

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の 耐久性向上技術に関する共同研究報告書

令和6年3月

国立研究開発法人土木研究所

大成建設株式会社

カナフレックスコーポレーション株式会社

J-ティフコム施工協会

株式会社エスイー

鹿島建設株式会社

Copyright © (2024) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は, 国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである. したがって, 本報告書の全部又は一部の転載, 複製は, 国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない.

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の 耐久性向上技術に関する共同研究報告書

国立研究開発法人土木研究所

大成建設株式会社

カナフレックスコーポレーション株式会社

J-ティフコム施工協会

株式会社エスイー

鹿島建設株式会社

要旨

劣化した道路橋鉄筋コンクリート床版の更新や補修のニーズが高まっている。本共同研究では、新技術導入促進の観点から、新たに開発されている短繊維補強コンクリート（FRC）を用いることを想定した上で、床版の更新技術と上面補修技術について検討を行った。更新技術の検討では、プレキャスト床版の接合部界面における路面水浸入を防ぐことが耐久性向上の点で重要と考え、実験的検討により、その照査方法の試案を提示するとともに、プレキャスト床版接合部の開発における改善の方向性をまとめた。また、上面補修技術の検討では、補修箇所の早期再劣化を改善するため、構造的な視点から打継目付近の挙動に着目した実験を行い、適用する際の留意点をまとめるとともに、橋面全面を対象に上面補修することの利点についてまとめた。本報告では、それらについて第I編にまとめるとともに、各種の試験結果を第II編～第IV編にとりまとめた。

キーワード：短繊維補強コンクリート、プレキャスト床版、接合部、（床版の）上面補修、打継目、
輪荷重走行試験、水張り、塩水

共同研究者名簿

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 (CAESAR)

上席研究員	上仙 靖	(2022年3月まで)
上席研究員	石田 雅博	(2022年4月より)
総括主任研究員	田中 良樹	
交流研究員	夏堀 格	(2020年2月より)

先端材料資源研究センター (iMaRRC)

上席研究員	古賀 裕久	
主任研究員	櫻庭 浩樹	
研究員	小沢 拓弥	(2022年4月より CAESAR 併任)

大成建設株式会社

技術センター 社会基盤技術研究部

室長	武者 浩透	
次長	堀口 賢一	
次長	橋本 理	
課長代理	竹山 忠臣	(2022年9月より)
室長	畑 明仁	
課長	村田 裕志	

土木本部 土木技術部

部長 (担当)	細谷 学	
次長	大島 邦裕	

大成ロテック(株) 技術研究所

部長	越川 喜孝	
----	-------	--

カナフレックスコーポレーション株式会社

テクニカルセンター

課長	宮崎 健次朗	
課長代理	吉本 昌弘	
	中川 裕友	

J-ティフコム施工協会

技術委員長		三田村 浩	
施工部会	施工部会長	馬場 弘毅	
事務局		植田 健介	
技術委員		今野 久志	(2022年4月より)

株式会社エスイー

ESCON 技術開発部

部長	野澤 忠明
部長代理	中村 慶一
担当部長	小室 光治
	小林 裕貴
東京支店	
支店長	中井 督介

鹿島建設株式会社

土木設計本部 構造設計部

設計長	藤代 勝
担当部長	南 浩郎

技術研究所 土木構造グループ

担当部長	一宮 利通
------	-------

技術研究所 土木材料グループ

主任研究員	渡邊 有寿
-------	-------

土木管理本部 プロジェクト推進部

部長	田中 啓之
----	-------

土木管理本部 土木技術部リニューアルグループ

グループ長	新井 崇裕
-------	-------

土木設計本部 構造設計部橋梁・インフラ更新グループ

黄 少奇	(2022年12月より)
------	--------------

注) 参加者順序は応募順.

はじめに

国内の道路橋鉄筋コンクリート（RC）床版においては、これまで重車両の繰返し走行による疲労劣化が主たる劣化損傷と考えられてきた。しかし、近年では、凍結防止剤の使用量増加に伴う鉄筋腐食の事例、床版内部のコンクリートに多数の水平ひび割れが生じる事例や、アスファルト舗装下で床版上面のコンクリートに土砂化が生じる事例が報告されており、劣化形態が多様化している。特に、床版上面の土砂化は、路面からの水や凍結防止剤の散布による塩水の浸入が関係していると考えられるが、劣化機構や損傷過程のいずれも明らかになっていない。また、これらの劣化により損傷した床版では、補修後に比較的早期に再劣化する事例も見られることから、更新・補修技術へのニーズが高まっている。

これに対し、近年、各種の繊維を用いた短繊維補強コンクリート（FRC）が開発されており、このような新しい材料を用いた更新・補修技術の提案もある。しかし、これらの新しい材料を用いた更新・補修技術の有効性については、十分には明確でない点もある。例えば、土砂化等で著しく劣化した床版の更新ではプレキャスト床版が用いられるが、耐久性を確保する上では、その床版同士の接合部界面が重要であり、この界面への路面水の浸入に対する抵抗性を評価する手法が求められる。また、従来から、疲労により劣化した床版においては、対策の一つとして鋼繊維補強コンクリート（SFRC）を用いた RC 床版の上面増厚工法が適用された事例が見られるが、目地等からの路面水の浸入の影響によって、目地の角部の損傷や補修材全体の浮きなどが生じて、必ずしも補修効果が発揮できていない事例が見られる¹⁾²⁾。このことは、SFRC 以外の補修材を用いた上面補修の場合も同様の傾向である³⁾⁴⁾。これらの点を改善するためには、改めて道路橋 RC 床版の上面補修時に考慮しておくべき項目を構造的な視点から検討するとともに、新たな FRC の適用性も視野に入れて、補修工法や材料の妥当性を確認するための試験方法や判定しきい値を検討する手法が求められる。

これらの検討に先立ち、土木研究所では、2020 年度に、材料開発やそれを用いた床版の開発が活発な FRC を取り上げて、FRC を用いた橋梁床版の耐久性向上技術に関する共同研究の参加者を公募した。その結果、大成建設（株）*[†]、カナフレックスコーポレーション（株）*、J-ティフコム施工協会[†]、（株）エスイー*[†]及び鹿島建設（株）*[†]の 5 者と 3 箇年にわたって共同研究を行うこととした。各者はそれぞれ異なる FRC を有しており、*印を付した 4 者は道路橋に用いる FRC プレキャスト床版の開発を行っており、また[†]印を付した 4 者は既設道路橋の FRC を用いた上面補修工法の開発を行っている。本共同研究では、両技術について更新 WG 及び補修 WG でそれぞれ検討することとした。

更新 WG では、輪荷重の走行下で生じ得る負曲げによって、接合部に路面水の浸入が生じて耐久性に悪影響を与えうる点について検討するため、各者で開発している FRC プレキャスト床版をモデルとした接合部を有する床版供試体 3 体を作製して、水張り下での輪荷重走行試験を行った⁵⁾。また、接合部の開発や設計に参考にできるような路面水浸入に対する抵抗性の簡易な照査方法を検討するため、プレキャスト床版と同様の接合部を有する供試体 12 体を用いて、負曲げでの静的曲げ試験を行った⁵⁾⁶⁾。これらの結果を踏まえて、接合部の路面水の浸入に対する抵抗性を照査する方法の試案を提示する。さらに、これらの検討で得られた知見を踏まえて、接合部の改善の方向性について述べる。

補修 WG では、RC 床版を模擬した供試体 10 体を製作し、その上面にそれぞれ 3 種類の表面処理の条件で各 FRC 補修材を施工することで、初期の収縮を含めて打継目や母材との付着性状を調査した。また、床版上面補修における基礎的な検討として、弾性床と見なせる厚いコンクリート版に部分的な上面補修を施した供試体 1 体を用いて、輪荷重下における補修材の挙動や母材との界面の挙動を把握するための輪荷重走行試験を行った⁷⁾。さらに、部分的に FRC の補修材で上面補修されたはり供試体 4 体の負曲げ試験を行った⁸⁾。それらの結果を踏まえて、打継目の設計の考え方と上面補修の改善の方向性を提示する。

以上のほか、本共同研究では、共通試験として、各 FRC を用いた 20 体の塩水凍結融解抵抗性試験⁹⁾及び既往の試験方法¹⁰⁾を参考にして 82 体の直接引張試験を行った¹¹⁾。

本報告書は IV 編で構成され、第 I 編では、第 II 編から第 IV 編に示す試験結果を踏まえて得られた知見をまとめて述べる。第 II 編は共通試験の結果、第 III 編は更新 WG で実施した試験の結果、第 IV 編は補修 WG で実施した試験の結果をそれぞれ示す。本報告書の概要と構成を図-1 に示す。

[第I編] FRCの道路橋床版への適用における路面水浸入に対する配慮の検討

プレキャスト床版の接合部における路面水浸入に対する抵抗性を照査する方法の試案を提示するとともに、打継目の設計の考え方と上面補修の改善の方向性を提示した。

[第II編] 共通試験報告

- 各者のFRCについて、塩水凍結融解抵抗性試験及び直接引張試験の結果をまとめた。
- リブ付きのFRCプレキャスト床版から試料を切り出し、鋼繊維の配向性調査の結果をまとめた。

[第III編] 接合部を有するFRCプレキャスト床版の試験報告

- 各者で開発しているFRCプレキャスト床版をモデルとした接合部を有する床版供試体を用いて、水張り下での輪荷重走行試験の結果をまとめた。
- FRCプレキャスト床版と同様の接合部を有するはり供試体を用いて、負曲げでの静的曲げ試験の結果をまとめた。
- FRCプレキャスト床版の接合部の改善に関する検討結果をまとめた。

[第IV編] コンクリート床版の上面補修に関する試験報告

- 各者のFRC補修材による上面補修を模擬した床版供試体を用いて、屋外暴露試験の結果をまとめた。
- 弾性床と見なせる厚い版に部分的な上面補修を模擬した供試体を用いて、輪荷重走行試験の結果をまとめた。
- 部分的にFRCの補修材で上面補修されたはり供試体を用いて、負曲げでの静的曲げ試験の結果をまとめた。

図-1 報告書の構成と概要

参考文献

- 1) 長谷俊彦, 和田圭仙, 後藤昭彦: 上面増厚床版における劣化要因の検証と耐久性向上対策の検討, コンクリート工学, Vol. 50, No. 3, pp. 245-253, 2012.
- 2) 道路橋床版の複合劣化に関する調査研究小委員会: 道路橋床版の維持管理マニュアル 2016, 鋼構造シリーズ 27, 土木学会, 2016.
- 3) 国土交通省道路局国道・技術課, 国土技術政策総合研究所, 東北地方整備局, 北陸地方整備局, 中部地方整備局, 九州地方整備局, 北海道開発局, 国立研究開発法人土木研究所: 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究, 土木研究所資料, 第 4398 号, 2020.3
- 4) AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究, 点検 AI (床版の土砂化等) 開発グループ: AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究報告書 (II-2) -レーダを用いた床版上面の劣化調査, 国道 210 号山ノ釣橋一, 土木研究所共同研究報告書, No. 552, 2022.3.
- 5) 橋本理, 堀口賢一: 負曲げを受ける UFC プレキャスト床版接合部の挙動に関する実験的検討, 第 77 回土木学会年次学術講演会概要集, V-583, 2022.
- 6) 藤代勝, 一宮利通, 永井勇輔, 黄小奇: UFC 床版橋における軸方向接合部の構造性能に関する実験的検討, 第 77 回土木学会年次学術講演会概要集, I-242, 2022.
- 7) 小沢拓弥, 田中良樹, 古賀裕久, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の上面補修界面における開口挙動, コンクリート工学年次論文集, 44-2, pp. 295-300, 2022.
- 8) 小沢拓弥, 田中良樹, 古賀裕久, 石田雅博: 負曲げを受ける RC 床版の上面補修界面の挙動に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, 45-2, pp. 271-276, 2023.
- 9) 小沢拓弥, 櫻庭浩樹, 古賀裕久: 超高強度繊維補強コンクリートの塩分環境下における凍結融解抵抗性, 第 77 回土木学会年次学術講演会概要集, V-223, 2022.
- 10) 牧田通, 北川寛和, 横田祐起, 本田智昭, 一宮利通: 直接引張試験による UHPFRC の引張特性に関する研究, 第 72 回土木学会年次学術講演会概要集, V-542, 2017.9.
- 11) 夏堀格, 田中良樹, 上仙靖, 小沢拓弥, 古賀裕久: 各種短繊維補強コンクリートの直接引張試験, 第 77 回土木学会年次学術講演会概要集, V-228, 2022.9.

目 次

[第 I 編] FRC の道路橋床版への適用における路面水浸入に対する配慮の検討

1. 研究の背景	1
1.1 道路橋 RC 床版の劣化の多様化	1
1.2 プレキャスト床版の接合部	3
1.3 RC 床版の上面補修	6
2. プレキャスト床版の負曲げ挙動と接合部の路面水浸入に対する照査法の検討	8
2.1 接合部を有する FRC プレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験	8
2.1.1 概要	8
2.1.2 主な結果	10
2.2 接合部を有する FRC はりの負曲げ試験	14
2.2.1 概要	14
2.2.2 はり供試体の共通ルール	16
2.2.3 たわみ, 曲率の計算	18
2.2.4 主な結果	20
2.3 接合部の路面水浸入に対する照査法 (試案)	23
2.3.1 路面水浸入に対する接合部の照査	23
2.3.2 接合部照査のためのはり試験	23
2.3.3 接合部照査のための輪荷重走行試験	24
2.4 接合部の改善の方向性	25
2.4.1 接合部の版としての連続性の確保	25
2.4.2 FRC 接合部の付着と繊維の連続性の確保	25
3. 床版上面補修における構造設計の可能性	27
3.1 界面の開口挙動	27
3.2 照査方法のイメージ	28
3.3 上面補修の配慮事項	31
3.4 橋面全面を対象とした上面補修のメリット	32
4. まとめ	36
参考文献	39

[第 II 編] 共通試験報告

1. 塩水凍結融解抵抗性試験	1
1.1 概要	1
1.2 試験方法	1

1.2.1	配合と養生条件	1
1.2.2	圧縮強度	3
1.2.3	凍結融解試験	3
1.3	試験結果	5
1.3.1	相対動弾性係数	5
1.3.2	質量減少率	5
1.3.3	外観の様子	5
1.3.4	考察	19
1.4	まとめ	20
2.	直接引張試験	21
2.1	概要	21
2.2	試験方法	21
2.2.1	測定方法	21
2.2.2	荷重方法及び荷重速度	22
2.3	試験結果	23
2.3.1	接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験の供試体	23
2.3.2	プレキャスト床版接合部の負曲げ荷重試験の供試体	36
2.3.3	上面補修のはり試験の供試体	46
2.3.4	予備供試体	48
2.4	試験法の改善点	55
2.4.1	引張軟化曲線の測定方法	55
2.4.2	変断面部の形状と応力集中	57
2.4.3	変断面部を考慮したひずみの数値補正	58
2.5	まとめ	59
3.	配向性調査	60
3.1	概要	60
3.2	試験片の切り出し	60
3.3	曲げ試験	63
3.3.1	試験方法	63
3.3.2	試験結果	66
3.3.3	考察	71
3.4	X線CT画像	73
3.4.1	試験方法	73
3.4.2	試験結果	75
3.4.3	考察	80
3.5	まとめ	81

付属資料II-1 直接引張試験用供試体の作り方 (案)	83
付属資料II-2 直接引張試験方法 (案)	86

[第 III 編] 接合部を有する FRC プレキャスト床版の試験報告

1. 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験	1
1.1 概要	1
1.2 試験方法	2
1.2.1 供試体	2
1.2.2 荷重方法	14
1.2.3 測定	15
1.3 供試体 TS1 の結果	21
1.3.1 階段荷重における破壊状況	21
1.3.2 版の全体挙動	22
1.3.3 接合部の挙動	23
1.3.4 FEM 解析との比較	24
1.4 供試体 KF1 の結果	30
1.4.1 階段荷重における破壊状況	30
1.4.2 接合部の挙動	31
1.5 供試体 S1 の結果	34
1.5.1 測定結果	34
1.5.2 接合部の挙動	41
1.6 既往研究の再整理 (供試体 KJ の結果)	44
1.6.1 輪荷重走行試験の概要	44
1.6.2 階段荷重における破壊過程	46
1.6.3 接合部の負曲げ挙動	48
1.6.4 接合部の正曲げ挙動	50
1.7 接合部の曲率評価と水の浸入	52
1.7.1 曲率の測定	52
1.7.2 各供試体の曲率の測定結果	54
2. プレキャスト床版接合部の負曲げ荷重試験	62
2.1 概要	62
2.2 試験方法	63
2.2.1 はり試験の基本構成	63
2.2.2 供試体	63
2.2.3 荷重方法	74
2.2.4 測定	74

2.3	供試体 TS1 の結果	77
2.3.1	荷重－変位関係と破壊の過程	77
2.3.2	接合部の挙動	79
2.4	供試体 KF1 の結果	81
2.4.1	荷重－変位関係と破壊の過程	81
2.4.2	接合部の挙動	82
2.5	供試体 S1 の結果	86
2.5.1	荷重－変位関係と破壊の過程	86
2.5.2	接合部の挙動	90
2.5.3	接合部の曲率	96
2.6	供試体 KJ の結果	98
2.6.1	試験結果	98
2.6.2	ファイバーモデルを用いた再現解析	99
2.7	ファイバーモデルによる曲げ挙動の計算	118
2.7.1	概要	118
2.7.2	供試体 TS1	120
2.7.3	供試体 KF1	126
2.7.4	供試体 S1	132
2.7.5	供試体 KJ	136
2.7.6	接合部を有する FRC はりの曲げ挙動に関するファイバーモデルによる計算の留意点	141
2.7.7	プレキャスト部材の接合部の開発におけるファイバーモデルによる計算の活用	144
2.8	FRC 床版の接合部の改善に関する追加検討	145
2.8.1	概要	145
2.8.2	供試体の製作	147
2.8.3	試験方法	153
2.8.4	計算方法	156
2.8.5	試験結果	159
2.8.6	考察	164
付属資料Ⅲ-1	接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験 (KF2)	169
付属資料Ⅲ-2	プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験 (KF2)	177
付属資料Ⅲ-3	接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験 (S2)	185
付属資料Ⅲ-4	プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験 (S2)	209
付属資料Ⅲ-5	プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験 (TS3)	223

[第IV編] コンクリート床版の上面補修に関する試験報告

1. 屋外暴露試験	1
1.1 概要	1
1.2 試験体の製作方法	1
1.2.1 床版模擬供試体と平板試験体	1
1.2.2 DK	4
1.2.3 TS	6
1.2.4 S	9
1.2.5 KJ	12
1.2.6 JT	15
1.2.7 試験体の暴露状況	17
1.3 測定項目	18
1.4 測定結果	20
1.5 今後の試験計画	30
1.6 まとめ	30
2. 補修輪荷重走行試験	31
2.1 概要	31
2.2 試験方法	32
2.2.1 試験ケース	32
2.2.2 供試体の製作	33
2.2.3 荷重方法	37
2.2.4 測定方法	41
2.3 試験結果	43
2.3.1 試験ケース1の結果	44
2.3.2 試験ケース2の結果	46
2.3.3 試験ケース3の結果	48
2.3.4 試験ケース4の結果	50
2.3.5 試験ケース5の結果	52
2.3.6 試験ケース5'の結果	54
2.4 FEM解析	56
2.4.1 モデル化	56
2.4.2 荷重方法	57
2.4.3 FEM解析の結果	58
2.5 開口挙動に関する考察	63
2.5.1 実験と解析結果の整合性	63
2.5.2 荷重位置の影響	64

2.5.3	補修材の影響	65
2.5.4	繰返し载荷の影響	66
2.5.5	水の浸入状況による開口挙動の観察	66
2.5.6	隙間の影響	67
2.5.7	付着の影響	67
2.6	まとめ	68
3.	上面補修はり試験	69
3.1	概要	69
3.2	試験方法	69
3.2.1	供試体の諸元	69
3.2.2	コンクリートの配合, 材料物性値	71
3.2.3	はり供試体の製作	73
3.2.4	载荷及び計測の方法	75
3.3	結果	82
3.3.1	荷重—変位関係	82
3.3.2	界面割れの発生状況や進展状況	87
3.4	界面割れに関する考察	93
3.4.1	鉛直界面の割れ	93
3.4.2	水平界面の応力状態	95
3.4.3	水平界面の割れが生じた理由	98
3.4.4	曲げモーメントと曲率の関係	99
3.5	まとめ	111

[付録] 開発者による繊維補強コンクリート床版の性能説明書

付録-1	超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版 (道路橋用ダクトル PC 床版)	1
付録-2	道路橋床版カナクリート床版 (軽量高強度繊維補強 RC)	33
付録-3	ESCON スラブ	60
付録-4	超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版	95

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の 耐久性向上技術に関する共同研究報告書

第 I 編 FRC の道路橋床版への適用における

路面水浸入に対する配慮の検討

1. 研究の背景－既往の調査と試験事例－

1.1 道路橋 RC 床版の劣化の多様化

国内では、高度経済成長期に多くの道路橋が建設され、一方で大型車交通量が急増する中で、道路橋の RC 床版の疲労による早期劣化が顕在化した¹⁾。当時の RC 床版は、版厚が比較的薄く、配力鉄筋量がかなり少なかったことがその要因として考えられており、また作用環境の面では大型車や過積載車両の増加と路面の水の浸入の影響が考えられた¹⁾。その後、床版に関する規定が数度にわたって改定され、1980 年以降の RC 床版で顕著な疲労の事例は報告されていない。しかし、高度経済成長期に建設された道路橋 RC 床版の多くは、そのままあるいは補修・補強されながら今日も供用されており、それらの効率的な維持管理が重要な課題である。また、1990 年代にスパイクタイヤが規制されて以降、一般道でも凍結防止剤（塩化物）が多量に散布されるようになっており、塩害やコンクリートの土砂化など、疲労に限らず道路橋 RC 床版の劣化形態が多様化している²⁾。

図-1.1.1 に、路面からの水によるコンクリート床版の劣化パターンを概念図で示す³⁾。近年報告が増加している道路橋床版のコンクリートの土砂化は、症状が複数あり、起点となる劣化機構も疲労、塩害、凍害、アルカリシリカ反応（ASR）など橋によっても異なる可能性がある²⁾。いずれの劣化機構の場合も、共通するのは路面からの水の浸入が劣化を誘発するあるいは著しく促進する点である。凍結防止剤が散布されると、路面水の浸入の影響は格段に厳しくなる傾向にある。これらの点から、床版防水が一層重要であるのみならず、床版に路面の水、塩水が到達してしまったとしても、早期に劣化を起こさないような材料や接合構造を床版に用いることは、床版の維持管理において有効であると考えられる。少なくとも土砂化によって床版更新に至った橋では、沿岸部の塩害が厳しい環境で二重三重の対策を行うのと同様に、塩化物の路面水の浸入を想定して、複数の対策を講じておく必要がある。

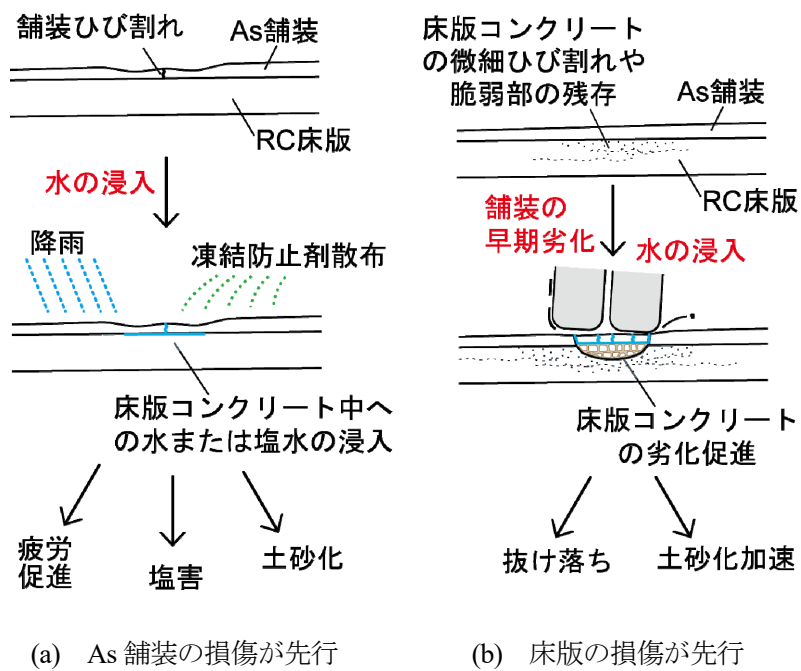


図-1.1.1 路面からの水によるコンクリート床版の劣化パターン（概念図）³⁾

1.2 プレキャスト床版の接合部—負曲げによる路面水浸入の可能性—

道路橋の床版には、主桁上の橋軸直角方向の負曲げや連続桁中間支点上の橋軸方向の負曲げが生じることは周知のことである。それに加えて、図-1.2.1のように、床版の状態と輪荷重の位置関係に応じて、床版に負曲げが作用し、ときにその負曲げに起因して床版上面の打継目の割れや舗装のひび割れを引き起こすことで、床版に路面水の浸入をもたらす可能性がある⁴⁾。また、凍結防止剤が路面水に混入して、塩化物が接合部に容易に浸入してしまうことが想定される。特に、高強度あるいは超高強度のFRCなどを用いた床版の開発において、材料費を抑えるために版厚の薄い断面とし、かつ施工を容易にするために、従来にないさまざまな接合構造が提案される可能性がある。そのような中で、この負曲げ挙動による路面水の浸入が、床版の耐久性にとってクリティカルになることが懸念される。

土木研究所では過去に、床版打継目の負曲げ挙動と打継目の割れに伴う路面水の浸入に関連する実験的検討を行ったことがある⁴⁾。道路橋RC床版の補修工法の一つとして、コンクリートの部分打換えが行われる。この補修工法では、損傷した床版コンクリートを面的には部分的に全厚はつり落とし、超速硬コンクリートを打設することから、補修された範囲は大いに改善されるが、新旧コンクリートの打継目から再び抜け落ちが生じた事例があった⁴⁾。この点について検討するため、図-1.2.2に示す配力鉄筋量などをパラメータとした6体の打継目を有するRC床版供試体の輪荷重走行試験を実施した⁴⁾。その結果、配力鉄筋量が少ないRC床版供試体ほど、図-1.2.3(a)に例示するように、走行回数の増加に伴って、打継目の負曲げが明確に見られるようになることがわかった。ここでは、たわみ分布が上に凸となる状態を負曲げという。この事例では、あえて付着の弱い打継目として、かつ鉄筋量を特に少なくしたことから、走行開始後早々に界面の貫通割れが生じた。貫通割れに至った打継目は早い段階から、床版の境界条件を形成することとなり、打継目を挟んで配力鉄筋のみが連続する2体の床版パネルのような挙動を示した。このときの打継目付近における上下段の配力鉄筋のひずみ変化から、打継目の直上に輪荷重が載ったときのみ正曲げとなり、打継目から輪荷重が離れると、図-1.2.3(b)に示すように、上段の配力鉄筋に引張ひずみ、下段の配力鉄筋に圧縮ひずみが生じる負曲げの状態となった。これらの傾向は、別途行った同じ配筋で打継目がない場合の試験においても、貫通ひび割れが生じた箇所で同様に認められた⁵⁾。しかし、実験では、実橋で見られたような打継目の抜け落ちは生じず、6体の試験でいずれも打継目のない一般部で抜け落ちが生じた。このことから、実橋の場合に打継目で抜け落ちが見られたのは、a)部分打換えの後に残された旧床版が抜け落ちた部分と同等の疲労履歴を受けていたこと、b)打継目の負曲げに伴い橋面舗装のひび割れを誘発して、路面からの水の浸入を容易にし、そのことで疲労が著しく進行したことの2点が挙げられる⁴⁾⁵⁾。

1970年代に道路橋RC床版の版厚や配力鉄筋量が見直され、貫通ひび割れは生じ難くなっている。しかし、高強度材料の活用や施工のさらなる合理化のため、これまでにない接合構造を有するプレキャスト床版が開発される中では、図-1.2.1に示す負曲げに伴う床版上面の打継目の割れや路面水の浸入が容易に発生しないように意識しておく必要がある。図-1.2.4に、接合部の負曲げにより懸念される事項を示す。接合部の打継目に割れが生じて、水や塩水が浸入する場合、接合部周辺のコングリートの劣化や接続部品の腐食、漏水による主桁等の腐食が想定され、橋下の条件によっては汚れ、つららの落下などの第三者被害が懸念される。1990年代にスパイクタイヤの使用が規制されて以降、一般道でも凍結防止剤の散布量が増加しており、路面

水に塩化物が混入することを強く意識しておく必要がある⁶⁾。

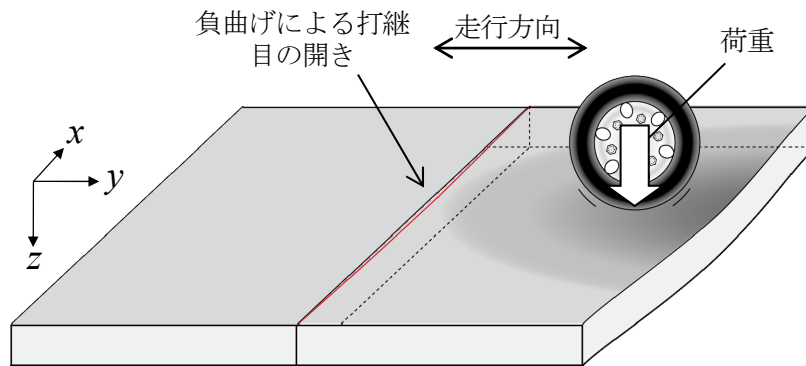
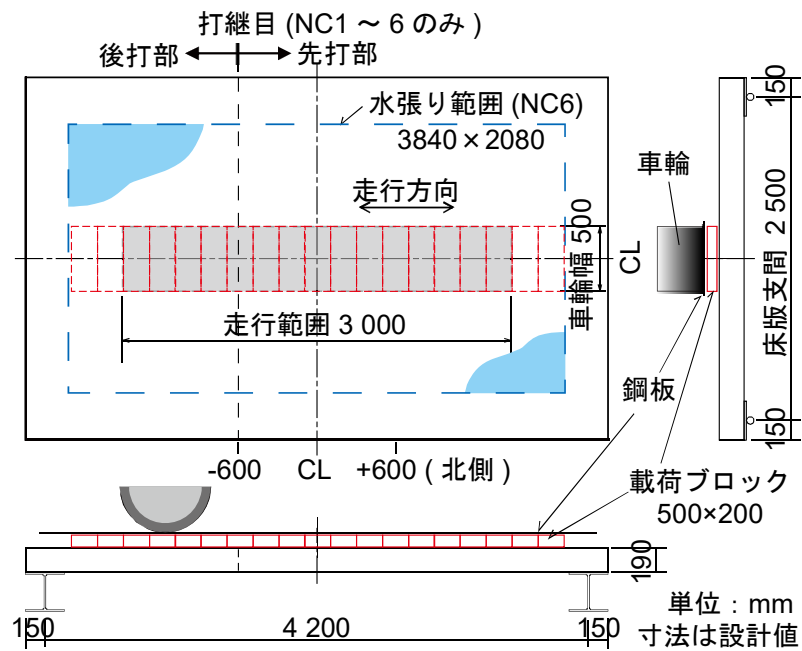
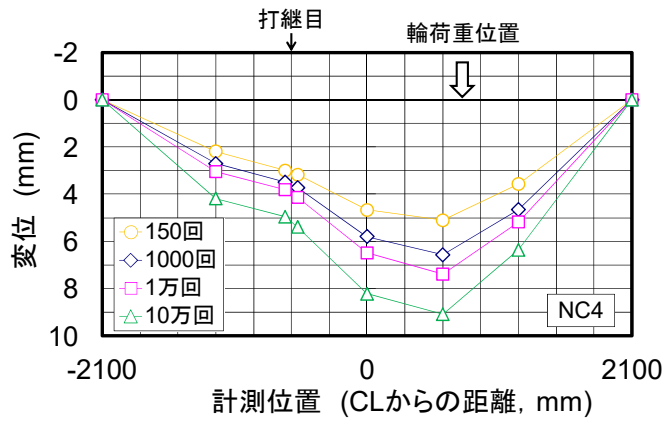


図-1.2.1 照査の対象とする輪荷重の走行に伴う負曲げと打継目の開き（概念図）

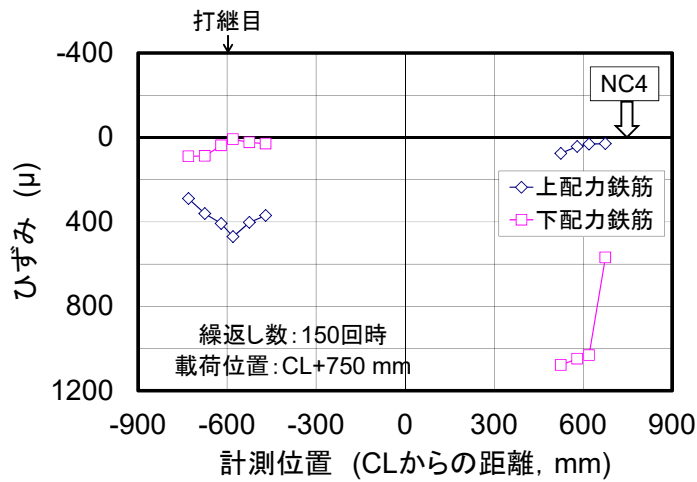


注) 試験方法は後述 2.1 のプレキャスト床版の輪荷重走行試験と共通。

図-1.2.2 打継目を有する RC 床版供試体の形状寸法と試験方法⁴⁾



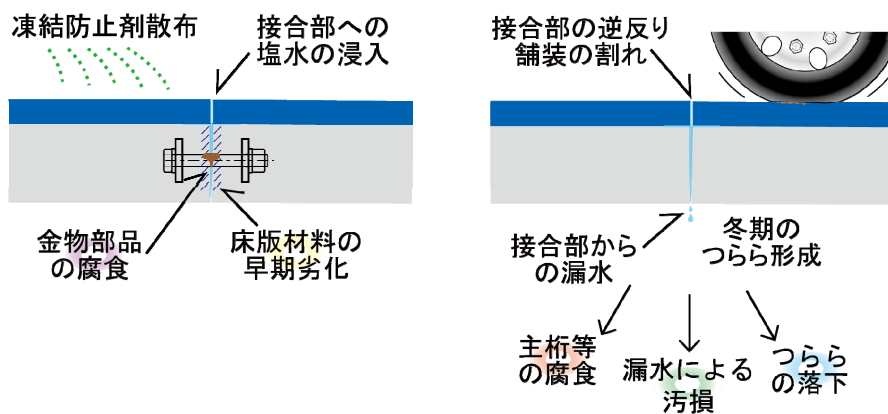
(a) 配力鉄筋方向のたわみ分布⁴⁾



注) 供試体 NC4 の例, いずれも輪荷重位置が CL+750mm の場合.

(b) 打継目付近及び一般部における配力鉄筋のひずみ分布⁵⁾

図-1.2.3 打継目を有する床版の輪荷重走行試験結果



(a) 塩水の浸入による影響

(b) 漏水の影響

図-1.2.4 接合部の負曲げにより懸念される事項

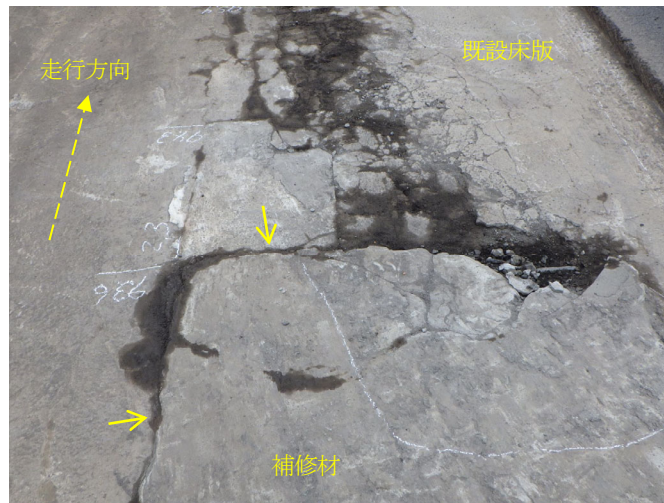
1.3 RC床版の上面補修－再劣化事例と改善の可能性－

図-1.3.1 に部分補修されたコンクリート床版の再劣化事例を示す⁷⁾。土砂化による影響は、必ずしも疲労が促進されて抜け落ちが早まるだけでなく、抜け落ちに直ちに至らなくとも、床版の土砂化に伴う舗装の著しい劣化や走行性の低下によって、床版の部分補修の繰返し、それに伴う通行規制の繰返しをもたらす点である。これらの繰返しは、道路橋を維持管理する上で大きな負担であり、道路サービスの低下につながる⁸⁾。

図-1.3.1 の事例では、床版上面補修の補修材にもひび割れが生じていた。この理由として、補修材の下にも土粒子が流入して詰まっており、補修材を支持するはずの下層の既設コンクリートが補修時よりも劣化していたと考えられる。強度や耐久性が比較的健全な補修材であっても、補修材の下に既設コンクリートが劣化して補修材の支持状態が悪化することによって、補修材自体にもひび割れなどの損傷が生じ得ると考えられる。既設コンクリート部が補修時よりも劣化した理由としては、補修時に外見では分かりにくい程度の劣化が生じていたか、同図に示すように、補修後に補修材と既設コンクリートの打継目に路面水が浸入して、補修材の下に滞水し、その下の既設コンクリートの劣化が促進されたことが考えられる。補修材下の既設コンクリートとの界面に路面水が一旦浸入すると、長期に滞水する可能性が高く、下層のコンクリートや補修材を常時湿潤環境において、それらの劣化を加速させることが想定される。

したがって、RC床版の上面付近のコンクリートを部分的に打ち換える場合、a)劣化した部分を除去すること、b)補修材の打継目から水が浸入しないようにすることが重要である。しかし、図-1.3.1 の事例のみならず、床版上面コンクリートの部分補修がうまくいかない事例が多く見られることから上記の a)、b)ともに、現場において確実に実施することは、必ずしも容易ではないと考えられる。床版上面コンクリートの部分打換えについては、上記 a)、b)を確実に実施するためのさまざまな視点からの改善が必要である⁷⁾。

上記の打継目からの路面水浸入に対する改善方法は、複数あると考えられる。そのうち、材料や施工面の改善は、これまでも多くの検討が行われている^{例えば 8),9)}。しかし、RC床版の上面補修において構造設計は一般に行われていない。上面補修の課題を構造の視点から改めて見直し、特に路面水の浸入に対する改善の可能性について検討する必要がある。



注) 舗装を剥いだ時の床版上面の状況。図中の実線矢印は床版上面補修の打継目を示す。

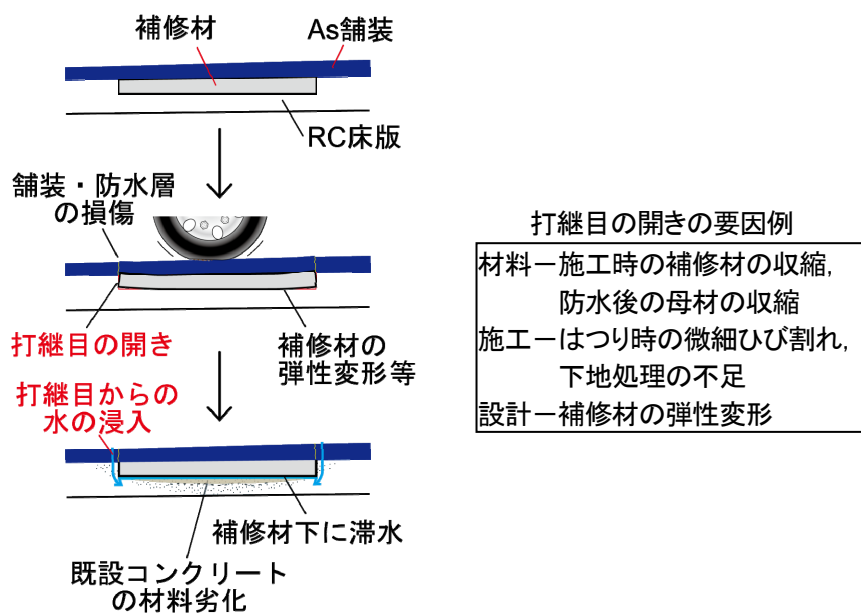


図-1.3.1 床版上面の部分補修部の再劣化事例と床版下面への水の浸入 (概念図) 7)

2. プレキャスト床版の負曲げ挙動と接合部の路面水浸入に対する照査法の検討 — 接合部の路面水浸入に対する照査法（試案） —

2.1 接合部を有する FRC プレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験（第 III 編 1 章参照）

2.1.1 概要

タイプの異なる FRC プレキャスト床版の供試体 3 体を用いて、その接合部において負曲げが生じ得るかを改めて確認し、発生し得る負曲げの程度や漏水に至る負曲げの程度を把握するため、前掲図-1.2.2 と同様の水張り下での輪荷重走行試験を行った。試験は、輪荷重 157kN で走行を開始し、4 万回ごとに 19.7kN 増加させる階段載荷¹⁾によった。

床版供試体は、FRC を用いた床版の更新技術に関わる 4 者のうち、3 者が 1 体ずつ製作して計 3 体とした（1 者は別途実施²⁾）。表-2.1.1 及び図-2.1.1 に、各床版供試体の主な諸元を示す。いずれも、試験機に設置可能な範囲で、接合部の構造を含めて、材料、設計、製作はそれぞれの者の自由とした。引張強度は既往の事例³⁾を参考に行った直接引張試験の結果を示した⁴⁾（第 II 編 2 章参照）。接合部の構造は、後述 2.2 節のはり試験と共通であり、高さをプレキャスト部より大きくしたものや、逆に高さを 1/2 としたものが含まれる。

走行試験中、変位計によるたわみ、パイ型変位計による平均ひずみ、2 方向変位計（T 社製、ずれセンサ）による打継目の開きなどを測定した。また、漏水の有無及び発生時期を市販の漏水センサ（T 電線社製、AD-FH-S）及び目視によって確認した。

表-2.1.1 床版供試体及びはり供試体の主な諸元

供試体名	床版形式	一般部（プレキャスト本体）			接合部 ^{*3}			繊維種類	備考
		主材 (いずれも FRC)	圧縮強度 [引張強度 ^{*1}] (N/mm ²)	鋼材	間詰材 (いずれも FRC)	圧縮強度 [引張強度 ^{*1}] (N/mm ²)	鋼材		
A	リップ付き床版	UFC	205 [14.2, 14.3]	二方向 PC ^{*2}	UHPFRC ^{*4}	179 [12.3, 13.1]	アンボンド PC ^{*2}	鋼	—
C	平板型	高強度繊維補強 軽量コンクリート	61.2 [2.8, 3.0]	SD345	高強度繊維補強 軽量コンクリート	106 [4.9, 5.8]	SD345	有機	—
D	平板型	超高強度繊維 補強モルタル	151 [7.9, 8.2]	SD345	超高強度繊維 補強モルタル	153 [5.8, 6.0]	SD345	有機	—
E	平板型	UFC	185 [11.1, 11.4]	二方向 PC	UHPFRC ^{*4}	170 [9.1, 10.1]	一方向 PC ^{*2}	鋼	はり試験のみ

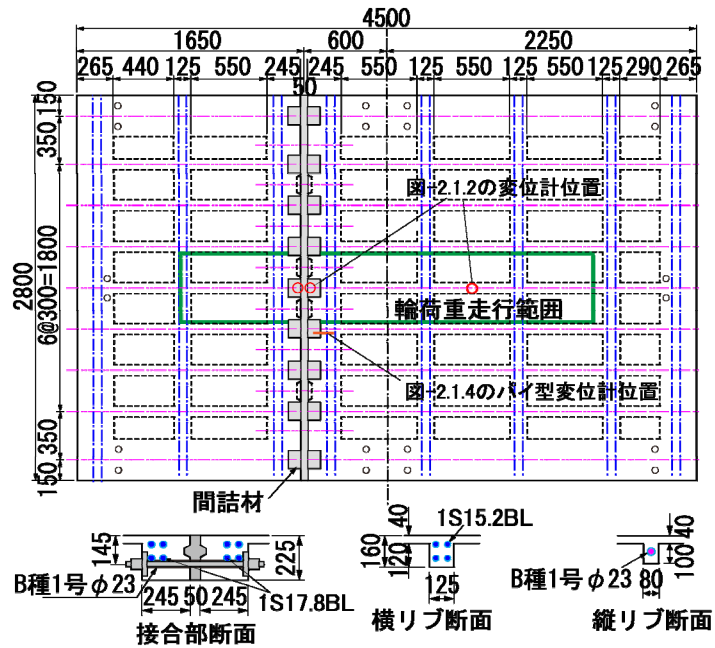
注) B は計画変更のため欠番。

*1) 引張強度は直接引張試験によるひび割れ発生時の値(左)と最大荷重時の値(右)を示す。

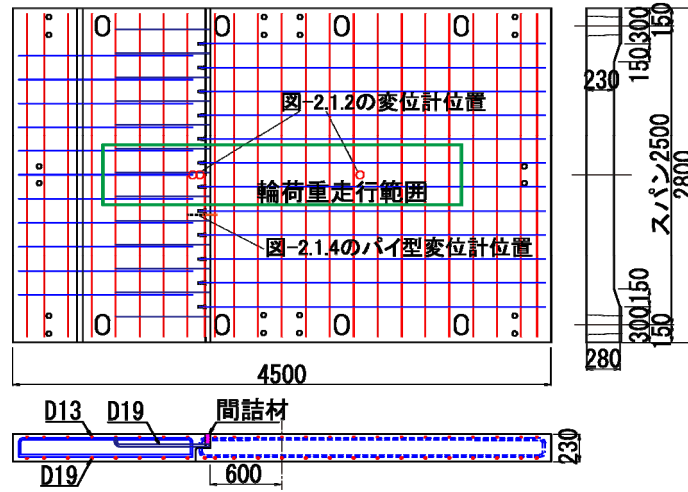
*2) 鋼材種類は図-2.1.1, 2.2.1 に示す。

*3) 接合部のうちプレキャスト部材端以外の材料について示す。

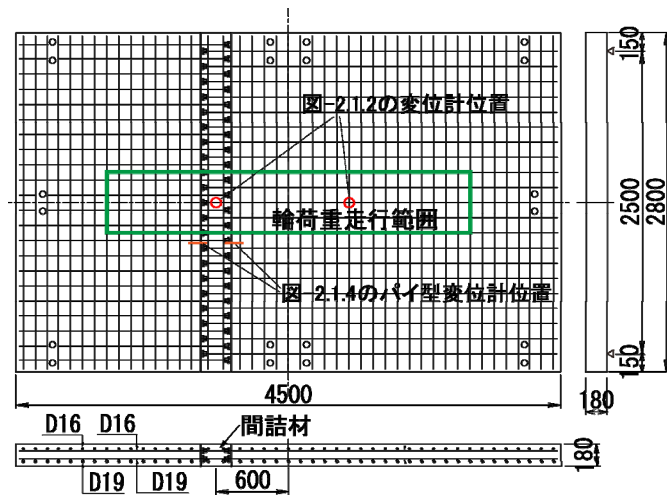
*4) UHPFRC：蒸気養生を要せず現場施工可能な、超高強度 FRC。



(a) 床版供試体 A



(b) 床版供試体 C



(c) 床版供試体 D

単位：mm

図-2.1.1 床版供試体の形状寸法

2.1.2 主な結果

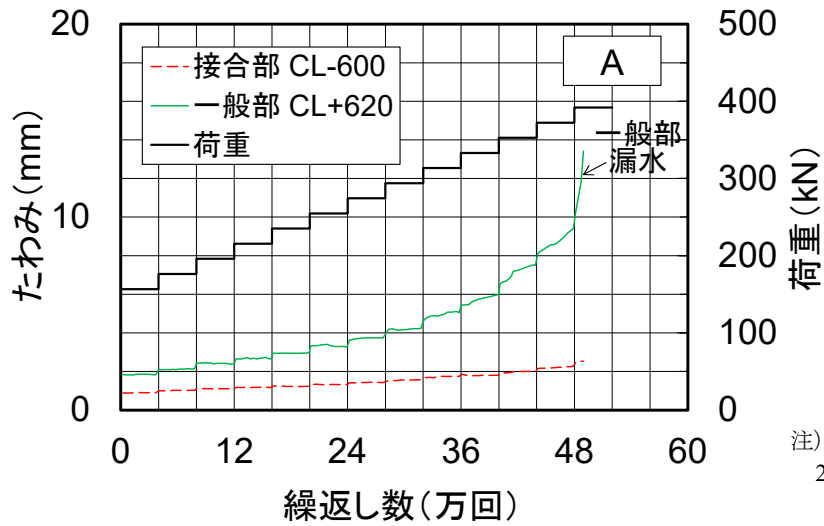
(1) たわみ推移と漏水

図-2.1.2 に、輪荷重走行試験におけるたわみの推移と漏水の発生時期を示す。たわみは、CL-600mm 辺りの打継目付近（構造の違いによって測定位置が若干異なる）と、CL+600mm 付近の一般部における値であり、走行試験中の5分ごとに記録される最大値と最小値の差（載荷位置は特定されない値）で表す。床版供試体 A は、接合部の曲げ剛性が高いことから、荷重、繰返し数の増加とともに接合部のたわみに比べて一般部のたわみが顕著に増加する傾向が見られた。床版供試体 A の抜け落ちは、392kN の段階で、一般部で見られた。その段階で一般部のひび割れが大きくなり、一部で漏水が見られた。逆に、床版供試体 C は、接合部の断面が 1/2 となっているため曲げ剛性が局所的に低く、一般部のたわみに比べて接合部のたわみが大きい傾向が見られた。ただし、接合部も含めて、荷重、繰返し数の増加に伴うたわみの増加は比較的軽微であり、392kN 一定で 24.7 万回の延長載荷も行ったが、抜け落ちには至らなかった。床版供試体 C の漏水は、40 万回で荷重を上げた際に接合部で見られ始めた。床版供試体 D は、255kN、24 万回まで接合部と一般部のたわみに違いがほとんど見られなかった。24 万回以降、接合部のたわみが一般部に比べて徐々に大きくなり、接合部付近で抜け落ちに至った。床版供試体 D は、プレキャスト床版の初期ひずみによるひび割れが見られ、水張り後に床版下面に漏水が見られ、4 万回で接合部の打継目にも漏水が見られた。

(2) たわみ分布、曲率と負曲げ挙動

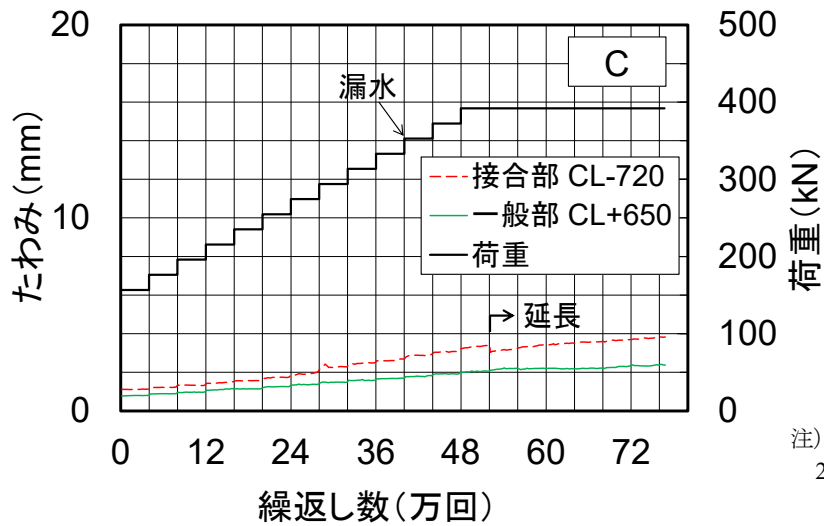
図-2.1.3 に、輪荷重走行試験における各床版供試体の走行位置直下のたわみ分布を示す。この図では、いずれも輪荷重が CL+750mm の位置にあるときのデータを示す。各図中には、記号を変えて、繰返し数が 200 回、25 万回及び終了直前における結果を示す。床版供試体 A は、上記のとおり一般部のたわみの方が接合部よりも大きく、この図では接合部の打継目よりも断面急変部で大きい負曲げが生じる傾向が見られた。床版供試体 C, D の負曲げは、同図(b), (c)で明確でない。

図-2.1.4 に輪荷重走行試験における曲率の測定例を示す。曲率は、輪荷重走行位置を避けて走行位置中心から直角方向に約 330mm 離れた位置で（図-2.1.1）、接合部付近の床版上下に設置したパイ型変位計で測定した変位を、上下それぞれの平均ひずみに換算し、それらのひずみの傾きから算出した（第 III 編 1.7.1 項参照）。図-2.1.4 の横軸は輪荷重の位置を表し、データは 1 往復分を示す。図中、線種を変えて、25 万回時及び終了直前における結果を示した。本文では、曲率の負号は負曲げであることを表す。床版供試体 A の結果は、接合部の剛な断面のうち、最も曲率が大きかった位置（CL-450mm）で測定した値を示した。その位置では、床版中央に近い側の縦リブの PC 鋼材定着部を跨いで測定しており、定着体の箱抜き部における打継目の開きも含んでいる。繰返し数 25 万回で曲率 $-1 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 、49 万回で $-2 \sim -3 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度の負曲げが生じていた。床版供試体 D の接合部でも概ね同程度の負曲げが生じていた。床版供試体 C の接合部は、負曲げの程度が比較的小さく、52 万回で曲率 $-1 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であり、40 万回の漏水発生時で $-0.5 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であった。また、この図-2.1.4 より、床版供試体 C, D は、接合部の直上に輪が載ったときに接合部に顕著に大きな正曲げが生じていたことが分かる。



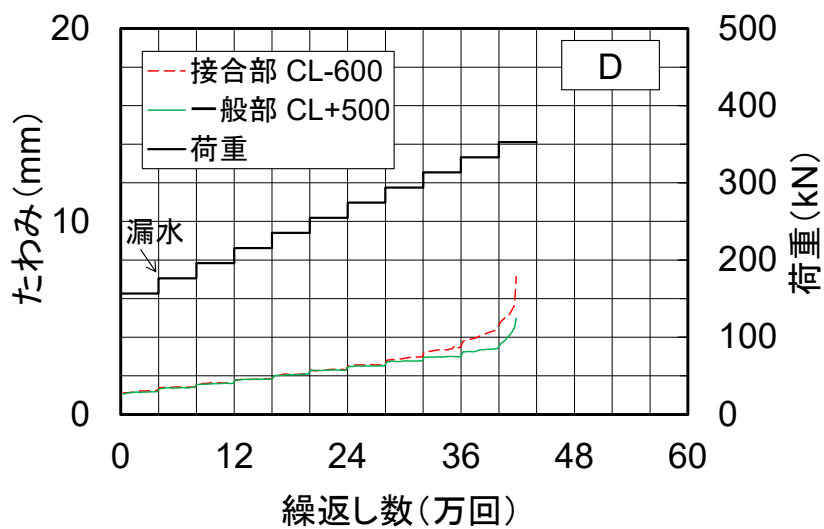
注) 接合部たわみは
2点の平均値.

(a) 床版供試体 A



注) 接合部たわみは
2点の平均値.

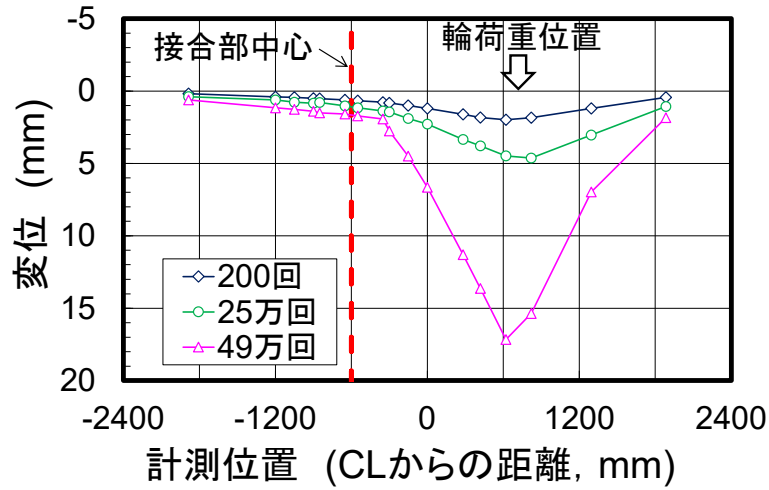
(b) 床版供試体 C



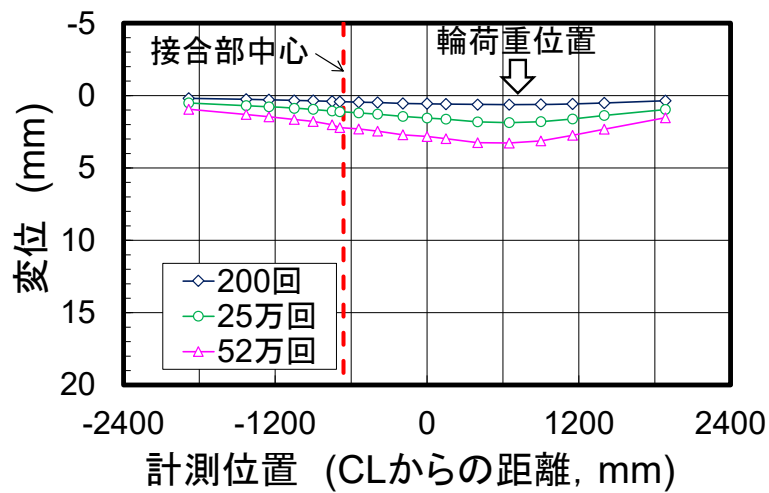
(c) 床版供試体 D

図-2.1.2 輪荷重走行試験におけるたわみ推移

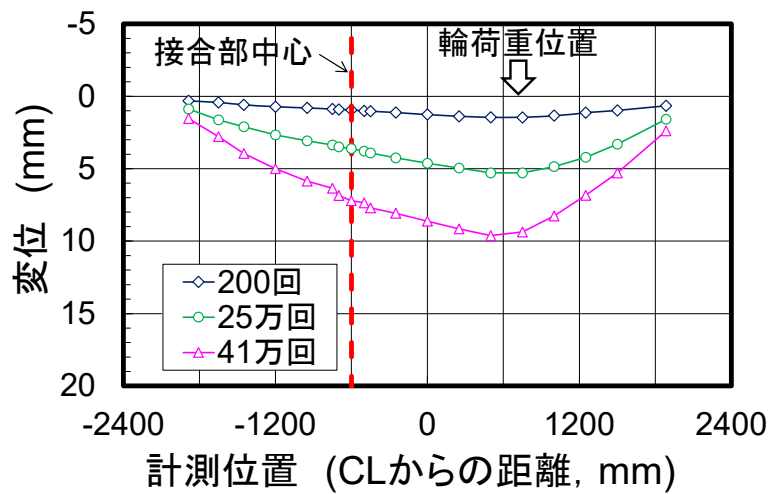
(MM データ*, 5 分ごとの最大値と最小値のたわみ差)
*) MM データ, DT データ等は第3編 1.2.3 を参照。以下, 同様。



(a) 床版供試体 A

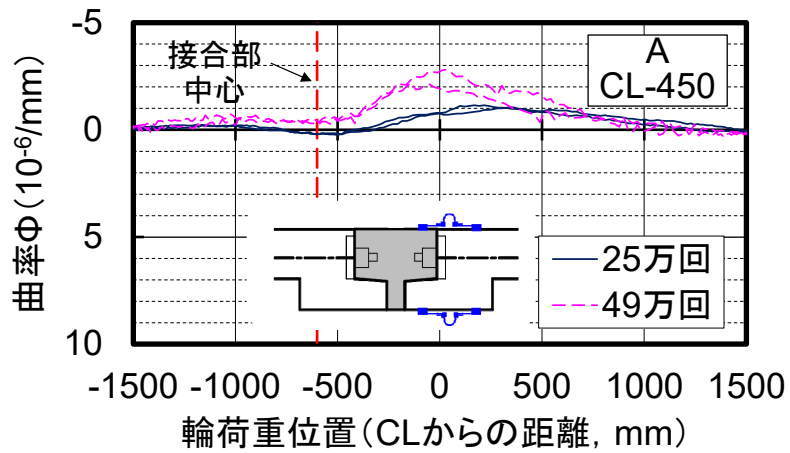


(b) 床版供試体 C

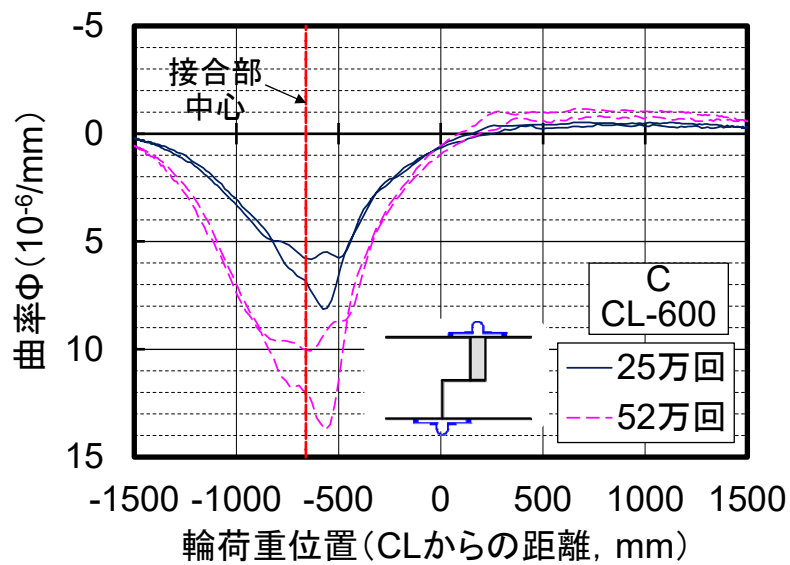


(c) 床版供試体 D

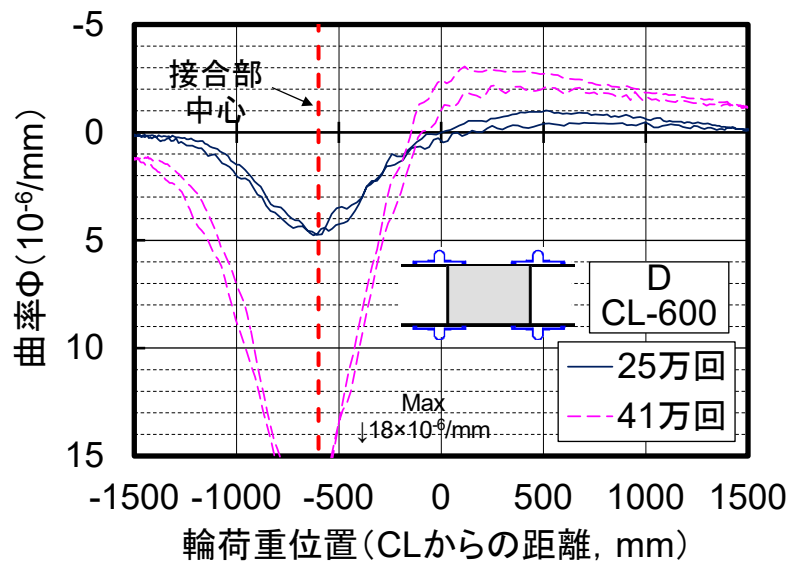
図-2.1.3 輪荷重走行試験におけるたわみ分布の変化
(DT データ, 任意回数における波形データ)



(a) 床版供試体 A



(b) 床版供試体 C



(c) 床版供試体 D (打継目 2 箇所 の 平均 値)

注) いずれも 1 往復 分 の データ を 示 す .

図-2.1.4 輪荷重 走 行 試 験 に お け る 曲 率 測 定 例
(DT データ に 基 づ き 算 出)

2.2 接合部を有する FRC はりの負曲げ試験（第 III 編 2 章参照）

2.2.1 概要

プレキャスト床版の開発では、一体性、耐久性、施工性の観点で、接合部のさまざまな工夫が行われている。しかし、接合部の改善に向けて工夫する度に輪荷重走行試験を行うことは、コスト、時間ともに効率が悪く、ひいては開発の停滞や検討不十分につながる懸念される。ここでは、路面水の浸入に対する照査法を考えるため、プレキャスト床版の接合部の簡易な試験方法として、前掲の輪荷重走行試験の供試体と同様の接合構造について、負曲げでのはり試験も実施した。

はり供試体の形状寸法、鋼材配置、載荷位置など、供試体製作や試験方法について後述 2.2.2 項に示す共通ルールを作成した上で、各者でそれぞれの床版供試体を切り出した形のはり供試体を 3 体ずつ製作し、負曲げとなるよう上下反転して 4 点曲げの載荷試験を実施した。図-2.2.1 に、各者のはり供試体の形状寸法を示す。はり供試体 E は、既往の輪荷重走行試験²⁾における床版供試体の接合部をモデルとした。使用材料も床版供試体と共通とした（前掲表-2.1.1）。

3 体のうち、1 体は破壊まで載荷し、残り 2 体はプレキャスト床版と間詰材の打継目における付着性状が確認できる程度までの載荷とした（試験後、塩水浸漬試験に用いた）。試験中、変位計によるたわみ、パイ型変位計による平均ひずみ、ずれセンサによる打継目の開きなどを測定した。なお、はり試験では載荷中に水張りしていない。

試験データに基づく曲率の計算は、床版供試体で行った方法と同様である（第 III 編 1.7.1 項参照）。

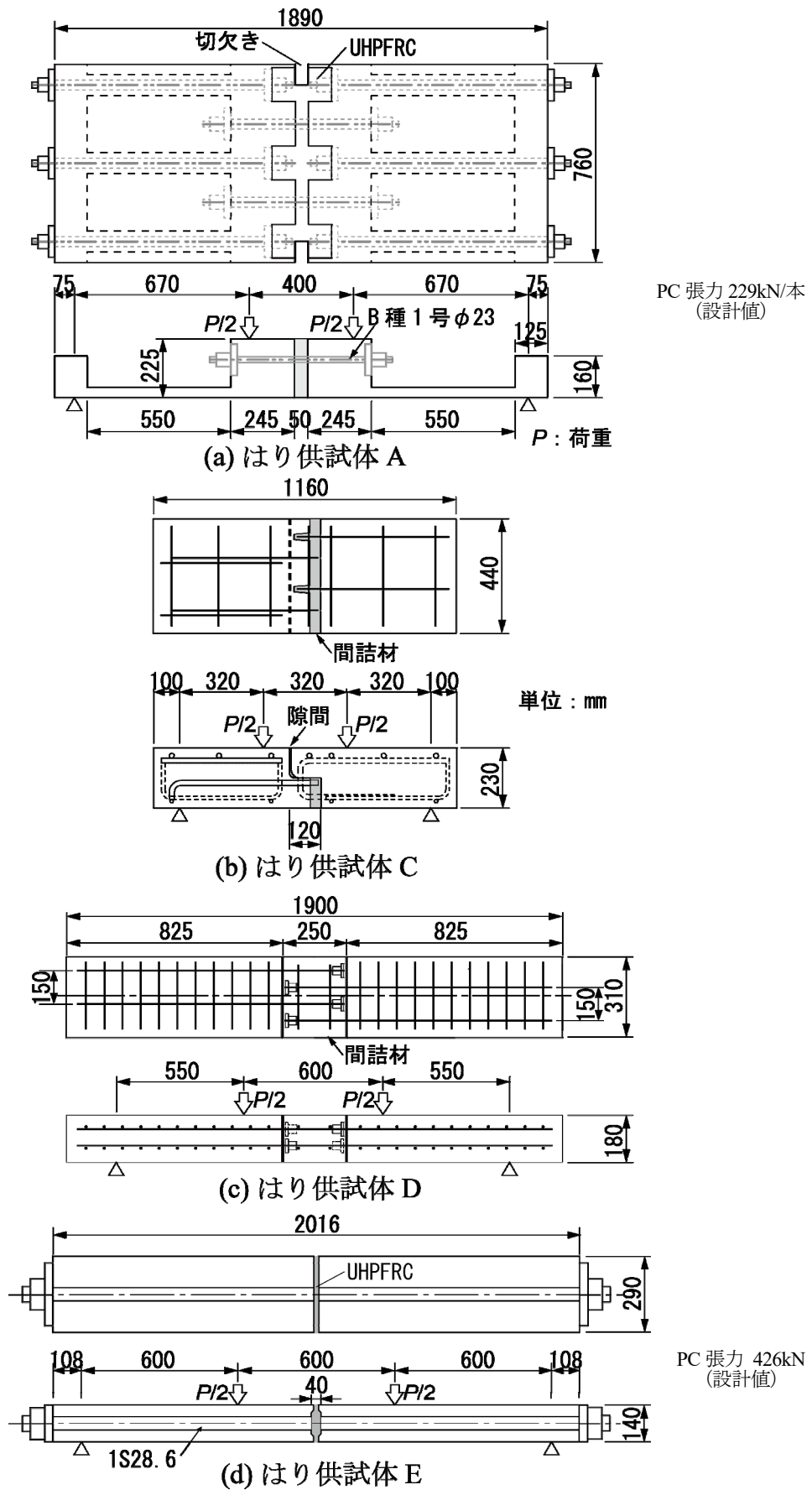


図-2.2.1 はり供試体の形状寸法

2.2.2 はり供試体の共通ルール

はり供試体の製作に先立ち、各者のさまざまな形式のプレキャスト床版、さまざまな形式の接合構造に対して、はり試験の基本的なルールを事前に検討し、本シリーズでは暫定的に次のとおりとした。図-2.2.2 に 載荷イメージを示す。また、図-2.2.3 に、鉄筋の千鳥配置がある場合における接合部のイメージを示す。

- 1) 接合部は4点曲げの純曲げ区間内に配置する。
- 2) 切り出した範囲における実際の床版の部材寸法、配筋等を用いる。
- 3) 橋軸方向のはり供試体の長さは、接合部(300~500mm程度)×3+縁端(支点の外側)とする。
- 4) 接合部の長さは、打継目を交差する鉄筋がある場合は、打継目からプレキャスト側に5*d*程度の範囲までを目安とする(*d*:鉄筋径)。
- 5) 載荷点下の圧縮力の影響を避けるため、打継目の近くに載荷点を配置しない。
- 6) 供試体の幅は、接合形式によって変えてよいものとし、接合部の形状や配筋等の間隔が1~2セット入る大きさとする(250~600mm程度を目安とする)。
- 7) 供試体幅全体にできるだけ均等な線荷重を載荷できるようにするため、載荷治具や載荷板の大きさは供試体幅と同等以上とする。
- 8) 鋼材配置がある場合は対称とする。ループ継手のように鉄筋を交互に配置する場合は、図-2.2.3 に示したとおり、片側のプレキャスト部に上下段2本ずつ鉄筋を配置し、交互配置となる間詰材の中では部分的に4本ずつとなるようにする。
- 9) 接着剤、間詰材の類も実際の接合部で使用するものを用いる。
- 10) 接合面の処理、表面粗度等は実際の施工と同じとする。
- 11) せん断スパンは適宜せん断補強鉄筋等によりせん断補強してよい。
- 12) プレストレスの導入を想定している場合は、同等のプレストレスを配置するため、はり端部に定着体を設けてよい。その際、PC鋼材等の断面は実際と同等のものとし、純曲げ区間内では断面内の配置も実際と同じとする。
- 13) 床版の接合部を取り出した形で、はり構造が成立しないものは本試験の適用範囲外とする。

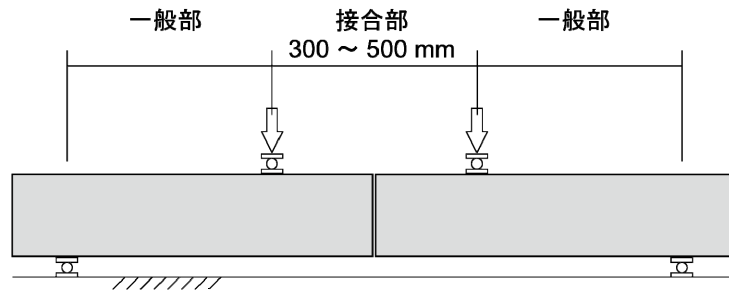


図-2.2.2 荷重イメージ（注：床版上面に負曲げが荷重されるように、天地逆とする）

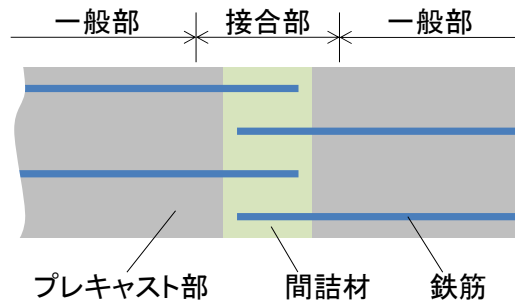


図-2.2.3 鉄筋の千鳥配置がある場合における供試体の接合部のイメージ（平面図）

2.2.3 たわみ、曲率の計算（第 III 編 2.7 節参照）

本節におけるはり試験の荷重－変位関係及びモーメント－曲率関係 ($M-\phi$) について、ファイバーモデルでの計算を試みた。ファイバーモデルによるたわみ、曲率の計算方法について概要を記す。各 FRC の引張強度特性は、図-2.2.4 に示すように、直接引張試験の結果を踏まえて、ひび割れ発生後、引張応力度がひずみに応じて指数関数で徐々に低下する式とした。ただし、はり供試体 D は、主材の FRC に有機繊維を含み、鉄筋を配置した構造であったことから、RC と同様の引張軟化式 (係数 $c=0.4$)⁵⁾ を用いた。はり供試体 C についても、有機繊維を含み、鉄筋を配置した構造である点については同 D と同様であったが、同 A, E と同様に指数関数によった。はり供試体 C では、 $c = 0.4$ とした場合に途中までは試験の挙動と概ね一致したが、それ以降の挙動は一致しなかった。圧縮側の応力－ひずみ関係はそれぞれ材料試験の結果にあてはめたものを用いた。鋼材の応力－ひずみ関係は材料引張試験またはミルシートの値を用いて、鉄筋はバイリニア、PC 鋼材はトリリニアでそれぞれ構成した。

計算において、接合部付近は、断面寸法、鋼材配置が異なるのに応じて断面ごとに $M-\phi$ を算出した。その際、プレキャスト部と間詰材の打継目はある程度の付着強度を有すると考え、試験結果との比較から、付着強度を推定した。参考として、はり供試体 E を例に、付着強度を 0 と仮定した場合について計算した。また、はり供試体 C の接合部付近で、高さが部分的にプレキャスト部の 1/2 とされていたので、図-2.2.5 に示すとおり、その直近の要素の全断面には力が伝達されないことを考慮して、概ね 45° で有効断面が変化するものとした (はり供試体 A の断面変化部も同様)。さらに、繊維が交差していない打継目で割れが生じた後は、周囲の断面にも力が伝わらないことから、打継目から部材高さと同じ範囲の要素は、付着強度に達した後は FRC が引張を負担しないものと仮定した (引張鉄筋のある供試体 D は打継目近傍の要素のみ)。

はり供試体 A においてリブ付き床版は、曲げひび割れ発生までは全断面有効とし、下縁ひずみ (試験時の下縁) が曲げひび割れ発生ひずみに達した後は、片側有効幅をゼロとした矩形断面のはりとして仮定した。また、はり供試体 A の間詰部は、PC 鋼材の箱抜きが設けられたことから、引張域に繊維がまったくない断面がなかった。このことから、はり供試体 A の接合部は、後述 2.4.2 項に示すジグソー形式の接合部に類似すると仮定して、打継目の割れが生じた後の引張域は繊維のある部分のみ有効断面とすることとした。

以上の点を考慮した上で、各断面の $M-\phi$ を計算した後、Area-Moment 法⁶⁾で支間中央のたわみを算出した。

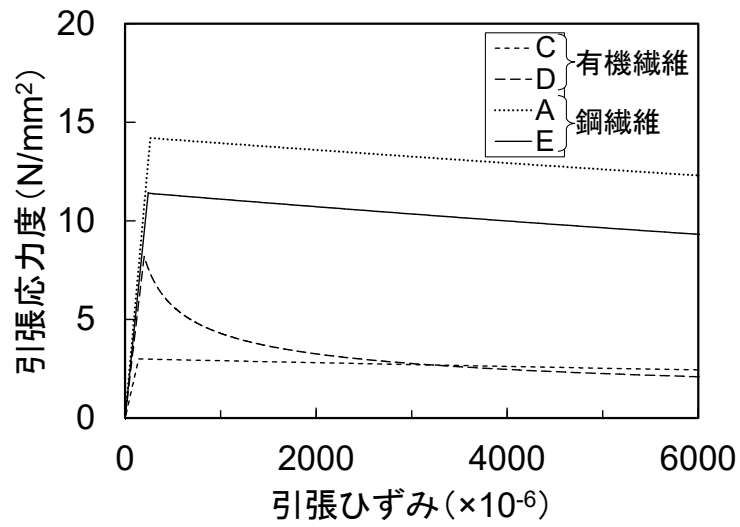


図-2.2.4 計算に用いた主材の引張応力度—引張ひずみの関係

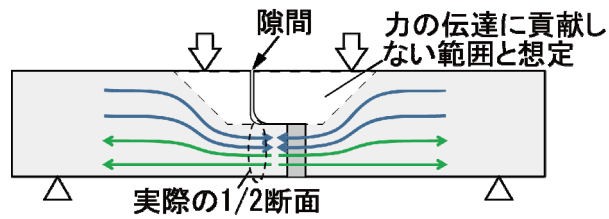


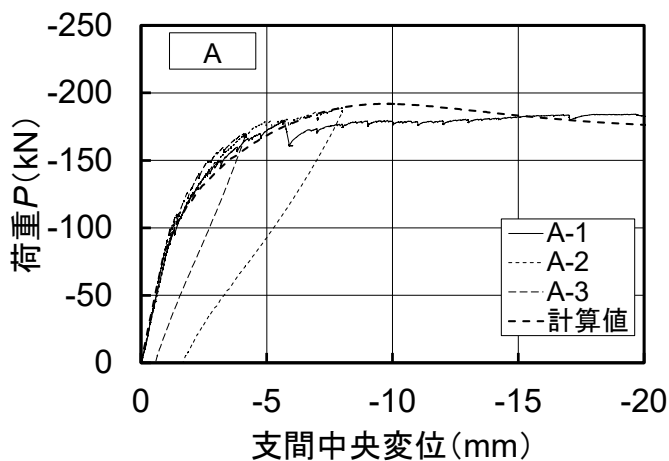
図-2.2.5 ファイバーモデルによる計算における断面急変部の仮定
(はり供試体Cの例, 概念図)

2.2.4 主な結果

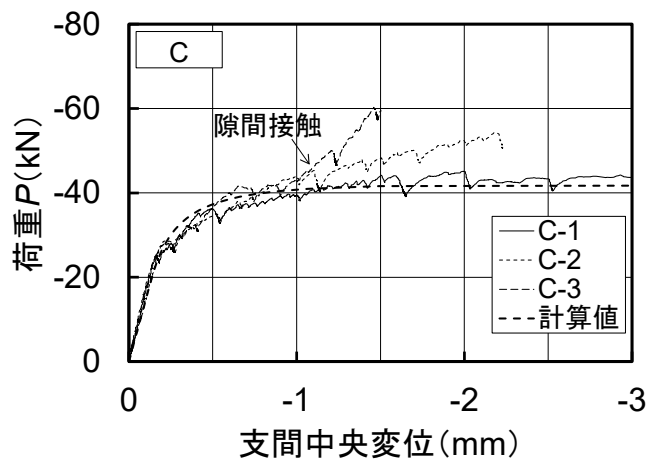
図-2.2.6 に、各はり供試体の負曲げ試験で得られた荷重－変位関係を示す。同図には、ファイバーモデルによる計算値も太破線で併記した。供試体 A, C, E それぞれの曲げ挙動は計算で概ねよく表されることが分かった。図-2.2.7 に、はり供試体 E における打継目の付着の効果を見るため、付着強度を 0 として計算した結果も示した。付着強度を無視した場合、荷重－変位関係の概ね直線となる範囲に関して約 20 kN の違いが見られた。供試体 D では RC と同様の引張軟化式を構成則に用いたが、高強度 FRC の場合に $c = 0.4$ のままでは試験結果との乖離が見られた。仮に係数 c の設定を大きくすると試験結果と整合する傾向が見られており、適切な構成則の設定方法は今後の課題である。

図-2.2.8 に、各はり供試体について、接合部のうち、最も厳しいと考えられる断面での $M-\phi$ の実測値とたわみ計算に用いた計算結果を示す。図中の曲率の実測値は、前述のパイ型変位計によるほか、実測たわみから換算した結果も併せて示す。たわみによる曲率は、接合部の構造に応じて変位計の位置も異なったので、計算に用いた変位計の数や配置間隔が異なるなど、必ずしも統一的な方法で算出できていない。それにもかかわらず、いずれのはり供試体でも、概ねパイ型変位計の結果と同様の曲率の実測値を、実測たわみからも得ることができた。ただし、たわみによる曲率は、変位が小さい低いモーメント作用時にばらつきが大きい傾向であった。

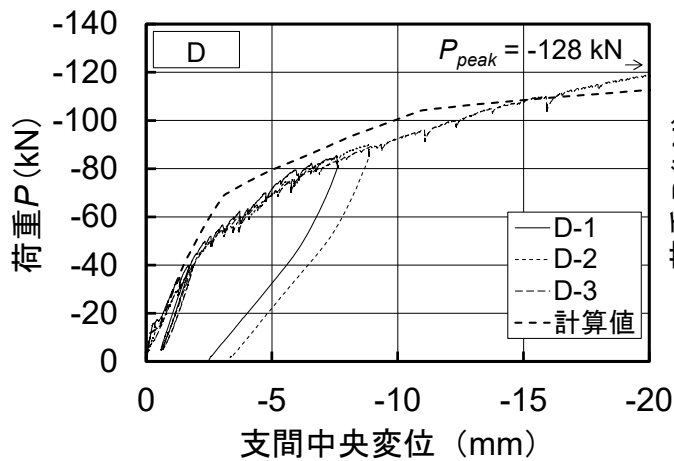
はり供試体 C は、打継目で明確な割れは見られず、1/2 断面で曲げひび割れが見られたことから、図-2.2.8(b) では 1/2 断面における $M-\phi$ の計算値を示した。その計算値は実測値を概ねよく表している。はり供試体 C の接合部の挙動は、主としてこの断面に支配されていたと考えられる。同図には、参考として、1/2 断面の FRC の引張強度特性として RC と同様の引張軟化式⁹⁾を用いた場合の結果も示す。はり供試体 C の試験では、曲げひび割れ発生後も、引張抵抗が急に低下することがなく、図-2.2.4 に示した構成則の方が実挙動をよく表していると考えられる。はり供試体 D では、打継目付近の $M-\phi$ の計算値が実測値とやや異なるが、傾きや変化点は概ね表されていた。2 箇所打継目はいずれも比較的早い段階から開きが見られ、計算で考慮していた付着強度 2 N/mm^2 による変化がはり供試体 D-3 では明確に見られなかった。はり供試体 E は、間詰部の打設時に 40mm の区間でダクトを確保するため、スポンジが用いられていたことから、この区間の PC 鋼材がごく部分的であるが、アンボンドに近い挙動を示すものと仮定した。この計算では、スポンジ区間の PC 鋼材のひずみ増分を、付着ありとした場合のひずみ増分の 1/20 と仮定して、抵抗曲げモーメントを計算した。その区間をアンボンドと見なした場合に、図-2.2.6(d)の荷重－変位の関係や図-2.2.8(d)の $M-\phi$ の計算結果が実測値とよく一致した。



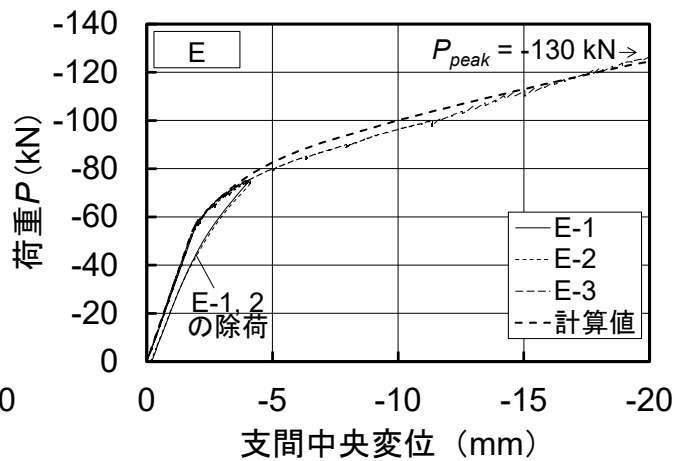
(a) はり供試体 A



(b) はり供試体 C



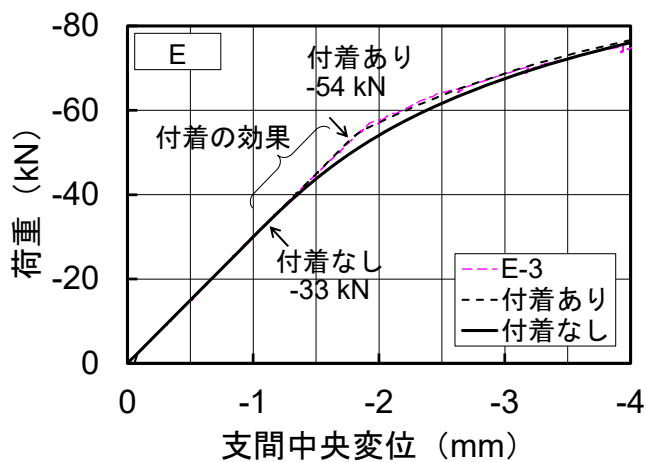
(c) はり供試体 D



(d) はり供試体 E

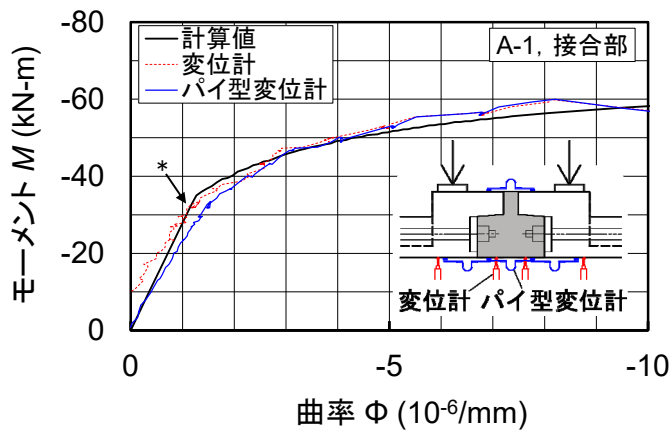
注 1) 各供試体の幅，支間が異なる． 2) 負曲げであることから荷重，変位とも負号で表す．

図-2.2.6 はり試験における荷重—支間中央変位の関係

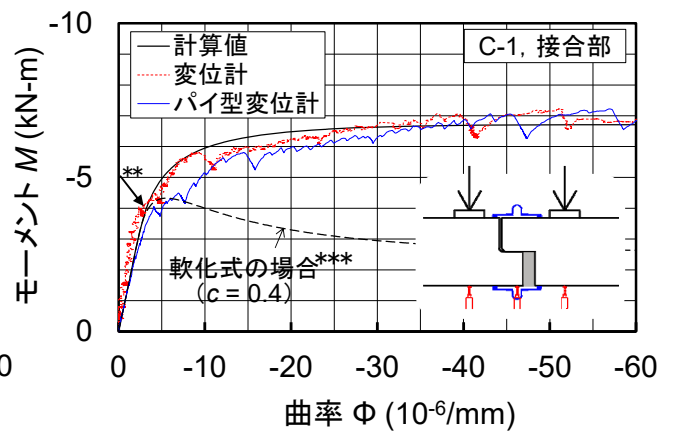


注) 図中の矢印はそれぞれの計算における打継目の割れ発生時を示す． E-3 は試験結果を示す．

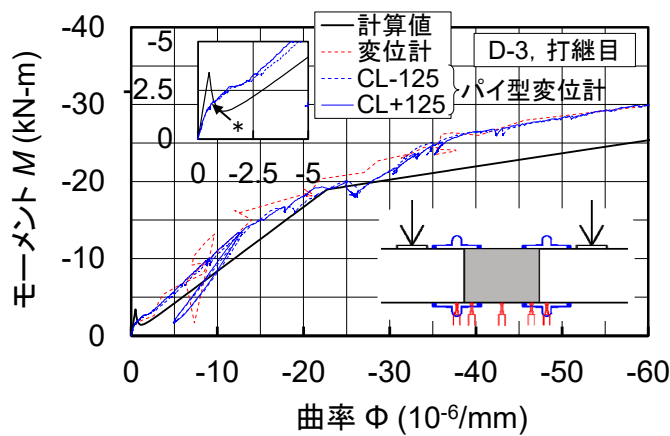
図-2.2.7 はり供試体 E の付着の有無の比較



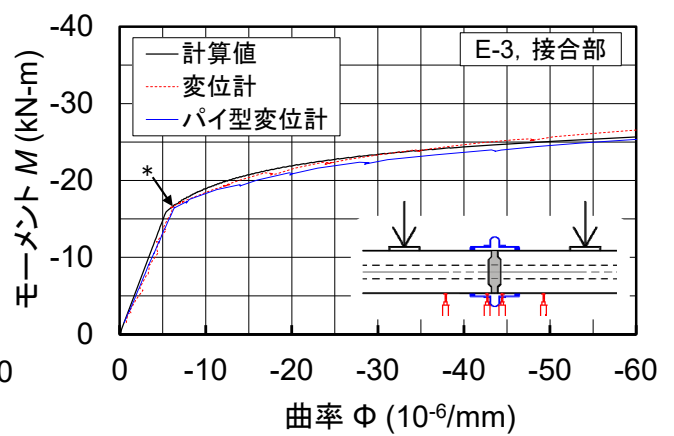
(a) はり供試体 A



(b) はり供試体 C



(c) はり供試体 D



(d) はり供試体 E

注) 各供試体の幅が異なる. 負曲げであることから M , ϕ とも負号で表す.
 挿入図はグラフに関連する測定機器のみ設置位置を示す.
 *) 矢印はずれセンサによる打継目の割れ発生時を示す.
 **) プレキャスト部 1/2 断面の曲げひび割れ. 一部で打継目の割れが生じた.
 ***) RC の引張軟化式⁹⁾による試算例.

