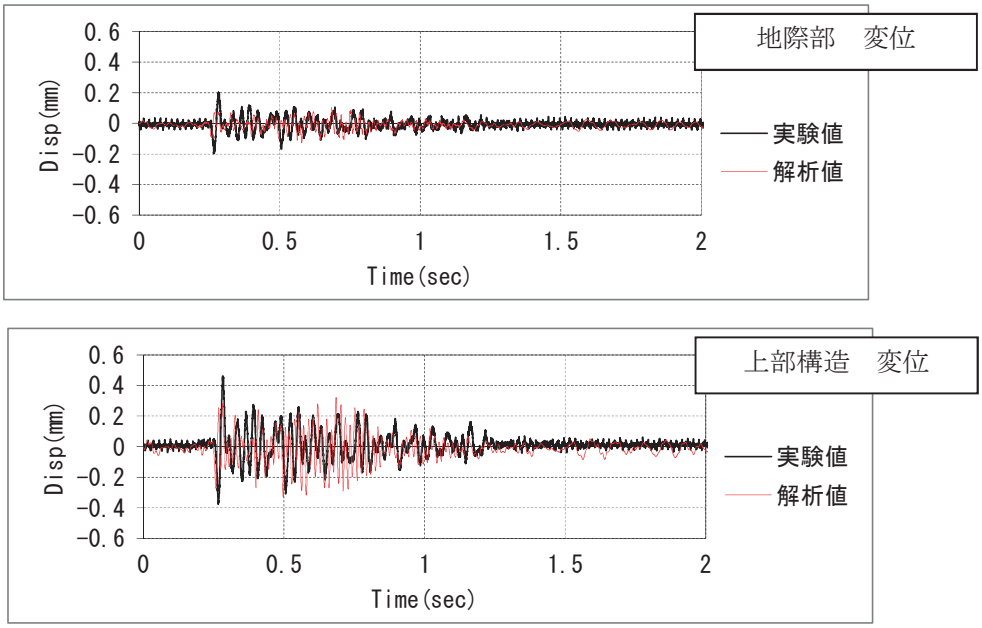
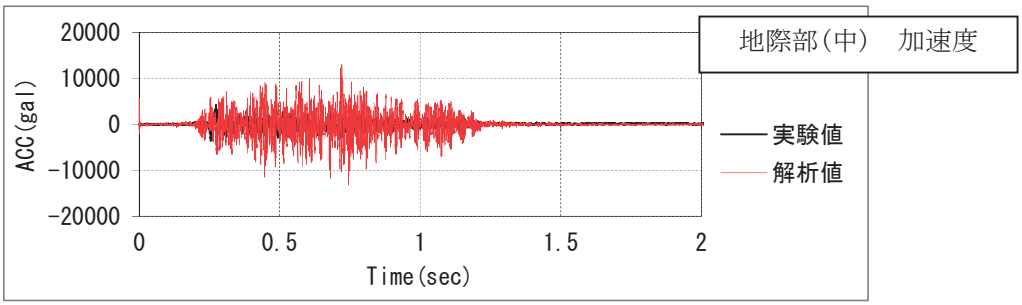
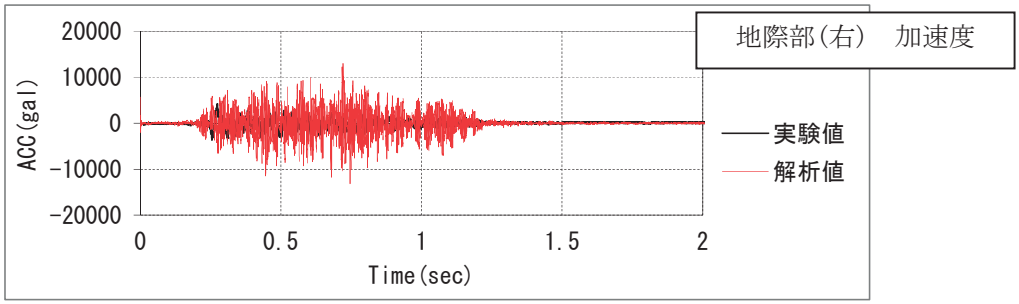


図 6.44　変位の比較





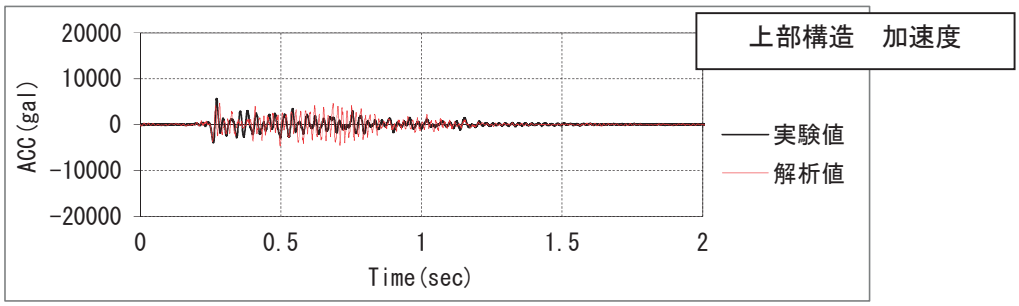


図 6.45　加速度の比較

6.2.13　Case12(3 本柱　L2 地震　粘性土)

Case12 の解析結果を実験値と併せて以下に示す。解析結果は、地際部の水平変位、上部構造の水平変位、地際部の水平加速度、上部構造の水平加速度とした。

変位は、実験値よりも解析値の方が大きめの値となり、加速度については、地際部においては、概ね同等であるが、上部構造位置では、実験値の方が大きい。

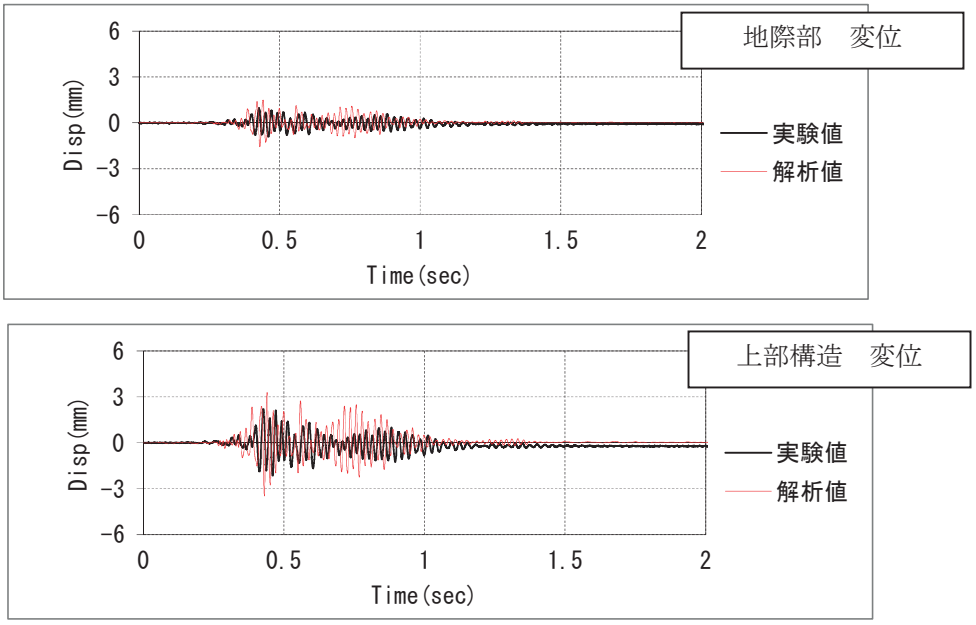


図 6.46　変位の比較

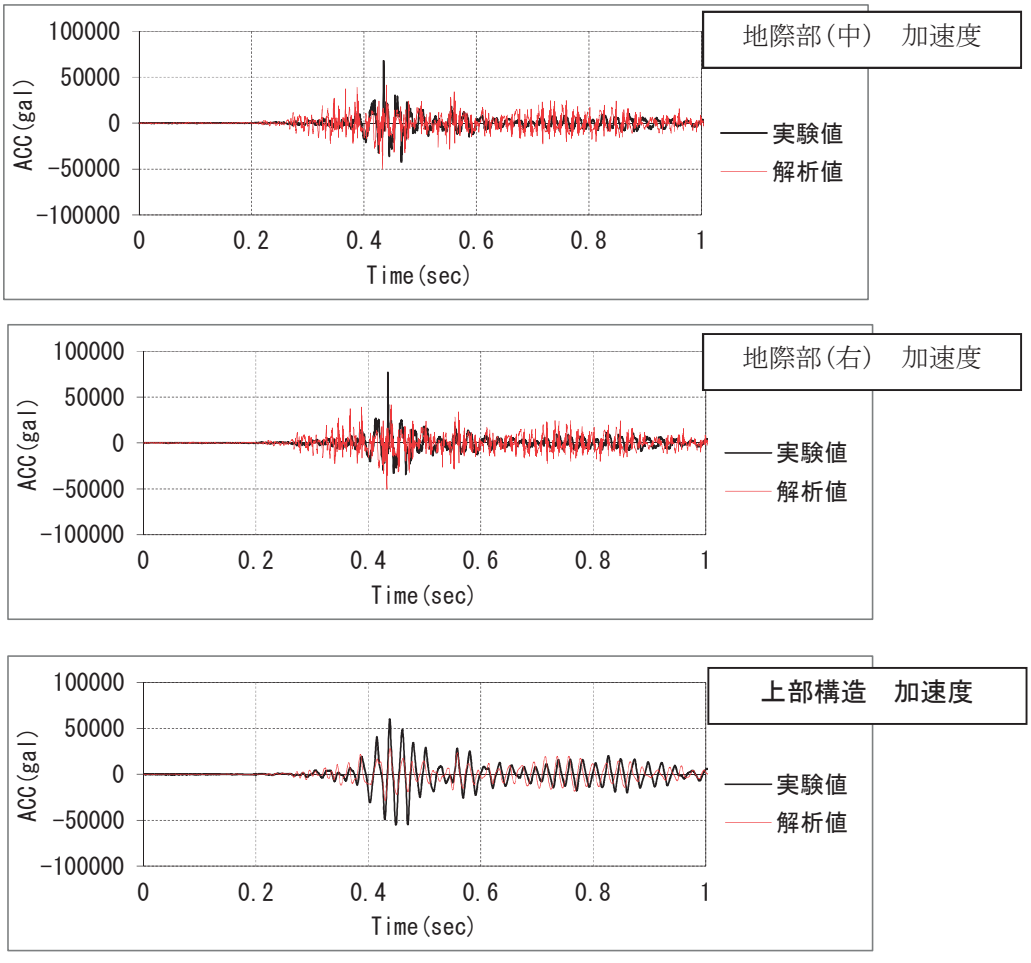


図 6.47　加速度の比較

7. まとめ

フーチングを有しない一柱一基礎構造を想定した遠心場による動的加振実験と数値解析を行った結果、以下に示す事項が確認できた。

＜砂質土（Series1）単柱の遠心実験について＞

[1] 単柱は加振実験において、地際部の最大変位で L1 時杭径の 3%程度、L2 時杭径の 10%程度と 3 本柱に比べて大きな変位が生じた。

[2] 特に L2 時においては地際部で杭径の 5%程度の残留変位が生じた。

[3] 単柱は地震時 1 次モードで振動する。

＜砂質土（Series1）3 本柱の遠心実験について＞

[4] 3 本柱の上部構造の最大変位はいずれの加振時においても地際部の 2 倍程度しか生じなかった。

[5] L2 時の地際部の最大変位は杭径の 4%程度であり残留変位も生じなかった。

[6] 3 本柱は地震時 2 次モードで振動する。

＜粘性土（Series2）単柱の遠心実験について／砂質土（Series1）との違い＞

[7] L1 地震動においては、砂質土（Series1）に比べて約 2 倍程度の最大変位が生じた。

[8] L2 地震動においては、砂質土（Series1）と同様の最大変位であったが、残留変位は確認されなかった。

＜粘性土（Series2）3 本柱の遠心実験について／砂質土（Series1）との違い＞

[9] L1 地震動においては、砂質土（Series1）に比べて約 3 倍程度の最大変位が生じた。

[10] L2 地震動においては、砂質土（Series1）と同様の最大変位であった。

＜再現解析＞

[11] 変位振幅は全体的に、実験値よりも数値解析値の方が大きい傾向にある。また、1 本柱は 3 本柱と比べて再現性が高い。

[12] 1 本柱モデルの砂地盤のケースに対して L2 地震動による加振したケースのみ、実験値では残留変位が生じた。数値解析では、変位振幅は類似性を示したが、残留変位は生じない結果となった。

[13] 加速度について、地際部の加速度は概ね実験値と数値解析地で同等の結果が得られたが、上部構造位置の加速度は合致しない。

[14] 今回の実験では、柱、杭に塑性化は生じなかった。これは解析値も同様である。

[15] 砂質土と粘性土を比べたとき、粘性土の方が砂質土に比べて再現性が高い。

以上のように 1 本柱、3 本柱共に数値解析は実験結果よりも大きな変位が計測された。特に L2 地震時相当の加速度に対しては、実験結果で観測されたロッキング挙動の影響により、上下方向への振動が確認された（1 本柱で最大 2mm 程度、3 本柱で最大 0.2mm 程度）。この上下方向の振動は再現解析で考慮されていないため、解析結果の方が実験結果よりも大きな応答を示した原因のひとつと推測される。

また、数値解析において、砂質土と粘性土を比べたとき、砂質土は残留変位が再現できないなど再現性が異なる結果となった。実験後の状況写真からは、静的実験同様、砂地盤においては杭周辺の落ち込み、粘土地盤においては地盤の自立性により杭と地盤の隙間が埋まらないなど、砂質土地盤と粘性土地盤で異なった挙動を示していることが確認できた。

次頁に今後の課題をまとめる。

[1] 第 2 編 静的実験や静的再現解析により得られた知見をもとに、本研究で使用した解析モデルに対し、「解析上の設計地盤面」や「水平方向地盤抵抗ばね特性」が動的解析結果に与える影響を分析し、地震力や地盤の性状に合わせた再現性を確認する必要がある。

[2] [1]の検討で得られた知見をもとに、道路橋の耐震設計（動的解析）で使用している解析モデル（基礎を集約ばねとしてモデル化）により得られる解析結果を比較し、実務設計での利用を目的とした解析モデルの妥当性を検証する必要がある。

上記の今後の課題を解決し、鋼多柱式連続ラーメン構造の合理的な性能検証法を提案したい。

参考文献

3.1) 中谷昌一，白戸真大：深い基礎の許容塑性率に関する工学的意義について，土木研究所資料第 4030 号，2006.

3.2) 堀越研一，木村亮，並河努：講座 遠心模型実験，土と基礎，Vol.35/No.11～Vol.36/No.9，1987～1988.

3.3) 岡村未対，竹村次朗，上野勝利：講座 遠心模型実験－実験技術と実務への適用，土と基礎，Vol.52/No.10～Vol.53/No.3，2004～2005.

3.4) 木村亮，牧野洋志，大川賢紀，亀井宏之，張鋒：斜杭を有する群杭基礎の静的水平支持力特性，土木学会論文集，No.722/III-61，pp.97-107，2002.

3.5) 大川賢紀，亀井宏之，木村亮，張鋒：斜杭を有する群杭基礎の動的挙動に対する実験的検討，土木学会論文集，No.729/III-62，pp.31-41，2003.

3.6) 香川崇章：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文報告集，第 275 号，pp.69-77，1978.

3.7) 日下部祐基，伊東佳彦，表真也，三浦均也：遠心力模型実験を用いた岩盤斜面の崩落に関する一連の研究，土木研究所資料，第 4195 号，2011.

3.8) 福井次郎，中谷昌一，白戸真大，野々村佳哲，喜多直之：群杭基礎の大型振動台実験，土木研究所資料，第 4015 号，2006.

3.9) 福井次郎，中谷昌一，白戸真大，秋田直樹，野々村佳哲，岡本真次：柱状体基礎の大型振動台実験，土木研究所資料，第 4041 号，2007.

3.10) 中谷昌一，竹口昌弘，井落久貴，横幕清：鋼管杭を用いた斜杭基礎の変形性能に関する載荷実験，土木研究所資料，第 4108 号，2008.

3.11) 冨永晃司，山本春行：杭頭自由および固定の単杭が終局状態に至る水平挙動性状に関する理論と実験，構造工学論文集，Vol.37B，pp.1-10，1991.

3.12) Shirato，M.，Koseki，J. and Fukui，J.：A new nonlinear hysteretic rule for Winkler type soil-pile interaction springs that considers loading pattern dependency，Soils and Foundations，Vol.46，No.2，pp.173-188，2006.

3.13)Yoshida，I. and Yoshinaka，R.：A method to estimate modulus of horizontal subgrade reaction for a pile，Soils and Foundations，Vol.12，No.3，pp.1-17，1979.

3.14)岸田英明，中井正一：地盤の破壊を考慮した杭の水平抵抗，日本建築学会論文報告集，Vol.281，pp.41-53，1979.

付　録

A1. 電算入出力データ

A2. 写真帳

A1. 電算入出力データ

再現解析に用いた電算入出力データは、いずれも電子データとして付録に収録する。

[1] Case1(1 本柱 Sin 波 砂質土)

[2] Case2(1 本柱 L1 地震動 砂質土)

[3] Case3(1 本柱 L2 地震動 砂質土)

[4] Case4(3 本柱 Sin 波 砂質土)

[5] Case5(3 本柱 L1 地震動 砂質土)

[6] Case6(3 本柱 L2 地震動 砂質土)

[7] Case7(1 本柱 Sin 波 粘性土)

[8] Case8(1 本柱 L1 地震動 粘性土)

[9] Case9(1 本柱 L2 地震動 粘性土)

[10] Case10(3 本柱 Sin 波 粘性土)

[11] Case11(3 本柱 L1 地震動 粘性土)

[12] Case12(3 本柱 L2 地震動 粘性土)

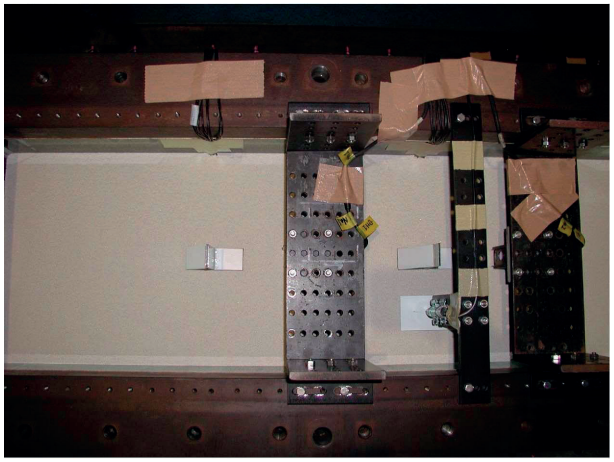
A2. 写真帳

1　試加振
剛土槽

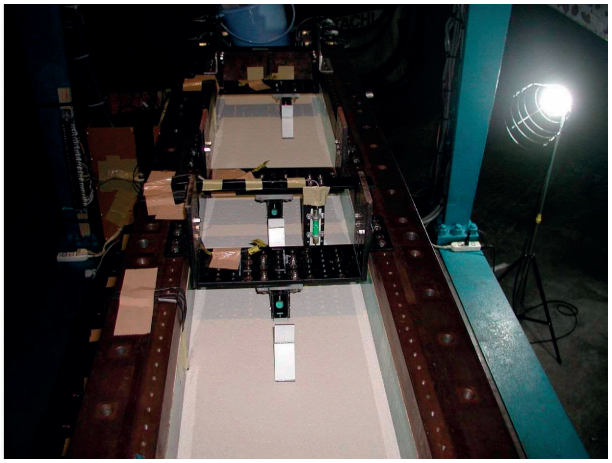
2　試加振
剛土槽

3　試加振
砂地盤作成後

4　試加振
砂地盤作成

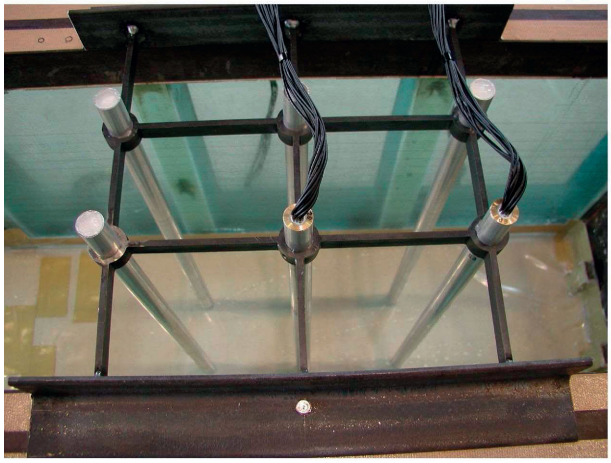


5　試加振
計測機器設置状況

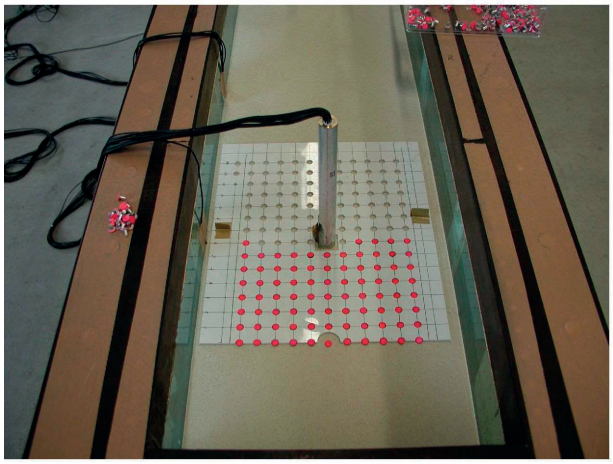


6　試加振
計測機器設置状況

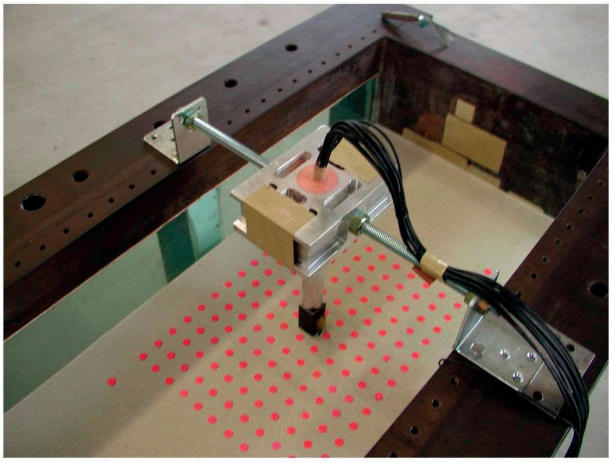
1　砂地盤
実験準備
供試体固定状況



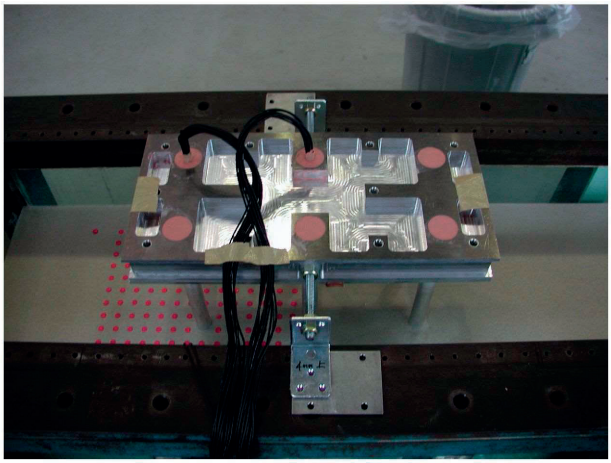
2　砂地盤
実験準備
供試体固定状況



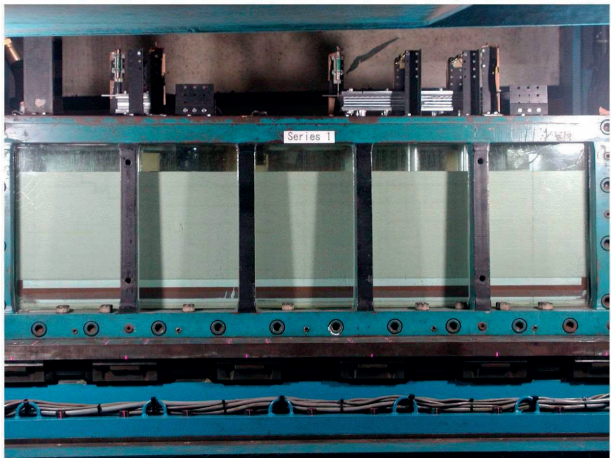
3　砂地盤
実験準備
標点設置状況



4　砂地盤
実験準備
1 本柱　杭頭固定用治具設置状況

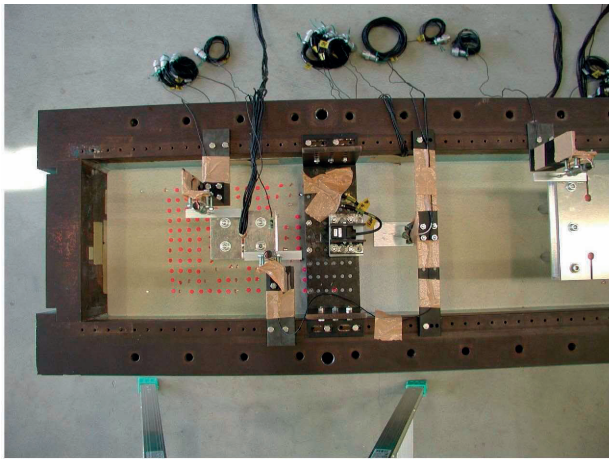


5　砂地盤
実験準備
3 本柱　杭頭固定用治具設置状況

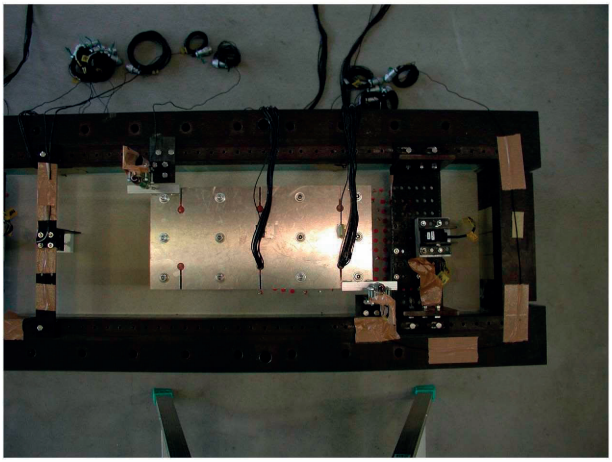


6　砂地盤
実験準備
加振台への設置状況

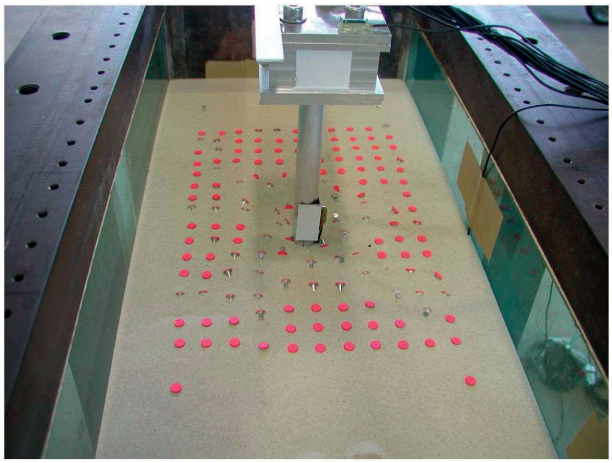
7　砂地盤
実験後
供試体側面の状況



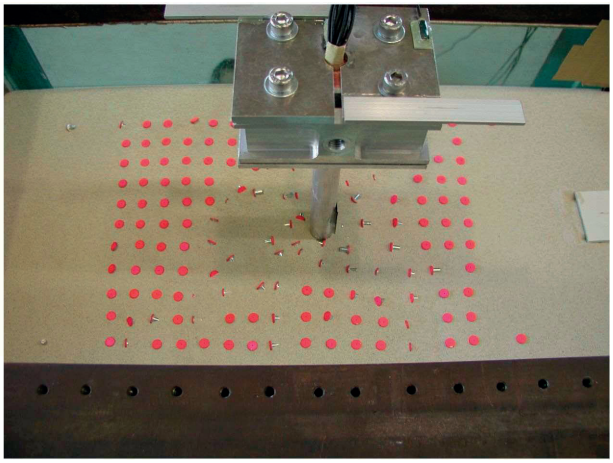
8　砂地盤
実験後
1 本柱の平面状況



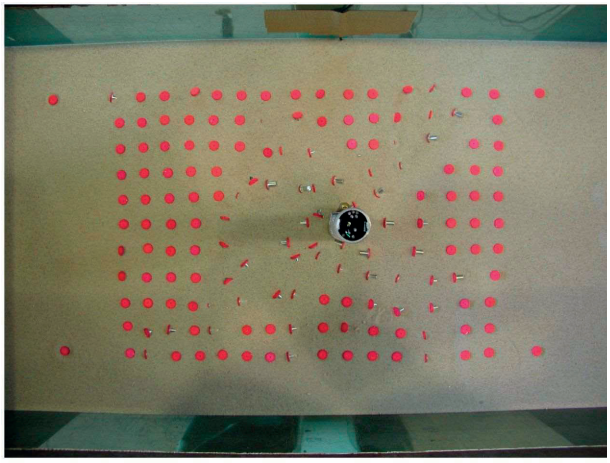
9　砂地盤
実験後
3 本柱の平面状況



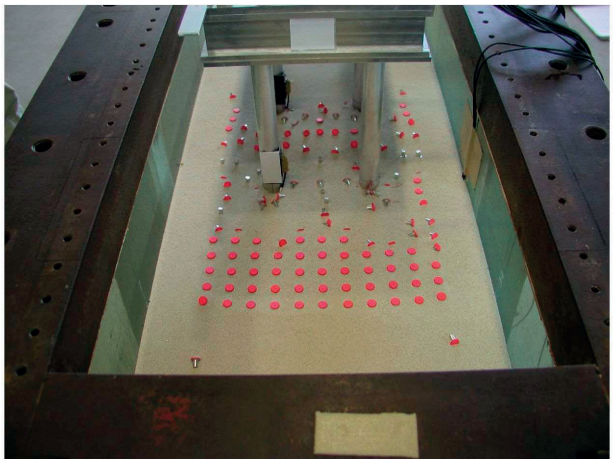
10　砂地盤
実験後
1 本柱　最終変形状況



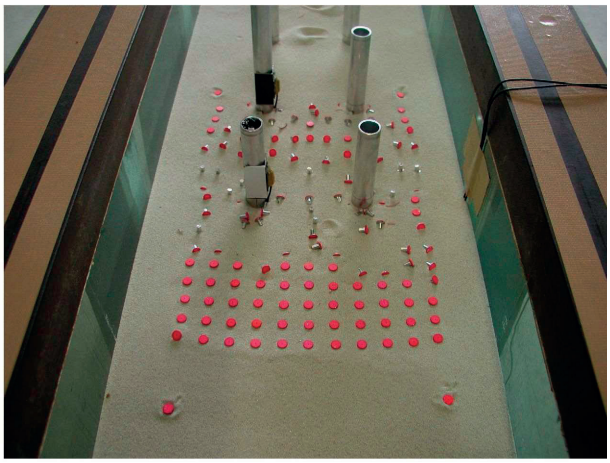
11　砂地盤
実験後
1 本柱　最終変形状況



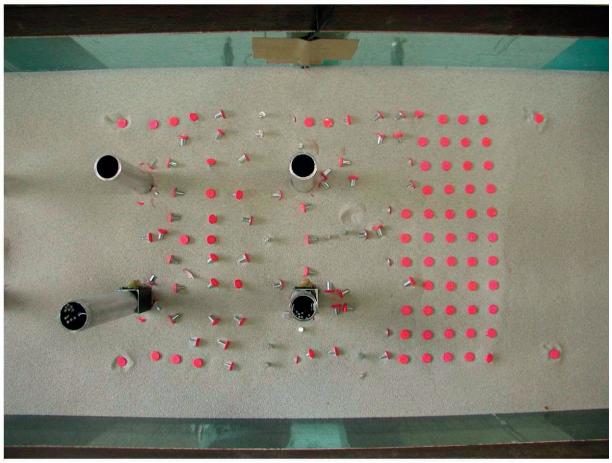
12　砂地盤
実験後
1 本柱　標点の状況



13　砂地盤
実験後
3 本柱　最終変形状況



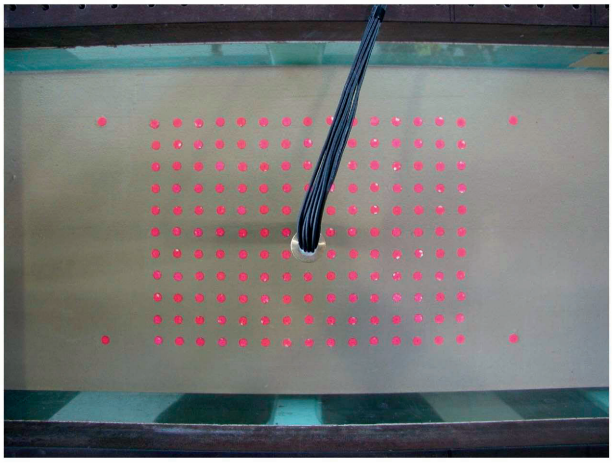
14　砂地盤
実験後
3 本柱　最終変形状況



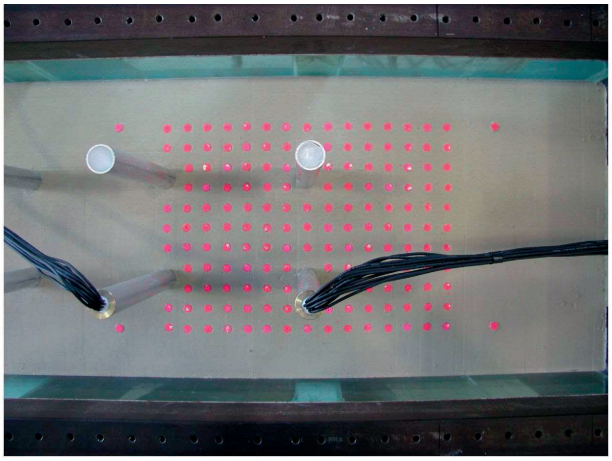
15　砂地盤
実験後
3 本柱　標点の状況

1　粘土地盤
実験準備
供試体設置状況

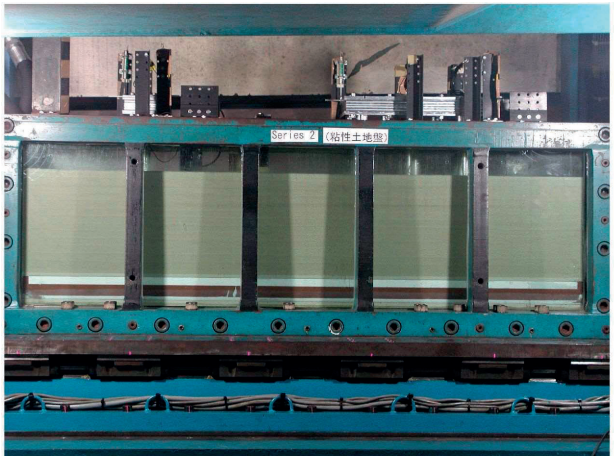
2　粘土地盤
実験準備
供試体設置状況



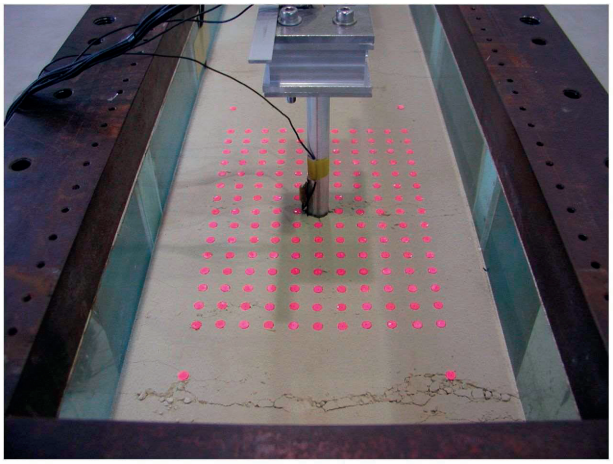
3　粘土地盤
実験準備
1 本柱　標点設置状況



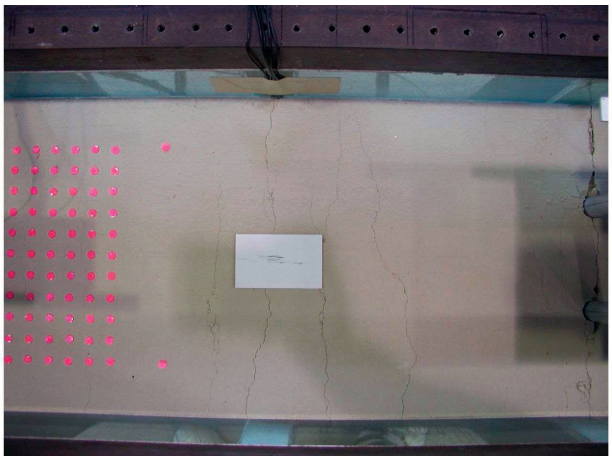
4　粘土地盤
実験準備
3 本柱　標点設置状況



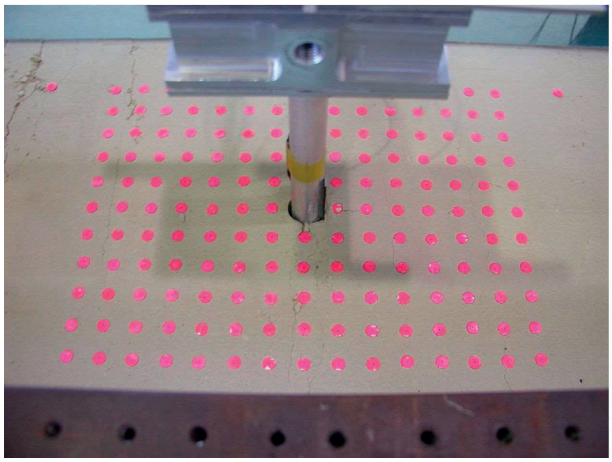
5　粘土地盤
実験準備
加振台への設置状況



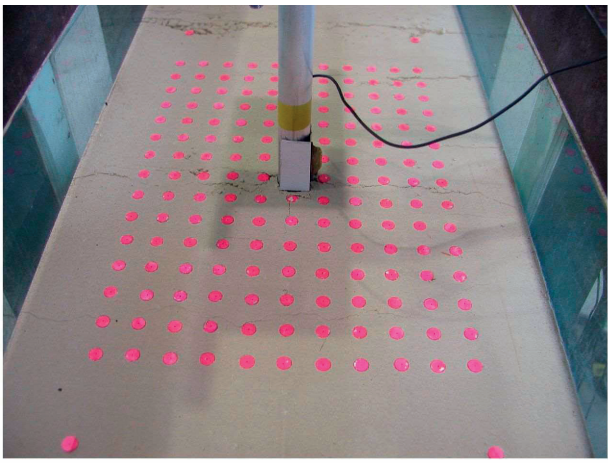
6　粘土地盤
実験後
1 本柱側端部地盤のひび割れ状況



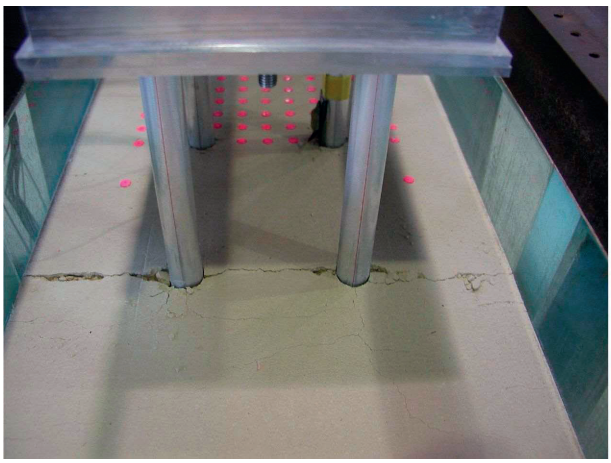
7　粘土地盤
実験後
中央地盤のひび割れ状況



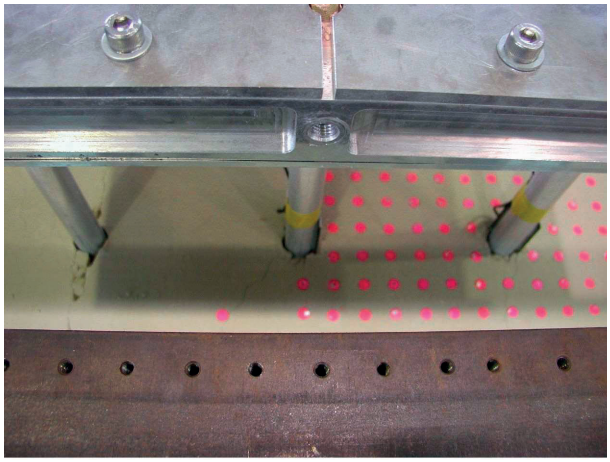
8　粘土地盤
実験後
1 本柱　変形状況



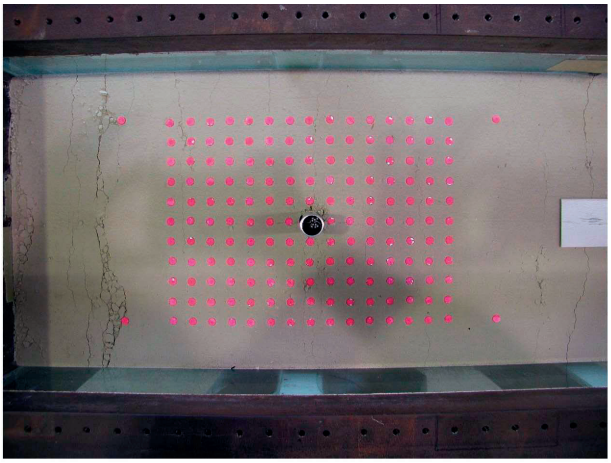
9　粘土地盤
実験後
1 本柱 変形状況



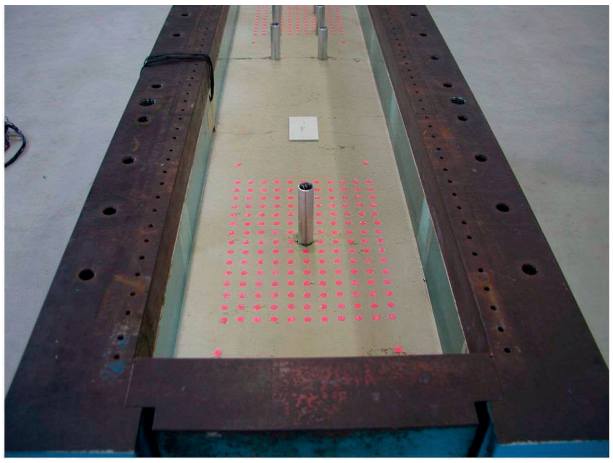
10　粘土地盤
実験後
3 本柱　変形状況



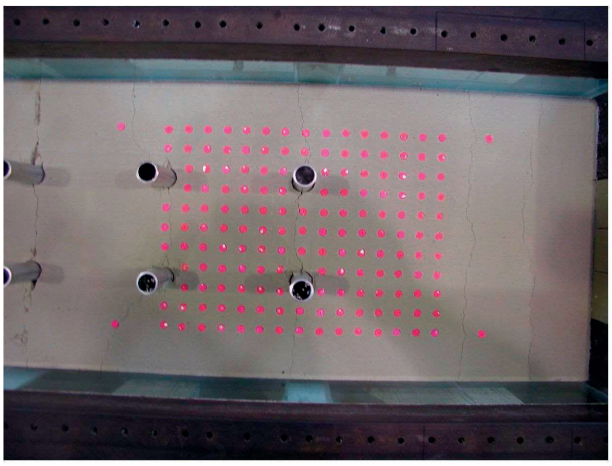
11　粘土地盤
実験後
3 本柱　変形状況



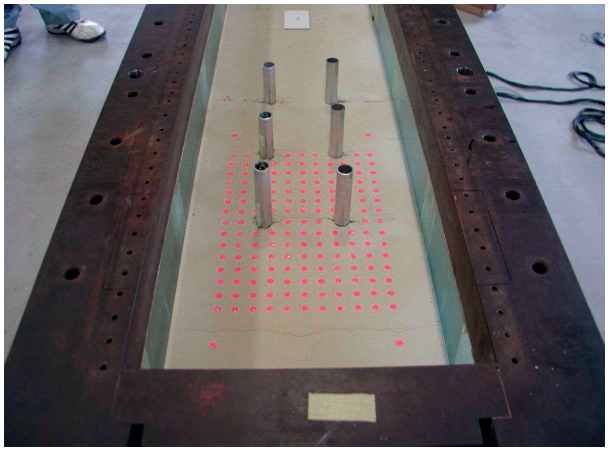
12　粘土地盤
実験後
1 本柱　標点の状況



13　粘土地盤
実験後
1 本柱　標点の状況



14　粘土地盤
実験後
3 本柱　標点の状況



15　粘土地盤
実験後
3 本柱　標点の状況

フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法に関する共同研究報告書

第４編：電気抵抗溶接鋼管を用いた橋脚の耐震性能評価

～ 目 次 ～

1. 概　要 ---------- 4- 1
1.1 研究の背景と目的 ---------- 4- 1
1.2 検討手法 ---------- 4- 2

2. 電縫鋼管の正負交番載荷実験 ---------- 4- 3
2.1 概要 ---------- 4- 3
2.2 実験手法 ---------- 4- 4
2.2.1 形状・寸法諸元 ---------- 4- 4
2.2.2 材料試験結果 ---------- 4- 6
2.2.3 供試体の溶接条件 ---------- 4- 7
2.2.4 載荷方法 ---------- 4- 8
2.2.5 計測項目と計測位置 ---------- 4-13
2.3 実験結果 ---------- 4-15
2.3.1 実験結果一覧 ---------- 4-15
2.3.2 水平荷重－水平変位関係 ---------- 4-17
2.3.3 包絡線 ---------- 4-20
2.3.4 水平荷重－鉛直変位関係 ---------- 4-23
2.3.5 水平変位の柱軸方向分布 ---------- 4-23
2.3.6 エネルギー吸収量 ---------- 4-23
2.3.7 ひずみ分布 ---------- 4-26
2.3.8 面外変位 ---------- 4-26
2.3.9 変形状況写真 ---------- 4-30
2.3.10 予測式との比較 ---------- 4-36

2.4 まとめ ---------- 4-38

3. 電縫鋼管橋脚の耐震性能評価 ---------- 4-39
3.1 概要 ---------- 4-39
3.2 解析手法 ---------- 4-40
3.2.1 解析プログラム ---------- 4-40
3.2.2 解析モデルと荷重条件 ---------- 4-40
3.2.3 材料構成則 ---------- 4-41
3.3 正負交番載荷実験の再現解析 ---------- 4-43
3.3.1 水平荷重－水平変位関係 ---------- 4-43
3.3.2 座屈形状 ---------- 4-48
3.4 補間解析 ---------- 4-50
3.4.1 解析モデルの諸元 ---------- 4-50
3.4.2 解析結果 ---------- 4-51
3.5 M-ϕモデルによる耐震性能評価 ---------- 4-61
3.5.1 許容ひずみの算定方法 ---------- 4-61
3.5.2 許容ひずみと構造諸元との関係 ---------- 4-63
3.5.3 提案した許容ひずみの妥当性の検証 ---------- 4-65
3.6 まとめ ---------- 4-67

4. まとめ ---------- 4-68

参考文献---------- 4-69

付 録

A1.正負交番載荷実験 供試体図面 ---------- 4-71

A2.正負交番載荷実験 供試体の変位・ひずみデータ ---------- 4-93

A3.正負交番載荷実験 包絡線のデジタルデータ ---------- 4-105

A4.正負交番載荷実験 架台部およびジャッキ部の変位データ ----- 4-151

A5.正負交番載荷実験 供試体の全景および基部の状況写真 ------- 4-165

1. 概要

1.1 研究の背景と目的

山岳地の道路建設工事では、狭隘地や地形改変が困難な傾斜地などといった施工環境が厳しい（施工条件の制約が大きい）ことがあり、このような場合に図 1.1.1に示すコンパクトな部材で構成した桟道形式の道路構造物が採用されることがある。橋脚には、SKK400およびSKK490の鋼管杭が用いられており、一般の円形断面鋼製橋脚と比べて小径であることから、工場での大量生産が可能で安価な電気抵抗溶接鋼管（以下、電縫鋼管）が適用される。

電縫鋼管は、製鉄所においてコイル材のトリミングから成形、溶接、検査までの工程をオンライン制御で連続的に製造されるため品質が高い。一方、製造過程において様々な塑性加工の影響を受けることから、その機械的性質は原板から製品に至るまでに変化する。一般に、造管後の降伏応力度は、原板のときと比べて高くなり、径厚比が小さいほどその上昇が著しい[4.1)]という特徴を有する。そのため、電縫鋼管の降伏比は、鋼製橋脚として一般的に用いられるローラー曲げ法またはプレス曲げ法により鋼板から製作された鋼管（以下，製作管）と比べて高くなる場合があり、耐力および変形能も異なる可能性がある。また、本構造の橋脚は、一般の円形断面鋼製橋脚と比べて相対的に細長比パラメータが大きい。道路橋示方書・同解説V耐震設計編平成24年3月[4.2)]（以下、H24道示V）に示されている鋼製橋脚の曲げモーメント－曲率関係による耐震性能評価法（以下、M-ϕモデル）は、一般の円形断面鋼製橋脚を対象として既往の正負交番載荷実験[4.3)]（以下、６者共同研究）に基づいて定められている。そのため、本構造で塑性化を許容する橋脚は、H24道示Vの適用範囲を超過することがある。したがって、橋脚として電縫鋼管を用いる場合（以下、電縫鋼管橋脚）には、H24道示Vに示されているM-ϕモデルをそのまま適用することが望ましくない可能性がある。

こうした背景のもとに、本研究は図 1.1.2の寸法諸元を対象として，電縫鋼管の耐力および変形能を把握するとともに、許容変位に対応するM-ϕモデルにおけるひずみ（以下、許容ひずみ）を提案することを目的とする。

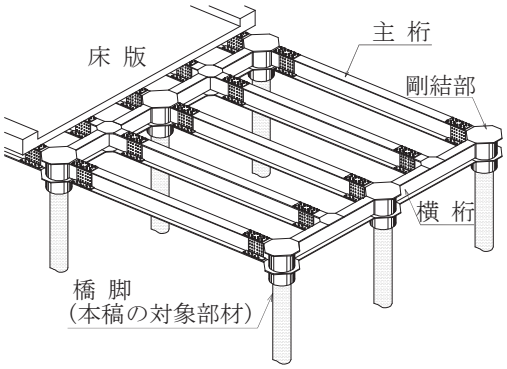


図 1.1.1 構造概念図

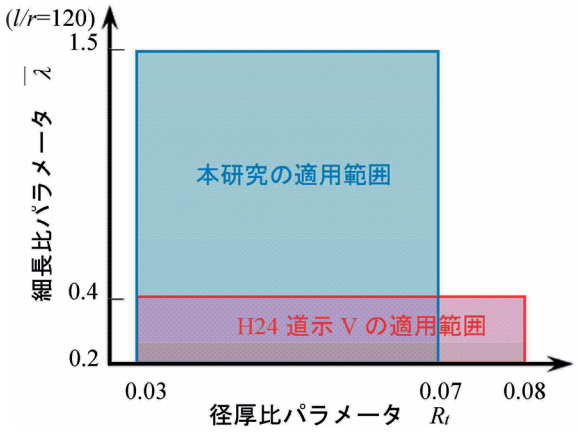


図 1.1.2 本研究の適用範囲

1.2　検討手法

電縫鋼管橋脚の耐力および塑性変形能を定量的に評価するため、本研究の適用範囲を包括するように設定した供試体により正負交番載荷実験を行い、解析によって実験結果を補完する。解析方法などは電縫鋼管橋脚の弾塑性挙動を適切に表現できるよう、実験結果に基づいて設定する。実験と補間解析の結果を用いて、電縫鋼管橋脚を対象とした許容ひずみを提案する。

2. 電縫鋼管の正負交番載荷実験

2.1 概要

電縫鋼管橋脚の耐力および塑性変形能の定量評価は、H24 道示Ⅴに従って同等の構造細目を有する供試体を用いた正負交番載荷実験結果に基づき、塑性域での抵抗メカニズムを踏まえて行う。正負交番載荷実験の方法は、６者共同研究と同様とする。供試体は 1.1 節で示した適用範囲において径厚比パラメータを上下限値で設定し、細長比パラメータを H24 道示 V の適用条件を満足するものとこれを超えたものとする。定量評価においては、電縫鋼管橋脚の降伏比、細長比パラメータ及び径厚比パラメータが耐力および塑性変形能に与える影響を、一般の橋脚に用いられる製作管の耐震性能予測式[4.4)]との対比により把握する。

2.2 実験手法

2.2.1 形状・寸法諸元

供試体の諸元は、表 2.2.1 に示すとおりであり、鋼管は、すべて SKK490 の JIS 規格を満足する電縫鋼管である。各供試体の寸法諸元を付図 1(1)～(6)に示し、実験装置図を付図 2(1)～(5)に示す。供試体 1-1 および 1-2 の 2 体は、本実験において既往の研究成果と相対比較ができるように H24 道示 V の M-ϕモデルの適用範囲をほぼ満足するように設定したものである。それに対して、供試体 1.5-2、2-1、2-2 および 3-1 の 4 体は、適用範囲を超えて細長比パラメータ$\bar{\lambda}$を大きく設定したものである。また、供試体 1-1 と 1-2、供試体 2-1 と 2-2 は、それぞれ径厚比パラメータ R_t を変化させて本研究の適用範囲の上下限値となるように設定しており、板厚は 6.0mm と 14.3mm である。

ここで、H24 道示 V の円形断面鋼製橋脚の M-ϕモデルの設定に必要な許容ひずみε_aは、細長比パラメータが耐力および変形能に与える影響が小さい領域を対象として、径厚比パラメータ R_t の関数(式(2.2.1))で与えられている。細長比パラメータが小さい領域の電縫鋼管橋脚においても降伏比を制限した電縫鋼管であれば、製作管と同様に径厚比パラメータを小さくすることにより、許容ひずみが向上する可能性が考えられる。そこで、供試体 1-2 および 1.5-2 の鋼管は、降伏比が 85%以下であるもの（以下、低降伏比電縫管）を用いた。この降伏比は、実用に供する電縫鋼管において、製造方法を大きく変えることなく、実現が可能な上限値として設定した。なお、降伏比は、建築構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3475 に準じて、溶接部を含まない管軸方向引張試験からの算定値である。

$$\varepsilon_a = (20 - 140R_t)\varepsilon_y \tag{2.2.1}$$

ここに適用範囲は、$0.03 \leqq R_t \leqq 0.08$、$0.2 \leqq \bar{\lambda} \leqq 0.4$、$0 \leqq N/N_y \leqq 0.2$ である。

表 2.2.1 に示す力学的パラメータの定義は以下に示す。

(1) 細長比パラメータ：$\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdot \frac{l}{r} \tag{2.2.2}$$

ここに、

σ_y ：降伏応力度
E ：ヤング係数
l ：有効座屈長
r ：断面 2 次半径

(2) 径厚比パラメータ：R_t

$$R_t = \frac{R}{t} \cdot \frac{\sigma_y}{E}\sqrt{3\left(1-\nu^2\right)} \tag{2.2.3}$$

ここに、

R ：板厚中心半径
t ：板厚
ν ：ポアソン比(=0.3)

実験供試体名に併記する括弧内の数値は、細長比パラメータ$\bar{\lambda}$、径厚比パラメータ R_t および降伏比 YR の情報であり、例えば$\bar{\lambda}$=0.4、R_t=0.03、YR=0.85 の場合、（4-3-85）とする。

表 2.2.1　供試体の諸元

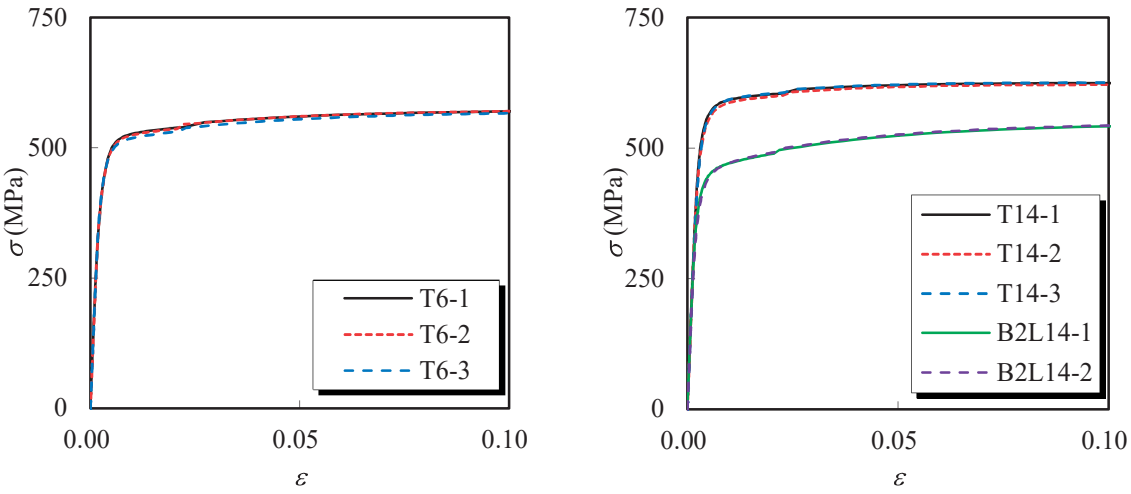
供試体番号		1-1	1-2	1.5-2	2-1	2-2	3-1
直径	D(mm)	318.5	323.9	323.9	318.5	318.5	318.5
半径	R(mm)	159.25	161.95	161.95	159.25	159.25	159.25
板厚	t(mm)	6.0	14.3	14.3	6.0	14.3	6.0
鋼種		SKK490					
径厚比	R/t	26.5	11.3	11.3	26.5	11.1	26.5
断面積	A(cm^2)	58.9	139.1	139.1	58.9	136.7	58.9
断面2次モーメント	I(cm^4)	7,193	16,700	16,700	7,193	15,843	7,193
断面係数	Z(cm^3)	452	1,031	1,031	452	995	452
ヤング係数	E(MPa)	2.0×10^5					
断面2次半径	r(cm)	11.1	11.0	11.0	11.1	10.8	11.1
載荷点高さ	h(cm)	157.0	157.0	217.0	348.0	348.0	528.0
有効座屈長	l=2h(cm)	314.0	314.0	434.0	696.0	696.0	1,056.0
軸力	N(kN)	371.1	876.3	657.2	278.3	645.9	278.3
材料規格値	公称降伏点 σ_{yN}(MPa)	315					
	軸力比 N/N_{yN}	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15
	公称降伏水平荷重 P_{yN}(kN)	72.5	165.5	127.2	34.8	76.5	22.9
	公称降伏水平変位 δ_{yN}(mm)	6.5	6.4	13.0	34.0	33.9	78.1
	細長比パラメータ $\bar{\lambda}_N$	0.357	0.361	0.498	0.792	0.814	1.202
	径厚比パラメータ R_{tN}	0.068	0.028	0.028	0.068	0.028	0.068
材料試験値	鋼材降伏点 σ_{yM}(MPa)	487	431	431	487	553	487
	軸力比 N/N_{yM}	0.13	0.15	0.11	0.10	0.09	0.10
	降伏水平荷重 P_{yM}(kN)	122.0	241.7	182.4	57.1	144.6	37.6
	降伏水平変位 δ_{yM}(mm)	10.9	9.3	18.6	55.8	64.1	128.2
	細長比パラメータ $\bar{\lambda}_M$	0.444	0.422	0.583	0.985	1.079	1.494
	径厚比パラメータ R_{tM}	0.105	0.039	0.039	0.105	0.049	0.105

2.2.2　材料試験結果

供試体の材料試験結果を表 2.2.2 に示す。材料試験片は、供試体と同一鋼番の電縫鋼管から切り出したJIS12C 号試験片とした。切出し位置は、鋼管の溶接線位置を0°とした場合の円周方向90°位置とし、試験片長手方向を管軸方向とした。応力－ひずみ関係は、図 2.2.1 に示すとおりであり、全試験片に共通して降伏棚は現れなかった。表 2.2.2 に示す材料降伏応力度σ_{yM}は 0.2%耐力による値である。供試体 1-2 および 1.5-2 の低降伏比電縫管の降伏比は 79%であり、径厚比パラメータが同等の供試体 2-2（降伏比 89%）と比べて 10%低い値であった。

表 2.2.2　引張試験結果

供試体番号		1-1,2-1,3-1			2-2			1-2,1.5-2	
試験片番号		T6-1	T6-2	T6-3	T14-1	T14-2	T14-3	B2L14-1	B2L14-2
材質		SKK490							
採取方向		部材軸方向							
円周位置		90°							
板厚 (mm)		6.067	6.047	6.031	14.339	14.304	14.325	14.130	14.130
	平均	6.048			14.323			14.130	
幅 (mm)		38.00	37.98	37.99	37.99	38.01	37.99	38.11	38.11
	平均	37.99			38.00			38.11	
断面積 (mm^2)		231.10	230.22	229.66	546.16	545.11	545.66	539.86	539.86
	平均	230.33			545.64			539.86	
標点間距離 (mm)		50.12	51.84	50.60	51.20	50.84	50.89	50.47	50.08
	平均	50.85			50.98			50.28	
降伏荷重 (kN) (0.2%offset)		112.8	112.5	111.2	304.9	298.4	302.5	235.3	232.4
	平均	112.2			301.9			233.8	
最大荷重 (kN)		132.0	131.5	130.5	340.7	338.5	341.0	294.8	295.7
	平均	131.3			340.1			295.3	
降伏強度 (MPa) (0.2%offset)		488.2	488.5	484.1	558.2	547.5	554.1	435.8	430.5
	平均	486.9			553.3			433.1	
引張強度 (MPa)		571.2	571.2	568.2	623.8	621.0	624.9	546.1	547.7
	平均	570.2			623.2			546.9	
降伏比		0.85	0.86	0.85	0.89	0.88	0.89	0.80	0.79
	平均	0.85			0.89			0.79	
破断後伸び (mm)		65.36	67.60	66.56	69.08	68.68	68.60	71.23	70.98
	平均	66.51			68.79			71.11	
破断伸び (%)		30.4	30.4	31.5	34.9	35.1	34.8	41.1	41.7
	平均	30.8			34.9			41.4	



(a) t=6.0mm　　(b) t=14.3mm

図 2.2.1　引張試験結果

2.2.3　供試体の溶接条件

供試体製作に適用する溶接方法は、すべて実構造と同じ CO_2 半自動アーク溶接とした。また、供試体製作において、熱処理等によるひずみ取りは行わなかった。

2.2.4　載荷方法

載荷方法は、供試体に軸力 N を載荷した後、その軸力を一定に保持した状態で変位制御による水平方向正負交番漸増載荷とした。なお、軸力は、設計で想定する最大値とした。

供試体の設置は、実構造の状態とは異なり全て横置きとした。これは、すべての供試体の載荷条件を同一にする上で実験施設の制約上、縦置きが不可能な細長比パラメータが大きい供試体があったためである。供試体の設置状況を図 2.2.2 および写真 2.2.1 に示す。供試体基部はアンカーボルトで反力管に固定し、軸力および水平載荷装置は供試体頂部に連結した。また、軸力載荷装置はスライド装置と連結することにより、水平荷重載荷時に載荷方向がずれないようにした。供試体の電気抵抗溶接部は、図 2.2.2 に示すとおり、水平荷重載荷方向の近傍に配置した。これは母材部と比べて一般に高硬度である電気抵抗溶接部に水平荷重を載荷した場合、母材部に載荷した場合と比べて、耐力および変形能が低下する可能性が考えられることに配慮したことによる。

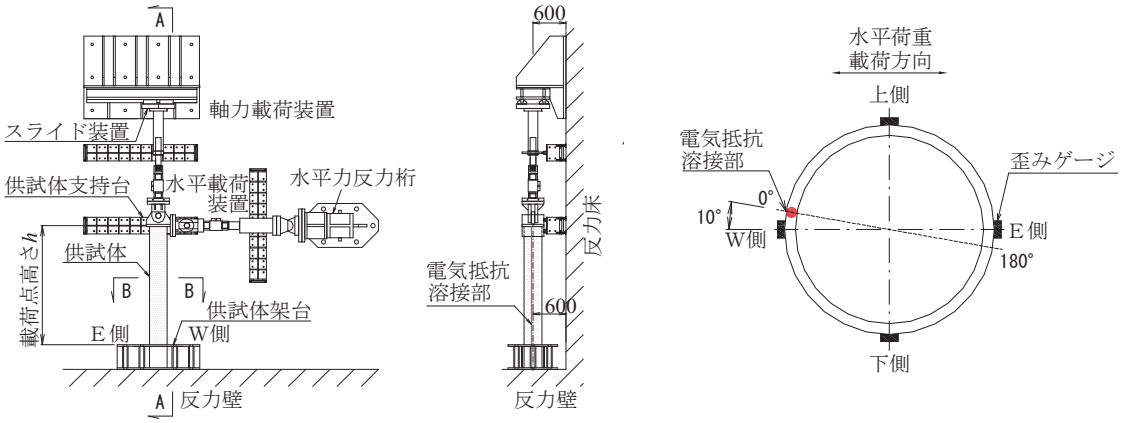
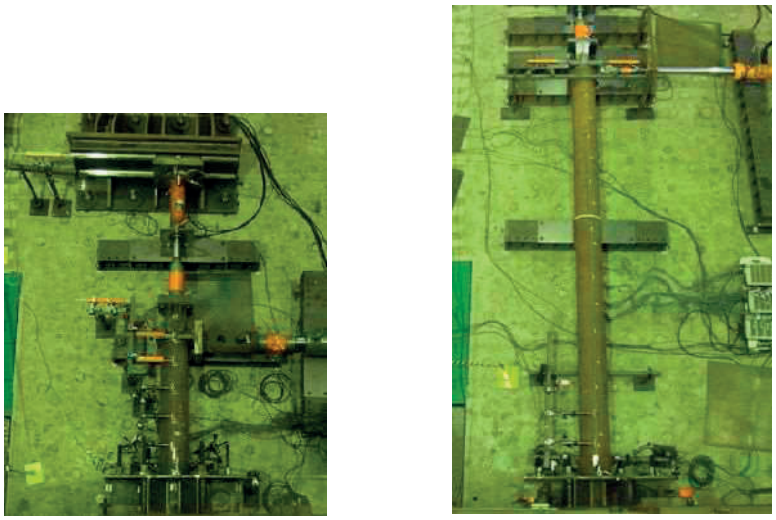


図 2.2.2　供試体設置状況



(a) 供試体 1-2　　(b) 供試体 3-1

写真 2.2.1　供試体設置状況の例

正負交番載荷時に作用させる一定軸力は、道示 V の M-ϕモデルの適用範囲をほぼ満足する供試体 1-1 および 1-2 は、H24 道示 V に規定される最大軸力となるように公称降伏軸力 N_y の 20%とした。また、道示 V の適用範囲を超えて細長比パラメータを大きく設定した供試体 1.5-2、2-1、2-2 および 3-1 は N_y の 15%とした。

供試体頂部に与える水平変位は、図 2.2.3 に示すように基準とする降伏水平変位δ_y の整数倍を片振幅として、$\pm 1\delta_y$、$\pm 2\delta_y$・・・の要領で漸増させた。

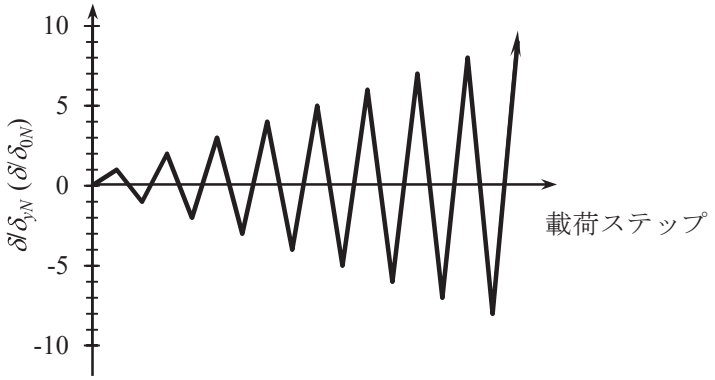


図 2.2.3　載荷方法（漸増両振り載荷 n=1）

供試体 1-1、1-2 および 1.5-2 の基準とする降伏水平変位δ_yは、6 者共同研究と同様に式(2.2.4)から求まる降伏水平変位δ_{yN}とした。

$$\delta_{yN} = \frac{P_{yN}h^3}{3EI} \tag{2.2.4}$$

$$P_{yN} = \left(\sigma_{yN} - \frac{N}{A}\right)\frac{Z}{h} \tag{2.2.5}$$

ここに、

δ_{yN}　：公称降伏水平変位

P_{yN}　：公称降伏水平荷重

h　：供試体基部の上ベースプレートから水平荷重載荷点までの高さ

E　：鋼材のヤング係数 (=2.0×10^{5}N/mm^2)

I　：断面 2 次モーメント

N　：軸力

A　：断面積

Z　：断面係数

一方、細長比パラメータが大きいことにより耐力が小さいと想定される供試体 2-1、2-2 および 3-1 の基準とする水平変位は、道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編平成 24 年 3 月 [4.5)]（以下、H24 道示 II）に規定される耐荷力曲線を基にした許容軸圧縮応力度を用いた式(2.2.6)から求まる δ_{0N}（δ_{yN}より小さな値）とした。

$$\delta_{0N} = \frac{P_{0N}h^3}{3EI} \tag{2.2.6}$$

$$P_{0N} = \left(\sigma_{yN} - \frac{N}{A}\times\frac{\sigma_{yN}}{1.7\sigma_{ca}}\right)\frac{Z}{h} \tag{2.2.7}$$

ここに、

σ_{ca}　：H24 道示 II に規定される許容軸方向圧縮応力度

供試体の変位計取付け位置は、付図 3(1)〜(5)に示す。変位量は、床上のスタンドに固定した変位計（ストローク式変位計およびワイヤ巻取り式変位計）により計測した。

供試体は水平力を受けると供試体基部（ベース部）に回転と水平力方向の変位が生じる。そのため、実験で制御する水平変位は、供試体頂部における水平変位から基部の回転と水平方向変位の影響を控除した値（補正後水平変位 *DLT*）とし、６者共同研究の手法に従って式(2.2.9)より算定した。補正変位を計測するための変位計位置および間隔は、図 2.2.4 に示す。なお、補正後の各δについては、本報告書の図中では便宜上、供試体 1-1、1-2 および 1.5-2 は$n\delta_{yN}$、供試体 2-1、2-2 および 3-1 は$n\delta_{0N}$と表記している。

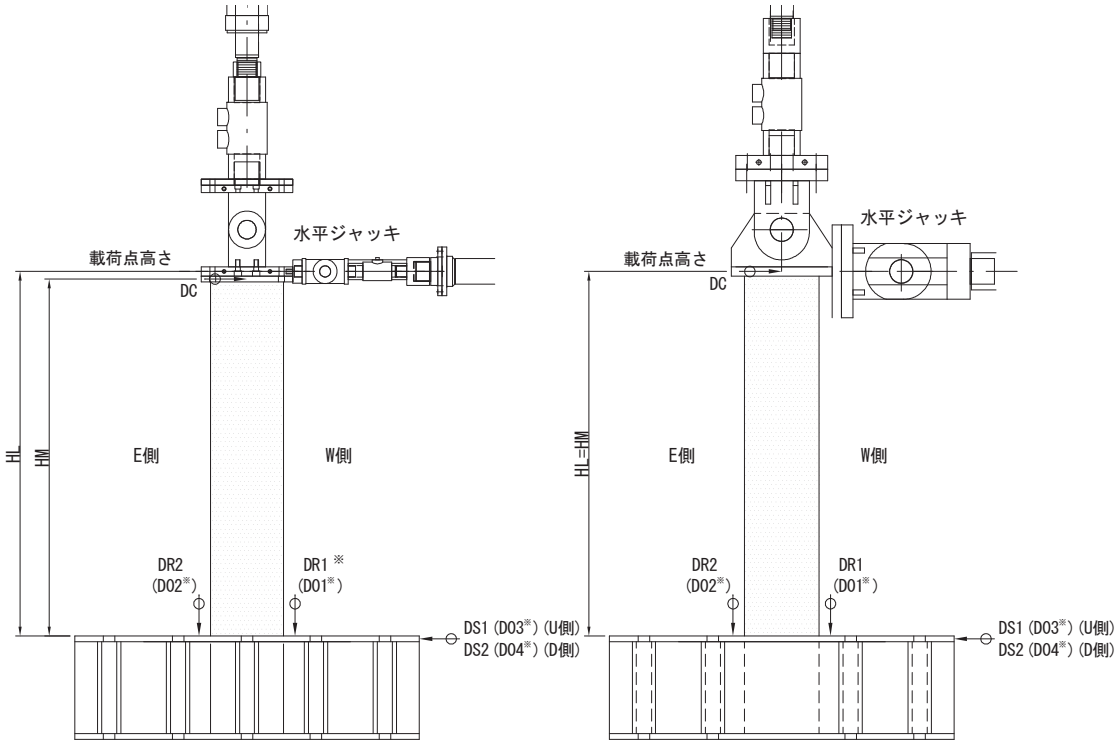
$$DT = DC - \frac{DS1 + DS2}{2} - \frac{(DR1 - DR2)}{L} HM \tag{2.2.8}$$

$$DLT = \frac{HL}{HM} DT \tag{2.2.9}$$

ここに、

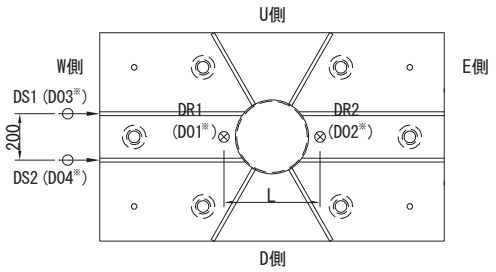
DT ：供試体天端の水平変位計測点の補正変位

DLT ：水平荷重載荷位置における補正変位



供試体 1-1, 2-1, 2-2, 3-1　　供試体 1-2, 1.5-2

供試体	*HM* (mm)	*HL* (mm)	*L* (mm)
1-1	1537.5	1570	418.5
1-2	1570.0	1570	423.9
1.5-2	2170.0	2170	523.9
2-1	3447.5	3480	418.5
2-2	3447.5	3480	418.5
3-1	5247.5	5280	418.5



⊗：紙面に対して表面から裏面方向に向けて取付けた場合の変位計取付け位置と方向

※：ストローク変位計を示す

図 2.2.4 供試体の水平変位の補正

2.2.5　計測項目と計測位置

本実験における計測項目は、荷重、変位、ひずみおよび供試体基部の変形量である。載荷速度は、６者共同研究と同様に準静的に与えることとし、データ計測間隔は、柱頂部に与える水平変位を 1mm 増加させる間に 1 点以上とした。計測機器の一覧は、表 2.2.3 に示す。供試体のひずみゲージ貼付位置は、付図 4 (1)～(5)に示す。

表 2.2.3 実験機器

測定項目	機器・ピックアップ			製造会社	数量
軸　力　荷　重	ロードセル	TCLP-1MNB		東京測器研究所	1
水　平　荷　重	ロードセル	TCLP-200kNB	(for 1-1,2-1,2-2,3-1)	東京測器研究所	1
		TCLP-1MNB	(for 1-2,1.5-2)		1
基部の鉛直変位	変位計　D01,D02	CDP-25		東京測器研究所	2
基部の水平変位	変位計　D03,D04	CDP-25		東京測器研究所	2
軸力ジャッキ部 水　平　変　位	変位計　D05,D06	SDP-300	(for 1-2)	東京測器研究所	2
		DP-500	(for 1-1,1.5-2,2-1,2-2)		2
		DP-1000	(for 3-1)		2
軸力ジャッキ部 軸　　変　　位	変位計　D07	SDP-200	(for 1-1,2-1,2-2,3-1)	東京測器研究所	1
		SDP-100	(for 1-2,1.5-2)		1
鋼管の水平変位-1	変位計　D08,D09	CDP-100		東京測器研究所	2
鋼管の水平変位-2	変位計　D10	CDP-100	(for 1-1,1-2,1.5-2,2-1,2-2)	東京測器研究所	1
		DP-500	(for 3-1)		1
鋼管の水平変位-3	変位計　D11	DP-500	(for 1-1,2-1,2-2,3-1)	東京測器研究所	1
		SDP-200	(for 1-2,1.5-2)		1
鋼管の水平変位-3	変位計　D12	DP-500	(for 1-1,2-1,2-2,3-1)	東京測器研究所	1
		SDP-200	(for 1.5-2)		1
鋼管の水平変位-4	変位計　D13	SDP-300	(for 1.5-2)	東京測器研究所	1
		DP-500	(for 2-1,2-2,3-1)		1
鋼管の水平変位-5	変位計　D14～D15	DP-500	(for 2-1,2-2)	東京測器研究所	2
	変位計　D14～D16	DP-1000	(for 3-1)		3
鋼管の水平変位-6	変位計　D17	DP-500	(for 3-1)	東京測器研究所	1
水平ジャッキ部 水　平　変　位	変位計　D12-2	CDP-100	(for 1-1)	東京測器研究所	1
	変位計　D12	SDP-200	(for-1-2)		1
	変位計　D14	SDP-200	(for 1.5-2)		2
	変位計　D15-2	SDP-300	(for 2-1,2-2)		1
	変位計　D17(+),D17(-)	SDP-300	(for 3-1)		2
軸　縮　み　量	変位計　D20	DP-500	(for 1-1,2-1,2-2,3-1)	東京測器研究所	1
		SDP-100	(for 1-2,1.5-2)		1
ひ　ず　み	1軸ひずみゲージ	FLA-3-11-5LT, -7LT	(for 1-1,1-2)	東京測器研究所	38
			(for 1.5-2)		58
			(for 2-1,2-2)		66
			(for 3-1)		84
データ収録	スイッチボックス	SHW50D		東京測器研究所	3
	データロガー	THS1100		東京測器研究所	1
	コンピュータ				1

供試体基部の鋼管板厚方向変形量は、図 2.2.5 および写真 2.2.2(1)および(2)に示す要領で形取りゲージにより測定した。なお、測定および写真撮影は、水平力の載荷を一旦停止した状態で行った。

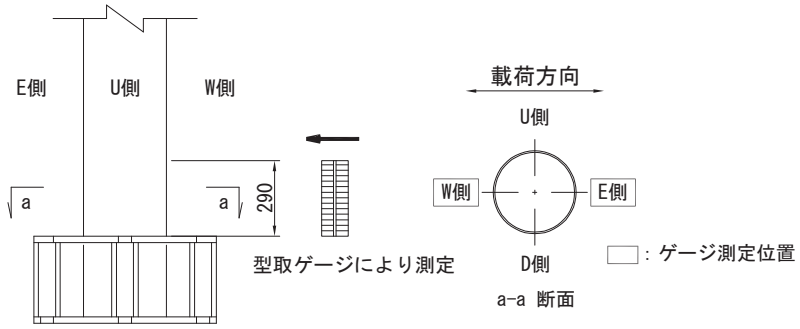


図 2.2.5　面外変位の測定位置

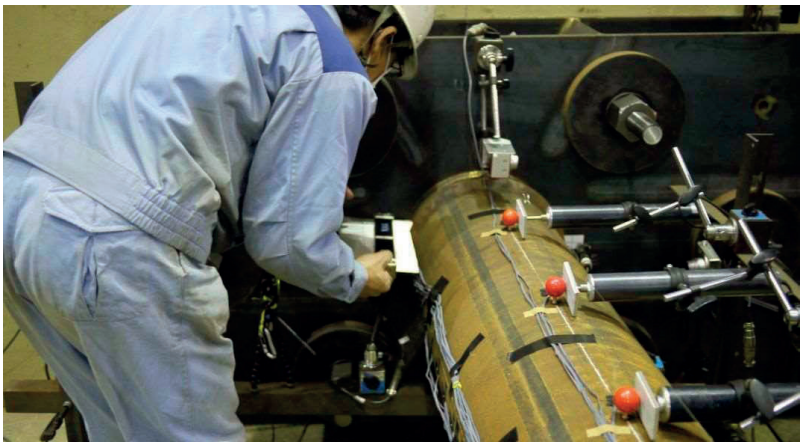


写真 2.2.2(1)　面外変位測定状況

写真 2.2.2(2)　面外変位測定状況

2.3　実験結果

2.3.1　実験結果一覧

降伏水平変位（δ_{yN},δ_{yM},δ_{yEN},δ_{yEM}）は、図 2.3.1 に示すとおり定義する。δ_{yN}およびδ_{yM}は、水平荷重－水平変位関係の理論初期剛性から求め、 δ_{yEN} およびδ_{yEM} は、実験より得られる水平荷重―水平変位関係（正側載荷の包絡線）の初期剛性から求める。実験初期剛性は、水平荷重が低い間は誤差が含まれやすく、荷重が高いと座屈等の幾何学的非線形の影響を受けやすい。このことを考慮して、実験初期剛性は、材料試験結果から算定した降伏水平荷重 P_{yM} の約 20～40％のときに計測された荷重―変位データを用いて最小二乗法によって求めた割線勾配とした。理論初期剛性と実験初期剛性の値を表 2.3.1 に示す。

実験結果の一覧は、表 2.3.2 に示すとおりである。なお、実験供試体のうち最も細長比パラメータが大きい供試体 3-1 の最大水平荷重 P_{max} は、材料降伏応力度から算定した P_{yM} を僅かに下回った。この要因は、理論初期剛性と実験初期剛性の比率（K_{TO}/K_E）からも分かるように、細長比パラメータが大きいことによるものと考えられる。

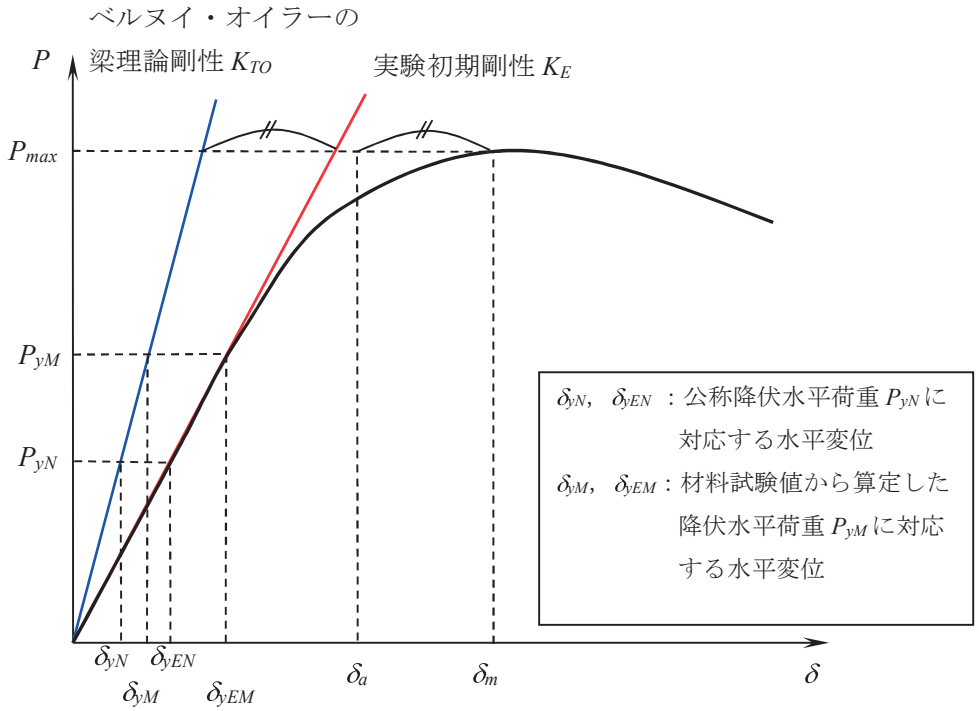


図 2.3.1　降伏水平変位の定義

表 2.3.1　初期剛性の比較

供　試　体　番　号	1-1	1-2	1.5-2	2-1	2-2	3-1
実験初期剛性 K_E (kN/mm)	8.525	20.666	7.415	0.856	1.780	0.207
理論初期剛性 K_{TO}(kN/mm)	11.154	25.859	9.785	1.024	2.257	0.293
K_{TO}/K_E	(1.31)	(1.25)	(1.32)	(1.20)	(1.27)	(1.42)

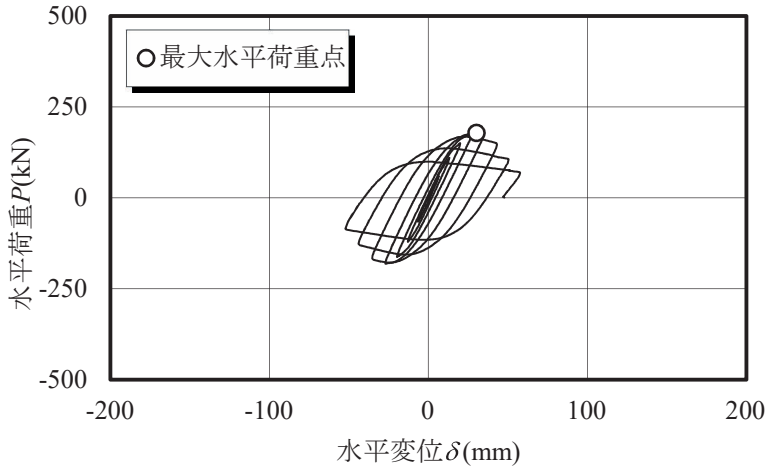
表 2.3.2　実験結果一覧

供試体番号		1-1	1-2	1.5-2	2-1	2-2	3-1
直径	D (mm)	318.5	323.9	323.9	318.5	318.5	318.5
板厚	t (mm)	6.0	14.3	14.3	6.0	14.3	6.0
鋼種		SKK490					
載荷点高さ	h (cm)	157.0	157.0	217.0	348.0	348.0	528.0
細長比パラメータ	$\bar{\lambda}_N$	0.357	0.361	0.498	0.792	0.814	1.202
径厚比	R/t	26.5	11.3	11.3	26.5	11.1	26.5
径厚比パラメータ	R_{tN}	0.068	0.028	0.028	0.068	0.028	0.068
軸力比	N/N_{yN}	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15
最大水平荷重	P_{max} (kN)	178.3	407.2	282.2	74.3	184.4	36.5
	P_{0N} (kN)				32.1	70.3	18.2
	P_{yN} (kN)	72.5	165.5	127.2	34.8	76.5	22.9
	P_{yM} (kN)	122.0	241.7	182.4	57.1	144.6	37.6
	P_{max}/P_{0N}				2.31	2.62	2.01
	P_{max}/P_{yN}	2.46	2.46	2.22	2.14	2.41	1.59
	P_{max}/P_{yM}	1.46	1.68	1.55	1.30	1.28	0.97
最大水平荷重時変位	δ_m (mm)	30.0	57.7	91.1	132.0	175.8	287.1
許容変位	δ_a (mm)	25.1	53.7	81.9	117.8	153.9	235.3
	δ_{0N} (mm)				31.3	31.2	62.1
	δ_{yN} (mm)	6.5	6.4	13.0	34.0	33.9	78.1
	δ_{yM} (mm)	10.9	9.3	18.6	55.8	64.1	128.2
	δ_{yEN} (mm)	8.5	8.0	17.2	40.7	43.0	110.6
	δ_{yEM} (mm)	14.3	11.7	24.6	66.7	81.2	181.6
	δ_m/δ_{0N}				4.2	5.6	4.6
	δ_m/δ_{yN}	4.6	9.0	7.0	3.9	5.2	3.7
	δ_m/δ_{yM}	2.8	6.2	4.9	2.4	2.7	2.2
	δ_m/δ_{yEN}	3.5	7.2	5.3	3.2	4.1	2.6
	δ_m/δ_{yEM}	2.1	4.9	3.7	2.0	2.2	1.6

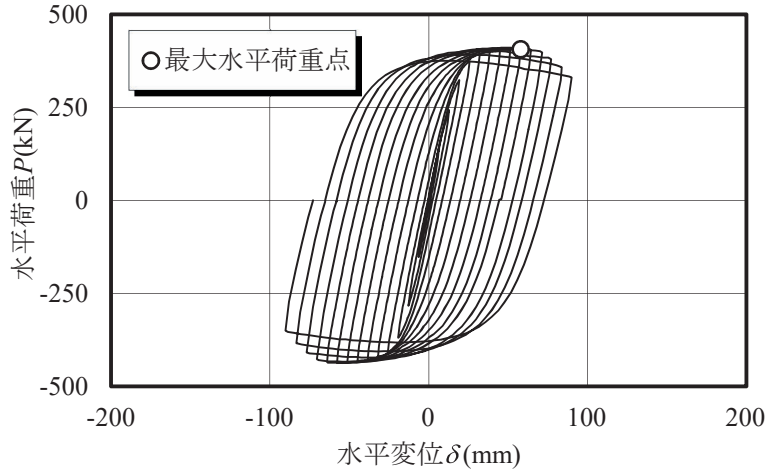
2.3.2　水平荷重―水平変位関係

水平荷重と水平荷重載荷点における水平変位の関係を表すヒステリシスループは、図 2.3.2(a)～(f)に示す。各供試体は鋼管基部付近にわずかな膨らみが確認されてから間もなく最大水平荷重に達し、局部座屈の進展に伴って水平荷重が低下した。

供試体 2-2 は、水平変位+6δへの到達直前に軸力一定装置の作動遅れにより、一時的に基準軸力を保持できなかったため、一旦除荷し再度+6δの載荷を行った。その影響により、図 2.3.2(e)の青点線で示す 2 回目の載荷では、同一変位における水平荷重は 1 回目より低下した。基準軸力が保持できなくなる直前の水平荷重－水平変位の関係からは、水平変位の増加に対して水平荷重が微増している状況であるが、これ以上の水平荷重の大きな増加は期待できないと判断し、2-2 の最大水平荷重は 1 回目の載荷において一定軸力が保持されている結果より決定した。

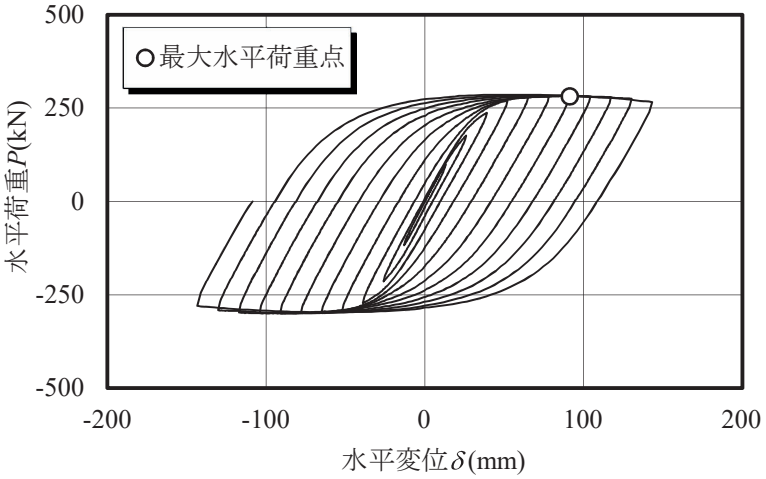


(a) 供試体 1-1（4-7-85）

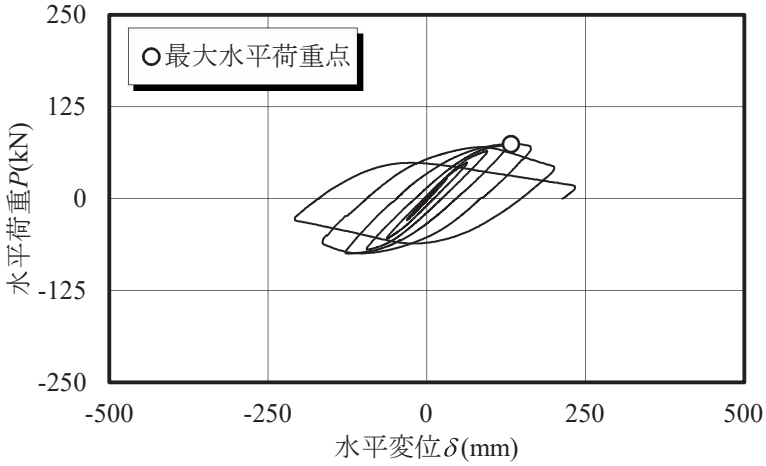


(b) 供試体 1-2（4-3-79）

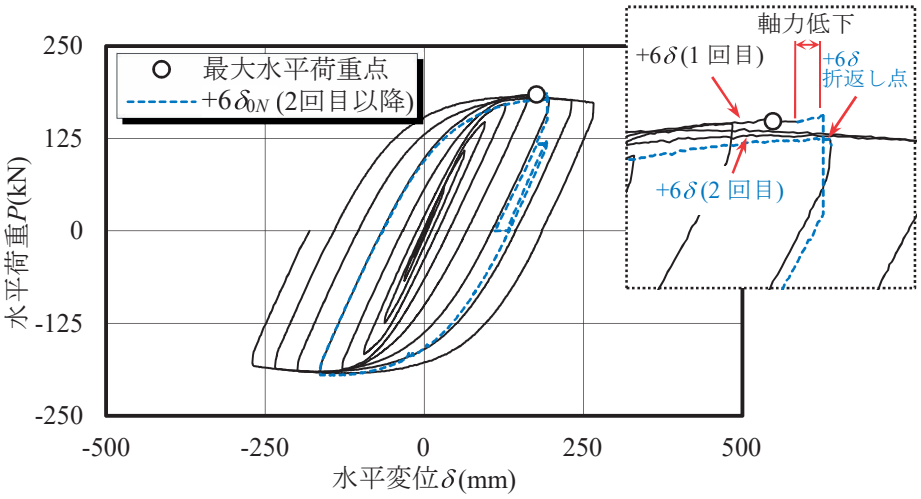
図 2.3.2　水平荷重－水平変位関係



(c) 供試体 1.5-2（5-3-79）

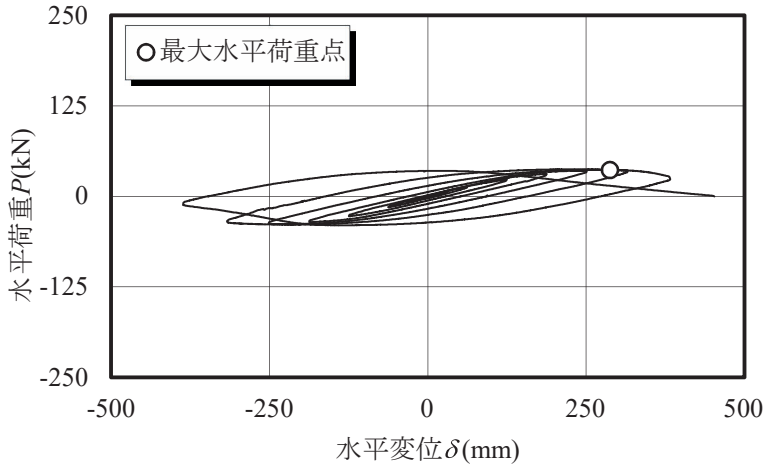


(d) 供試体 2-1（8-7-85）



(e) 供試体 2-2（8-3-89）

図 2.3.2　水平荷重－水平変位関係（つづき）



(f) 供試体 3-1（12-7-85）

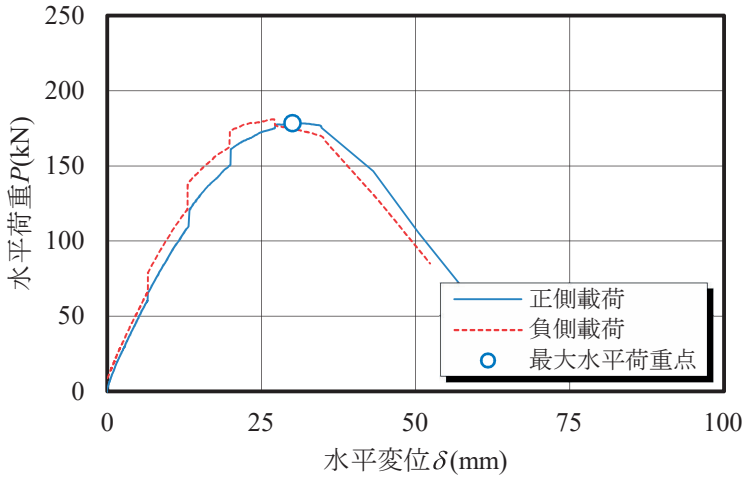
図 2.3.2　水平荷重－水平変位関係（つづき）

2.3.3　包絡線

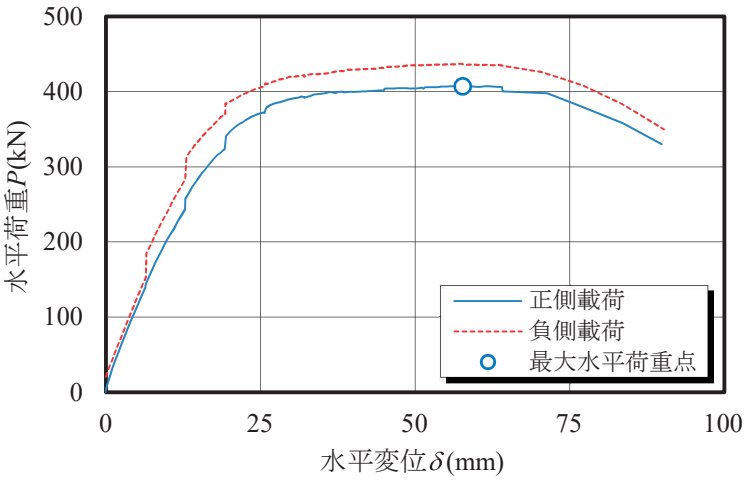
ヒステリシスループに対する正側載荷および負側載荷の包絡線は、図 2.3.3(a)～(f)に示す。なお、同図において水平変位の誤差が大きいと考えられる載荷開始から水平荷重が P_{yM} の 20%までの区間は、直線で結んでいる。

供試体 2-2 は、1 回目の+6δのループで一定軸力を保持している最終点と 2 回目の載荷で+6δに到達した点は直線で結んでおり、図 2.3.3(e)の青破線で示す。正側載荷の荷重および変位のデジタルデータは、付表 1(1)～(6)に示す。

全供試体の結果を比較したものは図 2.3.3(g)に示しており、供試体 3-1 は他の 5 体と比べて水平荷重 P が降伏水平荷重 P_{yM} に達する前に低下していることが分かる。

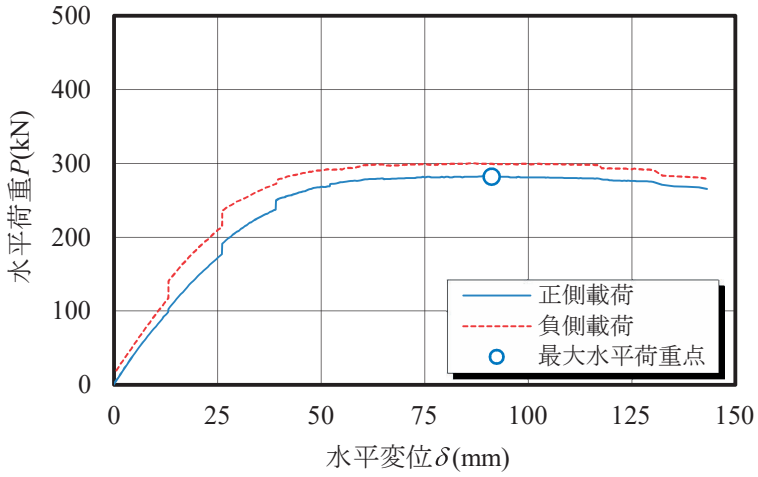


(a) 供試体 1-1（4-7-85）

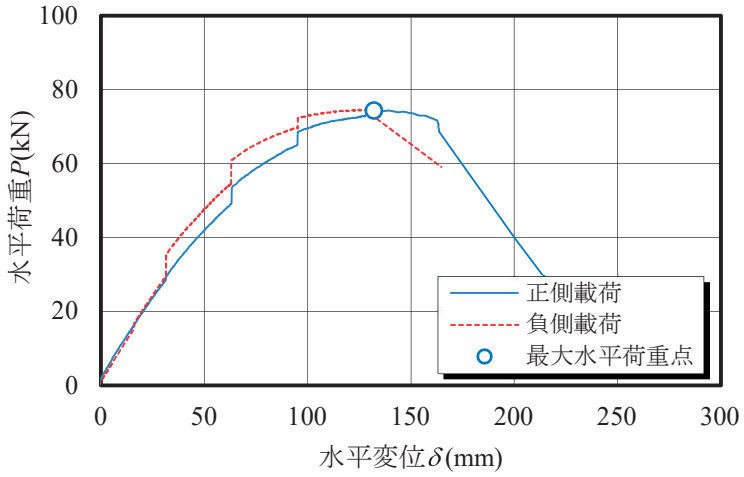


(b) 供試体 1-2（4-3-79）

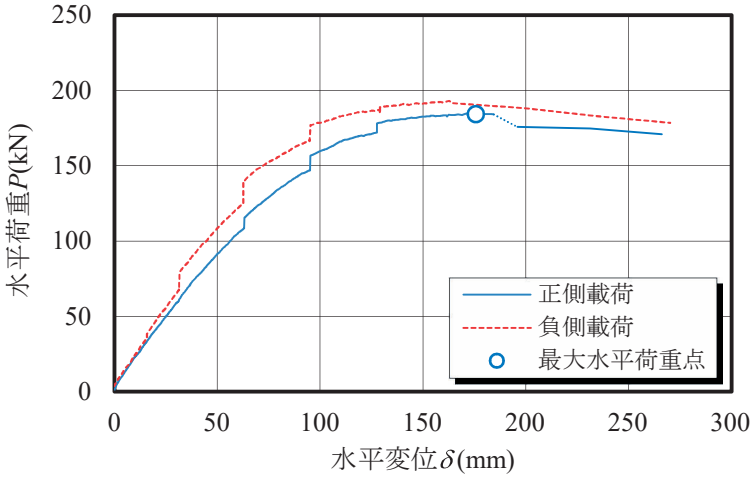
図 2.3.3　水平荷重－水平変位関係の包絡線



(c) 供試体 1.5-2（5-3-79）

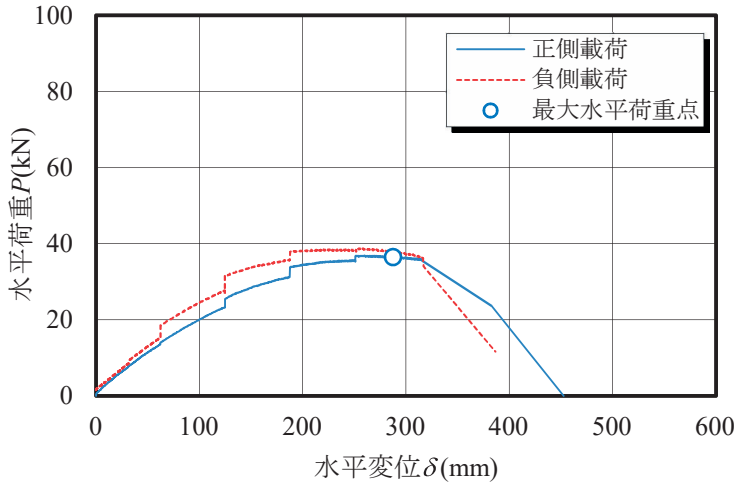


(d) 供試体 2-1（8-7-85）

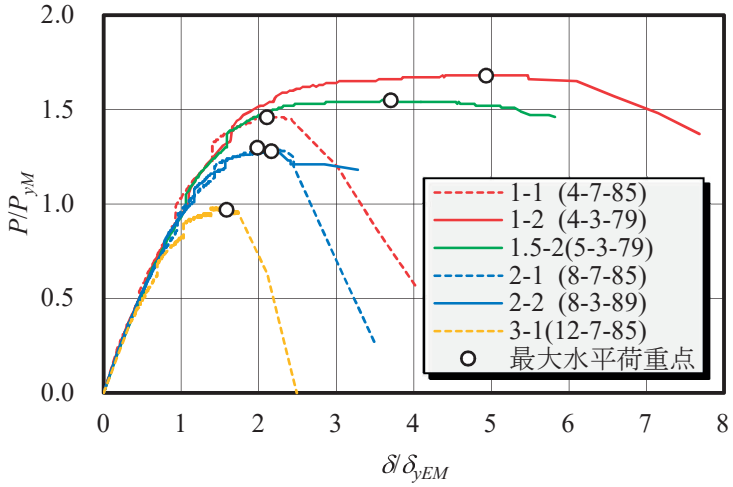


(e) 供試体 2-2（8-3-89）

図 2.3.3　水平荷重－水平変位関係の包絡線（つづき）



(f) 供試体 3-1（12-7-85）



(g) 包絡線の比較（正側包絡線）

図 2.3.3　水平荷重－水平変位関係の包絡線（つづき）

2.3.4　水平荷重—鉛直変位関係

水平荷重と供試体頂部の鉛直変位との関係は、付図 5 に示す。

2.3.5　水平変位の柱軸方向分布

各基準水平変位時の柱軸方向分布は、付図 6 に示す。

2.3.6　エネルギー吸収量

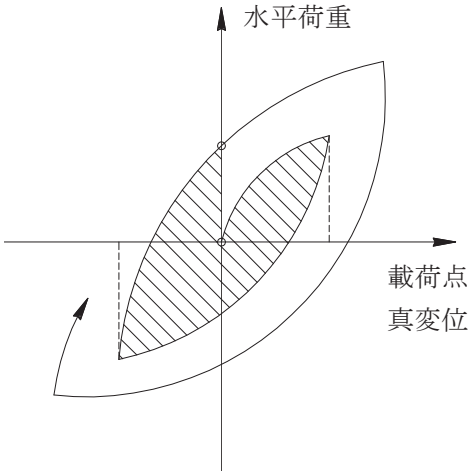
各載荷サイクルにおける正側と負側の水平変位の平均値（平均水平変位）とエネルギー吸収量の関係は、図 2.3.5 に示すとおりであり、既往の製作管の実験結果と同様であった。また、エネルギー吸収量の急激な低下等は生じなかった。なお、エネルギー吸収量は、6 者共同研究と同様に次のとおり算出した。

1 サイクルのエネルギー吸収量は、ヒステリシスループと変位軸とで囲まれる面積で表すことができ、図 2.3.4(a)、(b)の斜線部分のようになる。これを図 2.3.4(c)のように台形積分により求めた。

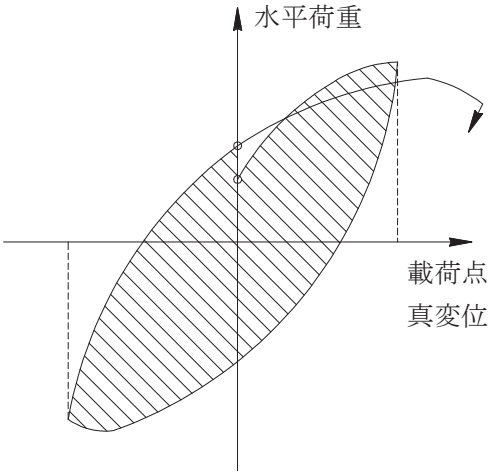
各サイクルでの吸収エネルギーをそれぞれ正確に計算するため、水平変位が 0mm となる点（1 サイクルの始点・終点）の水平荷重の値は、実験結果を内挿して求めた。1 サイクルのエネルギー吸収量ΔWは、式(2.3.1)によって求められる。

$$\Delta W = \frac{1}{2}\left\{\sum_{i=1}^{n-1}(h_{i+1}+h_i)\cdot(d_{i+1}-d_i)\right\} + \frac{1}{2}\{(h_1+h_s)(d_1-d_s)+(h_e+h_n)(d_e-d_n)\} \qquad (2.3.1)$$

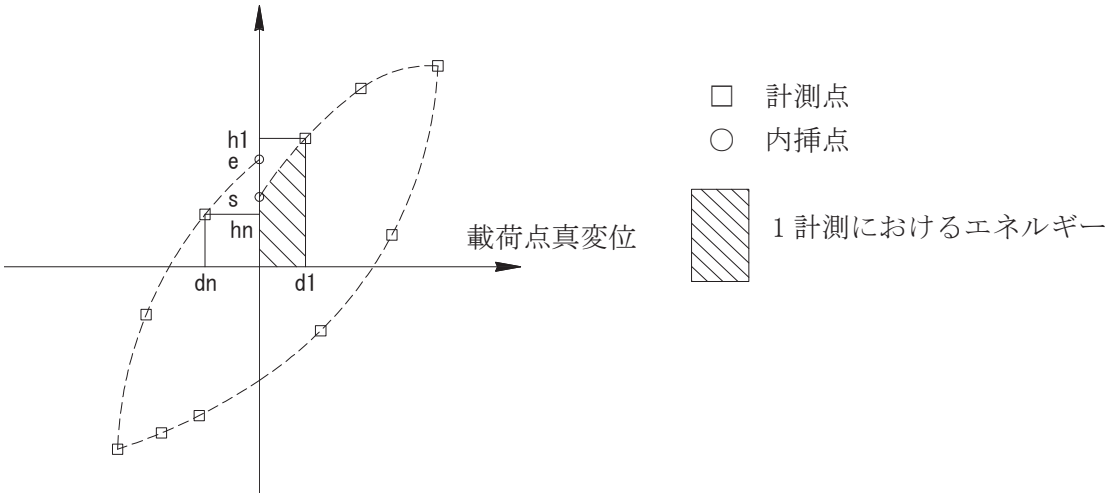
ここで、h_iおよびd_iはそれぞれ計測した水平荷重および載荷点真変位であり、nは 1 サイクル内に含まれる計測数（図 2.3.4(c)の四角形で表した点の数）、sが内挿により求めた 1 サイクルの始点（同図のs点）、eは同様に求めた 1 サイクルの終点（同図のe点）を表す。任意のサイクルのe点とその次のサイクルのs点は同一の点である。