図-2.2.8 打継目付近の M - ϕ の例

2.3 接合部の路面水浸入に対する照査法（試案）

2.3.1 路面水浸入に対する接合部の照査

(1) 照査の対象

プレキャスト床版の接合部のうち、前掲図-1.2.1 に示した輪荷重走行方向に概ね直交する接合面を有する現場接合部を照査の対象とする。プレキャスト床版の耐久性を早期に著しく損なわないようにするため、接合部に負曲げが生じた場合でも、床版上面からの水の浸入を防ぐことを目的とする。

(2) 路面水の浸入に対する照査

路面水の浸入に対する照査は次式による。

$$\phi_b > \phi_{wl} \quad (2.3.1)$$

ここに、 ϕ_b ：接合部打継目の付着性能を表す曲率、 ϕ_{wl} ：接合部打継目から漏水が生じない限界の状態を表す曲率（例えば、 $-2 \times 10^{-6}/\text{mm}$ ）。

（以下、解説のイメージ）

別途行った上面補修を対象とした輪荷重走行試験では、打継目の開きがわずか 0.01mm 程度で水の浸入が認められた⁷⁾。また、前述の通り試験でも確認されたとおり、接合部の打継目で割れが生じた際に接合部の曲率が急激に増加することから、接合部への路面水浸入は打継目の付着強度に依存する傾向にあると考えられる。これらの点から、打継目で割れが生じるときの曲率を、接合部打継目の付着性能を表す曲率 ϕ_b とした。その値は後述 2.3.2 項の通り試験によることを想定している。付着強度は、材料試験と同等の小さい供試体で確認する方法がさまざまに考案されているが、供試体製作時の施工の影響も受けることがあり得る。このことから、上記の通り供試体のように、実物に近い断面構成で製作された場合の方が、実際に近い付着強度を得ることができる。と考える。

漏水限界を表す曲率 ϕ_{wl} は、輪荷重走行試験で接合部から漏水が発生する直前の、負曲げによる接合部の曲率を求めるのがよいと考えた。輪荷重走行試験の結果（前節 2.1 参照）では、階段载荷の過程で $-1 \sim -3 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度の負曲げの曲率が観察されたが、漏水との関係においてまだ十分な根拠は得られていない。このことから、式 2.3.1 では、今後の検討の目安として、オーダーを例示するにとどめた。

打継目の付着切れが生じるまでは、曲げモーメント M と曲率 ϕ はほぼ直線関係で表せると考えられるが、曲率による照査としたのは、同じ形状寸法の接合構造でも版のある方向の $M-\phi$ とはりの $M-\phi$ が異なること、かつ ϕ_b に関しては試験の結果を利用することによる。床版の他の照査との関係を考えれば、便宜上、上記の点について何らかの配慮をして、曲げモーメントによる照査に換算できるとよいが、本文では照査の主旨を示すことに主眼を置く。

2.3.2 接合部照査のための通り試験

(1) 目的

接合部の路面水浸入に対する照査のため、接合部打継目の付着性能を表す曲率 ϕ_b を把握する。

(2) 通り供試体

通り供試体は、実際の接合部と同等の材料、同じディテール、同じサイズとする。軸方向の鋼材配置や打

継目の処理方法、（使用する場合は）接着剤の種類なども実際と同様にする。前節 2.2 で示したはり試験では、さまざまな接合構造に対してはり試験の共通ルールを暫定的に定めたように、接合構造に応じて、はり供試体の幅や長さ、載荷位置などをある程度柔軟に設定する必要がある。前述の試験の範囲では、概ね良好に試験を行うことができ、接合部の曲げ特性を表す $M-\phi$ 関係を把握することができたことから、その共通ルールのとおりとすることで概ね支障ないと考える（それに従った例が前掲図-2.2.1）。本試験の目的のためには、施工のばらつきを考えて、同じ供試体を 3 体用意して、その結果の平均値を用いる必要があると考える。

(3) 接合部の範囲と載荷点

接合部は間詰材の範囲だけでなく、プレキャスト部材端の接合構造に寄与する鋼材等の付着の影響範囲を含む。共通ルールでは、接合部が載荷点の間に入るようにすることとした。なお、はり供試体 A は、研究のため、あえて剛性の高い断面に載荷したが、本来は、輪荷重走行下で生じる曲げ挙動に近づけるため、断面変化部も接合部に含め、載荷位置は剛性の小さい断面部に載荷する方がよいと考える。

(4) 曲率の算定

曲率の算出は、例えば前述のはり試験のように、はりの上下に配置したパイ型変位計の値から算出する方法と、たわみ変位計の値から算出する方法がある。本検討では、パイ型変位計を基長 150mm として配置した。たわみの測定位置は、供試体によって異なり、打継目の位置によっても異なった。たわみによる曲率の算定には、少なくとも 3 点の測定結果が必要である。たわみ量、測定間隔や変位計の測定精度によっては、3 点の結果だけではばらつきが大きくなる場合がある。

2.3.3 接合部照査のための輪荷重走行試験

上記の接合部の照査の代わりに、前節 2.1 と同様に、接合部を有する床版供試体を用いて水張り輪荷重走行試験を実施する場合も、はり試験と同様に、床版供試体は、接合構造の詳細を含めて、実際のプレキャスト床版と同様とする。接合部からの漏水は、一旦漏水が見られた後であっても、走行試験を途中で休止した後、しばらく静止状態とすると漏水が止まる場合があったので、目視による観察のほか、漏水反応を記録できる漏水センサなども用いて観察するのがよい。当然ながら、輪荷重走行試験の実施には、費用や時間がかかるだけでなく、試験機の確保も難しい場合があるので、はり試験を活用して接合部の開発を進めるのがよい。

2.4 接合部の改善の方向性

2.4.1 接合部の版としての連続性の確保

床版供試体 A は、図-2.4.1(c)のように接合部がプレキャスト部に比べて著しく剛であり、接合部ごとに横桁が存在する状態に近い。逆に、床版供試体 C は図-2.4.1(a)のように接合部の剛性がプレキャスト部に比べて著しく低く、2.2 節で示した既往の試験の打継目と同様にヒンジのような挙動を示す。このため、接合部にかかる負の曲げモーメントは小さくなるが、その分、接合部付近の主鉄筋方向（前掲図-1.2.1 の x 方向）の曲げモーメントは相対的に大きくなる。床版供試体 D は、断面図では図-2.4.1(b)に近いが、打継目の割れが早期に生じる場合の挙動は、同図(a)に類似すると考えられる。

図-2.4.1(a)のような接合構造では、接合部での局所的な変形が生じると、走行性を損なうだけでなく、橋面舗装の支持地盤が悪い状態に類似して、早期に橋面舗装のひび割れ等の変状をもたらすことが懸念される。これらの点から、接合構造を図-2.4.1(b), (c)となるようにして、接合部の版としての連続性を確保することが構造的に有利であると考えられる。やむを得ず図-2.4.1(a)とする場合は、桁端部の床版のように、接合部付近の主鉄筋方向の剛性を大きくする必要がある。

2.4.2 FRC 接合部の付着と繊維の連続性の確保

FRC を用いた床版の場合、打継目の改善において、何らかの補強筋の配置や繊維の洗い出しなどの工夫が見られるが、それらの効果は打継目の割れが生じた後に発揮されるものであり、それ以前に、路面水の浸入を防ぐ観点からは、FRC のマトリックス同士の付着をできるだけ改善することが第一に重要である。

次に、FRC の利点を活かすには、図-2.4.2 に示すジグソー形式として、断面ごとにまったく繊維がない箇所がないように接合する方法が、特に高強度の FRC にとって有効であると考えられる。一般のコンクリートでこのような形状にすると、施工や運搬に際して、突起部の破損が懸念されるが、本検討で用いた FRC の範囲では、比較的高い引張強度を有していることから、過度に心配する必要がない。また、プレキャスト部の製作において、ジグソーの形状を確保するための型枠の工夫をしておけば、流動性が高い FRC の場合は、比較的複雑な形状に対応しやすい。

このジグソー形式の場合、プレキャスト部、間詰材ともに、突起部の付け根付近が引張に対して弱点となる。例えば、打継目で割れが生じた後の、突起部付け根の引張に対する有効幅がプレキャスト部の幅の $1/2$ であった場合、それを補うために、軸引張部材として利用する場合は、接合部の部材厚さを 2 倍にする必要がある。しかし、床版のように曲げ主体の断面であれば、接合部の部材厚さを約 1.3 倍 ($1.3^3 \approx 2$) にする程度でプレキャスト部と同等の断面二次モーメントを確保できる。破壊の過程は、荷重を増加させると、突起部先端で付着が切れ、隣り合う突起部の付け根付近で曲げひび割れが生じる。付着が切れた後は、図-2.4.2 のように、それぞれの突起部の付け根が有効断面となり、平坦な打継目の場合に比べて中立軸の急な上昇を抑えらる。ジグソー形状において、付け根付近には応力集中が生じるので⁴⁾、その付近の半径を可能な範囲で大きくするのがよい。なお、これらの点について確認するため、供試体 E を原型としてジグソー形状の接合部を設けたはり供試体 2 体を製作して、前節 2.2 と同様の負曲げ試験を行った(第 III 編 2.8 節参照)。試験結果では、いずれの供試体とも破壊過程は概ねここで述べたとおりであり、突起部の付け根付近の断面

で曲げひび割れが生じた. 2 体の結果ではあるが, その試験とファイバーモデルによる試算の結果によれば, 接合部をジグソー形状として, かつ接合部の厚さを 1.3 倍とすることによって, 接合部のない一体構造のほりとした場合と同等の曲げ性能が得られることが確認された.



図-2.4.1 接合構造の剛性による分類
(プレキャスト部との相対差のイメージ)

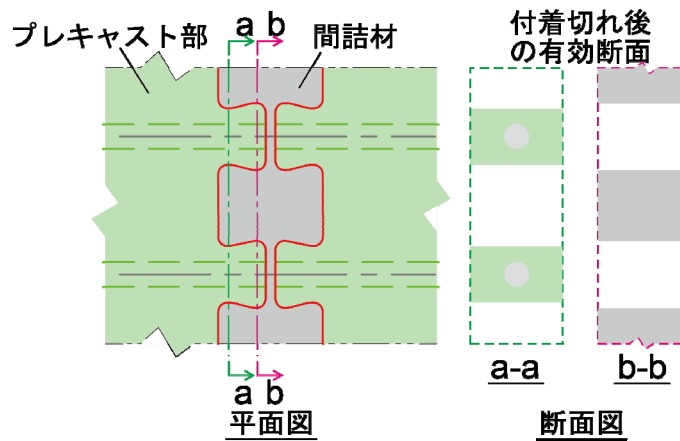


図-2.4.2 ジグソー形式の接合部と付着切れ後の有効断面 (概念図)

3. 床版上面補修における構造設計の可能性

3.1 界面の開口挙動—試験から得られた知見—

(1) 上面補修された弾性体の輪荷重走行試験（第IV編2章参照）

床版上面補修における基礎的な検討として、弾性床と見なせる厚い版に模擬的に部分的な上面補修を施した供試体を用いて、打継目の界面挙動を把握するための輪荷重走行試験を行った¹⁾。また、同供試体をモデルとしたFEM解析を行った。その結果、輪荷重走行下において、界面の付着の有無、接着剤の有無にかかわらず上面補修材にそり変形が生じ、界面の付着がない場合には、母材と補修材の相対変位から0.01～0.02mm程度の開きが生じ得るとともに、わずかな開きであっても、上面に水があると、その隙間に水が浸入することが確認された。隙間に一旦水が浸入すると、その後の水の浸入やそれに伴う補修材周囲の母材の劣化を防ぐのは難しいと考えられる。打継目界面の鉛直割れやその付近のひび割れは、水平界面の割れと補修材下の母材の劣化を引き起こす点で、無補修のRCの曲げひび割れと異なる。その隙間の程度は補修材の厚さや材質、輪荷重走行位置と補修範囲の位置関係など、さまざまな影響があると考えられる。しかし、路面水の浸入は、隙間の程度よりも、隙間が発生するか否かが重要である。部分的な上面補修の場合は、鉛直界面の割れが構造的に発生しやすく、路面水の浸入を防ぐことが難しいと考えておく必要がある。一方、同試験の解析より、補修材端部の反り上がりの変位は、補修材の自重によってある程度抑えられることが分かった。このことから、橋面の全面にわたって上面補修を施す場合は、打継目付近を除き、端部の反り上がりが生じにくいと考えられる。この場合も打継目や伸縮装置付近は弱点になりやすいことから、路面水の浸入を防ぐための特段の配慮が必要である。

(2) 上面補修されたはりの負曲げ試験（第IV編3章参照）

部分的にUHPFRCで上面補修したはりの負曲げ試験²⁾より、補修材端部の鉛直界面の割れ、あるいはその付近で曲げひび割れが生じた後は、負曲げによって補修材の端部付近の水平界面にせん断応力が作用することが分かった。第I編2章で述べたように、RC床版は輪荷重走行下で負曲げが生じ得るので、補修材と母材の界面の付着を設計する上で、床版の負曲げ挙動の影響も考慮する必要がある。鉄筋下まで深く補修した場合であっても、負曲げによって鉛直界面に割れが生じると、水平界面にせん断応力が作用する点は同様であることが認められた。

はり試験から得られた、補修された範囲と補修されていない範囲それぞれの中立軸位置の測定結果より、各範囲における曲げ剛性が著しく異なり、特に鉛直界面で割れが生じると（はり試験では初期の段階から割れが生じていたか、接着剤の変形による可能性がある）、その断面での曲げ剛性ははりの中で最も早く小さくなる傾向が見られた。つまり補修材の端部は部材の曲げ剛性の急変部となりやすく、負曲げによる鉛直界面の割れに伴う路面水の浸入を容易にする傾向にあると考えられる。

また、はり試験の範囲では、かぶり部分のみを補修した場合には、曲げひび割れ発生荷重の2～3倍程度で補修端部から水平界面の割れが生じることが分かった。ただし、鉛直界面に路面水が浸入すると、母材コンクリートの強度低下によって、水平界面の割れをさらに早めると考えられる。

以上の点から、床版の上面補修では、従来から検討されている補修材の性能や施工方法の改善のほか、補修後の打継目における剛性の著しい低下を抑えるために、鉛直界面の割れを抑制することが重要であると考えられる。そのため、次の点に留意する必要がある。

- a) 部分補修した箇所は、負曲げを受けると、補修材の端部の鉛直界面の割れやその近傍の母材の曲げひび割れが早期に発生して、その後の路面水の浸入を容易にする可能性が高い。このことから、部分的な上面補修は、十分な効果が得られにくい傾向にある。
- b) 上面補修とする場合、橋面の全面を補修することが望ましい。やむを得ず打継目を設ける際には、補修材同士の付着強度が所要の曲げ変形に追従し得る必要がある。
- c) FRC の補修材同士の付着強度は、路面水の浸入を防ぐ観点からマトリックス同士の十分な付着強度が必要である。打継目を跨いでなんらかの補強筋や繊維を配置することは、打継目の割れ発生後にその開きを抑制することが期待される。しかし、割れが生じた後の路面水の浸入に対する効果は明確でない。

3.2 照査方法のイメージ

RC 床版の上面補修における照査は、次の項目で構成する。

(1) 対象とする上面補修

対象とする上面補修は、次のとおりとする。

- a) 路面水の浸入を防ぐため、歩道部も含めて、橋面の全面にわたって上面補修を施す場合に限る。
- b) 補修前に、既設 RC 床版の損傷部位を除去する。床版上面が明らかに土砂化している場合は、その周囲の土砂化中間層³⁾の範囲を含めて、床版全厚を打換える。
- c) 母材のはつり、界面の処理、補修材の施工は、鉛直界面、水平界面ともに、所要の付着強度が得られるように材料、施工の品質に配慮して行う。

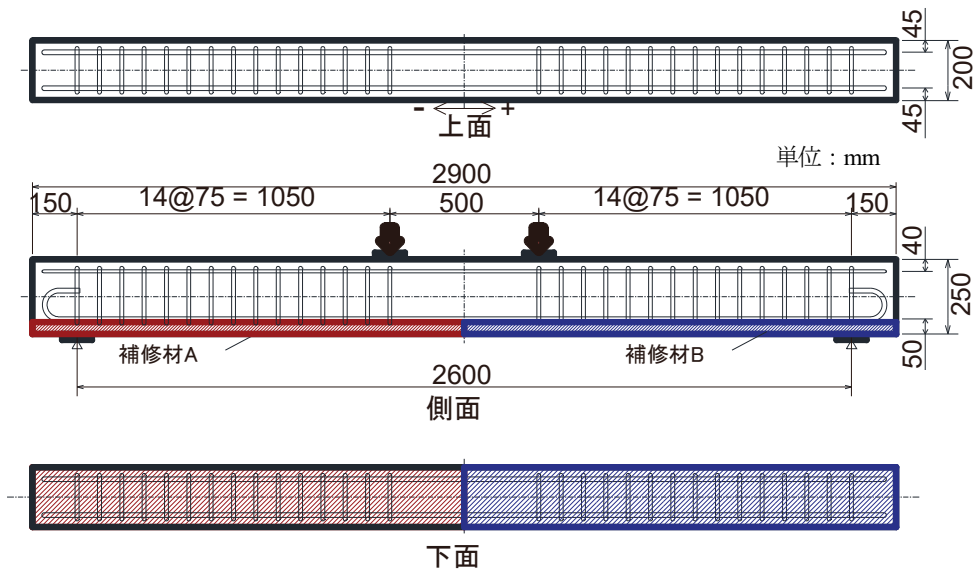
(2) 鉛直界面の負曲げに対する照査

負曲げに対する上面補修の鉛直界面の照査は、上面補修のはり試験と同様に、図-3.2.1 に示す負曲げ試験を行い、上面補修打継目の鉛直界面の付着性能を表す曲率 ϕ_b を求め、漏水限界を表す曲率 ϕ_{wl} よりも大きいことを照査する。鉛直界面の付着を確保することで、負曲げによる水平界面の付着が確保されると考えられる。曲げ試験の方法は、第 IV 編 3 章に示す上面補修のはり試験の試験方法を参照する。

橋面全面を対象に上面補修を行う場合も、一般に片側通行規制で行われることから、やむを得ず最小限の打継目を設ける場合が多い。その打継目近傍に輪荷重が載荷される場合には、図-3.2.2 に示した挙動が生じると想定される。図-3.2.2(a)は、打継目に概ね沿って輪荷重が載荷される場合である。上記の輪荷重走行試験では、接着剤を用いた場合を除き、いずれも補修材と母材の界面の付着をあえて切っていたことから、載荷位置と打継目の位置関係によって、補修材と母材の間に 0.01~0.02mm 程度の段差や開きが生じた。母材コンクリートが概ね健全な弾性体であったこと、輪荷重の直近は母材側も変形するため、打継目の鉛直界面に圧縮側の力が作用する傾向にあったことから、試験では、付着がないにもかかわらず、段差は小さく抑えられたと考えられる。しかし、その FEM による計算では、打継目の付着が悪い場合、輪荷重から少し離れた

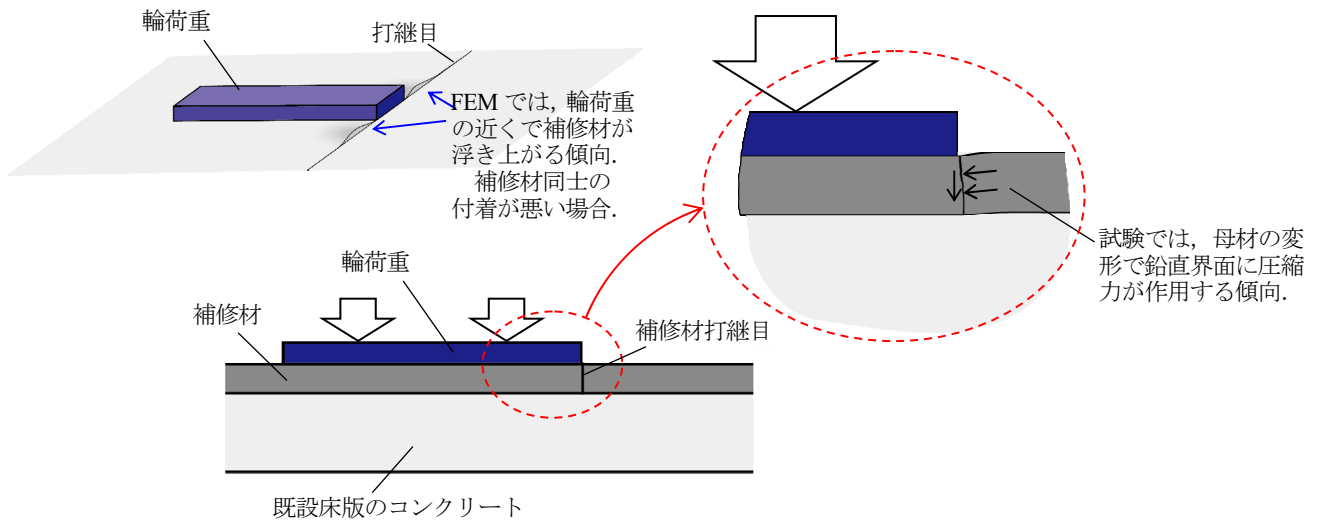
箇所で輪荷重が載っている側の補修材が浮き上がる傾向にある。前項(1)の要件 b)により、母材が比較的健全な状態であれば、(2)の照査によって鉛直界面の付着を確保することで、図-3.2.2(a)に示す段差の影響に対しても抵抗できると考えられる。

図-3.2.2(b)は、輪荷重が打継目からやや離れた位置に載荷される場合である。部分的な上面補修の輪荷重走行試験の Case 3 に近い状態であり、その場合に近傍の打継目の開きが生じていた。ただし、Case3 の場合、打継目と輪荷重走行位置の距離が短かったことから、補修材端部の浮き上がりは生じていなかった。橋面全面を対象に上面補修する場合は、(2)の照査によって補修材同士の付着を確保することで、図-3.2.2(b)に示した負曲げ挙動に抵抗できると考えられる。

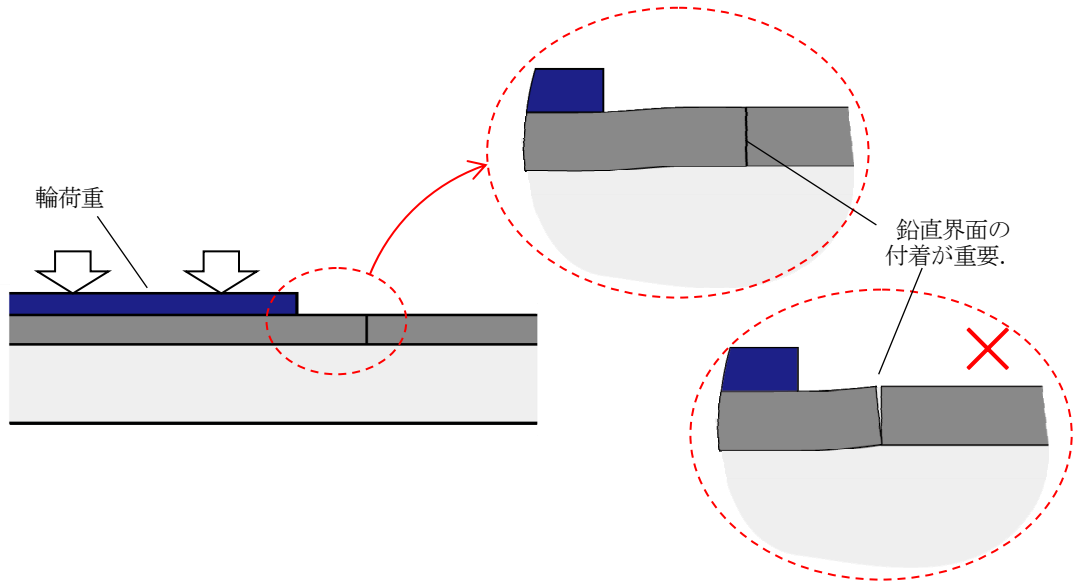


- 注 1) 補修材 A と補修材 B は同じ材料，配合を別の日に打設することを想定している。
 2) 補修材 A と補修材 B の鉛直界面は，実際に現場で用いる方法で製作する。

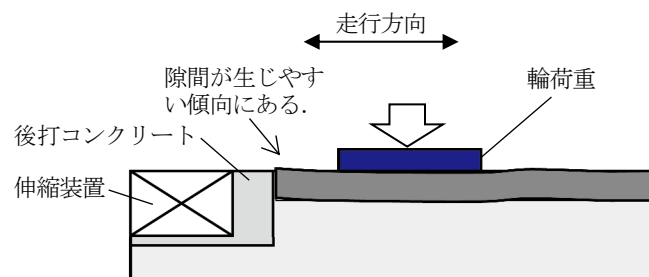
図-3.2.1 上面補修の鉛直界面の付着に関する負曲げ試験のイメージ



(a) 打継目直近に輪荷重が載る場合



(b) 打継目からやや離れた位置に輪荷重が載る場合



(c) 伸縮装置付近、特に縦目地との角部付近

図-3.2.2 橋面全面を対象にした上面補修の場合における輪荷重による打継目近傍の挙動
(載荷試験及びFEMの結果を踏まえて推定される挙動の概念図)

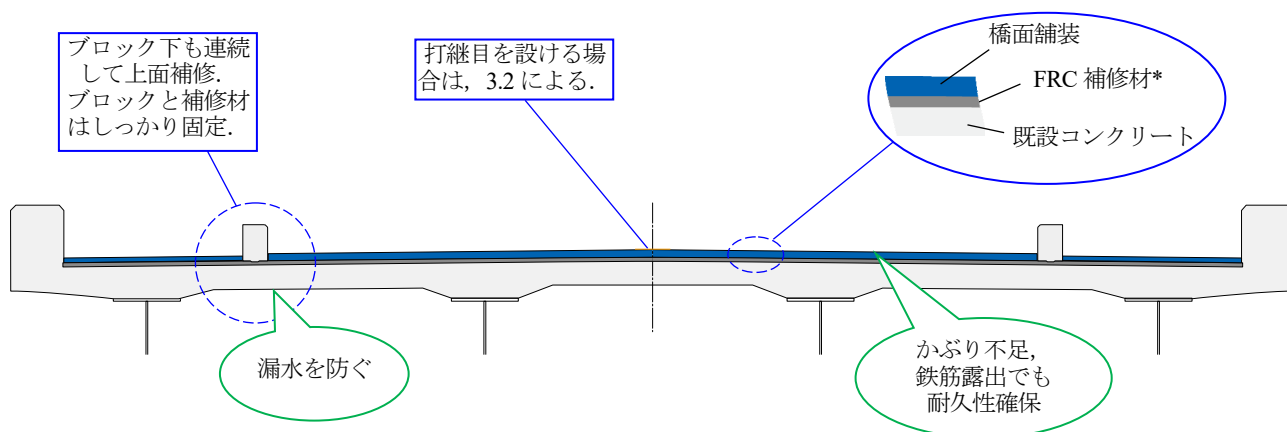
3.3 上面補修の配慮事項

以下に床版上面を補修する場合の配慮事項を示す。

- (1) 床版上面を補修する場合には、脆弱部が残存しないように確実に除去することが重要である。
- (2) 補修厚さは、補修材の性能に応じて、確実な施工と必要な性能が確保できるよう現場調査を基に適切に設定する。
- (3) 面的にも部分的な上面補修では、打継ぎ補修境界部から水が浸入し早い段階で再劣化を生じる事例が多い。そのため、補修範囲は床版全面とする必要がある。伸縮装置のある1径間単位で実施するのが良い。
- (4) 補修材料の打込みは、打継目の延長を最小限となるように連続して行う。必要に応じて打継目を設ける場合には、打ち継ぎ界面での割れやその付近で曲げひび割れが早期に生じないように、前節 3.2 の照査で性能を確認したときの打継目の処理方法に従って施工する。
- (5) 地覆部及び伸縮装置前面などと補修材の境界部は、路面水の浸入を遮断できる構造とする。
- (6) 打込み面の表面処理は、前節 3.2 の照査で性能を確認したときと同様に行う。補修材と既設コンクリートとの一体性を確保するため、塵埃・脆弱部は確実に除去することが重要である。また、照査の段階で補修材に適した表面仕上げ方法を選定する。
- (7) それぞれの補修材の特性や被補修部材の状態に応じて施工品質の低下が生じないように注意が必要であり、事前の準備、対策が大切である。補修に用いる材料は、主な因子の影響度を予め試験等で把握しておく。例えば、低温環境下で薄層の補修を行う場合は打設温度の急激な低下を防止するため、既設側打込み面の給熱養生やその後の防寒対策が必要である。また、高温環境下では施工時間帯に配慮することや、練り混ぜ水やミキシング装置を冷却するなど事前の対策に十分な配慮が必要である。

3.4 橋面全面を対象とした上面補修のメリット

第I編1章で述べたとおり、従来の部分的な上面補修では再劣化の事例が頻繁に見られ、本共同研究における試験結果より、部分的な補修では打継目への路面水浸入の抑制が構造的にも難しい傾向にあることを確認した。しかし、橋面全面を対象とした上面補修は、交通規制の協議、予算の確保ともに容易ではなく、その選択が難しいのが現状である。そこで、橋面全面を対象とした上面補修とすることのメリットを図-3.4.1に示す概念図で整理した。これらのメリットを考慮して、個々の現場で、橋面全面を対象にすることの有効性について検討され、適切に補修範囲が選定されることを期待する。



*) 高強度、高耐久性のFRCを対象。

図-3.4.1 橋面全面を対象にしたFRC上面補修のメリット（概念図）

メリット1 補修の繰返しの回避

再劣化が生じやすい傾向にある部分的な上面補修など、管理者の負担を数年後に先送りするだけの補修はできるだけ避ける必要がある。道路橋コンクリート床版の補修は、交通規制を伴うことから「補修の繰返し＝規制の繰返し」と考えておく必要がある。文献⁴⁾では、わずか4～5年で、部分的に補修した箇所が再劣化し、再補修となった事例が報告されている。前掲図-1.3.1の事例では、2～3年の間に、部分的な上面補修が、同じ輪荷重走行ラインに沿って、複数箇所でも複数回にわたって行われていたが、その数年後には床版全面にわたる大規模な補修に至った⁵⁾。第I編1章で述べたとおり、再劣化の主たる理由は、劣化した箇所を除去しきれなかったことと、補修材周囲の打継目への路面水浸入が挙げられる。前者について、劣化した箇所の面的な範囲を、現場で迅速かつ正確に把握するのは必ずしも容易でない。橋面全面を対象とすることで、劣化部の面的な取りこぼしを排除できる可能性が高い。ただし、床版上面にコンクリートの土砂化が見られる場合は、深さ方向に劣化が進行しやすい傾向にあるので、もはや上面だけでの補修は適さない³⁾⁴⁾。

橋面全面で上面補修する場合においても、片側通行規制として上り線と下り線を別の日に施工することが多いと考えられる。その際の打継目の処理は前節3.2で示した照査に適合した方法で、負曲げ試験に用いた供試体と同様の適切な材料の品質、施工の品質を確保した上で行う必要がある。全面通行止めの調整は特に

難しいと想定されるが、弱点となりやすい打継目をできるだけ設けないようにして施工するとその後の床版の耐久性に大いに有利になるため、う回路の確保が比較的容易な場合は、全面通行止めを検討する価値はあるものと考えられる。

メリット2 歩車道境界の防水

図-3.4.2～3のように、一般道の橋では歩行者の安全確保のため、歩道をかさ上げすることがよくある。かさ上げされた歩道と車道の境界、歩車道境界付近は横断勾配のため滞水しやすく、路面からの水がさらに舗装下の床版上面に浸入しやすい傾向にある⁶⁾。場合によっては、床版の劣化だけでなく、床版下の主桁にも悪い影響を及ぼす。図-3.4.4に示す事例では、歩車道境界直下の床版下面に漏水が見られ、その付近の床版コンクリート内部に水平ひび割れが生じていた事例である。歩車道境界には排水ますが設置されていたが、片勾配で滞水しやすい状況にあった⁷⁾。しかし、図-3.4.3のような断面構成のため、車道部の舗装全面打換えのときに、歩道部やコンクリートブロックの縁石を一旦除去して防水層を敷設するのは必ずしも容易でないため、車道部のみ防水層を設置する事例が多く見られる。改善のため、歩道をかさ上げしない取組みも見られるが、歩道部に通信ケーブルが埋設されている場合などは容易でない。橋面の防水を考える上で、歩車道境界の処置はかなり重要であるが、これまで決定的な解決策が見出せていない。

技術資料⁸⁾などでは歩道の下まで防水層を敷設する方法が例示されているが、防水層の上に縁石ブロックを確実に固定する方法が必ずしも確立されていない。高強度、高耐久性のFRC補修材で歩道部の下まで一貫して全面補修とした場合は、その補修材の高い防水効果に期待できるとともに、この歩車道境界の縁石ブロックの確実な固定が可能であると考えられる。

メリット3 鉄筋露出に対する有効性

橋面舗装の切削を行ったところ、図-3.4.5のように、鉄筋が部分的に露出する事例が見られる⁹⁾。原因は、必ずしもこのときの切削し過ぎとは限らず、建設時のかぶり不足や過去の切削時に床版上面を削ったこともあり得る。しかし、もし鉄筋の露出をそのままにして舗装すると、その後の鉄筋腐食や露出した鉄筋周囲の薄いかぶり部分がコンクリートの土砂化の遠因になる可能性がある。このことから、床版上面の全面的な増厚や床版の更新を予め検討する必要がある。しかし、全面的な床版上面の増厚は、伸縮装置の高さ修正や、橋だけでなく土工部の縦断線形も調整する必要が生じることから決して容易ではない。

暴露試験（第IV編2章）に用いた材料のように、高強度で遮水効果が高く、塩分浸透抵抗性や凍結融解抵抗性などの耐久性に有利な補修材を用いる場合、鉄筋が露出したり、かぶりが不足していても比較的軽微な程度の増厚でそれを補うことができると考えられる。



図-3.4.2 歩車道境界の例⁶⁾

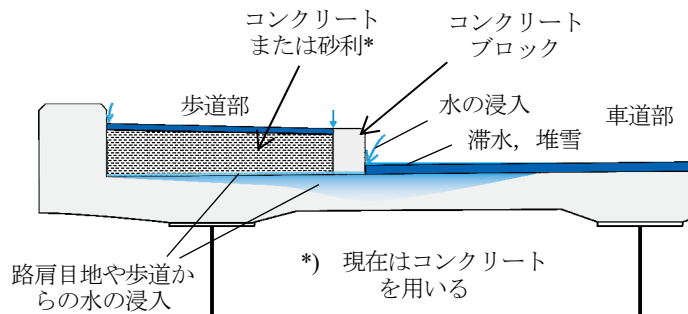


図-3.4.3 歩車道境界の断面図例と懸念される水の浸入⁶⁾

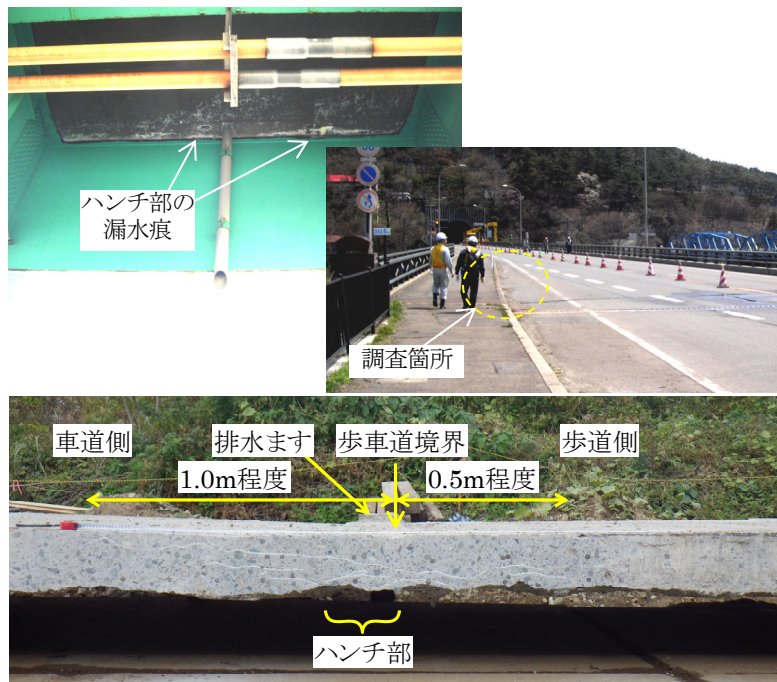


図-3.4.4 歩車道境界付近の水平ひび割れ⁷⁾

(左上：床版下面ハンチ部の漏水，右上：路面の状況，
下：撤去時の床版断面，白いチョークがひび割れを示す)



図-3.4.5 かぶり不足や切削による床版上面の鉄筋露出の例⁶⁾

4. まとめ

本共同研究では、新技術導入促進の観点から、新たに開発されている短繊維補強コンクリート（FRC）を用いることを想定した上で、床版の更新技術と上面補修技術について検討を行った。得られた主な結果を次に示す。

(1) 更新技術（第I編2章参照）

- 1) 水張り下で輪荷重が走行したときにおけるプレキャスト床版接合部の挙動を把握するため、3者それぞれで開発された、接合部を有するFRCプレキャスト床版3体を用いて、水張り輪荷重走行試験を行った。その結果、水張りでの輪荷重走行下において、プレキャスト床版の接合部に負曲げが生じること、構造や荷重の程度などによっては接合部から漏水が生じることが分かった。
- 2) プレキャスト床版の接合部の開発において、路面水浸入に対する接合部の構造性能を簡易に把握するための試験法としてはり試験に着目して、4者それぞれで開発された、さまざまな接合部を有するFRCはり供試体12体の負曲げ試験を行った。その結果、打継目の付着強度を含めて、それぞれの接合部の構造性能を把握するとともに、試験法の妥当性を確認した。
- 3) はり供試体の接合部は輪荷重走行試験に用いた床版供試体とそれぞれ同じ形状寸法のものを用いた。ただし、供試体Eは、既往の輪荷重走行試験に用いた床版供試体の接合構造と同じとした。それらの供試体を用いた輪荷重走行試験及びはりの負曲げ試験の結果を踏まえて、負曲げの下での路面水浸入に対する照査法の試案を示した。照査のしきい値、試験法とともに、その影響度などを踏まえて精査する必要があるが、プレキャスト床版の接合部の設計における負曲げの照査の必要性と方法をできるだけ具体的に示した。
- 4) 一連の試験で得られた知見を踏まえて、プレキャスト床版接合部の開発における改善の方向性を示した。具体には、版としての連続性を保持するために必要な接合部の曲げ剛性の確保、路面水の浸入に対して重要なマトリックスの付着の確保、高強度FRCの引張特性を活かすジグソー形式の接合構造の3点を提示した。

(2) 上面補修技術（第I編3章参照）

- 1) 上面補修の検討では、その早期再劣化を改善するため、構造的な視点から打継目付近の挙動に着目した輪荷重走行試験及びはりの負曲げ試験を行い、照査のための試験方法や上面補修を適用する際の留意点をまとめた。
- 2) これまで報告されている道路橋RC床版の部分的な上面補修の早期再劣化の事例を踏まえて、高強度FRCを用いて、橋面全面で上面補修を行うことが再劣化防止に有利であることを、メリット1～3としてまとめた。

また、本共同研究で実施したさまざまな試験結果を第Ⅱ編から第Ⅳ編にまとめた。主な内容を次に示す。

(3) 共通試験（第Ⅱ編参照）

共通試験として、各者の FRC について、20 体の塩水凍結融解抵抗性試験及び 82 体の直接引張試験の結果をまとめた。また、UFC を用いたリブ付き床版であった輪荷重走行試験の床版供試体 A (TS1) から試料を切り出し、鋼繊維の配向性調査を行った結果をまとめた。

(4) 更新技術に関する試験（第Ⅲ編参照）

- 1) 接合部を有する FRC プレキャスト床版供試体 3 体の水張り輪荷重走行試験、及び接合部を有する FRC はり供試体 12 体の負曲げ載荷試験の結果をまとめた。主な結果はそれぞれ第Ⅰ編 2.2, 2.3 のとおりである。
- 2) 接合部を有する FRC はりの負曲げ試験について、ファイバーモデルによる計算をそれぞれのはり供試体を対象に試みた。その結果、接合部を有する場合においても接合部の各断面の性能を適切に評価することで、 $M-\phi$ 関係や荷重-支間中央たわみの関係を概ねよく算出できることを確認した。また、その計算における留意点をまとめ、プレキャスト部材の接合部の開発における同計算法の有用性を示した。
- 3) FRC プレキャスト床版の接合部の改善に向けて、ジグソー形式の接合について 2 体の負曲げはり試験を追加して実施した結果をまとめるとともに、ジグソー形式とすることの利点と設計上の留意点をまとめた。

(5) 上面補修技術に関する試験（第Ⅳ編参照）

- 1) 上面補修を模擬した試験体を製作して屋外暴露試験を開始した。本報告書では、各者の FRC 及び比較用の超速硬コンクリートを用いて、補修材料の材齢約 1 年までの各種強度試験、外観、鉄筋ひずみの結果をとりまとめた。目視で確認できる範囲では、いずれの補修材料もひび割れは生じなかった。
- 2) 床版上面補修における基礎的な検討として、弾性床と見なせる厚い版に上面補修を模擬した供試体を用いて、界面挙動を把握するための輪荷重走行試験を行うとともに、その FEM 解析を行った。その結果、次の知見が得られた。
 - i) FEM 解析では、母材と補修材の隙間の有無によって、補修材のそり変形の挙動と開口挙動に差があった。
 - ii) 輪荷重走行試験の結果より、界面の開口量と段差量は、0.01mm のオーダーで生じていた。
 - iii) 試験結果と解析結果を比較すると、載荷ブロックに近い界面の開口挙動では、0.1mm の隙間を考慮した解析結果と同様な傾向であった。一方で、載荷ブロックと離れた界面の開口挙動は、実験では補修材端部が浮き上がるそり変形の挙動が生じないことから、隙間がない解析結果と一致していた。
 - iv) 輪荷重走行試験において初期の隙間や開口挙動は、微小であり目視では確認できなかった。走行下で水を滴下した際に界面で動きがみられたが、FEM 解析で設定した 0.1mm よりも小さかったと推察される。
 - v) 輪荷重走行試験の結果より、接着剤の有無で界面の開口挙動は変わらなかった。接着剤は、界面の変形を拘束するのではなく、変形に対して追従していたものと考えられた。
- 3) 上面部分補修を模擬したはり供試体 4 体を用いて負曲げ試験を行った結果、この試験の範囲で次の知見が得られた。
 - i) 鉛直界面の割れまたはその付近で曲げひび割れが生じた後は、鉄筋下まで補修した場合であっても、負曲げを受けると補修端部付近の水平界面にせん断応力が作用することがわかった。ただし、せん断応力度の分布の大きさは、鉄筋による引張力の分担があってもほとんど変わらなかった。

ii) 無補修の RC はりにおける計算曲げひび割れ発生荷重の 2~3 倍程度で、補修端部付近の水平界面に割れが生じ始めた。一方、鉄筋下まで補修した供試体では、水平界面にせん断応力が作用していたが、水平界面の割れは生じなかった。

なお、鉛直界面の割れは、主として母材コンクリートの乾燥収縮の影響などにより、いずれの供試体においてもかなり早い段階で生じたため、鉛直界面の割れに及ぼす補修の範囲や深さの影響を把握することができなかった。

(6) プレキャスト床版接合部の路面水浸入に対する照査に用いる負曲げ試験の試行（第 III 編付属資料参照）
第 III 編に示した試験結果を踏まえて改良等を施した、3 者それぞれの FRC プレキャスト床版の新たな接合構造を対象に、前節 2.3 で提示した接合部の負曲げ試験を同様に行い、それらの結果をまとめた。

本報告書では、以上の内容に加えて、本共同研究と関連して、国土交通省の新技术導入促進事業の一環として協力活動を行った結果として、新技术導入促進要領案に関わる共同研究参加各者の短繊維コンクリートを用いたプレキャスト床版の技術情報を巻末に収録した。

参考文献

[1章]

- 1) 国広哲男：道路橋床版の問題点，橋梁と基礎，2-7，pp.1-5，1968.7.
- 2) 村越潤，田中良樹：道路橋 RC 床版の劣化形態の多様化と防水対策，土木施工，Vol. 55, No. 6, pp. 68-71, 2014.6.
- 3) 田中良樹，寺田剛，渡邊真一，上仙靖，藪雅行：道路橋コンクリート床版の土砂化対策～床版防水に配慮した橋面舗装の打換え技術の提案～，土木技術資料，62-6，pp. 40-45，2020.
- 4) 田中良樹，村越潤，長屋優子，吉田英二：鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性に関する最近の研究，土木技術資料，56-3，pp.30-35，2014.3.
- 5) 村越潤，田中良樹，吉田英二：既設 RC 床版の更新技術に関する研究，平成 24 年度プロジェクト研究・重点研究報告書，国立研究開発法人土木研究所，2012.
- 6) 国土交通省道路局国道・技術課，国土技術政策総合研究所，東北地方整備局，北陸地方整備局，中部地方整備局，九州地方整備局，北海道開発局，国立研究開発法人土木研究所：道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究，土木研究所資料，第 4398 号，2020.3（再掲）
- 7) AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究，点検 AI（床版の土砂化等）開発グループ：AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究報告書（II-2）ーレーダを用いた床版上面の劣化調査，国道 210 号山ノ釣橋一，土木研究所共同研究報告書，No. 552，2022.3.
- 8) 藤原英之：道路橋コンクリート床版の「土砂化」に関する調査報告，JBEC レポート，10，pp.11-17，2014
- 9) 和田吉憲，松本政徳，渡邊晋也：床版上面の断面修復に浸透性接着剤を用いた場合の疲労耐久性向上に関する検討，第 8 回道路橋床版シンポジウム論文報告集，土木学会，pp. 81-86，2014.10

[2章]

- 1) 川間重一，内田賢一，西川和廣：既設 RC 床版の階段状荷重漸増増載荷における疲労耐久性評価手法に関する検討，第 55 回土木学会年次学術講演会概要集，CS-257，2000.9.
- 2) 小坂崇，金治英貞，一宮利通，藤代勝：床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討，第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 569-574，2017.10.
- 3) 牧田通，北川寛和，横田祐起，本田智昭，一宮利通：直接引張試験による UHPFRC の引張特性に関する研究，第 72 回土木学会年次学術講演会概要集，V-542，2017.9.（再掲）
- 4) 夏堀格，田中良樹，上仙靖，小沢拓弥，古賀裕久：各種短繊維補強コンクリートの直接引張試験，第 77 回土木学会年次学術講演会概要集，V-228，2022.9.（再掲）
- 5) 岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991.5.
- 6) Timoshenko, S. P. and Young, D. H. : *Elements of Strength of Materials*, fifth edition, Maruzen, 1968.
- 7) 小沢拓弥，田中良樹，古賀裕久，上仙靖：道路橋コンクリート床版の上面補修界面における開口挙動，コ

ンクリート工学年次論文集, 44-2, pp.295-300, 2022. (再掲)

[3章]

- 1) 小沢拓弥, 田中良樹, 古賀裕久, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の上面補修界面における開口挙動, コンクリート工学年次論文集, 44-2, pp.295-300, 2022. (再掲)
- 2) 小沢拓弥, 田中良樹, 古賀裕久, 石田雅博: 負曲げを受ける RC 床版の上面補修界面の挙動に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, 45-2, pp. 271-276, 2023. (再掲)
- 3) 田中良樹, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の土砂化に関する調査～土砂化中間層とその適切な除去範囲～, 土木技術資料, 61-7, pp. 53-54, 2019.7.
- 4) 国土交通省道路局国道・技術課, 国土技術政策総合研究所, 東北地方整備局, 北陸地方整備局, 中部地方整備局, 九州地方整備局, 北海道開発局, 国立研究開発法人土木研究所: 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究, 土木研究所資料, 第 4398 号, 2020.3. (再掲)
- 5) AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究, 点検 AI (床版の土砂化等) 開発グループ: AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究報告書 (II-2) ーレーダを用いた床版上面の劣化調査, 国道 210 号山ノ釣橋一, 土木研究所共同研究報告書, No. 552, 2022.3. (再掲)
- 6) 田中良樹, 上仙靖, 藪雅行, 川上篤史: 橋面アスファルト舗装の防水性向上の取組み～道路橋コンクリート床版の予防保全に向けて～, 土木技術資料, 63-12, pp. 8-11, 2021.12.
- 7) 村越潤, 田中良樹: 道路橋 RC 床版の劣化形態の多様化と防水対策, 土木施工, Vol. 55, No. 6, pp. 68-71, 2014.6. (再掲)
- 8) 道路橋床版防水便覧, 日本道路協会, 2007.

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の
耐久性向上技術に関する共同研究報告書

第Ⅱ編 共通試験報告

1. 塩水凍結融解抵抗性試験

1.1 概要

これまで、超高強度繊維補強コンクリートの凍結融解抵抗性については、淡水を用いた凍結融解試験（JIS A1148, A法）の報告がなされているが¹⁾、塩分がある場合については必ずしも明らかではない。一般的に、凍害環境では塩分の作用を受けることでスケーリングが生じやすくなり、特に塩分濃度が3%程度のとき、その影響が大きくなることが知られている。そこで、本検討では、塩水（3%NaCl）を用いた凍結融解試験を実施して、塩分環境下における凍結融解抵抗性を検討した。

1.2 試験方法

1.2.1 配合と養生条件

表-1.2.1.1に配合条件を示す。基準供試体(以下、N供試体)は、結合材Bに普通セメントを使用し、W/B50%、空気量5.5%とした。超高強度繊維補強コンクリート供試体(以下、UH供試体)には、W/B15%程度、空気量5%以下である4者²⁻⁵⁾の配合を使用し、軽量骨材を用いた高強度繊維補強コンクリート供試体(以下、LA供試体)には、1者の配合を使用した。なお、想定する用途(本体、目地および補修)で配合が若干異なる場合があり、それらも含めて試験した。供試体名は、材料名-部材名(例えば、S-本体)で示す。

表-1.2.1.1 配合条件

供試体種類	供試体名	W/B (%)	単体量 (Kg/m ³)				目標空気量 (%)	繊維種類	
			水 W	結合材 B	骨材 ^{※1}	混和剤 ^{※2}			
N 供試体	N	50.0	165	330	1,801	2.0	5.5	-	
UH 供試体	S-本体	13.4	201	1,500	629	38.8	2.5	有機	
	S-目地	13.4	201	1,500	629	38.8			
	S-補修	13.2	198	1,500	650	34.4			
	UH 供試体	TS-本体	14.1	180	1,278	934	17.0	2.0	鋼
		TS-目地	15.2	216	1,423	650	35.0		
		TS-補修	15.7	170	1,086	1,135	11.0		
		KJ-本体	15.2	195	1,287	905	32.2	2.0	鋼
UH 供試体	JT-補修	-	250~300	1,780 以上		35.0~45.0	5.0 以下	鋼	
LA 供試体	KF-本体	18.0	162	900	600	16.0	13.0	有機	
	KF-目地	21.0	273	1300	450	27.0	2.0		

※1: N 供試体では細骨材と粗骨材, UH 供試体では細骨材, LA 供試体では軽量骨材を使用した。

また, KF-本体と KF-目地では骨材径が異なる

※2: N 供試体では AE 剤, UH 供試体および LA 供試体では高性能減水剤・消泡剤等を使用した。

表-1.2.1.2 に養生条件を示す。UH 供試体および LA 供試体では、供試体製作の都合や想定する用途によって養生条件が異なるため、20℃で28日以上の中養生を行って、試験前の条件を統一した。

表-1.2.1.2 養生条件

供試体名	養生条件
N	打設 2020.11.17 → 脱型後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
S-本体	打設 2020.11.30 → 脱型後, 蒸気養生(90℃8h) → 水中養生(20℃) → 土研発送 2020.12 月中旬 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
S-目地	打設 2020.11.30 → 脱型後, 水中養生(20℃)
S-補修	→土研発送 2020.12 月中旬 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
TS-本体	打設 2020.12.1 → 材齢 24 時間(20℃封緘)で脱型後, 蒸気養生(90℃×48 時間維持, 昇温速度 15℃/hr) → 土研発送 2020.12 月中旬 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
TS-目地	打設 2020.9.2 → 材齢 24 時間 (20℃封緘) で脱型後, 20℃環境にて封緘養生 → 土研発送 2020.12 月中旬 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
TS-補修	打設 2020.11.13 → 材齢 24 時間 (20℃封緘) で脱型後, 20℃環境にて封緘養生 → 土研発送 2020.12 月中旬 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
KJ-本体	打設 2020.12.15 → 翌日脱型後, 85℃24h の蒸気養生, 室内で徐冷 → 土研発送 2020.12.18 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
JT-補修	打設 2020.11.6 → 標準養生 → 2020.12.07 気中養生, 室内 20℃ → 土研発送 2020.12.15 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)
KF-本体	打設 2020.12.10 → 2020.12.11 に脱型後, 水中養生(20℃)
KF-目地	→ 土研発送 2020.12.17 → 到着後, 2021.1.26 まで水中養生(20℃)

1.2.2 圧縮強度

表-1.2.2.1 に、各供試体の圧縮強度を示す。供試体寸法は、N 供試体では $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 、UH 供試体および LA 供試体では $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱とした。圧縮強度の測定は、凍結融解開始日に行い、N 供試体では 47N/mm^2 、UH 供試体では $136 \sim 220 \text{N/mm}^2$ 、LA 供試体では $47 \sim 106 \text{N/mm}^2$ であった。なお、試験開始の材齢は、供試体製作の都合上、統一することができず、 $42 \sim 146$ 日の範囲であった。

1.2.3 凍結融解試験

凍結融解試験の方法は、JISA 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」における A 法に準拠し、試験水には淡水の代わりに塩水 (3%NaCl) を用いた。測定は、相対動弾性係数と質量減少率を測定し、写真撮影による外観観察を行った。測定を行うサイクルは、0, 10, 30, 50, 70, 100, 140, 180, 220, 260 および 300 サイクルの計 11 回行った。供試体寸法は、 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱とした。

表-1.2.2.1 強度試験の結果

供試体名	No.	寸法							質量 (g)	見掛 密度 (g/cm ³)	圧縮強度試験		
		直径1 d1 (mm)	直径2 d2 (mm)	平均 d (mm)	高さ1 h1 (mm)	高さ2 h2 (mm)	平均 h (mm)	体積 V (cm ³)			最大荷重 P (kN)	圧縮強度 f _c (N/mm ²)	平均
N- 基準	1	99.77	99.82	99.80	198.5	198.5	198.5	1553	3619	2.33	370	47.3	47.2
	2	99.81	99.67	99.74	198.6	198.5	198.6	1552	3611	2.33	373	47.7	
	3	99.76	99.81	99.79	198.8	198.7	198.8	1554	3612	2.32	364	46.6	
S- 本体	1	50.04	49.97	50.01	94.08	94.10	94.09	184.8	451.0	2.44	318	162	168
	2	50.19	49.93	50.06	95.15	95.17	95.16	187.3	456.7	2.44	334	170	
	3	50.14	49.87	50.01	95.40	95.37	95.39	187.3	457.3	2.44	336	171	
S- 目地	1	50.20	50.05	50.13	94.68	94.60	94.64	186.8	456.5	2.44	301	153	161
	2	50.17	50.10	50.14	95.21	95.08	95.15	187.8	459.2	2.45	313	159	
	3	50.18	49.76	49.97	94.97	94.95	94.96	186.2	458.3	2.46	337	172	
S- 補修	1	50.22	50.05	50.14	95.22	95.14	95.18	187.9	444.5	2.37	268	136	136
	2	50.15	50.11	50.13	93.62	93.70	93.66	184.9	439.3	2.38	267	135	
	3	50.09	49.94	50.02	92.07	92.25	92.16	181.1	432.6	2.39	270	137	
TS- 本体	1	50.05	49.85	49.95	96.06	95.90	95.98	188.1	475.3	2.53	422	215	220
	2	50.19	49.68	49.94	96.49	96.57	96.53	189.0	479.9	2.54	425	217	
	3	50.08	49.98	50.03	96.22	96.18	96.20	189.1	476.4	2.52	446	227	
TS- 目地	1	50.16	49.80	49.98	98.62	98.72	98.67	193.6	472.9	2.44	354	180	180
	2	50.25	49.90	50.08	98.35	98.13	98.24	193.5	469.5	2.43	345	175	
	3	50.04	50.19	50.12	97.99	98.00	98.00	193.3	466.8	2.42	364	185	
TS- 補修	1	50.09	49.94	50.02	99.19	99.21	99.20	194.9	485.1	2.49	377	192	187
	2	50.07	50.01	50.04	99.60	99.50	99.55	195.8	488.5	2.50	351	178	
	3	50.03	50.04	50.04	99.58	99.56	99.57	195.8	488.4	2.50	373	190	
KJ- 本体	1	50.00	49.98	49.99	99.05	99.28	99.17	194.6	490.3	2.52	347	177	179
	2	50.14	49.86	50.00	98.49	98.68	98.59	193.6	483.6	2.50	375	191	
	3	50.04	49.98	50.01	97.99	97.98	97.99	192.5	483.5	2.51	333	170	
JT- 補修	1	50.01	49.67	49.84	99.71	99.21	99.46	194.0	499.0	2.57	375	192	181
	2	49.96	49.99	49.98	98.09	98.42	98.26	192.7	495.3	2.57	352	179	
	3	49.73	50.00	49.87	98.63	98.62	98.63	192.6	495.1	2.57	333	171	
KF- 本体	1	50.18	50.30	50.24	96.96	96.97	96.97	192.2	337.7	1.76	82.0	41.4	46.9
	2	50.28	50.18	50.23	97.54	97.48	97.51	193.2	338.4	1.75	98.6	49.8	
	3	50.21	50.40	50.31	97.18	97.09	97.14	193.1	338.5	1.75	98.8	49.7	
KF- 目地	1	50.37	50.28	50.33	98.19	98.22	98.21	195.3	402.8	2.06	207	104	106
	2	50.22	50.38	50.30	97.69	97.80	97.75	194.2	401.5	2.07	221	111	
	3	50.39	50.26	50.33	97.40	97.45	97.43	193.8	399.3	2.06	204	103	

注) N 供試体ではφ100×200mm, UH 供試体およびLA 供試体ではφ50×100mmの円柱とした

1.3 試験結果

1.3.1 相対動弾性係数

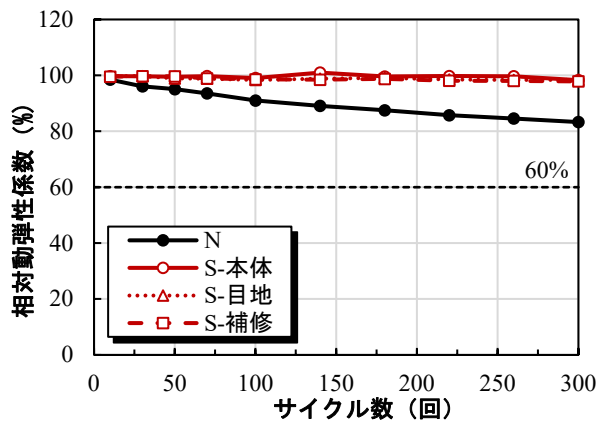
N 供試体と UH 供試体における凍結融解のサイクル数と相対動弾性係数との関係を図-1.3.1.1, N 供試体と LA 供試体における関係を図-1.3.1.2 に示す. N 供試体は, 相対動弾性係数が最初の測定点である 10 サイクル目から徐々に低下しており, 試験終了時の 300 サイクル目には 83%まで低下した. 一方で, UH 供試体では, 相対動弾性係数がいずれも試験終了時までほぼ変化がなく, 98%以上であった. また, LA 供試体では, N 供試体と同程度の配合と, 相対動弾性係数が試験終了時までほぼ変化がない配合があった. この理由については, 次節で考察する.

1.3.2 質量減少率

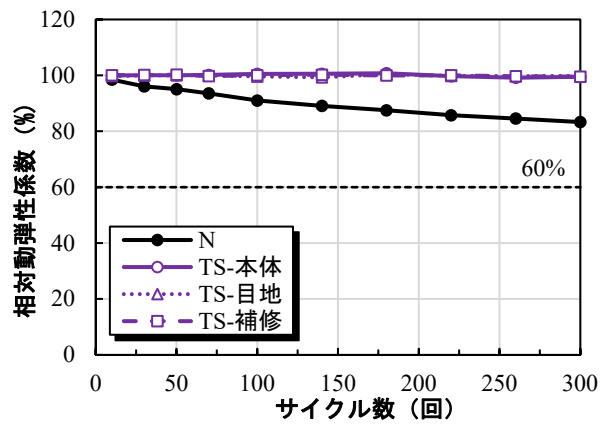
N 供試体と UH 供試体における凍結融解のサイクル数と質量減少率との関係を図-1.3.2.1 に, N 供試体と LA 供試体における関係を図-1.3.2.2 に示す. N 供試体は, 質量が 10 サイクル目から徐々に減少しており, 試験終了時の質量減少率では 11%であった. 一方で, UH 供試体は, 質量減少率がいずれも試験終了時まで 0%であった. また, LA 供試体では, 試験終了時の質量減少率が-2%とわずかに増加した配合と, 試験終了時までほぼ変化がない配合があった.

1.3.3 外観の様子

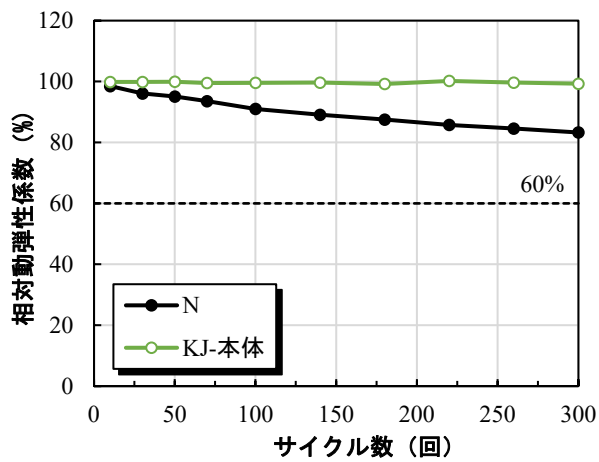
図-1.3.3.1 から図-1.3.3.22 に, N 供試体, UH 供試体および LA 供試体における凍結融解試験開始前と終了後の外観を撮影した写真を示す. ここで, A 面は打設面, B 面は側面を示している. N 供試体は, 凍結融解の影響でコンクリート表面の劣化が進行し, 骨材が露出した状態になった. 一方で, UH 供試体は, 表面の気泡が若干目立つようになったものの外観がほとんど変わらなかった. LA 供試体では, 全供試体のうち一体で軽量骨材がポップアウトする現象が見られた (図-1.3.3.20(b)). なお, この現象は, 180 サイクルの観察時に確認できた.



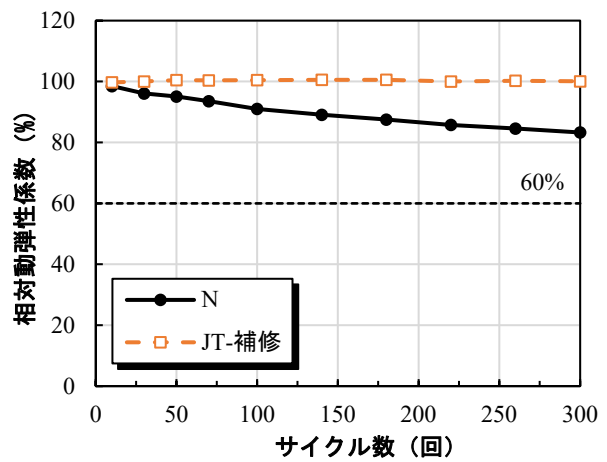
(a)S



(b)TS



(c)KJ



(d)JT

図-1.3.1.1 N 供試体と UH 供試体における相対動弾性係数の比較結果

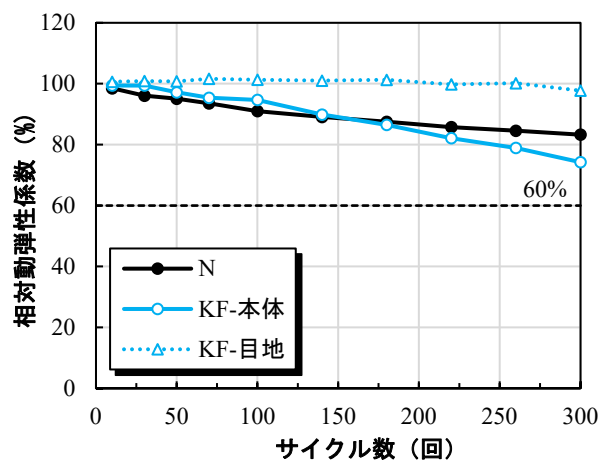
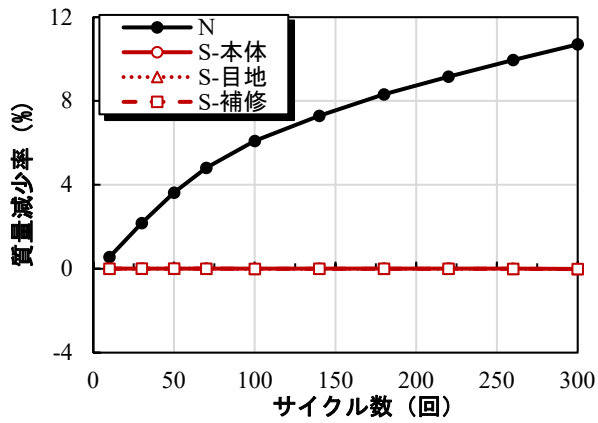
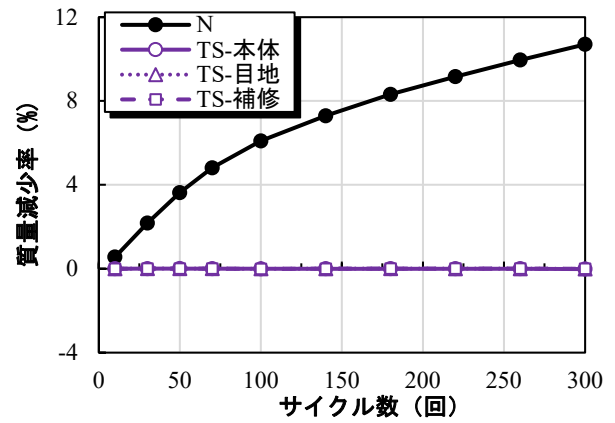


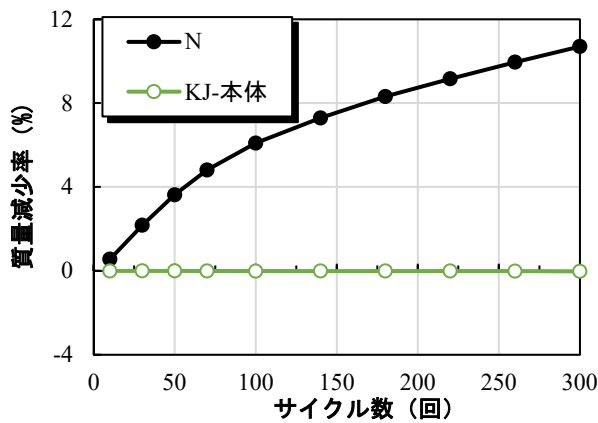
図-1.3.1.2 N 供試体と LA 供試体における相対動弾性係数の比較結果



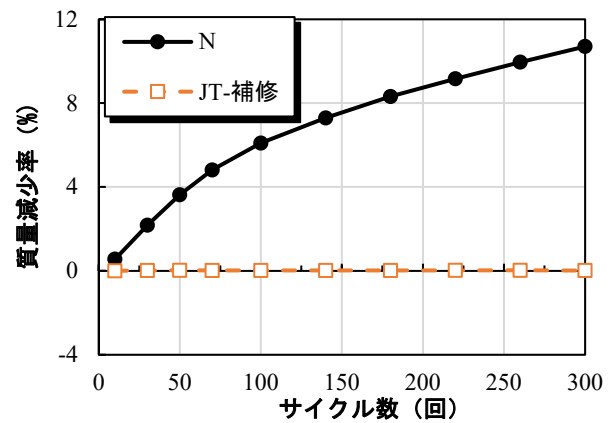
(a)S



(b)TS



(c)KJ



(d)JT

図-1.3.2.1 N 供試体と UH 供試体における質量減少率の比較結果

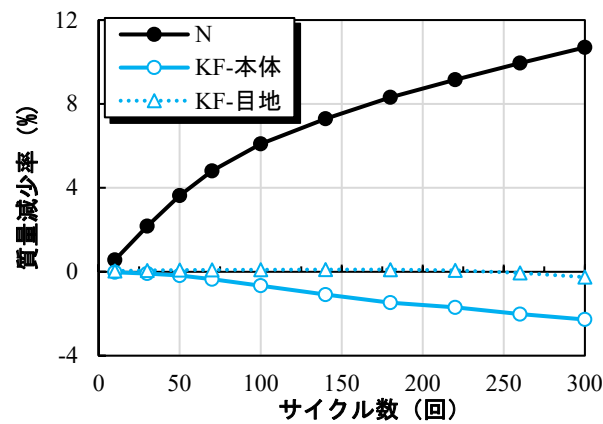


図-1.3.2.2 N 供試体と LA 供試体における質量減少率の比較結果



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.1 Nの0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.2 Nの300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.3 S-本体の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.4 S-本体の300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.5 S-目地の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.6 S-目地の300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.7 S-補修の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.8 S-補修の300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.9 TS-本体の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.10 TS-本体の300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.11 TS-目地の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.12 TS-目地の300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.13 TS-補修の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.14 TS-補修の300サイクル

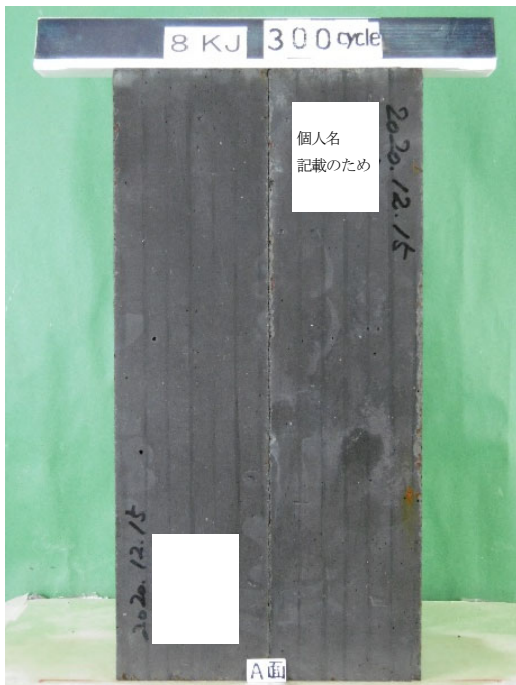


(a)A 面

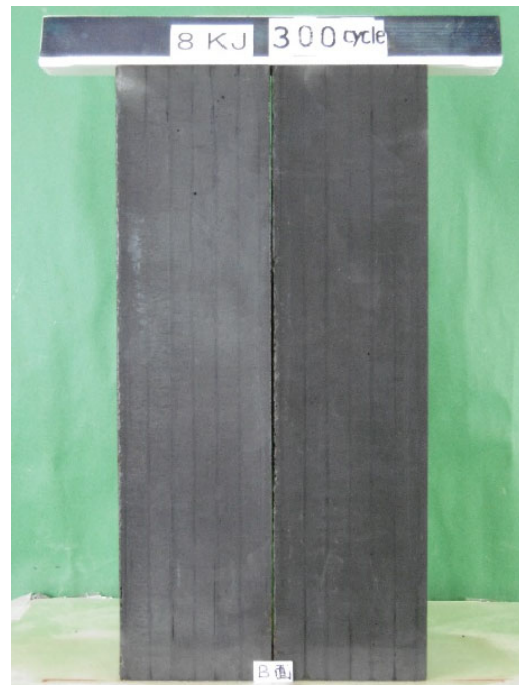


(b)B 面

図-1.3.3.15 KJ-本体の 0 サイクル



(a)A 面



(b)B 面

注) マスキング箇所も特に変状は見られなかった.

図-1.3.3.16 KJ-本体の 300 サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.17 JT-補修の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.18 JT-補修の300サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.19 KF-本体の0サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.20 KF-本体の300サイクル



(a)A 面

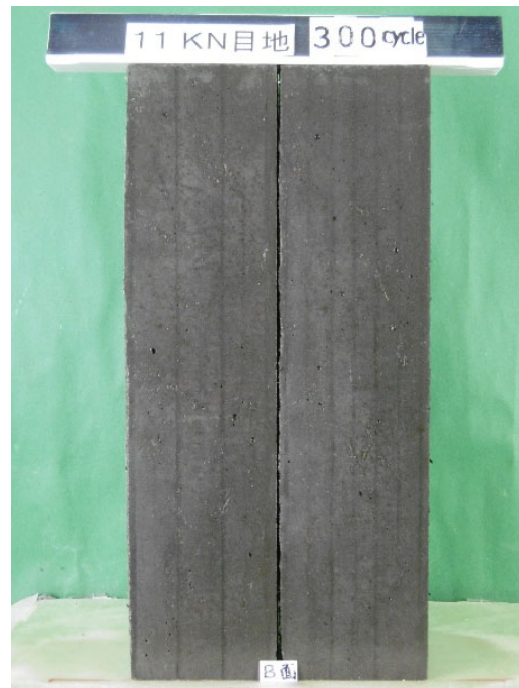


(b)B 面

図-1.3.3.21 KF-目地の 0 サイクル



(a)A 面



(b)B 面

図-1.3.3.22 KF-目地の 300 サイクル

1.3.4 考察

N 供試体と比較して UH 供試体は、繊維の種類、配合や養生条件、圧縮強度がそれぞれ異なるにも関わらず、良好な凍結融解抵抗性を示していた。理由としては、W/B が極端に低く組織が緻密であるため、凍害の発生要因である水や塩がほとんど浸透せず⁹⁾、また圧縮強度に応じて引張強度も高いため、凍結による水圧や濃度差による浸透圧に対する抵抗力も向上していたものと考えられる。

N 供試体と比較して LA 供試体の中で KF-本体は、相対動弾性係数が同程度であり、質量減少率の符号がマイナスを示すことから質量が増加し、外観の様子（図-1.3.3.20(b)）から骨材がポップポップアウトする現象が見られた。質量が増加した理由は、試験中に軽量骨材に試験水が吸収されたことが原因として考えられる。過去の研究では、軽量骨材を使用したコンクリートで、軽量骨材の吸水率が高く、耐凍害性が低下したものが指摘されている⁶⁾。しかし、KF-本体は、従来から使用されているコンクリートを模擬した N 供試体と相対動弾性係数の観点では同等の凍結融解抵抗性を示しており、また、スケーリングによる断面の減少もほとんど見られなかった。そして、KF-目地においては、相対動弾性係数、質量減少率と外観の様子にも変化が見られなかったことから、UH 供試体と同様に良好な凍結融解抵抗性を示していた。

1.4 まとめ

5 者の配合が異なる超高強度繊維補強コンクリートおよび軽量骨材を用いた高強度繊維補強コンクリートの塩水を用いた凍結融解試験を実施した。その結果、300 サイクルまでの間、相対動弾性係数、質量減少率や外観の変化が認められなかったことから、良好な凍結融解抵抗性を示していた。

参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー113，2004.
- 2) 野澤忠明，濱口祥輝，大石裕介，松井繁之：超高強度材料を用いた薄型 RC 床版の開発，構造工学論文集，Vol.62A，pp.1214-1225，2016.
- 3) 島崎利孝，橋本理，小栗直幸，石田征男：既設 RC 床版上面増厚工法への現場打ち UFC の適用性の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.2，pp.1177-1182，2019.
- 4) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「サクセム」の技術評価報告書，技術推進ライブラリーNo.3，2006.
- 5) 国土交通省：NETIS HK-140006-A「超緻密高強度繊維補強コンクリート (J-THIFCOM)」
- 6) 遠藤裕丈，田口史雄，竹本伸一：軽量コンクリートの寒冷地への適用性に関する検討，土木学会第 57 回 年次学術講演会概要集，V-520，pp.1039-1040，2002.

2. 直接引張試験

2.1 概要

短繊維補強コンクリート（以下 FRC）を道路橋床版に適用する際に引張強度特性を簡潔かつ明確に把握する方法として、すでに提案されている直接引張試験方法¹⁾に着目して各種 FRC の試験を実施するとともに、試験法改善点について検討を行った。

2.2 試験方法

直接引張試験用の供試体の作り方や試験方法の詳細は、付属資料II-1、II-2 による。また、直接引張試験の参考のため圧縮強度試験も実施した。

2.2.1 測定方法

図-2.2.1.1 に供試体の測定位置を示す。供試体の形状寸法は、ドッグボーン型で全長 400mm、幅 100mm である。供試体の両側面には、ひずみゲージ（ゲージ長 60mm）を鉛直方向と水平方向にそれぞれ設置し、正面には鉛直方向に設置した。また、正面には引張軟化曲線（引張応力-ひずみ曲線）を得るため、標点間距離が 100mm の場合では接触式またはレーザ変位計、150mm の場合ではパイ型変位計のいずれかを設置し、得られた変位を標点間距離で除してひずみにした。計測はひずみゲージ、変位計および試験機荷重を 5Hz で測定した。

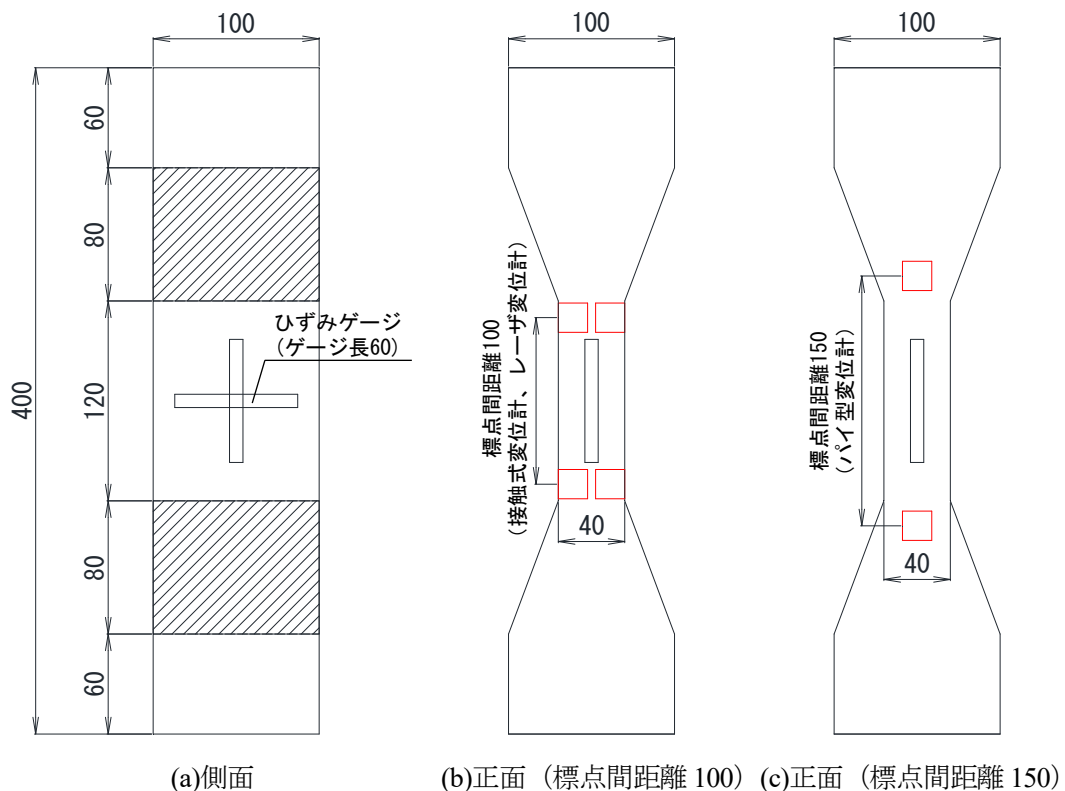
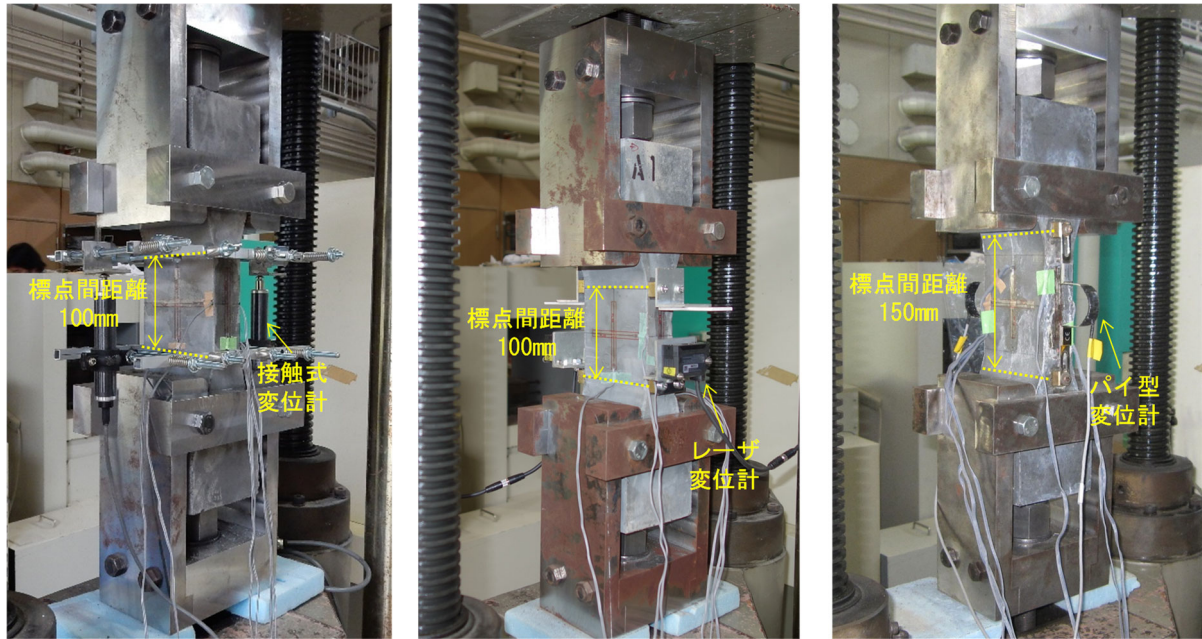


図-2.2.1.1 測定位置（単位：mm）

2.2.2 荷重方法及び荷重速度

図-2.2.2.1 に試験状況を示す。既往の研究¹⁾と同様に、供試体の形状に適した把持装置を製作し、万能試験機に取り付けることで試験を実施した。荷重速度については最大荷重後の軟化曲線が得られるようピーク荷重時までは供試体の変形速度が0.02mm/分程度で一様な速度とし、ピーク荷重後は0.2mm/分とした。試験を行う供試体の数は各種3体ずつとした。



(a)接触式（標点間距離 100mm）

(b)レーザ（標点間距離 100mm）

(c)パイ型（標点間距離 150mm）

図-2.2.2.1 試験状況

2.3 試験結果

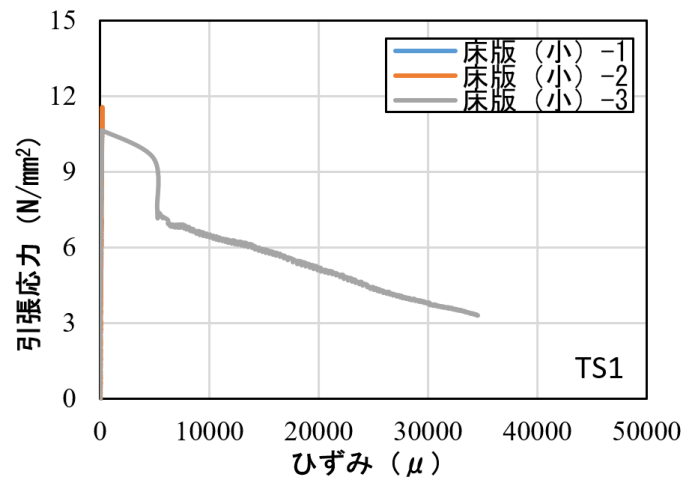
2.3.1 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験の供試体（第Ⅲ編 1章）

圧縮強度及び引張強度の一覧を表-2.3.1.1, 各供試体の引張応力-ひずみ曲線と破断面を図-2.3.1.1～図-2.3.1.12 に示す. なお, 破断面について, 側面では図中上側を打設面, 断面では図中左側を打設面として示した. なお, これらの写真は, 直接引張試験から約1年後に撮影し直したため, 鋼繊維の露出部はやや変色している.

表-2.3.1.1 圧縮強度と引張強度の一覧

供試体名	No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比 (-)	標点内破壊数 (体)	測定方法	
TS1 (試験前)	床版 (小)	1~3	202	10.9	13.3	52.6	0.17	1	レーザ
	床版 (大)	1~3	204	12.3	13.3	52.6	0.17	2	接触式
	床版 (間)	1~3	153	10.1	10.3	46.9	0.19	2	接触式
TS1 (試験後)	床版 (小)	4~6	202	12.9	13.1	60.8	0.19	1	レーザ
	床版 (大)	4~6	204	13.7	13.8	53.6	0.17	1	レーザ
	床版 (間)	4~6	153	12.2	12.7	47.8	0.20	2	レーザ
KF1 (試験前)	床版	1~3	64	3.3	3.3	23.3	0.19	2	レーザ
	床版 (間)	1~3	108	3.7	6.1	19.5	0.16	3	レーザ
KF1 (試験後)	床版	4~6	65	3.4	3.5	16.4	0.20	2	パイ型
	床版 (間)	4~6	94	5.2	6.7	24.0	0.20	3	パイ型
S1 (試験後)	床版	4~6	155	8.2	8.4	41.9	0.20	3	パイ型
	床版 (間)	4~6	152	7.5	7.6	40.8	0.21	2	パイ型

注) それぞれ供試体3体の平均による



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)床版 (小) -1 の側面と破断面

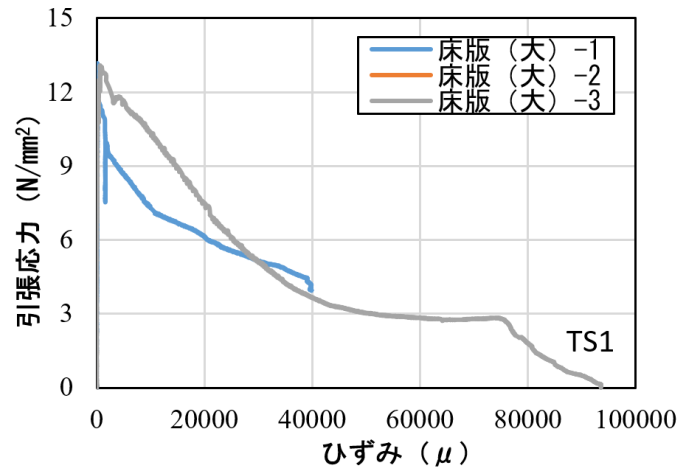


(c)床版 (小) -2 の側面と破断面



(d)床版 (小) -3 の側面と破断面

図-2.3.1.1 TS1 の床版 (小) -1~床版 (小) -3 の試験結果 (試験前)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (接触式変位計)



(b)床版 (大) -1 の側面と破断面

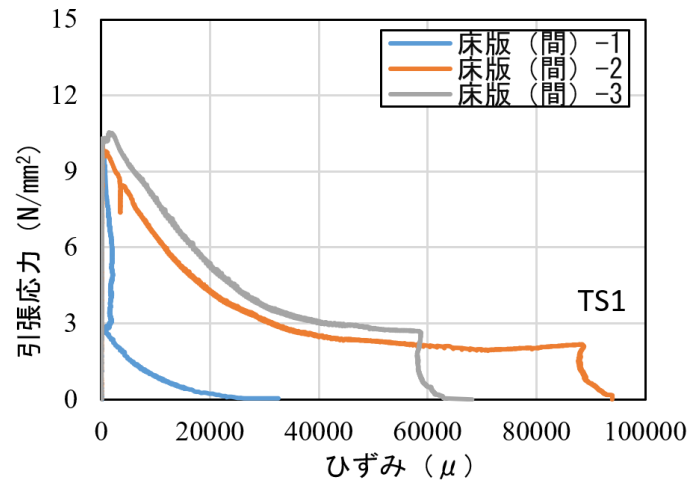


(c)床版 (大) -2 の側面と破断面



(d)床版 (大) -3 の側面と破断面

図-2.3.1.2 TS1の床版 (大) -1~床版 (大) -3の試験結果 (試験前)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (接触式変位計)



(b)床版(間)-1の側面と破断面

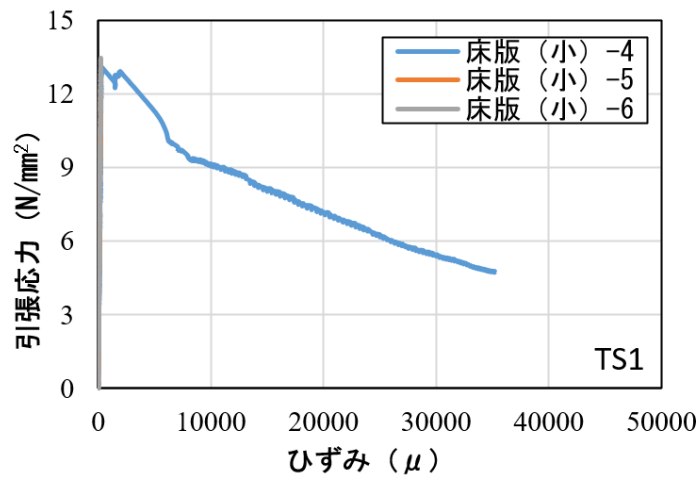


(c)床版(間)-2の側面と破断面



(d)床版(間)-3の側面と破断面

図-2.3.1.3 TS1の床版(間)-1~床版(間)-3の試験結果(試験前)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)床版 (小) -4 の側面と破断面

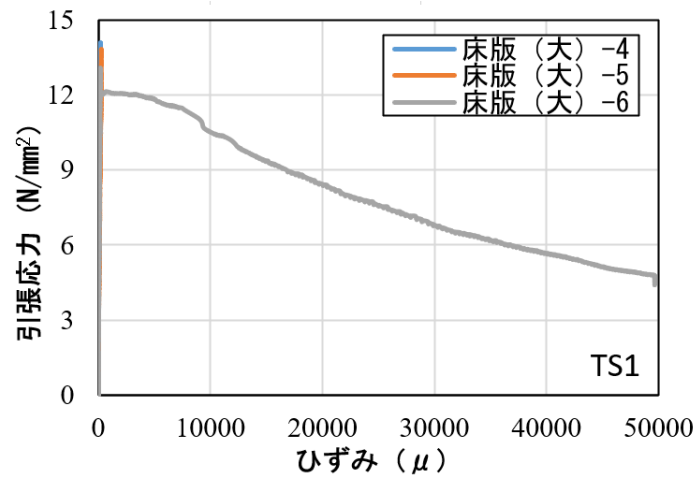


(c)床版 (小) -5 の側面と破断面



(d)床版 (小) -6 の側面と破断面

図-2.3.1.4 TS1 の床版 (小) -4~床版 (小) -6 の試験結果 (試験後)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)床版 (大) -4 の側面と破断面

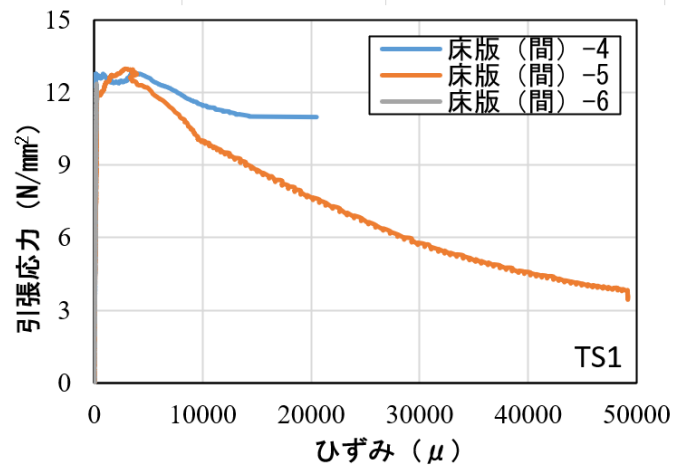


(c)床版 (大) -5 の側面と破断面



(d)床版 (大) -6 の側面と破断面

図-2.3.1.5 TS1の床版 (大) -4~床版 (大) -6の試験結果 (試験前)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)床版(間) -4 の側面と破断面

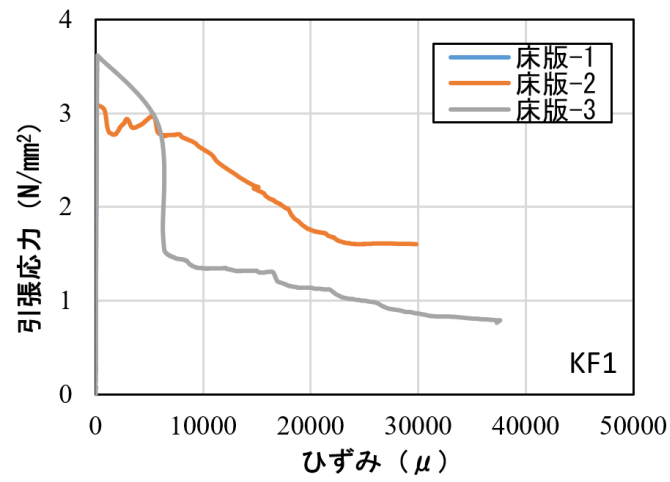


(c)床版(間) -5 の側面と破断面



(d)床版(間) -6 の側面と破断面

図-2.3.1.6 TS1 の床版(間) -4~床版(間) -6 の試験結果 (試験後)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)床版-1 の側面と破断面

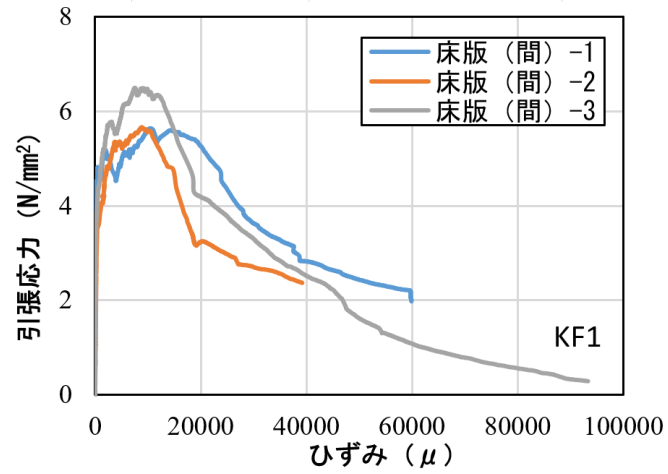


(c)床版-2 の側面と破断面



(d)床版-3 の側面と破断面

図-2.3.1.7 KF1 の床版-1～床版-3 の試験結果 (試験前)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)床版 (間) -1 の側面と破断面

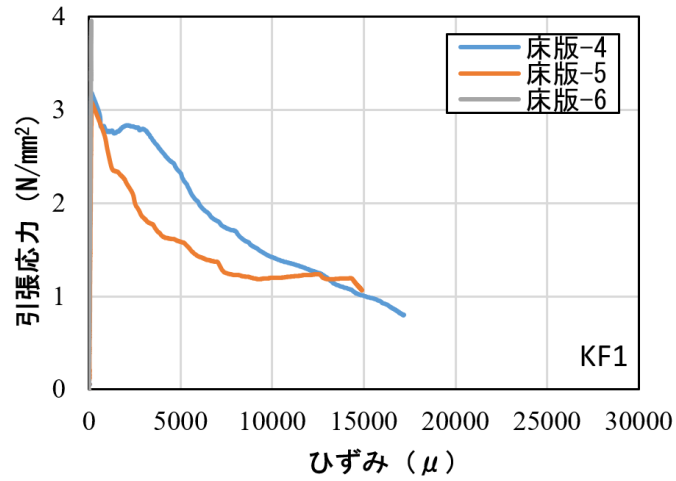


(c)床版 (間) -2 の側面と破断面



(d)床版 (間) -3 の側面と破断面

図-2.3.1.8 KF1の床版(間)-1~床版(間)-3の試験結果(試験前)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)床版-4 の側面と破断面

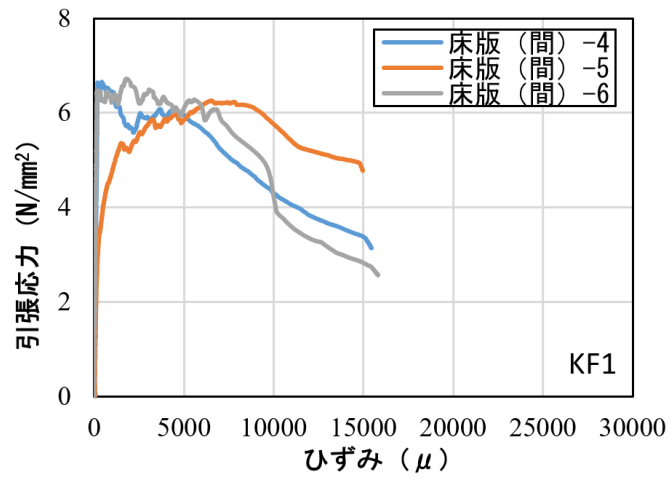


(c)床版-5 の側面と破断面



(d)床版-6 の側面と破断面

図-2.3.1.9 KF1 の床版-4～床版-6 の試験結果 (試験後)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)床版 (間) -4 の側面と破断面

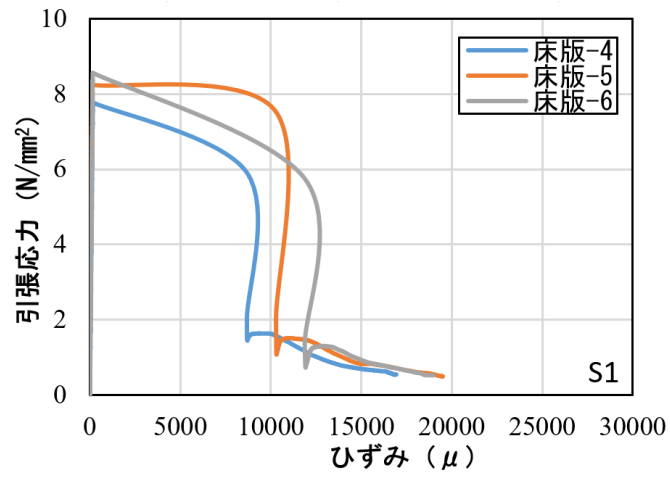


(c)床版 (間) -5 の側面と破断面



(d)床版 (間) -6 の側面と破断面

図-2.3.1.10 KF1 の床版 (間) -4～床版 (間) -6 の試験結果 (試験後)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)床版-4 の側面と破断面

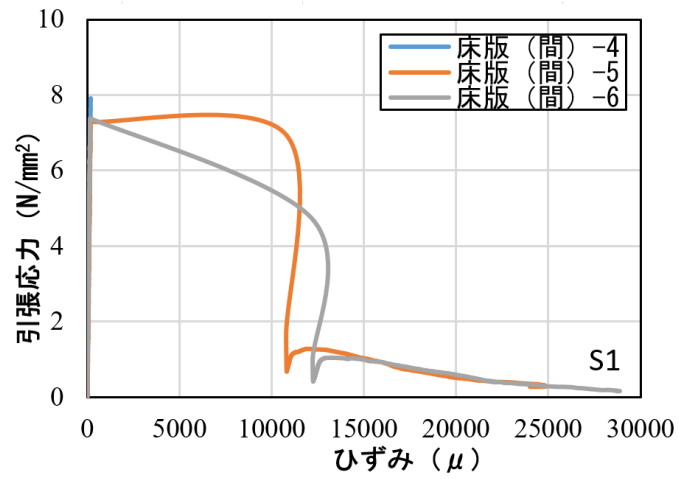


(c)床版-5 の側面と破断面



(d)床版-6 の側面と破断面

図-2.3.1.11 S1 の床版-4～床版-6 の試験結果 (試験後)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)床版(間)-4の側面と破断面



(c)床版(間)-5の側面と破断面



(d)床版(間)-6の側面と破断面

図-2.3.1.12 S1の床版(間)-4~床版(間)-6の試験結果(試験後)

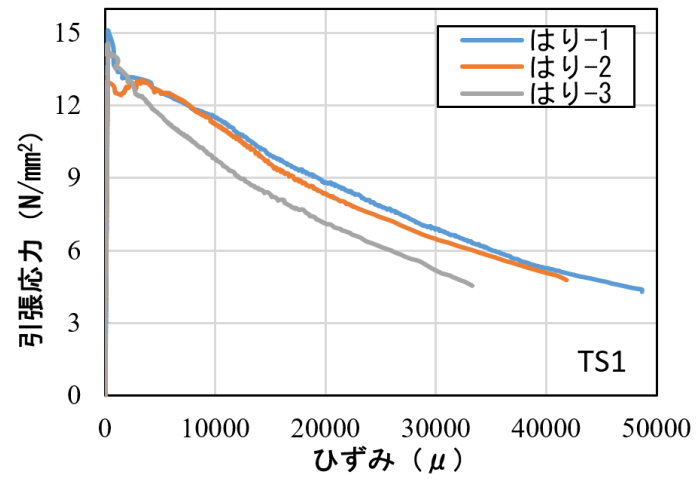
2.3.2 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験の供試体（第III編 2章）

圧縮強度及び引張強度の一覧を表-2.3.2.1, 各供試体の引張応力-ひずみ曲線と破断面を図-2.3.2.1～図-2.3.2.9に示す。なお、これらの写真は、直接引張試験から約1年後に撮影し直したため、鋼繊維の露出部はやや変色している。

表-2.3.2.1 圧縮強度と引張強度の一覧

供試体名	No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ 発生強度 (N/mm ²)	引張 強度 (N/mm ²)	弾性 係数 (kN/mm ²)	ポアソン 比 (-)	標点内 破壊数 (体)	測定 方法	
TS1	はり	1~3	205	14.2	14.3	51.7	0.15	3	レーザ
	はり (間)	1~3	179	12.4	13.1	49.6	0.21	1	レーザ
KF1	はり	1~3	61	2.8	3.0	21.6	0.21	2	レーザ
	はり (間)	1~3	106	4.9	5.8	30.4	0.24	2	レーザ
S1	はり	1~3	151	7.9	8.2	38.3	0.17	0	レーザ
	はり (間)	1~3	153	5.8	6.0	41.2	0.20	3	パイ型
KJ	はり	1~3	185	11.1	11.4	46.0	0.22	2	レーザ
	はり (間)	1~3	170	9.1	10.1	46.1	0.21	1	レーザ
JS	はり	1~3	148	7.7	9.9	43.3	0.22	3	パイ型

注) それぞれ供試体3体の平均による



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり-1 の側面と破断面

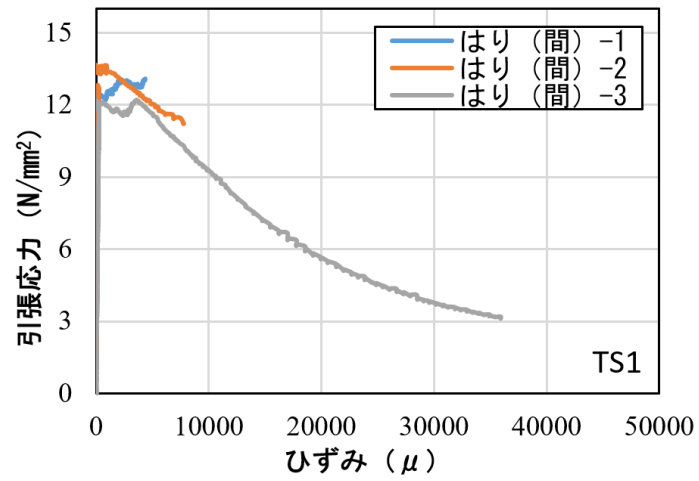


(c)はり-2 の側面と破断面



(d)はり-3 の側面と破断面

図-2.3.2.1 TS1 のはり-1～はり-3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり(間)-1の側面と破断面

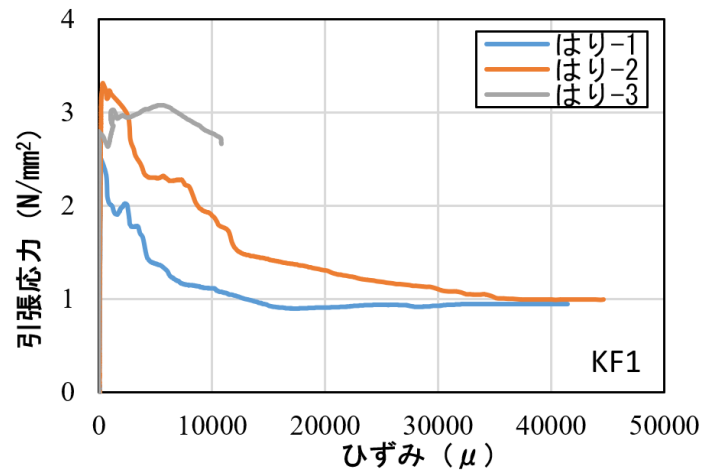


(c)はり(間)-2の側面と破断面



(d)はり(間)-3の側面と破断面

図-2.3.2.2 TS1のはり(間)-1～はり(間)-3の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり-1 の側面と破断面

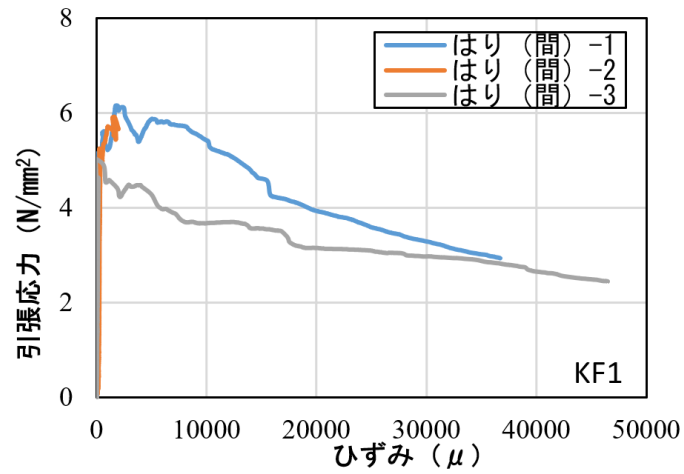


(c)はり-2 の側面と破断面



(d)はり-3 の側面と破断面

図-2.3.2.3 KF1 のはり-1～はり-3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり (間) -1 の側面と破断面

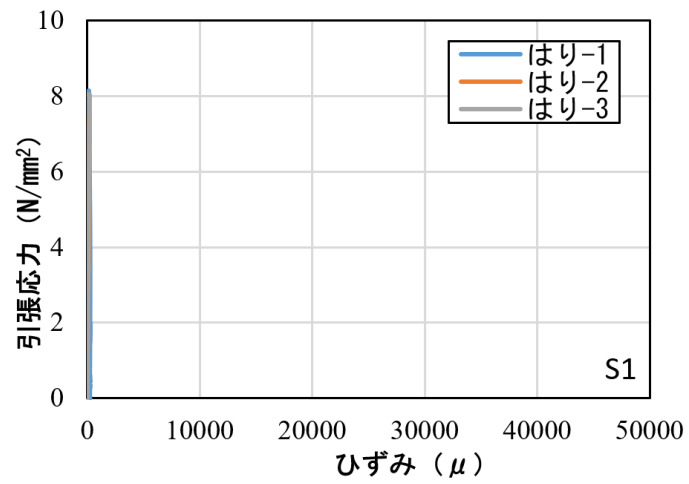


(c)はり (間) -2 の側面と破断面



(d)はり (間) -3 の側面と破断面

図-2.3.2.4 KF1 のはり (間) -1~はり (間) -3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり-1 の側面と破断面

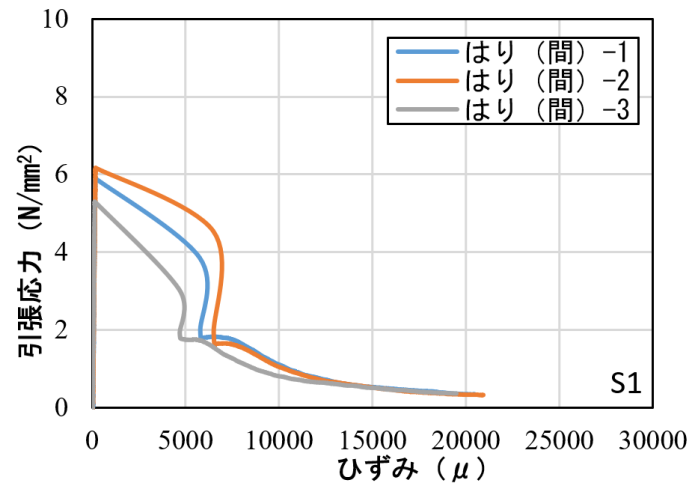


(c)はり-2 の側面と破断面



(d)はり-3 の側面と破断面

図-2.3.2.5 S1 のはり-1～はり-3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)はり (間) -1 の側面と破断面

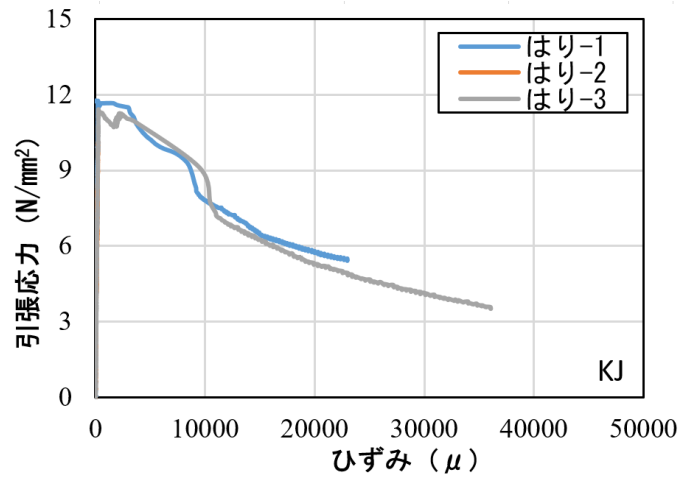


(c)はり (間) -2 の側面と破断面



(d)はり (間) -3 の側面と破断面

図-2.3.2.6 S1 のはり (間) -1～はり (間) -3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり-1 の側面と破断面

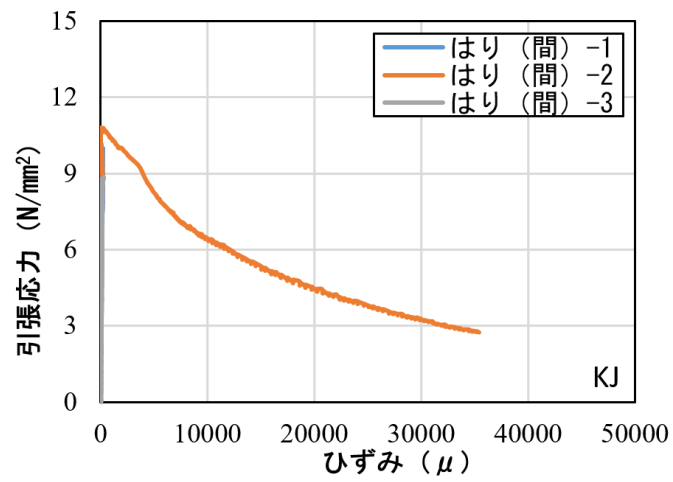


(c)はり-2 の側面と破断面



(d)はり-3 の側面と破断面

図-2.3.2.7 KJ のはり-1～はり-3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (レーザ変位計)



(b)はり (間) -1 の側面と破断面

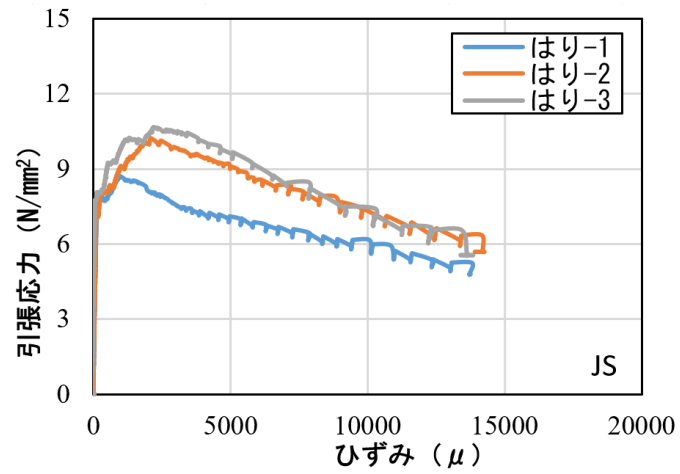


(c)はり (間) -2 の側面と破断面



(d)はり (間) -3 の側面と破断面

図-2.3.2.8 KJのはり (間) -1~はり (間) -3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)はり-1 の側面と破断面



(c)はり-2 の側面と破断面



(d)はり-3 の側面と破断面

図-2.3.2.9 JS のはり-1～はり-3 の試験結果

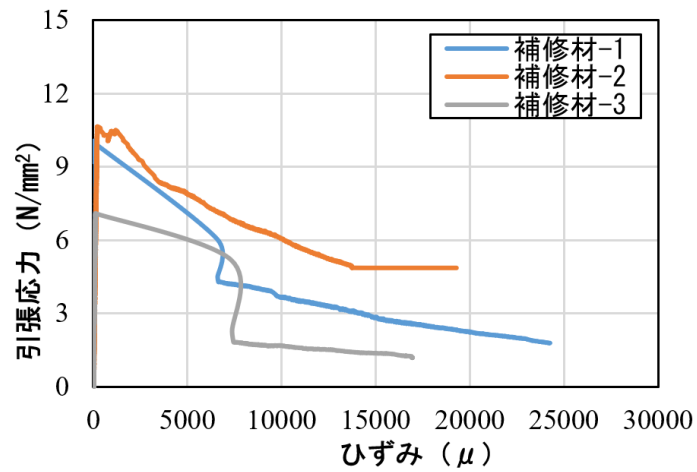
2.3.3 上面補修のはり試験の供試体（第IV編3章）

圧縮強度及び引張強度の一覧を表-2.3.3.1，各供試体の引張応力-ひずみ曲線と破断面を図-2.3.3.1 に示す。

表-2.3.3.1 圧縮強度と引張強度の一覧

供試体名	No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比 (-)	標点内破壊数 (体)	測定方法
上面補修はり	1~3	168	9.1	9.3	46.1	0.20	3	パイ型

注) 供試体3体の平均による



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)補修材-1 の側面と破断面



(c)補修材-2 の側面と破断面



(d)補修材-3 の側面と破断面

図-2.3.3.1 上面補修はりの補修材-1～補修材-3 の試験結果

2.3.4 予備供試体

JT 供試体における圧縮強度及び引張強度の一覧を表-2.3.4.1, 各供試体の引張応力-ひずみ曲線と破断面を図-2.3.4.1～図-2.3.4.2 に示す.

表-2.3.4.1 圧縮強度と引張強度の一覧

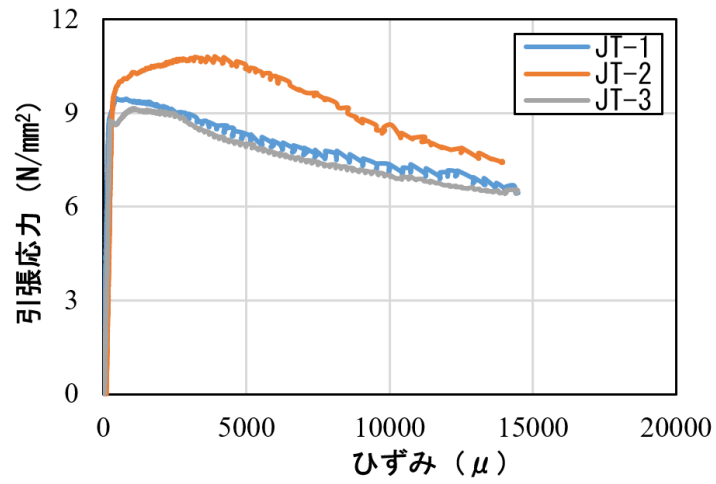
供試体名	No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比 (-)	標点内破壊数 (体)	測定方法
JT	1~3	163	8.8	9.8	39.2	0.23	3	パイ型
	4~6	185	6.7	8.3	43.4	0.22	3	パイ型

注) No.1~3 と No.4~6 でロットが異なり, それぞれ供試体 3 体の平均による

また, 2.3.1 節から 2.3.3 節で直接引張試験を実施した際の予備供試体について, 別途試験を実施した結果を表-2.3.4.2, 図-2.3.4.3～図-2.3.4.6 に示す.

表-2.3.4.2 引張強度の一覧

供試体名	No.	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比 (-)	標点内破壊数 (体)	測定方法	
TS1	はり	4~5	12.1	48.3	0.16	2	パイ型
KJ	はり	4~6	11.7	46.7	0.22	3	パイ型
	はり (間)	4~6	11.4	49.3	0.22	3	パイ型
上面補修	はり	4~5	10.5	45.1	0.23	2	パイ型



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)JT-1 の側面と破断面

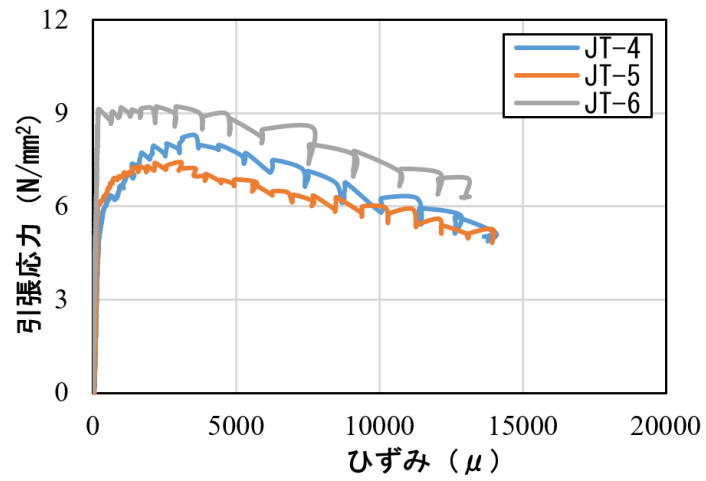


(c)JT-2 の側面と破断面

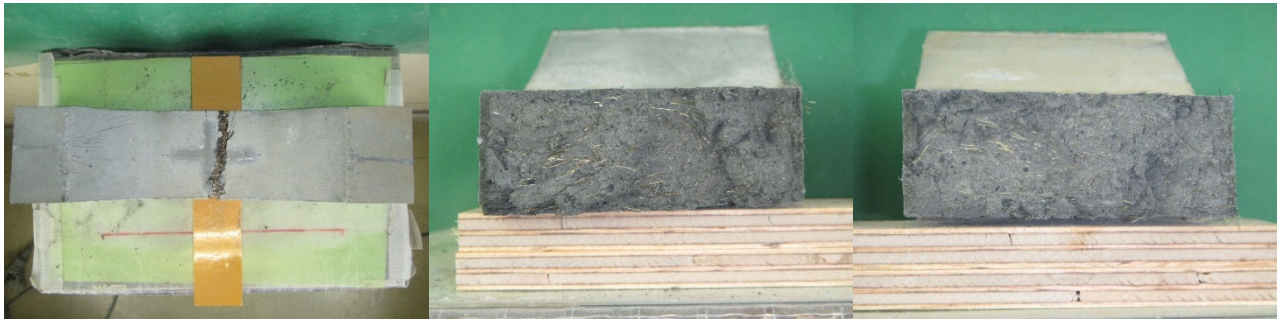


(d)JT-3 の側面と破断面

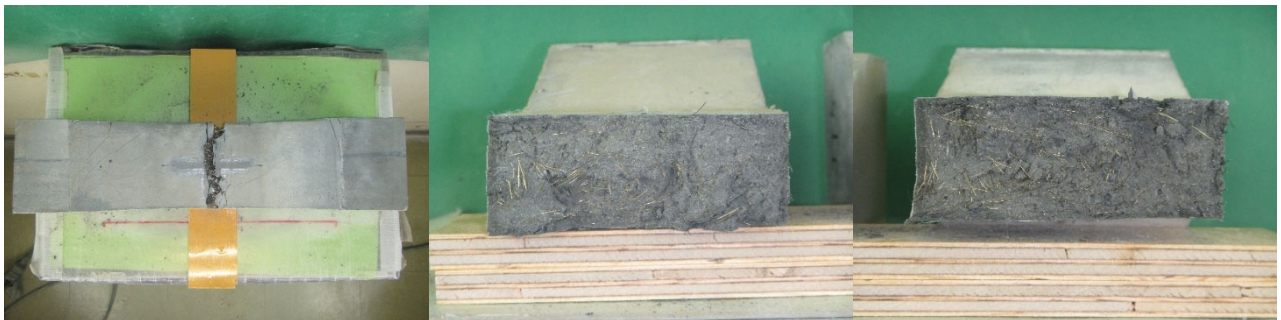
図-2.3.4.1 JT-1~JT-3 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)JT-4 の側面と破断面

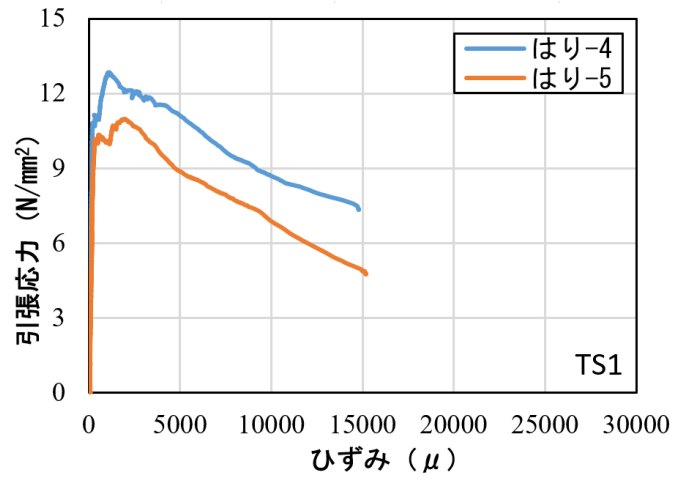


(c)JT-5 の側面と破断面



(d)JT-6 の側面と破断面

図-2.3.4.2 JT-4～JT-6 の試験結果



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)

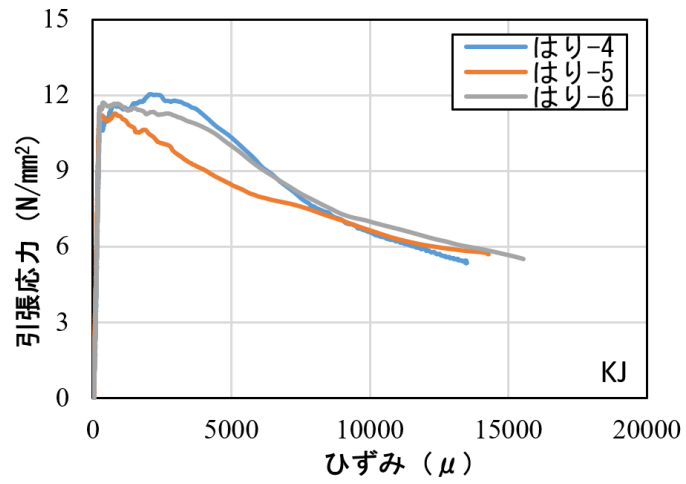


(b)はり-4 の側面と破断面



(c)はり-5 の側面と破断面

図-2.3.4.3 TS1 のはり-4～はり-5 の試験結果 (予備供試体)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)はり-4 の側面と破断面

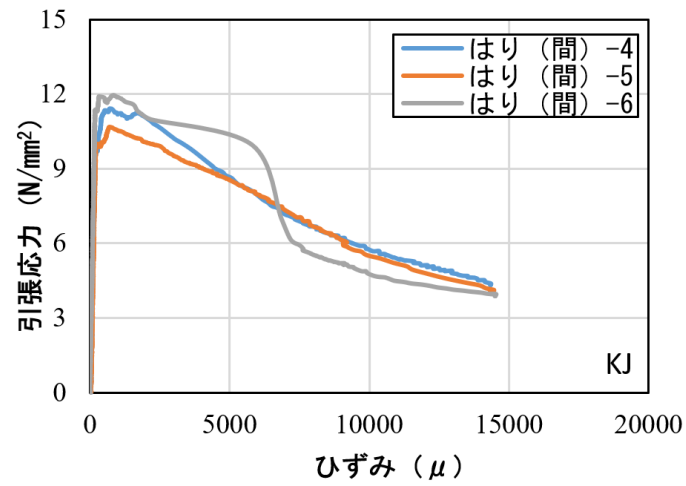


(c)はり-5 の側面と破断面



(d)はり-6 の側面と破断面

図-2.3.4.4 KJのはり-4～はり-6の試験結果 (予備供試体)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)はり (間) -4 の側面と破断面

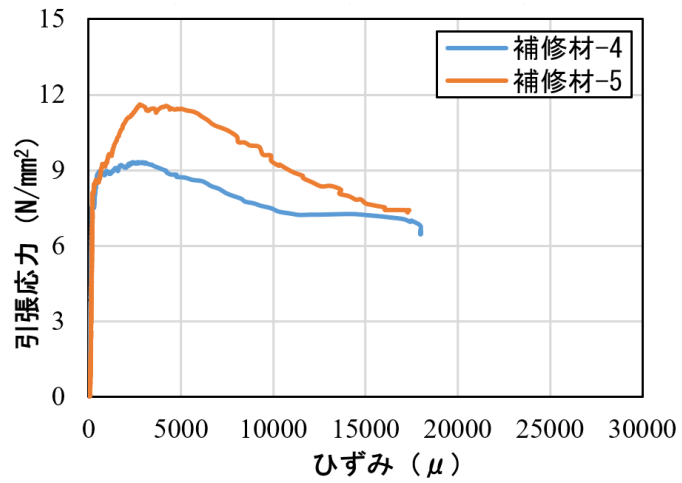


(c)はり (間) -5 の側面と破断面



(d)はり (間) -6 の側面と破断面

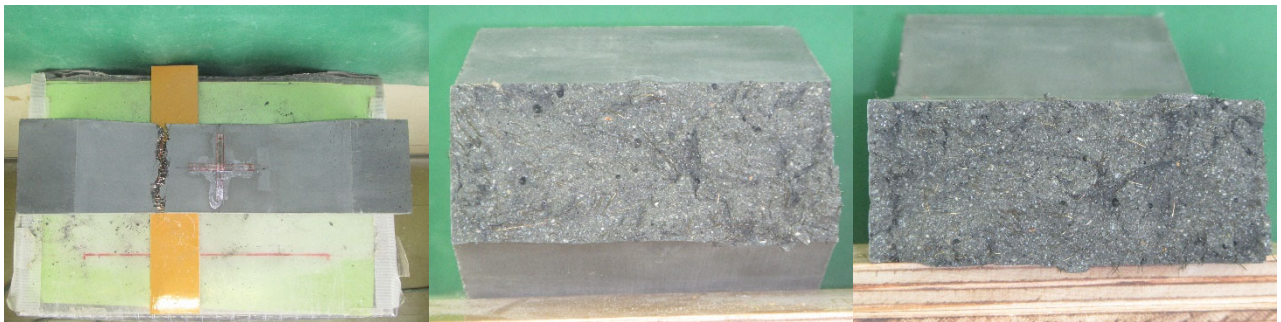
図-2.3.4.5 KJのはり (間) -4～はり (間) -6の試験結果 (予備供試体)



(a)引張応力-ひずみ曲線 (パイ型変位計)



(b)補修材-4 の側面と破断面



(c)補修材-5 の側面と破断面

図-2.3.4.6 上面補修はりの補修材-4～補修材-5 の試験結果 (予備供試体)

2.4 試験法の改善点

2.4.1 引張軟化曲線の測定方法

本試験で得られた各供試体の引張軟化曲線を測定方法（接触式，レーザおよびパイ型変位計）の違いで比較した結果を図-2.4.1.1に示す。なお，ここでの縦軸は引張応力 σ を引張強度 σ_t で除して無次元化している。また，各供試体の試験数に対する標点内破壊数を標点間距離の違いで比較した結果を表-2.4.1.1に示す。

図-2.4.1.1より，各供試体でロットや配合が異なるにもかかわらずいずれの測定方法でも同様な引張軟化曲線を得られることがわかった。ひび割れ発生後の挙動を標点間距離が100mmの場合では，試験数45体に対して25体しか計測できなかったが，標点間距離が150mmの場合では試験数37体に対して35体の計測ができた。これは，図-2.4.1.2(a)のように，本検討の範囲ではひび割れの発生が変断面部から生じることが多く，標点間距離が100mmだと上手く計測することができなかった。そこで，ここではひび割れ発生後の挙動を計測するため，図-2.4.1.2(b)のようにあえて変断面部を含めた標点間距離150mmに変更したことでひび割れ発生後の挙動を計測することができた。

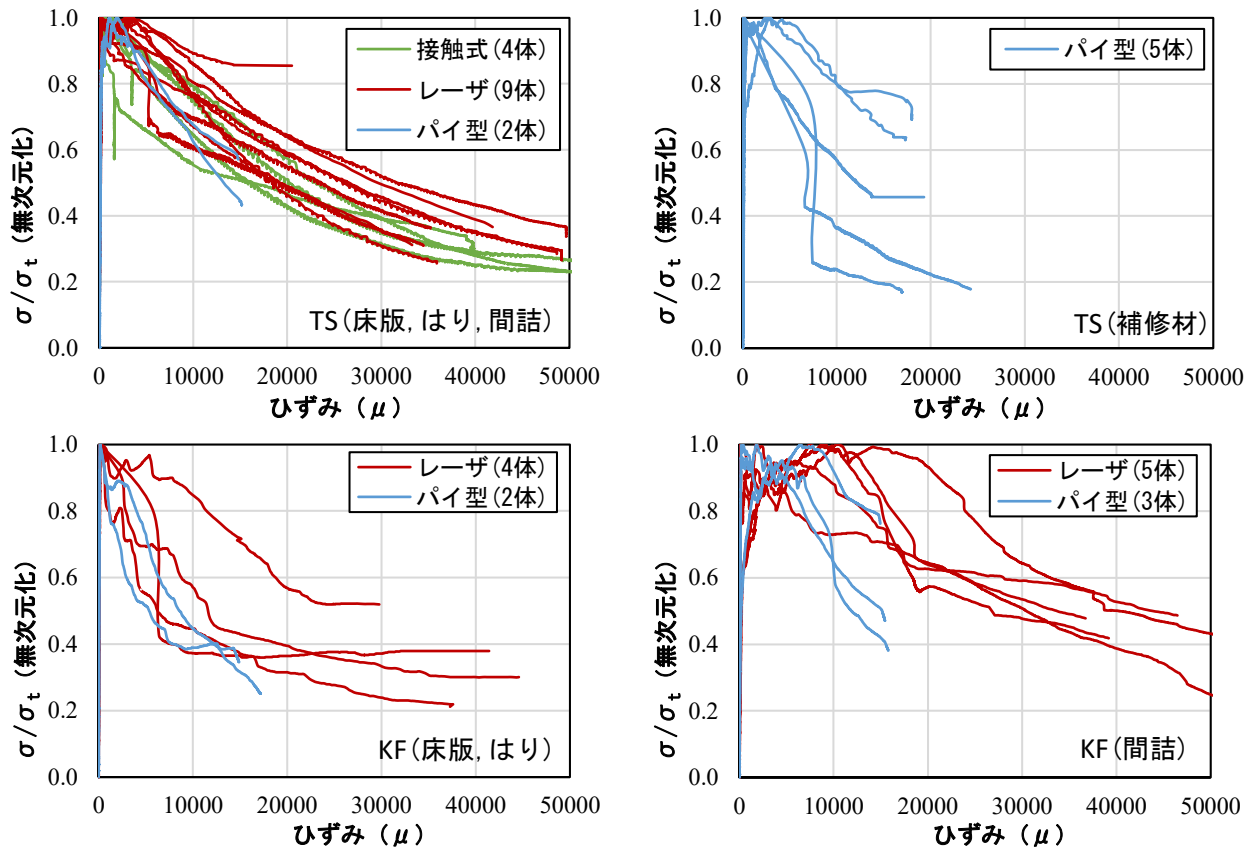


図-2.4.1.1 測定方法による引張軟化曲線の比較

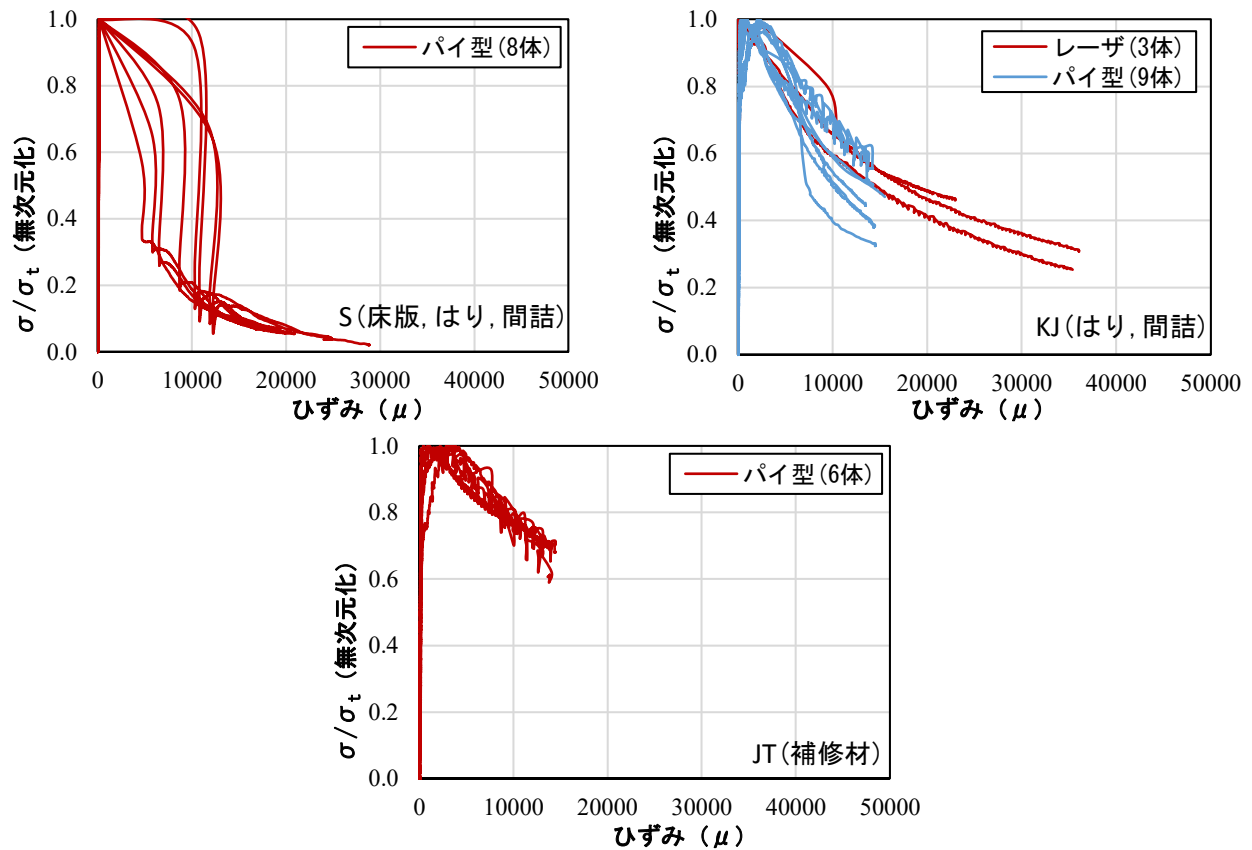
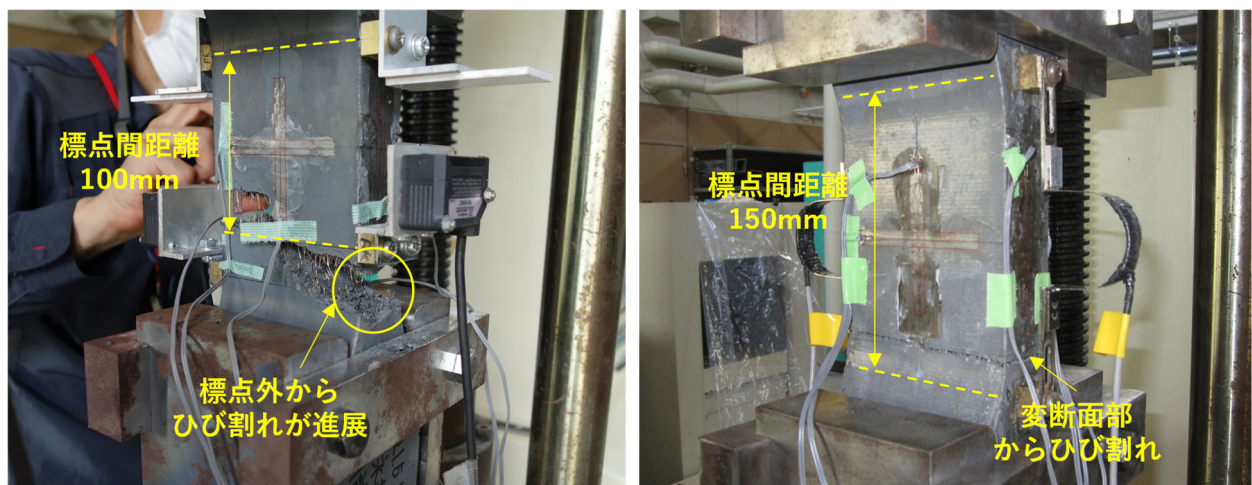


図-2.4.1.1 測定方法による引張軟化曲線の比較 (続き)

表-2.4.1.1 各供試体の試験数に対する標点内破壊数の比較

測定方法	標点間距離 (mm)	TS (標点内破壊数/試験数)	KF (標点内破壊数/試験数)	S (標点内破壊数/試験数)	KJ (標点内破壊数/試験数)	JT (標点内破壊数/試験数)	合計 (標点内破壊数/試験数)
接触式	100	4/6	-	-	-	-	4/6
レーザ	100	9/18	9/12	0/3	3/6	-	21/39
パイ型	150	7/7	5/6	8/9	9/9	6/6	35/37



(a)標点外破壊 (100mm の場合)

(b)標点内破壊 (150mm の場合)

図-2.4.1.2 試験後の様子

2.4.2 変断面部の形状と応力集中

本検討では、変断面部からひび割れが生じることが多かったため、Rの応力集中率について確認した。図-2.4.2.1に、供試体の変断面部の形状と応力集中率を比較して示した。本供試体における応力集中率は1.10であり、応力が集中しにくい形状であることを確認した。また本試験と類似した試験条件で実施されたコンクリートの直接引張試験²⁾で使用された供試体は中央部に曲線で30%の絞りを施したものであり、応力集中率は1.01であった。本試験で採用した供試体形状は応力集中率が低い、更なる改善の余地がある。

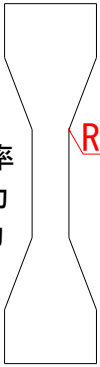

本試験の供試体形状	既往の研究 ³⁾ の供試体形状
 <p> $\alpha = \sigma_m / \sigma_0$ α: 応力集中率 σ_m: 最大応力 σ_0: 基準応力 </p> <p style="color: red; font-size: 1.2em;">R=50</p>	 <p style="color: red; font-size: 1.2em;">R=709</p> <p>※Rは復元図から推定した値</p>
$\alpha = 1.10$ (R部)	$\alpha = 1.01$ (R部)

図-2.4.2.1 供試体形状と応力集中率の比較

2.4.3 変断面部を考慮したひずみの数値補正

図-2.4.3.1 に示すように、標点間距離が異なると図中における緑色のハッチングで示した部分が異なる。これによって生じる測定の差を補正するため下記に示すような補正方法を検討した。なお、ここで示す測定誤差の補正は、主として、ひび割れ発生までのひずみを正確に評価しようとした場合の試みとして示す。ひび割れ発生以降は、2.4.1 の結果から分かるとおり、ひび割れの変位に依存する傾向が強く、ここで示す補正がなくても支障ないとする。本共同研究では、ひずみゲージによるひずみの測定を行ったので、ひび割れ発生までは、ひずみゲージによる値を用いることとして、弾性係数を算定した。

〈補正方法の案〉

- ① パイ型変形使用時の標点区間において、変断面部を見かけの断面 A'（図-2.4.3.1 を参照）として弾性係数 E'_c と最大荷重時のひずみを計算する。
- ② 計算によって求めたひずみを、測定で得られたひずみ（最大荷重時）で除した値を補正係数とする。
- ③ 測定で得られたひずみすべてに対して補正係数を乗じることで、補正したひずみとなる。

このような数値補正以外についても測定を実施していく中で、接触式変位計、レーザ変位計およびパイ型変位計の違いによる測定精度の違いや、ひずみ計と変位計で荷重-ひずみ曲線における、ひび割れ発生前までの傾きの違い等も確認された。測定精度及び補正精度を向上させる上で、これらについても検討を深めることが重要であると考えられる。

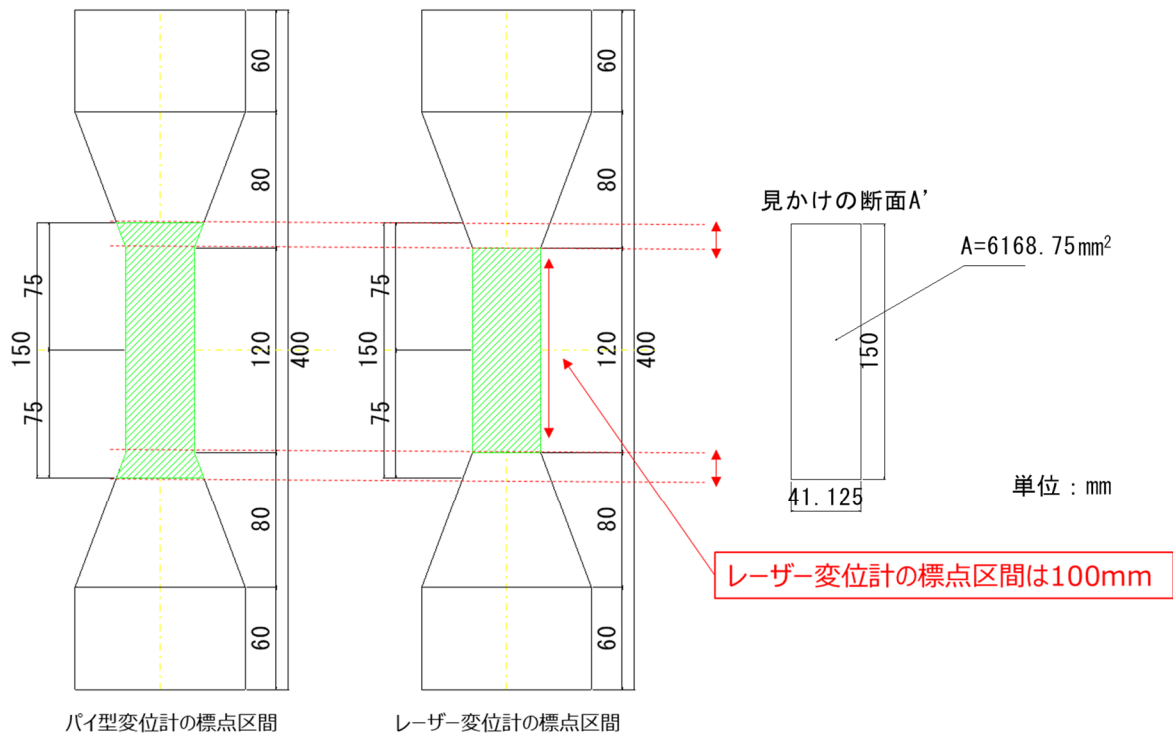


図-2.4.3.1 標点間距離の違いによる断面の比較

2.5 まとめ

本検討から得られた結果を以下に示す.

- プレキャスト床版供試体や接合部のはり供試体などで使用した配合について, 直接引張試験を 82 体実施し, そのうち 49 体の引張軟化曲線を得ることができた.
- 引張軟化曲線の測定方法について, 接触式, レーザおよびパイ型変位計の 3 種類を試したところ, 供試体でロットや配合が異なるにもかかわらずいずれの測定方法でも同様な引張軟化曲線を得られた.
- 標点間距離が 100mm の場合では, 標点外の変断面部でひび割れが生じてしまうことが多く, 引張軟化曲線を得ることができないケースがあった. このため, 測定方法の改善点として, 標点間距離と変断面部の形状を挙げた.

参考文献

- 1) 牧田通, 北川寛和, 横田祐起, 本田智昭, 一宮利通: 直接引張試験による UHPFRC の引張特性に関する研究, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集, V-542, pp.1083-1084, 2017.
- 2) 斎藤満, 今井悟: 純引張載荷下におけるコンクリートの疲労特性について: 土木学会, 年次講演会, 第 37 回, V-148, 1982.

3. 配向性調査

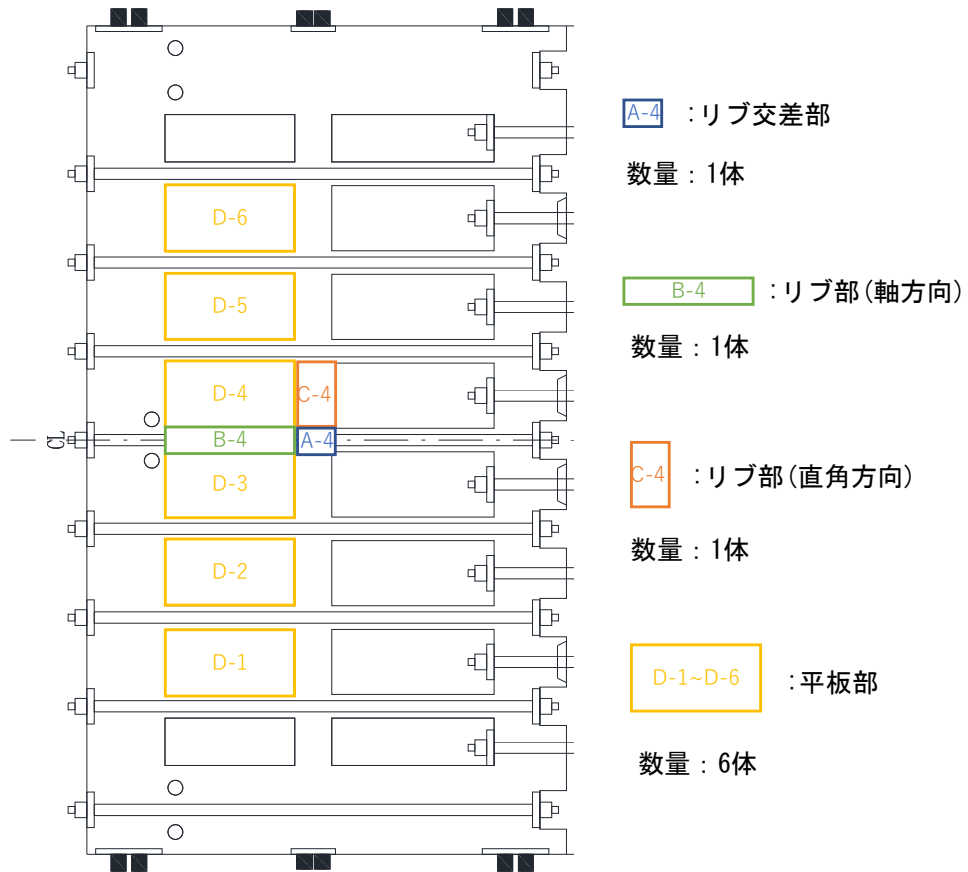
3.1 概要

短繊維補強コンクリートの引張特性は、繊維の分散や配向に左右され、また繊維の分散や配向は部材の寸法や形状、打設方法にも影響を受けることが従来から指摘されている。例えば、部材厚が薄い場合では繊維が2次元の配向になりやすいことや、型枠に接する面では繊維が型枠面に沿った配向になりやすいことが挙げられる¹⁾。特に、UFCでは締固めをほとんど必要としない高流動であるため、打込み時に型枠内でコンクリートを流動させたその向きで繊維が配向されてしまうことも想定できる。

本検討では、プレキャスト床版供試体(TS1)からリブ形状の異なる試験片を切り出して、床版形状による繊維配向の特性を把握した。具体的には、試験片の曲げ載荷を行うことで荷重-変位の関係を整理し、繊維の影響によるひび割れ発生挙動を確認した。また、試験片のX線CT撮影を行うことで、部材中における局所的な繊維配向の状態を確認した。

3.2 試験片の切り出し

図-3.2.1.1に示すように、プレキャスト床版供試体(TS1)から、繊維配向の特性を把握するための試験片A~Dの4種類を切り出し、図-3.2.1.2に示す形状と寸法に切断した。なお、図中上面を床版下面として示している。

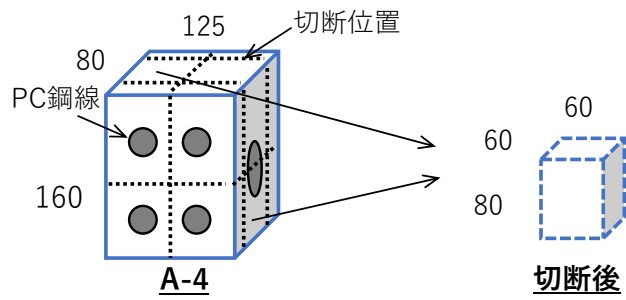


(a)切り出し位置

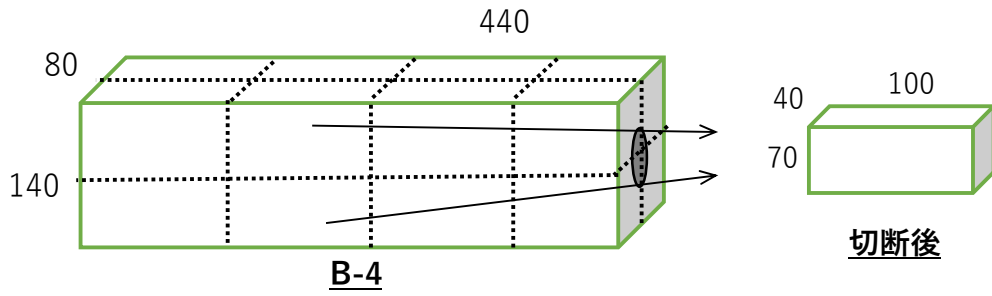


(b)状況写真

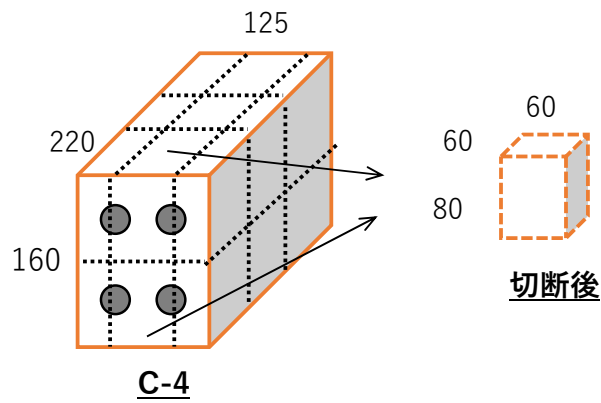
図-3.2.1.1 試験片の切り出し位置



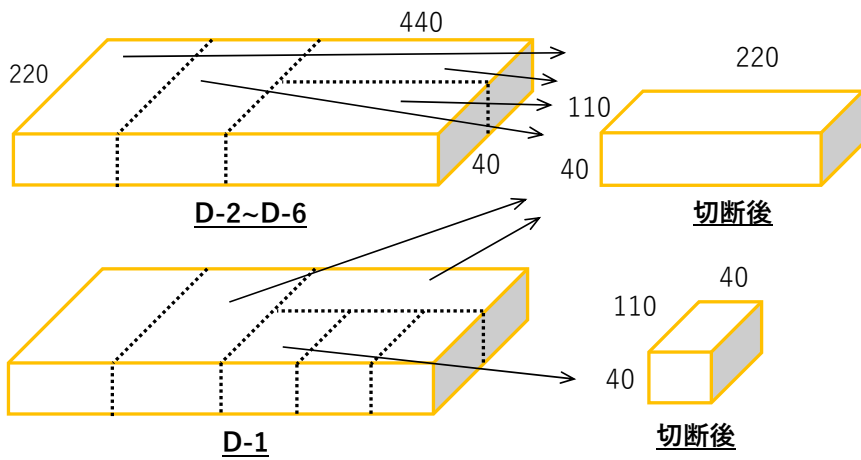
(a)試験片 A



(b)試験片 B



(c)試験片 C



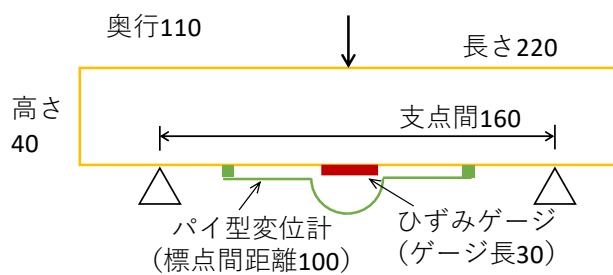
(d)試験片 D

図-3.2.1.2 各試験片の形状と寸法 (単位 : mm)

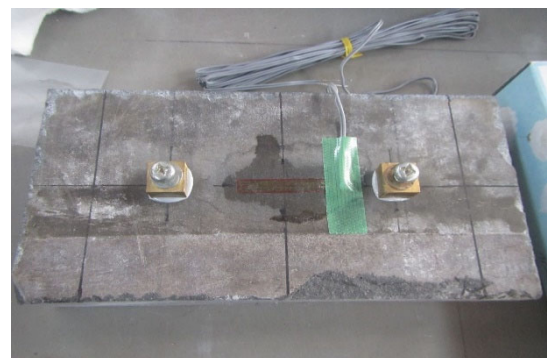
3.3 曲げ試験

3.3.1 試験方法

3.2節で示した試験片 D (寸法: 110×220×40mm) の 22 体を対象に曲げ試験を行った。载荷速度はひび割れ発生前を荷重制御 0.1kN/sec で行い、ひび割れ発生後は変位制御 0.1mm/sec を目安に载荷し、パイ型変位計が 5mm の値を示すまで载荷した。計測は、ひび割れ発生までの変位を計測するため下面中央にひずみゲージ (ゲージ長 30mm) を 1 枚、ひび割れ発後の変位を計測するため下面中央にパイ型変位計 (標点間距離 100mm) を 1 枚貼り付け、試験機荷重とともに合計 3 点の項目を 100Hz で測定した。曲げ試験の概要図を図-3.3.1.1 に、状況写真を図-3.3.1.2、試験片 D の名称を図-3.3.1.3 に示す。なお、試験前に試験片の寸法、試験後に破断面寸法を測定し、表-3.3.1.1 に示すよう記録した。



(a)ひずみゲージ設置状況 (単位:mm)



(b) π ゲージコマ設置状況

図-3.3.1.1 曲げ試験の概要図

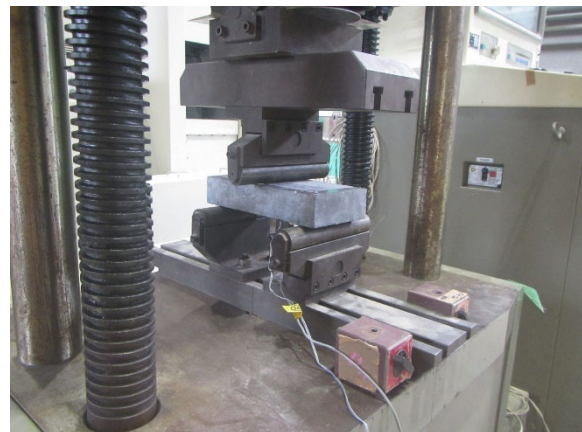
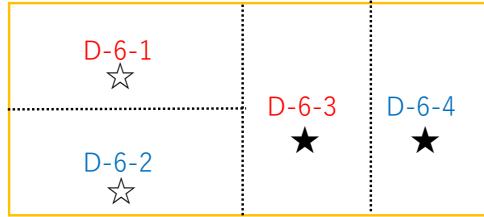
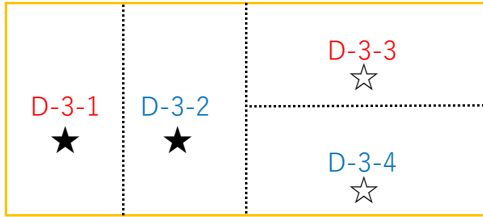
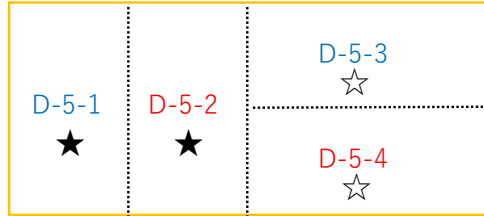
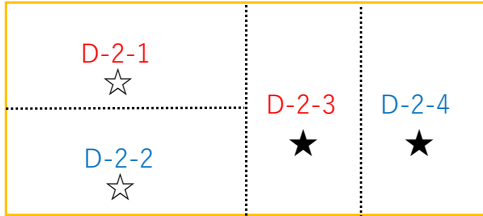


図-3.3.1.2 試験時の状況



赤字：床版下面
が載荷面

青字：床版上面
が載荷面



☆：軸方向

★：直角方向

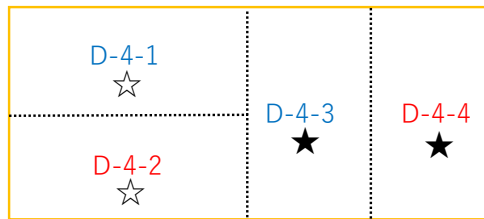
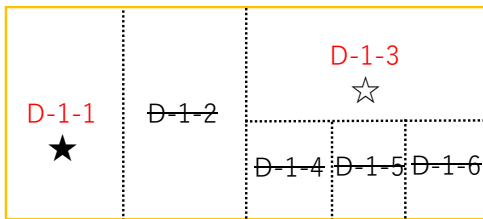
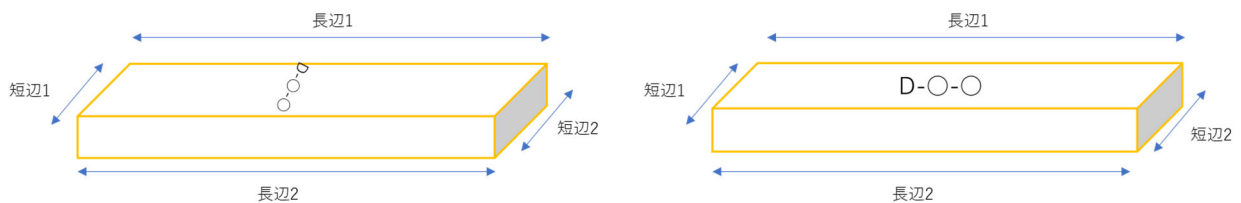


図-3.3.1.3 試験片 D の名称, 載荷面詳細

表-3.3.1.1 試験片 D の寸法と測定値の一覧

試験片 No.	試験前の寸法					破断面の寸法※	
	短辺 1 (mm)	短辺 2 (mm)	長辺 1 (mm)	長辺 2 (mm)	重さ (g)	幅 (mm)	厚さ (mm)
D-1-1	107.53	106.80	211.35	210.92	2374.5	107.25	41.32
D-1-3	102.05	103.52	221.65	220.63	2419.8	102.79	42.26
D-2-1	104.23	102.28	209.91	209.70	2251.5	103.50	41.23
D-2-2	103.34	103.40	209.85	210.19	2255.5	103.05	41.18
D-2-3	106.01	106.56	209.40	208.88	2330.3	106.11	41.81
D-2-4	105.74	106.00	208.94	208.88	2344.6	105.40	41.63
D-3-1	105.37	105.32	208.16	208.22	2269.8	105.42	40.75
D-3-2	107.03	106.56	208.06	207.38	2307.2	106.84	41.64
D-3-3	101.43	101.53	211.36	210.74	2228.9	101.61	41.43
D-3-4	102.33	102.22	210.52	210.11	2248.6	101.79	41.98
D-4-1	102.57	100.79	210.15	209.42	2230.6	102.06	41.78
D-4-2	101.60	101.53	209.50	209.10	2192.2	101.61	41.46
D-4-3	107.90	106.84	205.71	205.87	2302.3	107.45	41.49
D-4-4	105.83	106.12	205.87	205.59	2256.8	106.12	41.24
D-5-1	104.82	104.55	209.67	210.06	2298.6	105.14	41.17
D-5-2	107.25	107.76	209.80	209.85	2350.4	107.64	41.40
D-5-3	102.81	102.77	211.38	210.33	2240.2	102.54	40.67
D-5-4	103.46	105.22	210.28	210.47	2276.8	104.50	41.07
D-6-1	104.18	102.77	209.97	210.55	2254.5	103.33	40.61
D-6-2	103.07	104.07	210.62	211.08	2257.7	102.60	40.87
D-6-3	106.29	106.36	210.47	210.67	2302.6	106.32	41.34
D-6-4	104.98	106.24	210.86	211.28	2287.7	105.18	40.94

※破断面寸法はひび割れ付近の幅、厚さを測定した



3.3.2 試験結果

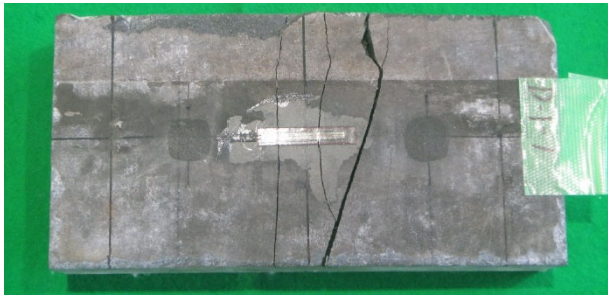
試験片 D (寸法 : 110×220×40mm) の 22 体における曲げ試験結果の一覧を表-3.3.2.1, 試験終了時の状況写真を図-3.3.2.1 に示す. それぞれの荷重はひびわれ発生時で約 13.8kN, 最大時では約 19.3kN, 終局時 (変位が 5mm まで) では 11.8kN であった.

表-3.3.2.1 曲げ試験結果の一覧

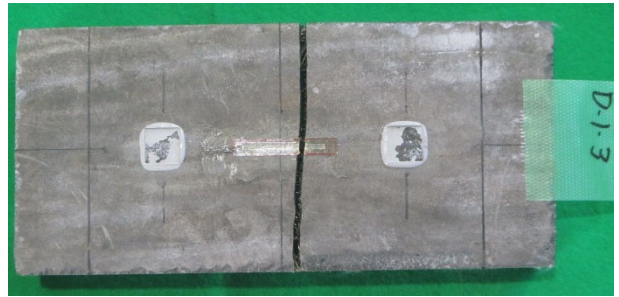
No.	荷重(kN)			変位(mm)			ひび割れ 情報(本)	載荷面	方向
	発生時	最大	終局時	発生時	最大	終局時			
D-1-1 ^{※1}	13.4	15.4	13.2	0.05	1.00	5.02 ^{※1}	3	下面	直角
D-1-3	10.4	10.4	8.2	0.03	0.03	5.00	1	下面	軸
D-2-1	13.0	15.1	10.5	0.05	1.10	5.00	3	下面	軸
D-2-2	16.7	23.6	15.7	0.06	0.75	5.00	1	上面	軸
D-2-3 ^{※2}	11.3	21.3	16.7	0.04	0.95	3.09 ^{※2}	4	下面	直角
D-2-4	14.0	27.7	13.6	0.04	0.61	4.99	1	上面	直角
D-3-1	13.4	17.8	12.5	0.05	0.77	5.00	2	下面	直角
D-3-2	17.3	27.9	14.1	0.06	1.15	4.99	1	上面	直角
D-3-3	12.9	12.9	9.5	0.05	0.05	5.00	3	下面	軸
D-3-4	16.2	27.3	15.0	0.05	1.21	5.00	3	上面	軸
D-4-1	15.2	20.3	11.0	0.05	0.64	5.00	1	上面	軸
D-4-2	10.8	14.1	11.7	0.04	1.49	5.00	1	下面	軸
D-4-3	19.1	23.7	10.9	0.07	0.58	5.00	1	上面	直角
D-4-4	13.0	18.1	13.8	0.05	1.72	5.00	3	下面	直角
D-5-1	16.7	19.4	11.7	0.05	1.06	4.99	1	上面	直角
D-5-2	12.3	21.2	9.6	0.04	0.57	5.00	3	下面	直角
D-5-3	13.8	20.6	11.7	0.05	1.15	5.00	2	上面	軸
D-5-4	11.6	16.4	11.7	0.04	0.95	5.00	3	下面	軸
D-6-1	11.0	11.7	6.8	0.04	0.56	5.00	3	下面	軸
D-6-2	15.4	15.4	7.3	0.05	0.05	5.00	1	上面	軸
D-6-3	10.4	20.7	11.8	0.04	1.16	5.00	7	下面	直角
D-6-4	15.3	23.8	12.2	0.05	0.30	5.00	1	上面	直角
avg.	13.8	19.3	11.8	0.05	0.81	4.91			

※1 : D-1-1 のみ静的 2Hz で計測 (他の試験体は動的 100Hz で計測)

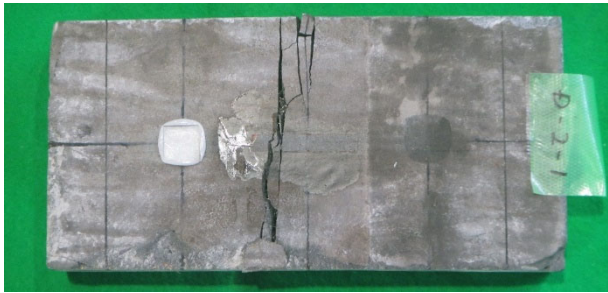
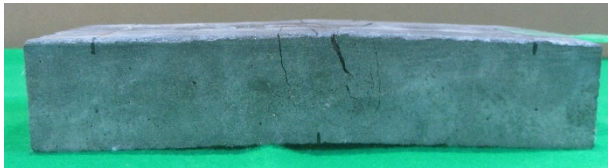
※2 : D-2-3 は π ゲージコマ直下にひび割れが入り, 3mm まで計測



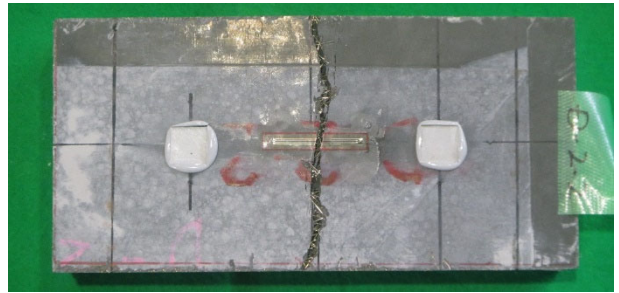
(a)D-1-1



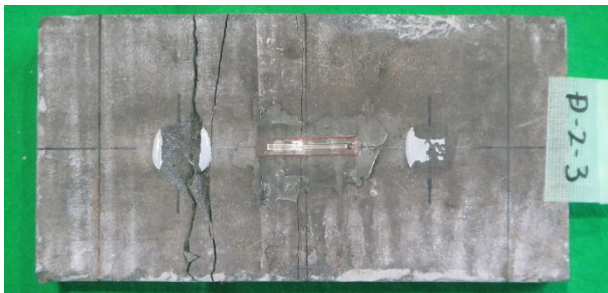
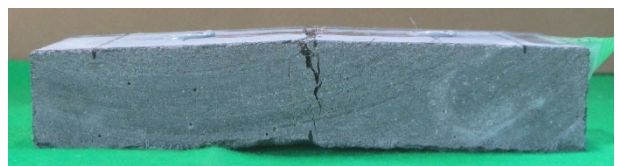
(b)D-1-3



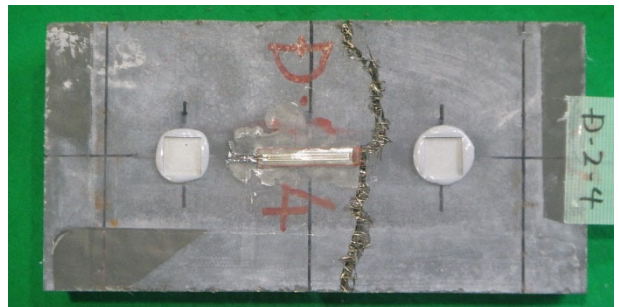
(c)D-2-1



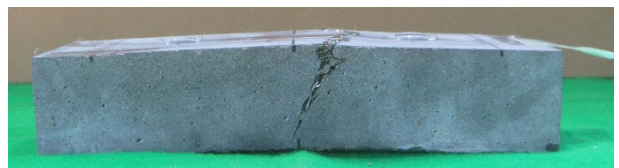
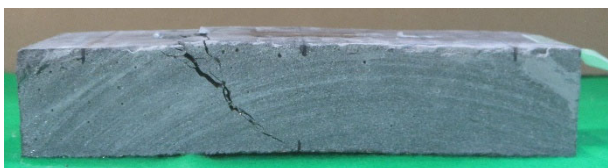
(d)D-2-2

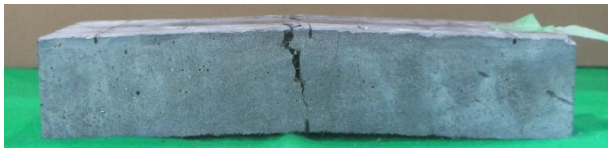


(e)D-2-3

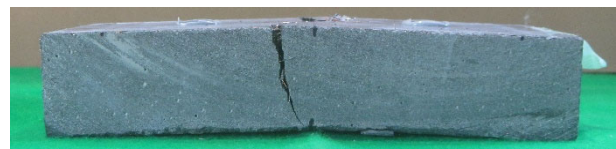
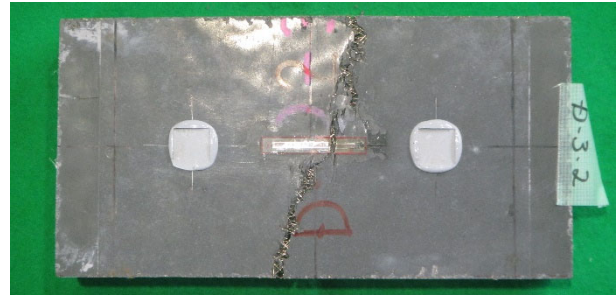


(f)D-2-4

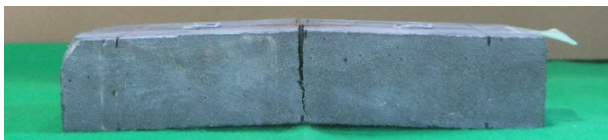
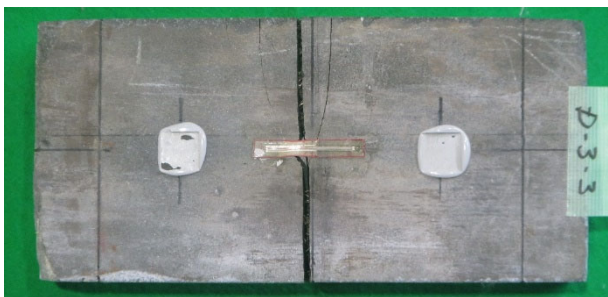




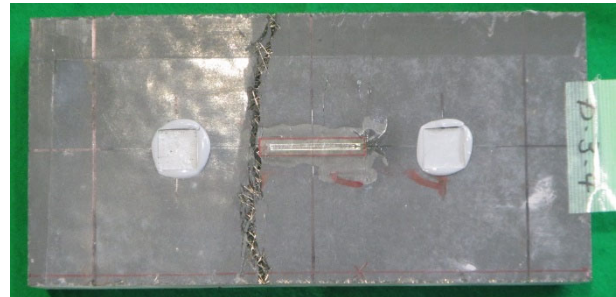
(g)D-3-1



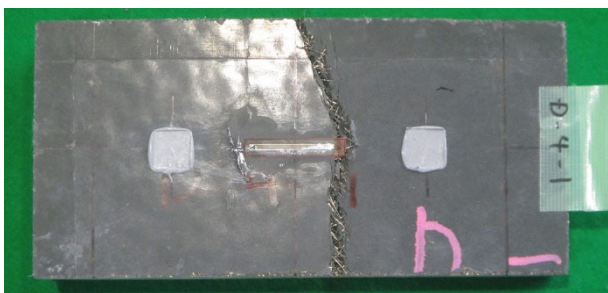
(h)D-3-2



(i)D-3-3



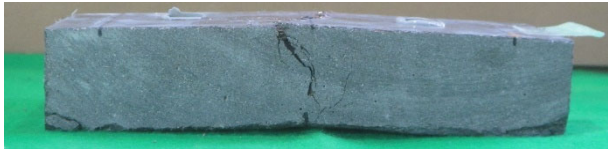
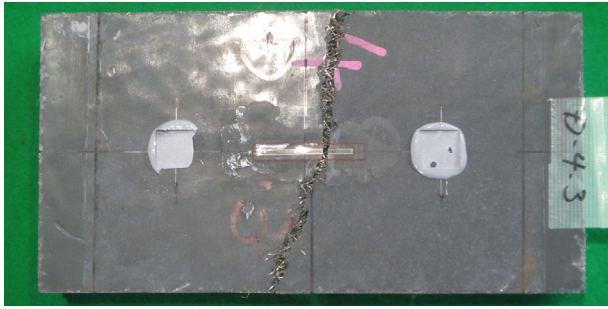
(j)D-3-4



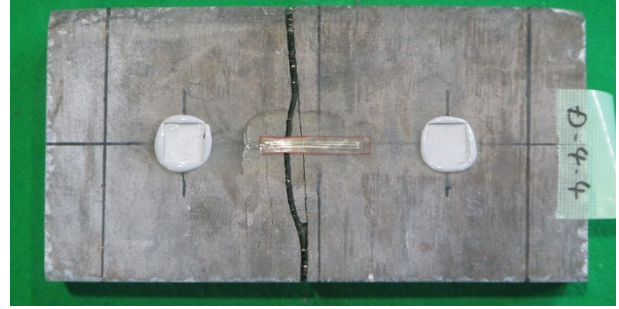
(k)D-4-1



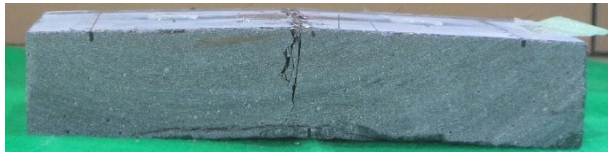
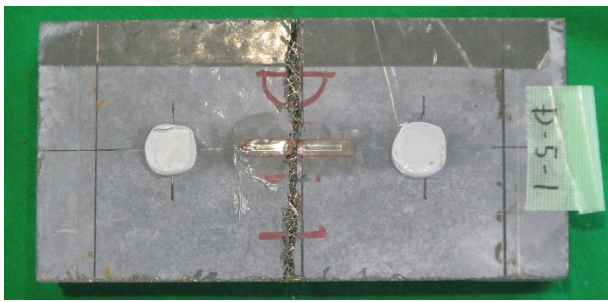
(l)D-4-2



(m)D-4-3



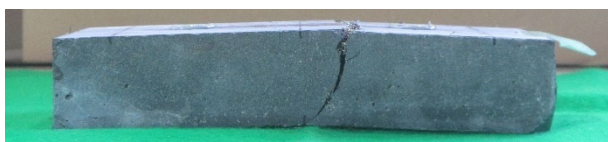
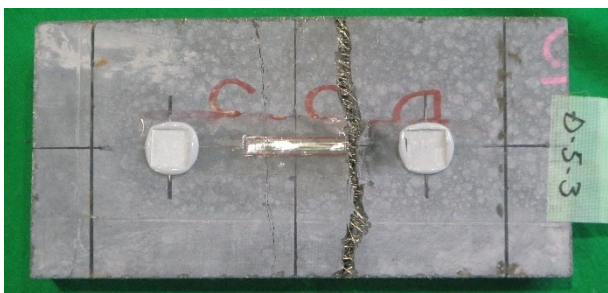
(n)D-4-4