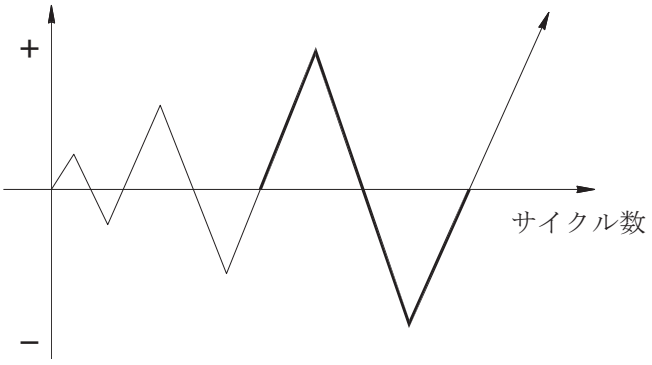
(a) 初期の場合の吸収エネルギーの定義



(b) 強度低下を起こした場合の
吸収エネルギーの定義

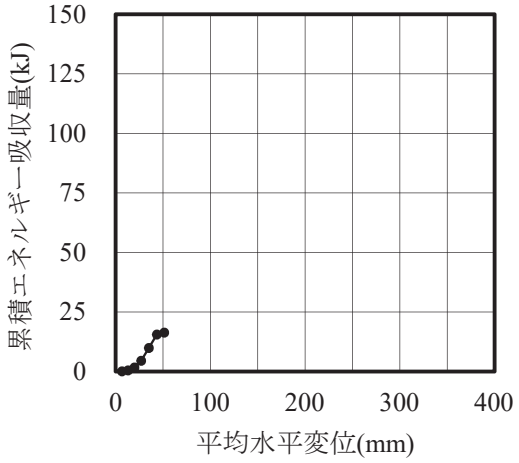


(c) 吸収エネルギーの計算方法

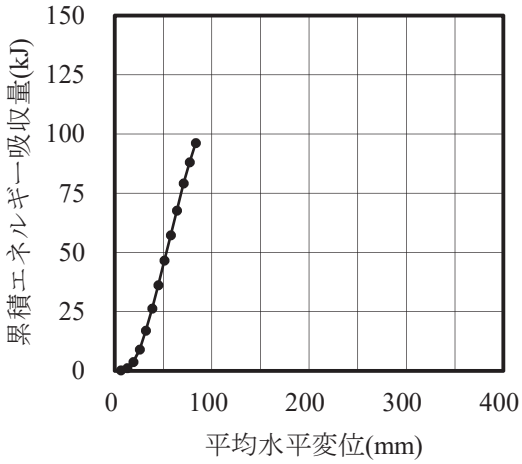


(d) 1 サイクルの定義

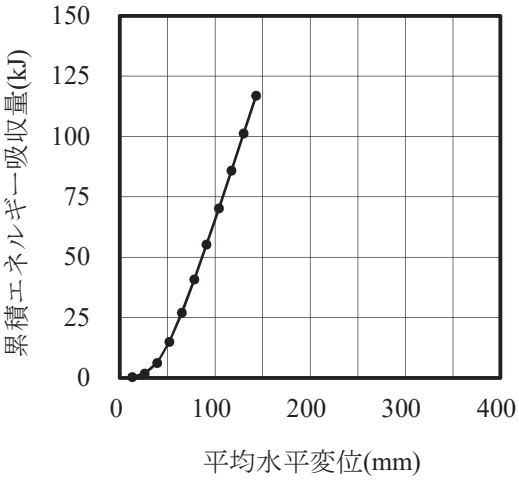
図 2.3.4　エネルギー吸収量の算出方法



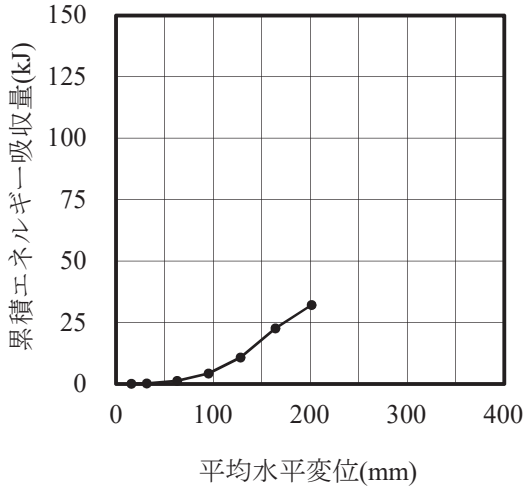
(a) 供試体 1-1（4-7-85）



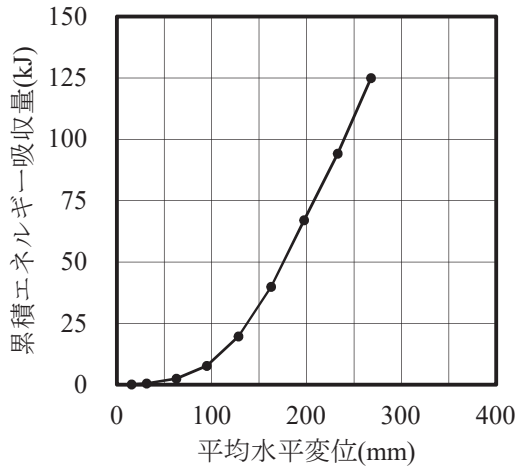
(b) 供試体 1-2（4-3-79）



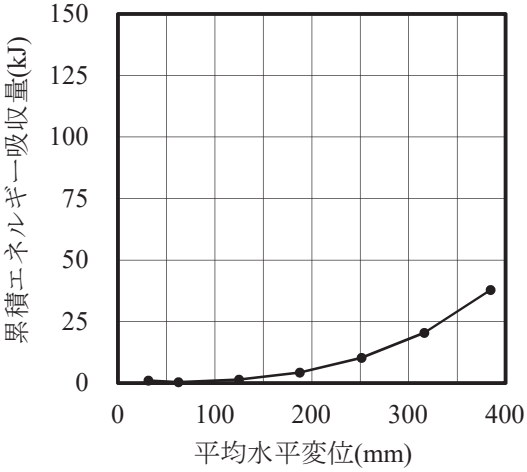
(c) 供試体 1.5-2（5-3-79）



(d) 供試体 2-1（8-7-85）



(e) 供試体 2-2（8-3-89）



(f) 供試体 3-1（12-7-85）

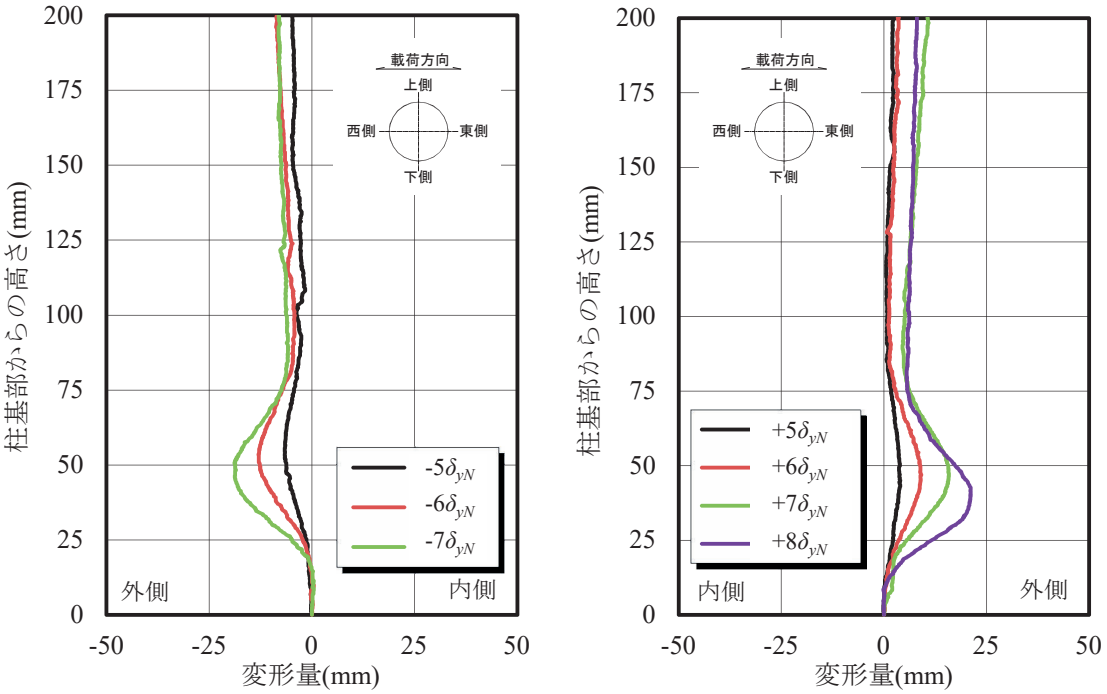
図 2.3.5　エネルギー吸収量

2.3.7　ひずみ分布

代表的な荷重ステップ（降伏時、最大荷重時）における供試体基部から管軸方向に鋼管径相当の 320mm の範囲におけるひずみ分布は、付図 7(1)～(6)に示す。降伏時におけるひずみは、水平荷重が P_{yM} に到達した時に計測したひずみの値であり、最大荷重時におけるひずみは、水平荷重が P_{max} に到達した時に計測したひずみの値である。

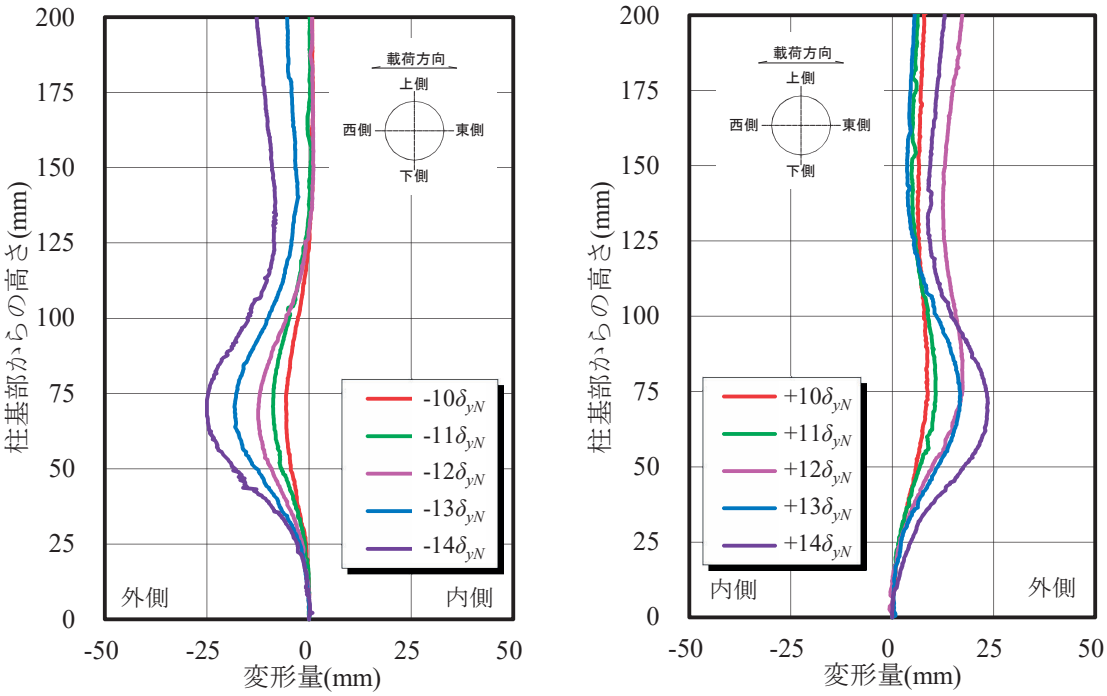
2.3.8　面外変位

最大水平荷重時以降の供試体の面外変位計測結果は、図 2.3.6(1)～(6)に示しており、全供試体に共通して、６者共同研究の製作管と同様に橋脚基部の局部座屈であることを確認した。



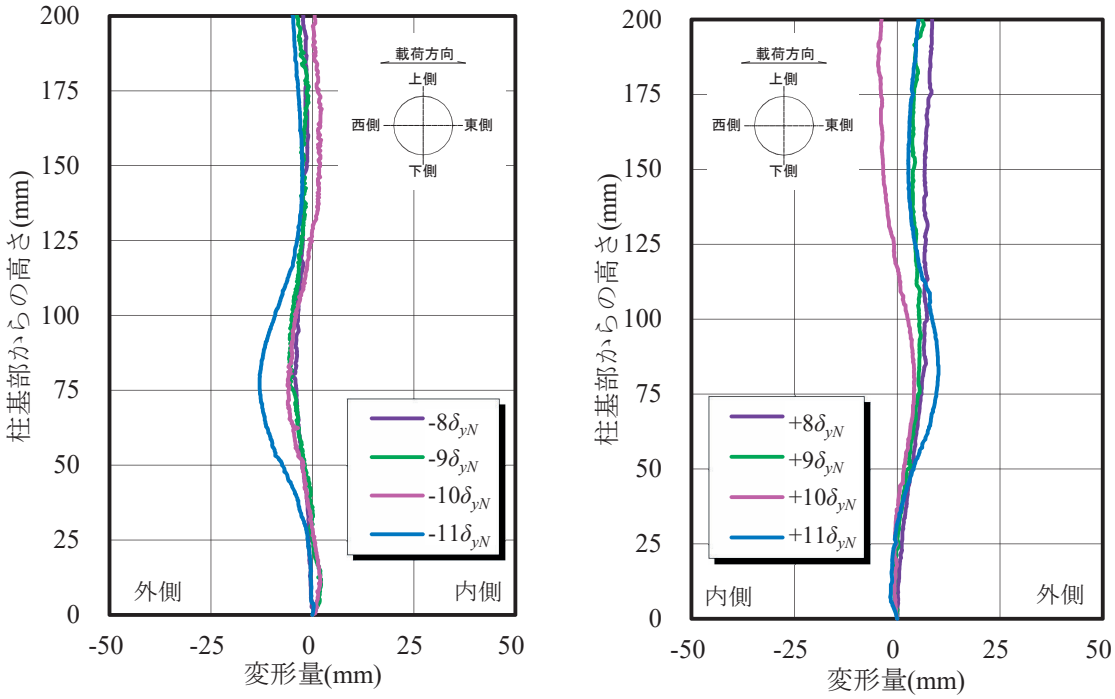
(a)西側（−載荷）　(b)東側（+載荷）

図 2.3.6(1)　P_{max} 以降の座屈による面外変位の推移（供試体 1-1（4-7-85））



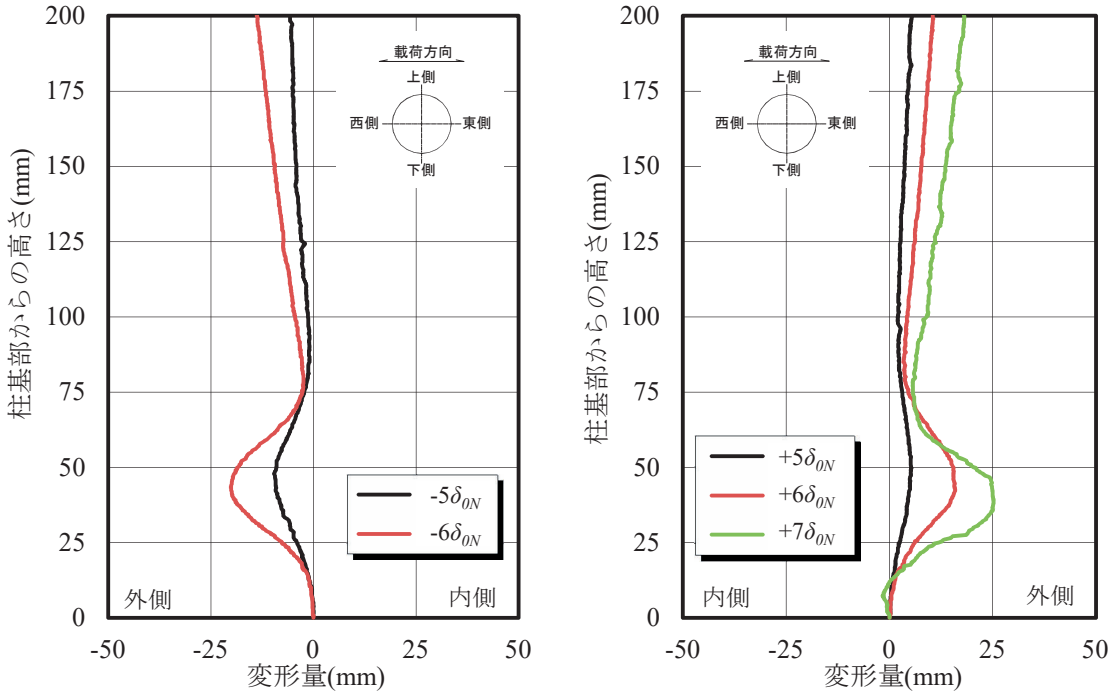
(a)西側（−載荷）　(b)東側（+載荷）

図 2.3.6(2)　P_{max} 以降の座屈による面外変位の推移（供試体 1-2（4-3-79））



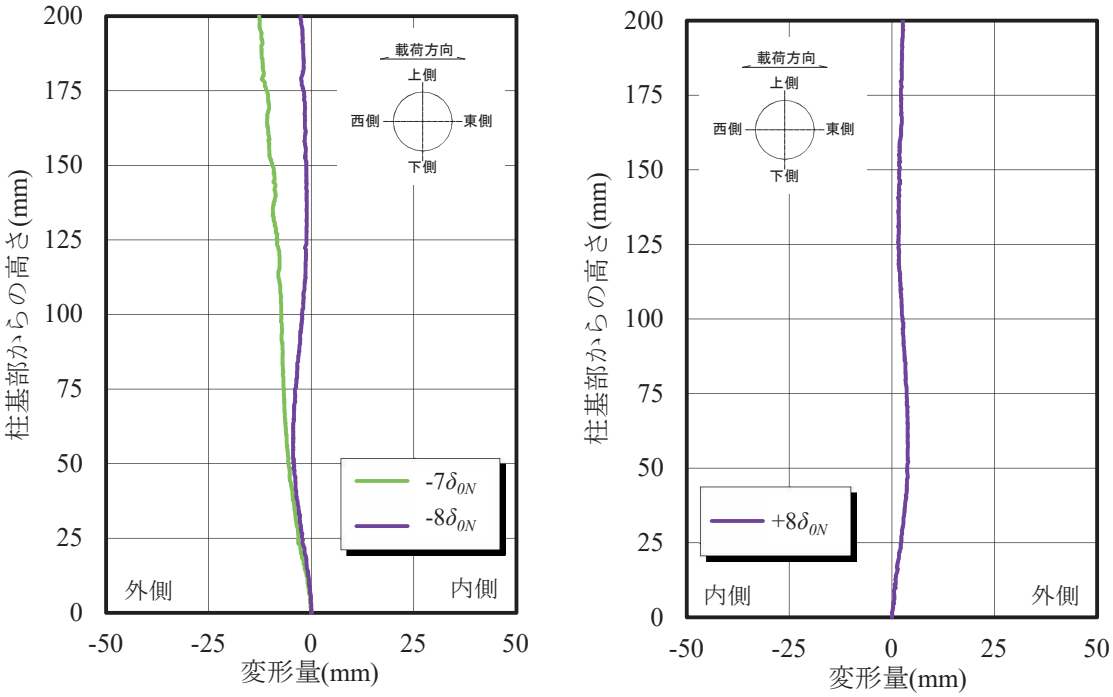
(a)西側（−載荷）　(b)東側（+載荷）

図 2.3.6(3)　P_{max} 以降の座屈による面外変位の推移（供試体 1.5-2（5-3-79））



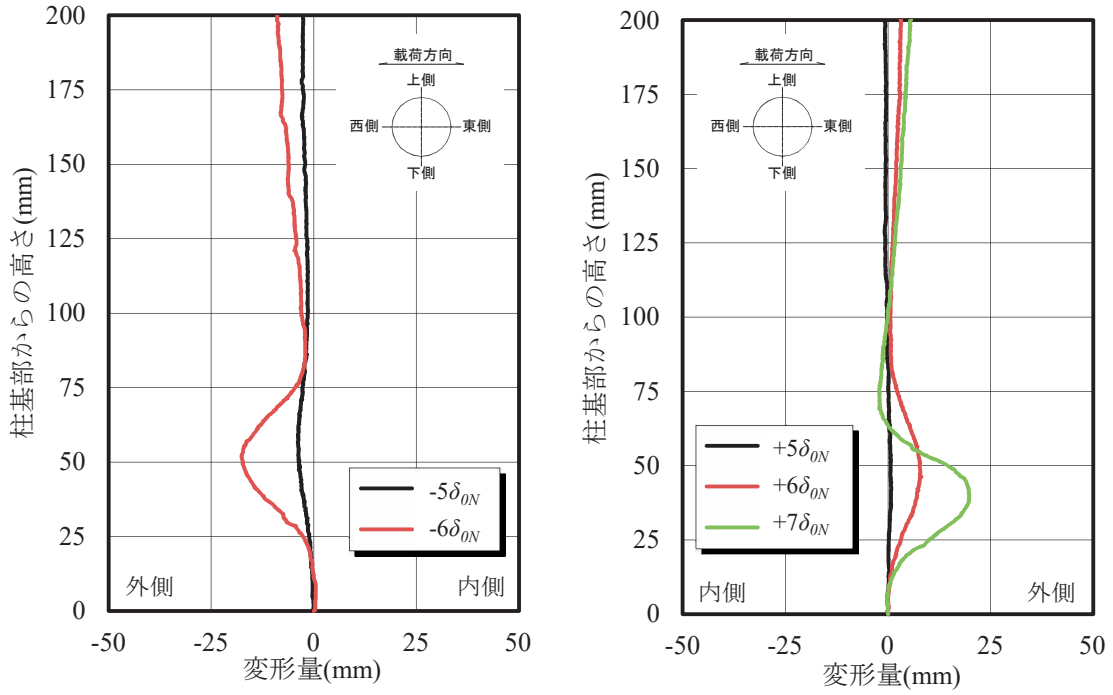
(a)西側（−載荷）　(b)東側（+載荷）

図 2.3.6(4)　P_{max} 以降の座屈による面外変位の推移（供試体 2-1（8-7-85））



(a)西側（−載荷）　(b)東側（+載荷）

図 2.3.6(5)　P_{max} 以降の座屈による面外変位の推移（供試体 2-2（8-3-89））

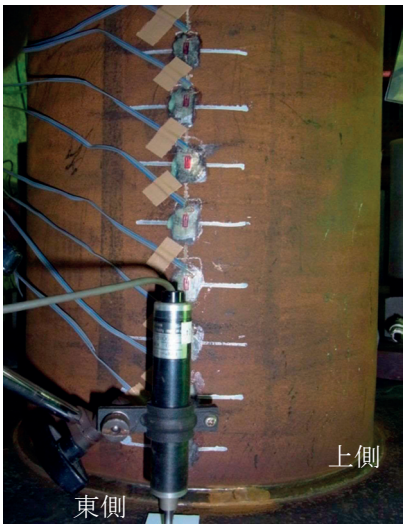


(a)西側（−載荷）　(b)東側（+載荷）

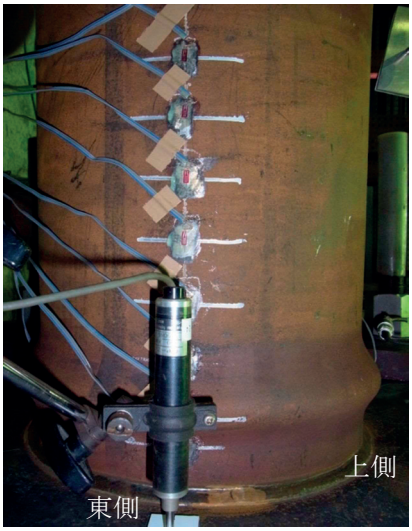
図 2.3.6(6)　P_{max} 以降の座屈による面外変位の推移（供試体 3-1（12-7-85））

2.3.9　変形状況写真

最大荷重を超えた時点および実験終了前後における供試体外面の変形状況は、写真 2.3.1(1)～(6)に示すとおりである。



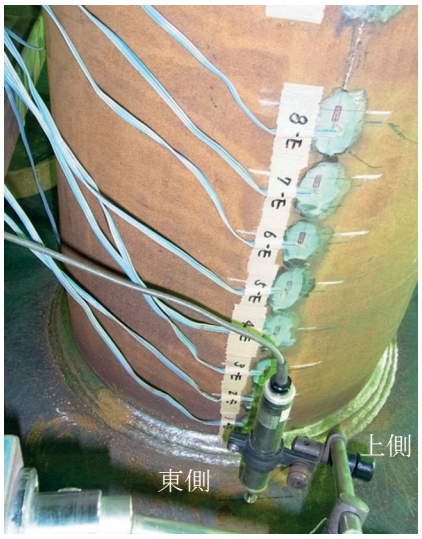
(a) 最大荷重を超えた点(＋5δ_{yN})



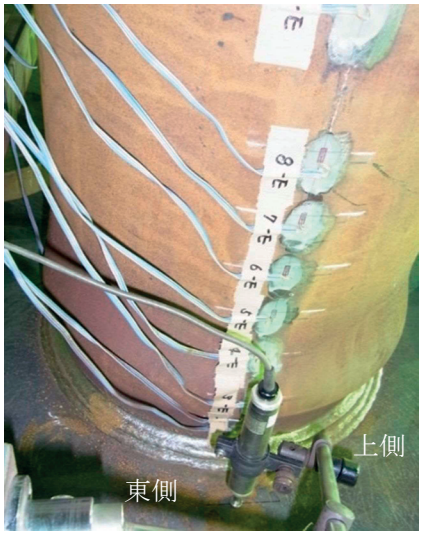
(b) 正側最終載荷時(＋8δ_{yN})

(c) 実験終了後

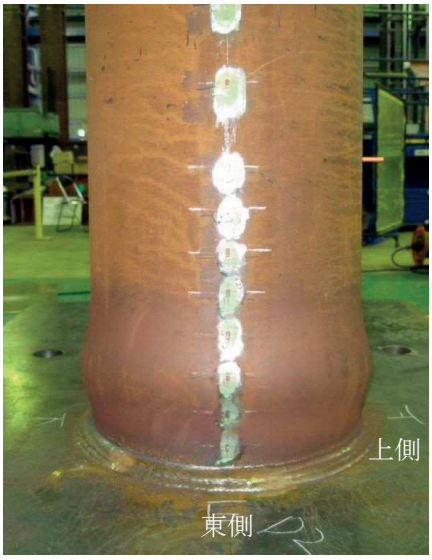
写真 2.3.1(1)　変形の状況（供試体 1-1（4-7-85））



(a) 最大荷重点(＋9δ_{yN})

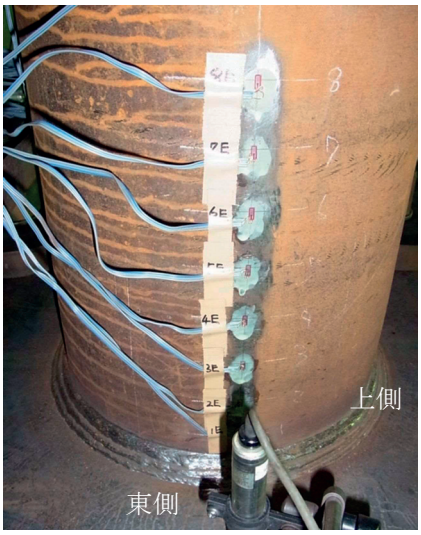


(b) 正側最終載荷時(＋14δ_{yN})

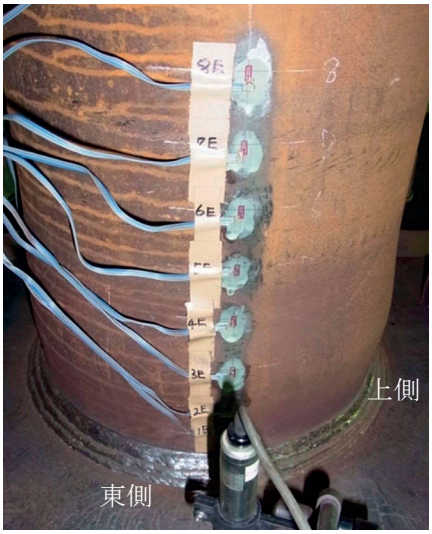


(c) 実験終了後

写真 2.3.1(2)　変形の状況（供試体 1-2（4-3-79））



(a) 最大荷重点(＋7δ_{yN})

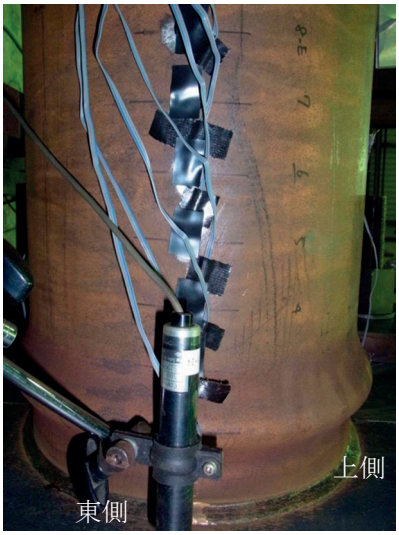


(b) 正側最終載荷時(＋11δ_{yN})

(c) 実験終了後

写真 2.3.1(3)　変形の状況（供試体 1.5-2（5-3-79））

(a) 最大荷重を超えた点(＋5δ_{0N})



(b) 正側最終載荷時(＋7δ_{0N})

(c) 実験終了後

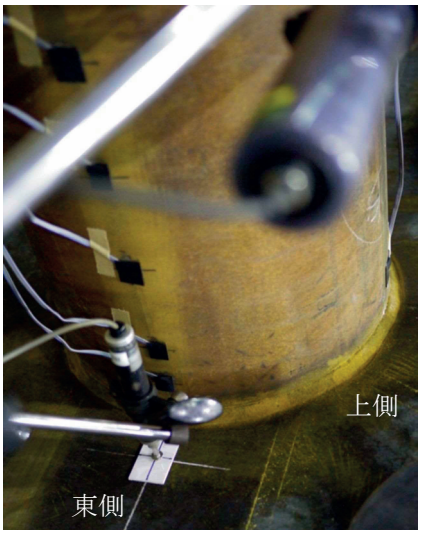
写真 2.3.1(4)　変形の状況（供試体 2-1（8-7-85））

(a) 最大荷重を超えた点(＋6δ_{0N})

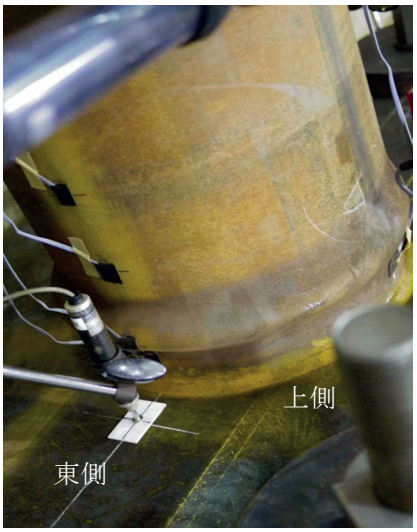
(b) 正側最終載荷時(＋8δ_{0N}) その１

(c) 正側最終載荷時(＋8δ_{0N}) その２

写真 2.3.1(5)　変形の状況（供試体 2-2（8-3-89））



(a) 最大荷重を超えた点(＋5δ_{0N})



(b) 正側最終載荷時(＋7δ_{0N})

(c) 実験終了後

写真 2.3.1(6)　変形の状況（供試体 3-1（12-7-85））

2.3.10　予測式との比較

最大水平荷重 P_{max} および最大水平荷重時変位 δ_m については、文献 4.4)において後藤らによって式(2.3.2)および式(2.3.3)の予測式が提案されている。これは、SM490 の円形断面鋼製橋脚を対象とした本実験手法と同様の 1 方向繰り返し載荷実験に基づいており、最大水平荷重 P_{max} と最大水平荷重時変位 δ_m を、それぞれ公称降伏水平荷重とそれに対応する降伏水平荷重時変位で除した特性値として示されている。予測式と実験結果を比較したものをそれぞれ図 2.3.7 および図 2.3.8 に示す。ここで、本実験で得られた P_{max} と δ_m に対しては、公称降伏水平荷重 P_{yN} とそれに対応する水平変位 δ_{yEN} に加えて，電縫鋼管の降伏応力度は、製造時の塑性加工の影響で公称降伏応力度より高いため、材料試験結果から算定した P_{yM} とこれに対応する δ_{yEM} により無次元化した。なお、供試体 2-1、2-2 および 3-1 の細長比パラメータは、予測式の適用範囲外である。

$$P_{max}/P_y = 0.07 \times \frac{1}{R_t^{3/4}\bar{\lambda}^{1/4}} + 1.00 \tag{2.3.2}$$

$$\delta_m/\delta_y = 0.53 \times \frac{1}{R_t^{3/4}\bar{\lambda}^{1/4}} - 0.55 \tag{2.3.3}$$

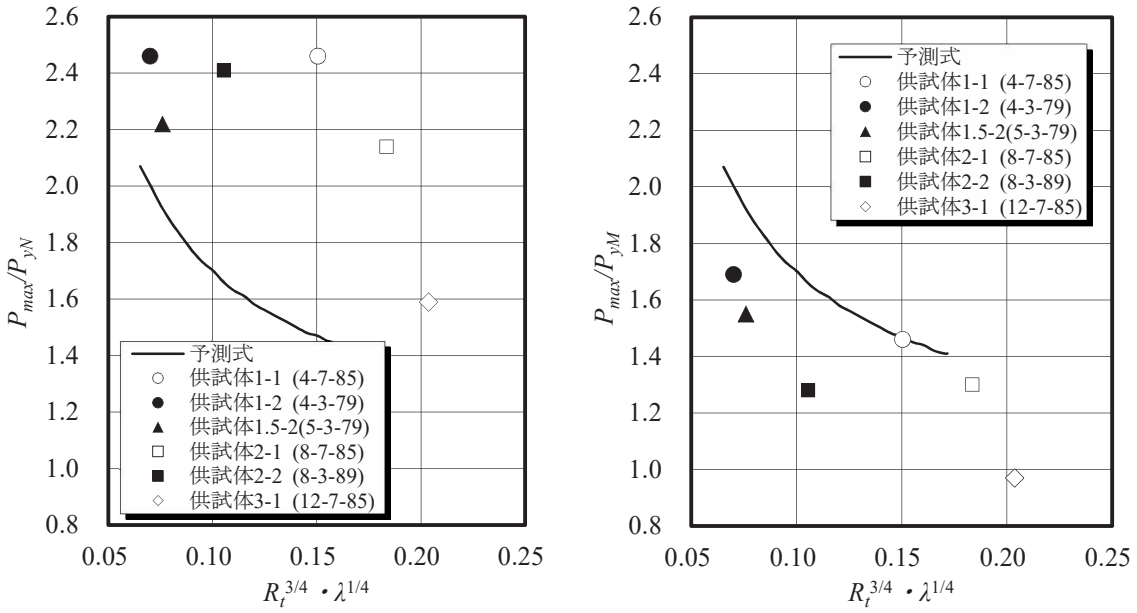
式(2.3.2)と式(2.3.3)の適用範囲は、以下のとおりである。

$0.04 \leqq R_t \leqq 0.12$、$0.285 \leqq \bar{\lambda} \leqq 0.503$、$0.10 \leqq N/N_y \leqq 0.30$ である。

ここに、

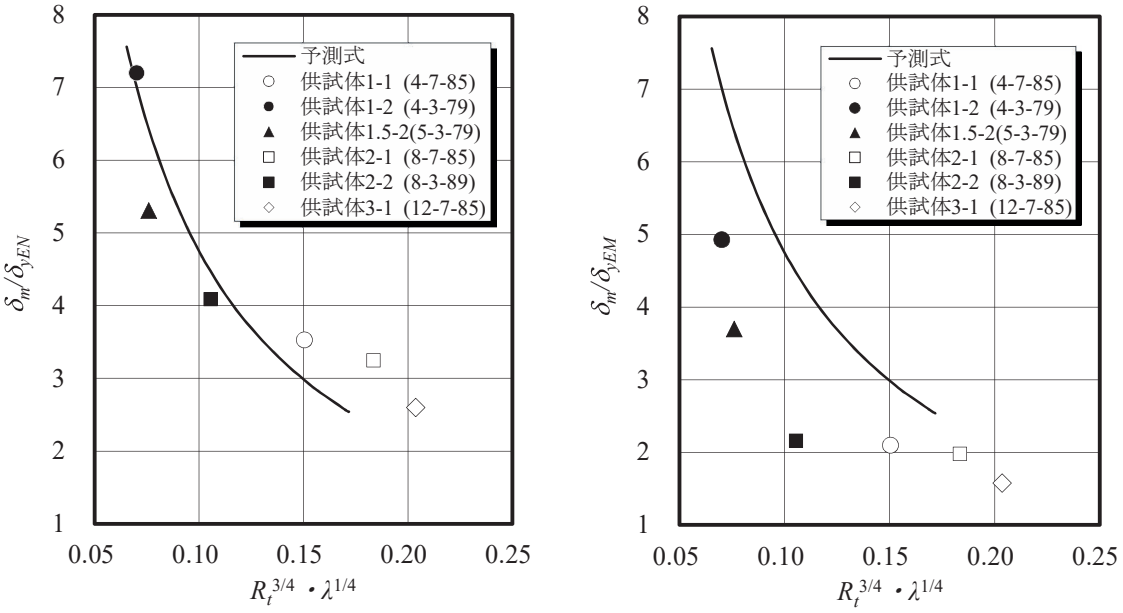
P_{max}　：最大水平荷重
P_y　：降伏水平荷重（P_{yN} および P_{yM}）
δ_m　：最大水平荷重時変位
δ_y　：降伏水平荷重時変位（δ_{yEN} および δ_{yEM}）
R_t　：径厚比パラメータ
$\bar{\lambda}$　：細長比パラメータ

全供試体に共通して一般の円形断面鋼製橋脚と比べて、降伏比が高い電縫鋼管のP_{max}/P_{yM}およびδ_m/δ_{yEM}は、全供試体に共通して予測値より小さい値となる。供試体 1-2 の P_{max}/P_{yM} およびδ_m/δ_{yEM} は、細長比パラメータ$\bar{\lambda}$が同等である供試体 1-1 と比べてδ_m/δ_{yEM} は大きく向上した。また、供試体 1.5-2 の P_{max}/P_{yM} およびδ_m/δ_{yEM} は、供試体 2-2 と比べて向上している。これは、細長比パラメータ$\bar{\lambda}$が小さいことおよび変形能を向上させるために降伏比を制限した低降伏比電縫管であることによる効果と考えられる。一方、細長比パラメータが 0.8 と予測式の適用範囲外となる供試体 2-1 と 2-2 では、P_{max}/P_{yM}およびδ_m/δ_{yEM} ともに径厚比パラメータを小さくすることによる有意な向上は確認できなかった。これらより、電縫鋼管橋脚の耐力および変形能は、一般の円形断面鋼製橋脚と比べて低下するものの、細長比パラメータによる影響が小さい範囲であれば径厚比パラメータを小さくすることによる効果を見込むことができる可能性があることが分かった。



(a) P_{max}/P_{yN}　　(b) P_{max}/P_{yM}

図 2.3.7　P_{max}/P_y の比較



(a) δ_m/δ_{yEN}　　(b) δ_m/δ_{yEM}

図 2.3.8　δ_m/δ_y の比較

2.4 まとめ

本章では、電縫鋼管の正負交番載荷実験を行い、電縫鋼管橋脚の弾塑性挙動を確認した。実験結果と既往の製作管を比較して得られた知見は以下のとおりである。

- 座屈変形、エネルギー吸収能は、全供試体に共通して、既往の製作管の実験結果の傾向と一致した。既往の製作管の実験結果に基づいて規定されている H24 道示 V の M-ϕモデルによる耐震性能評価は、電縫鋼管橋脚に対する許容値を設定することで適用可能であると考えられる。

- 細長比パラメータが 1.2 の実験結果では、最大水平荷重 P_{max} が降伏水平荷重 P_{yM} を僅かに下回っており、この要因としては、細長比パラメータが大きいことによって、剛性が小さいことが影響している可能性がある。今回の実験結果では、細長比パラメータが 1.2 を超えると M-ϕモデルによる塑性化を考慮した設計は困難である。

- 既往の予測値との比較により、電縫鋼管橋脚の耐力および変形能は、製作管と比べて低下するが、これは降伏比が高いことが影響している。

- 細長比パラメータが小さい範囲であれば、製作管と同様に径厚比パラメータを小さくするほど耐力および変形能は向上する。一方、細長比パラメータが 0.8 の実験結果では、径厚比パラメータを小さくすることによる耐力および変形能は大きく向上しない。

3. 電縫鋼管橋脚の耐震性能評価

3.1 概要

２章で示した実験結果の補間は解析によって行う。その解析方法とモデルは、電縫鋼管橋脚の弾塑性挙動を適切に表現できるよう、実験結果に基づいて設定する。また、実務設計において電縫鋼管橋脚の耐震性能照査に用いる非線形履歴モデルは M-ϕモデルとする。その許容値は、H24 道示Ⅴに従い実験および補間解析で求めた水平力－水平変位関係において水平力が最大となるときの水平変位を目安として適切に設定する。

3.2　解析手法

3.2.1　解析プログラム

解析プログラムは、弾塑性有限変位解析プログラム SEAN/FEM[4.6)]とする。SEAN/FEM は、Updated Lagrange 法に基づいて定式化された 8 節点アイソパラメトリックシェル要素を用いている。非線形計算方法は、Newton-Raphson 法を使用している。

3.2.2　解析モデルと荷重条件

解析対象は、２章で示した供試体とする。なお、最も細長比パラメータが大きい供試体 3-1 は、実験結果より最大水平荷重が降伏水平荷重以下であり、塑性設計を考慮できないため対象としない。解析モデル図の一例は、図 3.2.1 に示すとおりである。解析モデルの要素分割は、変形の大きい橋脚基部付近において細かくし、それより上方の要素は解析結果に影響しない程度に粗くした。拘束条件は、実験と同等となるよう、水平力を載荷した最上端の節点は水平荷重載荷直角方向の変位を固定し、橋脚基部側の最下端の節点は全方向に固定した。柱断面には平均して荷重が作用するように柱上部には剛性の大きい要素を配置し、実験での載荷点高さと合せた柱頂部の断面中心位置にある節点に軸力と水平方向強制変位を与えた。

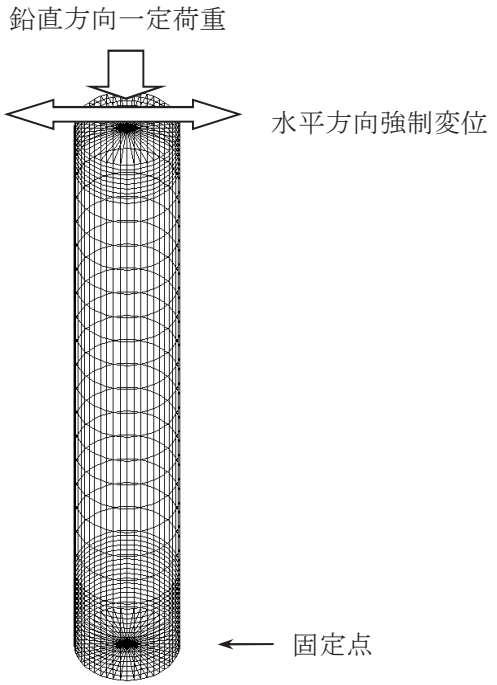
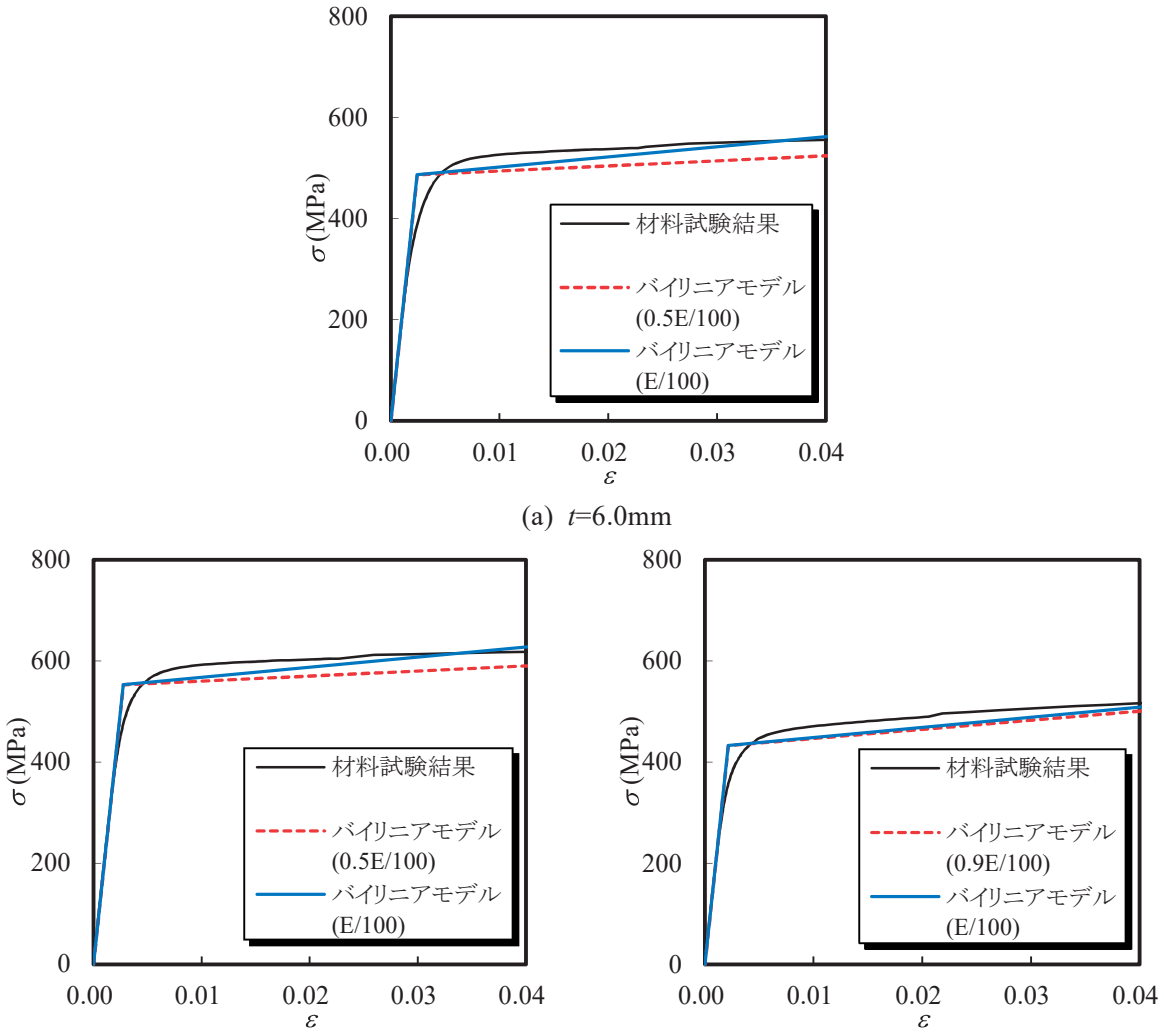


図 3.2.1　再現解析モデル図

3.2.3　材料構成則

材料構成則は、H24 道示 V に基づいてバイリニアモデルとした。降伏点は 2.2 節で示した引張試験結果を用い、2 次勾配は図 3.2.2 に示す引張試験結果の 1～3%ひずみ範囲で最小二乗法により求めた勾配と H24 道示 V に示される *E*/100 の 2 通りとした。1～3%ひずみ範囲としたのは、正負交番載荷実験の最大水平荷重到達時の鋼管基部におけるひずみデータに合わせたことによる。これにより、解析に用いる材料構成則は、表 3.2.1 に示す 6 ケースとなる。なお、図 3.2.2(c)に示す低降伏比電縫管の 2 次勾配は、図-3.2.2(a)および(b)に示す一般的な電縫鋼管と比べて降伏点が低く抑えられていることから、H24 道示 V に示される *E*/100 と同程度の勾配であった。



(a) *t*=6.0mm

(b) *t*=14.3mm

(c) *t*=14.3mm（低降伏比電縫鋼管）

図 3.2.2　引張試験結果と材料構成則（バイリニアモデル）の比較

表 3.2.1　バイリニアモデルの降伏点および 2 次勾配

Case	σ_y (MPa)	2次勾配	備　考
A1	433	0.009 E	供試体1-2,1.5-2での実験使用鋼管　(YR=0.79)
A2		0.010 E	
B1	487	0.005 E	供試体1-1,2-1での実験使用鋼管　(YR=0.85)
B2		0.010 E	
C1	553	0.005 E	供試体2-2での実験使用鋼管　(YR=0.89)
C2		0.010 E	

3.3　正負交番載荷実験の再現解析

3.3.1　水平荷重－水平変位関係

各供試体の最大水平荷重 P_{max} と最大水平荷重時変位δ_m について、6 ケースの材料構成則に対する解析と実験の結果を比較したものは表 3.3.1 に示す。供試体に使用した鋼管の降伏比が 85%以下の供試体 1-1、1-2、1.5-2 および 2-1 の 4 体は、2 次勾配を E/100 としたケース（表 3.3.1 の赤囲い）において再現精度が最も良く、供試体 1-1、1-2 および 1.5-2 の 3 体の誤差範囲は、P_{max} が 5%以下、δ_m が 15%以下であった。また、4 体のうち最も細長比パラメータが大きい供試体 2-1 では、他の 3 体と比べて僅かに P_{max} の精度が劣るものの 10%以下、δ_m が 5%であり、大きな差異は生じなかった。水平荷重―水平変位関係は、図 3.3.2(a)～(d)に示す。一方、鋼管の降伏比が 89%と高かった供試体 2-2 は、C2 ケースにおいて P_{max} の解析誤差が 15%であり、降伏比が 85%以下の 4 体と比べると大きい。これは、供試体 2-2 の高さは、供試体 2-1 と同じであることから、降伏比が高いことによる可能性が考えられる。

実用に供する鋼管の降伏比は、85%以下のものを適用するため、降伏比が 85%の降伏点を用いて 2 次勾配を E/100 とした B2 ケースについて解析結果と実験結果を比較した。P_{max} とδ_m は図 3.3.1 に、水平荷重―水平変位関係は図 3.3.2(e)にそれぞれ示す。これより、細長比パラメータが大きい領域を含めて、最大荷重は 10%程度、最大荷重時変位は 15%程度の誤差で実挙動を再現することが可能である。

表 3.3.1　実験結果と解析結果の P_{max} およびδ_m の比較

(a)　降伏比 79%

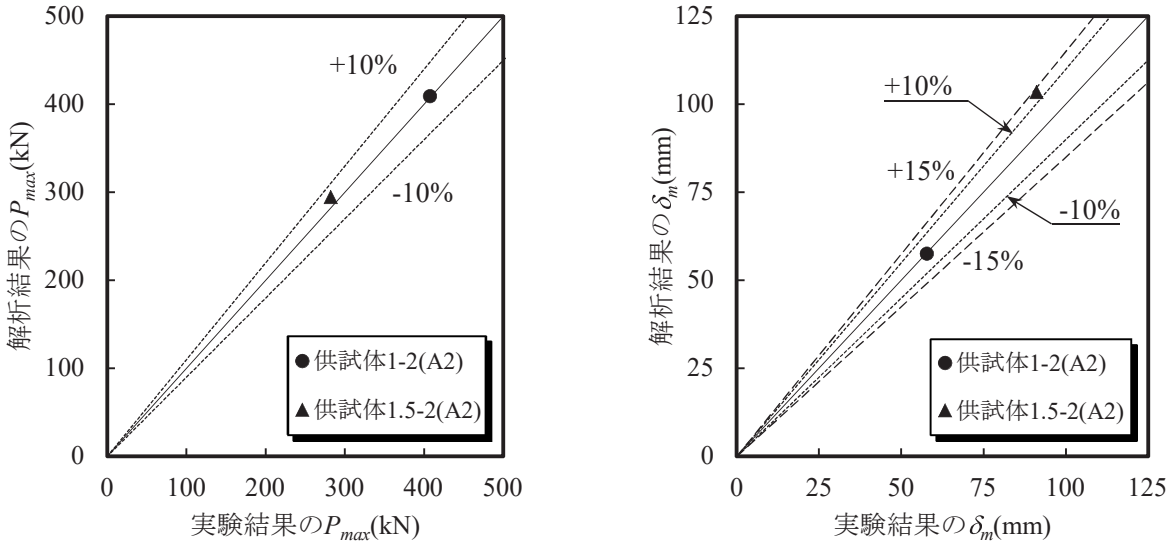
		実験結果		解析結果		解析/実験	
		P_{max} (kN)	δ_m (mm)	P_{max} (kN)	δ_m (mm)	P_{max}	δ_m
1-2	A1	407.2	57.7	404.6	51.3	0.99	0.89
	A2			409.4	57.6	1.01	1.00
	B1			438.6	38.3	1.08	0.66
	B2			457.4	57.6	1.12	1.00
	C1			499.0	38.4	1.23	0.67
	C2			516.4	57.6	1.27	1.00
1.5-2	A1	282.2	91.1	291.5	103.8	1.03	1.14
	A2			294.8	103.5	1.04	1.14
	B1			316.3	75.7	1.12	0.83
	B2			329.6	103.8	1.17	1.14
	C1			359.6	77.9	1.27	0.86
	C2			372.2	103.8	1.32	1.14

(b)　降伏比 85%

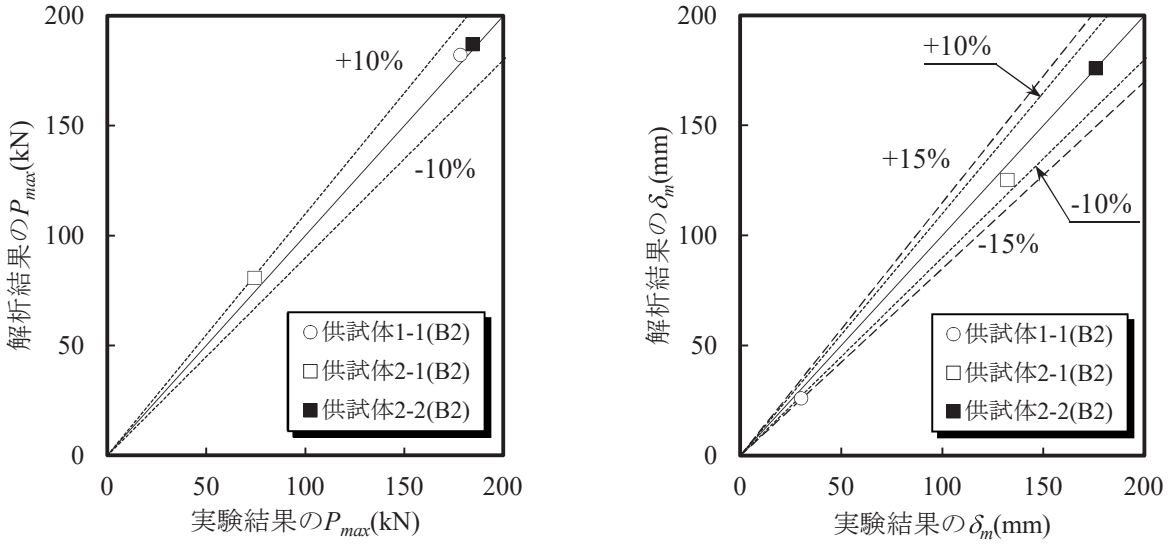
		実験結果		解析結果		解析/実験	
		P_{max} (kN)	δ_m (mm)	P_{max} (kN)	δ_m (mm)	P_{max}	δ_m
1-1	A1	178.3	30.0	162.2	25.2	0.91	0.84
	A2			163.1	26.0	0.91	0.87
	B1			178.6	25.0	1.00	0.83
	B2			182.2	26.0	1.02	0.87
	C1			202.6	24.9	1.14	0.83
	C2			206.2	28.2	1.16	0.94
2-1	A1	74.3	132.0	71.8	112.7	0.97	0.85
	A2			72.1	117.9	0.97	0.89
	B1			79.3	109.1	1.07	0.83
	B2			80.8	125.2	1.09	0.95
	C1			89.9	122.9	1.21	0.93
	C2			91.4	123.4	1.23	0.93

(c)　降伏比 89%

		実験結果		解析結果		解析/実験	
		P_{max} (kN)	δ_m (mm)	P_{max} (kN)	δ_m (mm)	P_{max}	δ_m
2-2	A1	184.4	175.8	165.9	134.2	0.90	0.76
	A2			166.6	147.4	0.90	0.84
	B1			183.5	107.5	1.00	0.61
	B2			187.1	176.0	1.01	1.00
	C1			208.5	121.1	1.13	0.69
	C2			212.1	188.8	1.15	1.07

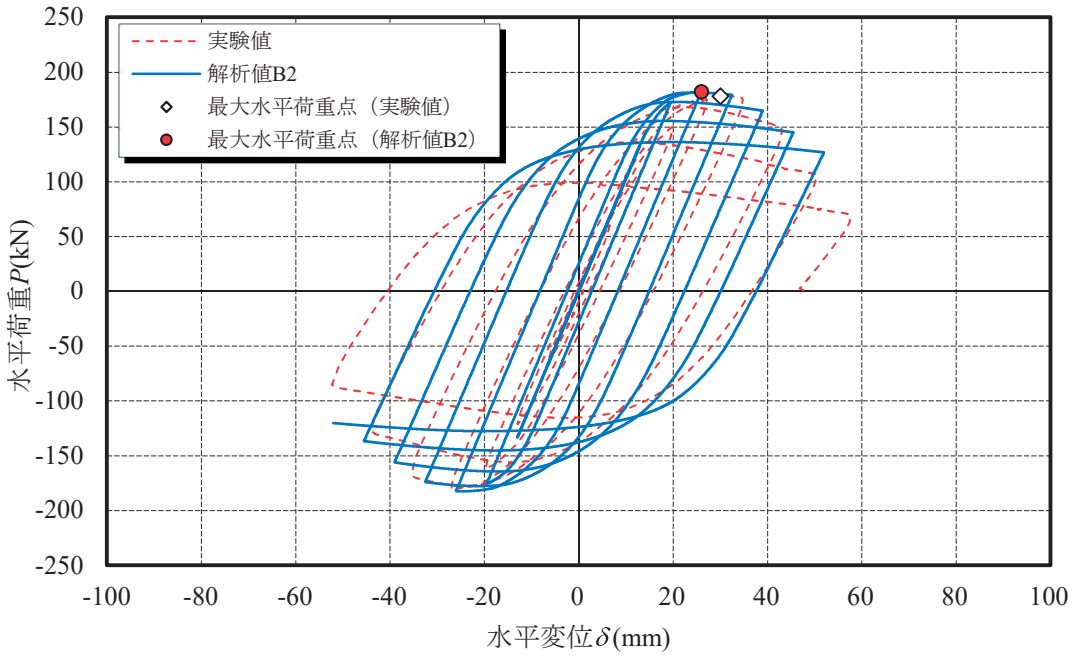


(a)供試体 1-2（4-3-79）および 1.5-2（5-3-79）



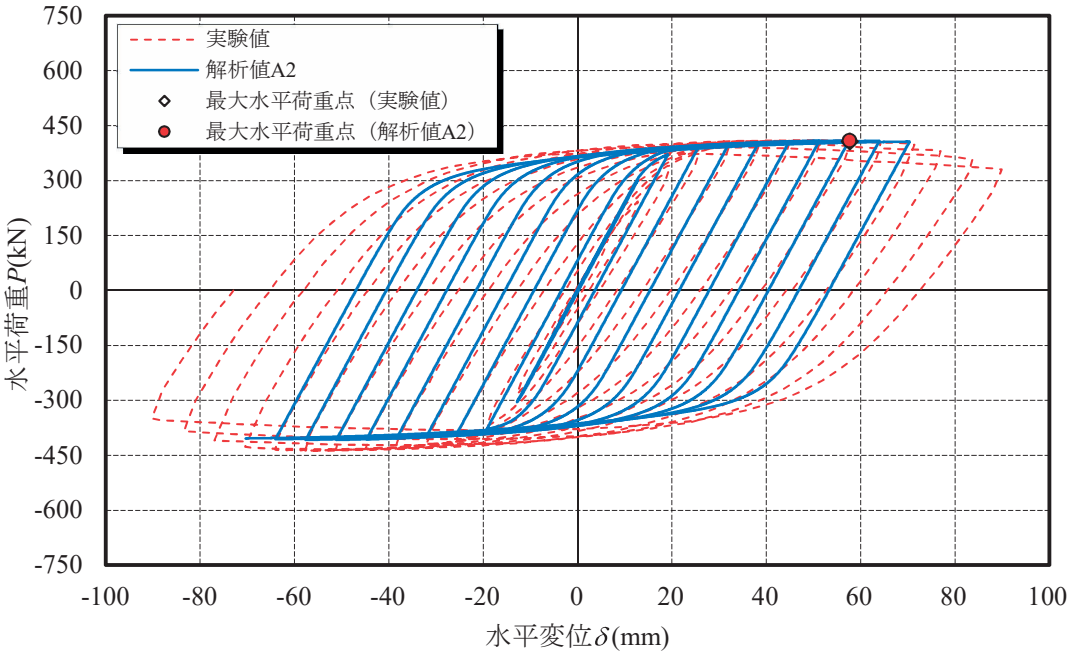
(b)供試体 1-1（4-7-85），2-1（8-7-85）および 2-2（8-3-89）

図 3.3.1　実験結果と解析結果の P_{max} および δ_m の比較

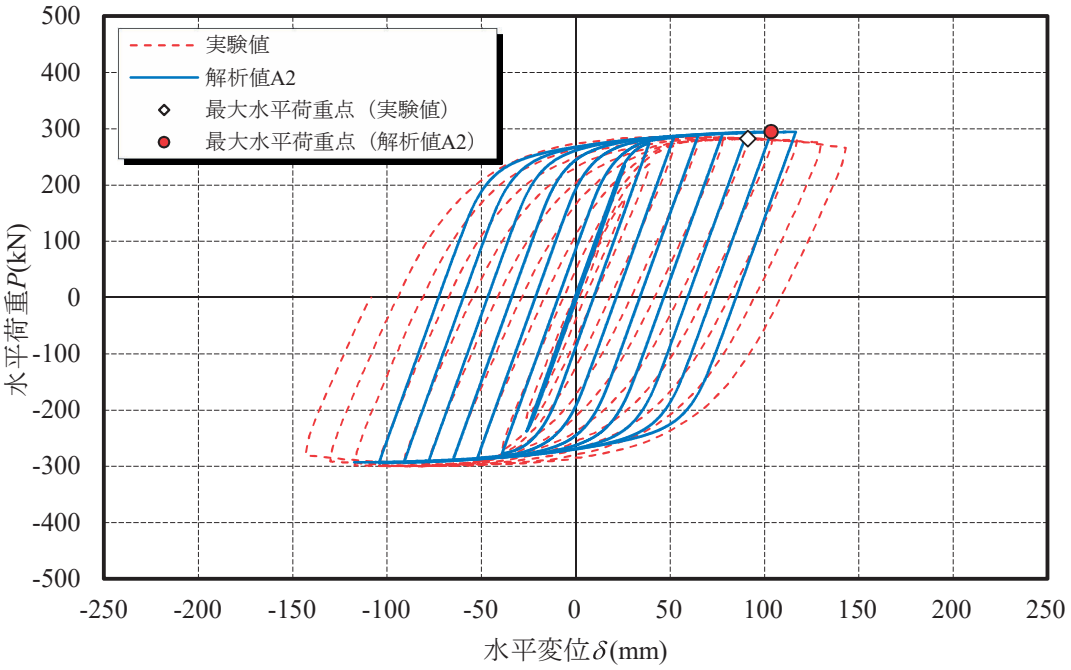


(a) 供試体 1-1（4-7-85）

図 3.3.2　実験結果と解析結果の水平荷重－水平変位関係の比較

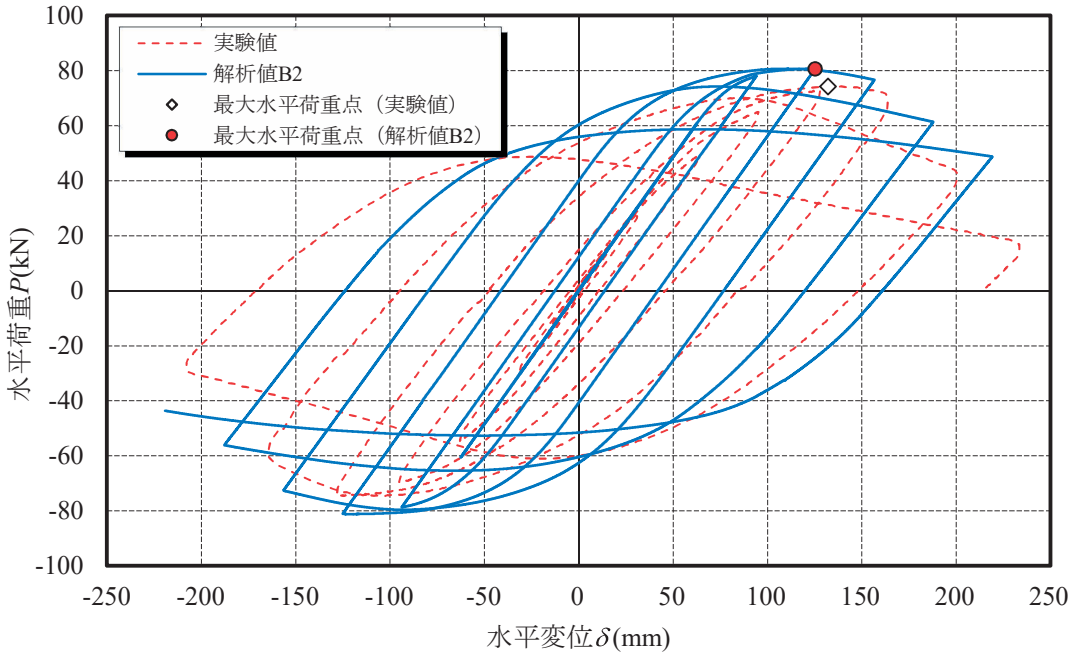


(b) 供試体 1-2（4-3-79）

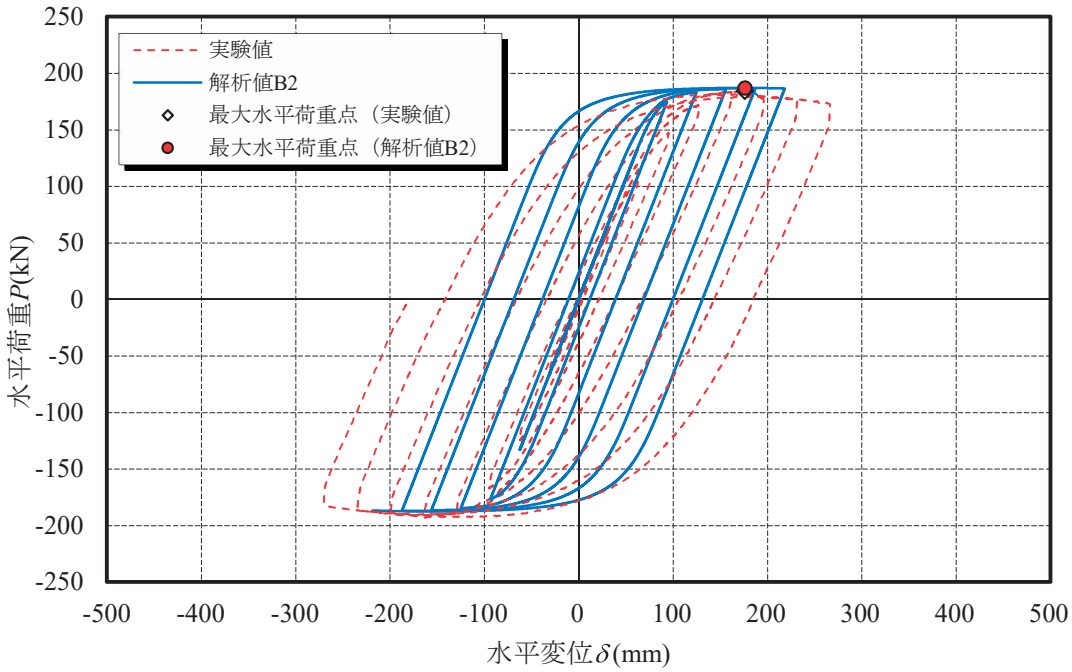


(c) 供試体 1.5-2（5-3-79）

図 3.3.2　実験結果と解析結果の水平荷重－水平変位関係の比較（つづき）



(d) 供試体 2-1（8-7-85）

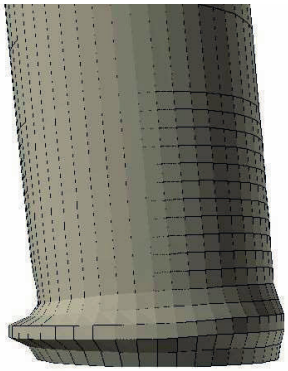


(e) 供試体 2-2（8-3-89）

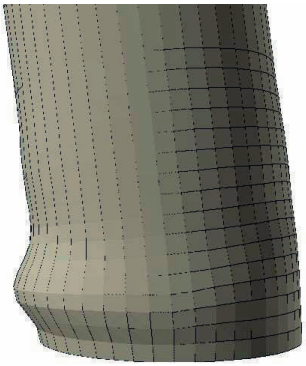
図 3.3.2　実験結果と解析結果の水平荷重－水平変位関係の比較（つづき）

3.3.2　座屈形状

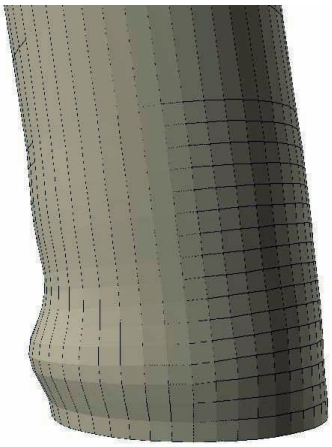
解析で得られた橋脚基部の座屈変形図は図 3.3.3(a)～(e)に示す。２章で示した実験での座屈形状と同様に、鋼管基部の面外方向にはらみ出す提灯座屈変形であった。



(a) 供試体 1-1（4-7-85）

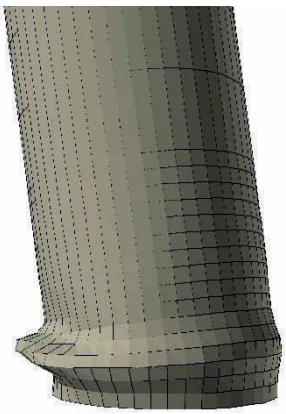


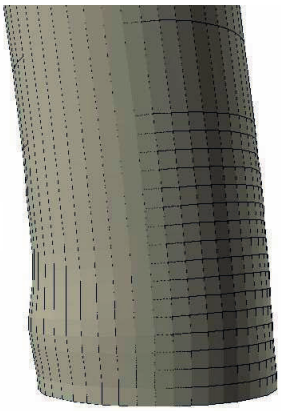
(b) 供試体 1-2（4-3-79）



(c) 供試体 1.5-2（5-3-79）

図 3.3.3　基部の座屈形状





(d)　供試体 2-1（8-7-85）　　(e) 供試体 2-2（8-3-89）

図 3.3.3　基部の座屈形状（つづき）

3.4　補間解析

3.4.1　解析モデルの諸元

補間解析モデルの構造諸元は表 3.4.1 に示す。材料構成則は、実用に供する鋼管の最大降伏比 85%に合わせて表 3.2.1 における B2 ケースとした。細長比パラメータが小さい範囲では、変形能に与える径厚比パラメータの影響が大きいと考えられるため、モデル数を多く設定している。また、降伏比が 80%以下の低降伏比電縫鋼管を使用した供試体 1-2 および 1.5-2 は、降伏比が 85%の場合に変形能が低下することが考えられるため、EW-3-3 および EW5-3 として設定している。

表 3.4.1　補間解析モデル諸元

供試体名	EW-3-3	EW-3-4	EW-3-5	EW-3-6	EW-4-5	EW-5-3	EW-5-4	EW-5-5
鋼　種	SKK490							
t (mm)	14.3	10.0	8.0	7.0	8.0	14.3	10.0	8.0
D (mm)	323.9							
A (cm^2)	139.1	98.6	79.4	69.7	79.4	139.1	98.6	79.4
I (cm^4)	16,700	12,158	9,910	8,753	9,910	16,700	12,158	9,910
h (cm)	157				187	217	207	
P_{yN} (kN)	165.5	120.5	98.2	86.8	87.6	127.2	97.1	79.1
δ_{yN} (mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	9.6	13.0	11.8	11.8
N (kN)	876.3	621.2	500.2	439.1	375.2	657.2	465.9	375.2
N/N_y	0.20				0.15			
$\bar{\lambda}$	0.361	0.357	0.354	0.354	0.422	0.498	0.471	0.467
R_t	0.028	0.041	0.051	0.059	0.051	0.028	0.041	0.051
$R_t\bar{\lambda}$	0.010	0.015	0.018	0.021	0.022	0.014	0.019	0.024

供試体名	EW-6-3	EW-6-4	EW-6-7	EW-8-3	EW-8-7	EW-10-3	EW-10-7
鋼　種	SKK490						
t (mm)	14.3	10.0	6.0	14.3	6.0	14.3	6.0
D (mm)	323.9						
A (cm^2)	139.1	98.6	59.9	139.1	59.9	139.1	59.9
I (cm^4)	16,700	12,158	7,572	16,700	7,572	16,700	7,572
h (cm)	267			348		448	
P_{yN} (kN)	103.4	75.3	46.9	79.3	36.0	61.6	27.9
δ_{yN} (mm)	19.6	19.6	19.6	33.4	33.4	55.3	55.2
N (kN)	657.2	465.9	283.0	657.2	283.0	657.2	283.0
N/N_y	0.15						
$\bar{\lambda}$	0.613	0.608	0.602	0.799	0.785	1.029	1.011
R_t	0.028	0.041	0.069	0.028	0.069	0.028	0.069
$R_t\bar{\lambda}$	0.017	0.025	0.041	0.023	0.054	0.029	0.070

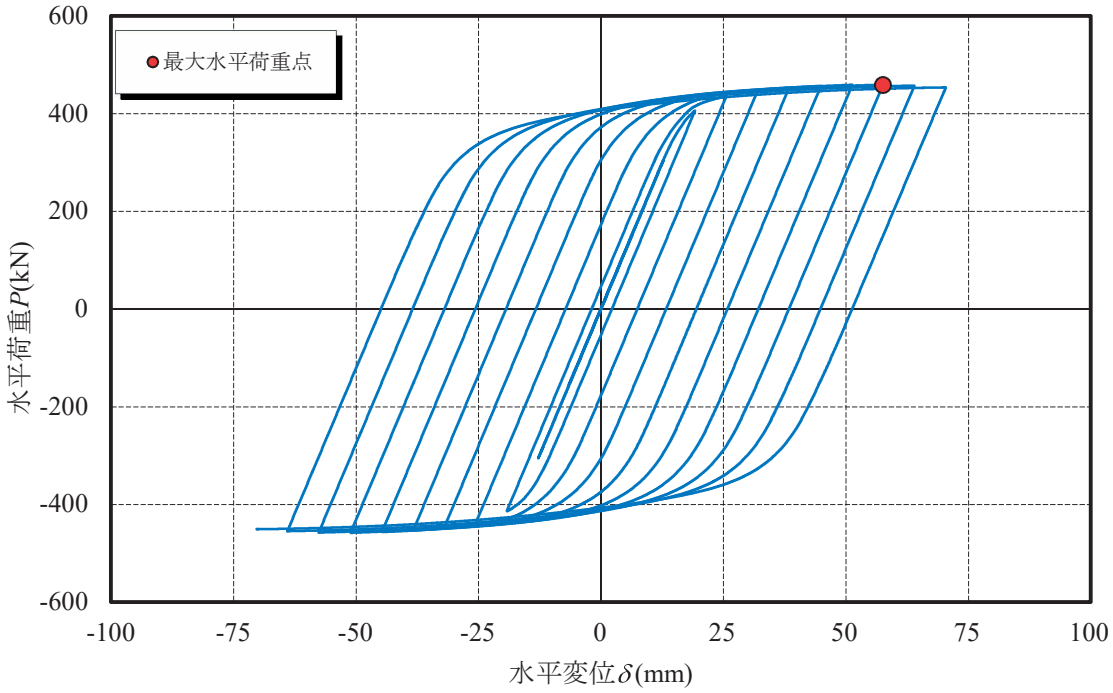
3.4.2　解析結果

補間解析結果の最大水平荷重 P_{max} および最大水平荷重時変位 δ_m は表 3.4.2 に示す。また水平荷重―水平変位関係は図 3.4.1(a)～(o)に示し、その水平荷重と水平変位をそれぞれの降伏水平荷重 P_{yN} と降伏水平変位 δ_{yN} で無次元化した包絡線は図 3.4.2(a)～(f)に示す。図 3.4.2(a)～(e)では、細長比パラメータが同等で径厚比パラメータが異なる包絡線をそれぞれ比較している。全グラフに共通して径厚比パラメータが小さいほど最大水平荷重および最大水平荷重時変位は大きい。また、細長比パラメータが大きいほど径厚比パラメータが小さいことの効果は小さい。図 3.4.2(f)では、径厚比パラメータが同等で細長比パラメータが異なる包絡線を比較しており、細長比パラメータが大きいほど耐力および変形能は小さいことが示されている。

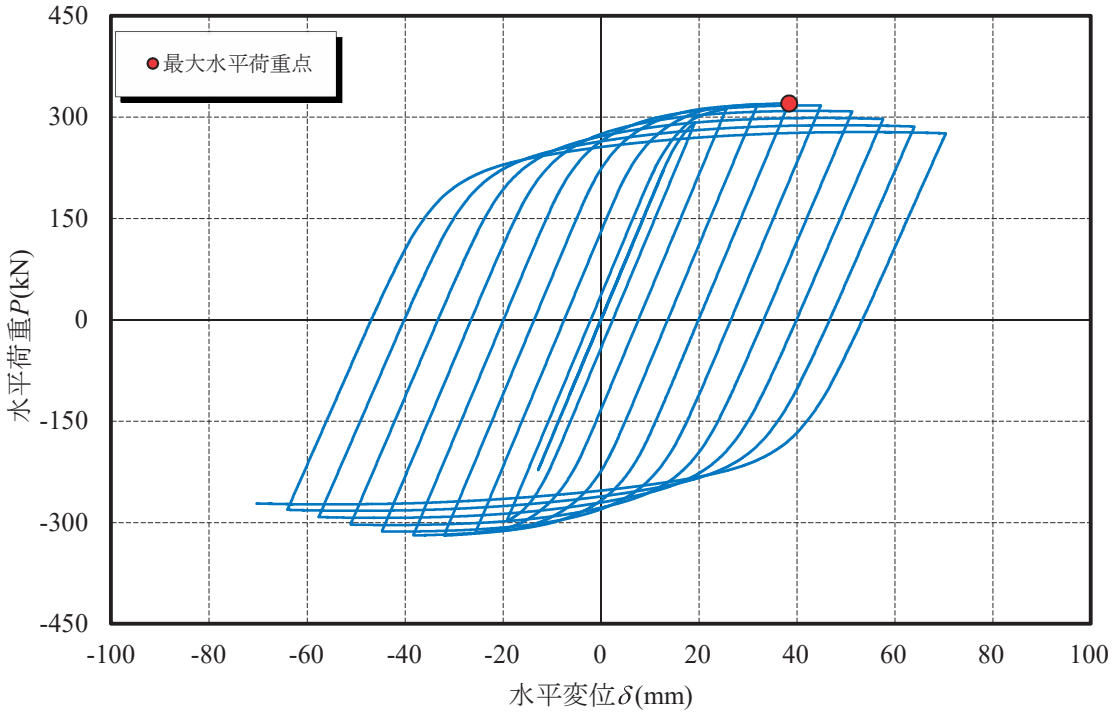
表 3.4.2　補間解析結果

供試体名	EW-3-3	EW-3-4	EW-3-5	EW-3-6	EW-4-5	EW-5-3	EW-5-4	EW-5-5
鋼　種	SKK490							
t (mm)	14.3	10.0	8.0	7.0	8.0	14.3	10.0	8.0
D (mm)	323.9							
h (cm)	157				187	217	207	
N/N_y	0.20				0.15			
$\bar{\lambda}$	0.361	0.357	0.354	0.354	0.422	0.498	0.471	0.467
R_t	0.028	0.041	0.051	0.059	0.051	0.028	0.041	0.051
$R_t\bar{\lambda}$	0.010	0.015	0.018	0.021	0.022	0.014	0.019	0.024
P_{max} (kN)	459.2	320.7	255.7	222.0	216.6	330.9	244.0	194.8
δ_m (mm)	57.5	38.4	32.0	28.6	48.0	103.8	70.8	58.9
P_{max}/P_{yN}	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.5
δ_m/δ_{yN}	9.0	6.0	5.0	4.5	5.0	8.0	6.0	5.0

供試体名	EW-6-3	EW-6-4	EW-6-7	EW-8-3	EW-8-7	EW-10-3	EW-10-7
鋼　種	SKK490						
t (mm)	14.3	10.0	6.0	14.3	6.0	14.3	6.0
D (mm)	323.9						
h (cm)	267			348		448	
N/N_y	0.15						
$\bar{\lambda}$	0.613	0.608	0.602	0.799	0.785	1.029	1.011
R_t	0.028	0.041	0.069	0.028	0.069	0.028	0.069
$R_t\bar{\lambda}$	0.017	0.025	0.041	0.023	0.054	0.029	0.070
P_{max} (kN)	263.1	185.9	111.1	195.0	84.0	145.6	63.5
δ_m (mm)	137.3	98.0	71.7	175.9	122.3	202.0	193.2
P_{max}/P_{yN}	2.5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.4	2.3
δ_m/δ_{yN}	7.0	5.0	3.7	5.3	3.7	3.7	3.5

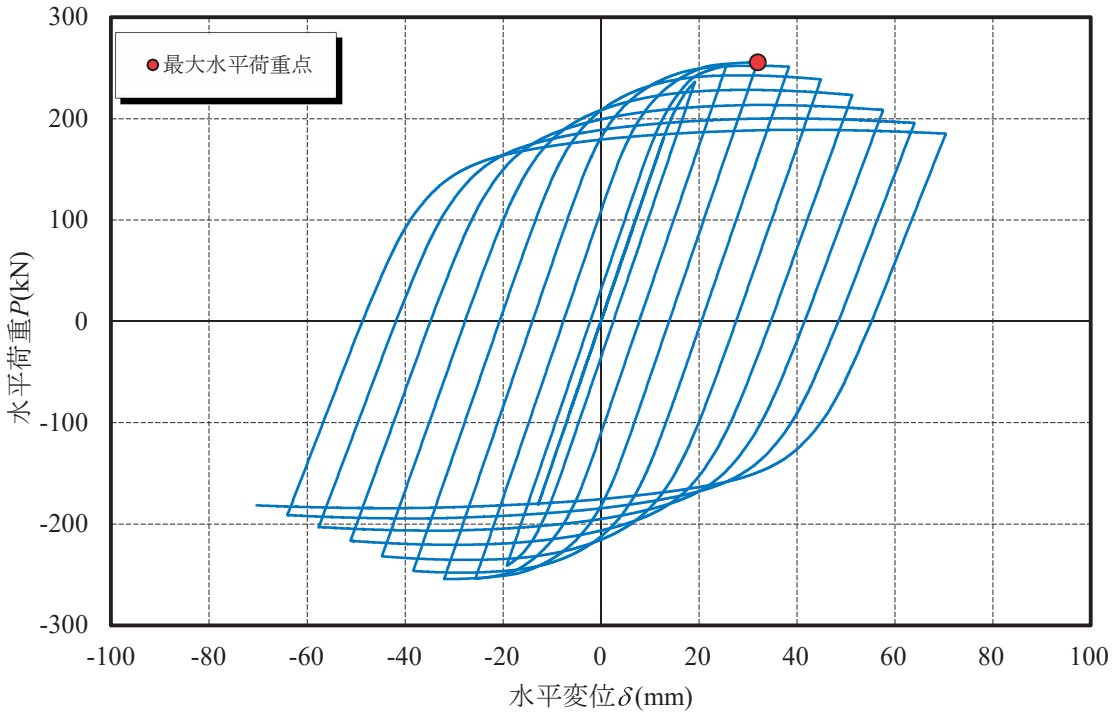


(a) EW-3-3

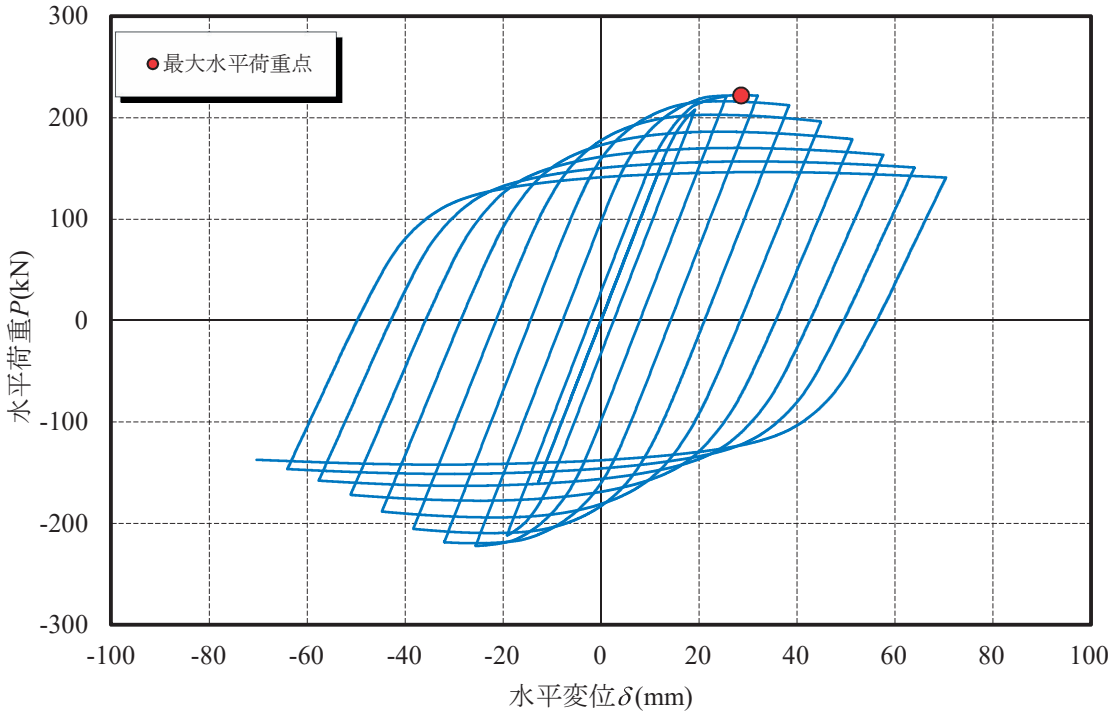


(b) EW-3-4

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）

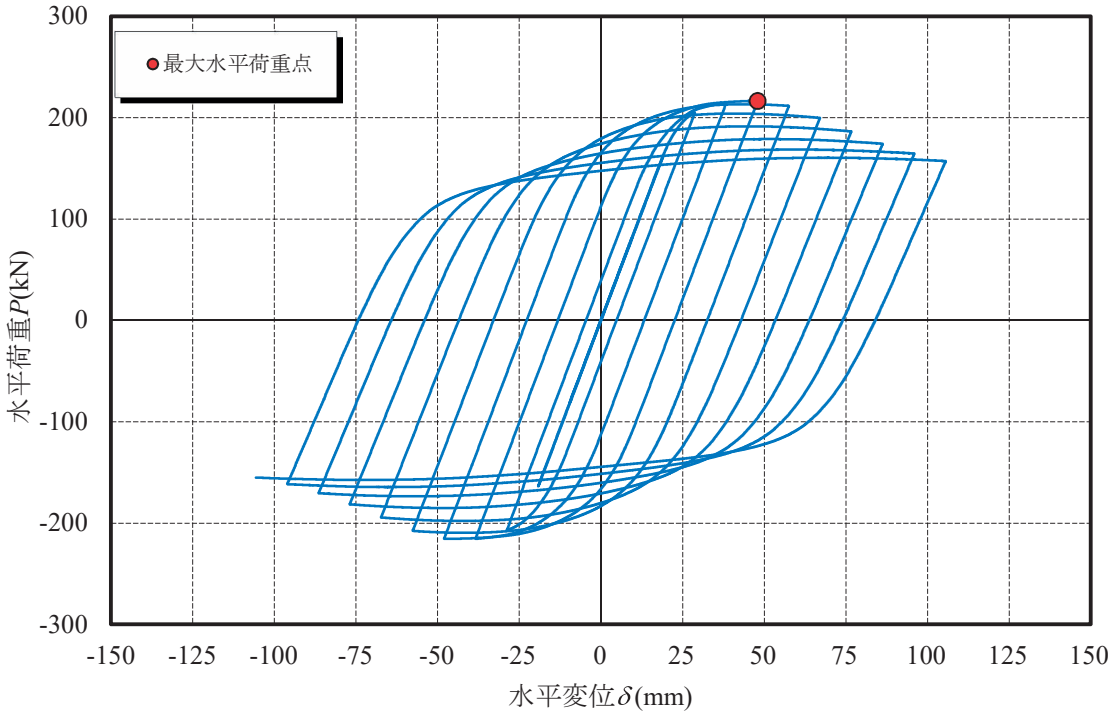


(c) EW-3-5

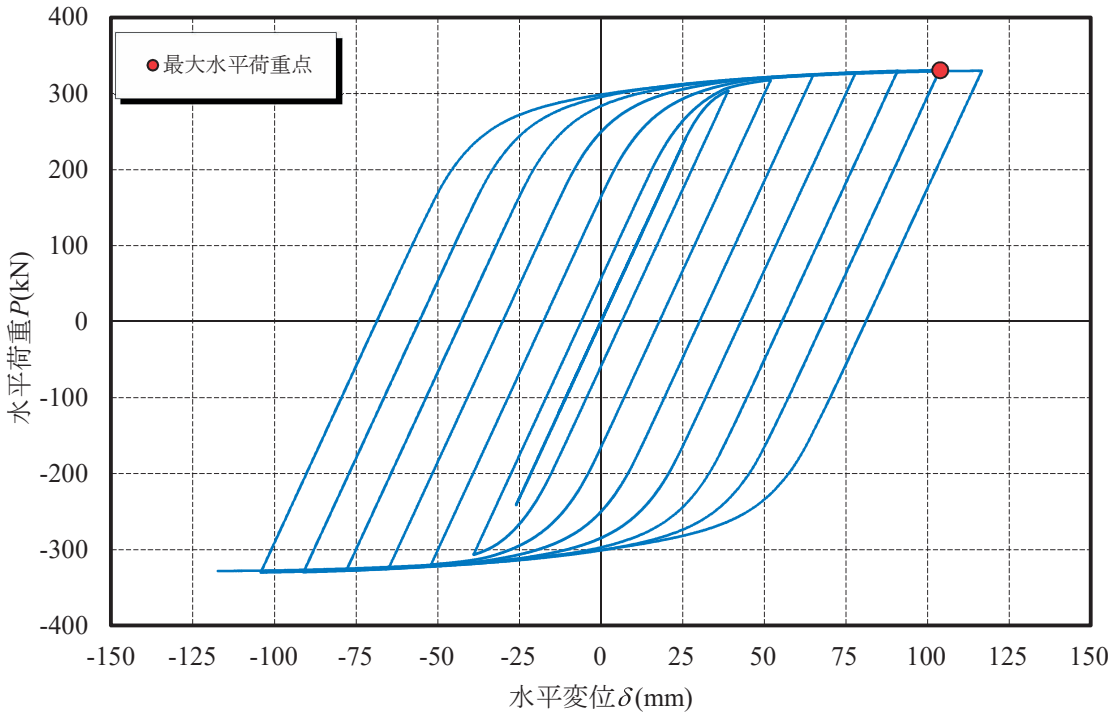


(d) EW-3-6

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）

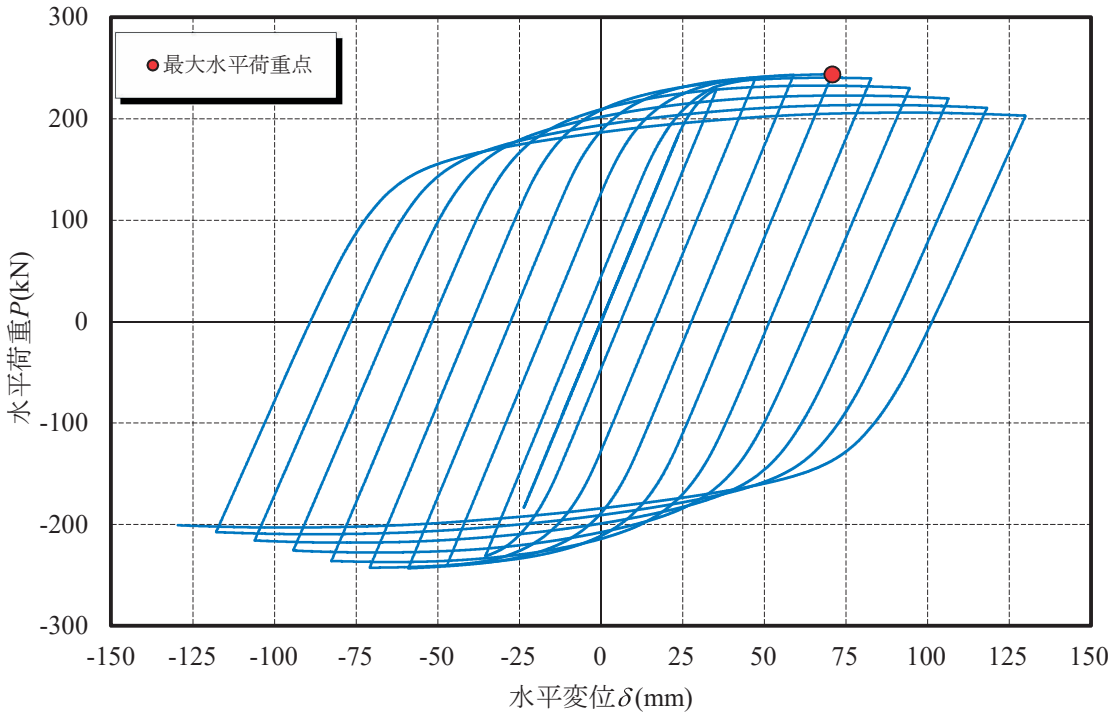


(e) EW-4-5

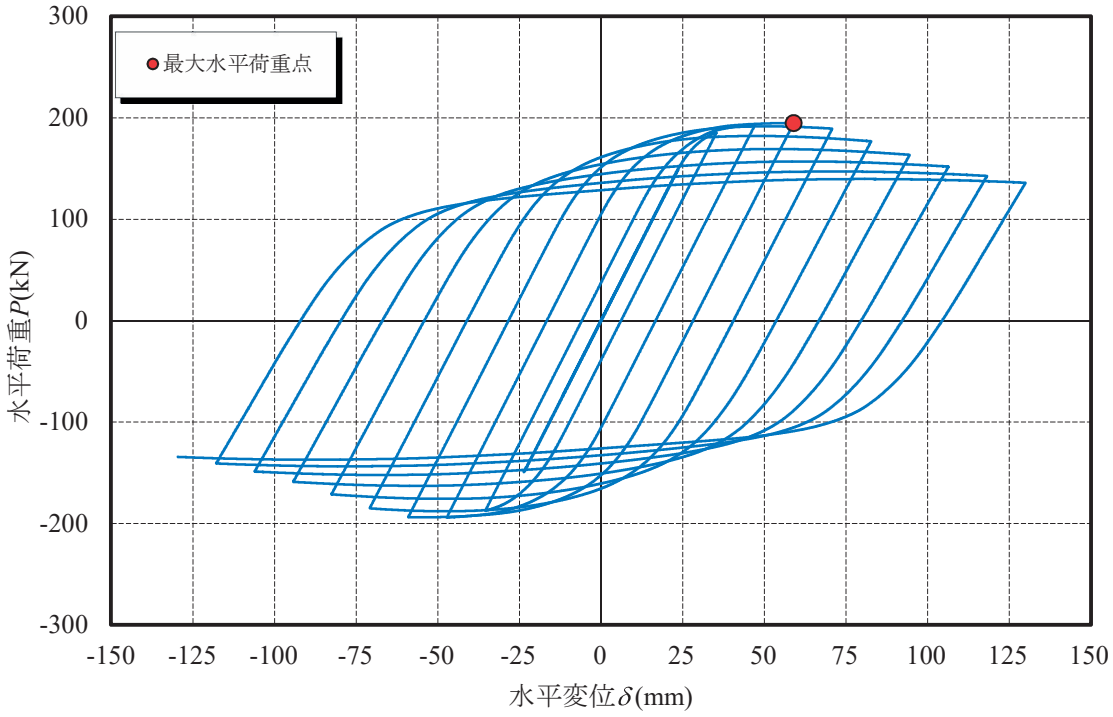


（f） EW-5-3

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）

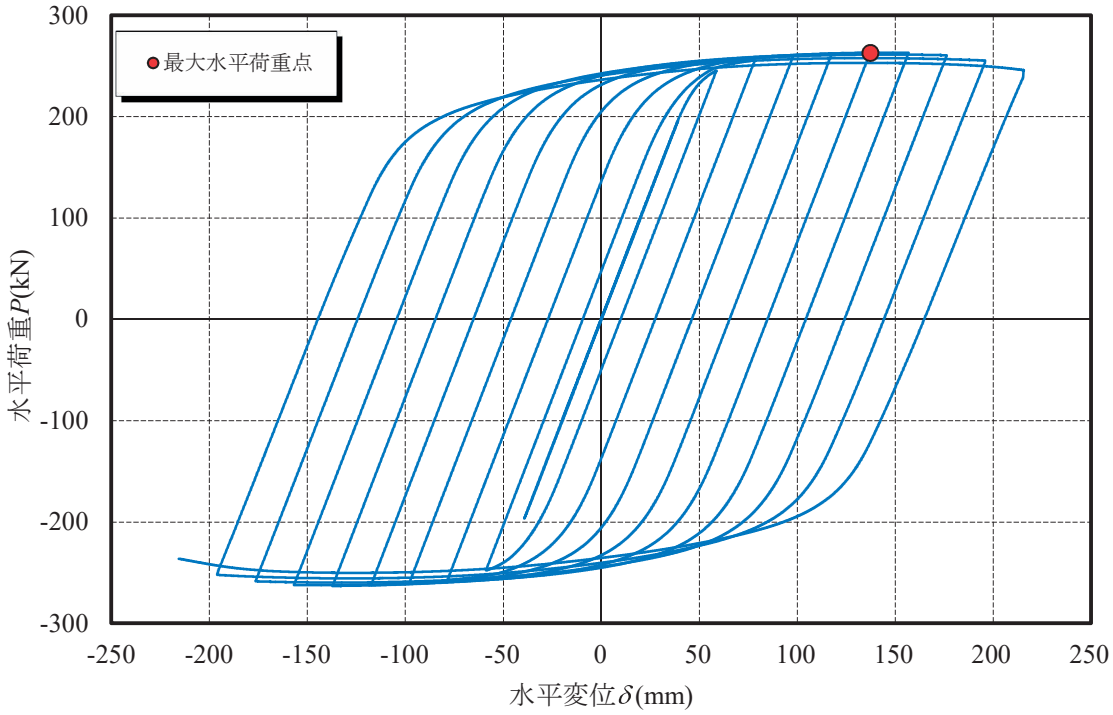


(g) EW-5-4

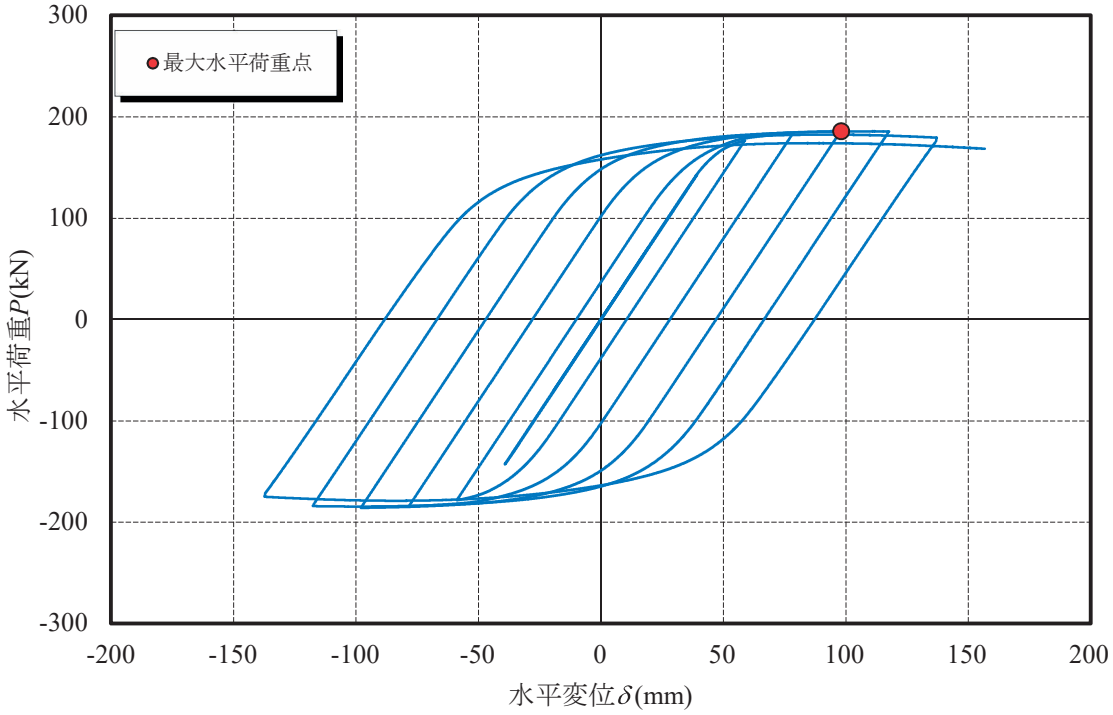


(h) EW-5-5

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）

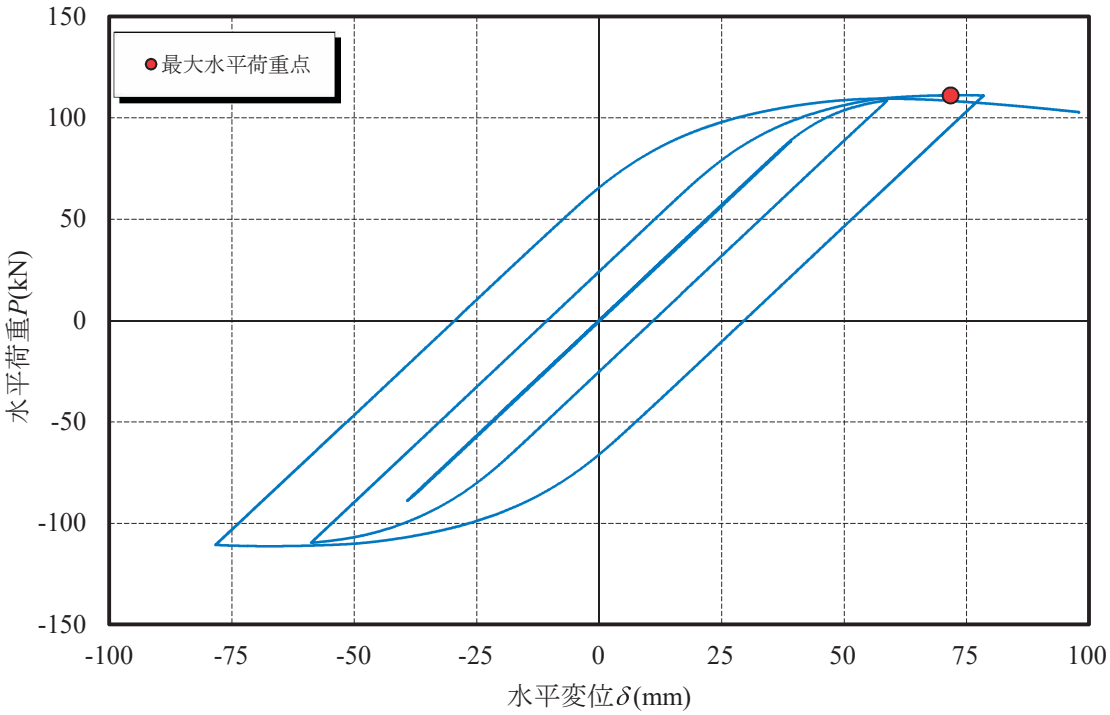


(i) EW-6-3



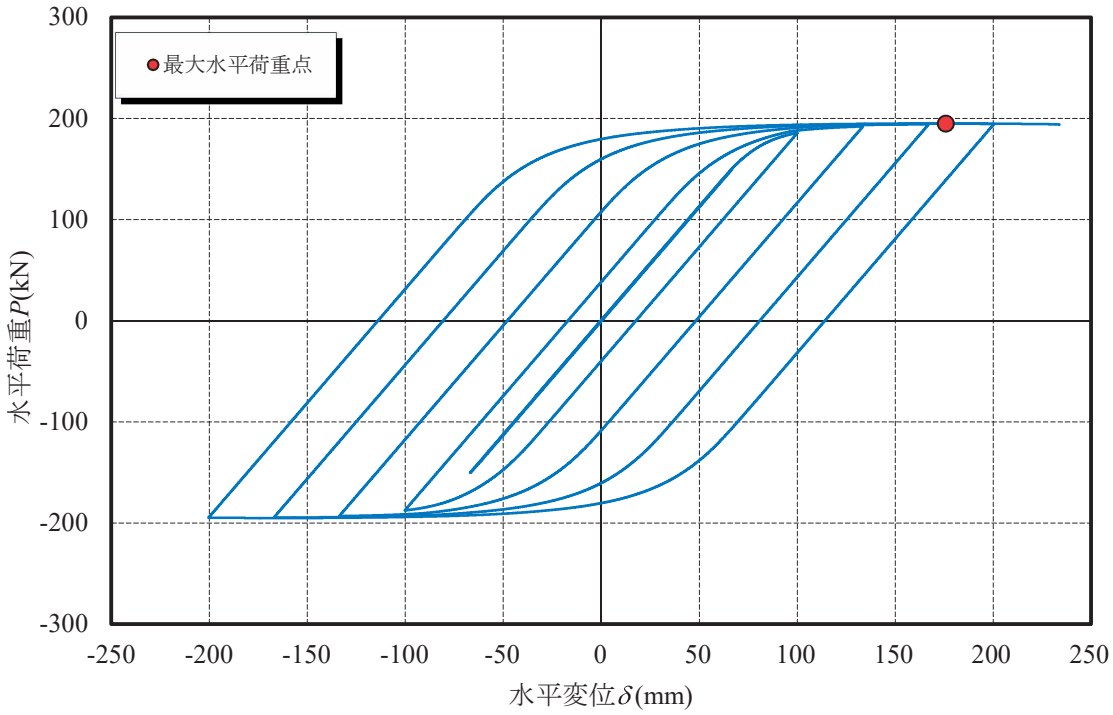
(j) EW-6-4

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）

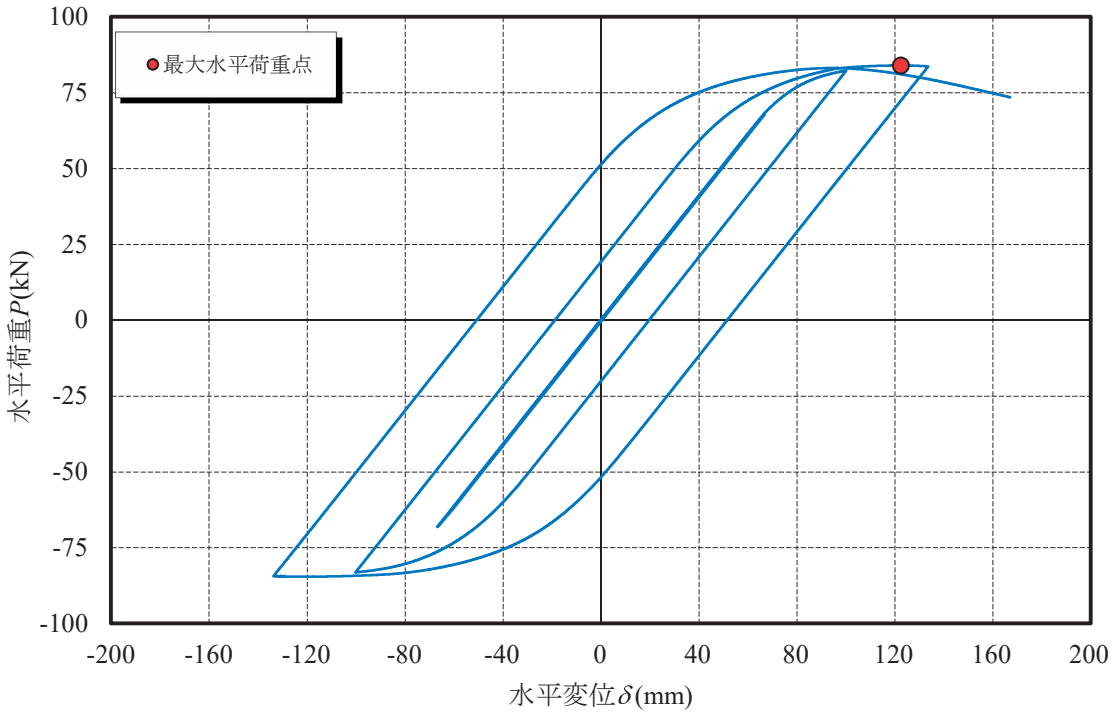


(k) EW-6-7

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）

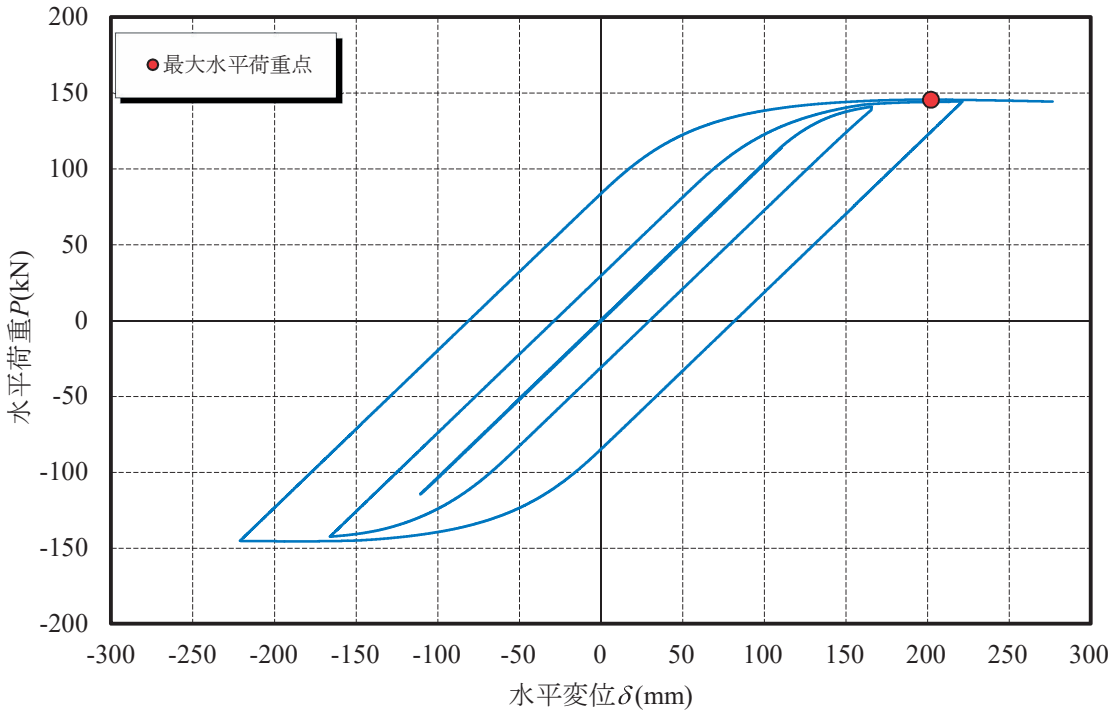


(l) EW-8-3

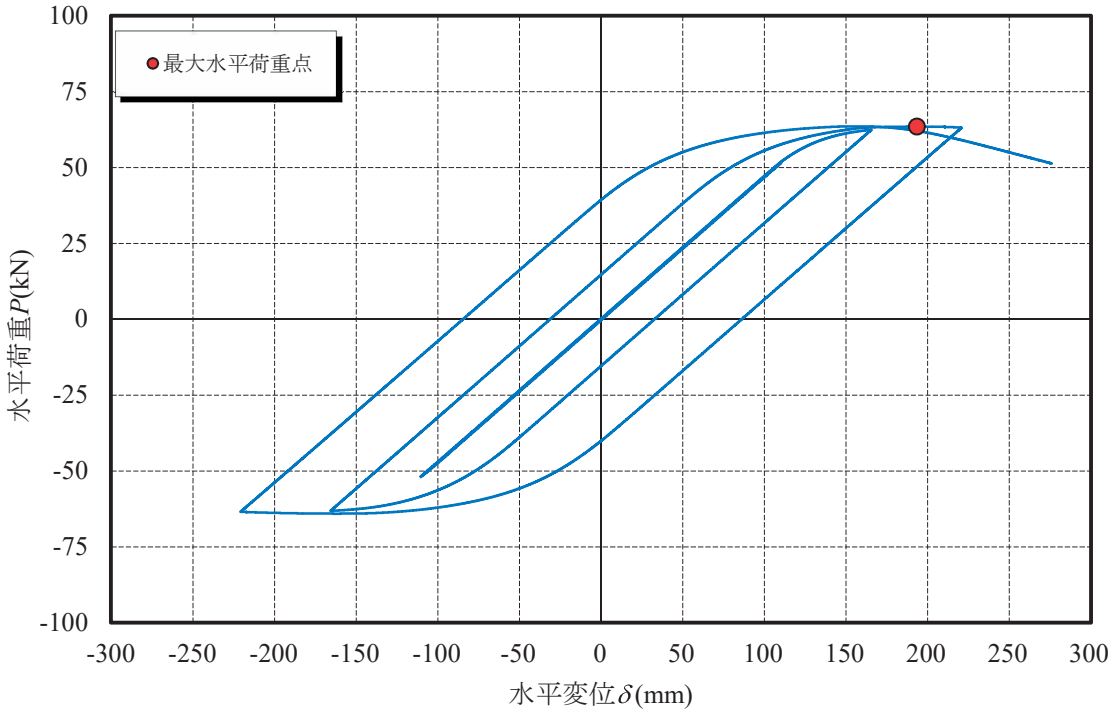


(m) EW-8-7

図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）

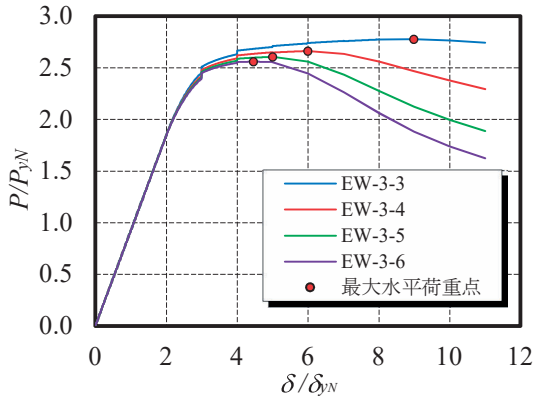


(n) EW-10-3

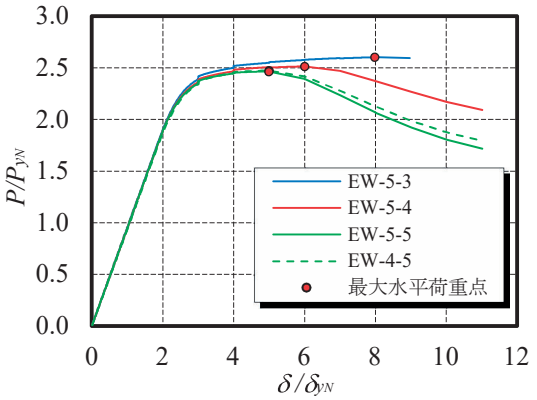


(o) EW-10-7

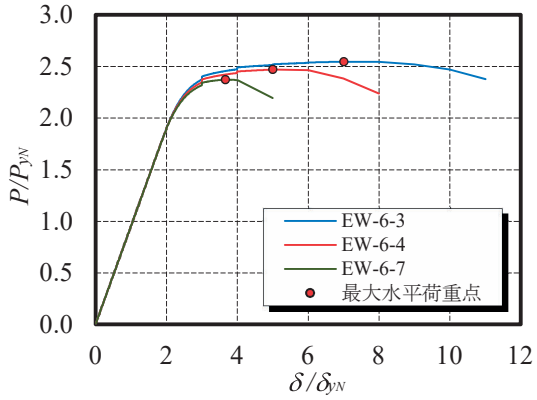
図 3.4.1　水平荷重―水平変位関係（補間解析）（つづき）



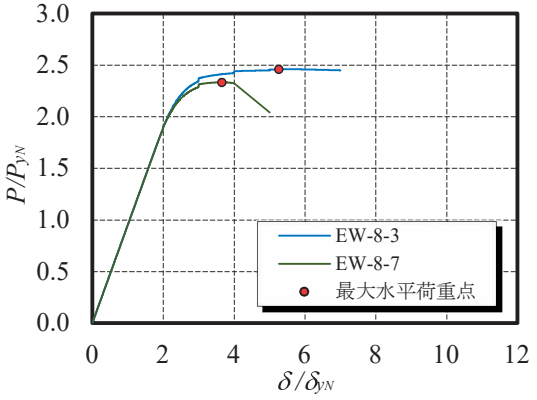
(a) $\bar{\lambda}$=0.3



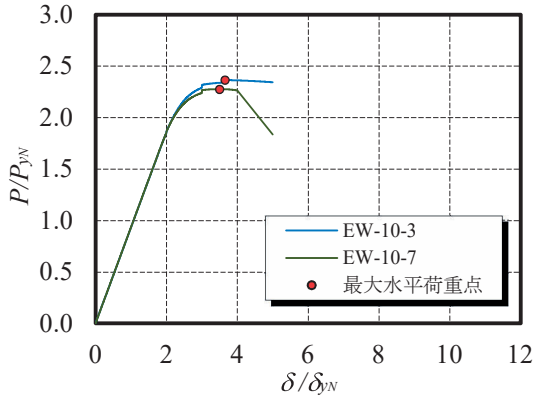
(b) $\bar{\lambda}$=0.5



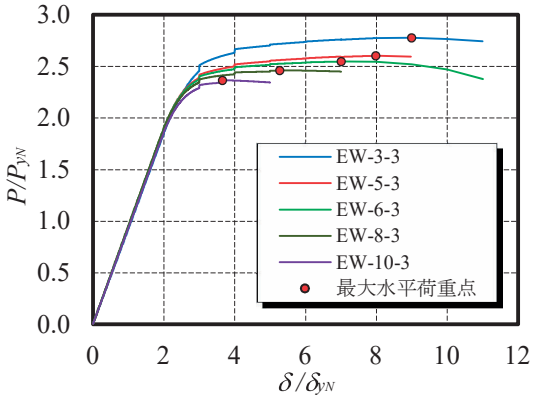
(c) $\bar{\lambda}$=0.6



(d) $\bar{\lambda}$=0.8



(e) $\bar{\lambda}$=1.0



(f) R_t=0.03

図 3.4.2　包絡線の比較

3.5 M-ϕモデルによる耐震性能評価

3.5.1 許容ひずみの算定方法

M-ϕモデルにおける許容ひずみε_aは、文献 4.7)の手法に基づいて、実験と補間解析の結果を用いて以下のとおり算定する。

(1) 応力－ひずみ関係

鋼材の応力－ひずみ関係は、図 3.5.1 に示す 2 次勾配を E/100 のバイリニア型とし、降伏応力度σ_yは、実験結果に対しては供試体毎の材料試験値、補間解析に対しては降伏比 85%の材料試験値とする。

(2) トリリニア型の M-ϕモデル

M-ϕモデルは、図 3.5.2 に示すトリリニア型とした。ここで、M-ϕモデルの設定においては平面保持が成立するものとして、軸圧縮力の影響を考慮したファイバー要素を用いる。

(3) 許容ひずみの算定

許容ひずみε_aは、以下の手順により求める。

① M-ϕモデルの降伏点(ϕ_{yc},M_{yc})、(ϕ_{yt},M_{yt})は、それぞれ鋼材の板厚中心位置において、圧縮側ひずみおよび引張側ひずみがはじめて降伏ひずみε_y(=σ_y/E)に達したときとする。

② 許容変位に対応するひずみε_aを仮定し、板厚中心位置での圧縮側ひずみがはじめてε_aに達するときの(ϕ_a,M_a)を算出し、(ϕ_{yc},M_{yc})、(ϕ_{yt},M_{yt})を結んだトリリニア型 M-ϕモデルを仮定する。

③ 図 3.5.3 に示す実験供試体の高さ方向の曲げモーメント分布と②で仮定したトリリニア型の M-ϕモデルから実験供試体高さ方向の曲率分布を求める。

④ ③で求めた各断面の曲率ϕから式(3.5.1)により水平荷重載荷点の変位を求める。
なお、変位はベルヌイ・オイラーの梁理論に基づき、幾何学非線形の影響を無視して求める。

$$\delta = \int (\phi \times y) dy \tag{3.5.1}$$

⑤ ④で求めた変位δが所定の許容変位δ_aになるように②から④を繰返し、収束計算により許容ひずみε_aを求める。ここで許容変位δ_aは、実験結果に対しては最大水平荷重時変位から図 2.3.1 に示すとおり、理論初期剛性と実験初期剛性の差を考慮して補正した値とし、補間解析に対しては最大水平荷重時変位δ_mとする。

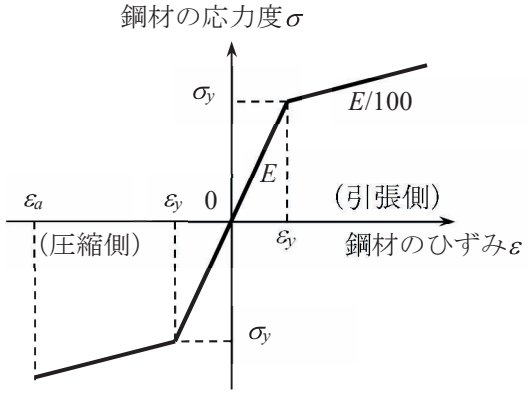


図 3.5.1　鋼材の応力–ひずみ関係

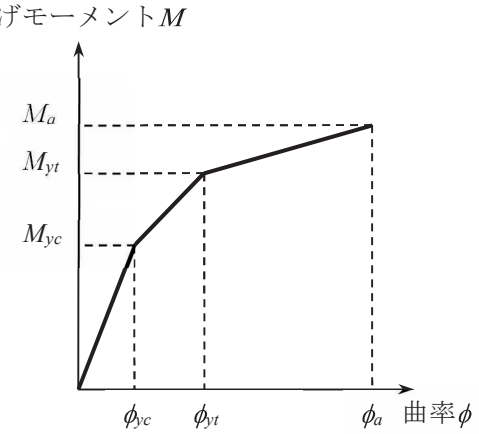


図 3.5.2　トリリニア型の M-ϕモデル

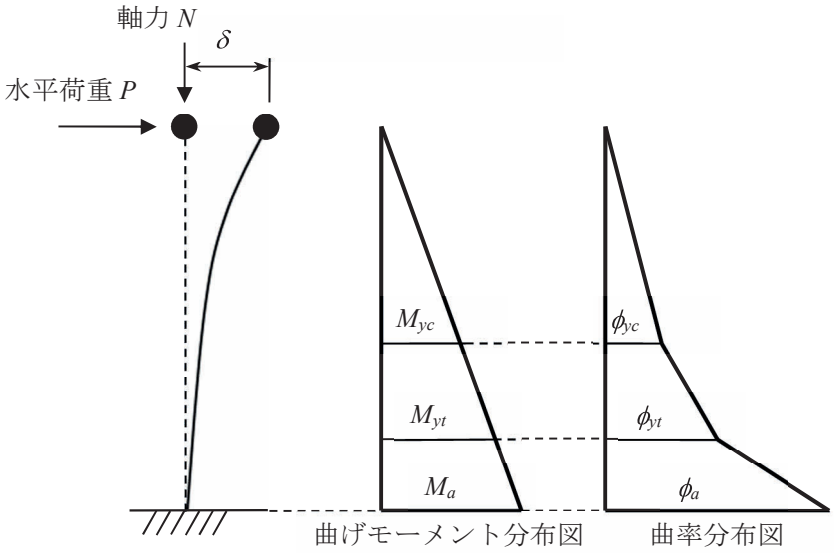


図 3.5.3　曲げモーメントおよび曲率分布図

3.5.2　許容ひずみと構造諸元との関係

前節によって求めた許容ひずみε_aは、表 3.5.1 および図 3.5.4 に示す。本研究は、H24 道示 V に規定される円形断面鋼製橋脚の M-ϕモデルの適用範囲と比べて細長比パラメータが大きい領域までを対象としている。そのため、許容ひずみと構造諸元の関係式には、径厚比パラメータ R_t と細長比パラメータ$\bar{\lambda}$を考慮することとした。図 3.5.4 より、許容ひずみε_aの算定式として 式(3.5.2)～(3.5.4)を提案する。この算定式は、適用条件として鋼管の降伏比が 85%以下であるため、降伏比が 80%以下の低降伏比電縫鋼管を使用した供試体 1-2 および 1.5-2 のプロットに対しては特に安全側の値となるように設定した。具体的には、供試体 1-2 および 1.5-2 の構造諸元で降伏比が 85%の場合の補間解析結果（EW-3-3 および EW-5-3）と供試体 1-2 および 1.5-2 の実験結果を用いて降伏比を 85%とした（表 3.5.1 に示す 1-2-85 および 1.5-2-85）許容ひずみのいずれも超えないものにしている。式(3.5.2)の適用範囲は、供試体 1-2 の力学パラメータで降伏比を 85%とした補間解析結果より算出した許容ひずみを上限とし、式(3.5.3)との交点までとしている。式(3.5.4)は、細長比パラメータが大きく、径厚比パラメータを小さくしても耐力および変形能が大きく向上しない範囲であり、$R_t\bar{\lambda}$が適用範囲の最大値 0.07 の場合に$\varepsilon_a/\varepsilon_y$が 3 程度となるように設定している。

許容ひずみ算定式 (1)：$\varepsilon_a/\varepsilon_y = 12.50$　　($R_t\bar{\lambda} \leqq 0.009$)　　(3.5.2)

許容ひずみ算定式 (2)：$\varepsilon_a/\varepsilon_y = 20.78 - 920R_t\bar{\lambda}$　　($0.009 < R_t\bar{\lambda} \leqq 0.018$)　　(3.5.3)

許容ひずみ算定式 (3)：$\varepsilon_a/\varepsilon_y = 4.67 - 25R_t\bar{\lambda}$　　($0.018 < R_t\bar{\lambda} \leqq 0.070$)　　(3.5.4)

なお、式(3.5.2)～(3.5.4)の適用条件は、正負交番載荷実験および補間解析で設定したとおり、以下とする。

$$0.03 \leqq R_t \leqq 0.07、\bar{\lambda} \leqq 0.4 \text{ かつ } N/N_y \leqq 0.20、0.4 < \bar{\lambda} \leqq 1.0 \text{ かつ } N/N_y \leqq 0.15$$

また、本算定式の適用は、次の条件を満足する電縫鋼管に限定される。

- JIS A 5525 の規格を満足する鋼管である。
- 溶接シーム位置を 0° とした場合の鋼管円周方向 90° 位置から採取した管軸方向試験片による降伏比は 85%以下である。
- 電気抵抗溶接部は、じん性を改善するために後熱処理が施され、シャルピー吸収エネルギーが 0℃において 27J 以上である。

表 3.5.1 許容ひずみの算定結果

供試体名	1-1	1-2	1.5-2	2-1	2-2	1-2-85	1.5-2-85
t (mm)	6.0	14.3		6.0	14.3	14.3	
D (mm)	318.5	323.9		318.5		323.9	
h (cm)	157		217	348		157	217
YR	0.85	0.80		0.85	0.89	0.85	
N/N_y	0.20		0.15			0.20	0.15
$\bar{\lambda}$	0.357	0.361	0.498	0.792	0.814	0.361	0.498
R_t	0.068	0.028	0.028	0.068	0.028	0.028	0.028
$R_t\bar{\lambda}$	0.024	0.010	0.014	0.054	0.023	0.010	0.014
$\varepsilon_a/\varepsilon_y$	4.889	14.773	11.062	4.189	4.980	12.762	9.329

供試体名	EW-3-3	EW-3-4	EW-3-5	EW-3-6	EW-4-5	EW-5-3	EW-5-4	EW-5-5
t (mm)	14.3	10.0	8.0	7.0	8.0	14.3	10.0	8.0
D (mm)	323.9							
h (cm)	217				157	157	157	
YR	0.85							
N/N_y	0.20				0.15			
$\bar{\lambda}$	0.361	0.357	0.354	0.354	0.422	0.498	0.471	0.467
R_t	0.028	0.041	0.051	0.059	0.051	0.028	0.041	0.051
$R_t\bar{\lambda}$	0.010	0.015	0.018	0.021	0.022	0.014	0.019	0.024
$\varepsilon_a/\varepsilon_y$	13.612	8.571	6.644	5.673	6.855	11.965	8.661	6.931

供試体名	EW-6-3	EW-6-4	EW-6-7	EW-8-3	EW-8-7	EW-10-3	EW-10-7
t (mm)	14.3	10.0	6.0	14.3	6.0	14.3	6.0
D (mm)	323.9						
h (cm)	267			348		448	
YR	0.85						
N/N_y	0.15						
$\bar{\lambda}$	0.613	0.608	0.602	0.799	0.785	1.029	1.011
R_t	0.028	0.041	0.069	0.028	0.069	0.028	0.069
$R_t\bar{\lambda}$	0.017	0.025	0.041	0.023	0.054	0.029	0.070
$\varepsilon_a/\varepsilon_y$	10.415	6.893	4.564	7.498	4.611	4.382	4.246

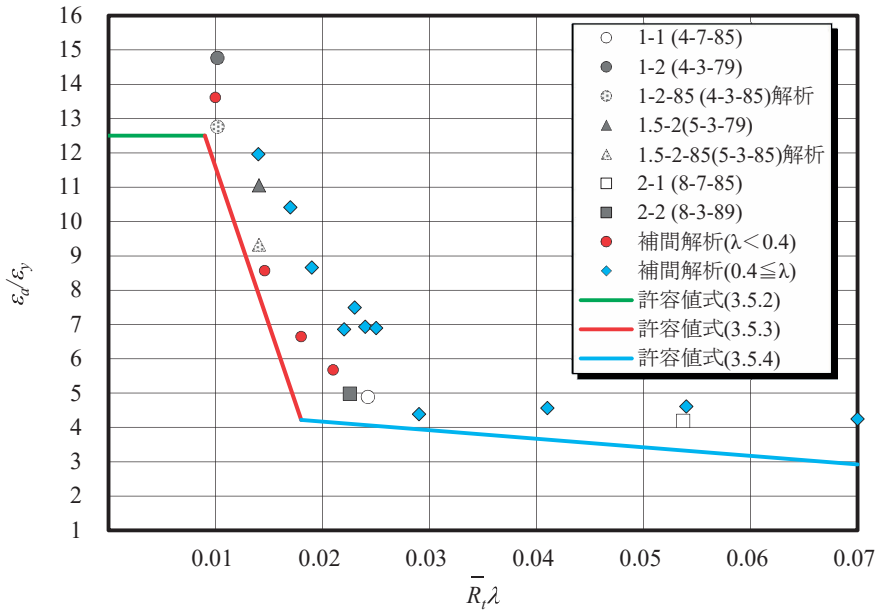


図 3.5.4 $\varepsilon_a/\varepsilon_y$ と $R_t\bar{\lambda}$の関係

3.5.3　提案した許容ひずみの妥当性の検証

提案した許容ひずみ算定式の妥当性を検証するため、最大水平荷重および許容変位に関して、正負交番載荷実験結果および弾塑性有限変位解析結果と *M-φ*モデルによる計算結果との比較を表 3.5.2 に示す。また、図 3.5.5 は最大水平荷重に関して、図 3.5.6 は許容変位に関して、表 3.5.2 の値をプロットしたものである。なお、実験結果は降伏比が 85%以下である供試体 1-1、1-2、1.5-2 および 2-2 の 4 体である。*M-φ*モデルで算定した最大水平荷重は、実験結果の±10%、補間解析結果の±5%の範囲内である。また最大水平荷重時変位は、全て安全側の値で算定される。

以上のことより、許容ひずみ算定式を用いた *M-φ*モデルは、今回対象とした構造諸元の電縫鋼管の最大水平荷重を精度良く、許容変位は安全側に算出できると言える。

表 3.5.2　*M-φ*モデルによる計算結果と実験および解析結果との比較

実験供試体	①実験結果		②*M-φ*モデル結果		②／①	
	最大水平荷重 P_{max} (kN)	許容変位 δ_a (mm)	最大水平荷重 P_{max} (kN)	許容変位 δ_a (mm)	P_{max}	δ_a
供試体1-1	178.3	25.1	177.8	22.2	1.00	0.88
供試体1-2	407.2	53.7	389.8	40.4	0.96	0.75
供試体1.5-2	282.2	81.9	278.8	60.5	0.99	0.74
供試体2-1	74.3	117.8	80.3	102.3	1.08	0.87

補間解析モデル	①補間解析結果		②*M-φ*モデル結果		②／①	
	最大水平荷重 P_{max} (kN)	許容変位 δ_a (mm)	最大水平荷重 P_{max} (kN)	許容変位 δ_a (mm)	P_{max}	δ_a
EW-3-3	459.2	57.5	448.5	48.9	0.98	0.85
EW-3-4	320.7	38.4	310.7	31.6	0.97	0.82
EW-3-5	255.7	32.0	244.4	22.8	0.96	0.71
EW-3-6	222.0	28.6	215.3	22.5	0.97	0.79
EW-4-5	216.6	48.0	207.3	33.2	0.96	0.69
EW-5-3	330.9	103.8	319.1	71.5	0.96	0.69
EW-5-4	244.0	70.8	231.5	41.4	0.95	0.58
EW-5-5	194.8	58.9	187.1	40.5	0.96	0.69
EW-6-3	263.1	137.3	253.0	78.9	0.96	0.57
EW-6-4	185.9	98.0	179.0	67.4	0.96	0.69
EW-6-7	111.1	71.7	109.8	62.9	0.99	0.88
EW-8-3	195.0	175.9	191.8	117.2	0.98	0.67
EW-8-7	84.0	122.3	83.8	101.6	1.00	0.83
EW-10-3	145.6	202.0	148.6	189.9	1.02	0.94
EW-10-7	63.5	193.2	64.5	158.9	1.02	0.82

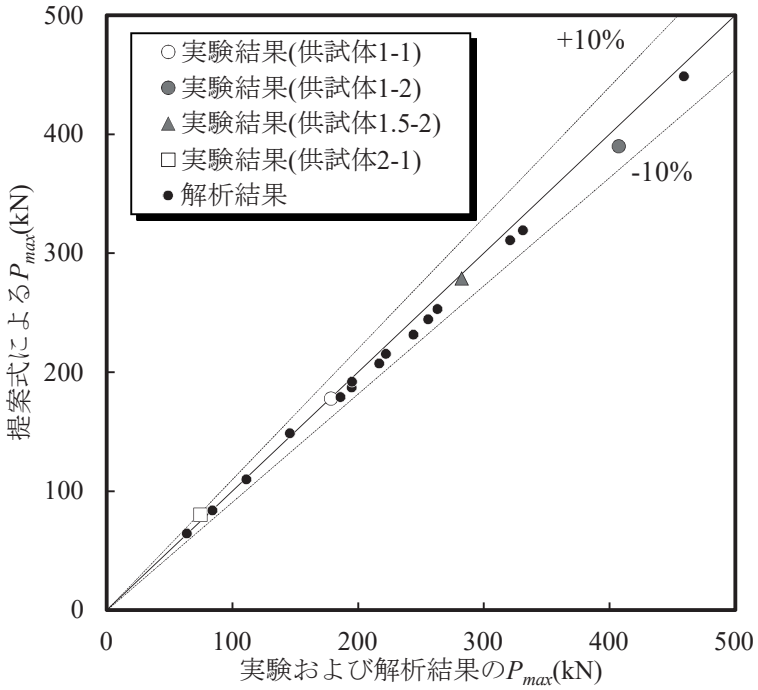


図 3.5.5　最大水平荷重 P_{max} による比較

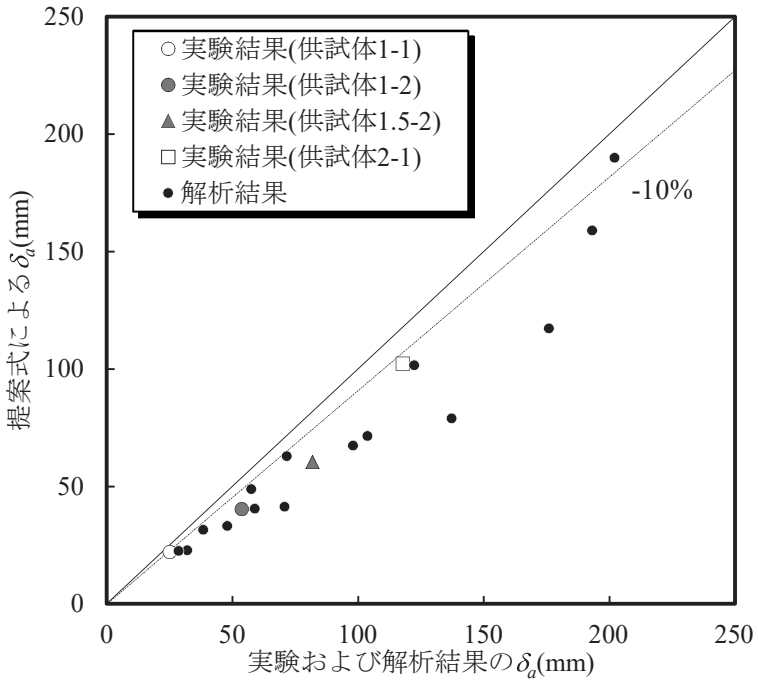


図 3.5.6　許容変位 δ_a に関する比較

3.6 まとめ

本章では、実験結果との対比により弾塑性有限要素解析法の妥当性を検証するとともに、電縫鋼管橋脚の力学パラメータの違いが耐力および変形能に与える影響を検討するため，補間解析を実施した。そして、実験と補間解析の結果を用いて、H24 道示 V に規定される *M-φ*モデルによる電縫鋼管橋脚の許容ひずみ算定式を提案し、その妥当性を検証した。得られた知見は以下のとおりである。

- 本報告書で示した弾塑性有限変位解析によれば、降伏比が 85%以下の電縫鋼管の正負交番載荷実験の結果を再現することは可能である。その精度は、最大水平荷重について 10%程度、最大水平荷重時変位について 15%以下である。また、柱基部の提灯座屈変形も良い一致が見られる。

- 径厚比パラメータおよび細長比パラメータが電縫鋼管橋脚の耐力および変形能に与える影響は、細長比パラメータが大きくなるほど、径厚比パラメータを小さくすることによる耐力および変形能の向上が小さくなる。

- 提案した許容ひずみ算定式を用いた H24 道示 V に規定される *M-φ*モデルによれば、最大水平荷重は精度良く、許容変位は安全側に評価できる。なお適用は、次の条件を満足する電縫鋼管に限定される。

  (1) JIS A 5525 の規格を満足する鋼管である。
  (2) 溶接シーム位置を 0° とした場合の鋼管円周方向 90° 位置から採取した管軸方向試験片による降伏比は 85%以下である。
  (3) 電気抵抗溶接部は、じん性を改善するために後熱処理が施され、シャルピー吸収エネルギーが 0℃において 27J 以上である。

4. まとめ

本研究の目的は、電縫鋼管橋脚の耐震性能を把握し、H24 道示 V に規定される *M-φ*モデルにおける許容ひずみを提案することである。

本研究を通じて得られた知見は以下に示す。

[1] 電縫鋼管橋脚のエネルギー吸収および座屈形状の傾向は、製作管と同様である。

[2] 電縫鋼管橋脚においても、細長比パラメータが小さい範囲であれば、製作管と同様に径厚比パラメータを小さくする効果として、耐力および変形能は向上し、細長比パラメータが大きくなるにつれて、この効果は減少する。

[3] 電縫鋼管橋脚は、製作管と比較して降伏比が高いため、耐力および変形能は相対的に低下する。

[4] 降伏比が 85%以下であれば、弾塑性有限要素解析によって実験結果を再現ならびに補間することができる。

[5] 本研究で提案した許容ひずみ算定式を用いた *M-φ*モデルによれば、最大水平荷重を精度良く、水平変位を安全側に評価することができる。

参考文献

4.1) (社)土木学会：座屈設計ガイドライン改定第２版，2005 年.

4.2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012 年 3 月.

4.3) 建設省土木研究所，首都高速道路公団，阪神高速道路公団，名古屋高速道路公社，(社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会 : 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(I)～(VII), 共同研究報告書 第 178～184 号，1997 年 4 月.

4.4) 後藤芳顯，江坤生，小畑誠：２方向繰り返し荷重を受ける薄肉円形断面鋼製橋脚柱の履歴特性，土木学会論文集，No.780/I-70，pp.181-198，2005 年 1 月.

4.5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2012 年 3 月.

4.6) (株)耐震解析研究所：有限要素法による橋梁設計向け耐震解析システム Sean/FEM 利用説明書，2005 年 11 月.

4.7) 小野潔，西村宣男，西川和廣，高橋実，中洲啓太：円形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験結果に基づく M-ϕモデル設定手法に関する検討，鋼構造論文集，第 8 巻第 31 号，pp.97-105，2001 年 9 月.