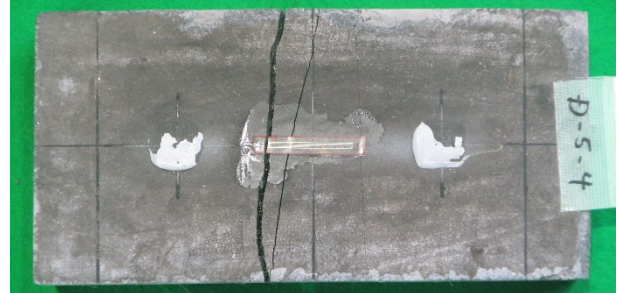
(o)D-5-1



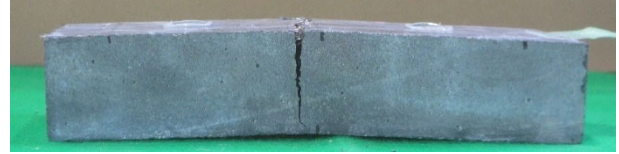
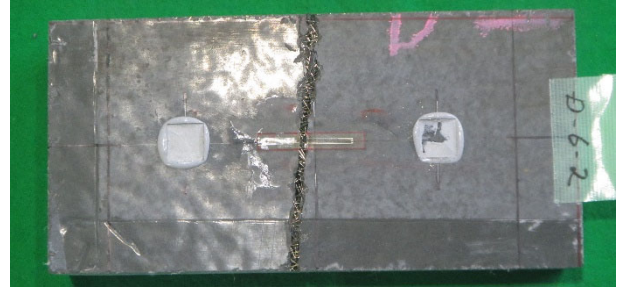
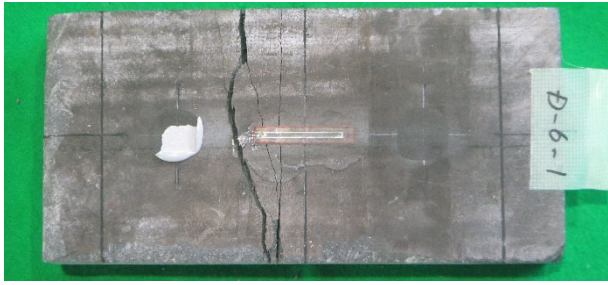
(p)D-5-2



(q)D-5-3

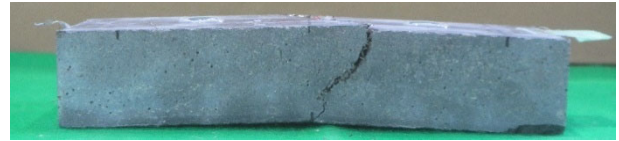
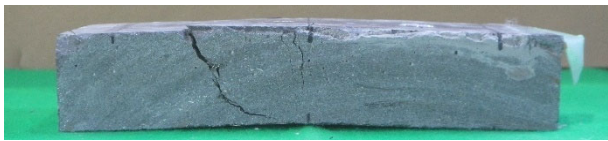
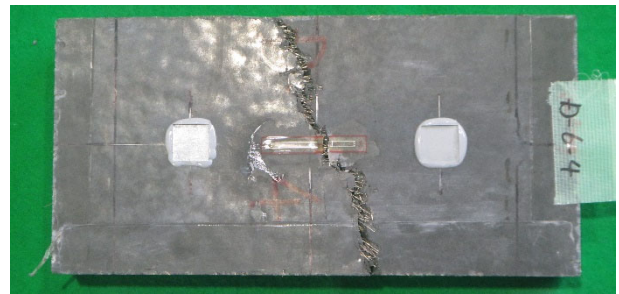
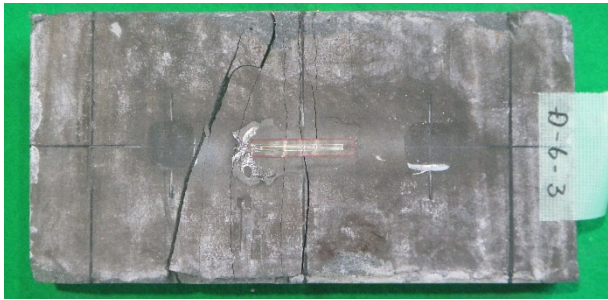


(r)D-5-4



(s)D-6-1

(t)D-6-2



(u)D-6-3

(v)D-6-4

図-3.3.2.1 試験終了時の状況写真

3.3.3 考察

繊維配向の特性を把握するため、試験片の切り出し方向と載荷面の違いに着目して、表-3.3.2.1の曲げ試験の結果を整理した。図-3.3.3.1に、ひび割れ発生荷重と最大荷重の関係を切り出し方向と載荷面で凡例を分類して示す。図-3.3.3.1(a)では、切り出し方向の違いでひび割れ発生荷重と最大荷重に差が確認できなかった。一方で、図-3.3.3.1(b)では、載荷面が上面の場合、ひび割れ発生荷重と最大荷重が全試験片から算出した平均値よりも高い傾向を示し、載荷面が下面の場合、平均値よりも低い傾向が確認できた。載荷面が上面の場合でひび割れ発生荷重と最大荷重の平均値を算出するとそれぞれ16.0kN、23.0kNとなるが、載荷面が下面の場合でそれぞれ12.0kN、15.8kNとなるため、載荷面による差が明確に確認できた。

図-3.3.3.2に、載荷面が上面と下面における荷重—変位関係を示す。図-3.3.3.2(a)より、載荷面が上面の場合で荷重—変位関係は、ひび割れ発生時後も繊維が荷重を負担してひずみ硬化のような挙動を示す傾向にあり、最大荷重がひび割れ発生荷重の約1.44倍まで伸びた。一方で、図-3.3.3.2(b)より、載荷面が下面の場合で荷重—変位関係は、ひび割れ発生後に一度荷重が落ちる傾向にあり、最大荷重がひび割れ発生荷重の約1.31倍まで伸びた。

試験体終了時におけるひび割れ発生状況を載荷面の違いで比較した結果を図-3.3.3.3に示す。載荷面が上面である試験体D-2-2(図-3.3.3.3(a))では、ひび割れから繊維が密に充填されていることが確認できるが、載荷面が下面である試験体D-1-3(図-3.3.3.3(b))では、ひび割れから繊維が確認できない。そのため、載荷面が下面における荷重—変位関係では、表面付近に繊維がないので、ひび割れが発生した直後に荷重が一度落ちて、ひび割れが進展した後に繊維に荷重が負担されるため、載荷面が上下でことなるものと考えられた。これは、「型枠に接する面では繊維が型枠面に沿った配向になりやすいせき板効果」を確認したものであり、繊維が下面に沈み込む影響もあると考える。また、試験片の切り出し方向の差が荷重からは確認できなかったことから、当初想定していた「打ち込み時に型枠内でコンクリートを流動させたその向きで繊維が配向されてしまうこと」は確認できなかった。

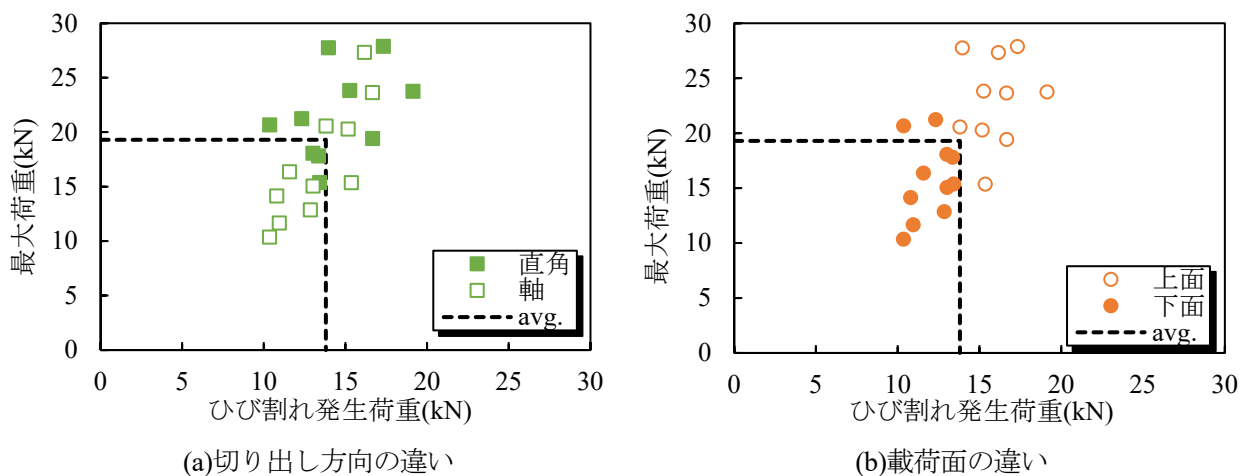
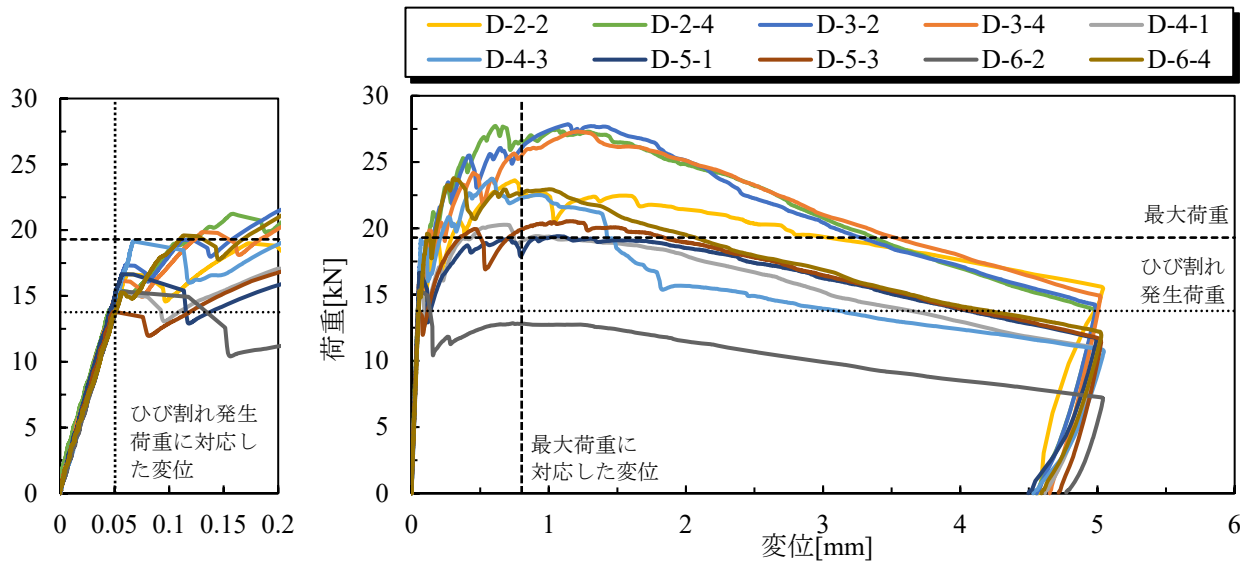
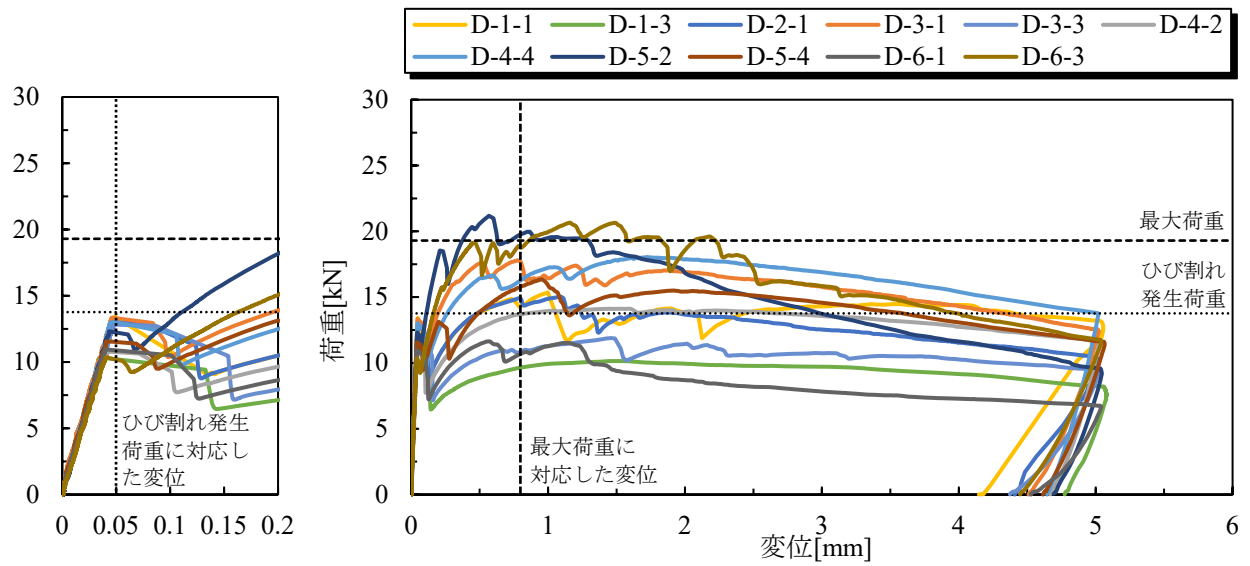


図-3.3.3.1 凡例を繊維配向の特性を把握するために分類したひび割れ発生荷重と最大荷重の比較

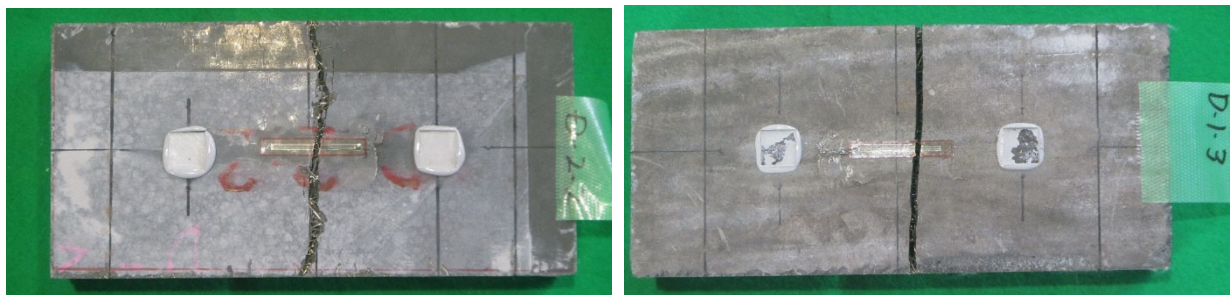


(a) 載荷面が上面



(b) 載荷面が下面

図-3.3.3.2 載荷面の違いを比較した荷重—変位関係



(a) 載荷面が上面 (D-2-2)

(b) 載荷面が下面 (D-1-3)

図-3.3.3.3 載荷面の違いを比較した試験体終了時の写真

3.4 X線 CT 画像

3.4.1 試験方法

プレキャスト床版供試体 (TS1) から切り出した試験片 A (リブ交差部), B (リブ部: 軸方向), C (リブ部: 直角方向), D (平板部) を用い, X線 CT スキャンを行なった後に画像解析を行なうことで, 部材中における局所的な繊維の配向の特性を検討した.

X線 CT スキャンには, 最大管電圧 300kV の X線 CT 試験装置を使用した. 本検討では, 切り出し後の試験片を 1 回の撮像範囲とし, 電圧を 270kV, 電流を 270 μ A として測定した. なお, 断面画像の解像度は 0.082 \times 0.082mm であり, プレキャスト床版供試体 (TS1) に使用した鋼繊維 (ϕ 0.2-15mm) を 1 本 1 本検知することが可能である. 図-3.4.1.1 にプレキャスト床版供試体 (TS1) からの試験片の切り出し位置, 図-3.4.1.2 に X線 CT スキャンに使用した試験片, 図-3.4.1.3 に X線 CT スキャンによる観察した画像の一例を示す. 本検討に用いたプレキャスト床版供試体 (TS1) では, 繊維混入率が 2.0vol.% の試験片であれば図のように鋼繊維が識別される.

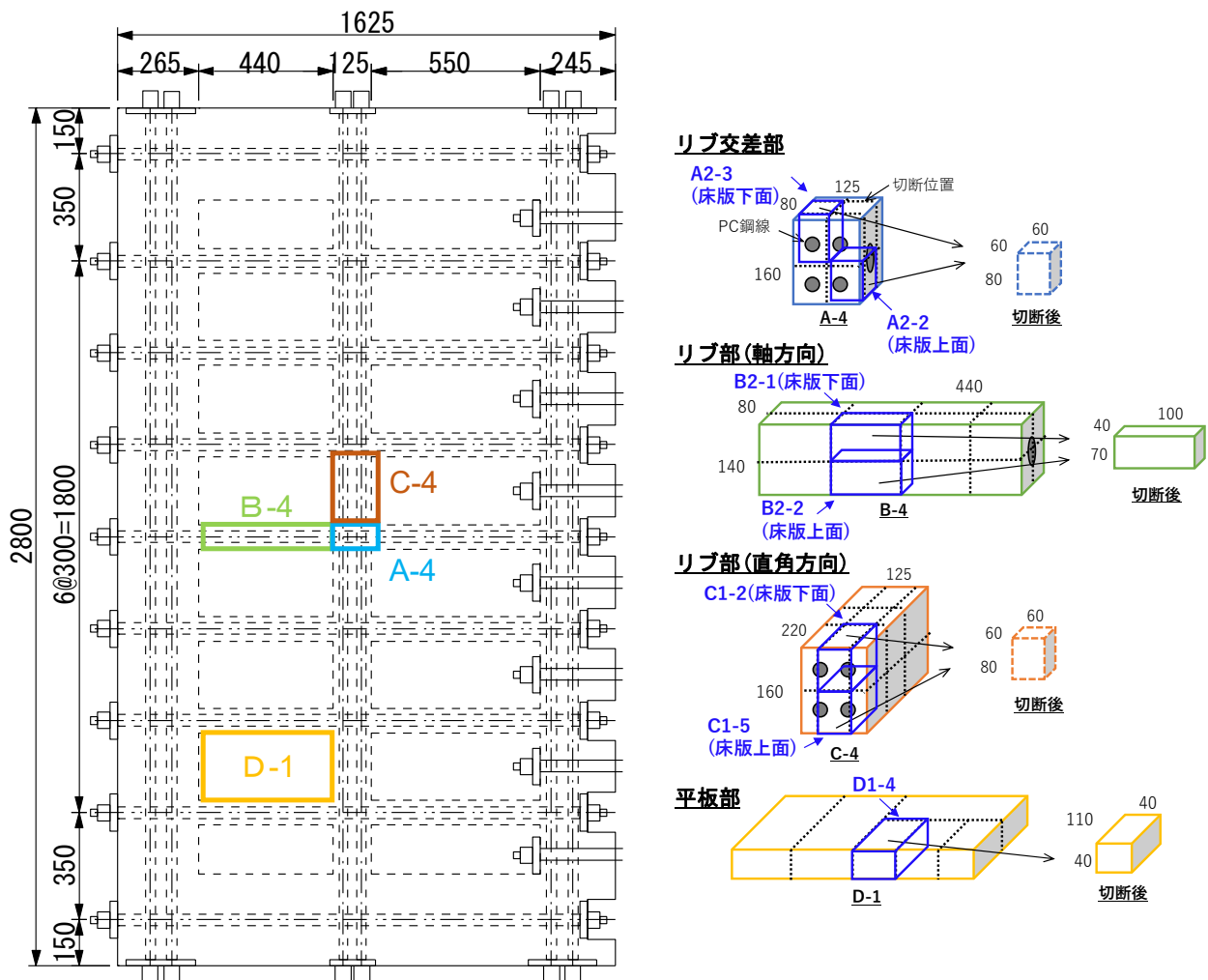
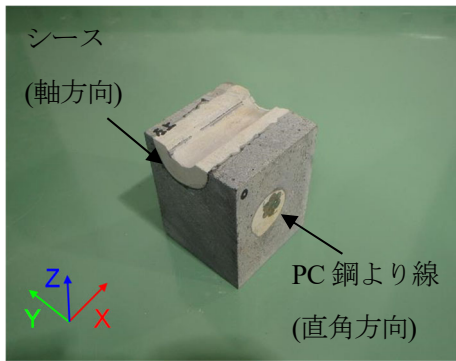
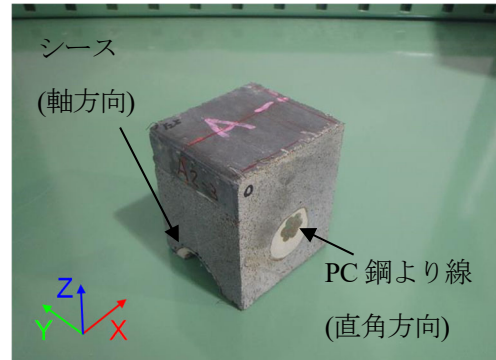


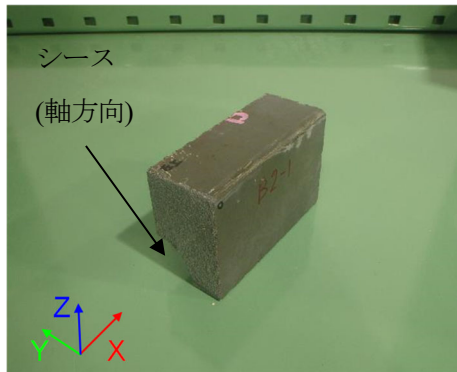
図-3.4.1.1 試験片の切り出し位置



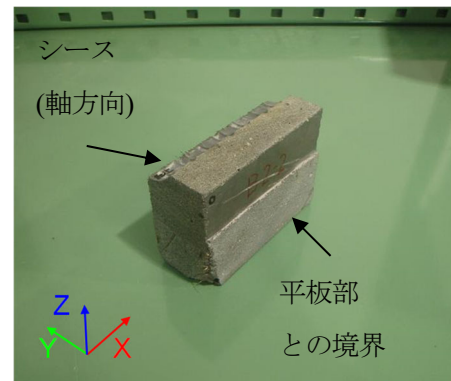
(a)A2-2 (リブ交差部：床版上面側)



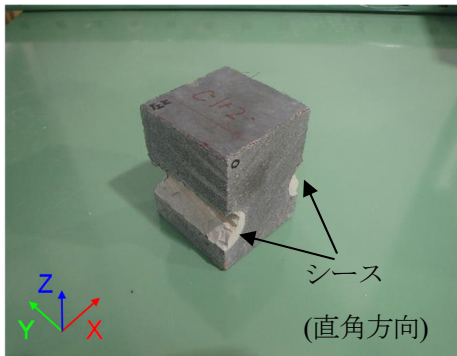
(b)A2-3 (リブ交差部：床版下面側)



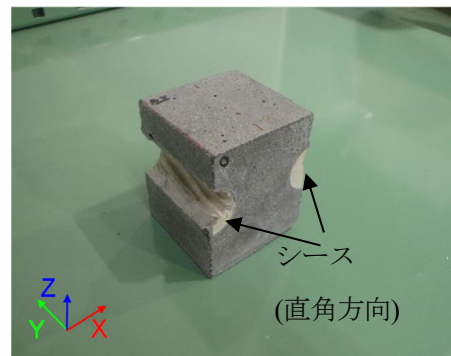
(c)B2-1 (リブ部：軸方向：床版下面側)



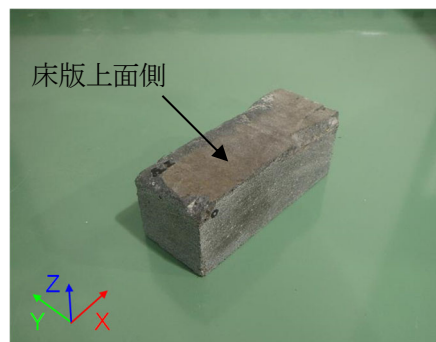
(d)B2-2 (リブ部：軸方向：床版上面側)



(e)C1-2 (リブ部：直角方向：床版下面側)



(f)C1-5 (リブ部：直角方向：床版上面側)



(g)D1-4 (平板部)

図-3.4.1.2 切り出し試験片

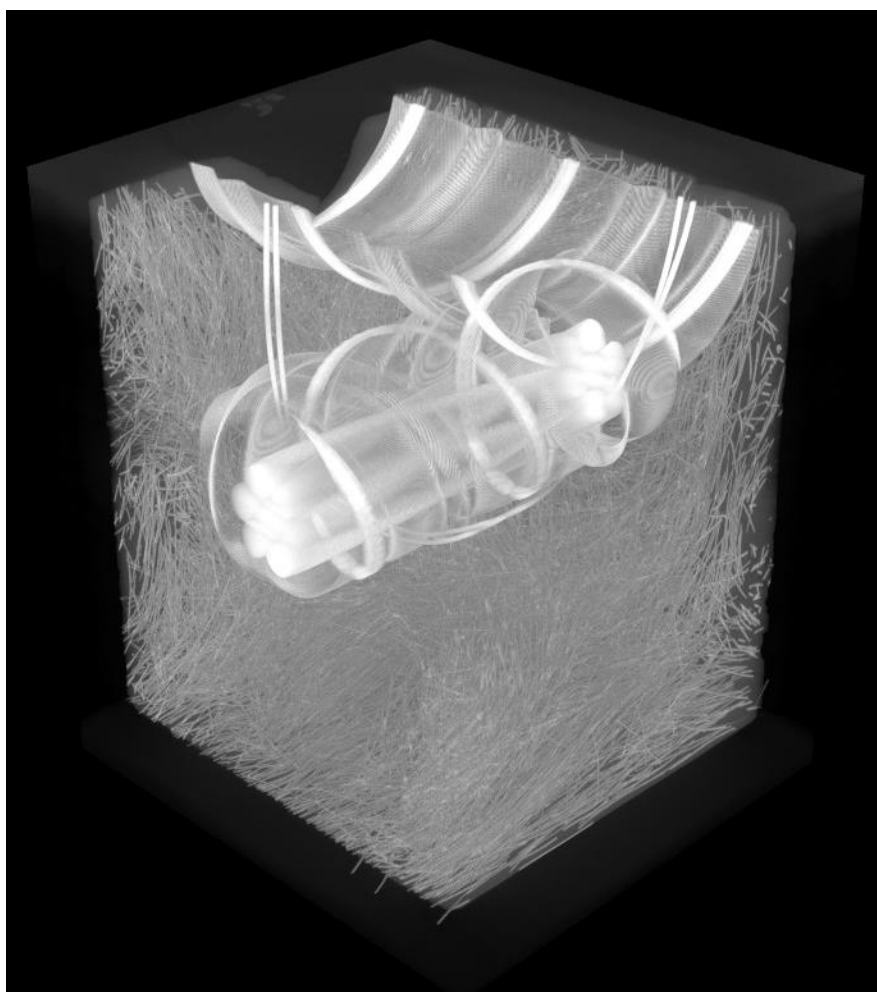


図-3.4.1.3 X線CT画像の一例（A2-3を一例）

3.4.2 試験結果

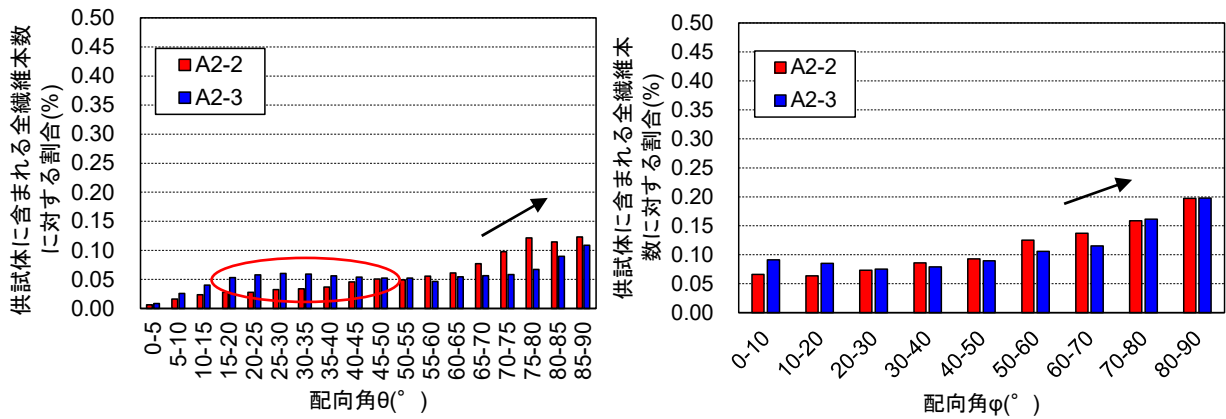
図-3.4.2.1 にリブ交差部，図-3.4.2.2 にリブ部（軸方向），図-3.4.2.3 にリブ部（直角方向），図-3.4.2.4 に平板部の X 線 CT 画像解析結果を示す．本結果における配向角 θ は図中 Z 軸からの角度，すなわち部材厚さ方向からの角度を表している．また，配向角 φ は X 軸からの角度，すなわち部材平面方向の角度を表している．なお，グラフ中の縦軸は画像解析により検知した繊維本数に対する割合を示している．

X 線 CT 画像では，撮影・画像解析でカウントされた繊維の配向方向に応じてこれを着色している．例えば，繊維の配向角度が Z 軸に対して 45° 以下であれば，その繊維は Z 軸方向（部材厚さ方向）に配向が卓越していることから，軸の色に合わせて青色に着色している．同様に，X 軸に対して卓越していれば赤色，Y 軸に対して卓越していれば緑色に着色している．

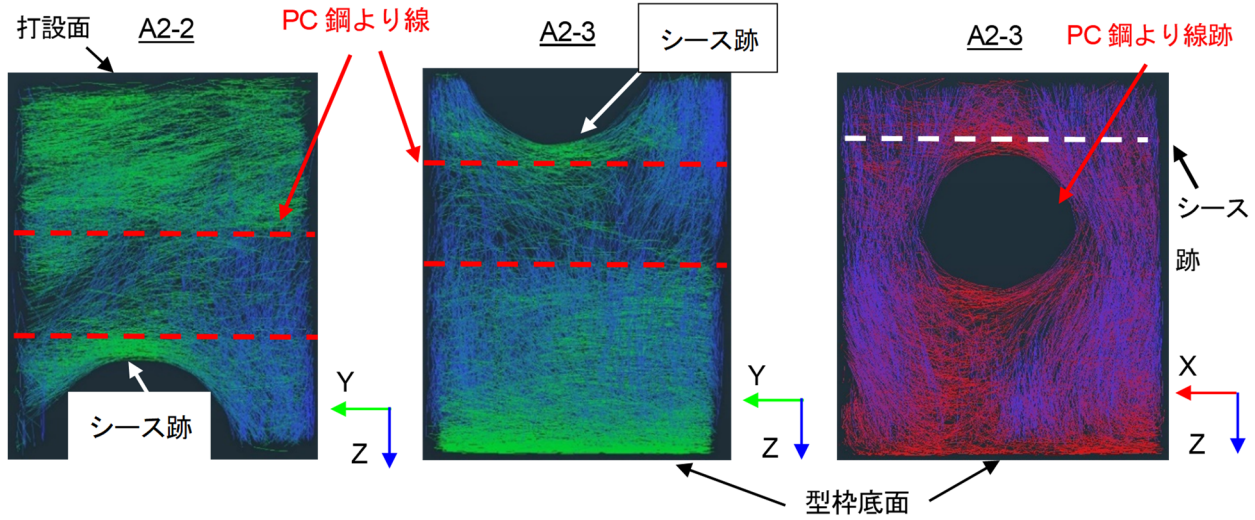
(1) リブ交差部

図-3.4.2.1 から、リブ交差部では配向角 θ が大きくなるにつれて、繊維の割合が増加している。これは、UFC 打込み時の型枠底面と打設面の影響を強く受けていることが要因として挙げられる（せき板効果）。A2-3 の配向角 $10\sim 40^\circ$ 付近の繊維の割合が A2-2 よりも多いのは、A2-3 が床版下面側となり UFC が床版下面側にシーす管を通過するため A2-2 よりもせき板効果の影響を受けにくいと考えられる。

配向角 φ が大きくなるにつれて、繊維の割合が増加している。これは部材製作時に UFC を床版直角方向の端部から打込んだため、UFC がリブ部分を流動して繊維がリブと平行な方向に配向したことが要因として考えられる。



配向解析結果



X線 CT 画像

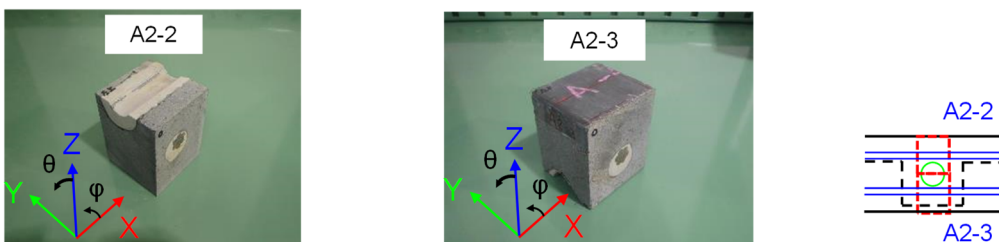
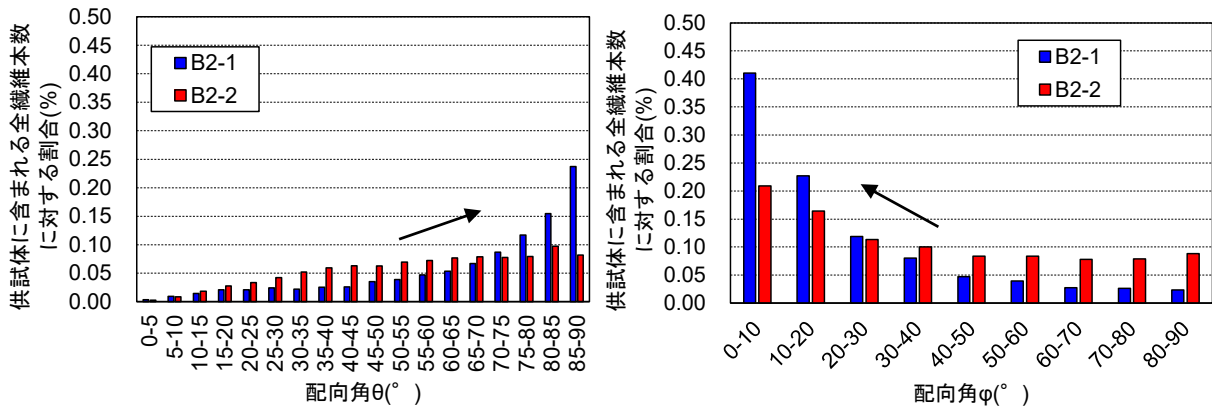


図-3.4.2.1 リブ交差部

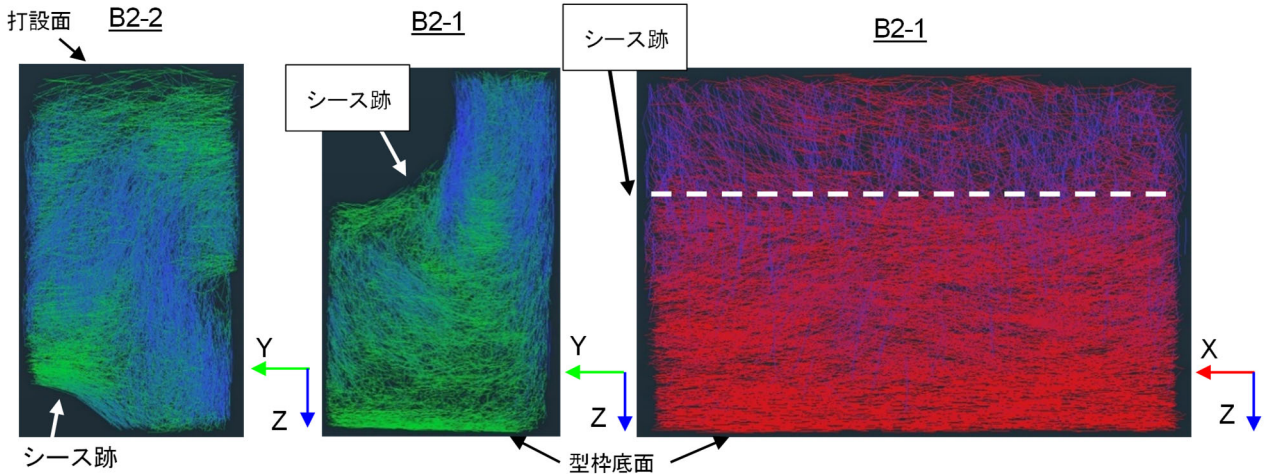
(2) リブ部（軸方向）

図-3.4.2.2 から、配向角 θ が大きくなるにつれて繊維の割合が増加している（せき板効果）。この傾向はリブ交差部と同様の傾向であることが分かる。

配向角 φ が小さいほど繊維の割合が多くなっている。これは、繊維の配向が X 軸方向に卓越しているものが多いことを表しており、リブ交差部よりも強く傾向が表れている。リブ交差部では、2 方向に UFC が流動するがリブ部では UFC が 1 方向に流動しやすいことから、この傾向がより強く出たものと考えられる（図-3.4.2.5）。



配向解析結果



X線 CT 画像（リブ部断面）

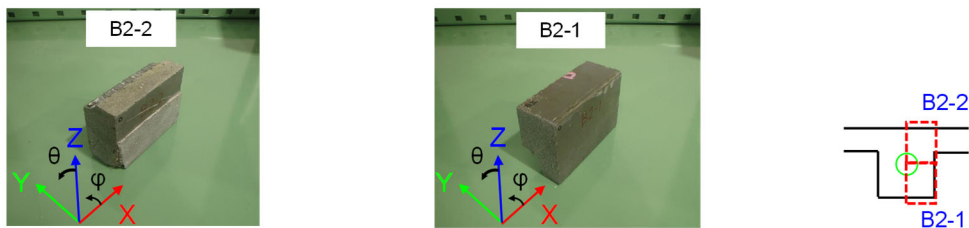
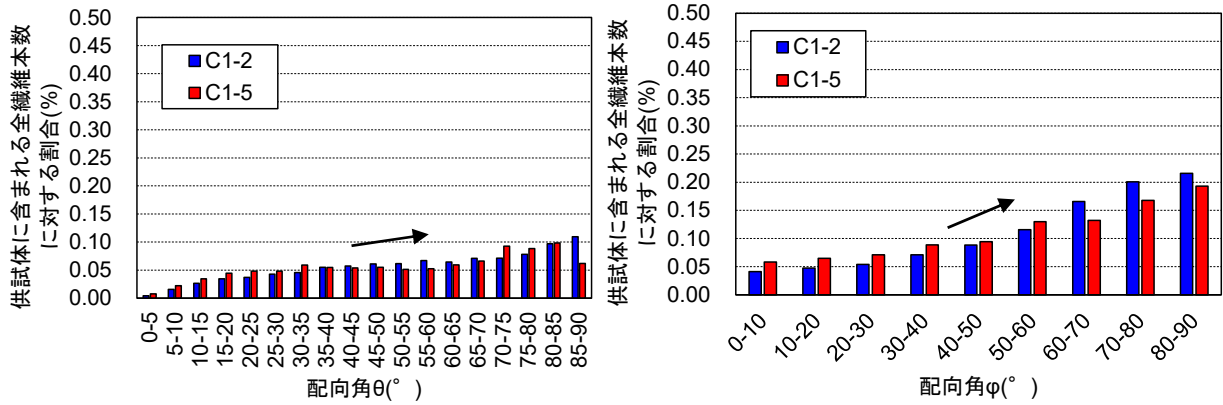


図-3.4.2.2 リブ部（軸方向）

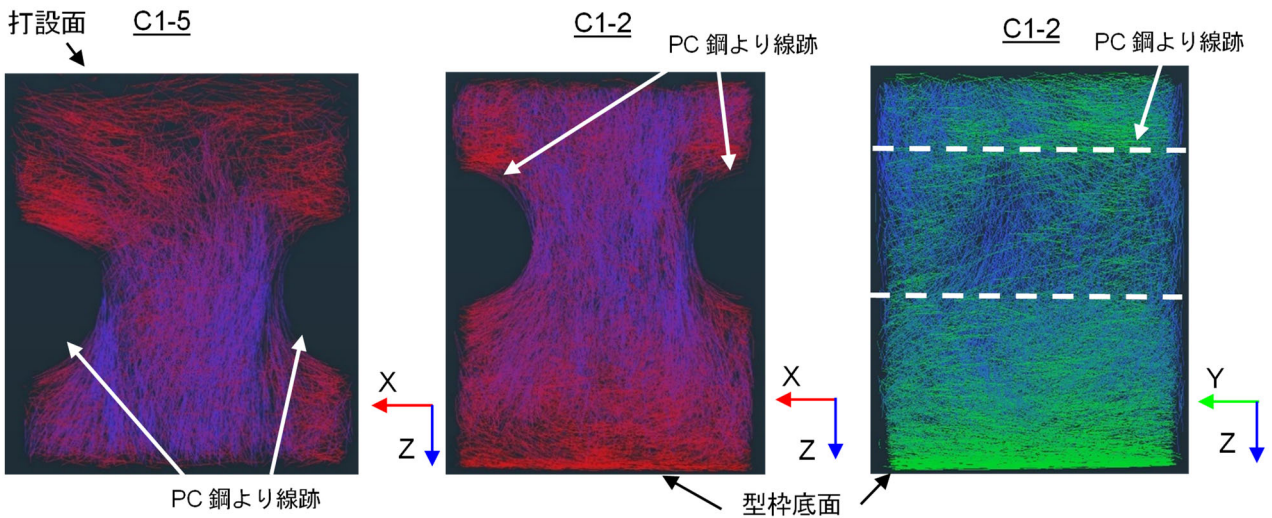
(3) リブ部 (直角方向)

図-3.4.2.3 から、配向角 θ が大きくなるにつれて繊維の割合が増加している (せき板効果)。この傾向はリブ交差部とリブ部 (軸方向) と同様の傾向であることが分かる。

配向角 φ が大きくなるにつれて繊維の割合が増加している。部材製作時に UFC を床版直角方向の端部から打込んだため、UFC がリブ部分を流動して繊維がリブと平行な方向に配向したことが要因として考えられる。



配向解析結果



X線 CT 画像 (リブ部断面)

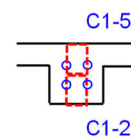
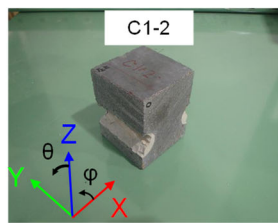
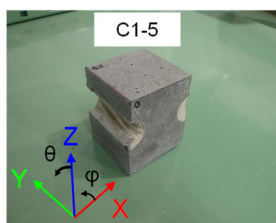
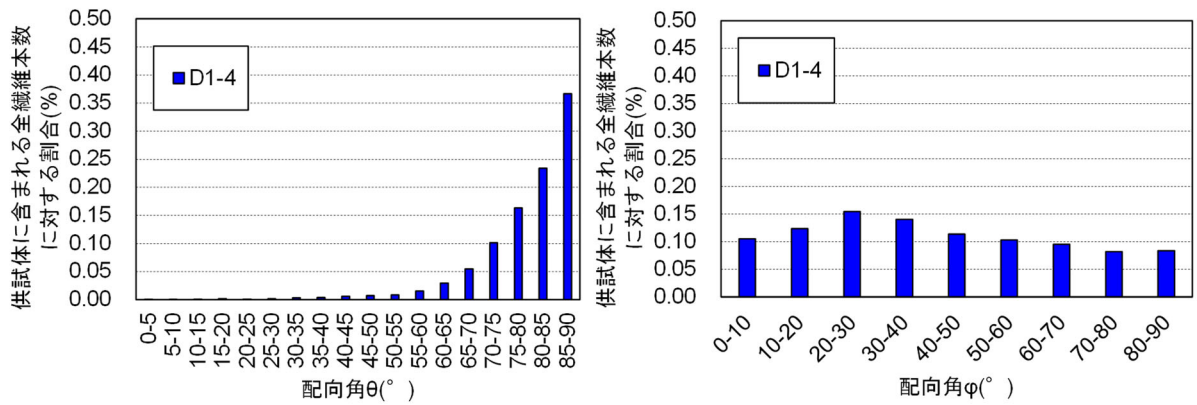


図-3.4.2.3 リブ部 (直角方向)

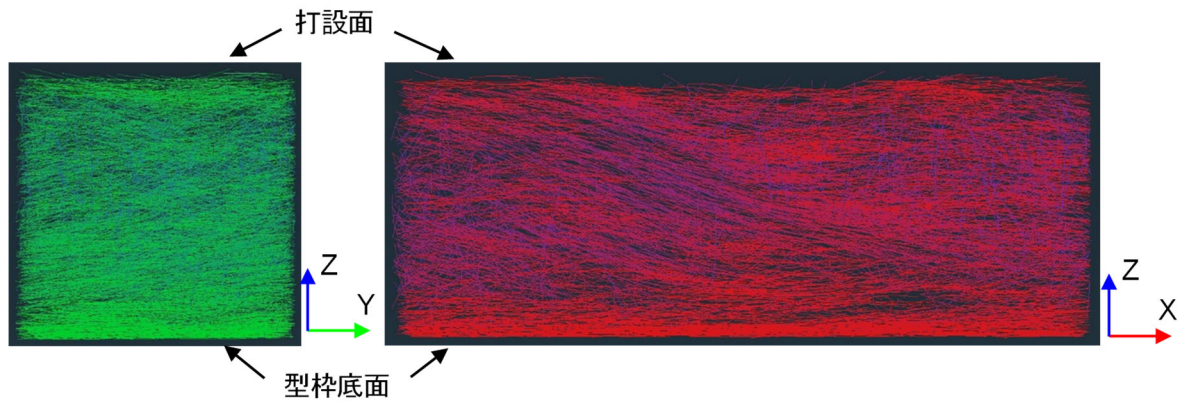
(4) 平板部

図-3.4.2.4 から、配向角 θ が大きくなるにつれて繊維の割合が増加している（せき板効果）。この傾向はリブ交差部とリブ部（軸方向）よりも強く表れていることがわかる。平板部は部材厚が 40mm のため、せき板効果の影響を強く受けたと考えられる。

配向角 φ の繊維の角度分布は、それぞれの角度ごとに同程度であることが分かる。これは、UFC を打込んだ場合に、リブ部のように流動方向が 1 方向にはならず、様々な方向に流動するため、X 軸方向と Y 軸方向では差がないと考えられる。



配向解析結果



X線 CT 画像（平板部断面：D-1-4）

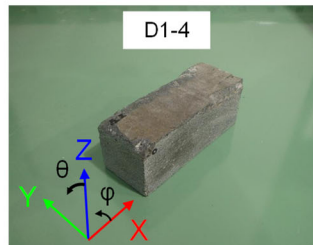


図-3.4.2.4 X線 CT 画像解析結果

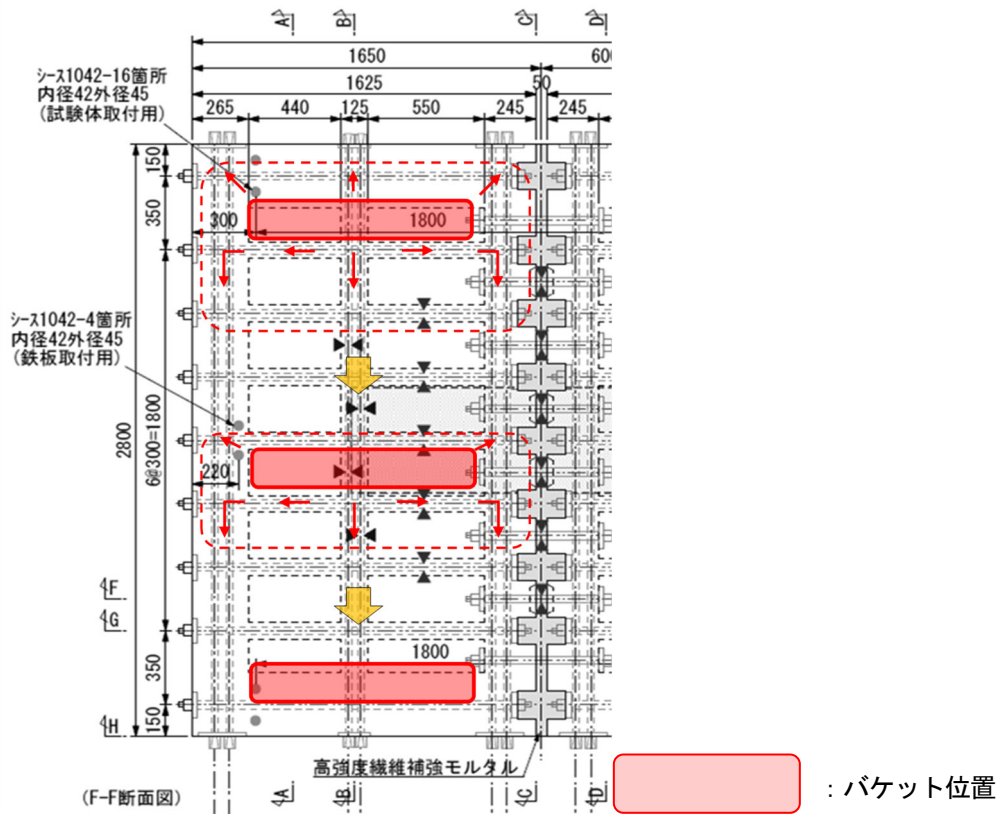


図-3.4.2.5 試験体打込み方法

3.4.3 考察

3.3 節で平板部分の切り出し試験片を用いた曲げ試験を行なった結果で、打設面を載荷面にした場合の曲げ耐力が型枠面を載荷面にした場合の曲げ耐力よりも大きいことが確認された。X線CT画像解析により、平板部分は型枠面のせき板効果の影響を強く受けることが確認されており、繊維が部材中でほぼ2次元配向（部材平面方向）していた。このことから、載荷面の設定により曲げ耐力が異なる傾向は、繊維の配向によるのが影響として考えられる（図-3.4.3.1）。

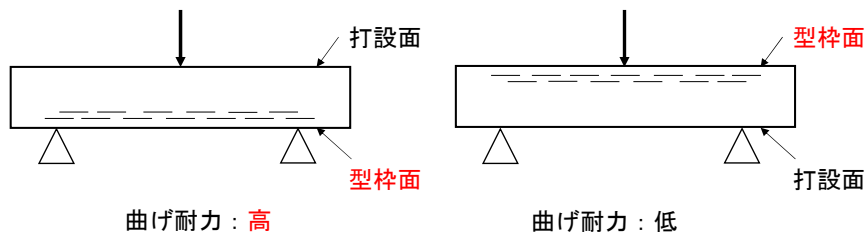


図-3.4.3.1 繊維の配向による曲げ耐力の違い

3.5 まとめ

プレキャスト床版供試体 (TS1) からリブ形状の異なる試験片を切り出して、床版形状による繊維配向の特性を把握した。試験片の曲げ載荷を行くことで荷重-変位の関係を整理し、繊維の影響によるひび割れ発生挙動を確認した結果、床版上面を載荷面にした場合の曲げ耐力が床版下面を載荷面にした場合の曲げ耐力よりも大きいことが確認された。これは、X線 CT 画像解析により、繊維が部材中でほぼ 2 次元配向しており、型枠面のせき板効果の影響を強く受けることが影響するものと考えられた。

参考文献

- 1) コンクリート工学会：高機能・高性能化する繊維補強コンクリート，50 巻，2012.

付属資料 II-1 直接引張試験用供試体の作り方 (案)

付属資料 II-2 直接引張試験方法 (案)

これらの付属資料は、本共同研究の推進のため、鹿島建設株式会社が担当して、既往の中日本高速道路株式会社と鹿島建設株式会社の共同研究「セメント系材料を用いた橋梁床版の打替え工法及び補強工法に関する研究」における成果¹⁾について、改めて付属資料としてとりまとめたものである。これらの原案作成に携われた関係各位に敬意を表す。

参考文献

- 1) 牧田通, 北川寛和, 横田祐起, 本田智昭, 一宮利通: 直接引張試験による UHPFRC の引張特性に関する研究, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集, V-542, pp.1083-1084, 2017.9.

付属資料Ⅱ-1 直接引張試験用供試体の作り方 (案)

1. 参考規格

- JSCE-F505 試験室におけるモルタルの作り方
- JSCE-F551 試験室における鋼繊維補強コンクリートの作り方
- JISA 1115 フレッシュコンクリートの試料採取方法
- JISA 1132 コンクリート強度試験用供試体の作り方
- JISA 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

2. 供試体数

5体以上とする。

3. 供試体寸法

寸法は、図1および表1による。

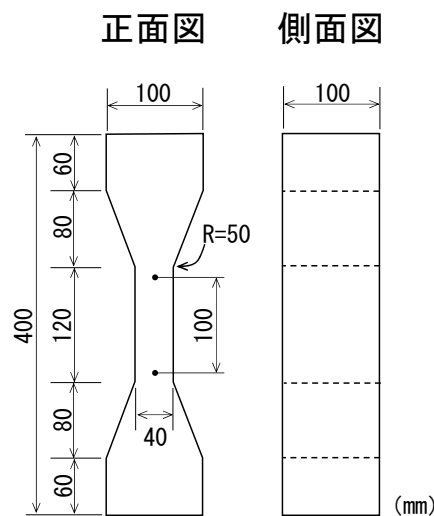


図1 直接引張供試体

4. 供試体の製造用器具

- ① 型枠は金属製とする。たとえば、JISA 1132 に準じた曲げ強度試験用供試体の型枠に図2および写真1のような金具をはめ込み固定する。
- ② 型枠は、供試体を作るときに変形および漏水のないもの、精度でなければならない。
- ③ 型枠の内面には、適当な剥離剤または鉱物性の油などを塗布してよい。
- ④ 型枠は水平に設置する。

- ⑤ 打込み時には、型枠の端部から一層で連続的に流し込むものとする。
- ⑥ 木づちを用いて締め固める場合、十分締め固めることのできるものとする。
- ⑦ 振動台によって締め固める場合、十分締め固めることのできる機器とする。
- ⑧ 突き棒や内部振動機を用いないことを原則とするが、必要な場合には繊維の配向に留意する。

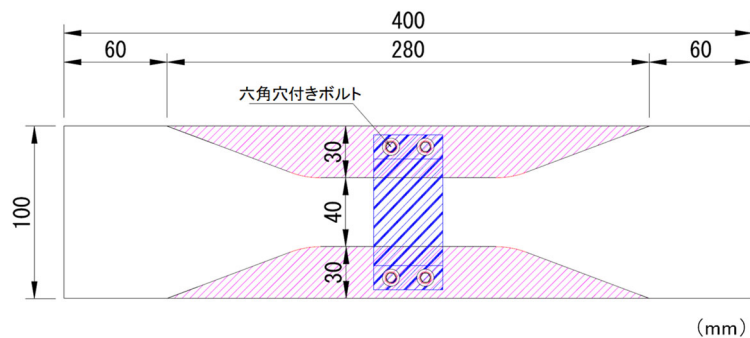


図2 直接引張試験用供試体の型枠（例）

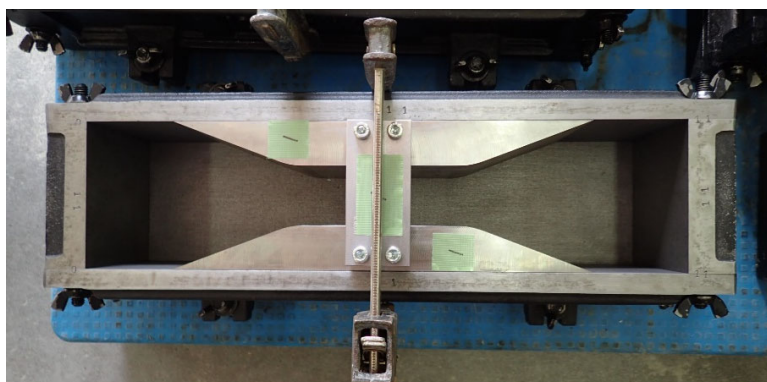


写真1 直接引張試験用供試体の型枠（例）

5. 打込み方法

型枠の端部から気泡をできるだけ巻き込まないように、一層で上面まで連続的に流し込む。ただし、図3に示すように、打込み範囲は、供試体の把持部分にあたる型枠の端部から140mm以内とする。また、打込みの際、合流部は標点間においての弱点となるため、型枠の両端からの打込みは行わないこととする。

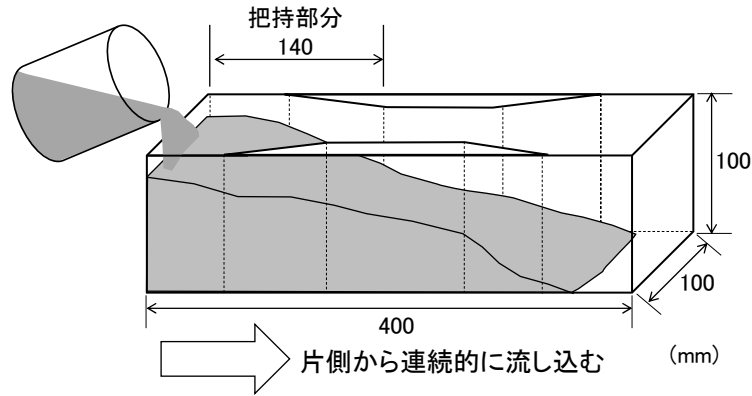


図3 直接引張試験用供試体の打込み方法

6. 締め固める場合

突き棒や内部振動機を用いないことを原則とする。必要に応じ、気泡を低減する目的で、型枠を木づちによる打撃もしくは型枠を振動台に密着させて表面が平らになるように締め固める。長時間振動をかけると材料分離の原因となるので注意する。

7. 供試体の形状寸法の許容差

表1 直接引張試験用供試体寸法と許容誤差

	平行部幅	原標点距離	平行部の長さ	厚さ
寸法	40	100	120	100
許容誤差	±1	±1	±1	±1

(単位 mm)

8. 脱型および養生

- ① 脱型は、打込み後 24 時間から 48 時間の間を基本とする。
- ② 打込み後は、脱型まで材料表面からの乾燥を防ぐため、供試体上面をラップフィルムまたは湿布で打込み面を覆い、水分の逸散を防ぐ。
- ③ 脱型後の供試体は、定められた養生条件（例えば部材と同一）にて養生を行う。

付属資料Ⅱ-2 直接引張試験方法（案）

1. 引用規格

JIS B 7721 引張試験機・圧縮試験機-力計測系の校正方法及び検証方法

2. 装置

- ① 本引張試験に用いる試験機は、JIS B 7721 による等級1級以上とし、変位制御による荷重が可能な試験機とする。
- ② 試験機は供試体把持装置の取付部を結ぶ直線を正しく鉛直に置いて使用する。
- ③ 標点間の変位を測定する装置は、供試体の変位を1/1000mm以下の精度で測定できるものとし、標点間の変形を妨げる構造であってはならない。
- ④ 供試体の形状および試験荷重に適した把持装置を使用し、把持装置は試験片の中心軸上に沿って引張荷重を荷重可能な構造とする。両端の把持装置で、一端を固定、他端はピン（ヒンジ）の条件で荷重が可能となるよう試験装置に装着する。

把持装置の例として、つかみ治具を用いた例を図1に示す。

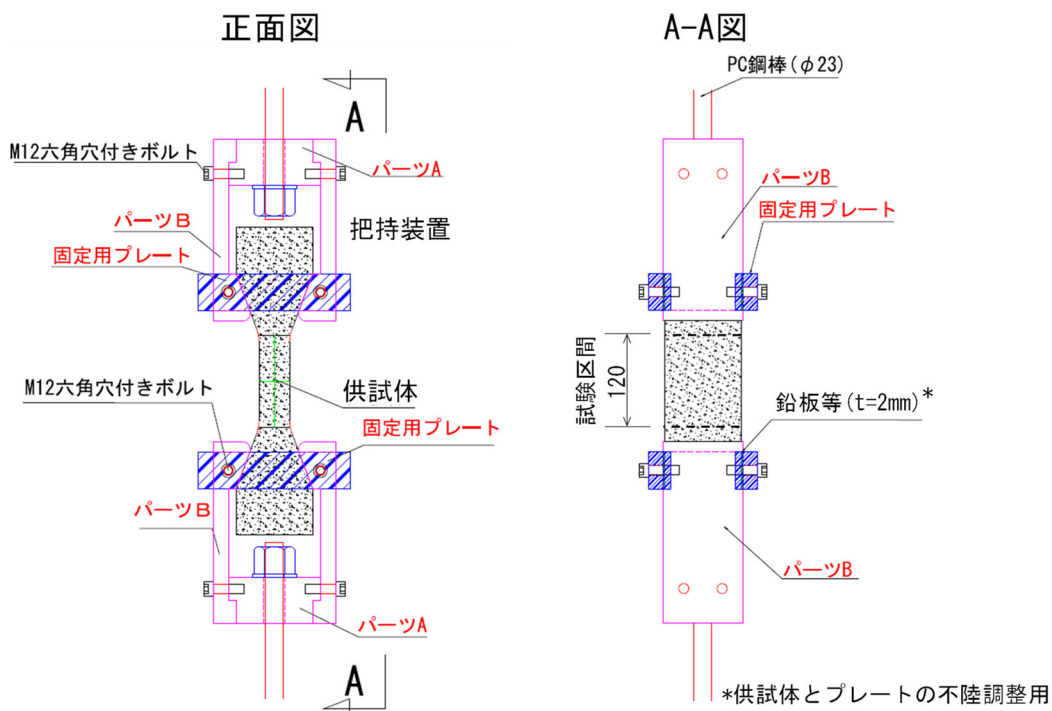


図1 直接引張試験概要（つかみ治具による把持装置）

3. 試験方法

- ⑨ 荷重方法は、供試体の形状に適した把持装置を用いて供試体に荷重を行う。
- ⑩ 荷重速度は、ピーク荷重までは供試体の変形速度が 0.02mm/分程度で一様な速度とし、ピーク荷重後は 0.2mm/分とする。
- ⑪ 試験を行う供試体の数は 5 体以上とする。
- ⑫ 作製した供試体は、所定の圧縮強度に達したことを確認した上で荷重を行う。

4. 計算

供試体試験区間の原断面積、標点距離、降伏点、引張降伏強度（ひび割れ発生強度）、引張終局ひずみおよび引張強度の求め方は、次による。

- ① 試験区間の原断面積は、標点間の両端部および中央部の 3 か所の断面積の平均値とする。
- ② 標点距離は適切な測定器を用いて測定する。
- ③ 引張降伏強度すなわちひび割れ発生強度の試験値 f_e (N/mm²) は次の式により算出する。

$$f_e = \frac{F_{Uie}}{A} \quad (\text{式 1})$$

ここに、 F_{Uie} ：降伏点（ひび割れ発生時）における荷重（N）

A ：試験区間の供試体原断面積（mm²）

- ④ 引張強度の試験値 f_u (N/mm²) は次の式にて算出した値とする。

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (\text{式 2})$$

ここに、 F_u ：最大荷重（N）

- ⑤ ピーク荷重後に軟化開始点のひずみを引張終局ひずみと定義し、その試験値 ϵ_u (%) を次の式で算出する。

$$\epsilon_u = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 1000 \quad (\text{式 3})$$

ここに、 l_u ：終局点の標点間距離（mm）

l_0 ：原標点間距離 = 100（mm）

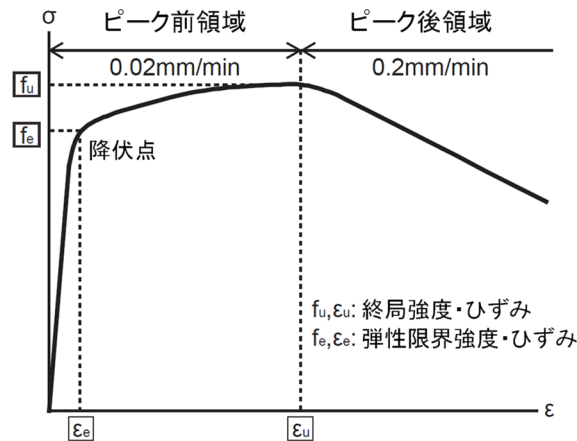


図2 降伏点，終局点および引張強度

- ⑥ 引張降伏強度，引張終局ひずみおよび引張強度は，引張終局ひずみが最大の供試体と最小の供試体の2体を除外した3体以上の平均により求める。ただし，引張降伏強度，引張終局ひずみおよび引張強度などのばらつきを求める場合，実施した全ての試験結果を用いて算出する。

謝辞

本編2章に示した直接引張試験は，中日本高速道路株式会社と鹿島建設株式会社の共同研究「セメント系材料を用いた橋梁床版の打替え工法及び補強工法に関する研究」における成果¹⁾について，改めて付属資料としてとりまとめたものである。ご協力いただいた関係各位，貴重な意見をいただいた委員各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 牧田通，北川寛和，横田祐起，本田智昭，一宮利通：直接引張試験によるUHPFRCの引張特性に関する研究，土木学会第72回年次学術講演会概要集，V-542，pp.1083-1084，2017.9

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の
耐久性向上技術に関する共同研究報告書

第III編 接合部を有する FRC プレキャスト床版の試験報告

1. 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験

1.1 概要

タイプの異なる FRC プレキャスト床版の供試体 3 体を用いて、その接合部で負曲げが生じ得るかを改めて確認し、発生し得る負曲げの程度や漏水に至る負曲げの程度を把握するため、水張り下での輪荷重走行試験を行った。試験は、輪荷重 157kN で走行を開始し、4 万回ごとに 19.7kN 増加させる階段荷重¹⁾によった。

床版供試体は、本共同研究のうちプレキャスト床版の開発を行っている 3 者が 1 体ずつ製作して計 3 体とした。各者の床版供試体は、試験機に設置可能な範囲で、接合部の構造を含めて、材料、設計、製作はそれぞれの者の自由とした。接合部の路面水浸入に対する照査に関して、はり試験による簡易な方法を検討するため、接合部の構造は、後述 2 章のはり試験と共通であり、高さをプレキャスト部より大きくしたものや、逆に高さを 1/2 としたものが含まれる。床版の接合部の曲げ挙動とはり試験における接合部の曲げ挙動を比較するため、床版の曲率の測定とそれによる評価を試みた。

本章では、各床版供試体 TS1, KF, S1 の水張り下における接合部を有する輪荷重走行試験の結果を示す。また、その結果を踏まえて接合部の実測曲率の程度と漏水との関係について整理する。

なお、既往の接合部を有するプレキャスト床版を用いた同様の水張り輪荷重走行試験のデータ²⁾を用いて、接合部の負曲げ発生の可能性について再整理を行った。そのときの床版供試体の材料や構造は、2 章で示すはり供試体 KJ と共通する。

1.2 試験方法

1.2.1 供試体

(1) 基本方針

プレキャスト床版及び接合構造は、各者で提案したものとし、実物大の供試体とすることとした。図-1.2.1.1に、床版供試体の基本形状寸法と載荷方法を示す。本検討では、接合部を跨いで輪荷重が走行することによる影響を検討することとし、走行方向と直角の打継目を有する接合部を設けた。接合部の中心は、床版中央から走行方向に 600mm 離れた位置 (CL-600) とした。接合部の形式や劣化状況によっては、接合部が床版の境界条件となることが想定されることから³⁾、接合部がプレキャスト床版に及ぼす影響を見るため、接合部の位置を床版中心から走行方向に離して、片側に比較的大きいプレキャスト床版の領域を確保するようにした。

(2) 床版供試体の概要

表-1.2.1.1 に床版供試体の主な諸元を示す。プレキャスト本体の材料、間詰材ともに各者で開発した超高強度または高強度の FRC を用いている。また、供試体 TS1 はプレストレスを利用した構造として、供試体 KF と S1 は鉄筋を利用した構造としてそれぞれ提案されている。表-1.2.1.2 に供試体 KF, S1 の配筋の概要を示す。表-1.2.1.3 にセメント系材料の強度試験結果の一覧を示す。セメント系材料の圧縮強度試験及び直接引張試験は、第 II 編に示したとおり、土木研究所で共通試験として行った。表-1.2.1.4 及び図-1.2.1.2 に、使用鋼材の引張強度及び PC 鋼棒の強度特性を示す。

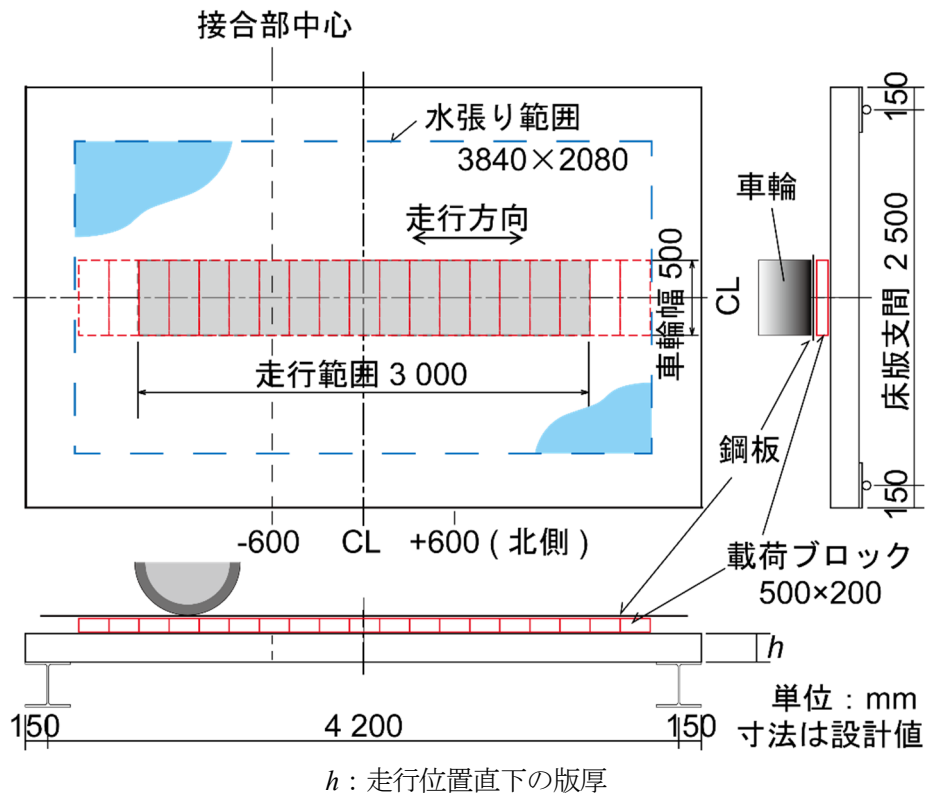


表-1.2.1.1 床版供試体の主な諸元

供試体名	床版形式	一般部 (プレキャスト本体)			接合部*3			繊維種類	備考
		主材 (いずれも FRC)	圧縮強度 [引張強度*1] (N/mm ²)	鋼材	間詰材 (いずれも FRC)	圧縮強度 [引張強度*1] (N/mm ²)	鋼材		
TS1	リブ付き床版	UFC	205 [14.2, 14.3]	二方向 PC*2	UHPFRC*4	179 [12.3, 13.1]	アンボンド PC*2	鋼	—
KF1	平板型	高強度繊維補強 軽量コンクリート	61.2 [2.8, 3.0]	SD345	高強度繊維補強 軽量コンクリート	106 [4.9, 5.8]	SD345	有機	—
S1	平板型	超高強度繊維 補強モルタル	151 [7.9, 8.2]	SD345	超高強度繊維 補強モルタル	153 [5.8, 6.0]	SD345	有機	—

*1) 引張強度は直接引張試験によるひび割れ発生時の値(左)と最大荷重時の値(右)を示す。

*2) 鋼材種類は図-1.2.1.3 に示す。

*3) 接合部のうちプレキャスト部材端以外の材料について示す。

*4) UHPFRC : 蒸気養生を要せず現場施工可能な, 超高強度 FRC。

表-1.2.1.2 床版供試体の配筋

供試体		主鉄筋			配力鉄筋			床版厚 (mm)
		呼び径	間隔 (mm)	上縁からの距離* (mm)	呼び径	間隔 (mm)	配力鉄筋比 (%)	
KF1	上段	D13	200	29.5	D13	200	100	230
	下段	D19	200	197.5	D19	200		
S1	上段	D16	100	38	D16	125	80	180
	下段	D19	100	140.5	D19	125		

*) 床版上縁から鉄筋中心までの距離, 鉄筋の材質はすべて SD345。

表-1.2.1.3 セメント系材料の強度試験結果

供試体	部位	時期	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)	材齢 (日)
TS1	PCa 部	開始時	204	52400	0.19	13.3	75
			202	54500	0.19		61
	間詰材	開始時	153	45800	0.22	10.3	47
		終了時	174	47800	0.22	12.7	184
KF1	PCa 部	開始時	63.6	20600	0.24	3.3	—
		終了時	64.7	21600	0.23	3.5	—
	間詰材	開始時	108	26900	0.23	6.1	—
		終了時	94.3	25800	0.23	6.7	—
S1	PCa 部	開始時	151	38300	0.24	8.2	—
		終了時	155	41900	0.23	8.4	—
	間詰材	開始時	153	41200	0.23	6.0	—
		終了時	152	43800	0.23	7.6	—

注) いずれも 3 本の平均値. TS1 の上段はプレキャスト版 (大), 下段はプレキャスト版 (小) の結果.

ポアソン比は圧縮試験による値. 引張強度は, 直接引張試験の結果を示す.

表-1.2.1.4 鋼材の引張強度

供試体	鋼材	降伏点 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
TS1	1S15.2BL	—	—	—
	1S17.8BL	—	—	—
	B種1号φ23	図-1.2.1.2 のとおり		
KF1	D13, SD345	(350)	(200000)	—
	D19, SD345	(350)	(200000)	—
S1	D16, SD345 *	382 (390)	194000	577
	D19, SD345 *	402 (419)	189000	583

*) 3本の平均値。記号なしはミルシートによる。括弧内は2章のはり試験における計算で用いた値。

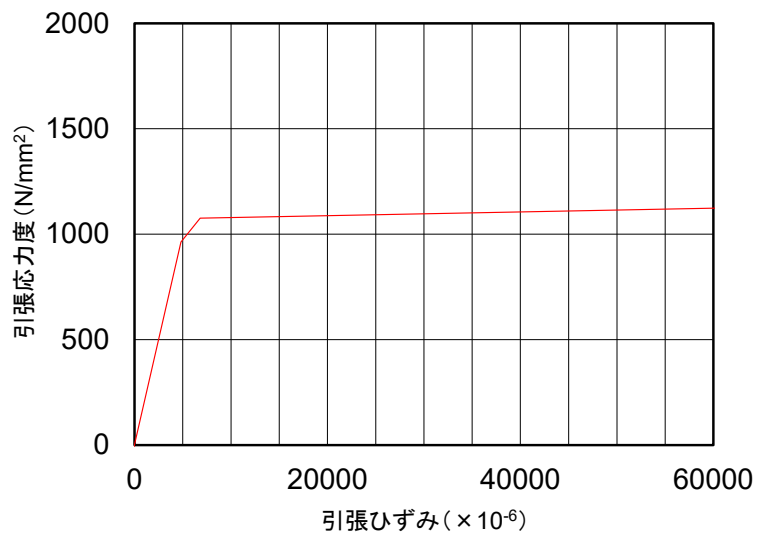


図-1.2.1.2 床版供試体 TS1 の PC 鋼棒の応力-ひずみ関係

(3) 床版供試体 TS1

本試験で対象とした床版は、接合部を有する2方向PCリブ付きUFC床版である。表-1.2.1.5、表-1.2.1.6に床版本体に用いたUFCの構成材料および配合を、表-1.2.1.7、表-1.2.1.8に接合部に用いた間詰材の構成材料および配合を示す。

表-1.2.1.5 UFCの構成材料

種類	記号	成分等
結合材	B ₁	ポルトランドセメント、シリカフェーム等の混和材を予め混合した粉体
骨材	S ₁	珪砂（粒径2.5mm以下）
繊維	F ₁	鋼繊維（長さ15mm，直径0.22mm，引張強度2,000N/mm ² 以上）
高性能減水剤	SP ₁	ポリカルボン酸系高性能減水剤

表-1.2.1.6 UFCの配合

単位量 (kg/m ³)						
	W			B ₁	S ₁	F ₁
	SP ₁					
180	20			1,278	934	157 (2vol.%)

表-1.2.1.7 間詰材の構成材料

種類	記号	成分等
結合材	B ₂	ポルトランドセメント、シリカフェーム等の混和材を予め混合した粉体
膨張材	EX	早強性石灰系膨張材（JIS A 6202 適合品）
骨材	S ₂	珪砂（粒径2.5mm以下）
繊維	F ₂	鋼繊維（長さ13mm，直径0.16mm，引張強度2,000N/mm ² 以上）
高性能減水剤	SP ₂	ポリカルボン酸系高性能減水剤
消泡剤	AF	ポリアルキレングリコール誘導体
収縮低減剤	SRA	低級アルコールアルキレンオキシド付加物，易溶性

表-1.2.1.8 間詰材の配合

単位量 (kg/m ³)							
	W			B ₂	EX	S ₂	F ₂
	SP ₂	AF	SRA				
216	19	1	15	1,388	35	650	157 (2vol.%)

輪荷重走行試験に用いた供試体の形状を図-1.2.1.3に示す。供試体の寸法は、橋軸方向が4.5m、橋軸直角方向が2.8mであり、中央から橋軸方向に600mmずらした位置に床版接合部が設けられている。床版の2方向リブ内にはそれぞれPC鋼材が設置されており、いずれもポストテンション方式でプレストレスを導入した。実際の床版では、橋軸直角方向のPC鋼材はプレテンション方式でプレストレスを導入する設計となっているが、端部の定着ロスを考慮すると供試体に設計と同程度のプレストレスを導入することは困難であると考えられたため、本供試体ではポストテンション方式を採用した。有効プレストレスは橋軸直角方向のPC鋼より線(1S15.2BL(SWPR7B))で800N/mm²、橋軸方向のPC鋼棒(B種1号(SBPR930/1080))で550N/mm²である。

床版間の接合は、UFC床版間(50mm幅)に間詰材(高強度繊維補強モルタル)を充填し強度が発現した後、接合部の両側に位置する橋軸直角方向リブ同士を接合用の短尺PC鋼棒にて緊張することにより接合した(有効プレストレス550N/mm²)。なお、接合用のPC鋼棒は、床版に局所的な損傷が生じた際に1枚ごとの交換を可能とするためグラウト充填をしない仕様とされている。

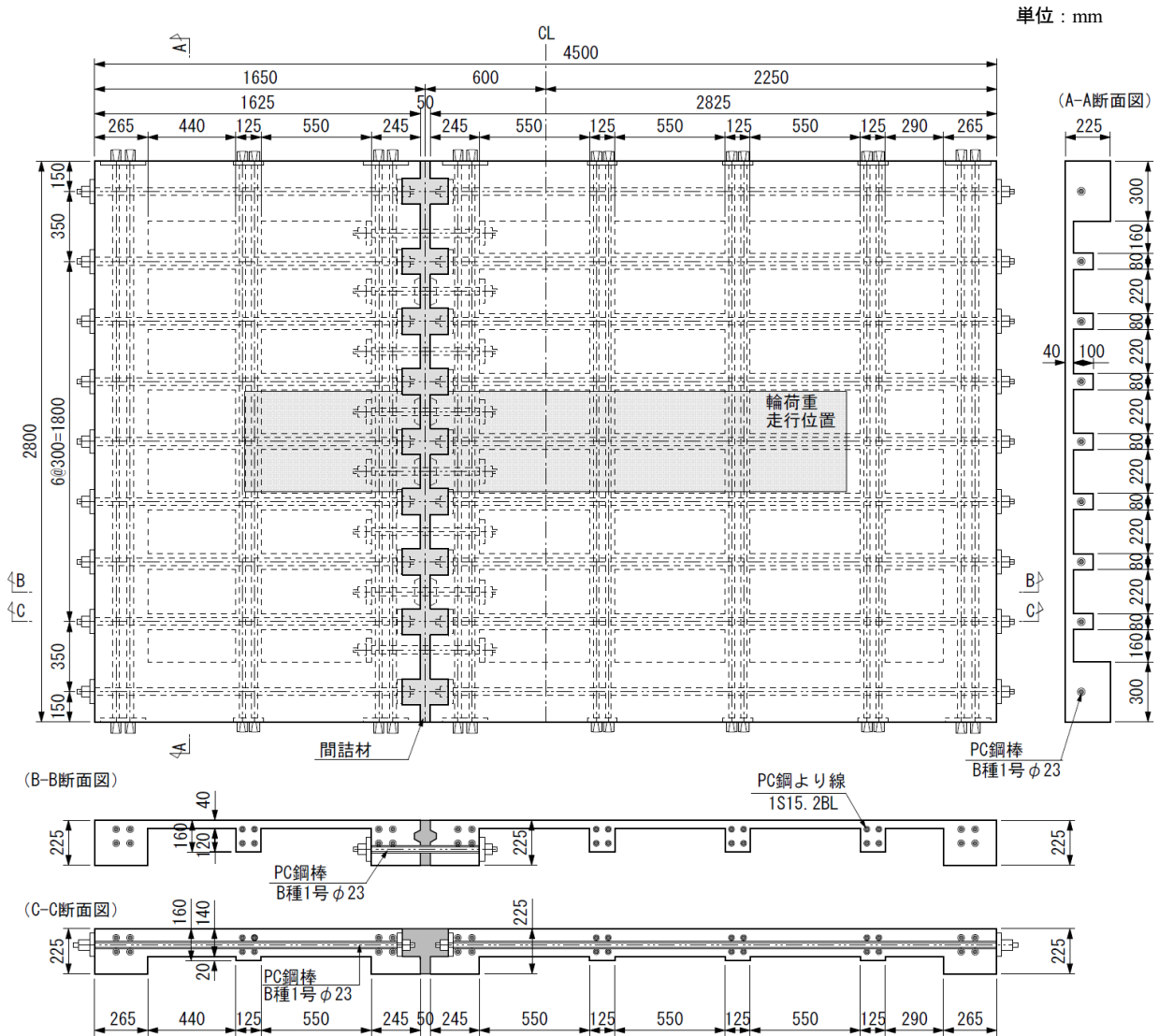


図-1.2.1.3 床版供試体 TS1 の形状寸法

(4) 床版供試体 KF1

本試験で使用した床版は、既存の床版と同程度の厚みであり、床版本体の単位体積質量を一般の RC の 25kN/m^3 から 18.5kN/m^3 に軽量化した高強度繊維補強コンクリートを用いて、繊維による高い靱性および独自の鉄筋との高い付着性によって使用鉄筋量を減少させたプレキャスト RC 床版である。接合部は L 型重ね合わせ構造とし、間詰部に高強度繊維補強コンクリートを充填させた継手である。使用した材料の強度試験結果を表-1.2.1.9 に示す。

表-1.2.1.9 供試体に用いた FRC の諸元

	床版本体	継手部
単位体積質量(kN/m^3)	17.0	21.0
弾性係数(kN/mm^2)	20.5	26.9
圧縮強度(N/mm^2)	63.5	107.6

輪荷重走行試験に用いた供試体の構造概要を図-1.2.1.4 に示す。床版供試体の版厚は現行道路橋示方書に準拠して支間 3m の連続版を対象に版厚 230mm とした。設計は鉄筋の許容応力を 200N/mm^2 で行い、それ以外は道路橋示方書に準拠した配筋とした。この床版を支間 2.5m で単純支持し、長さ 4.5m の両端辺を横梁で弾性支持する。また、接合部の挙動を確認するために中央より 600mm の位置に L 型重ね合わせ継手を配置した。なお、鉄筋の許容応力については、過去の同様の FRC を用いた輪荷重走行試験の結果から⁴⁾、繊維補強コンクリートによって鉄筋にかかる応力が分散される事、独自のコンクリートによる高い鉄筋との付着性が確認できた事から、鉄筋の許容応力を高く設定できると仮定し、鉄筋量の少ない床版とした。

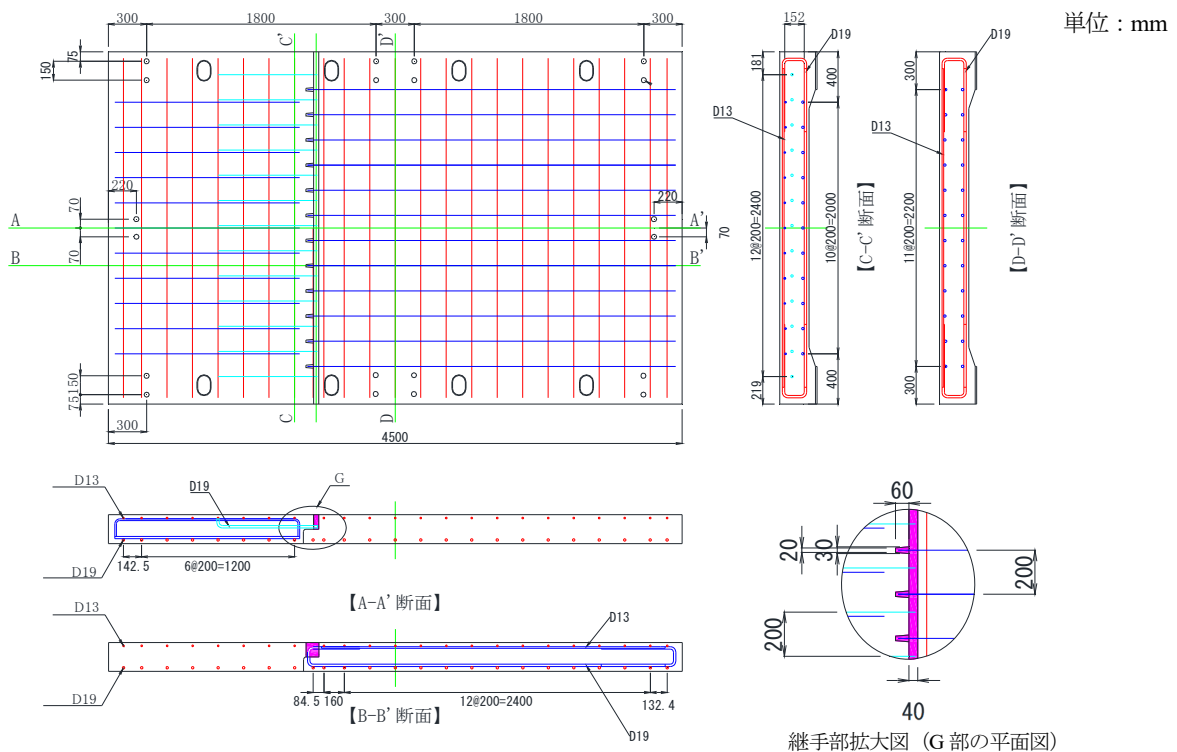


図-1.2.1.4 床版供試体 KF1 の形状寸法

(5) 床版供試体 S1

本試験で使用した FRC の使用材料・配合を表-1.2.1.10, および表-1.2.1.11 に示す. 一般部と接合部は同様の FRC を使用した. 本 FRC は補強繊維として PVA 繊維を単位体積当たり 1.7vol%配合している. 打込み後は試験日まで現場気中養生とした. 表-1.2.1.12 に供試体と同一養生を行った試験片の圧縮強度試験結果を示す. ただし試験は輪荷重試験日当日に実施した.

鉄筋は全て SD345 を使用した. 表-1.2.1.13 に使用した鉄筋の強度試験結果を示す.

表-1.2.1.10 使用材料

種類	記号	仕様
結合材	B	低熱ポルトランドセメント+シリカフューム
骨材	S	5号珪砂
補強繊維	F	PVA 繊維, 繊維長 12mm, 繊維径 0.2mm
混和剤	A	専用混和剤
膨張材	E	石灰系膨張材

表-1.2.1.11 FRC 配合

(W+A) /B (%)	単位量 (kg/m ³)					
	水 W	結合材 B	骨材 S	補強繊維 F	混和剤 A	膨張材 E
16	201	1480	629	22.5	38	20

表-1.2.1.12 強度試験結果 (FRC)

		各値(N/mm ²)	平均(N/mm ²)
一般部	1 バッチ目	149	156
		161	
		158	
	2 バッチ目	155	152
		150	
		150	
接合部		151	144
		145	
		150	

表-1.2.1.13 強度試験結果 (鉄筋)

種別	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)	弾性係数 (kN/mm ²)
D16 SD345	382	577	23.6	194
D19 SD345	402	583	24.1	189

供試体の設計フローを図-1.2.1.5, 設計条件を表-1.2.1.14 に示す. 設計は道路橋示方書に準拠し, 床版厚・鉄筋配置は曲げ耐力, 押抜きせん断耐力, および疲労耐久性について照査することにより決定した. ただし, 床版厚の決定においては, 道路橋示方書に規定される支間長により算定される最小床版厚を適用せず, 別途, 松井⁵⁾が提案した梁状化した床版の押抜きせん断耐力 P_{sx} を式(1.2.2)により求め, 式(1.2.1)により示される従来の RC 床版⁵⁾の S-N 曲線を用いて, 設計輪荷重による疲労破壊回数 (水張り時) が 100 年相当の繰り返し回数である 1.0×10^{10} 回以上になることを確認することにより, 疲労耐久性の照査を行った.