付　録

A1. 正負交番載荷実験　供試体図面

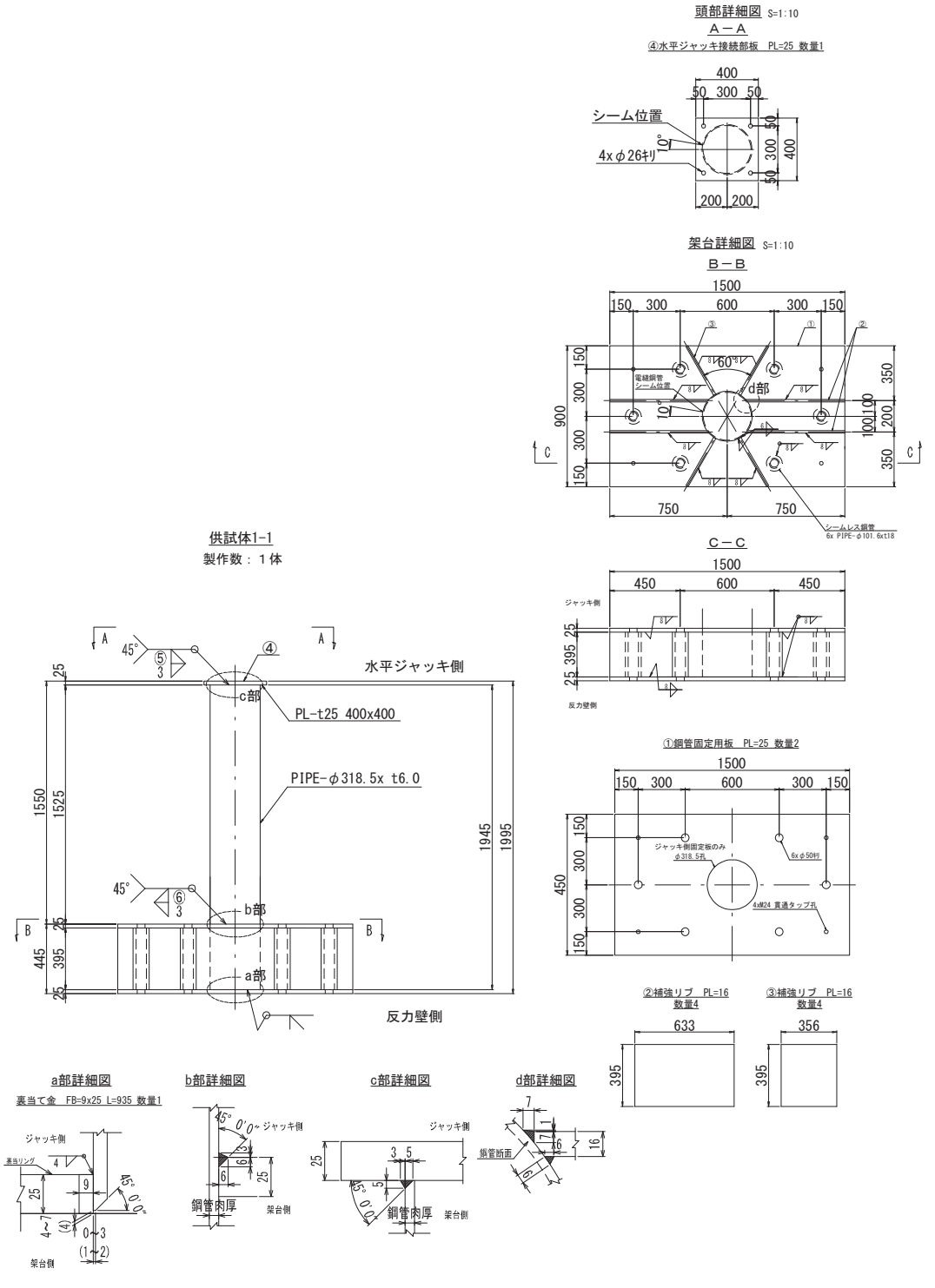
A2. 正負交番載荷実験　供試体の変位・ひずみデータ

A3. 正負交番載荷実験　包絡線のデジタルデータ

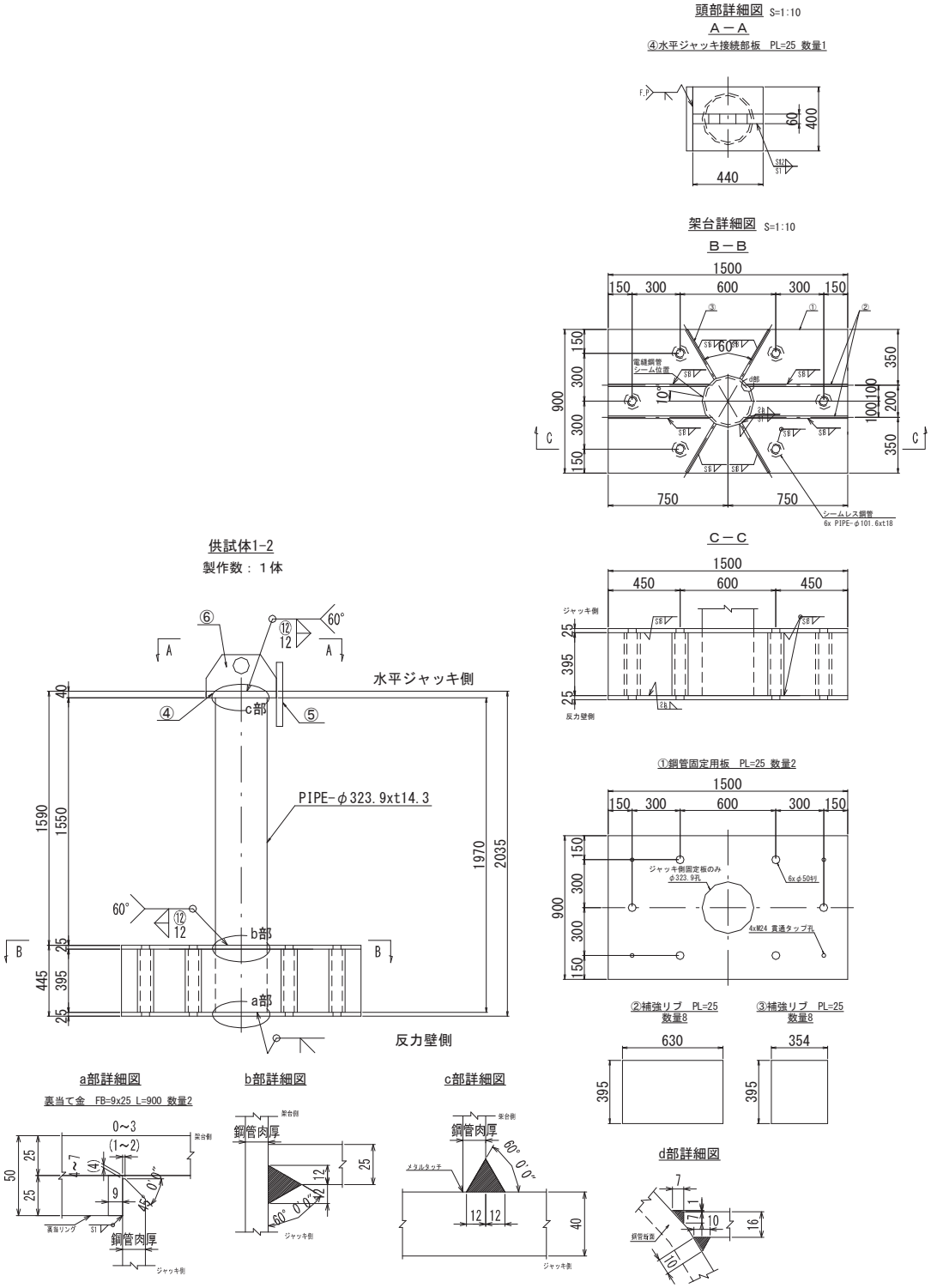
A4. 正負交番載荷実験　架台部およびジャッキ部の変位データ

A5. 正負交番載荷実験　供試体の全景および基部の状況写真

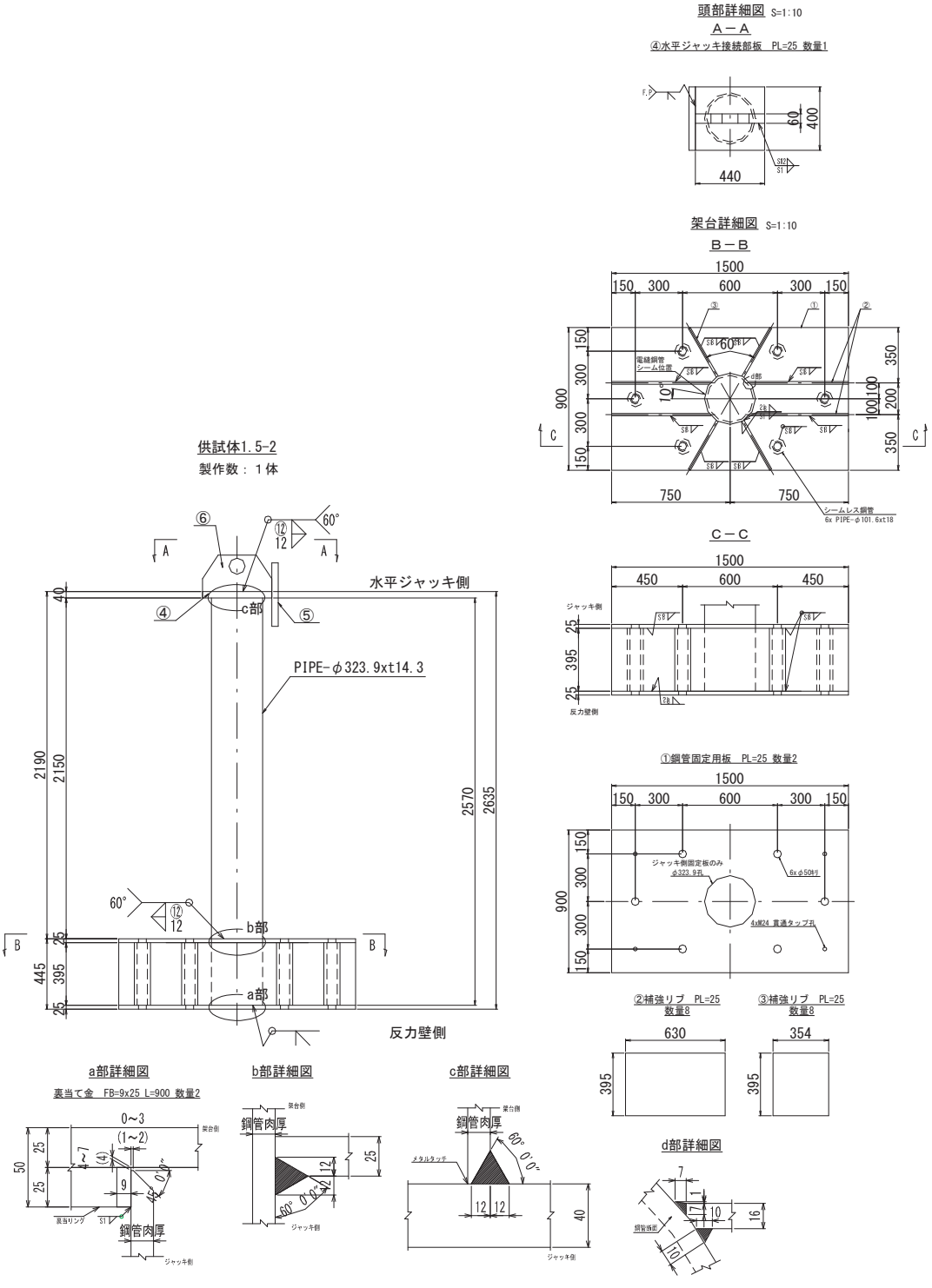
A1. 正負交番載荷実験　供試体図面



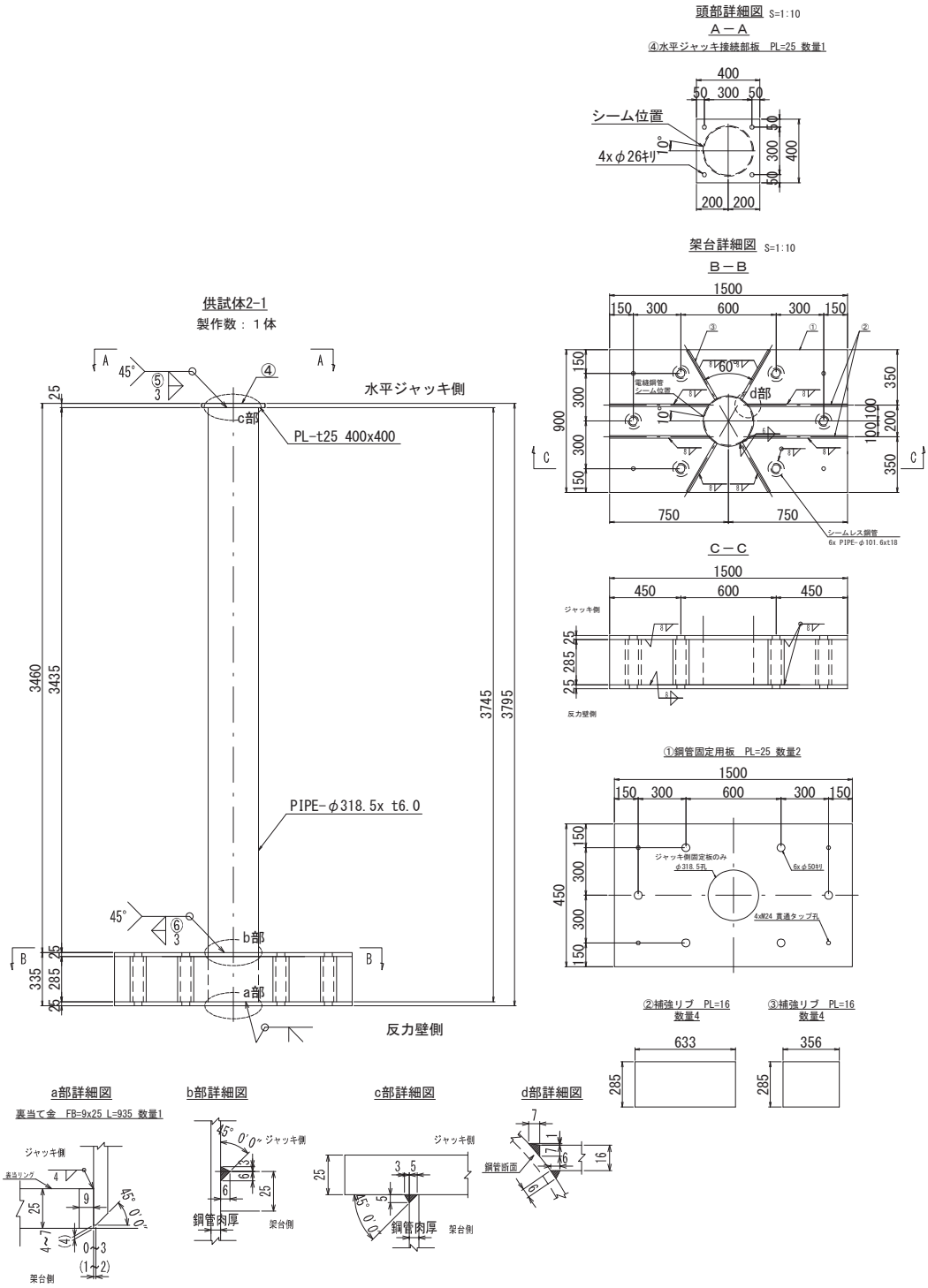
付図 1 (1)　供試体の形状・寸法（供試体 1-1）



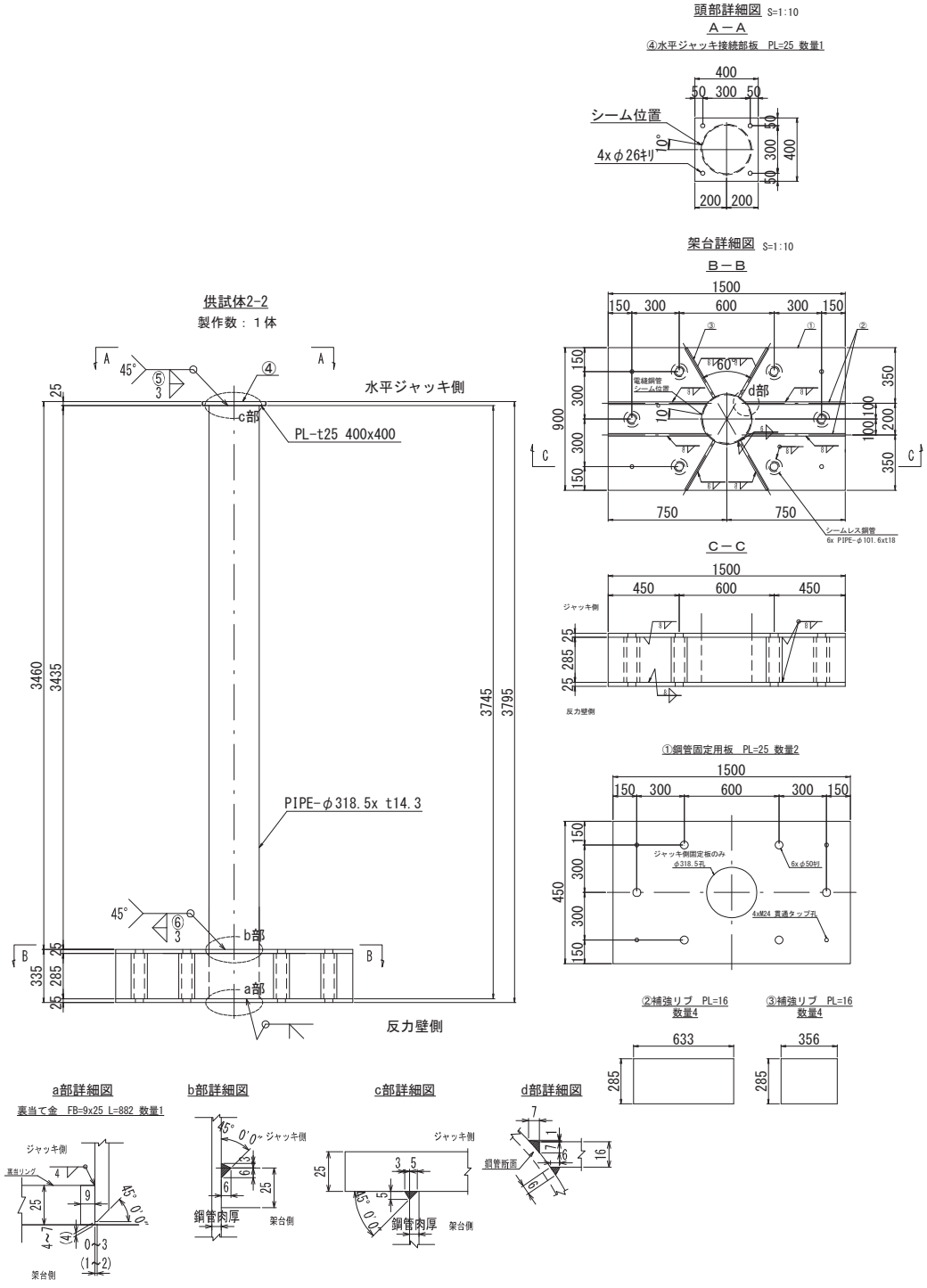
付図 1 (2)　供試体の形状・寸法（供試体 1-2）



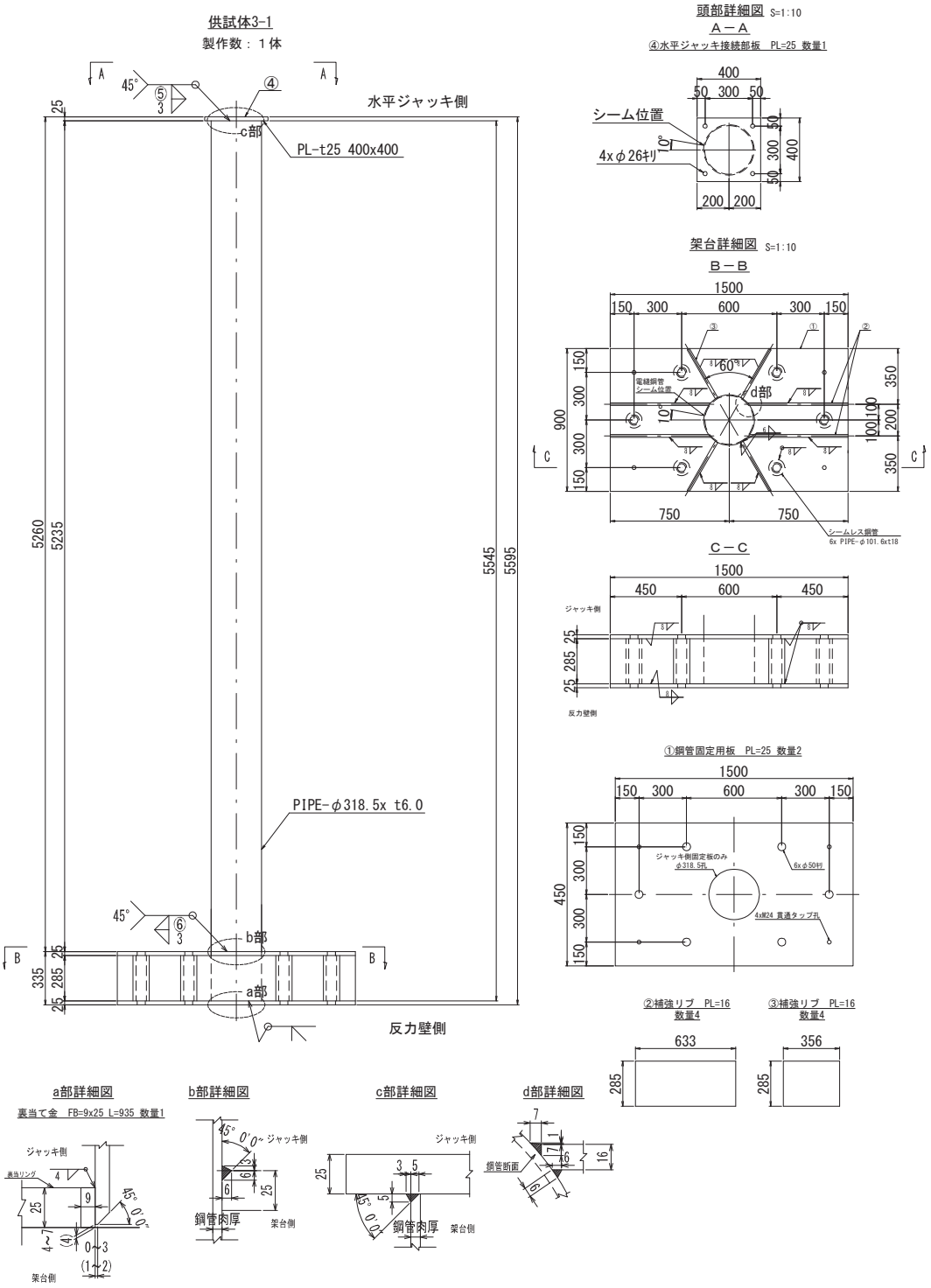
付図 1 (3)　供試体の形状・寸法（供試体 1.5-2）



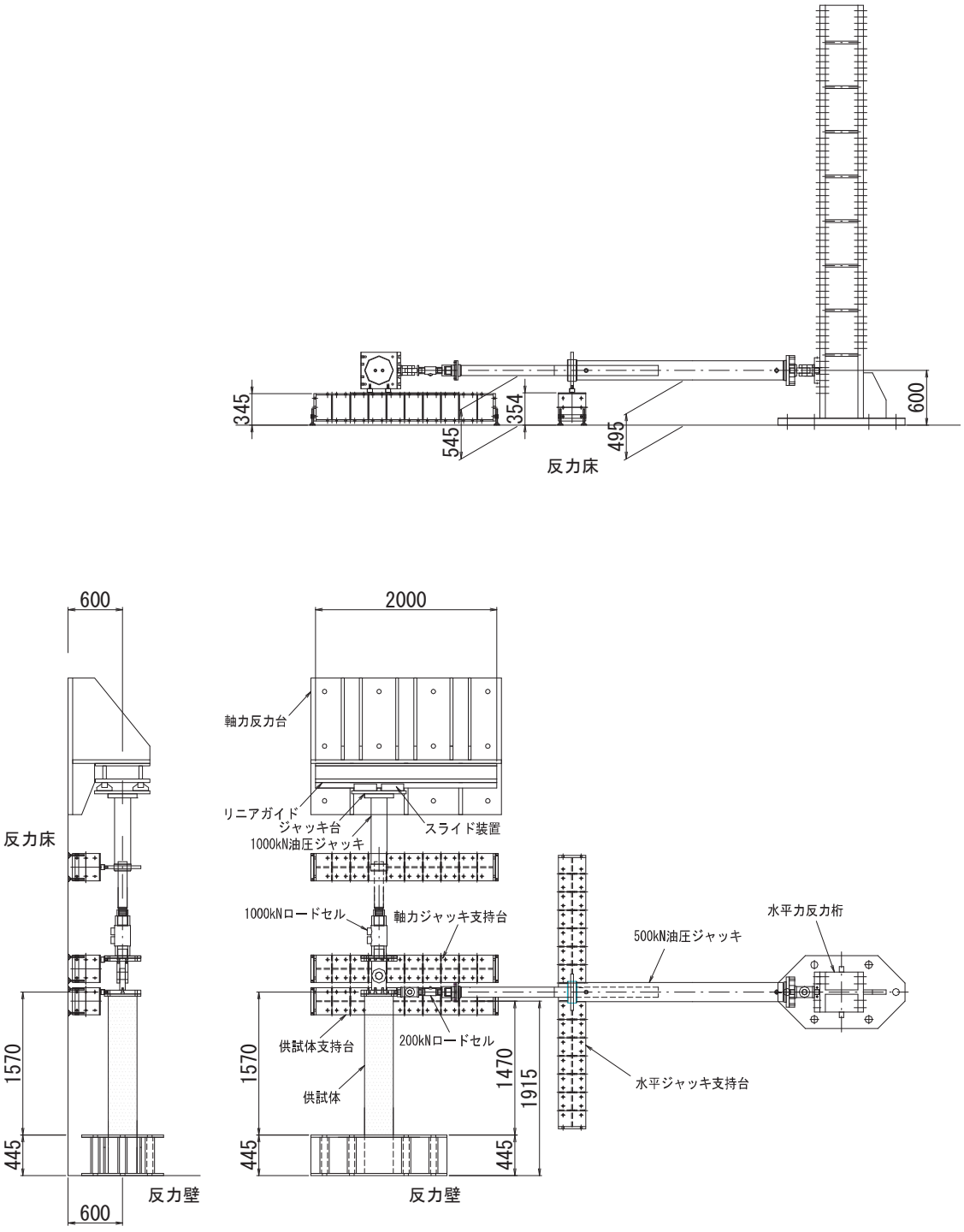
付図 1 (4)　供試体の形状・寸法（供試体 2-1）



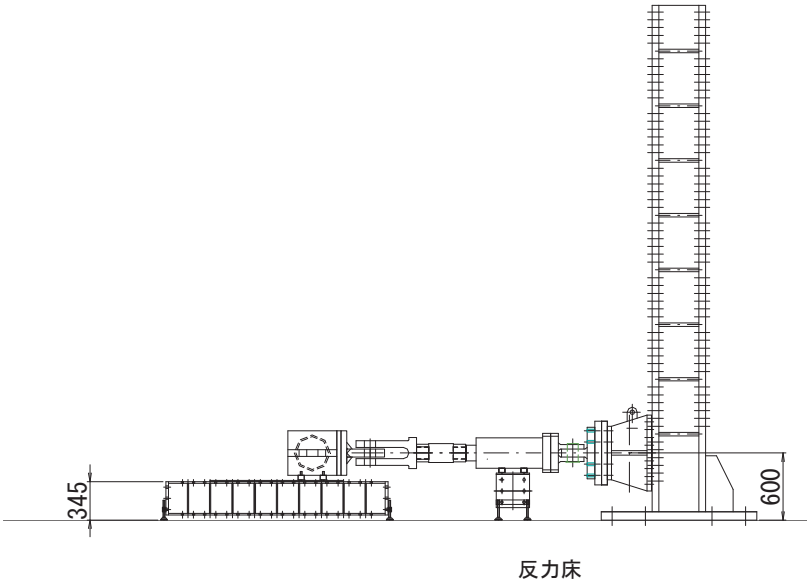
付図 1 (5)　供試体の形状・寸法（供試体 2-2）

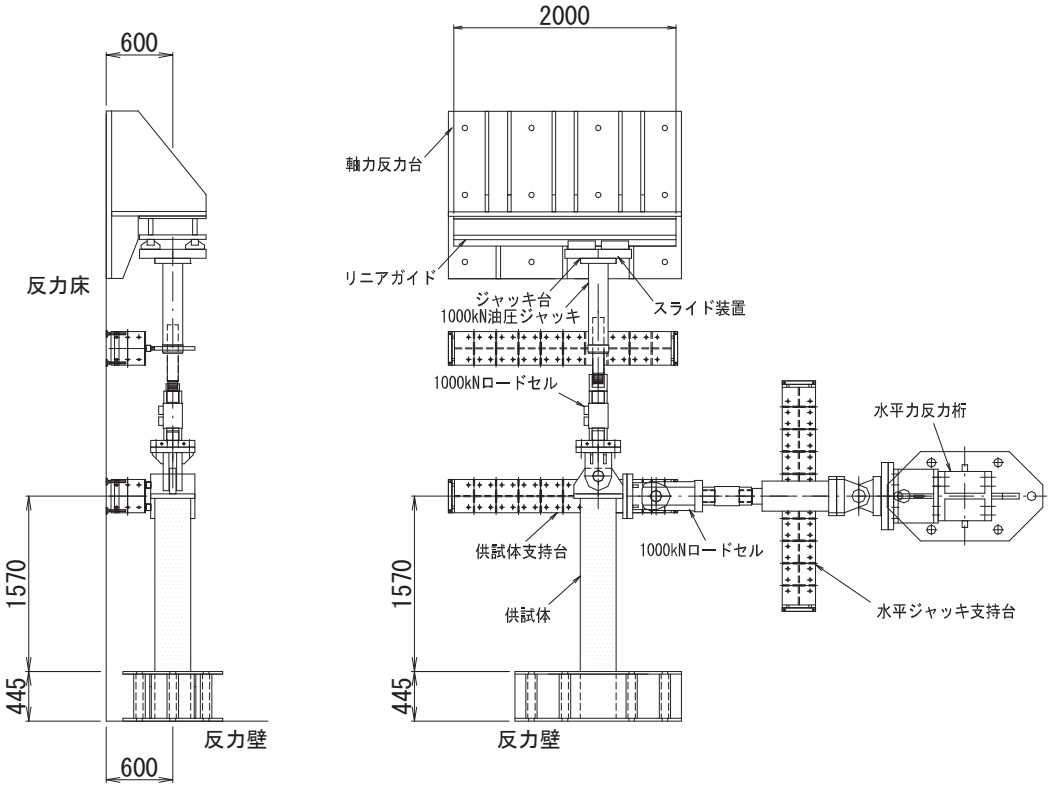


付図 1 (6)　供試体の形状・寸法（供試体 3-1）

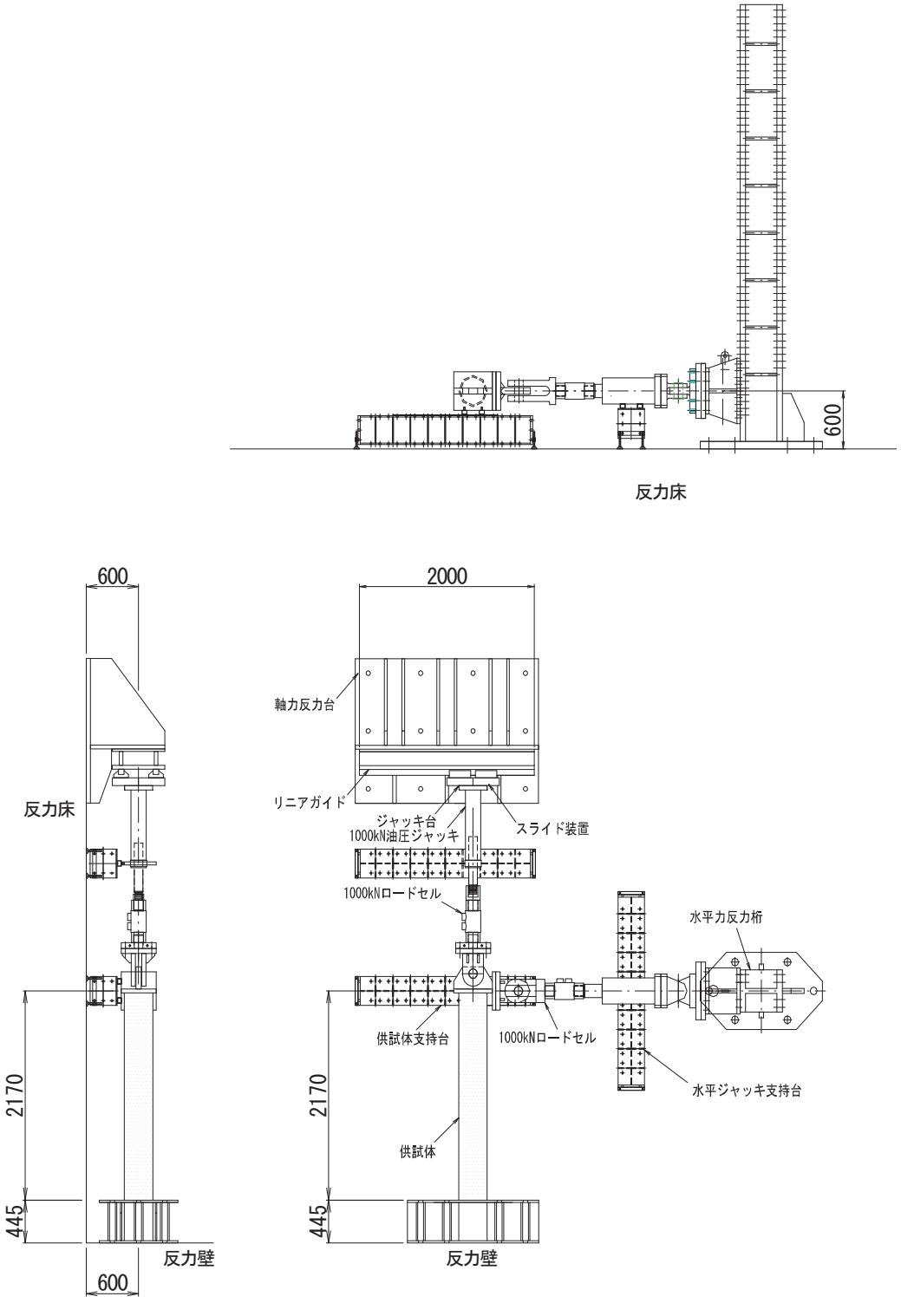


付図 2 (1)　実験装置図（供試体 1-1）

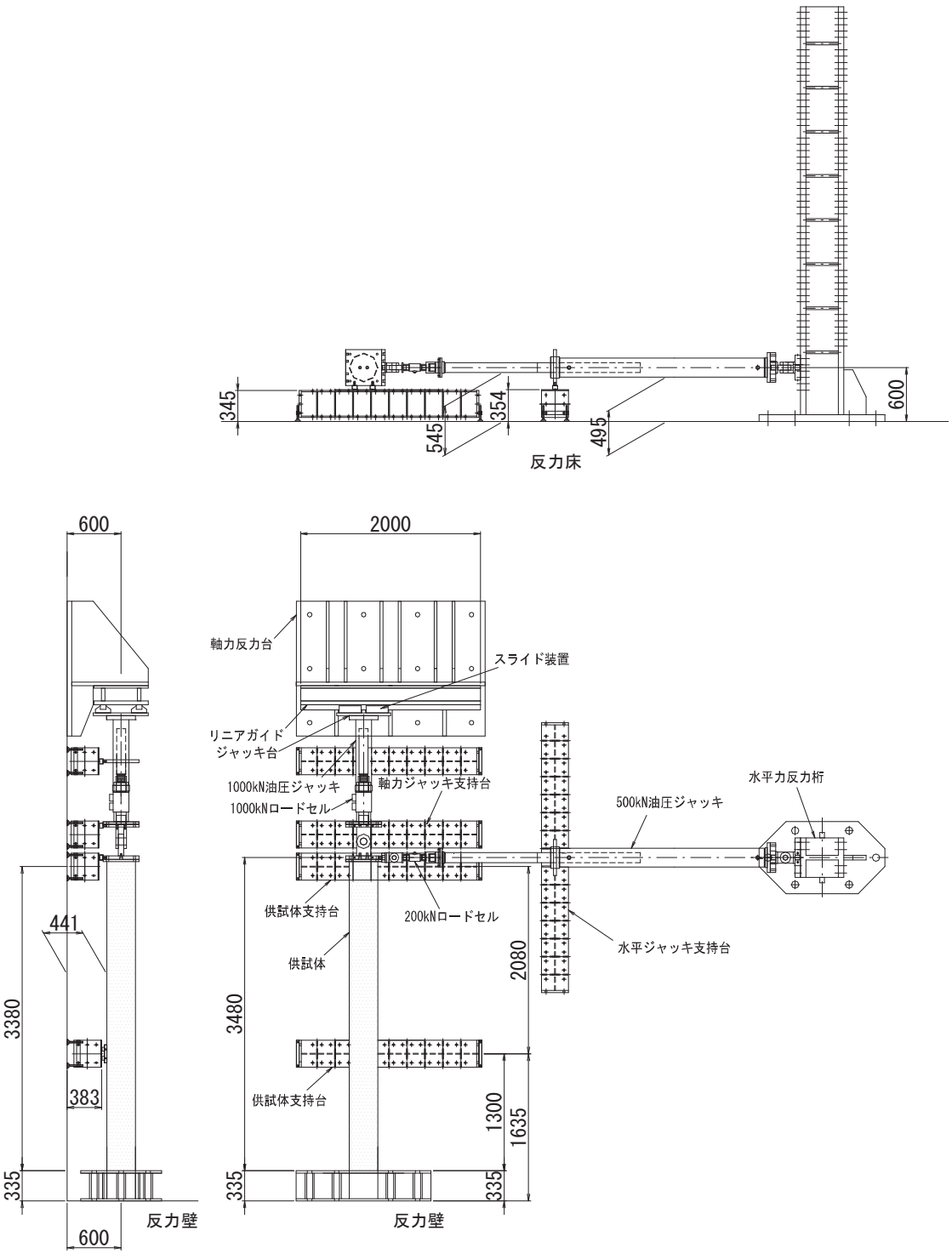




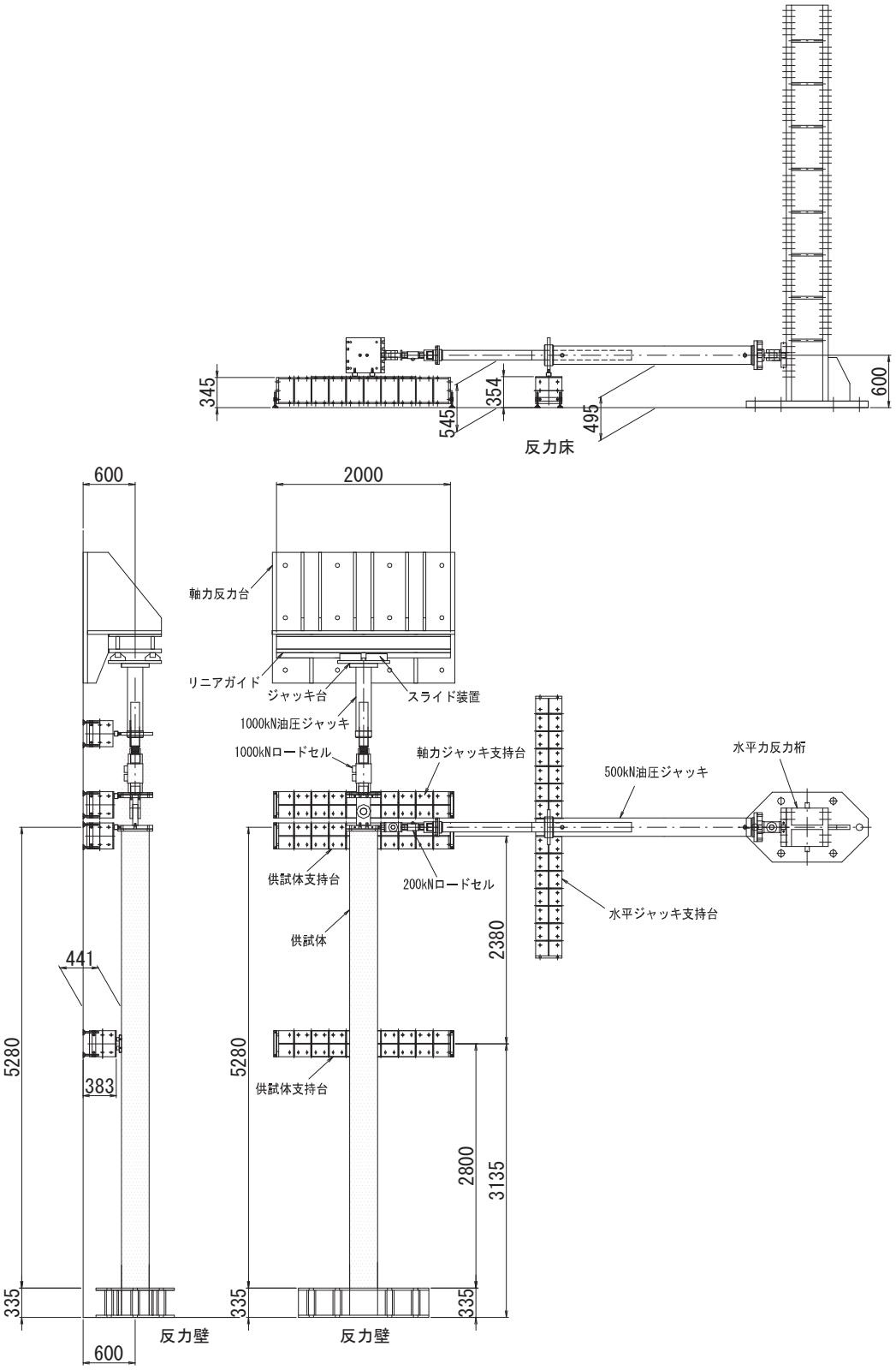
付図 2 (2)　実験装置図（供試体 1-2）



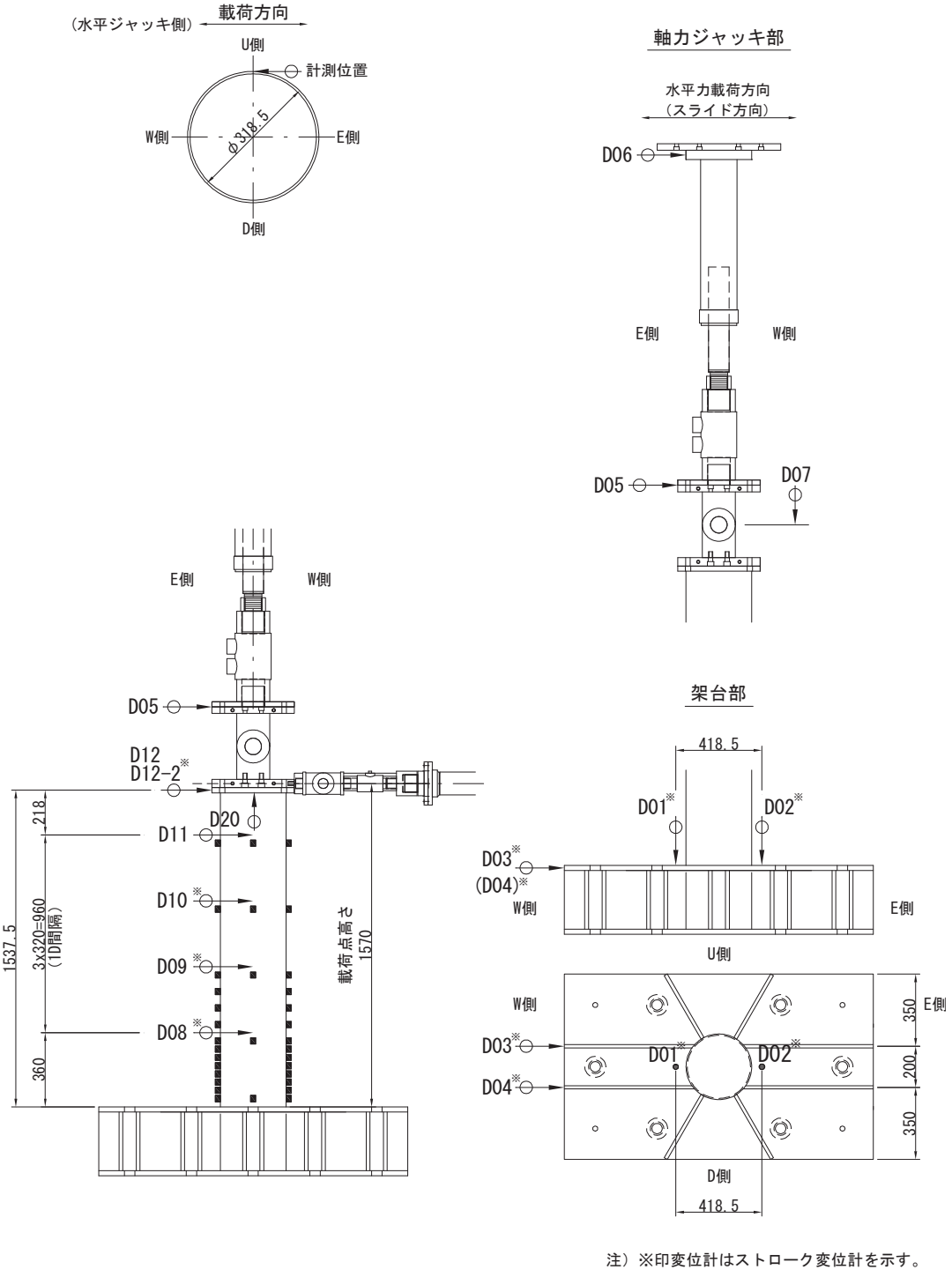
付図 2 (3)　実験装置図（供試体 1.5-2）



付図 2 (4)　実験装置図（供試体 2-1, 2-2）

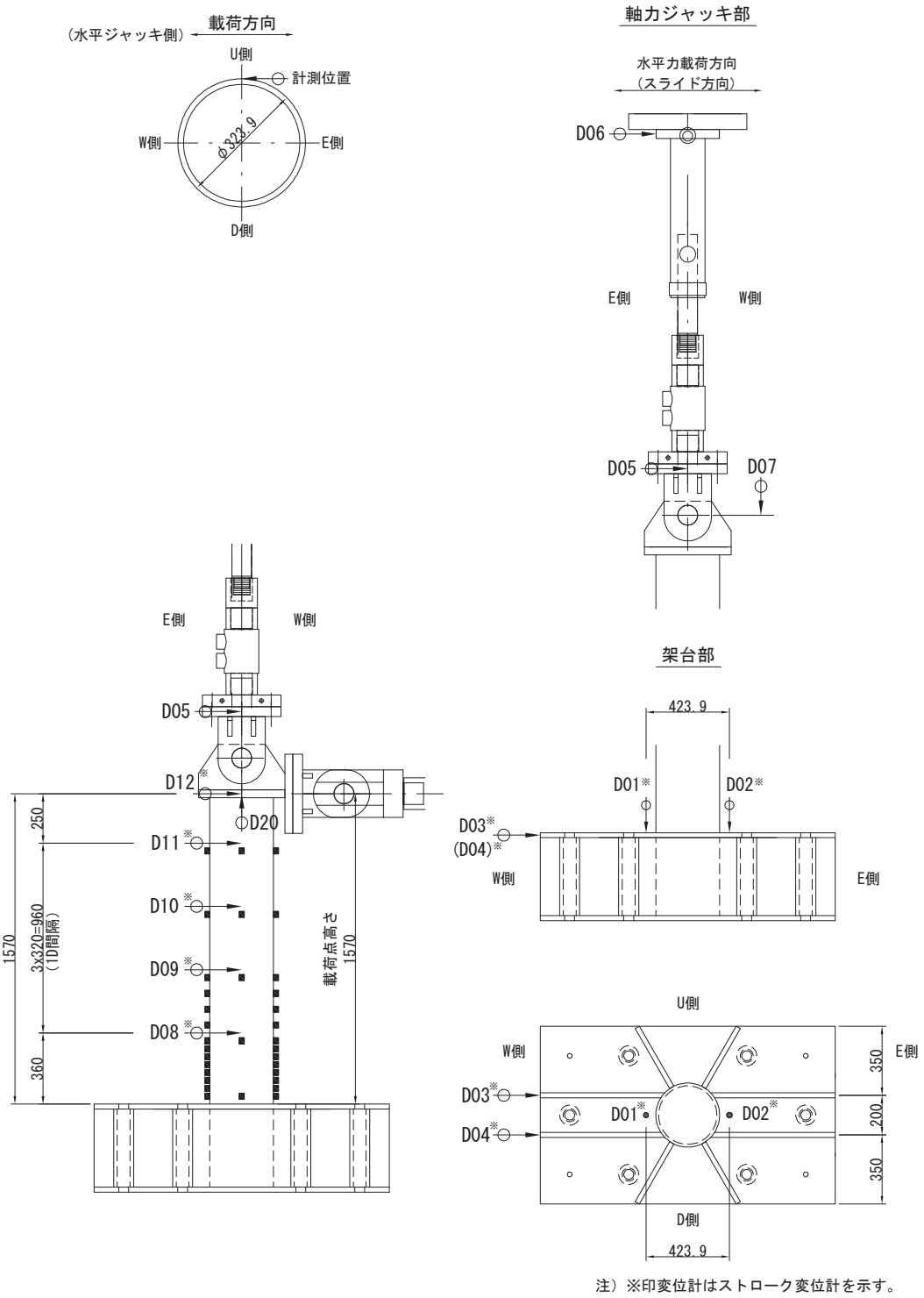


付図 2 (5)　実験装置図（供試体 3-1）



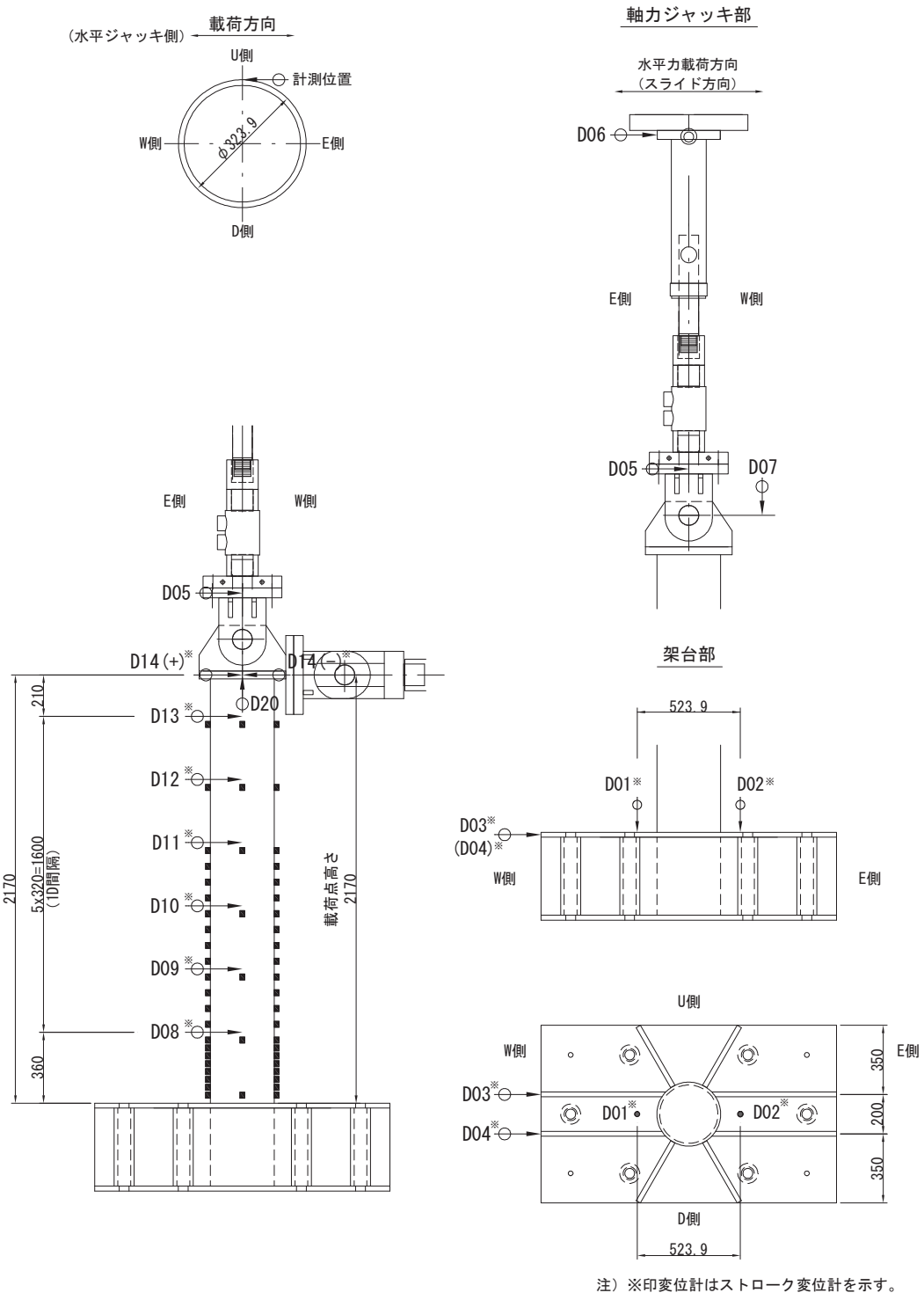
注）※印変位計はストローク変位計を示す。

付図 3 (1)　供試体の変位計取付け位置（供試体 1-1）

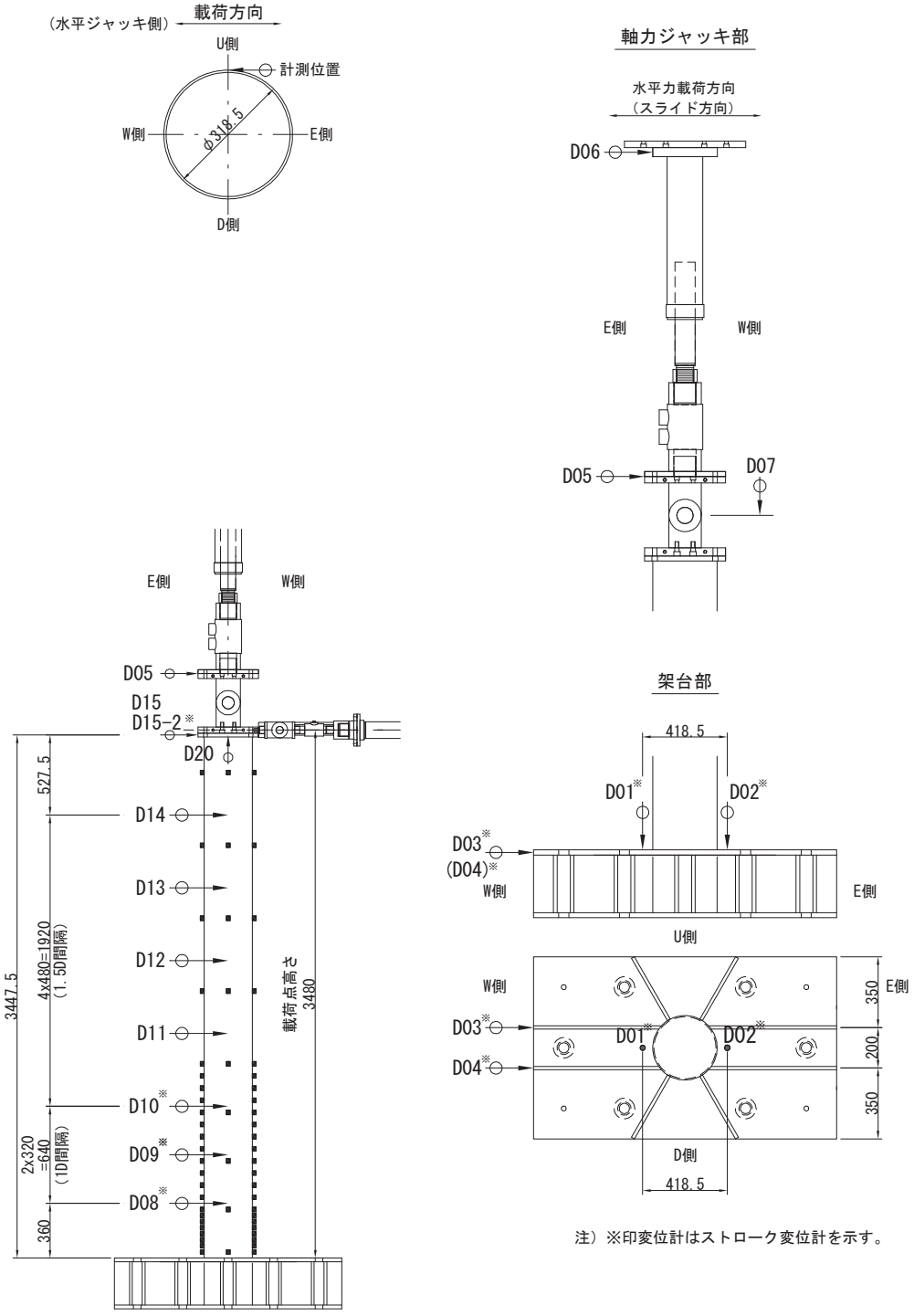


注）※印変位計はストローク変位計を示す。

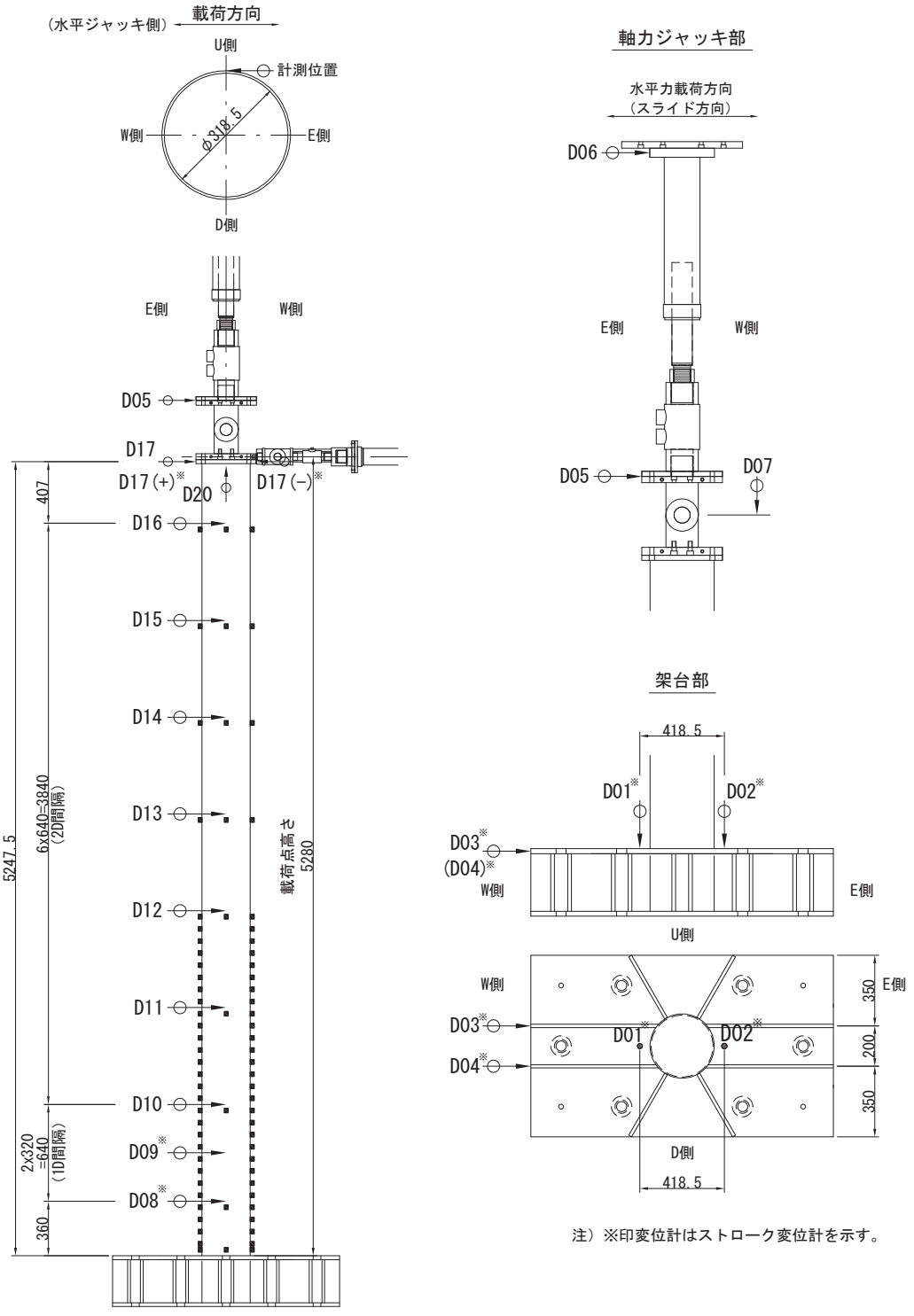
付図 3 (2)　供試体の変位計取付け位置（供試体 1-2）



付図 3 (3)　供試体の変位計取付け位置（供試体 1.5-2）

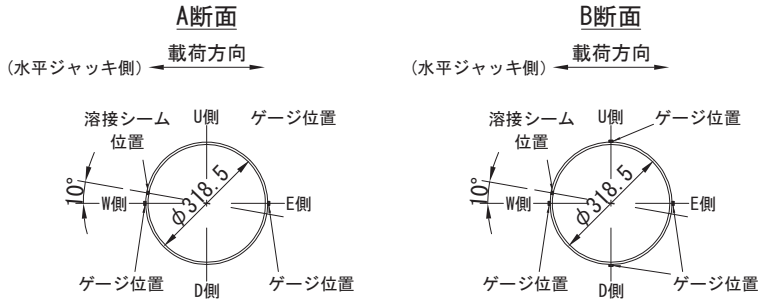


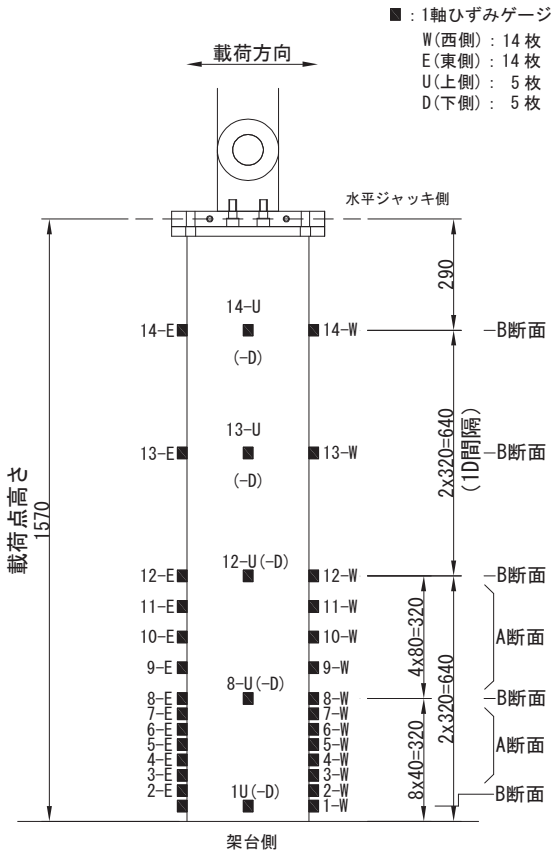
付図 3 (4)　供試体の変位計取付け位置（供試体 2-1,2-2）



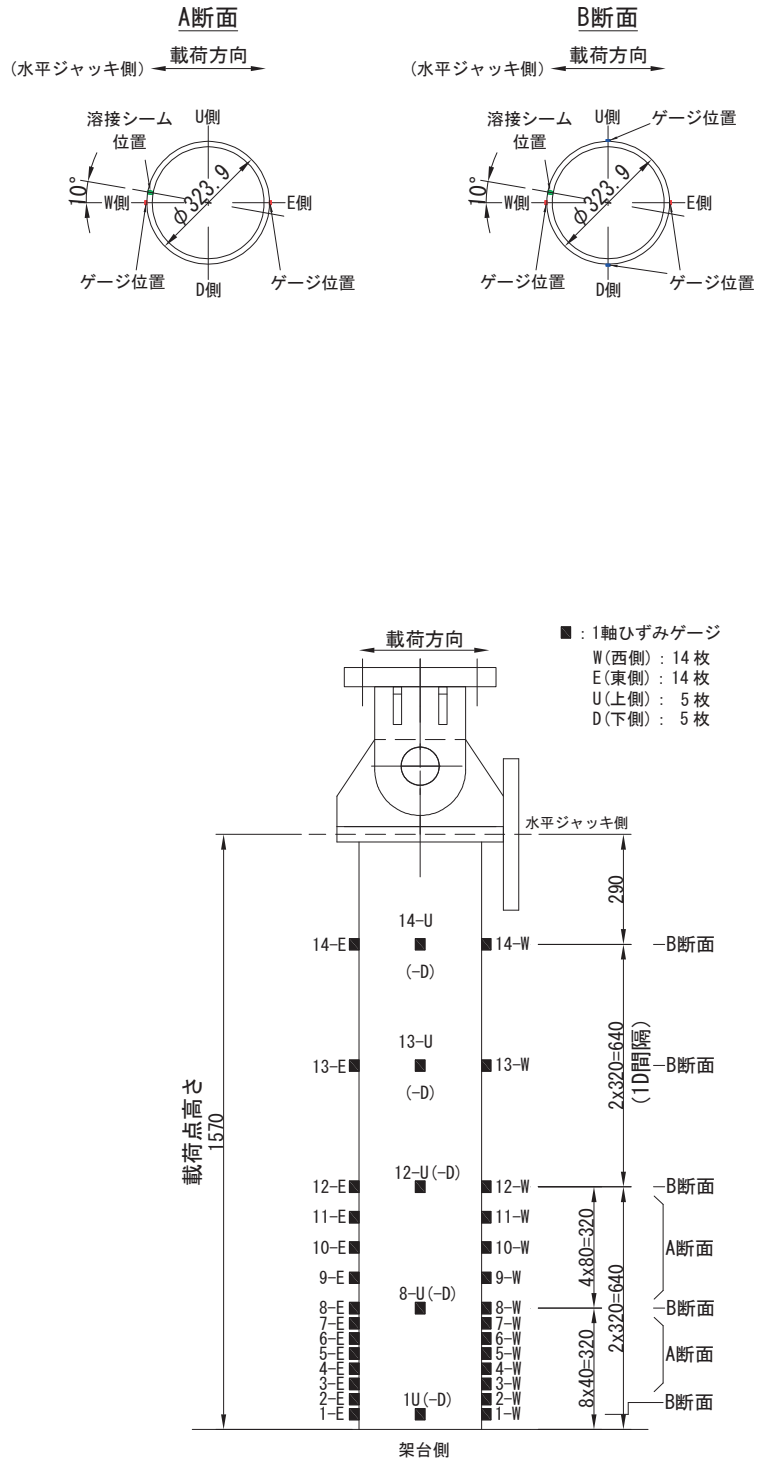
注）※印変位計はストローク変位計を示す。

付図 3 (5)　供試体の変位計取付け位置（供試体 3-1）

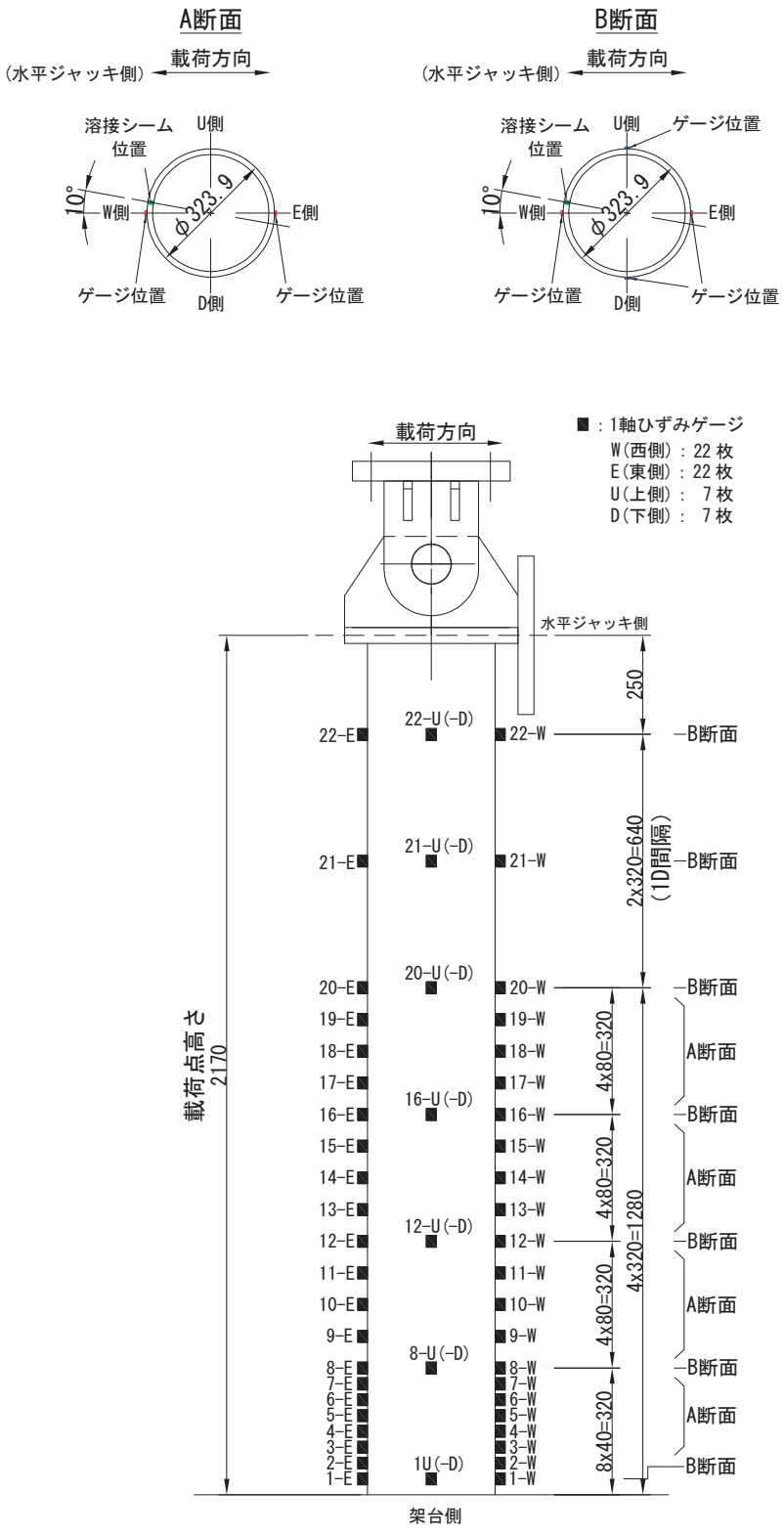




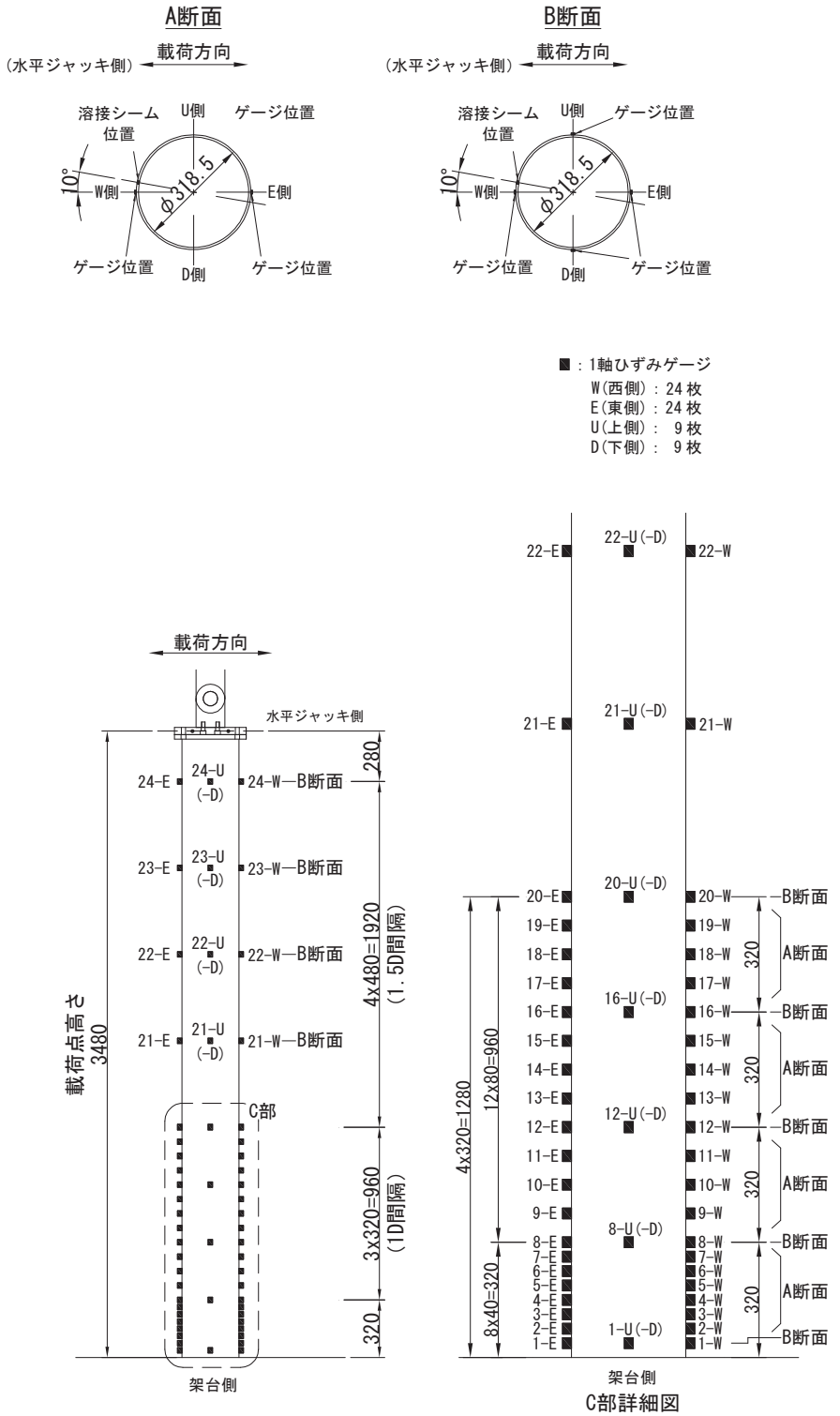
付図 4 (1)　供試体のひずみゲージ貼付位置（供試体 1-1）



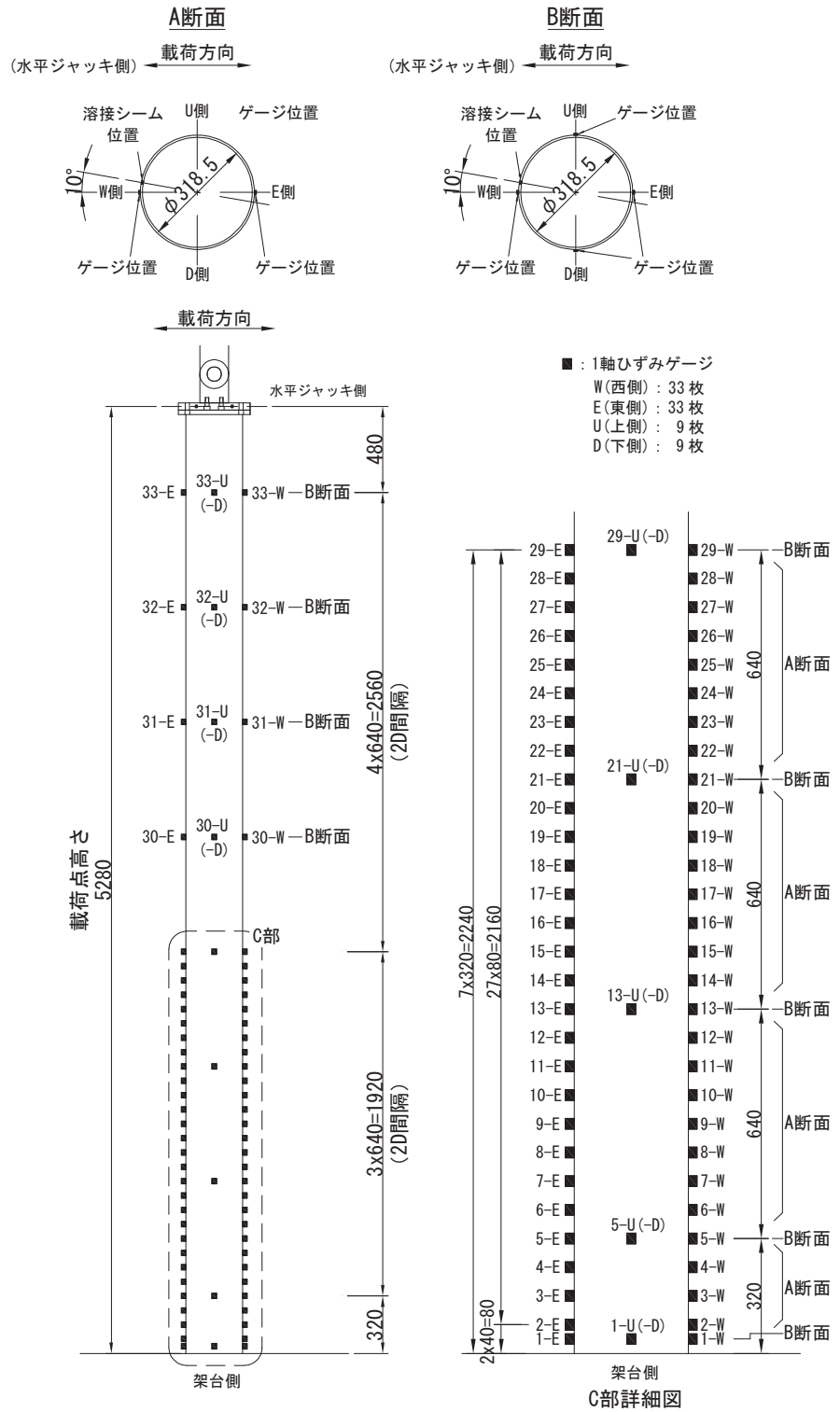
付図 4 (2)　供試体のひずみゲージ貼付位置（供試体 1-2）



付図 4 (3)　供試体のひずみゲージ貼付位置（供試体 1.5-2）

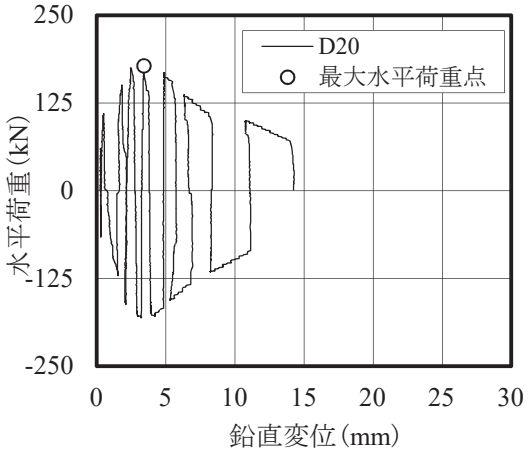


付図 4 (4)　供試体のひずみゲージ貼付位置（供試体 2-1, 2-2）

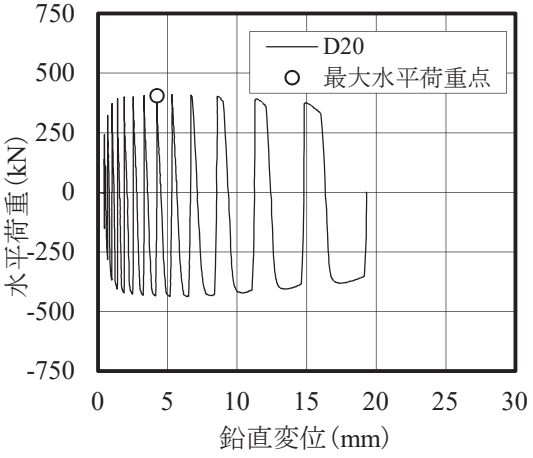


付図 4 (5)　供試体のひずみゲージ貼付位置（供試体 3-1）

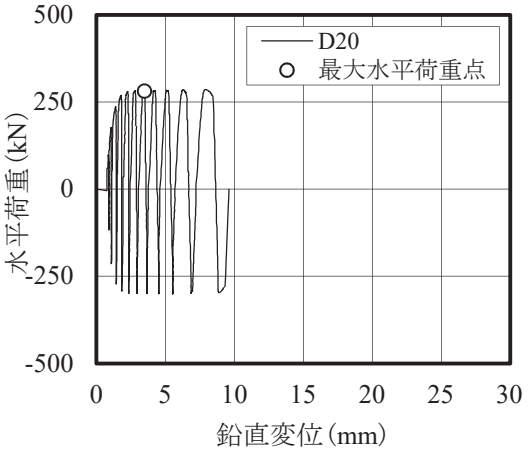
A2. 正負交番載荷実験　供試体の変位・ひずみデータ



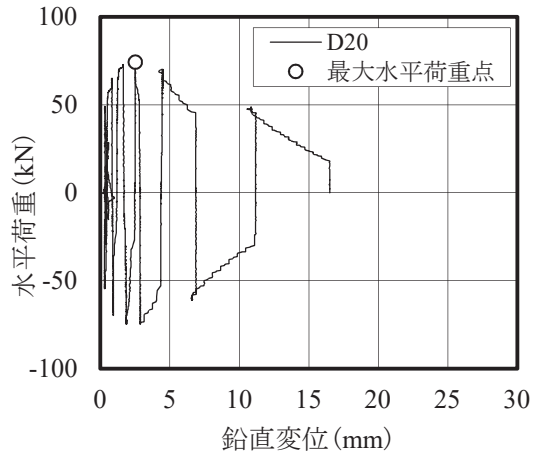
(a) 供試体 1-1



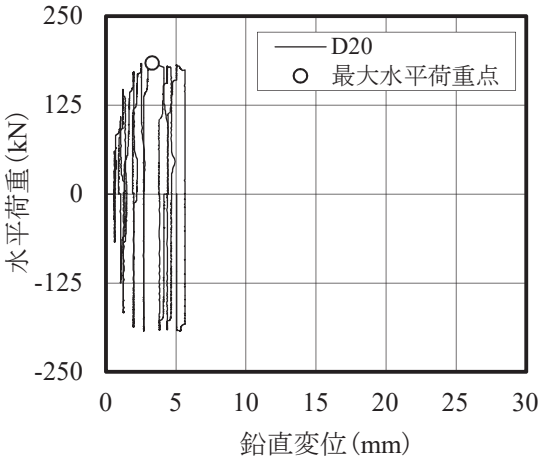
(b) 供試体 1-2



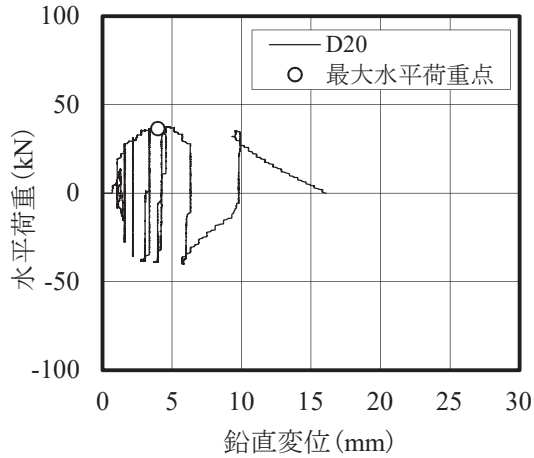
(c) 供試体 1.5-2



(d) 供試体 2-1

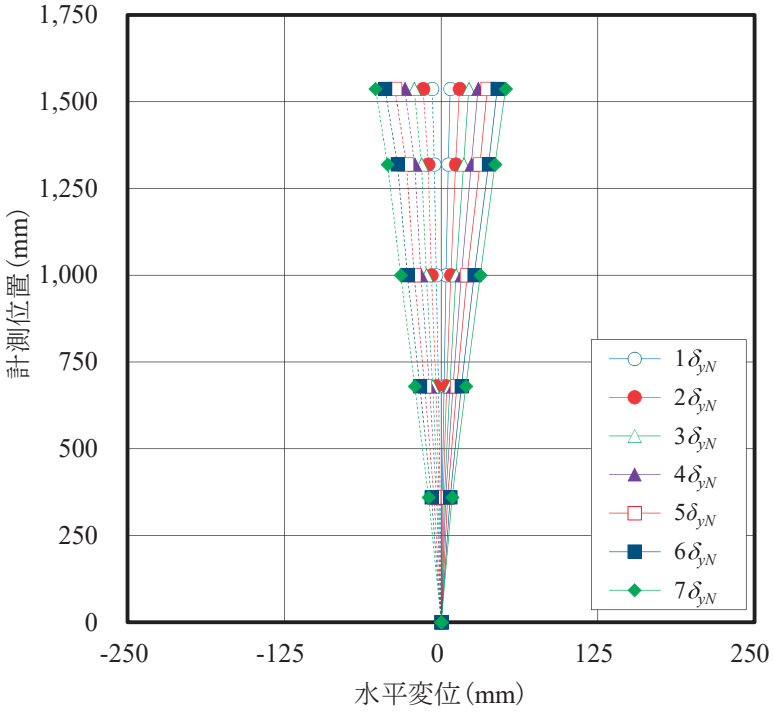


(e) 供試体 2-2

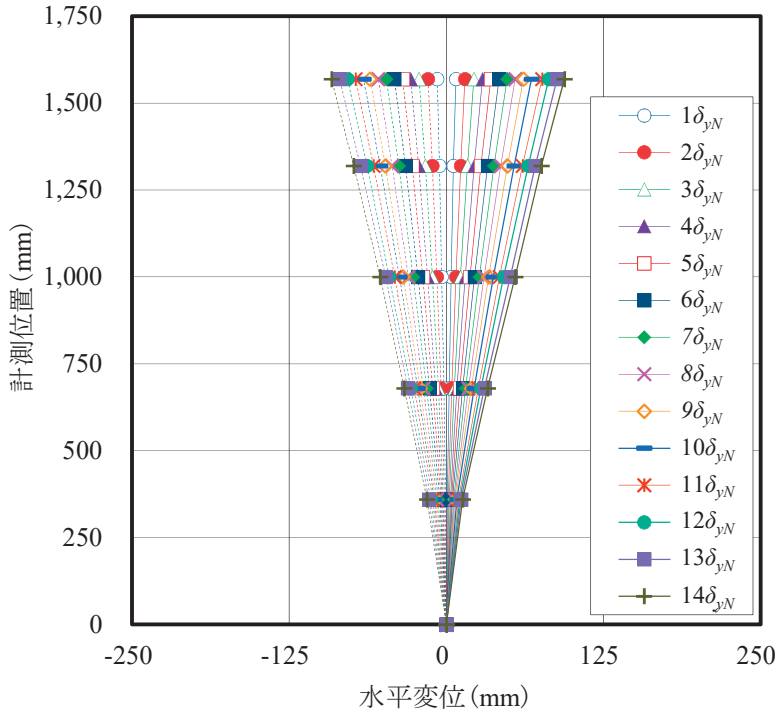


(f) 供試体 3-1

付図 5　水平荷重－鉛直変位関係

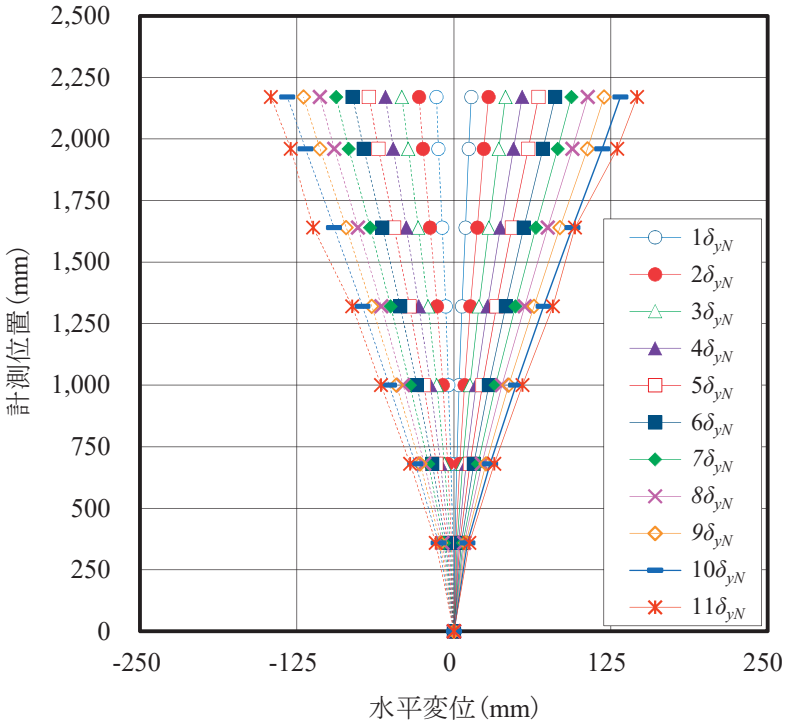


(a)供試体 1-1



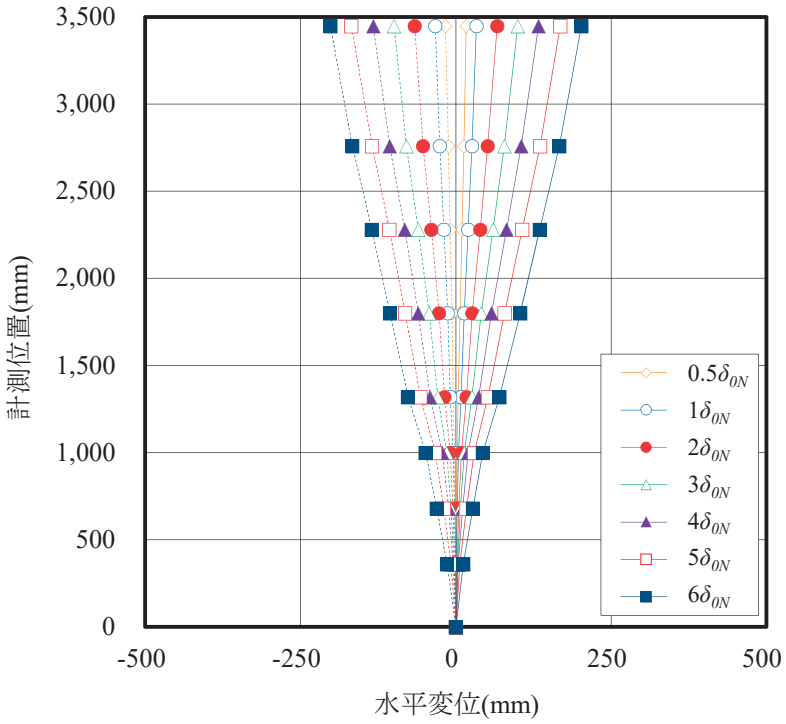
(b)供試体 1-2

付図 6　水平変位の柱軸方向分布

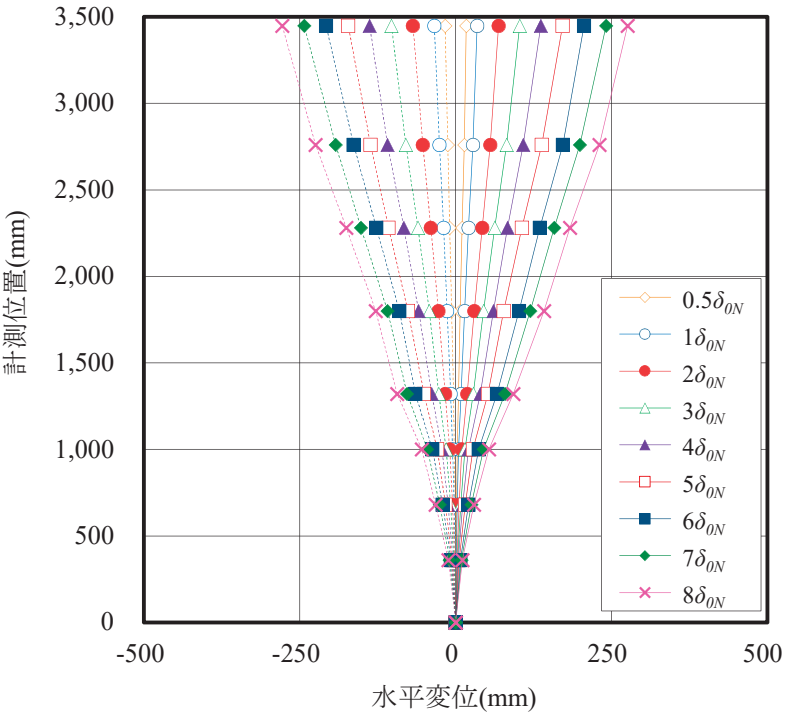


(c)供試体 1.5-2

付図 6　水平変位の柱軸方向分布（つづき）

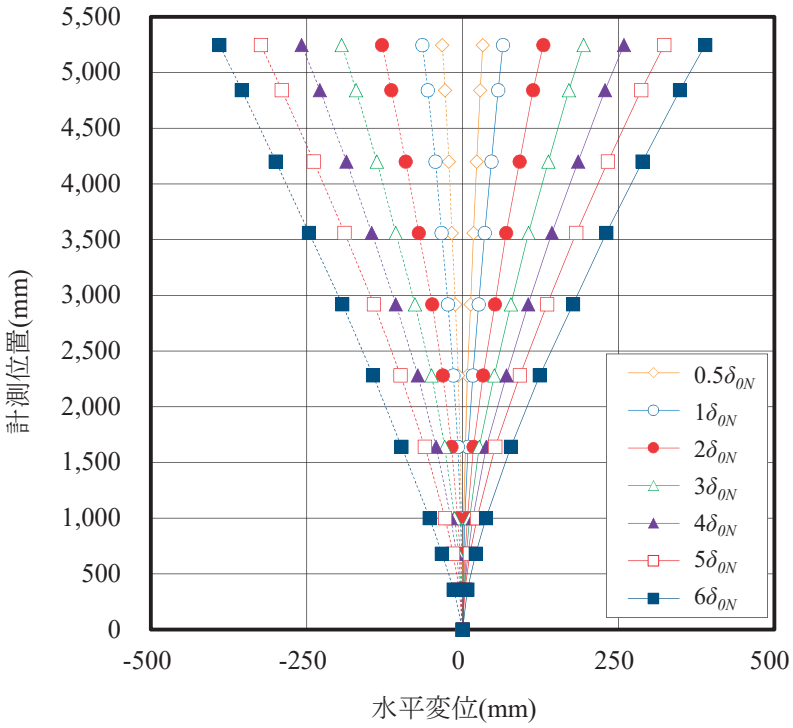


(d)供試体 2-1



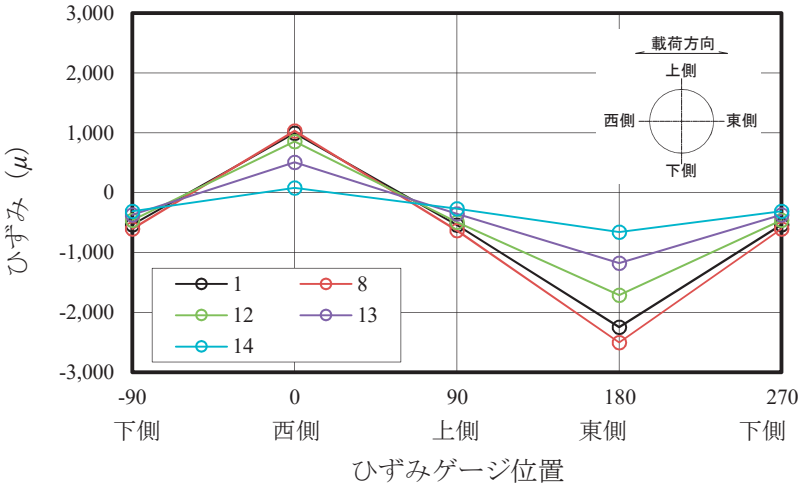
(e)供試体 2-2

付図 6　水平変位の柱軸方向分布（つづき）

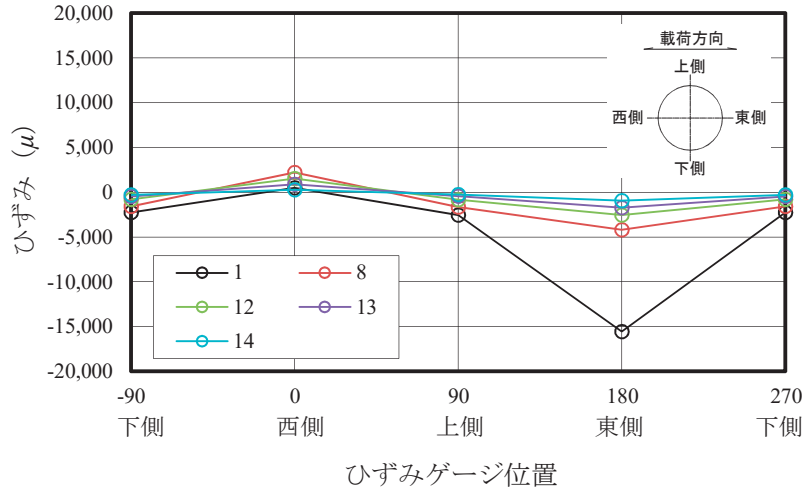


(f)供試体 3-1

付図 6　水平変位の柱軸方向分布（つづき）

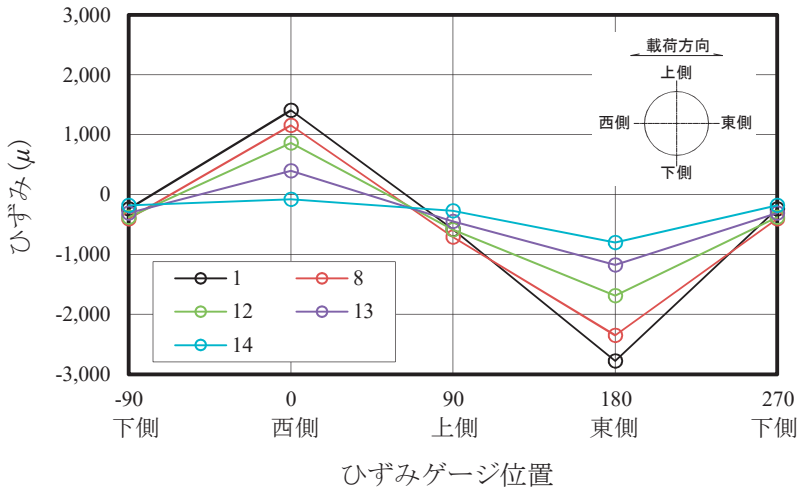


(a)P_{yM} 時

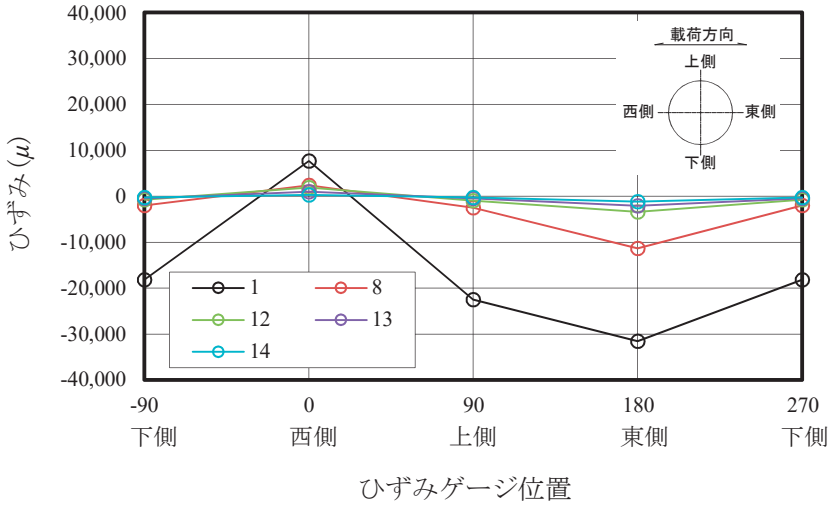


(b)P_{max} 時

付図 7 (1) ひずみ分布(供試体 1-1)

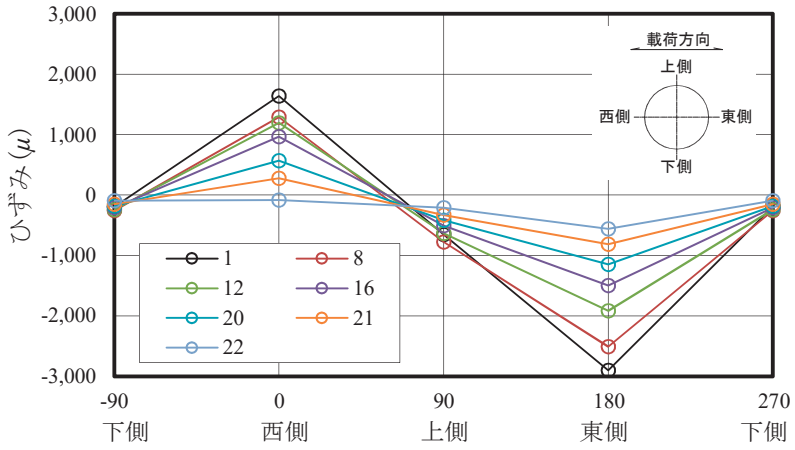


(a)P_{yM} 時

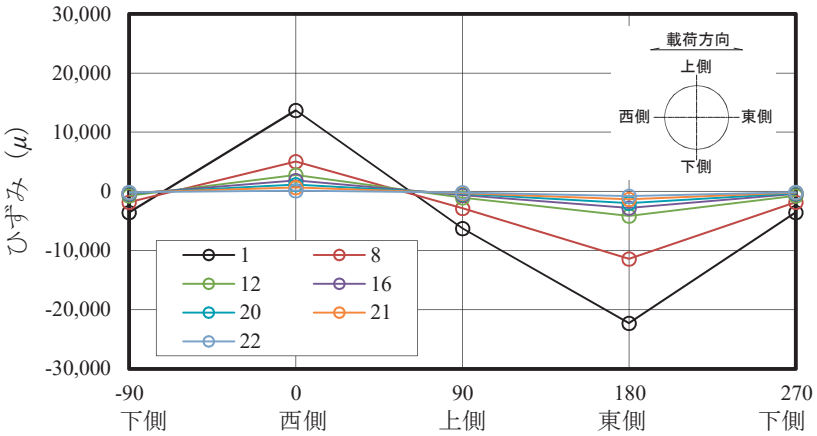


(b)P_{max} 時

付図 7 (2) ひずみ分布(供試体 1-2)

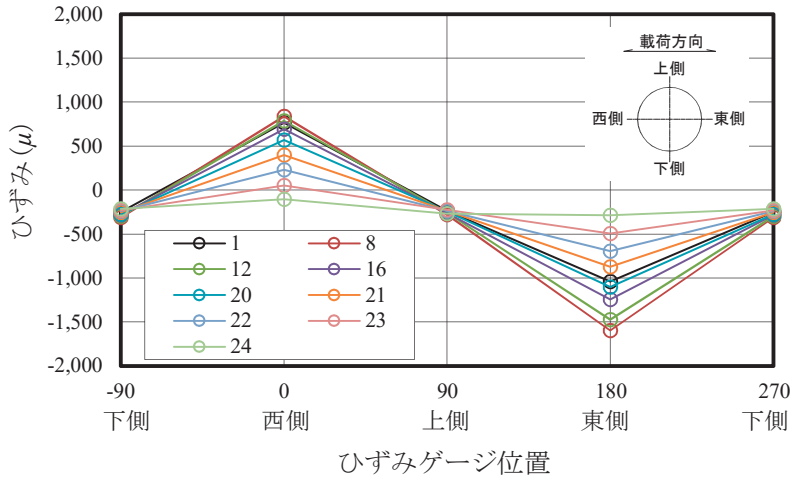


(a)P_{yM} 時

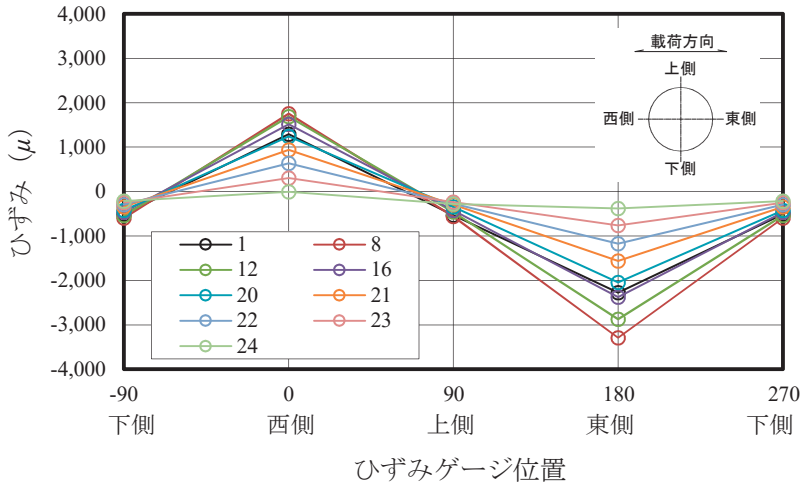


(b)P_{max} 時

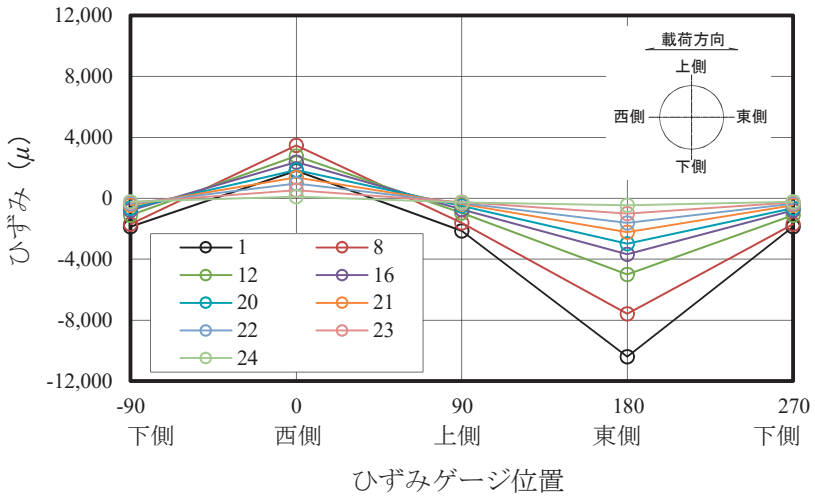
付図 7 (3) ひずみ分布(供試体 1.5-2)



(a)P_{0N} 時

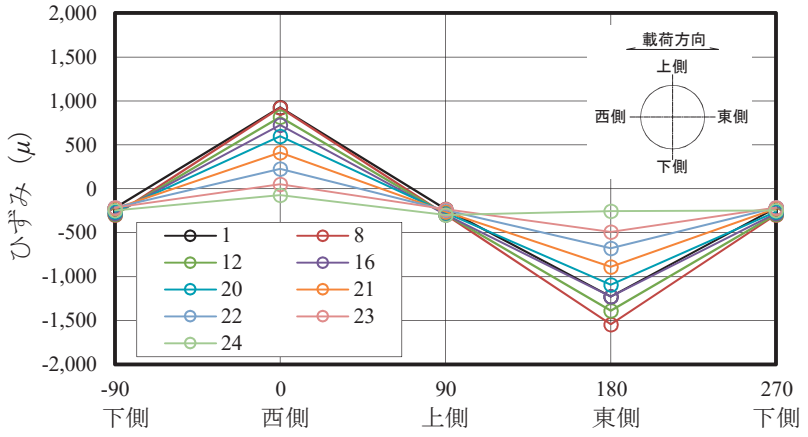


(b)P_{yM} 時

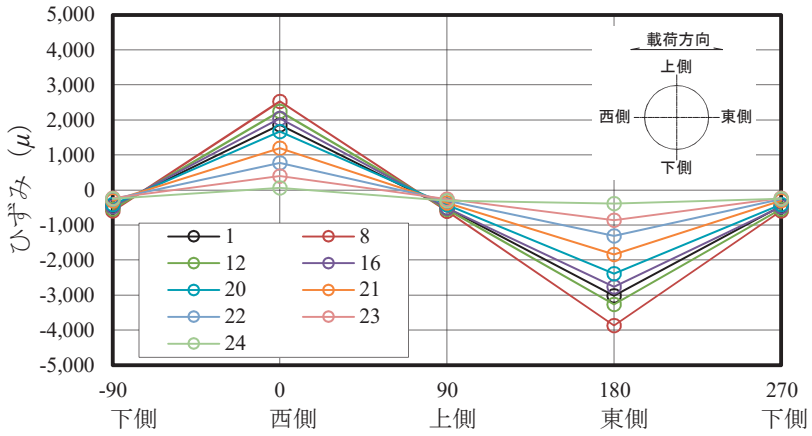


(c)P_{max} 時

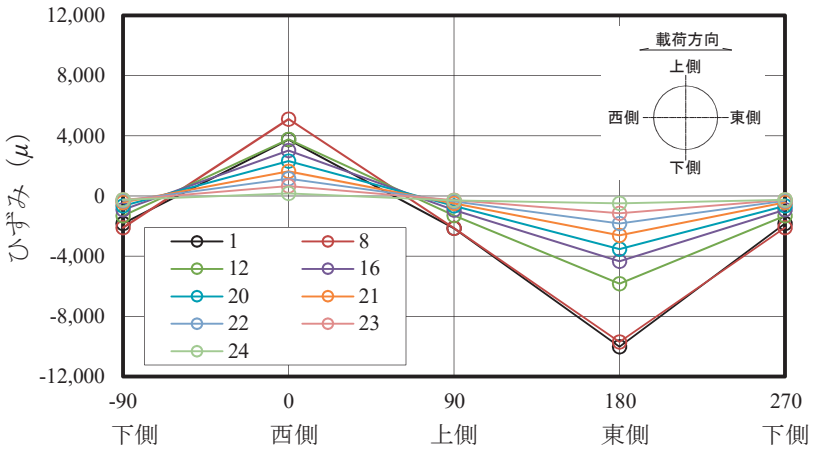
付図 7 (4) ひずみ分布(供試体 2-1)



(a)P_{0N} 時

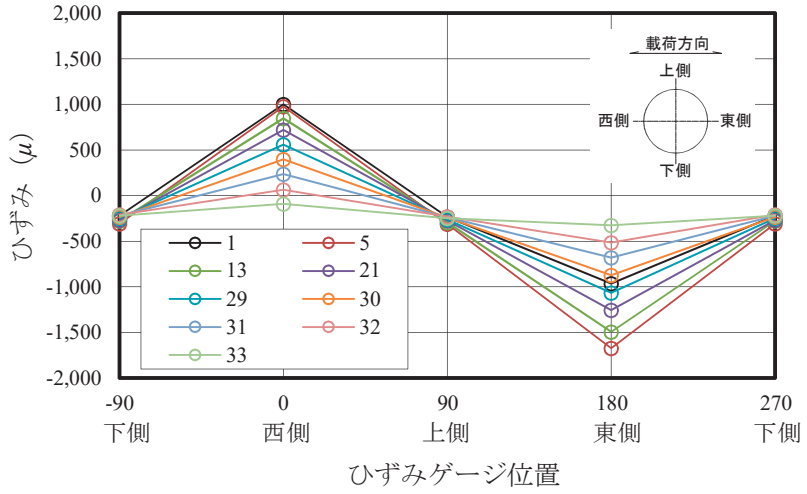


(b)P_{yM} 時

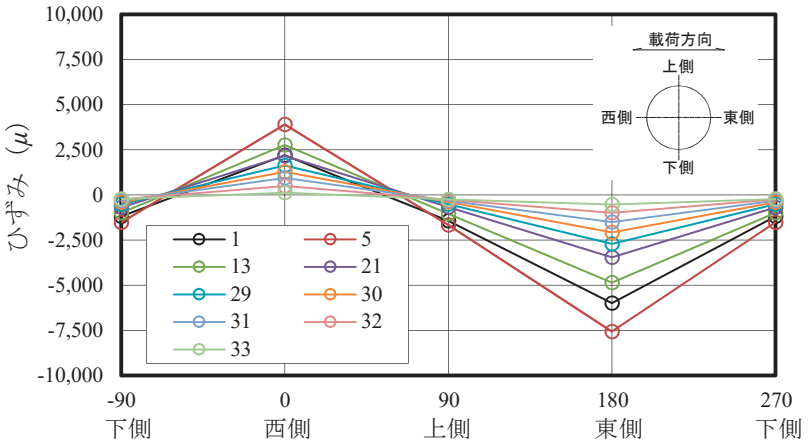


(c)P_{max} 時

付図 7 (5) ひずみ分布(供試体 2-2)



(a)P_{yM}時



(b)P_{max}時

付図 7 (6) ひずみ分布(供試体 3-1)

A3. 正負交番載荷実験　包絡線のデジタルデータ

付表 1(1)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-1）

1-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
START	39	2015/1/7 13:47	-0.39	371.27	-0.12	-0.01	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
	40	2015/1/7 13:48	-0.59	371.27	-0.13	-0.01	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
	41	2015/1/7 13:48	-0.59	371.27	-0.13	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
	42	2015/1/7 13:49	-0.20	370.78	-0.13	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
	43	2015/1/7 13:49	-0.20	370.78	-0.12	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
	44	2015/1/7 13:50	0.30	370.78	-0.09	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	45	2015/1/7 13:50	0.69	370.78	-0.07	0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	46	2015/1/7 13:50	1.09	370.78	-0.05	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00
	47	2015/1/7 13:50	1.88	370.78	-0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	48	2015/1/7 13:50	2.07	370.78	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	49	2015/1/7 13:50	2.57	370.29	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
	50	2015/1/7 13:50	3.16	370.29	0.08	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
	51	2015/1/7 13:50	3.45	370.29	0.12	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
	52	2015/1/7 13:50	4.05	370.29	0.13	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
	53	2015/1/7 13:50	4.34	370.29	0.16	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
	54	2015/1/7 13:50	4.54	370.29	0.19	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
	55	2015/1/7 13:50	4.94	370.29	0.21	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01
	56	2015/1/7 13:50	5.23	370.29	0.23	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	57	2015/1/7 13:50	5.43	370.29	0.26	0.07	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
	58	2015/1/7 13:50	5.53	369.80	0.26	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	59	2015/1/7 13:50	5.72	370.29	0.28	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
	60	2015/1/7 13:50	5.92	369.80	0.30	0.08	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
	61	2015/1/7 13:50	6.12	369.80	0.30	0.08	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
	62	2015/1/7 13:50	6.22	369.80	0.32	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
	63	2015/1/7 13:50	6.32	369.80	0.33	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
	64	2015/1/7 13:50	6.42	369.80	0.34	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
	65	2015/1/7 13:50	6.61	369.80	0.34	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
	66	2015/1/7 13:50	6.61	369.80	0.36	0.09	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03
	67	2015/1/7 13:50	6.71	369.80	0.37	0.09	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03
	68	2015/1/7 13:50	6.81	369.80	0.37	0.09	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03
	69	2015/1/7 13:50	6.91	369.80	0.39	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03
	70	2015/1/7 13:50	7.01	369.31	0.39	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03
	71	2015/1/7 13:50	7.11	369.80	0.39	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03
	72	2015/1/7 13:50	7.21	369.31	0.40	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03
	73	2015/1/7 13:51	7.30	369.31	0.41	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03
	74	2015/1/7 13:51	7.30	369.31	0.42	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03
	75	2015/1/7 13:51	7.50	369.80	0.43	0.10	0.06	0.07	0.05	0.04	0.03
	76	2015/1/7 13:51	7.70	369.31	0.45	0.11	0.06	0.07	0.05	0.04	0.03
	77	2015/1/7 13:51	7.80	369.31	0.46	0.11	0.06	0.07	0.05	0.04	0.03
	78	2015/1/7 13:51	7.90	369.31	0.47	0.11	0.06	0.07	0.06	0.04	0.03
	79	2015/1/7 13:51	7.99	369.31	0.48	0.11	0.07	0.07	0.06	0.04	0.03
	80	2015/1/7 13:51	8.09	371.27	0.48	0.11	0.07	0.07	0.06	0.04	0.03
	81	2015/1/7 13:51	8.09	371.27	0.48	0.11	0.07	0.07	0.06	0.04	0.03
	82	2015/1/7 13:51	8.29	371.27	0.50	0.11	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04
	83	2015/1/7 13:51	8.39	371.27	0.51	0.12	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04
	84	2015/1/7 13:51	8.39	371.27	0.51	0.12	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04
	85	2015/1/7 13:52	8.49	370.78	0.53	0.12	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04
	86	2015/1/7 13:52	8.69	371.27	0.54	0.12	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04
	87	2015/1/7 13:52	8.78	370.78	0.55	0.12	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04
	88	2015/1/7 13:52	8.88	371.27	0.56	0.12	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04
	89	2015/1/7 13:52	8.98	370.78	0.57	0.12	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04
	90	2015/1/7 13:52	9.08	370.78	0.56	0.13	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04
	91	2015/1/7 13:52	9.28	371.27	0.58	0.13	0.08	0.09	0.07	0.05	0.04
	92	2015/1/7 13:52	9.38	370.78	0.61	0.13	0.08	0.09	0.07	0.06	0.04
	93	2015/1/7 13:52	9.48	371.27	0.61	0.13	0.08	0.09	0.07	0.06	0.04
	94	2015/1/7 13:52	9.67	370.78	0.62	0.13	0.08	0.10	0.07	0.06	0.04
	95	2015/1/7 13:52	9.77	370.78	0.63	0.13	0.08	0.10	0.07	0.06	0.04
	96	2015/1/7 13:52	9.87	370.78	0.63	0.14	0.08	0.10	0.07	0.06	0.04
	97	2015/1/7 13:52	10.07	370.78	0.66	0.14	0.08	0.10	0.08	0.06	0.05
	98	2015/1/7 13:52	10.46	370.78	0.68	0.14	0.09	0.10	0.08	0.06	0.05
	99	2015/1/7 13:52	10.76	370.78	0.72	0.15	0.09	0.11	0.09	0.07	0.05
	100	2015/1/7 13:52	11.25	370.78	0.75	0.16	0.09	0.12	0.09	0.07	0.05
	101	2015/1/7 13:52	11.55	370.78	0.78	0.16	0.09	0.12	0.09	0.07	0.05
	102	2015/1/7 13:52	11.75	370.78	0.82	0.16	0.10	0.13	0.10	0.08	0.06
	103	2015/1/7 13:52	12.04	370.29	0.84	0.17	0.10	0.13	0.10	0.08	0.06
	104	2015/1/7 13:52	12.24	370.78	0.86	0.17	0.10	0.13	0.10	0.08	0.06
	105	2015/1/7 13:52	12.44	370.29	0.88	0.17	0.10	0.14	0.10	0.08	0.06
	106	2015/1/7 13:52	12.63	370.29	0.91	0.17	0.10	0.14	0.11	0.08	0.06
	107	2015/1/7 13:52	12.83	370.29	0.93	0.18	0.11	0.14	0.11	0.09	0.06
	108	2015/1/7 13:52	13.03	370.78	0.94	0.18	0.11	0.14	0.11	0.09	0.07
	109	2015/1/7 13:53	13.23	370.29	0.97	0.18	0.11	0.15	0.11	0.09	0.07
	110	2015/1/7 13:53	13.52	370.29	0.99	0.19	0.11	0.15	0.12	0.09	0.07
	111	2015/1/7 13:53	13.72	370.29	1.00	0.19	0.11	0.15	0.12	0.09	0.07

付表 1(1)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-1）（つづき）

1-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	123	2015/1/7 13:53	17.57	369.80	1.38	0.24	0.14	0.21	0.16	0.13	0.10
	124	2015/1/7 13:53	17.86	369.80	1.40	0.25	0.15	0.21	0.16	0.13	0.10
	125	2015/1/7 13:53	18.06	369.80	1.42	0.25	0.15	0.22	0.17	0.13	0.10
	126	2015/1/7 13:53	18.26	369.80	1.45	0.25	0.15	0.22	0.17	0.13	0.10
	127	2015/1/7 13:53	18.46	369.80	1.46	0.25	0.15	0.22	0.17	0.13	0.10
	128	2015/1/7 13:53	18.65	369.80	1.49	0.26	0.15	0.23	0.17	0.14	0.10
	129	2015/1/7 13:53	18.95	369.80	1.51	0.26	0.16	0.23	0.18	0.14	0.11
	130	2015/1/7 13:53	19.25	369.80	1.55	0.27	0.16	0.24	0.18	0.14	0.11
	131	2015/1/7 13:53	19.44	369.80	1.56	0.27	0.16	0.24	0.18	0.14	0.11
	132	2015/1/7 13:53	19.54	369.80	1.59	0.27	0.16	0.24	0.19	0.15	0.11
	133	2015/1/7 13:53	19.74	369.80	1.61	0.27	0.16	0.25	0.19	0.15	0.11
	134	2015/1/7 13:53	19.84	369.80	1.62	0.27	0.16	0.25	0.19	0.15	0.11
	135	2015/1/7 13:53	19.94	369.31	1.62	0.27	0.16	0.25	0.19	0.15	0.11
	136	2015/1/7 13:53	20.04	369.31	1.65	0.28	0.16	0.25	0.19	0.15	0.12
	137	2015/1/7 13:53	20.13	369.31	1.66	0.28	0.17	0.25	0.19	0.15	0.12
	138	2015/1/7 13:53	20.33	369.31	1.67	0.28	0.17	0.26	0.20	0.15	0.12
	139	2015/1/7 13:53	20.43	369.31	1.69	0.28	0.17	0.26	0.20	0.15	0.12
	140	2015/1/7 13:53	20.53	369.31	1.70	0.28	0.17	0.26	0.20	0.16	0.12
	141	2015/1/7 13:53	20.63	369.31	1.71	0.28	0.17	0.26	0.20	0.16	0.12
	142	2015/1/7 13:54	20.83	369.31	1.73	0.29	0.17	0.27	0.20	0.16	0.12
	143	2015/1/7 13:54	21.02	369.31	1.76	0.29	0.17	0.27	0.21	0.16	0.12
	144	2015/1/7 13:54	21.32	368.82	1.79	0.29	0.17	0.28	0.21	0.16	0.13
	145	2015/1/7 13:54	21.52	368.82	1.82	0.30	0.18	0.28	0.21	0.17	0.13
	146	2015/1/7 13:54	21.71	369.31	1.83	0.30	0.18	0.28	0.22	0.17	0.13
	147	2015/1/7 13:54	21.91	368.82	1.86	0.30	0.18	0.29	0.22	0.17	0.13
	148	2015/1/7 13:54	22.21	368.82	1.89	0.31	0.18	0.29	0.22	0.17	0.13
	149	2015/1/7 13:54	22.50	368.82	1.92	0.31	0.18	0.29	0.23	0.18	0.13
	150	2015/1/7 13:54	22.80	368.82	1.95	0.31	0.19	0.30	0.23	0.18	0.14
	151	2015/1/7 13:54	22.90	368.82	1.97	0.32	0.19	0.30	0.23	0.18	0.14
	152	2015/1/7 13:54	23.10	368.82	1.99	0.32	0.19	0.31	0.23	0.18	0.14
	153	2015/1/7 13:54	23.29	368.82	2.02	0.32	0.19	0.31	0.24	0.18	0.14
	154	2015/1/7 13:54	23.39	368.82	2.03	0.32	0.19	0.31	0.24	0.19	0.14
	155	2015/1/7 13:54	23.69	368.82	2.05	0.33	0.19	0.31	0.24	0.19	0.14
	156	2015/1/7 13:54	23.69	368.82	2.08	0.33	0.19	0.32	0.24	0.19	0.15
	157	2015/1/7 13:54	23.98	368.33	2.09	0.33	0.20	0.32	0.25	0.19	0.15
	158	2015/1/7 13:54	24.28	368.82	2.12	0.33	0.20	0.33	0.25	0.19	0.15
	159	2015/1/7 13:54	24.68	368.82	2.16	0.34	0.20	0.33	0.25	0.20	0.15
	160	2015/1/7 13:54	24.97	368.82	2.21	0.34	0.20	0.34	0.26	0.20	0.15
	161	2015/1/7 13:54	25.37	368.82	2.24	0.35	0.21	0.34	0.26	0.21	0.16
	162	2015/1/7 13:54	25.66	368.33	2.28	0.35	0.21	0.35	0.27	0.21	0.16
	163	2015/1/7 13:54	26.06	368.33	2.32	0.36	0.21	0.36	0.27	0.21	0.16
	164	2015/1/7 13:54	26.35	368.33	2.37	0.36	0.22	0.36	0.28	0.22	0.17
	165	2015/1/7 13:54	26.75	368.33	2.40	0.37	0.22	0.37	0.28	0.22	0.17
	166	2015/1/7 13:54	26.95	368.33	2.42	0.37	0.22	0.37	0.28	0.22	0.17
	167	2015/1/7 13:54	27.14	369.80	2.45	0.37	0.22	0.38	0.29	0.22	0.17
	168	2015/1/7 13:54	27.34	370.29	2.48	0.38	0.22	0.38	0.29	0.23	0.17
	169	2015/1/7 13:54	27.54	370.78	2.50	0.38	0.23	0.38	0.29	0.23	0.17
	170	2015/1/7 13:54	27.64	370.78	2.52	0.38	0.23	0.39	0.30	0.23	0.18
	171	2015/1/7 13:54	27.83	370.78	2.54	0.38	0.23	0.39	0.30	0.23	0.18
	172	2015/1/7 13:54	27.93	370.78	2.56	0.39	0.23	0.39	0.30	0.23	0.18
	173	2015/1/7 13:54	28.03	370.78	2.56	0.39	0.23	0.39	0.30	0.23	0.18
	174	2015/1/7 13:54	28.33	370.78	2.58	0.39	0.23	0.40	0.30	0.24	0.18
	175	2015/1/7 13:55	28.52	370.78	2.60	0.39	0.23	0.40	0.31	0.24	0.18
	176	2015/1/7 13:55	28.62	370.78	2.63	0.39	0.23	0.40	0.31	0.24	0.18
	177	2015/1/7 13:55	28.82	370.78	2.64	0.40	0.24	0.41	0.31	0.24	0.18
	178	2015/1/7 13:55	28.92	370.29	2.66	0.40	0.24	0.41	0.31	0.24	0.19
	179	2015/1/7 13:55	29.02	370.78	2.68	0.40	0.24	0.41	0.31	0.25	0.19
	180	2015/1/7 13:55	29.12	370.29	2.69	0.40	0.24	0.41	0.32	0.25	0.19
	181	2015/1/7 13:55	29.22	370.78	2.70	0.40	0.24	0.41	0.32	0.25	0.19
	182	2015/1/7 13:55	29.31	370.29	2.72	0.40	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	183	2015/1/7 13:55	29.41	370.29	2.73	0.41	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	184	2015/1/7 13:55	29.51	370.29	2.74	0.41	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	185	2015/1/7 13:55	29.51	370.29	2.74	0.41	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	186	2015/1/7 13:55	29.71	370.29	2.77	0.41	0.24	0.43	0.33	0.25	0.19
	187	2015/1/7 13:55	29.71	370.29	2.77	0.41	0.24	0.43	0.33	0.25	0.19
	188	2015/1/7 13:55	29.61	370.29	2.76	0.41	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	189	2015/1/7 13:56	29.12	369.80	2.75	0.40	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	190	2015/1/7 13:56	29.22	369.80	2.75	0.40	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	191	2015/1/7 13:56	29.31	369.80	2.76	0.40	0.24	0.42	0.32	0.25	0.19
	192	2015/1/7 13:56	29.51	369.80	2.77	0.41	0.24	0.43	0.33	0.25	0.19
	193	2015/1/7 13:56	29.71	369.80	2.79	0.41	0.24	0.43	0.33	0.26	0.20
	194	2015/1/7 13:56	29.91	369.80	2.81	0.41	0.25	0.43	0.33	0.26	0.20
	195	2015/1/7 13:56	30.20	369.80	2.83	0.42	0.25	0.44	0.33	0.26	0.20

付表 1(1)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-1）（つづき）

1-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	207	2015/1/7 13:56	34.25	369.80	3.27	0.47	0.28	0.50	0.38	0.30	0.23
	208	2015/1/7 13:56	34.55	369.31	3.30	0.48	0.28	0.51	0.39	0.30	0.23
	209	2015/1/7 13:56	34.84	369.31	3.33	0.48	0.29	0.51	0.39	0.31	0.23
	210	2015/1/7 13:56	35.14	369.31	3.37	0.48	0.29	0.52	0.40	0.31	0.24
	211	2015/1/7 13:56	35.43	369.31	3.40	0.49	0.29	0.52	0.40	0.31	0.24
	212	2015/1/7 13:57	35.73	369.31	3.44	0.49	0.29	0.53	0.40	0.32	0.24
	213	2015/1/7 13:57	36.12	369.31	3.47	0.50	0.30	0.53	0.41	0.32	0.24
	214	2015/1/7 13:57	36.52	369.31	3.52	0.50	0.30	0.54	0.41	0.32	0.25
	215	2015/1/7 13:57	36.82	369.31	3.56	0.51	0.30	0.55	0.42	0.33	0.25
	216	2015/1/7 13:57	37.11	369.31	3.60	0.51	0.30	0.55	0.42	0.33	0.25
	217	2015/1/7 13:57	37.51	368.82	3.64	0.52	0.31	0.56	0.43	0.33	0.25
	218	2015/1/7 13:57	38.00	368.82	3.71	0.52	0.31	0.57	0.44	0.34	0.26
	219	2015/1/7 13:57	38.39	368.82	3.75	0.53	0.31	0.58	0.44	0.34	0.26
	220	2015/1/7 13:57	38.79	368.82	3.80	0.54	0.32	0.58	0.45	0.35	0.27
	221	2015/1/7 13:57	39.18	368.82	3.85	0.54	0.32	0.59	0.45	0.35	0.27
	222	2015/1/7 13:57	39.48	368.82	3.88	0.54	0.32	0.60	0.46	0.36	0.27
	223	2015/1/7 13:57	39.78	368.82	3.92	0.55	0.33	0.60	0.46	0.36	0.27
	224	2015/1/7 13:57	40.07	368.82	3.94	0.55	0.33	0.61	0.46	0.36	0.28
	225	2015/1/7 13:57	40.27	368.82	3.98	0.56	0.33	0.61	0.47	0.37	0.28
	226	2015/1/7 13:57	40.47	368.82	4.01	0.56	0.33	0.62	0.47	0.37	0.28
	227	2015/1/7 13:57	40.66	368.82	4.04	0.56	0.33	0.62	0.47	0.37	0.28
	228	2015/1/7 13:57	40.86	368.33	4.06	0.56	0.33	0.62	0.48	0.37	0.28
	229	2015/1/7 13:57	40.96	368.33	4.07	0.56	0.34	0.63	0.48	0.37	0.28
	230	2015/1/7 13:57	41.26	368.33	4.09	0.57	0.34	0.63	0.48	0.38	0.29
	231	2015/1/7 13:57	41.45	368.33	4.13	0.57	0.34	0.64	0.49	0.38	0.29
	232	2015/1/7 13:57	41.65	368.33	4.14	0.57	0.34	0.64	0.49	0.38	0.29
	233	2015/1/7 13:57	41.85	368.33	4.17	0.58	0.34	0.64	0.49	0.38	0.29
	234	2015/1/7 13:57	42.05	370.29	4.20	0.58	0.34	0.65	0.49	0.38	0.29
	235	2015/1/7 13:57	42.24	370.78	4.23	0.58	0.35	0.65	0.50	0.39	0.30
	236	2015/1/7 13:57	42.44	370.78	4.24	0.59	0.35	0.65	0.50	0.39	0.30
	237	2015/1/7 13:57	42.54	370.78	4.28	0.59	0.35	0.66	0.50	0.39	0.30
	238	2015/1/7 13:57	42.93	370.78	4.30	0.59	0.35	0.66	0.51	0.39	0.30
	239	2015/1/7 13:57	43.23	370.78	4.33	0.60	0.35	0.67	0.51	0.40	0.30
	240	2015/1/7 13:57	43.33	370.78	4.36	0.60	0.36	0.67	0.51	0.40	0.30
	241	2015/1/7 13:57	43.53	370.29	4.38	0.60	0.36	0.67	0.51	0.40	0.31
	242	2015/1/7 13:57	43.63	370.29	4.40	0.60	0.36	0.68	0.52	0.40	0.31
	243	2015/1/7 13:57	43.72	370.29	4.42	0.60	0.36	0.68	0.52	0.41	0.31
	244	2015/1/7 13:57	43.92	370.29	4.44	0.61	0.36	0.68	0.52	0.41	0.31
	245	2015/1/7 13:58	44.02	370.29	4.45	0.61	0.36	0.68	0.52	0.41	0.31
	246	2015/1/7 13:58	44.22	370.29	4.47	0.61	0.36	0.69	0.53	0.41	0.31
	247	2015/1/7 13:58	44.51	370.29	4.50	0.61	0.36	0.69	0.53	0.41	0.31
	248	2015/1/7 13:58	44.71	370.29	4.53	0.62	0.37	0.70	0.53	0.42	0.32
	249	2015/1/7 13:58	45.11	370.29	4.59	0.62	0.37	0.71	0.54	0.42	0.32
	250	2015/1/7 13:58	45.40	370.29	4.61	0.63	0.37	0.71	0.54	0.42	0.32
	251	2015/1/7 13:58	45.80	370.29	4.66	0.63	0.38	0.72	0.55	0.43	0.33
	252	2015/1/7 13:58	46.19	369.80	4.70	0.64	0.38	0.72	0.55	0.43	0.33
	253	2015/1/7 13:58	46.59	369.80	4.75	0.64	0.38	0.73	0.56	0.44	0.33
	254	2015/1/7 13:58	46.98	369.80	4.80	0.65	0.39	0.74	0.56	0.44	0.34
	255	2015/1/7 13:58	47.47	369.80	4.86	0.65	0.39	0.75	0.57	0.45	0.34
	256	2015/1/7 13:58	47.87	369.80	4.91	0.66	0.39	0.76	0.58	0.45	0.34
	257	2015/1/7 13:58	48.66	369.80	5.00	0.67	0.40	0.77	0.59	0.46	0.35
	258	2015/1/7 13:58	49.25	369.80	5.08	0.68	0.40	0.78	0.60	0.47	0.35
	259	2015/1/7 13:58	49.84	369.80	5.13	0.69	0.41	0.79	0.60	0.47	0.36
	260	2015/1/7 13:58	50.44	369.31	5.22	0.70	0.41	0.80	0.61	0.48	0.36
	261	2015/1/7 13:58	51.03	369.31	5.29	0.70	0.42	0.81	0.62	0.49	0.37
	262	2015/1/7 13:58	51.62	369.31	5.35	0.71	0.42	0.82	0.63	0.49	0.37
	263	2015/1/7 13:58	52.21	369.31	5.42	0.72	0.43	0.83	0.64	0.50	0.38
	264	2015/1/7 13:58	52.80	368.82	5.50	0.73	0.43	0.85	0.65	0.50	0.38
	265	2015/1/7 13:58	53.20	368.82	5.55	0.73	0.44	0.85	0.65	0.51	0.39
	266	2015/1/7 13:58	53.69	368.82	5.61	0.74	0.44	0.86	0.66	0.51	0.39
	267	2015/1/7 13:58	54.29	368.82	5.68	0.75	0.44	0.87	0.67	0.52	0.40
	268	2015/1/7 13:58	54.88	368.33	5.77	0.76	0.45	0.89	0.68	0.53	0.40
	269	2015/1/7 13:58	55.37	368.33	5.82	0.76	0.45	0.90	0.69	0.53	0.41
	270	2015/1/7 13:58	55.86	368.33	5.89	0.77	0.46	0.91	0.69	0.54	0.41
	271	2015/1/7 13:58	56.26	368.33	5.95	0.78	0.46	0.92	0.70	0.55	0.42
	272	2015/1/7 13:58	56.65	368.33	5.99	0.78	0.46	0.92	0.70	0.55	0.42
	273	2015/1/7 13:58	56.85	368.33	6.02	0.78	0.47	0.93	0.71	0.55	0.42
	274	2015/1/7 13:58	57.15	368.33	6.07	0.79	0.47	0.93	0.71	0.56	0.42
	275	2015/1/7 13:58	57.34	367.84	6.10	0.79	0.47	0.94	0.72	0.56	0.43
	276	2015/1/7 13:58	57.64	367.84	6.12	0.80	0.47	0.94	0.72	0.56	0.43
	277	2015/1/7 13:58	57.84	367.84	6.14	0.80	0.47	0.94	0.72	0.56	0.43
	278	2015/1/7 13:59	58.04	367.84	6.17	0.80	0.48	0.95	0.73	0.57	0.43
	279	2015/1/7 13:59	58.23	367.84	6.20	0.80	0.48	0.95	0.73	0.57	0.43

付表 1(1)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-1）（つづき）

1-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	291	2015/1/7 13:59	59.71	369.80	6.42	0.82	0.49	0.99	0.75	0.59	0.45
	292	2015/1/7 13:59	59.71	370.29	6.43	0.82	0.49	0.99	0.76	0.59	0.45
	293	2015/1/7 13:59	59.81	369.80	6.44	0.82	0.49	0.99	0.76	0.59	0.45
	294	2015/1/7 13:59	59.91	369.80	6.46	0.83	0.49	0.99	0.76	0.59	0.45
	295	2015/1/7 13:59	60.01	369.80	6.48	0.83	0.49	1.00	0.76	0.59	0.45
	296	2015/1/7 13:59	60.11	369.80	6.49	0.83	0.49	1.00	0.76	0.60	0.45
	297	2015/1/7 13:59	60.21	369.80	6.50	0.83	0.49	1.00	0.76	0.60	0.45
	298	2015/1/7 13:59	60.21	369.80	6.50	0.83	0.49	1.00	0.77	0.60	0.45
$+1\delta_{yN}$	299	2015/1/7 13:59	60.01	369.80	6.51	0.83	0.49	1.00	0.77	0.60	0.46
	754	2015/1/7 14:28	65.34	369.31	6.59	0.90	0.54	1.01	0.78	0.60	0.46
	755	2015/1/7 14:28	66.72	368.82	6.78	0.92	0.55	1.04	0.80	0.62	0.47
	756	2015/1/7 14:28	68.30	368.33	6.97	0.94	0.56	1.07	0.82	0.64	0.49
	757	2015/1/7 14:28	69.68	367.84	7.16	0.96	0.57	1.10	0.84	0.66	0.50
	758	2015/1/7 14:28	70.97	367.35	7.32	0.98	0.58	1.13	0.86	0.67	0.51
	759	2015/1/7 14:28	72.45	367.35	7.52	1.00	0.59	1.16	0.88	0.69	0.53
	760	2015/1/7 14:29	73.83	368.82	7.69	1.02	0.61	1.18	0.90	0.71	0.54
	761	2015/1/7 14:29	75.11	368.82	7.87	1.04	0.62	1.21	0.93	0.72	0.55
	762	2015/1/7 14:29	76.39	368.33	8.06	1.05	0.63	1.24	0.95	0.74	0.56
	763	2015/1/7 14:29	77.58	367.84	8.21	1.07	0.64	1.26	0.97	0.75	0.57
	764	2015/1/7 14:29	78.96	367.84	8.41	1.09	0.65	1.29	0.99	0.77	0.59
	765	2015/1/7 14:29	80.24	367.35	8.60	1.11	0.66	1.32	1.01	0.79	0.60
	766	2015/1/7 14:30	81.72	366.86	8.79	1.13	0.67	1.35	1.03	0.81	0.61
	767	2015/1/7 14:30	83.01	366.86	8.96	1.14	0.68	1.38	1.05	0.82	0.63
	768	2015/1/7 14:30	84.09	368.33	9.13	1.16	0.69	1.41	1.07	0.84	0.64
	769	2015/1/7 14:30	85.28	367.84	9.31	1.18	0.70	1.43	1.10	0.85	0.65
	770	2015/1/7 14:30	86.76	367.84	9.51	1.20	0.71	1.46	1.12	0.87	0.67
	771	2015/1/7 14:30	87.84	368.82	9.68	1.21	0.72	1.49	1.14	0.89	0.68
	772	2015/1/7 14:31	89.03	369.31	9.86	1.23	0.73	1.52	1.16	0.90	0.69
	773	2015/1/7 14:31	90.51	368.82	10.05	1.25	0.74	1.55	1.18	0.92	0.70
	774	2015/1/7 14:31	91.79	368.33	10.25	1.27	0.75	1.58	1.21	0.94	0.72
	775	2015/1/7 14:31	93.07	368.33	10.44	1.28	0.76	1.61	1.23	0.96	0.73
	776	2015/1/7 14:31	94.06	368.82	10.59	1.30	0.77	1.63	1.25	0.97	0.74
	777	2015/1/7 14:31	95.34	368.33	10.79	1.32	0.78	1.66	1.27	0.99	0.75
	778	2015/1/7 14:32	96.73	367.84	11.00	1.33	0.79	1.69	1.29	1.01	0.77
	779	2015/1/7 14:32	97.71	368.82	11.16	1.35	0.80	1.72	1.31	1.02	0.78
	780	2015/1/7 14:32	98.80	368.33	11.35	1.36	0.81	1.75	1.34	1.04	0.79
	781	2015/1/7 14:32	99.88	368.82	11.53	1.38	0.82	1.77	1.36	1.06	0.81
	782	2015/1/7 14:32	100.97	368.82	11.71	1.39	0.83	1.80	1.38	1.07	0.82
	783	2015/1/7 14:32	101.96	368.82	11.89	1.41	0.84	1.83	1.40	1.09	0.83
	784	2015/1/7 14:33	103.34	368.33	12.09	1.43	0.85	1.86	1.42	1.11	0.85
	785	2015/1/7 14:33	104.52	368.33	12.26	1.44	0.86	1.89	1.44	1.13	0.86
	786	2015/1/7 14:33	105.71	368.82	12.44	1.46	0.87	1.91	1.46	1.14	0.87
	787	2015/1/7 14:33	106.99	368.33	12.65	1.48	0.88	1.95	1.49	1.16	0.88
	788	2015/1/7 14:33	107.88	369.31	12.82	1.49	0.88	1.97	1.51	1.18	0.90
	789	2015/1/7 14:34	108.87	368.82	12.99	1.50	0.89	2.00	1.53	1.19	0.91
	790	2015/1/7 14:34	109.75	368.82	13.17	1.51	0.90	2.03	1.55	1.21	0.92
$+2\delta$	791	2015/1/7 14:34	109.75	369.31	13.17	1.51	0.90	2.03	1.55	1.21	0.92
	1066	2015/1/7 15:16	120.71	366.86	13.30	1.66	0.99	2.05	1.56	1.22	0.93
	1067	2015/1/7 15:16	121.80	367.35	13.49	1.68	1.00	2.07	1.59	1.24	0.94
	1068	2015/1/7 15:16	122.78	366.86	13.67	1.69	1.01	2.10	1.61	1.25	0.96
	1069	2015/1/7 15:16	123.97	366.86	13.85	1.71	1.02	2.13	1.63	1.27	0.97
	1070	2015/1/7 15:16	125.15	367.35	14.06	1.73	1.03	2.16	1.65	1.29	0.98
	1071	2015/1/7 15:16	126.14	366.86	14.25	1.74	1.03	2.19	1.68	1.31	1.00
	1072	2015/1/7 15:16	127.03	366.86	14.41	1.75	1.04	2.22	1.70	1.32	1.01
	1073	2015/1/7 15:16	128.11	367.35	14.63	1.77	1.05	2.25	1.72	1.34	1.02
	1074	2015/1/7 15:17	129.10	366.86	14.81	1.78	1.06	2.28	1.74	1.36	1.04
	1075	2015/1/7 15:17	130.09	367.35	14.99	1.79	1.07	2.31	1.76	1.37	1.05
	1076	2015/1/7 15:17	131.07	366.86	15.19	1.81	1.07	2.34	1.79	1.39	1.06
	1077	2015/1/7 15:17	132.06	366.37	15.37	1.82	1.08	2.36	1.81	1.41	1.07
	1078	2015/1/7 15:17	132.85	367.35	15.54	1.83	1.09	2.39	1.83	1.43	1.09
	1079	2015/1/7 15:17	133.94	366.86	15.77	1.85	1.10	2.43	1.85	1.45	1.10
	1080	2015/1/7 15:17	134.73	367.35	15.92	1.86	1.10	2.45	1.87	1.46	1.11
	1081	2015/1/7 15:17	135.71	366.86	16.13	1.87	1.11	2.48	1.90	1.48	1.13
	1082	2015/1/7 15:17	136.60	366.37	16.33	1.88	1.12	2.51	1.92	1.50	1.14
	1083	2015/1/7 15:17	137.29	367.35	16.52	1.89	1.13	2.54	1.94	1.52	1.16
	1084	2015/1/7 15:17	137.98	366.37	16.69	1.90	1.13	2.57	1.96	1.53	1.17
	1085	2015/1/7 15:17	138.67	366.86	16.86	1.91	1.14	2.59	1.98	1.55	1.18
	1086	2015/1/7 15:18	139.46	366.37	17.06	1.92	1.14	2.63	2.01	1.57	1.19
	1087	2015/1/7 15:18	140.06	367.35	17.24	1.93	1.15	2.65	2.03	1.58	1.21
	1088	2015/1/7 15:18	140.75	366.37	17.43	1.94	1.15	2.68	2.05	1.60	1.22
	1089	2015/1/7 15:18	141.44	367.35	17.62	1.95	1.16	2.71	2.07	1.62	1.23
	1090	2015/1/7 15:18	142.03	366.37	17.80	1.96	1.16	2.74	2.09	1.63	1.24
	1091	2015/1/7 15:18	142.92	367.35	17.99	1.97	1.17	2.77	2.12	1.65	1.26
$+3\delta$	1102	2015/1/7 15:20	150.62	367.35	19.98	2.08	1.23	3.07	2.35	1.83	1.40

付表 1(1)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-1）（つづき）

1-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	1514	2015/1/7 16:05	161.18	366.86	20.03	2.22	1.32	3.08	2.36	1.84	1.40
	1515	2015/1/7 16:05	161.67	366.37	20.23	2.23	1.33	3.11	2.38	1.86	1.41
	1516	2015/1/7 16:05	162.16	366.86	20.42	2.24	1.33	3.14	2.40	1.87	1.43
	1517	2015/1/7 16:05	162.66	366.37	20.60	2.24	1.33	3.17	2.42	1.89	1.44
	1518	2015/1/7 16:05	163.25	365.88	20.80	2.25	1.34	3.20	2.45	1.91	1.45
	1519	2015/1/7 16:05	163.94	366.37	21.02	2.26	1.34	3.23	2.47	1.93	1.47
	1520	2015/1/7 16:05	164.43	366.37	21.22	2.27	1.35	3.26	2.50	1.95	1.48
	1521	2015/1/7 16:05	164.83	366.86	21.39	2.27	1.35	3.29	2.52	1.96	1.50
	1522	2015/1/7 16:05	165.42	366.37	21.58	2.28	1.36	3.32	2.54	1.98	1.51
	1523	2015/1/7 16:05	165.92	366.86	21.79	2.29	1.36	3.35	2.56	2.00	1.52
	1524	2015/1/7 16:05	166.21	366.37	21.97	2.29	1.36	3.38	2.59	2.02	1.54
	1525	2015/1/7 16:05	166.61	366.86	22.15	2.30	1.37	3.41	2.61	2.03	1.55
	1526	2015/1/7 16:05	167.00	366.37	22.36	2.30	1.37	3.44	2.63	2.05	1.56
	1527	2015/1/7 16:05	167.30	366.86	22.57	2.31	1.37	3.47	2.65	2.07	1.58
	1528	2015/1/7 16:06	167.69	365.88	22.74	2.31	1.37	3.50	2.68	2.09	1.59
	1529	2015/1/7 16:06	167.99	366.37	22.96	2.32	1.38	3.53	2.70	2.11	1.61
	1530	2015/1/7 16:06	168.38	366.37	23.12	2.32	1.38	3.56	2.72	2.12	1.62
	1531	2015/1/7 16:06	168.68	366.37	23.33	2.33	1.38	3.59	2.74	2.14	1.63
	1532	2015/1/7 16:06	169.27	366.86	23.55	2.33	1.39	3.62	2.77	2.16	1.65
	1533	2015/1/7 16:06	169.76	365.88	23.75	2.34	1.39	3.65	2.79	2.18	1.66
	1534	2015/1/7 16:06	170.16	366.86	23.93	2.35	1.39	3.68	2.82	2.20	1.67
	1535	2015/1/7 16:06	170.55	366.37	24.13	2.35	1.40	3.71	2.84	2.21	1.69
	1536	2015/1/7 16:06	171.05	366.37	24.33	2.36	1.40	3.74	2.86	2.23	1.70
	1537	2015/1/7 16:06	171.54	366.37	24.52	2.37	1.41	3.77	2.88	2.25	1.71
	1538	2015/1/7 16:06	171.94	366.37	24.72	2.37	1.41	3.80	2.91	2.27	1.73
	1539	2015/1/7 16:06	172.23	366.37	24.92	2.38	1.41	3.83	2.93	2.29	1.74
	1540	2015/1/7 16:06	172.63	366.37	25.14	2.38	1.41	3.87	2.96	2.31	1.76
	1541	2015/1/7 16:06	172.82	366.37	25.31	2.38	1.42	3.89	2.98	2.32	1.77
	1542	2015/1/7 16:06	173.12	366.37	25.52	2.39	1.42	3.93	3.00	2.34	1.78
	1543	2015/1/7 16:07	173.32	365.88	25.73	2.39	1.42	3.96	3.03	2.36	1.80
	1544	2015/1/7 16:07	173.52	366.37	25.93	2.39	1.42	3.99	3.05	2.38	1.81
	1545	2015/1/7 16:07	173.81	365.88	26.12	2.40	1.42	4.02	3.07	2.40	1.83
	1546	2015/1/7 16:07	174.01	366.37	26.30	2.40	1.43	4.05	3.09	2.41	1.84
	1547	2015/1/7 16:07	174.21	365.88	26.48	2.40	1.43	4.07	3.12	2.43	1.85
	1548	2015/1/7 16:07	174.40	365.88	26.70	2.41	1.43	4.11	3.14	2.45	1.87
	1549	2015/1/7 16:07	174.70	366.37	26.90	2.41	1.43	4.14	3.17	2.47	1.88
	1550	2015/1/7 16:07	174.90	365.88	27.07	2.41	1.43	4.16	3.18	2.48	1.89
$+4\delta_{yN}$	1551	2015/1/7 16:07	174.80	365.88	27.13	2.41	1.43	4.17	3.19	2.49	1.90
	2096	2015/1/7 16:55	177.17	365.88	27.29	2.44	1.45	4.20	3.21	2.50	1.91
	2097	2015/1/7 16:55	177.56	366.37	27.57	2.45	1.46	4.24	3.24	2.53	1.93
	2098	2015/1/7 16:55	177.66	365.88	27.70	2.45	1.46	4.26	3.26	2.54	1.94
	2099	2015/1/7 16:55	177.46	365.88	27.93	2.45	1.45	4.30	3.29	2.56	1.95
	2100	2015/1/7 16:55	177.36	365.39	28.12	2.45	1.45	4.33	3.31	2.58	1.97
	2101	2015/1/7 16:55	177.36	365.88	28.31	2.45	1.45	4.36	3.33	2.60	1.98
	2102	2015/1/7 16:55	177.46	365.39	28.52	2.45	1.45	4.39	3.35	2.62	1.99
	2103	2015/1/7 16:55	177.56	365.88	28.72	2.45	1.46	4.42	3.38	2.63	2.01
	2104	2015/1/7 16:55	177.56	365.88	28.90	2.45	1.46	4.45	3.40	2.65	2.02
	2105	2015/1/7 16:55	177.56	365.39	29.10	2.45	1.46	4.48	3.42	2.67	2.03
	2106	2015/1/7 16:55	177.66	365.39	29.35	2.45	1.46	4.51	3.45	2.69	2.05
	2107	2015/1/7 16:55	177.66	365.88	29.55	2.45	1.46	4.55	3.48	2.71	2.07
	2108	2015/1/7 16:55	178.06	365.88	29.79	2.46	1.46	4.58	3.51	2.73	2.08
P	2109	2015/1/7 16:55	178.35	365.39	30.00	2.46	1.46	4.62	3.53	2.75	2.10
	2110	2015/1/7 16:55	178.35	365.39	30.18	2.46	1.46	4.64	3.55	2.77	2.11
	2111	2015/1/7 16:55	178.35	365.39	30.37	2.46	1.46	4.67	3.57	2.79	2.12
	2112	2015/1/7 16:55	178.25	365.39	30.58	2.46	1.46	4.70	3.60	2.81	2.14
	2113	2015/1/7 16:55	178.25	364.90	30.78	2.46	1.46	4.74	3.62	2.82	2.15
	2114	2015/1/7 16:56	178.15	365.88	30.98	2.46	1.46	4.77	3.64	2.84	2.17
	2115	2015/1/7 16:56	178.15	364.90	31.20	2.46	1.46	4.80	3.67	2.86	2.18
	2116	2015/1/7 16:56	178.15	365.39	31.40	2.46	1.46	4.83	3.69	2.88	2.20
	2117	2015/1/7 16:56	178.15	364.90	31.61	2.46	1.46	4.86	3.72	2.90	2.21
	2118	2015/1/7 16:56	178.15	365.39	31.82	2.46	1.46	4.89	3.74	2.92	2.22
	2119	2015/1/7 16:56	178.15	365.39	32.05	2.46	1.46	4.93	3.77	2.94	2.24
	2120	2015/1/7 16:56	178.06	364.90	32.25	2.46	1.46	4.96	3.79	2.96	2.26
	2121	2015/1/7 16:56	178.06	365.39	32.48	2.46	1.46	5.00	3.82	2.98	2.27
	2122	2015/1/7 16:56	177.96	365.39	32.71	2.45	1.46	5.03	3.85	3.00	2.29
	2123	2015/1/7 16:56	177.76	365.39	32.94	2.45	1.46	5.07	3.88	3.02	2.30
	2124	2015/1/7 16:56	177.66	364.90	33.17	2.45	1.46	5.10	3.90	3.04	2.32
	2125	2015/1/7 16:56	177.46	365.39	33.41	2.45	1.45	5.14	3.93	3.07	2.34
	2126	2015/1/7 16:56	177.27	364.90	33.66	2.45	1.45	5.18	3.96	3.09	2.35
	2127	2015/1/7 16:56	177.17	364.90	33.92	2.44	1.45	5.22	3.99	3.11	2.37
	2128	2015/1/7 16:56	177.07	364.90	34.17	2.44	1.45	5.26	4.02	3.13	2.39
	2129	2015/1/7 16:56	176.87	365.39	34.44	2.44	1.45	5.30	4.05	3.16	2.41
	2130	2015/1/7 16:56	176.48	364.41	34.67	2.43	1.45	5.33	4.08	3.18	2.42
$+5\delta$	2131	2015/1/7 16:56	175.19	365.39	34.75	2.42	1.44	5.35	4.09	3.19	2.43
$+6\delta$	2733	2015/1/7 18:05	146.57	364.41	43.11	2.02	1.20	6.63	5.07	3.95	3.01
$+7\delta$	3289	2015/1/7 19:13	105.31	365.39	50.49	1.45	0.86	7.77	5.94	4.63	3.53
$+8\delta$	3839	2015/1/7 20:17	68.70	364.90	57.65	0.95	0.56	8.87	6.78	5.29	4.03

付表 1(2)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-2）

1-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
START	43	2015/12/16 10:36	0.00	871.80	-0.09	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	44	2015/12/16 10:38	5.88	876.70	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	45	2015/12/16 10:39	18.13	876.21	0.52	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0.04
	46	2015/12/16 10:40	30.87	875.23	1.02	0.19	0.13	0.16	0.13	0.11	0.09
	47	2015/12/16 10:40	42.63	873.76	1.54	0.26	0.18	0.24	0.19	0.17	0.13
	48	2015/12/16 10:40	53.41	872.29	2.05	0.32	0.22	0.32	0.26	0.22	0.18
	49	2015/12/16 10:41	63.70	870.32	2.52	0.38	0.26	0.39	0.32	0.27	0.22
	50	2015/12/16 10:41	73.99	868.36	3.03	0.45	0.31	0.47	0.38	0.33	0.26
	51	2015/12/16 10:41	83.79	867.38	3.52	0.51	0.35	0.55	0.44	0.38	0.30
	52	2015/12/16 10:42	94.57	865.42	4.03	0.57	0.39	0.63	0.50	0.43	0.34
	53	2015/12/16 10:42	103.88	863.46	4.55	0.63	0.43	0.71	0.57	0.49	0.39
	54	2015/12/16 10:42	113.68	861.49	5.02	0.69	0.47	0.78	0.63	0.54	0.43
	55	2015/12/16 10:42	123.97	859.53	5.54	0.75	0.51	0.87	0.69	0.60	0.47
	56	2015/12/16 10:43	133.77	878.17	6.07	0.81	0.55	0.95	0.76	0.65	0.52
$+1\delta_{yN}$	57	2015/12/16 10:43	139.16	875.72	6.41	0.84	0.58	1.00	0.80	0.69	0.55
	110	2015/12/16 11:03	143.08	869.83	6.43	0.86	0.59	1.00	0.80	0.69	0.55
	111	2015/12/16 11:03	145.53	869.83	6.52	0.88	0.60	1.02	0.82	0.70	0.56
	112	2015/12/16 11:04	154.35	869.34	7.00	0.93	0.64	1.09	0.87	0.75	0.60
	113	2015/12/16 11:04	163.66	866.89	7.54	0.99	0.68	1.18	0.94	0.81	0.64
	114	2015/12/16 11:04	172.48	865.42	8.01	1.04	0.71	1.25	1.00	0.86	0.68
	115	2015/12/16 11:04	180.81	864.44	8.52	1.09	0.75	1.33	1.07	0.92	0.73
	116	2015/12/16 11:05	189.63	862.97	9.06	1.15	0.78	1.41	1.13	0.97	0.77
	117	2015/12/16 11:05	197.47	861.98	9.54	1.19	0.82	1.49	1.19	1.03	0.82
	118	2015/12/16 11:05	205.31	860.02	10.07	1.24	0.85	1.57	1.26	1.08	0.86
	119	2015/12/16 11:06	210.21	858.06	10.50	1.27	0.87	1.64	1.31	1.13	0.90
	120	2015/12/16 11:07	217.56	877.19	11.03	1.31	0.90	1.72	1.38	1.19	0.94
	121	2015/12/16 11:07	226.38	874.74	11.57	1.37	0.94	1.81	1.45	1.24	0.99
	122	2015/12/16 11:07	233.24	872.29	12.06	1.41	0.96	1.89	1.51	1.30	1.03
	123	2015/12/16 11:08	239.61	870.32	12.53	1.45	0.99	1.96	1.57	1.35	1.07
$+2\delta_{yN}$	124	2015/12/16 11:08	243.04	869.34	12.81	1.47	1.01	2.00	1.60	1.38	1.10
	216	2015/12/16 11:35	257.25	873.27	12.84	1.55	1.06	2.01	1.60	1.38	1.10
	217	2015/12/16 11:35	259.21	872.29	13.00	1.57	1.07	2.03	1.63	1.40	1.11
	218	2015/12/16 11:35	260.68	871.80	13.12	1.58	1.08	2.05	1.64	1.41	1.12
	219	2015/12/16 11:35	268.52	870.32	13.61	1.62	1.11	2.13	1.70	1.46	1.16
	220	2015/12/16 11:35	274.40	869.34	14.07	1.66	1.14	2.20	1.76	1.51	1.20
	221	2015/12/16 11:35	279.79	877.19	14.54	1.69	1.16	2.27	1.82	1.56	1.24
	222	2015/12/16 11:35	285.67	875.72	15.06	1.73	1.18	2.35	1.88	1.62	1.29
	223	2015/12/16 11:36	292.04	874.74	15.58	1.76	1.21	2.43	1.95	1.68	1.33
	224	2015/12/16 11:36	296.94	874.25	16.11	1.79	1.23	2.52	2.01	1.73	1.38
	225	2015/12/16 11:36	301.84	873.27	16.57	1.82	1.25	2.59	2.07	1.78	1.42
	226	2015/12/16 11:36	307.23	872.78	17.10	1.86	1.27	2.67	2.14	1.84	1.46
	227	2015/12/16 11:36	312.13	871.80	17.61	1.89	1.29	2.75	2.20	1.89	1.50
	228	2015/12/16 11:36	315.56	879.16	18.05	1.91	1.31	2.82	2.26	1.94	1.54
	229	2015/12/16 11:36	318.50	877.68	18.54	1.92	1.32	2.90	2.32	1.99	1.58
	230	2015/12/16 11:36	322.42	876.21	19.03	1.95	1.33	2.97	2.38	2.05	1.63
$+3\delta$	231	2015/12/16 11:37	323.40	875.23	19.24	1.95	1.34	3.01	2.40	2.07	1.64
	358	2015/12/16 13:09	340.55	874.74	19.42	2.06	1.41	3.03	2.43	2.09	1.66
	359	2015/12/16 13:09	341.53	874.74	19.52	2.06	1.41	3.05	2.44	2.10	1.67
	360	2015/12/16 13:09	346.92	873.27	20.11	2.10	1.44	3.14	2.51	2.16	1.72
	361	2015/12/16 13:09	350.35	872.78	20.57	2.12	1.45	3.21	2.57	2.21	1.76
	362	2015/12/16 13:09	354.27	873.76	21.11	2.14	1.47	3.30	2.64	2.27	1.80
	363	2015/12/16 13:09	357.21	873.27	21.64	2.16	1.48	3.38	2.71	2.33	1.85
	364	2015/12/16 13:09	359.17	873.76	22.10	2.17	1.49	3.45	2.76	2.38	1.89
	365	2015/12/16 13:09	362.11	874.25	22.59	2.19	1.50	3.53	2.82	2.43	1.93
	366	2015/12/16 13:10	364.07	874.74	23.08	2.20	1.51	3.61	2.88	2.48	1.97
	367	2015/12/16 13:10	366.52	874.25	23.58	2.21	1.52	3.68	2.95	2.54	2.02
	368	2015/12/16 13:10	368.48	874.74	24.07	2.23	1.52	3.76	3.01	2.59	2.06
	369	2015/12/16 13:10	369.95	874.74	24.55	2.24	1.53	3.84	3.07	2.64	2.10
	370	2015/12/16 13:10	371.42	875.23	25.06	2.24	1.54	3.92	3.13	2.69	2.14
	371	2015/12/16 13:10	372.40	875.23	25.53	2.25	1.54	3.99	3.19	2.75	2.18
$+4\delta$	372	2015/12/16 13:10	371.42	875.72	25.63	2.24	1.54	4.00	3.20	2.76	2.19
	537	2015/12/16 13:37	377.79	870.32	25.91	2.28	1.56	4.05	3.24	2.79	2.21
	538	2015/12/16 13:37	379.26	870.32	26.08	2.29	1.57	4.07	3.26	2.80	2.23
	539	2015/12/16 13:37	382.20	870.32	26.56	2.31	1.58	4.15	3.32	2.86	2.27
	540	2015/12/16 13:38	383.67	869.83	27.08	2.32	1.59	4.23	3.38	2.91	2.31
	541	2015/12/16 13:38	385.14	869.83	27.56	2.33	1.59	4.31	3.44	2.96	2.36
	542	2015/12/16 13:38	385.63	869.83	28.08	2.33	1.60	4.39	3.51	3.02	2.40
	543	2015/12/16 13:38	387.10	869.83	28.57	2.34	1.60	4.46	3.57	3.07	2.44
	544	2015/12/16 13:38	388.57	869.83	29.08	2.35	1.61	4.54	3.64	3.13	2.49
	545	2015/12/16 13:38	389.55	869.83	29.58	2.35	1.61	4.62	3.70	3.18	2.53
	546	2015/12/16 13:38	390.53	869.83	30.09	2.36	1.62	4.70	3.76	3.24	2.57
	547	2015/12/16 13:38	391.51	869.83	30.58	2.37	1.62	4.78	3.82	3.29	2.61
$+5\delta$	550	2015/12/16 13:39	392.49	870.32	32.05	2.37	1.62	5.01	4.01	3.45	2.74

付表 1(2)　包絡線のデジタルデータ（供試体1-2）（つづき）

1-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	733	2015/12/16 14:10	399.35	874.25	36.12	2.41	1.65	5.64	4.52	3.88	3.09
	734	2015/12/16 14:10	398.86	874.25	36.56	2.41	1.65	5.71	4.57	3.93	3.12
	735	2015/12/16 14:10	398.37	874.74	37.08	2.41	1.65	5.79	4.63	3.99	3.17
	736	2015/12/16 14:10	399.35	875.23	37.58	2.41	1.65	5.87	4.70	4.04	3.21
	737	2015/12/16 14:10	399.84	875.72	38.07	2.42	1.65	5.95	4.76	4.09	3.25
+6δ_{yN}	738	2015/12/16 14:10	398.86	875.72	38.47	2.41	1.65	6.01	4.81	4.14	3.29
	906	2015/12/16 14:52	398.86	876.70	38.61	2.41	1.65	6.03	4.83	4.15	3.30
	907	2015/12/16 14:53	399.35	877.19	39.09	2.41	1.65	6.11	4.89	4.20	3.34
	908	2015/12/16 14:53	399.84	877.19	39.60	2.42	1.65	6.19	4.95	4.26	3.38
	909	2015/12/16 14:53	399.35	877.19	40.10	2.41	1.65	6.27	5.01	4.31	3.43
	910	2015/12/16 14:53	399.84	877.19	40.58	2.42	1.65	6.34	5.07	4.36	3.47
	911	2015/12/16 14:53	399.84	877.19	41.07	2.42	1.65	6.42	5.13	4.42	3.51
	912	2015/12/16 14:53	400.33	877.68	41.54	2.42	1.66	6.49	5.19	4.47	3.55
	913	2015/12/16 14:53	400.33	877.68	42.04	2.42	1.66	6.57	5.26	4.52	3.59
	914	2015/12/16 14:54	400.82	877.68	42.56	2.42	1.66	6.65	5.32	4.58	3.64
	915	2015/12/16 14:54	400.82	877.68	43.07	2.42	1.66	6.73	5.38	4.63	3.68
	916	2015/12/16 14:54	401.31	877.68	43.59	2.42	1.66	6.81	5.45	4.69	3.73
	917	2015/12/16 14:54	401.80	877.68	44.09	2.43	1.66	6.89	5.51	4.74	3.77
	918	2015/12/16 14:54	401.80	878.17	44.59	2.43	1.66	6.97	5.57	4.79	3.81
+7δ_{yN}	919	2015/12/16 14:54	400.82	878.17	44.87	2.42	1.66	7.01	5.61	4.83	3.84
	1100	2015/12/16 15:23	404.25	860.51	45.12	2.44	1.67	7.05	5.64	4.85	3.86
	1101	2015/12/16 15:23	404.25	860.02	45.66	2.44	1.67	7.14	5.71	4.91	3.90
	1102	2015/12/16 15:23	404.25	860.51	46.22	2.44	1.67	7.22	5.78	4.97	3.95
	1103	2015/12/16 15:23	404.25	861.00	46.66	2.44	1.67	7.29	5.83	5.02	3.99
	1104	2015/12/16 15:23	404.74	861.49	47.18	2.45	1.67	7.37	5.90	5.07	4.03
	1105	2015/12/16 15:24	404.74	864.93	47.60	2.45	1.67	7.44	5.95	5.12	4.07
	1106	2015/12/16 15:24	404.74	864.93	48.14	2.45	1.67	7.52	6.02	5.18	4.11
	1107	2015/12/16 15:24	404.74	862.97	48.66	2.45	1.67	7.60	6.08	5.23	4.16
	1108	2015/12/16 15:24	404.25	861.98	49.09	2.44	1.67	7.67	6.14	5.28	4.20
	1109	2015/12/16 15:24	404.25	861.98	49.65	2.44	1.67	7.76	6.21	5.34	4.24
	1110	2015/12/16 15:24	404.25	862.97	50.11	2.44	1.67	7.83	6.26	5.39	4.28
	1111	2015/12/16 15:24	404.74	863.95	50.62	2.45	1.67	7.91	6.33	5.44	4.33
	1112	2015/12/16 15:24	405.23	863.95	51.12	2.45	1.68	7.99	6.39	5.50	4.37
+8δ_{yN}	1113	2015/12/16 15:24	403.76	863.95	51.34	2.44	1.67	8.02	6.42	5.52	4.39
	1288	2015/12/16 15:48	405.72	852.17	51.63	2.45	1.68	8.07	6.45	5.55	4.41
	1289	2015/12/16 15:48	405.72	852.66	52.23	2.45	1.68	8.16	6.53	5.62	4.46
	1290	2015/12/16 15:48	405.72	852.17	52.71	2.45	1.68	8.24	6.59	5.67	4.51
	1291	2015/12/16 15:48	405.72	850.70	53.21	2.45	1.68	8.31	6.65	5.72	4.55
	1292	2015/12/16 15:48	405.72	851.19	53.68	2.45	1.68	8.39	6.71	5.77	4.59
	1293	2015/12/16 15:48	406.70	850.21	54.22	2.46	1.68	8.47	6.78	5.83	4.63
	1294	2015/12/16 15:48	406.70	848.25	54.64	2.46	1.68	8.54	6.83	5.87	4.67
	1295	2015/12/16 15:48	406.70	846.78	55.17	2.46	1.68	8.62	6.90	5.93	4.72
	1296	2015/12/16 15:48	407.19	845.79	55.71	2.46	1.68	8.71	6.96	5.99	4.76
	1297	2015/12/16 15:48	407.19	844.81	56.27	2.46	1.68	8.79	7.03	6.05	4.81
	1298	2015/12/16 15:48	406.70	844.81	56.65	2.46	1.68	8.85	7.08	6.09	4.84
	1299	2015/12/16 15:49	406.70	844.32	57.22	2.46	1.68	8.94	7.15	6.15	4.89
+9δ　(P　)	1300	2015/12/16 15:49	407.19	842.85	57.70	2.46	1.68	9.02	7.21	6.20	4.93
	1461	2015/12/16 16:12	407.68	837.95	58.15	2.46	1.69	9.09	7.27	6.25	4.97
	1462	2015/12/16 16:12	407.19	838.93	58.85	2.46	1.68	9.20	7.36	6.33	5.03
	1463	2015/12/16 16:12	406.70	840.40	59.45	2.46	1.68	9.29	7.43	6.39	5.08
	1464	2015/12/16 16:12	406.21	839.42	60.03	2.45	1.68	9.38	7.50	6.46	5.13
	1465	2015/12/16 16:12	406.21	838.93	60.59	2.45	1.68	9.47	7.57	6.52	5.18
	1466	2015/12/16 16:12	407.19	840.89	61.25	2.46	1.68	9.57	7.66	6.59	5.23
	1467	2015/12/16 16:12	407.19	840.40	61.95	2.46	1.68	9.68	7.74	6.66	5.29
	1468	2015/12/16 16:12	406.70	841.87	62.62	2.46	1.68	9.78	7.83	6.73	5.35
	1469	2015/12/16 16:12	406.21	840.40	63.32	2.45	1.68	9.89	7.91	6.81	5.41
	1470	2015/12/16 16:12	406.21	840.89	64.04	2.45	1.68	10.01	8.00	6.89	5.47
+10δ	1471	2015/12/16 16:12	400.33	844.32	64.16	2.42	1.66	10.02	8.02	6.90	5.48
+11δ	1642	2015/12/16 16:55	397.88	834.02	71.41	2.40	1.65	11.16	8.93	7.68	6.10
+12δ	1744	2015/12/16 17:37	379.75	884.06	76.99	2.29	1.57	12.03	9.62	8.28	6.58
+13δ	1843	2015/12/16 18:14	357.70	869.34	83.67	2.16	1.48	13.07	10.46	9.00	7.15
+14δ	1934	2015/12/16 18:50	330.26	849.23	89.89	2.00	1.37	14.05	11.24	9.67	7.68

付表 1(3)　包絡線のデジタルデータ（供試体1.5-2）

1.5-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
START	41	2015/12/24 10:20	0.00	657.40	-0.18	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	42	2015/12/24 10:21	5.88	654.95	0.54	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02
	43	2015/12/24 10:22	9.80	653.48	1.02	0.08	0.05	0.08	0.06	0.06	0.04
	44	2015/12/24 10:23	14.21	652.50	1.55	0.11	0.08	0.12	0.09	0.08	0.06
	45	2015/12/24 10:23	18.62	651.52	2.06	0.15	0.10	0.16	0.12	0.11	0.08
	46	2015/12/24 10:23	23.03	650.54	2.55	0.18	0.13	0.20	0.15	0.14	0.10
	47	2015/12/24 10:23	26.95	649.06	3.06	0.21	0.15	0.24	0.18	0.16	0.12
	48	2015/12/24 10:23	30.87	660.84	3.53	0.24	0.17	0.27	0.21	0.19	0.14
	49	2015/12/24 10:24	35.28	659.37	4.06	0.28	0.19	0.31	0.24	0.22	0.17
	50	2015/12/24 10:24	39.69	658.39	4.61	0.31	0.22	0.35	0.27	0.25	0.19
	51	2015/12/24 10:24	43.12	657.40	5.05	0.34	0.24	0.39	0.29	0.27	0.21
	52	2015/12/24 10:24	47.53	655.93	5.59	0.37	0.26	0.43	0.33	0.30	0.23
	53	2015/12/24 10:24	50.47	654.95	6.04	0.40	0.28	0.46	0.35	0.32	0.25
	54	2015/12/24 10:24	54.39	653.97	6.57	0.43	0.30	0.51	0.38	0.35	0.27
	55	2015/12/24 10:24	58.31	652.01	7.05	0.46	0.32	0.54	0.41	0.38	0.29
	56	2015/12/24 10:25	61.74	650.54	7.51	0.49	0.34	0.58	0.44	0.40	0.31
	57	2015/12/24 10:25	65.66	655.93	8.10	0.52	0.36	0.62	0.47	0.44	0.33
	58	2015/12/24 10:25	69.09	659.37	8.56	0.54	0.38	0.66	0.50	0.46	0.35
	59	2015/12/24 10:25	73.01	658.88	9.08	0.57	0.40	0.70	0.53	0.49	0.37
	60	2015/12/24 10:25	75.95	658.88	9.59	0.60	0.42	0.74	0.56	0.52	0.39
	61	2015/12/24 10:25	78.89	659.37	10.08	0.62	0.43	0.78	0.59	0.54	0.41
	62	2015/12/24 10:25	82.32	659.37	10.57	0.65	0.45	0.81	0.61	0.57	0.43
	63	2015/12/24 10:26	85.75	659.86	11.07	0.67	0.47	0.85	0.64	0.60	0.45
	64	2015/12/24 10:26	88.69	659.86	11.55	0.70	0.49	0.89	0.67	0.62	0.47
	65	2015/12/24 10:26	92.61	659.37	12.07	0.73	0.51	0.93	0.70	0.65	0.49
	66	2015/12/24 10:26	95.55	659.37	12.54	0.75	0.52	0.96	0.73	0.67	0.51
$+1\delta_{yN}$	67	2015/12/24 10:26	98.49	658.39	13.03	0.77	0.54	1.00	0.76	0.70	0.53
	171	2015/12/24 10:44	102.90	661.33	13.12	0.81	0.56	1.01	0.76	0.71	0.53
	172	2015/12/24 10:45	106.33	660.84	13.59	0.84	0.58	1.05	0.79	0.73	0.55
	173	2015/12/24 10:45	109.27	660.35	14.06	0.86	0.60	1.08	0.82	0.76	0.57
	174	2015/12/24 10:45	112.70	659.37	14.59	0.89	0.62	1.12	0.85	0.78	0.59
	175	2015/12/24 10:45	116.13	658.39	15.06	0.91	0.64	1.16	0.88	0.81	0.61
	176	2015/12/24 10:45	119.56	657.40	15.60	0.94	0.66	1.20	0.91	0.84	0.63
	177	2015/12/24 10:45	122.50	656.42	16.07	0.96	0.67	1.24	0.93	0.86	0.65
	178	2015/12/24 10:45	125.44	655.44	16.56	0.99	0.69	1.27	0.96	0.89	0.67
	179	2015/12/24 10:45	128.38	654.46	17.07	1.01	0.70	1.31	0.99	0.92	0.69
	180	2015/12/24 10:46	131.81	652.99	17.63	1.04	0.72	1.36	1.03	0.95	0.72
	181	2015/12/24 10:46	135.73	652.01	18.18	1.07	0.74	1.40	1.06	0.98	0.74
	182	2015/12/24 10:46	138.18	651.03	18.63	1.09	0.76	1.43	1.08	1.00	0.76
	183	2015/12/24 10:46	141.12	650.54	19.13	1.11	0.77	1.47	1.11	1.03	0.78
	184	2015/12/24 10:46	143.57	649.06	19.59	1.13	0.79	1.51	1.14	1.05	0.80
	185	2015/12/24 10:46	147.00	648.08	20.14	1.16	0.81	1.55	1.17	1.08	0.82
	186	2015/12/24 10:46	149.45	646.61	20.64	1.17	0.82	1.59	1.20	1.11	0.84
	187	2015/12/24 10:46	152.39	645.63	21.12	1.20	0.84	1.62	1.23	1.14	0.86
	188	2015/12/24 10:46	154.84	658.39	21.64	1.22	0.85	1.66	1.26	1.16	0.88
	189	2015/12/24 10:46	156.80	657.40	22.10	1.23	0.86	1.70	1.29	1.19	0.90
	190	2015/12/24 10:46	159.74	656.42	22.63	1.26	0.88	1.74	1.32	1.22	0.92
	191	2015/12/24 10:46	162.68	654.95	23.09	1.28	0.89	1.78	1.34	1.24	0.94
	192	2015/12/24 10:47	165.13	653.97	23.61	1.30	0.91	1.82	1.37	1.27	0.96
	193	2015/12/24 10:47	167.58	652.99	24.06	1.32	0.92	1.85	1.40	1.29	0.98
	194	2015/12/24 10:47	170.03	652.01	24.60	1.34	0.93	1.89	1.43	1.32	1.00
	195	2015/12/24 10:47	172.48	651.03	25.07	1.36	0.95	1.93	1.46	1.35	1.02
	196	2015/12/24 10:47	174.93	649.55	25.56	1.38	0.96	1.97	1.49	1.37	1.04
$+2\delta$	197	2015/12/24 10:47	176.89	648.57	26.03	1.39	0.97	2.00	1.51	1.40	1.06
	382	2015/12/24 11:13	191.10	647.59	26.07	1.50	1.05	2.01	1.52	1.40	1.06
	383	2015/12/24 11:13	193.55	656.91	26.56	1.52	1.06	2.04	1.54	1.43	1.08
	384	2015/12/24 11:13	196.00	656.91	27.05	1.54	1.07	2.08	1.57	1.45	1.10
	385	2015/12/24 11:13	198.45	657.90	27.58	1.56	1.09	2.12	1.60	1.48	1.12
	386	2015/12/24 11:13	200.41	656.42	28.10	1.58	1.10	2.16	1.63	1.51	1.14
	387	2015/12/24 11:13	202.86	654.95	28.61	1.59	1.11	2.20	1.66	1.54	1.16
	388	2015/12/24 11:13	204.82	653.97	29.07	1.61	1.12	2.24	1.69	1.56	1.18
	389	2015/12/24 11:13	207.27	652.99	29.60	1.63	1.14	2.28	1.72	1.59	1.20
	390	2015/12/24 11:13	208.74	651.52	30.09	1.64	1.14	2.31	1.75	1.62	1.22
	391	2015/12/24 11:14	211.19	650.05	30.61	1.66	1.16	2.35	1.78	1.65	1.24
	392	2015/12/24 11:14	213.15	648.57	31.10	1.68	1.17	2.39	1.81	1.67	1.26
	393	2015/12/24 11:14	215.11	647.10	31.63	1.69	1.18	2.43	1.84	1.70	1.29
	394	2015/12/24 11:14	216.58	656.42	32.07	1.70	1.19	2.47	1.86	1.72	1.30
	395	2015/12/24 11:14	219.52	656.91	32.66	1.73	1.20	2.51	1.90	1.76	1.33
	396	2015/12/24 11:14	220.50	656.91	33.11	1.73	1.21	2.55	1.92	1.78	1.35
	397	2015/12/24 11:14	222.46	657.40	33.66	1.75	1.22	2.59	1.96	1.81	1.37
	398	2015/12/24 11:14	223.93	657.40	34.08	1.76	1.23	2.62	1.98	1.83	1.39
	399	2015/12/24 11:14	225.40	657.40	34.64	1.77	1.24	2.66	2.01	1.86	1.41
	400	2015/12/24 11:14	226.87	656.42	35.10	1.78	1.24	2.70	2.04	1.89	1.43
$+3\delta$	408	2015/12/24 11:15	237.16	655.44	39.03	1.86	1.30	3.00	2.27	2.10	1.59

付表 1(3)　包絡線のデジタルデータ（供試体1.5-2）（つづき）

1.5-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	668	2015/12/24 11:41	253.82	648.08	40.60	2.00	1.39	3.12	2.36	2.18	1.65
	669	2015/12/24 11:41	254.31	656.91	41.14	2.00	1.39	3.16	2.39	2.21	1.67
	670	2015/12/24 11:41	255.29	655.93	41.59	2.01	1.40	3.20	2.42	2.24	1.69
	671	2015/12/24 11:41	256.27	654.46	42.11	2.01	1.40	3.24	2.45	2.26	1.71
	672	2015/12/24 11:42	256.76	652.99	42.62	2.02	1.41	3.28	2.48	2.29	1.73
	673	2015/12/24 11:42	257.74	651.52	43.11	2.03	1.41	3.32	2.51	2.32	1.75
	674	2015/12/24 11:42	258.72	650.05	43.58	2.03	1.42	3.35	2.53	2.34	1.77
	675	2015/12/24 11:42	259.21	648.57	44.11	2.04	1.42	3.39	2.56	2.37	1.79
	676	2015/12/24 11:42	260.68	657.90	44.67	2.05	1.43	3.44	2.60	2.40	1.82
	677	2015/12/24 11:42	261.17	657.90	45.12	2.05	1.43	3.47	2.62	2.43	1.83
	678	2015/12/24 11:42	262.15	656.42	45.62	2.06	1.44	3.51	2.65	2.45	1.85
	679	2015/12/24 11:42	262.64	654.95	46.09	2.06	1.44	3.55	2.68	2.48	1.87
	680	2015/12/24 11:42	264.11	652.99	46.71	2.08	1.45	3.59	2.72	2.51	1.90
	681	2015/12/24 11:42	265.09	652.01	47.13	2.08	1.45	3.63	2.74	2.53	1.92
	682	2015/12/24 11:42	265.58	650.54	47.60	2.09	1.46	3.66	2.77	2.56	1.94
	683	2015/12/24 11:43	266.56	649.06	48.13	2.10	1.46	3.70	2.80	2.59	1.96
	684	2015/12/24 11:43	267.05	647.59	48.67	2.10	1.46	3.74	2.83	2.62	1.98
	685	2015/12/24 11:43	267.54	646.12	49.16	2.10	1.47	3.78	2.86	2.64	2.00
	686	2015/12/24 11:43	267.54	652.99	49.60	2.10	1.47	3.82	2.88	2.67	2.02
	687	2015/12/24 11:43	268.52	651.03	50.12	2.11	1.47	3.86	2.91	2.69	2.04
	688	2015/12/24 11:43	268.03	649.55	50.55	2.11	1.47	3.89	2.94	2.72	2.05
	689	2015/12/24 11:43	268.03	647.59	51.05	2.11	1.47	3.93	2.97	2.74	2.08
	690	2015/12/24 11:43	269.01	645.63	51.53	2.11	1.47	3.96	3.00	2.77	2.09
$+4\delta_{yN}$	691	2015/12/24 11:44	269.01	643.67	52.04	2.11	1.47	4.00	3.03	2.80	2.12
	1022	2015/12/24 13:10	271.95	648.57	52.12	2.14	1.49	4.01	3.03	2.80	2.12
	1023	2015/12/24 13:10	272.44	647.10	52.60	2.14	1.49	4.05	3.06	2.83	2.14
	1024	2015/12/24 13:10	272.44	653.48	53.08	2.14	1.49	4.08	3.09	2.85	2.16
	1025	2015/12/24 13:10	272.93	657.40	53.59	2.15	1.50	4.12	3.12	2.88	2.18
	1026	2015/12/24 13:10	273.91	655.93	54.17	2.15	1.50	4.17	3.15	2.91	2.20
	1027	2015/12/24 13:11	274.40	654.46	54.65	2.16	1.50	4.20	3.18	2.94	2.22
	1028	2015/12/24 13:11	274.40	652.99	55.11	2.16	1.50	4.24	3.20	2.96	2.24
	1029	2015/12/24 13:11	274.89	651.03	55.64	2.16	1.51	4.28	3.24	2.99	2.26
	1030	2015/12/24 13:11	275.38	649.55	56.18	2.16	1.51	4.32	3.27	3.02	2.28
	1031	2015/12/24 13:11	275.87	648.08	56.65	2.17	1.51	4.36	3.29	3.05	2.30
	1032	2015/12/24 13:11	276.36	647.10	57.15	2.17	1.52	4.40	3.32	3.07	2.32
	1033	2015/12/24 13:11	276.36	645.14	57.59	2.17	1.52	4.43	3.35	3.10	2.34
	1034	2015/12/24 13:11	276.85	643.67	58.12	2.18	1.52	4.47	3.38	3.12	2.36
	1035	2015/12/24 13:11	276.36	656.91	58.62	2.17	1.52	4.51	3.41	3.15	2.38
	1036	2015/12/24 13:11	276.85	655.44	59.16	2.18	1.52	4.55	3.44	3.18	2.40
	1037	2015/12/24 13:11	277.34	653.48	59.61	2.18	1.52	4.59	3.47	3.20	2.42
	1038	2015/12/24 13:11	277.83	652.01	60.15	2.18	1.52	4.63	3.50	3.23	2.45
	1039	2015/12/24 13:12	278.32	650.05	60.66	2.19	1.53	4.67	3.53	3.26	2.47
	1040	2015/12/24 13:12	278.32	648.57	61.08	2.19	1.53	4.70	3.55	3.28	2.48
	1041	2015/12/24 13:12	278.81	647.10	61.64	2.19	1.53	4.74	3.58	3.31	2.51
	1042	2015/12/24 13:12	278.81	653.97	62.12	2.19	1.53	4.78	3.61	3.34	2.53
	1043	2015/12/24 13:12	278.81	652.01	62.58	2.19	1.53	4.81	3.64	3.36	2.54
	1044	2015/12/24 13:12	278.81	650.05	63.11	2.19	1.53	4.85	3.67	3.39	2.57
	1045	2015/12/24 13:12	279.30	648.57	63.61	2.20	1.53	4.89	3.70	3.42	2.59
	1046	2015/12/24 13:12	279.30	646.61	64.10	2.20	1.53	4.93	3.73	3.45	2.61
	1047	2015/12/24 13:12	279.79	644.65	64.65	2.20	1.53	4.97	3.76	3.48	2.63
$+5\delta$	1048	2015/12/24 13:12	279.30	643.18	65.05	2.20	1.53	5.00	3.78	3.50	2.64
	1401	2015/12/24 13:45	278.32	657.40	65.10	2.19	1.53	5.01	3.78	3.50	2.65
	1402	2015/12/24 13:45	278.81	656.91	65.63	2.19	1.53	5.05	3.82	3.53	2.67
	1403	2015/12/24 13:46	278.81	656.91	66.14	2.19	1.53	5.09	3.85	3.56	2.69
	1404	2015/12/24 13:46	278.81	659.37	66.66	2.19	1.53	5.13	3.88	3.58	2.71
	1405	2015/12/24 13:46	279.30	657.40	67.13	2.20	1.53	5.16	3.90	3.61	2.73
	1406	2015/12/24 13:46	279.30	655.93	67.62	2.20	1.53	5.20	3.93	3.64	2.75
	1407	2015/12/24 13:46	279.30	656.91	68.08	2.20	1.53	5.24	3.96	3.66	2.77
	1408	2015/12/24 13:46	279.79	657.40	68.62	2.20	1.53	5.28	3.99	3.69	2.79
	1409	2015/12/24 13:46	279.79	658.39	69.10	2.20	1.53	5.32	4.02	3.72	2.81
	1410	2015/12/24 13:46	279.79	661.33	69.61	2.20	1.53	5.35	4.05	3.74	2.83
	1411	2015/12/24 13:46	279.79	660.35	70.07	2.20	1.53	5.39	4.07	3.77	2.85
	1412	2015/12/24 13:46	280.28	661.82	70.57	2.20	1.54	5.43	4.10	3.79	2.87
	1413	2015/12/24 13:47	280.28	660.84	71.06	2.20	1.54	5.47	4.13	3.82	2.89
	1414	2015/12/24 13:47	280.28	658.39	71.61	2.20	1.54	5.51	4.16	3.85	2.91
	1415	2015/12/24 13:47	280.28	660.35	72.10	2.20	1.54	5.55	4.19	3.88	2.93
	1416	2015/12/24 13:47	280.28	658.88	72.62	2.20	1.54	5.59	4.22	3.90	2.95
	1417	2015/12/24 13:47	281.26	657.40	73.15	2.21	1.54	5.63	4.25	3.93	2.97
	1418	2015/12/24 13:47	281.26	656.91	73.61	2.21	1.54	5.66	4.28	3.96	2.99
	1419	2015/12/24 13:47	281.26	659.37	74.09	2.21	1.54	5.70	4.31	3.98	3.01
	1420	2015/12/24 13:47	281.75	657.40	74.60	2.22	1.54	5.74	4.34	4.01	3.03
	1421	2015/12/24 13:47	281.26	655.44	75.10	2.21	1.54	5.78	4.37	4.04	3.05
	1422	2015/12/24 13:47	281.75	653.97	75.61	2.22	1.54	5.82	4.40	4.07	3.07
$+6\delta$	1427	2015/12/24 13:48	281.26	659.86	78.09	2.21	1.54	6.01	4.54	4.20	3.17

付表 1(3)　包絡線のデジタルデータ（供試体1.5-2）（つづき）

1.5-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	1792	2015/12/24 14:25	281.26	657.90	81.09	2.21	1.54	6.24	4.71	4.36	3.30
	1793	2015/12/24 14:25	281.26	657.90	81.58	2.21	1.54	6.28	4.74	4.39	3.32
	1794	2015/12/24 14:25	281.75	658.39	82.16	2.22	1.54	6.32	4.78	4.42	3.34
	1795	2015/12/24 14:25	281.75	657.90	82.65	2.22	1.54	6.36	4.81	4.44	3.36
	1796	2015/12/24 14:25	281.75	657.90	83.15	2.22	1.54	6.40	4.83	4.47	3.38
	1797	2015/12/24 14:25	281.75	657.40	83.63	2.22	1.54	6.43	4.86	4.50	3.40
	1798	2015/12/24 14:25	281.26	660.35	84.10	2.21	1.54	6.47	4.89	4.52	3.42
	1799	2015/12/24 14:26	281.75	658.88	84.58	2.22	1.54	6.51	4.92	4.55	3.44
	1800	2015/12/24 14:26	281.75	656.42	85.12	2.22	1.54	6.55	4.95	4.58	3.46
	1801	2015/12/24 14:26	281.75	654.95	85.67	2.22	1.54	6.59	4.98	4.61	3.48
	1802	2015/12/24 14:26	281.75	657.40	86.13	2.22	1.54	6.63	5.01	4.63	3.50
	1803	2015/12/24 14:26	281.75	656.42	86.59	2.22	1.54	6.66	5.03	4.66	3.52
	1804	2015/12/24 14:26	281.75	658.88	87.15	2.22	1.54	6.70	5.07	4.69	3.54
	1805	2015/12/24 14:26	281.75	657.90	87.61	2.22	1.54	6.74	5.09	4.71	3.56
	1806	2015/12/24 14:26	282.24	658.39	88.19	2.22	1.55	6.78	5.13	4.74	3.59
	1807	2015/12/24 14:26	282.24	658.39	88.69	2.22	1.55	6.82	5.16	4.77	3.61
	1808	2015/12/24 14:26	282.73	657.90	89.10	2.22	1.55	6.85	5.18	4.79	3.62
	1809	2015/12/24 14:26	282.24	658.39	89.63	2.22	1.55	6.89	5.21	4.82	3.64
	1810	2015/12/24 14:26	282.24	657.90	90.14	2.22	1.55	6.93	5.24	4.85	3.66
	1811	2015/12/24 14:26	282.24	658.39	90.63	2.22	1.55	6.97	5.27	4.87	3.68
$+7\delta_{yN}(P_{max})$	1812	2015/12/24 14:27	282.24	657.40	91.14	2.22	1.55	7.01	5.30	4.90	3.70
	2206	2015/12/24 15:11	281.75	656.91	91.15	2.22	1.54	7.01	5.30	4.90	3.71
	2207	2015/12/24 15:11	281.75	655.44	91.57	2.22	1.54	7.04	5.32	4.92	3.72
	2208	2015/12/24 15:11	281.75	656.42	92.11	2.22	1.54	7.09	5.36	4.95	3.74
	2209	2015/12/24 15:11	281.26	656.91	92.66	2.21	1.54	7.13	5.39	4.98	3.77
	2210	2015/12/24 15:12	281.75	656.42	93.11	2.22	1.54	7.16	5.41	5.01	3.78
	2211	2015/12/24 15:12	281.75	655.93	93.63	2.22	1.54	7.20	5.44	5.03	3.81
	2212	2015/12/24 15:12	281.75	656.42	94.06	2.22	1.54	7.24	5.47	5.06	3.82
	2213	2015/12/24 15:12	281.75	658.39	94.59	2.22	1.54	7.28	5.50	5.09	3.85
	2214	2015/12/24 15:12	281.75	656.42	95.11	2.22	1.54	7.32	5.53	5.11	3.87
	2215	2015/12/24 15:12	281.26	656.42	95.65	2.21	1.54	7.36	5.56	5.14	3.89
	2216	2015/12/24 15:12	281.26	656.91	96.10	2.21	1.54	7.39	5.59	5.17	3.91
	2217	2015/12/24 15:12	281.26	655.93	96.62	2.21	1.54	7.43	5.62	5.19	3.93
	2218	2015/12/24 15:12	281.26	655.93	97.14	2.21	1.54	7.47	5.65	5.22	3.95
	2219	2015/12/24 15:12	281.75	654.46	97.60	2.22	1.54	7.51	5.67	5.25	3.97
	2220	2015/12/24 15:12	281.26	657.40	98.11	2.21	1.54	7.55	5.70	5.27	3.99
	2221	2015/12/24 15:13	281.26	657.90	98.63	2.21	1.54	7.59	5.73	5.30	4.01
	2222	2015/12/24 15:13	281.26	657.40	99.10	2.21	1.54	7.62	5.76	5.33	4.03
	2223	2015/12/24 15:13	281.26	655.44	99.63	2.21	1.54	7.66	5.79	5.36	4.05
	2224	2015/12/24 15:13	281.26	655.93	100.07	2.21	1.54	7.70	5.82	5.38	4.07
	2225	2015/12/24 15:13	281.26	655.44	100.61	2.21	1.54	7.74	5.85	5.41	4.09
	2226	2015/12/24 15:13	281.26	655.93	101.13	2.21	1.54	7.78	5.88	5.44	4.11
	2227	2015/12/24 15:13	281.26	655.44	101.65	2.21	1.54	7.82	5.91	5.46	4.13
	2228	2015/12/24 15:13	281.26	654.95	102.08	2.21	1.54	7.85	5.93	5.49	4.15
	2229	2015/12/24 15:13	281.26	656.91	102.60	2.21	1.54	7.89	5.96	5.52	4.17
	2230	2015/12/24 15:13	281.26	657.40	103.13	2.21	1.54	7.93	6.00	5.54	4.19
	2231	2015/12/24 15:13	281.26	655.93	103.66	2.21	1.54	7.97	6.03	5.57	4.21
$+8\delta$	2232	2015/12/24 15:13	281.26	655.44	104.12	2.21	1.54	8.01	6.05	5.60	4.23
	2602	2015/12/24 15:54	280.77	652.01	104.19	2.21	1.54	8.01	6.06	5.60	4.24
	2603	2015/12/24 15:54	281.26	651.03	104.69	2.21	1.54	8.05	6.09	5.63	4.26
	2604	2015/12/24 15:54	280.77	652.99	105.22	2.21	1.54	8.09	6.12	5.66	4.28
	2605	2015/12/24 15:54	280.77	652.99	105.61	2.21	1.54	8.12	6.14	5.68	4.29
	2606	2015/12/24 15:54	280.77	652.50	106.13	2.21	1.54	8.16	6.17	5.71	4.31
	2607	2015/12/24 15:54	280.77	652.01	106.63	2.21	1.54	8.20	6.20	5.73	4.33
	2608	2015/12/24 15:54	280.77	652.01	107.15	2.21	1.54	8.24	6.23	5.76	4.36
	2609	2015/12/24 15:54	280.77	652.50	107.65	2.21	1.54	8.28	6.26	5.79	4.38
	2610	2015/12/24 15:54	280.77	652.99	108.17	2.21	1.54	8.32	6.29	5.82	4.40
	2611	2015/12/24 15:54	280.28	652.99	108.69	2.20	1.54	8.36	6.32	5.84	4.42
	2612	2015/12/24 15:54	280.28	654.46	109.11	2.20	1.54	8.39	6.34	5.87	4.44
	2613	2015/12/24 15:54	280.28	653.97	109.62	2.20	1.54	8.43	6.37	5.89	4.46
	2614	2015/12/24 15:54	280.28	654.46	110.12	2.20	1.54	8.47	6.40	5.92	4.48
	2615	2015/12/24 15:54	280.28	652.99	110.64	2.20	1.54	8.51	6.43	5.95	4.50
	2616	2015/12/24 15:54	280.28	654.46	111.16	2.20	1.54	8.55	6.46	5.98	4.52
	2617	2015/12/24 15:55	280.28	654.95	111.68	2.20	1.54	8.59	6.49	6.00	4.54
	2618	2015/12/24 15:55	279.79	654.95	112.22	2.20	1.53	8.63	6.52	6.03	4.56
	2619	2015/12/24 15:55	280.28	655.44	112.65	2.20	1.54	8.67	6.55	6.06	4.58
	2620	2015/12/24 15:55	279.79	654.95	113.15	2.20	1.53	8.70	6.58	6.08	4.60
	2621	2015/12/24 15:55	279.79	654.46	113.71	2.20	1.53	8.75	6.61	6.11	4.62
	2622	2015/12/24 15:55	279.79	655.44	114.15	2.20	1.53	8.78	6.64	6.14	4.64
	2623	2015/12/24 15:55	279.79	654.95	114.67	2.20	1.53	8.82	6.67	6.17	4.66
	2624	2015/12/24 15:55	279.79	654.95	115.21	2.20	1.53	8.86	6.70	6.19	4.68
	2625	2015/12/24 15:55	279.79	655.93	115.65	2.20	1.53	8.90	6.72	6.22	4.70
	2626	2015/12/24 15:55	279.30	653.97	116.18	2.20	1.53	8.94	6.75	6.25	4.72
$+9\delta$	2628	2015/12/24 15:55	279.30	656.42	117.16	2.20	1.53	9.01	6.81	6.30	4.76

付表 1(3)　包絡線のデジタルデータ（供試体1.5-2）（つづき）

1.5-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	2985	2015/12/24 16:44	276.85	653.97	122.12	2.18	1.52	9.39	7.10	6.57	4.96
	2986	2015/12/24 16:44	276.36	652.99	122.64	2.17	1.52	9.43	7.13	6.59	4.99
	2987	2015/12/24 16:44	276.85	652.50	123.16	2.18	1.52	9.47	7.16	6.62	5.01
	2988	2015/12/24 16:45	276.36	652.50	123.69	2.17	1.52	9.51	7.19	6.65	5.03
	2989	2015/12/24 16:45	276.85	652.50	124.11	2.18	1.52	9.55	7.22	6.67	5.04
	2990	2015/12/24 16:45	276.36	652.01	124.62	2.17	1.52	9.59	7.25	6.70	5.07
	2991	2015/12/24 16:45	276.36	652.01	125.16	2.17	1.52	9.63	7.28	6.73	5.09
	2992	2015/12/24 16:45	276.36	652.01	125.70	2.17	1.52	9.67	7.31	6.76	5.11
	2993	2015/12/24 16:45	275.87	652.01	126.12	2.17	1.51	9.70	7.33	6.78	5.13
	2994	2015/12/24 16:45	275.87	652.01	126.66	2.17	1.51	9.74	7.36	6.81	5.15
	2995	2015/12/24 16:45	275.87	652.50	127.12	2.17	1.51	9.78	7.39	6.83	5.17
	2996	2015/12/24 16:45	275.87	652.50	127.66	2.17	1.51	9.82	7.42	6.86	5.19
	2997	2015/12/24 16:45	275.87	652.01	128.21	2.17	1.51	9.86	7.45	6.89	5.21
	2998	2015/12/24 16:45	275.87	651.52	128.66	2.17	1.51	9.90	7.48	6.92	5.23
	2999	2015/12/24 16:45	275.38	652.01	129.20	2.16	1.51	9.94	7.51	6.95	5.25
	3000	2015/12/24 16:45	275.38	652.01	129.64	2.16	1.51	9.97	7.54	6.97	5.27
$+10\delta_{yN}$	3001	2015/12/24 16:45	274.89	652.50	130.14	2.16	1.51	10.01	7.57	7.00	5.29
	3337	2015/12/24 17:33	270.97	655.44	132.30	2.13	1.49	10.18	7.69	7.11	5.38
	3338	2015/12/24 17:33	269.01	656.42	135.23	2.11	1.47	10.40	7.86	7.27	5.50
	3339	2015/12/24 17:34	268.52	655.93	138.19	2.11	1.47	10.63	8.03	7.43	5.62
	3340	2015/12/24 17:34	267.54	655.44	141.22	2.10	1.47	10.86	8.21	7.59	5.74
$+11\delta_{yN}$	3341	2015/12/24 17:34	265.58	656.91	143.14	2.09	1.46	11.01	8.32	7.70	5.82

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
START	30	2015/1/13 10:06	-0.10	281.15	-0.71	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
	31	2015/1/13 10:06	-0.20	280.17	-0.74	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
	32	2015/1/13 10:12	-0.49	275.27	-0.92	-0.01	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01
	33	2015/1/13 10:12	-0.49	275.27	-0.92	-0.01	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01
	34	2015/1/13 10:12	0.00	275.27	-0.80	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
	35	2015/1/13 10:12	0.59	275.27	-0.62	0.02	0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
	36	2015/1/13 10:12	0.79	275.27	-0.54	0.02	0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
	37	2015/1/13 10:13	1.09	274.78	-0.44	0.03	0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	38	2015/1/13 10:13	1.28	274.78	-0.33	0.04	0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00
	39	2015/1/13 10:13	1.38	275.27	-0.21	0.04	0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00
	40	2015/1/13 10:13	1.68	274.78	-0.10	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	41	2015/1/13 10:13	1.78	274.78	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	42	2015/1/13 10:13	1.88	274.78	0.12	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	43	2015/1/13 10:13	1.97	274.78	0.20	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	44	2015/1/13 10:13	2.07	274.78	0.29	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00
	45	2015/1/13 10:13	2.27	274.78	0.42	0.07	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
	46	2015/1/13 10:13	2.37	274.78	0.54	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
	47	2015/1/13 10:13	2.37	274.78	0.64	0.07	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
	48	2015/1/13 10:13	2.57	274.78	0.73	0.07	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
	49	2015/1/13 10:13	2.57	274.78	0.83	0.07	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
	50	2015/1/13 10:13	2.76	274.78	0.94	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
	51	2015/1/13 10:13	2.86	274.78	1.03	0.08	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
	52	2015/1/13 10:13	2.96	274.78	1.12	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
	53	2015/1/13 10:13	3.06	274.78	1.22	0.09	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	54	2015/1/13 10:13	3.16	274.78	1.32	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
	55	2015/1/13 10:13	3.26	274.78	1.41	0.09	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02
	56	2015/1/13 10:13	3.36	274.78	1.50	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02
	57	2015/1/13 10:13	3.45	274.78	1.59	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
	58	2015/1/13 10:13	3.45	274.78	1.67	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
	59	2015/1/13 10:13	3.55	274.78	1.76	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	60	2015/1/13 10:13	3.65	274.78	1.85	0.10	0.06	0.05	0.05	0.03	0.03
	61	2015/1/13 10:13	3.75	274.78	1.94	0.11	0.07	0.06	0.05	0.03	0.03
	62	2015/1/13 10:13	3.85	274.78	2.05	0.11	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
	63	2015/1/13 10:14	3.95	274.78	2.16	0.11	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
	64	2015/1/13 10:14	4.05	274.78	2.26	0.12	0.07	0.07	0.06	0.04	0.03
	65	2015/1/13 10:14	4.05	274.78	2.33	0.12	0.07	0.07	0.06	0.04	0.03
	66	2015/1/13 10:14	4.24	274.78	2.44	0.12	0.07	0.07	0.06	0.04	0.04
	67	2015/1/13 10:14	4.24	274.78	2.53	0.12	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
	68	2015/1/13 10:14	4.44	274.78	2.65	0.13	0.08	0.08	0.07	0.05	0.04
	69	2015/1/13 10:14	4.44	274.78	2.74	0.13	0.08	0.08	0.07	0.05	0.04
	70	2015/1/13 10:14	4.64	274.29	2.84	0.13	0.08	0.08	0.07	0.05	0.04
	71	2015/1/13 10:14	4.74	274.29	2.95	0.14	0.08	0.09	0.07	0.05	0.04
	72	2015/1/13 10:14	4.74	274.78	3.04	0.14	0.08	0.09	0.07	0.05	0.05
	73	2015/1/13 10:14	4.94	274.29	3.12	0.14	0.09	0.09	0.08	0.06	0.05
	74	2015/1/13 10:14	5.03	274.29	3.24	0.14	0.09	0.10	0.08	0.06	0.05
	75	2015/1/13 10:14	5.03	274.29	3.34	0.14	0.09	0.10	0.08	0.06	0.05
	76	2015/1/13 10:14	5.13	274.29	3.44	0.15	0.09	0.10	0.08	0.06	0.05
	77	2015/1/13 10:14	5.23	274.29	3.53	0.15	0.09	0.10	0.09	0.06	0.05
	78	2015/1/13 10:14	5.33	274.29	3.60	0.15	0.09	0.11	0.09	0.06	0.05
	79	2015/1/13 10:15	5.43	274.29	3.71	0.16	0.10	0.11	0.09	0.07	0.06
	80	2015/1/13 10:15	5.53	274.29	3.83	0.16	0.10	0.11	0.09	0.07	0.06
	81	2015/1/13 10:15	5.63	274.29	3.93	0.16	0.10	0.12	0.10	0.07	0.06
	82	2015/1/13 10:15	5.63	274.29	4.02	0.16	0.10	0.12	0.10	0.07	0.06
	83	2015/1/13 10:15	5.82	274.29	4.13	0.17	0.10	0.12	0.10	0.07	0.06
	84	2015/1/13 10:15	5.92	274.29	4.22	0.17	0.10	0.12	0.10	0.08	0.06
	85	2015/1/13 10:15	6.02	273.80	4.32	0.17	0.11	0.13	0.11	0.08	0.06
	86	2015/1/13 10:15	6.12	273.80	4.43	0.18	0.11	0.13	0.11	0.08	0.07
	87	2015/1/13 10:15	6.12	274.29	4.50	0.18	0.11	0.13	0.11	0.08	0.07
	88	2015/1/13 10:16	6.22	273.80	4.61	0.18	0.11	0.14	0.11	0.08	0.07
	89	2015/1/13 10:16	6.42	273.80	4.73	0.18	0.11	0.14	0.12	0.08	0.07
	90	2015/1/13 10:16	6.42	274.29	4.82	0.18	0.11	0.14	0.12	0.09	0.07
	91	2015/1/13 10:16	6.51	274.29	4.92	0.19	0.11	0.14	0.12	0.09	0.07
	92	2015/1/13 10:16	6.61	273.80	5.03	0.19	0.12	0.15	0.12	0.09	0.08
	93	2015/1/13 10:16	6.71	273.80	5.18	0.19	0.12	0.15	0.13	0.09	0.08
	94	2015/1/13 10:16	6.81	273.80	5.23	0.20	0.12	0.15	0.13	0.09	0.08
	95	2015/1/13 10:16	7.01	273.80	5.34	0.20	0.12	0.16	0.13	0.10	0.08
	96	2015/1/13 10:16	7.11	273.80	5.45	0.20	0.12	0.16	0.13	0.10	0.08
	97	2015/1/13 10:16	7.21	273.80	5.54	0.21	0.13	0.16	0.14	0.10	0.08
	98	2015/1/13 10:16	7.30	273.80	5.65	0.21	0.13	0.17	0.14	0.10	0.08
	99	2015/1/13 10:16	7.50	273.80	5.79	0.22	0.13	0.17	0.14	0.10	0.09
	100	2015/1/13 10:16	7.60	274.29	5.95	0.22	0.13	0.17	0.15	0.11	0.09
	101	2015/1/13 10:16	7.80	273.80	6.11	0.22	0.14	0.18	0.15	0.11	0.09
	102	2015/1/13 10:16	7.99	276.25	6.31	0.23	0.14	0.19	0.16	0.11	0.09

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	114	2015/1/13 10:17	10.86	275.76	9.60	0.31	0.19	0.28	0.24	0.17	0.14
	115	2015/1/13 10:17	11.15	275.76	9.89	0.32	0.20	0.29	0.24	0.18	0.15
	116	2015/1/13 10:17	11.35	275.76	10.16	0.33	0.20	0.30	0.25	0.18	0.15
	117	2015/1/13 10:17	11.55	275.27	10.41	0.33	0.20	0.31	0.26	0.19	0.16
	118	2015/1/13 10:17	11.75	275.27	10.66	0.34	0.21	0.31	0.26	0.19	0.16
	119	2015/1/13 10:17	11.94	275.27	10.88	0.34	0.21	0.32	0.27	0.19	0.16
	120	2015/1/13 10:17	12.14	275.27	11.10	0.35	0.21	0.33	0.27	0.20	0.17
	121	2015/1/13 10:17	12.34	275.27	11.32	0.35	0.22	0.33	0.28	0.20	0.17
	122	2015/1/13 10:17	12.53	275.27	11.52	0.36	0.22	0.34	0.28	0.21	0.17
	123	2015/1/13 10:17	12.63	275.27	11.69	0.36	0.22	0.34	0.29	0.21	0.18
	124	2015/1/13 10:17	12.83	275.27	11.88	0.37	0.22	0.35	0.29	0.21	0.18
	125	2015/1/13 10:17	12.93	275.27	12.04	0.37	0.23	0.35	0.30	0.22	0.18
	126	2015/1/13 10:17	13.13	274.78	12.22	0.38	0.23	0.36	0.30	0.22	0.18
	127	2015/1/13 10:17	13.23	274.78	12.38	0.38	0.23	0.36	0.30	0.22	0.19
	128	2015/1/13 10:17	13.42	274.78	12.54	0.39	0.24	0.37	0.31	0.22	0.19
	129	2015/1/13 10:17	13.52	274.78	12.69	0.39	0.24	0.37	0.31	0.23	0.19
	130	2015/1/13 10:17	13.72	274.78	12.85	0.39	0.24	0.38	0.32	0.23	0.19
	131	2015/1/13 10:17	13.82	274.78	12.97	0.40	0.24	0.38	0.32	0.23	0.19
	132	2015/1/13 10:17	13.92	274.78	13.13	0.40	0.24	0.39	0.32	0.24	0.20
	133	2015/1/13 10:18	14.02	274.78	13.28	0.40	0.25	0.39	0.33	0.24	0.20
	134	2015/1/13 10:18	14.21	274.29	13.41	0.41	0.25	0.39	0.33	0.24	0.20
	135	2015/1/13 10:18	14.31	274.29	13.55	0.41	0.25	0.40	0.33	0.24	0.20
	136	2015/1/13 10:18	14.41	274.29	13.67	0.41	0.25	0.40	0.34	0.25	0.20
	137	2015/1/13 10:18	14.51	274.29	13.80	0.42	0.25	0.41	0.34	0.25	0.21
	138	2015/1/13 10:18	14.61	274.29	13.93	0.42	0.26	0.41	0.34	0.25	0.21
	139	2015/1/13 10:18	14.71	274.29	14.04	0.42	0.26	0.41	0.35	0.25	0.21
	140	2015/1/13 10:18	14.81	273.80	14.17	0.43	0.26	0.42	0.35	0.25	0.21
	141	2015/1/13 10:18	14.90	274.29	14.30	0.43	0.26	0.42	0.35	0.26	0.21
	142	2015/1/13 10:18	15.00	274.29	14.40	0.43	0.26	0.42	0.35	0.26	0.22
	143	2015/1/13 10:18	15.00	273.80	14.52	0.43	0.26	0.43	0.36	0.26	0.22
	144	2015/1/13 10:18	15.20	273.80	14.63	0.44	0.27	0.43	0.36	0.26	0.22
	145	2015/1/13 10:18	15.30	273.80	14.74	0.44	0.27	0.43	0.36	0.26	0.22
	146	2015/1/13 10:18	15.30	273.80	14.85	0.44	0.27	0.44	0.36	0.27	0.22
	147	2015/1/13 10:18	15.40	273.80	14.95	0.44	0.27	0.44	0.37	0.27	0.22
	148	2015/1/13 10:18	15.50	273.80	15.04	0.45	0.27	0.44	0.37	0.27	0.23
	149	2015/1/13 10:18	15.59	273.80	15.14	0.45	0.27	0.45	0.37	0.27	0.23
	150	2015/1/13 10:18	15.69	273.80	15.25	0.45	0.27	0.45	0.37	0.27	0.23
	151	2015/1/13 10:18	15.69	273.80	15.33	0.45	0.27	0.45	0.38	0.27	0.23
	152	2015/1/13 10:18	15.79	273.80	15.41	0.45	0.28	0.45	0.38	0.28	0.23
	153	2015/1/13 10:18	15.89	273.31	15.50	0.46	0.28	0.46	0.38	0.28	0.23
	154	2015/1/13 10:18	15.99	273.31	15.61	0.46	0.28	0.46	0.38	0.28	0.23
	155	2015/1/13 10:18	15.99	273.31	15.69	0.46	0.28	0.46	0.39	0.28	0.24
	156	2015/1/13 10:18	15.99	273.31	15.74	0.46	0.28	0.46	0.39	0.28	0.24
	157	2015/1/13 10:18	15.99	273.31	15.76	0.46	0.28	0.46	0.39	0.28	0.24
$+0.5\delta_{\theta N}$	158	2015/1/13 10:19	15.79	273.31	15.81	0.45	0.28	0.46	0.39	0.28	0.24
	493	2015/1/13 10:37	16.19	273.80	15.86	0.47	0.28	0.47	0.39	0.28	0.24
	494	2015/1/13 10:37	16.29	273.31	15.99	0.47	0.29	0.47	0.39	0.29	0.24
	495	2015/1/13 10:37	16.38	273.80	16.13	0.47	0.29	0.47	0.40	0.29	0.24
	496	2015/1/13 10:37	16.58	273.80	16.28	0.48	0.29	0.48	0.40	0.29	0.24
	497	2015/1/13 10:37	16.68	273.31	16.40	0.48	0.29	0.48	0.40	0.29	0.25
	498	2015/1/13 10:37	16.78	273.31	16.53	0.48	0.29	0.49	0.41	0.30	0.25
	499	2015/1/13 10:37	16.88	273.31	16.66	0.48	0.30	0.49	0.41	0.30	0.25
	500	2015/1/13 10:37	16.98	273.31	16.79	0.49	0.30	0.49	0.41	0.30	0.25
	501	2015/1/13 10:37	17.08	273.31	16.93	0.49	0.30	0.50	0.42	0.30	0.25
	502	2015/1/13 10:37	17.17	273.31	17.05	0.49	0.30	0.50	0.42	0.31	0.26
	503	2015/1/13 10:37	17.27	273.31	17.15	0.50	0.30	0.50	0.42	0.31	0.26
	504	2015/1/13 10:37	17.37	273.31	17.27	0.50	0.30	0.51	0.42	0.31	0.26
	505	2015/1/13 10:37	17.47	272.82	17.39	0.50	0.31	0.51	0.43	0.31	0.26
	506	2015/1/13 10:37	17.67	273.31	17.53	0.51	0.31	0.52	0.43	0.31	0.26
	507	2015/1/13 10:37	17.77	272.82	17.62	0.51	0.31	0.52	0.43	0.32	0.26
	508	2015/1/13 10:37	17.77	272.82	17.75	0.51	0.31	0.52	0.44	0.32	0.27
	509	2015/1/13 10:37	17.96	272.82	17.87	0.52	0.31	0.53	0.44	0.32	0.27
	510	2015/1/13 10:37	18.06	272.82	18.00	0.52	0.32	0.53	0.44	0.32	0.27
	511	2015/1/13 10:37	18.16	272.82	18.13	0.52	0.32	0.53	0.45	0.32	0.27
	512	2015/1/13 10:37	18.26	272.82	18.27	0.52	0.32	0.54	0.45	0.33	0.27
	513	2015/1/13 10:37	18.36	272.82	18.38	0.53	0.32	0.54	0.45	0.33	0.28
	514	2015/1/13 10:37	18.46	272.33	18.49	0.53	0.32	0.54	0.45	0.33	0.28
	515	2015/1/13 10:37	18.56	272.82	18.60	0.53	0.32	0.55	0.46	0.33	0.28
	516	2015/1/13 10:37	18.65	272.33	18.73	0.54	0.33	0.55	0.46	0.34	0.28
	517	2015/1/13 10:38	18.75	272.33	18.84	0.54	0.33	0.55	0.46	0.34	0.28
	518	2015/1/13 10:38	18.85	272.33	18.95	0.54	0.33	0.56	0.47	0.34	0.28
	519	2015/1/13 10:38	18.95	272.33	19.04	0.54	0.33	0.56	0.47	0.34	0.29
	520	2015/1/13 10:38	19.05	275.76	19.15	0.55	0.33	0.56	0.47	0.34	0.29

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	532	2015/1/13 10:38	19.94	275.27	20.31	0.57	0.35	0.60	0.50	0.36	0.30
	533	2015/1/13 10:38	20.04	275.27	20.45	0.58	0.35	0.60	0.50	0.37	0.31
	534	2015/1/13 10:38	20.13	275.27	20.61	0.58	0.35	0.61	0.51	0.37	0.31
	535	2015/1/13 10:38	20.33	275.27	20.74	0.58	0.36	0.61	0.51	0.37	0.31
	536	2015/1/13 10:38	20.33	274.78	20.83	0.58	0.36	0.61	0.51	0.37	0.31
	537	2015/1/13 10:38	20.53	274.78	20.97	0.59	0.36	0.62	0.52	0.38	0.31
	538	2015/1/13 10:38	20.63	274.78	21.10	0.59	0.36	0.62	0.52	0.38	0.32
	539	2015/1/13 10:38	20.63	274.78	21.23	0.59	0.36	0.62	0.52	0.38	0.32
	540	2015/1/13 10:38	20.83	274.78	21.35	0.60	0.36	0.63	0.52	0.38	0.32
	541	2015/1/13 10:38	20.83	274.78	21.44	0.60	0.36	0.63	0.53	0.38	0.32
	542	2015/1/13 10:38	20.92	274.29	21.57	0.60	0.37	0.63	0.53	0.39	0.32
	543	2015/1/13 10:38	21.12	274.29	21.70	0.61	0.37	0.64	0.53	0.39	0.33
	544	2015/1/13 10:38	21.12	274.29	21.83	0.61	0.37	0.64	0.54	0.39	0.33
	545	2015/1/13 10:39	21.32	274.29	21.97	0.61	0.37	0.65	0.54	0.39	0.33
	546	2015/1/13 10:39	21.42	274.29	22.14	0.62	0.38	0.65	0.54	0.40	0.33
	547	2015/1/13 10:39	21.52	274.29	22.26	0.62	0.38	0.65	0.55	0.40	0.33
	548	2015/1/13 10:39	21.62	274.29	22.41	0.62	0.38	0.66	0.55	0.40	0.34
	549	2015/1/13 10:39	21.71	273.80	22.55	0.62	0.38	0.66	0.55	0.40	0.34
	550	2015/1/13 10:39	21.91	273.80	22.69	0.63	0.38	0.67	0.56	0.41	0.34
	551	2015/1/13 10:39	22.01	273.80	22.85	0.63	0.39	0.67	0.56	0.41	0.34
	552	2015/1/13 10:39	22.11	273.80	23.00	0.64	0.39	0.68	0.57	0.41	0.34
	553	2015/1/13 10:39	22.31	273.80	23.17	0.64	0.39	0.68	0.57	0.42	0.35
	554	2015/1/13 10:39	22.40	273.80	23.34	0.64	0.39	0.69	0.57	0.42	0.35
	555	2015/1/13 10:39	22.60	273.31	23.49	0.65	0.40	0.69	0.58	0.42	0.35
	556	2015/1/13 10:39	22.70	273.31	23.68	0.65	0.40	0.70	0.58	0.42	0.36
	557	2015/1/13 10:39	22.80	273.31	23.82	0.66	0.40	0.70	0.59	0.43	0.36
	558	2015/1/13 10:39	23.00	273.31	24.00	0.66	0.40	0.71	0.59	0.43	0.36
	559	2015/1/13 10:39	23.10	272.82	24.18	0.66	0.40	0.71	0.59	0.43	0.36
	560	2015/1/13 10:39	23.19	272.82	24.37	0.67	0.41	0.72	0.60	0.44	0.37
	561	2015/1/13 10:39	23.39	272.82	24.56	0.67	0.41	0.72	0.60	0.44	0.37
	562	2015/1/13 10:39	23.49	272.33	24.77	0.68	0.41	0.73	0.61	0.44	0.37
	563	2015/1/13 10:39	23.69	272.33	24.95	0.68	0.41	0.73	0.61	0.45	0.37
	564	2015/1/13 10:39	23.79	272.33	25.13	0.68	0.42	0.74	0.62	0.45	0.38
	565	2015/1/13 10:39	23.98	272.33	25.30	0.69	0.42	0.74	0.62	0.45	0.38
	566	2015/1/13 10:39	24.08	275.76	25.48	0.69	0.42	0.75	0.63	0.46	0.38
	567	2015/1/13 10:39	24.18	275.27	25.64	0.69	0.42	0.75	0.63	0.46	0.38
	568	2015/1/13 10:39	24.28	274.78	25.82	0.70	0.43	0.76	0.63	0.46	0.39
	569	2015/1/13 10:39	24.48	274.78	25.99	0.70	0.43	0.76	0.64	0.47	0.39
	570	2015/1/13 10:39	24.58	274.29	26.14	0.71	0.43	0.77	0.64	0.47	0.39
	571	2015/1/13 10:39	24.77	274.29	26.32	0.71	0.43	0.77	0.65	0.47	0.39
	572	2015/1/13 10:39	24.87	273.80	26.47	0.71	0.44	0.78	0.65	0.47	0.40
	573	2015/1/13 10:40	24.97	273.80	26.66	0.72	0.44	0.78	0.65	0.48	0.40
	574	2015/1/13 10:40	25.17	273.31	26.81	0.72	0.44	0.79	0.66	0.48	0.40
	575	2015/1/13 10:40	25.27	273.31	26.96	0.73	0.44	0.79	0.66	0.48	0.40
	576	2015/1/13 10:40	25.37	273.31	27.14	0.73	0.44	0.80	0.67	0.49	0.41
	577	2015/1/13 10:40	25.46	273.31	27.30	0.73	0.45	0.80	0.67	0.49	0.41
	578	2015/1/13 10:40	25.66	272.82	27.45	0.74	0.45	0.81	0.67	0.49	0.41
	579	2015/1/13 10:40	25.76	272.82	27.63	0.74	0.45	0.81	0.68	0.50	0.41
	580	2015/1/13 10:40	25.86	272.82	27.83	0.74	0.45	0.82	0.68	0.50	0.42
	581	2015/1/13 10:40	26.06	272.82	28.01	0.75	0.46	0.82	0.69	0.50	0.42
	582	2015/1/13 10:40	26.16	272.33	28.19	0.75	0.46	0.83	0.69	0.51	0.42
	583	2015/1/13 10:40	26.25	272.33	28.34	0.75	0.46	0.83	0.70	0.51	0.42
	584	2015/1/13 10:40	26.35	276.25	28.50	0.76	0.46	0.84	0.70	0.51	0.43
	585	2015/1/13 10:40	26.55	275.76	28.67	0.76	0.46	0.84	0.70	0.51	0.43
	586	2015/1/13 10:40	26.65	275.27	28.84	0.77	0.47	0.85	0.71	0.52	0.43
	587	2015/1/13 10:40	26.75	274.78	29.09	0.77	0.47	0.86	0.71	0.52	0.44
	588	2015/1/13 10:40	26.85	274.29	29.21	0.77	0.47	0.86	0.72	0.52	0.44
	589	2015/1/13 10:40	26.95	274.29	29.39	0.77	0.47	0.86	0.72	0.53	0.44
	590	2015/1/13 10:40	27.14	273.80	29.56	0.78	0.48	0.87	0.73	0.53	0.44
	591	2015/1/13 10:40	27.24	273.80	29.70	0.78	0.48	0.87	0.73	0.53	0.45
	592	2015/1/13 10:40	27.34	273.31	29.87	0.79	0.48	0.88	0.73	0.54	0.45
	593	2015/1/13 10:40	27.44	273.31	30.01	0.79	0.48	0.88	0.74	0.54	0.45
	594	2015/1/13 10:40	27.64	273.31	30.15	0.79	0.48	0.89	0.74	0.54	0.45
	595	2015/1/13 10:40	27.73	273.31	30.31	0.80	0.49	0.89	0.74	0.54	0.45
	596	2015/1/13 10:40	27.83	272.82	30.44	0.80	0.49	0.90	0.75	0.55	0.46
	597	2015/1/13 10:40	27.93	272.82	30.57	0.80	0.49	0.90	0.75	0.55	0.46
	598	2015/1/13 10:40	28.03	272.82	30.71	0.81	0.49	0.90	0.75	0.55	0.46
	599	2015/1/13 10:40	28.03	272.82	30.85	0.81	0.49	0.91	0.76	0.55	0.46
	600	2015/1/13 10:40	28.13	272.33	30.97	0.81	0.49	0.91	0.76	0.56	0.46
	601	2015/1/13 10:41	28.33	272.33	31.09	0.81	0.50	0.91	0.76	0.56	0.47
	602	2015/1/13 10:41	28.33	272.33	31.23	0.81	0.50	0.92	0.77	0.56	0.47
	603	2015/1/13 10:41	28.43	276.25	31.34	0.82	0.50	0.92	0.77	0.56	0.47
$+1\delta_0$	604	2015/1/13 10:41	28.52	275.76	31.46	0.82	0.50	0.93	0.77	0.56	0.47

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	1221	2015/1/13 11:20	31.39	272.82	34.05	0.90	0.55	1.00	0.84	0.61	0.51
	1222	2015/1/13 11:20	31.58	272.33	34.33	0.91	0.55	1.01	0.84	0.62	0.51
	1223	2015/1/13 11:20	31.78	272.33	34.60	0.91	0.56	1.02	0.85	0.62	0.52
	1224	2015/1/13 11:20	31.98	274.78	34.88	0.92	0.56	1.03	0.86	0.63	0.52
	1225	2015/1/13 11:20	32.08	275.27	35.16	0.92	0.56	1.03	0.86	0.63	0.53
	1226	2015/1/13 11:20	32.37	274.78	35.43	0.93	0.57	1.04	0.87	0.63	0.53
	1227	2015/1/13 11:20	32.57	274.78	35.71	0.94	0.57	1.05	0.88	0.64	0.54
	1228	2015/1/13 11:20	32.77	274.29	35.99	0.94	0.57	1.06	0.88	0.65	0.54
	1229	2015/1/13 11:20	32.97	273.80	36.27	0.95	0.58	1.07	0.89	0.65	0.54
	1230	2015/1/13 11:20	33.16	273.80	36.58	0.95	0.58	1.08	0.90	0.66	0.55
	1231	2015/1/13 11:20	33.36	273.31	36.85	0.96	0.58	1.08	0.91	0.66	0.55
	1232	2015/1/13 11:20	33.66	272.82	37.18	0.97	0.59	1.09	0.91	0.67	0.56
	1233	2015/1/13 11:20	33.95	272.82	37.52	0.98	0.59	1.10	0.92	0.67	0.56
	1234	2015/1/13 11:20	34.15	272.33	37.86	0.98	0.60	1.11	0.93	0.68	0.57
	1235	2015/1/13 11:20	34.35	272.33	38.16	0.99	0.60	1.12	0.94	0.68	0.57
	1236	2015/1/13 11:20	34.55	271.84	38.48	0.99	0.60	1.13	0.95	0.69	0.58
	1237	2015/1/13 11:20	34.74	275.27	38.77	1.00	0.61	1.14	0.95	0.69	0.58
	1238	2015/1/13 11:21	35.04	273.80	39.11	1.01	0.61	1.15	0.96	0.70	0.59
	1239	2015/1/13 11:21	35.24	273.31	39.43	1.01	0.62	1.16	0.97	0.71	0.59
	1240	2015/1/13 11:21	35.43	272.82	39.74	1.02	0.62	1.17	0.98	0.71	0.60
	1241	2015/1/13 11:21	35.63	272.33	40.03	1.02	0.62	1.18	0.98	0.72	0.60
	1242	2015/1/13 11:21	35.83	272.33	40.36	1.03	0.63	1.19	0.99	0.72	0.61
	1243	2015/1/13 11:21	36.12	271.84	40.63	1.04	0.63	1.19	1.00	0.73	0.61
	1244	2015/1/13 11:21	36.22	275.27	40.93	1.04	0.63	1.20	1.01	0.73	0.61
	1245	2015/1/13 11:21	36.42	274.29	41.20	1.05	0.64	1.21	1.01	0.74	0.62
	1246	2015/1/13 11:21	36.62	273.31	41.48	1.05	0.64	1.22	1.02	0.74	0.62
	1247	2015/1/13 11:21	36.82	273.31	41.75	1.06	0.64	1.23	1.03	0.75	0.63
	1248	2015/1/13 11:21	36.91	272.82	41.99	1.06	0.65	1.24	1.03	0.75	0.63
	1249	2015/1/13 11:21	37.11	272.33	42.24	1.07	0.65	1.24	1.04	0.76	0.63
	1250	2015/1/13 11:21	37.21	271.84	42.49	1.07	0.65	1.25	1.04	0.76	0.64
	1251	2015/1/13 11:21	37.51	271.84	42.76	1.08	0.66	1.26	1.05	0.77	0.64
	1252	2015/1/13 11:21	37.60	275.27	42.97	1.08	0.66	1.26	1.06	0.77	0.64
	1253	2015/1/13 11:21	37.80	274.78	43.21	1.09	0.66	1.27	1.06	0.77	0.65
	1254	2015/1/13 11:21	37.90	274.29	43.43	1.09	0.66	1.28	1.07	0.78	0.65
	1255	2015/1/13 11:21	38.00	274.29	43.65	1.09	0.67	1.28	1.07	0.78	0.65
	1256	2015/1/13 11:21	38.20	273.80	43.85	1.10	0.67	1.29	1.08	0.79	0.66
	1257	2015/1/13 11:21	38.30	273.80	44.09	1.10	0.67	1.30	1.08	0.79	0.66
	1258	2015/1/13 11:21	38.39	273.31	44.29	1.10	0.67	1.30	1.09	0.79	0.66
	1259	2015/1/13 11:21	38.59	272.82	44.50	1.11	0.68	1.31	1.09	0.80	0.67
	1260	2015/1/13 11:21	38.69	272.82	44.71	1.11	0.68	1.31	1.10	0.80	0.67
	1261	2015/1/13 11:21	38.79	272.33	44.90	1.11	0.68	1.32	1.10	0.80	0.67
	1262	2015/1/13 11:21	38.99	272.33	45.08	1.12	0.68	1.33	1.11	0.81	0.68
	1263	2015/1/13 11:21	38.99	272.33	45.28	1.12	0.68	1.33	1.11	0.81	0.68
	1264	2015/1/13 11:21	39.18	271.84	45.47	1.13	0.69	1.34	1.12	0.81	0.68
	1265	2015/1/13 11:21	39.28	275.27	45.64	1.13	0.69	1.34	1.12	0.82	0.68
	1266	2015/1/13 11:22	39.48	274.78	45.83	1.13	0.69	1.35	1.13	0.82	0.69
	1267	2015/1/13 11:22	39.58	274.29	46.02	1.14	0.69	1.35	1.13	0.82	0.69
	1268	2015/1/13 11:22	39.68	273.31	46.23	1.14	0.69	1.36	1.14	0.83	0.69
	1269	2015/1/13 11:22	39.78	272.82	46.54	1.14	0.70	1.37	1.14	0.83	0.70
	1270	2015/1/13 11:22	39.87	272.82	46.70	1.15	0.70	1.37	1.15	0.84	0.70
	1271	2015/1/13 11:22	40.07	272.33	46.91	1.15	0.70	1.38	1.15	0.84	0.70
	1272	2015/1/13 11:22	40.17	272.33	47.06	1.15	0.70	1.38	1.16	0.84	0.71
	1273	2015/1/13 11:22	40.27	272.33	47.26	1.16	0.71	1.39	1.16	0.85	0.71
	1274	2015/1/13 11:22	40.37	271.84	47.42	1.16	0.71	1.39	1.17	0.85	0.71
	1275	2015/1/13 11:22	40.47	274.78	47.60	1.16	0.71	1.40	1.17	0.85	0.71
	1276	2015/1/13 11:22	40.66	274.78	47.85	1.17	0.71	1.41	1.18	0.86	0.72
	1277	2015/1/13 11:22	40.76	274.29	48.01	1.17	0.71	1.41	1.18	0.86	0.72
	1278	2015/1/13 11:22	40.76	274.29	48.18	1.17	0.71	1.42	1.18	0.86	0.72
	1279	2015/1/13 11:22	40.86	273.80	48.34	1.17	0.72	1.42	1.19	0.87	0.72
	1280	2015/1/13 11:22	41.06	273.80	48.58	1.18	0.72	1.43	1.19	0.87	0.73
	1281	2015/1/13 11:22	41.16	273.31	48.75	1.18	0.72	1.43	1.20	0.87	0.73
	1282	2015/1/13 11:22	41.26	273.31	48.91	1.19	0.72	1.44	1.20	0.88	0.73
	1283	2015/1/13 11:22	41.36	272.82	49.16	1.19	0.72	1.45	1.21	0.88	0.74
	1284	2015/1/13 11:22	41.45	272.82	49.32	1.19	0.73	1.45	1.21	0.88	0.74
	1285	2015/1/13 11:22	41.55	272.33	49.48	1.19	0.73	1.46	1.22	0.89	0.74
	1286	2015/1/13 11:22	41.85	271.84	49.75	1.20	0.73	1.46	1.22	0.89	0.75
	1287	2015/1/13 11:22	41.85	271.84	49.90	1.20	0.73	1.47	1.23	0.89	0.75
	1288	2015/1/13 11:22	41.85	275.76	50.05	1.20	0.73	1.47	1.23	0.90	0.75
	1289	2015/1/13 11:22	42.05	274.78	50.30	1.21	0.74	1.48	1.24	0.90	0.75
	1290	2015/1/13 11:22	42.14	273.80	50.46	1.21	0.74	1.48	1.24	0.90	0.76
	1291	2015/1/13 11:23	42.34	273.31	50.70	1.22	0.74	1.49	1.25	0.91	0.76
	1292	2015/1/13 11:23	42.44	273.31	50.87	1.22	0.74	1.50	1.25	0.91	0.76
	1293	2015/1/13 11:23	42.54	272.82	51.01	1.22	0.75	1.50	1.25	0.91	0.76

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	1305	2015/1/13 11:23	43.82	271.35	53.36	1.26	0.77	1.57	1.31	0.96	0.80
	1306	2015/1/13 11:23	43.92	275.27	53.53	1.26	0.77	1.57	1.32	0.96	0.80
	1307	2015/1/13 11:23	43.92	274.29	53.70	1.26	0.77	1.58	1.32	0.96	0.81
	1308	2015/1/13 11:23	44.12	273.80	53.88	1.27	0.77	1.58	1.32	0.97	0.81
	1309	2015/1/13 11:23	44.22	272.82	54.12	1.27	0.77	1.59	1.33	0.97	0.81
	1310	2015/1/13 11:24	44.32	272.82	54.28	1.27	0.78	1.60	1.33	0.97	0.81
	1311	2015/1/13 11:24	44.51	272.33	54.48	1.28	0.78	1.60	1.34	0.98	0.82
	1312	2015/1/13 11:24	44.61	272.33	54.66	1.28	0.78	1.61	1.34	0.98	0.82
	1313	2015/1/13 11:24	44.71	271.84	54.86	1.28	0.78	1.61	1.35	0.98	0.82
	1314	2015/1/13 11:24	44.81	274.78	55.08	1.29	0.78	1.62	1.35	0.99	0.83
	1315	2015/1/13 11:24	44.91	274.78	55.23	1.29	0.79	1.62	1.36	0.99	0.83
	1316	2015/1/13 11:24	45.01	274.29	55.44	1.29	0.79	1.63	1.36	0.99	0.83
	1317	2015/1/13 11:24	45.20	273.80	55.66	1.30	0.79	1.64	1.37	1.00	0.83
	1318	2015/1/13 11:24	45.30	273.80	55.78	1.30	0.79	1.64	1.37	1.00	0.84
	1319	2015/1/13 11:24	45.40	273.31	56.00	1.30	0.80	1.65	1.38	1.00	0.84
	1320	2015/1/13 11:24	45.50	273.31	56.18	1.31	0.80	1.65	1.38	1.01	0.84
	1321	2015/1/13 11:24	45.60	272.82	56.39	1.31	0.80	1.66	1.39	1.01	0.85
	1322	2015/1/13 11:24	45.70	272.82	56.60	1.31	0.80	1.66	1.39	1.01	0.85
	1323	2015/1/13 11:24	45.90	272.33	56.84	1.32	0.80	1.67	1.40	1.02	0.85
	1324	2015/1/13 11:24	45.90	271.84	56.98	1.32	0.80	1.68	1.40	1.02	0.85
	1325	2015/1/13 11:24	46.09	271.84	57.18	1.32	0.81	1.68	1.41	1.02	0.86
	1326	2015/1/13 11:24	46.09	275.27	57.35	1.32	0.81	1.69	1.41	1.03	0.86
	1327	2015/1/13 11:24	46.19	274.29	57.57	1.33	0.81	1.69	1.41	1.03	0.86
	1328	2015/1/13 11:24	46.29	273.31	57.74	1.33	0.81	1.70	1.42	1.03	0.87
	1329	2015/1/13 11:24	46.39	272.82	57.94	1.33	0.81	1.70	1.42	1.04	0.87
	1330	2015/1/13 11:24	46.59	272.82	58.13	1.34	0.82	1.71	1.43	1.04	0.87
	1331	2015/1/13 11:25	46.59	272.33	58.31	1.34	0.82	1.71	1.43	1.04	0.87
	1332	2015/1/13 11:25	46.69	272.33	58.49	1.34	0.82	1.72	1.44	1.05	0.88
	1333	2015/1/13 11:25	46.78	275.76	58.71	1.34	0.82	1.73	1.44	1.05	0.88
	1334	2015/1/13 11:25	46.88	274.78	58.89	1.35	0.82	1.73	1.45	1.06	0.88
	1335	2015/1/13 11:25	46.98	273.80	59.07	1.35	0.82	1.74	1.45	1.06	0.89
	1336	2015/1/13 11:25	47.18	273.31	59.25	1.36	0.83	1.74	1.46	1.06	0.89
	1337	2015/1/13 11:25	47.28	272.82	59.47	1.36	0.83	1.75	1.46	1.07	0.89
	1338	2015/1/13 11:25	47.38	272.33	59.66	1.36	0.83	1.75	1.47	1.07	0.89
	1339	2015/1/13 11:25	47.47	272.33	59.87	1.36	0.83	1.76	1.47	1.07	0.90
	1340	2015/1/13 11:25	47.57	271.84	60.09	1.37	0.83	1.77	1.48	1.08	0.90
	1341	2015/1/13 11:25	47.67	275.27	60.24	1.37	0.83	1.77	1.48	1.08	0.90
	1342	2015/1/13 11:25	47.77	274.29	60.45	1.37	0.84	1.78	1.49	1.08	0.91
	1343	2015/1/13 11:25	47.87	273.31	60.64	1.38	0.84	1.78	1.49	1.09	0.91
	1344	2015/1/13 11:25	47.97	273.31	60.80	1.38	0.84	1.79	1.49	1.09	0.91
	1345	2015/1/13 11:25	48.07	272.82	60.98	1.38	0.84	1.79	1.50	1.09	0.91
	1346	2015/1/13 11:25	48.17	272.33	61.22	1.38	0.84	1.80	1.50	1.10	0.92
	1347	2015/1/13 11:25	48.26	272.33	61.40	1.39	0.85	1.81	1.51	1.10	0.92
	1348	2015/1/13 11:25	48.36	271.84	61.56	1.39	0.85	1.81	1.51	1.10	0.92
	1349	2015/1/13 11:26	48.36	275.27	61.75	1.39	0.85	1.82	1.52	1.11	0.93
	1350	2015/1/13 11:26	48.46	274.29	61.97	1.39	0.85	1.82	1.52	1.11	0.93
	1351	2015/1/13 11:26	48.56	273.31	62.12	1.40	0.85	1.83	1.53	1.11	0.93
	1352	2015/1/13 11:26	48.76	273.31	62.34	1.40	0.85	1.83	1.53	1.12	0.93
	1353	2015/1/13 11:26	48.86	272.82	62.53	1.40	0.86	1.84	1.54	1.12	0.94
	1354	2015/1/13 11:26	48.96	272.33	62.74	1.41	0.86	1.85	1.54	1.12	0.94
	1355	2015/1/13 11:26	49.05	271.84	62.91	1.41	0.86	1.85	1.55	1.13	0.94
	1356	2015/1/13 11:26	49.05	275.27	63.10	1.41	0.86	1.86	1.55	1.13	0.95
$+2\delta_0$	1357	2015/1/13 11:26	49.05	274.78	63.16	1.41	0.86	1.86	1.55	1.13	0.95
	2179	2015/1/13 13:15	53.50	271.35	63.30	1.54	0.94	1.86	1.56	1.13	0.95
	2180	2015/1/13 13:15	53.79	274.29	63.82	1.55	0.94	1.88	1.57	1.14	0.96
	2181	2015/1/13 13:15	53.99	272.82	64.34	1.55	0.95	1.89	1.58	1.15	0.96
	2182	2015/1/13 13:15	54.29	271.84	64.85	1.56	0.95	1.91	1.59	1.16	0.97
	2183	2015/1/13 13:15	54.38	276.25	65.34	1.56	0.95	1.92	1.61	1.17	0.98
	2184	2015/1/13 13:15	54.68	274.78	65.83	1.57	0.96	1.94	1.62	1.18	0.99
	2185	2015/1/13 13:15	54.98	273.31	66.26	1.58	0.96	1.95	1.63	1.19	0.99
	2186	2015/1/13 13:15	55.27	271.84	66.72	1.59	0.97	1.96	1.64	1.20	1.00
	2187	2015/1/13 13:15	55.47	271.35	67.16	1.59	0.97	1.98	1.65	1.20	1.01
	2188	2015/1/13 13:15	55.57	274.29	67.52	1.60	0.97	1.99	1.66	1.21	1.01
	2189	2015/1/13 13:16	55.67	273.80	67.84	1.60	0.97	2.00	1.67	1.22	1.02
	2190	2015/1/13 13:16	55.86	273.31	68.17	1.61	0.98	2.01	1.67	1.22	1.02
	2191	2015/1/13 13:16	56.06	272.82	68.50	1.61	0.98	2.01	1.68	1.23	1.03
	2192	2015/1/13 13:16	56.16	272.33	68.79	1.61	0.98	2.02	1.69	1.23	1.03
	2193	2015/1/13 13:16	56.26	271.35	69.11	1.62	0.99	2.03	1.70	1.24	1.04
	2194	2015/1/13 13:16	56.36	271.35	69.42	1.62	0.99	2.04	1.71	1.24	1.04
	2195	2015/1/13 13:16	56.46	275.27	69.76	1.62	0.99	2.05	1.71	1.25	1.05
	2196	2015/1/13 13:16	56.65	273.80	70.05	1.63	0.99	2.06	1.72	1.26	1.05
	2197	2015/1/13 13:16	56.75	272.33	70.33	1.63	0.99	2.07	1.73	1.26	1.05
	2198	2015/1/13 13:16	56.85	271.84	70.60	1.63	1.00	2.08	1.73	1.27	1.06

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	2210	2015/1/13 13:16	58.04	274.29	73.59	1.67	1.02	2.16	1.81	1.32	1.10
	2211	2015/1/13 13:16	58.13	273.31	73.80	1.67	1.02	2.17	1.81	1.32	1.11
	2212	2015/1/13 13:16	58.23	272.82	74.03	1.67	1.02	2.18	1.82	1.33	1.11
	2213	2015/1/13 13:16	58.33	272.33	74.25	1.68	1.02	2.18	1.82	1.33	1.11
	2214	2015/1/13 13:16	58.43	272.33	74.47	1.68	1.02	2.19	1.83	1.33	1.12
	2215	2015/1/13 13:16	58.53	271.84	74.66	1.68	1.03	2.20	1.83	1.34	1.12
	2216	2015/1/13 13:16	58.63	271.35	74.87	1.68	1.03	2.20	1.84	1.34	1.12
	2217	2015/1/13 13:17	58.73	270.86	75.08	1.69	1.03	2.21	1.84	1.35	1.13
	2218	2015/1/13 13:17	58.73	274.29	75.28	1.69	1.03	2.21	1.85	1.35	1.13
	2219	2015/1/13 13:17	58.83	273.31	75.48	1.69	1.03	2.22	1.85	1.35	1.13
	2220	2015/1/13 13:17	58.92	272.33	75.68	1.69	1.03	2.23	1.86	1.36	1.13
	2221	2015/1/13 13:17	58.92	271.84	75.88	1.69	1.03	2.23	1.86	1.36	1.14
	2222	2015/1/13 13:17	59.02	271.35	76.06	1.70	1.03	2.24	1.87	1.36	1.14
	2223	2015/1/13 13:17	59.12	271.35	76.26	1.70	1.04	2.24	1.87	1.37	1.14
	2224	2015/1/13 13:17	59.02	274.78	76.43	1.70	1.03	2.25	1.88	1.37	1.15
	2225	2015/1/13 13:17	59.12	273.80	76.62	1.70	1.04	2.25	1.88	1.37	1.15
	2226	2015/1/13 13:17	59.22	272.82	76.81	1.70	1.04	2.26	1.89	1.38	1.15
	2227	2015/1/13 13:17	59.32	272.33	77.00	1.70	1.04	2.26	1.89	1.38	1.15
	2228	2015/1/13 13:17	59.42	271.84	77.26	1.71	1.04	2.27	1.90	1.38	1.16
	2229	2015/1/13 13:17	59.52	271.35	77.44	1.71	1.04	2.28	1.90	1.39	1.16
	2230	2015/1/13 13:17	59.52	270.86	77.61	1.71	1.04	2.28	1.91	1.39	1.16
	2231	2015/1/13 13:17	59.52	273.80	77.78	1.71	1.04	2.29	1.91	1.39	1.17
	2232	2015/1/13 13:17	59.71	272.33	78.02	1.72	1.05	2.29	1.92	1.40	1.17
	2233	2015/1/13 13:17	59.81	272.33	78.20	1.72	1.05	2.30	1.92	1.40	1.17
	2234	2015/1/13 13:17	59.91	271.84	78.36	1.72	1.05	2.30	1.93	1.40	1.17
	2235	2015/1/13 13:17	60.01	271.35	78.62	1.72	1.05	2.31	1.93	1.41	1.18
	2236	2015/1/13 13:17	60.01	273.80	78.74	1.72	1.05	2.32	1.93	1.41	1.18
	2237	2015/1/13 13:17	60.01	274.29	78.93	1.72	1.05	2.32	1.94	1.41	1.18
	2238	2015/1/13 13:17	60.11	273.80	79.16	1.73	1.05	2.33	1.94	1.42	1.19
	2239	2015/1/13 13:17	60.11	273.31	79.31	1.73	1.05	2.33	1.95	1.42	1.19
	2240	2015/1/13 13:17	60.21	272.82	79.53	1.73	1.05	2.34	1.95	1.43	1.19
	2241	2015/1/13 13:17	60.31	272.33	79.74	1.73	1.06	2.35	1.96	1.43	1.20
	2242	2015/1/13 13:17	60.31	272.33	79.89	1.73	1.06	2.35	1.96	1.43	1.20
	2243	2015/1/13 13:18	60.50	271.84	80.12	1.74	1.06	2.36	1.97	1.44	1.20
	2244	2015/1/13 13:18	60.50	271.35	80.33	1.74	1.06	2.36	1.97	1.44	1.20
	2245	2015/1/13 13:18	60.60	270.86	80.47	1.74	1.06	2.37	1.98	1.44	1.21
	2246	2015/1/13 13:18	60.60	273.80	80.68	1.74	1.06	2.37	1.98	1.45	1.21
	2247	2015/1/13 13:18	60.70	272.82	80.89	1.74	1.06	2.38	1.99	1.45	1.21
	2248	2015/1/13 13:18	60.80	272.33	81.07	1.75	1.06	2.38	1.99	1.45	1.22
	2249	2015/1/13 13:18	60.90	271.84	81.28	1.75	1.07	2.39	2.00	1.46	1.22
	2250	2015/1/13 13:18	60.90	271.35	81.49	1.75	1.07	2.40	2.00	1.46	1.22
	2251	2015/1/13 13:18	61.00	272.82	81.65	1.75	1.07	2.40	2.01	1.46	1.22
	2252	2015/1/13 13:18	61.00	273.80	81.86	1.75	1.07	2.41	2.01	1.47	1.23
	2253	2015/1/13 13:18	61.10	273.31	82.06	1.76	1.07	2.41	2.02	1.47	1.23
	2254	2015/1/13 13:18	61.10	273.31	82.24	1.76	1.07	2.42	2.02	1.47	1.23
	2255	2015/1/13 13:18	61.19	272.82	82.43	1.76	1.07	2.42	2.03	1.48	1.24
	2256	2015/1/13 13:18	61.29	272.33	82.60	1.76	1.07	2.43	2.03	1.48	1.24
	2257	2015/1/13 13:18	61.39	271.84	82.86	1.76	1.08	2.44	2.04	1.48	1.24
	2258	2015/1/13 13:18	61.39	271.84	83.01	1.76	1.08	2.44	2.04	1.49	1.24
	2259	2015/1/13 13:18	61.49	271.35	83.20	1.77	1.08	2.45	2.04	1.49	1.25
	2260	2015/1/13 13:18	61.49	274.29	83.41	1.77	1.08	2.45	2.05	1.49	1.25
	2261	2015/1/13 13:19	61.49	272.82	83.60	1.77	1.08	2.46	2.05	1.50	1.25
	2262	2015/1/13 13:19	61.59	272.33	83.80	1.77	1.08	2.46	2.06	1.50	1.26
	2263	2015/1/13 13:19	61.69	271.84	83.97	1.77	1.08	2.47	2.06	1.50	1.26
	2264	2015/1/13 13:19	61.79	271.35	84.22	1.78	1.08	2.48	2.07	1.51	1.26
	2265	2015/1/13 13:19	61.88	270.86	84.39	1.78	1.08	2.48	2.07	1.51	1.27
	2266	2015/1/13 13:19	61.88	273.80	84.60	1.78	1.08	2.49	2.08	1.52	1.27
	2267	2015/1/13 13:19	61.98	272.82	84.75	1.78	1.09	2.49	2.08	1.52	1.27
	2268	2015/1/13 13:19	62.08	271.84	84.98	1.78	1.09	2.50	2.09	1.52	1.27
	2269	2015/1/13 13:19	62.18	271.35	85.21	1.79	1.09	2.51	2.09	1.53	1.28
	2270	2015/1/13 13:19	62.28	270.86	85.41	1.79	1.09	2.51	2.10	1.53	1.28
	2271	2015/1/13 13:19	62.18	274.78	85.53	1.79	1.09	2.52	2.10	1.53	1.28
	2272	2015/1/13 13:19	62.28	272.82	85.75	1.79	1.09	2.52	2.11	1.54	1.29
	2273	2015/1/13 13:19	62.38	272.33	85.96	1.79	1.09	2.53	2.11	1.54	1.29
	2274	2015/1/13 13:19	62.48	271.84	86.16	1.80	1.09	2.53	2.12	1.54	1.29
	2275	2015/1/13 13:19	62.58	271.35	86.36	1.80	1.10	2.54	2.12	1.55	1.29
	2276	2015/1/13 13:19	62.58	271.35	86.50	1.80	1.10	2.54	2.13	1.55	1.30
	2277	2015/1/13 13:19	62.58	274.29	86.70	1.80	1.10	2.55	2.13	1.55	1.30
	2278	2015/1/13 13:19	62.58	273.80	86.90	1.80	1.10	2.56	2.14	1.56	1.30
	2279	2015/1/13 13:19	62.67	273.31	87.11	1.80	1.10	2.56	2.14	1.56	1.31
	2280	2015/1/13 13:19	62.77	273.31	87.29	1.80	1.10	2.57	2.14	1.56	1.31
	2281	2015/1/13 13:20	62.87	272.33	87.51	1.81	1.10	2.57	2.15	1.57	1.31
	2282	2015/1/13 13:20	62.97	271.84	87.78	1.81	1.10	2.58	2.16	1.57	1.32

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	2294	2015/1/13 13:20	63.76	271.84	90.11	1.83	1.12	2.65	2.21	1.61	1.35
	2295	2015/1/13 13:20	63.86	271.35	90.27	1.84	1.12	2.66	2.22	1.62	1.35
	2296	2015/1/13 13:20	63.76	274.78	90.50	1.83	1.12	2.66	2.22	1.62	1.36
	2297	2015/1/13 13:20	63.86	274.29	90.66	1.84	1.12	2.67	2.23	1.62	1.36
	2298	2015/1/13 13:20	63.96	273.31	90.88	1.84	1.12	2.67	2.23	1.63	1.36
	2299	2015/1/13 13:20	63.96	273.31	91.01	1.84	1.12	2.68	2.24	1.63	1.36
	2300	2015/1/13 13:20	64.06	272.82	91.24	1.84	1.12	2.68	2.24	1.64	1.37
	2301	2015/1/13 13:20	64.06	272.33	91.47	1.84	1.12	2.69	2.25	1.64	1.37
	2302	2015/1/13 13:20	64.16	271.84	91.60	1.84	1.12	2.69	2.25	1.64	1.37
	2303	2015/1/13 13:20	64.16	271.35	91.84	1.84	1.12	2.70	2.26	1.65	1.38
	2304	2015/1/13 13:21	64.16	274.78	92.10	1.84	1.12	2.71	2.26	1.65	1.38
	2305	2015/1/13 13:21	64.25	274.29	92.24	1.85	1.13	2.71	2.27	1.65	1.38
	2306	2015/1/13 13:21	64.25	273.31	92.39	1.85	1.13	2.72	2.27	1.66	1.39
	2307	2015/1/13 13:21	64.35	272.33	92.58	1.85	1.13	2.72	2.27	1.66	1.39
	2308	2015/1/13 13:21	64.35	271.84	92.78	1.85	1.13	2.73	2.28	1.66	1.39
	2309	2015/1/13 13:21	64.45	271.35	93.00	1.85	1.13	2.74	2.28	1.67	1.39
	2310	2015/1/13 13:21	64.45	274.78	93.19	1.85	1.13	2.74	2.29	1.67	1.40
	2311	2015/1/13 13:21	64.55	273.31	93.37	1.85	1.13	2.75	2.29	1.67	1.40
	2312	2015/1/13 13:21	64.55	272.33	93.59	1.85	1.13	2.75	2.30	1.68	1.40
	2313	2015/1/13 13:21	64.65	271.84	93.75	1.86	1.13	2.76	2.30	1.68	1.41
	2314	2015/1/13 13:21	64.75	271.35	93.95	1.86	1.13	2.76	2.31	1.68	1.41
	2315	2015/1/13 13:21	64.75	272.33	94.14	1.86	1.13	2.77	2.31	1.69	1.41
	2316	2015/1/13 13:21	64.85	273.80	94.39	1.86	1.14	2.78	2.32	1.69	1.42
	2317	2015/1/13 13:21	64.85	272.82	94.58	1.86	1.14	2.78	2.32	1.70	1.42
	2318	2015/1/13 13:21	64.94	271.84	94.77	1.87	1.14	2.79	2.33	1.70	1.42
	2319	2015/1/13 13:21	64.94	271.84	94.94	1.87	1.14	2.79	2.33	1.70	1.42
$+3\delta_{\phi N}$	2320	2015/1/13 13:21	65.04	271.35	95.12	1.87	1.14	2.80	2.34	1.70	1.43
	3516	2015/1/13 14:28	68.50	270.86	95.22	1.97	1.20	2.80	2.34	1.71	1.43
	3517	2015/1/13 14:28	68.60	270.37	95.40	1.97	1.20	2.81	2.34	1.71	1.43
	3518	2015/1/13 14:28	68.60	274.29	95.59	1.97	1.20	2.81	2.35	1.71	1.43
	3519	2015/1/13 14:28	68.60	272.33	95.87	1.97	1.20	2.82	2.36	1.72	1.44
	3520	2015/1/13 14:28	68.70	271.84	96.06	1.97	1.20	2.83	2.36	1.72	1.44
	3521	2015/1/13 14:28	68.79	271.35	96.33	1.98	1.20	2.83	2.37	1.73	1.44
	3522	2015/1/13 14:28	68.89	270.86	96.60	1.98	1.21	2.84	2.37	1.73	1.45
	3523	2015/1/13 14:28	68.89	273.80	96.87	1.98	1.21	2.85	2.38	1.74	1.45
	3524	2015/1/13 14:28	68.89	271.84	97.12	1.98	1.21	2.86	2.39	1.74	1.46
	3525	2015/1/13 14:28	69.09	271.35	97.39	1.99	1.21	2.86	2.39	1.75	1.46
	3526	2015/1/13 14:28	69.09	270.86	97.64	1.99	1.21	2.87	2.40	1.75	1.46
	3527	2015/1/13 14:28	69.09	274.29	97.89	1.99	1.21	2.88	2.41	1.75	1.47
	3528	2015/1/13 14:28	69.19	272.33	98.14	1.99	1.21	2.89	2.41	1.76	1.47
	3529	2015/1/13 14:28	69.29	271.84	98.37	1.99	1.21	2.89	2.42	1.76	1.47
	3530	2015/1/13 14:28	69.29	271.35	98.63	1.99	1.21	2.90	2.42	1.77	1.48
	3531	2015/1/13 14:28	69.29	270.37	98.88	1.99	1.21	2.91	2.43	1.77	1.48
	3532	2015/1/13 14:28	69.29	274.29	99.10	1.99	1.21	2.91	2.43	1.78	1.49
	3533	2015/1/13 14:28	69.39	272.33	99.34	1.99	1.22	2.92	2.44	1.78	1.49
	3534	2015/1/13 14:29	69.39	271.35	99.58	1.99	1.22	2.93	2.45	1.78	1.49
	3535	2015/1/13 14:29	69.48	270.86	99.82	2.00	1.22	2.94	2.45	1.79	1.50
	3536	2015/1/13 14:29	69.48	270.37	100.05	2.00	1.22	2.94	2.46	1.79	1.50
	3537	2015/1/13 14:29	69.48	273.31	100.31	2.00	1.22	2.95	2.46	1.80	1.50
	3538	2015/1/13 14:29	69.58	271.84	100.54	2.00	1.22	2.96	2.47	1.80	1.51
	3539	2015/1/13 14:29	69.68	271.35	100.79	2.00	1.22	2.96	2.48	1.81	1.51
	3540	2015/1/13 14:29	69.78	270.86	101.00	2.01	1.22	2.97	2.48	1.81	1.51
	3541	2015/1/13 14:29	69.78	270.37	101.23	2.01	1.22	2.98	2.49	1.81	1.52
	3542	2015/1/13 14:29	69.78	273.31	101.47	2.01	1.22	2.98	2.49	1.82	1.52
	3543	2015/1/13 14:29	69.78	271.84	101.71	2.01	1.22	2.99	2.50	1.82	1.52
	3544	2015/1/13 14:29	69.88	270.86	102.00	2.01	1.22	3.00	2.51	1.83	1.53
	3545	2015/1/13 14:29	70.08	270.37	102.28	2.01	1.23	3.01	2.51	1.83	1.53
	3546	2015/1/13 14:29	69.98	274.29	102.55	2.01	1.23	3.02	2.52	1.84	1.54
	3547	2015/1/13 14:29	70.08	272.33	102.82	2.01	1.23	3.02	2.53	1.84	1.54
	3548	2015/1/13 14:29	70.18	271.35	103.10	2.02	1.23	3.03	2.53	1.85	1.55
	3549	2015/1/13 14:29	70.27	270.37	103.38	2.02	1.23	3.04	2.54	1.85	1.55
	3550	2015/1/13 14:29	70.18	274.29	103.71	2.02	1.23	3.05	2.55	1.86	1.55
	3551	2015/1/13 14:29	70.27	272.33	103.98	2.02	1.23	3.06	2.55	1.86	1.56
	3552	2015/1/13 14:29	70.37	271.35	104.24	2.02	1.23	3.07	2.56	1.87	1.56
	3553	2015/1/13 14:29	70.47	270.86	104.51	2.03	1.23	3.07	2.57	1.87	1.57
	3554	2015/1/13 14:29	70.37	274.78	104.75	2.02	1.23	3.08	2.57	1.88	1.57
	3555	2015/1/13 14:29	70.47	273.31	105.03	2.03	1.23	3.09	2.58	1.88	1.57
	3556	2015/1/13 14:29	70.57	271.84	105.29	2.03	1.24	3.10	2.59	1.89	1.58
	3557	2015/1/13 14:29	70.57	270.86	105.58	2.03	1.24	3.11	2.59	1.89	1.58
	3558	2015/1/13 14:29	70.47	274.78	105.84	2.03	1.23	3.11	2.60	1.90	1.59
	3559	2015/1/13 14:29	70.67	273.31	106.13	2.03	1.24	3.12	2.61	1.90	1.59
	3560	2015/1/13 14:29	70.77	271.84	106.42	2.03	1.24	3.13	2.61	1.91	1.60
	3561	2015/1/13 14:29	70.77	270.86	106.67	2.03	1.24	3.14	2.62	1.91	1.60

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	3573	2015/1/13 14:30	71.16	270.86	109.87	2.04	1.25	3.23	2.70	1.97	1.65
	3574	2015/1/13 14:30	71.16	270.37	110.12	2.04	1.25	3.24	2.71	1.97	1.65
	3575	2015/1/13 14:30	71.16	274.29	110.34	2.04	1.25	3.25	2.71	1.98	1.65
	3576	2015/1/13 14:30	71.26	272.33	110.64	2.05	1.25	3.25	2.72	1.98	1.66
	3577	2015/1/13 14:30	71.36	271.35	110.90	2.05	1.25	3.26	2.72	1.99	1.66
	3578	2015/1/13 14:30	71.36	270.86	111.13	2.05	1.25	3.27	2.73	1.99	1.67
	3579	2015/1/13 14:30	71.36	274.78	111.36	2.05	1.25	3.28	2.74	2.00	1.67
	3580	2015/1/13 14:30	71.36	273.31	111.64	2.05	1.25	3.28	2.74	2.00	1.67
	3581	2015/1/13 14:30	71.46	271.84	111.87	2.05	1.25	3.29	2.75	2.00	1.68
	3582	2015/1/13 14:30	71.46	270.86	112.11	2.05	1.25	3.30	2.75	2.01	1.68
	3583	2015/1/13 14:30	71.46	270.37	112.36	2.05	1.25	3.30	2.76	2.01	1.68
	3584	2015/1/13 14:30	71.36	273.80	112.59	2.05	1.25	3.31	2.77	2.02	1.69
	3585	2015/1/13 14:30	71.46	271.84	112.83	2.05	1.25	3.32	2.77	2.02	1.69
	3586	2015/1/13 14:30	71.56	271.35	113.08	2.06	1.25	3.33	2.78	2.03	1.70
	3587	2015/1/13 14:30	71.56	270.86	113.30	2.06	1.25	3.33	2.78	2.03	1.70
	3588	2015/1/13 14:30	71.56	274.29	113.58	2.06	1.25	3.34	2.79	2.04	1.70
	3589	2015/1/13 14:30	71.56	272.33	113.80	2.06	1.25	3.35	2.80	2.04	1.71
	3590	2015/1/13 14:31	71.66	271.35	114.06	2.06	1.25	3.35	2.80	2.04	1.71
	3591	2015/1/13 14:31	71.66	270.86	114.26	2.06	1.25	3.36	2.81	2.05	1.71
	3592	2015/1/13 14:31	71.66	270.37	114.51	2.06	1.25	3.37	2.81	2.05	1.72
	3593	2015/1/13 14:31	71.66	273.31	114.74	2.06	1.25	3.37	2.82	2.06	1.72
	3594	2015/1/13 14:31	71.66	272.82	114.97	2.06	1.25	3.38	2.82	2.06	1.72
	3595	2015/1/13 14:31	71.75	271.84	115.22	2.06	1.26	3.39	2.83	2.06	1.73
	3596	2015/1/13 14:31	71.75	271.35	115.44	2.06	1.26	3.40	2.84	2.07	1.73
	3597	2015/1/13 14:31	71.85	270.86	115.61	2.06	1.26	3.40	2.84	2.07	1.73
	3598	2015/1/13 14:31	71.85	270.37	115.85	2.06	1.26	3.41	2.85	2.08	1.74
	3599	2015/1/13 14:31	71.75	273.31	116.09	2.06	1.26	3.41	2.85	2.08	1.74
	3600	2015/1/13 14:31	71.85	271.84	116.33	2.06	1.26	3.42	2.86	2.08	1.74
	3601	2015/1/13 14:31	71.85	271.35	116.55	2.06	1.26	3.43	2.86	2.09	1.75
	3602	2015/1/13 14:31	71.95	270.37	116.77	2.07	1.26	3.43	2.87	2.09	1.75
	3603	2015/1/13 14:31	71.85	273.80	116.99	2.06	1.26	3.44	2.87	2.10	1.75
	3604	2015/1/13 14:31	71.85	272.33	117.23	2.06	1.26	3.45	2.88	2.10	1.76
	3605	2015/1/13 14:31	71.95	271.35	117.44	2.07	1.26	3.45	2.89	2.10	1.76
	3606	2015/1/13 14:31	71.95	270.86	117.64	2.07	1.26	3.46	2.89	2.11	1.76
	3607	2015/1/13 14:31	72.05	270.86	117.85	2.07	1.26	3.47	2.90	2.11	1.77
	3608	2015/1/13 14:31	71.95	273.31	118.08	2.07	1.26	3.47	2.90	2.12	1.77
	3609	2015/1/13 14:31	71.95	272.82	118.33	2.07	1.26	3.48	2.91	2.12	1.77
	3610	2015/1/13 14:31	72.05	271.84	118.54	2.07	1.26	3.49	2.91	2.12	1.78
	3611	2015/1/13 14:31	72.05	271.35	118.76	2.07	1.26	3.49	2.92	2.13	1.78
	3612	2015/1/13 14:31	72.05	270.86	118.96	2.07	1.26	3.50	2.92	2.13	1.78
	3613	2015/1/13 14:31	72.15	270.37	119.17	2.07	1.26	3.50	2.93	2.14	1.79
	3614	2015/1/13 14:31	72.05	273.31	119.36	2.07	1.26	3.51	2.93	2.14	1.79
	3615	2015/1/13 14:31	72.15	271.84	119.58	2.07	1.26	3.52	2.94	2.14	1.79
	3616	2015/1/13 14:31	72.15	270.86	119.79	2.07	1.26	3.52	2.94	2.15	1.80
	3617	2015/1/13 14:31	72.15	270.37	120.00	2.07	1.26	3.53	2.95	2.15	1.80
	3618	2015/1/13 14:32	72.05	274.29	120.24	2.07	1.26	3.54	2.95	2.15	1.80
	3619	2015/1/13 14:32	72.15	272.82	120.44	2.07	1.26	3.54	2.96	2.16	1.81
	3620	2015/1/13 14:32	72.25	271.35	120.66	2.08	1.27	3.55	2.96	2.16	1.81
	3621	2015/1/13 14:32	72.25	270.86	120.86	2.08	1.27	3.55	2.97	2.17	1.81
	3622	2015/1/13 14:32	72.25	270.37	121.05	2.08	1.27	3.56	2.97	2.17	1.81
	3623	2015/1/13 14:32	72.25	273.31	121.24	2.08	1.27	3.57	2.98	2.17	1.82
	3624	2015/1/13 14:32	72.25	271.84	121.45	2.08	1.27	3.57	2.98	2.18	1.82
	3625	2015/1/13 14:32	72.35	271.35	121.65	2.08	1.27	3.58	2.99	2.18	1.82
	3626	2015/1/13 14:32	72.35	270.86	121.87	2.08	1.27	3.58	2.99	2.18	1.83
	3627	2015/1/13 14:32	72.25	273.31	122.06	2.08	1.27	3.59	3.00	2.19	1.83
	3628	2015/1/13 14:32	72.35	272.82	122.28	2.08	1.27	3.60	3.00	2.19	1.83
	3629	2015/1/13 14:32	72.35	272.33	122.47	2.08	1.27	3.60	3.01	2.19	1.84
	3630	2015/1/13 14:32	72.35	271.84	122.69	2.08	1.27	3.61	3.01	2.20	1.84
	3631	2015/1/13 14:32	72.35	271.35	122.87	2.08	1.27	3.61	3.02	2.20	1.84
	3632	2015/1/13 14:32	72.35	270.37	123.17	2.08	1.27	3.62	3.03	2.21	1.85
	3633	2015/1/13 14:32	72.25	273.31	123.37	2.08	1.27	3.63	3.03	2.21	1.85
	3634	2015/1/13 14:32	72.35	272.82	123.57	2.08	1.27	3.63	3.04	2.21	1.85
	3635	2015/1/13 14:32	72.45	272.33	123.77	2.08	1.27	3.64	3.04	2.22	1.86
	3636	2015/1/13 14:32	72.45	271.84	123.97	2.08	1.27	3.65	3.05	2.22	1.86
	3637	2015/1/13 14:32	72.54	271.35	124.17	2.08	1.27	3.65	3.05	2.23	1.86
	3638	2015/1/13 14:32	72.64	270.86	124.37	2.09	1.27	3.66	3.06	2.23	1.86
	3639	2015/1/13 14:32	72.64	270.37	124.53	2.09	1.27	3.66	3.06	2.23	1.87
	3640	2015/1/13 14:32	72.45	274.78	124.73	2.08	1.27	3.67	3.06	2.24	1.87
	3641	2015/1/13 14:32	72.54	272.82	124.92	2.08	1.27	3.67	3.07	2.24	1.87
	3642	2015/1/13 14:32	72.64	271.84	125.12	2.09	1.27	3.68	3.07	2.24	1.88
	3643	2015/1/13 14:32	72.64	270.86	125.31	2.09	1.27	3.69	3.08	2.25	1.88
	3644	2015/1/13 14:32	72.74	270.86	125.50	2.09	1.27	3.69	3.08	2.25	1.88
	3645	2015/1/13 14:33	72.54	274.29	125.71	2.08	1.27	3.70	3.09	2.25	1.88
$+4\delta_0$	3656	2015/1/13 14:33	72.84	271.35	127.87	2.09	1.28	3.76	3.14	2.29	1.92

付表 1(4)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-1）（つづき）

2-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	4792	2015/1/13 15:32	74.12	272.33	128.97	2.13	1.30	3.79	3.17	2.31	1.93
	4793	2015/1/13 15:32	74.12	272.33	130.54	2.13	1.30	3.84	3.21	2.34	1.96
P_{max}	4794	2015/1/13 15:32	74.32	268.90	132.03	2.14	1.30	3.88	3.24	2.37	1.98
	4795	2015/1/13 15:32	74.22	270.86	133.78	2.13	1.30	3.93	3.29	2.40	2.01
	4796	2015/1/13 15:32	74.22	272.82	135.63	2.13	1.30	3.99	3.33	2.43	2.03
	4797	2015/1/13 15:32	74.12	271.84	137.40	2.13	1.30	4.04	3.38	2.46	2.06
	4798	2015/1/13 15:32	74.32	268.41	139.13	2.14	1.30	4.09	3.42	2.49	2.09
	4799	2015/1/13 15:32	74.12	270.37	140.87	2.13	1.30	4.14	3.46	2.52	2.11
	4800	2015/1/13 15:32	74.03	271.84	142.35	2.13	1.30	4.19	3.50	2.55	2.13
	4801	2015/1/13 15:33	73.83	273.31	144.10	2.12	1.29	4.24	3.54	2.58	2.16
	4802	2015/1/13 15:33	74.03	269.39	145.93	2.13	1.30	4.29	3.59	2.62	2.19
	4803	2015/1/13 15:33	73.93	268.41	147.48	2.12	1.29	4.34	3.62	2.64	2.21
	4804	2015/1/13 15:33	73.63	269.88	149.18	2.12	1.29	4.39	3.67	2.67	2.24
	4805	2015/1/13 15:33	73.53	270.86	150.98	2.11	1.29	4.44	3.71	2.71	2.26
	4806	2015/1/13 15:33	73.24	272.33	152.51	2.10	1.28	4.49	3.75	2.73	2.29
	4807	2015/1/13 15:33	72.94	272.82	154.02	2.10	1.28	4.53	3.78	2.76	2.31
	4808	2015/1/13 15:33	72.94	271.35	155.74	2.10	1.28	4.58	3.83	2.79	2.33
	4809	2015/1/13 15:33	72.84	267.92	157.32	2.09	1.28	4.63	3.87	2.82	2.36
	4810	2015/1/13 15:33	72.45	267.92	159.04	2.08	1.27	4.68	3.91	2.85	2.38
	4811	2015/1/13 15:33	72.05	268.41	160.72	2.07	1.26	4.73	3.95	2.88	2.41
	4812	2015/1/13 15:33	71.66	267.92	162.60	2.06	1.25	4.78	4.00	2.91	2.44
	4813	2015/1/13 15:33	70.57	272.33	163.34	2.03	1.24	4.80	4.01	2.93	2.45
	4814	2015/1/13 15:33	70.08	270.86	163.31	2.01	1.23	4.80	4.01	2.93	2.45
$+5\delta_{\theta N}$	4815	2015/1/13 15:33	68.50	270.37	163.69	1.97	1.20	4.81	4.02	2.93	2.45
$+6\delta_{\theta N}$	5785	2015/1/13 16:24	39.78	274.78	200.21	1.14	0.70	5.89	4.92	3.59	3.00
$+7\delta_{\theta N}$	6464	2015/1/13 17:10	15.10	273.31	233.45	0.43	0.26	6.87	5.74	4.18	3.50

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
START	67	2015/1/16 10:13	1.28	648.01	0.14	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	68	2015/1/16 10:13	1.78	648.50	0.25	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	69	2015/1/16 10:13	2.47	648.50	0.37	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
	70	2015/1/16 10:13	2.86	648.01	0.47	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	71	2015/1/16 10:13	3.16	648.01	0.53	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
	72	2015/1/16 10:14	3.45	648.01	0.61	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
	73	2015/1/16 10:14	3.95	648.01	0.79	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
	74	2015/1/16 10:14	4.15	648.01	0.88	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
	75	2015/1/16 10:14	4.34	647.52	0.92	0.06	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
	76	2015/1/16 10:14	4.64	647.52	1.09	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01
	77	2015/1/16 10:14	4.74	647.52	1.12	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01
	78	2015/1/16 10:14	4.94	648.01	1.19	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01
	79	2015/1/16 10:14	5.23	648.99	1.36	0.07	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
	80	2015/1/16 10:14	5.43	648.50	1.45	0.07	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
	81	2015/1/16 10:14	5.72	648.50	1.52	0.07	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02
	82	2015/1/16 10:14	5.82	648.50	1.58	0.08	0.04	0.05	0.04	0.02	0.02
	83	2015/1/16 10:14	6.02	648.50	1.69	0.08	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
	84	2015/1/16 10:15	6.32	648.01	1.81	0.08	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
	85	2015/1/16 10:15	6.61	648.01	1.91	0.09	0.05	0.06	0.04	0.03	0.02
	86	2015/1/16 10:15	6.71	648.01	2.01	0.09	0.05	0.06	0.05	0.03	0.02
	87	2015/1/16 10:15	7.11	648.01	2.11	0.09	0.05	0.06	0.05	0.03	0.03
	88	2015/1/16 10:15	7.40	647.52	2.26	0.10	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03
	89	2015/1/16 10:15	7.60	647.52	2.38	0.10	0.05	0.07	0.06	0.04	0.03
	90	2015/1/16 10:16	7.80	647.52	2.44	0.10	0.05	0.07	0.06	0.04	0.03
	91	2015/1/16 10:16	7.99	647.52	2.56	0.10	0.06	0.08	0.06	0.04	0.03
	92	2015/1/16 10:16	8.09	647.03	2.63	0.11	0.06	0.08	0.06	0.04	0.03
	93	2015/1/16 10:16	8.39	647.03	2.75	0.11	0.06	0.08	0.06	0.04	0.03
	94	2015/1/16 10:16	8.59	647.03	2.84	0.11	0.06	0.08	0.07	0.04	0.04
	95	2015/1/16 10:16	8.69	647.03	2.93	0.11	0.06	0.09	0.07	0.05	0.04
	96	2015/1/16 10:16	8.98	647.03	3.04	0.12	0.06	0.09	0.07	0.05	0.04
	97	2015/1/16 10:16	9.28	647.03	3.17	0.12	0.06	0.09	0.07	0.05	0.04
	98	2015/1/16 10:16	9.38	647.03	3.25	0.12	0.06	0.10	0.08	0.05	0.04
	99	2015/1/16 10:16	9.57	647.03	3.32	0.13	0.07	0.10	0.08	0.05	0.04
	100	2015/1/16 10:16	9.87	648.01	3.47	0.13	0.07	0.10	0.08	0.05	0.04
	101	2015/1/16 10:16	9.97	648.50	3.58	0.13	0.07	0.11	0.08	0.06	0.04
	102	2015/1/16 10:16	10.17	648.50	3.73	0.13	0.07	0.11	0.09	0.06	0.05
	103	2015/1/16 10:16	10.36	648.50	3.86	0.14	0.07	0.11	0.09	0.06	0.05
	104	2015/1/16 10:16	10.56	648.50	3.97	0.14	0.07	0.12	0.09	0.06	0.05
	105	2015/1/16 10:16	10.76	648.01	4.10	0.14	0.07	0.12	0.10	0.06	0.05
	106	2015/1/16 10:16	11.05	648.01	4.17	0.14	0.08	0.12	0.10	0.07	0.05
	107	2015/1/16 10:16	11.25	648.01	4.33	0.15	0.08	0.13	0.10	0.07	0.05
	108	2015/1/16 10:16	11.55	648.01	4.41	0.15	0.08	0.13	0.10	0.07	0.05
	109	2015/1/16 10:16	11.75	648.01	4.54	0.15	0.08	0.13	0.11	0.07	0.06
	110	2015/1/16 10:16	12.04	648.01	4.64	0.16	0.08	0.14	0.11	0.07	0.06
	111	2015/1/16 10:16	12.24	647.52	4.74	0.16	0.08	0.14	0.11	0.07	0.06
	112	2015/1/16 10:17	12.44	647.52	4.81	0.16	0.09	0.14	0.11	0.08	0.06
	113	2015/1/16 10:17	12.83	647.52	4.95	0.17	0.09	0.15	0.12	0.08	0.06
	114	2015/1/16 10:17	13.13	647.52	5.08	0.17	0.09	0.15	0.12	0.08	0.06
	115	2015/1/16 10:17	13.32	647.52	5.14	0.17	0.09	0.15	0.12	0.08	0.06
	116	2015/1/16 10:17	13.52	647.03	5.27	0.18	0.09	0.16	0.12	0.08	0.06
	117	2015/1/16 10:17	13.72	647.03	5.34	0.18	0.09	0.16	0.12	0.08	0.07
	118	2015/1/16 10:17	13.92	647.03	5.46	0.18	0.10	0.16	0.13	0.09	0.07
	119	2015/1/16 10:17	14.02	647.03	5.53	0.18	0.10	0.16	0.13	0.09	0.07
	120	2015/1/16 10:17	14.21	647.03	5.66	0.19	0.10	0.17	0.13	0.09	0.07
	121	2015/1/16 10:17	14.51	647.03	5.74	0.19	0.10	0.17	0.13	0.09	0.07
	122	2015/1/16 10:17	14.61	646.54	5.84	0.19	0.10	0.17	0.14	0.09	0.07
	123	2015/1/16 10:17	15.00	646.54	5.99	0.20	0.10	0.18	0.14	0.09	0.07
	124	2015/1/16 10:17	15.10	646.54	6.06	0.20	0.10	0.18	0.14	0.09	0.07
	125	2015/1/16 10:17	15.30	646.54	6.18	0.20	0.11	0.18	0.14	0.10	0.08
	126	2015/1/16 10:17	15.50	646.54	6.27	0.20	0.11	0.18	0.15	0.10	0.08
	127	2015/1/16 10:17	15.69	646.54	6.39	0.21	0.11	0.19	0.15	0.10	0.08
	128	2015/1/16 10:17	15.89	646.54	6.47	0.21	0.11	0.19	0.15	0.10	0.08
	129	2015/1/16 10:17	15.99	646.05	6.54	0.21	0.11	0.19	0.15	0.10	0.08
	130	2015/1/16 10:17	16.29	646.05	6.66	0.21	0.11	0.20	0.15	0.10	0.08
	131	2015/1/16 10:17	16.48	646.05	6.73	0.22	0.11	0.20	0.16	0.11	0.08
	132	2015/1/16 10:17	16.68	646.54	6.87	0.22	0.12	0.20	0.16	0.11	0.08
	133	2015/1/16 10:17	16.88	647.52	6.96	0.22	0.12	0.21	0.16	0.11	0.09
	134	2015/1/16 10:17	16.98	647.52	7.04	0.22	0.12	0.21	0.16	0.11	0.09
	135	2015/1/16 10:18	17.27	647.03	7.19	0.23	0.12	0.21	0.17	0.11	0.09
	136	2015/1/16 10:18	17.47	647.03	7.29	0.23	0.12	0.22	0.17	0.11	0.09
	137	2015/1/16 10:18	17.67	647.03	7.36	0.23	0.12	0.22	0.17	0.11	0.09
	138	2015/1/16 10:18	17.77	646.54	7.46	0.23	0.12	0.22	0.17	0.12	0.09
	139	2015/1/16 10:18	17.96	646.54	7.55	0.23	0.12	0.22	0.18	0.12	0.09

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	151	2015/1/16 10:18	20.53	645.56	8.75	0.27	0.14	0.26	0.20	0.14	0.11
	152	2015/1/16 10:18	20.83	645.56	8.85	0.27	0.14	0.26	0.21	0.14	0.11
	153	2015/1/16 10:18	21.12	645.56	8.96	0.28	0.15	0.26	0.21	0.14	0.11
	154	2015/1/16 10:18	21.22	645.56	9.06	0.28	0.15	0.27	0.21	0.14	0.11
	155	2015/1/16 10:18	21.42	645.07	9.13	0.28	0.15	0.27	0.21	0.14	0.11
	156	2015/1/16 10:18	21.62	645.07	9.27	0.28	0.15	0.27	0.22	0.14	0.11
	157	2015/1/16 10:18	21.71	648.50	9.30	0.28	0.15	0.27	0.22	0.15	0.11
	158	2015/1/16 10:19	22.11	646.54	9.42	0.29	0.15	0.28	0.22	0.15	0.12
	159	2015/1/16 10:19	22.21	646.54	9.54	0.29	0.15	0.28	0.22	0.15	0.12
	160	2015/1/16 10:19	22.50	646.54	9.69	0.29	0.16	0.29	0.23	0.15	0.12
	161	2015/1/16 10:19	22.70	646.54	9.75	0.30	0.16	0.29	0.23	0.15	0.12
	162	2015/1/16 10:19	22.80	646.05	9.84	0.30	0.16	0.29	0.23	0.15	0.12
	163	2015/1/16 10:19	23.00	646.05	9.93	0.30	0.16	0.29	0.23	0.15	0.12
	164	2015/1/16 10:19	23.10	646.05	10.04	0.30	0.16	0.30	0.23	0.16	0.12
	165	2015/1/16 10:19	23.29	645.56	10.14	0.30	0.16	0.30	0.24	0.16	0.12
	166	2015/1/16 10:19	23.49	645.56	10.26	0.31	0.16	0.30	0.24	0.16	0.13
	167	2015/1/16 10:19	23.59	645.56	10.35	0.31	0.16	0.31	0.24	0.16	0.13
	168	2015/1/16 10:19	23.69	645.56	10.44	0.31	0.16	0.31	0.24	0.16	0.13
	169	2015/1/16 10:19	23.79	645.56	10.53	0.31	0.16	0.31	0.24	0.16	0.13
	170	2015/1/16 10:19	23.89	645.07	10.65	0.31	0.17	0.31	0.25	0.17	0.13
	171	2015/1/16 10:19	24.08	645.07	10.74	0.31	0.17	0.32	0.25	0.17	0.13
	172	2015/1/16 10:19	24.08	645.07	10.80	0.31	0.17	0.32	0.25	0.17	0.13
	173	2015/1/16 10:19	24.38	645.07	10.97	0.32	0.17	0.32	0.26	0.17	0.14
	174	2015/1/16 10:19	24.58	645.07	11.07	0.32	0.17	0.33	0.26	0.17	0.14
	175	2015/1/16 10:19	24.77	645.07	11.16	0.32	0.17	0.33	0.26	0.17	0.14
	176	2015/1/16 10:19	24.87	644.58	11.28	0.33	0.17	0.33	0.26	0.18	0.14
	177	2015/1/16 10:19	25.07	644.58	11.34	0.33	0.17	0.33	0.26	0.18	0.14
	178	2015/1/16 10:19	25.27	644.58	11.49	0.33	0.17	0.34	0.27	0.18	0.14
	179	2015/1/16 10:20	25.37	644.58	11.58	0.33	0.18	0.34	0.27	0.18	0.14
	180	2015/1/16 10:20	25.56	646.05	11.66	0.33	0.18	0.34	0.27	0.18	0.14
	181	2015/1/16 10:20	25.66	646.05	11.76	0.34	0.18	0.35	0.27	0.18	0.14
	182	2015/1/16 10:20	25.76	645.56	11.85	0.34	0.18	0.35	0.28	0.18	0.15
	183	2015/1/16 10:20	25.96	645.56	11.96	0.34	0.18	0.35	0.28	0.19	0.15
	184	2015/1/16 10:20	26.16	645.56	12.08	0.34	0.18	0.36	0.28	0.19	0.15
	185	2015/1/16 10:20	26.25	645.56	12.15	0.34	0.18	0.36	0.28	0.19	0.15
	186	2015/1/16 10:20	26.35	645.56	12.24	0.34	0.18	0.36	0.28	0.19	0.15
	187	2015/1/16 10:20	26.65	645.07	12.35	0.35	0.18	0.36	0.29	0.19	0.15
	188	2015/1/16 10:20	26.75	645.07	12.44	0.35	0.18	0.37	0.29	0.19	0.15
	189	2015/1/16 10:20	27.04	644.58	12.56	0.35	0.19	0.37	0.29	0.20	0.15
	190	2015/1/16 10:20	27.24	644.58	12.68	0.36	0.19	0.37	0.29	0.20	0.16
	191	2015/1/16 10:20	27.34	644.58	12.75	0.36	0.19	0.38	0.30	0.20	0.16
	192	2015/1/16 10:20	27.64	644.09	12.87	0.36	0.19	0.38	0.30	0.20	0.16
	193	2015/1/16 10:20	27.93	644.09	12.98	0.37	0.19	0.38	0.30	0.20	0.16
	194	2015/1/16 10:20	28.13	644.09	13.07	0.37	0.19	0.39	0.30	0.20	0.16
	195	2015/1/16 10:20	28.33	644.09	13.14	0.37	0.20	0.39	0.31	0.21	0.16
	196	2015/1/16 10:20	28.52	643.60	13.25	0.37	0.20	0.39	0.31	0.21	0.16
	197	2015/1/16 10:20	28.72	643.60	13.34	0.38	0.20	0.39	0.31	0.21	0.16
	198	2015/1/16 10:20	29.02	643.60	13.44	0.38	0.20	0.40	0.31	0.21	0.17
	199	2015/1/16 10:21	29.12	643.60	13.52	0.38	0.20	0.40	0.31	0.21	0.17
	200	2015/1/16 10:21	29.51	643.60	13.67	0.39	0.20	0.40	0.32	0.21	0.17
	201	2015/1/16 10:21	29.71	643.11	13.85	0.39	0.21	0.41	0.32	0.22	0.17
	202	2015/1/16 10:21	30.00	643.11	13.95	0.39	0.21	0.41	0.32	0.22	0.17
	203	2015/1/16 10:21	30.20	645.56	14.04	0.39	0.21	0.41	0.33	0.22	0.17
	204	2015/1/16 10:21	30.40	645.07	14.19	0.40	0.21	0.42	0.33	0.22	0.17
	205	2015/1/16 10:21	30.60	645.07	14.27	0.40	0.21	0.42	0.33	0.22	0.18
	206	2015/1/16 10:21	30.79	644.58	14.37	0.40	0.21	0.42	0.33	0.22	0.18
	207	2015/1/16 10:21	30.99	644.58	14.49	0.41	0.21	0.43	0.34	0.23	0.18
	208	2015/1/16 10:21	31.09	644.58	14.55	0.41	0.22	0.43	0.34	0.23	0.18
	209	2015/1/16 10:21	31.29	644.58	14.67	0.41	0.22	0.43	0.34	0.23	0.18
	210	2015/1/16 10:21	31.49	644.58	14.73	0.41	0.22	0.43	0.34	0.23	0.18
	211	2015/1/16 10:21	31.68	644.58	14.85	0.41	0.22	0.44	0.35	0.23	0.18
	212	2015/1/16 10:21	31.78	644.09	14.96	0.42	0.22	0.44	0.35	0.23	0.18
	213	2015/1/16 10:21	31.88	644.09	15.03	0.42	0.22	0.44	0.35	0.23	0.19
	214	2015/1/16 10:21	32.08	644.09	15.17	0.42	0.22	0.45	0.35	0.24	0.19
	215	2015/1/16 10:21	32.18	644.09	15.21	0.42	0.22	0.45	0.35	0.24	0.19
	216	2015/1/16 10:21	32.37	643.60	15.33	0.42	0.22	0.45	0.36	0.24	0.19
	217	2015/1/16 10:21	32.47	643.60	15.41	0.42	0.22	0.45	0.36	0.24	0.19
	218	2015/1/16 10:21	32.67	643.60	15.53	0.43	0.23	0.46	0.36	0.24	0.19
	219	2015/1/16 10:21	32.97	643.11	15.63	0.43	0.23	0.46	0.36	0.24	0.19
$+0.5\delta_0$	220	2015/1/16 10:21	32.97	643.60	15.66	0.43	0.23	0.46	0.36	0.24	0.19
	597	2015/1/16 10:40	33.46	643.60	15.78	0.44	0.23	0.47	0.37	0.25	0.19
	598	2015/1/16 10:40	33.76	644.09	15.96	0.44	0.23	0.47	0.37	0.25	0.20
	599	2015/1/16 10:41	33.95	643.60	16.11	0.44	0.23	0.48	0.37	0.25	0.20

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	611	2015/1/16 10:41	37.60	645.07	17.95	0.49	0.26	0.53	0.42	0.28	0.22
	612	2015/1/16 10:41	37.90	645.56	18.12	0.50	0.26	0.53	0.42	0.28	0.22
	613	2015/1/16 10:41	38.30	645.56	18.31	0.50	0.26	0.54	0.43	0.29	0.23
	614	2015/1/16 10:41	38.59	645.07	18.51	0.50	0.27	0.55	0.43	0.29	0.23
	615	2015/1/16 10:41	38.99	645.07	18.70	0.51	0.27	0.55	0.43	0.29	0.23
	616	2015/1/16 10:41	39.28	645.07	18.91	0.51	0.27	0.56	0.44	0.30	0.23
	617	2015/1/16 10:41	39.58	644.58	19.12	0.52	0.27	0.56	0.44	0.30	0.24
	618	2015/1/16 10:41	39.87	644.09	19.36	0.52	0.28	0.57	0.45	0.30	0.24
	619	2015/1/16 10:41	40.27	643.60	19.57	0.53	0.28	0.58	0.46	0.31	0.24
	620	2015/1/16 10:41	40.66	643.60	19.78	0.53	0.28	0.58	0.46	0.31	0.24
	621	2015/1/16 10:41	41.06	643.60	20.02	0.54	0.28	0.59	0.47	0.31	0.25
	622	2015/1/16 10:41	41.36	643.11	20.23	0.54	0.29	0.60	0.47	0.32	0.25
	623	2015/1/16 10:41	41.75	645.07	20.43	0.55	0.29	0.60	0.48	0.32	0.25
	624	2015/1/16 10:41	42.14	644.58	20.64	0.55	0.29	0.61	0.48	0.32	0.25
	625	2015/1/16 10:41	42.54	644.58	20.85	0.56	0.29	0.61	0.48	0.33	0.26
	626	2015/1/16 10:41	42.93	644.09	21.09	0.56	0.30	0.62	0.49	0.33	0.26
	627	2015/1/16 10:42	43.33	643.60	21.30	0.57	0.30	0.63	0.50	0.33	0.26
	628	2015/1/16 10:42	43.63	643.60	21.52	0.57	0.30	0.63	0.50	0.34	0.27
	629	2015/1/16 10:42	44.02	643.60	21.70	0.58	0.30	0.64	0.50	0.34	0.27
	630	2015/1/16 10:42	44.22	643.11	21.94	0.58	0.31	0.65	0.51	0.34	0.27
	631	2015/1/16 10:42	44.61	642.62	22.18	0.58	0.31	0.65	0.52	0.35	0.27
	632	2015/1/16 10:42	45.01	642.13	22.42	0.59	0.31	0.66	0.52	0.35	0.28
	633	2015/1/16 10:42	45.50	643.11	22.71	0.59	0.31	0.67	0.53	0.35	0.28
	634	2015/1/16 10:42	46.09	643.11	22.95	0.60	0.32	0.68	0.53	0.36	0.28
	635	2015/1/16 10:42	46.69	642.62	23.24	0.61	0.32	0.69	0.54	0.36	0.29
	636	2015/1/16 10:42	47.28	642.13	23.53	0.62	0.33	0.69	0.55	0.37	0.29
	637	2015/1/16 10:42	47.77	642.62	23.83	0.62	0.33	0.70	0.55	0.37	0.29
	638	2015/1/16 10:42	48.26	644.09	24.07	0.63	0.33	0.71	0.56	0.38	0.30
	639	2015/1/16 10:42	48.66	644.09	24.33	0.64	0.34	0.72	0.57	0.38	0.30
	640	2015/1/16 10:42	49.05	643.60	24.55	0.64	0.34	0.72	0.57	0.38	0.30
	641	2015/1/16 10:42	49.45	643.11	24.78	0.65	0.34	0.73	0.58	0.39	0.31
	642	2015/1/16 10:42	49.74	643.11	24.97	0.65	0.34	0.74	0.58	0.39	0.31
	643	2015/1/16 10:42	50.14	643.11	25.15	0.66	0.35	0.74	0.58	0.39	0.31
	644	2015/1/16 10:42	50.44	645.07	25.32	0.66	0.35	0.75	0.59	0.39	0.31
	645	2015/1/16 10:42	50.73	644.58	25.51	0.66	0.35	0.75	0.59	0.40	0.31
	646	2015/1/16 10:42	50.93	644.58	25.68	0.67	0.35	0.76	0.60	0.40	0.32
	647	2015/1/16 10:42	51.23	644.09	25.84	0.67	0.35	0.76	0.60	0.40	0.32
	648	2015/1/16 10:42	51.52	644.09	26.01	0.67	0.36	0.77	0.60	0.41	0.32
	649	2015/1/16 10:42	51.82	644.09	26.14	0.68	0.36	0.77	0.61	0.41	0.32
	650	2015/1/16 10:42	52.01	643.60	26.28	0.68	0.36	0.78	0.61	0.41	0.32
	651	2015/1/16 10:42	52.21	643.60	26.41	0.68	0.36	0.78	0.61	0.41	0.33
	652	2015/1/16 10:42	52.51	643.11	26.55	0.69	0.36	0.78	0.62	0.41	0.33
	653	2015/1/16 10:42	52.71	643.11	26.65	0.69	0.36	0.79	0.62	0.42	0.33
	654	2015/1/16 10:42	52.90	643.11	26.80	0.69	0.37	0.79	0.62	0.42	0.33
	655	2015/1/16 10:43	53.10	642.62	26.92	0.69	0.37	0.79	0.63	0.42	0.33
	656	2015/1/16 10:43	53.30	643.60	27.03	0.70	0.37	0.80	0.63	0.42	0.33
	657	2015/1/16 10:43	53.40	643.60	27.15	0.70	0.37	0.80	0.63	0.42	0.33
	658	2015/1/16 10:43	53.59	643.11	27.25	0.70	0.37	0.80	0.63	0.43	0.34
	659	2015/1/16 10:43	53.79	643.11	27.33	0.70	0.37	0.81	0.64	0.43	0.34
	660	2015/1/16 10:43	53.99	642.62	27.48	0.71	0.37	0.81	0.64	0.43	0.34
	661	2015/1/16 10:43	54.09	644.58	27.54	0.71	0.37	0.81	0.64	0.43	0.34
	662	2015/1/16 10:43	54.29	644.58	27.67	0.71	0.38	0.82	0.64	0.43	0.34
	663	2015/1/16 10:43	54.48	644.58	27.78	0.71	0.38	0.82	0.65	0.43	0.34
	664	2015/1/16 10:43	54.78	644.09	27.93	0.72	0.38	0.82	0.65	0.44	0.34
	665	2015/1/16 10:43	54.98	644.09	28.05	0.72	0.38	0.83	0.65	0.44	0.35
	666	2015/1/16 10:43	55.37	644.09	28.18	0.72	0.38	0.83	0.66	0.44	0.35
	667	2015/1/16 10:43	55.57	644.09	28.29	0.73	0.38	0.83	0.66	0.44	0.35
	668	2015/1/16 10:43	55.67	643.60	28.38	0.73	0.38	0.84	0.66	0.44	0.35
	669	2015/1/16 10:43	55.86	643.60	28.48	0.73	0.39	0.84	0.66	0.44	0.35
	670	2015/1/16 10:43	56.06	643.60	28.57	0.73	0.39	0.84	0.66	0.45	0.35
	671	2015/1/16 10:43	56.26	644.09	28.65	0.74	0.39	0.85	0.67	0.45	0.35
	672	2015/1/16 10:43	56.36	643.60	28.72	0.74	0.39	0.85	0.67	0.45	0.35
	673	2015/1/16 10:43	56.65	643.60	28.84	0.74	0.39	0.85	0.67	0.45	0.36
	674	2015/1/16 10:43	56.75	643.60	28.97	0.74	0.39	0.85	0.67	0.45	0.36
	675	2015/1/16 10:43	56.95	645.07	29.07	0.74	0.39	0.86	0.68	0.45	0.36
	676	2015/1/16 10:43	57.15	645.07	29.17	0.75	0.40	0.86	0.68	0.46	0.36
	677	2015/1/16 10:43	57.34	645.07	29.28	0.75	0.40	0.86	0.68	0.46	0.36
	678	2015/1/16 10:43	57.54	645.07	29.34	0.75	0.40	0.87	0.68	0.46	0.36
	679	2015/1/16 10:43	57.74	644.58	29.47	0.75	0.40	0.87	0.69	0.46	0.36
	680	2015/1/16 10:44	57.94	645.07	29.55	0.76	0.40	0.87	0.69	0.46	0.36
	681	2015/1/16 10:44	58.13	644.58	29.67	0.76	0.40	0.88	0.69	0.46	0.37
	682	2015/1/16 10:44	58.23	644.58	29.74	0.76	0.40	0.88	0.69	0.46	0.37
	683	2015/1/16 10:44	58.43	644.58	29.83	0.76	0.40	0.88	0.69	0.47	0.37

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	695	2015/1/16 10:44	59.91	644.09	31.09	0.78	0.41	0.92	0.72	0.49	0.38
	696	2015/1/16 10:44	60.01	643.60	31.15	0.78	0.42	0.92	0.72	0.49	0.38
	697	2015/1/16 10:44	60.11	643.60	31.27	0.79	0.42	0.92	0.73	0.49	0.39
$+1\delta_{\theta N}$	698	2015/1/16 10:44	60.11	643.60	31.33	0.79	0.42	0.92	0.73	0.49	0.39
	1207	2015/1/16 11:12	61.19	643.11	31.45	0.80	0.42	0.93	0.73	0.49	0.39
	1208	2015/1/16 11:12	61.59	642.62	31.69	0.81	0.43	0.93	0.74	0.49	0.39
	1209	2015/1/16 11:12	61.88	642.13	31.90	0.81	0.43	0.94	0.74	0.50	0.39
	1210	2015/1/16 11:12	62.38	641.64	32.17	0.82	0.43	0.95	0.75	0.50	0.40
	1211	2015/1/16 11:12	62.97	643.60	32.49	0.82	0.44	0.96	0.76	0.51	0.40
	1212	2015/1/16 11:12	63.76	643.11	32.80	0.83	0.44	0.97	0.76	0.51	0.40
	1213	2015/1/16 11:12	64.45	642.62	33.12	0.84	0.45	0.98	0.77	0.52	0.41
	1214	2015/1/16 11:12	65.04	642.62	33.45	0.85	0.45	0.99	0.78	0.52	0.41
	1215	2015/1/16 11:12	65.64	642.13	33.78	0.86	0.45	1.00	0.79	0.53	0.42
	1216	2015/1/16 11:12	66.13	641.64	34.11	0.86	0.46	1.01	0.79	0.53	0.42
	1217	2015/1/16 11:12	66.62	643.11	34.44	0.87	0.46	1.02	0.80	0.54	0.42
	1218	2015/1/16 11:12	67.31	643.11	34.80	0.88	0.47	1.03	0.81	0.54	0.43
	1219	2015/1/16 11:12	68.10	642.13	35.22	0.89	0.47	1.04	0.82	0.55	0.43
	1220	2015/1/16 11:12	68.89	642.13	35.59	0.90	0.48	1.05	0.83	0.56	0.44
	1221	2015/1/16 11:12	69.58	643.60	36.00	0.91	0.48	1.06	0.84	0.56	0.44
	1222	2015/1/16 11:12	70.27	643.11	36.45	0.92	0.49	1.08	0.85	0.57	0.45
	1223	2015/1/16 11:12	71.16	642.62	36.87	0.93	0.49	1.09	0.86	0.58	0.45
	1224	2015/1/16 11:12	71.95	642.13	37.27	0.94	0.50	1.10	0.87	0.58	0.46
	1225	2015/1/16 11:12	72.74	644.09	37.68	0.95	0.50	1.11	0.88	0.59	0.46
	1226	2015/1/16 11:12	73.43	643.60	38.10	0.96	0.51	1.12	0.89	0.59	0.47
	1227	2015/1/16 11:12	74.12	643.11	38.52	0.97	0.51	1.14	0.90	0.60	0.47
	1228	2015/1/16 11:13	74.62	644.58	38.91	0.98	0.52	1.15	0.90	0.61	0.48
	1229	2015/1/16 11:13	75.11	644.09	39.30	0.98	0.52	1.16	0.91	0.61	0.48
	1230	2015/1/16 11:13	75.60	643.11	39.66	0.99	0.52	1.17	0.92	0.62	0.49
	1231	2015/1/16 11:13	76.10	642.62	39.96	0.99	0.53	1.18	0.93	0.62	0.49
	1232	2015/1/16 11:13	76.49	642.13	40.26	1.00	0.53	1.19	0.94	0.63	0.50
	1233	2015/1/16 11:13	76.89	643.60	40.54	1.01	0.53	1.20	0.94	0.63	0.50
	1234	2015/1/16 11:13	77.28	643.11	40.80	1.01	0.53	1.20	0.95	0.64	0.50
	1235	2015/1/16 11:13	77.68	642.62	41.04	1.02	0.54	1.21	0.95	0.64	0.51
	1236	2015/1/16 11:13	77.97	642.13	41.29	1.02	0.54	1.22	0.96	0.64	0.51
	1237	2015/1/16 11:13	78.17	643.11	41.52	1.02	0.54	1.22	0.97	0.65	0.51
	1238	2015/1/16 11:13	78.47	643.11	41.72	1.03	0.54	1.23	0.97	0.65	0.51
	1239	2015/1/16 11:13	78.76	642.62	41.97	1.03	0.54	1.24	0.98	0.65	0.52
	1240	2015/1/16 11:13	79.06	642.13	42.18	1.03	0.55	1.24	0.98	0.66	0.52
	1241	2015/1/16 11:13	79.35	641.64	42.37	1.04	0.55	1.25	0.99	0.66	0.52
	1242	2015/1/16 11:13	79.65	641.15	42.57	1.04	0.55	1.26	0.99	0.66	0.52
	1243	2015/1/16 11:13	80.05	642.62	42.76	1.05	0.55	1.26	0.99	0.67	0.53
	1244	2015/1/16 11:13	80.34	642.62	42.93	1.05	0.56	1.27	1.00	0.67	0.53
	1245	2015/1/16 11:13	80.64	642.62	43.11	1.05	0.56	1.27	1.00	0.67	0.53
	1246	2015/1/16 11:13	80.93	642.62	43.27	1.06	0.56	1.28	1.01	0.68	0.53
	1247	2015/1/16 11:13	81.23	642.13	43.44	1.06	0.56	1.28	1.01	0.68	0.53
	1248	2015/1/16 11:13	81.53	642.13	43.63	1.07	0.56	1.29	1.01	0.68	0.54
	1249	2015/1/16 11:13	81.72	641.64	43.80	1.07	0.57	1.29	1.02	0.68	0.54
	1250	2015/1/16 11:13	82.12	643.60	44.01	1.07	0.57	1.30	1.02	0.69	0.54
	1251	2015/1/16 11:13	82.51	643.11	44.23	1.08	0.57	1.30	1.03	0.69	0.54
	1252	2015/1/16 11:13	82.81	642.62	44.49	1.08	0.57	1.31	1.03	0.69	0.55
	1253	2015/1/16 11:13	83.20	642.13	44.71	1.09	0.58	1.32	1.04	0.70	0.55
	1254	2015/1/16 11:13	83.60	641.64	44.92	1.09	0.58	1.33	1.04	0.70	0.55
	1255	2015/1/16 11:13	83.99	642.62	45.16	1.10	0.58	1.33	1.05	0.70	0.56
	1256	2015/1/16 11:14	84.39	643.11	45.40	1.10	0.58	1.34	1.06	0.71	0.56
	1257	2015/1/16 11:14	84.68	642.62	45.66	1.11	0.59	1.35	1.06	0.71	0.56
	1258	2015/1/16 11:14	85.08	642.13	45.90	1.11	0.59	1.35	1.07	0.72	0.57
	1259	2015/1/16 11:14	85.47	641.64	46.15	1.12	0.59	1.36	1.07	0.72	0.57
	1260	2015/1/16 11:14	85.77	643.60	46.36	1.12	0.59	1.37	1.08	0.72	0.57
	1261	2015/1/16 11:14	86.17	643.11	46.62	1.13	0.60	1.38	1.08	0.73	0.57
	1262	2015/1/16 11:14	86.46	642.62	46.84	1.13	0.60	1.38	1.09	0.73	0.58
	1263	2015/1/16 11:14	86.76	642.13	47.07	1.13	0.60	1.39	1.09	0.73	0.58
	1264	2015/1/16 11:14	87.15	641.64	47.28	1.14	0.60	1.39	1.10	0.74	0.58
	1265	2015/1/16 11:14	87.45	641.64	47.46	1.14	0.60	1.40	1.10	0.74	0.58
	1266	2015/1/16 11:14	87.55	643.60	47.59	1.14	0.61	1.40	1.11	0.74	0.59
	1267	2015/1/16 11:14	87.74	643.11	47.76	1.15	0.61	1.41	1.11	0.75	0.59
	1268	2015/1/16 11:14	87.94	642.62	47.91	1.15	0.61	1.41	1.11	0.75	0.59
	1269	2015/1/16 11:14	88.24	642.13	48.09	1.15	0.61	1.42	1.12	0.75	0.59
	1270	2015/1/16 11:14	88.53	641.64	48.30	1.16	0.61	1.42	1.12	0.75	0.59
	1271	2015/1/16 11:14	88.93	642.13	48.51	1.16	0.61	1.43	1.13	0.76	0.60
	1272	2015/1/16 11:14	89.13	642.13	48.63	1.17	0.62	1.43	1.13	0.76	0.60
	1273	2015/1/16 11:14	89.42	643.60	48.85	1.17	0.62	1.44	1.14	0.76	0.60
	1274	2015/1/16 11:14	89.82	643.60	49.08	1.17	0.62	1.45	1.14	0.77	0.60
	1275	2015/1/16 11:14	90.21	643.11	49.27	1.18	0.62	1.45	1.15	0.77	0.61