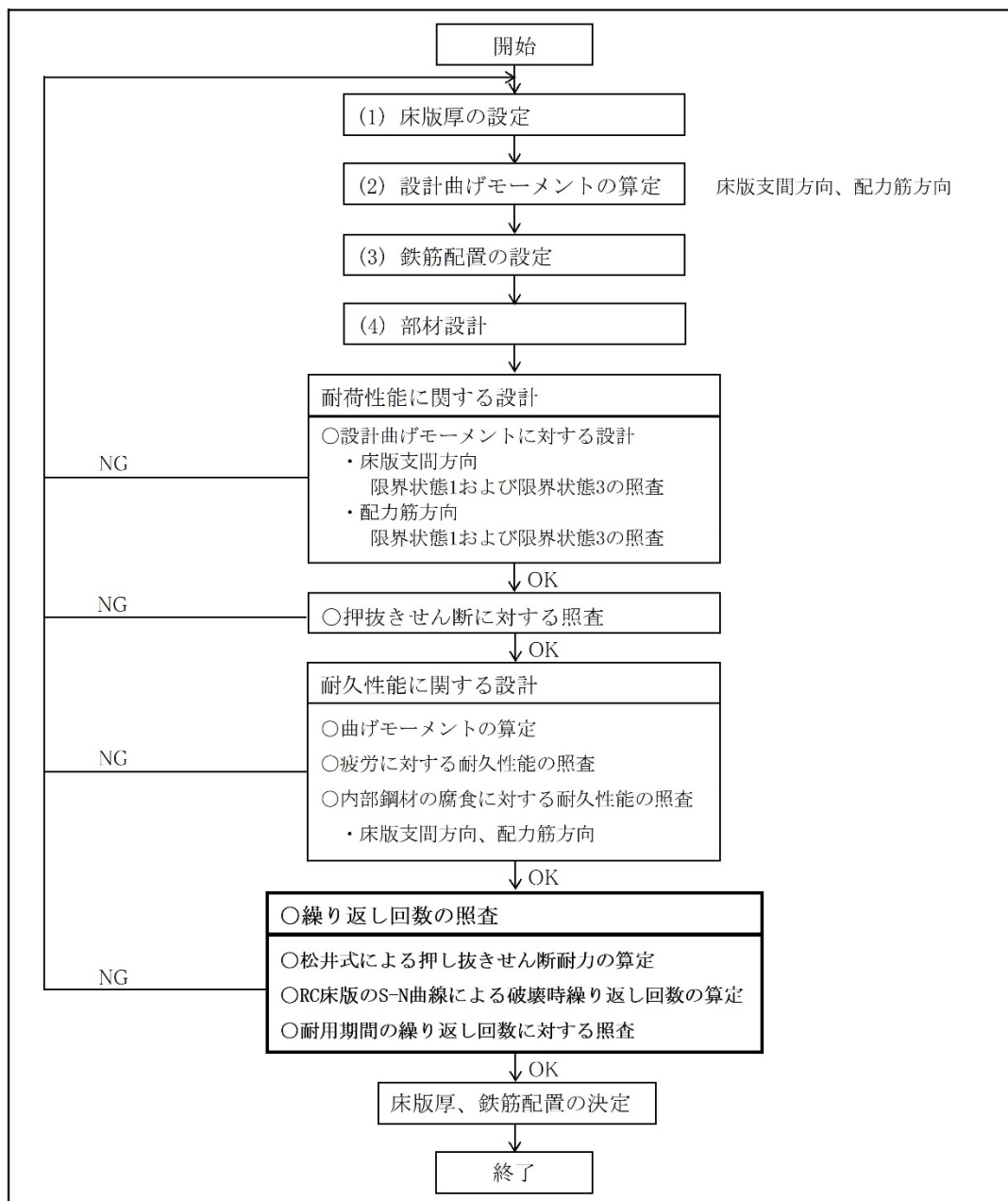


図-1.2.1.5 床版供試体 S1 の設計フロー

表-1.2.1.14 設計条件

項目		値
設計基準強度	FRC	120N/mm ²
	鉄筋	345N/mm ²
制限値	FRC	40N/mm ²
	鉄筋	120N/mm ²
ヤング係数比		4.5
床版厚		180mm
鉄筋配置	引張主鉄筋(下面)	D19, @100mm
	圧縮主鉄筋(上面)	D16, @100mm
	下面配力筋	D19, @125mm
	かぶり	30mm

$$\log\left(\frac{P}{P_{sx}}\right) = -0.07835 \log N + \log 1.23 \quad (1.2.1)$$

$$P_{sx} = 2B(f_v \cdot x_m + f_t \cdot C_m) \quad (1.2.2)$$

- ここに、 P : 輪荷重 (kN)
- P_{sx} : 梁状化した RC 床版の押抜きせん断耐荷力 (kN)
- N : 繰り返し回数 (回)
- B : 梁状化の梁幅で、 $B = b + 2d_d$
- b : 載荷版の橋軸方向の辺長 (mm)
- d_d : 配力筋の有効高さ (mm)
- f_v : コンクリートのせん断強度 (N/mm²)
- x_m : 主鉄筋に直角な断面の引張コンクリートを無視した時の中立軸深さ (mm)
- f_t : コンクリートの引張強度 (N/mm²)
- C_m : 引張主鉄筋のかぶり深さ (mm)

表-1.2.1.15 に設計結果を示す。繰り返し回数より推定した本供試体の輪荷重走行試験における疲労破壊時の走行回数と載荷荷重はそれぞれ 482,600 回，372.6kN であった。

表-1.2.1.15 設計結果

照査項目			設計値	制限値	照査結果	
耐荷性能	曲げモーメント	支間方向	限界状態 1	53.0kN・m	93.2kN・m	O.K
			限界状態 3	53.0kN・m	86.5kN・m	O.K
		配力筋方向	限界状態 1	36.0kN・m	93.2kN・m	O.K
			限界状態 3	36.0kN・m	86.5kN・m	O.K
	押抜きせん断耐力		限界状態 3	172kN	367kN	O.K
疲労耐久性	曲げ応力度	支間方向	鉄筋	116N/mm ²	120N/mm ²	O.K
			コンクリート	13.1N/mm ²	40N/mm ²	O.K
		配力筋方向	鉄筋	116N/mm ²	120N/mm ²	O.K
			コンクリート	13.1N/mm ²	40N/mm ²	O.K
	押抜きせん断耐荷力			729kN	—	—
	繰り返し回数			144.7×10 ¹⁰ 回	1.0×10 ¹⁰ 回	O.K
	疲労破壊時 走行回数			482,600 回	—	—
	疲労破壊時 載荷荷重			372.6kN	—	—

図-1.2.1.6にS1の供試体の構造を示す。床版厚は180mmとし、配筋は上面と下面の2段とした。鉄筋径は主鉄筋、配力筋ともに上面側はD16、下面側はD19とした。鉄筋かぶりは30mmとした。図-1.2.1.7に継手部の詳細を示す。本供試体では図に示すプレートナットを接合部に飛び出した鉄筋端部に装着し、間詰コンクリートと定着させることにより床版同士を接合する継手方式とした。また、接合部コンクリートと接する一般部側面は付着性能を高める為、鉛直打継目処理用樹脂シート(図-1.2.1.8)を型枠面に敷設することにより凹凸模様を設けた。

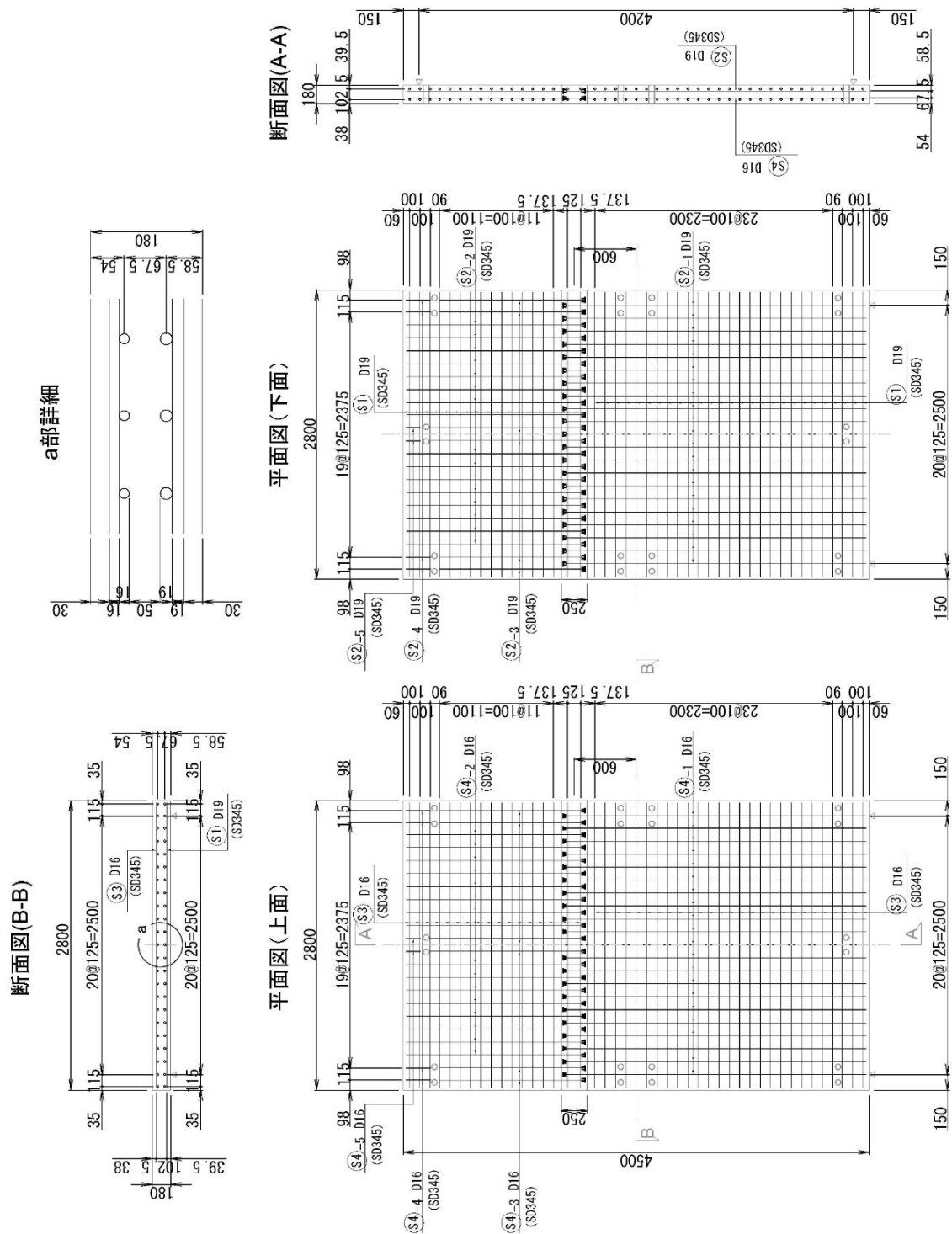
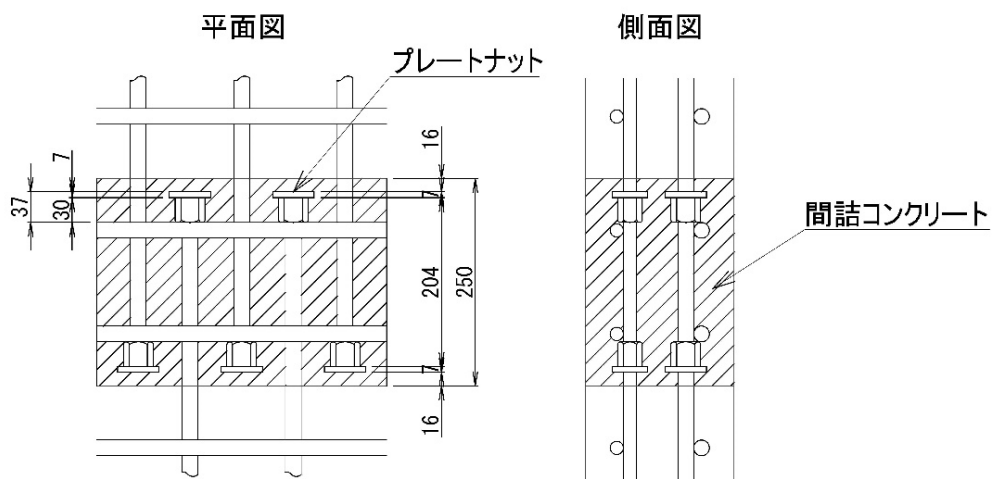


図-1.2.1.6 床版供試体S1の形状寸法(単位:mm)



プレートナット詳細図

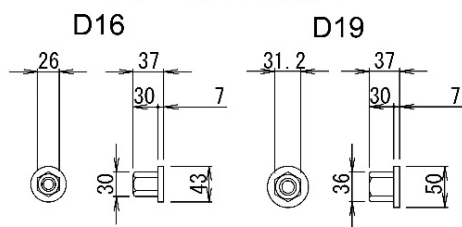


図-1.2.1.7 接合部構造図 (単位 : mm)

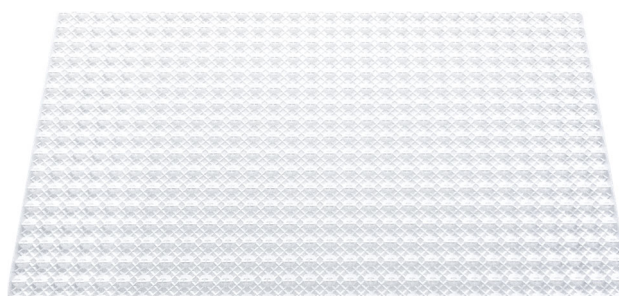


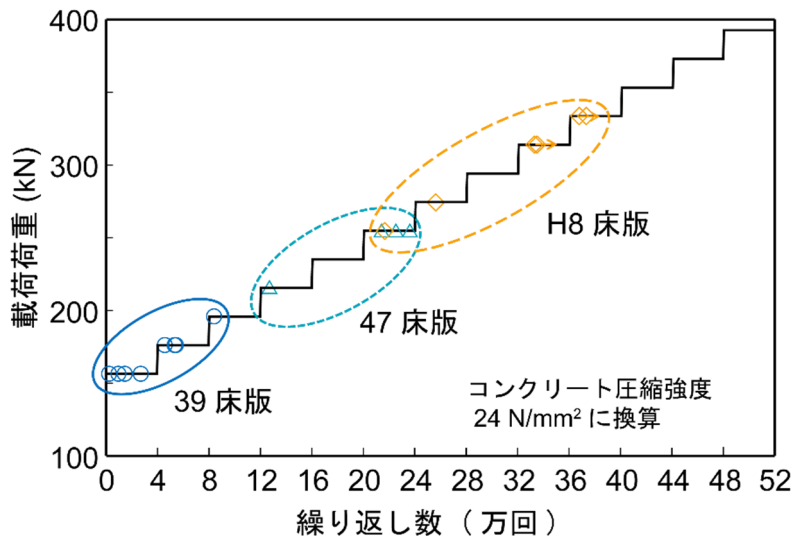
図-1.2.1.8 鉛直打継目処理用樹脂シート

1.2.2 載荷方法

各者で製作した供試体を用いて、24時間水張りの後、輪荷重走行試験機により水張り下での輪荷重走行試験を実施した。前掲の図-1.2.1.1に輪荷重の走行載荷位置を、表-1.2.2.1及び図-1.2.2.1に載荷荷重と走行回数の設定を示す。前述のとおり供試体の接合部は、その中心が床版中央から走行方向に600mm離れた位置（CL-600の位置）となるように設けた。床版供試体の支持は、2辺（長辺）単純支持、他の2辺を弾性支持とした。図-1.2.1.1に示す走行範囲に、鋼製ブロック（200mm×500mm）を連続して並べ、その上に鋼板を敷設した。接合部直上の鋼製ブロックは、その中心が接合部中心に概ね位置するように配置した。水張りは、床版上面に木枠を設置して、シリコンで止水しておき、走行試験の前に24時間水張りを行った。走行試験中は漏水を監視して、床版上面の水がなくなならないように適宜注水を行った。供試体上面に水張りした状態で、157kN、走行速度15rpmで走行載荷を開始し、以降、4万回ごとに荷重を19.6kN上げる階段載荷を行った¹⁾。載荷は床版の抜け落ちの兆候が生じた場合に途中で終了した。

表-1.2.2.1 輪荷重走行試験の載荷方法

ステップ	輪荷重載荷方法	水張り	備考	
1	24時間水張り	なし	あり	—
2	水張り，階段載荷	157kNから4万回ごとに19.6kN増加	あり	392kN，52万回までまたは抜け落ちの兆候発生まで
3	水張り，一定載荷	392kN一定	あり	供試体KF1のみ24.7万回



(注) 図中には、各年代のRC床版の輪荷重走行試験結果の例を示す。

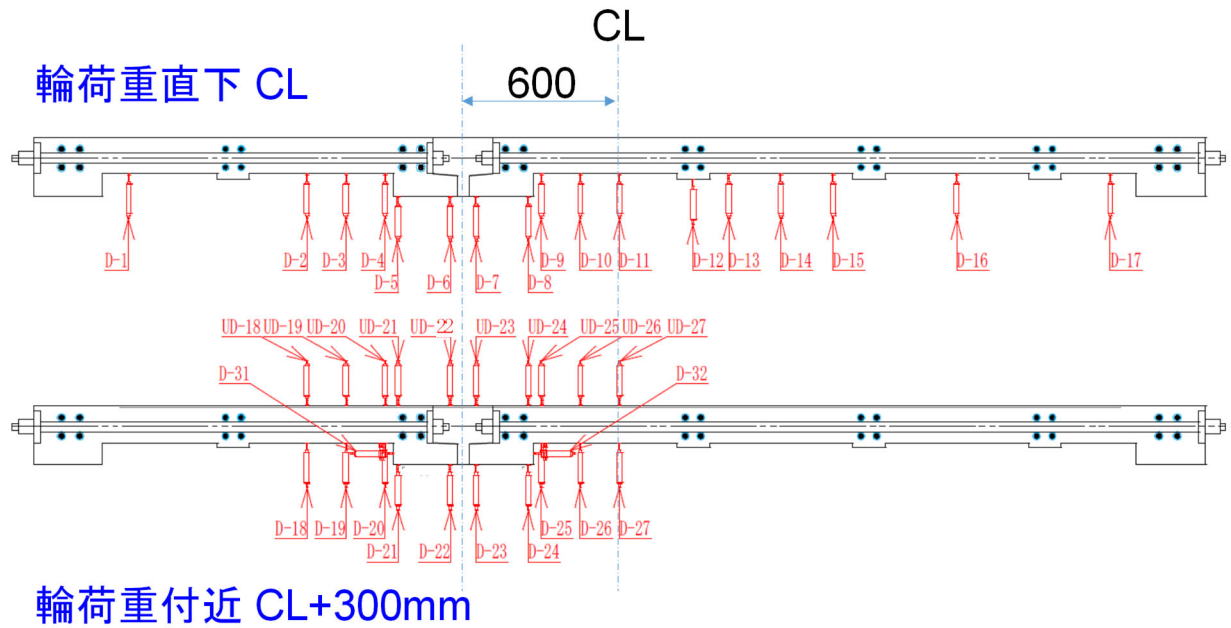
図-1.2.2.1 階段載荷の荷重ステップ¹⁾

1.2.3 測定

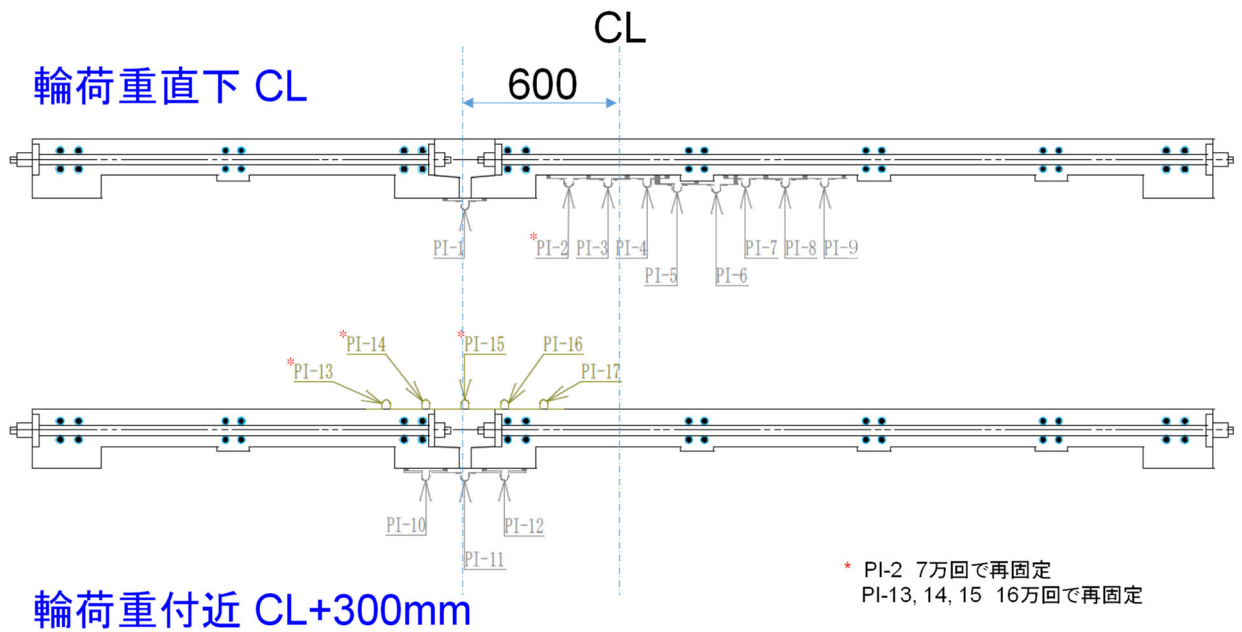
図-1.2.3.1～3に、各供試体の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置を示す。走行中、変位計 CDP-25 による鉛直変位、パイ型変位計 PI-5 による平均ひずみで版全体挙動を把握するとともに、変位計、パイ型変位計及びずれセンサ⁹⁾により接合部の打継目の開き、段差を測定した。また、ひずみゲージ PL-60 により FRC のひずみを測定した。図-1.2.3.4～5 に計測機器の設置状況を示す。供試体ごとに接合構造が異なることから、測定箇所は供試体ごとに若干異なった。床版内部の鋼材ひずみの測定は各者で任意とした。床版上面は輪荷重走行があることと、水張りを行うことから、測定箇所が限定されるが、接合部付近の上下面の挙動を把握する試みとして、鉛直変位計、パイ型変位計、ずれセンサを走行直角方向 CL±300mm 付近に設置した。ひずみと変位の全点を対象として、所定の回数ごとに、床版中央で静的载荷を行った際の静止時と、その直前 1 分間の走行時に測定を行った。走行時の測定は、測定速度を 100Hz とした。本文では、静止時の測定データを SS データ、走行時の波形データを DT データという。また、走行中に常時記録される各 5 分間の最大値、最小値を MM データという。MM データは輪荷重位置を特定できない。漏水が生じた場合は、漏水箇所を確認して記録し、写真撮影を行った。漏水の監視の補助として、漏水センサ (T 電線社製、AD-FH-S) を接合部下面に設置した。接合部に着目した輪荷重走行試験であることから、走行中の輪荷重の位置を精査するため、レーザー変位計を走行方向 CL±600mm の 2 箇所に設置して、各位置での輪荷重中心の通過を他のデータと同様に記録した (輪荷重側面に突起を設置)。

以上のほか、供試体 TS1 では PC 鋼材ひずみ及びリブ側面の三軸ひずみを、供試体 KF1 では鉄筋のひずみをそれぞれ測定した。

走行試験中、供試体下面のひび割れや漏水等の変状を観察した。供試体の上面は载荷ブロック等の治具の汚れにより水が濁っていたため、走行鉄板の交換時に水を抜いて観察した。

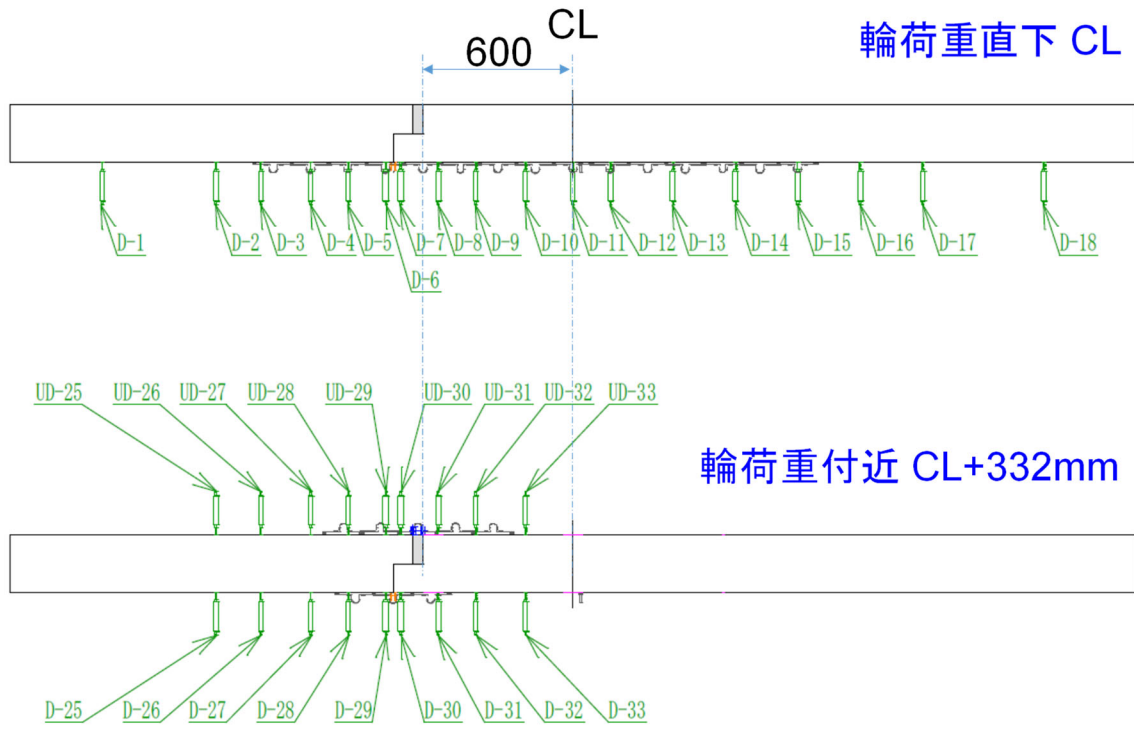


(a) 鉛直変位計の設置位置

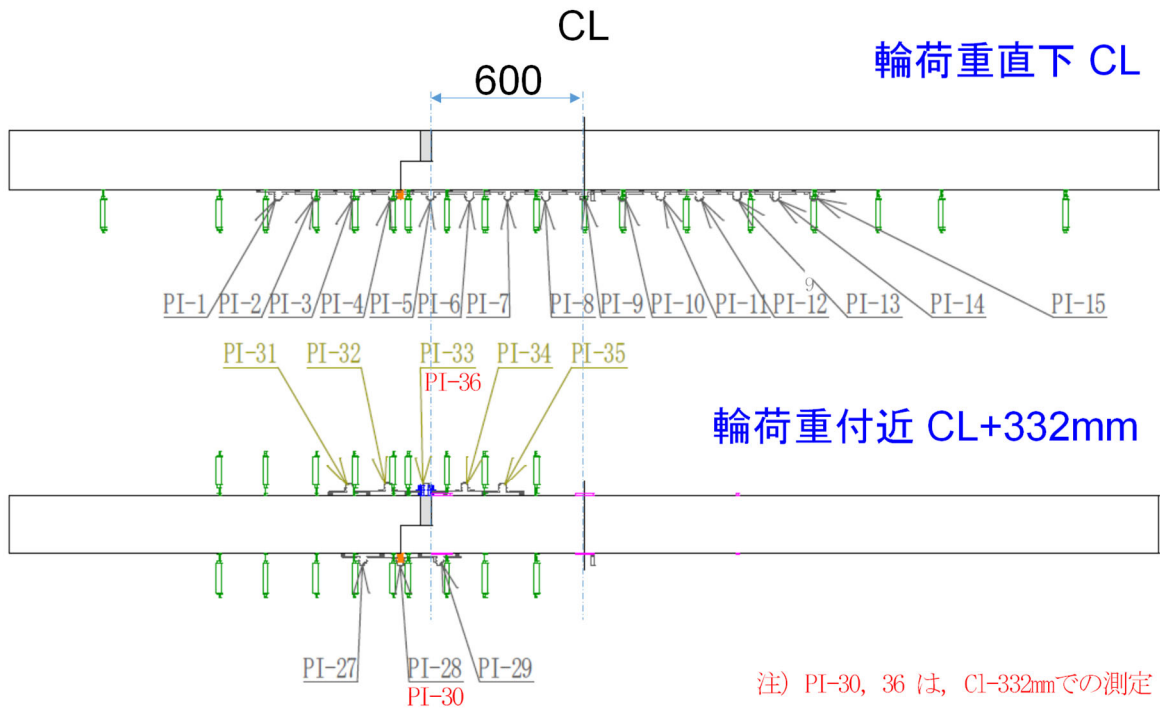


(b) パイ型変位計の設置位置

図-1.2.3.1 供試体 TS1 の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置

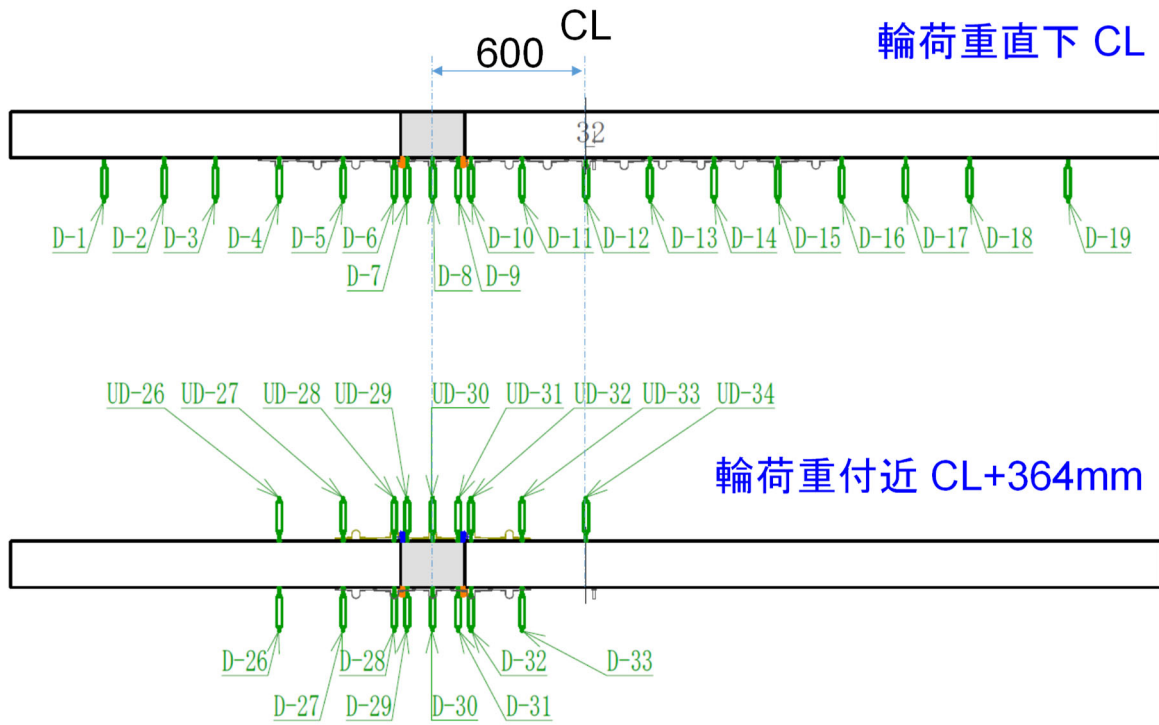


(a) 鉛直変位計の設置位置

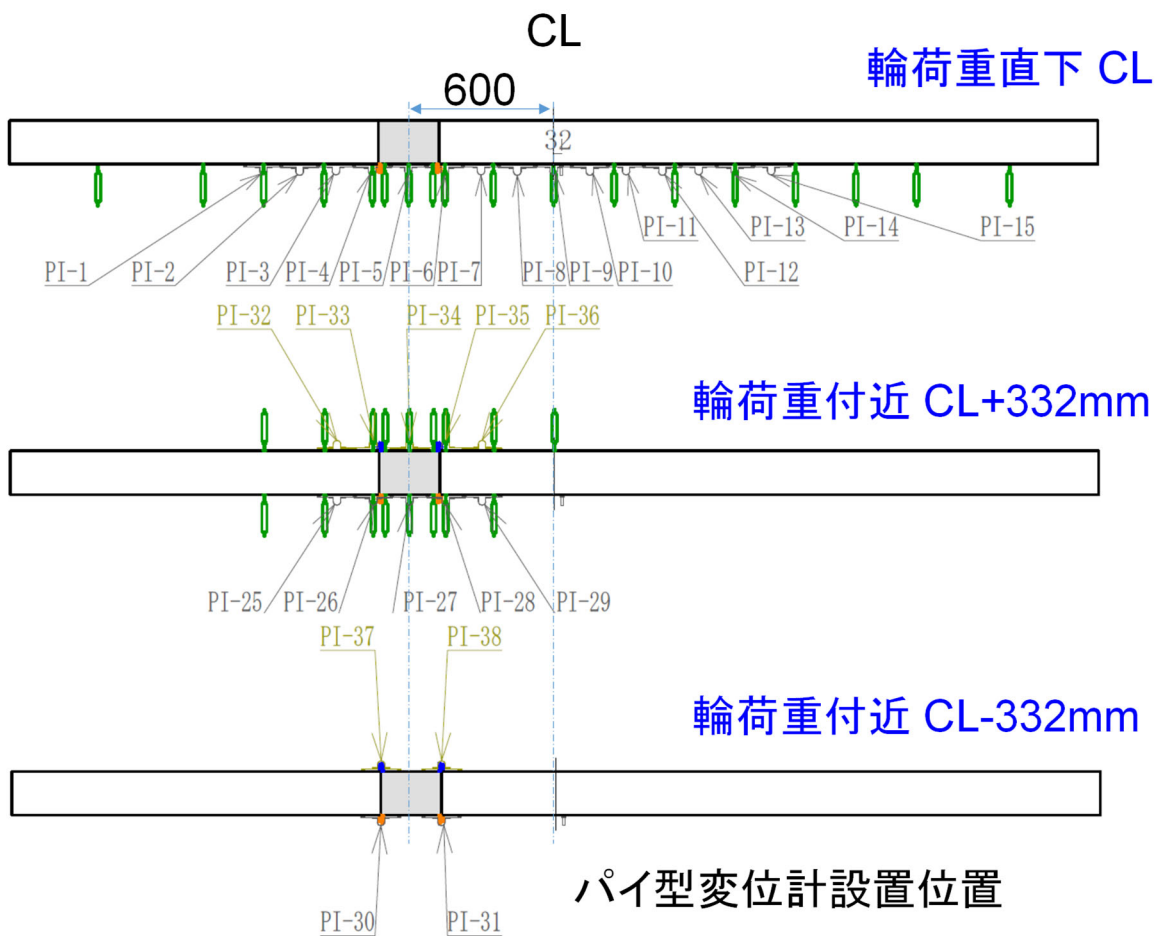


(b) パイ型変位計の設置位置

図-1.2.3.2 供試体 KF1 の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置



(a) 鉛直変位計の設置位置



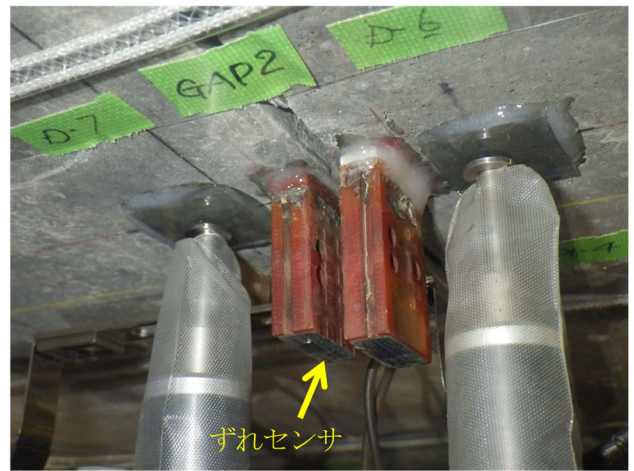
パイ型変位計設置位置

(b) パイ型変位計の設置位置

図-1.2.3.3 供試体 S1 の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置

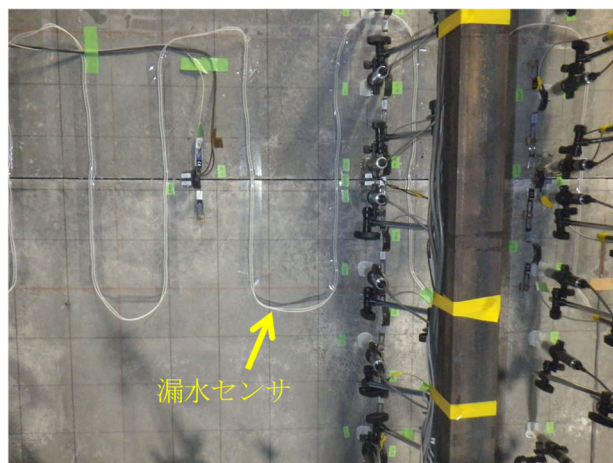


(a) 床版下面の鉛直変位計とパイ型変位計の設置状況（版全体の挙動）



注) ずれセンサは開きと段差の両方を同時に測定.

(b) 打継目の開き、段差の測定機器の設置状況（接合部の挙動）

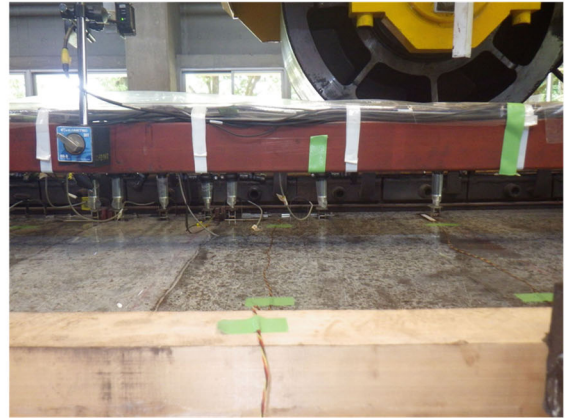


(c) 漏水センサの設置状況

図-1.2.3.4 床版下面の計測機器の設置状況



(a)レーザー変位計 (矢印)



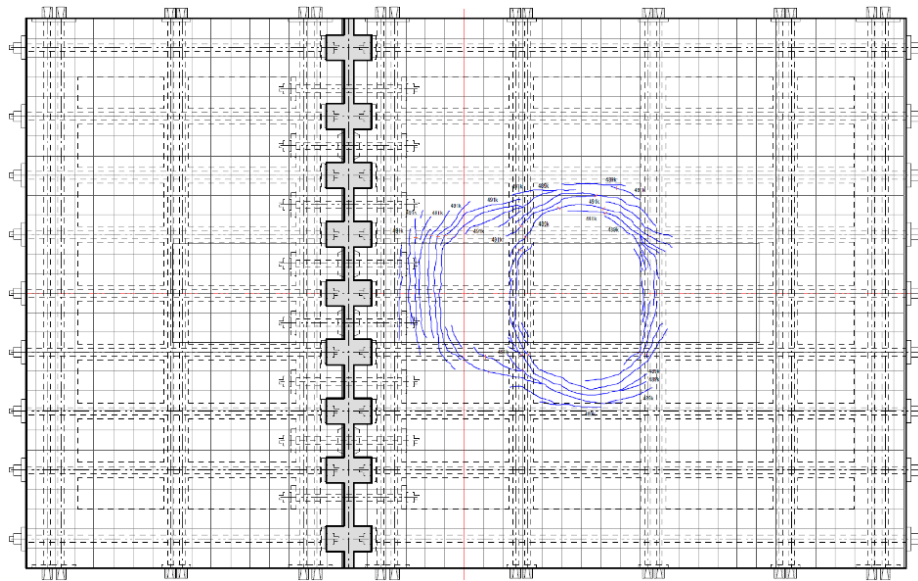
(b)鉛直変位計, パイ型変位計, ずれセンサ

図-1.2.3.5 床版上面の計測機器の設置状況

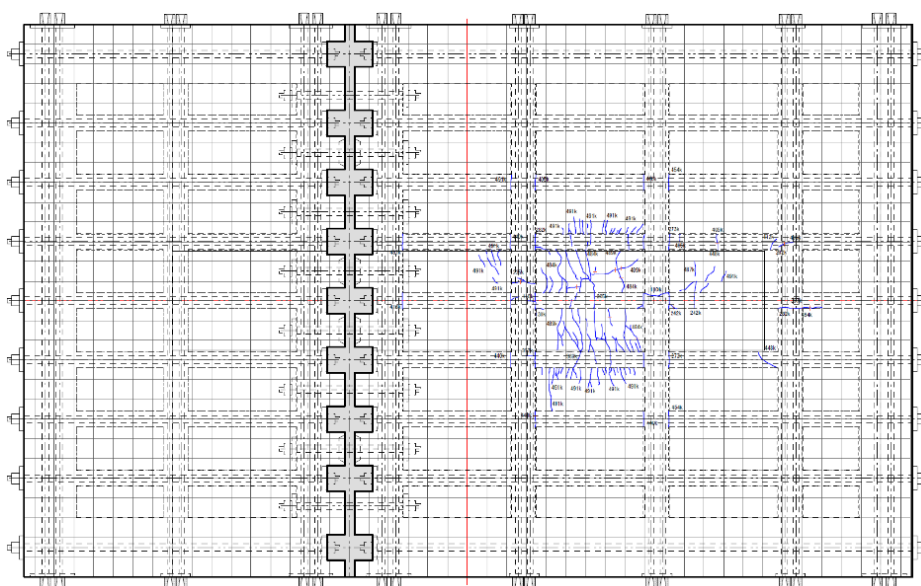
1.3 供試体 TS1 の結果

1.3.1 階段载荷における破壊状況

図-1.3.1.1 に試験終了時における供試体のひび割れ発生状況を示す。橋軸直角方向（横）リブ（走行回数 11 万回付近）および橋軸方向（縦）リブ（走行回数 20 万回付近）に曲げひび割れが発生した後、最終的に平板部にもひび割れが拡がり破壊に至った（走行回数 48 万回付近）。供試体上面のひび割れが一般部のリブ間を中心として同心円状に広がっており、床版下面でも広範囲に亘ってひび割れが生じていることから、破壊の形態は押抜きせん断破壊であったと判断される。接合部からの漏水は試験終了時に至るまで確認されなかったが、一般部からは若干の漏水跡が認められた。



(a)床版上面



(b)床版下面

図-1.3.1.1 試験終了時における供試体のひび割れ分布

1.3.2 版の全体挙動

図-1.3.2.1 に床版の鉛直変位と走行回数との関係を示す。図中のプロットは、輪荷重走行直下の縦リブで計測された鉛直変位のうち、最大値が確認された床版一般部横リブ間中心 (D-14, 床版中心から右に 620mm) および床版接合部近傍 (D-7, 床版中心から左に 550mm) の試験結果である。D-14 の鉛直変位は D-7 に比べて大きくなっており、前節に示したとおり最終的な破壊も床版一般部の横リブ間を中心にして生じている。走行回数ごとの床版鉛直変位分布 (図-1.3.2.2) を参照しても、床版一般部の横リブ間中心 (D-14) の変位が卓越していることが確認された。

図-1.3.2.3 および図-1.3.2.4 に床版内に設置した PC 鋼棒・PC 鋼より線のひずみと走行回数との関係を示す。PC 鋼棒は載荷荷重の増大とともにひずみもやや大きくなる傾向が確認されたが、PC 鋼材のひずみはいずれも一部圧縮側の結果となった。この理由については明らかでないが、走行回数 16 万回付近においてひずみがマイナス側に大きく移行していることから、測定データに異常が生じた可能性も考えられる。

なお、図-1.3.2.1~4 に示した走行回数ごとのプロットは、いずれも波形 (DT) データから得られた試験結果の最大値を示している。

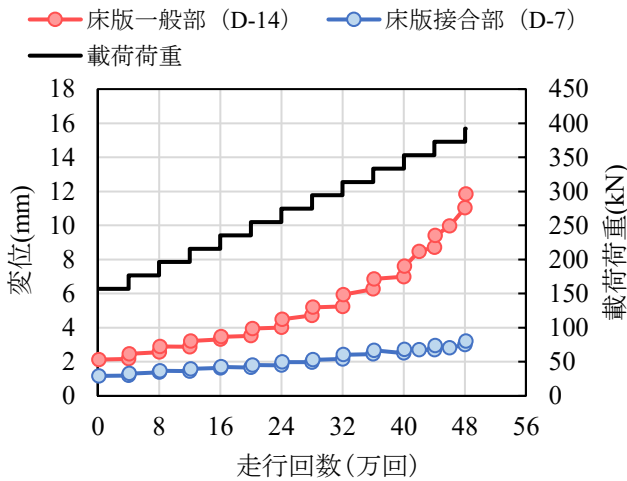


図-1.3.2.1 床版の鉛直変位と走行回数との関係

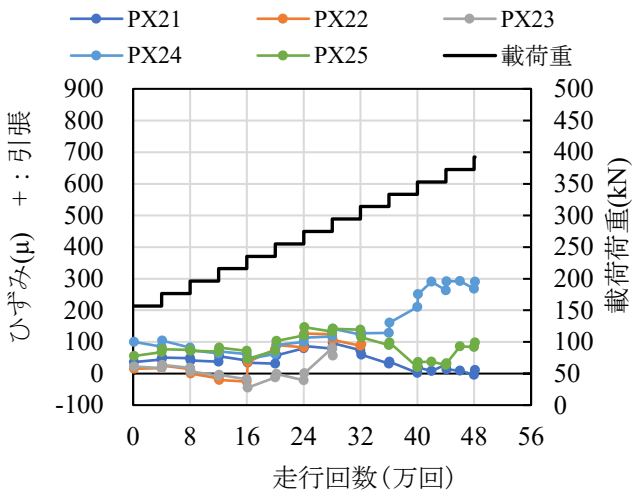


図-1.3.2.3 PC 鋼棒のひずみと走行回数との関係

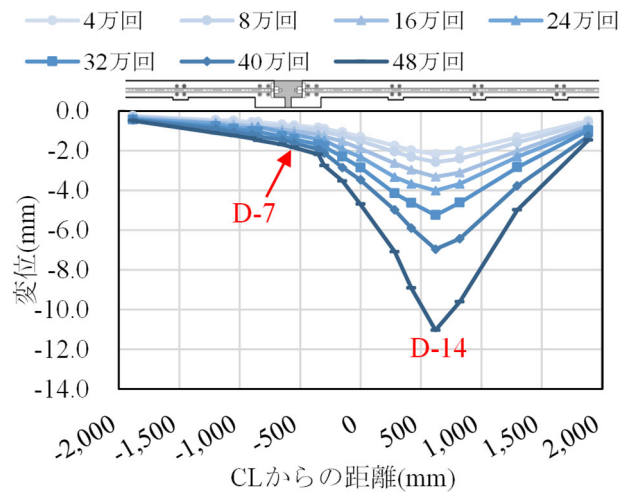


図-1.3.2.2 床版の鉛直変位分布

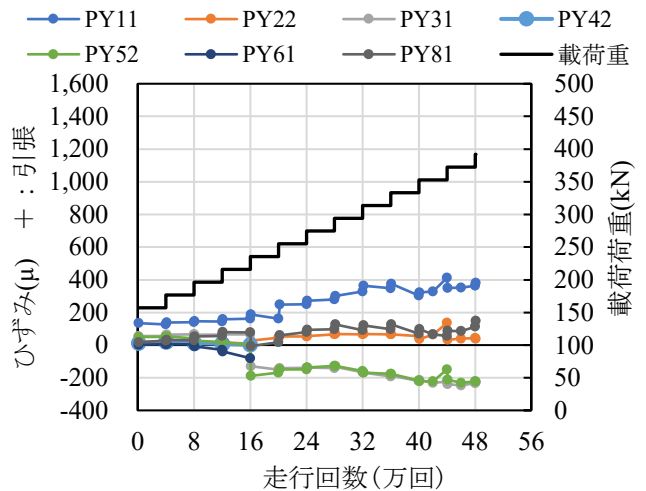


図-1.3.2.4 PC 鋼より線のひずみと走行回数との関係

1.3.3 接合部の挙動

図-1.3.3.1 に床版上面で計測した鉛直変位分布を示す。走行回数を重ねるごとに一般部（接合部右側）の変位が増大しているものの、接合部（225mm厚範囲）は一体となって挙動していることが分かる。供試体上下面における表面ひずみを図-1.3.3.2 に示す。PI-11 は下側、PI-15,16 は上側の測定結果である。供試体下面ではほとんどひずみが生じていないものの、供試体上面では走行回数 32 万回付近で接合部中央のひずみが生じ、その後 40 万回付近で打継部のひずみが卓越する結果となった。このことから打継部の目地が開いた可能性も考えられたが、目地開きの測定結果（図-1.3.3.3）を参照しても明確な傾向は確認されなかった。

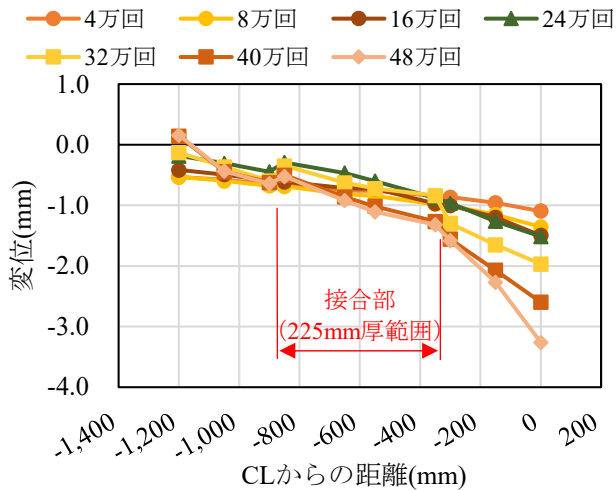


図-1.3.3.1 接合部上面の鉛直変位分布

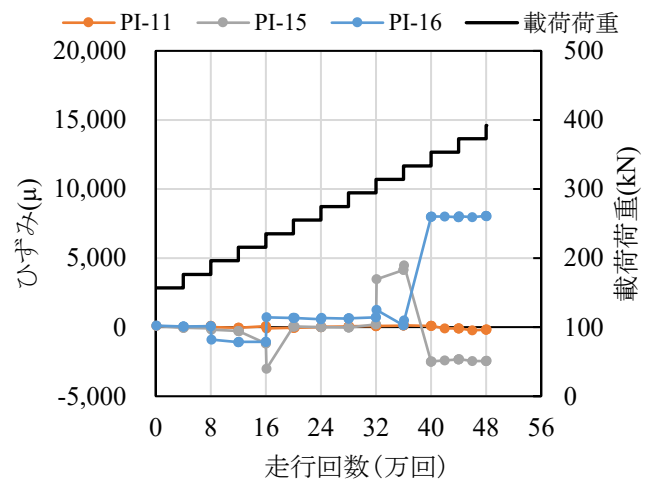


図-1.3.3.2 接合部上下面ひずみと走行回数の関係

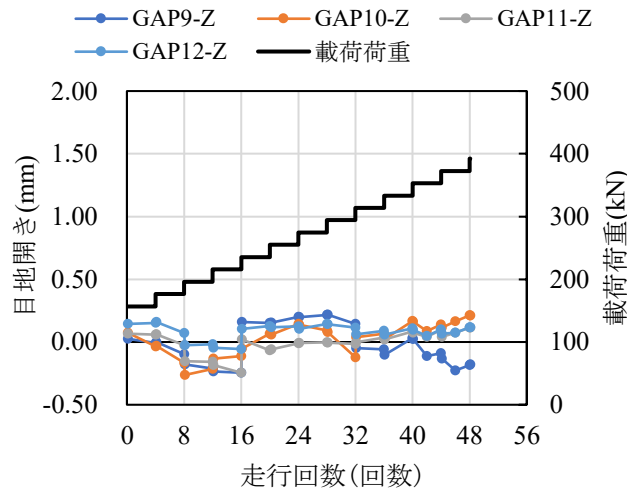


図-1.3.3.3 接合部上面の目地開きと走行回数関係

1.3.4 FEM 解析との比較

(1) 解析概要

FEM 解析による輪荷重走行試験の再現を行った。解析には汎用解析プログラム Abaqus を用いた。材料としての UFC の疲労強度 (S-N カーブ) には超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)⁷⁾に記載されている設計疲労強度式を使用した。この UFC の疲労強度式をグラフ化すると図-1.3.4.1 のようになる。縦軸は初期強度に対する疲労強度の比率、横軸は疲労寿命である。圧縮側 (圧縮および曲げ圧縮) の疲労強度は 1 本の直線で表されるのに対し、引張側 (引張および曲げ引張) は疲労寿命に応じ 3 つの区間から成っている。材料係数等の係数は全て 1.0、永続作用による応力度は 0.0 とした。解析上では静的破壊の場合でも引張および圧縮の構成則の組合せで棒部材のせん断破壊や面部材の押し抜きせん断破壊を評価できるため、疲労においても圧縮および引張の構成則で再現できるものと考えた。なお、鉄筋および PC 鋼材の疲労強度にはコンクリート標準示方書⁸⁾に記載されている設計疲労強度式を適用した。

解析モデルを図-1.3.4.2 に示す。床版本体、間詰部および PC 鋼材の定着プレートは 8 節点ソリッド要素で、PC 鋼棒は 2 節点ビーム要素で、PC 鋼より線は 2 節点トラス要素でそれぞれモデル化した。また、プレストレスは PC 鋼材を床版への埋込要素とし軸応力 (緊張力) を付与することで導入した。

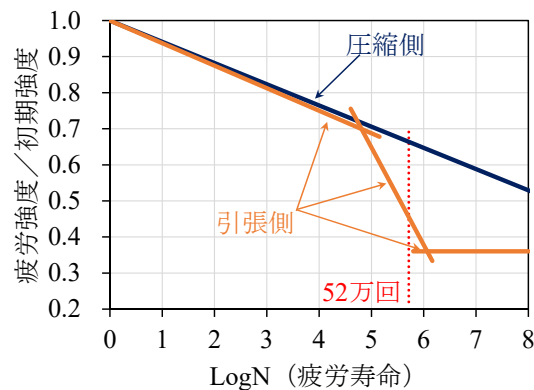


図-1.3.4.1 UFC の疲労強度と寿命の関係

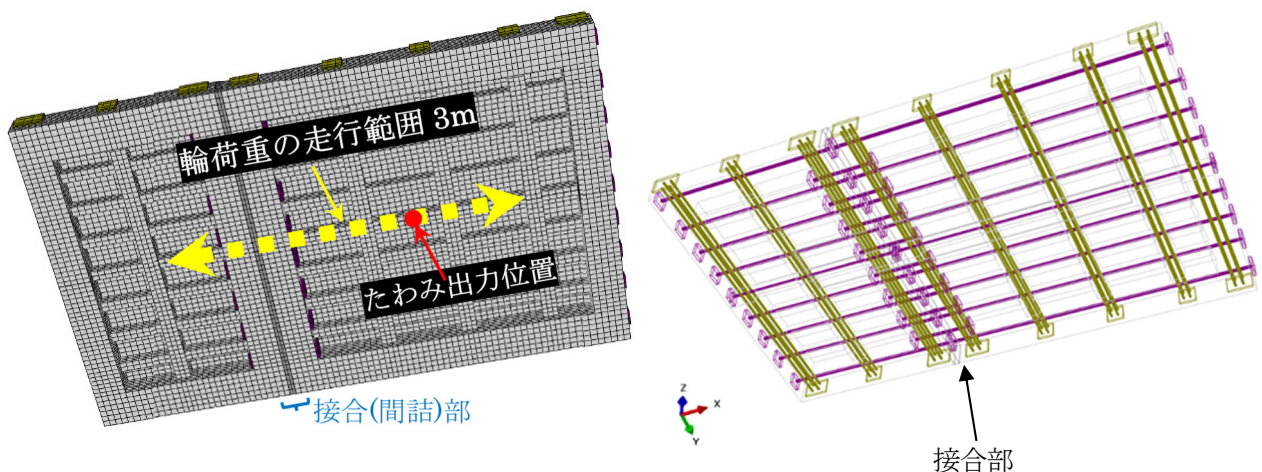


図-1.3.4.2 解析モデル

次に解析手順について述べる。図-1.3.4.3 に示すように、まず、床版の自重を載荷する。その後、走行回数 4 万回毎 (0, 4, 8, 12, …, 52 万回) に相当する疲労強度, 弾性係数, 輪荷重を定義する。輪荷重は載荷面 500mm×200mm の範囲を一様な荷重とし, 順次 (ステップ 1~29 まで) 移動し 1 往復することで 4 万回分の走行を模擬した。この操作を繰り返し, 床版のたわみが発散したとき, すなわち疲労作用による引張強度や圧縮強度の低下に伴ってたわみが増大し, 輪荷重を支えきれずに収束計算が発散したときに計算終了 (破壊に至る) とした。この手法は既往の研究⁹⁾と同様に行った。

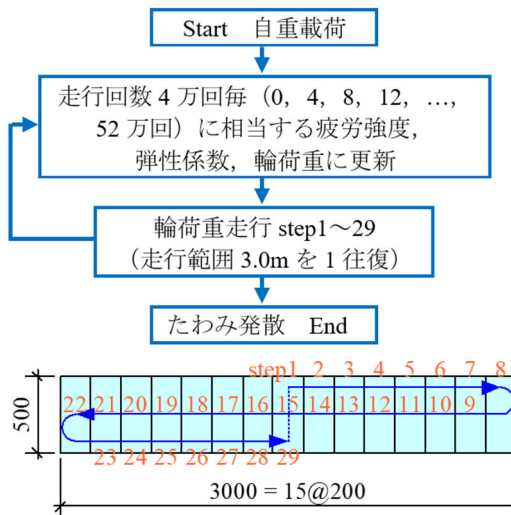


図-1.3.4.3 解析手順

再現解析は以下の 2 ケースを実施した。

- ・ヤング係数が疲労強度と同率で低下すると仮定したケース (case-1)
- ・疲労による圧縮強度低下とは無関係にヤング係数は低下しないものとしたケース (case-2)

疲労がヤング係数に与える影響については明確にはなっていないが, 今回強度と同率で低下するとしたのは, 既往の研究⁹⁾において通常のコンクリートを用いた RC 床版や PC 床版を対象とした解析において再現性が良好であったことから設定した。

(2) 解析結果

一般部横リブ間中心 (CL+620mm) におけるたわみと走行回数を図-1.3.4.4 に示す。たわみは各走行回数での総たわみであり、試験結果はプロットしている各走行回数の直前 30 回分の波形データから得られた最大たわみを示している。解析では 4 万回に相当する 1 往復の载荷ステップ (29 ステップ) 中での同位置 (CL+620mm : 図-1.3.4.2 参照) での最大たわみを示しているが、いずれの荷重の段階でも近い位置 (CL+600mm) を载荷した時点がたわみの最大値を示した。case-1 では、試験結果よりも走行回数に対するたわみは大きくなった。これに対し、case-2 では、試験結果よりも走行回数に対するたわみが小さくなる結果となった。しかし、たわみの初期値で 1mm 弱程度の差があることを考慮すると、たわみの増分は概ね整合している。この初期の差は床版-治具間の馴染みや、境界条件の差異 (支点上の境界条件が、試験ではボルト固定位置のみ支持、解析では線状に支持) 等によるものと考えられる。以上より、UFC 床版では疲労損傷によるヤング係数の低下は考慮せずに本解析手法で輪荷重試験におけるたわみと走行回数の関係を再現できた。ただし、case-2 では 52 万回まで完走しても破壊には至っていないため、ヤング係数の低下についてさらなる検討をすることで解析精度の向上を図ることができるものと考えられる。

また、実験でも確認されているように破壊する前からひび割れが発生しており、これは応答引張応力が引張強度に到達したことを意味している。しかし、UFC はひび割れ発生後の引張じん性が非常に材料であるため、その後も引張応力を負担する。よって、破壊近くになって急激にたわみが増大するのは、圧縮側の影響が大きいものと推察される。すなわち、破壊に影響するのは図-1.3.4.1 に示した疲労強度の S-N カーブのうち、圧縮側のカーブが支配的だと考えられる。

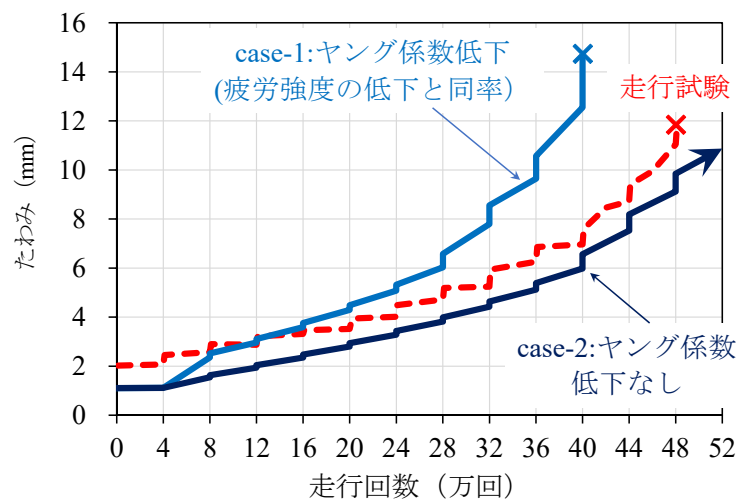
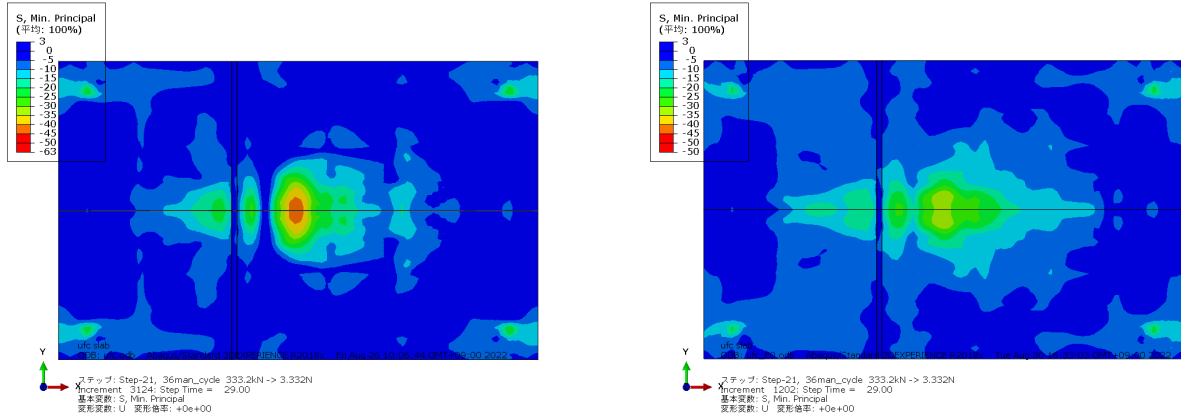
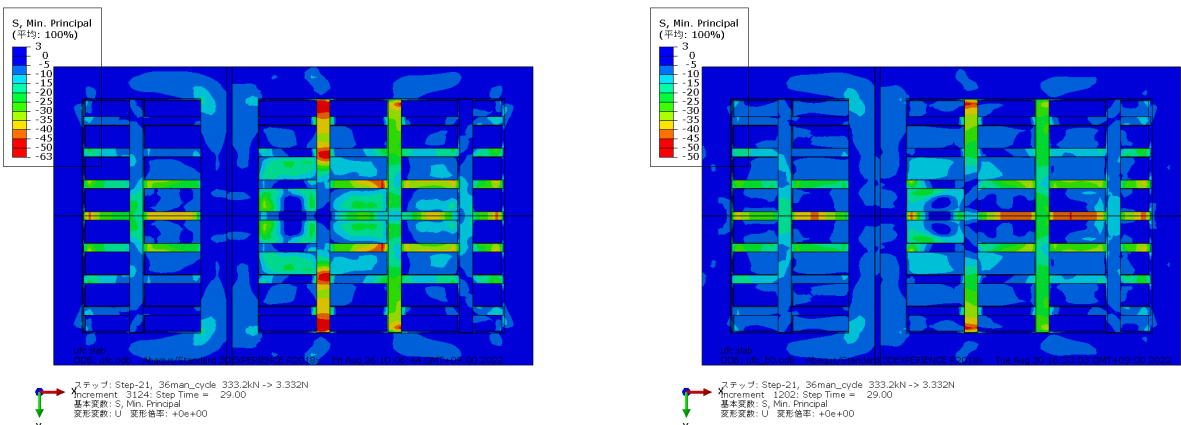


図-1.3.4.4 一般部横リブ間中心 (CL+620mm) におけるたわみと走行回数の関係

ヤング係数を低下させる Case1 の方がたわみの増大が早まり、40 万回で破壊に至るのは、ヤング係数の違いによる応力の再分配の影響と考えられる。図-1.3.4.5 および図-1.3.4.6 に走行回数 36 万回の時点での最小主応力コンターを示す。これによると、case-1 の方が特に表面での圧縮応力が高く発生していることが分かる。



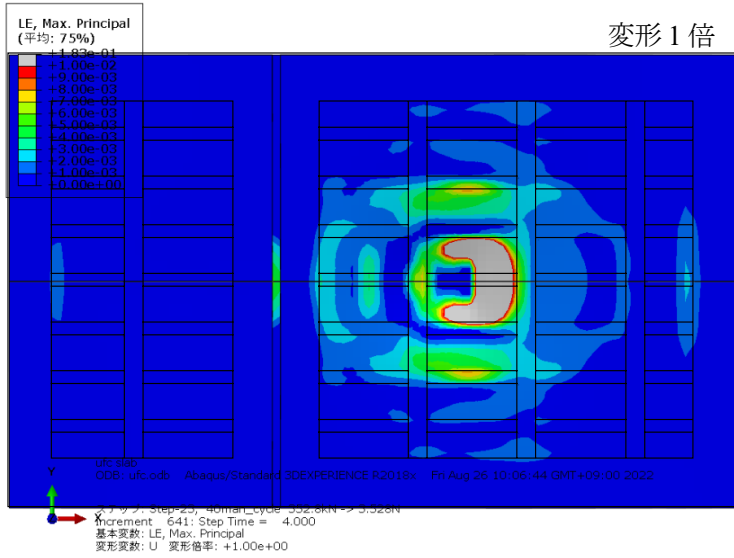
(a) case-1 : ヤング係数低下 (b) case-2 : ヤング係数低下なし
 図-1.3.4.5 表面の最小主応力コンター



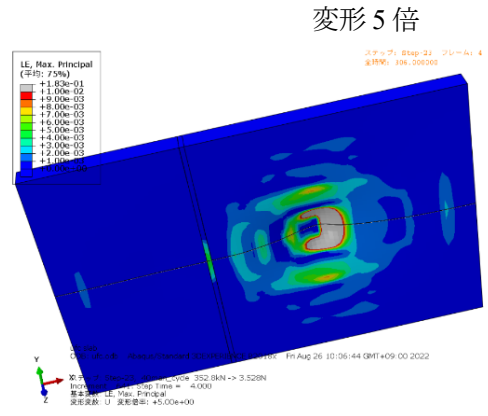
(a) case-1 : ヤング係数低下 (b) case-2 : ヤング係数低下なし
 図-1.3.4.6 裏面の最小主応力コンター

次に、case-1 および case-2 での解析終了時 (case-1 : 解析が発散したステップ (破壊時) の直前のステップ。case-2 : 52 万回載荷時。いずれも CL+600mm 載荷時) の最大主ひずみコンターを図-1.3.4.7 および図-1.3.4.8 に示す。また、比較として、輪荷重走行試験における供試体のひび割れ発生状況を再掲する。たわみ-走行回数関係において整合した case-2 は破壊に至っていないため、解析での損傷は軽微となっている。case-1 はたわみが実験より大きい結果ではあるが、実験終了時のひび割れ性状と、case-1 での最大主ひずみコンター図における引張ひずみの発生状況が概ね一致した。

これにより、case-1 と case-2 の間となるヤング係数の低下について、より実現に近いモデル化ができれば、本解析手法により輪荷重による UFC 床版の疲労損傷過程を概ね再現できるものと考えられる。

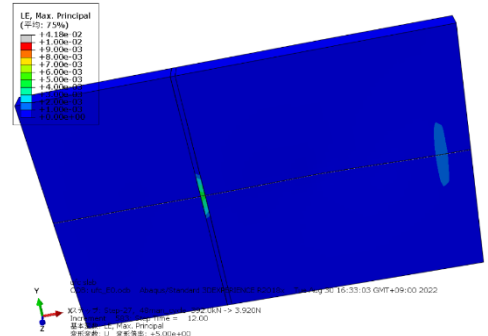
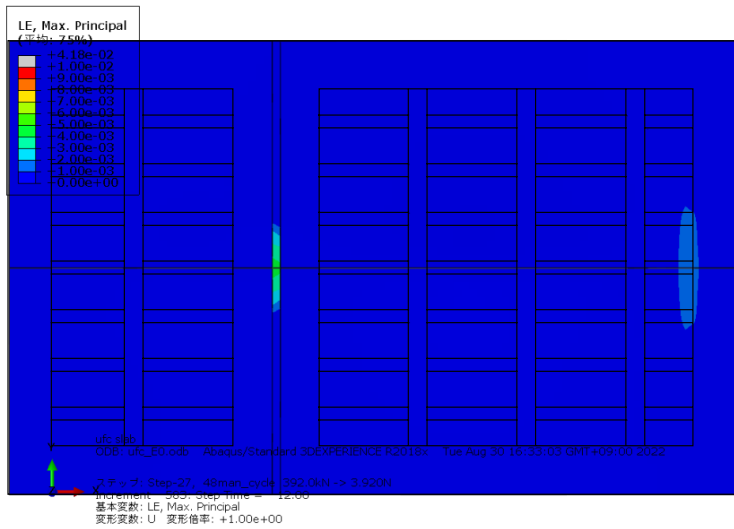


変形 1 倍

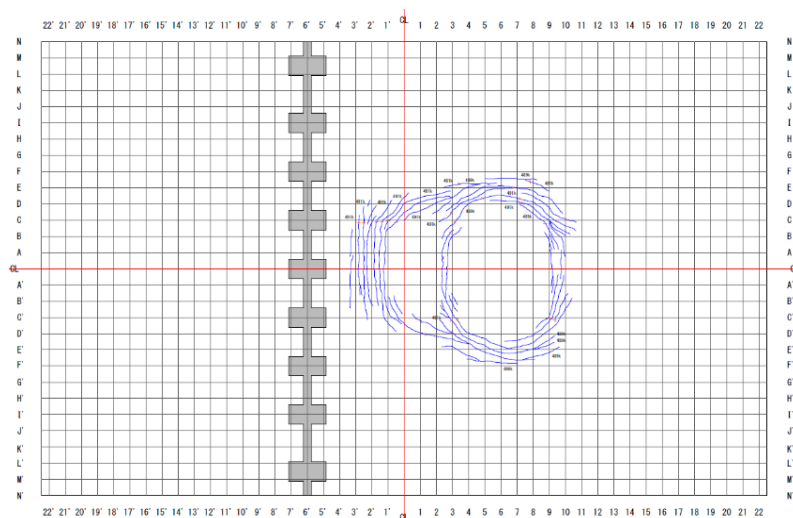


変形 5 倍

(a) case-1 : ヤング係数低下

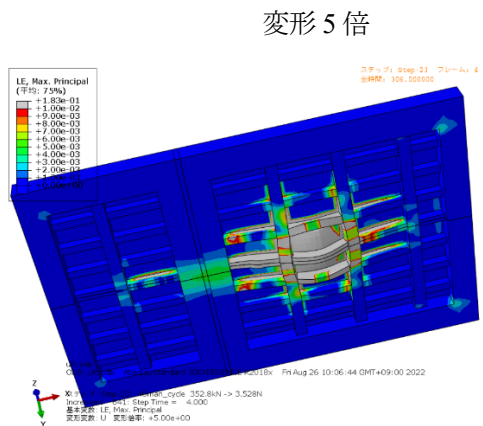
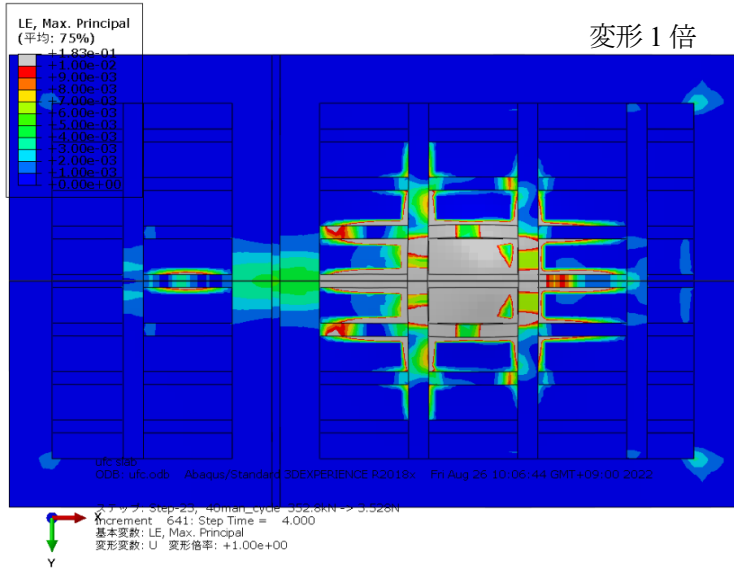


(b) case-2 : ヤング係数低下なし

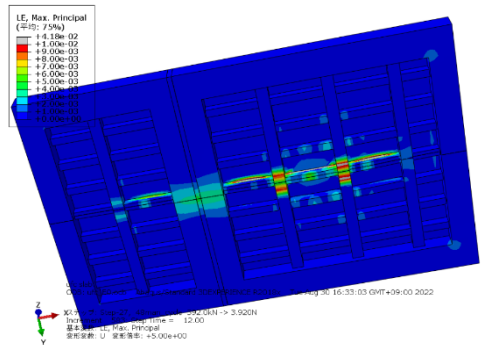
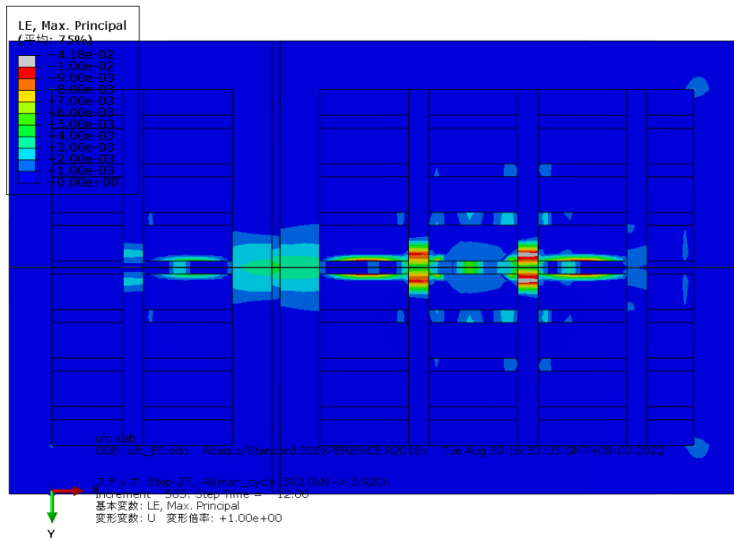


(c) 実験

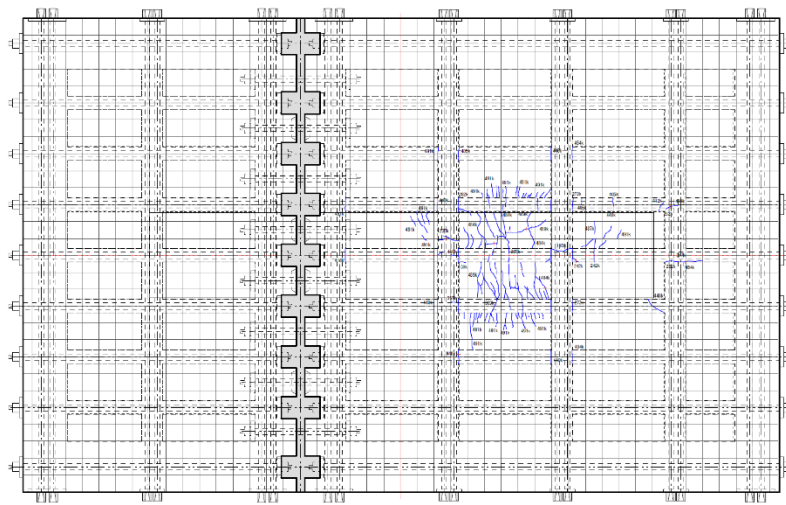
図-1.3.4.7 表面の最大主ひずみコンター（上・中）および実験時のひび割れ状況（下）



(a) case-1 : ヤング係数低下



(b) case-2 : ヤング係数低下なし



(c) 実験

図-1.3.4.8 裏面の最大主ひずみコンター（上・中）および実験時のひび割れ状況（下）

1.4 供試体 KF1 の結果

1.4.1 階段載荷における破壊状況

52 万回走行を終えても、終局状態（抜け落ち）に至らなかった。また、ヘアークラック程度のひび割れは 7.8 万回(176kN)で床版下面中央に発生し、その後、走行回数に伴って床版大きいパネルの下面中央を中心にひび割れが徐々に増加した。床版下部からの漏水は漏水センサーが反応した約 40 万回で起こったと考えられるが、52 万回の走行後においても水滴が 2 秒間に一滴落ちる程度であった（図-1.4.1.1~2）。なお、ひび割れはあるものの、繊維補強コンクリートの特性により、コンクリート片はほとんど落ちていない状況であった。

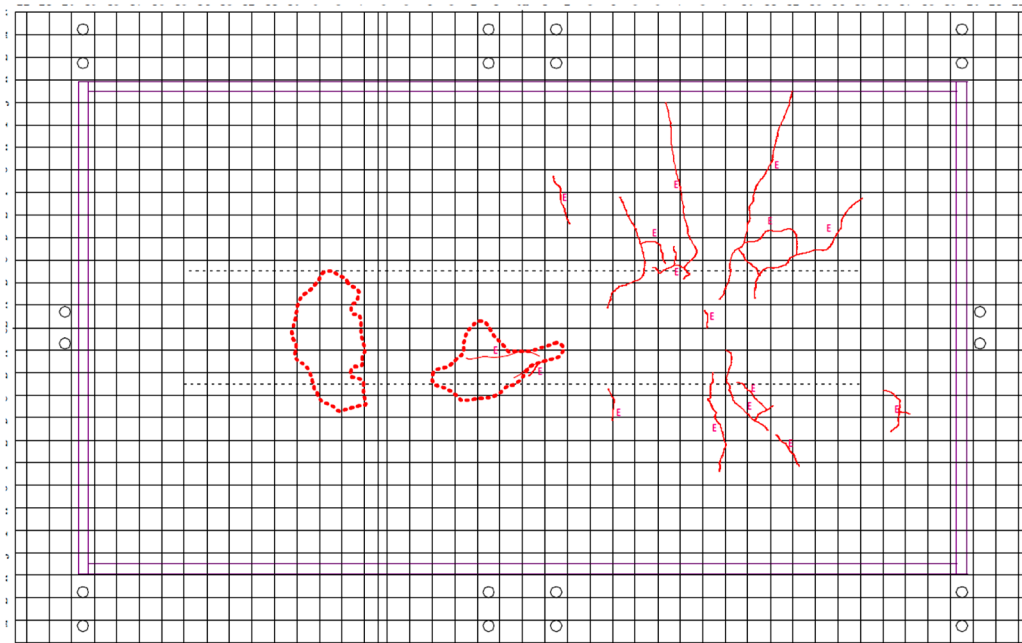


図-1.4.1.1 ひび割れ観察図（上面）

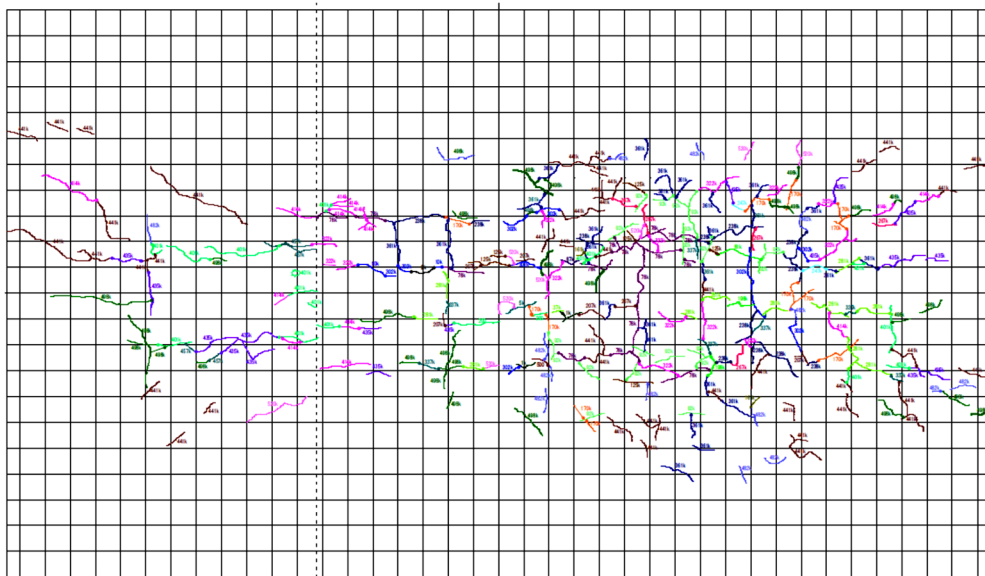


図-1.4.1.2 ひび割れ観察図（下面）

1.4.2 接合部の挙動

図-1.4.2.1 に床版中央と接合部における走行回数とたわみの変化，図-1.4.2.2 に 157kN に換算した活荷重たわみの変化量，図-1.4.2.3~4 に走行回数と割れ幅変位を示す。

図-1.4.2.1 に示す総たわみ量および残留たわみ量は接合部 (CL-600mm) および床版中央(CL)ともに 52 万回まで単調増加しており，安定した漸増傾向にあることが判る。また，床版中央を中心に接合部と対称の位置である一般部(CL+600mm)と比較すると，接合部の方がたわみは大きい，一般部と同様のたわみの変化を示していた。また，走行終了時点でも接合部のたわみは約 5mm であった為，接合部は健全な状態であり，局所的な破壊は発生していないと考える。そこで，さらに耐疲労性を確認する為に，392kN 24.7 万回追加で走行したところ，たわみは約 0.5mm 増加した程度であり，健全な状態であった。なお，図に見られる追加走行開始時のたわみの減少は，供試体を再設置したことが要因として考えられる。

各載荷重を 157kN に換算した活荷重たわみ((総たわみ-残留たわみ)÷載荷重×157)の変化を図-1.4.2.2 に示す。換算した活荷重たわみの増加は，52 万回走行後でも僅か 0.3mm 程度であり，その後の 24 万回走行後においても，約 0.3mm 増加した程度であった。

図-1.4.2.3 における接合部の開きは 44 万回で接合部の直下(π -5)で約 1mm の開きが見られた。約 40 万回で漏水が確認された事から，水の影響により接合部の割れの伸展が起こったと考えられる。また，図-1.4.2.4 における接合部においても，CL-332mm では 46 万回，CL+332mm では 50 万回で同様の挙動を示している。ただし，漏水の水量は顕著に増加せず，接合部の開き幅および鉛直変位の変化も図-1.4.2.3 に比べて軽微であった。また，この箇所のひび割れ幅も大きく進行していないと考える。ひび割れの開き幅が増加しない要因として，プレキャスト部と間詰材の付着が良好で，1/2 断面の FRC において繊維によるひび割れ抵抗性が保持されていたことが挙げられる。これにより，ひび割れ幅が増加する前に他の場所でひび割れが発生し，局所的なひび割れが発生しづらいと考える。

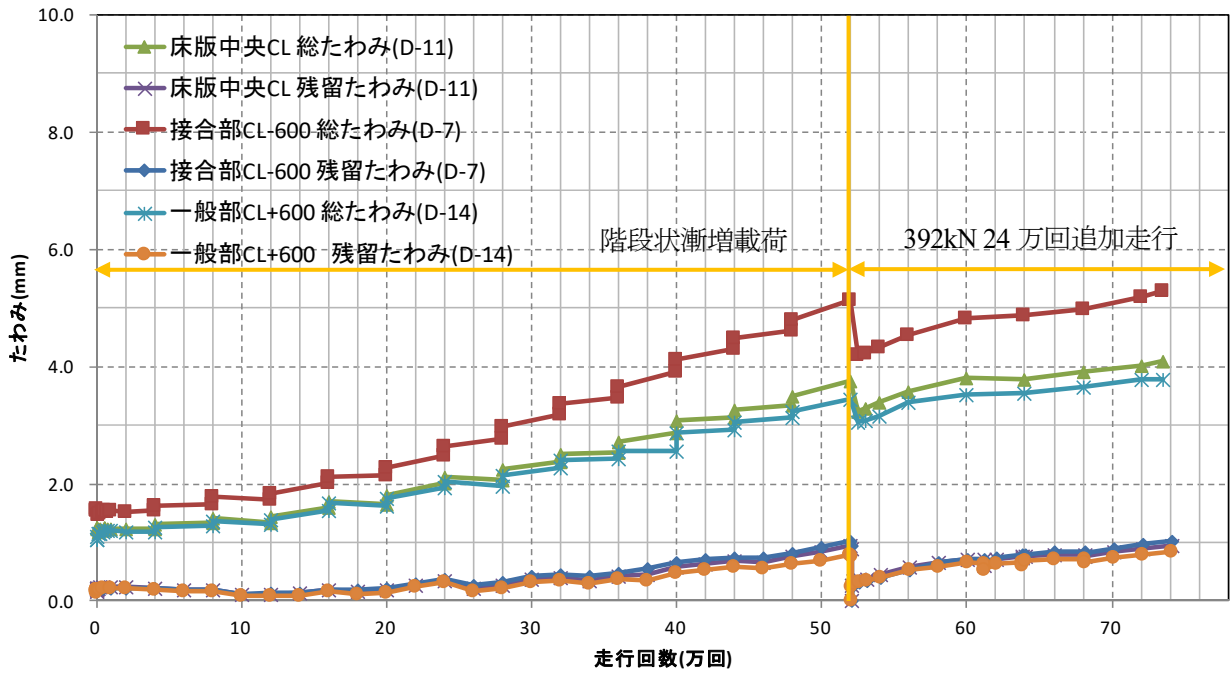


図-1.4.2.1 走行回数におけるたわみの変化 (MM データ最大値)

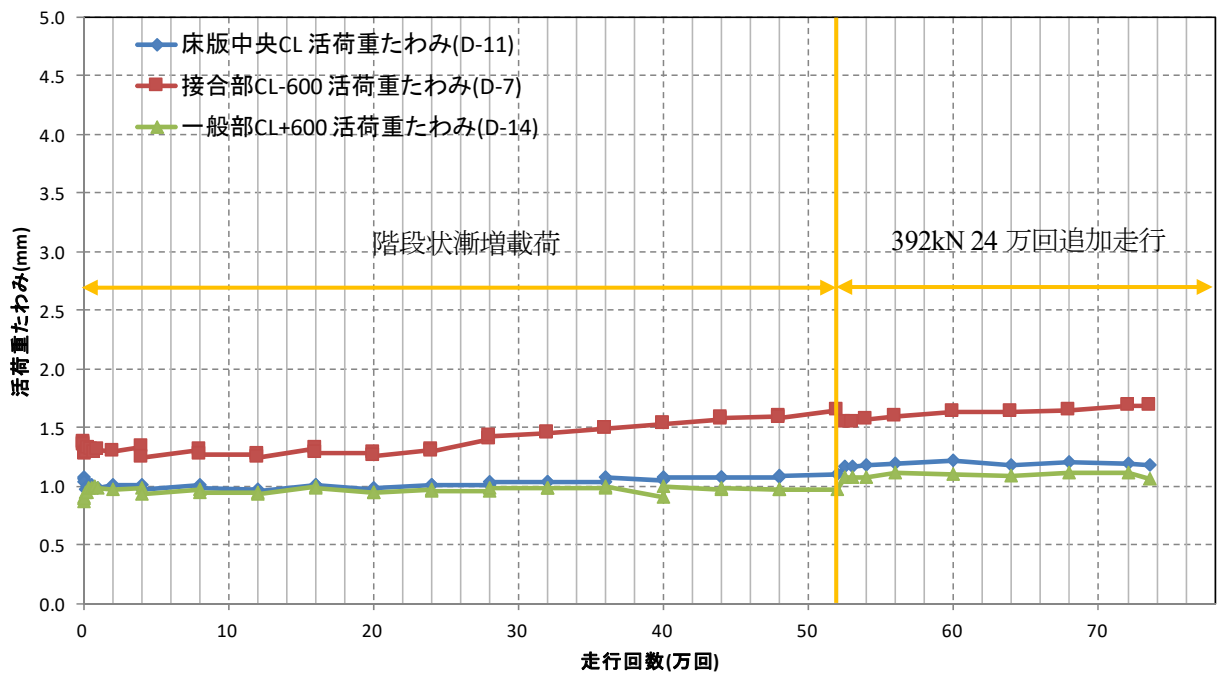


図-1.4.2.2 157kN に換算した活荷重たわみの変化量 (MM データ最大値)