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	1287	2015/1/16 11:15	93.96	641.64	52.00	1.23	0.65	1.53	1.21	0.81	0.64
	1288	2015/1/16 11:15	94.46	642.62	52.32	1.23	0.65	1.54	1.22	0.82	0.64
	1289	2015/1/16 11:15	94.95	641.64	52.67	1.24	0.66	1.55	1.22	0.82	0.65
	1290	2015/1/16 11:15	95.44	641.15	53.03	1.25	0.66	1.56	1.23	0.83	0.65
	1291	2015/1/16 11:15	95.94	641.64	53.39	1.25	0.66	1.57	1.24	0.83	0.66
	1292	2015/1/16 11:15	96.43	642.13	53.75	1.26	0.67	1.59	1.25	0.84	0.66
	1293	2015/1/16 11:15	96.82	641.15	54.06	1.27	0.67	1.59	1.26	0.84	0.67
	1294	2015/1/16 11:15	97.22	642.62	54.38	1.27	0.67	1.60	1.26	0.85	0.67
	1295	2015/1/16 11:15	97.61	641.64	54.77	1.28	0.68	1.62	1.27	0.85	0.67
	1296	2015/1/16 11:15	98.01	640.66	55.10	1.28	0.68	1.63	1.28	0.86	0.68
	1297	2015/1/16 11:15	98.50	640.66	55.46	1.29	0.68	1.64	1.29	0.87	0.68
	1298	2015/1/16 11:15	99.00	641.15	55.79	1.29	0.68	1.65	1.30	0.87	0.69
	1299	2015/1/16 11:15	99.59	640.66	56.11	1.30	0.69	1.66	1.30	0.88	0.69
	1300	2015/1/16 11:15	100.08	642.62	56.41	1.31	0.69	1.66	1.31	0.88	0.69
	1301	2015/1/16 11:15	100.58	642.13	56.72	1.31	0.70	1.67	1.32	0.88	0.70
	1302	2015/1/16 11:15	101.07	642.13	57.02	1.32	0.70	1.68	1.33	0.89	0.70
	1303	2015/1/16 11:15	101.46	644.09	57.34	1.33	0.70	1.69	1.33	0.89	0.71
	1304	2015/1/16 11:15	102.06	643.60	57.64	1.33	0.71	1.70	1.34	0.90	0.71
	1305	2015/1/16 11:15	102.55	642.62	57.94	1.34	0.71	1.71	1.35	0.90	0.71
	1306	2015/1/16 11:16	103.04	642.13	58.27	1.35	0.71	1.72	1.36	0.91	0.72
	1307	2015/1/16 11:16	103.34	644.09	58.57	1.35	0.71	1.73	1.36	0.91	0.72
	1308	2015/1/16 11:16	103.73	643.60	58.84	1.36	0.72	1.74	1.37	0.92	0.72
	1309	2015/1/16 11:16	104.03	642.62	59.14	1.36	0.72	1.74	1.38	0.92	0.73
	1310	2015/1/16 11:16	104.33	643.60	59.48	1.36	0.72	1.75	1.38	0.93	0.73
	1311	2015/1/16 11:16	104.72	643.11	59.83	1.37	0.72	1.76	1.39	0.93	0.74
	1312	2015/1/16 11:16	105.12	641.64	60.19	1.37	0.73	1.78	1.40	0.94	0.74
	1313	2015/1/16 11:16	105.61	643.11	60.51	1.38	0.73	1.78	1.41	0.94	0.75
	1314	2015/1/16 11:16	106.00	642.13	60.82	1.39	0.73	1.79	1.41	0.95	0.75
	1315	2015/1/16 11:16	106.40	641.64	61.17	1.39	0.74	1.80	1.42	0.95	0.75
	1316	2015/1/16 11:16	106.70	643.11	61.44	1.39	0.74	1.81	1.43	0.96	0.76
	1317	2015/1/16 11:16	106.89	642.13	61.75	1.40	0.74	1.82	1.44	0.96	0.76
	1318	2015/1/16 11:16	107.19	641.64	62.05	1.40	0.74	1.83	1.44	0.97	0.76
	1319	2015/1/16 11:16	107.48	642.13	62.34	1.41	0.74	1.84	1.45	0.97	0.77
	1320	2015/1/16 11:16	107.78	641.64	62.59	1.41	0.75	1.85	1.46	0.98	0.77
	1321	2015/1/16 11:16	108.18	641.15	62.82	1.41	0.75	1.85	1.46	0.98	0.77
	1322	2015/1/16 11:16	108.57	640.66	63.05	1.42	0.75	1.86	1.47	0.98	0.78
$+2\delta_{yN}$	1323	2015/1/16 11:16	108.37	642.62	63.12	1.42	0.75	1.86	1.47	0.98	0.78
	2174	2015/1/16 12:58	115.58	641.15	63.30	1.51	0.80	1.87	1.47	0.99	0.78
	2175	2015/1/16 12:58	115.87	641.15	63.50	1.51	0.80	1.87	1.48	0.99	0.78
	2176	2015/1/16 12:58	116.07	642.62	63.71	1.52	0.80	1.88	1.48	0.99	0.78
	2177	2015/1/16 12:59	116.37	641.64	63.95	1.52	0.80	1.89	1.49	1.00	0.79
	2178	2015/1/16 12:59	116.76	641.15	64.19	1.53	0.81	1.89	1.49	1.00	0.79
	2179	2015/1/16 12:59	117.16	640.66	64.45	1.53	0.81	1.90	1.50	1.01	0.79
	2180	2015/1/16 12:59	117.45	641.15	64.73	1.54	0.81	1.91	1.51	1.01	0.80
	2181	2015/1/16 12:59	117.85	640.66	64.97	1.54	0.81	1.92	1.51	1.01	0.80
	2182	2015/1/16 12:59	118.14	640.66	65.21	1.54	0.82	1.92	1.52	1.02	0.80
	2183	2015/1/16 12:59	118.44	640.66	65.45	1.55	0.82	1.93	1.52	1.02	0.81
	2184	2015/1/16 12:59	118.64	641.64	65.65	1.55	0.82	1.94	1.53	1.02	0.81
	2185	2015/1/16 12:59	118.93	641.15	65.87	1.55	0.82	1.94	1.53	1.03	0.81
	2186	2015/1/16 12:59	119.13	640.66	66.05	1.56	0.82	1.95	1.54	1.03	0.81
	2187	2015/1/16 12:59	119.43	642.13	66.23	1.56	0.83	1.95	1.54	1.03	0.82
	2188	2015/1/16 12:59	119.62	641.64	66.43	1.56	0.83	1.96	1.54	1.04	0.82
	2189	2015/1/16 12:59	119.82	641.15	66.59	1.57	0.83	1.96	1.55	1.04	0.82
	2190	2015/1/16 12:59	120.02	641.15	66.77	1.57	0.83	1.97	1.55	1.04	0.82
	2191	2015/1/16 12:59	120.12	643.11	66.89	1.57	0.83	1.97	1.56	1.04	0.82
	2192	2015/1/16 12:59	120.41	641.15	67.13	1.57	0.83	1.98	1.56	1.05	0.83
	2193	2015/1/16 12:59	120.61	641.64	67.36	1.58	0.83	1.99	1.57	1.05	0.83
	2194	2015/1/16 12:59	120.81	641.64	67.49	1.58	0.84	1.99	1.57	1.05	0.83
	2195	2015/1/16 12:59	121.11	641.15	67.69	1.58	0.84	2.00	1.57	1.06	0.83
	2196	2015/1/16 12:59	121.20	642.13	67.87	1.58	0.84	2.00	1.58	1.06	0.84
	2197	2015/1/16 12:59	121.60	640.66	68.07	1.59	0.84	2.01	1.58	1.06	0.84
	2198	2015/1/16 12:59	121.80	641.15	68.23	1.59	0.84	2.01	1.59	1.06	0.84
	2199	2015/1/16 12:59	122.09	642.13	68.47	1.60	0.84	2.02	1.59	1.07	0.84
	2200	2015/1/16 13:00	122.19	642.13	68.59	1.60	0.85	2.02	1.60	1.07	0.84
	2201	2015/1/16 13:00	122.49	641.64	68.80	1.60	0.85	2.03	1.60	1.07	0.85
	2202	2015/1/16 13:00	122.68	643.60	68.95	1.60	0.85	2.03	1.60	1.08	0.85
	2203	2015/1/16 13:00	122.88	642.62	69.16	1.61	0.85	2.04	1.61	1.08	0.85
	2204	2015/1/16 13:00	123.28	643.60	69.42	1.61	0.85	2.05	1.61	1.08	0.85
	2205	2015/1/16 13:00	123.47	643.11	69.58	1.61	0.85	2.05	1.62	1.09	0.86
	2206	2015/1/16 13:00	123.67	642.62	69.78	1.62	0.86	2.06	1.62	1.09	0.86
	2207	2015/1/16 13:00	123.77	642.13	69.91	1.62	0.86	2.06	1.63	1.09	0.86
	2208	2015/1/16 13:00	123.97	643.11	70.11	1.62	0.86	2.07	1.63	1.09	0.86
	2209	2015/1/16 13:00	124.07	641.64	70.30	1.62	0.86	2.07	1.63	1.10	0.87

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	2221	2015/1/16 13:01	126.44	640.17	72.59	1.65	0.87	2.14	1.69	1.13	0.89
	2222	2015/1/16 13:01	126.63	641.64	72.74	1.66	0.88	2.15	1.69	1.13	0.90
	2223	2015/1/16 13:01	126.93	641.15	72.98	1.66	0.88	2.15	1.70	1.14	0.90
	2224	2015/1/16 13:01	127.03	640.66	73.11	1.66	0.88	2.16	1.70	1.14	0.90
	2225	2015/1/16 13:01	127.22	642.62	73.32	1.66	0.88	2.16	1.71	1.14	0.90
	2226	2015/1/16 13:01	127.52	641.15	73.50	1.67	0.88	2.17	1.71	1.15	0.91
	2227	2015/1/16 13:01	127.72	640.17	73.70	1.67	0.88	2.17	1.71	1.15	0.91
	2228	2015/1/16 13:01	127.92	641.64	73.92	1.67	0.88	2.18	1.72	1.15	0.91
	2229	2015/1/16 13:01	128.11	641.15	74.08	1.67	0.89	2.19	1.72	1.16	0.91
	2230	2015/1/16 13:01	128.31	640.66	74.24	1.68	0.89	2.19	1.73	1.16	0.91
	2231	2015/1/16 13:01	128.51	640.17	74.47	1.68	0.89	2.20	1.73	1.16	0.92
	2232	2015/1/16 13:01	128.61	641.64	74.65	1.68	0.89	2.20	1.74	1.16	0.92
	2233	2015/1/16 13:01	128.90	640.17	74.86	1.68	0.89	2.21	1.74	1.17	0.92
	2234	2015/1/16 13:01	129.10	641.15	75.07	1.69	0.89	2.21	1.75	1.17	0.92
	2235	2015/1/16 13:01	129.30	640.17	75.25	1.69	0.89	2.22	1.75	1.17	0.93
	2236	2015/1/16 13:01	129.40	641.64	75.44	1.69	0.89	2.23	1.75	1.18	0.93
	2237	2015/1/16 13:01	129.59	640.66	75.67	1.69	0.90	2.23	1.76	1.18	0.93
	2238	2015/1/16 13:01	129.89	640.17	75.91	1.70	0.90	2.24	1.77	1.18	0.93
	2239	2015/1/16 13:01	130.28	639.19	76.17	1.70	0.90	2.25	1.77	1.19	0.94
	2240	2015/1/16 13:01	130.58	641.15	76.39	1.71	0.90	2.25	1.78	1.19	0.94
	2241	2015/1/16 13:01	130.88	640.66	76.62	1.71	0.91	2.26	1.78	1.20	0.94
	2242	2015/1/16 13:02	131.07	640.17	76.83	1.71	0.91	2.27	1.79	1.20	0.95
	2243	2015/1/16 13:02	131.27	639.68	77.04	1.72	0.91	2.27	1.79	1.20	0.95
	2244	2015/1/16 13:02	131.57	640.17	77.28	1.72	0.91	2.28	1.80	1.21	0.95
	2245	2015/1/16 13:02	131.86	642.13	77.50	1.72	0.91	2.29	1.80	1.21	0.95
	2246	2015/1/16 13:02	132.16	641.64	77.71	1.73	0.91	2.29	1.81	1.21	0.96
	2247	2015/1/16 13:02	132.46	640.66	77.94	1.73	0.92	2.30	1.81	1.22	0.96
	2248	2015/1/16 13:02	132.75	642.62	78.18	1.74	0.92	2.31	1.82	1.22	0.96
	2249	2015/1/16 13:02	133.05	642.13	78.37	1.74	0.92	2.31	1.82	1.22	0.97
	2250	2015/1/16 13:02	133.25	641.64	78.62	1.74	0.92	2.32	1.83	1.23	0.97
	2251	2015/1/16 13:02	133.54	641.15	78.82	1.75	0.92	2.33	1.83	1.23	0.97
	2252	2015/1/16 13:02	133.84	640.66	79.06	1.75	0.93	2.33	1.84	1.23	0.97
	2253	2015/1/16 13:02	134.04	641.15	79.34	1.75	0.93	2.34	1.85	1.24	0.98
	2254	2015/1/16 13:02	134.23	641.15	79.57	1.75	0.93	2.35	1.85	1.24	0.98
	2255	2015/1/16 13:02	134.43	642.13	79.89	1.76	0.93	2.36	1.86	1.25	0.98
	2256	2015/1/16 13:02	134.82	641.15	80.18	1.76	0.93	2.37	1.86	1.25	0.99
	2257	2015/1/16 13:02	135.02	642.13	80.51	1.76	0.93	2.37	1.87	1.26	0.99
	2258	2015/1/16 13:02	135.42	641.15	80.87	1.77	0.94	2.39	1.88	1.26	1.00
	2259	2015/1/16 13:02	135.81	640.66	81.17	1.78	0.94	2.39	1.89	1.27	1.00
	2260	2015/1/16 13:02	136.01	641.15	81.50	1.78	0.94	2.40	1.90	1.27	1.00
	2261	2015/1/16 13:02	136.31	639.68	81.85	1.78	0.94	2.41	1.90	1.28	1.01
	2262	2015/1/16 13:02	136.50	641.64	82.19	1.78	0.94	2.42	1.91	1.28	1.01
	2263	2015/1/16 13:02	136.90	639.68	82.60	1.79	0.95	2.44	1.92	1.29	1.02
	2264	2015/1/16 13:02	137.19	640.66	82.94	1.79	0.95	2.45	1.93	1.29	1.02
	2265	2015/1/16 13:02	137.59	639.68	83.29	1.80	0.95	2.46	1.94	1.30	1.03
	2266	2015/1/16 13:02	138.08	641.15	83.70	1.80	0.95	2.47	1.95	1.31	1.03
	2267	2015/1/16 13:02	138.48	640.17	84.07	1.81	0.96	2.48	1.96	1.31	1.04
	2268	2015/1/16 13:02	138.87	641.15	84.47	1.82	0.96	2.49	1.96	1.32	1.04
	2269	2015/1/16 13:02	139.27	641.64	84.86	1.82	0.96	2.50	1.97	1.32	1.05
	2270	2015/1/16 13:03	139.66	640.66	85.34	1.83	0.97	2.52	1.98	1.33	1.05
	2271	2015/1/16 13:03	139.96	641.64	85.78	1.83	0.97	2.53	1.99	1.34	1.06
	2272	2015/1/16 13:03	140.45	640.66	86.23	1.84	0.97	2.54	2.01	1.35	1.06
	2273	2015/1/16 13:03	140.85	640.66	86.65	1.84	0.97	2.56	2.02	1.35	1.07
	2274	2015/1/16 13:03	141.14	642.13	87.07	1.84	0.98	2.57	2.02	1.36	1.07
	2275	2015/1/16 13:03	141.54	640.66	87.47	1.85	0.98	2.58	2.03	1.36	1.08
	2276	2015/1/16 13:03	141.83	641.64	87.88	1.85	0.98	2.59	2.04	1.37	1.08
	2277	2015/1/16 13:03	142.33	640.17	88.32	1.86	0.98	2.61	2.05	1.38	1.09
	2278	2015/1/16 13:03	142.62	640.17	88.75	1.86	0.99	2.62	2.06	1.38	1.09
	2279	2015/1/16 13:03	142.92	641.15	89.16	1.87	0.99	2.63	2.07	1.39	1.10
	2280	2015/1/16 13:03	143.41	642.13	89.58	1.87	0.99	2.64	2.08	1.40	1.10
	2281	2015/1/16 13:03	143.81	641.15	89.95	1.88	0.99	2.65	2.09	1.40	1.11
	2282	2015/1/16 13:03	144.10	642.62	90.32	1.88	1.00	2.66	2.10	1.41	1.11
	2283	2015/1/16 13:03	144.40	642.13	90.64	1.89	1.00	2.67	2.11	1.41	1.12
	2284	2015/1/16 13:03	144.69	642.62	91.01	1.89	1.00	2.68	2.12	1.42	1.12
	2285	2015/1/16 13:03	144.89	641.64	91.36	1.89	1.00	2.70	2.12	1.43	1.13
	2286	2015/1/16 13:03	144.99	642.13	91.68	1.90	1.00	2.70	2.13	1.43	1.13
	2287	2015/1/16 13:03	145.09	641.15	91.98	1.90	1.00	2.71	2.14	1.43	1.13
	2288	2015/1/16 13:03	145.19	642.13	92.32	1.90	1.00	2.72	2.15	1.44	1.14
	2289	2015/1/16 13:03	145.39	641.15	92.66	1.90	1.01	2.73	2.15	1.45	1.14
	2290	2015/1/16 13:03	145.58	642.13	92.93	1.90	1.01	2.74	2.16	1.45	1.14
	2291	2015/1/16 13:03	145.88	641.15	93.24	1.91	1.01	2.75	2.17	1.45	1.15
	2292	2015/1/16 13:03	145.98	641.64	93.53	1.91	1.01	2.76	2.18	1.46	1.15
	2293	2015/1/16 13:03	146.27	641.15	93.80	1.91	1.01	2.77	2.18	1.46	1.16
$+3\delta_0$	2299	2015/1/16 13:04	146.87	640.17	95.14	1.92	1.02	2.81	2.21	1.48	1.17

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	3481	2015/1/16 14:01	157.13	640.66	96.27	2.05	1.09	2.84	2.24	1.50	1.19
	3482	2015/1/16 14:01	157.23	640.17	96.44	2.06	1.09	2.84	2.24	1.50	1.19
	3483	2015/1/16 14:01	157.33	639.68	96.61	2.06	1.09	2.85	2.25	1.51	1.19
	3484	2015/1/16 14:01	157.53	638.70	96.79	2.06	1.09	2.86	2.25	1.51	1.19
	3485	2015/1/16 14:01	157.62	638.70	96.95	2.06	1.09	2.86	2.25	1.51	1.19
	3486	2015/1/16 14:01	157.82	639.19	97.18	2.06	1.09	2.87	2.26	1.52	1.20
	3487	2015/1/16 14:01	157.92	638.70	97.36	2.06	1.09	2.87	2.26	1.52	1.20
	3488	2015/1/16 14:01	158.02	639.68	97.58	2.07	1.09	2.88	2.27	1.52	1.20
	3489	2015/1/16 14:01	158.22	639.19	97.74	2.07	1.09	2.88	2.27	1.52	1.20
	3490	2015/1/16 14:01	158.32	639.19	97.90	2.07	1.09	2.89	2.28	1.53	1.21
	3491	2015/1/16 14:01	158.41	640.17	98.14	2.07	1.10	2.90	2.28	1.53	1.21
	3492	2015/1/16 14:01	158.51	639.68	98.34	2.07	1.10	2.90	2.29	1.53	1.21
	3493	2015/1/16 14:01	158.71	639.19	98.49	2.07	1.10	2.91	2.29	1.54	1.21
	3494	2015/1/16 14:01	158.81	639.68	98.76	2.08	1.10	2.91	2.30	1.54	1.22
	3495	2015/1/16 14:01	158.91	639.19	98.88	2.08	1.10	2.92	2.30	1.54	1.22
	3496	2015/1/16 14:01	159.01	640.17	99.06	2.08	1.10	2.92	2.30	1.55	1.22
	3497	2015/1/16 14:01	159.20	639.19	99.26	2.08	1.10	2.93	2.31	1.55	1.22
	3498	2015/1/16 14:01	159.30	640.66	99.48	2.08	1.10	2.93	2.31	1.55	1.23
	3499	2015/1/16 14:02	159.40	640.17	99.63	2.08	1.10	2.94	2.32	1.55	1.23
	3500	2015/1/16 14:02	159.60	639.68	99.85	2.09	1.10	2.95	2.32	1.56	1.23
	3501	2015/1/16 14:02	159.70	639.19	100.04	2.09	1.10	2.95	2.33	1.56	1.23
	3502	2015/1/16 14:02	159.80	641.15	100.24	2.09	1.11	2.96	2.33	1.56	1.23
	3503	2015/1/16 14:02	159.89	640.17	100.45	2.09	1.11	2.96	2.34	1.57	1.24
	3504	2015/1/16 14:02	159.99	639.68	100.64	2.09	1.11	2.97	2.34	1.57	1.24
	3505	2015/1/16 14:02	160.09	640.66	100.81	2.09	1.11	2.97	2.34	1.57	1.24
	3506	2015/1/16 14:02	160.19	640.17	100.99	2.09	1.11	2.98	2.35	1.58	1.24
	3507	2015/1/16 14:02	160.29	639.68	101.15	2.10	1.11	2.98	2.35	1.58	1.25
	3508	2015/1/16 14:02	160.29	641.15	101.34	2.10	1.11	2.99	2.36	1.58	1.25
	3509	2015/1/16 14:02	160.49	640.17	101.56	2.10	1.11	3.00	2.36	1.58	1.25
	3510	2015/1/16 14:02	160.59	639.68	101.76	2.10	1.11	3.00	2.37	1.59	1.25
	3511	2015/1/16 14:02	160.68	641.15	101.88	2.10	1.11	3.01	2.37	1.59	1.25
	3512	2015/1/16 14:02	160.78	640.66	102.12	2.10	1.11	3.01	2.37	1.59	1.26
	3513	2015/1/16 14:02	160.98	639.68	102.33	2.10	1.11	3.02	2.38	1.60	1.26
	3514	2015/1/16 14:02	160.98	639.19	102.53	2.10	1.11	3.02	2.38	1.60	1.26
	3515	2015/1/16 14:02	160.98	640.66	102.69	2.10	1.11	3.03	2.39	1.60	1.26
	3516	2015/1/16 14:03	160.98	640.17	102.90	2.10	1.11	3.04	2.39	1.61	1.27
	3517	2015/1/16 14:03	161.08	638.70	103.07	2.11	1.11	3.04	2.40	1.61	1.27
	3518	2015/1/16 14:03	161.18	640.17	103.30	2.11	1.11	3.05	2.40	1.61	1.27
	3519	2015/1/16 14:03	161.37	639.19	103.60	2.11	1.12	3.06	2.41	1.62	1.28
	3520	2015/1/16 14:03	161.47	638.21	103.73	2.11	1.12	3.06	2.41	1.62	1.28
	3521	2015/1/16 14:03	161.57	639.68	103.87	2.11	1.12	3.06	2.42	1.62	1.28
	3522	2015/1/16 14:03	161.87	639.19	104.08	2.12	1.12	3.07	2.42	1.62	1.28
	3523	2015/1/16 14:03	162.07	638.70	104.23	2.12	1.12	3.07	2.42	1.63	1.28
	3524	2015/1/16 14:03	162.07	639.68	104.43	2.12	1.12	3.08	2.43	1.63	1.29
	3525	2015/1/16 14:03	162.26	639.68	104.67	2.12	1.12	3.09	2.43	1.63	1.29
	3526	2015/1/16 14:03	162.36	641.15	104.82	2.12	1.12	3.09	2.44	1.64	1.29
	3527	2015/1/16 14:03	162.46	640.66	105.03	2.12	1.12	3.10	2.44	1.64	1.29
	3528	2015/1/16 14:03	162.66	639.68	105.24	2.13	1.12	3.10	2.45	1.64	1.30
	3529	2015/1/16 14:03	162.66	639.19	105.38	2.13	1.12	3.11	2.45	1.64	1.30
	3530	2015/1/16 14:03	162.76	640.17	105.60	2.13	1.13	3.12	2.46	1.65	1.30
	3531	2015/1/16 14:03	162.95	639.19	105.78	2.13	1.13	3.12	2.46	1.65	1.30
	3532	2015/1/16 14:03	163.05	639.68	105.99	2.13	1.13	3.13	2.46	1.65	1.31
	3533	2015/1/16 14:03	163.05	639.19	106.16	2.13	1.13	3.13	2.47	1.66	1.31
	3534	2015/1/16 14:03	163.25	639.68	106.42	2.13	1.13	3.14	2.47	1.66	1.31
	3535	2015/1/16 14:03	163.35	639.68	106.57	2.14	1.13	3.14	2.48	1.66	1.31
	3536	2015/1/16 14:04	163.74	640.66	106.87	2.14	1.13	3.15	2.49	1.67	1.32
	3537	2015/1/16 14:04	163.84	639.68	107.11	2.14	1.13	3.16	2.49	1.67	1.32
	3538	2015/1/16 14:04	164.14	638.70	107.33	2.15	1.14	3.17	2.50	1.67	1.32
	3539	2015/1/16 14:04	164.34	640.17	107.65	2.15	1.14	3.18	2.50	1.68	1.33
	3540	2015/1/16 14:04	164.63	639.19	107.97	2.15	1.14	3.18	2.51	1.68	1.33
	3541	2015/1/16 14:04	164.83	640.17	108.24	2.15	1.14	3.19	2.52	1.69	1.33
	3542	2015/1/16 14:04	165.22	638.70	108.63	2.16	1.14	3.20	2.53	1.69	1.34
	3543	2015/1/16 14:04	165.42	639.19	108.98	2.16	1.14	3.21	2.53	1.70	1.34
	3544	2015/1/16 14:04	165.72	639.68	109.32	2.17	1.15	3.22	2.54	1.71	1.35
	3545	2015/1/16 14:04	165.92	640.17	109.65	2.17	1.15	3.23	2.55	1.71	1.35
	3546	2015/1/16 14:04	166.11	639.68	110.00	2.17	1.15	3.24	2.56	1.72	1.35
	3547	2015/1/16 14:04	166.21	639.68	110.35	2.17	1.15	3.26	2.57	1.72	1.36
	3548	2015/1/16 14:04	166.51	639.68	110.65	2.18	1.15	3.26	2.57	1.73	1.36
	3549	2015/1/16 14:04	166.61	639.68	110.95	2.18	1.15	3.27	2.58	1.73	1.37
	3550	2015/1/16 14:04	166.80	639.68	111.21	2.18	1.15	3.28	2.59	1.73	1.37
	3551	2015/1/16 14:04	167.00	640.17	111.49	2.18	1.15	3.29	2.59	1.74	1.37
	3552	2015/1/16 14:04	167.10	640.17	111.80	2.18	1.16	3.30	2.60	1.74	1.38
	3553	2015/1/16 14:04	167.20	639.68	112.04	2.19	1.16	3.30	2.61	1.75	1.38

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	3565	2015/1/16 14:05	168.19	638.70	115.08	2.20	1.16	3.39	2.68	1.80	1.42
	3566	2015/1/16 14:05	168.19	639.19	115.32	2.20	1.16	3.40	2.68	1.80	1.42
	3567	2015/1/16 14:05	168.28	638.70	115.56	2.20	1.16	3.41	2.69	1.80	1.42
	3568	2015/1/16 14:05	168.38	639.19	115.76	2.20	1.16	3.41	2.69	1.81	1.43
	3569	2015/1/16 14:05	168.58	639.19	116.06	2.20	1.17	3.42	2.70	1.81	1.43
	3570	2015/1/16 14:05	168.68	638.70	116.33	2.20	1.17	3.43	2.71	1.81	1.43
	3571	2015/1/16 14:05	168.78	638.70	116.59	2.21	1.17	3.44	2.71	1.82	1.44
	3572	2015/1/16 14:05	168.97	638.70	116.84	2.21	1.17	3.45	2.72	1.82	1.44
	3573	2015/1/16 14:05	169.07	638.70	117.10	2.21	1.17	3.45	2.72	1.83	1.44
	3574	2015/1/16 14:05	169.17	638.70	117.34	2.21	1.17	3.46	2.73	1.83	1.45
	3575	2015/1/16 14:05	169.17	639.19	117.58	2.21	1.17	3.47	2.73	1.83	1.45
	3576	2015/1/16 14:05	169.27	639.19	117.84	2.21	1.17	3.48	2.74	1.84	1.45
	3577	2015/1/16 14:05	169.37	639.19	118.04	2.21	1.17	3.48	2.75	1.84	1.45
	3578	2015/1/16 14:05	169.47	638.70	118.31	2.22	1.17	3.49	2.75	1.85	1.46
	3579	2015/1/16 14:05	169.57	639.19	118.50	2.22	1.17	3.50	2.76	1.85	1.46
	3580	2015/1/16 14:05	169.47	639.68	118.67	2.22	1.17	3.50	2.76	1.85	1.46
	3581	2015/1/16 14:05	169.57	639.19	118.85	2.22	1.17	3.51	2.76	1.85	1.46
	3582	2015/1/16 14:05	169.67	639.68	119.03	2.22	1.17	3.51	2.77	1.86	1.47
	3583	2015/1/16 14:05	169.76	639.19	119.21	2.22	1.17	3.52	2.77	1.86	1.47
	3584	2015/1/16 14:05	169.76	639.68	119.40	2.22	1.17	3.52	2.78	1.86	1.47
	3585	2015/1/16 14:05	169.86	639.19	119.58	2.22	1.17	3.53	2.78	1.87	1.47
	3586	2015/1/16 14:05	169.86	640.17	119.74	2.22	1.17	3.53	2.78	1.87	1.47
	3587	2015/1/16 14:05	169.96	639.68	119.89	2.22	1.18	3.54	2.79	1.87	1.48
	3588	2015/1/16 14:05	169.96	640.17	120.14	2.22	1.18	3.54	2.79	1.87	1.48
	3589	2015/1/16 14:05	169.96	640.17	120.27	2.22	1.18	3.55	2.80	1.88	1.48
	3590	2015/1/16 14:06	169.76	640.66	120.53	2.22	1.17	3.56	2.80	1.88	1.48
	3591	2015/1/16 14:06	169.76	640.17	120.71	2.22	1.17	3.56	2.81	1.88	1.49
	3592	2015/1/16 14:06	169.76	639.19	120.90	2.22	1.17	3.57	2.81	1.89	1.49
	3593	2015/1/16 14:06	169.67	638.21	121.07	2.22	1.17	3.57	2.82	1.89	1.49
	3594	2015/1/16 14:06	169.76	639.68	121.30	2.22	1.17	3.58	2.82	1.89	1.49
	3595	2015/1/16 14:06	169.86	638.70	121.46	2.22	1.17	3.58	2.82	1.89	1.50
	3596	2015/1/16 14:06	169.96	640.17	121.67	2.22	1.18	3.59	2.83	1.90	1.50
	3597	2015/1/16 14:06	170.26	639.68	121.89	2.23	1.18	3.60	2.83	1.90	1.50
	3598	2015/1/16 14:06	170.36	638.70	122.08	2.23	1.18	3.60	2.84	1.90	1.50
	3599	2015/1/16 14:06	170.46	638.70	122.20	2.23	1.18	3.60	2.84	1.91	1.50
	3600	2015/1/16 14:06	170.46	639.19	122.40	2.23	1.18	3.61	2.85	1.91	1.51
	3601	2015/1/16 14:06	170.55	639.68	122.67	2.23	1.18	3.62	2.85	1.91	1.51
	3602	2015/1/16 14:06	170.65	639.19	122.79	2.23	1.18	3.62	2.86	1.92	1.51
	3603	2015/1/16 14:06	170.65	640.17	123.03	2.23	1.18	3.63	2.86	1.92	1.52
	3604	2015/1/16 14:06	170.75	639.68	123.23	2.23	1.18	3.64	2.87	1.92	1.52
	3605	2015/1/16 14:06	170.75	641.15	123.39	2.23	1.18	3.64	2.87	1.93	1.52
	3606	2015/1/16 14:06	170.85	640.17	123.58	2.23	1.18	3.65	2.87	1.93	1.52
	3607	2015/1/16 14:06	170.85	639.19	123.82	2.23	1.18	3.65	2.88	1.93	1.52
	3608	2015/1/16 14:06	170.85	639.19	123.98	2.23	1.18	3.66	2.88	1.93	1.53
	3609	2015/1/16 14:06	170.75	639.68	124.17	2.23	1.18	3.66	2.89	1.94	1.53
	3610	2015/1/16 14:07	170.85	638.70	124.39	2.23	1.18	3.67	2.89	1.94	1.53
	3611	2015/1/16 14:07	170.85	639.68	124.56	2.23	1.18	3.67	2.90	1.94	1.53
	3612	2015/1/16 14:07	170.95	638.70	124.74	2.23	1.18	3.68	2.90	1.95	1.54
	3613	2015/1/16 14:07	171.05	640.17	124.98	2.24	1.18	3.69	2.91	1.95	1.54
	3614	2015/1/16 14:07	171.05	639.19	125.13	2.24	1.18	3.69	2.91	1.95	1.54
	3615	2015/1/16 14:07	171.25	638.21	125.34	2.24	1.18	3.70	2.91	1.96	1.54
	3616	2015/1/16 14:07	171.34	639.19	125.57	2.24	1.18	3.70	2.92	1.96	1.55
	3617	2015/1/16 14:07	171.34	638.70	125.70	2.24	1.18	3.71	2.92	1.96	1.55
	3618	2015/1/16 14:07	171.44	639.68	125.88	2.24	1.19	3.71	2.93	1.96	1.55
	3619	2015/1/16 14:07	171.54	641.15	126.16	2.24	1.19	3.72	2.93	1.97	1.55
	3620	2015/1/16 14:07	171.64	640.17	126.31	2.24	1.19	3.73	2.94	1.97	1.56
	3621	2015/1/16 14:07	171.74	639.68	126.47	2.24	1.19	3.73	2.94	1.97	1.56
	3622	2015/1/16 14:07	171.74	640.66	126.70	2.24	1.19	3.74	2.95	1.98	1.56
	3623	2015/1/16 14:07	171.84	640.17	126.88	2.25	1.19	3.74	2.95	1.98	1.56
	3624	2015/1/16 14:07	171.94	639.19	127.06	2.25	1.19	3.75	2.95	1.98	1.56
	3625	2015/1/16 14:08	171.94	639.68	127.31	2.25	1.19	3.76	2.96	1.99	1.57
	3626	2015/1/16 14:08	171.94	640.17	127.47	2.25	1.19	3.76	2.96	1.99	1.57
	3627	2015/1/16 14:08	172.03	639.68	127.64	2.25	1.19	3.77	2.97	1.99	1.57
$+4\delta_0$	3628	2015/1/16 14:08	171.94	639.19	127.70	2.25	1.19	3.77	2.97	1.99	1.57
	4991	2015/1/16 15:16	178.15	639.19	127.71	2.33	1.23	3.77	2.97	1.99	1.57
	4992	2015/1/16 15:16	178.35	639.19	128.24	2.33	1.23	3.78	2.98	2.00	1.58
	4993	2015/1/16 15:16	178.55	638.21	128.86	2.33	1.23	3.80	3.00	2.01	1.59
	4994	2015/1/16 15:16	178.65	638.21	129.48	2.34	1.24	3.82	3.01	2.02	1.59
	4995	2015/1/16 15:16	178.84	638.70	130.07	2.34	1.24	3.84	3.02	2.03	1.60
	4996	2015/1/16 15:16	179.14	638.70	130.71	2.34	1.24	3.86	3.04	2.04	1.61
	4997	2015/1/16 15:16	179.24	638.70	131.28	2.34	1.24	3.87	3.05	2.05	1.62
	4998	2015/1/16 15:16	179.54	638.70	131.88	2.35	1.24	3.89	3.07	2.06	1.62
	4999	2015/1/16 15:16	179.73	640.17	132.46	2.35	1.24	3.91	3.08	2.07	1.63

付表 1(5)　包絡線のデジタルデータ（供試体2-2）（つづき）

2-2	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	5011	2015/1/16 15:16	180.92	637.72	139.71	2.36	1.25	4.12	3.25	2.18	1.72
	5012	2015/1/16 15:16	180.92	638.21	140.32	2.36	1.25	4.14	3.26	2.19	1.73
	5013	2015/1/16 15:16	180.82	637.72	140.93	2.36	1.25	4.16	3.28	2.20	1.74
	5014	2015/1/16 15:16	180.92	637.23	141.51	2.36	1.25	4.17	3.29	2.21	1.74
	5015	2015/1/16 15:16	181.21	637.72	142.06	2.37	1.25	4.19	3.30	2.22	1.75
	5016	2015/1/16 15:17	181.41	638.21	142.67	2.37	1.25	4.21	3.32	2.23	1.76
	5017	2015/1/16 15:17	181.61	638.21	143.26	2.37	1.26	4.23	3.33	2.23	1.76
	5018	2015/1/16 15:17	181.81	639.68	143.82	2.38	1.26	4.24	3.34	2.24	1.77
	5019	2015/1/16 15:17	181.90	639.68	144.40	2.38	1.26	4.26	3.36	2.25	1.78
	5020	2015/1/16 15:17	181.81	639.19	144.98	2.38	1.26	4.28	3.37	2.26	1.79
	5021	2015/1/16 15:17	181.81	638.21	145.60	2.38	1.26	4.29	3.39	2.27	1.79
	5022	2015/1/16 15:17	181.71	638.70	146.16	2.38	1.26	4.31	3.40	2.28	1.80
	5023	2015/1/16 15:17	181.71	638.70	146.73	2.38	1.26	4.33	3.41	2.29	1.81
	5024	2015/1/16 15:17	181.90	637.72	147.32	2.38	1.26	4.35	3.43	2.30	1.81
	5025	2015/1/16 15:17	182.20	637.72	147.90	2.38	1.26	4.36	3.44	2.31	1.82
	5026	2015/1/16 15:17	182.30	639.68	148.44	2.38	1.26	4.38	3.45	2.32	1.83
	5027	2015/1/16 15:17	182.40	639.19	148.99	2.38	1.26	4.39	3.46	2.32	1.83
	5028	2015/1/16 15:17	182.50	638.21	149.56	2.39	1.26	4.41	3.48	2.33	1.84
	5029	2015/1/16 15:17	182.50	639.68	150.09	2.39	1.26	4.43	3.49	2.34	1.85
	5030	2015/1/16 15:17	182.60	639.19	150.65	2.39	1.26	4.44	3.50	2.35	1.86
	5031	2015/1/16 15:17	182.60	639.19	151.18	2.39	1.26	4.46	3.52	2.36	1.86
	5032	2015/1/16 15:17	182.79	638.70	151.70	2.39	1.26	4.48	3.53	2.37	1.87
	5033	2015/1/16 15:17	182.89	640.17	152.25	2.39	1.26	4.49	3.54	2.38	1.87
	5034	2015/1/16 15:17	182.89	640.17	152.76	2.39	1.26	4.51	3.55	2.38	1.88
	5035	2015/1/16 15:17	182.89	640.17	153.22	2.39	1.26	4.52	3.56	2.39	1.89
	5036	2015/1/16 15:17	183.09	640.17	153.67	2.39	1.27	4.53	3.57	2.40	1.89
	5037	2015/1/16 15:17	183.19	640.17	154.15	2.39	1.27	4.55	3.58	2.40	1.90
	5038	2015/1/16 15:17	183.19	640.17	154.62	2.39	1.27	4.56	3.60	2.41	1.90
	5039	2015/1/16 15:17	183.19	639.68	155.11	2.39	1.27	4.58	3.61	2.42	1.91
	5040	2015/1/16 15:17	182.99	640.66	155.59	2.39	1.27	4.59	3.62	2.43	1.92
	5041	2015/1/16 15:17	182.89	639.68	156.06	2.39	1.26	4.60	3.63	2.43	1.92
	5042	2015/1/16 15:17	182.99	639.19	156.53	2.39	1.27	4.62	3.64	2.44	1.93
	5043	2015/1/16 15:17	183.09	639.19	157.00	2.39	1.27	4.63	3.65	2.45	1.93
	5044	2015/1/16 15:18	183.09	638.21	157.48	2.39	1.27	4.65	3.66	2.46	1.94
	5045	2015/1/16 15:18	183.09	639.19	157.95	2.39	1.27	4.66	3.67	2.46	1.95
	5046	2015/1/16 15:18	183.09	639.68	158.49	2.39	1.27	4.68	3.69	2.47	1.95
	5047	2015/1/16 15:18	183.19	639.68	158.93	2.39	1.27	4.69	3.70	2.48	1.96
	5048	2015/1/16 15:18	183.29	639.68	159.40	2.40	1.27	4.70	3.71	2.49	1.96
	5049	2015/1/16 15:18	183.39	639.68	159.85	2.40	1.27	4.72	3.72	2.49	1.97
	5050	2015/1/16 15:18	183.48	639.19	160.32	2.40	1.27	4.73	3.73	2.50	1.97
	5051	2015/1/16 15:18	183.48	639.19	160.77	2.40	1.27	4.74	3.74	2.51	1.98
	5052	2015/1/16 15:18	183.39	640.17	161.26	2.40	1.27	4.76	3.75	2.52	1.99
	5053	2015/1/16 15:18	183.29	639.68	161.68	2.40	1.27	4.77	3.76	2.52	1.99
$+5\delta_{0N}$	5054	2015/1/16 15:18	182.60	639.68	161.74	2.39	1.26	4.77	3.76	2.52	1.99
	6481	2015/1/16 16:30	183.88	638.21	162.58	2.40	1.27	4.80	3.78	2.54	2.00
	6482	2015/1/16 16:30	183.68	640.17	163.52	2.40	1.27	4.82	3.80	2.55	2.01
	6483	2015/1/16 16:30	183.58	638.70	164.42	2.40	1.27	4.85	3.82	2.57	2.02
	6484	2015/1/16 16:30	183.58	637.72	165.39	2.40	1.27	4.88	3.85	2.58	2.04
	6485	2015/1/16 16:30	183.78	638.70	166.30	2.40	1.27	4.91	3.87	2.59	2.05
	6486	2015/1/16 16:30	183.98	639.68	167.19	2.40	1.27	4.93	3.89	2.61	2.06
	6487	2015/1/16 16:30	183.88	639.19	168.07	2.40	1.27	4.96	3.91	2.62	2.07
	6488	2015/1/16 16:30	183.68	639.68	169.01	2.40	1.27	4.99	3.93	2.64	2.08
	6489	2015/1/16 16:30	184.08	636.25	169.87	2.41	1.27	5.01	3.95	2.65	2.09
	6490	2015/1/16 16:30	184.47	632.82	170.71	2.41	1.28	5.04	3.97	2.66	2.10
	6491	2015/1/16 16:30	184.67	629.39	171.54	2.41	1.28	5.06	3.99	2.68	2.11
	6492	2015/1/16 16:30	184.87	625.48	172.41	2.42	1.28	5.09	4.01	2.69	2.12
	6493	2015/1/16 16:30	185.06	622.05	173.24	2.42	1.28	5.11	4.03	2.70	2.13
	6494	2015/1/16 16:31	185.46	618.62	174.05	2.42	1.28	5.13	4.05	2.72	2.14
	6495	2015/1/16 16:31	184.37	640.66	174.93	2.41	1.28	5.16	4.07	2.73	2.15
P	6496	2015/1/16 16:31	184.37	640.66	175.78	2.41	1.28	5.19	4.09	2.74	2.16
	6497	2015/1/16 16:31	184.17	639.68	176.63	2.41	1.27	5.21	4.11	2.76	2.18
	6498	2015/1/16 16:31	184.08	640.66	177.53	2.41	1.27	5.24	4.13	2.77	2.19
	6499	2015/1/16 16:31	184.17	639.19	178.41	2.41	1.27	5.26	4.15	2.78	2.20
	6500	2015/1/16 16:31	184.17	640.17	179.24	2.41	1.27	5.29	4.17	2.80	2.21
	6501	2015/1/16 16:31	184.27	639.19	180.12	2.41	1.27	5.31	4.19	2.81	2.22
	6502	2015/1/16 16:31	184.17	639.68	180.95	2.41	1.27	5.34	4.21	2.82	2.23
	6503	2015/1/16 16:31	184.17	640.17	181.79	2.41	1.27	5.36	4.23	2.84	2.24
	6504	2015/1/16 16:31	184.17	639.68	182.66	2.41	1.27	5.39	4.25	2.85	2.25
	6505	2015/1/16 16:31	184.17	638.70	183.54	2.41	1.27	5.41	4.27	2.86	2.26
	6506	2015/1/16 16:31	184.08	640.17	184.37	2.41	1.27	5.44	4.29	2.88	2.27
	7606	2015/1/16 17:40	177.86	636.74	193.45	2.32	1.23	5.71	4.50	3.02	2.38
	7607	2015/1/16 17:40	177.76	639.19	194.19	2.32	1.23	5.73	4.52	3.03	2.39
	7608	2015/1/16 17:40	177.86	638.21	194.80	2.32	1.23	5.75	4.53	3.04	2.40
$+6\delta_0$	7612	2015/1/16 17:40	175.69	642.13	196.01	2.30	1.21	5.78	4.56	3.06	2.41
$+7\delta_0$	8726	2015/1/16 18:35	174.70	639.19	231.27	2.28	1.21	6.82	5.38	3.61	2.85
$+8\delta_0$	9888	2015/1/16 19:46	170.95	637.23	266.11	2.23	1.18	7.85	6.19	4.15	3.28

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
START	29	2015/1/24 10:01	0.00	278.70	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	30	2015/1/24 10:01	0.00	279.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	31	2015/1/24 10:03	0.00	278.70	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	32	2015/1/24 10:10	0.39	277.72	0.21	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	33	2015/1/24 10:10	0.59	277.23	0.39	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	34	2015/1/24 10:10	0.59	277.23	0.57	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
	35	2015/1/24 10:10	0.59	277.23	0.75	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
	36	2015/1/24 10:10	0.69	277.72	0.96	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	37	2015/1/24 10:10	0.79	277.23	1.12	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	38	2015/1/24 10:10	0.79	277.72	1.21	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
	39	2015/1/24 10:10	0.79	277.23	1.33	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
	40	2015/1/24 10:10	0.89	277.23	1.48	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
	41	2015/1/24 10:10	0.89	277.23	1.60	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
	42	2015/1/24 10:10	0.89	277.23	1.66	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
	43	2015/1/24 10:10	0.99	277.23	1.84	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
	44	2015/1/24 10:10	0.99	277.23	2.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	45	2015/1/24 10:10	1.09	277.23	2.21	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	46	2015/1/24 10:10	1.09	277.23	2.39	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	47	2015/1/24 10:10	1.09	276.74	2.57	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	48	2015/1/24 10:10	1.18	276.74	2.75	0.05	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02
	49	2015/1/24 10:10	1.28	276.74	2.94	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02
	50	2015/1/24 10:11	1.28	276.74	3.09	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02
	51	2015/1/24 10:11	1.38	276.74	3.25	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
	52	2015/1/24 10:11	1.38	276.74	3.46	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
	53	2015/1/24 10:11	1.38	276.74	3.63	0.06	0.04	0.05	0.03	0.03	0.02
	54	2015/1/24 10:11	1.48	276.74	3.82	0.06	0.04	0.05	0.03	0.03	0.02
	55	2015/1/24 10:11	1.48	276.74	4.00	0.06	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
	56	2015/1/24 10:11	1.58	276.74	4.13	0.07	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
	57	2015/1/24 10:11	1.58	276.74	4.31	0.07	0.04	0.06	0.04	0.03	0.02
	58	2015/1/24 10:11	1.68	276.74	4.46	0.07	0.04	0.06	0.04	0.03	0.02
	59	2015/1/24 10:11	1.68	276.74	4.64	0.07	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03
	60	2015/1/24 10:11	1.68	276.74	4.74	0.07	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03
	61	2015/1/24 10:11	1.78	276.25	4.89	0.08	0.05	0.06	0.04	0.04	0.03
	62	2015/1/24 10:11	1.78	276.25	5.04	0.08	0.05	0.06	0.05	0.04	0.03
	63	2015/1/24 10:11	1.88	276.25	5.23	0.08	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03
	64	2015/1/24 10:11	1.88	276.25	5.37	0.08	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03
	65	2015/1/24 10:11	1.88	276.25	5.53	0.08	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03
	66	2015/1/24 10:11	1.97	276.25	5.71	0.09	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03
	67	2015/1/24 10:11	1.97	276.25	5.86	0.09	0.05	0.07	0.05	0.05	0.03
	68	2015/1/24 10:11	1.97	276.25	5.98	0.09	0.05	0.08	0.05	0.05	0.03
	69	2015/1/24 10:11	2.07	276.25	6.11	0.09	0.06	0.08	0.06	0.05	0.03
	70	2015/1/24 10:11	2.17	275.76	6.26	0.09	0.06	0.08	0.06	0.05	0.03
	71	2015/1/24 10:11	2.17	275.76	6.41	0.09	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04
	72	2015/1/24 10:11	2.17	275.76	6.56	0.09	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04
	73	2015/1/24 10:11	2.17	275.76	6.71	0.09	0.06	0.09	0.06	0.05	0.04
	74	2015/1/24 10:11	2.27	275.76	6.84	0.10	0.06	0.09	0.06	0.05	0.04
	75	2015/1/24 10:12	2.37	275.76	6.96	0.10	0.06	0.09	0.06	0.05	0.04
	76	2015/1/24 10:12	2.37	275.76	7.17	0.10	0.06	0.09	0.06	0.06	0.04
	77	2015/1/24 10:12	2.37	275.76	7.24	0.10	0.06	0.09	0.07	0.06	0.04
	78	2015/1/24 10:12	2.37	275.27	7.45	0.10	0.06	0.10	0.07	0.06	0.04
	79	2015/1/24 10:12	2.47	275.27	7.60	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.04
	80	2015/1/24 10:12	2.57	275.27	7.75	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.04
	81	2015/1/24 10:12	2.57	275.27	7.90	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.04
	82	2015/1/24 10:12	2.57	275.27	8.02	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.04
	83	2015/1/24 10:12	2.57	275.27	8.17	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.04
	84	2015/1/24 10:12	2.66	275.27	8.27	0.12	0.07	0.11	0.07	0.06	0.05
	85	2015/1/24 10:12	2.66	275.27	8.39	0.12	0.07	0.11	0.08	0.07	0.05
	86	2015/1/24 10:12	2.66	275.27	8.51	0.12	0.07	0.11	0.08	0.07	0.05
	87	2015/1/24 10:12	2.66	275.27	8.63	0.12	0.07	0.11	0.08	0.07	0.05
	88	2015/1/24 10:12	2.76	275.27	8.79	0.12	0.07	0.11	0.08	0.07	0.05
	89	2015/1/24 10:12	2.76	274.78	8.91	0.12	0.07	0.11	0.08	0.07	0.05
	90	2015/1/24 10:12	2.76	274.78	9.06	0.12	0.07	0.12	0.08	0.07	0.05
	91	2015/1/24 10:12	2.86	274.78	9.15	0.12	0.08	0.12	0.08	0.07	0.05
	92	2015/1/24 10:12	2.86	274.78	9.39	0.12	0.08	0.12	0.08	0.07	0.05
	93	2015/1/24 10:12	2.86	274.78	9.48	0.12	0.08	0.12	0.09	0.07	0.05
	94	2015/1/24 10:12	2.96	274.29	9.58	0.13	0.08	0.12	0.09	0.07	0.05
	95	2015/1/24 10:12	2.96	274.78	9.73	0.13	0.08	0.12	0.09	0.08	0.05
	96	2015/1/24 10:12	2.96	274.78	9.85	0.13	0.08	0.13	0.09	0.08	0.05
	97	2015/1/24 10:12	3.06	274.78	9.97	0.13	0.08	0.13	0.09	0.08	0.05
	98	2015/1/24 10:12	3.06	274.29	10.09	0.13	0.08	0.13	0.09	0.08	0.06
	99	2015/1/24 10:12	3.06	274.29	10.19	0.13	0.08	0.13	0.09	0.08	0.06
	100	2015/1/24 10:13	3.06	274.29	10.28	0.13	0.08	0.13	0.09	0.08	0.06
	101	2015/1/24 10:13	3.16	274.29	10.47	0.14	0.08	0.13	0.09	0.08	0.06

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	113	2015/1/24 10:13	3.55	273.80	11.86	0.16	0.09	0.15	0.11	0.09	0.07
	114	2015/1/24 10:13	3.55	273.80	11.98	0.16	0.09	0.15	0.11	0.09	0.07
	115	2015/1/24 10:13	3.55	273.80	12.08	0.16	0.09	0.15	0.11	0.09	0.07
	116	2015/1/24 10:13	3.55	273.80	12.20	0.16	0.09	0.16	0.11	0.10	0.07
	117	2015/1/24 10:13	3.65	273.31	12.32	0.16	0.10	0.16	0.11	0.10	0.07
	118	2015/1/24 10:13	3.65	273.80	12.41	0.16	0.10	0.16	0.11	0.10	0.07
	119	2015/1/24 10:13	3.65	273.31	12.51	0.16	0.10	0.16	0.11	0.10	0.07
	120	2015/1/24 10:13	3.65	273.31	12.63	0.16	0.10	0.16	0.11	0.10	0.07
	121	2015/1/24 10:13	3.65	273.31	12.75	0.16	0.10	0.16	0.12	0.10	0.07
	122	2015/1/24 10:13	3.65	273.31	12.84	0.16	0.10	0.16	0.12	0.10	0.07
	123	2015/1/24 10:13	3.75	273.31	12.96	0.16	0.10	0.17	0.12	0.10	0.07
	124	2015/1/24 10:14	3.75	273.31	13.08	0.16	0.10	0.17	0.12	0.10	0.07
	125	2015/1/24 10:14	3.75	273.31	13.15	0.16	0.10	0.17	0.12	0.10	0.07
	126	2015/1/24 10:14	3.85	273.31	13.29	0.17	0.10	0.17	0.12	0.10	0.07
	127	2015/1/24 10:14	3.75	272.82	13.36	0.16	0.10	0.17	0.12	0.10	0.07
	128	2015/1/24 10:14	3.85	272.82	13.54	0.17	0.10	0.17	0.12	0.11	0.07
	129	2015/1/24 10:14	3.85	272.82	13.60	0.17	0.10	0.17	0.12	0.11	0.07
	130	2015/1/24 10:14	3.95	272.82	13.73	0.17	0.11	0.18	0.12	0.11	0.08
	131	2015/1/24 10:14	3.95	272.82	13.85	0.17	0.11	0.18	0.13	0.11	0.08
	132	2015/1/24 10:14	3.95	272.82	13.94	0.17	0.11	0.18	0.13	0.11	0.08
	133	2015/1/24 10:14	3.95	272.82	14.12	0.17	0.11	0.18	0.13	0.11	0.08
	134	2015/1/24 10:14	3.95	272.33	14.21	0.17	0.11	0.18	0.13	0.11	0.08
	135	2015/1/24 10:14	3.95	272.33	14.33	0.17	0.11	0.18	0.13	0.11	0.08
	136	2015/1/24 10:14	4.05	272.33	14.42	0.18	0.11	0.18	0.13	0.11	0.08
	137	2015/1/24 10:14	4.05	272.33	14.51	0.18	0.11	0.19	0.13	0.11	0.08
	138	2015/1/24 10:14	4.05	272.33	14.61	0.18	0.11	0.19	0.13	0.11	0.08
	139	2015/1/24 10:14	4.05	272.33	14.70	0.18	0.11	0.19	0.13	0.11	0.08
	140	2015/1/24 10:14	4.15	272.33	14.82	0.18	0.11	0.19	0.13	0.12	0.08
	141	2015/1/24 10:14	4.15	272.33	14.88	0.18	0.11	0.19	0.13	0.12	0.08
	142	2015/1/24 10:14	4.15	272.33	15.00	0.18	0.11	0.19	0.14	0.12	0.08
	143	2015/1/24 10:14	4.15	271.84	15.07	0.18	0.11	0.19	0.14	0.12	0.08
	144	2015/1/24 10:14	4.15	272.33	15.16	0.18	0.11	0.19	0.14	0.12	0.08
	145	2015/1/24 10:14	4.24	271.84	15.25	0.19	0.11	0.20	0.14	0.12	0.08
	146	2015/1/24 10:14	4.24	271.84	15.37	0.19	0.11	0.20	0.14	0.12	0.08
	147	2015/1/24 10:14	4.24	271.84	15.49	0.19	0.11	0.20	0.14	0.12	0.09
	148	2015/1/24 10:15	4.34	272.33	15.61	0.19	0.12	0.20	0.14	0.12	0.09
	149	2015/1/24 10:15	4.24	277.72	15.68	0.19	0.11	0.20	0.14	0.12	0.09
	150	2015/1/24 10:15	4.34	277.72	15.74	0.19	0.12	0.20	0.14	0.12	0.09
	151	2015/1/24 10:15	4.34	277.72	15.86	0.19	0.12	0.20	0.14	0.12	0.09
	152	2015/1/24 10:15	4.44	277.23	16.01	0.19	0.12	0.21	0.14	0.12	0.09
	153	2015/1/24 10:15	4.44	277.23	16.10	0.19	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	154	2015/1/24 10:15	4.44	277.23	16.19	0.19	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	155	2015/1/24 10:15	4.44	277.23	16.29	0.19	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	156	2015/1/24 10:15	4.44	277.23	16.38	0.19	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	157	2015/1/24 10:15	4.54	277.23	16.47	0.20	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	158	2015/1/24 10:15	4.54	277.23	16.59	0.20	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	159	2015/1/24 10:15	4.54	276.74	16.68	0.20	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	160	2015/1/24 10:15	4.64	276.74	16.77	0.20	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09
	161	2015/1/24 10:15	4.54	276.74	16.86	0.20	0.12	0.22	0.15	0.13	0.09
	162	2015/1/24 10:15	4.64	276.74	16.99	0.20	0.12	0.22	0.15	0.13	0.09
	163	2015/1/24 10:15	4.64	276.74	17.08	0.20	0.12	0.22	0.15	0.13	0.09
	164	2015/1/24 10:15	4.64	276.25	17.20	0.20	0.12	0.22	0.16	0.13	0.09
	165	2015/1/24 10:15	4.64	276.74	17.29	0.20	0.12	0.22	0.16	0.13	0.10
	166	2015/1/24 10:15	4.74	276.74	17.35	0.21	0.13	0.22	0.16	0.14	0.10
	167	2015/1/24 10:15	4.74	276.74	17.47	0.21	0.13	0.22	0.16	0.14	0.10
	168	2015/1/24 10:15	4.74	276.25	17.53	0.21	0.13	0.22	0.16	0.14	0.10
	169	2015/1/24 10:15	4.74	276.25	17.68	0.21	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	170	2015/1/24 10:15	4.74	276.25	17.74	0.21	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	171	2015/1/24 10:16	4.84	276.25	17.84	0.21	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	172	2015/1/24 10:16	4.84	276.25	17.96	0.21	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	173	2015/1/24 10:16	4.94	276.25	18.11	0.22	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	174	2015/1/24 10:16	4.94	276.25	18.15	0.22	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	175	2015/1/24 10:16	4.94	276.25	18.24	0.22	0.13	0.23	0.16	0.14	0.10
	176	2015/1/24 10:16	4.94	276.25	18.39	0.22	0.13	0.24	0.17	0.14	0.10
	177	2015/1/24 10:16	5.03	276.25	18.45	0.22	0.13	0.24	0.17	0.14	0.10
	178	2015/1/24 10:16	5.03	276.25	18.54	0.22	0.13	0.24	0.17	0.14	0.10
	179	2015/1/24 10:16	5.03	275.76	18.63	0.22	0.13	0.24	0.17	0.15	0.10
	180	2015/1/24 10:16	5.03	275.76	18.76	0.22	0.13	0.24	0.17	0.15	0.10
	181	2015/1/24 10:16	5.03	275.76	18.85	0.22	0.13	0.24	0.17	0.15	0.10
	182	2015/1/24 10:16	5.13	275.76	18.94	0.22	0.14	0.24	0.17	0.15	0.10
	183	2015/1/24 10:16	5.13	275.76	19.06	0.22	0.14	0.24	0.17	0.15	0.10
	184	2015/1/24 10:16	5.13	275.76	19.15	0.22	0.14	0.25	0.17	0.15	0.11
	185	2015/1/24 10:16	5.13	275.76	19.24	0.22	0.14	0.25	0.17	0.15	0.11

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	197	2015/1/24 10:17	5.43	274.78	20.44	0.24	0.14	0.26	0.18	0.16	0.11
	198	2015/1/24 10:17	5.53	274.78	20.56	0.24	0.15	0.26	0.19	0.16	0.11
	199	2015/1/24 10:17	5.43	274.78	20.70	0.24	0.14	0.27	0.19	0.16	0.11
	200	2015/1/24 10:17	5.53	274.78	20.74	0.24	0.15	0.27	0.19	0.16	0.11
	201	2015/1/24 10:17	5.53	274.78	20.86	0.24	0.15	0.27	0.19	0.16	0.11
	202	2015/1/24 10:17	5.53	274.78	20.98	0.24	0.15	0.27	0.19	0.16	0.12
	203	2015/1/24 10:17	5.53	274.78	21.04	0.24	0.15	0.27	0.19	0.16	0.12
	204	2015/1/24 10:17	5.63	274.29	21.16	0.25	0.15	0.27	0.19	0.17	0.12
	205	2015/1/24 10:17	5.63	274.29	21.23	0.25	0.15	0.27	0.19	0.17	0.12
	206	2015/1/24 10:17	5.53	274.29	21.38	0.24	0.15	0.27	0.19	0.17	0.12
	207	2015/1/24 10:17	5.63	274.29	21.44	0.25	0.15	0.27	0.19	0.17	0.12
	208	2015/1/24 10:17	5.63	274.29	21.53	0.25	0.15	0.28	0.19	0.17	0.12
	209	2015/1/24 10:18	5.72	274.29	21.68	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	210	2015/1/24 10:18	5.72	274.29	21.77	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	211	2015/1/24 10:18	5.72	274.29	21.86	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	212	2015/1/24 10:18	5.72	274.29	21.92	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	213	2015/1/24 10:18	5.72	273.80	22.08	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	214	2015/1/24 10:18	5.72	273.80	22.14	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	215	2015/1/24 10:18	5.72	273.80	22.23	0.25	0.15	0.28	0.20	0.17	0.12
	216	2015/1/24 10:18	5.82	273.80	22.35	0.25	0.15	0.29	0.20	0.17	0.12
	217	2015/1/24 10:18	5.82	273.80	22.44	0.25	0.15	0.29	0.20	0.18	0.12
	218	2015/1/24 10:18	5.82	273.80	22.50	0.25	0.15	0.29	0.20	0.18	0.12
	219	2015/1/24 10:18	5.82	273.80	22.65	0.25	0.15	0.29	0.20	0.18	0.12
	220	2015/1/24 10:18	5.92	273.80	22.74	0.26	0.16	0.29	0.21	0.18	0.13
	221	2015/1/24 10:18	5.92	273.31	22.83	0.26	0.16	0.29	0.21	0.18	0.13
	222	2015/1/24 10:18	5.92	273.31	22.93	0.26	0.16	0.29	0.21	0.18	0.13
	223	2015/1/24 10:18	6.02	273.31	23.03	0.26	0.16	0.29	0.21	0.18	0.13
	224	2015/1/24 10:18	5.92	273.31	23.12	0.26	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	225	2015/1/24 10:18	5.92	273.31	23.24	0.26	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	226	2015/1/24 10:19	6.02	273.31	23.36	0.26	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	227	2015/1/24 10:19	6.02	272.82	23.45	0.26	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	228	2015/1/24 10:19	6.02	273.31	23.54	0.26	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	229	2015/1/24 10:19	6.02	272.82	23.66	0.26	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	230	2015/1/24 10:19	6.12	272.82	23.70	0.27	0.16	0.30	0.21	0.18	0.13
	231	2015/1/24 10:19	6.12	275.27	23.85	0.27	0.16	0.31	0.22	0.19	0.13
	232	2015/1/24 10:19	6.12	275.76	23.97	0.27	0.16	0.31	0.22	0.19	0.13
	233	2015/1/24 10:19	6.12	276.25	24.09	0.27	0.16	0.31	0.22	0.19	0.13
	234	2015/1/24 10:19	6.12	276.25	24.12	0.27	0.16	0.31	0.22	0.19	0.13
	235	2015/1/24 10:19	6.22	276.74	24.24	0.27	0.17	0.31	0.22	0.19	0.13
	236	2015/1/24 10:19	6.22	276.74	24.33	0.27	0.17	0.31	0.22	0.19	0.13
	237	2015/1/24 10:19	6.22	276.74	24.45	0.27	0.17	0.31	0.22	0.19	0.13
	238	2015/1/24 10:19	6.22	276.74	24.55	0.27	0.17	0.31	0.22	0.19	0.14
	239	2015/1/24 10:19	6.22	276.74	24.61	0.27	0.17	0.32	0.22	0.19	0.14
	240	2015/1/24 10:19	6.32	277.23	24.73	0.28	0.17	0.32	0.22	0.19	0.14
	241	2015/1/24 10:20	6.22	277.23	24.85	0.27	0.17	0.32	0.22	0.19	0.14
	242	2015/1/24 10:20	6.32	277.23	24.91	0.28	0.17	0.32	0.23	0.19	0.14
	243	2015/1/24 10:20	6.32	277.23	25.03	0.28	0.17	0.32	0.23	0.20	0.14
	244	2015/1/24 10:20	6.32	277.23	25.16	0.28	0.17	0.32	0.23	0.20	0.14
	245	2015/1/24 10:20	6.42	276.74	25.24	0.28	0.17	0.32	0.23	0.20	0.14
	246	2015/1/24 10:20	6.42	276.74	25.31	0.28	0.17	0.32	0.23	0.20	0.14
	247	2015/1/24 10:20	6.42	276.74	25.46	0.28	0.17	0.33	0.23	0.20	0.14
	248	2015/1/24 10:20	6.42	276.74	25.56	0.28	0.17	0.33	0.23	0.20	0.14
	249	2015/1/24 10:20	6.42	276.74	25.65	0.28	0.17	0.33	0.23	0.20	0.14
	250	2015/1/24 10:20	6.42	276.25	25.74	0.28	0.17	0.33	0.23	0.20	0.14
	251	2015/1/24 10:20	6.42	276.25	25.83	0.28	0.17	0.33	0.23	0.20	0.14
	252	2015/1/24 10:20	6.51	276.25	25.95	0.28	0.17	0.33	0.23	0.20	0.14
	253	2015/1/24 10:20	6.51	276.25	26.04	0.28	0.17	0.33	0.24	0.20	0.14
	254	2015/1/24 10:20	6.51	276.25	26.16	0.28	0.17	0.33	0.24	0.20	0.14
	255	2015/1/24 10:20	6.51	276.25	26.25	0.28	0.17	0.34	0.24	0.20	0.14
	256	2015/1/24 10:21	6.61	276.25	26.31	0.29	0.18	0.34	0.24	0.21	0.14
	257	2015/1/24 10:21	6.61	276.25	26.44	0.29	0.18	0.34	0.24	0.21	0.15
	258	2015/1/24 10:21	6.61	275.76	26.53	0.29	0.18	0.34	0.24	0.21	0.15
	259	2015/1/24 10:21	6.61	275.76	26.65	0.29	0.18	0.34	0.24	0.21	0.15
	260	2015/1/24 10:21	6.71	275.76	26.74	0.29	0.18	0.34	0.24	0.21	0.15
	261	2015/1/24 10:21	6.71	275.76	26.83	0.29	0.18	0.34	0.24	0.21	0.15
	262	2015/1/24 10:21	6.71	275.76	26.98	0.29	0.18	0.35	0.24	0.21	0.15
	263	2015/1/24 10:21	6.71	275.27	27.08	0.29	0.18	0.35	0.24	0.21	0.15
	264	2015/1/24 10:21	6.71	275.27	27.11	0.29	0.18	0.35	0.25	0.21	0.15
	265	2015/1/24 10:21	6.81	275.27	27.23	0.30	0.18	0.35	0.25	0.21	0.15
	266	2015/1/24 10:21	6.81	275.27	27.32	0.30	0.18	0.35	0.25	0.21	0.15
	267	2015/1/24 10:21	6.81	275.27	27.44	0.30	0.18	0.35	0.25	0.21	0.15
	268	2015/1/24 10:21	6.81	275.27	27.48	0.30	0.18	0.35	0.25	0.21	0.15
	269	2015/1/24 10:21	6.81	275.27	27.63	0.30	0.18	0.35	0.25	0.22	0.15

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	281	2015/1/24 10:22	7.11	273.80	28.85	0.31	0.19	0.37	0.26	0.23	0.16
	282	2015/1/24 10:22	7.11	274.29	28.94	0.31	0.19	0.37	0.26	0.23	0.16
	283	2015/1/24 10:23	7.11	274.29	29.03	0.31	0.19	0.37	0.26	0.23	0.16
	284	2015/1/24 10:23	7.11	274.29	29.15	0.31	0.19	0.37	0.26	0.23	0.16
	285	2015/1/24 10:23	7.11	274.29	29.21	0.31	0.19	0.37	0.26	0.23	0.16
	286	2015/1/24 10:23	7.21	273.80	29.33	0.31	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	287	2015/1/24 10:23	7.21	273.80	29.45	0.31	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	288	2015/1/24 10:23	7.21	273.80	29.55	0.31	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	289	2015/1/24 10:23	7.21	273.80	29.64	0.31	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	290	2015/1/24 10:23	7.21	273.80	29.73	0.31	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	291	2015/1/24 10:23	7.21	276.25	29.85	0.31	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	292	2015/1/24 10:23	7.30	277.23	29.95	0.32	0.19	0.38	0.27	0.23	0.16
	293	2015/1/24 10:23	7.30	277.72	30.04	0.32	0.19	0.38	0.27	0.23	0.17
	294	2015/1/24 10:23	7.30	277.72	30.16	0.32	0.19	0.39	0.27	0.24	0.17
	295	2015/1/24 10:24	7.40	277.72	30.25	0.32	0.20	0.39	0.27	0.24	0.17
	296	2015/1/24 10:24	7.40	277.72	30.31	0.32	0.20	0.39	0.27	0.24	0.17
	297	2015/1/24 10:24	7.40	277.72	30.44	0.32	0.20	0.39	0.28	0.24	0.17
	298	2015/1/24 10:24	7.40	277.72	30.53	0.32	0.20	0.39	0.28	0.24	0.17
	299	2015/1/24 10:24	7.40	277.23	30.67	0.32	0.20	0.39	0.28	0.24	0.17
	300	2015/1/24 10:24	7.50	277.23	30.71	0.33	0.20	0.39	0.28	0.24	0.17
	301	2015/1/24 10:24	7.50	277.23	30.86	0.33	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
	302	2015/1/24 10:24	7.50	277.23	30.98	0.33	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
	303	2015/1/24 10:24	7.50	277.23	31.01	0.33	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
	304	2015/1/24 10:24	7.50	277.23	31.16	0.33	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
$+0.5\delta_{\theta N}$	305	2015/1/24 10:24	7.60	276.74	31.16	0.33	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
	1090	2015/1/24 11:09	7.70	274.78	31.29	0.34	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
	1091	2015/1/24 11:09	7.70	274.78	31.38	0.34	0.20	0.40	0.28	0.24	0.17
	1092	2015/1/24 11:09	7.70	274.78	31.47	0.34	0.20	0.40	0.28	0.25	0.17
	1093	2015/1/24 11:09	7.70	274.29	31.59	0.34	0.20	0.40	0.29	0.25	0.17
	1094	2015/1/24 11:09	7.70	274.29	31.68	0.34	0.20	0.41	0.29	0.25	0.17
	1095	2015/1/24 11:09	7.80	274.29	31.77	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.17
	1096	2015/1/24 11:09	7.80	274.29	31.86	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.18
	1097	2015/1/24 11:09	7.80	274.29	31.90	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.18
	1098	2015/1/24 11:09	7.80	274.29	32.08	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.18
	1099	2015/1/24 11:09	7.80	274.29	32.16	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.18
	1100	2015/1/24 11:09	7.90	274.29	32.23	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.18
	1101	2015/1/24 11:09	7.90	273.80	32.35	0.34	0.21	0.41	0.29	0.25	0.18
	1102	2015/1/24 11:09	7.90	274.29	32.44	0.34	0.21	0.42	0.29	0.25	0.18
	1103	2015/1/24 11:09	7.99	273.80	32.56	0.35	0.21	0.42	0.29	0.25	0.18
	1104	2015/1/24 11:09	7.99	273.80	32.65	0.35	0.21	0.42	0.30	0.25	0.18
	1105	2015/1/24 11:09	7.99	273.80	32.74	0.35	0.21	0.42	0.30	0.26	0.18
	1106	2015/1/24 11:09	7.99	273.80	32.87	0.35	0.21	0.42	0.30	0.26	0.18
	1107	2015/1/24 11:09	7.99	273.31	32.99	0.35	0.21	0.42	0.30	0.26	0.18
	1108	2015/1/24 11:10	8.09	273.31	33.11	0.35	0.22	0.42	0.30	0.26	0.18
	1109	2015/1/24 11:10	8.09	273.31	33.17	0.35	0.22	0.42	0.30	0.26	0.18
	1110	2015/1/24 11:10	8.09	273.31	33.26	0.35	0.22	0.43	0.30	0.26	0.18
	1111	2015/1/24 11:10	8.09	273.31	33.36	0.35	0.22	0.43	0.30	0.26	0.18
	1112	2015/1/24 11:10	8.09	273.31	33.48	0.35	0.22	0.43	0.30	0.26	0.18
	1113	2015/1/24 11:10	8.09	273.31	33.54	0.35	0.22	0.43	0.30	0.26	0.18
	1114	2015/1/24 11:10	8.19	273.31	33.66	0.36	0.22	0.43	0.30	0.26	0.19
	1115	2015/1/24 11:10	8.19	273.31	33.76	0.36	0.22	0.43	0.31	0.26	0.19
	1116	2015/1/24 11:10	8.19	272.82	33.84	0.36	0.22	0.43	0.31	0.26	0.19
	1117	2015/1/24 11:10	8.19	272.82	33.91	0.36	0.22	0.43	0.31	0.26	0.19
	1118	2015/1/24 11:10	8.19	272.82	34.08	0.36	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1119	2015/1/24 11:10	8.19	275.76	34.15	0.36	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1120	2015/1/24 11:10	8.29	275.76	34.24	0.36	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1121	2015/1/24 11:10	8.29	275.76	34.36	0.36	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1122	2015/1/24 11:10	8.29	275.76	34.48	0.36	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1123	2015/1/24 11:10	8.29	275.76	34.51	0.36	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1124	2015/1/24 11:10	8.39	275.76	34.66	0.37	0.22	0.44	0.31	0.27	0.19
	1125	2015/1/24 11:10	8.39	275.27	34.76	0.37	0.22	0.45	0.31	0.27	0.19
	1126	2015/1/24 11:11	8.39	275.27	34.85	0.37	0.22	0.45	0.32	0.27	0.19
	1127	2015/1/24 11:11	8.39	275.27	34.94	0.37	0.22	0.45	0.32	0.27	0.19
	1128	2015/1/24 11:11	8.39	275.27	35.06	0.37	0.22	0.45	0.32	0.27	0.19
	1129	2015/1/24 11:11	8.49	275.27	35.15	0.37	0.23	0.45	0.32	0.27	0.19
	1130	2015/1/24 11:11	8.39	275.27	35.24	0.37	0.22	0.45	0.32	0.27	0.19
	1131	2015/1/24 11:11	8.49	274.78	35.33	0.37	0.23	0.45	0.32	0.28	0.19
	1132	2015/1/24 11:11	8.49	274.78	35.49	0.37	0.23	0.45	0.32	0.28	0.20
	1133	2015/1/24 11:11	8.49	274.78	35.55	0.37	0.23	0.46	0.32	0.28	0.20
	1134	2015/1/24 11:11	8.59	274.78	35.64	0.37	0.23	0.46	0.32	0.28	0.20
	1135	2015/1/24 11:11	8.59	274.78	35.73	0.37	0.23	0.46	0.32	0.28	0.20
	1136	2015/1/24 11:11	8.59	274.29	35.85	0.37	0.23	0.46	0.32	0.28	0.20
	1137	2015/1/24 11:11	8.59	274.78	35.94	0.37	0.23	0.46	0.32	0.28	0.20

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	1149	2015/1/24 11:12	8.78	273.31	37.13	0.38	0.23	0.48	0.34	0.29	0.20
	1150	2015/1/24 11:12	8.88	273.31	37.25	0.39	0.24	0.48	0.34	0.29	0.21
	1151	2015/1/24 11:12	8.88	273.31	37.34	0.39	0.24	0.48	0.34	0.29	0.21
	1152	2015/1/24 11:12	8.88	273.31	37.46	0.39	0.24	0.48	0.34	0.29	0.21
	1153	2015/1/24 11:12	8.98	273.31	37.55	0.39	0.24	0.48	0.34	0.29	0.21
	1154	2015/1/24 11:12	8.88	272.82	37.62	0.39	0.24	0.48	0.34	0.29	0.21
	1155	2015/1/24 11:12	8.98	272.82	37.74	0.39	0.24	0.48	0.34	0.29	0.21
	1156	2015/1/24 11:12	8.98	272.82	37.86	0.39	0.24	0.48	0.34	0.30	0.21
	1157	2015/1/24 11:12	8.98	272.82	37.95	0.39	0.24	0.49	0.34	0.30	0.21
	1158	2015/1/24 11:12	8.98	275.76	38.05	0.39	0.24	0.49	0.34	0.30	0.21
	1159	2015/1/24 11:12	9.08	276.25	38.17	0.40	0.24	0.49	0.35	0.30	0.21
	1160	2015/1/24 11:12	9.08	275.76	38.29	0.40	0.24	0.49	0.35	0.30	0.21
	1161	2015/1/24 11:13	9.08	275.76	38.41	0.40	0.24	0.49	0.35	0.30	0.21
	1162	2015/1/24 11:13	9.08	275.76	38.47	0.40	0.24	0.49	0.35	0.30	0.21
	1163	2015/1/24 11:13	9.18	275.76	38.59	0.40	0.24	0.49	0.35	0.30	0.21
	1164	2015/1/24 11:13	9.18	275.76	38.68	0.40	0.24	0.50	0.35	0.30	0.21
	1165	2015/1/24 11:13	9.18	275.27	38.75	0.40	0.24	0.50	0.35	0.30	0.21
	1166	2015/1/24 11:13	9.18	275.27	38.86	0.40	0.24	0.50	0.35	0.30	0.21
	1167	2015/1/24 11:13	9.28	275.27	38.93	0.41	0.25	0.50	0.35	0.30	0.21
	1168	2015/1/24 11:13	9.28	275.27	39.05	0.41	0.25	0.50	0.35	0.30	0.22
	1169	2015/1/24 11:13	9.28	274.78	39.17	0.41	0.25	0.50	0.35	0.31	0.22
	1170	2015/1/24 11:13	9.28	275.27	39.26	0.41	0.25	0.50	0.36	0.31	0.22
	1171	2015/1/24 11:13	9.38	274.78	39.35	0.41	0.25	0.50	0.36	0.31	0.22
	1172	2015/1/24 11:13	9.38	274.78	39.45	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1173	2015/1/24 11:13	9.38	274.78	39.57	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1174	2015/1/24 11:13	9.38	274.29	39.66	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1175	2015/1/24 11:13	9.48	274.78	39.72	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1176	2015/1/24 11:13	9.48	274.29	39.87	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1177	2015/1/24 11:13	9.48	273.80	39.99	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1178	2015/1/24 11:13	9.48	274.29	40.05	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1179	2015/1/24 11:13	9.48	274.29	40.17	0.41	0.25	0.51	0.36	0.31	0.22
	1180	2015/1/24 11:13	9.57	273.80	40.24	0.42	0.25	0.52	0.36	0.31	0.22
	1181	2015/1/24 11:13	9.57	273.80	40.36	0.42	0.25	0.52	0.36	0.31	0.22
	1182	2015/1/24 11:13	9.57	273.80	40.51	0.42	0.25	0.52	0.37	0.32	0.22
	1183	2015/1/24 11:14	9.57	273.80	40.58	0.42	0.25	0.52	0.37	0.32	0.22
	1184	2015/1/24 11:14	9.67	273.80	40.70	0.42	0.26	0.52	0.37	0.32	0.22
	1185	2015/1/24 11:14	9.57	273.80	40.79	0.42	0.25	0.52	0.37	0.32	0.22
	1186	2015/1/24 11:14	9.57	273.31	40.91	0.42	0.25	0.52	0.37	0.32	0.23
	1187	2015/1/24 11:14	9.67	273.31	41.03	0.42	0.26	0.53	0.37	0.32	0.23
	1188	2015/1/24 11:14	9.67	273.31	41.15	0.42	0.26	0.53	0.37	0.32	0.23
	1189	2015/1/24 11:14	9.77	272.82	41.24	0.43	0.26	0.53	0.37	0.32	0.23
	1190	2015/1/24 11:14	9.77	272.82	41.34	0.43	0.26	0.53	0.37	0.32	0.23
	1191	2015/1/24 11:14	9.77	276.74	41.49	0.43	0.26	0.53	0.38	0.32	0.23
	1192	2015/1/24 11:14	9.77	278.21	41.61	0.43	0.26	0.53	0.38	0.32	0.23
	1193	2015/1/24 11:14	9.77	278.21	41.71	0.43	0.26	0.53	0.38	0.33	0.23
	1194	2015/1/24 11:14	9.87	278.21	41.85	0.43	0.26	0.54	0.38	0.33	0.23
	1195	2015/1/24 11:14	9.87	277.72	41.97	0.43	0.26	0.54	0.38	0.33	0.23
	1196	2015/1/24 11:14	9.87	277.72	42.04	0.43	0.26	0.54	0.38	0.33	0.23
	1197	2015/1/24 11:14	9.87	277.72	42.13	0.43	0.26	0.54	0.38	0.33	0.23
	1198	2015/1/24 11:14	9.97	277.23	42.28	0.44	0.27	0.54	0.38	0.33	0.23
	1199	2015/1/24 11:14	9.97	277.23	42.34	0.44	0.27	0.54	0.38	0.33	0.23
	1200	2015/1/24 11:14	9.97	277.23	42.46	0.44	0.27	0.54	0.38	0.33	0.23
	1201	2015/1/24 11:14	9.97	276.74	42.58	0.44	0.27	0.55	0.39	0.33	0.23
	1202	2015/1/24 11:14	9.97	276.74	42.71	0.44	0.27	0.55	0.39	0.33	0.24
	1203	2015/1/24 11:14	9.97	276.25	42.80	0.44	0.27	0.55	0.39	0.33	0.24
	1204	2015/1/24 11:14	10.07	276.25	42.86	0.44	0.27	0.55	0.39	0.33	0.24
	1205	2015/1/24 11:14	10.07	276.25	43.01	0.44	0.27	0.55	0.39	0.34	0.24
	1206	2015/1/24 11:14	10.07	275.76	43.07	0.44	0.27	0.55	0.39	0.34	0.24
	1207	2015/1/24 11:14	10.07	275.76	43.16	0.44	0.27	0.55	0.39	0.34	0.24
	1208	2015/1/24 11:15	10.17	275.76	43.31	0.44	0.27	0.55	0.39	0.34	0.24
	1209	2015/1/24 11:15	10.17	275.76	43.38	0.44	0.27	0.56	0.39	0.34	0.24
	1210	2015/1/24 11:15	10.17	275.27	43.49	0.44	0.27	0.56	0.39	0.34	0.24
	1211	2015/1/24 11:15	10.26	275.27	43.59	0.45	0.27	0.56	0.39	0.34	0.24
	1212	2015/1/24 11:15	10.26	274.78	43.71	0.45	0.27	0.56	0.40	0.34	0.24
	1213	2015/1/24 11:15	10.26	274.78	43.80	0.45	0.27	0.56	0.40	0.34	0.24
	1214	2015/1/24 11:15	10.26	274.78	43.89	0.45	0.27	0.56	0.40	0.34	0.24
	1215	2015/1/24 11:15	10.26	274.78	44.01	0.45	0.27	0.56	0.40	0.34	0.24
	1216	2015/1/24 11:15	10.26	274.29	44.10	0.45	0.27	0.56	0.40	0.34	0.24
	1217	2015/1/24 11:15	10.36	274.29	44.22	0.45	0.28	0.57	0.40	0.34	0.24
	1218	2015/1/24 11:15	10.36	274.29	44.32	0.45	0.28	0.57	0.40	0.35	0.24
	1219	2015/1/24 11:15	10.36	274.29	44.42	0.45	0.28	0.57	0.40	0.35	0.24
	1220	2015/1/24 11:15	10.46	274.29	44.53	0.46	0.28	0.57	0.40	0.35	0.25
	1221	2015/1/24 11:15	10.36	274.29	44.69	0.45	0.28	0.57	0.40	0.35	0.25

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	1233	2015/1/24 11:16	10.66	272.82	45.97	0.47	0.28	0.59	0.42	0.36	0.25
	1234	2015/1/24 11:16	10.66	272.33	46.06	0.47	0.28	0.59	0.42	0.36	0.25
	1235	2015/1/24 11:16	10.66	272.33	46.18	0.47	0.28	0.59	0.42	0.36	0.25
	1236	2015/1/24 11:16	10.76	272.33	46.30	0.47	0.29	0.59	0.42	0.36	0.25
	1237	2015/1/24 11:16	10.76	272.33	46.39	0.47	0.29	0.59	0.42	0.36	0.26
	1238	2015/1/24 11:16	10.76	271.84	46.49	0.47	0.29	0.60	0.42	0.36	0.26
	1239	2015/1/24 11:16	10.76	271.84	46.64	0.47	0.29	0.60	0.42	0.36	0.26
	1240	2015/1/24 11:16	10.86	271.35	46.79	0.47	0.29	0.60	0.42	0.36	0.26
	1241	2015/1/24 11:16	10.76	277.23	46.89	0.47	0.29	0.60	0.42	0.37	0.26
	1242	2015/1/24 11:16	10.76	277.23	47.01	0.47	0.29	0.60	0.43	0.37	0.26
	1243	2015/1/24 11:16	10.76	276.74	47.13	0.47	0.29	0.60	0.43	0.37	0.26
	1244	2015/1/24 11:16	10.86	276.74	47.28	0.47	0.29	0.61	0.43	0.37	0.26
	1245	2015/1/24 11:16	10.86	276.74	47.37	0.47	0.29	0.61	0.43	0.37	0.26
	1246	2015/1/24 11:16	10.96	276.25	47.56	0.48	0.29	0.61	0.43	0.37	0.26
	1247	2015/1/24 11:16	10.96	276.25	47.71	0.48	0.29	0.61	0.43	0.37	0.26
	1248	2015/1/24 11:16	10.96	276.25	47.86	0.48	0.29	0.61	0.43	0.37	0.26
	1249	2015/1/24 11:16	11.05	275.76	48.01	0.48	0.29	0.61	0.43	0.37	0.26
	1250	2015/1/24 11:16	10.96	275.76	48.16	0.48	0.29	0.62	0.44	0.38	0.27
	1251	2015/1/24 11:16	11.05	275.76	48.31	0.48	0.29	0.62	0.44	0.38	0.27
	1252	2015/1/24 11:16	11.05	275.27	48.43	0.48	0.29	0.62	0.44	0.38	0.27
	1253	2015/1/24 11:16	11.05	275.27	48.58	0.48	0.29	0.62	0.44	0.38	0.27
	1254	2015/1/24 11:16	11.15	274.78	48.71	0.49	0.30	0.62	0.44	0.38	0.27
	1255	2015/1/24 11:16	11.15	274.78	48.83	0.49	0.30	0.63	0.44	0.38	0.27
	1256	2015/1/24 11:16	11.15	274.78	48.95	0.49	0.30	0.63	0.44	0.38	0.27
	1257	2015/1/24 11:16	11.25	274.29	49.11	0.49	0.30	0.63	0.44	0.38	0.27
	1258	2015/1/24 11:17	11.25	274.29	49.25	0.49	0.30	0.63	0.45	0.38	0.27
	1259	2015/1/24 11:17	11.25	274.29	49.38	0.49	0.30	0.63	0.45	0.39	0.27
	1260	2015/1/24 11:17	11.35	274.29	49.50	0.50	0.30	0.63	0.45	0.39	0.27
	1261	2015/1/24 11:17	11.25	273.80	49.62	0.49	0.30	0.64	0.45	0.39	0.27
	1262	2015/1/24 11:17	11.35	273.80	49.74	0.50	0.30	0.64	0.45	0.39	0.27
	1263	2015/1/24 11:17	11.35	273.80	49.90	0.50	0.30	0.64	0.45	0.39	0.27
	1264	2015/1/24 11:17	11.35	273.31	50.02	0.50	0.30	0.64	0.45	0.39	0.28
	1265	2015/1/24 11:17	11.45	272.82	50.17	0.50	0.30	0.64	0.45	0.39	0.28
	1266	2015/1/24 11:17	11.45	272.82	50.26	0.50	0.30	0.64	0.45	0.39	0.28
	1267	2015/1/24 11:17	11.45	272.82	50.47	0.50	0.30	0.65	0.46	0.39	0.28
	1268	2015/1/24 11:17	11.45	272.82	50.57	0.50	0.30	0.65	0.46	0.39	0.28
	1269	2015/1/24 11:17	11.55	272.33	50.69	0.50	0.31	0.65	0.46	0.40	0.28
	1270	2015/1/24 11:17	11.55	272.33	50.84	0.50	0.31	0.65	0.46	0.40	0.28
	1271	2015/1/24 11:17	11.55	272.33	51.05	0.50	0.31	0.65	0.46	0.40	0.28
	1272	2015/1/24 11:17	11.55	271.84	51.12	0.50	0.31	0.65	0.46	0.40	0.28
	1273	2015/1/24 11:17	11.55	271.84	51.27	0.50	0.31	0.66	0.46	0.40	0.28
	1274	2015/1/24 11:17	11.65	271.84	51.39	0.51	0.31	0.66	0.46	0.40	0.28
	1275	2015/1/24 11:17	11.65	271.35	51.51	0.51	0.31	0.66	0.47	0.40	0.28
	1276	2015/1/24 11:17	11.65	277.23	51.64	0.51	0.31	0.66	0.47	0.40	0.28
	1277	2015/1/24 11:17	11.65	276.74	51.73	0.51	0.31	0.66	0.47	0.40	0.28
	1278	2015/1/24 11:17	11.75	276.74	51.88	0.51	0.31	0.66	0.47	0.40	0.29
	1279	2015/1/24 11:17	11.75	276.25	52.00	0.51	0.31	0.67	0.47	0.41	0.29
	1280	2015/1/24 11:17	11.75	276.25	52.12	0.51	0.31	0.67	0.47	0.41	0.29
	1281	2015/1/24 11:17	11.84	275.76	52.24	0.52	0.32	0.67	0.47	0.41	0.29
	1282	2015/1/24 11:18	11.75	276.25	52.36	0.51	0.31	0.67	0.47	0.41	0.29
	1283	2015/1/24 11:18	11.84	275.76	52.48	0.52	0.32	0.67	0.47	0.41	0.29
	1284	2015/1/24 11:18	11.84	275.76	52.55	0.52	0.32	0.67	0.48	0.41	0.29
	1285	2015/1/24 11:18	11.84	275.76	52.73	0.52	0.32	0.68	0.48	0.41	0.29
	1286	2015/1/24 11:18	11.94	275.27	52.82	0.52	0.32	0.68	0.48	0.41	0.29
	1287	2015/1/24 11:18	11.84	275.27	52.94	0.52	0.32	0.68	0.48	0.41	0.29
	1288	2015/1/24 11:18	11.94	275.27	53.03	0.52	0.32	0.68	0.48	0.41	0.29
	1289	2015/1/24 11:18	11.94	274.78	53.15	0.52	0.32	0.68	0.48	0.41	0.29
	1290	2015/1/24 11:18	11.94	274.78	53.27	0.52	0.32	0.68	0.48	0.42	0.29
	1291	2015/1/24 11:18	12.04	274.29	53.43	0.53	0.32	0.68	0.48	0.42	0.29
	1292	2015/1/24 11:18	12.04	274.29	53.58	0.53	0.32	0.69	0.48	0.42	0.30
	1293	2015/1/24 11:18	12.04	274.29	53.70	0.53	0.32	0.69	0.49	0.42	0.30
	1294	2015/1/24 11:18	12.04	273.80	53.79	0.53	0.32	0.69	0.49	0.42	0.30
	1295	2015/1/24 11:18	12.14	273.80	53.94	0.53	0.32	0.69	0.49	0.42	0.30
	1296	2015/1/24 11:18	12.14	273.31	54.06	0.53	0.32	0.69	0.49	0.42	0.30
	1297	2015/1/24 11:18	12.14	273.80	54.22	0.53	0.32	0.69	0.49	0.42	0.30
	1298	2015/1/24 11:18	12.14	273.31	54.31	0.53	0.32	0.70	0.49	0.42	0.30
	1299	2015/1/24 11:18	12.14	273.31	54.46	0.53	0.32	0.70	0.49	0.42	0.30
	1300	2015/1/24 11:18	12.24	273.31	54.56	0.53	0.33	0.70	0.49	0.43	0.30
	1301	2015/1/24 11:18	12.24	272.82	54.68	0.53	0.33	0.70	0.49	0.43	0.30
	1302	2015/1/24 11:18	12.24	272.82	54.80	0.53	0.33	0.70	0.50	0.43	0.30
	1303	2015/1/24 11:18	12.34	272.33	54.95	0.54	0.33	0.70	0.50	0.43	0.30
	1304	2015/1/24 11:18	12.34	272.33	55.10	0.54	0.33	0.71	0.50	0.43	0.30
	1305	2015/1/24 11:18	12.34	272.33	55.20	0.54	0.33	0.71	0.50	0.43	0.30

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	1317	2015/1/24 11:19	12.53	275.76	56.75	0.55	0.33	0.73	0.51	0.44	0.31
	1318	2015/1/24 11:19	12.53	275.76	56.89	0.55	0.33	0.73	0.51	0.44	0.31
	1319	2015/1/24 11:19	12.53	275.27	57.02	0.55	0.33	0.73	0.52	0.44	0.31
	1320	2015/1/24 11:19	12.63	275.27	57.14	0.55	0.34	0.73	0.52	0.45	0.31
	1321	2015/1/24 11:19	12.63	275.27	57.23	0.55	0.34	0.73	0.52	0.45	0.32
	1322	2015/1/24 11:19	12.63	274.78	57.35	0.55	0.34	0.73	0.52	0.45	0.32
	1323	2015/1/24 11:19	12.63	274.78	57.48	0.55	0.34	0.74	0.52	0.45	0.32
	1324	2015/1/24 11:19	12.73	274.29	57.60	0.56	0.34	0.74	0.52	0.45	0.32
	1325	2015/1/24 11:19	12.73	274.29	57.72	0.56	0.34	0.74	0.52	0.45	0.32
	1326	2015/1/24 11:19	12.73	274.29	57.81	0.56	0.34	0.74	0.52	0.45	0.32
	1327	2015/1/24 11:19	12.73	274.29	57.93	0.56	0.34	0.74	0.52	0.45	0.32
	1328	2015/1/24 11:19	12.73	273.80	58.03	0.56	0.34	0.74	0.52	0.45	0.32
	1329	2015/1/24 11:19	12.83	273.80	58.17	0.56	0.34	0.74	0.53	0.45	0.32
	1330	2015/1/24 11:19	12.83	273.80	58.27	0.56	0.34	0.75	0.53	0.45	0.32
	1331	2015/1/24 11:19	12.83	273.31	58.39	0.56	0.34	0.75	0.53	0.46	0.32
	1332	2015/1/24 11:20	12.83	273.31	58.51	0.56	0.34	0.75	0.53	0.46	0.32
	1333	2015/1/24 11:20	12.93	273.31	58.61	0.56	0.34	0.75	0.53	0.46	0.32
	1334	2015/1/24 11:20	12.93	272.82	58.73	0.56	0.34	0.75	0.53	0.46	0.32
	1335	2015/1/24 11:20	12.93	272.82	58.84	0.56	0.34	0.75	0.53	0.46	0.32
	1336	2015/1/24 11:20	12.93	272.33	58.94	0.56	0.34	0.75	0.53	0.46	0.32
	1337	2015/1/24 11:20	13.03	272.33	59.12	0.57	0.35	0.76	0.53	0.46	0.33
	1338	2015/1/24 11:20	13.03	272.33	59.24	0.57	0.35	0.76	0.54	0.46	0.33
	1339	2015/1/24 11:20	13.03	272.33	59.31	0.57	0.35	0.76	0.54	0.46	0.33
	1340	2015/1/24 11:20	13.13	271.84	59.43	0.57	0.35	0.76	0.54	0.46	0.33
	1341	2015/1/24 11:20	13.03	271.84	59.52	0.57	0.35	0.76	0.54	0.46	0.33
	1342	2015/1/24 11:20	13.03	271.84	59.64	0.57	0.35	0.76	0.54	0.47	0.33
	1343	2015/1/24 11:20	13.13	271.35	59.76	0.57	0.35	0.77	0.54	0.47	0.33
	1344	2015/1/24 11:20	13.13	271.35	59.85	0.57	0.35	0.77	0.54	0.47	0.33
	1345	2015/1/24 11:20	13.13	276.74	60.01	0.57	0.35	0.77	0.54	0.47	0.33
	1346	2015/1/24 11:20	13.13	276.74	60.13	0.57	0.35	0.77	0.54	0.47	0.33
	1347	2015/1/24 11:20	13.13	276.25	60.25	0.57	0.35	0.77	0.54	0.47	0.33
	1348	2015/1/24 11:20	13.13	276.25	60.34	0.57	0.35	0.77	0.55	0.47	0.33
	1349	2015/1/24 11:20	13.23	275.76	60.46	0.58	0.35	0.77	0.55	0.47	0.33
	1350	2015/1/24 11:20	13.23	275.76	60.52	0.58	0.35	0.77	0.55	0.47	0.33
	1351	2015/1/24 11:20	13.23	275.76	60.64	0.58	0.35	0.78	0.55	0.47	0.33
	1352	2015/1/24 11:20	13.23	275.27	60.73	0.58	0.35	0.78	0.55	0.47	0.33
	1353	2015/1/24 11:20	13.32	275.27	60.94	0.58	0.35	0.78	0.55	0.48	0.34
	1354	2015/1/24 11:20	13.32	275.27	61.01	0.58	0.35	0.78	0.55	0.48	0.34
	1355	2015/1/24 11:20	13.32	274.78	61.10	0.58	0.35	0.78	0.55	0.48	0.34
	1356	2015/1/24 11:21	13.32	274.78	61.19	0.58	0.35	0.78	0.55	0.48	0.34
	1357	2015/1/24 11:21	13.42	274.29	61.28	0.59	0.36	0.78	0.55	0.48	0.34
	1358	2015/1/24 11:21	13.42	274.78	61.40	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1359	2015/1/24 11:21	13.42	274.29	61.50	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1360	2015/1/24 11:21	13.42	274.29	61.58	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1361	2015/1/24 11:21	13.42	274.29	61.68	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1362	2015/1/24 11:21	13.52	273.80	61.74	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1363	2015/1/24 11:21	13.52	273.80	61.89	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1364	2015/1/24 11:21	13.52	273.80	61.98	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1365	2015/1/24 11:21	13.52	273.31	62.07	0.59	0.36	0.79	0.56	0.48	0.34
	1366	2015/1/24 11:21	13.62	273.31	62.16	0.59	0.36	0.80	0.56	0.48	0.34
	1367	2015/1/24 11:21	13.52	273.31	62.20	0.59	0.36	0.80	0.56	0.49	0.34
$+1\delta_0$	1368	2015/1/24 11:21	13.52	273.31	62.22	0.59	0.36	0.80	0.56	0.49	0.34
	2239	2015/1/24 13:21	13.92	275.76	62.40	0.61	0.37	0.80	0.56	0.49	0.34
	2240	2015/1/24 13:21	14.11	275.27	62.67	0.62	0.38	0.80	0.57	0.49	0.35
	2241	2015/1/24 13:21	14.11	274.78	62.94	0.62	0.38	0.81	0.57	0.49	0.35
	2242	2015/1/24 13:22	14.11	274.29	63.30	0.62	0.38	0.81	0.57	0.49	0.35
	2243	2015/1/24 13:22	14.21	274.29	63.52	0.62	0.38	0.81	0.57	0.50	0.35
	2244	2015/1/24 13:22	14.21	273.80	63.88	0.62	0.38	0.82	0.58	0.50	0.35
	2245	2015/1/24 13:22	14.31	273.31	64.10	0.62	0.38	0.82	0.58	0.50	0.35
	2246	2015/1/24 13:22	14.31	272.82	64.43	0.62	0.38	0.82	0.58	0.50	0.35
	2247	2015/1/24 13:22	14.41	272.33	64.67	0.63	0.38	0.83	0.58	0.50	0.36
	2248	2015/1/24 13:22	14.41	271.84	64.95	0.63	0.38	0.83	0.59	0.51	0.36
	2249	2015/1/24 13:22	14.51	271.35	65.28	0.63	0.39	0.84	0.59	0.51	0.36
	2250	2015/1/24 13:22	14.51	277.23	65.56	0.63	0.39	0.84	0.59	0.51	0.36
	2251	2015/1/24 13:22	14.51	276.74	65.80	0.63	0.39	0.84	0.59	0.51	0.36
	2252	2015/1/24 13:22	14.61	276.25	66.14	0.64	0.39	0.85	0.60	0.52	0.36
	2253	2015/1/24 13:22	14.71	275.76	66.44	0.64	0.39	0.85	0.60	0.52	0.37
	2254	2015/1/24 13:22	14.71	275.27	66.69	0.64	0.39	0.85	0.60	0.52	0.37
	2255	2015/1/24 13:22	14.81	274.78	67.02	0.65	0.39	0.86	0.61	0.52	0.37
	2256	2015/1/24 13:23	14.81	274.29	67.29	0.65	0.39	0.86	0.61	0.52	0.37
	2257	2015/1/24 13:23	14.90	273.80	67.56	0.65	0.40	0.87	0.61	0.53	0.37
	2258	2015/1/24 13:23	14.90	273.31	67.90	0.65	0.40	0.87	0.61	0.53	0.37
	2259	2015/1/24 13:23	15.00	272.82	68.17	0.66	0.40	0.87	0.62	0.53	0.38

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	2271	2015/1/24 13:24	15.59	272.82	71.68	0.68	0.41	0.92	0.65	0.56	0.39
	2272	2015/1/24 13:24	15.59	272.33	71.95	0.68	0.41	0.92	0.65	0.56	0.40
	2273	2015/1/24 13:24	15.69	271.84	72.28	0.69	0.42	0.93	0.65	0.56	0.40
	2274	2015/1/24 13:24	15.69	271.84	72.50	0.69	0.42	0.93	0.66	0.57	0.40
	2275	2015/1/24 13:24	15.79	270.86	72.86	0.69	0.42	0.93	0.66	0.57	0.40
	2276	2015/1/24 13:24	15.79	276.74	73.13	0.69	0.42	0.94	0.66	0.57	0.40
	2277	2015/1/24 13:24	15.89	276.25	73.38	0.69	0.42	0.94	0.66	0.57	0.40
	2278	2015/1/24 13:24	15.89	275.76	73.72	0.69	0.42	0.94	0.67	0.58	0.41
	2279	2015/1/24 13:24	15.99	274.78	74.02	0.70	0.43	0.95	0.67	0.58	0.41
	2280	2015/1/24 13:24	15.99	274.78	74.29	0.70	0.43	0.95	0.67	0.58	0.41
	2281	2015/1/24 13:24	16.09	274.29	74.56	0.70	0.43	0.95	0.67	0.58	0.41
	2282	2015/1/24 13:24	16.09	273.31	74.87	0.70	0.43	0.96	0.68	0.58	0.41
	2283	2015/1/24 13:24	16.19	272.82	75.14	0.71	0.43	0.96	0.68	0.59	0.41
	2284	2015/1/24 13:24	16.29	272.33	75.50	0.71	0.43	0.97	0.68	0.59	0.42
	2285	2015/1/24 13:25	16.29	271.84	75.72	0.71	0.43	0.97	0.68	0.59	0.42
	2286	2015/1/24 13:25	16.38	271.35	76.06	0.72	0.44	0.97	0.69	0.59	0.42
	2287	2015/1/24 13:25	16.29	274.29	76.30	0.71	0.43	0.98	0.69	0.60	0.42
	2288	2015/1/24 13:25	16.38	275.76	76.61	0.72	0.44	0.98	0.69	0.60	0.42
	2289	2015/1/24 13:25	16.38	275.76	76.88	0.72	0.44	0.98	0.70	0.60	0.42
	2290	2015/1/24 13:25	16.38	274.78	77.21	0.72	0.44	0.99	0.70	0.60	0.43
	2291	2015/1/24 13:25	16.48	274.29	77.52	0.72	0.44	0.99	0.70	0.60	0.43
	2292	2015/1/24 13:25	16.58	273.80	77.70	0.72	0.44	0.99	0.70	0.61	0.43
	2293	2015/1/24 13:25	16.68	273.31	78.03	0.73	0.44	1.00	0.71	0.61	0.43
	2294	2015/1/24 13:25	16.68	272.82	78.34	0.73	0.44	1.00	0.71	0.61	0.43
	2295	2015/1/24 13:25	16.78	272.33	78.61	0.73	0.45	1.01	0.71	0.61	0.43
	2296	2015/1/24 13:25	16.78	271.84	78.91	0.73	0.45	1.01	0.71	0.62	0.43
	2297	2015/1/24 13:25	16.78	271.35	79.22	0.73	0.45	1.01	0.72	0.62	0.44
	2298	2015/1/24 13:26	16.78	276.25	79.47	0.73	0.45	1.02	0.72	0.62	0.44
	2299	2015/1/24 13:26	16.88	275.76	79.80	0.74	0.45	1.02	0.72	0.62	0.44
	2300	2015/1/24 13:26	16.88	275.27	80.07	0.74	0.45	1.03	0.72	0.62	0.44
	2301	2015/1/24 13:26	16.98	274.78	80.35	0.74	0.45	1.03	0.73	0.63	0.44
	2302	2015/1/24 13:26	16.98	273.80	80.62	0.74	0.45	1.03	0.73	0.63	0.44
	2303	2015/1/24 13:26	17.08	273.31	80.95	0.75	0.45	1.04	0.73	0.63	0.45
	2304	2015/1/24 13:26	17.17	272.82	81.23	0.75	0.46	1.04	0.73	0.63	0.45
	2305	2015/1/24 13:26	17.17	272.33	81.59	0.75	0.46	1.04	0.74	0.64	0.45
	2306	2015/1/24 13:26	17.27	271.84	81.84	0.75	0.46	1.05	0.74	0.64	0.45
	2307	2015/1/24 13:26	17.37	270.86	82.11	0.76	0.46	1.05	0.74	0.64	0.45
	2308	2015/1/24 13:26	17.27	276.74	82.36	0.75	0.46	1.05	0.74	0.64	0.45
	2309	2015/1/24 13:26	17.37	275.76	82.69	0.76	0.46	1.06	0.75	0.64	0.46
	2310	2015/1/24 13:27	17.37	275.27	82.93	0.76	0.46	1.06	0.75	0.65	0.46
	2311	2015/1/24 13:27	17.47	274.78	83.27	0.76	0.46	1.07	0.75	0.65	0.46
	2312	2015/1/24 13:27	17.57	274.29	83.51	0.77	0.47	1.07	0.76	0.65	0.46
	2313	2015/1/24 13:27	17.57	273.31	83.81	0.77	0.47	1.07	0.76	0.65	0.46
	2314	2015/1/24 13:27	17.67	272.82	84.15	0.77	0.47	1.08	0.76	0.66	0.46
	2315	2015/1/24 13:27	17.67	272.33	84.42	0.77	0.47	1.08	0.76	0.66	0.46
	2316	2015/1/24 13:27	17.77	271.84	84.70	0.78	0.47	1.08	0.77	0.66	0.47
	2317	2015/1/24 13:27	17.86	271.35	84.97	0.78	0.48	1.09	0.77	0.66	0.47
	2318	2015/1/24 13:27	17.77	276.25	85.25	0.78	0.47	1.09	0.77	0.66	0.47
	2319	2015/1/24 13:27	17.86	275.76	85.61	0.78	0.48	1.10	0.77	0.67	0.47
	2320	2015/1/24 13:27	17.86	275.27	85.91	0.78	0.48	1.10	0.78	0.67	0.47
	2321	2015/1/24 13:28	17.96	274.78	86.19	0.78	0.48	1.10	0.78	0.67	0.47
	2322	2015/1/24 13:28	18.06	273.80	86.49	0.79	0.48	1.11	0.78	0.67	0.48
	2323	2015/1/24 13:28	18.06	273.31	86.77	0.79	0.48	1.11	0.78	0.68	0.48
	2324	2015/1/24 13:28	18.16	272.82	87.07	0.79	0.48	1.11	0.79	0.68	0.48
	2325	2015/1/24 13:28	18.16	272.33	87.32	0.79	0.48	1.12	0.79	0.68	0.48
	2326	2015/1/24 13:28	18.16	271.84	87.56	0.79	0.48	1.12	0.79	0.68	0.48
	2327	2015/1/24 13:28	18.16	275.76	87.93	0.79	0.48	1.13	0.79	0.69	0.48
	2328	2015/1/24 13:28	18.16	276.25	88.20	0.79	0.48	1.13	0.80	0.69	0.49
	2329	2015/1/24 13:28	18.26	275.27	88.47	0.80	0.49	1.13	0.80	0.69	0.49
	2330	2015/1/24 13:28	18.36	274.78	88.74	0.80	0.49	1.14	0.80	0.69	0.49
	2331	2015/1/24 13:28	18.36	274.29	89.02	0.80	0.49	1.14	0.80	0.69	0.49
	2332	2015/1/24 13:28	18.46	273.80	89.38	0.81	0.49	1.14	0.81	0.70	0.49
	2333	2015/1/24 13:28	18.46	272.82	89.65	0.81	0.49	1.15	0.81	0.70	0.49
	2334	2015/1/24 13:29	18.56	272.33	89.93	0.81	0.49	1.15	0.81	0.70	0.50
	2335	2015/1/24 13:29	18.56	271.84	90.26	0.81	0.49	1.16	0.82	0.70	0.50
	2336	2015/1/24 13:29	18.65	271.35	90.51	0.81	0.50	1.16	0.82	0.71	0.50
	2337	2015/1/24 13:29	18.56	276.25	90.79	0.81	0.49	1.16	0.82	0.71	0.50
	2338	2015/1/24 13:29	18.65	275.76	91.03	0.81	0.50	1.17	0.82	0.71	0.50
	2339	2015/1/24 13:29	18.65	274.78	91.39	0.81	0.50	1.17	0.83	0.71	0.50
	2340	2015/1/24 13:29	18.75	274.29	91.70	0.82	0.50	1.17	0.83	0.72	0.50
	2341	2015/1/24 13:29	18.75	273.80	91.94	0.82	0.50	1.18	0.83	0.72	0.51
	2342	2015/1/24 13:29	18.85	273.31	92.24	0.82	0.50	1.18	0.83	0.72	0.51
	2343	2015/1/24 13:29	18.95	272.82	92.55	0.83	0.50	1.18	0.84	0.72	0.51