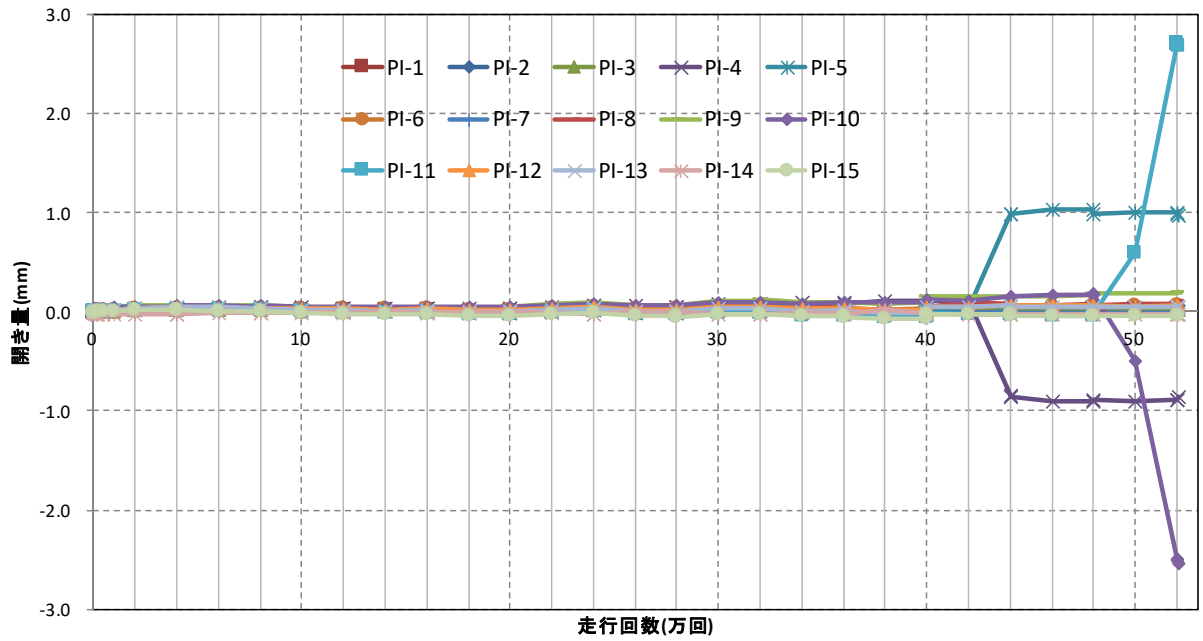


図-1.4.2.3 輪荷重走行位置直下のパイ型変位計による変位 (SS データ)

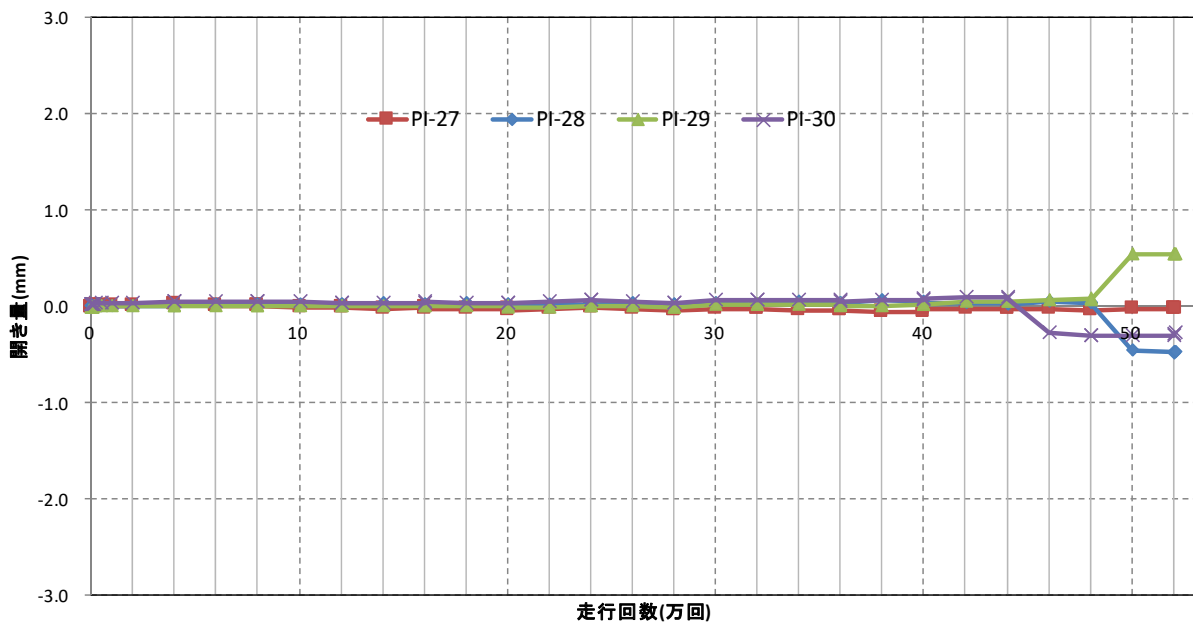


図-1.4.2.4 輪荷重付近 CL+332mm, CL-332mm 走行回数と接合部の開き (SS データ)

1.5 供試体 S1 の結果

1.5.1 測定結果

(1) たわみ

図-1.5.1.1 に輪荷重走行下における床版支間中央 (CL, D12), 接合部中心直下 (CL-600mm, D8), および CL+750mm (D15) におけるたわみ測定値の変化を示す。たわみは走行回数とともに線形的に増加し, 40 万回を超えたあたりで急増が見られた。また, 24 万回を境に徐々に接合部のたわみが一般部に比べて大きくなった。

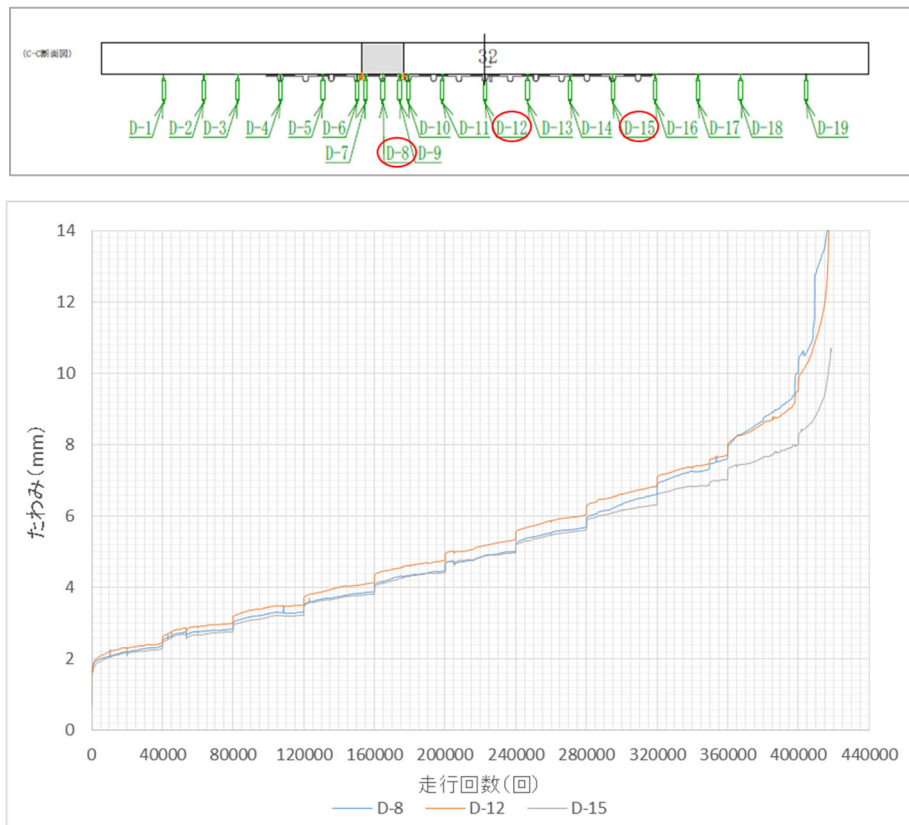


図-1.5.1.1 たわみ変化 (MM データ, 最大値)

(2) パイ型変位計による開き量 (輪走行方向, 下面)

図-1.5.1.2 に輪走行方向における支間中央下面のパイ型変位計測定値の変化を示す。ただし PI-4 と PI-6 は接合部界面の値である。接合部界面は初期の载荷段階で既に 0.1mm 程度の開きが生じており, 走行回数と共に徐々に開きが大きくなった。一方, 一般部 (CL-1050mm, PI-1) でも 28 万回以降にひび割れの発生と思われる値の急増が見られた。

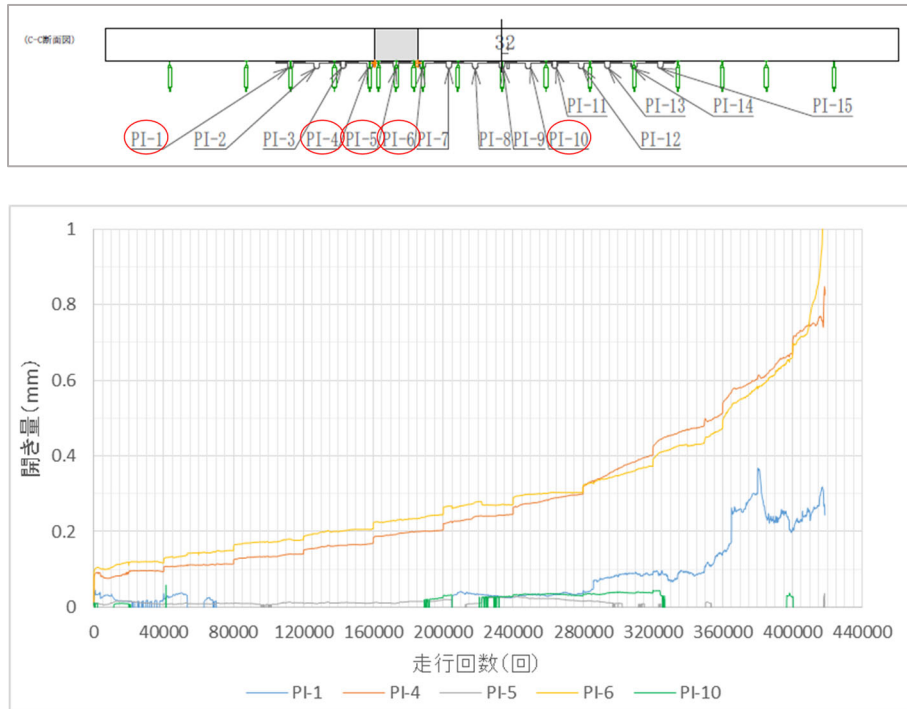


図-1.5.1.2 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL 下面）（MM データ，最大値）

(3) パイ型変位計による開き量（輪走行直角方向，下面）

図-1.5.1.3 に輪走行直角方向における下面のパイ型変位計測定値の変化を示す．CL+300mm（PI-23）において 16 万回走行時にひび割れの発生と思われる値の急増が見られた．

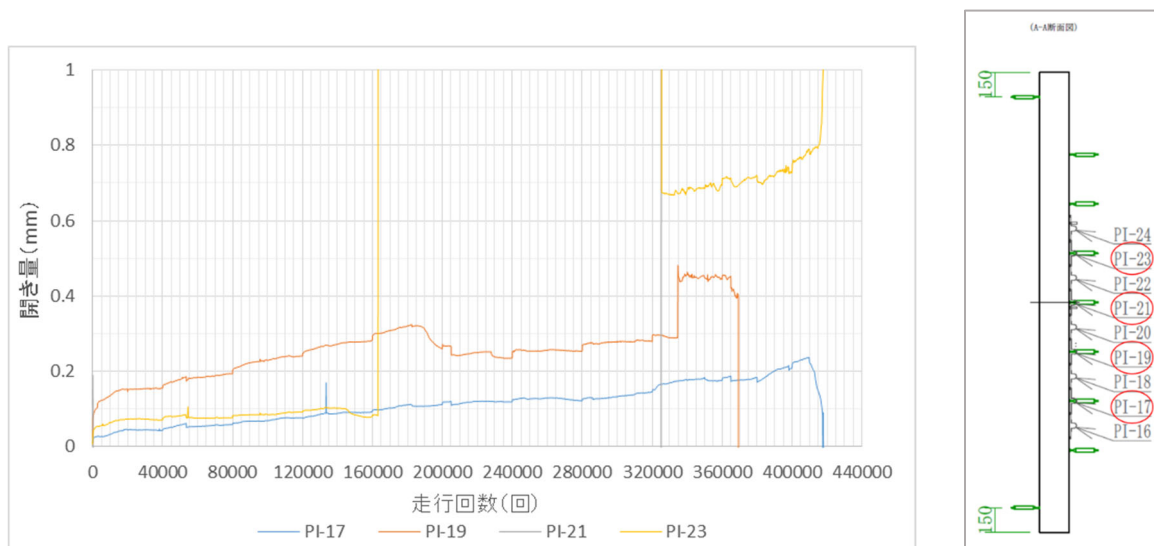


図-1.5.1.3 パイ型変位計による開き量（輪走行直角方向，CL 下面）（MM データ，最大値）

(4) パイ型変位計による開き量（輪走行方向，上面）

図-1.5.1.4 に輪走行方向(CL-332mm)における上面のパイ型変位計測定値の変化を示す．左側接合部界面(PI-33)において5.5万回走行時に値の急増が見られ，この時点で界面の開きが生じた可能性がある．

一方，図-1.5.1.5 はCL+332mmにおける界面上面のパイ型変位計の値である．値は負となっているが，CL-332mmと同様，5.5万回走行時に急激な値の変化が見られた．

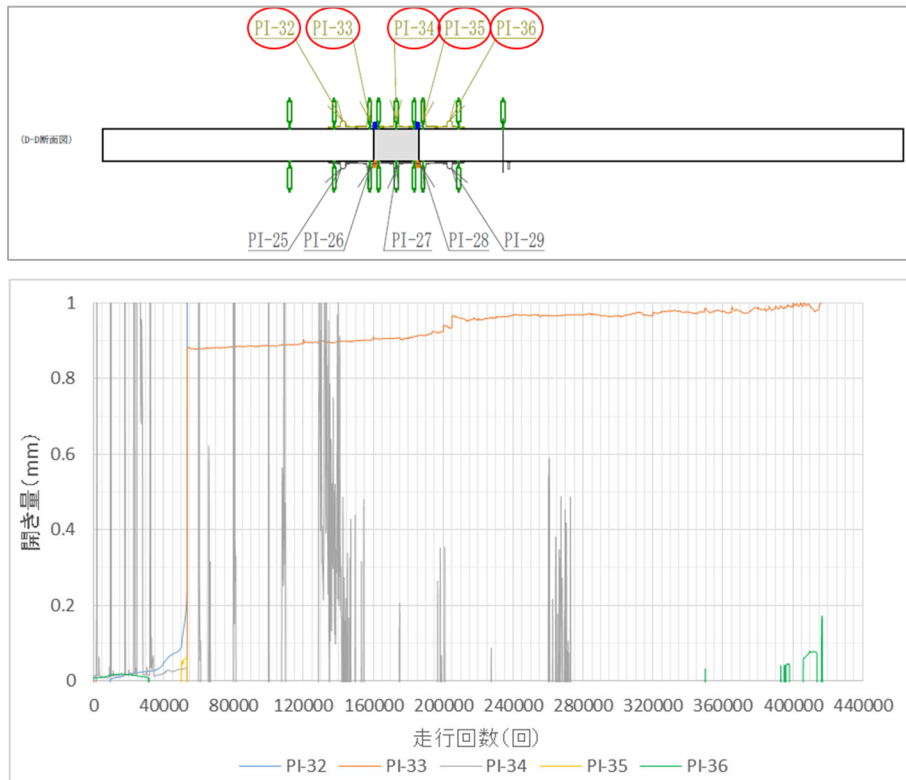


図-1.5.1.4 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL-332mm 上面）（MM データ，最大値）

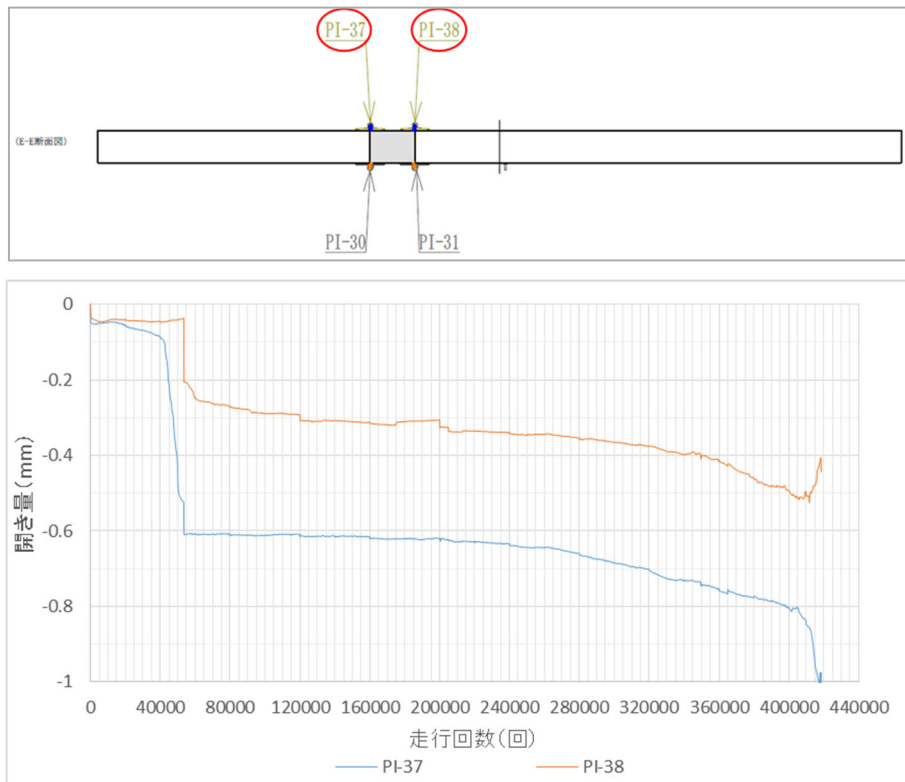


図-1.5.1.1.5 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL+332mm 上面）（MM データ，最大値）

(5) ずれセンサ変位（下面）

図-1.5.1.6~7 に支間中央の接合部下面におけるずれセンサ変位を示す（GAP*-X：段差，GAP*-Z：開き）。段差量，開き量いずれも走行回数とともに漸増が見られ，接合部界面の剥離が生じたと考えられる。また，29.5 万回にて右側接合部界面（GAP2）において段差量，開き量が急増しており，界面の剥離が大きくなったことでセンサが外れた可能性がある。

図-1.5.1.8~9 は走行方向，CL+354mm におけるずれセンサ変位である。なお，GAP6 は 5.3 万回にてずれセンサが外れていることが確認されており，値の急変はそれにより生じたと考えられる。

GAP5 の段差量（負方向），開き量は GAP1~2 と同様，載荷初期より漸増しており，これらのデータから界面の剥離が載荷初期より進行していたと考えられる。

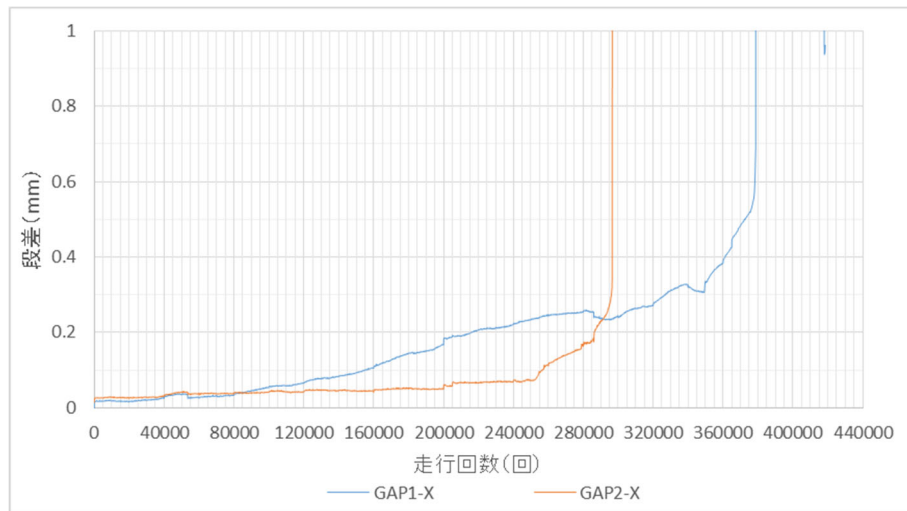
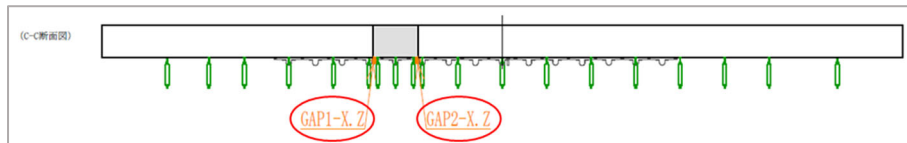


図-1.5.1.6 ずれセンサ変位 (輪走行方向, CL 下面, 段差) (MM データ, 最大値)

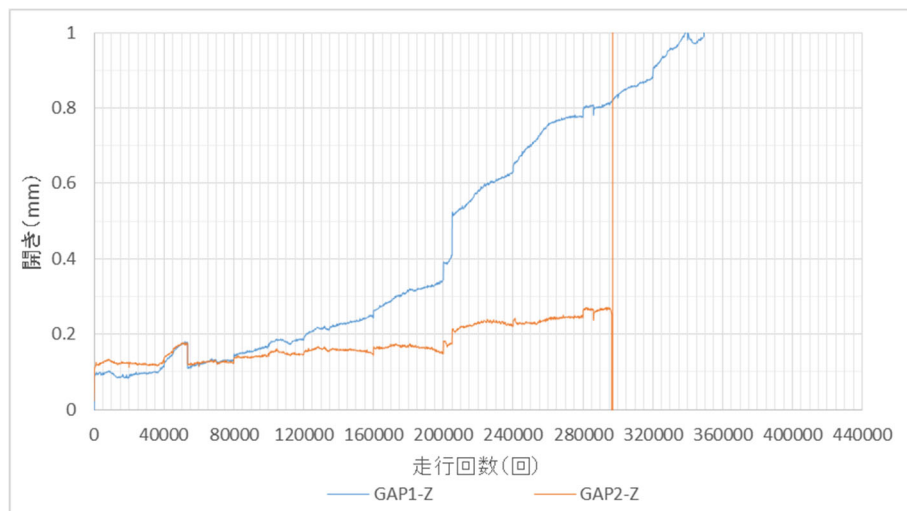


図-1.5.1.7 ずれセンサ変位 (輪走行方向, CL 下面, 開き) (MM データ, 最大値)

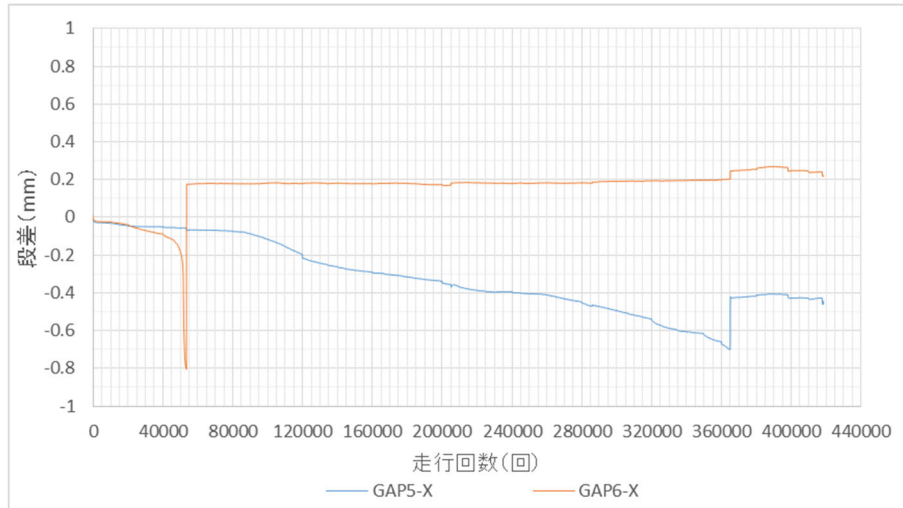
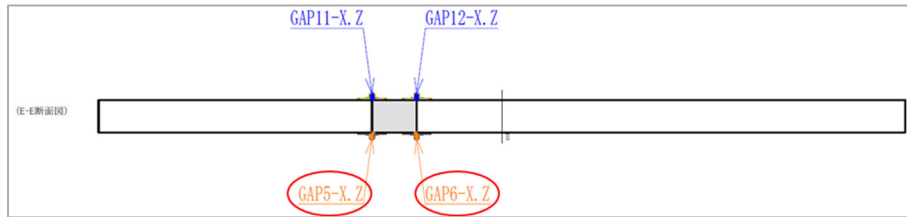


図-1.5.1.8 ずれセンサ変位（輪走行方向，CL+354mm 下面，段差）（MM データ，最大値）

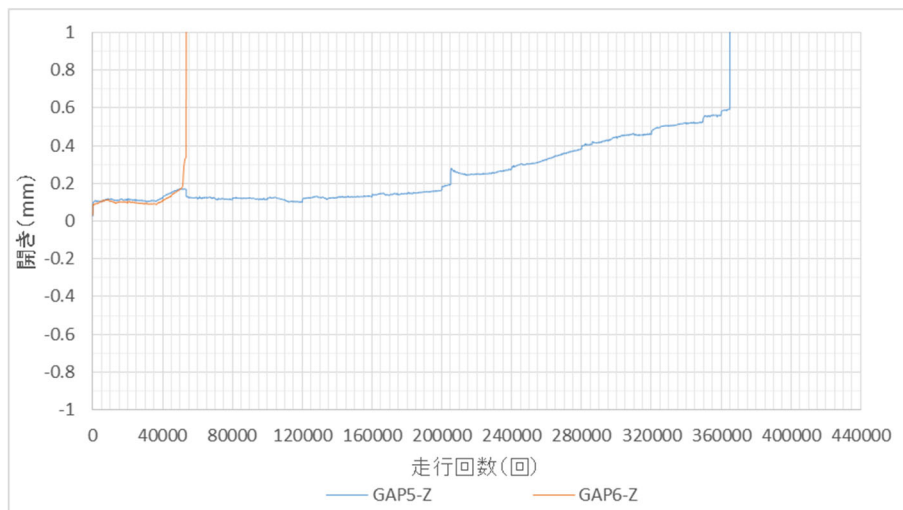


図-1.5.1.9 ずれセンサ変位（輪走行方向，CL+354mm 下面，開き）（MM データ，最大値）

(6) ずれセンサ変位（上面）

図-1.5.1.10~11にCL-354mmの接合部上面におけるずれセンサ測定値の変化を示す(GAP*-X:段差, GAP*-Z:開き). 16万回から20万回走行にかけて左側接合部界面(GAP9)の段差・開きが增大している. 直近のパイ型変位計(CL-332mm 上面, PI-33)では5.5万回時に既に開きが生じていることから, 界面の開きが繰り返しせん断の影響により, 界面の剥離に進展したと考えられる.

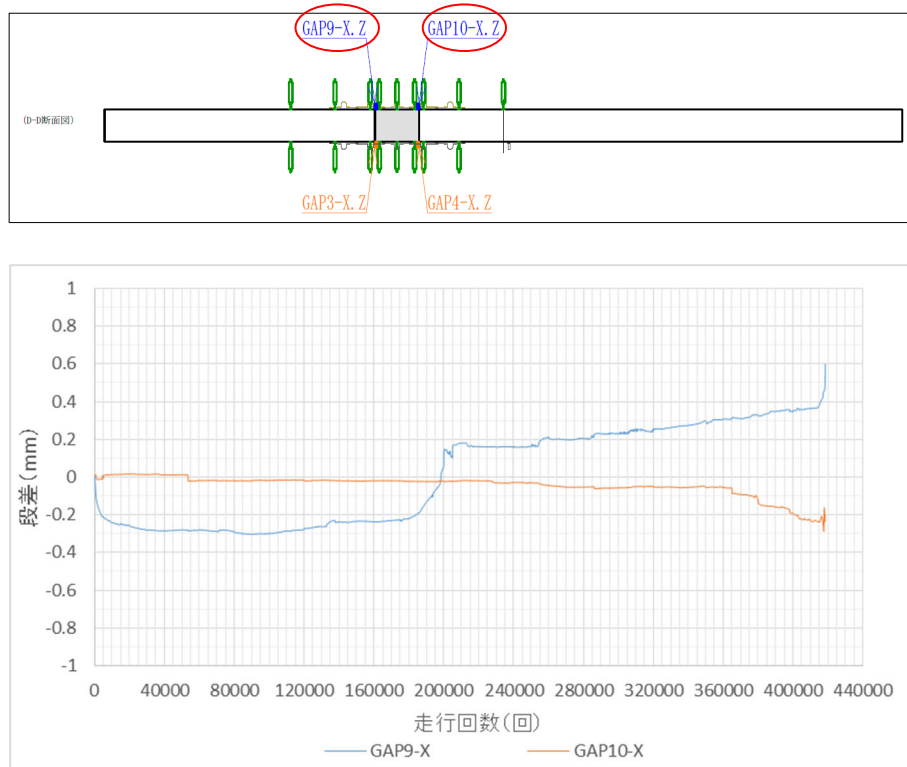


図-1.5.1.10 ずれセンサ変位（輪走行方向, CL-354mm 上面, 段差）(MM データ, 最大値)



図-1.5.1.11 ずれセンサ変位（輪走行方向, CL-354mm 上面, 開き）(MM データ, 最大値)

(7) 漏水センサ出力値

図-1.5.1.12 に漏水センサ出力値の変化を示す。出力値は4万回、および5.5万回の時点で急増しており、この時点で漏水が発生した可能性がある。このうち、5.5万回は接合部界面の上面にてパイ型変位計の値が急増したタイミングと合致している。

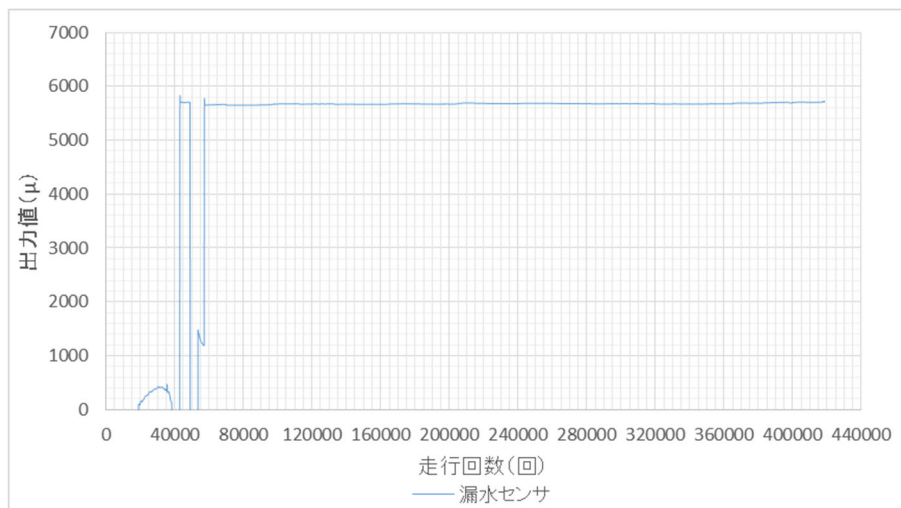


図-1.5.1.12 漏水センサ出力値 (MM データ, 最大値)

1.5.2 接合部の挙動

図-1.5.2.1 に4.5万回目走行時の輪走行方向における曲率の分布を示す。ただし、曲率は隣接する3点のたわみと測点位置を円で補間することにより算出し、負曲げについては便宜的に負の値とした。ここで、たわみは測定値から直前の静的荷重で得られた残留たわみを差し引いた値(活荷重たわみ)とした。赤点線は各測定点の活荷重たわみが最大となるタイミングから推定した輪位置を示している。また、紫点線は接合部界面の位置を示す。

輪位置と負の曲率が発生するタイミングに着目すると、輪が左側の一般部(図上)にある時(図内(a), (b)), 接合部左側界面の近傍に大きな負曲げが生じている。一方、輪が接合部の直上にある時(図内(c)), 接合部界面近傍に負曲げは生じていない。輪が右側の一般部にある時(図内(e), (f)), 接合部界面近傍に負曲げが生じているものの、左側の一般部にある時と比較するとその大きさは小さい。これらのことから、輪が左側の一般部にある時に接合部界面に大きな負曲げが生じる傾向があると考えられる。

図-1.5.2.2 に輪が左側の一般部(CL-1450mm)にある時の各走行回数における曲率の分布を示す。接合部左側界面の曲率は走行回数5.5万回から6万回にかけて約2倍となっており、急激な値の増加が見られた。その後12.5万回まで大きな値の変化は見られず、28.5万回目になると6割程度まで減少する。32.5万回では再び値が急増した。これらのことから、5.5万回から6万回の間接合部上面の界面割れが生じ、曲率が急激に増加した可能性がある。また、これは図-1.5.1.4で接合部界面上面に開きが生じたと思われたタイミング(5.5万回)、および漏水センサの値が急増したタイミング(5.5万回)と概ね一致している。

5.5万回から6万回の間接合部界面割れが生じたとすると、接合部において界面割れが生じる曲率の閾値は $4 \sim 8 \times 10^{-6} / \text{mm}$ の間にあり、上面の負曲げがこの値に達すると界面割れが生じ漏水が発生すると推定される。

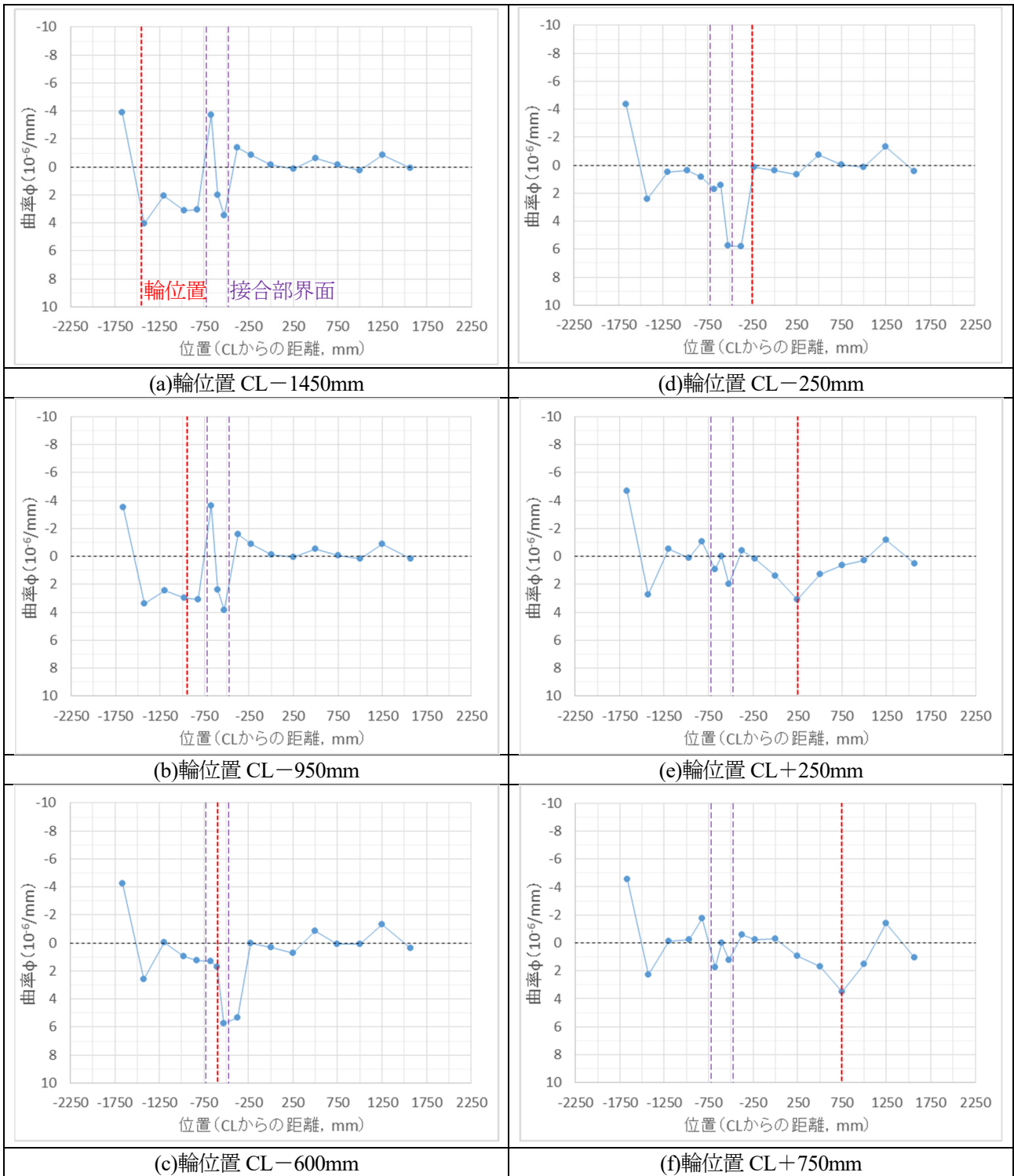


図-1.5.2.1 輪走行方向曲率分布 (4.5 万回) (DT データ)

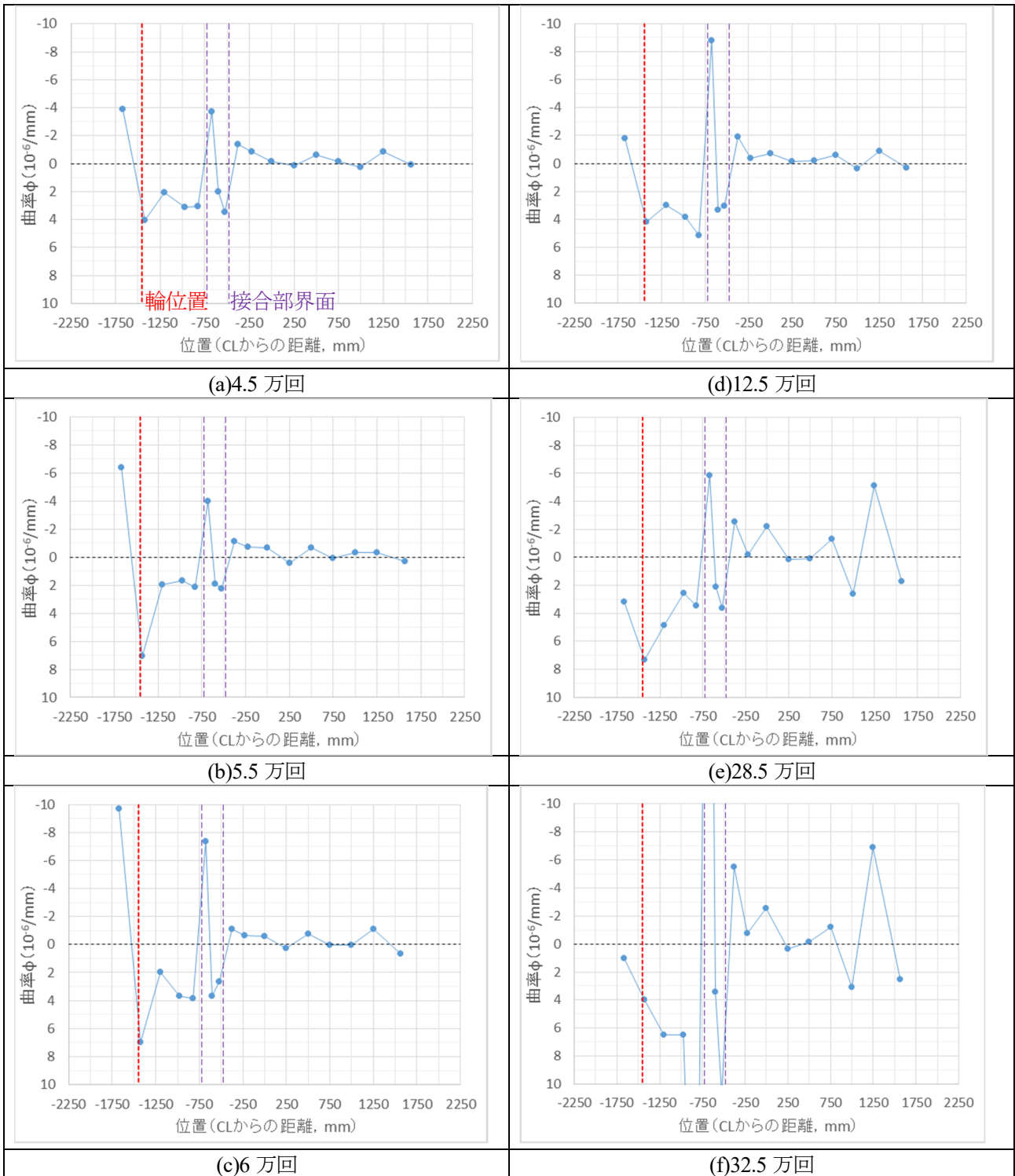


図-1.5.2.2 輪走行方向曲率分布 (輪位置 CL-1450mm) (DT データ)

1.6 既往研究の再整理（供試体 KJ の結果）

阪神高速道路(株)と鹿島建設(株)によって、超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を用いたプレキャスト PC 床版である平板型 UFC 床版¹⁰⁾の輪荷重走行試験が実施されている²⁾。その試験データを用いて UFC 床版に生じる負曲げによる曲率を算定し、接合部の性能を評価する。

1.6.1 輪荷重走行試験の概要

平板型 UFC 床版と鋼鈹桁による合成桁を図-1.6.1.1 に、平板型 UFC 床版の構造を図-1.6.1.2 に示す。平板型 UFC 床版は、橋軸直角方向にはプレテンション方式で、橋軸方向にはポストテンション方式で、2 方向にプレストレスを導入する構造である。床版の材料は、圧縮強度の特性値が 180N/mm^2 、ひび割れ発生強度が 8.0N/mm^2 、引張強度が 8.8N/mm^2 のエトリングライト生成系の UFC¹¹⁾である。高い圧縮強度と鋼繊維による補強効果による引張強度を有効に活用することで、床版の薄肉化（床版支間約 3m で厚さ 140mm）や PC 定着部のコンパクト化が実現されている¹²⁾。

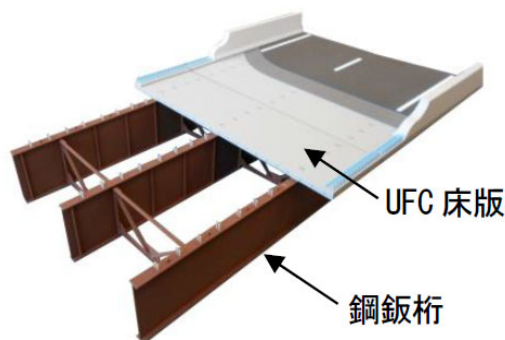


図-1.6.1.1 平板型 UFC 床版を用いた合成桁

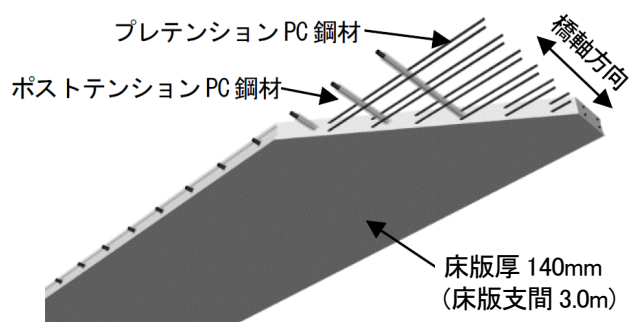


図-1.6.1.2 平板型 UFC 床版の構造

輪荷重走行試験の試験体および設置図を図-1.6.1.3 に示す。平板型 UFC 床版の厚さは、床版支間 3m の連続版として設計し、床版厚さを 130mm と算定した。試験では単純版の支持条件となるため、床版支間中央の曲げモーメントを連続版と合わせるため、床版支間を 2.5m とした。床版の直角方向幅は、2.8m として床版支間中央に輪荷重を載荷した。橋軸方向に床版 2 枚を接合し、接合部を超えて輪荷重を載荷した。

床版同士の接合部を、図-1.6.1.3 の側面図に示す。接合部の構造は、床版同士の遊間最小幅を 20mm とし、間詰材を充填して硬化した後、橋軸方向に配置したポストテンション方式 PC 鋼材でプレストレスを導入する PC 構造とした。接合部の設計においては、活荷重作用時（プレストレス+活荷重）に、引張応力度が生じない、フルプレストレスとなるように接合部を設計した。実施工¹²⁾および 2.6 節で述べる接合部の間詰材は、エトリングライト生成系 UFC のマトリクスに鋼繊維を 1.5vol.%混入した高強度繊維補強セメント系複合材料を用いたが、本試験では、無収縮モルタルを用いた。

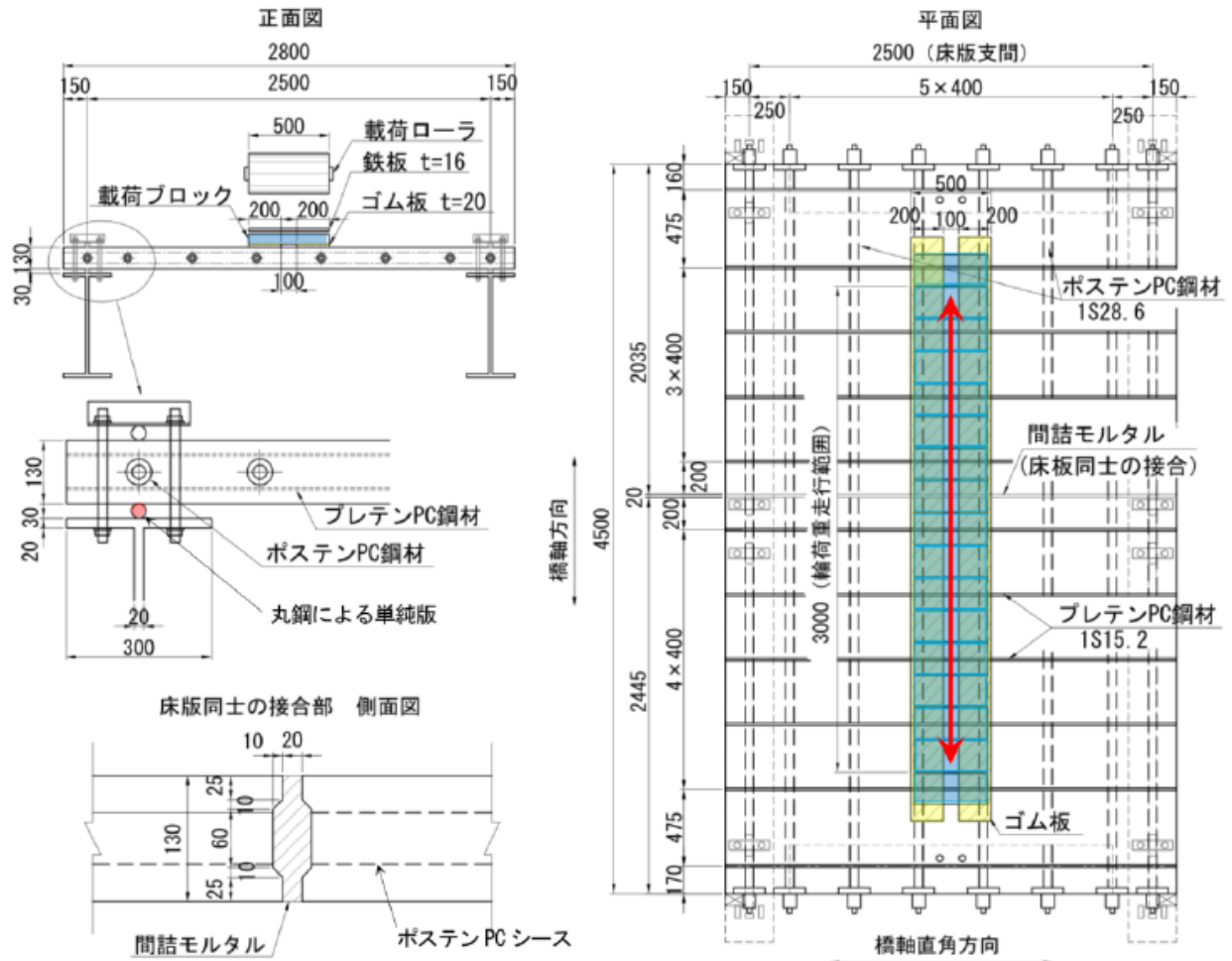


図-1.6.1.3 輪荷重走行試験の試験体 (KJ)

試験体に用いた UFC および無収縮モルタルの材料試験値を表-1.6.1.1, PC 鋼材の諸元を表-1.6.1.2 に示す。

表-1.6.1.1 UFC および間詰モルタルの材料試験値

		単位	試験値
UFC 圧縮強度	材齢 1 日	N/mm ²	46
	材齢 8 日	N/mm ²	186
	材齢 255 日	N/mm ²	192
無収縮モルタル 圧縮強度	材齢 3 日	N/mm ²	35.9
	材齢 196 日	N/mm ²	84.0

注) 圧縮強度は3本の平均値である。
材齢196日, 255日は試験開始前の時点である。

表-1.6.1.2 PC 鋼材の諸元

		単位	諸元値
直角方向 PC IS15.2 (SWPR7BL)	断面積	mm ²	138.7
	緊張応力度	N/mm ²	1440
	緊張力	kN	200
橋軸方向 PC IS28.6 (SWPR19L)	断面積	mm ²	532.4
	緊張応力度	N/mm ²	1057
	緊張力	kN	281

注) ミルシートによる

1.6.2 階段載荷における破壊過程

輪荷重走行試験に用いた試験装置は、国立研究開発法人土木研究所の試験機である。繰り返し載荷は、図-1.6.2.1 に示すとおり階段状荷重漸増載荷により行うこととした。階段載荷の載荷ステップは、100kN を初期荷重として、走行 4 万回ごとに 280kN までは 30kN ずつ、280kN から 400kN までは 40kN ずつ荷重を増加させた。100kN から 160kN の 12 万回は、床版上に水を張った状態で繰り返し載荷した。その間、接合部を含め、床版下面からの漏水は見られなかった。

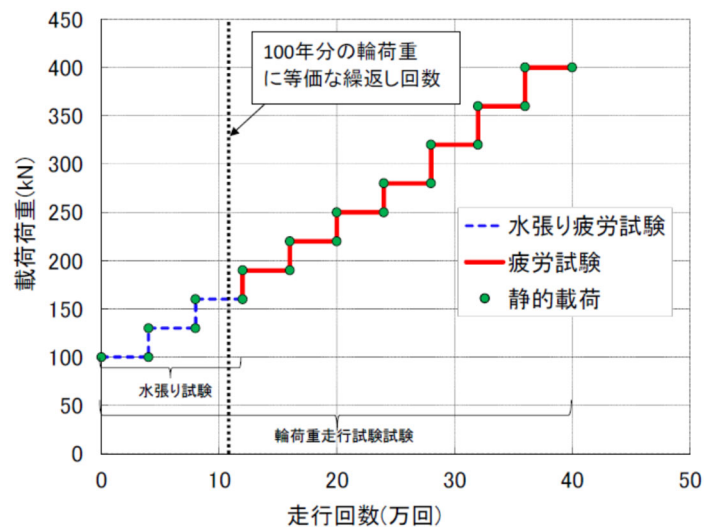


図-1.6.2.1 輪荷重走行試験の載荷ステップ

最大 400kN、40 万回まで載荷したが、床版および床版同士の接合部は破壊しなかった。床版の損傷としては、床版下面に、主に曲げによるひび割れが生じた。床版同士の接合部下面に目開きは生じたが、段差等の損傷は生じなかった。床版下面のひび割れ図を図-1.6.2.2 に、切断面のひび割れ図を図-1.6.2.3 に示す。床版下面のひび割れ図は、輪荷重走行中（載荷中）に目視観察したものであるが、荷重 250kN まではひび割れは観察されず、荷重を 280kN とした 24 万回以降に観察された。

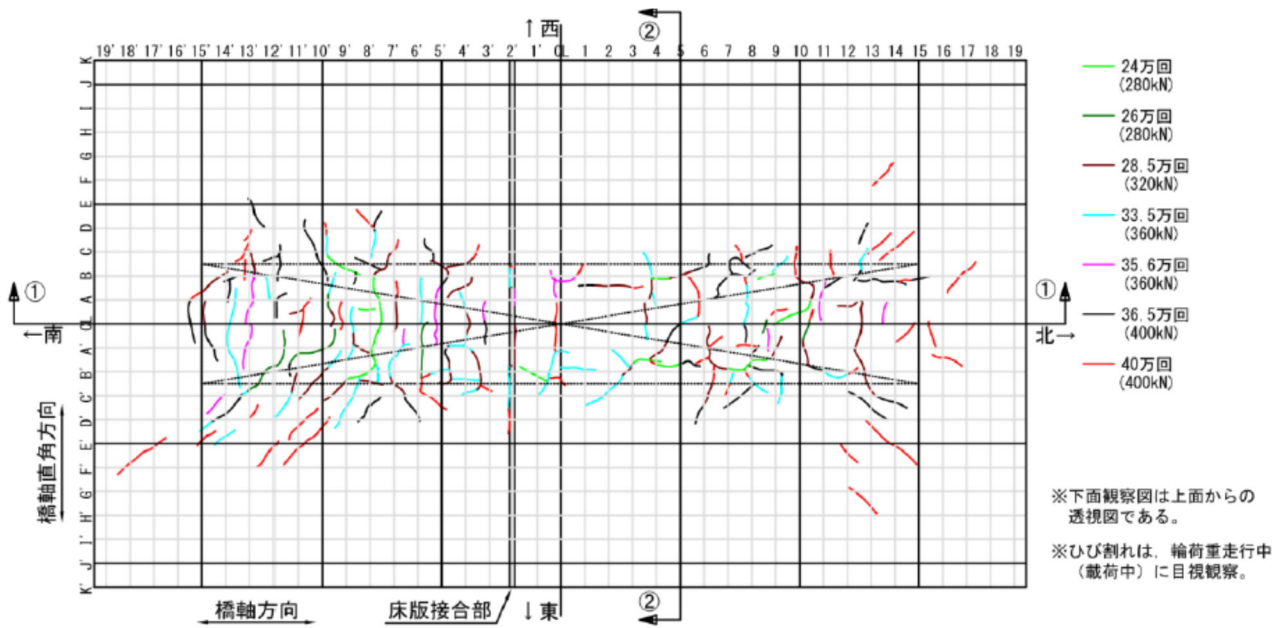


図-1.6.2.2 ひび割れ図 (床版下面)

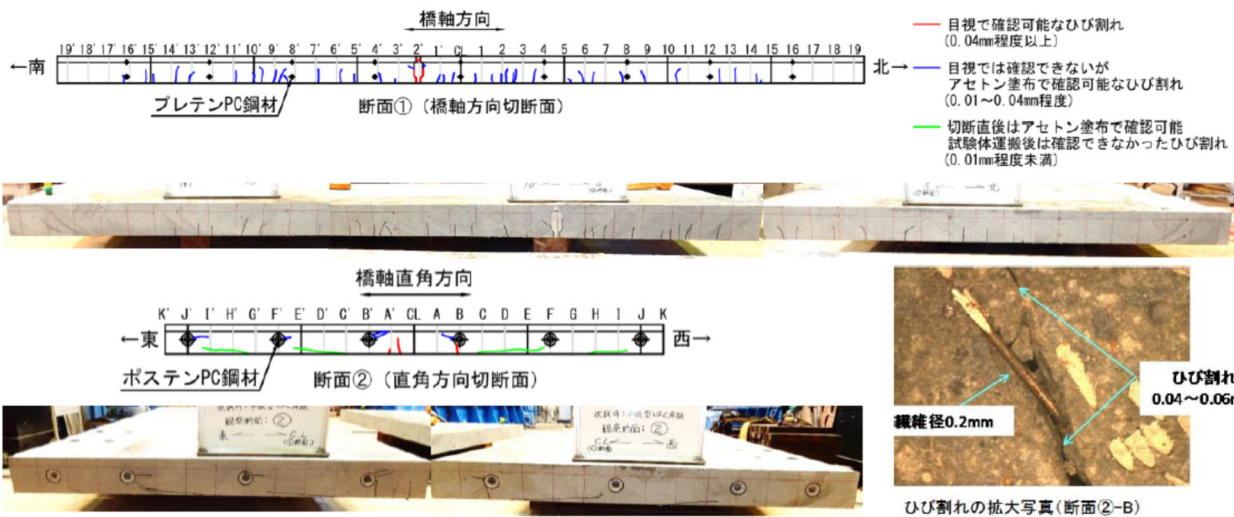


図-1.6.2.3 ひび割れ図 (切断面)

静的載荷時のたわみと走行回数を図-1.6.2.4 に示す。除荷時のたわみは、24 万回以降増加し、若干の非線形性を示した。24 万回 (280kN) で確認されたひび割れの影響によって、たわみに非線形性が生じたと推測される。

静的載荷時において π 型変位計で計測した床版同士の接合部の下面の目開きと走行回数を図-1.6.2.5 に示す。20 万回走行後の 250kN 載荷後の除荷時に、接合部の下面の目開き量が 0.01mm となっており、目視では確認されなかったが目開きが生じたと推定される。

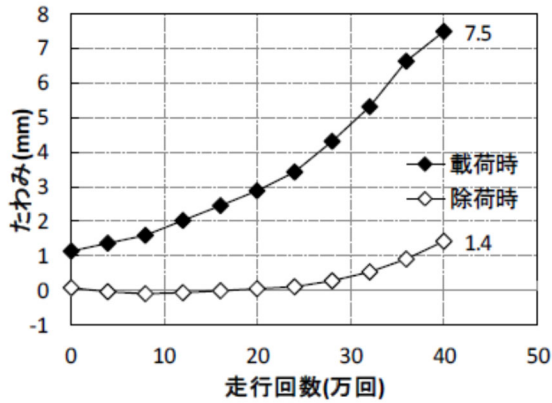


図-1.6.2.4 静的載荷時のたわみと走行回数の関係 (SS データ)

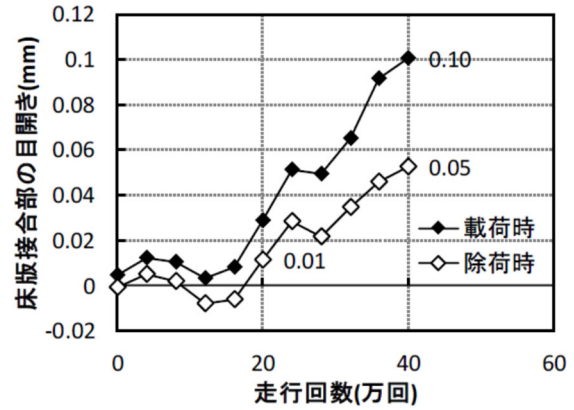


図-1.6.2.5 静的載荷時の目開き量と走行回数の関係 (SS データ)

1.6.3 接合部の負曲げ挙動

中央から 200mm 離れた位置 (CL+200mm) に接合部を有する平板型 UFC 床版の輪荷重走行試験において、中央から 1m 離れた位置 (CL-1000mm) に載荷した場合の断面内ひずみ分布を計測した (図-1.6.3.1, 図-1.6.3.2)。試験体中央において、上面に設置した 2 箇所のひずみゲージおよび下面に接合部を跨ぐように設置したパイ型変位計による目開きを標点距離 50mm で除した平均ひずみから上下面のひずみ差を求め、床版厚さで除して曲率を求めた (表-1.6.3.1)。

曲率は負の値となっているため上に凸の変形が生じており、荷重の増加に伴って曲率の絶対値も大きくなっているが、荷重 400kN 載荷時でも曲率は $-1.4 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であり、曲率の絶対値は 2 未満であった。

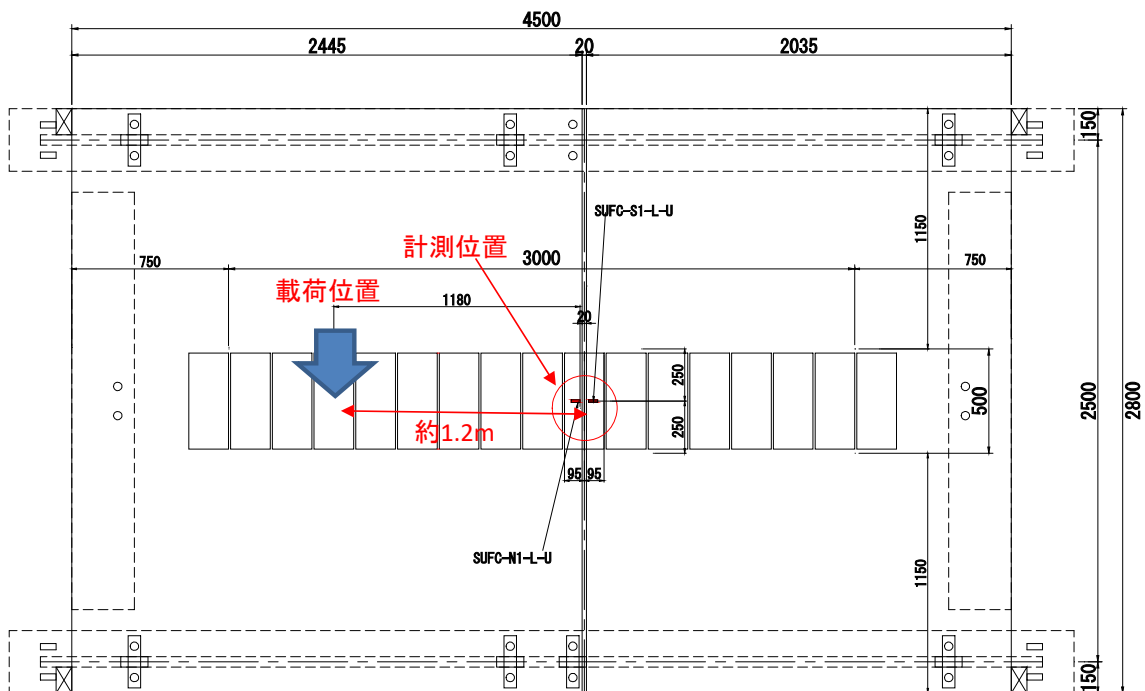


図-1.6.3.1 載荷位置および計測位置 (上面, 載荷は SS 以外に別途行ったもの)

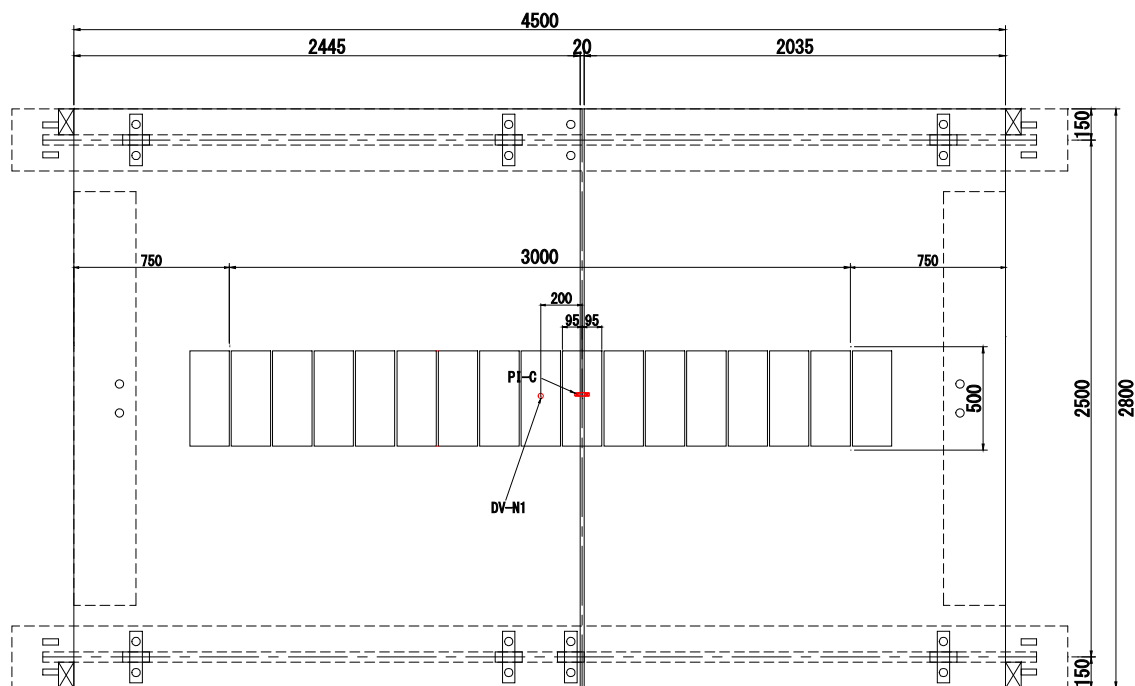


図-1.6.3.2 計測位置（下面，荷重はSS以外に別途行ったもの）

表-1.6.3.1 上下面のひずみから推定した接合部における曲率（接合部から1.2mの位置に荷重時）

走行回数 (万回)	荷重 (kN)	目開きPI-C(mm)			下面平均 ひずみ(μ)	上面ひずみSUFC-S1-L-U(μ)			曲率 ($\times 10^{-6}/\text{mm}$)
		載荷前	載荷時	増分		載荷前	載荷時	増分	
0	100kN	0.000	-0.001	-0.001	-22	0	9	9	-0.24
4	130kN	0.007	0.005	-0.002	-46	-18	-6	12	-0.45
8	160kN	0.003	0.001	-0.002	-30	-9	7	16	-0.35
12	190kN	-0.009	-0.010	-0.002	-30	-32	-12	20	-0.38
16	220kN	-0.007	-0.009	-0.001	-28	-45	-23	22	-0.38
20	250kN	0.010	0.009	-0.002	-36	-43	-16	27	-0.48
24	280kN	0.030	0.027	-0.003	-68	-46	-16	30	-0.75
28	320kN	0.019	0.015	-0.003	-64	-55	-17	38	-0.78
32	360kN	0.032	0.029	-0.003	-58	-125	-78	47	-0.81
36	400kN	0.049	0.041	-0.008	-156	-86	-38	48	-1.57
40	400kN	0.052	0.046	-0.007	-132	-121	-75	46	-1.37

走行回数 (万回)	荷重 (kN)	目開きPI-C(mm)			下面平均 ひずみ(μ)	上面ひずみSUFC-N1-L-U(μ)			曲率 ($\times 10^{-6}/\text{mm}$)
		載荷前	載荷時	増分		載荷前	載荷時	増分	
0	100kN	0.000	-0.001	-0.001	-22	0	8	8	-0.23
4	130kN	0.007	0.005	-0.002	-46	-16	-3	13	-0.45
8	160kN	0.003	0.001	-0.002	-30	-8	7	15	-0.35
12	190kN	-0.009	-0.010	-0.002	-30	-16	4	20	-0.38
16	220kN	-0.007	-0.009	-0.001	-28	-19	2	21	-0.38
20	250kN	0.010	0.009	-0.002	-36	-17	9	26	-0.48
24	280kN	0.030	0.027	-0.003	-68	-41	-12	29	-0.75
28	320kN	0.019	0.015	-0.003	-64	-41	-4	37	-0.78
32	360kN	0.032	0.029	-0.003	-58	-102	-59	43	-0.78
36	400kN	0.049	0.041	-0.008	-156	-99	-54	45	-1.55
40	400kN	0.052	0.046	-0.007	-132	-152	-107	45	-1.36

1.6.4 接合部の正曲げ挙動

図-1.6.4.1 および図-1.6.4.2 に示すように、接合部直上に荷重した場合の試験体上面のひずみゲージおよび下面に接合部を跨ぐように設置したパイ型変位計からひずみ分布を求め、さらに床版厚さで除して曲率を求めた結果を表-1.6.4.1 に示す。

荷重 100kN において曲率が 2×10^{-6} となっているが、100kN 荷重時は図-1.6.4.3 および図-1.6.4.4 に示すように線形挙動している。本データは正曲げのデータであるが、床版および接合部は上下対象の構造であるため、負曲げで -2×10^{-6} の曲率が生じても接合部は線形挙動すると考えられる。

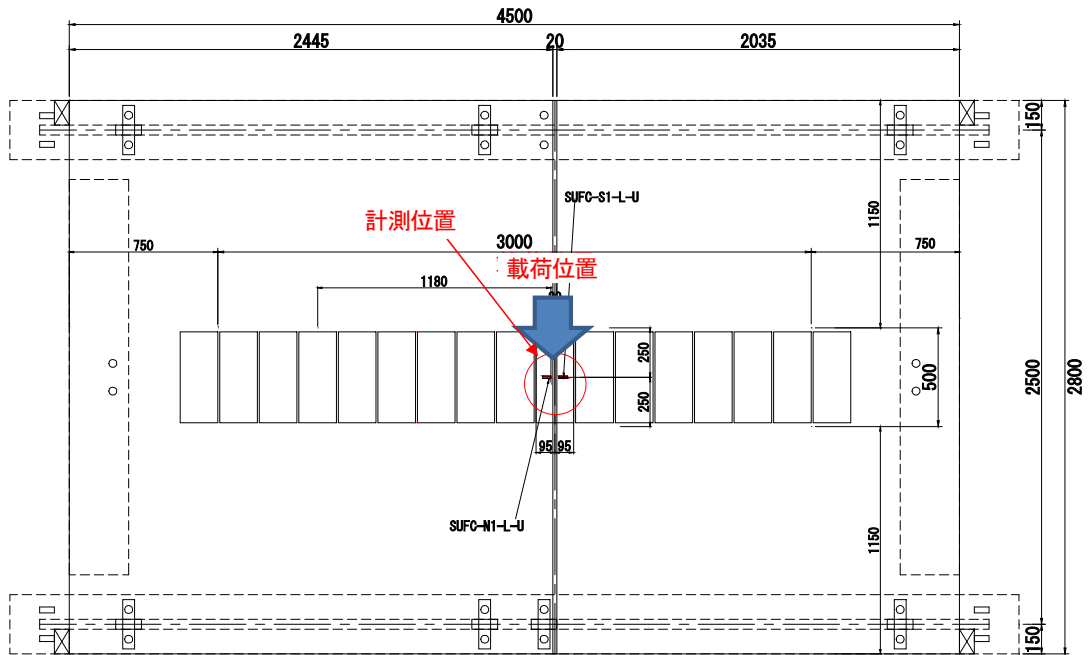


図-1.6.4.1 荷重位置および計測位置（上面）

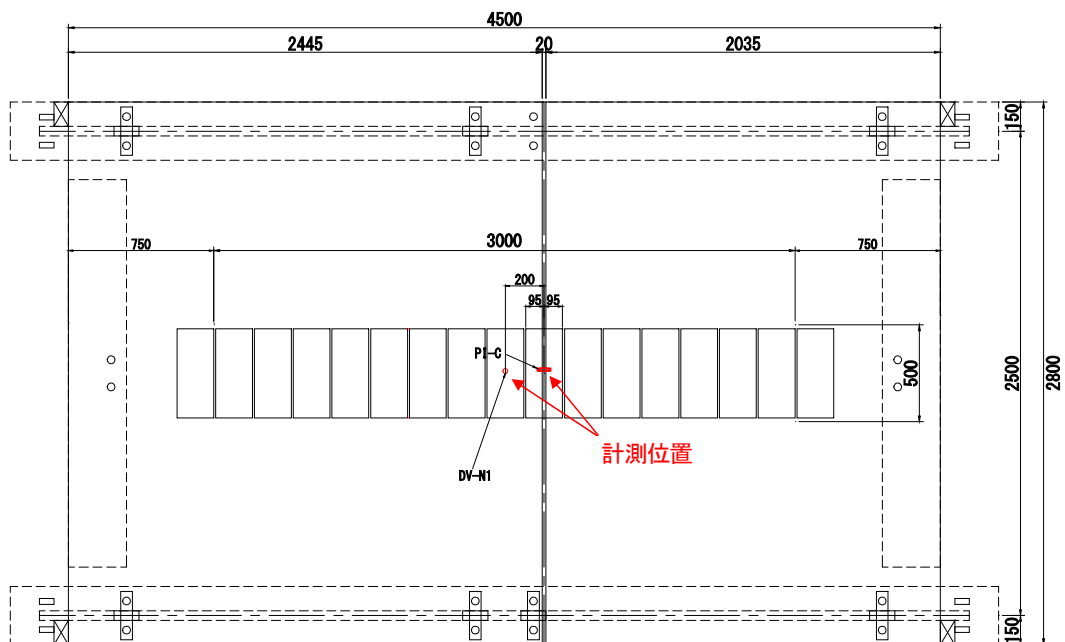


図-1.6.4.2 計測位置（下面）

表-1.6.4.1 上下面のひずみから推定した接合部における曲率（接合部に載荷時）

走行回数 (万回)	荷重 (kN)	目開きPI-C(mm)			下面平均 ひずみ(μ)	上面ひずみSUFC-S1-L-U(μ)			曲率 ($\times 10^{-6}/\text{mm}$)
		載荷前	載荷時	増分		載荷前	載荷時	増分	
0	100kN	0.000	0.008	0.009	170	-2	-104	-102	2.1
4	130kN	0.006	0.017	0.011	342	-18	-154	-136	3.7
8	160kN	0.003	0.017	0.014	336	-10	-178	-168	3.9
12	190kN	-0.009	0.011	0.020	226	-30	-240	-210	3.4
16	220kN	-0.007	0.018	0.025	358	-45	-292	-247	4.7
20	250kN	0.010	0.052	0.043	1048	-46	-343	-297	10.3
24	280kN	0.028	0.101	0.073	2010	-48	-393	-345	18.1
28	320kN	0.020	0.136	0.116	2722	-53	-495	-442	24.3
32	360kN	0.034	0.149	0.115	2986	-119	-636	-517	26.9
36	400kN	0.045	0.268	0.223	5364	-84	-710	-626	46.1
40	400kN	0.052	0.254	0.202	5076	-114	-779	-665	44.2

走行回数 (万回)	荷重 (kN)	目開きPI-C(mm)			下面平均 ひずみ(μ)	上面ひずみSUFC-N1-L-U(μ)			曲率 ($\times 10^{-6}/\text{mm}$)
		載荷前	載荷時	増分		載荷前	載荷時	増分	
0	100kN	0.000	0.008	0.009	170	-1	-97	-96	2.0
4	130kN	0.006	0.017	0.011	342	-16	-141	-125	3.6
8	160kN	0.003	0.017	0.014	336	-9	-169	-160	3.8
12	190kN	-0.009	0.011	0.020	226	-14	-211	-197	3.3
16	220kN	-0.007	0.018	0.025	358	-20	-247	-227	4.5
20	250kN	0.010	0.052	0.043	1048	-21	-292	-271	10.1
24	280kN	0.028	0.101	0.073	2010	-41	-369	-328	18.0
28	320kN	0.020	0.136	0.116	2722	-39	-431	-392	24.0
32	360kN	0.034	0.149	0.115	2986	-100	-557	-457	26.5
36	400kN	0.045	0.268	0.223	5364	-100	-682	-582	45.7
40	400kN	0.052	0.254	0.202	5076	-145	-729	-584	43.5

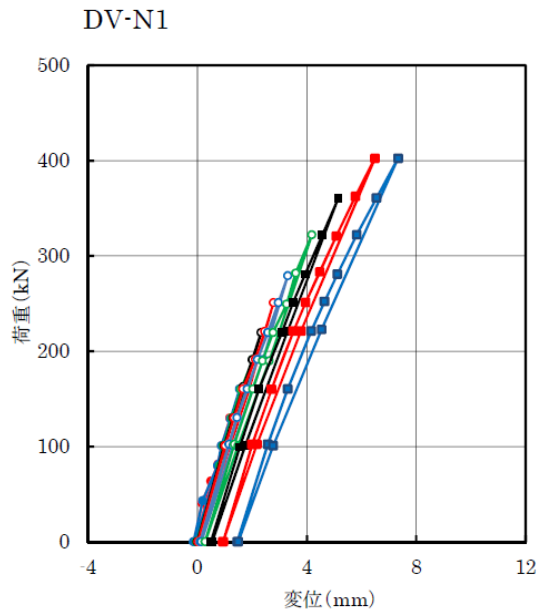


図-1.6.4.3 接合部直上載荷時の荷重－たわみ関係

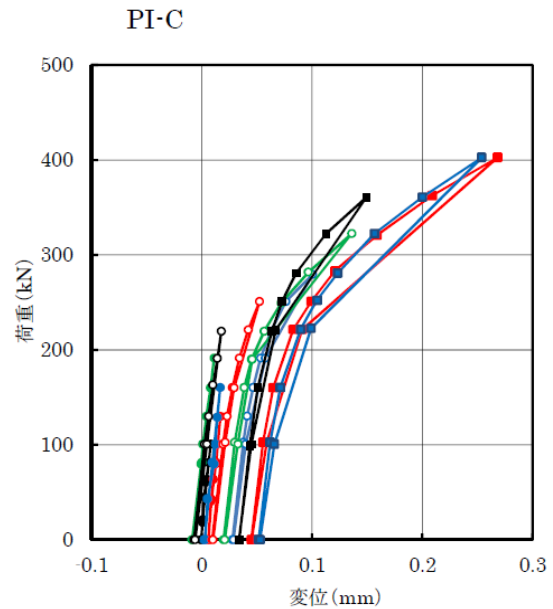


図-1.6.4.4 接合部直上載荷時の荷重－目開き関係

1.7 接合部の曲率評価と水の浸入

1.7.1 曲率の測定

輪荷重走行試験とはり試験それぞれにおける接合部の曲げ変形の程度を整合させるため、指標として曲率を取り上げた。輪荷重走行試験やはり試験で得られる接合部の曲率を測定する方法として、パイ型変位計による方法と、たわみを測定する鉛直変位計による方法の2種類について検討した。

(1) パイ型変位計による方法

ある断面における曲率は、平面保持の仮定の下で、断面内の2点以上の実測ひずみの傾きから求められる。例えば、ひび割れ発生前のRC断面の場合、上縁ひずみ ε_u と下縁ひずみ ε_l から次式で曲率 ϕ が得られる。

$$\phi = (\varepsilon_u - \varepsilon_l) / h \quad (1.7.1)$$

ここに、 h : はり高さ

接合部では、打継目の割れや接合部内での曲げひび割れなどの影響を受けることから、図-1.7.1.1のように、パイ型変位計を接合部の上縁と下縁に設置して、上下縁の平均ひずみを測定することとした。上縁はひずみゲージによる値でもよいかもしれないが、測定範囲を下縁と合わせるため、上縁もパイ型変位計によった。ここでは、上縁、下縁ともに、基長を150mmとし、パイ型変位計の固定には高さ10mmのコマを用いた。パイ型変位計を用いたときの曲率の計算は次のとおりとした。

$$\phi = (u_u - u_l) / 150 (h + 2 \times 10) \quad (1.7.2)$$

ここに、 u_u, u_l : 上縁、下縁それぞれのパイ型変位計による変位

注) 10はコマの高さ。隣のパイ型変位計と重なっている場合はそのときの高さ10または11mmとする。

輪荷重走行試験でのパイ型変位計による変位は、CL±1500mmの位置に輪荷重があるときの平均変位を差し引いた値を曲率の計算に用いた。

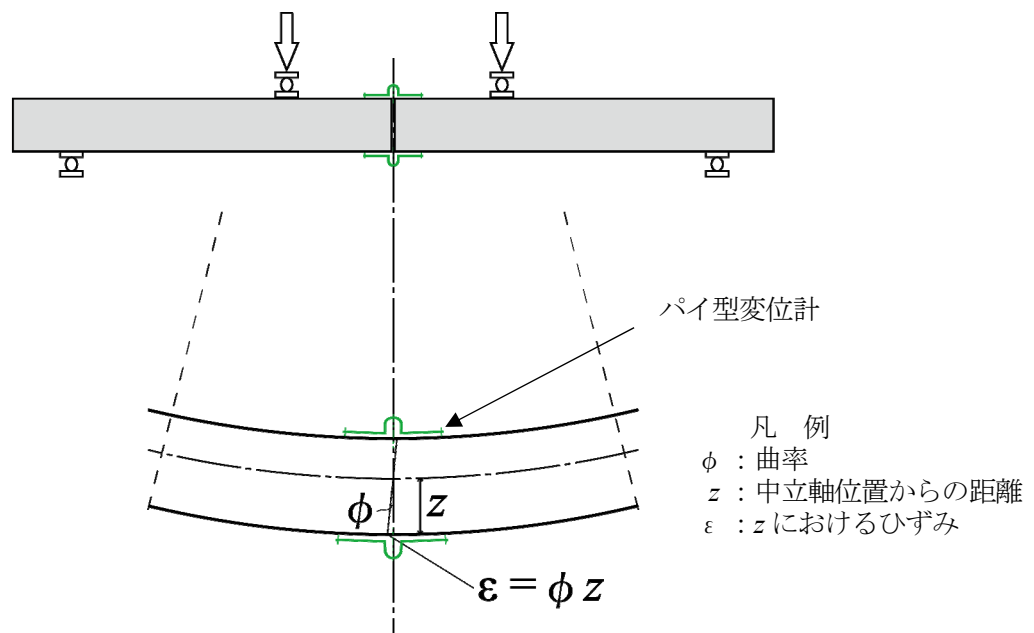


図-1.7.1.1 パイ型変位計による曲率の測定

(2) 鉛直変位計による方法

輪荷重走行試験の場合，輪走行直下では，上縁にパイ型変位計を設置することができないことから，たわみを測定する鉛直変位計による方法も用いることとした．図-1.7.1.2 のとおり，接合部における3点の各測定位置 x_i におけるたわみ変位 y_i を用いて，3点を通る曲率半径 r の円弧との関係から，曲率 ϕ ($=1/r$) を次式で計算した．

$$r = \frac{a}{2 \sin A} \quad (1.7.3)$$

$$a^2 = (x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 \quad (1.7.4)$$

$$A = \pi - \tan^{-1} \left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_3}{x_2 - x_3} \right) \quad (1.7.5)$$

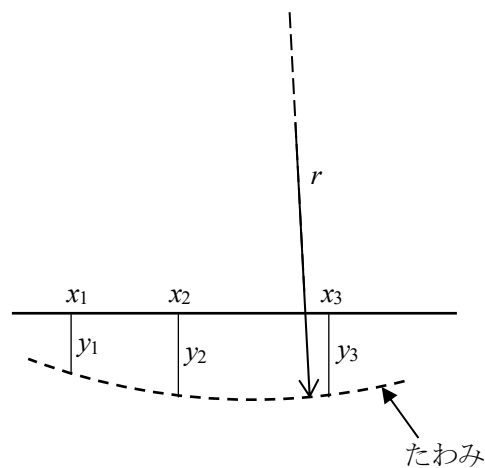


図-1.7.1.2 たわみの座標と曲率半径のイメージ

輪荷重走行試験でのたわみは，直近の静的載荷時のたわみを差し引いた値を曲率の計算に用いた．

次項で示すように，3点の配置によっては，曲率のばらつきが大きい場合やパイ型変位計による曲率と大きく乖離する場合が見られた．隣り合う3点と平均した方が，曲率のばらつきが小さく，パイ型変位計による曲率と概ね一致する傾向が見られた．例えば， $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)\}$ の3点から得られた曲率と $\{(x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$ の3点から得られた曲率を単純平均するなど．接合部の構造に応じて測定位置を設定したことから，統一的な方法としていない．

1.7.2 各供試体の曲率の測定結果

(1) 供試体 TS1

図-1.7.2.1 に、供試体 TS1 について、輪荷重走行位置中心から直角方向に約 330mm 離れた位置で、接合部の上下に設置したパイ型変位計による変位を示す。この位置は、プレキャスト部の軸方向 PC 鋼棒の定着体を設けるために箱抜きにした部分である。そのうち同図(a)は、接合部のうち、上縁のパイ型変位計が間詰材のみの範囲に配置されていた箇所 (CL-600mm) の結果を示す。横軸は走行中の輪の位置を表し、縦軸は輪が 1 往復する間のパイ型変位計による変位を表す (+ : 引張側, - : 圧縮側)。上縁の変位と下縁の変位は、線の色を変えて示し、それぞれの測定位置は、図中の補足図の三角の記号の位置と色で表す。同図(a)は、走行期間の概ね中間に相当する 25 万回時の値である。この図より、輪荷重が接合部の上に載荷されるときには、上縁の変位がゼロ (輪荷重の動きの中で圧縮側) に対して下縁に引張側の変位が生じて正曲げとなり、接合部を離れると負曲げとなる傾向があることが確認できる。

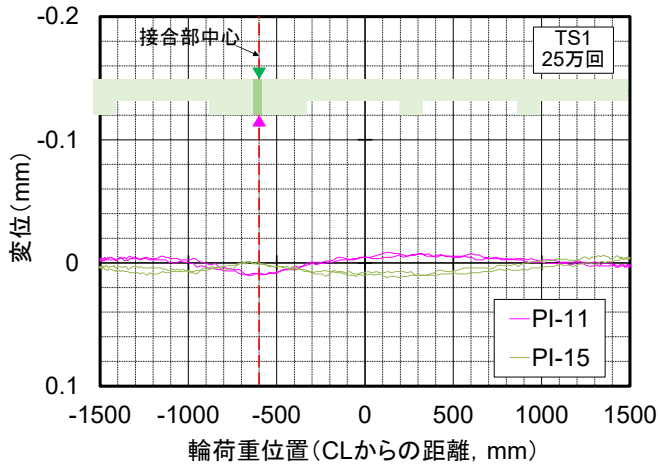
同様に、同図(b)に、隣 (CL-450mm) のパイ型変位計による変位を示す。この位置は、大きいプレキャストパネル側の PC 定着体のある打継目を跨ぐ箇所である。同図(a)と同様に、輪荷重の位置によって接合部の曲げが正負交互に生じていた。これらの図から、比較的剛な接合部のうち、その中央付近に比べて PC 定着体のある打継目付近の変位の方が大きかったことが分かる。

同図(c)は、試験終了に近い 49 万回時の CL-450mm におけるパイ型変位計による変位を示す。供試体 TS1 は、荷重や繰返し数の増加とともに、大きいプレキャストパネルの損傷の程度が大きくなり、それとともに、CL-450mm における上縁の変位が大きくなるとともに、ピークが生じる位置が接合部に近づく傾向が見られた。

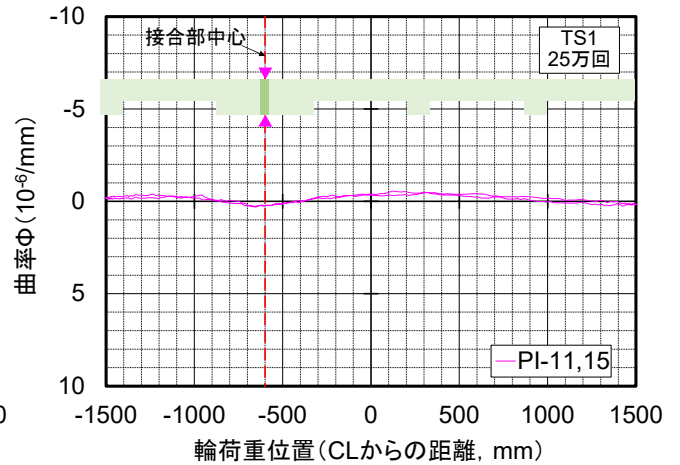
図-1.7.2.1(a)~(c)のデータから、式 1.7.2 により曲率を計算した結果を図-1.7.2.2(a)~(c)にそれぞれ示す。これらの結果では、CL-450mm の位置における負曲げの曲率は、25 万回で $-1 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 、49 万回で $-2 \sim -3 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であった。