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	2355	2015/1/24 13:30	19.35	276.25	96.02	0.84	0.51	1.23	0.87	0.75	0.53
	2356	2015/1/24 13:30	19.44	275.76	96.36	0.85	0.52	1.23	0.87	0.75	0.53
	2357	2015/1/24 13:30	19.44	275.27	96.57	0.85	0.52	1.24	0.87	0.75	0.53
	2358	2015/1/24 13:31	19.54	274.29	96.90	0.85	0.52	1.24	0.88	0.76	0.53
	2359	2015/1/24 13:31	19.54	273.80	97.17	0.85	0.52	1.24	0.88	0.76	0.54
	2360	2015/1/24 13:31	19.64	273.31	97.45	0.86	0.52	1.25	0.88	0.76	0.54
	2361	2015/1/24 13:31	19.64	272.33	97.82	0.86	0.52	1.25	0.88	0.76	0.54
	2362	2015/1/24 13:31	19.74	271.84	98.09	0.86	0.53	1.26	0.89	0.77	0.54
	2363	2015/1/24 13:31	19.74	271.35	98.42	0.86	0.53	1.26	0.89	0.77	0.54
	2364	2015/1/24 13:31	19.74	276.25	98.70	0.86	0.53	1.26	0.89	0.77	0.54
	2365	2015/1/24 13:31	19.84	275.27	98.97	0.87	0.53	1.27	0.89	0.77	0.55
	2366	2015/1/24 13:31	19.84	274.78	99.24	0.87	0.53	1.27	0.90	0.77	0.55
	2367	2015/1/24 13:31	19.84	274.29	99.58	0.87	0.53	1.27	0.90	0.78	0.55
	2368	2015/1/24 13:31	19.94	273.80	99.82	0.87	0.53	1.28	0.90	0.78	0.55
	2369	2015/1/24 13:31	20.04	272.82	100.15	0.87	0.53	1.28	0.91	0.78	0.55
	2370	2015/1/24 13:31	20.13	272.33	100.43	0.88	0.54	1.29	0.91	0.78	0.55
	2371	2015/1/24 13:31	20.13	271.84	100.67	0.88	0.54	1.29	0.91	0.79	0.55
	2372	2015/1/24 13:32	20.23	270.86	100.95	0.88	0.54	1.29	0.91	0.79	0.56
	2373	2015/1/24 13:32	20.13	276.25	101.31	0.88	0.54	1.30	0.92	0.79	0.56
	2374	2015/1/24 13:32	20.13	275.27	101.55	0.88	0.54	1.30	0.92	0.79	0.56
	2375	2015/1/24 13:32	20.23	274.78	101.89	0.88	0.54	1.30	0.92	0.79	0.56
	2376	2015/1/24 13:32	20.33	273.80	102.17	0.89	0.54	1.31	0.92	0.80	0.56
	2377	2015/1/24 13:32	20.33	273.31	102.47	0.89	0.54	1.31	0.93	0.80	0.56
	2378	2015/1/24 13:32	20.43	272.33	102.77	0.89	0.54	1.32	0.93	0.80	0.57
	2379	2015/1/24 13:32	20.43	271.84	103.02	0.89	0.54	1.32	0.93	0.80	0.57
	2380	2015/1/24 13:32	20.53	271.35	103.32	0.90	0.55	1.32	0.93	0.81	0.57
	2381	2015/1/24 13:32	20.43	276.25	103.60	0.89	0.54	1.33	0.94	0.81	0.57
	2382	2015/1/24 13:32	20.53	275.76	103.84	0.90	0.55	1.33	0.94	0.81	0.57
	2383	2015/1/24 13:32	20.63	274.78	104.17	0.90	0.55	1.33	0.94	0.81	0.57
	2384	2015/1/24 13:32	20.63	273.80	104.53	0.90	0.55	1.34	0.95	0.82	0.58
	2385	2015/1/24 13:32	20.73	273.31	104.78	0.91	0.55	1.34	0.95	0.82	0.58
	2386	2015/1/24 13:32	20.73	272.82	105.08	0.91	0.55	1.35	0.95	0.82	0.58
	2387	2015/1/24 13:32	20.83	271.84	105.41	0.91	0.55	1.35	0.95	0.82	0.58
	2388	2015/1/24 13:33	20.92	271.35	105.63	0.91	0.56	1.35	0.96	0.82	0.58
	2389	2015/1/24 13:33	20.83	276.25	105.90	0.91	0.55	1.36	0.96	0.83	0.58
	2390	2015/1/24 13:33	20.92	275.27	106.24	0.91	0.56	1.36	0.96	0.83	0.59
	2391	2015/1/24 13:33	20.92	274.78	106.51	0.91	0.56	1.36	0.96	0.83	0.59
	2392	2015/1/24 13:33	21.02	274.29	106.85	0.92	0.56	1.37	0.97	0.83	0.59
	2393	2015/1/24 13:33	21.02	273.31	107.06	0.92	0.56	1.37	0.97	0.84	0.59
	2394	2015/1/24 13:33	21.12	272.82	107.40	0.92	0.56	1.38	0.97	0.84	0.59
	2395	2015/1/24 13:33	21.12	271.84	107.67	0.92	0.56	1.38	0.97	0.84	0.59
	2396	2015/1/24 13:33	21.22	271.35	107.97	0.93	0.56	1.38	0.98	0.84	0.59
	2397	2015/1/24 13:33	21.12	276.25	108.28	0.92	0.56	1.39	0.98	0.84	0.60
	2398	2015/1/24 13:33	21.22	275.76	108.49	0.93	0.56	1.39	0.98	0.85	0.60
	2399	2015/1/24 13:33	21.22	274.78	108.82	0.93	0.56	1.39	0.98	0.85	0.60
	2400	2015/1/24 13:33	21.32	273.80	109.22	0.93	0.57	1.40	0.99	0.85	0.60
	2401	2015/1/24 13:33	21.32	273.31	109.49	0.93	0.57	1.40	0.99	0.85	0.60
	2402	2015/1/24 13:33	21.42	272.82	109.71	0.94	0.57	1.40	0.99	0.86	0.60
	2403	2015/1/24 13:34	21.52	271.84	109.95	0.94	0.57	1.41	0.99	0.86	0.61
	2404	2015/1/24 13:34	21.52	271.35	110.32	0.94	0.57	1.41	1.00	0.86	0.61
	2405	2015/1/24 13:34	21.42	275.76	110.63	0.94	0.57	1.42	1.00	0.86	0.61
	2406	2015/1/24 13:34	21.52	275.27	110.95	0.94	0.57	1.42	1.00	0.87	0.61
	2407	2015/1/24 13:34	21.62	274.29	111.23	0.94	0.57	1.42	1.01	0.87	0.61
	2408	2015/1/24 13:34	21.62	273.80	111.44	0.94	0.57	1.43	1.01	0.87	0.61
	2409	2015/1/24 13:34	21.71	272.82	111.80	0.95	0.58	1.43	1.01	0.87	0.62
	2410	2015/1/24 13:34	21.71	271.84	112.11	0.95	0.58	1.44	1.01	0.87	0.62
	2411	2015/1/24 13:34	21.81	271.35	112.41	0.95	0.58	1.44	1.02	0.88	0.62
	2412	2015/1/24 13:34	21.81	270.86	112.62	0.95	0.58	1.44	1.02	0.88	0.62
	2413	2015/1/24 13:34	21.81	275.76	112.93	0.95	0.58	1.45	1.02	0.88	0.62
	2414	2015/1/24 13:34	21.81	274.78	113.26	0.95	0.58	1.45	1.02	0.88	0.62
	2415	2015/1/24 13:34	21.91	274.29	113.56	0.96	0.58	1.45	1.03	0.89	0.63
	2416	2015/1/24 13:34	21.91	273.31	113.87	0.96	0.58	1.46	1.03	0.89	0.63
	2417	2015/1/24 13:34	22.01	272.82	114.14	0.96	0.59	1.46	1.03	0.89	0.63
	2418	2015/1/24 13:34	22.11	271.84	114.39	0.97	0.59	1.46	1.03	0.89	0.63
	2419	2015/1/24 13:34	22.11	270.86	114.69	0.97	0.59	1.47	1.04	0.89	0.63
	2420	2015/1/24 13:35	22.01	276.25	114.97	0.96	0.59	1.47	1.04	0.90	0.63
	2421	2015/1/24 13:35	22.11	275.27	115.30	0.97	0.59	1.48	1.04	0.90	0.63
	2422	2015/1/24 13:35	22.21	274.78	115.61	0.97	0.59	1.48	1.05	0.90	0.64
	2423	2015/1/24 13:35	22.21	274.29	115.82	0.97	0.59	1.48	1.05	0.90	0.64
	2424	2015/1/24 13:35	22.31	273.31	116.21	0.97	0.59	1.49	1.05	0.91	0.64
	2425	2015/1/24 13:35	22.31	272.33	116.43	0.97	0.59	1.49	1.05	0.91	0.64
	2426	2015/1/24 13:35	22.40	271.84	116.76	0.98	0.60	1.49	1.06	0.91	0.64
	2427	2015/1/24 13:35	22.40	270.86	117.03	0.98	0.60	1.50	1.06	0.91	0.64

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	2439	2015/1/24 13:36	22.80	273.31	120.50	1.00	0.61	1.54	1.09	0.94	0.66
	2440	2015/1/24 13:36	22.80	272.33	120.78	1.00	0.61	1.55	1.09	0.94	0.67
	2441	2015/1/24 13:36	22.90	271.84	121.10	1.00	0.61	1.55	1.09	0.94	0.67
	2442	2015/1/24 13:36	23.00	270.86	121.38	1.00	0.61	1.55	1.10	0.95	0.67
	2443	2015/1/24 13:36	22.90	275.76	121.66	1.00	0.61	1.56	1.10	0.95	0.67
	2444	2015/1/24 13:36	22.90	274.78	121.98	1.00	0.61	1.56	1.10	0.95	0.67
	2445	2015/1/24 13:36	23.00	274.29	122.23	1.00	0.61	1.57	1.11	0.95	0.67
	2446	2015/1/24 13:36	23.00	273.31	122.51	1.00	0.61	1.57	1.11	0.96	0.67
	2447	2015/1/24 13:36	23.10	272.33	122.89	1.01	0.61	1.57	1.11	0.96	0.68
	2448	2015/1/24 13:36	23.10	271.84	123.12	1.01	0.61	1.58	1.11	0.96	0.68
	2449	2015/1/24 13:36	23.10	274.29	123.42	1.01	0.61	1.58	1.12	0.96	0.68
	2450	2015/1/24 13:36	23.10	275.76	123.69	1.01	0.61	1.58	1.12	0.96	0.68
	2451	2015/1/24 13:36	23.19	274.78	124.03	1.01	0.62	1.59	1.12	0.97	0.68
	2452	2015/1/24 13:36	23.19	273.80	124.33	1.01	0.62	1.59	1.12	0.97	0.68
	2453	2015/1/24 13:36	23.29	273.31	124.60	1.02	0.62	1.60	1.13	0.97	0.69
	2454	2015/1/24 13:36	23.29	272.33	124.79	1.02	0.62	1.60	1.13	0.97	0.69
$+2\delta_{0N}$	2455	2015/1/24 13:37	23.19	272.33	124.79	1.01	0.62	1.60	1.13	0.97	0.69
	3691	2015/1/24 14:40	25.46	275.76	124.95	1.11	0.68	1.60	1.13	0.97	0.69
	3692	2015/1/24 14:40	25.46	274.29	125.32	1.11	0.68	1.60	1.13	0.98	0.69
	3693	2015/1/24 14:40	25.56	273.31	125.69	1.12	0.68	1.61	1.14	0.98	0.69
	3694	2015/1/24 14:40	25.66	272.33	126.10	1.12	0.68	1.61	1.14	0.98	0.69
	3695	2015/1/24 14:40	25.76	271.35	126.45	1.12	0.69	1.62	1.14	0.99	0.70
	3696	2015/1/24 14:40	25.66	276.25	126.84	1.12	0.68	1.62	1.15	0.99	0.70
	3697	2015/1/24 14:40	25.76	275.27	127.21	1.12	0.69	1.63	1.15	0.99	0.70
	3698	2015/1/24 14:40	25.86	274.29	127.60	1.13	0.69	1.63	1.15	1.00	0.70
	3699	2015/1/24 14:40	25.96	273.31	127.96	1.13	0.69	1.64	1.16	1.00	0.70
	3700	2015/1/24 14:40	26.06	272.33	128.30	1.14	0.69	1.64	1.16	1.00	0.71
	3701	2015/1/24 14:40	26.16	270.86	128.72	1.14	0.70	1.65	1.16	1.00	0.71
	3702	2015/1/24 14:41	26.06	275.76	129.06	1.14	0.69	1.65	1.17	1.01	0.71
	3703	2015/1/24 14:41	26.16	274.78	129.48	1.14	0.70	1.66	1.17	1.01	0.71
	3704	2015/1/24 14:41	26.25	273.80	129.88	1.15	0.70	1.66	1.17	1.01	0.72
	3705	2015/1/24 14:41	26.25	272.33	130.33	1.15	0.70	1.67	1.18	1.02	0.72
	3706	2015/1/24 14:41	26.35	271.35	130.79	1.15	0.70	1.67	1.18	1.02	0.72
	3707	2015/1/24 14:41	26.25	275.76	131.19	1.15	0.70	1.68	1.19	1.02	0.72
	3708	2015/1/24 14:41	26.35	274.78	131.65	1.15	0.70	1.69	1.19	1.03	0.72
	3709	2015/1/24 14:41	26.55	273.31	132.13	1.16	0.71	1.69	1.19	1.03	0.73
	3710	2015/1/24 14:41	26.65	271.84	132.61	1.16	0.71	1.70	1.20	1.03	0.73
	3711	2015/1/24 14:41	26.65	272.33	133.07	1.16	0.71	1.70	1.20	1.04	0.73
	3712	2015/1/24 14:41	26.65	275.27	133.53	1.16	0.71	1.71	1.21	1.04	0.74
	3713	2015/1/24 14:41	26.75	274.29	134.01	1.17	0.71	1.72	1.21	1.05	0.74
	3714	2015/1/24 14:41	26.85	272.82	134.49	1.17	0.71	1.72	1.22	1.05	0.74
	3715	2015/1/24 14:41	26.95	271.35	134.96	1.18	0.72	1.73	1.22	1.05	0.74
	3716	2015/1/24 14:41	26.75	276.25	135.45	1.17	0.71	1.73	1.22	1.06	0.75
	3717	2015/1/24 14:41	26.95	274.29	135.96	1.18	0.72	1.74	1.23	1.06	0.75
	3718	2015/1/24 14:41	27.04	273.31	136.42	1.18	0.72	1.75	1.23	1.06	0.75
	3719	2015/1/24 14:41	27.14	271.35	136.90	1.19	0.72	1.75	1.24	1.07	0.75
	3720	2015/1/24 14:41	27.04	275.76	137.30	1.18	0.72	1.76	1.24	1.07	0.76
	3721	2015/1/24 14:41	27.04	275.27	137.78	1.18	0.72	1.76	1.25	1.07	0.76
	3722	2015/1/24 14:41	27.14	273.80	138.27	1.19	0.72	1.77	1.25	1.08	0.76
	3723	2015/1/24 14:41	27.24	272.33	138.70	1.19	0.72	1.78	1.25	1.08	0.76
	3724	2015/1/24 14:41	27.34	270.86	139.15	1.19	0.73	1.78	1.26	1.09	0.77
	3725	2015/1/24 14:41	27.24	275.76	139.61	1.19	0.72	1.79	1.26	1.09	0.77
	3726	2015/1/24 14:41	27.34	274.29	140.12	1.19	0.73	1.79	1.27	1.09	0.77
	3727	2015/1/24 14:42	27.44	272.82	140.52	1.20	0.73	1.80	1.27	1.10	0.77
	3728	2015/1/24 14:42	27.54	271.84	140.95	1.20	0.73	1.80	1.27	1.10	0.78
	3729	2015/1/24 14:42	27.44	276.25	141.40	1.20	0.73	1.81	1.28	1.10	0.78
	3730	2015/1/24 14:42	27.54	275.27	141.86	1.20	0.73	1.82	1.28	1.11	0.78
	3731	2015/1/24 14:42	27.54	273.80	142.31	1.20	0.73	1.82	1.29	1.11	0.78
	3732	2015/1/24 14:42	27.73	272.33	142.74	1.21	0.74	1.83	1.29	1.11	0.79
	3733	2015/1/24 14:42	27.73	270.86	143.16	1.21	0.74	1.83	1.29	1.12	0.79
	3734	2015/1/24 14:42	27.64	275.76	143.62	1.21	0.74	1.84	1.30	1.12	0.79
	3735	2015/1/24 14:42	27.73	274.29	144.04	1.21	0.74	1.84	1.30	1.12	0.79
	3736	2015/1/24 14:42	27.83	272.82	144.47	1.22	0.74	1.85	1.31	1.13	0.80
	3737	2015/1/24 14:42	27.93	271.84	144.89	1.22	0.74	1.86	1.31	1.13	0.80
	3738	2015/1/24 14:42	27.83	275.27	145.29	1.22	0.74	1.86	1.31	1.13	0.80
	3739	2015/1/24 14:42	27.93	274.78	145.71	1.22	0.74	1.87	1.32	1.14	0.80
	3740	2015/1/24 14:42	27.93	273.31	146.17	1.22	0.74	1.87	1.32	1.14	0.80
	3741	2015/1/24 14:42	28.03	272.33	146.56	1.22	0.75	1.88	1.33	1.14	0.81
	3742	2015/1/24 14:42	28.13	270.86	146.96	1.23	0.75	1.88	1.33	1.15	0.81
	3743	2015/1/24 14:42	28.03	275.76	147.36	1.22	0.75	1.89	1.33	1.15	0.81
	3744	2015/1/24 14:42	28.13	274.29	147.78	1.23	0.75	1.89	1.34	1.15	0.81
	3745	2015/1/24 14:42	28.23	272.82	148.20	1.23	0.75	1.90	1.34	1.16	0.82
	3746	2015/1/24 14:42	28.33	271.84	148.63	1.24	0.75	1.90	1.34	1.16	0.82

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	3758	2015/1/24 14:43	28.72	274.29	153.37	1.25	0.76	1.96	1.39	1.20	0.84
	3759	2015/1/24 14:43	28.82	272.82	153.76	1.26	0.77	1.97	1.39	1.20	0.85
	3760	2015/1/24 14:43	28.82	271.84	154.10	1.26	0.77	1.97	1.39	1.20	0.85
	3761	2015/1/24 14:43	28.82	271.84	154.46	1.26	0.77	1.98	1.40	1.20	0.85
	3762	2015/1/24 14:43	28.82	275.27	154.83	1.26	0.77	1.98	1.40	1.21	0.85
	3763	2015/1/24 14:43	28.92	274.29	155.22	1.26	0.77	1.99	1.40	1.21	0.85
	3764	2015/1/24 14:43	28.92	272.82	155.58	1.26	0.77	1.99	1.41	1.21	0.86
	3765	2015/1/24 14:43	29.02	271.35	155.95	1.27	0.77	2.00	1.41	1.22	0.86
	3766	2015/1/24 14:43	28.82	276.74	156.32	1.26	0.77	2.00	1.41	1.22	0.86
	3767	2015/1/24 14:43	28.92	275.27	156.71	1.26	0.77	2.01	1.42	1.22	0.86
	3768	2015/1/24 14:43	29.02	274.29	157.07	1.27	0.77	2.01	1.42	1.23	0.86
	3769	2015/1/24 14:43	29.12	272.82	157.41	1.27	0.77	2.02	1.42	1.23	0.87
	3770	2015/1/24 14:43	29.12	271.35	157.77	1.27	0.77	2.02	1.43	1.23	0.87
	3771	2015/1/24 14:43	29.02	276.74	158.17	1.27	0.77	2.03	1.43	1.23	0.87
	3772	2015/1/24 14:43	29.12	275.27	158.50	1.27	0.77	2.03	1.43	1.24	0.87
	3773	2015/1/24 14:43	29.22	274.29	158.89	1.28	0.78	2.03	1.44	1.24	0.87
	3774	2015/1/24 14:43	29.22	272.82	159.20	1.28	0.78	2.04	1.44	1.24	0.88
	3775	2015/1/24 14:43	29.31	271.35	159.54	1.28	0.78	2.04	1.44	1.24	0.88
	3776	2015/1/24 14:43	29.22	274.78	159.90	1.28	0.78	2.05	1.45	1.25	0.88
	3777	2015/1/24 14:44	29.22	275.27	160.26	1.28	0.78	2.05	1.45	1.25	0.88
	3778	2015/1/24 14:44	29.31	274.29	160.63	1.28	0.78	2.06	1.45	1.25	0.88
	3779	2015/1/24 14:44	29.31	272.82	160.96	1.28	0.78	2.06	1.46	1.26	0.89
	3780	2015/1/24 14:44	29.41	271.84	161.30	1.28	0.78	2.07	1.46	1.26	0.89
	3781	2015/1/24 14:44	29.41	272.33	161.66	1.28	0.78	2.07	1.46	1.26	0.89
	3782	2015/1/24 14:44	29.31	275.27	162.02	1.28	0.78	2.07	1.46	1.26	0.89
	3783	2015/1/24 14:44	29.41	274.29	162.36	1.28	0.78	2.08	1.47	1.27	0.89
	3784	2015/1/24 14:44	29.51	272.82	162.72	1.29	0.78	2.08	1.47	1.27	0.90
	3785	2015/1/24 14:44	29.61	271.84	163.03	1.29	0.79	2.09	1.47	1.27	0.90
	3786	2015/1/24 14:44	29.51	273.80	163.39	1.29	0.78	2.09	1.48	1.27	0.90
	3787	2015/1/24 14:44	29.51	275.27	163.73	1.29	0.78	2.10	1.48	1.28	0.90
	3788	2015/1/24 14:44	29.61	274.29	164.06	1.29	0.79	2.10	1.48	1.28	0.90
	3789	2015/1/24 14:44	29.61	272.82	164.39	1.29	0.79	2.10	1.49	1.28	0.91
	3790	2015/1/24 14:44	29.71	271.84	164.73	1.30	0.79	2.11	1.49	1.28	0.91
	3791	2015/1/24 14:44	29.71	270.86	165.06	1.30	0.79	2.11	1.49	1.29	0.91
	3792	2015/1/24 14:44	29.61	275.76	165.39	1.29	0.79	2.12	1.50	1.29	0.91
	3793	2015/1/24 14:44	29.71	274.78	165.73	1.30	0.79	2.12	1.50	1.29	0.91
	3794	2015/1/24 14:44	29.71	273.31	166.09	1.30	0.79	2.13	1.50	1.30	0.91
	3795	2015/1/24 14:44	29.81	272.33	166.39	1.30	0.79	2.13	1.50	1.30	0.92
	3796	2015/1/24 14:44	29.91	270.86	166.67	1.31	0.80	2.13	1.51	1.30	0.92
	3797	2015/1/24 14:44	29.71	276.25	167.06	1.30	0.79	2.14	1.51	1.30	0.92
	3798	2015/1/24 14:44	29.81	274.78	167.39	1.30	0.79	2.14	1.51	1.31	0.92
	3799	2015/1/24 14:44	29.91	273.31	167.70	1.31	0.80	2.15	1.52	1.31	0.92
	3800	2015/1/24 14:44	29.91	272.82	168.00	1.31	0.80	2.15	1.52	1.31	0.93
	3801	2015/1/24 14:44	30.00	271.35	168.30	1.31	0.80	2.15	1.52	1.31	0.93
	3802	2015/1/24 14:44	29.81	276.25	168.64	1.30	0.79	2.16	1.52	1.32	0.93
	3803	2015/1/24 14:45	29.91	275.27	168.94	1.31	0.80	2.16	1.53	1.32	0.93
	3804	2015/1/24 14:45	29.91	273.80	169.30	1.31	0.80	2.17	1.53	1.32	0.93
	3805	2015/1/24 14:45	30.00	272.82	169.61	1.31	0.80	2.17	1.53	1.32	0.93
	3806	2015/1/24 14:45	30.10	271.35	169.88	1.31	0.80	2.18	1.54	1.33	0.94
	3807	2015/1/24 14:45	30.00	275.76	170.22	1.31	0.80	2.18	1.54	1.33	0.94
	3808	2015/1/24 14:45	30.00	275.27	170.52	1.31	0.80	2.18	1.54	1.33	0.94
	3809	2015/1/24 14:45	30.10	274.29	170.82	1.31	0.80	2.19	1.54	1.33	0.94
	3810	2015/1/24 14:45	30.20	273.31	171.16	1.32	0.80	2.19	1.55	1.34	0.94
	3811	2015/1/24 14:45	30.20	272.33	171.46	1.32	0.80	2.20	1.55	1.34	0.94
	3812	2015/1/24 14:45	30.30	270.86	171.76	1.32	0.81	2.20	1.55	1.34	0.95
	3813	2015/1/24 14:45	30.10	276.25	172.07	1.31	0.80	2.20	1.56	1.34	0.95
	3814	2015/1/24 14:45	30.20	274.78	172.37	1.32	0.80	2.21	1.56	1.34	0.95
	3815	2015/1/24 14:45	30.30	273.80	172.70	1.32	0.81	2.21	1.56	1.35	0.95
	3816	2015/1/24 14:45	30.30	272.82	173.00	1.32	0.81	2.22	1.56	1.35	0.95
	3817	2015/1/24 14:45	30.40	271.84	173.25	1.33	0.81	2.22	1.57	1.35	0.95
	3818	2015/1/24 14:45	30.40	273.31	173.55	1.33	0.81	2.22	1.57	1.35	0.96
	3819	2015/1/24 14:45	30.30	275.76	173.83	1.32	0.81	2.23	1.57	1.36	0.96
	3820	2015/1/24 14:45	30.40	274.78	174.16	1.33	0.81	2.23	1.57	1.36	0.96
	3821	2015/1/24 14:45	30.40	273.31	174.43	1.33	0.81	2.23	1.58	1.36	0.96
	3822	2015/1/24 14:45	30.50	272.33	174.71	1.33	0.81	2.24	1.58	1.36	0.96
	3823	2015/1/24 14:45	30.50	271.35	175.01	1.33	0.81	2.24	1.58	1.37	0.96
	3824	2015/1/24 14:45	30.40	276.74	175.29	1.33	0.81	2.24	1.58	1.37	0.97
	3825	2015/1/24 14:45	30.40	275.76	175.59	1.33	0.81	2.25	1.59	1.37	0.97
	3826	2015/1/24 14:45	30.50	274.29	175.89	1.33	0.81	2.25	1.59	1.37	0.97
	3827	2015/1/24 14:45	30.60	273.31	176.16	1.34	0.81	2.26	1.59	1.37	0.97
	3828	2015/1/24 14:46	30.60	272.33	176.44	1.34	0.81	2.26	1.60	1.38	0.97
	3829	2015/1/24 14:46	30.70	271.35	176.71	1.34	0.82	2.26	1.60	1.38	0.97
	3830	2015/1/24 14:46	30.50	276.74	177.01	1.33	0.81	2.27	1.60	1.38	0.97

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	3842	2015/1/24 14:46	30.70	274.78	180.57	1.34	0.82	2.31	1.63	1.41	0.99
	3843	2015/1/24 14:46	30.79	273.80	180.87	1.34	0.82	2.32	1.64	1.41	1.00
	3844	2015/1/24 14:46	30.89	272.82	181.14	1.35	0.82	2.32	1.64	1.41	1.00
	3845	2015/1/24 14:46	30.89	271.84	181.41	1.35	0.82	2.32	1.64	1.42	1.00
	3846	2015/1/24 14:46	30.79	276.74	181.78	1.34	0.82	2.33	1.64	1.42	1.00
	3847	2015/1/24 14:46	30.79	275.27	182.05	1.34	0.82	2.33	1.65	1.42	1.00
	3848	2015/1/24 14:46	30.89	274.29	182.35	1.35	0.82	2.33	1.65	1.42	1.00
	3849	2015/1/24 14:46	30.89	273.31	182.62	1.35	0.82	2.34	1.65	1.42	1.01
	3850	2015/1/24 14:46	30.99	272.33	182.86	1.35	0.82	2.34	1.65	1.43	1.01
	3851	2015/1/24 14:47	31.09	270.86	183.21	1.36	0.83	2.35	1.66	1.43	1.01
	3852	2015/1/24 14:47	30.89	276.25	183.48	1.35	0.82	2.35	1.66	1.43	1.01
	3853	2015/1/24 14:47	30.99	274.78	183.75	1.35	0.82	2.35	1.66	1.43	1.01
	3854	2015/1/24 14:47	30.99	273.80	184.02	1.35	0.82	2.36	1.66	1.44	1.01
	3855	2015/1/24 14:47	31.09	272.33	184.41	1.36	0.83	2.36	1.67	1.44	1.02
	3856	2015/1/24 14:47	31.09	271.35	184.63	1.36	0.83	2.36	1.67	1.44	1.02
	3857	2015/1/24 14:47	30.89	276.25	184.91	1.35	0.82	2.37	1.67	1.44	1.02
	3858	2015/1/24 14:47	31.09	274.78	185.30	1.36	0.83	2.37	1.68	1.45	1.02
	3859	2015/1/24 14:47	31.09	273.80	185.54	1.36	0.83	2.38	1.68	1.45	1.02
	3860	2015/1/24 14:47	31.19	272.82	185.81	1.36	0.83	2.38	1.68	1.45	1.02
	3861	2015/1/24 14:47	31.19	271.35	186.17	1.36	0.83	2.38	1.68	1.45	1.03
	3862	2015/1/24 14:47	30.99	276.74	186.42	1.35	0.82	2.39	1.69	1.45	1.03
	3863	2015/1/24 14:47	30.99	275.76	186.69	1.35	0.82	2.39	1.69	1.46	1.03
	3864	2015/1/24 14:47	31.19	273.80	187.05	1.36	0.83	2.40	1.69	1.46	1.03
	3865	2015/1/24 14:47	31.19	272.82	187.33	1.36	0.83	2.40	1.69	1.46	1.03
	3866	2015/1/24 14:47	31.19	271.84	187.63	1.36	0.83	2.40	1.70	1.46	1.03
$+3\delta_{\theta N}$	3867	2015/1/24 14:47	31.19	271.84	187.63	1.36	0.83	2.40	1.70	1.46	1.03
	5680	2015/1/24 16:13	33.76	274.29	187.67	1.47	0.90	2.40	1.70	1.46	1.03
	5681	2015/1/24 16:13	33.76	272.82	187.97	1.47	0.90	2.41	1.70	1.47	1.04
	5682	2015/1/24 16:13	33.85	272.33	188.28	1.48	0.90	2.41	1.70	1.47	1.04
	5683	2015/1/24 16:13	33.95	270.86	188.55	1.48	0.90	2.41	1.70	1.47	1.04
	5684	2015/1/24 16:13	33.76	275.76	188.80	1.47	0.90	2.42	1.71	1.47	1.04
	5685	2015/1/24 16:13	33.76	274.78	189.10	1.47	0.90	2.42	1.71	1.48	1.04
	5686	2015/1/24 16:13	33.95	273.31	189.40	1.48	0.90	2.43	1.71	1.48	1.04
	5687	2015/1/24 16:13	33.95	272.33	189.68	1.48	0.90	2.43	1.71	1.48	1.04
	5688	2015/1/24 16:13	33.95	271.35	189.95	1.48	0.90	2.43	1.72	1.48	1.05
	5689	2015/1/24 16:13	33.95	272.82	190.22	1.48	0.90	2.44	1.72	1.48	1.05
	5690	2015/1/24 16:13	33.85	275.27	190.53	1.48	0.90	2.44	1.72	1.49	1.05
	5691	2015/1/24 16:13	33.95	274.29	190.83	1.48	0.90	2.44	1.73	1.49	1.05
	5692	2015/1/24 16:14	33.95	272.82	191.10	1.48	0.90	2.45	1.73	1.49	1.05
	5693	2015/1/24 16:14	34.05	271.84	191.38	1.49	0.91	2.45	1.73	1.49	1.05
	5694	2015/1/24 16:14	34.15	270.86	191.65	1.49	0.91	2.45	1.73	1.49	1.06
	5695	2015/1/24 16:14	33.85	276.25	191.95	1.48	0.90	2.46	1.74	1.50	1.06
	5696	2015/1/24 16:14	33.95	274.78	192.22	1.48	0.90	2.46	1.74	1.50	1.06
	5697	2015/1/24 16:14	34.05	273.31	192.67	1.49	0.91	2.47	1.74	1.50	1.06
	5698	2015/1/24 16:14	34.15	272.33	192.89	1.49	0.91	2.47	1.74	1.50	1.06
	5699	2015/1/24 16:14	34.15	271.35	193.13	1.49	0.91	2.47	1.75	1.51	1.06
	5700	2015/1/24 16:14	33.95	275.76	193.53	1.48	0.90	2.48	1.75	1.51	1.07
	5701	2015/1/24 16:14	34.05	274.78	193.80	1.49	0.91	2.48	1.75	1.51	1.07
	5702	2015/1/24 16:14	34.15	273.80	194.04	1.49	0.91	2.48	1.75	1.51	1.07
	5703	2015/1/24 16:14	34.15	272.82	194.28	1.49	0.91	2.49	1.76	1.52	1.07
	5704	2015/1/24 16:14	34.25	271.35	194.65	1.50	0.91	2.49	1.76	1.52	1.07
	5705	2015/1/24 16:14	34.15	274.29	194.89	1.49	0.91	2.50	1.76	1.52	1.07
	5706	2015/1/24 16:14	34.05	274.78	195.26	1.49	0.91	2.50	1.77	1.52	1.08
	5707	2015/1/24 16:14	34.15	273.80	195.50	1.49	0.91	2.50	1.77	1.52	1.08
	5708	2015/1/24 16:14	34.25	272.82	195.80	1.50	0.91	2.51	1.77	1.53	1.08
	5709	2015/1/24 16:14	34.25	271.35	196.16	1.50	0.91	2.51	1.77	1.53	1.08
	5710	2015/1/24 16:14	34.25	273.80	196.38	1.50	0.91	2.51	1.78	1.53	1.08
	5711	2015/1/24 16:14	34.15	275.27	196.65	1.49	0.91	2.52	1.78	1.53	1.08
	5712	2015/1/24 16:14	34.25	273.80	197.02	1.50	0.91	2.52	1.78	1.54	1.08
	5713	2015/1/24 16:14	34.25	272.82	197.29	1.50	0.91	2.53	1.78	1.54	1.09
	5714	2015/1/24 16:15	34.35	271.84	197.56	1.50	0.91	2.53	1.79	1.54	1.09
	5715	2015/1/24 16:15	34.35	270.86	197.83	1.50	0.91	2.53	1.79	1.54	1.09
	5716	2015/1/24 16:15	34.25	275.27	198.20	1.50	0.91	2.54	1.79	1.55	1.09
	5717	2015/1/24 16:15	34.25	274.29	198.50	1.50	0.91	2.54	1.79	1.55	1.09
	5718	2015/1/24 16:15	34.35	273.31	198.80	1.50	0.91	2.55	1.80	1.55	1.09
	5719	2015/1/24 16:15	34.45	271.84	199.04	1.50	0.92	2.55	1.80	1.55	1.10
	5720	2015/1/24 16:15	34.45	271.35	199.29	1.50	0.92	2.55	1.80	1.55	1.10
	5721	2015/1/24 16:15	34.25	275.27	199.71	1.50	0.91	2.56	1.81	1.56	1.10
	5722	2015/1/24 16:15	34.35	274.29	199.98	1.50	0.91	2.56	1.81	1.56	1.10
	5723	2015/1/24 16:15	34.45	273.31	200.26	1.50	0.92	2.56	1.81	1.56	1.10
	5724	2015/1/24 16:15	34.45	272.33	200.50	1.50	0.92	2.57	1.81	1.56	1.10
	5725	2015/1/24 16:15	34.55	270.86	200.89	1.51	0.92	2.57	1.82	1.57	1.11
	5726	2015/1/24 16:15	34.35	275.27	201.14	1.50	0.91	2.58	1.82	1.57	1.11

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	5738	2015/1/24 16:16	34.55	273.31	204.68	1.51	0.92	2.62	1.85	1.60	1.13
	5739	2015/1/24 16:16	34.64	272.33	204.92	1.51	0.92	2.62	1.85	1.60	1.13
	5740	2015/1/24 16:16	34.74	270.86	205.26	1.52	0.92	2.63	1.86	1.60	1.13
	5741	2015/1/24 16:16	34.45	275.27	205.53	1.50	0.92	2.63	1.86	1.60	1.13
	5742	2015/1/24 16:16	34.55	274.78	205.81	1.51	0.92	2.64	1.86	1.61	1.13
	5743	2015/1/24 16:16	34.64	272.82	206.20	1.51	0.92	2.64	1.86	1.61	1.14
	5744	2015/1/24 16:16	34.74	271.84	206.44	1.52	0.92	2.64	1.87	1.61	1.14
	5745	2015/1/24 16:16	34.74	270.86	206.78	1.52	0.92	2.65	1.87	1.61	1.14
	5746	2015/1/24 16:16	34.55	275.76	207.10	1.51	0.92	2.65	1.87	1.62	1.14
	5747	2015/1/24 16:16	34.64	274.29	207.32	1.51	0.92	2.65	1.87	1.62	1.14
	5748	2015/1/24 16:16	34.64	273.31	207.56	1.51	0.92	2.66	1.88	1.62	1.14
	5749	2015/1/24 16:16	34.74	271.84	207.93	1.52	0.92	2.66	1.88	1.62	1.14
	5750	2015/1/24 16:16	34.74	270.86	208.17	1.52	0.92	2.67	1.88	1.62	1.15
	5751	2015/1/24 16:16	34.64	275.27	208.56	1.51	0.92	2.67	1.89	1.63	1.15
	5752	2015/1/24 16:16	34.64	274.29	208.80	1.51	0.92	2.67	1.89	1.63	1.15
	5753	2015/1/24 16:16	34.74	272.82	209.17	1.52	0.92	2.68	1.89	1.63	1.15
	5754	2015/1/24 16:16	34.84	271.35	209.38	1.52	0.93	2.68	1.89	1.63	1.15
	5755	2015/1/24 16:16	34.84	270.86	209.65	1.52	0.93	2.68	1.90	1.64	1.15
	5756	2015/1/24 16:16	34.64	275.27	210.05	1.51	0.92	2.69	1.90	1.64	1.16
	5757	2015/1/24 16:16	34.74	273.80	210.26	1.52	0.92	2.69	1.90	1.64	1.16
	5758	2015/1/24 16:17	34.84	272.33	210.62	1.52	0.93	2.70	1.90	1.64	1.16
	5759	2015/1/24 16:17	34.84	271.35	210.89	1.52	0.93	2.70	1.91	1.65	1.16
	5760	2015/1/24 16:17	34.64	276.25	211.26	1.51	0.92	2.70	1.91	1.65	1.16
	5761	2015/1/24 16:17	34.74	274.78	211.51	1.52	0.92	2.71	1.91	1.65	1.16
	5762	2015/1/24 16:17	34.74	273.80	211.77	1.52	0.92	2.71	1.91	1.65	1.17
	5763	2015/1/24 16:17	34.84	272.33	212.08	1.52	0.93	2.72	1.92	1.65	1.17
	5764	2015/1/24 16:17	34.94	271.35	212.35	1.53	0.93	2.72	1.92	1.66	1.17
	5765	2015/1/24 16:17	34.74	276.25	212.69	1.52	0.92	2.72	1.92	1.66	1.17
	5766	2015/1/24 16:17	34.74	274.78	212.95	1.52	0.92	2.73	1.93	1.66	1.17
	5767	2015/1/24 16:17	34.84	273.31	213.29	1.52	0.93	2.73	1.93	1.66	1.17
	5768	2015/1/24 16:17	34.84	272.33	213.50	1.52	0.93	2.73	1.93	1.67	1.18
	5769	2015/1/24 16:17	35.04	270.86	213.81	1.53	0.93	2.74	1.93	1.67	1.18
	5770	2015/1/24 16:17	34.84	275.76	214.17	1.52	0.93	2.74	1.94	1.67	1.18
	5771	2015/1/24 16:17	34.94	274.29	214.48	1.53	0.93	2.75	1.94	1.67	1.18
	5772	2015/1/24 16:17	34.94	272.82	214.81	1.53	0.93	2.75	1.94	1.68	1.18
	5773	2015/1/24 16:17	35.04	271.84	215.14	1.53	0.93	2.75	1.95	1.68	1.18
	5774	2015/1/24 16:17	34.84	275.76	215.44	1.52	0.93	2.76	1.95	1.68	1.19
	5775	2015/1/24 16:17	34.94	274.78	215.80	1.53	0.93	2.76	1.95	1.68	1.19
	5776	2015/1/24 16:17	35.04	273.31	216.08	1.53	0.93	2.77	1.95	1.69	1.19
	5777	2015/1/24 16:17	35.04	272.33	216.38	1.53	0.93	2.77	1.96	1.69	1.19
	5778	2015/1/24 16:17	35.14	270.86	216.66	1.53	0.93	2.77	1.96	1.69	1.19
	5779	2015/1/24 16:17	34.94	275.76	217.02	1.53	0.93	2.78	1.96	1.69	1.20
	5780	2015/1/24 16:17	35.04	274.29	217.32	1.53	0.93	2.78	1.96	1.70	1.20
	5781	2015/1/24 16:18	35.04	273.31	217.62	1.53	0.93	2.79	1.97	1.70	1.20
	5782	2015/1/24 16:18	35.14	271.35	217.90	1.53	0.93	2.79	1.97	1.70	1.20
	5783	2015/1/24 16:18	34.94	276.25	218.23	1.53	0.93	2.79	1.97	1.70	1.20
	5784	2015/1/24 16:18	34.94	275.27	218.56	1.53	0.93	2.80	1.98	1.70	1.20
	5785	2015/1/24 16:18	35.04	273.80	218.84	1.53	0.93	2.80	1.98	1.71	1.21
	5786	2015/1/24 16:18	35.14	272.82	219.17	1.53	0.93	2.81	1.98	1.71	1.21
	5787	2015/1/24 16:18	35.24	271.35	219.47	1.54	0.94	2.81	1.98	1.71	1.21
	5788	2015/1/24 16:18	34.94	275.76	219.78	1.53	0.93	2.81	1.99	1.71	1.21
	5789	2015/1/24 16:18	35.04	274.78	220.11	1.53	0.93	2.82	1.99	1.72	1.21
	5790	2015/1/24 16:18	35.14	272.82	220.39	1.53	0.93	2.82	1.99	1.72	1.21
	5791	2015/1/24 16:18	35.24	271.84	220.69	1.54	0.94	2.83	2.00	1.72	1.22
	5792	2015/1/24 16:18	35.14	274.29	220.99	1.53	0.93	2.83	2.00	1.72	1.22
	5793	2015/1/24 16:18	35.04	274.78	221.32	1.53	0.93	2.83	2.00	1.73	1.22
	5794	2015/1/24 16:18	35.14	273.31	221.65	1.53	0.93	2.84	2.00	1.73	1.22
	5795	2015/1/24 16:18	35.24	272.33	221.96	1.54	0.94	2.84	2.01	1.73	1.22
	5796	2015/1/24 16:18	35.33	270.86	222.23	1.54	0.94	2.85	2.01	1.73	1.22
	5797	2015/1/24 16:18	35.04	276.25	222.54	1.53	0.93	2.85	2.01	1.74	1.23
	5798	2015/1/24 16:18	35.14	274.78	222.84	1.53	0.93	2.85	2.01	1.74	1.23
	5799	2015/1/24 16:18	35.24	273.31	223.14	1.54	0.94	2.86	2.02	1.74	1.23
	5800	2015/1/24 16:18	35.24	271.84	223.47	1.54	0.94	2.86	2.02	1.74	1.23
	5801	2015/1/24 16:18	35.33	270.37	223.72	1.54	0.94	2.86	2.02	1.75	1.23
	5802	2015/1/24 16:18	35.14	275.27	224.05	1.53	0.93	2.87	2.03	1.75	1.23
	5803	2015/1/24 16:18	35.14	273.80	224.38	1.53	0.93	2.87	2.03	1.75	1.24
	5804	2015/1/24 16:18	35.24	272.33	224.68	1.54	0.94	2.88	2.03	1.75	1.24
	5805	2015/1/24 16:18	35.33	271.35	224.96	1.54	0.94	2.88	2.03	1.75	1.24
	5806	2015/1/24 16:19	35.04	276.25	225.29	1.53	0.93	2.88	2.04	1.76	1.24
	5807	2015/1/24 16:19	35.24	274.78	225.59	1.54	0.94	2.89	2.04	1.76	1.24
	5808	2015/1/24 16:19	35.24	273.31	225.87	1.54	0.94	2.89	2.04	1.76	1.24
	5809	2015/1/24 16:19	35.33	272.33	226.20	1.54	0.94	2.90	2.05	1.76	1.25
	5810	2015/1/24 16:19	35.43	270.86	226.47	1.55	0.94	2.90	2.05	1.77	1.25

付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{}$	δ/δ
	5822	2015/1/24 16:19	35.33	272.82	230.17	1.54	0.94	2.95	2.08	1.80	1.27
	5823	2015/1/24 16:19	35.43	271.84	230.47	1.55	0.94	2.95	2.08	1.80	1.27
	5824	2015/1/24 16:19	35.14	276.25	230.77	1.53	0.93	2.95	2.09	1.80	1.27
	5825	2015/1/24 16:19	35.24	275.27	231.08	1.54	0.94	2.96	2.09	1.80	1.27
	5826	2015/1/24 16:19	35.33	273.80	231.38	1.54	0.94	2.96	2.09	1.80	1.27
	5827	2015/1/24 16:19	35.43	272.33	231.68	1.55	0.94	2.97	2.09	1.81	1.28
	5828	2015/1/24 16:19	35.43	271.35	231.98	1.55	0.94	2.97	2.10	1.81	1.28
	5829	2015/1/24 16:19	35.24	275.76	232.26	1.54	0.94	2.97	2.10	1.81	1.28
	5830	2015/1/24 16:19	35.24	274.29	232.56	1.54	0.94	2.98	2.10	1.81	1.28
	5831	2015/1/24 16:20	35.33	272.82	232.86	1.54	0.94	2.98	2.11	1.82	1.28
	5832	2015/1/24 16:20	35.43	271.35	233.19	1.55	0.94	2.99	2.11	1.82	1.28
	5833	2015/1/24 16:20	35.24	276.25	233.50	1.54	0.94	2.99	2.11	1.82	1.29
	5834	2015/1/24 16:20	35.33	274.78	233.80	1.54	0.94	2.99	2.11	1.82	1.29
	5835	2015/1/24 16:20	35.33	273.31	234.10	1.54	0.94	3.00	2.12	1.83	1.29
	5836	2015/1/24 16:20	35.43	271.84	234.40	1.55	0.94	3.00	2.12	1.83	1.29
	5837	2015/1/24 16:20	35.53	270.86	234.68	1.55	0.95	3.00	2.12	1.83	1.29
	5838	2015/1/24 16:20	35.24	275.27	234.96	1.54	0.94	3.01	2.12	1.83	1.29
	5839	2015/1/24 16:20	35.33	274.29	235.28	1.54	0.94	3.01	2.13	1.84	1.30
	5840	2015/1/24 16:20	35.43	272.82	235.56	1.55	0.94	3.02	2.13	1.84	1.30
	5841	2015/1/24 16:20	35.53	271.35	235.86	1.55	0.95	3.02	2.13	1.84	1.30
	5842	2015/1/24 16:20	35.24	276.25	236.19	1.54	0.94	3.02	2.14	1.84	1.30
	5843	2015/1/24 16:20	35.33	274.78	236.47	1.54	0.94	3.03	2.14	1.84	1.30
	5844	2015/1/24 16:20	35.33	273.31	236.77	1.54	0.94	3.03	2.14	1.85	1.30
	5845	2015/1/24 16:20	35.43	272.33	237.01	1.55	0.94	3.03	2.14	1.85	1.31
	5846	2015/1/24 16:20	35.53	270.86	237.32	1.55	0.95	3.04	2.15	1.85	1.31
	5847	2015/1/24 16:20	35.24	275.76	237.65	1.54	0.94	3.04	2.15	1.85	1.31
	5848	2015/1/24 16:20	35.33	274.29	237.89	1.54	0.94	3.05	2.15	1.86	1.31
	5849	2015/1/24 16:20	35.43	273.31	238.22	1.55	0.94	3.05	2.15	1.86	1.31
	5850	2015/1/24 16:20	35.53	271.84	238.52	1.55	0.95	3.05	2.16	1.86	1.31
	5851	2015/1/24 16:20	35.43	273.31	238.77	1.55	0.94	3.06	2.16	1.86	1.31
	5852	2015/1/24 16:20	35.33	275.76	239.10	1.54	0.94	3.06	2.16	1.87	1.32
	5853	2015/1/24 16:20	35.33	274.29	239.37	1.54	0.94	3.06	2.16	1.87	1.32
	5854	2015/1/24 16:20	35.43	272.82	239.68	1.55	0.94	3.07	2.17	1.87	1.32
	5855	2015/1/24 16:20	35.53	271.35	239.98	1.55	0.95	3.07	2.17	1.87	1.32
	5856	2015/1/24 16:21	35.33	276.74	240.28	1.54	0.94	3.08	2.17	1.87	1.32
	5857	2015/1/24 16:21	35.33	275.27	240.56	1.54	0.94	3.08	2.18	1.88	1.32
	5858	2015/1/24 16:21	35.43	273.31	240.86	1.55	0.94	3.08	2.18	1.88	1.33
	5859	2015/1/24 16:21	35.53	272.33	241.16	1.55	0.95	3.09	2.18	1.88	1.33
	5860	2015/1/24 16:21	35.53	271.35	241.46	1.55	0.95	3.09	2.18	1.88	1.33
	5861	2015/1/24 16:21	35.33	275.76	241.76	1.54	0.94	3.10	2.19	1.89	1.33
	5862	2015/1/24 16:21	35.43	274.29	242.04	1.55	0.94	3.10	2.19	1.89	1.33
	5863	2015/1/24 16:21	35.53	272.82	242.34	1.55	0.95	3.10	2.19	1.89	1.33
	5864	2015/1/24 16:21	35.53	271.35	242.64	1.55	0.95	3.11	2.19	1.89	1.34
	5865	2015/1/24 16:21	35.33	276.74	242.95	1.54	0.94	3.11	2.20	1.90	1.34
	5866	2015/1/24 16:21	35.33	275.27	243.22	1.54	0.94	3.11	2.20	1.90	1.34
	5867	2015/1/24 16:21	35.43	273.80	243.52	1.55	0.94	3.12	2.20	1.90	1.34
	5868	2015/1/24 16:21	35.53	272.33	243.82	1.55	0.95	3.12	2.20	1.90	1.34
	5869	2015/1/24 16:21	35.33	275.76	244.25	1.54	0.94	3.13	2.21	1.91	1.34
	5870	2015/1/24 16:21	35.43	274.78	244.55	1.55	0.94	3.13	2.21	1.91	1.35
	5871	2015/1/24 16:21	35.43	273.31	244.80	1.55	0.94	3.13	2.21	1.91	1.35
	5872	2015/1/24 16:21	35.53	272.33	245.10	1.55	0.95	3.14	2.22	1.91	1.35
	5873	2015/1/24 16:21	35.63	270.86	245.40	1.56	0.95	3.14	2.22	1.91	1.35
	5874	2015/1/24 16:21	35.33	275.76	245.70	1.54	0.94	3.15	2.22	1.92	1.35
	5875	2015/1/24 16:21	35.43	274.29	246.00	1.55	0.94	3.15	2.22	1.92	1.35
	5876	2015/1/24 16:21	35.53	272.82	246.31	1.55	0.95	3.15	2.23	1.92	1.36
	5877	2015/1/24 16:21	35.63	271.35	246.58	1.56	0.95	3.16	2.23	1.92	1.36
	5878	2015/1/24 16:21	35.33	276.25	246.86	1.54	0.94	3.16	2.23	1.93	1.36
	5879	2015/1/24 16:21	35.43	275.27	247.19	1.55	0.94	3.16	2.23	1.93	1.36
	5880	2015/1/24 16:21	35.53	273.80	247.43	1.55	0.95	3.17	2.24	1.93	1.36
	5881	2015/1/24 16:22	35.63	272.33	247.74	1.56	0.95	3.17	2.24	1.93	1.36
	5882	2015/1/24 16:22	35.63	270.86	248.03	1.56	0.95	3.18	2.24	1.93	1.37
	5883	2015/1/24 16:22	35.43	276.25	248.36	1.55	0.94	3.18	2.25	1.94	1.37
	5884	2015/1/24 16:22	35.43	274.29	248.67	1.55	0.94	3.18	2.25	1.94	1.37
	5885	2015/1/24 16:22	35.53	273.31	248.94	1.55	0.95	3.19	2.25	1.94	1.37
	5886	2015/1/24 16:22	35.63	271.84	249.18	1.56	0.95	3.19	2.25	1.94	1.37
	5887	2015/1/24 16:22	35.43	276.25	249.49	1.55	0.94	3.19	2.26	1.95	1.37
	5888	2015/1/24 16:22	35.43	275.27	249.79	1.55	0.94	3.20	2.26	1.95	1.38
	5889	2015/1/24 16:22	35.53	273.31	250.06	1.55	0.95	3.20	2.26	1.95	1.38
	5890	2015/1/24 16:22	35.63	272.33	250.39	1.56	0.95	3.21	2.26	1.95	1.38
	5891	2015/1/24 16:22	35.73	270.86	250.64	1.56	0.95	3.21	2.27	1.96	1.38
	5892	2015/1/24 16:22	35.43	275.76	250.94	1.55	0.94	3.21	2.27	1.96	1.38
	5893	2015/1/24 16:22	35.33	275.27	251.09	1.54	0.94	3.21	2.27	1.96	1.38
$+4\delta_0$	5894	2015/1/24 16:22	35.24	275.27	251.09	1.54	0.94	3.21	2.27	1.96	1.38

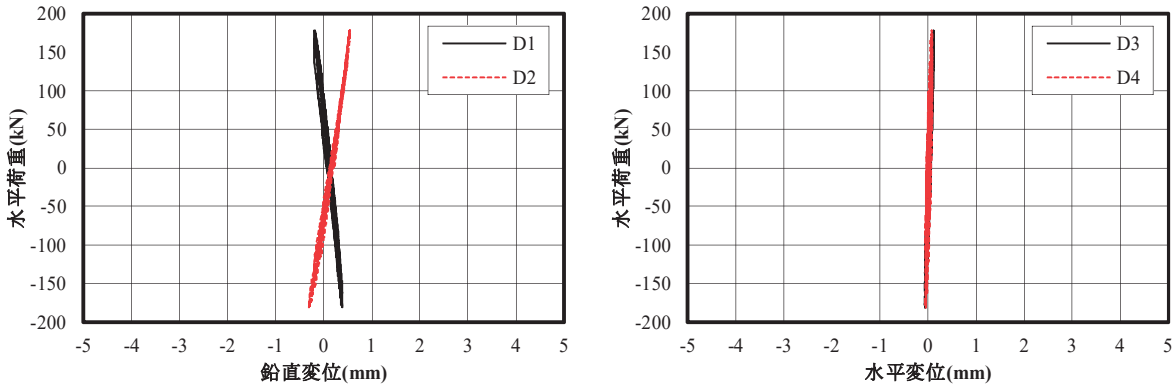
付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
	8408	2015/1/24 18:16	36.72	272.33	255.24	1.60	0.98	3.27	2.31	1.99	1.41
	8409	2015/1/24 18:16	36.82	270.86	255.58	1.61	0.98	3.27	2.31	1.99	1.41
	8410	2015/1/24 18:16	36.62	275.27	256.00	1.60	0.97	3.28	2.31	2.00	1.41
	8411	2015/1/24 18:17	36.72	273.31	256.37	1.60	0.98	3.28	2.32	2.00	1.41
	8412	2015/1/24 18:17	36.82	271.84	256.70	1.61	0.98	3.29	2.32	2.00	1.41
	8413	2015/1/24 18:17	36.72	273.80	257.12	1.60	0.98	3.29	2.32	2.01	1.42
	8414	2015/1/24 18:17	36.62	274.29	257.46	1.60	0.97	3.30	2.33	2.01	1.42
	8415	2015/1/24 18:17	36.72	272.82	257.88	1.60	0.98	3.30	2.33	2.01	1.42
	8416	2015/1/24 18:17	36.82	270.86	258.24	1.61	0.98	3.31	2.33	2.01	1.42
	8417	2015/1/24 18:17	36.62	275.76	258.61	1.60	0.97	3.31	2.34	2.02	1.42
	8418	2015/1/24 18:17	36.72	273.80	258.97	1.60	0.98	3.32	2.34	2.02	1.43
	8419	2015/1/24 18:17	36.82	271.84	259.36	1.61	0.98	3.32	2.35	2.02	1.43
	8420	2015/1/24 18:17	36.91	270.37	259.73	1.61	0.98	3.33	2.35	2.03	1.43
	8421	2015/1/24 18:17	36.62	274.78	260.12	1.60	0.97	3.33	2.35	2.03	1.43
	8422	2015/1/24 18:17	36.72	272.82	260.51	1.60	0.98	3.34	2.36	2.03	1.43
	8423	2015/1/24 18:17	36.82	271.35	260.84	1.61	0.98	3.34	2.36	2.03	1.44
	8424	2015/1/24 18:17	36.52	275.76	261.24	1.59	0.97	3.34	2.36	2.04	1.44
	8425	2015/1/24 18:17	36.62	273.80	261.66	1.60	0.97	3.35	2.37	2.04	1.44
	8426	2015/1/24 18:17	36.72	272.33	262.00	1.60	0.98	3.35	2.37	2.04	1.44
	8427	2015/1/24 18:17	36.82	270.86	262.36	1.61	0.98	3.36	2.37	2.05	1.44
	8428	2015/1/24 18:17	36.62	275.27	262.76	1.60	0.97	3.36	2.38	2.05	1.45
	8429	2015/1/24 18:17	36.62	273.80	263.14	1.60	0.97	3.37	2.38	2.05	1.45
	8430	2015/1/24 18:17	36.72	271.84	263.51	1.60	0.98	3.37	2.38	2.06	1.45
	8431	2015/1/24 18:17	36.52	275.27	263.90	1.59	0.97	3.38	2.39	2.06	1.45
	8432	2015/1/24 18:17	36.62	274.29	264.32	1.60	0.97	3.38	2.39	2.06	1.46
	8433	2015/1/24 18:17	36.72	272.33	264.66	1.60	0.98	3.39	2.39	2.06	1.46
	8434	2015/1/24 18:17	36.82	270.37	265.02	1.61	0.98	3.39	2.40	2.07	1.46
	8435	2015/1/24 18:17	36.52	275.76	265.42	1.59	0.97	3.40	2.40	2.07	1.46
	8436	2015/1/24 18:18	36.72	273.80	265.78	1.60	0.98	3.40	2.40	2.07	1.46
	8437	2015/1/24 18:18	36.82	271.84	266.17	1.61	0.98	3.41	2.41	2.08	1.47
	8438	2015/1/24 18:18	36.72	271.84	266.53	1.60	0.98	3.41	2.41	2.08	1.47
	8439	2015/1/24 18:18	36.52	274.78	266.96	1.59	0.97	3.42	2.41	2.08	1.47
	8440	2015/1/24 18:18	36.72	272.82	267.32	1.60	0.98	3.42	2.42	2.09	1.47
	8441	2015/1/24 18:18	36.82	270.86	267.68	1.61	0.98	3.43	2.42	2.09	1.47
	8442	2015/1/24 18:18	36.52	275.27	268.08	1.59	0.97	3.43	2.42	2.09	1.48
	8443	2015/1/24 18:18	36.62	273.31	268.44	1.60	0.97	3.44	2.43	2.09	1.48
	8444	2015/1/24 18:18	36.72	271.84	268.77	1.60	0.98	3.44	2.43	2.10	1.48
	8445	2015/1/24 18:18	36.82	269.88	269.13	1.61	0.98	3.45	2.43	2.10	1.48
	8446	2015/1/24 18:18	36.52	274.78	269.56	1.59	0.97	3.45	2.44	2.10	1.48
	8447	2015/1/24 18:18	36.62	272.82	269.90	1.60	0.97	3.46	2.44	2.11	1.49
	8448	2015/1/24 18:18	36.82	271.35	270.26	1.61	0.98	3.46	2.44	2.11	1.49
	8449	2015/1/24 18:18	36.52	275.76	270.68	1.59	0.97	3.47	2.45	2.11	1.49
	8450	2015/1/24 18:18	36.62	273.80	271.04	1.60	0.97	3.47	2.45	2.11	1.49
	8451	2015/1/24 18:18	36.72	271.84	271.43	1.60	0.98	3.48	2.45	2.12	1.49
	8452	2015/1/24 18:18	36.82	269.88	271.77	1.61	0.98	3.48	2.46	2.12	1.50
	8453	2015/1/24 18:18	36.52	274.78	272.21	1.59	0.97	3.49	2.46	2.12	1.50
	8454	2015/1/24 18:18	36.62	273.31	272.55	1.60	0.97	3.49	2.46	2.13	1.50
	8455	2015/1/24 18:18	36.72	271.35	272.89	1.60	0.98	3.49	2.47	2.13	1.50
	8456	2015/1/24 18:18	36.42	275.76	273.28	1.59	0.97	3.50	2.47	2.13	1.50
	8457	2015/1/24 18:18	36.52	273.80	273.67	1.59	0.97	3.50	2.47	2.13	1.51
	8458	2015/1/24 18:18	36.62	272.33	274.04	1.60	0.97	3.51	2.48	2.14	1.51
	8459	2015/1/24 18:18	36.72	270.37	274.40	1.60	0.98	3.51	2.48	2.14	1.51
	8460	2015/1/24 18:18	36.42	275.27	274.82	1.59	0.97	3.52	2.48	2.14	1.51
	8461	2015/1/24 18:19	36.52	273.31	275.18	1.59	0.97	3.52	2.49	2.15	1.52
	8462	2015/1/24 18:19	36.72	271.35	275.54	1.60	0.98	3.53	2.49	2.15	1.52
	8463	2015/1/24 18:19	36.42	276.25	275.89	1.59	0.97	3.53	2.49	2.15	1.52
	8464	2015/1/24 18:19	36.52	274.29	276.33	1.59	0.97	3.54	2.50	2.16	1.52
	8465	2015/1/24 18:19	36.62	272.33	276.64	1.60	0.97	3.54	2.50	2.16	1.52
	8466	2015/1/24 18:19	36.72	270.37	277.00	1.60	0.98	3.55	2.50	2.16	1.53
	8467	2015/1/24 18:19	36.42	274.78	277.43	1.59	0.97	3.55	2.51	2.16	1.53
	8468	2015/1/24 18:19	36.52	272.82	277.84	1.59	0.97	3.56	2.51	2.17	1.53
	8469	2015/1/24 18:19	36.62	270.86	278.18	1.60	0.97	3.56	2.52	2.17	1.53
	8470	2015/1/24 18:19	36.32	275.76	278.57	1.59	0.97	3.57	2.52	2.17	1.53
	8471	2015/1/24 18:19	36.52	273.80	278.96	1.59	0.97	3.57	2.52	2.18	1.54
	8472	2015/1/24 18:19	36.62	271.84	279.33	1.60	0.97	3.58	2.53	2.18	1.54
	8473	2015/1/24 18:19	36.42	274.29	279.70	1.59	0.97	3.58	2.53	2.18	1.54
	8474	2015/1/24 18:19	36.42	274.29	280.14	1.59	0.97	3.59	2.53	2.19	1.54
	8475	2015/1/24 18:19	36.52	272.82	280.48	1.59	0.97	3.59	2.54	2.19	1.54
	8476	2015/1/24 18:19	36.62	270.86	280.84	1.60	0.97	3.60	2.54	2.19	1.55
	8477	2015/1/24 18:19	36.42	275.27	281.27	1.59	0.97	3.60	2.54	2.19	1.55
	8478	2015/1/24 18:19	36.52	273.31	281.66	1.59	0.97	3.61	2.55	2.20	1.55
	8479	2015/1/24 18:19	36.62	271.35	282.02	1.60	0.97	3.61	2.55	2.20	1.55
	8480	2015/1/24 18:19	36.22	275.76	282.47	1.58	0.96	3.62	2.55	2.20	1.56

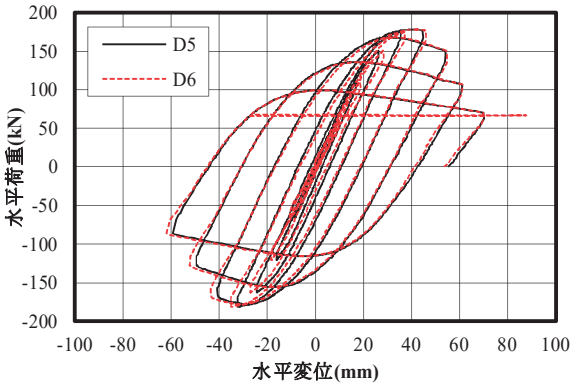
付表 1(6)　包絡線のデジタルデータ（供試体3-1）（つづき）

3-1	計測 STEP	測定日時	水平荷重 P (kN)	軸力 N (kN)	水平変位 δ (mm)	P/P_{yN}	P/P_{yM}	δ/δ_{yN}	δ/δ_{yEN}	$\delta/\delta_{.}$	δ/δ
P_{max}	8492	2015/1/24 18:20	36.52	271.35	287.10	1.59	0.97	3.68	2.60	2.24	1.58
	8493	2015/1/24 18:20	36.22	276.25	287.52	1.58	0.96	3.68	2.60	2.24	1.58
	8494	2015/1/24 18:20	36.42	274.29	287.92	1.59	0.97	3.69	2.60	2.25	1.59
	8495	2015/1/24 18:20	36.52	272.33	288.31	1.59	0.97	3.69	2.61	2.25	1.59
	8496	2015/1/24 18:20	36.52	270.37	288.67	1.59	0.97	3.70	2.61	2.25	1.59
	8497	2015/1/24 18:20	36.32	274.78	289.10	1.59	0.97	3.70	2.61	2.26	1.59
	8498	2015/1/24 18:20	36.32	272.82	289.52	1.59	0.97	3.71	2.62	2.26	1.59
	8499	2015/1/24 18:20	36.52	270.86	289.85	1.59	0.97	3.71	2.62	2.26	1.60
	8500	2015/1/24 18:20	36.22	275.27	290.28	1.58	0.96	3.72	2.62	2.26	1.60
	8501	2015/1/24 18:20	36.42	273.31	290.67	1.59	0.97	3.72	2.63	2.27	1.60
	8502	2015/1/24 18:20	36.52	271.35	291.03	1.59	0.97	3.73	2.63	2.27	1.60
	8503	2015/1/24 18:20	36.22	276.25	291.45	1.58	0.96	3.73	2.64	2.27	1.60
	8504	2015/1/24 18:20	36.32	273.80	291.85	1.59	0.97	3.74	2.64	2.28	1.61
	8505	2015/1/24 18:20	36.42	271.84	292.21	1.59	0.97	3.74	2.64	2.28	1.61
	8506	2015/1/24 18:20	36.12	276.25	292.63	1.58	0.96	3.75	2.65	2.28	1.61
	8507	2015/1/24 18:20	36.22	274.29	293.00	1.58	0.96	3.75	2.65	2.29	1.61
	8508	2015/1/24 18:20	36.32	272.33	293.42	1.59	0.97	3.76	2.65	2.29	1.62
	8509	2015/1/24 18:20	36.52	270.37	293.78	1.59	0.97	3.76	2.66	2.29	1.62
	8510	2015/1/24 18:20	36.22	274.78	294.18	1.58	0.96	3.77	2.66	2.29	1.62
	8511	2015/1/24 18:20	36.32	272.82	294.57	1.59	0.97	3.77	2.66	2.30	1.62
	8512	2015/1/24 18:21	36.42	270.86	294.99	1.59	0.97	3.78	2.67	2.30	1.62
	8513	2015/1/24 18:21	36.22	275.27	295.39	1.58	0.96	3.78	2.67	2.30	1.63
	8514	2015/1/24 18:21	36.32	273.31	295.80	1.59	0.97	3.79	2.67	2.31	1.63
	8515	2015/1/24 18:21	36.42	270.86	296.17	1.59	0.97	3.79	2.68	2.31	1.63
	8516	2015/1/24 18:21	36.12	275.76	296.60	1.58	0.96	3.80	2.68	2.31	1.63
	8517	2015/1/24 18:21	36.22	273.80	296.99	1.58	0.96	3.80	2.69	2.32	1.64
	8518	2015/1/24 18:21	36.32	271.84	297.36	1.59	0.97	3.81	2.69	2.32	1.64
	8519	2015/1/24 18:21	36.03	276.25	297.75	1.57	0.96	3.81	2.69	2.32	1.64
	8520	2015/1/24 18:21	36.12	274.29	298.17	1.58	0.96	3.82	2.70	2.33	1.64
	8521	2015/1/24 18:21	36.32	271.84	298.56	1.59	0.97	3.82	2.70	2.33	1.64
	8522	2015/1/24 18:21	36.42	270.37	298.92	1.59	0.97	3.83	2.70	2.33	1.65
	8523	2015/1/24 18:21	36.12	274.78	299.38	1.58	0.96	3.83	2.71	2.34	1.65
	8524	2015/1/24 18:21	36.22	272.82	299.77	1.58	0.96	3.84	2.71	2.34	1.65
	8525	2015/1/24 18:21	36.42	270.37	300.13	1.59	0.97	3.84	2.71	2.34	1.65
	8526	2015/1/24 18:21	36.03	275.27	300.58	1.57	0.96	3.85	2.72	2.34	1.66
	8527	2015/1/24 18:21	36.12	273.31	300.98	1.58	0.96	3.85	2.72	2.35	1.66
	8528	2015/1/24 18:21	36.32	271.35	301.37	1.59	0.97	3.86	2.72	2.35	1.66
	8529	2015/1/24 18:21	36.03	275.27	301.77	1.57	0.96	3.86	2.73	2.35	1.66
	8530	2015/1/24 18:21	36.12	273.31	302.16	1.58	0.96	3.87	2.73	2.36	1.66
	8531	2015/1/24 18:21	36.22	271.35	302.55	1.58	0.96	3.87	2.74	2.36	1.67
	8532	2015/1/24 18:21	36.03	275.76	302.97	1.57	0.96	3.88	2.74	2.36	1.67
	8533	2015/1/24 18:21	36.12	273.31	303.37	1.58	0.96	3.88	2.74	2.37	1.67
	8534	2015/1/24 18:21	36.22	271.35	303.76	1.58	0.96	3.89	2.75	2.37	1.67
	8535	2015/1/24 18:21	35.93	276.25	304.18	1.57	0.96	3.89	2.75	2.37	1.68
	8536	2015/1/24 18:21	36.03	273.80	304.57	1.57	0.96	3.90	2.75	2.38	1.68
	8537	2015/1/24 18:22	36.22	271.84	304.97	1.58	0.96	3.90	2.76	2.38	1.68
	8538	2015/1/24 18:22	35.83	276.25	305.39	1.56	0.95	3.91	2.76	2.38	1.68
	8539	2015/1/24 18:22	36.03	273.80	305.79	1.57	0.96	3.92	2.76	2.39	1.68
	8540	2015/1/24 18:22	36.12	271.84	306.18	1.58	0.96	3.92	2.77	2.39	1.69
	8541	2015/1/24 18:22	35.83	276.25	306.58	1.56	0.95	3.93	2.77	2.39	1.69
	8542	2015/1/24 18:22	35.93	274.29	307.02	1.57	0.96	3.93	2.78	2.39	1.69
	8543	2015/1/24 18:22	36.12	271.84	307.42	1.58	0.96	3.94	2.78	2.40	1.69
	8544	2015/1/24 18:22	35.83	276.25	307.81	1.56	0.95	3.94	2.78	2.40	1.70
	8545	2015/1/24 18:22	36.03	273.80	308.21	1.57	0.96	3.95	2.79	2.40	1.70
	8546	2015/1/24 18:22	36.12	271.84	308.60	1.58	0.96	3.95	2.79	2.41	1.70
	8547	2015/1/24 18:22	35.73	275.76	309.02	1.56	0.95	3.96	2.79	2.41	1.70
	8548	2015/1/24 18:22	35.93	273.80	309.45	1.57	0.96	3.96	2.80	2.41	1.70
	8549	2015/1/24 18:22	36.12	271.35	309.84	1.58	0.96	3.97	2.80	2.42	1.71
	8550	2015/1/24 18:22	35.83	276.25	310.24	1.56	0.95	3.97	2.81	2.42	1.71
	8551	2015/1/24 18:22	35.93	273.80	310.65	1.57	0.96	3.98	2.81	2.42	1.71
	8552	2015/1/24 18:22	36.12	271.84	311.08	1.58	0.96	3.98	2.81	2.43	1.71
	8553	2015/1/24 18:22	35.73	276.25	311.47	1.56	0.95	3.99	2.82	2.43	1.72
	8554	2015/1/24 18:22	35.83	273.80	311.89	1.56	0.95	3.99	2.82	2.43	1.72
	8555	2015/1/24 18:22	36.03	271.84	312.31	1.57	0.96	4.00	2.82	2.44	1.72
	8556	2015/1/24 18:22	35.73	276.25	312.71	1.56	0.95	4.00	2.83	2.44	1.72
	8557	2015/1/24 18:22	35.83	273.80	313.13	1.56	0.95	4.01	2.83	2.44	1.72
	8558	2015/1/24 18:22	36.03	271.35	313.56	1.57	0.96	4.01	2.84	2.45	1.73
	8559	2015/1/24 18:22	35.63	276.25	313.98	1.56	0.95	4.02	2.84	2.45	1.73
	8560	2015/1/24 18:22	35.83	273.80	314.40	1.56	0.95	4.03	2.84	2.45	1.73
	8561	2015/1/24 18:22	36.03	271.84	314.82	1.57	0.96	4.03	2.85	2.46	1.73
	8562	2015/1/24 18:23	35.63	276.25	315.28	1.56	0.95	4.04	2.85	2.46	1.74
	8563	2015/1/24 18:23	35.63	275.27	315.43	1.56	0.95	4.04	2.85	2.46	1.74
$+5\delta_0$	8564	2015/1/24 18:23	35.53	274.78	315.49	1.55	0.95	4.04	2.85	2.46	1.74
$+6\delta_0$	11303	2015/1/24 20:56	23.59	277.23	382.83	1.03	0.63	4.90	3.46	2.99	2.11
$+7\delta_0$	13792	2015/1/24 23:01	0.00	274.29	452.50	0.00	0.00	5.79	4.09	3.53	2.49

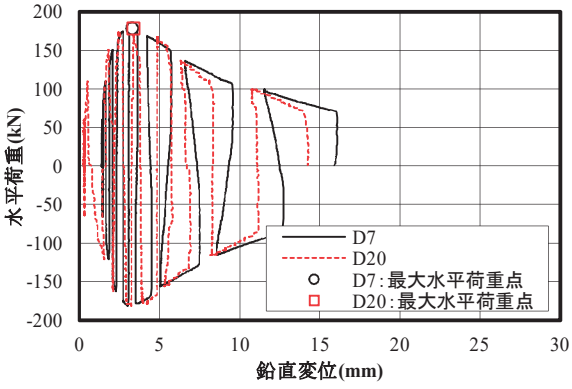
A4. 正負交番載荷実験　架台部およびジャッキ部の変位データ



(a)　架台部の鉛直変位

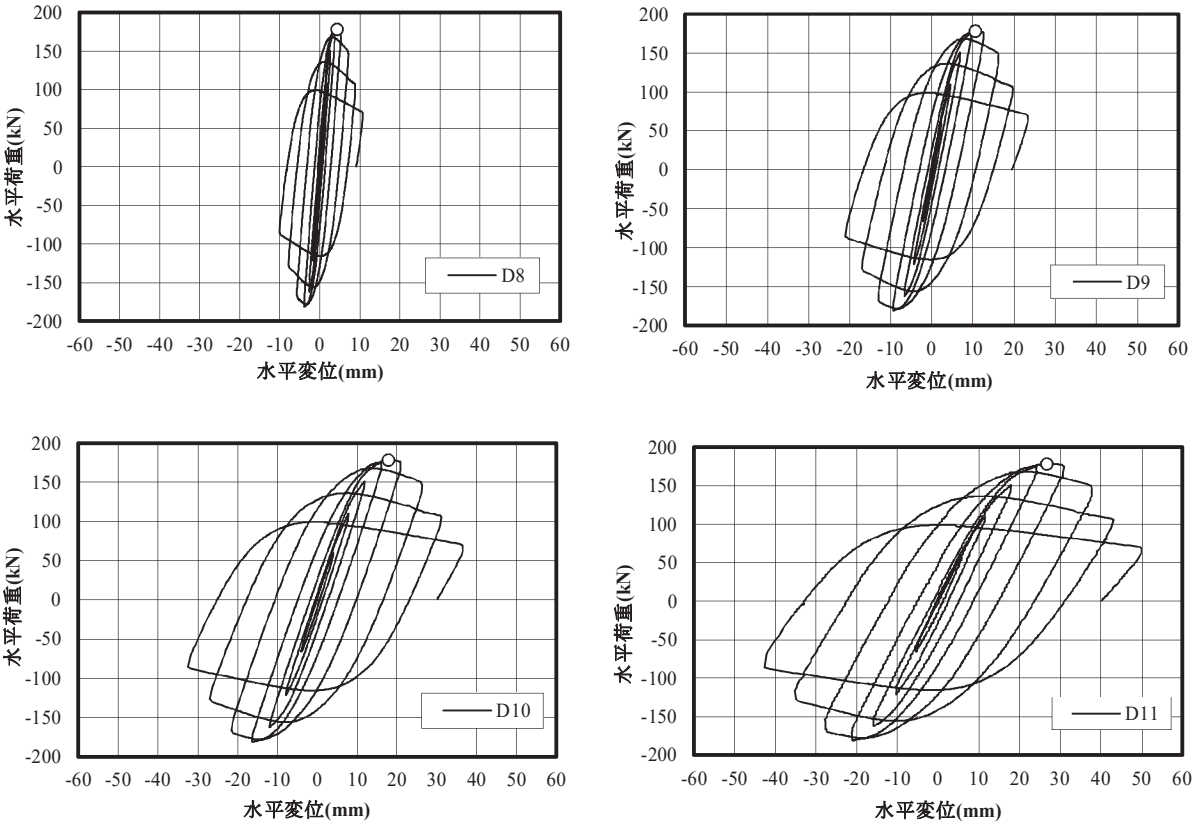


(b)　軸力ジャッキ部の水平変位



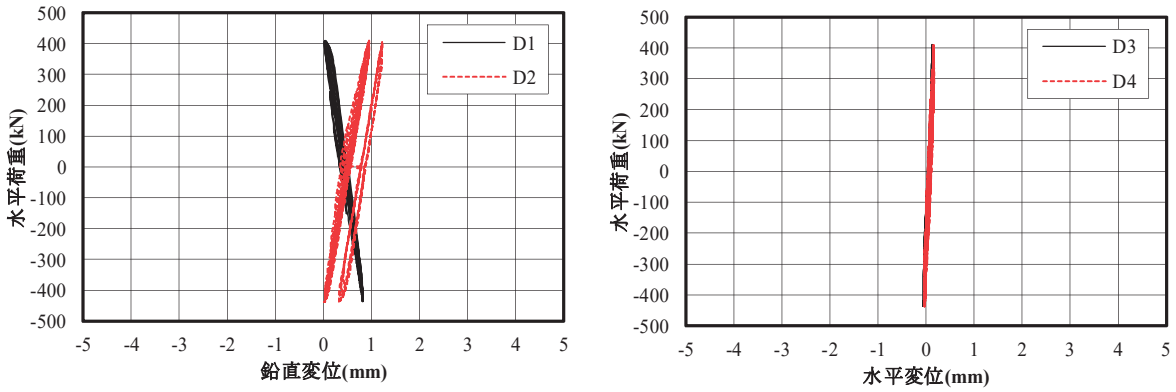
(c)　軸力ジャッキ部の鉛直変位

付図 8 (1)　変位計測値（供試体1-1）

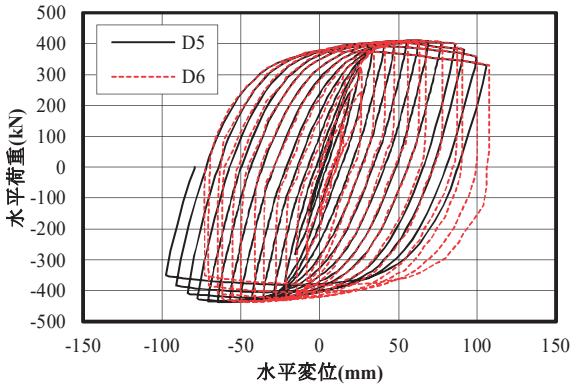


(d)　供試体の水平変位

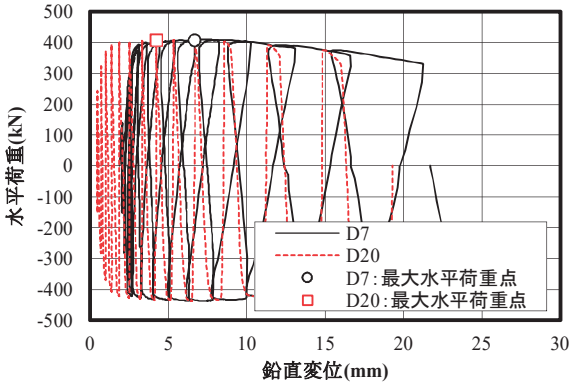
付図 8 (1)　変位計測値（供試体1-1）（つづき）



(a)　架台部の鉛直変位

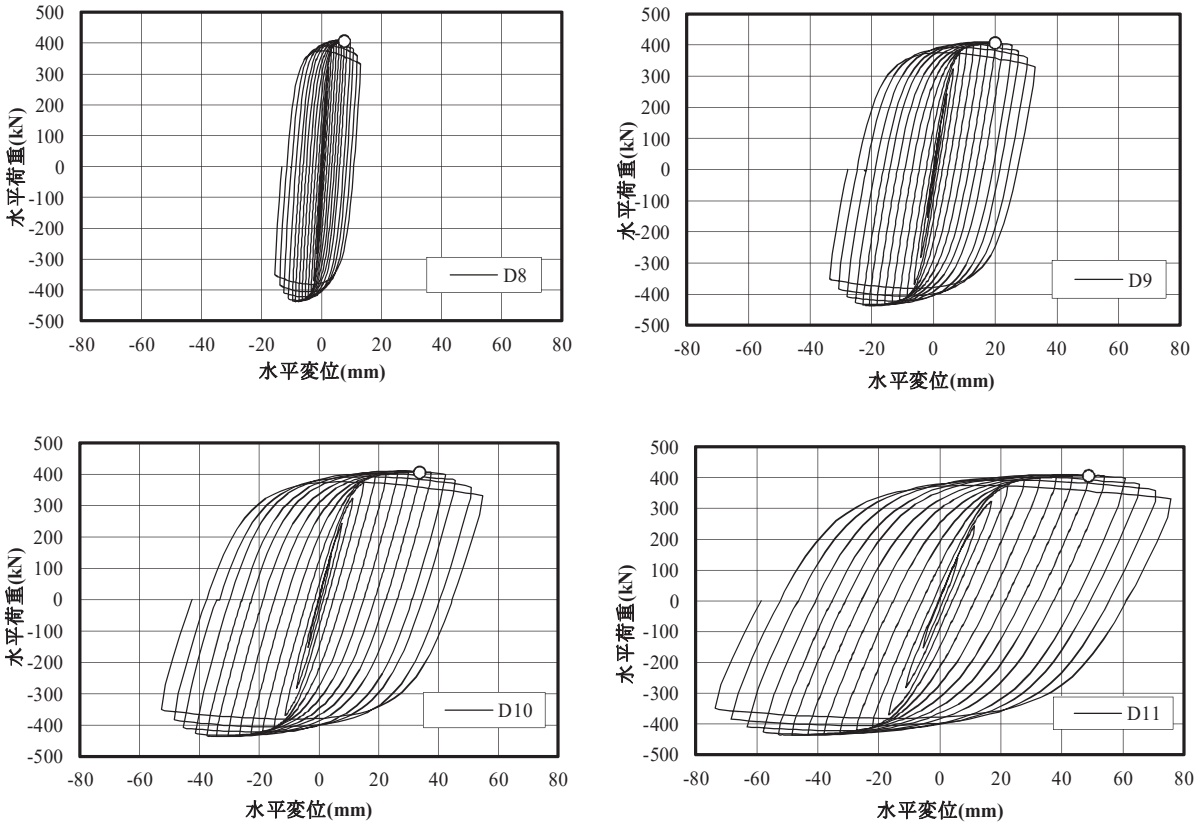


(b)　軸力ジャッキ部の水平変位



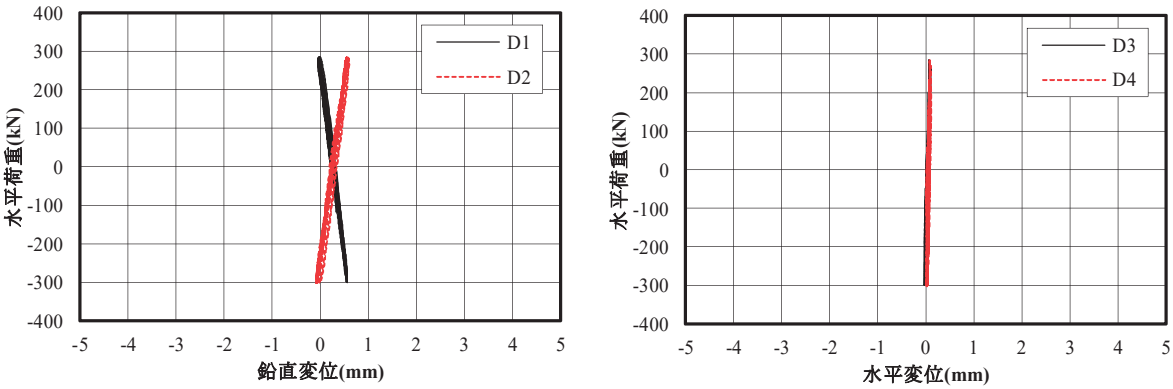
(c)　軸力ジャッキ部の鉛直変位

付図 8 (2)　変位計測値（供試体1-2）

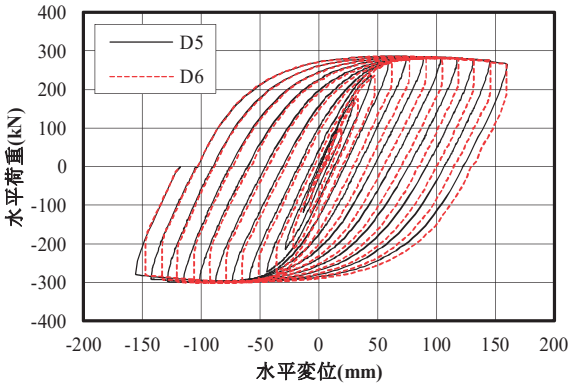


(d)　供試体の水平変位

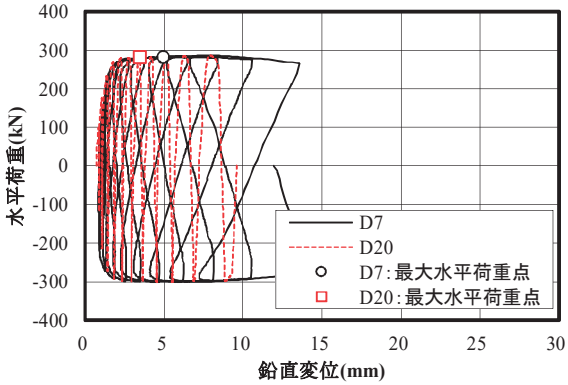
付図 8 (2)　変位計測値（供試体1-2）（つづき）



(a)　架台部の鉛直変位

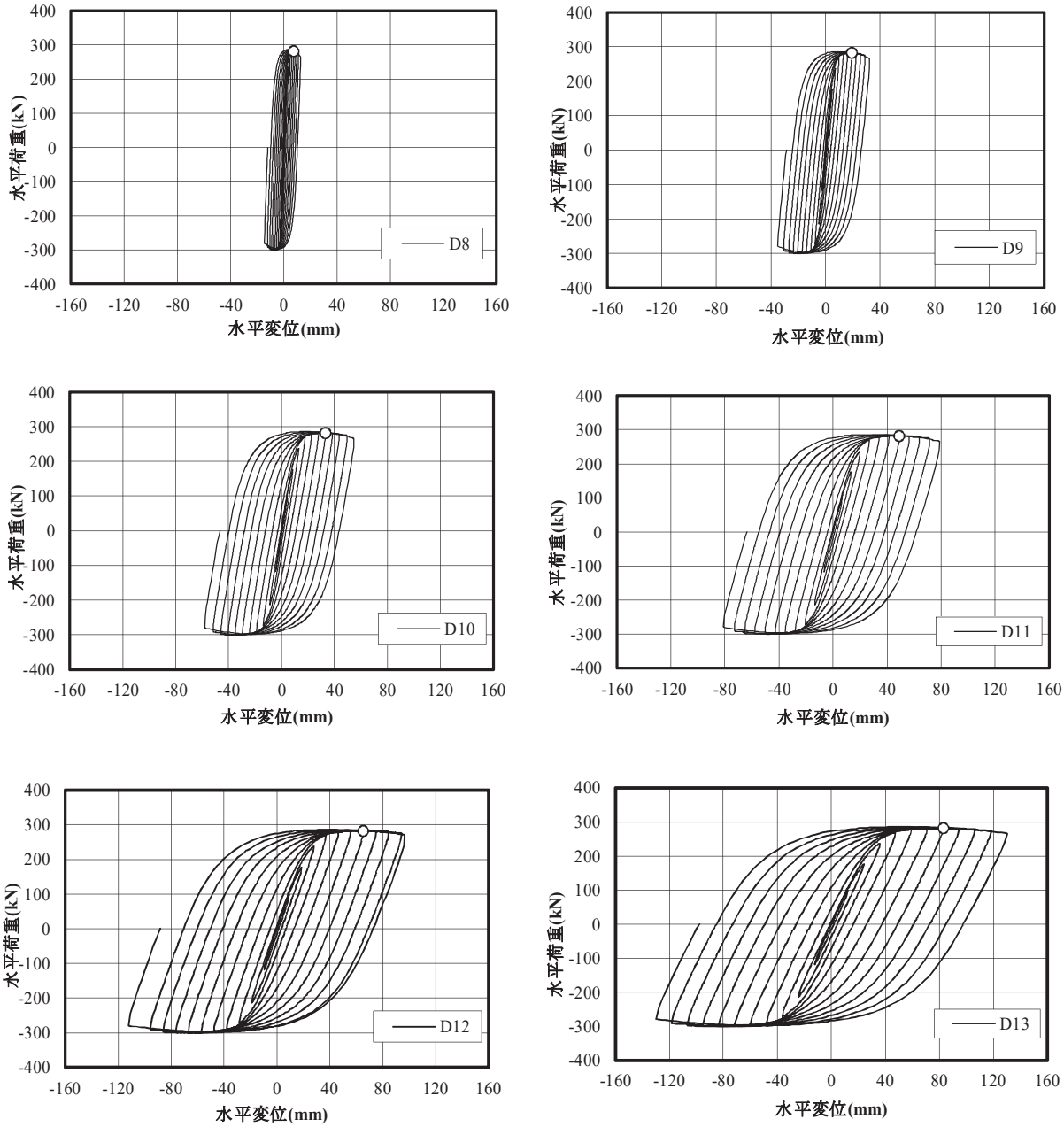


(b)　軸力ジャッキ部の水平変位



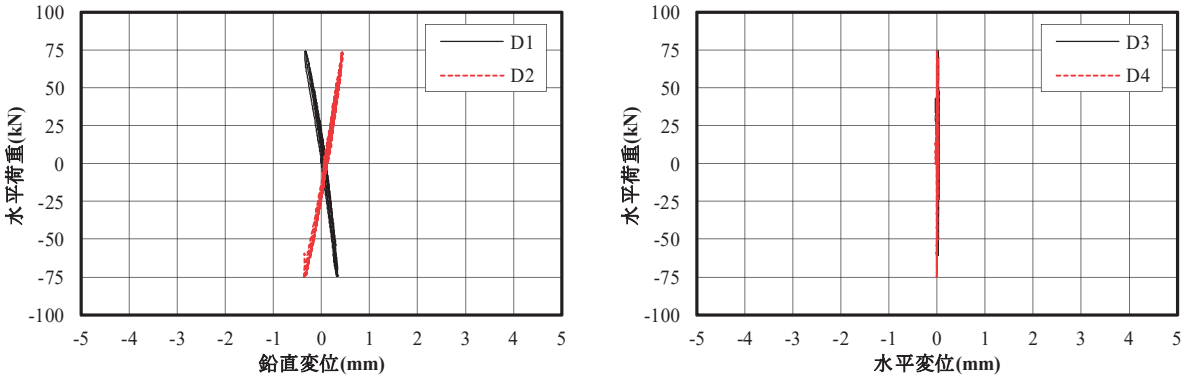
(c)　軸力ジャッキ部の鉛直変位

付図 8 (3)　変位計測値（供試体1.5-2）

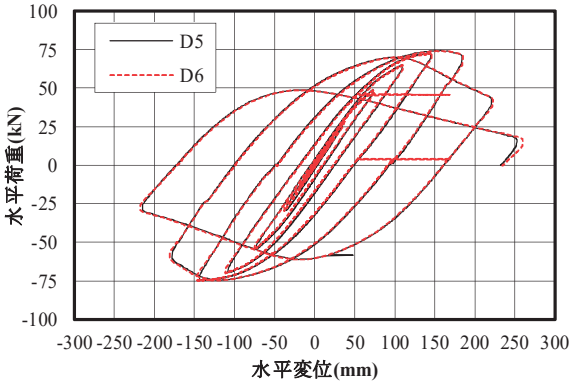


(d)　供試体の水平変位

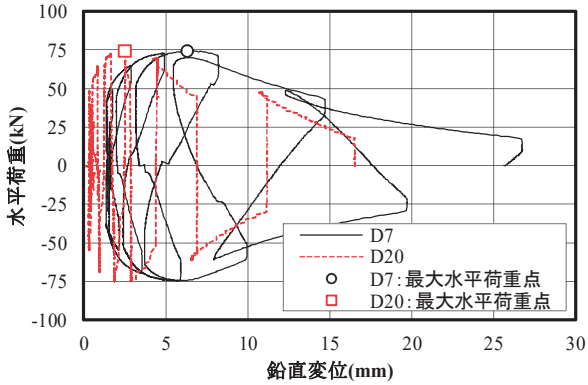
付図 8 (3)　変位計測値（供試体1.5-2）（つづき）



(a)　架台部の鉛直変位

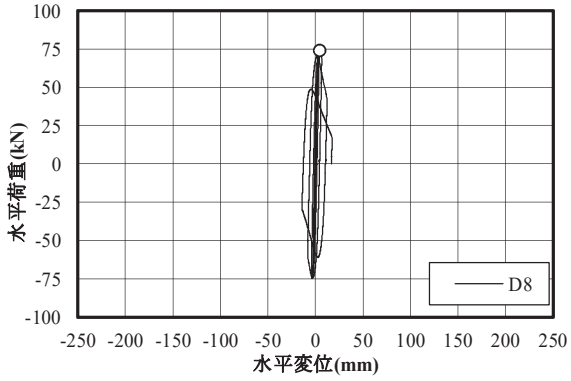


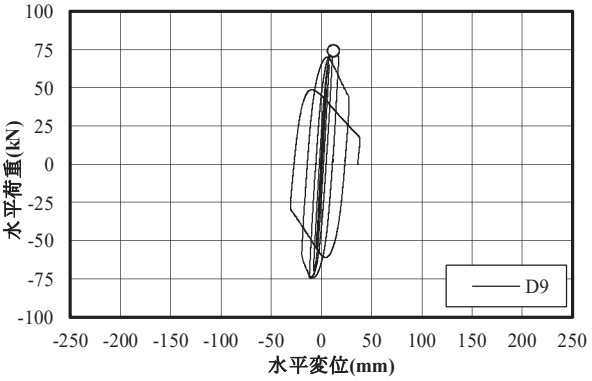
(b)　軸力ジャッキ部の水平変位

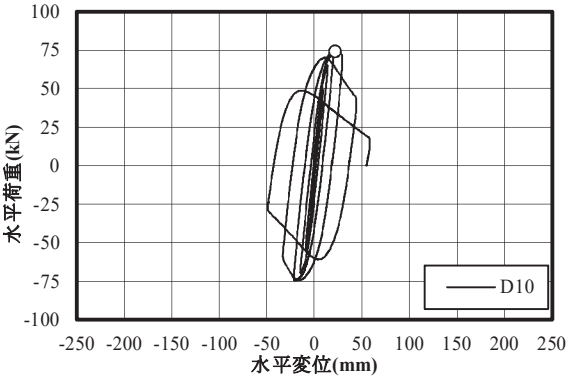


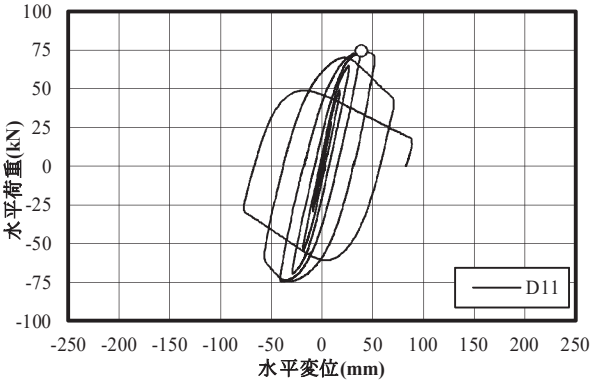
(c)　軸力ジャッキ部の鉛直変位

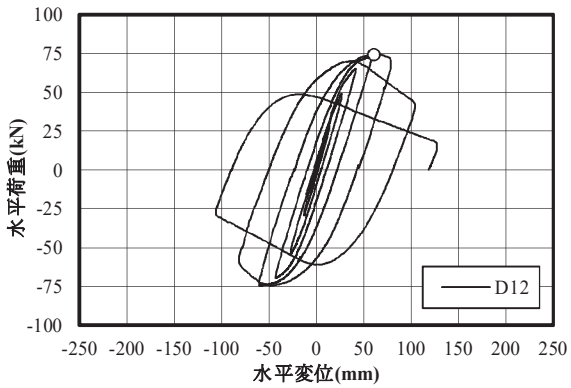
付図 8 (4)　変位計測値（供試体2-1）

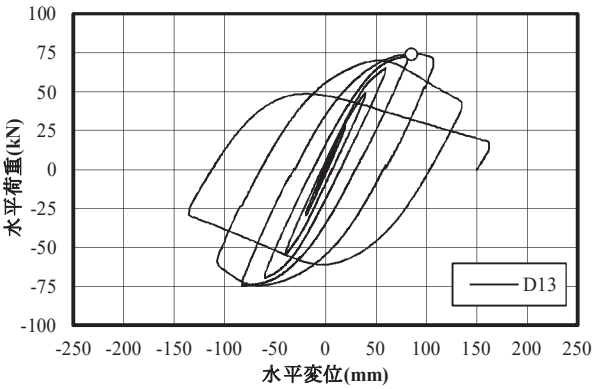


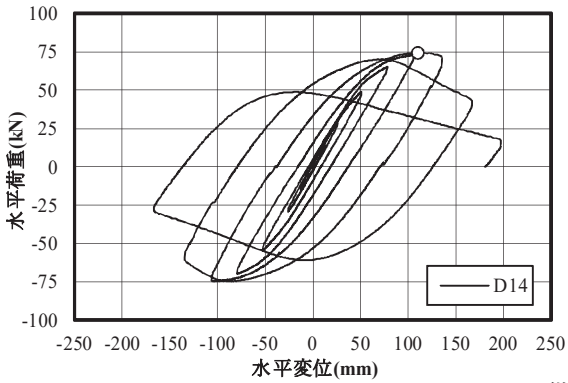






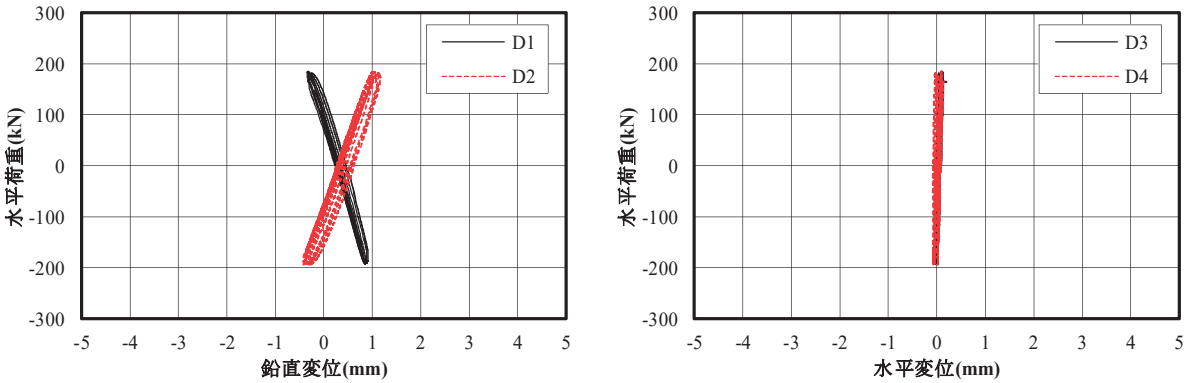




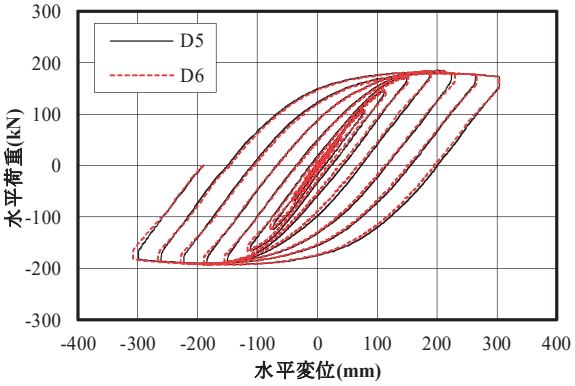


(d)　供試体の水平変位

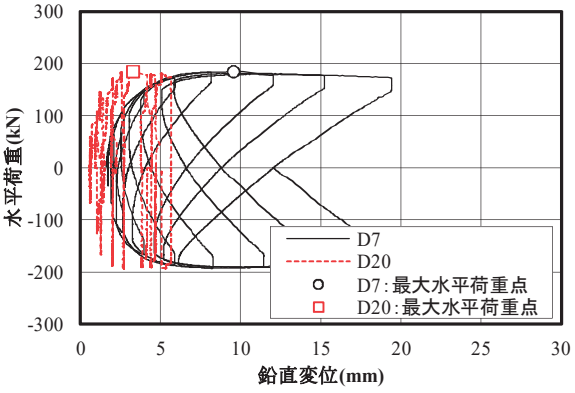
付図 8 (4)　変位計測値（供試体2-1）（つづき）



(a)　架台部の鉛直変位

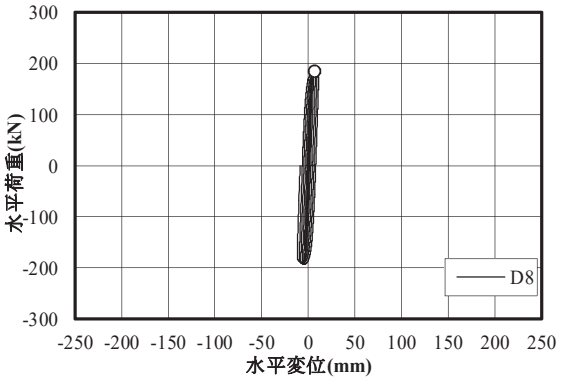


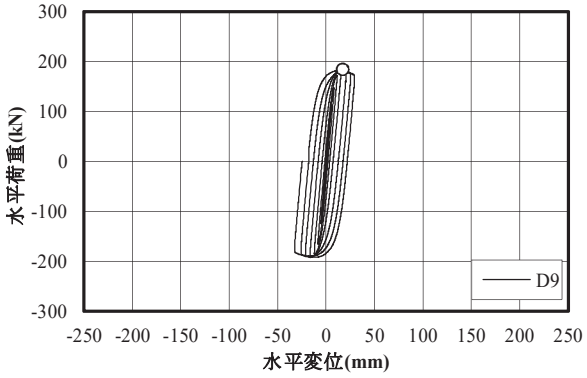
(b)　軸力ジャッキ部の水平変位

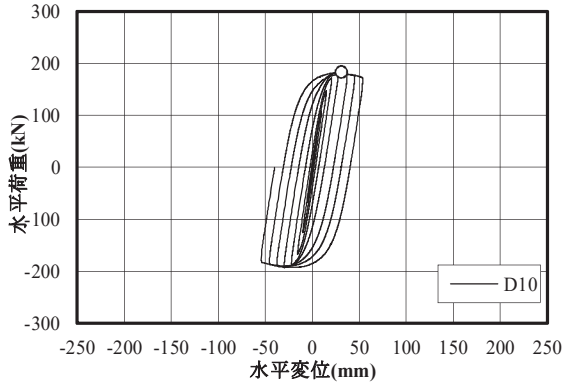


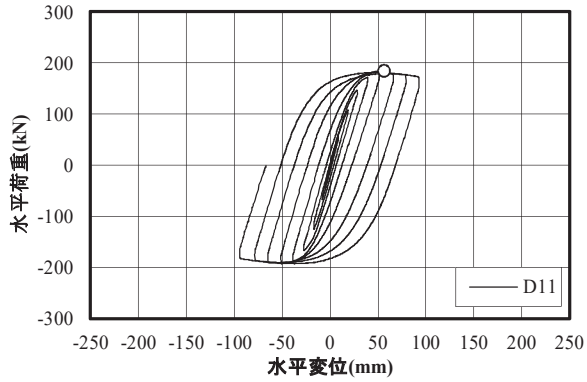
(c)　軸力ジャッキ部の鉛直変位

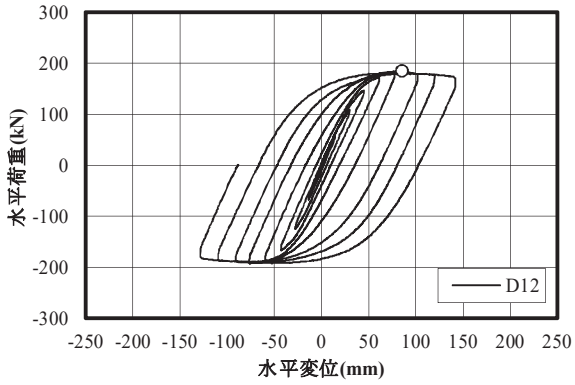
付図 8 (5)　変位計測値（供試体2-2）

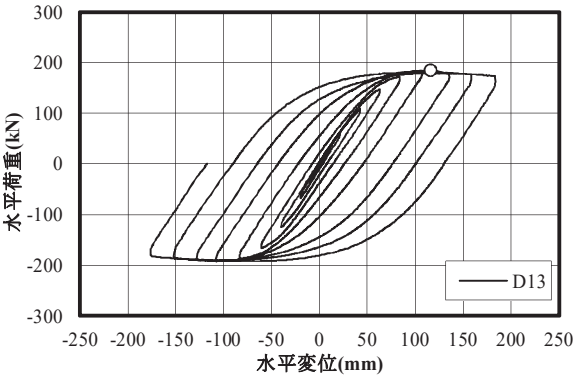


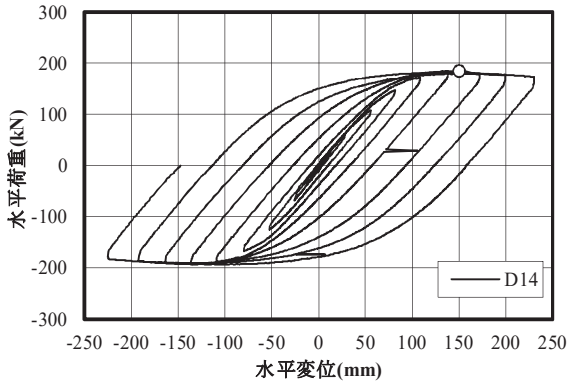






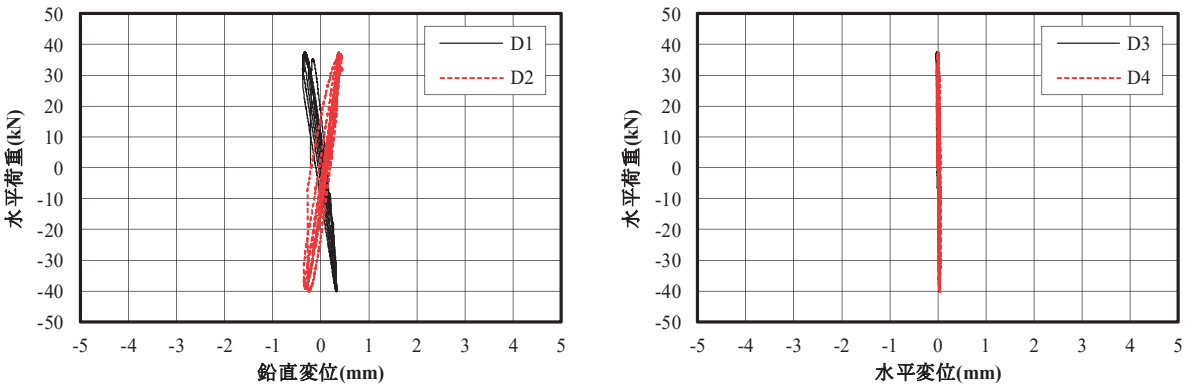




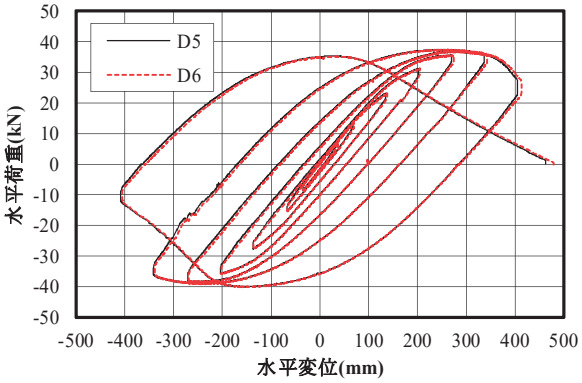


(d)　供試体の水平変位

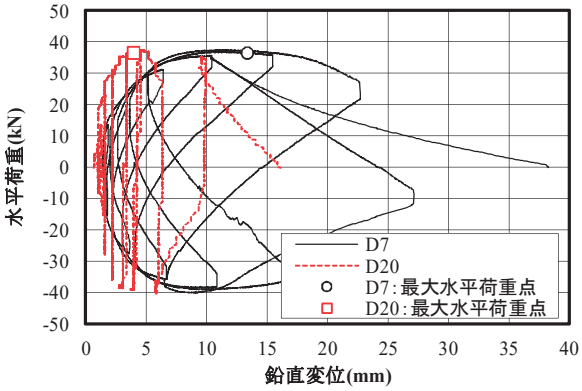
付図 8 (5)　変位計測値（供試体2-2）（つづき）



(a)　架台部の鉛直変位

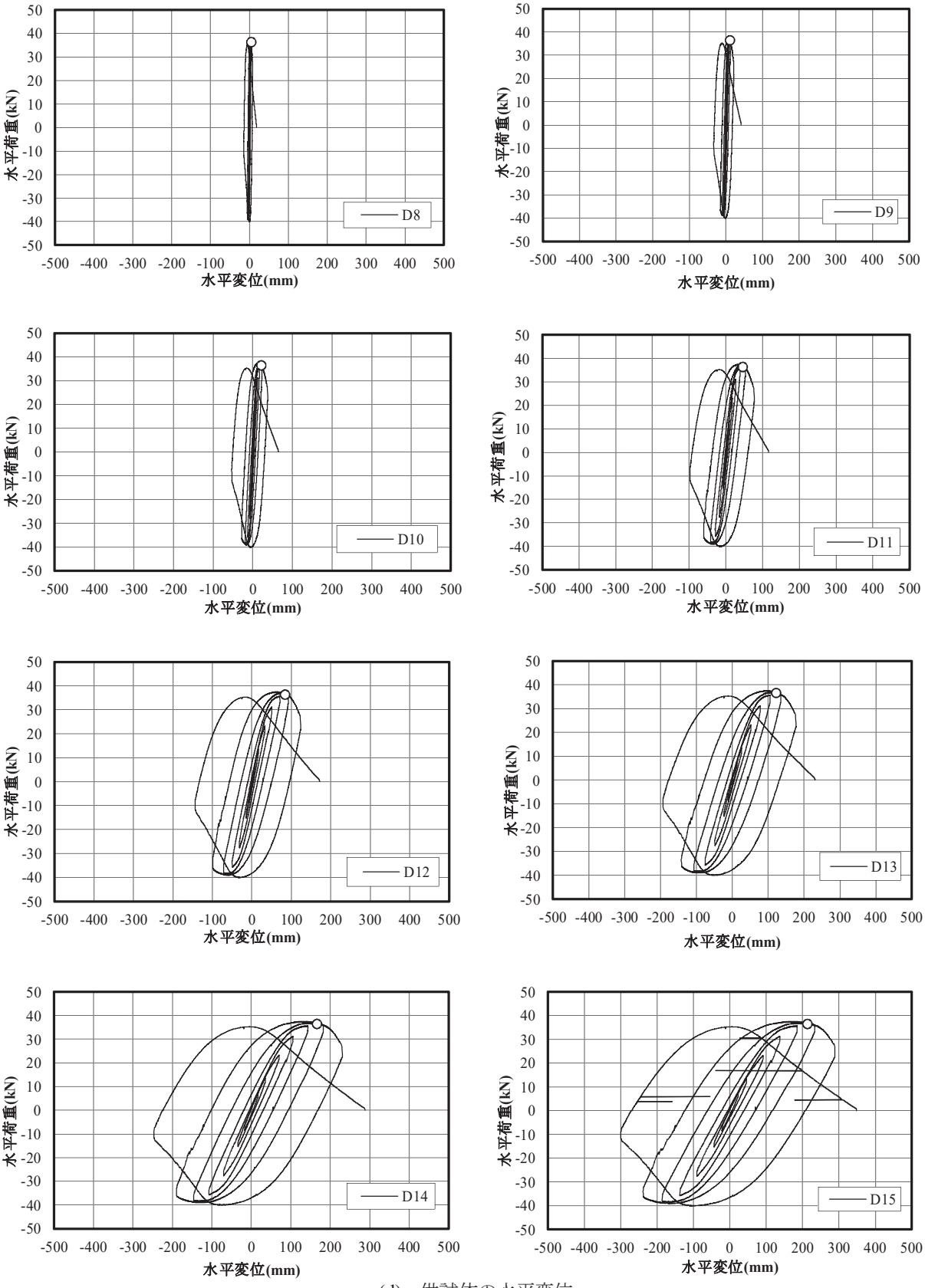


(b)　軸力ジャッキ部の水平変位



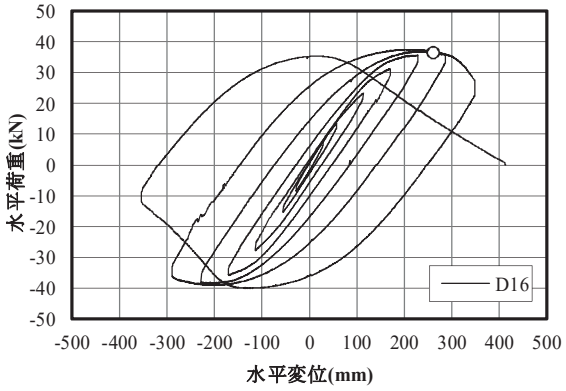
(c)　軸力ジャッキ部の鉛直変位

付図 8 (6)　変位計測値（供試体3-1）



(d)　供試体の水平変位

付図 8 (6)　変位計測値（供試体3-1）（つづき）

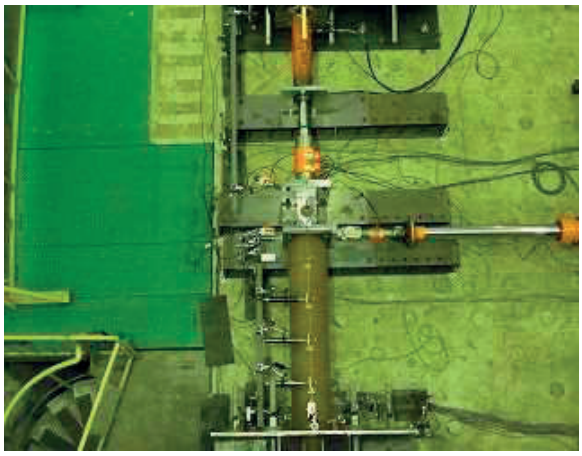


(d)　供試体の水平変位（つづき）

付図 8 (6)　変位計測値（供試体3-1）（つづき）

A5. 正負交番載荷実験　供試体の全景および基部の状況写真

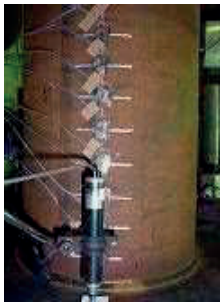
基部（東）



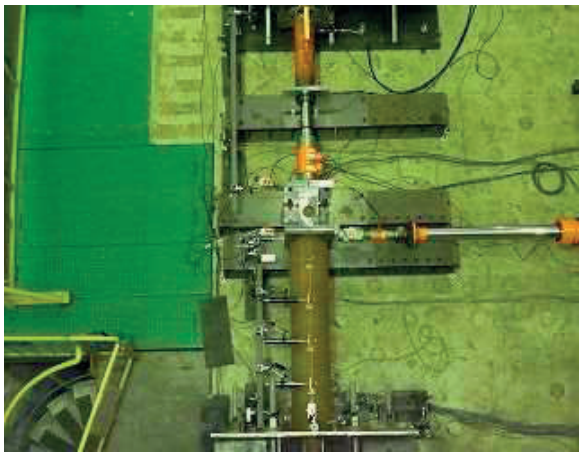
全景

$+1\delta_{yN}$

基部（西）



基部（東）

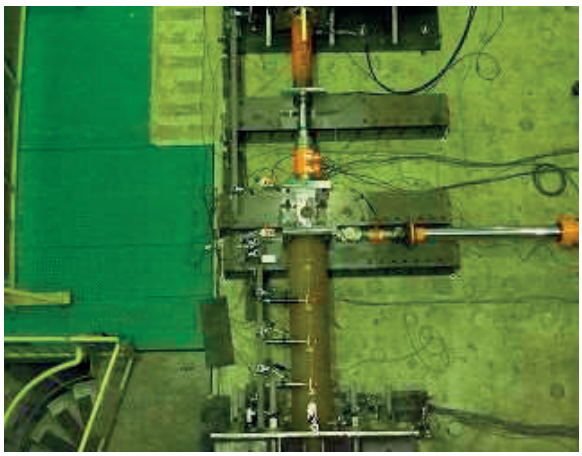


全景

$-1\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



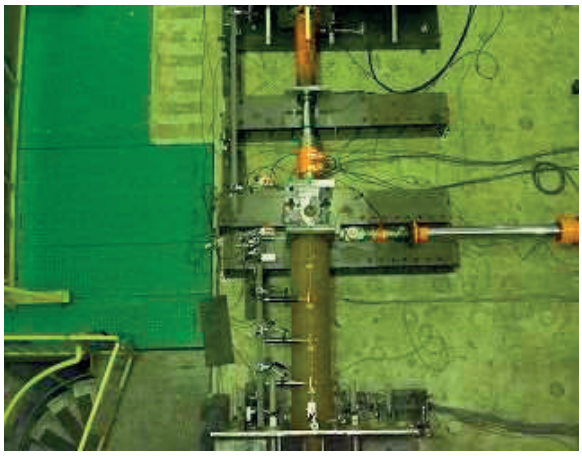
全景

$+2\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (1)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-1）