図-1.7.2.3 に、式 1.7.3 による、たわみによる接合部の曲率を示す。同図(a)は、図-1.7.2.1~2 に示したパイ型変位計による変位の測定位置に近い変位計 D-21~24 (CL-350~850mm) の 25 万回時の結果を示す。測定位置は、輪荷重走行位置中心から直角方向に約 360mm である。UD-22~24 は、参考として、上縁のたわみ変位の測定結果による曲率を示した。D-21~23、D-22~24、それぞれ 3 点の値から計算した曲率は、いずれも曲率の値がパイ型変位計による値に比べて大きく異なり、かつばらつきが大きい傾向にある。D-21~24 の結果は、D-21~23、D-22~24 の結果を単純平均した結果を示す。この場合の曲率は、同図(a')に示すパイ型変位計による曲率と概ね同様の傾向を示しており、たわみの測定範囲や測定点数によって、曲率の測定精度が異なると考えられる。

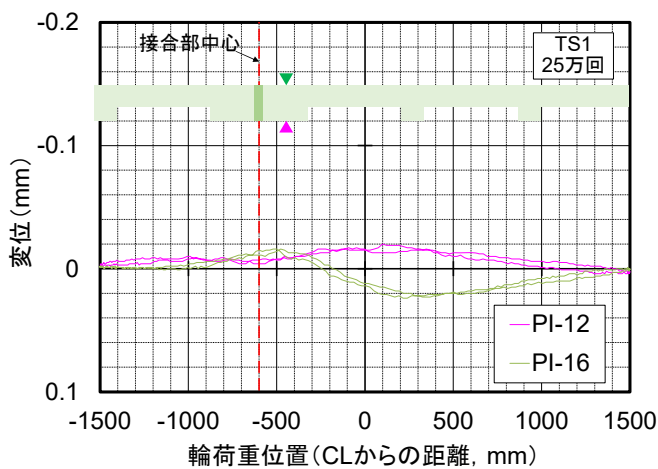
同様に、同図(b)に、49 万回時の結果を示す。この場合も、4 本の結果による D-21~24 の結果が比較的安定した結果を示す傾向が見られる。しかし、同図(b')に示すパイ型変位計による曲率と比べて、曲率が小さかった。パイ型変位計による曲率は、基長 150mm で測定したものであり、かつ打継目の割れを捉えていたのに対して、たわみによる曲率は、接合部の下面 500mm の範囲で測定したもので、曲げ変形を平均化して表していることから、そのような曲率の違いが生じたと考えられる。



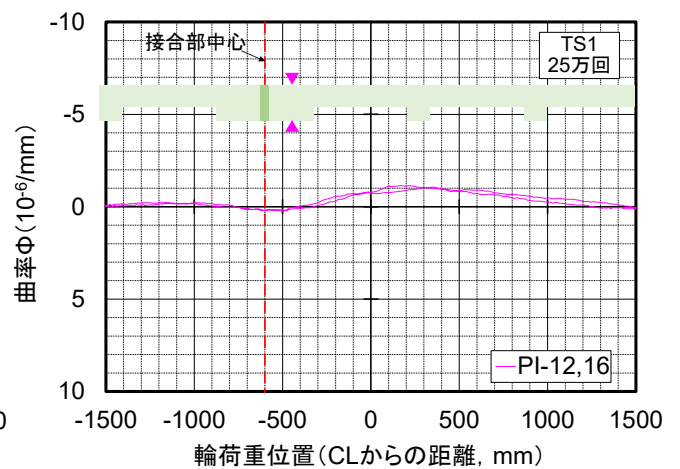
(a) CL-600mm, 25万回時



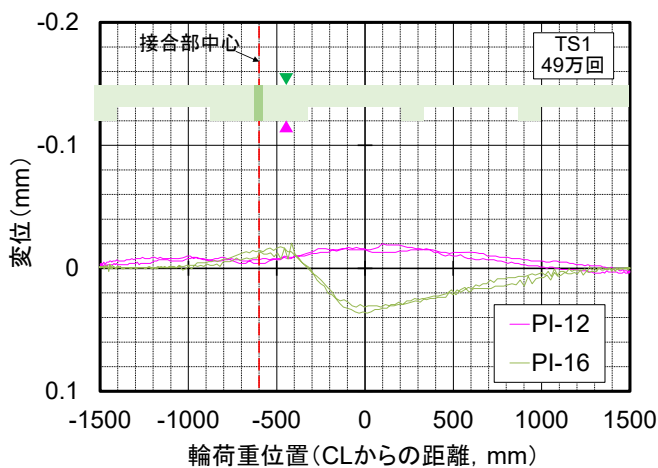
(a) CL-600mm, 25万回時



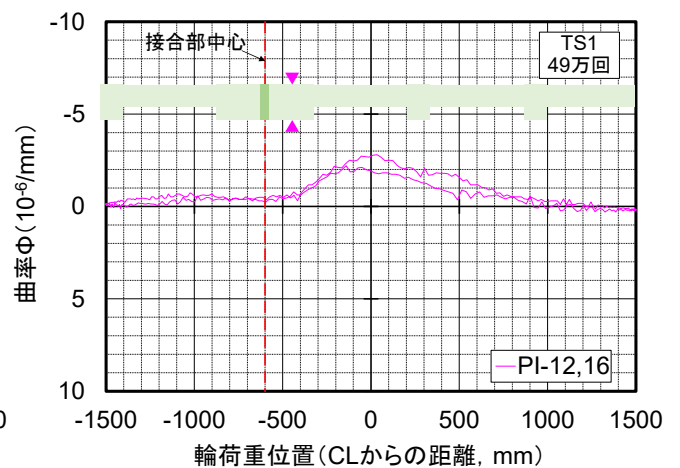
(b) CL-450mm, 25万回時



(b) CL-450mm, 25万回時



(c) CL-450mm, 49万回時

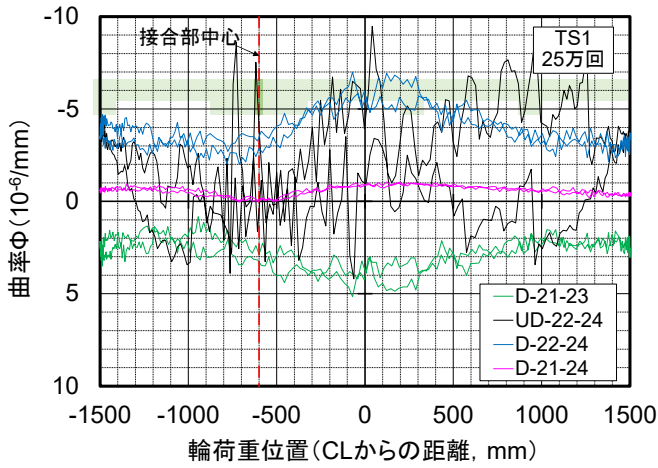


(c) CL-450mm, 49万回時

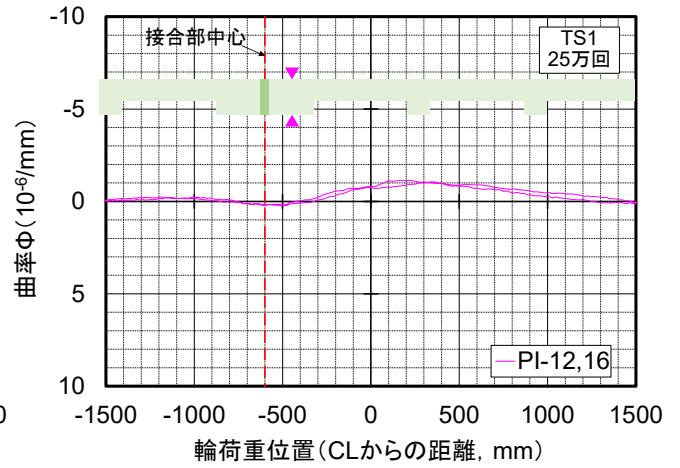
注) 残留変位はCL±1500mmの位置に輪荷重があるときの平均変位とした場合。

図-1.7.2.1 接合部のパイ型変位計による変位 (TS1, DT データ, 残留変位を除いた値)

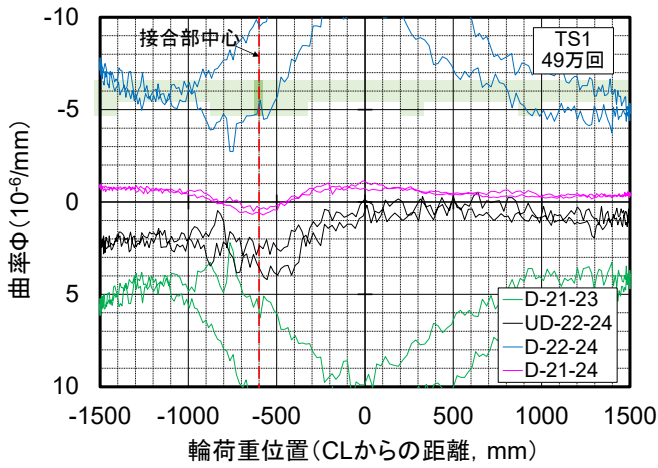
図-1.7.2.2 パイ型変位計による接合部の曲率 (TS1, DT データ, 残留変位を除いた値)



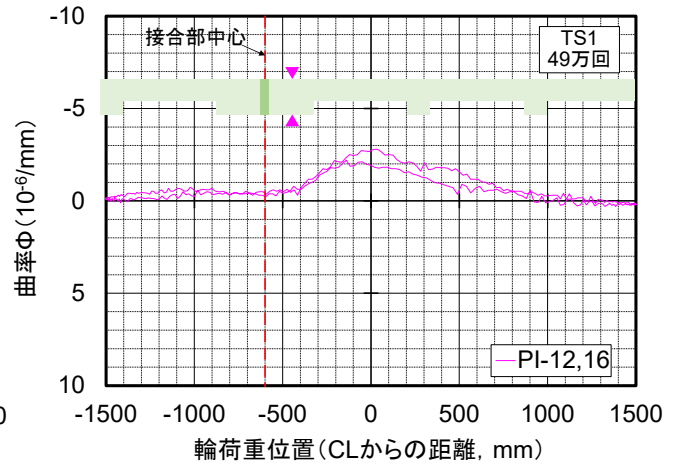
(a) CL-350~850mm, 25 万回時



(a') 比較再掲 パイ型変位計による曲率
(CL-450mm, 25 万回時)



(b) CL-350~850mm, 25 万回時



(b') 比較再掲 パイ型変位計による曲率
(CL-450mm, 49 万回時)

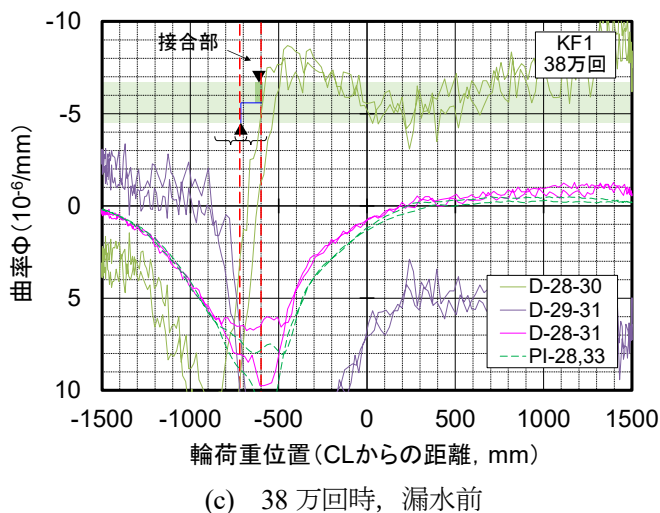
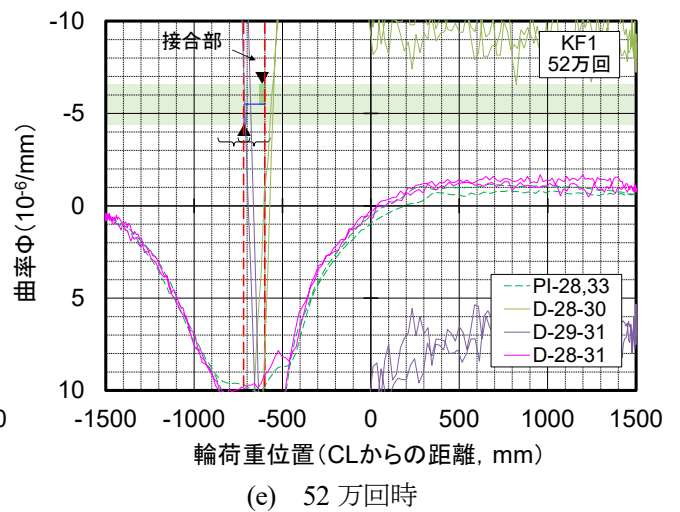
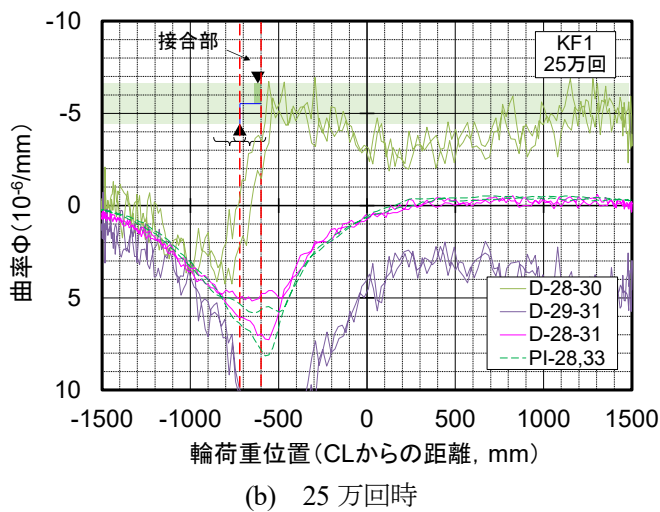
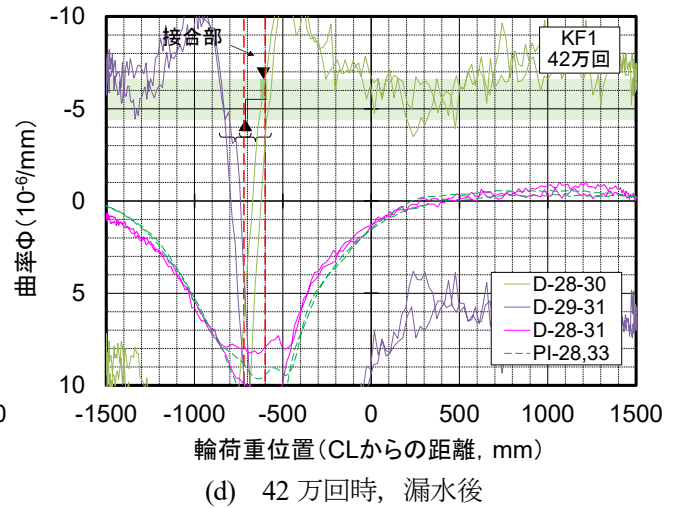
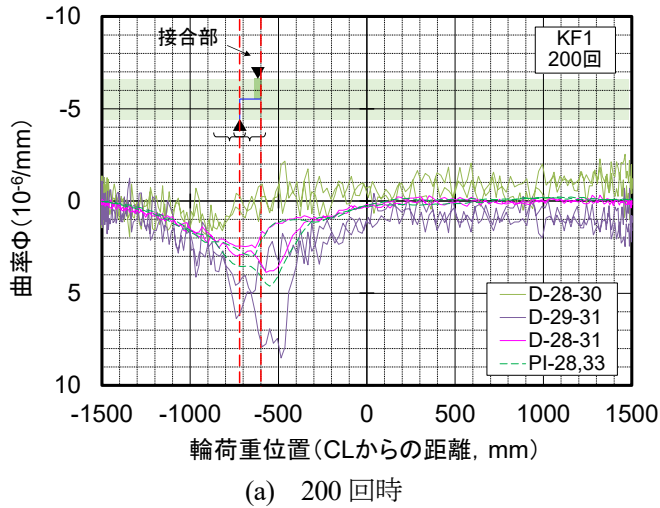
注) たわみの残留変位は直近除荷時の値とした場合。

図-1.7.2.3 たわみによる接合部の曲率

(TS1, DT データ, 残留変位を除いた値)

(2) 供試体 KF1

図-1.7.2.4 に、供試体 KF1 について、輪荷重走行位置中心から直角方向に約 330mm（たわみは約 360mm）離れた位置で、接合部の上下に設置したパイ型変位計による曲率とたわみによる曲率を併せて示す。供試体 KF1 の接合部は、上縁の間詰部の位置（CL-640～600mm）と下縁の隙間の位置（CL-720mm）が異なっていたことから、上縁のパイ型変位計 PI-33 の設置位置（CL-620mm）と下縁の PI-28 の設置位置（CL-720mm）が異なっていたが、ここでは、これらの PI-28 と PI-33 のデータを用いた。たわみによる曲率のうち、CL-540～900mm の範囲における 4 本の変位計 D-28～31 のたわみは、パイ型変位計による曲率と概ねよく一致している。同図(a)～(e)は、繰返し数が 200, 25 万, 38 万, 42 万, 52 万回での結果をそれぞれ示す。供試体 KF1 では、40 万回で荷重を上げてから接合部の漏水が見られるようになったことから、その前後の 38 万回, 42 万回の結果も示した。供試体 KF1 のパイ型変位計による曲率は 52 万回で $-1 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であり、漏水発生前後の 38～42 万回の曲率は $-0.5 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であった。供試体 KF1 の接合部は、プレキャスト部に比べて断面が 1/2 の部分があることから、輪荷重が接合部の 1/2 断面付近の上に載ったときに大きい曲率の正曲げが生じていた。



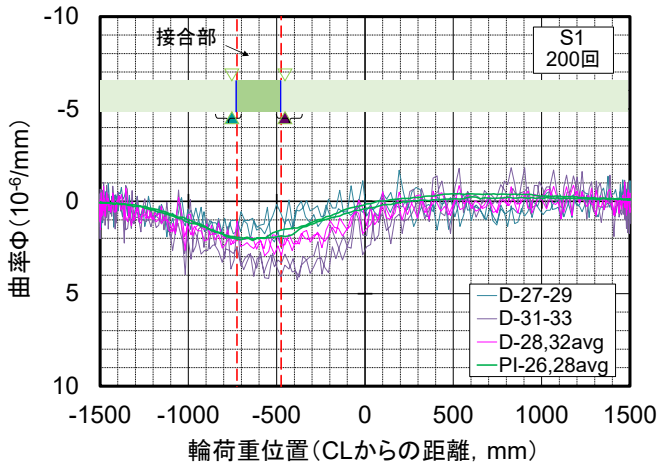
- 注1) 上縁パイ型変位計はCL-620mm, 下縁はCL-720mmにおけるデータを用いた。
- 注2) たわみ変位計はCL-540~900mmのデータを用いた。
- 注3) D-28-31は, たわみ変位計D-28~31の結果による曲率であり, D-28-30とD-29-31それぞれの曲率を平均した値を示す。

図-1.7.2.4 パイ型変位計及びたわみによる接合部の曲率
(KF1, DT データ, 残留変位を除いた値)

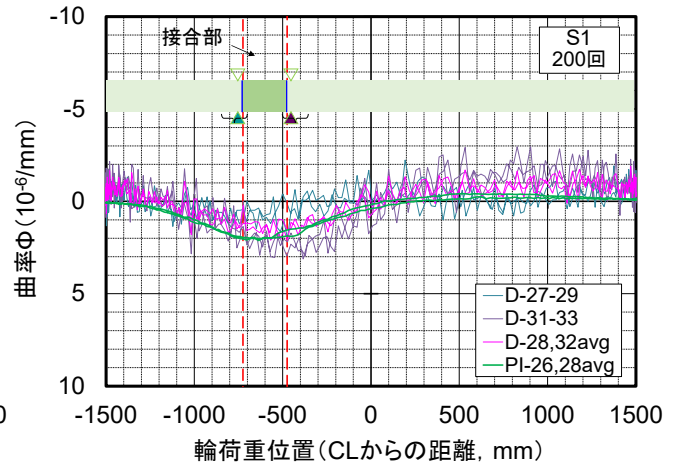
(3) 供試体 S1

図-1.7.2.5 に、供試体 S1 について、輪荷重走行位置中心から直角方向に 330mm（たわみは約 360mm）離れた位置で、接合部の上下に設置したパイ型変位計による曲率とたわみによる曲率を併せて示す。供試体 S1 の接合部の打継目は 2 箇所あり、それぞれの打継目を跨ぐ位置のパイ型変位計 PI-26, 28 の上縁、下縁のデータとそれぞれ直上のパイ型変位計によるデータを用いて、2 箇所の平均値を示した（図中の PI-26, 28avg）。たわみによる曲率は、CL-250～500mm の 3 本と CL-700～950mm の 3 本のデータからそれぞれ曲率を求め、その平均値を示した（図中の D-28, 32avg）。同図(a)～(c)は、繰返し数が 200, 25 万, 41 万回の時の結果をそれぞれ示す。供試体 S1 では、変位による曲率のばらつきがパイ型変位計による値に比べて大きい傾向が見られる。供試体 S1 では、4 万回で接合部の漏水が見られ、パイ型変位計による負曲げの曲率は 25 万回でも概ね $-1 \times 10^{-6}/\text{mm}$ であった。試験終了直前の 41 万回での負曲げの曲率は $-2 \sim -3 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であった。

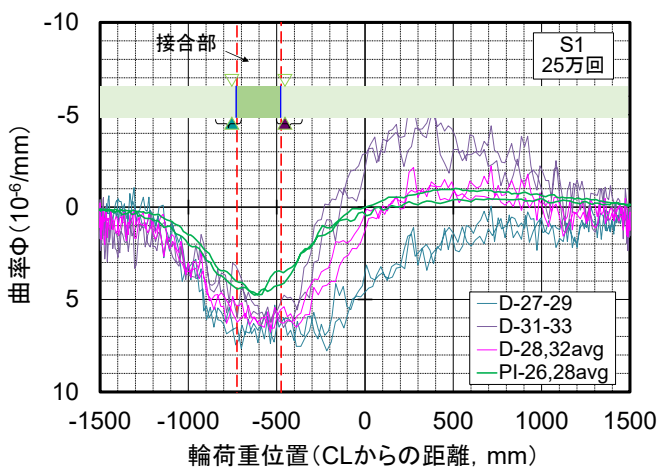
たわみによる曲率を計算するにあたり、同図(a)～(c)は変位を $\pm 1500\text{mm}$ 時の平均変位でゼロ補正した場合（補正 1）の結果であったが、参考として同図(d)～(f)は変位を除荷時の変位でゼロ補正した場合（補正 2）の結果をそれぞれ示した。同図(d)～(f)も全体の傾向は図(a)～(c)とそれぞれ同様であるが、25 万回時の補正 1, 2 を比べると、たわみによる負曲げの曲率のピーク値で $1 \sim 2 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度の差が見られた。



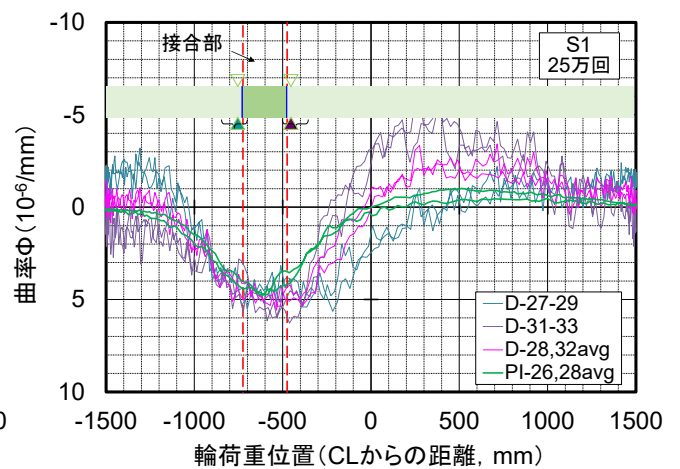
(a) 200回時, 補正1



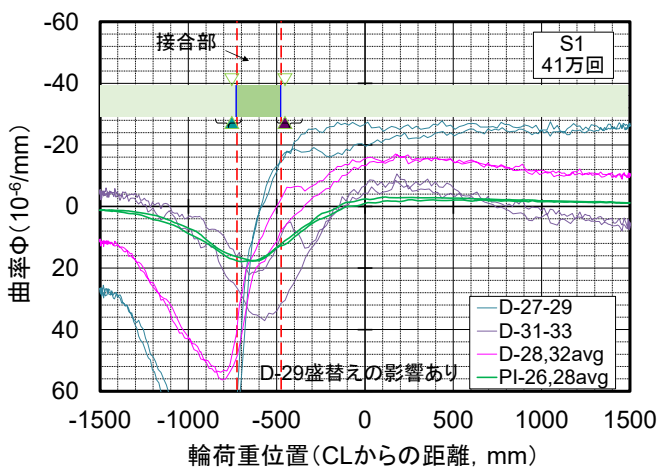
(d) 200回時, 補正2



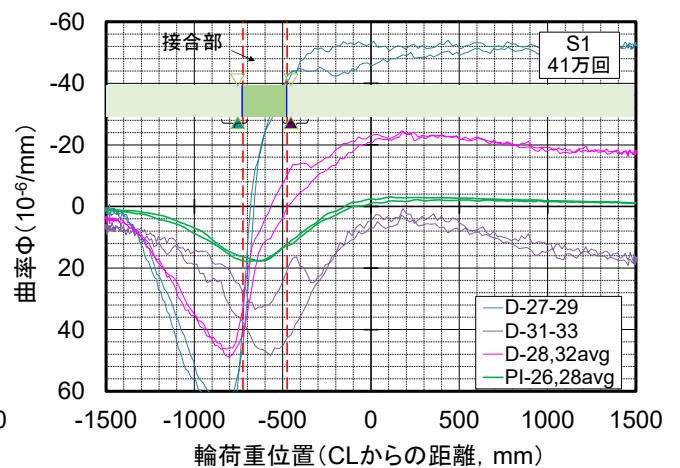
(b) 25万回時, 補正1



(e) 25万回時, 補正2



(c) 41万回時, 補正1



(f) 41万回時, 補正2

注1) パイ型変位計はCL-475mm, CL-725mmの平均値とした(PI-26,28avg)。

注2) たわみ変位計はCL-250~500mmとCL-700~950mmのデータを用いた。D-28,32avgはその平均値。

補正1は±1500mm時の平均変位でゼロ補正した場合, 補正2は除荷時の変位でゼロ補正した場合。

図-1.7.2.5 パイ型変位計及びたわみによる接合部の曲率

(S1, DTデータ, 残留変位を除いた値)

参考文献

- 1) 川間重一, 内田賢一, 西川和廣: 既設 RC 床版の階段状荷重漸増載荷における疲労耐久性評価手法に関する検討, 第 55 回土木学会年次学術講演会概要集, CS-257, 2000.9.
- 2) 小坂崇, 金治英貞, 一宮利通, 藤代勝: 床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 569-574, 2017.10.
- 3) 田中良樹, 村越潤, 長屋優子, 吉田英二: 鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性に関する最近の研究, 土木技術資料, 56-3, pp.30-35, 2014.3.
- 4) 石川, 金尾, 宮崎, 吉本, 松井: 高強度軽量繊維コンクリートを用いた道路橋床版の開発研究, 第 11 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2020.
- 5) 松井繁之: 道路橋床版/設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.
- 6) 独立行政法人土木研究所, 株式会社東京測器研究所: コンクリート打継目のずれセンサーに関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 第 448 号, 2013.
- 7) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), 2004
- 8) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 2018
- 9) 小尾博俊: 移動輪荷重を受けるコンクリート系床版の疲労耐久性に関する解析的基礎検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.2, pp.889-894, 2022.
- 10) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版に関する技術評価報告書, 技術推進ライブラリーNo.17, 2015.7.
- 11) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリート「サクセム」の技術評価報告書, 技術推進ライブラリーNo.3, 2006.11.
- 12) 岩里, 越野, 齋藤, 一宮, 藤代, 熊部: 上下線一体合成鈹桁橋への平板型 UFC 床版の適用—阪神高速 12 号守口線床版取替え工事—, 橋梁と基礎, 2021.9.

2. プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験

2.1 概要

プレキャスト床版の開発では、一体性、耐久性、施工性の観点で、さまざまな工夫が行われている。しかし、接合部の改善に向けて工夫する度に輪荷重走行試験を行うことは、コスト、時間ともに効率が悪く、ひいては開発の停滞や検討不十分につながるものが懸念される。このことから、プレキャスト床版の接合部の簡易な検討方法として、前掲の輪荷重走行試験の供試体と同様の接合構造について、はり試験も実施した。また、路面水の浸入に対する照査法を考えるため、負曲げでの静的載荷試験とした。

はり供試体の形状寸法、鋼材配置、載荷位置など、供試体製作や試験方法について共通ルールを作成した上で、各者でそれぞれの床版供試体を切り出した形のはり供試体を3体ずつ計12体製作し、負曲げとなるよう上下反転して4点曲げの載荷試験を実施した。試験中、変位計によるたわみ、パイ型変位計による平均ひずみ、ずれセンサによる打継目の開きなどを測定した。なお、はり試験では載荷中に水張りしていない。

以上の12体のほかに、高強度FRC部材接合部の改善の可能性を確認するため、ジグソー形式の接合部を有するFRCはり供試体2体を追加して製作し、同様の負曲げ試験を行った。

本章では、これらの接合部を有するFRCはり接合部の負曲げ載荷試験の結果をまとめる。併せて、各供試体のはり試験における曲げ挙動について、ファイバーモデルによる計算結果も示す。試験及び計算の結果を踏まえて、接合部の構造特性、接合部の曲率について述べる。また、これらのはり試験や直接引張試験の結果を踏まえて、高強度FRC床版接合部の改善の方向性について述べる。

2.2 試験方法

2.2.1 はり試験の基本構成

路面水浸入に対する評価を簡易に行うためのはり試験は、次の点を踏まえて基本構成を考えることとした。

- 負曲げの下での接合部の挙動を把握するため、はり供試体は、プレキャスト床版のプレキャスト部及び接合部を有し、かつ実物大とする。ここでの負曲げは、第I編図-2.2.1に示した、走行直角方向に打継目を有する接合部に生じるものを想定している。
- 様々な接合構造に対応できる試験法とするため、4点曲げとし、純曲げ区間に接合部を配置する。
- 輪荷重走行試験より格段に簡素な試験とし、比較的低コストで実施できる。
- プレキャスト部の主構造、接合構造ともに、材料、物性は実際に用いるものと同じとする。

2.2.2 供試体

はり供試体の主な諸元一覧を表-2.2.2.1に示す（詳細は2.3～2.6に示す）。供試体 TS1, KF1, S1 の材料、接合構造は前掲表-1.2.1.1に示した床版供試体と同じであり、はり試験では供試体 KJ を加えた。数量は打継目の付着性状のばらつきを考慮してそれぞれ3体とした。はり供試体は、第I編3.2.2に示した共通ルールに従って、各者が提案するプレキャスト床版から主として接合部周辺の軸方向の構造を切り出したような形状とした。また、使用材料、打継目の処理、プレストレスなども床版供試体と同じである。はり供試体も床版供試体と同様に、各者で供試体を製作した。プレキャスト部、接合部ともに各者の任意の場所で製作した。

表-2.2.2.1 はり供試体の主な諸元

供試体名	床版形式	一般部（プレキャスト本体）			接合部*3			繊維種類	備考
		主材 (いずれも FRC)	圧縮強度 [引張強度*1] (N/mm ²)	鋼材	間詰材 (いずれも FRC)	圧縮強度 [引張強度*1] (N/mm ²)	鋼材		
TS1	リブ付き床版	UFC	205 [14.2, 14.3]	二方向 PC*2	UHPFRC*4	179 [12.3, 13.1]	アンボンド PC*2	鋼	—
KF1	平板型	高強度繊維補強 軽量コンクリート	61.2 [2.8, 3.0]	SD345	高強度繊維補強 軽量コンクリート	106 [4.9, 5.8]	SD345	有機	—
S1	平板型	超高強度繊維 補強モルタル	151 [7.9, 8.2]	SD345	超高強度繊維 補強モルタル	153 [5.8, 6.0]	SD345	有機	—
KJ	平板型	UFC	185 [11.1, 11.4]	二方向 PC	UHPFRC*4	170 [9.1, 10.1]	一方向 PC*2	鋼	はり試験のみ

注) B は計画変更のため欠番。

*1) 引張強度は直接引張試験によるひび割れ発生時の値(左)と最大荷重時の値(右)を示す。

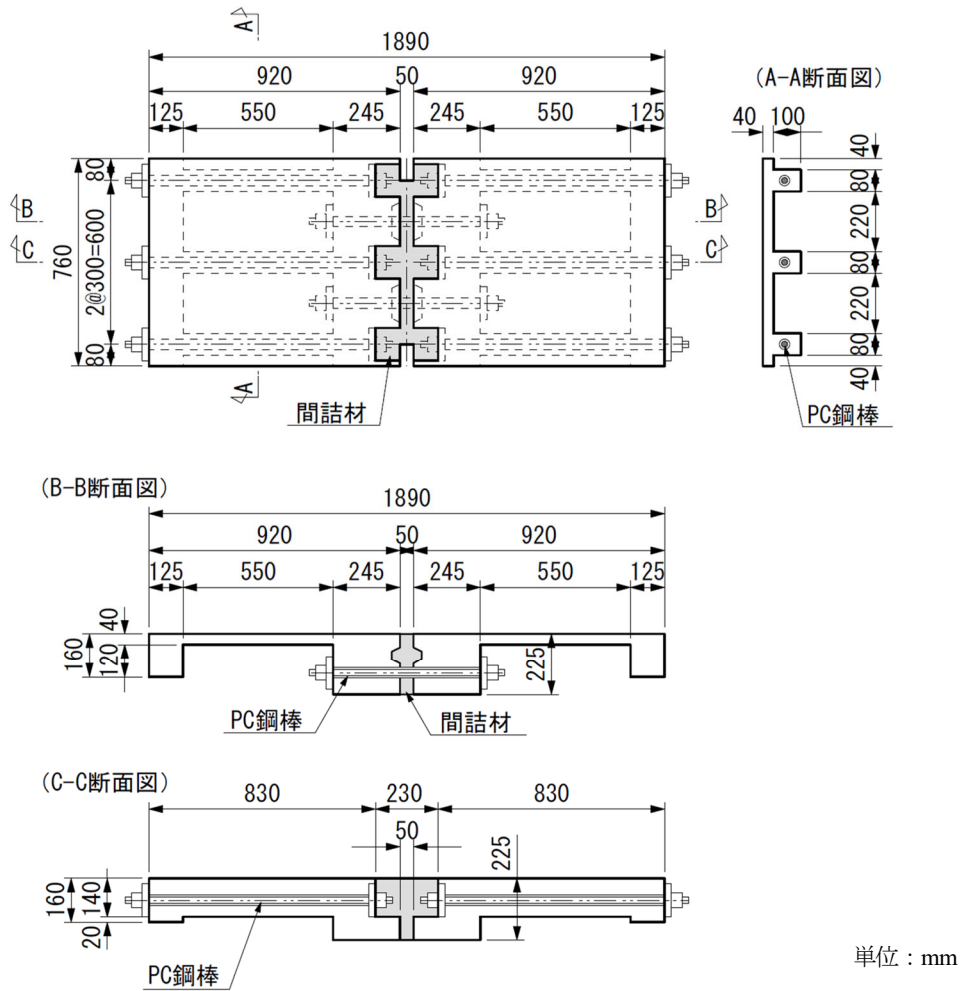
*2) 鋼材種類は2.3節に示す。

*3) 接合部のうちプレキャスト部材端以外の材料について示す。

*4) UHPFRC：蒸気養生を要せず現場施工可能な、超高強度 FRC。

(1) TS1

はりの曲げ載荷試験に用いた供試体の形状を図-2.2.2.1 に示す。供試体の寸法は、橋軸方向が 1.89m、橋軸直角方向が 0.76m であり中央に接合部が設けられている。なお、接合部の幅は実際の床版接合部に設置する PC 鋼棒 2 本分の分担幅に合わせるため、両端部に非接触部を設けて 600mm とした。



単位：mm

図-2.2.2.1 供試体 TS1 の形状寸法

(2) KF1

梁曲げ载荷試験に用いた供試体の形状を図-2.2.2.2 に示す。供試体は継手部を 320mm とし、橋軸方向を 320mm×3+縁端 (100mm×2) =1160mm とした。橋軸直角方向の配筋が交互に配置している為、2本ずつとなるように配置し、橋軸直角方向を 440mm とした。

単位：mm

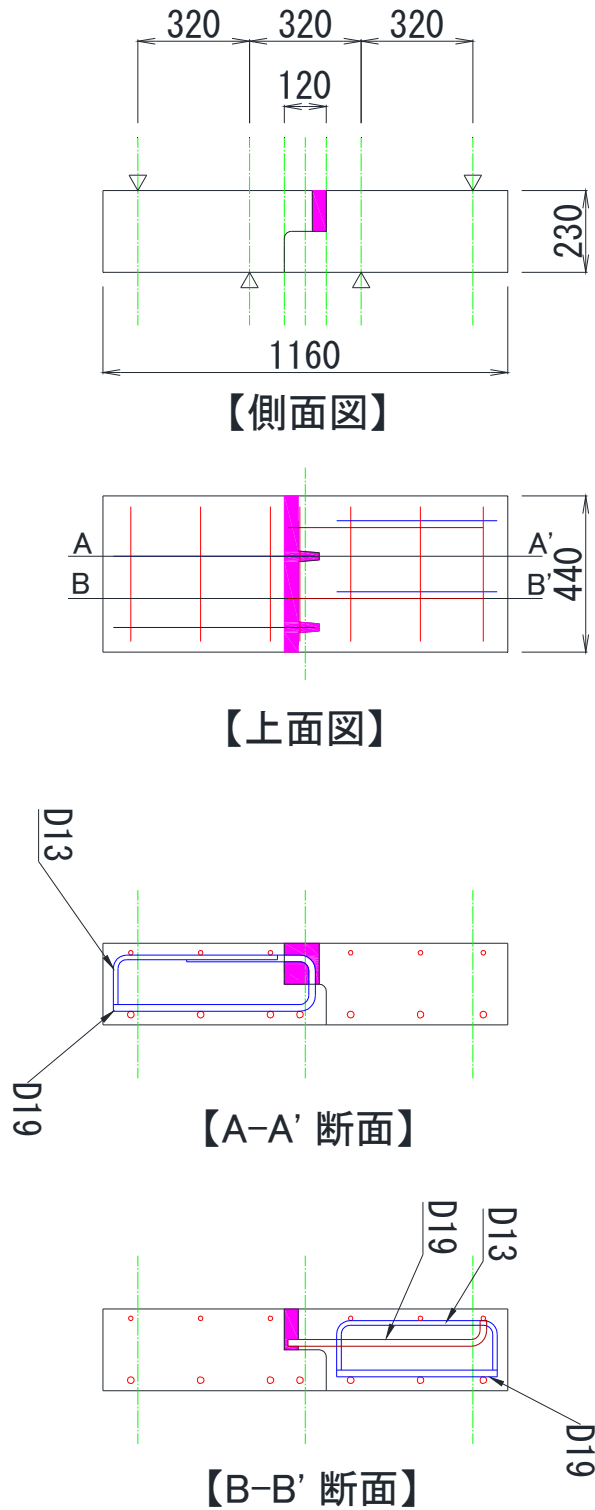


図-2.2.2.2 供試体 KF1 の形状寸法

(3) S1

本試験で使用した FRC の使用材料・配合は表-2.2.2.2, 表-2.2.2.3 の通り, 輪荷重走行試験と同様とした。打込み後は試験日まで現場気中養生とした。表-2.2.2.4 に供試体と同一養生を行った試験片の圧縮強度試験結果を示す。ただし試験は輪荷重試験日直前に実施した。また, 別途弾性係数, ポアソン比, および直接引張試験を実施した結果をそれぞれ表-2.2.2.5, 表-2.2.2.6 に示す。

鉄筋は全て SD345 を使用した。表-2.2.2.7 に使用した鉄筋の強度試験結果を示す。

RC 断面計算により供試体のひび割れ発生荷重, および鉄筋降伏耐力を算出した。ただし, FRC の引張強度, および鉄筋降伏耐力は材料試験結果の値とした。表-2.2.2.8 に計算結果を示す。

図-2.2.2.3 に S1 の供試体構造を示す。輪荷重走行試験の供試体と同様, 断面高さは 180mm, 配力鉄筋間隔 (はりの主鉄筋間隔) は 125mm とした。配筋は上側鉄筋として D16 を 2 本, 下側鉄筋として D19 を 2 本としたが, 床版における負曲げの影響を確認する為, はりを上下反転して載荷 (下面から載荷) した。

接合部の構造はプレートナットによる継手とし, 左右 2 本ずつ飛び出した鉄筋が千鳥に配置される構造とした。また, 接合部界面は鉛直打継目処理用樹脂シートによる凹凸模様を設けた。

表-2.2.2.2 FRC の使用材料

種類	記号	仕様
結合材	B	低熱ポルトランドセメント+シリカフューム
骨材	S	5号珪砂
補強繊維	F	PVA 繊維, 繊維長 12mm, 繊維径 0.2mm
混和剤	A	専用混和剤
膨張材	E	石灰系膨張材

表-2.2.2.3 FRC 配合

$(W+A)$ /B (%)	単位量 (kg/m ³)					
	水 W	結合材 B	骨材 S	補強繊維 F	混和剤 A	膨張材 E
16	201	1480	629	22.5	38	20

表-2.2.2.4 強度試験結果 (FRC)

		各値(N/mm ²)			平均(N/mm ²)
一般部	1 バッチ目	135	137	144	139
	2 バッチ目	142	128	120	130
	3 バッチ目	141	135	145	140
	4 バッチ目	134	132	136	134
	5 バッチ目	135	127	135	132
	6 バッチ目	134	132	134	133
接合部		151	148	156	150
		157	140	159	
		152	136	153	

表-2.2.2.5 強度試験結果(弾性係数, ポアソン比) (FRC)

	圧縮強度 (N/mm ²)		弾性係数 (kN/mm ²)		ポアソン比	
	各値	平均	各値	平均	各値	平均
一般部	150	151	38.5	38.9	0.247	0.237
	145		39.1		0.232	
	159		39.1		0.236	
接合部	154	153	41.9	41.8	0.228	0.227
	147		41.6		0.228	
	157		42.0		0.226	

表-2.2.2.6 強度試験結果(直接引張試験) (FRC)

	各値 (N/mm ²)			平均 (N/mm ²)
一般部	8.42	7.87	8.23	8.17
接合部	6.14	6.44	5.36	5.98

表-2.2.2.7 強度試験結果 (鉄筋)

種別	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)	弾性係数 (kN/mm ²)
D19, SD345	402	583	24.1	189
D16, SD345	382	577	23.6	194

表-2.2.2.8 耐力計算結果

	項目	値
ひび割れ発生	FRC 引張強度	8.2N/mm ²
	作用曲げモーメント	13.7kN・m
	載荷荷重	49.7kN
鉄筋降伏	鉄筋降伏強度 (D19)	402N/mm ²
	鉄筋降伏強度 (D16)	382N/mm ²
	作用曲げモーメント	20.7kN・m
	載荷荷重 (上面から載荷)	90.3kN
	載荷荷重 (負曲げ, 下面から載荷)	75.2kN

平面図(上面)

平面図(下面)

側面図

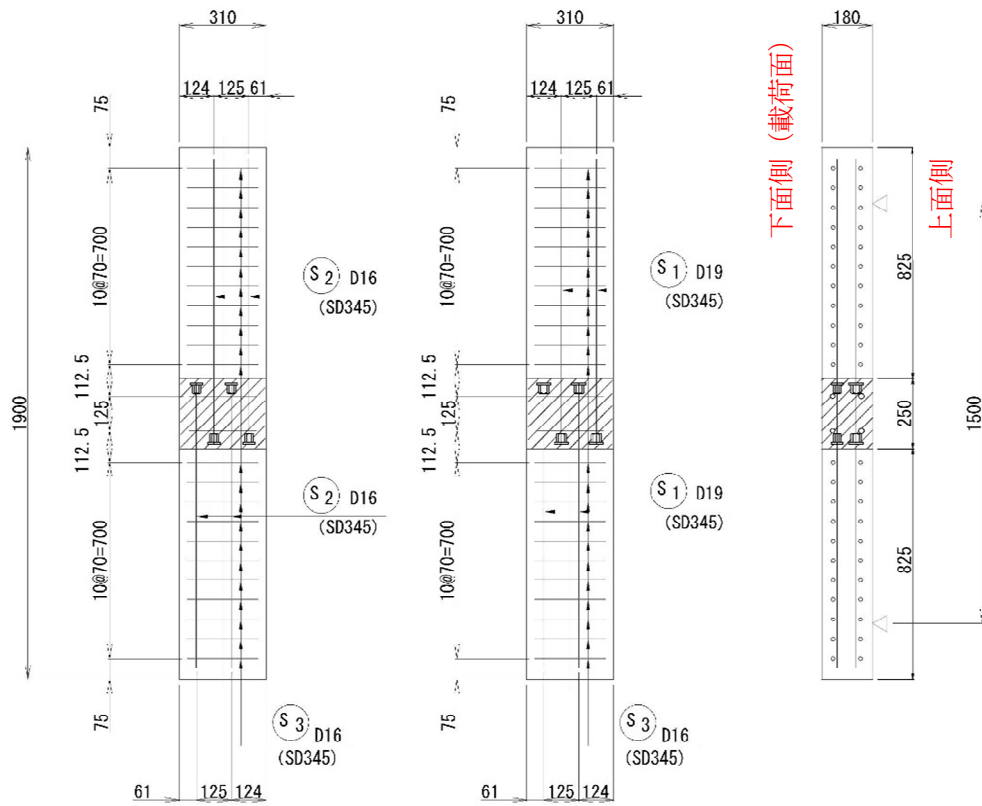


図-2.2.2.3 供試体 S1 の形状寸法 (単位 : mm)

(4) KJ

平板型 UFC 床版は、橋軸直角方向にはプレテンション方式で、橋軸方向にはポストテンション方式で、2方向にプレストレスを導入する構造である(図-2.2.2.4~6)。試験体は、ポストテンション方式 PC 鋼材 1 本分を切り出したはり構造とし、接合部を中央に配置するものとした。試験体図面を図-2.2.2.7 に示す。試験体は、長さ 1,000mm×幅 290mm×高さ 140mm の UFC ブロックを間詰め UHPFRC および緊張・グラウトによって接合し、長さ 2,020mm×幅 290mm×高さ 140mm の梁部材とした。試験体は計 3 体製作した。

床版部と間詰め部の配合表を表-2.2.2.9~10 に示す。床版部は、ポルトランドセメントとポゾラン材およびエトリンサイト生成系混和材で構成している。鋼繊維は、引張強度 2,000N/mm² 以上で直径が 0.2mm であり、長さ 15mm と 22mm を混合したものである。材料特性値は、圧縮強度 180N/mm² 以上、引張強度 8.8N/mm² を有する。間詰め部は、床版部の UFC と同じ材料マトリクスであり、鋼繊維量は充填性を考慮して、繊維長 15mm、1.50vol%とした。製作手順を図-2.2.2.8 に示す。床版部の型枠に UFC を流し込み、翌日脱型および 1 週間の 60℃給熱養生を実施した。養生後は 2 体の床版部に間詰め用型枠を設置し、UHPFRC を流し込んだ。UHPFRC の強度を確認後、1S28.6 緊張(緊張力: 444.1kN) およびグラウト充填によって 2 体の床版を接合することで、梁部材を製作した。床版部、間詰め部およびグラウトの各フレッシュ試験結果を表-2.2.2.11~13 に示す。床版部、間詰め部およびグラウトの各材料試験体採取本数を表-2.2.2.14 に示す。床版部、間詰め部およびグラウトの各強度試験結果を表-2.2.2.15 に示す。

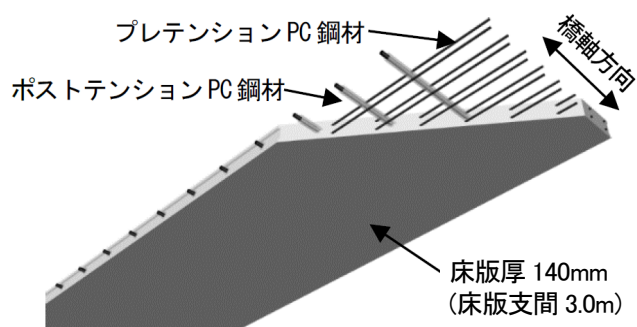


図-2.2.2.4 平板型 UFC 床版の構造

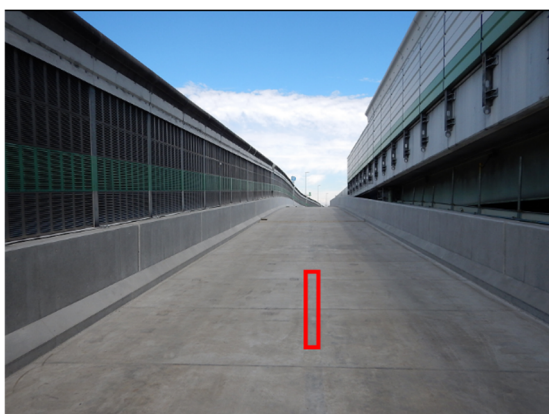
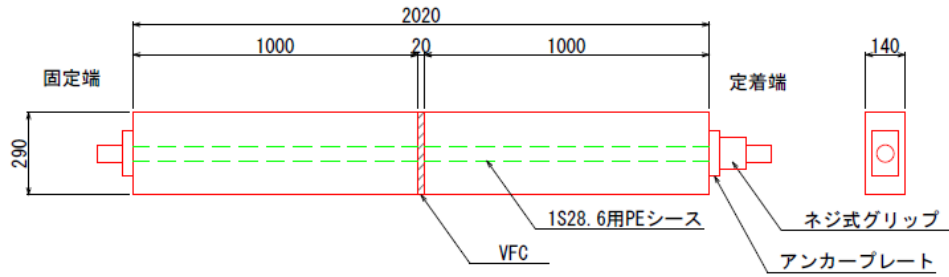


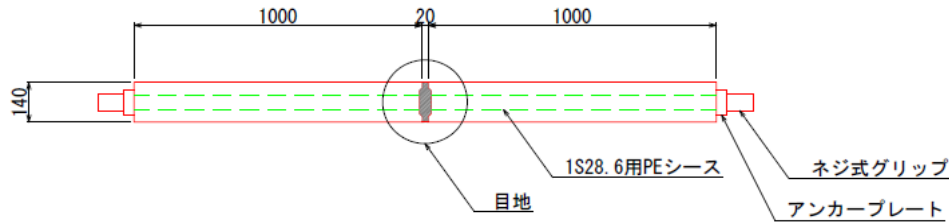
図-2.2.2.5 取替え後の UFC 床版



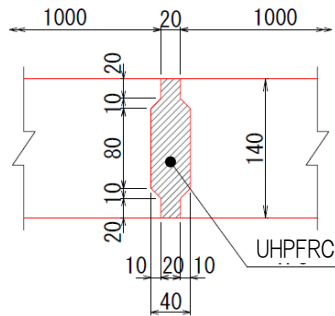
図-2.2.2.6 接合部のスポンジリング



(a)平面図



(b)側面図



(c)間詰部拡大図

単位: mm

図-2.2.2.7 試験体 KJ の形状寸法

表-2.2.2.9 UFC の配合

単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 ^{*3}
水 ^{*1}	結合材 ^{*2}	骨材	高性能減水剤	
195	1287	905	32.2	1.75vol.%

*1: 高性能減水剤中の水分を含む

*2: エトリンガイト生成系プレミックス結合材

*3: 繊維長 15mm および 22mm,

表-2.2.2.10 UHPFRC の配合

単位量 (kg/m ³)					鋼繊維 ^{*3}
水 ^{*1}	結合材 ^{*2}	骨材	高性能減水剤	収縮低減剤	
195	1287	905	32.2	12.9	1.50vol.%

*1: 高性能減水剤中の水分を含む

*2: エトリンガイト生成系プレミックス結合材

*3: 繊維長 15mm



(a)型枠



(b)型枠 (嵌合部)



(c)UFC 打込み状況



(d)間詰め型枠



(e)UHPFRC 打設



(f)緊張

図-2.2.2.8 製作手順



(g)グラウト



(h)試験体搬出

図-2.2.2.8 製作手順 (続き)

表-2.2.2.11 フレッシュ試験結果 (床版部)

	練上り温度 (°C)	モルタルフロー (mm×mm)	空気量 (%)
床版部 (UFC)	24.5	239×237	4.5

表-2.2.2.12 フレッシュ試験結果 (間詰め部)

	練上り温度 (°C)	モルタルフロー (mm×mm)	空気量 (%)
間詰め部 (UHPFRC)	26.3	206×204	4.7

表-2.2.2.13 フレッシュ試験結果 (グラウト材)

	練上り温度 (°C)	J14 漏斗 (s)
基準値	5~35	3.5~6.0
グラウト	27.5	5.0

表-2.2.2.14 強度試験体採取本数

—	強度試験	寸法	採取本数	備考
床版部 (UFC)	圧縮試験	φ100×200	12本	内3本は蒸気養生後に 鹿島技研で実施
	曲げタフネス試験	□100×400	4本	—
	一軸引張試験	□100×400 (ドッグボーン型)	6本	—
間詰め部 (UHPFRC)	圧縮試験	φ100×200	12本	内3本は緊張前に 鹿島技研で実施
	曲げタフネス試験	□100×400	4本	—
	一軸引張試験	□100×400 (ドッグボーン型)	6本	—
グラウト	圧縮試験	φ50×100	12本	内3本は材齢7日に 鹿島技研で実施

表-2.2.2.15 強度試験結果

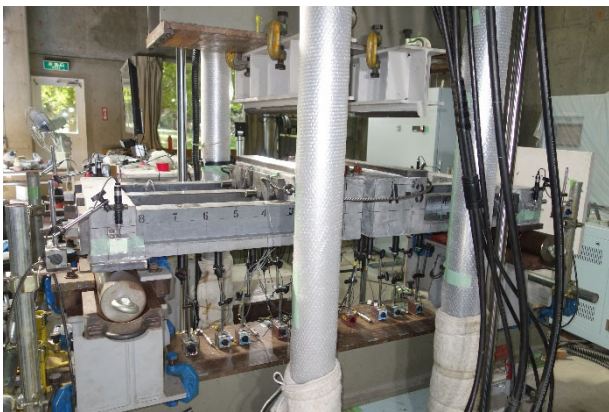
	圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)	
	1	2	1	2
床版部 (UFC) 蒸気養生後	1	196.1	1	43.2
	2	188.5	2	41.1
	3	188.3	3	44.0
	平均値	191.0	平均値	42.7
間詰め部 (UHPFRC) 材齢7日	1	132.3	1	40.7
	2	127.9	2	38.6
	3	130.7	3	39.0
	平均値	130.3	平均値	39.4
グラウト 材齢7日	1	89.5	1	22.0
	2	73.5	2	21.9
	3	90.3	3	19.9
	平均値	84.4	平均値	21.3

2.2.3 荷重方法

図-2.2.3.1 に各供試体の試験状況を示す。各者で製作した供試体を用いて、土木研究所の 500kN 疲労試験機で、単純支持、2点荷重として、静的での負曲げ荷重試験を実施した。3体のうち1体は、破壊に至るまで変位制御で荷重を加えた。残り2体は、打継目の割れが生じる程度までを目途に荷重した。

2.2.4 測定

荷重試験中、荷重、たわみ、コンクリート上下縁それぞれの軸方向ひずみ及びパイ型変位計を用いた平均ひずみを測定した。図-2.2.4.1 に、各供試体の鉛直変位計 CDP-25 及びパイ型変位計 PI-5 の設置位置を示す。その他、打継目の開きを確認するため、打継目を跨いで、ずれセンサを設置した。供試体 S1, KJ では、打継目の平面保持の状況を把握するため、側面にもパイ型変位計を設置した。上下縁に設置したパイ型変位計の基長は 150mm、側面のパイ型変位計の貴重は 100mm とした。以上のすべてのデータについて、デジタルデータレコーダを用いて 100 Hz で連続測定を行った。



(a)供試体 TS1



(b)供試体 KF

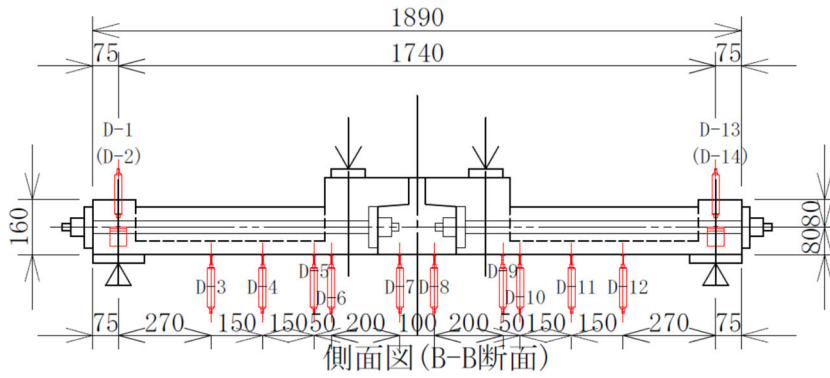


(c)供試体 S1

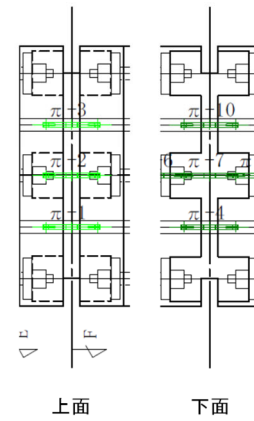
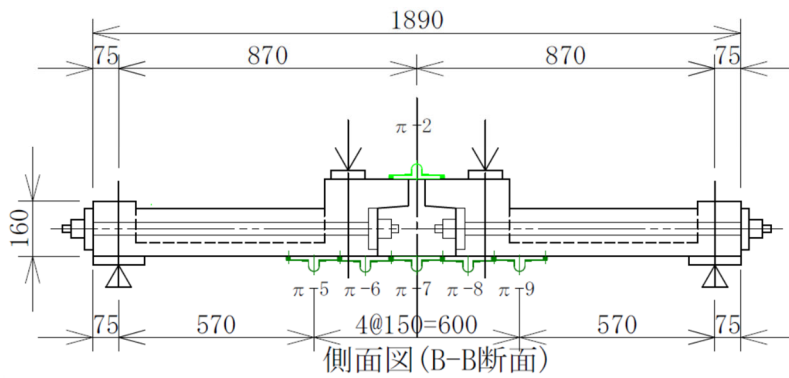


(d)供試体 KJ

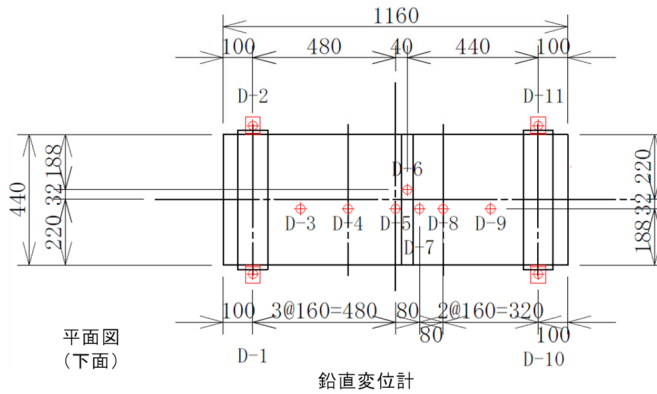
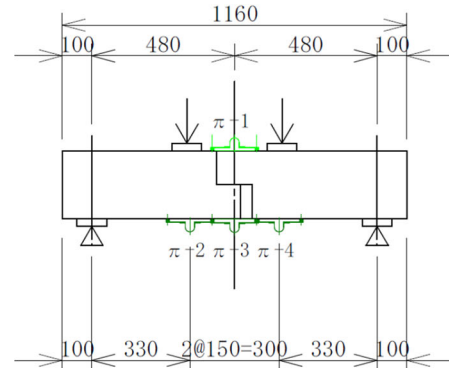
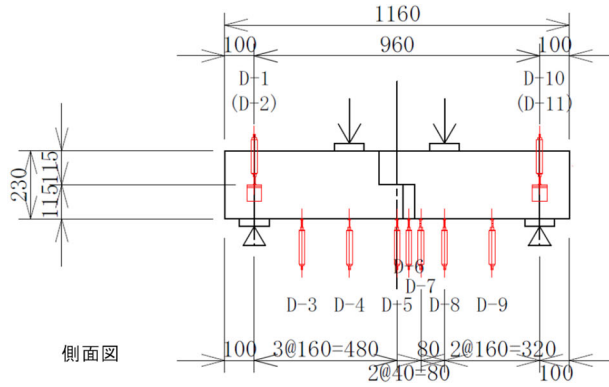
図-2.2.3.1 各供試体の試験状況



単位：mm



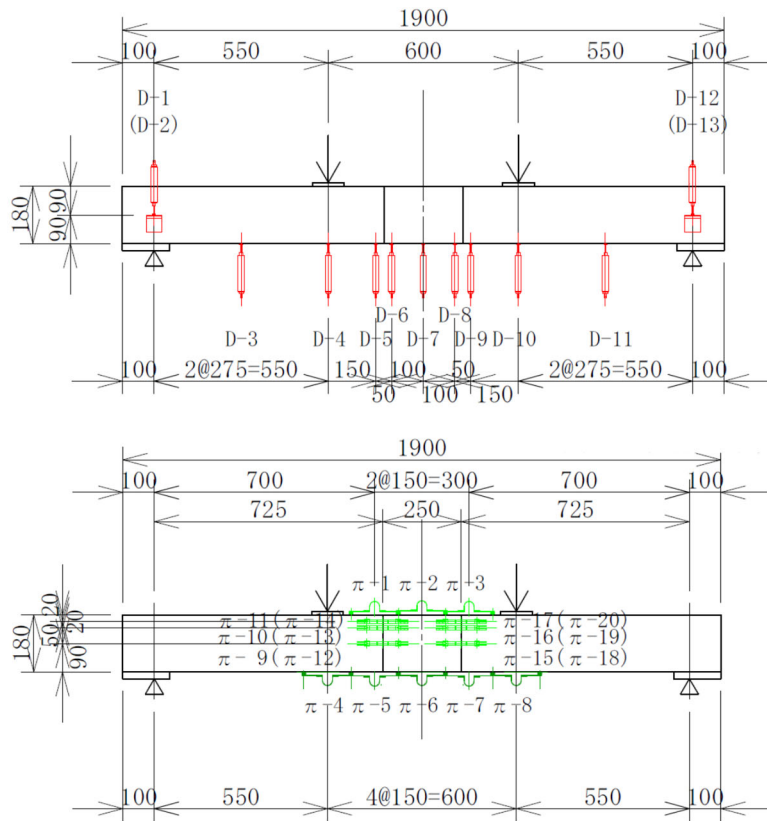
(a)供試体 TS1



単位：mm

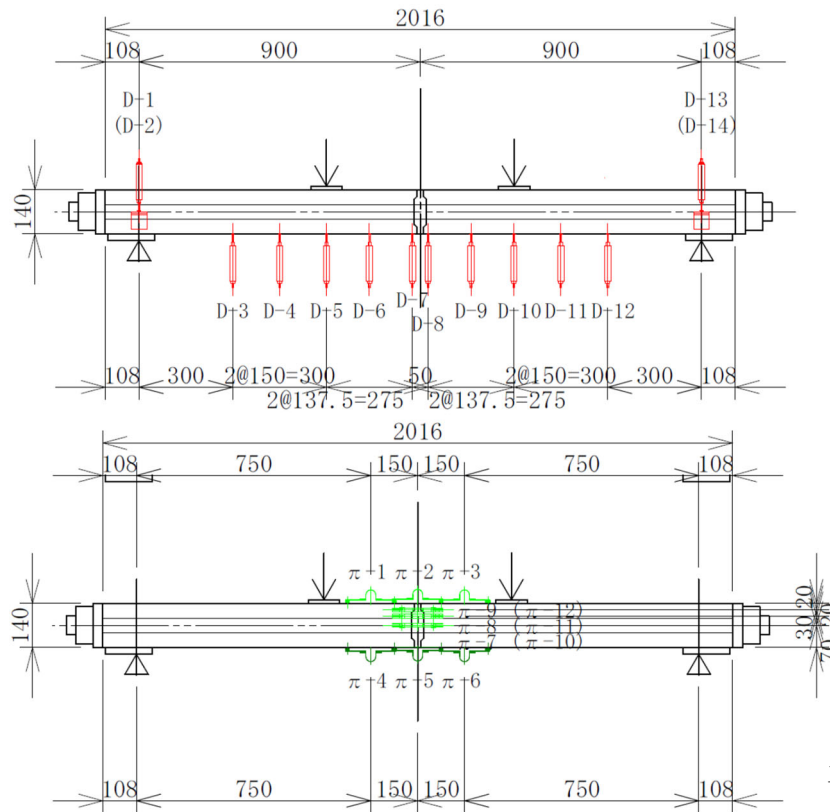
(b)供試体 KF1

図-2.2.4.1 各供試体の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置



単位：mm

(c)供試体 S1



単位：mm

(d)供試体 KJ

図-2.2.4.1 各供試体の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置 (続き)

2.3 供試体 TS1の結果

2.3.1 荷重－変位関係と破壊の過程

図-2.3.1.1 に荷重と試験体中央鉛直変位の関係を示す。はりの曲げ載荷試験は3体実施しており、試験時における供試体中央鉛直変位は最大で40mm程度である。荷重が170kNまでの範囲で3体の結果を比較するとほぼ同様の挙動を示していることが分かる。図-2.3.1.2は各荷重段階における鉛直変位分布である。図中のグレー太線は接合リブ部（225mm厚範囲）と一般部の断面変化部を示している。同図を参照すると、荷重が150kN程度までは接合リブ部がほぼ一体となって挙動しており、その後中央の目地部の変位（D-7,8）が増大する傾向が確認された（TS1-1）。

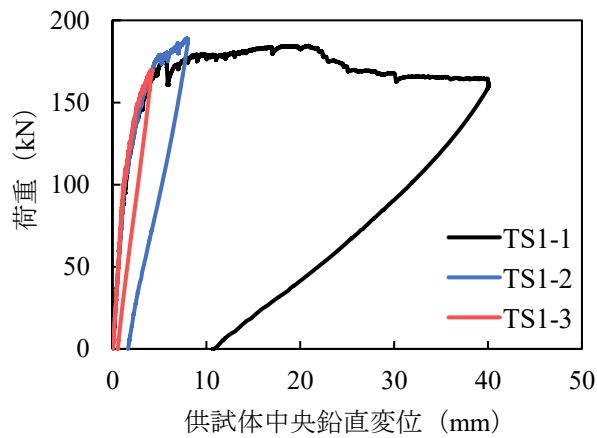


図-2.3.1.1 荷重と鉛直変位の関係

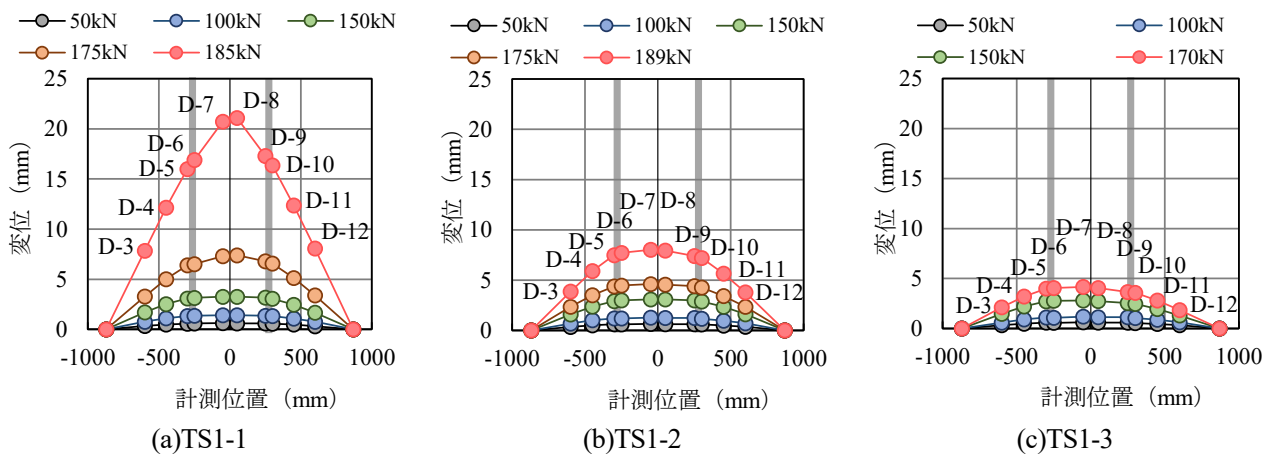


図-2.3.1.2 各荷重段階におけるはりの鉛直変位分布

図-2.3.1.3 に輪荷重走行試験における鉛直変位分布との比較結果を示す。図中、輪荷重走行試験の鉛直変位分布は、接合部の目地開き量が最大となる時点（走行回数 28.1 万回，図-1.3.3.3 参照）と載荷終了直前（走行回数 48.1 万回）の鉛直変位分布である。ただし、輪荷重走行試験における接合部の鉛直変位分布は、図-1.3.3.1 に示すとおり接合リブ部が一体となって傾いているため、はり曲げ試験の結果と比較するためには接合リブ部が水平となるよう補正が必要である。そこで、接合部中央の両脇（中央から 50mm 位置）に設置した変位計の結果が等しくなるよう各値の補正を行っている。図-2.3.1.3 によると、輪荷重走行試験時の変位分布は曲げ載荷試験における荷重 100kN 時の変位分布と同程度であり、載荷終了直前では断面変化部付近に変曲点を確認された。これは、輪荷重走行試験で接合部付近に負曲げが生じるのは断面変化部の外側に走行輪が位置している場合であり、その際曲げ剛性の大きい接合部付近では大きな変形やひび割れが生じることなく一体となって挙動したためと推察される。この傾向は、図-2.3.1.4 に示すひずみ分布にも表れており、間詰材にひび割れが生じるまでは断面変化部付近のひずみが先行して大きくなった。

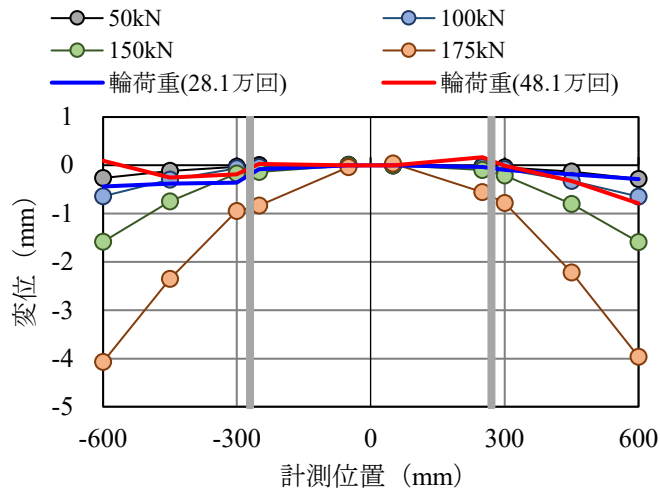


図-2.3.1.3 輪荷重走行試験結果との鉛直変位分布比較

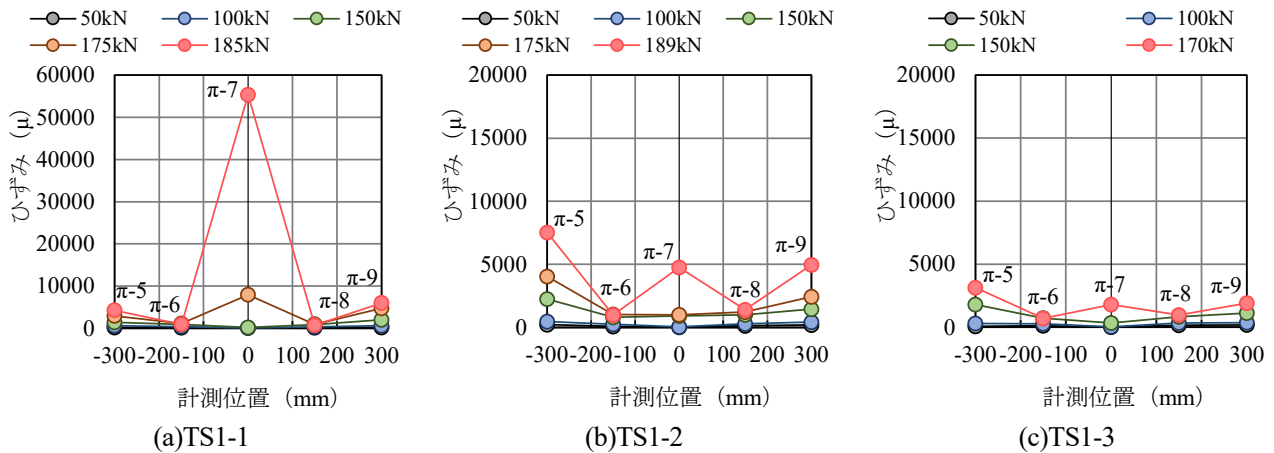


図-2.3.1.4 各荷重段階におけるはりの平均ひずみ分布

2.3.2 接合部の挙動

図-2.3.2.1～図-2.3.2.3 に本体と間詰材打継部における目開き量の推移を、図-2.3.2.4 に接合部に配置した PC 鋼棒のひずみ（2本の平均）を示す。荷重の増大とともに目開き量も大きくなるが、荷重 150kN 付近までは PC 鋼棒のひずみに変化が生じていないことが分かる。これは、PC 鋼棒周りにグラウトを充填していないこともあり、目地部の開きが小さい段階では PC 鋼棒に接合部変形の影響が及ばなかったためと推察される。

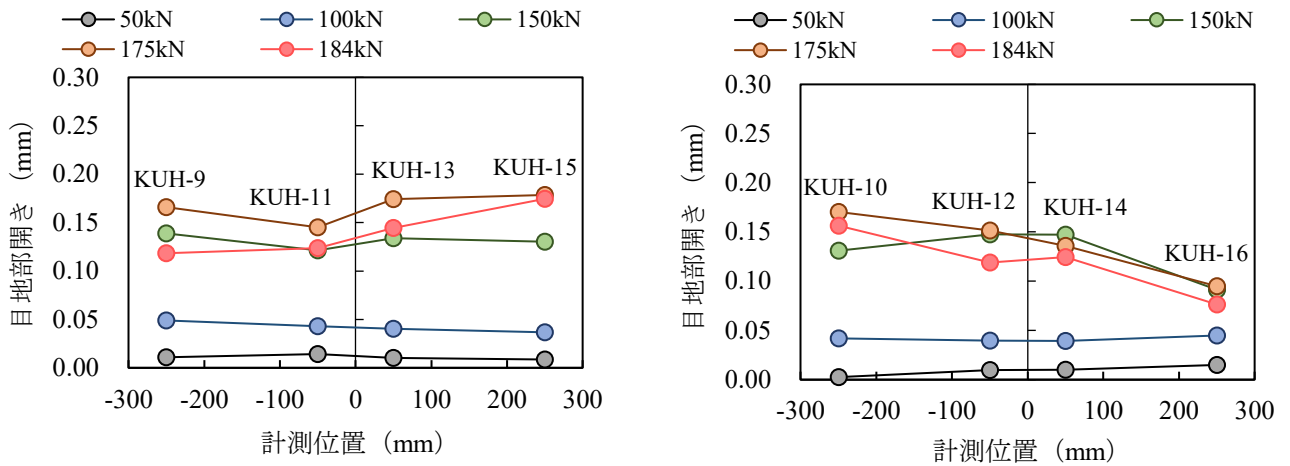


図-2.3.2.1 下面デッキ側目開き量の推移 (TS1-1)

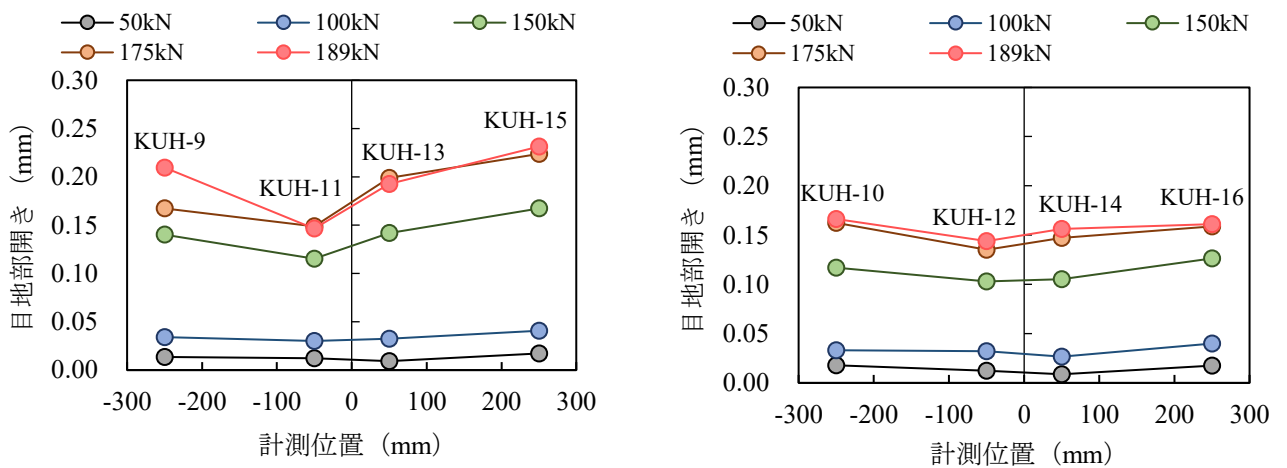


図-2.3.2.2 下面デッキ側目開き量の推移 (TS1-2)

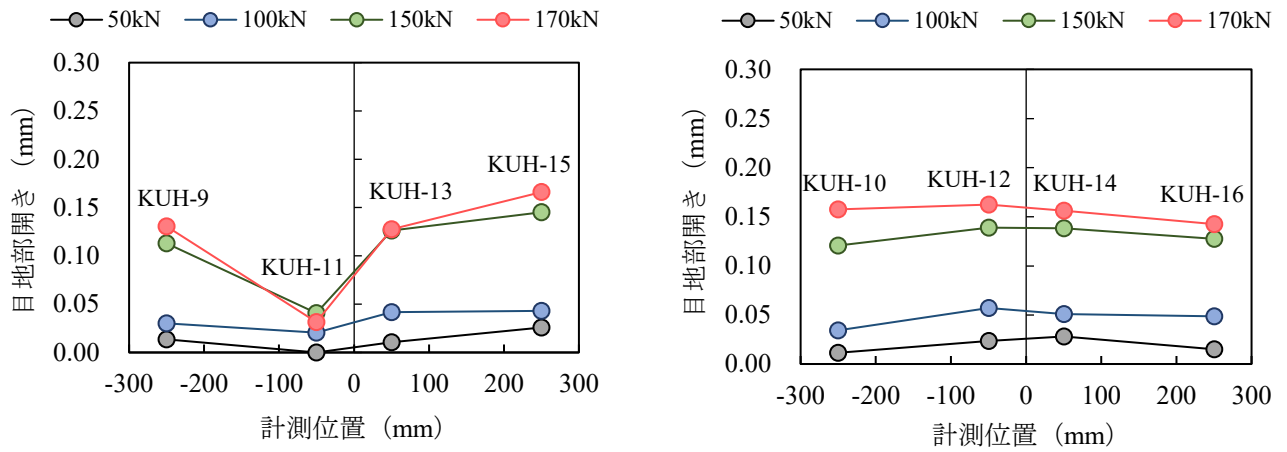


図-2.3.2.3 下面デッキ側目開き量の推移 (TS1-3)

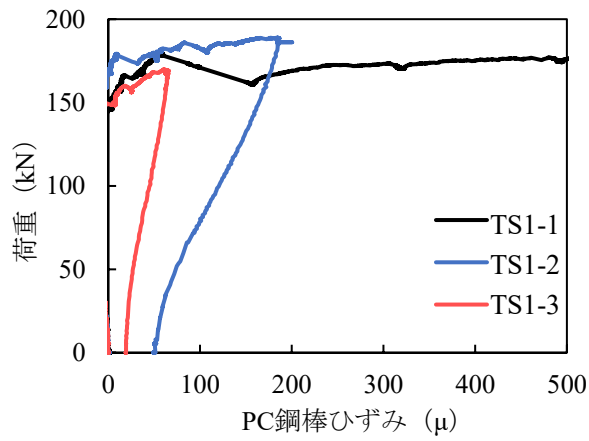


図-2.3.2.4 荷重と PC 鋼棒ひずみの関係

2.4 供試体 KF1 の結果

2.4.1 荷重－変位関係と破壊の過程

図-2.4.1.1 に荷重と試験体中央の変位による関係を示す。試験は3回実施しており、3回共に約28kNでひび割れが発生し、約40kNまでは同様の挙動を示している。その後、各試験によって挙動が異なっている。これは、継手部の上半分は何も接続されておらず少し隙間があり、載荷重によるたわみが増加する際、隙間が接触する事で再び荷重が増加している。隙間の幅が供試体によって多少異なっていたため、各試験で挙動が異なっている。

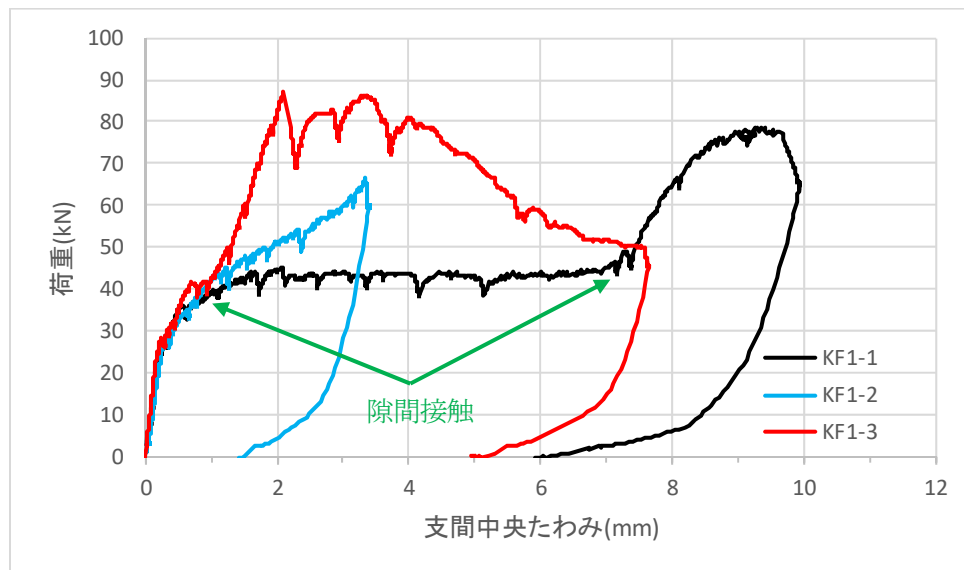


図-2.4.1.1 荷重 - 支間中央たわみの挙動

2.4.2 接合部の挙動

図-2.4.2.1~3 に荷重とパイ型変位計による変位の関係を示す。いずれの供試体においても、接合部の下部 (π -3) でひび割れが起こっており、約 30kN でひび割れ幅が増加し始め、40kN で大幅に増加した。また、載荷開始から下部の開きに比べて上部の圧縮変位が大きい現象は、前項で述べたように隙間がある事が起因している。

図-2.4.2.4~6 のひび割れ図から、主に本体部の 1/2 断面付近にひび割れが発生した。KF1-1 のみごく一部に界面の割れが見られたが、ひび割れは主に本体側の複数個所に分かれて発生していた。これは繊維補強コンクリートの靱性によるものと考えられる。なお、これらの図において、打継目界面の割れのほとんどは、隙間が接触した後に発生した。

また、いずれのひび割れも断面の変化点（隙間）に向かって伸びており、下面のひび割れは、本体と間詰部の界面ではなく、主に本体側で発生していた。これは、間詰材で使用している高強度繊維補強コンクリートの繊維が毛荒らした界面に対して高い接着性を有し、かつ、間詰材と鉄筋の付着強度が高い特性（鉄筋引抜試験の結果から、普通コンクリートに対して約 3 倍の付着強度を確認している）を持ち、界面の剥離が起りにくくなっている事が考えられる。

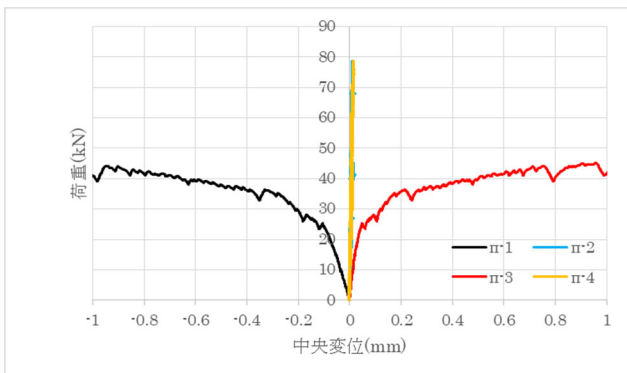


図-2.4.2.1 KF1-1 の荷重-パイ型変位曲線

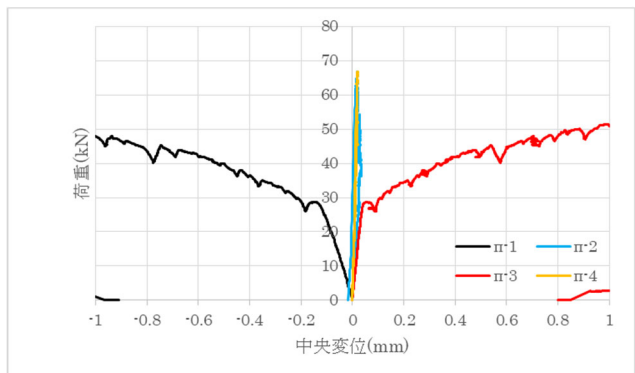


図-2.4.2.2 KF1-2 の荷重-パイ型変位曲線

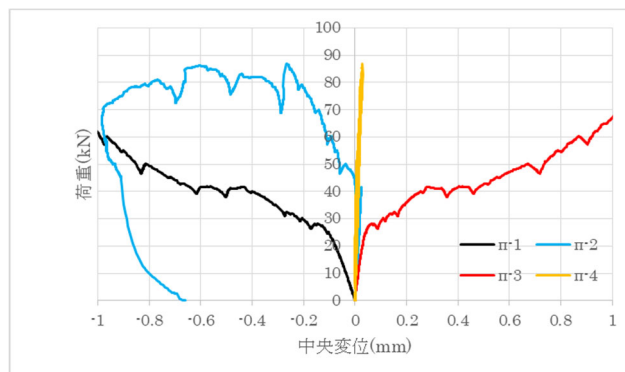


図-2.4.2.3 KF1-3 の荷重-パイ型変位曲線

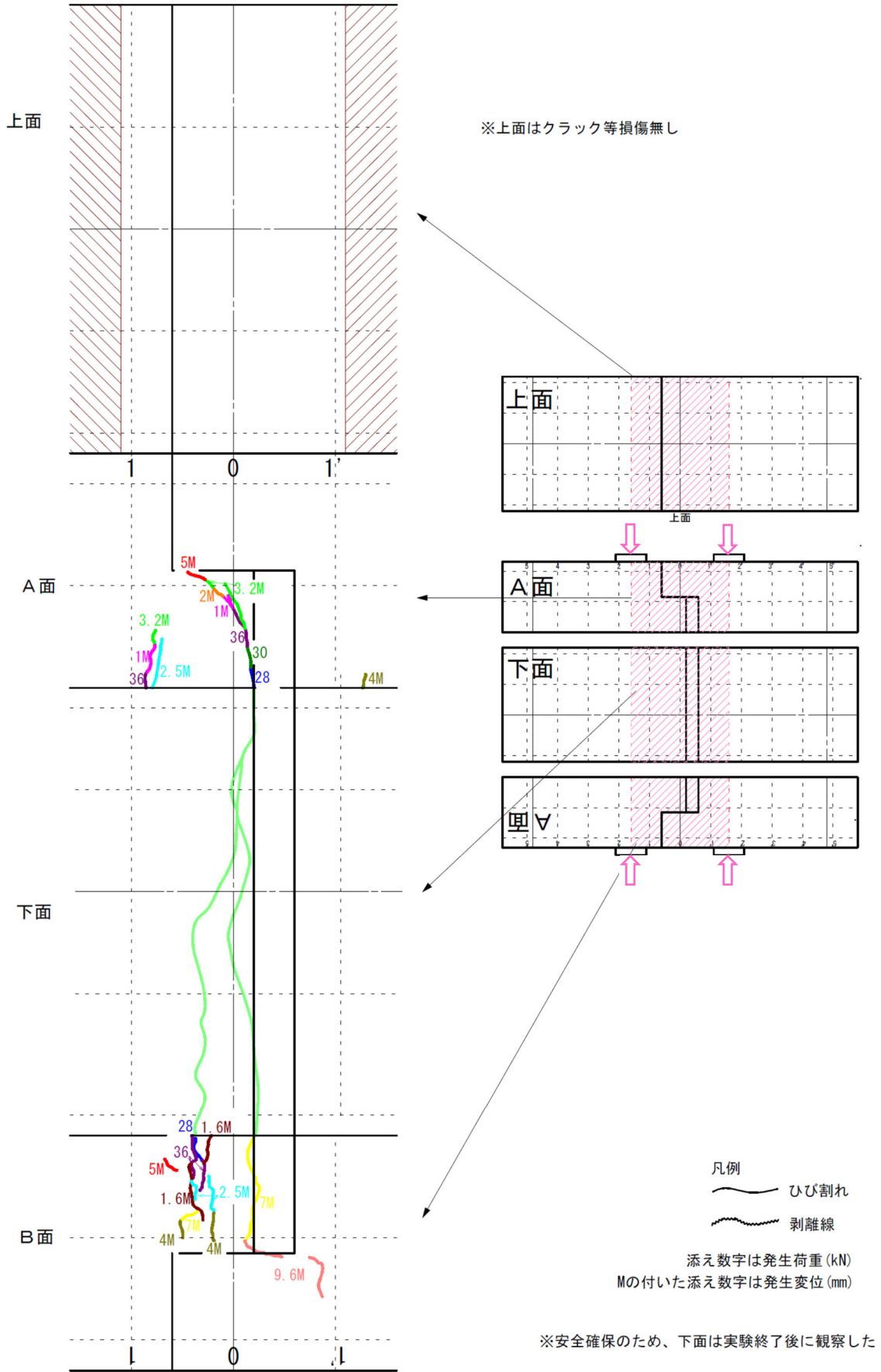


図-2.4.2.4 ひび割れ図 (供試体 KF1-1)