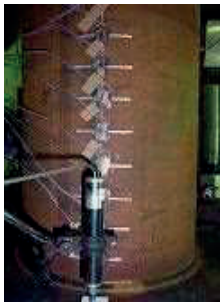
基部（東）



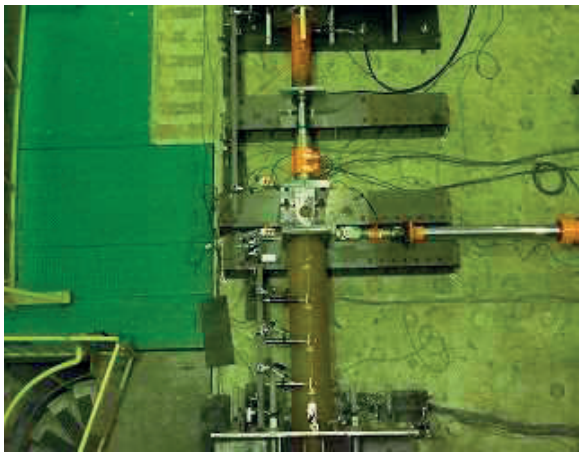
全景

$-2\delta_{yN}$

基部（西）



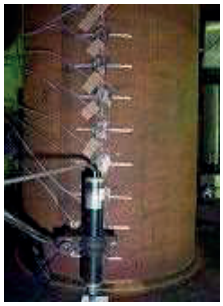
基部（東）



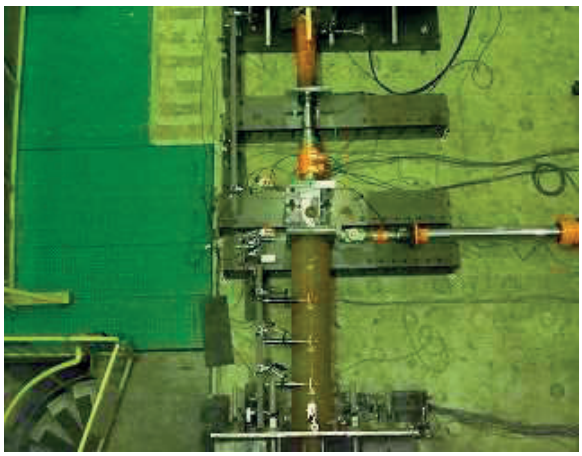
全景

$+3\delta_{yN}$

基部（西）



基部（東）



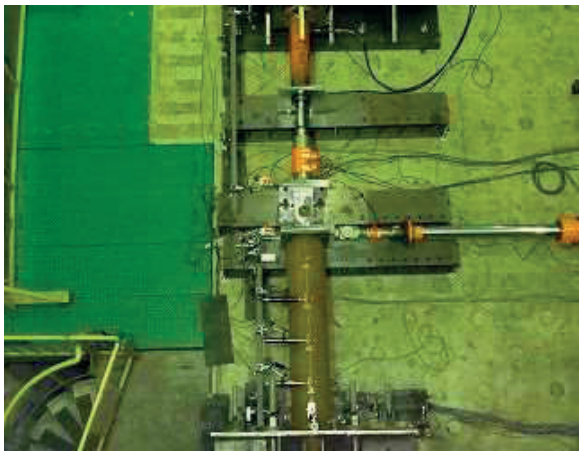
全景

$-3\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (1)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-1）（つづき）

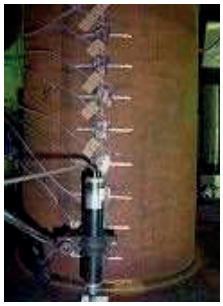
基部（東）



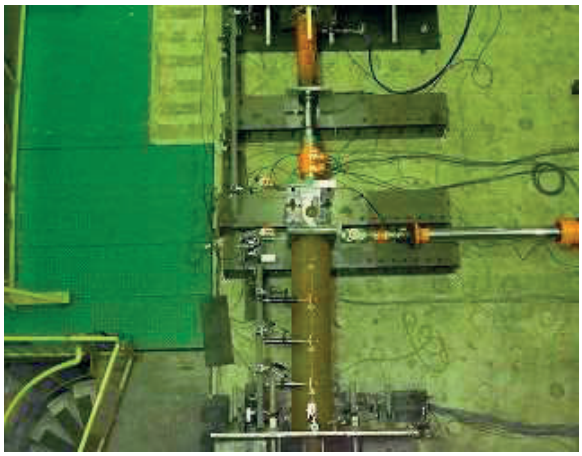
全景

$+4\delta_{yN}$

基部（西）



基部（東）

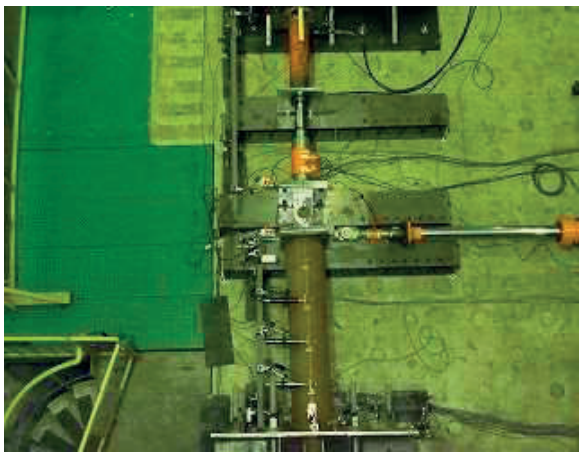


全景

$-4\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

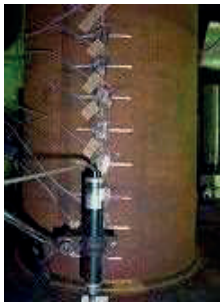


全景

$+5\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (1)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-1）（つづき）



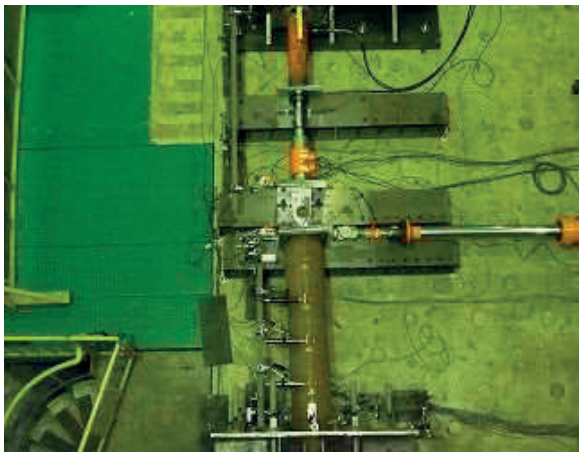
基部（東）

全景

$-5\delta_{yN}$

基部（西）

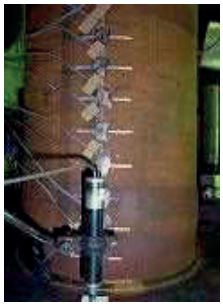
基部（東）



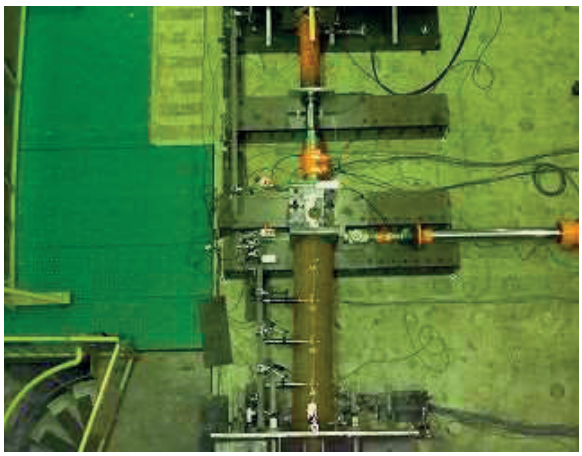
全景

$+6\delta_{yN}$

基部（西）



基部（東）



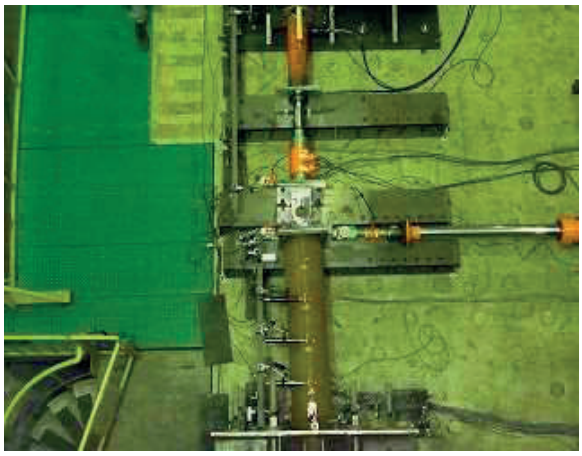
全景

$-6\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (1)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-1）（つづき）

基部（東）

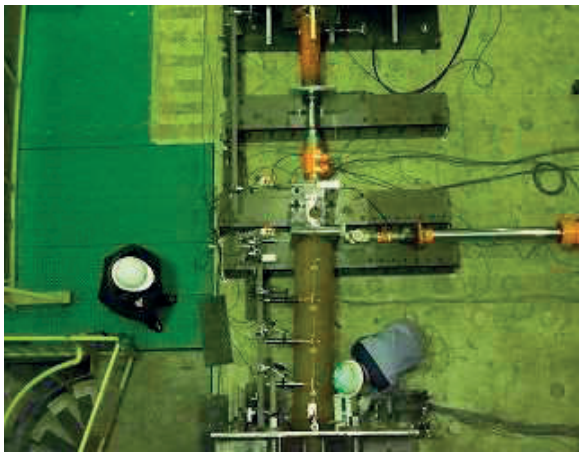


全景

$+7\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

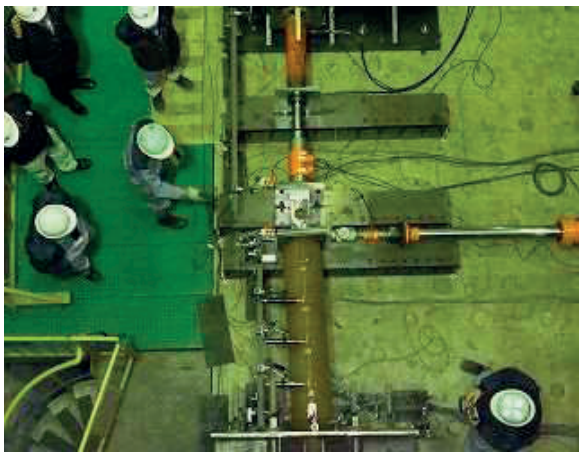


全景

$-7\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



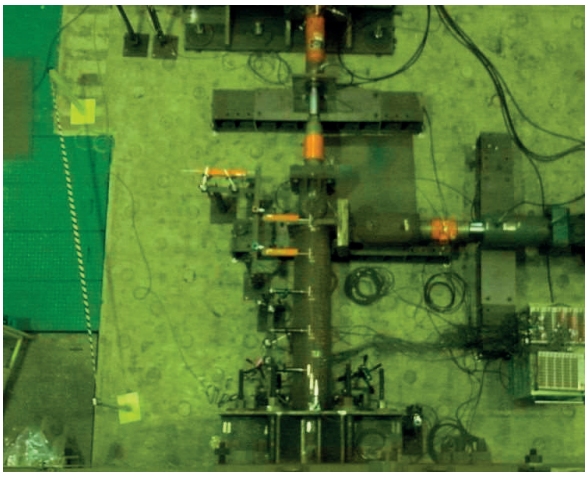
全景

$+8\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (1)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-1）（つづき）

基部（東）

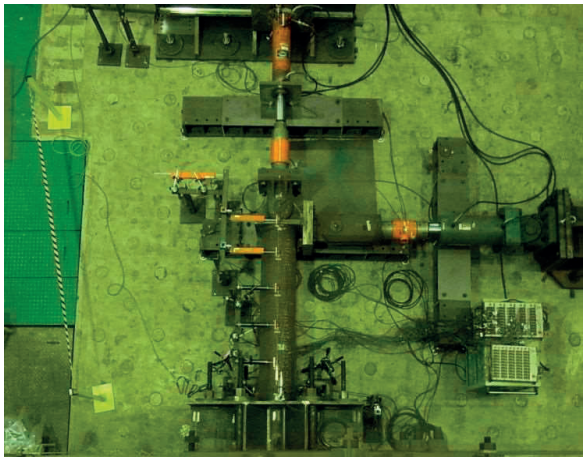


全景

$+1\delta_{yN}$

基部（西）

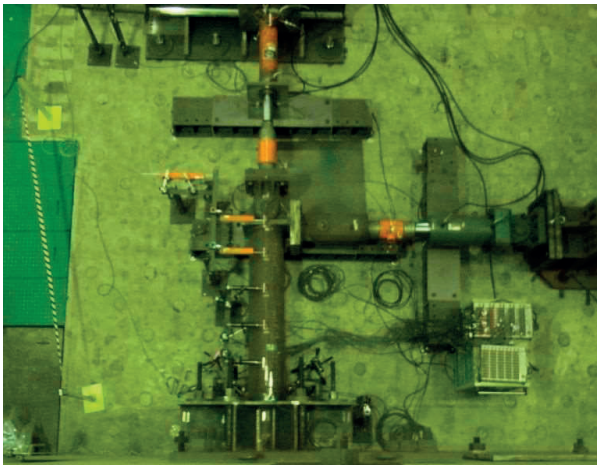
基部（東）



$-1\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



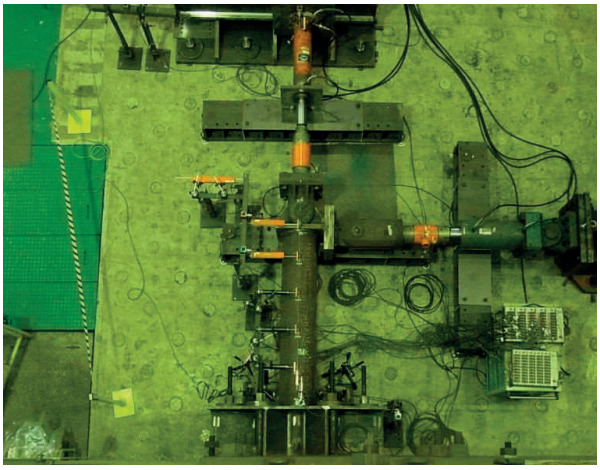
全景

$+2\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況(供試体1-2)

基部（東）

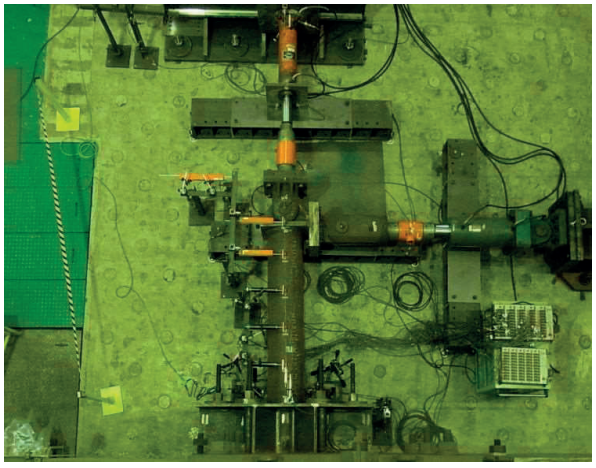


全景

基部（西）

$-2\delta_{yN}$

基部（東）

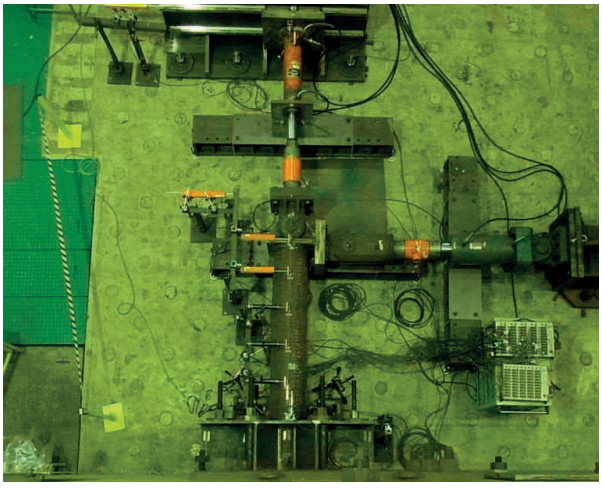


全景

基部（西）

$+3\delta_{yN}$

基部（東）



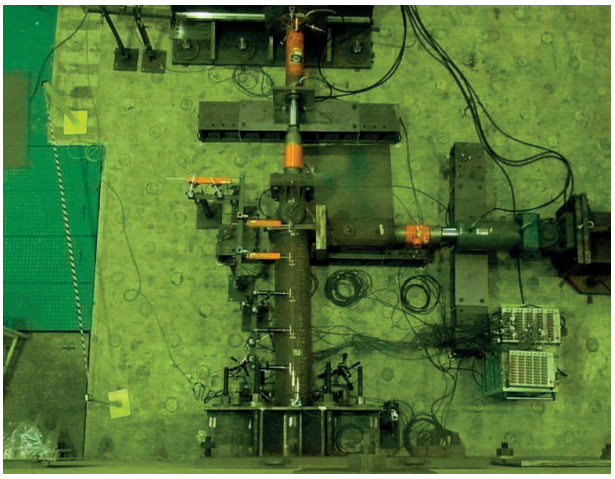
全景

基部（西）

$-3\delta_{yN}$

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

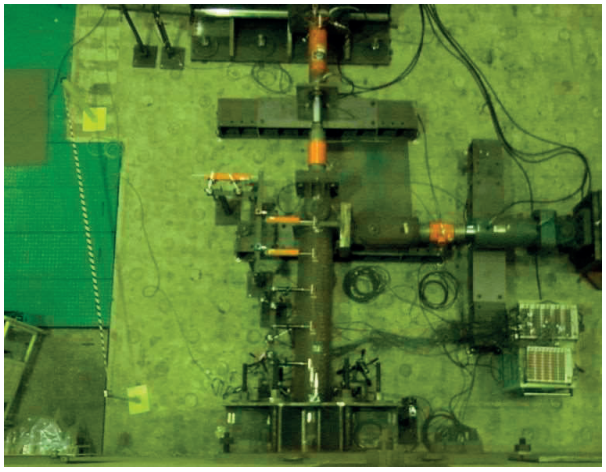


全景

$+4\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

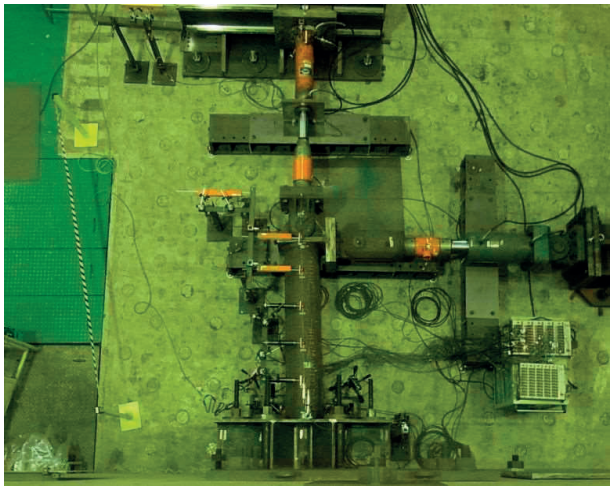


全景

$-4\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



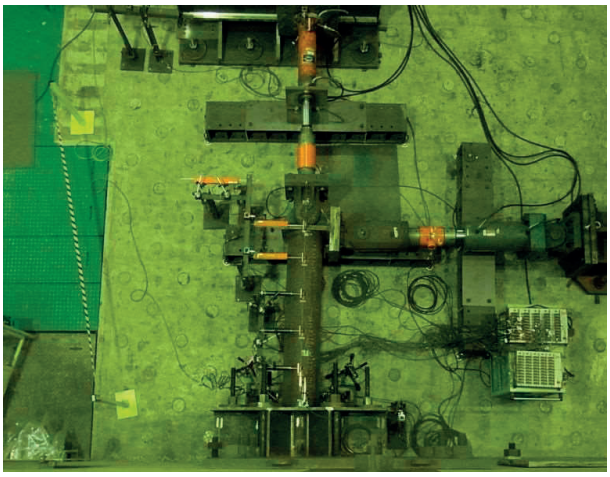
全景

$+5\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

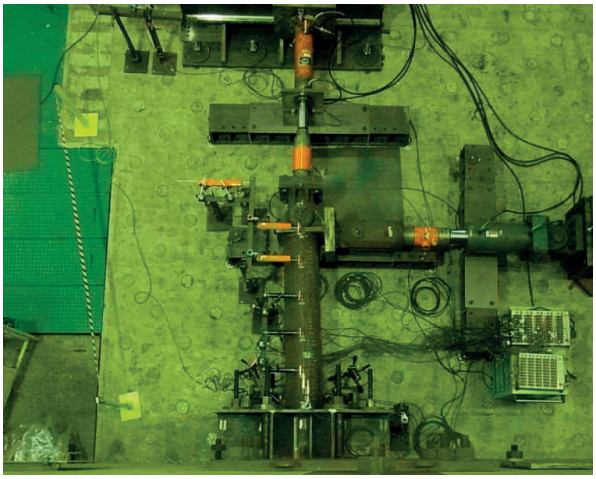


全景

$-5\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

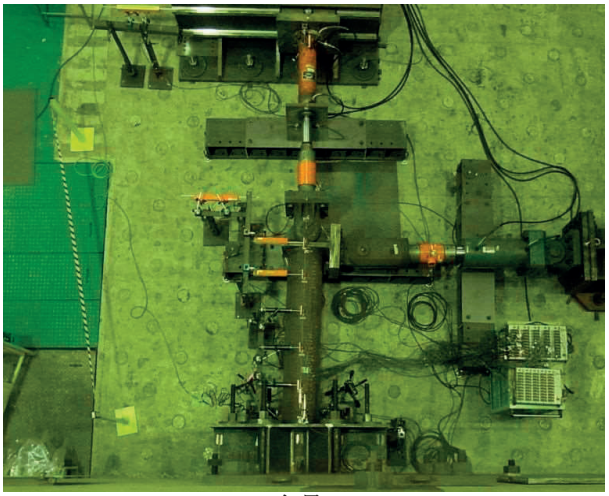


全景

$+6\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



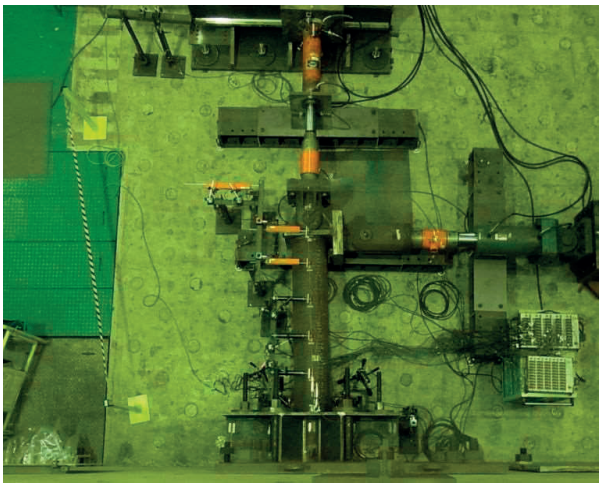
全景

$-6\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

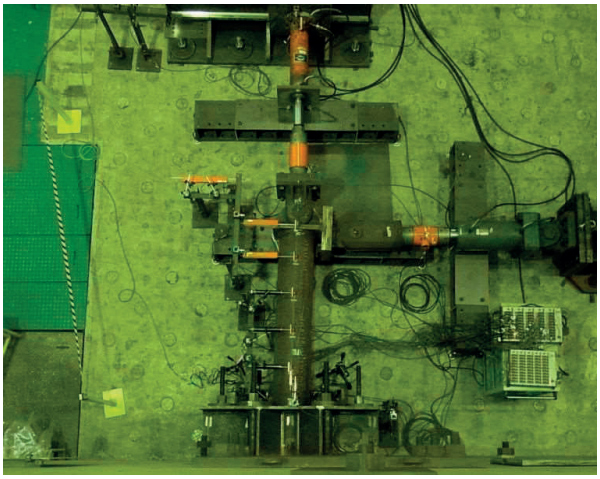


全景

$+7\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

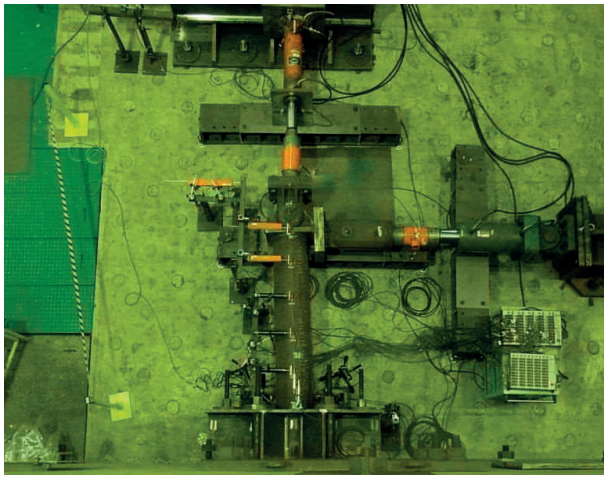


全景

$-7\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



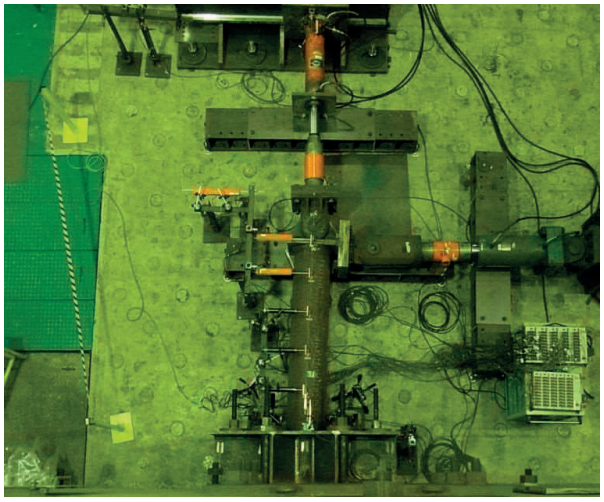
全景

$+8\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

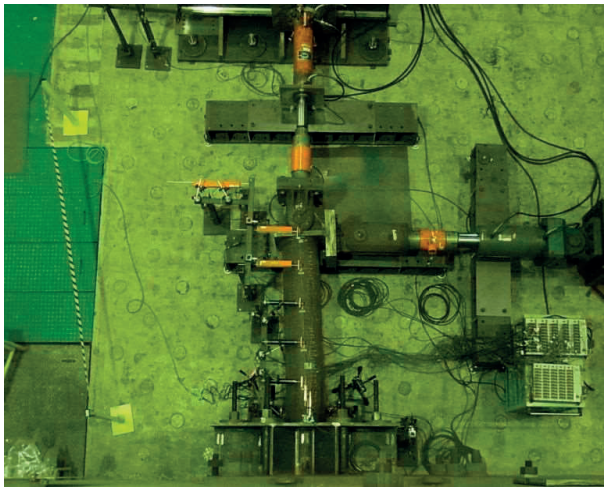


全景

$-8\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

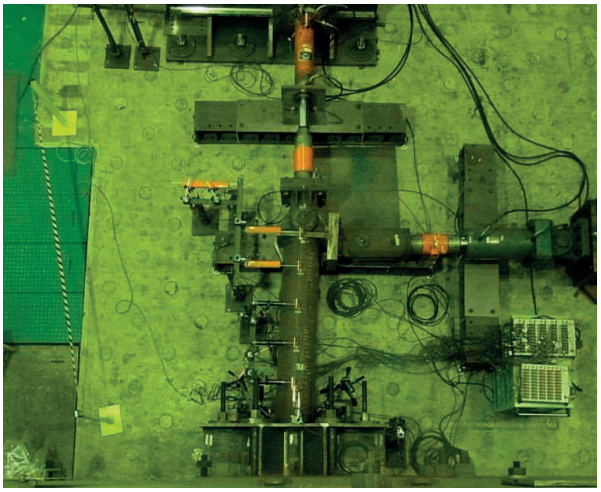


全景

$+9\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



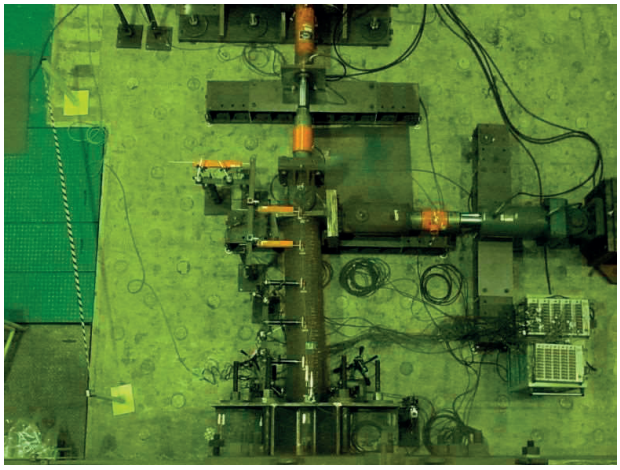
全景

$-9\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

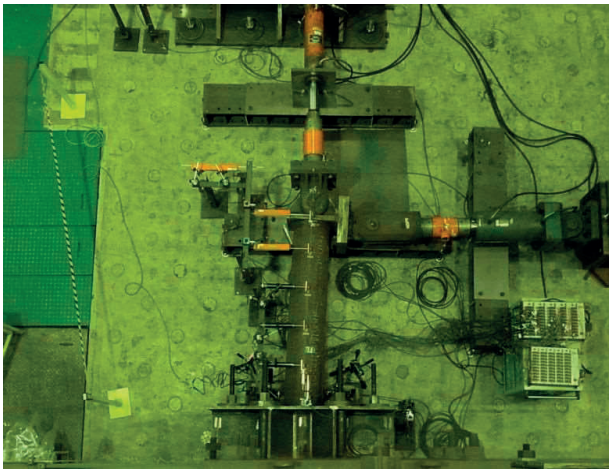


全景

基部（西）

$+10\delta_{yN}$

基部（東）

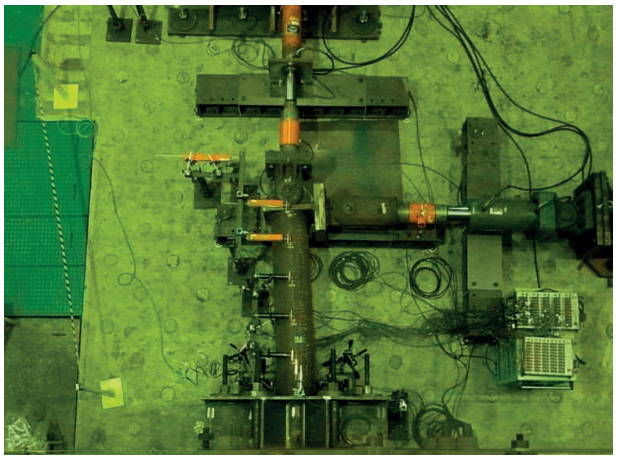


全景

基部（西）

$-10\delta_{yN}$

基部（東）



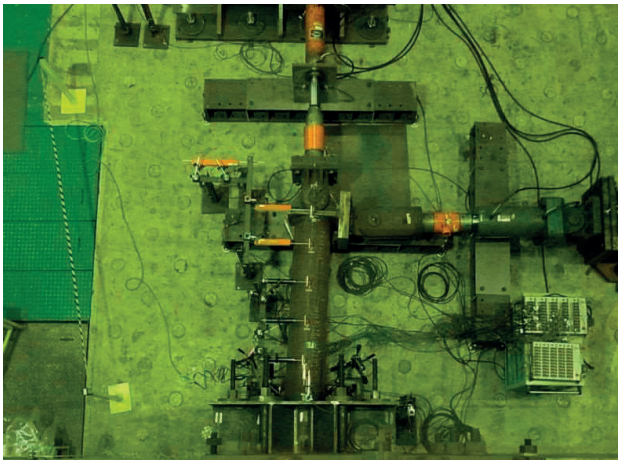
全景

基部（西）

$+11\delta_{yN}$

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

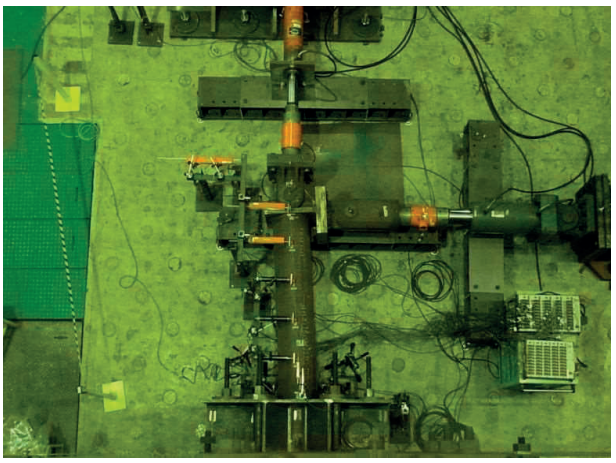


全景

基部（西）

$-11\delta_{yN}$

基部（東）

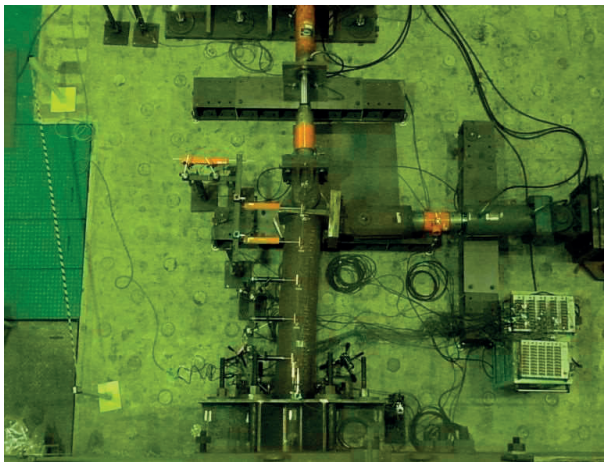


全景

基部（西）

$+12\delta_{yN}$

基部（東）



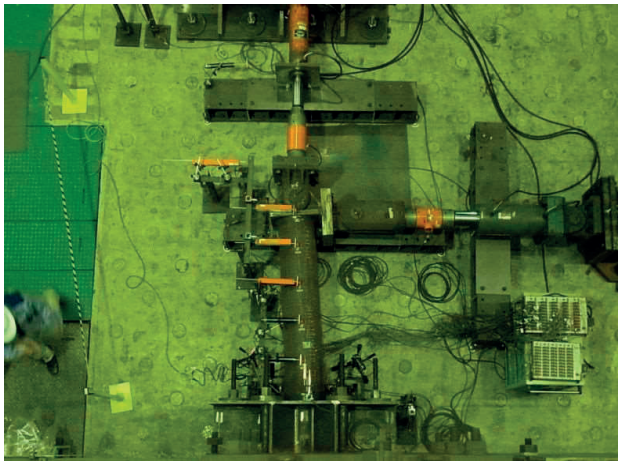
全景

基部（西）

$-12\delta_{yN}$

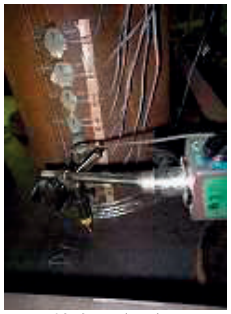
付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）



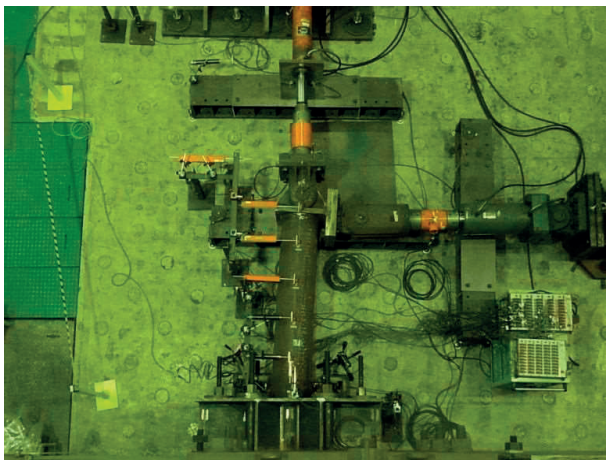
全景

$+13\delta_{yN}$



基部（西）

基部（東）

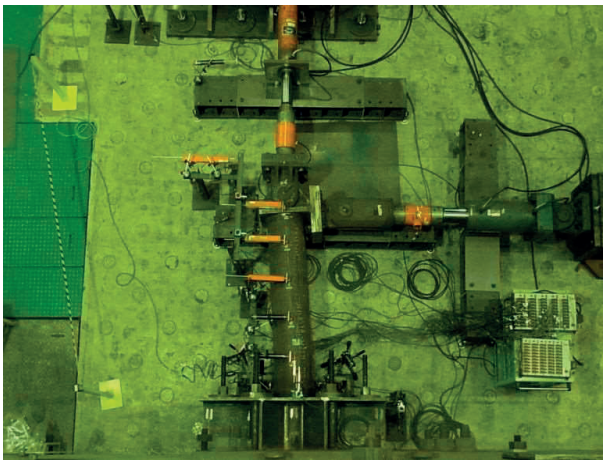


全景

$-13\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



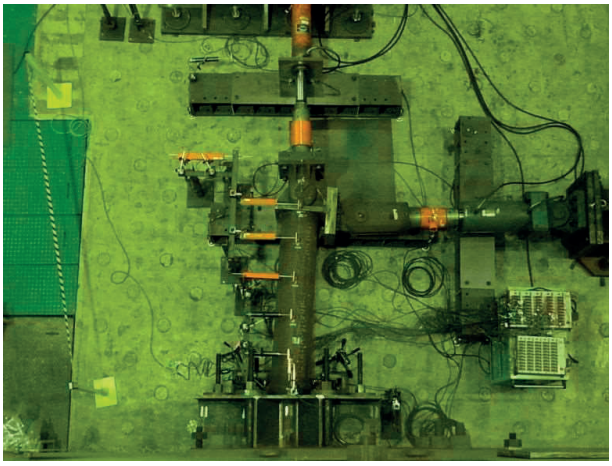
全景

$+14\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）



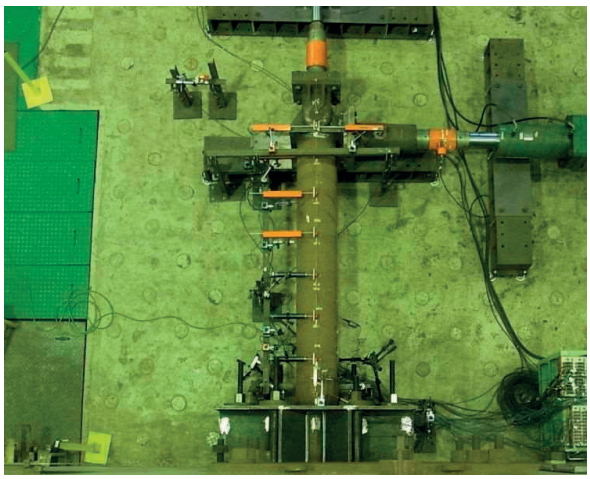
全景

$-14\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (2)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1-2）（つづき）

基部（東）

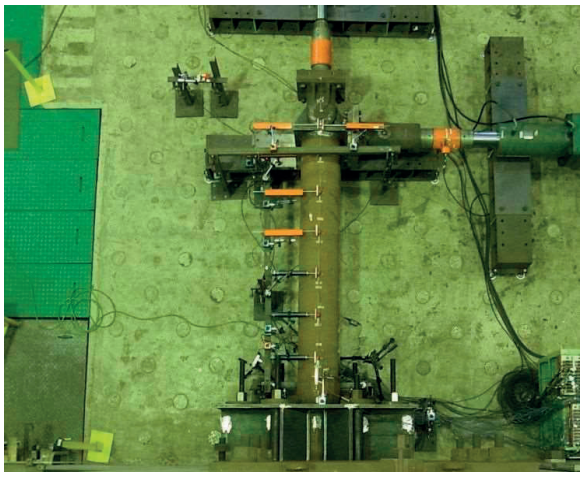


全景

$+1\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

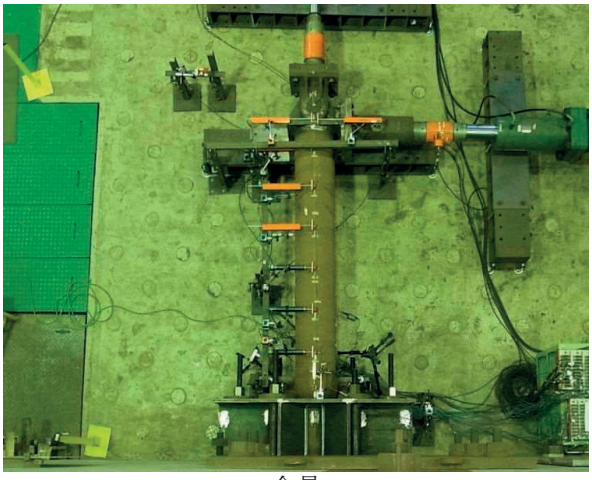


全景

$-1\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



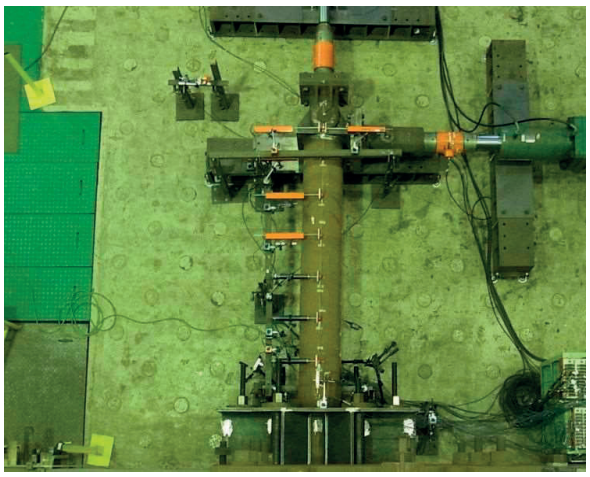
全景

$+2\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）

基部（東）

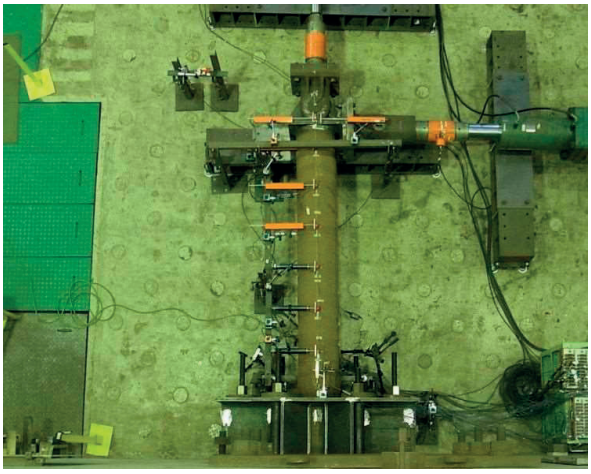


全景

$-2\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

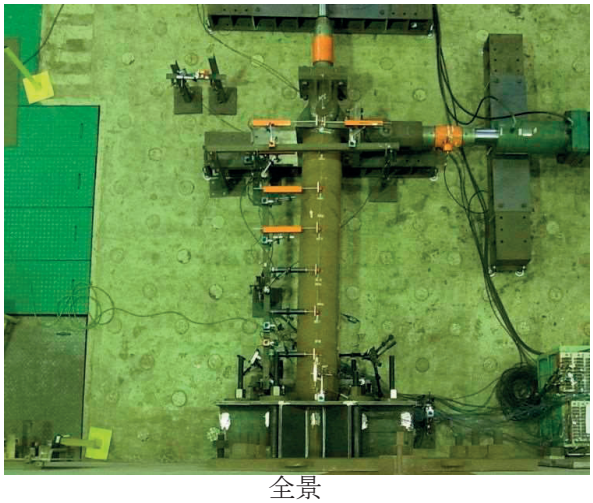


全景

$+3\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



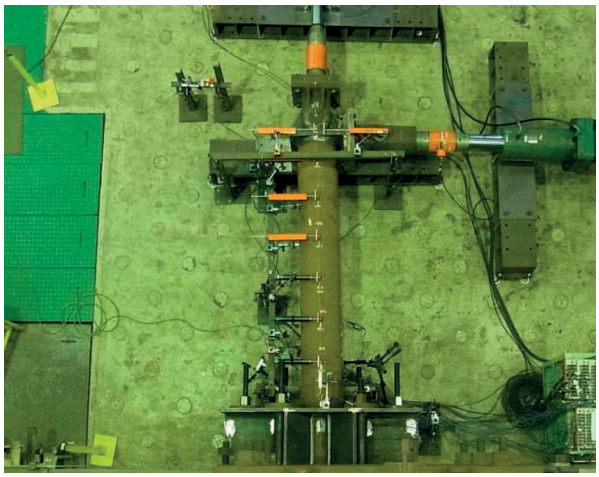
全景

$-3\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）（つづき）

基部（東）

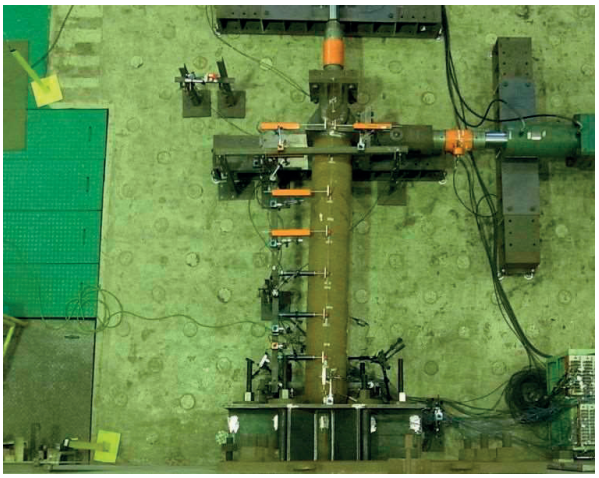


全景

$+4\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

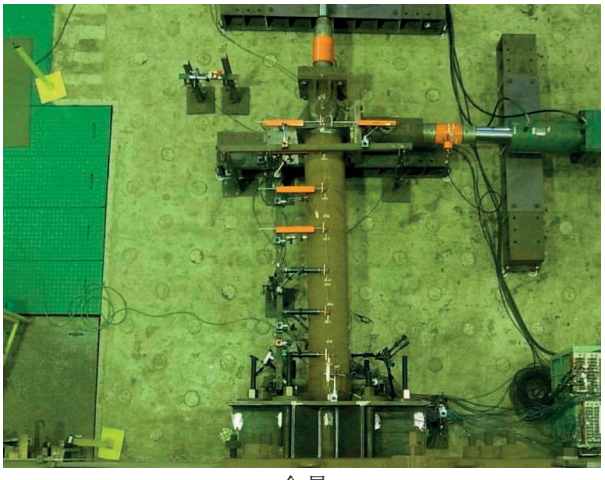


全景

$-4\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



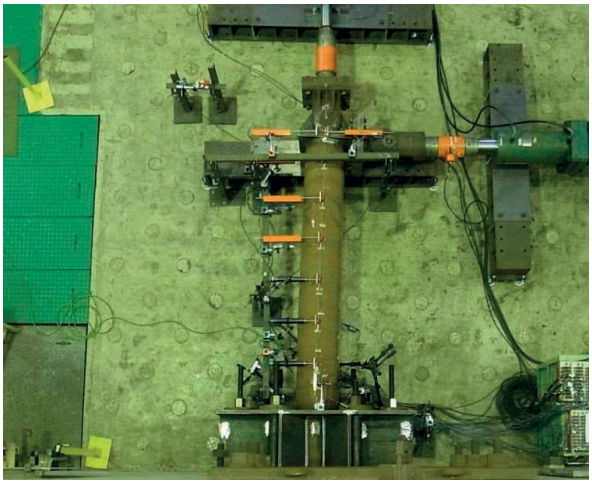
全景

$+5\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）（つづき）

基部（東）

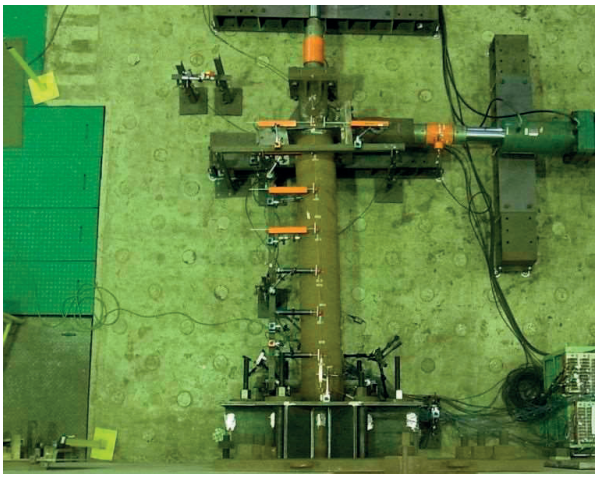


全景

$-5\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

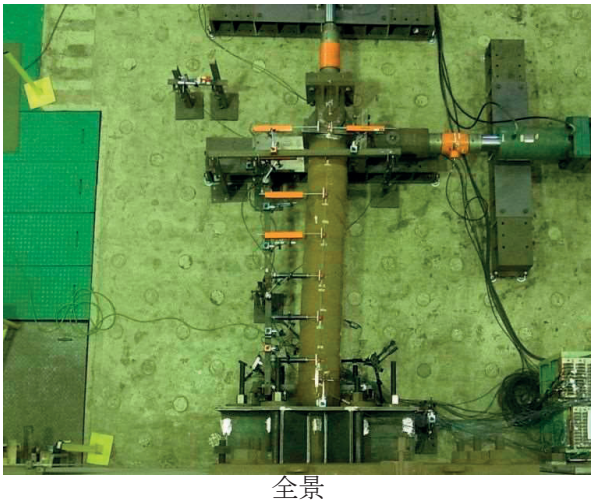


全景

$+6\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



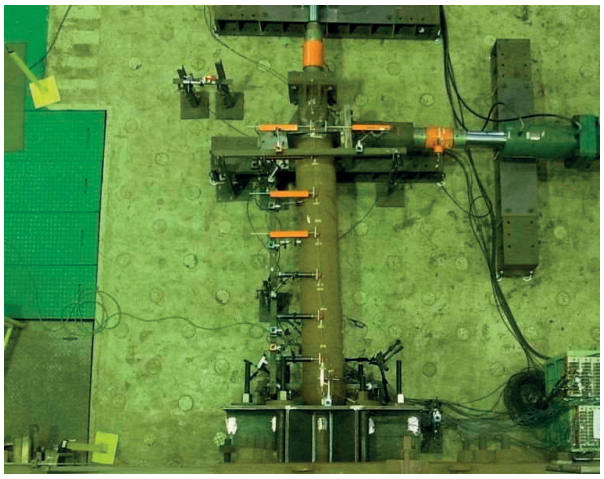
全景

$-6\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）（つづき）

基部（東）

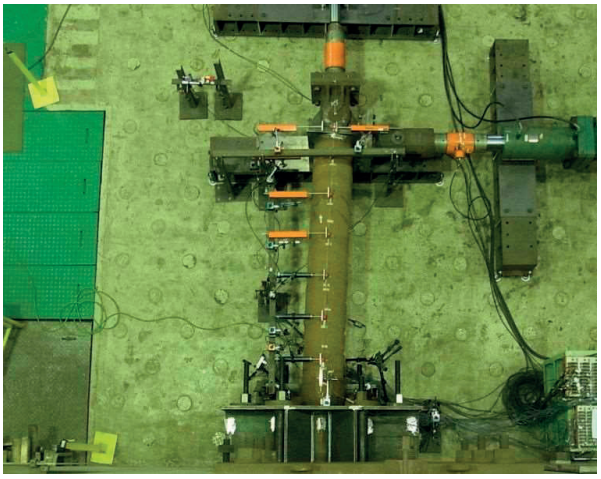


全景

$+7\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

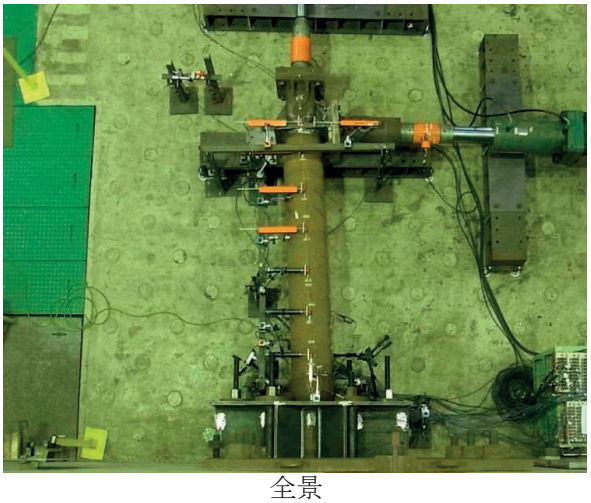


全景

$-7\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



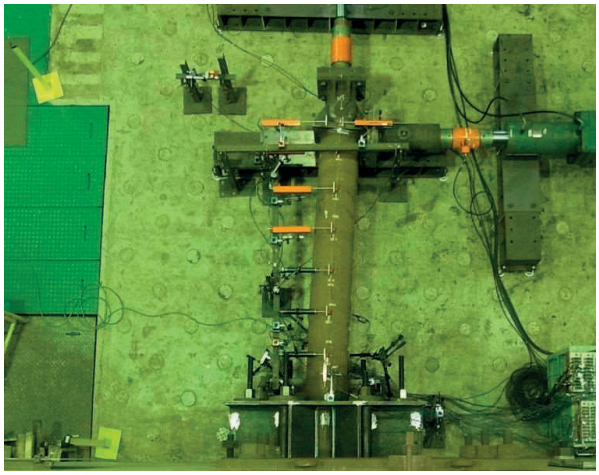
全景

$+8\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）（つづき）

基部（東）

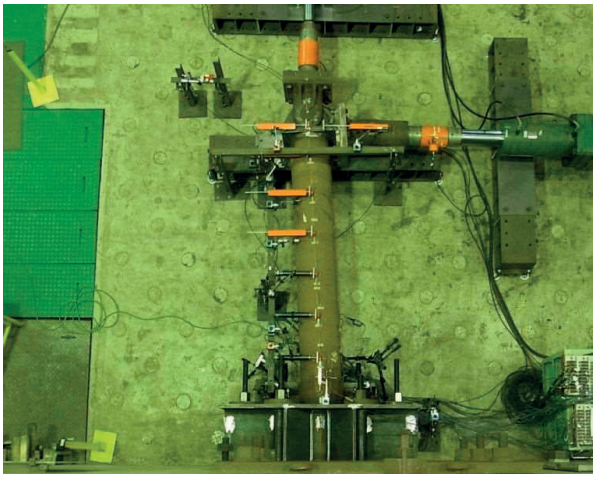


全景

$-8\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

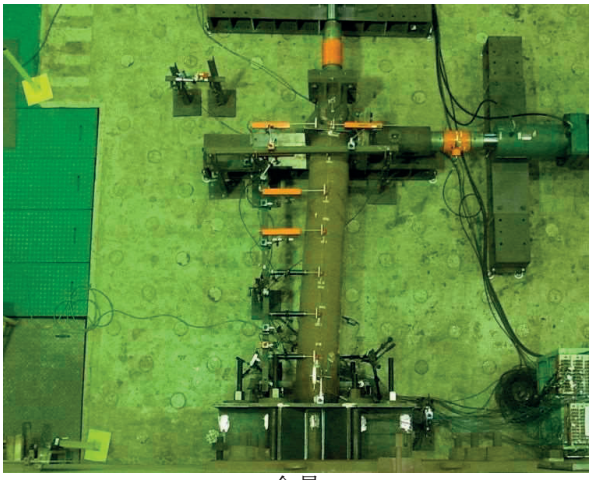


全景

$+9\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



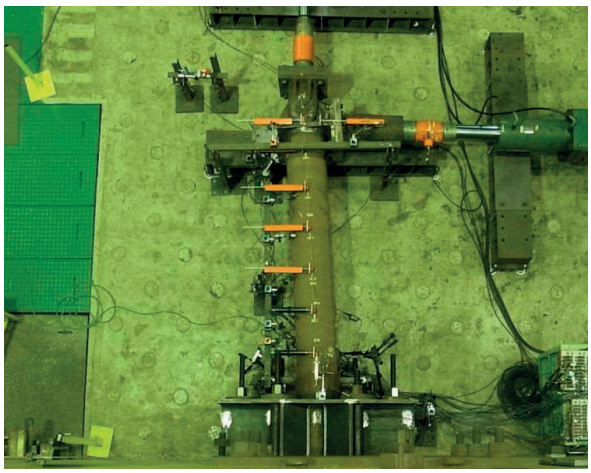
全景

$-9\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）（つづき）

基部（東）

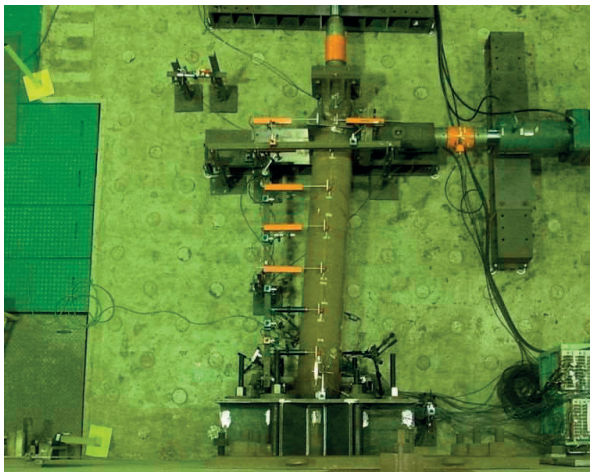


全景

$+10\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）

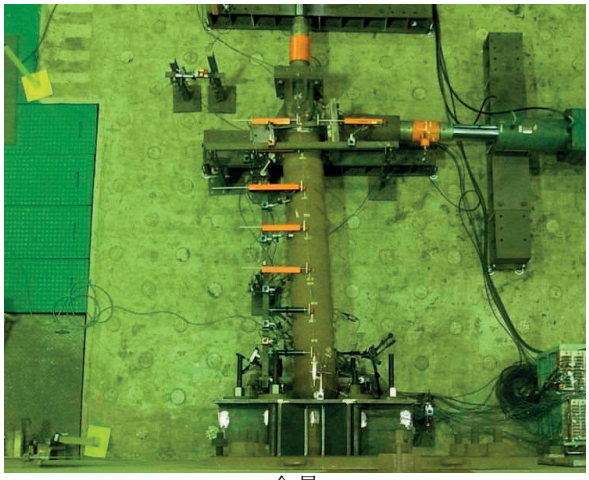


全景

$-10\delta_{yN}$

基部（西）

基部（東）



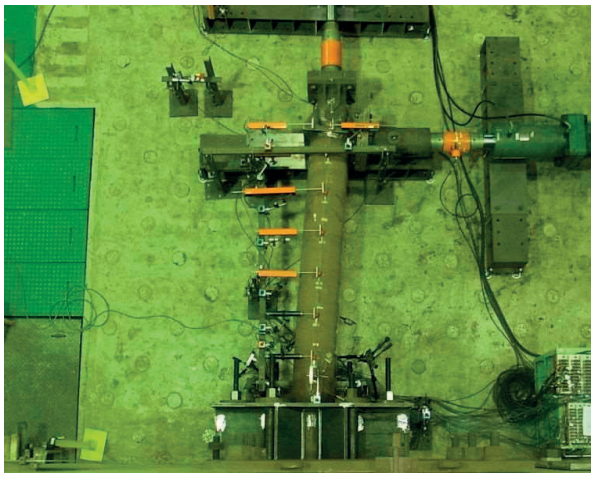
全景

$+11\delta_{yN}$

基部（西）

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1.5-2）（つづき）

基部（東）



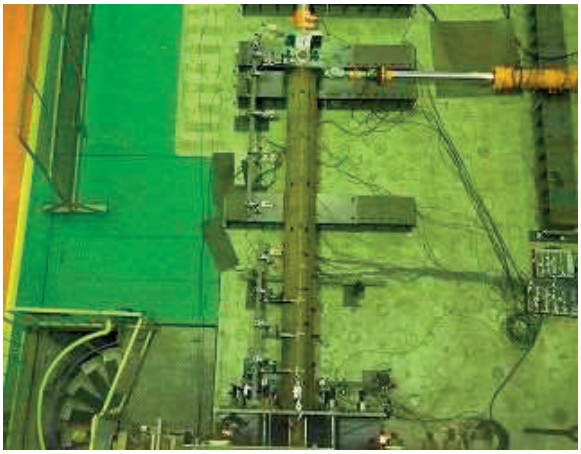
全景

基部（西）

$-11\delta_{yN}$

付図 9 (3)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体1. 5-2）（つづき）

基部（東）

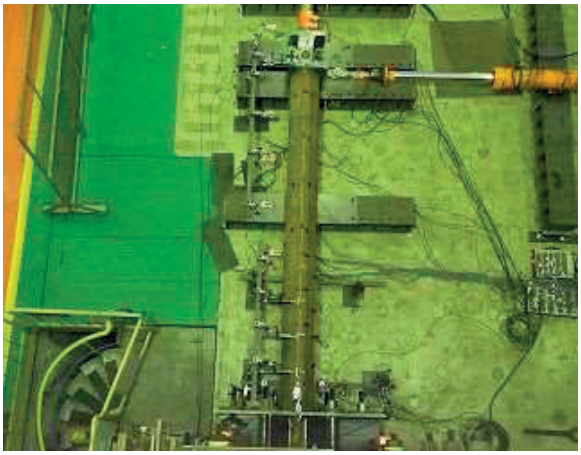


全景

$+0.5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

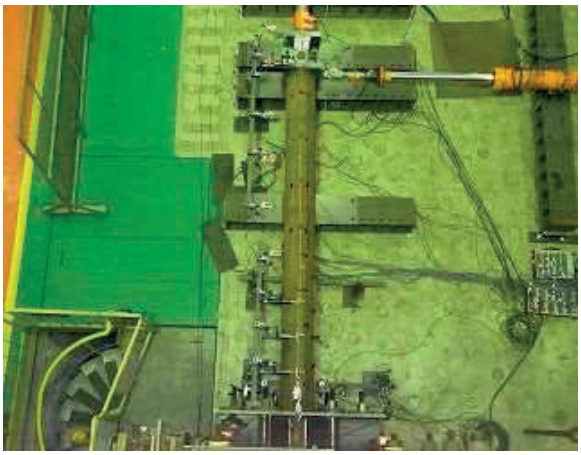


全景

$-0.5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



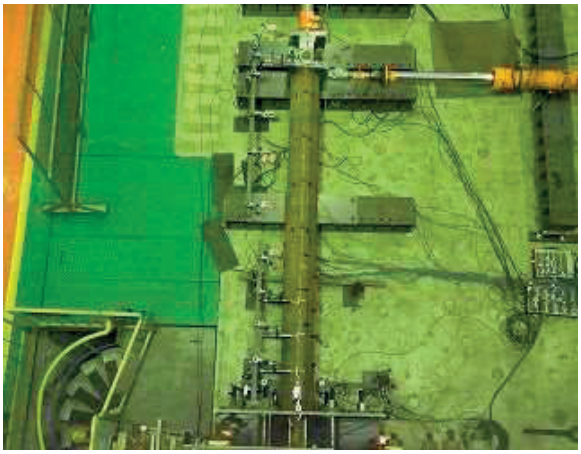
全景

$+1\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (4)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-1）

基部（東）

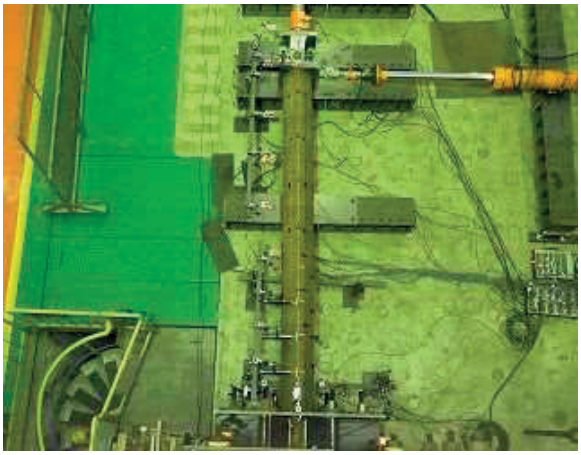


全景

$-1\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

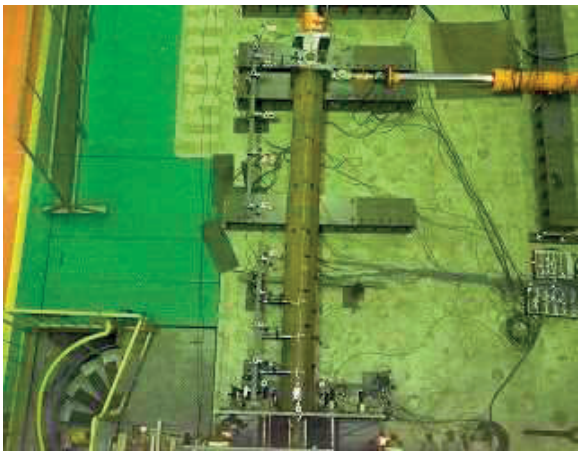


全景

$+2\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



全景

$-2\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (4)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-1）（つづき）

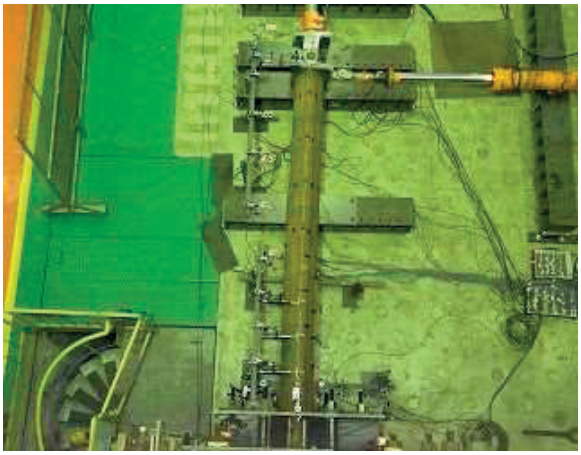
基部（東）

全景

$+3\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

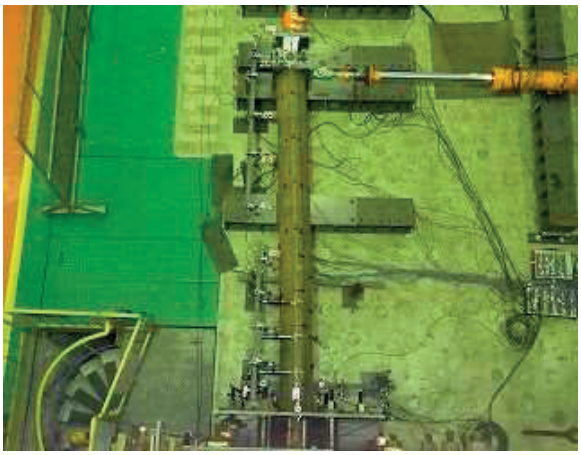


全景

$-3\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



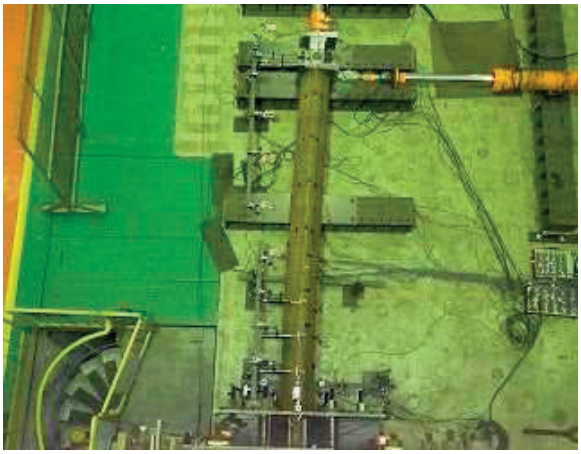
全景

$+4\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (4)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-1）（つづき）

基部（東）

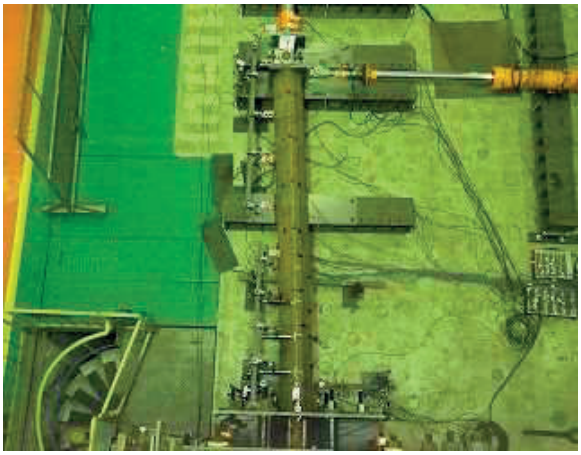


全景

$-4\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

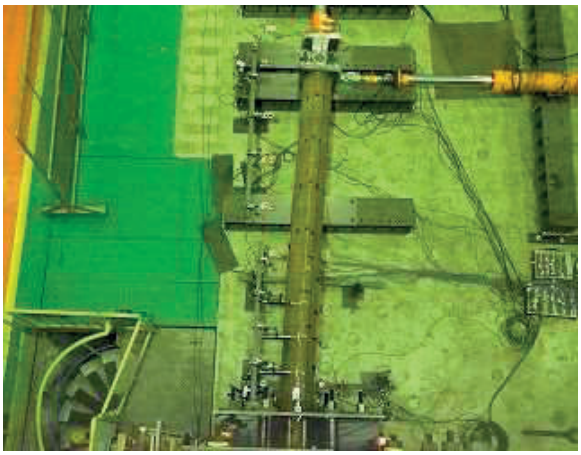


全景

$+5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



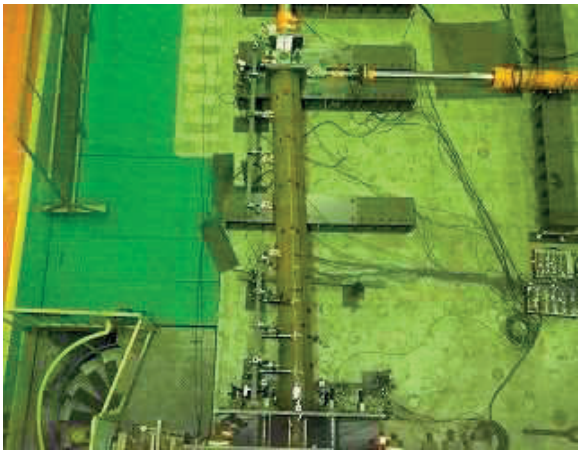
全景

$-5\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (4)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-1）（つづき）

基部（東）

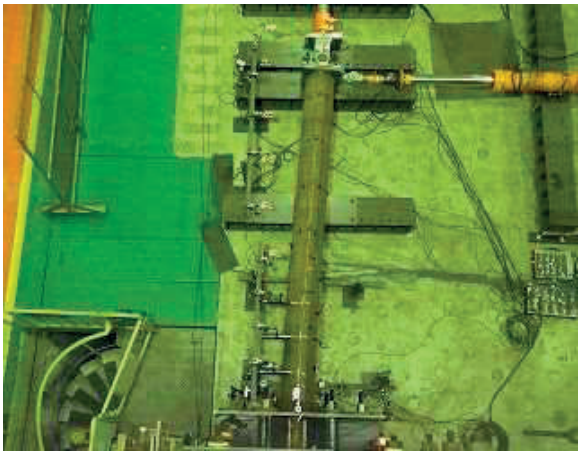


全景

$+6\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

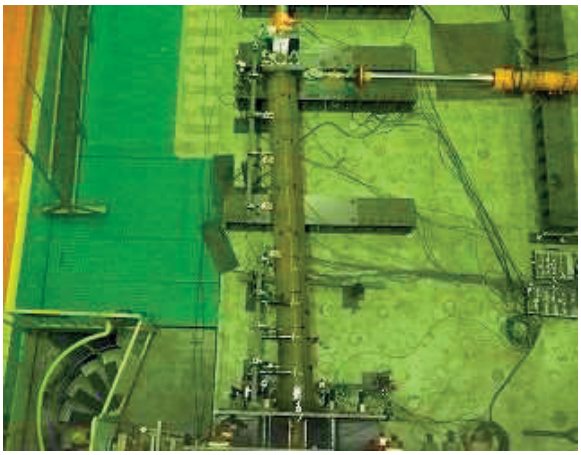


全景

$-6\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



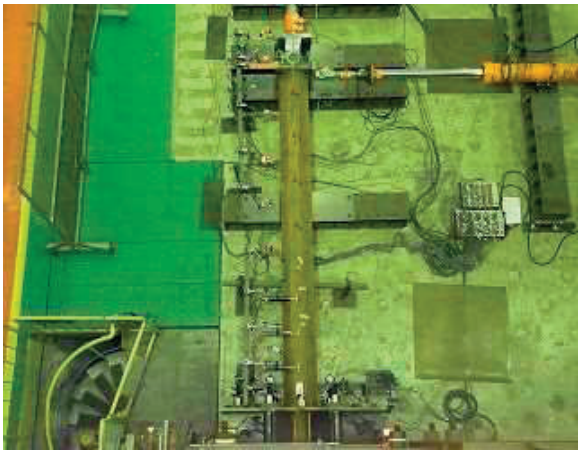
全景

$+7\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (4)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-1）（つづき）

基部（東）

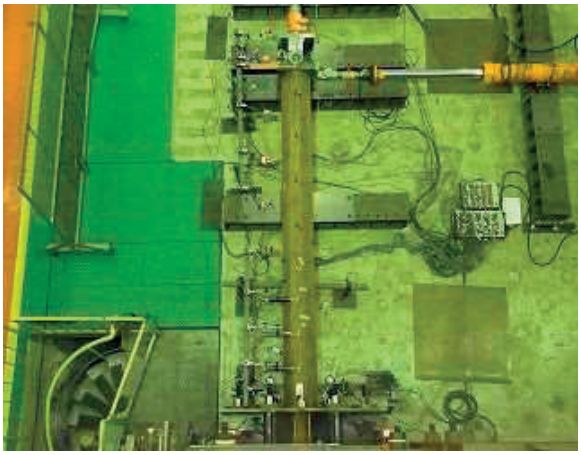


全景

$+0.5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

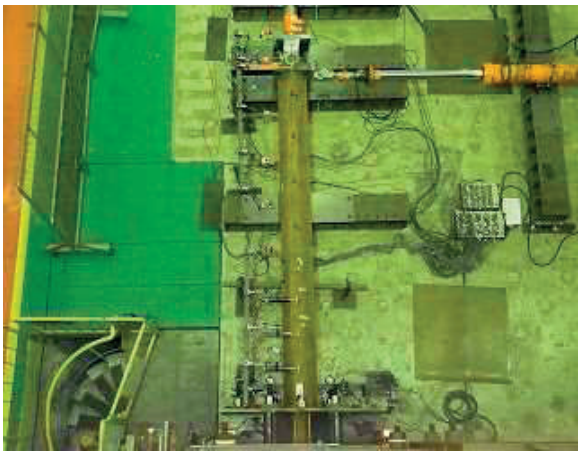


全景

$-0.5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



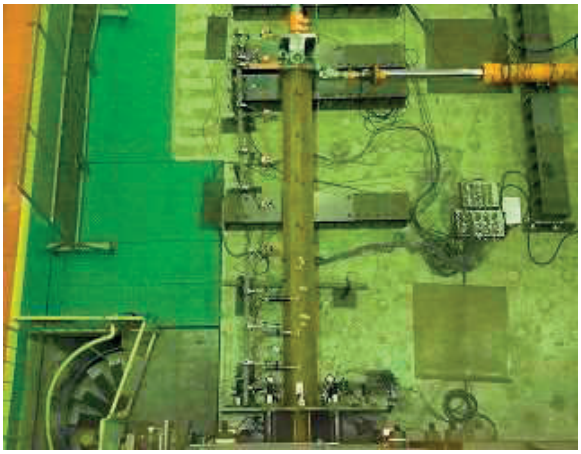
全景

$+1\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (5)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-2）

基部（東）

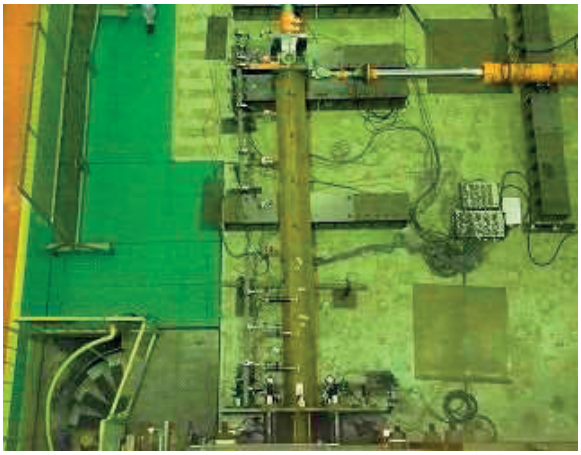


全景

$-1\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

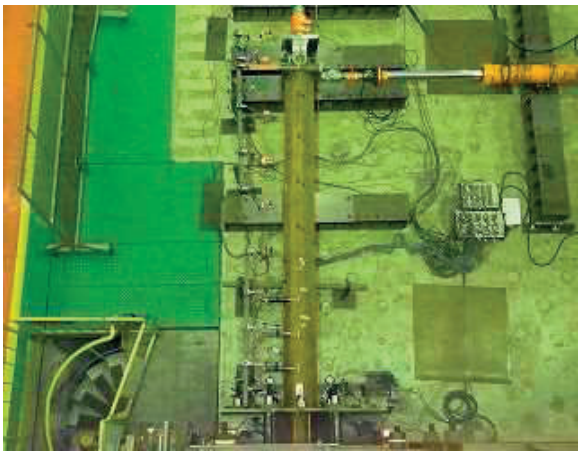


全景

$+2\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



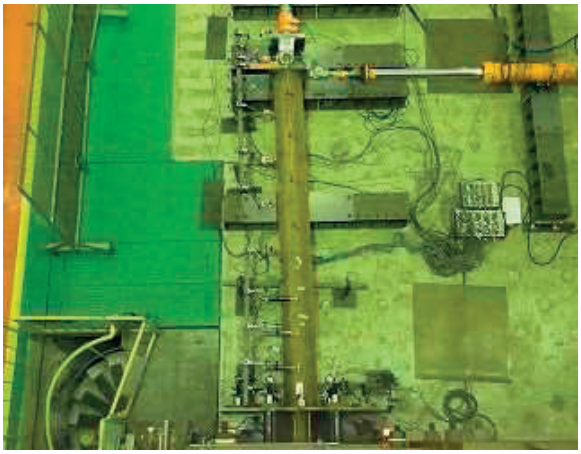
全景

$-2\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (5)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-2）（つづき）

基部（東）

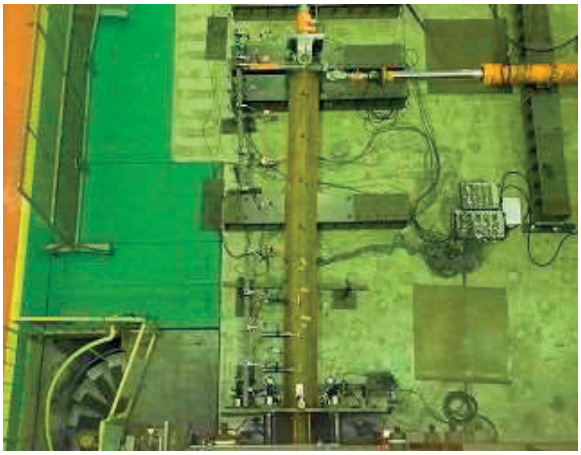


全景

$+3\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

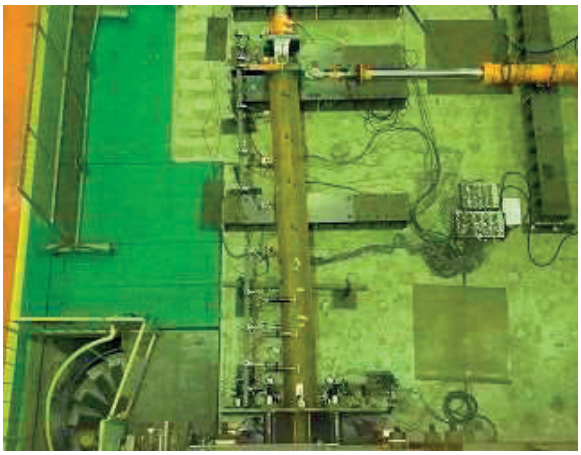


全景

$-3\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



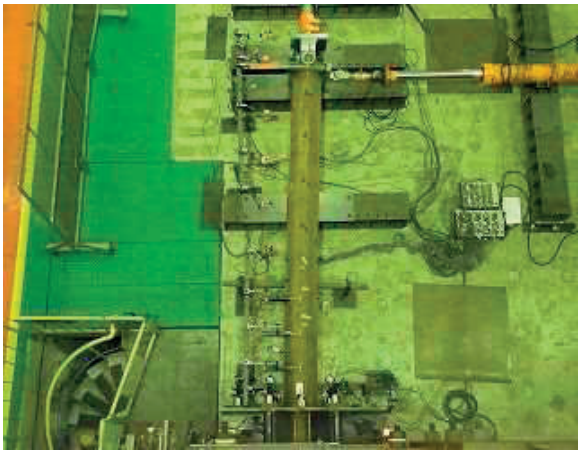
全景

$+4\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (5)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-2）（つづき）

基部（東）



全景

$-4\delta_{0N}$

基部（西）

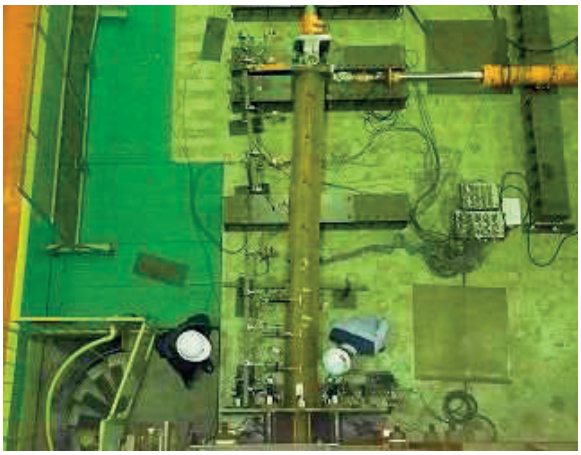
基部（東）

全景

$+5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



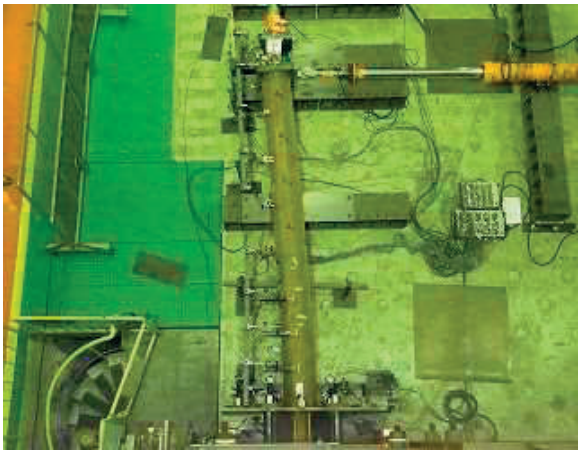
全景

$-5\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (5)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-2）（つづき）

基部（東）

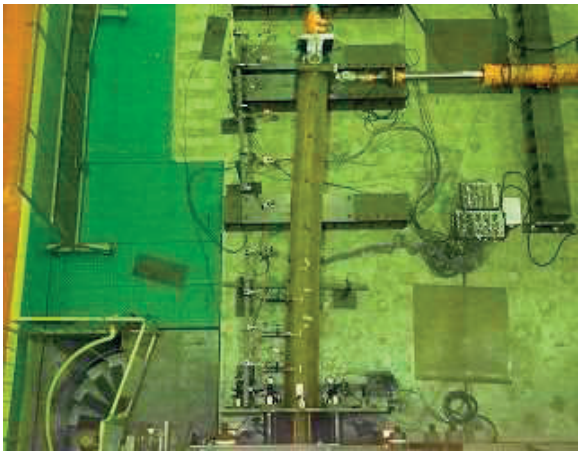


全景

$+6\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

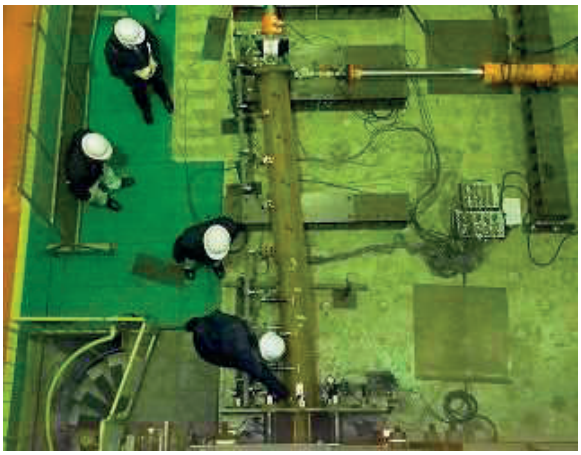


全景

$-6\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



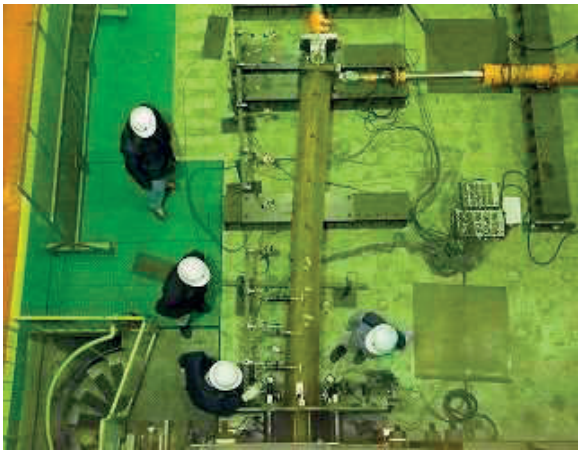
全景

$+7\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (5)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-2）（つづき）

基部（東）

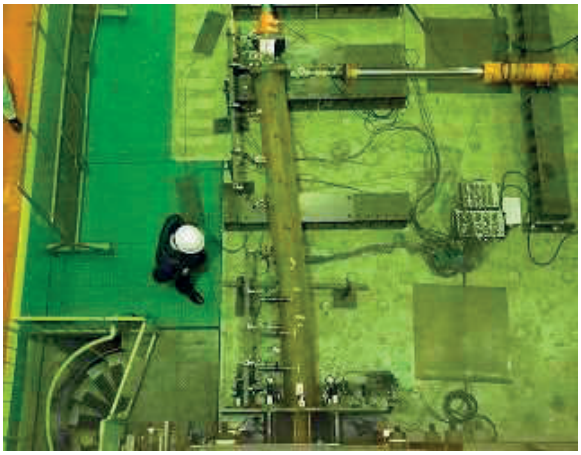


全景

$-7\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

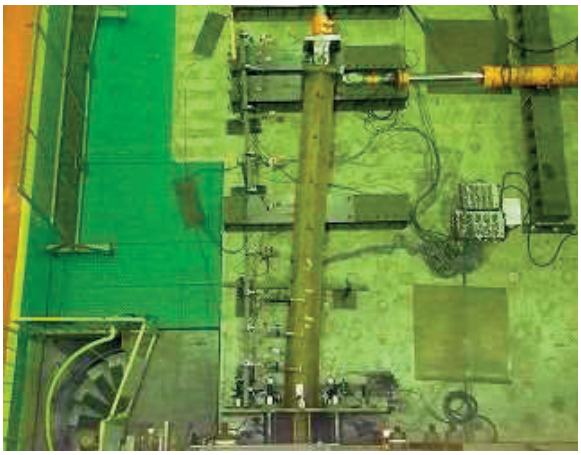


全景

$+8\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



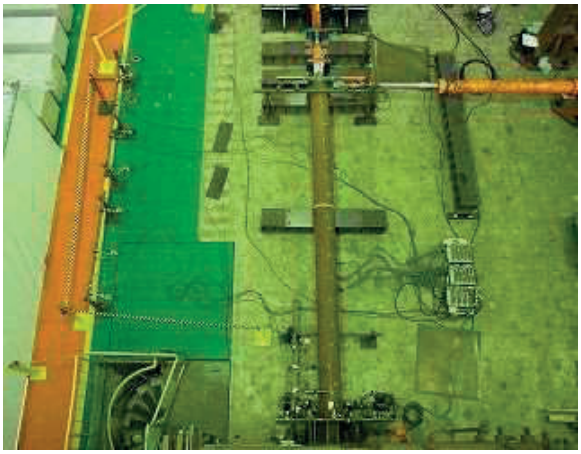
全景

$-8\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (5)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体2-2）（つづき）

基部（東）

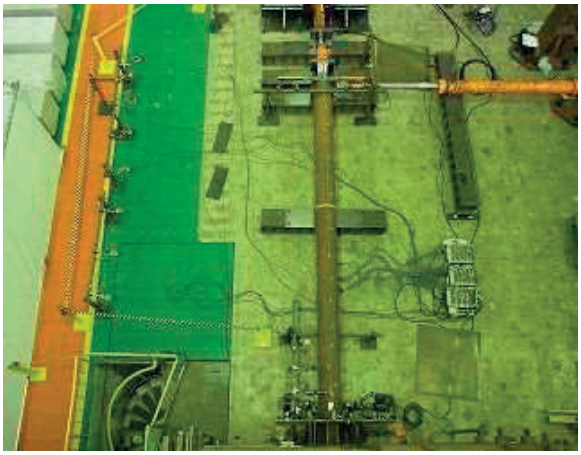


全景

$+0.5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

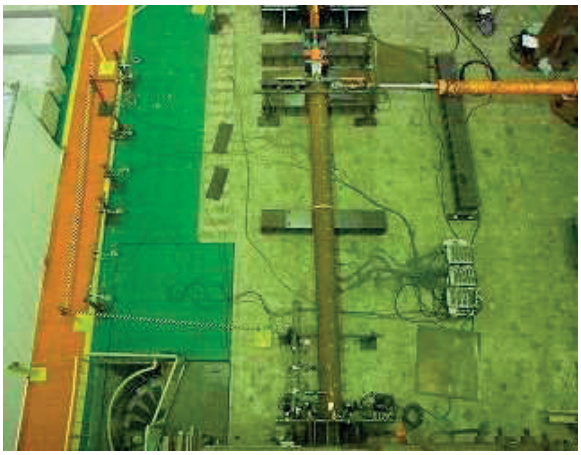


全景

$-0.5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



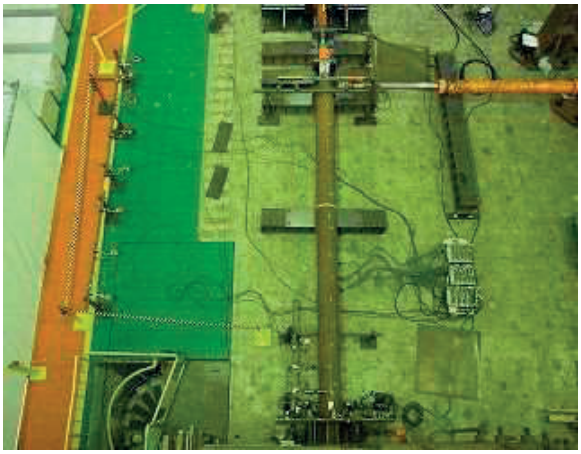
全景

$+1\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (6)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体3-1）

基部（東）

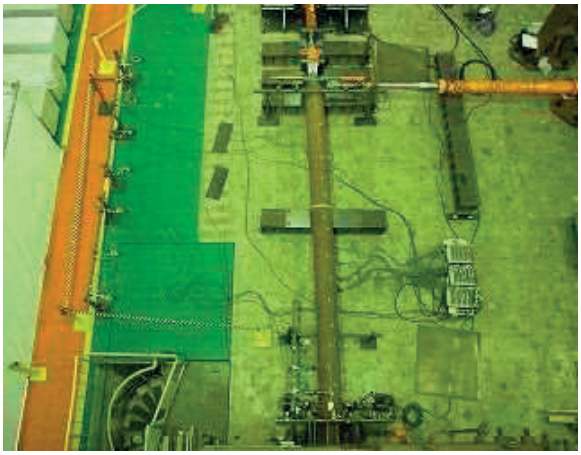


全景

$-1\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

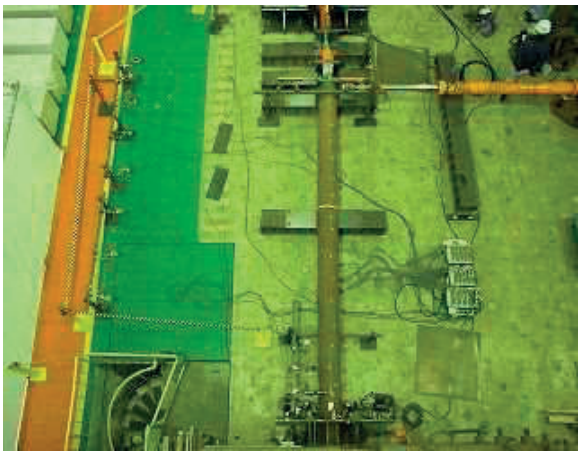


全景

$+2\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



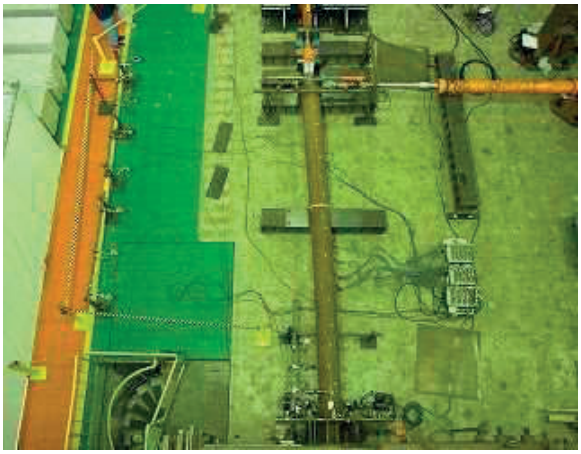
全景

$-2\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (6)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体3-1）（つづき）

基部（東）

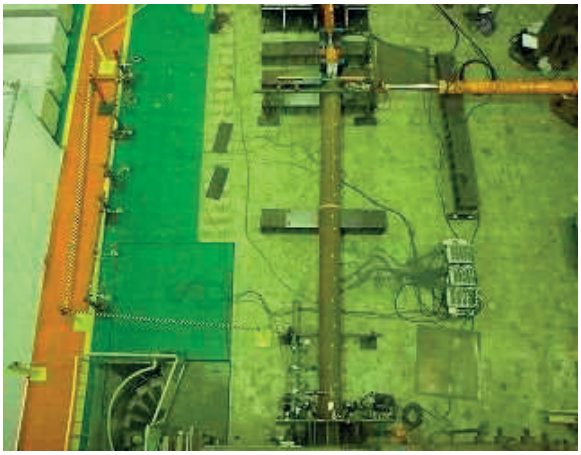


全景

$+3\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

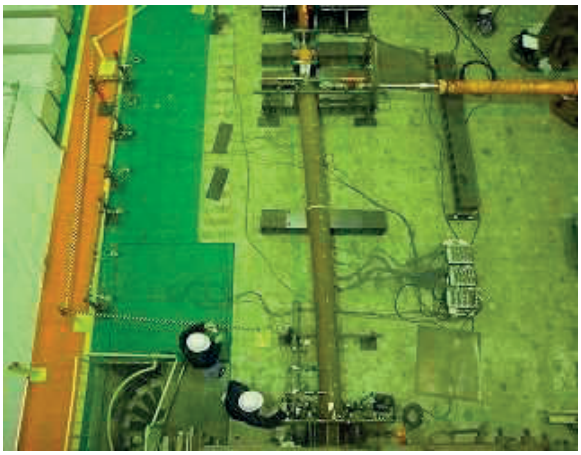


全景

$-3\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



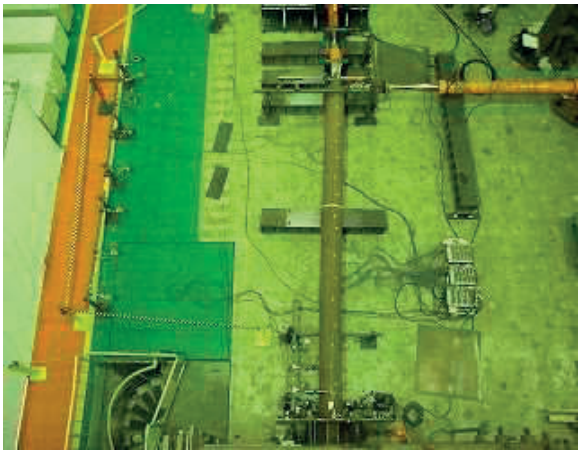
全景

$+4\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (6)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体3-1）（つづき）

基部（東）

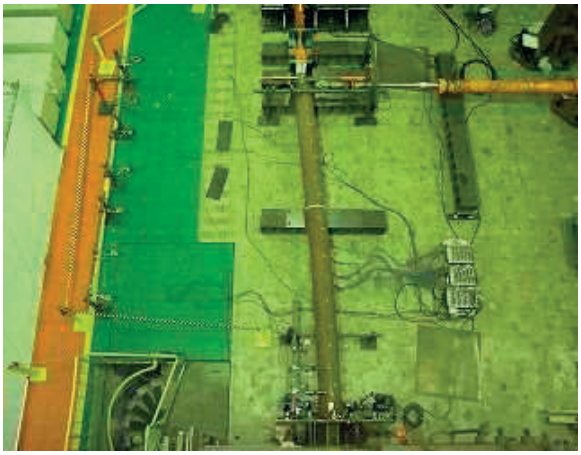


全景

$-4\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

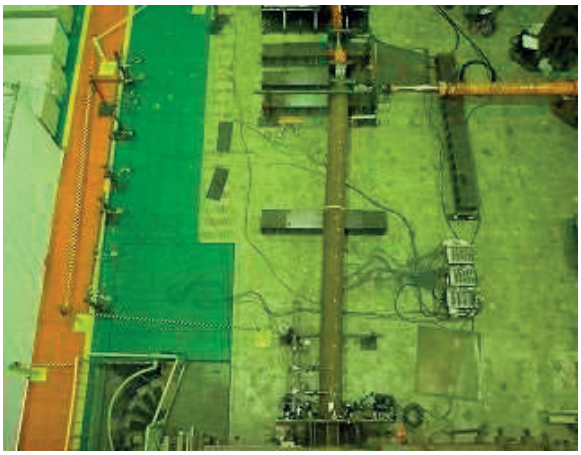


全景

$+5\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



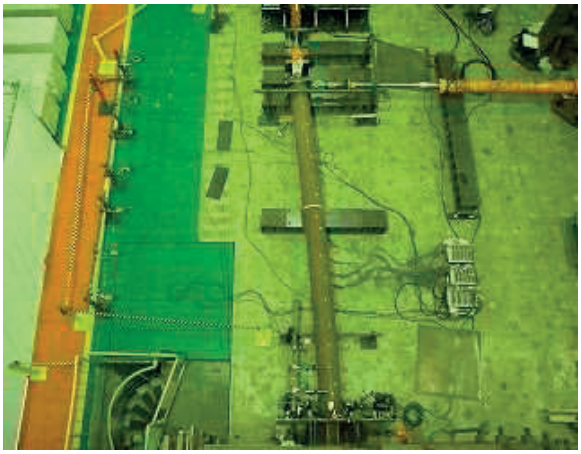
全景

$-5\delta_{0N}$

基部（西）

付図 9 (6)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体3-1）（つづき）

基部（東）

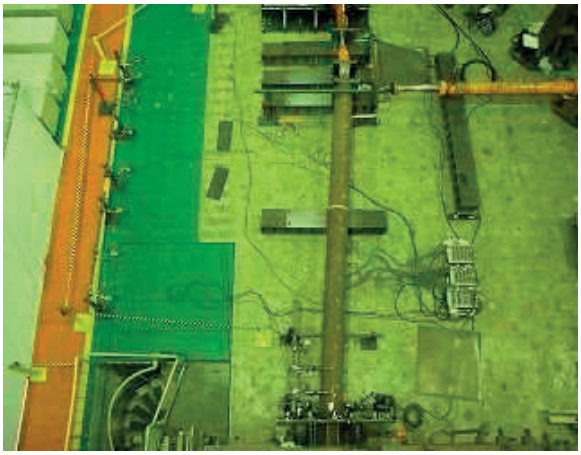


全景

$+6\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）

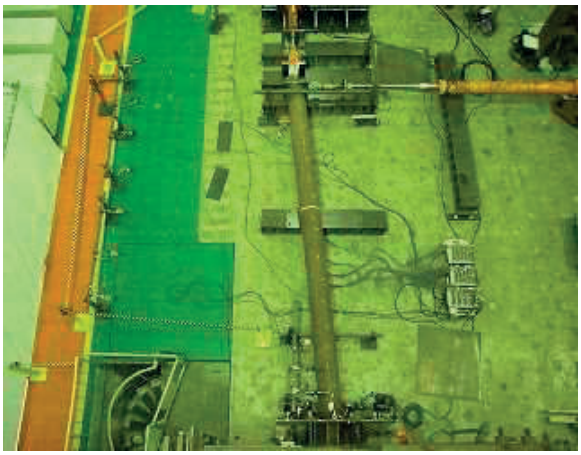


全景

$-6\delta_{0N}$

基部（西）

基部（東）



全景

$+7\delta_{0N}$

基部（西）

付図9 (6)　各ループ最大時の全景と基部状況（供試体3-1）（つづき）

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.500 September 2018

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754