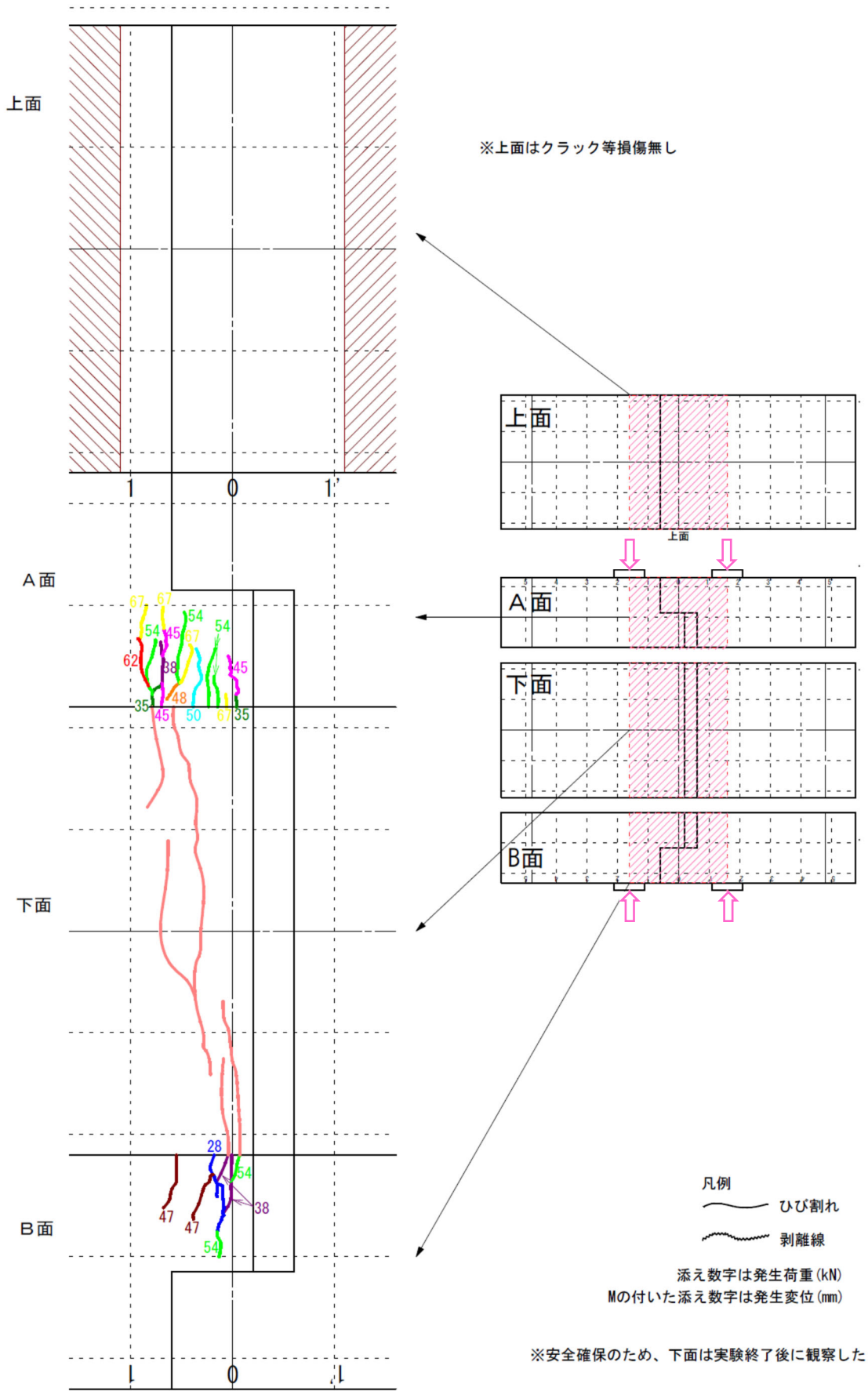


図-2.4.2.5 ひび割れ図 (供試体 KF1-2)

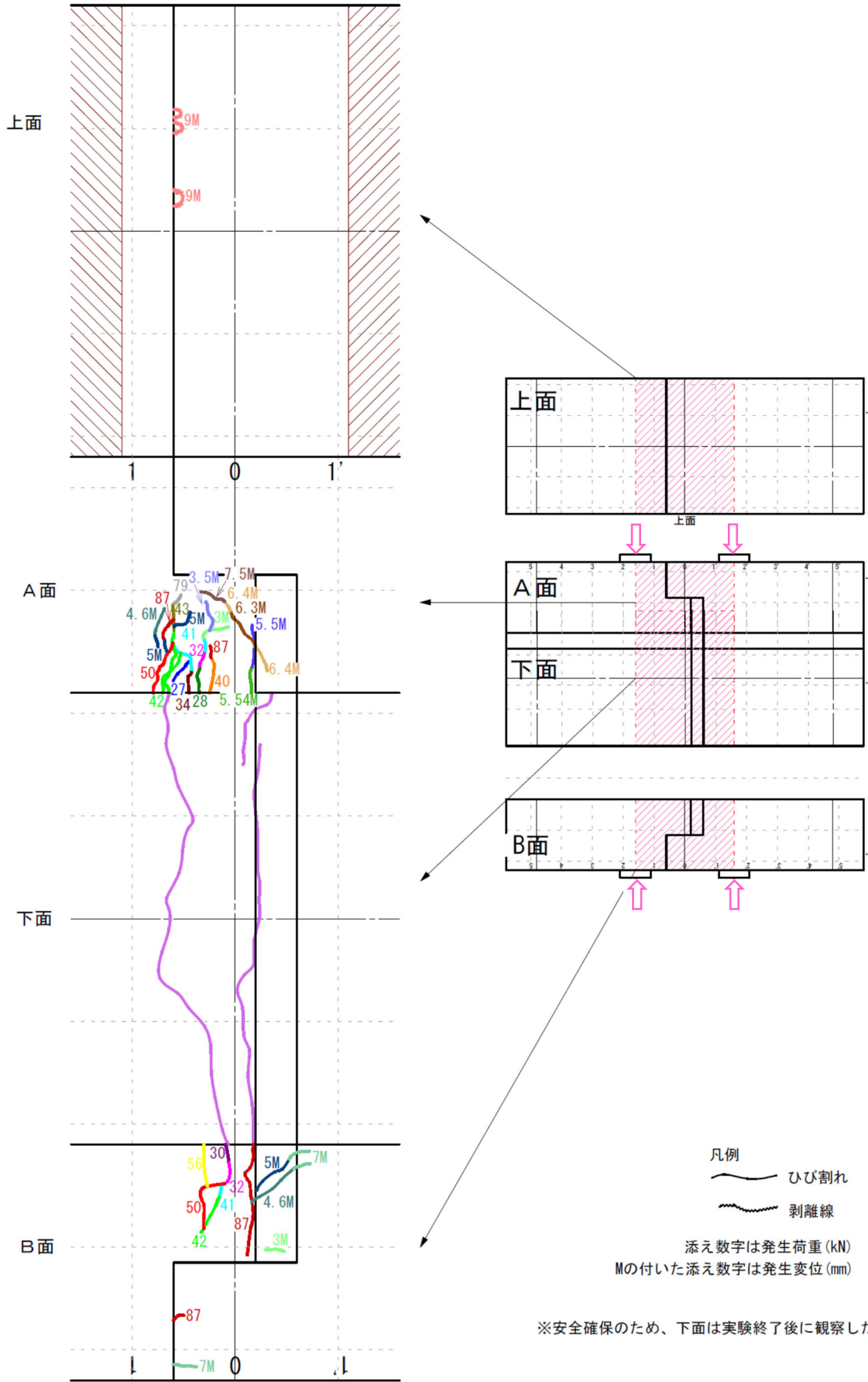


図-2.4.2.6 ひび割れ図 (供試体 KF1-3)

2.5 供試体 S1 の結果

2.5.1 荷重—変位関係と破壊の過程

図-2.5.1.1 に支間中央 (D-7) における荷重—変位関係を示す。ただし、赤点線は表-2.2.2.8 で算出した各荷重段階を示す。なお、供試体 S1-1, および S2-2 については接合部界面の開きが大きくなった段階で荷重を中断した。いずれの供試体も鉄筋降伏耐力の計算値を超えたあたりから徐々に変位が増大する傾向が見られ、S1-1, S1-2 は鉄筋降伏に伴い接合部界面の開きが急増したと考えられる。

図-2.5.1.2~4 に各供試体のひび割れ図を示す。ただし破線は鉄筋位置を示す。接合部界面は荷重初期の段階で開きが生じ、その後、荷重とともに一般部のひび割れが増加した。また、鉄筋が重なる接合部のひび割れは一般部と比較して少ない傾向であった。

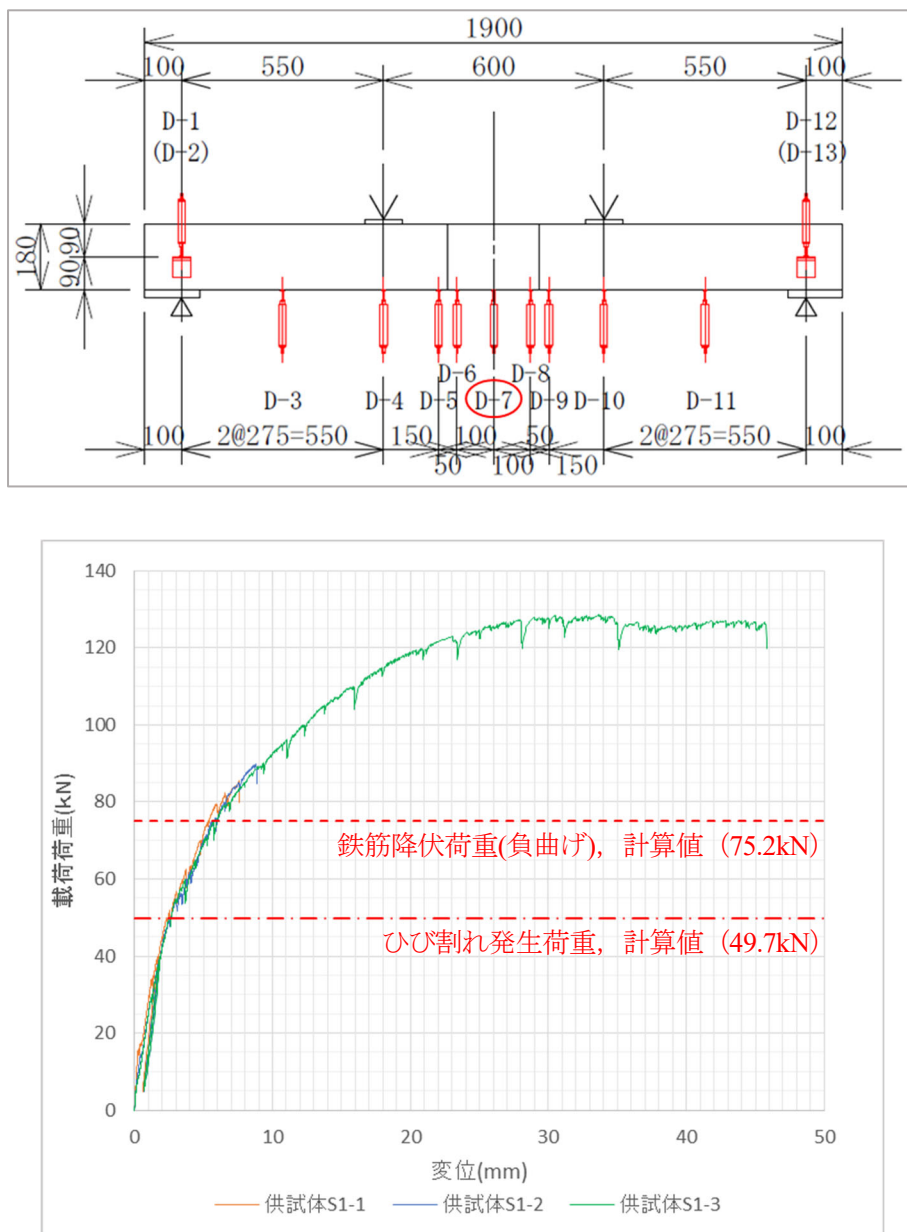


図-2.5.1.1 荷重—変位関係

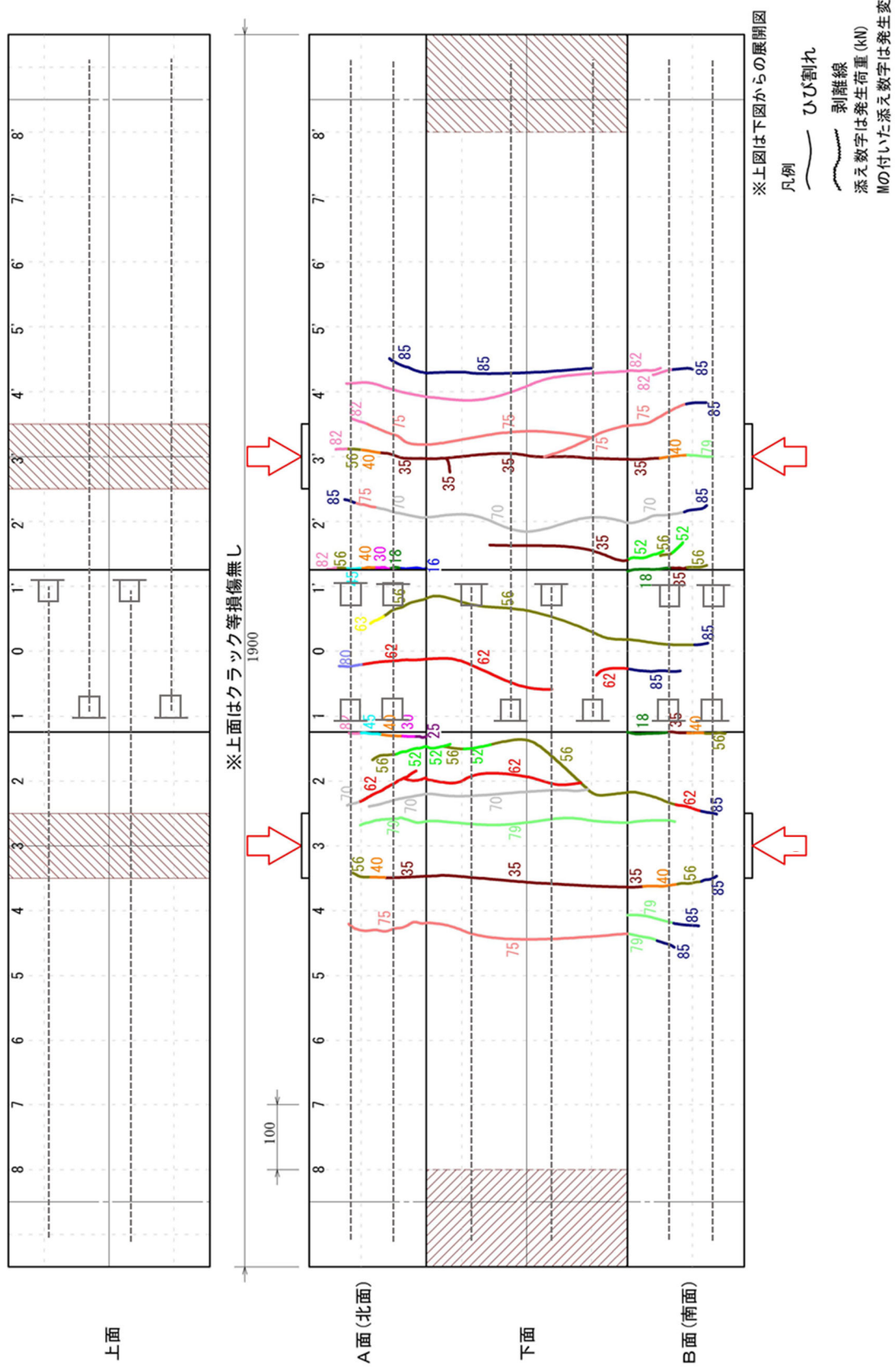


図-2.5.1.2 ひび割れ図 (供試体 S1-1)

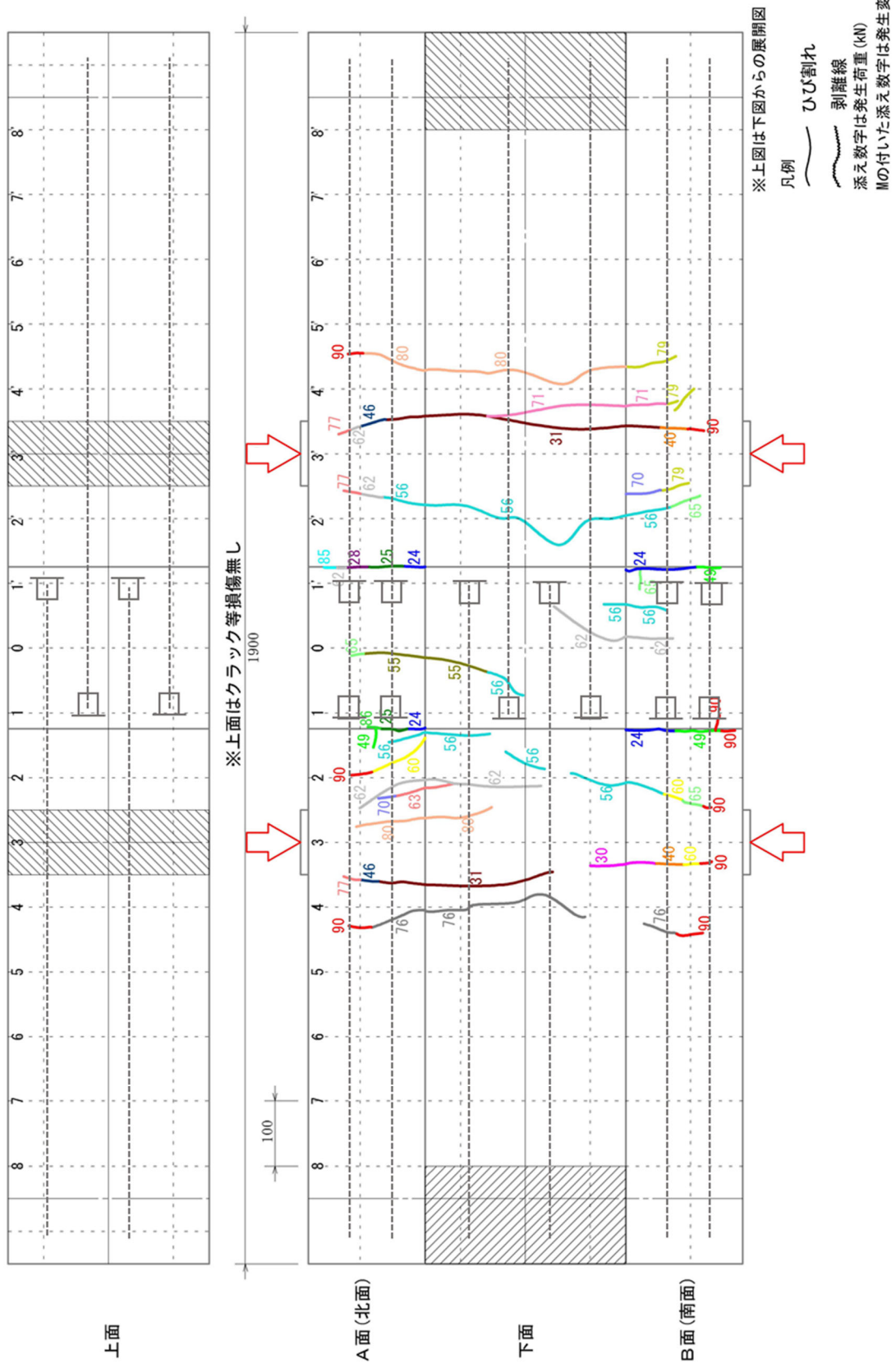


図-2.5.1.3 ひび割れ図 (供試体 S1-2)

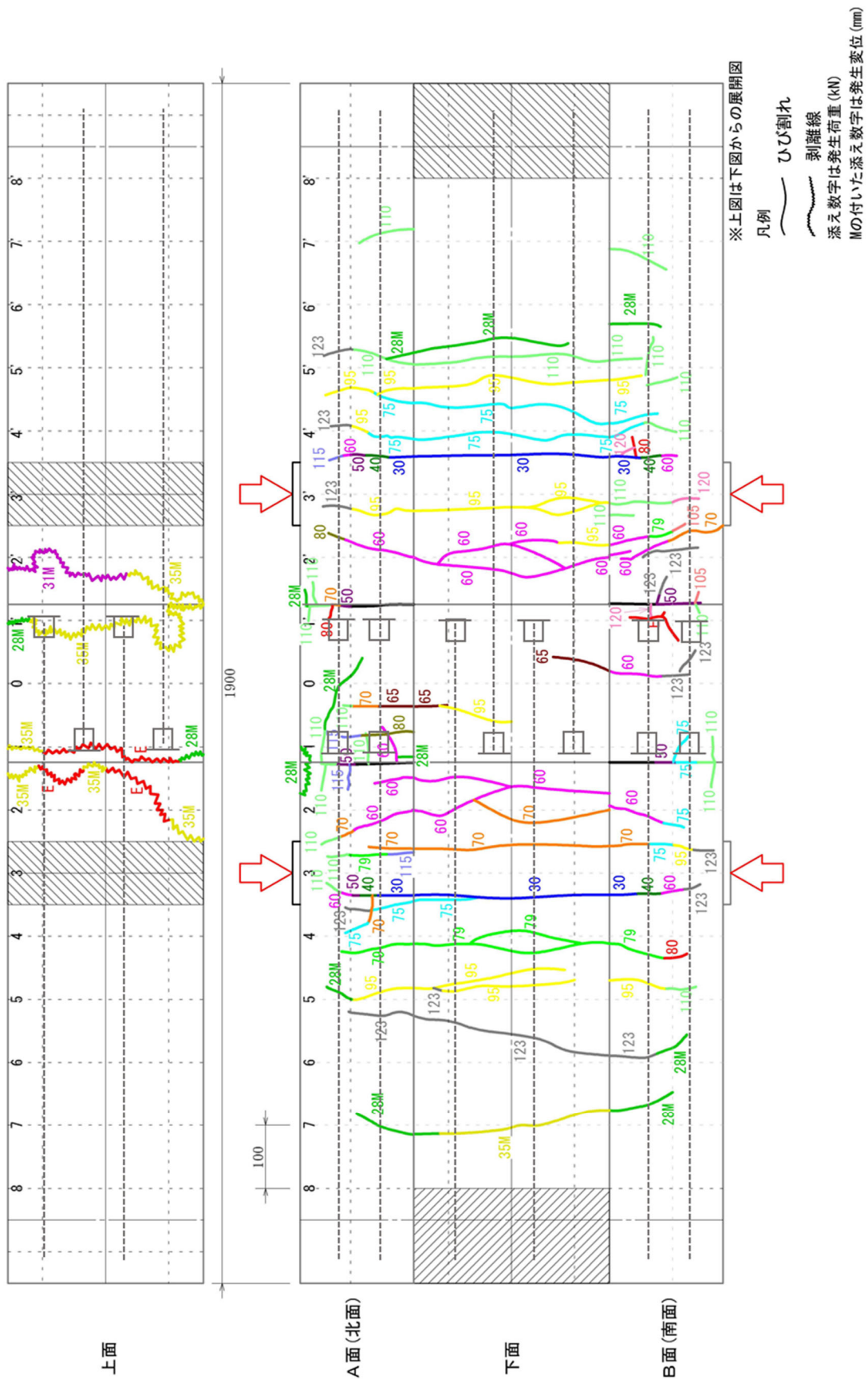


図-2.5.1.4 ひび割れ図 (供試体 S1-3)

2.5.2 接合部の挙動

(1) パイ型変位計による開き量 (下面)

図-2.5.2.1~3 に荷重-下面パイゲージ関係を示す。ただし、赤点線は表-2.2.1.8 で算出したひび割れ発生荷重を示す。支間中央はいずれの供試体も 50~60kN の範囲で値が急増し、ひび割れ発生荷重の計算値と概ね一致した。一方、載荷直下は 30kN 前後、接合部界面は 0~20kN の範囲で値の急増が見られた。

接合部界面が開いたタイミングを推定する為、 $\pi-5$ 、 $\pi-7$ のグラフを拡大したものを図-2.5.2.4~6 に示す。グラフの傾きが急増した点を界面が開いたタイミングと仮定すると、S1-1 は 15kN、S1-2 は 6kN、S1-3 は 5kN 載荷時点で開きが生じたと考えられる。

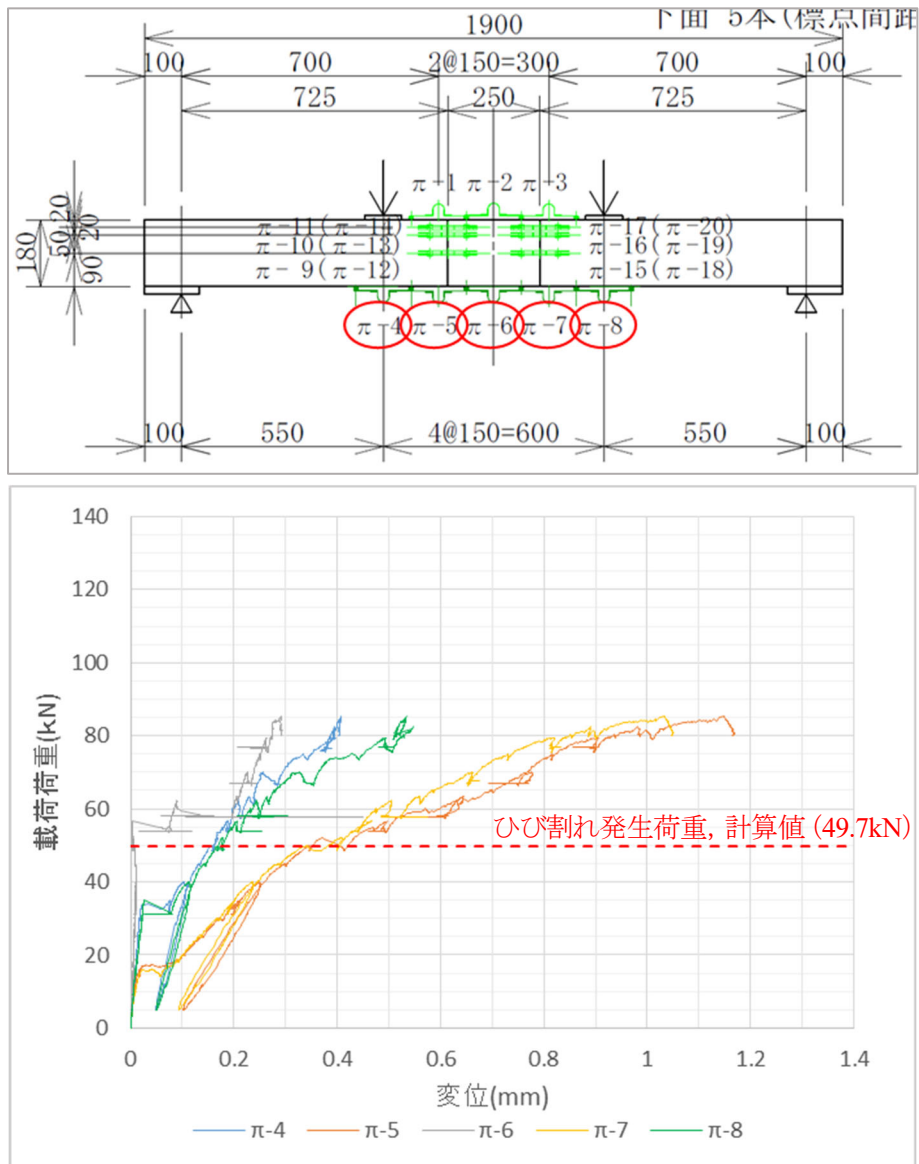


図-2.5.2.1 下面パイゲージ変位 (供試体 S1-1)

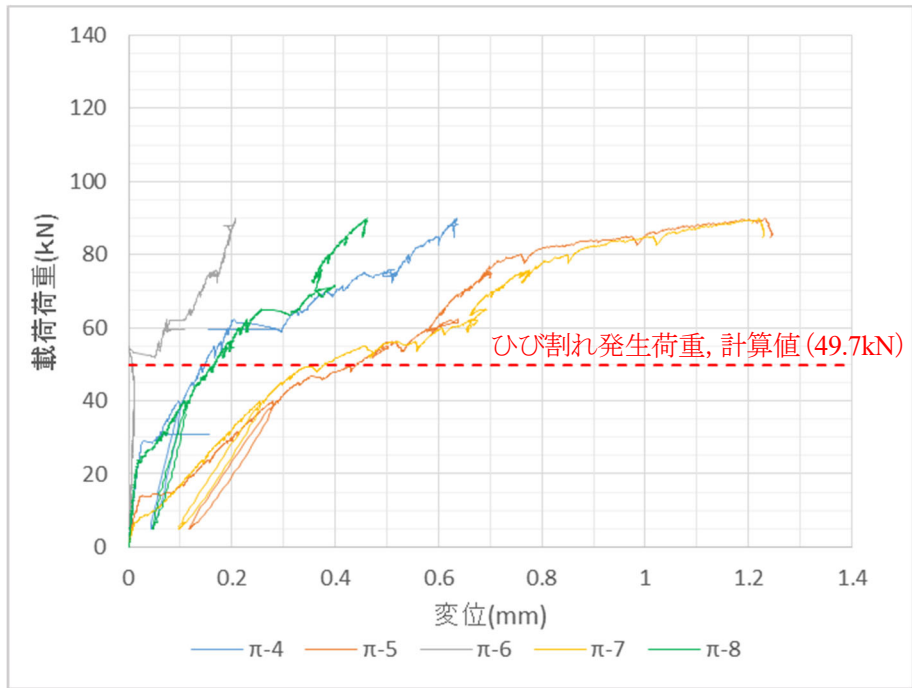


図-2.5.2.2 下面パイゲージ変位 (供試体 S1-2)

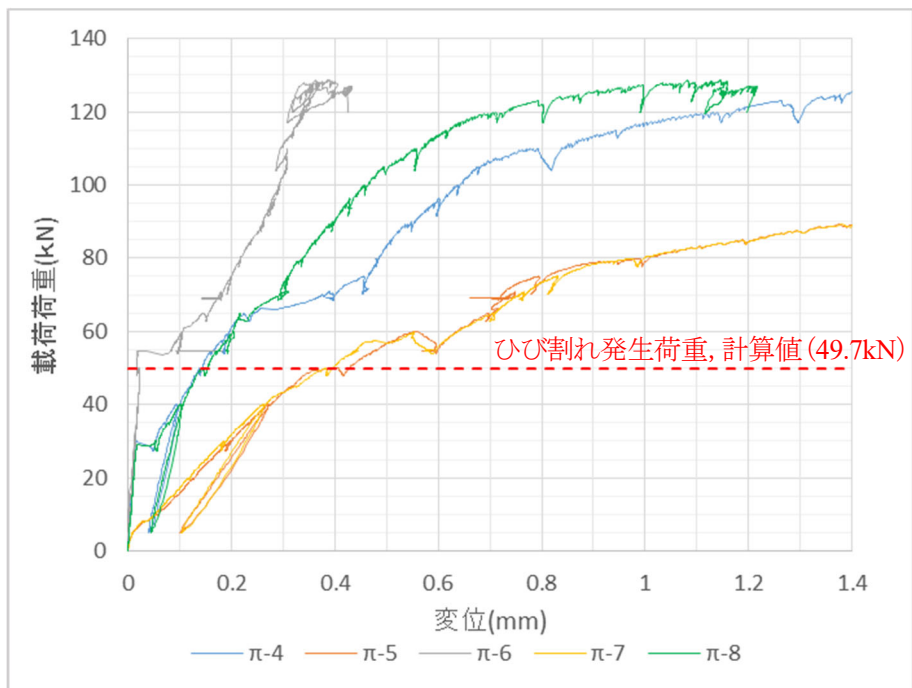


図-2.5.2.3 下面パイゲージ変位 (供試体 S1-3)

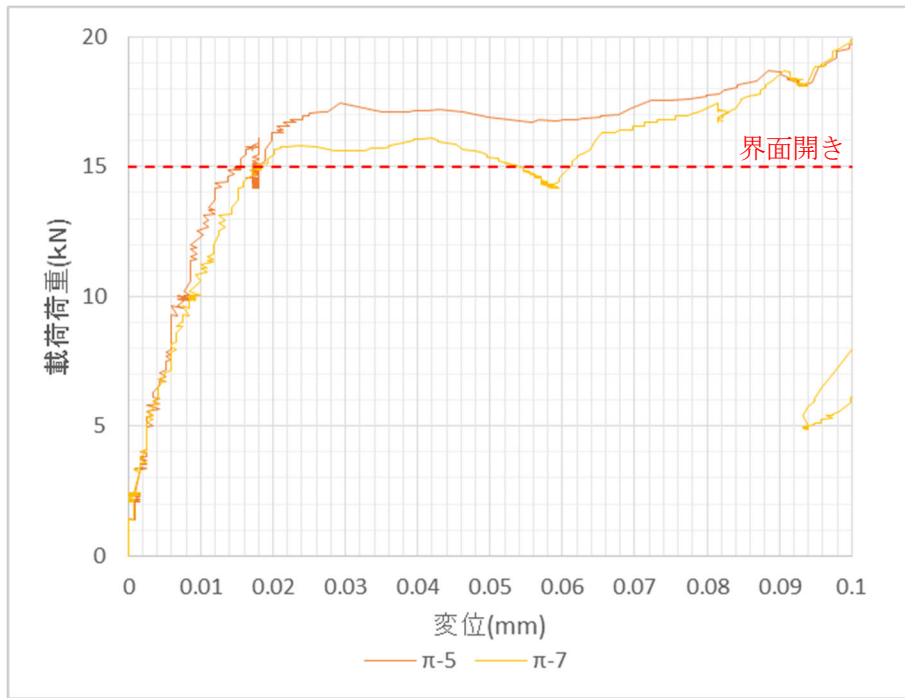


図-2.5.2.4 下面パイゲージ変位 拡大図 (供試体 S1-1)

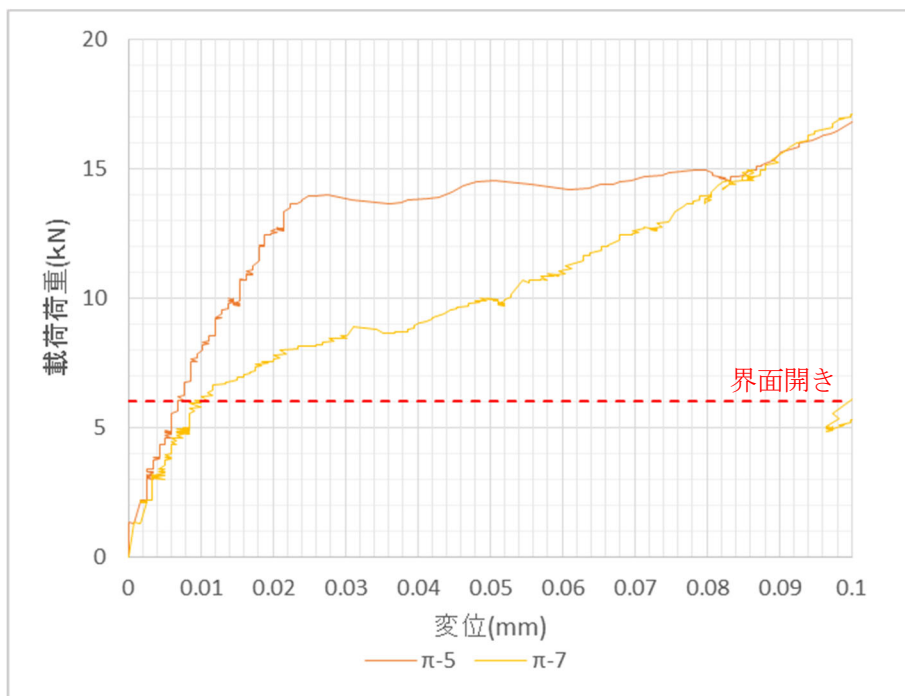


図-2.5.2.5 下面パイゲージ変位 拡大図 (供試体 S1-2)

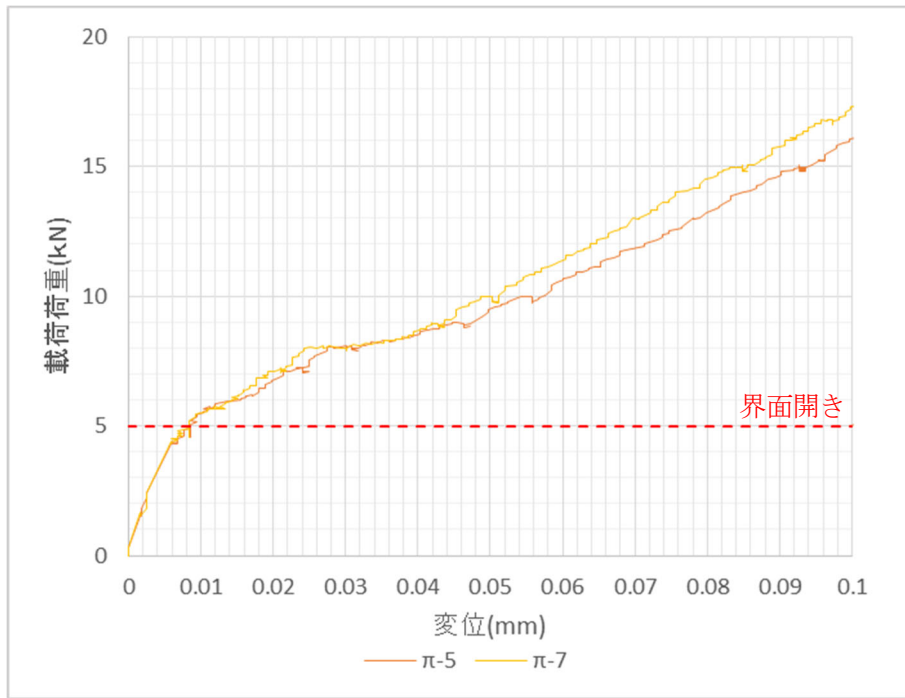


図-2.5.2.6 下面パイゲージ変位 拡大図 (供試体 S1-3)

(2) パイ型変位計による開き量（上面）

図-2.5.2.7～9 に荷重－上面パイゲージ関係を示す．接合部界面に着目すると，下面の接合部界面にて開きが発生したと思われるタイミングで値の急変が見られた．

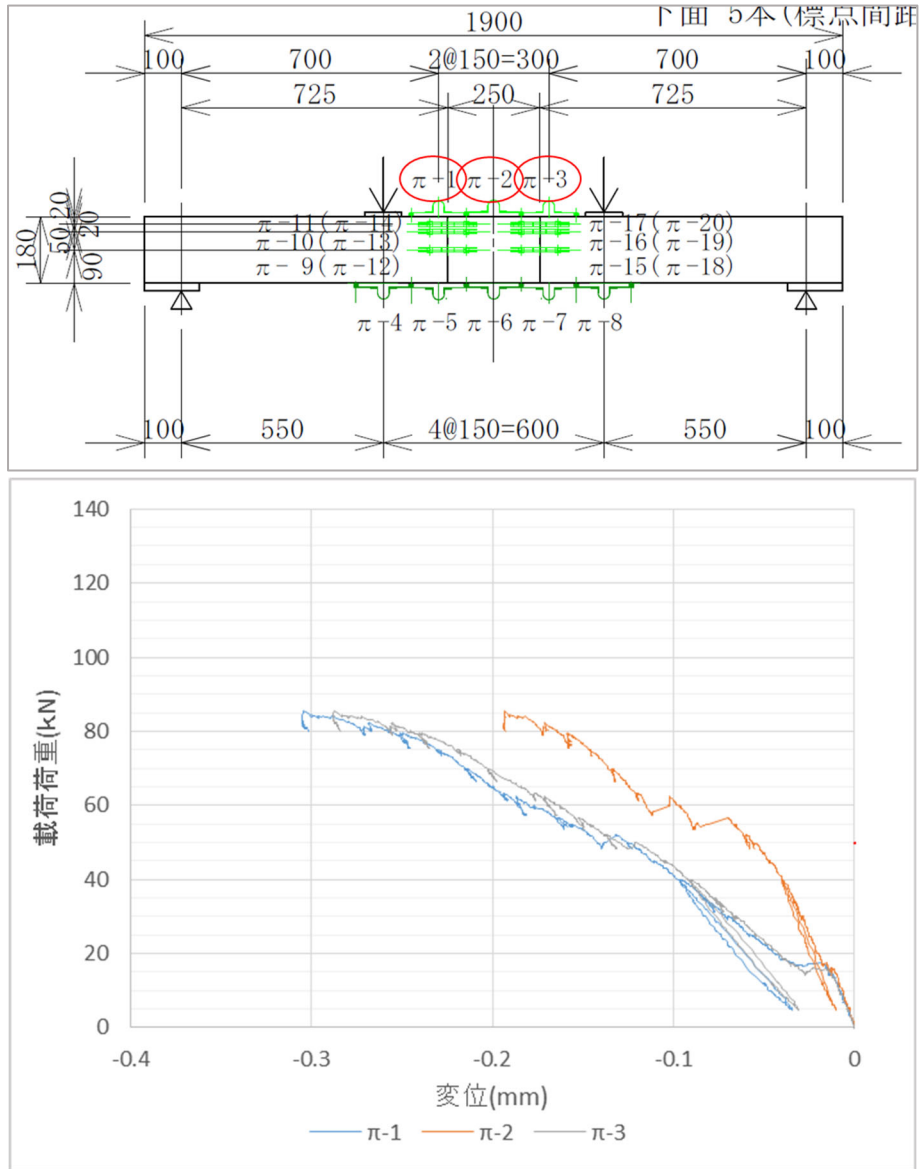


図-2.5.2.7 上面パイゲージ変位（供試体 S1-1）

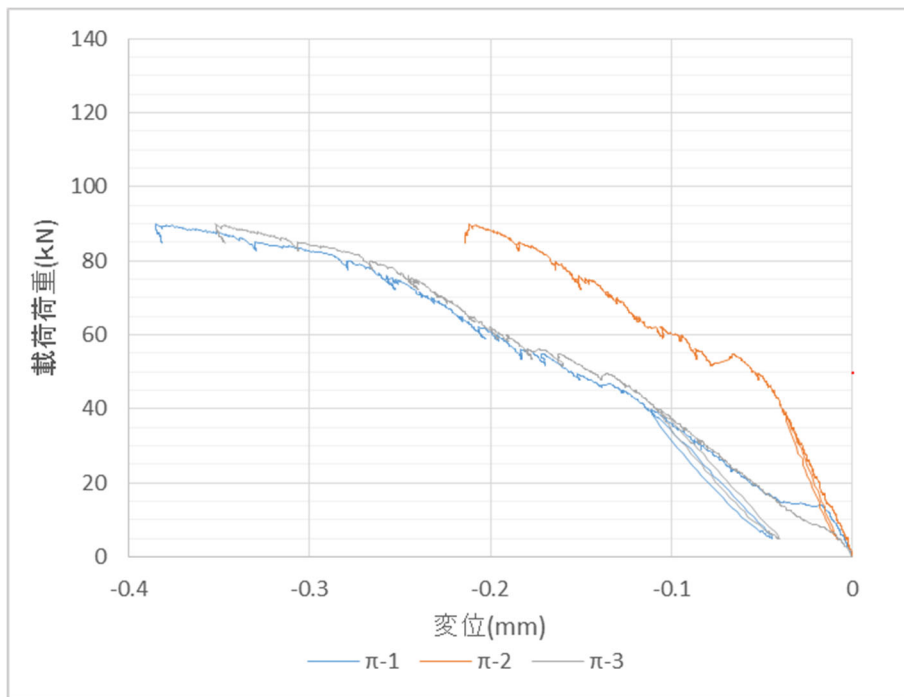


図-2.5.2.8 上面パイゲージ変位 (供試体 S1-2)

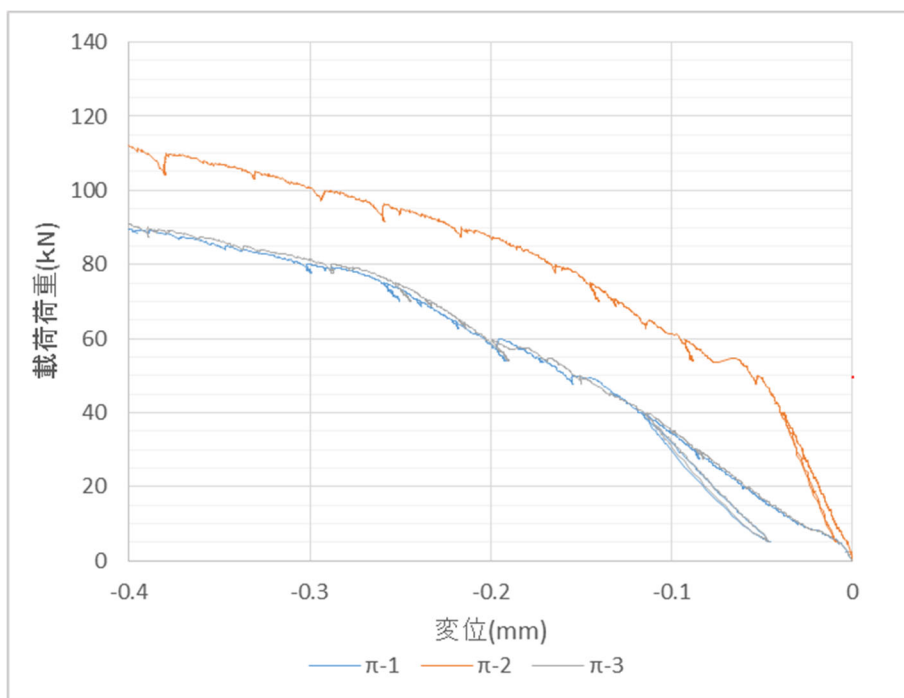


図-2.5.2.9 上面パイゲージ変位 (供試体 S1-3)

2.5.3 接合部の曲率

図-2.5.3.1～3 に各載荷荷重における曲率分布を示す。ただし、曲率は隣接する3点のたわみと測点位置を円で補間することにより算出した。紫破線は接合部界面の位置を示す。いずれの供試体も載荷とともに界面近傍の曲率が增大する傾向が見られた。また、接合部界面で開きが発生したと思われる載荷荷重における曲率分布（図上の赤点線）より界面近傍の曲率を読み取ると、S1-1 で $10 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 、S1-2 で $4 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 、S1-3 で $8 \times 10^{-6}/\text{mm}$ であり、接合部にて界面割れが生じる曲率は $4 \sim 10 \times 10^{-6}/\text{mm}$ の範囲にあると推定される。

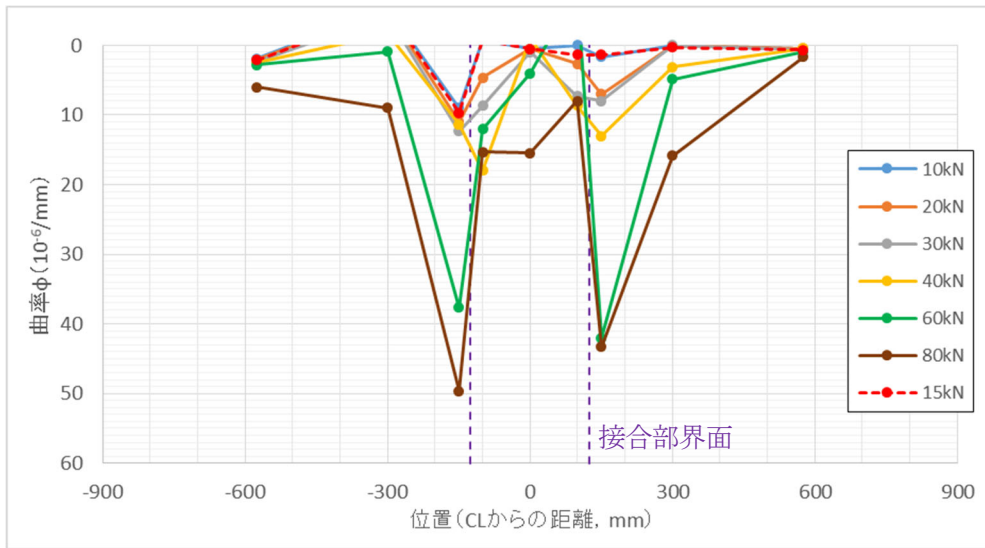


図-2.5.3.1 曲率分布（供試体 S1-1）

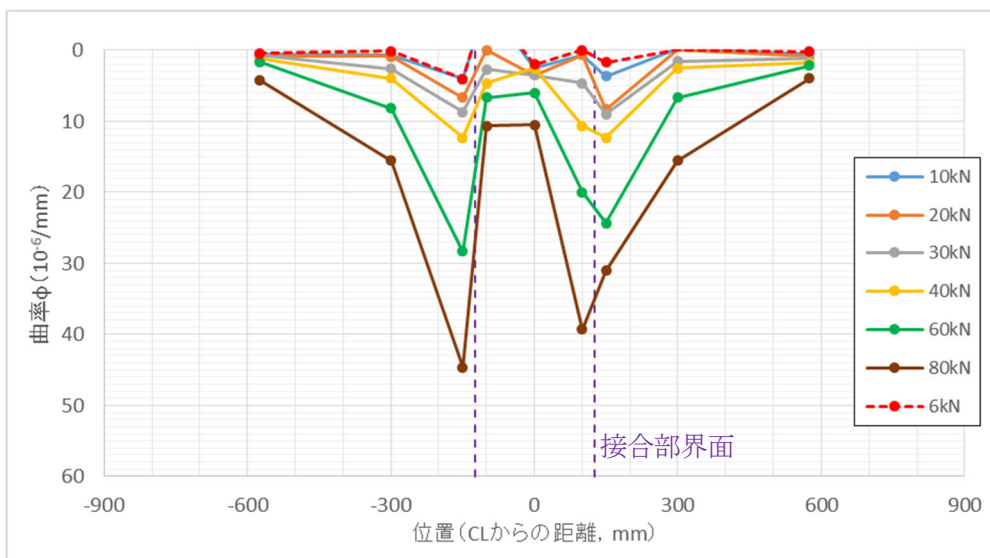


図-2.5.3.2 曲率分布（供試体 S1-2）

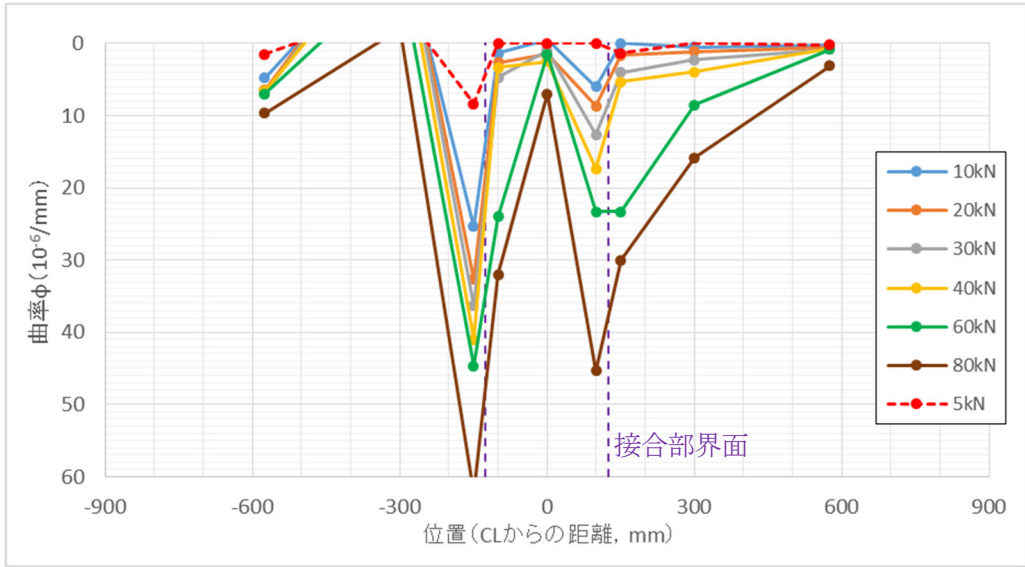


図-2.5.3.3 曲率分布 (供試体 S1-3)

2.6 試験体 KJ の結果

2.6.1 試験結果

接合部を有するプレキャストはりの曲げ載荷試験（図-2.6.1.1）を実施し、載荷時のはりの変形挙動を図-2.6.1.2 に示すような変位計で計測した。計測データより図-2.6.1.3 に示すような間詰め下縁中央部の載荷荷重と鉛直変位の関係が得られた。

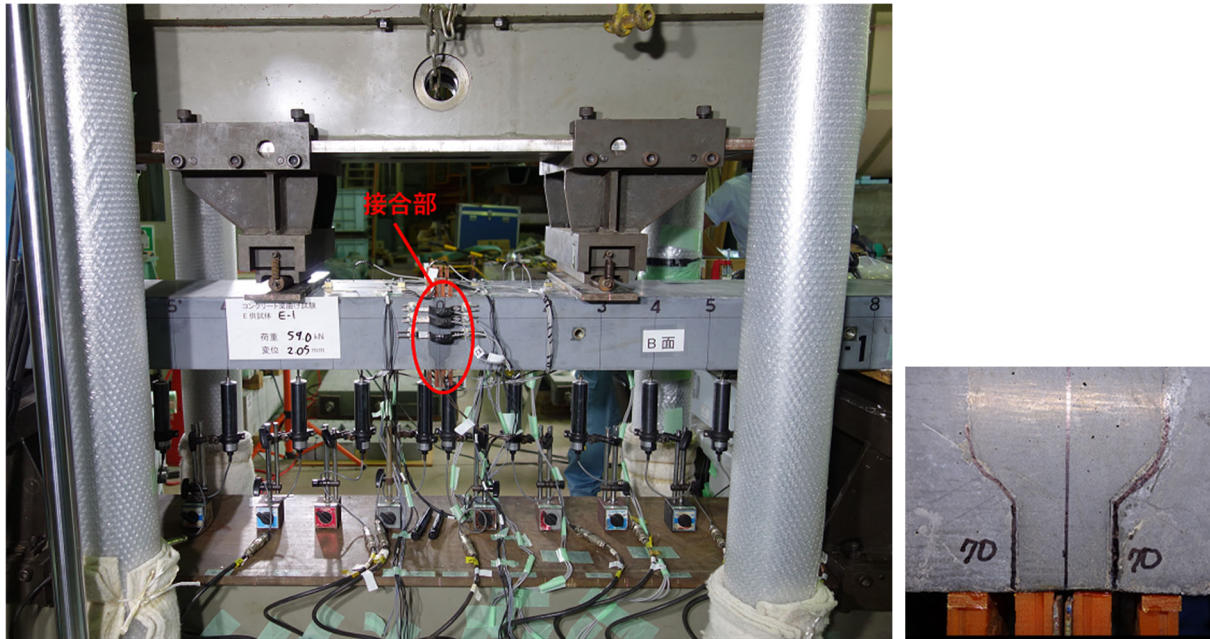


図-2.6.1.1 曲げ試験実施写真

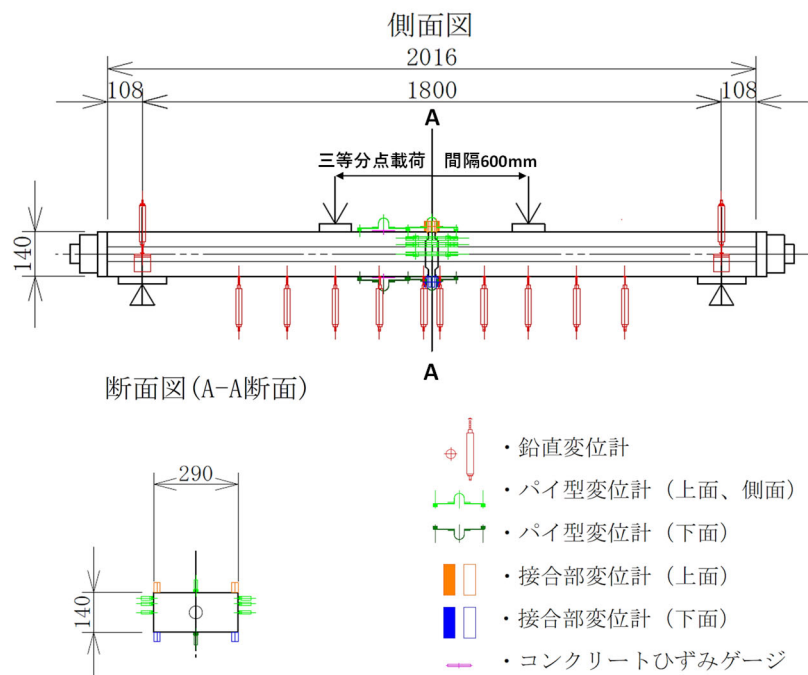


図-2.6.1.2 試験体 KJ の変位計配置状況

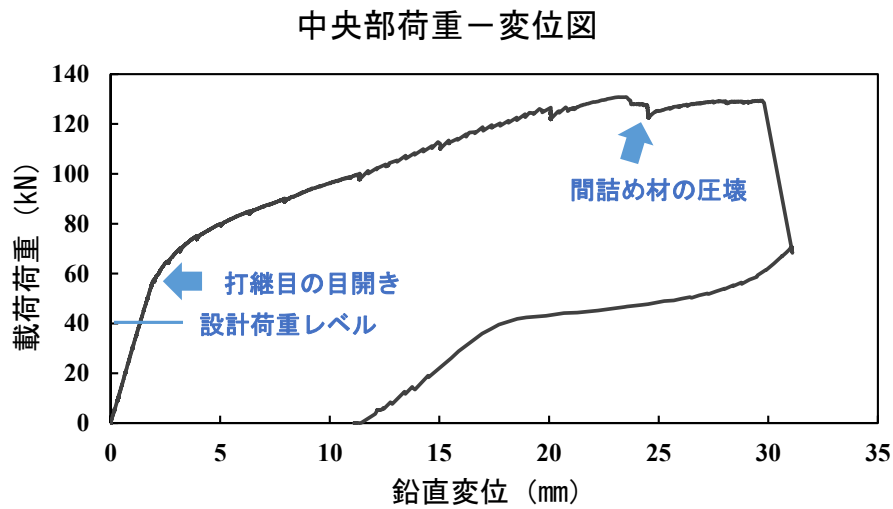


図-2.6.1.3 試験体下縁中央部の荷重－変位関係図

2.6.2 ファイバーモデルを用いた再現解析

(1) 概要

この挙動（図-2.6.1.3）を解析上で再現するために、(株)フォーラムエイト社の Engineer's Studio を用いてファイバーモデルを作成し（図-2.6.2.1）非線形解析を実施した。

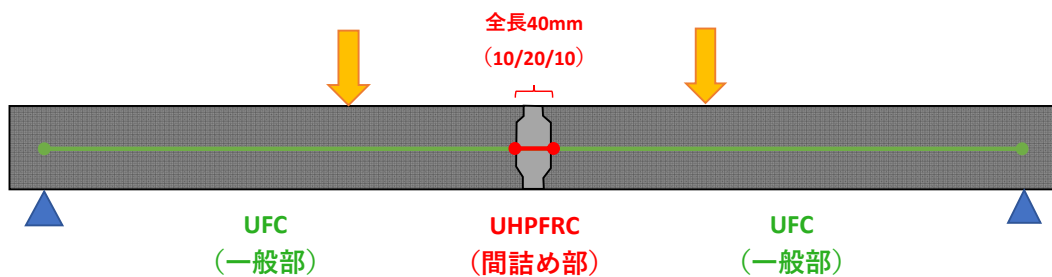


図-2.6.2.1 試験体 KJ の形状図と解析モデルの概要

(2) 材料特性

使用材料および解析用物性値を表-2.6.2.1 に、それぞれの構成則を図-2.6.2.2 に示す。使用するプログラムでは UFC 材料特有の応力-ひずみ関係の設定ができないため、道示Ⅲのコンクリートの構成則をベースに、材料特性を修正して適用した。

表-2.6.2.1 使用材料の特性

材料	圧縮				
	圧縮強度	ヤング係数	ピークひずみ	終局ひずみ	降下勾配
	σ_{ck} (N/mm ²)	E_c (N/mm ²)	ϵ'_{co} (μ)	ϵ'_{cu} (μ)	E'_{des} (N/mm ²)
UFC	185	46000	4022	6000	46000
UHPFRC	170	46000	3696	4000	46000

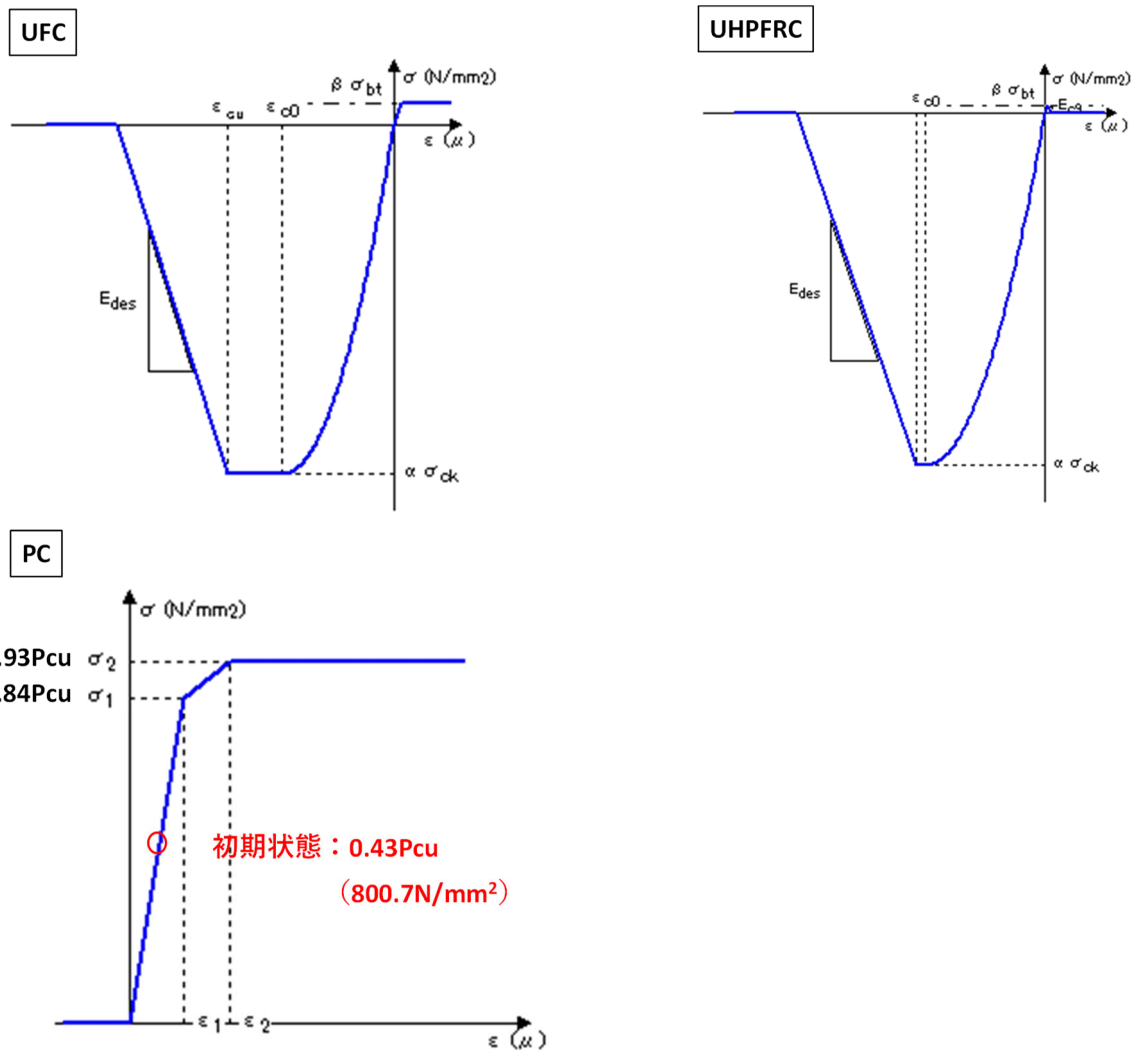
材料	引張	
	引張強度	降下勾配
	σ_{bt} (N/mm ²)	E_{c9} (N/mm ²)
UFC	11.4	152.5
UHPFRC	4	40000

PC種類	断面積	降伏強度	引張強度	ヤング係数	破断ひずみ
	(mm ²)	σ_{pcy} (N/mm ²)	σ_{pcu} (N/mm ²)	E_{pc} (N/mm ²)	ϵ_u (μ)
1S28.6	532.4	1659	1869	191900	59000

※ PC はミルシートのデータを使用

UFC および UHPFRC の圧縮・引張強度やヤング係数等の物性値はサクセム設計・施工マニュアル（案）に従って設定した。UHPFRC の設計引張強度が 8.8N/mm² であるが、試験結果によると、後打ち（接合部）UHPFRC と先打ち（一般部）UFC の境界でひび割れが生じたため、付着強度 4N/mm² と想定して、これを超えたらひび割れが発生し、ひずみが大きくなるように設定した。また、UHPFRC の引張強度を超えた後の降下勾配もひび割れが発生しやすいように急激な低下を設定した。

初期状態として、PC（初期引張応力 800.7N/mm²）を通じて試験体に 10.5N/mm² のプレストレスを与えるように設定した。



※ Engineer' s Studio で選択可能なコンクリートのヒステリシスを使用

図-2.6.2.2 使用材料の構成則

(3) モデル要素分割

モデル軸方向の要素分割を図-2.6.2.3 に、鉛直方向の断面分割を図-2.6.2.4 に示す。間詰め部の形状は凹凸状であるが、間詰め部はシース接続のためにリングスポンジがあり、間詰め部全長 40mm にわたってアンボンドな状態になっているため、解析上 40mm を全部 UHPFRC の間詰め部として考慮した。

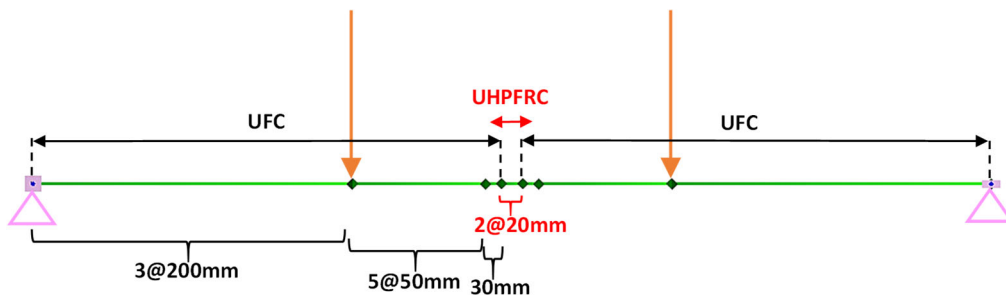


図-2.6.2.3 軸方向の要素分割

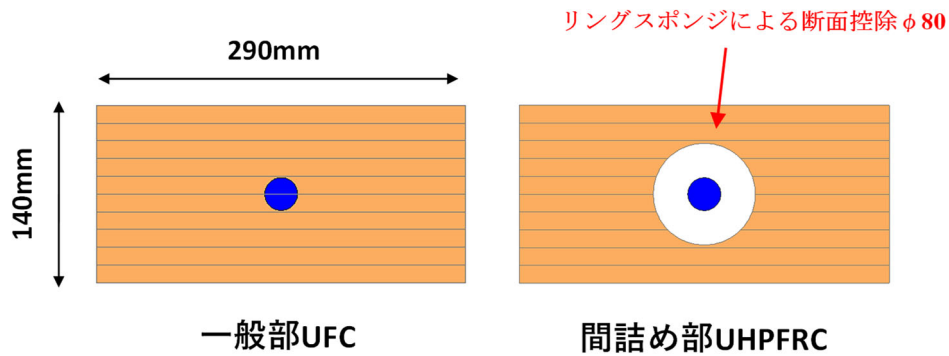


図-2.6.2.4 鉛直方向の断面分割

軸方向の要素分割について、ファイバーモデルの精度確保のため、要素長さを断面高さの2倍以下に設定した。UFC部材は片側長さ880mmの要素を9分割(3@200+5@50+30)し、長さ40mmのUHPFRC要素を2分割(2@20)した。また、要素断面を縦10分割(1層14mm)にし、間詰め部はリングスポンジ分の面積を控除した断面にした(図-2.6.2.5)。

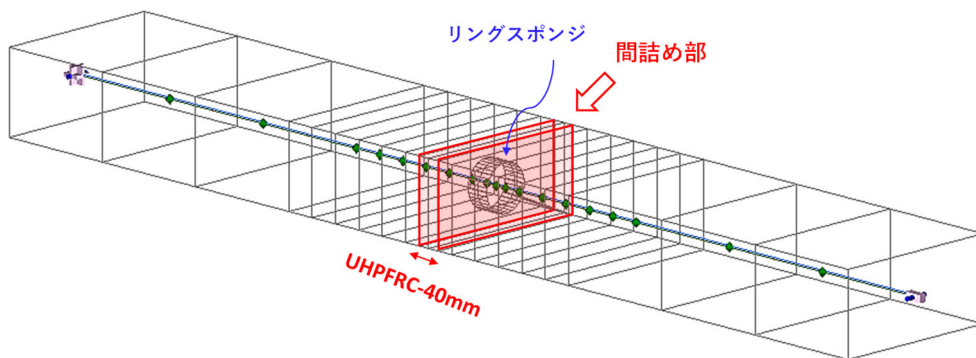


図-2.6.2.5 ファイバーモデル形状図

(4) 解析ケース

解析ソフトに前述した材料特性を入力し、荷重をステップ载荷して得られた荷重－変位関係を試験実測データと比較して試験結果に近づけるようにパラメータの調整を試みた。表-2.6.2.2 に示すように合計4ケースを実施した。

- Case01：間詰め部がない状態で、全試験体を UFC でモデル化した。
- Case02：試験体と同じ、中央部に 40mm の UHPFRC 間詰め部を設けた。
- Case03：UFC 材料のヤング係数を修正した。UFC および UHPFRC の応力ひずみ関係は、最大荷重までほぼ一直線の関係を示すが、ソフトの入力では、放物線と定義された初期のヤング係数が高く設定される条件となる。そのため、入力するヤング係数を小さくし、初期勾配を実挙動に合わせる試みを行った。
- Case04：Case03 に間詰め部のアンボンド区間を考慮して PC 鋼材の応力ひずみ関係を調整した。

表-2.6.2.2 検討ケースの材料構成則まとめ

ケース	UFC	UHPFRC	PC	
Case01	<p>11.4N/mm² 降下勾配152.5N/mm² Ec=46000N/mm² 185N/mm²</p>	<p>4.0N/mm² 降下勾配40000N/mm² Ec=46000N/mm² 170N/mm²</p>	<p>1738N/mm² 1570N/mm² 15000μ</p>	
UFCのみ			同Case01	同Case01
(間詰め部がない状態)				
Case02	同Case01	<p>4.0N/mm² 降下勾配40000N/mm² Ec=46000N/mm² 170N/mm²</p>	同Case01	
間詰め部あり				同Case01
(40mmのUHPFRC 間詰め部を反映)				
Case03	<p>11.4N/mm² 降下勾配152.5N/mm² Ec=24200N/mm² 185N/mm²</p>	<p>4.0N/mm² 降下勾配40000N/mm² Ec=24200N/mm² 170N/mm²</p>	同Case01	
ヤング係数修正				同Case01
(ヤング係数を46000 から24200に修正)				
Case04	同Case03	同Case03	<p>1390N/mm² 800.8N/mm² 4175μ 59000μ</p>	
アンボンドPC調整			同Case03	
(間詰め部PCの 骨格曲線を調整)				

(5) 解析手順

再現解析の手順は、以下のステップで実施した。

- Step-1 部材に自重を載荷
- Step-2 PC鋼材に実構造で想定されるプレストレスを初期値として与える
- Step-3 部材にPC鋼材を介してプレストレスを導入
- Step-4 荷重を0.02kN/回で漸増載荷する

(6) 解析結果 Case01_UFC のみ

a)モデル図

接合部のない全 UFC のモデル (図-2.6.2.6) で, 200kN まで載荷した.

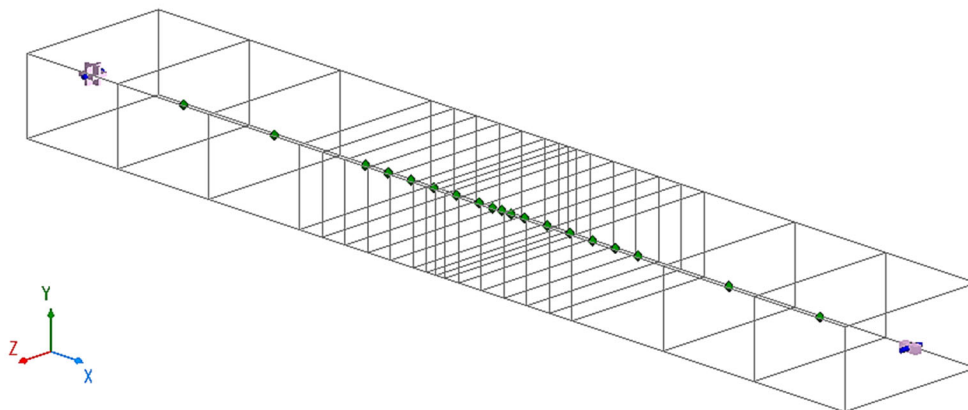


図-2.6.2.6 「Case01_UFC のみ」のモデル図

b)変形図

図-2.6.2.7 に解析によって得られた変形図を示す. 接合部には特に弱部がなく, 荷点間の純曲げ区間で緩やかに変形する状態になっている.

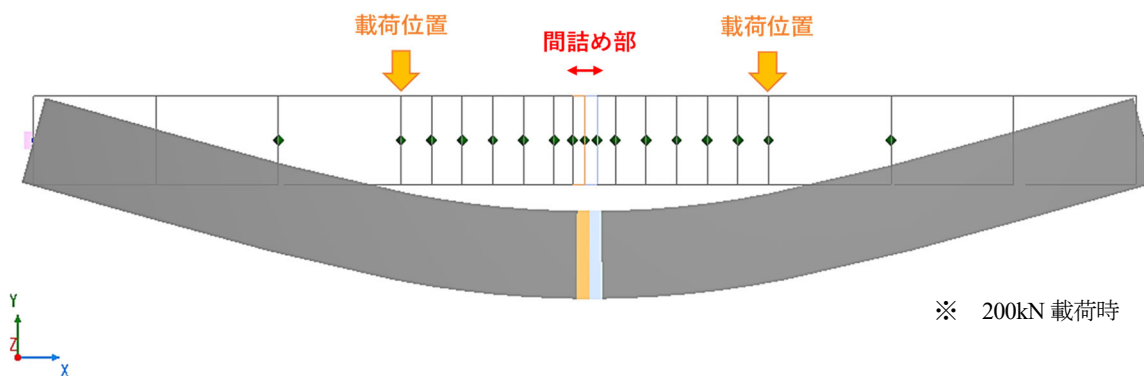


図-2.6.2.7 「Case01_UFC のみ」の変形図 (間詰め部着色)

c) 応力－ひずみ状態

図-2.6.2.8 に UFC および PC 鋼材の応力－ひずみ関係を示す。200kN 载荷しても、PC は降伏しておらず、中央部下縁は、初期のプレストレスをキャンセルして、ひび割れが発生している状態であるが、上縁の UFC は圧縮強度まで至っていない (図-2.6.2.8)。

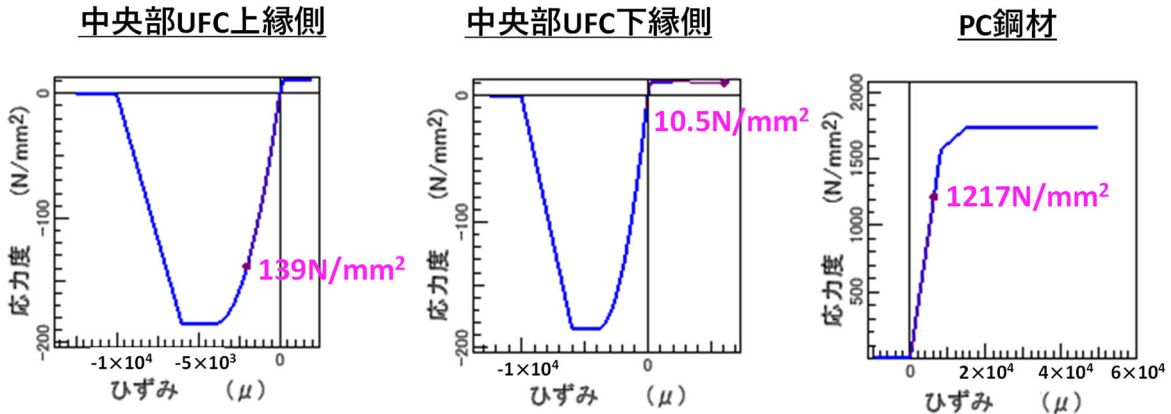


図-2.6.2.8 200kN 载荷後の応力状態

d) 荷重－中央変位図

Case01_UFC のみの場合、UHPFRC より高い引張強度を有しており、接合部との界面のような弱部もないため、試験よりひび割れの発生荷重が大きく、試験結果に対して変位が小さい結果となった (図-2.6.2.9)。

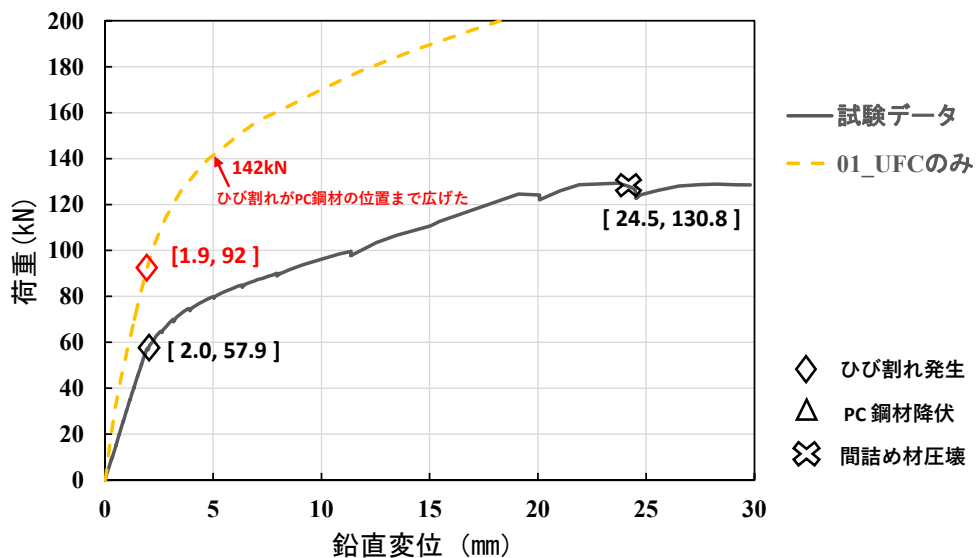


図-2.6.2.9 「Case01_UFC のみ」 荷重－中央変位図

e)中央部 M-φ 図

Case01_UFC のみの場合の中央部曲げモーメントー曲率関係図を図-2.6.2.10 に示す。

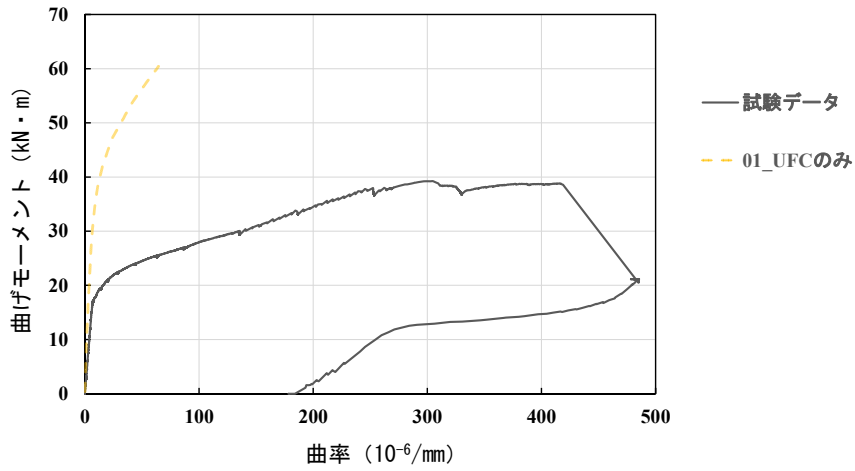


図-2.6.2.10 「Case01_UFC のみ」中央部曲げモーメントー曲率関係図

f)曲率分布図

120kN 載荷時の曲率分布を図-2.6.2.11 に示す。Case01_UFC のみの場合、試験データのように中央の接合部で曲率が急に大きくなったのではなく、純曲げ区間で同じ曲率になっている (図-2.6.2.11)。

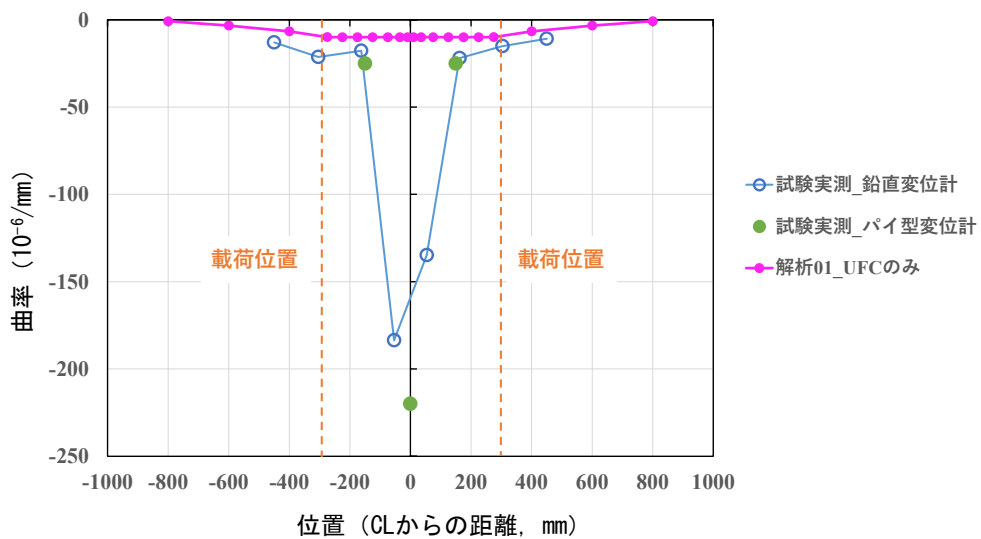


図-2.6.2.11 「Case01_UFC のみ」120kN 載荷時の曲率分布図

(7) 解析結果 Case02_間詰め部あり

a)モデル図

中央部に試験体と同じ、40mmの間詰め部を設けた (図-2.6.2.12).

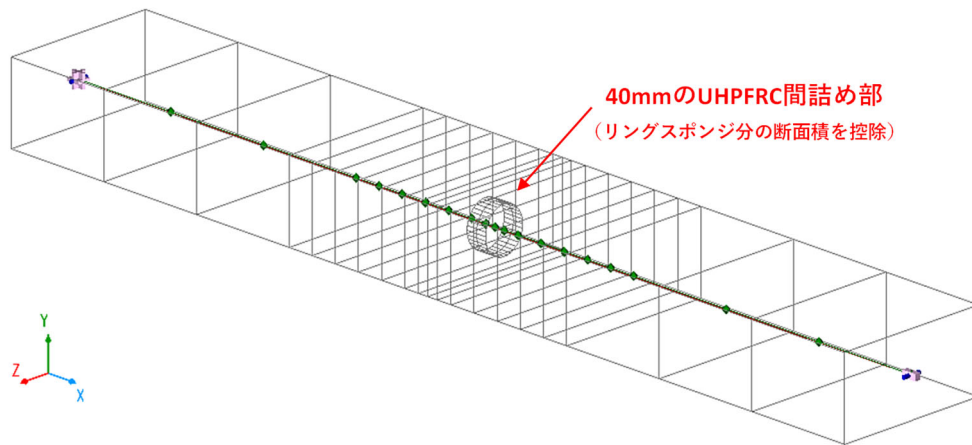


図-2.6.2.12 「Case02_間詰め部あり」のモデル図

b)変形図

Case02_間詰め部ありの変形図を図-2.6.2.13 に示す. Case01_UFC のみよりは変形が中央の間詰め部に集中している.

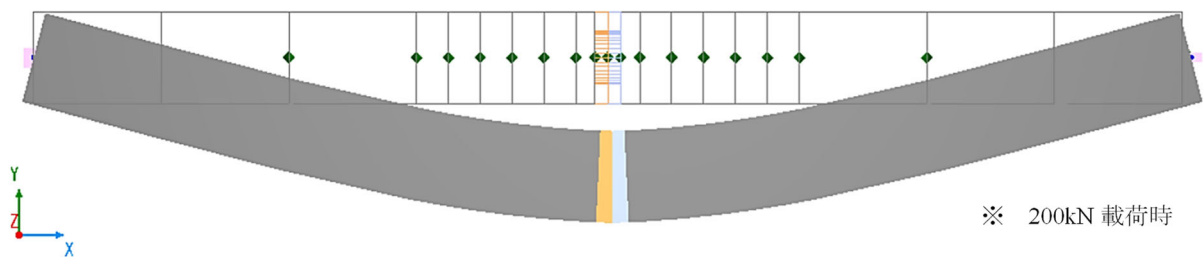


図-2.6.2.13 「Case02_間詰め部あり」の変形図 (間詰め部着色)

c) 応力-ひずみ状態

Case01_UFC のみと違って、200kN 载荷したら、PC 鋼材が降伏して引張強度に至り、間詰め部上縁の UHPFRC も最大圧縮強度を超えた (図-2.6.2.14)。

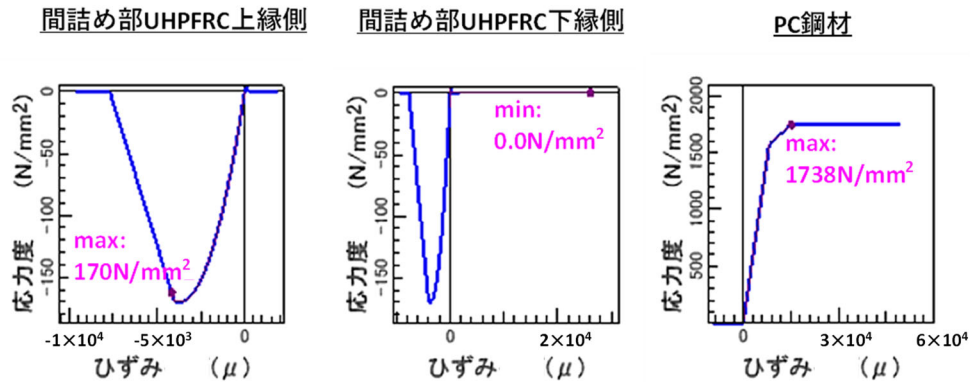


図-2.6.2.14 200kN 载荷後の応力状態

d) 荷重-中央変位図

試験結果と同じ、60kN の荷重前後でひび割れが生じ始めた。その後、荷重の増加に伴い PC 鋼材が降伏し、最後に間詰め部上縁の UHPFRC が圧壊された (図-2.6.2.15)。

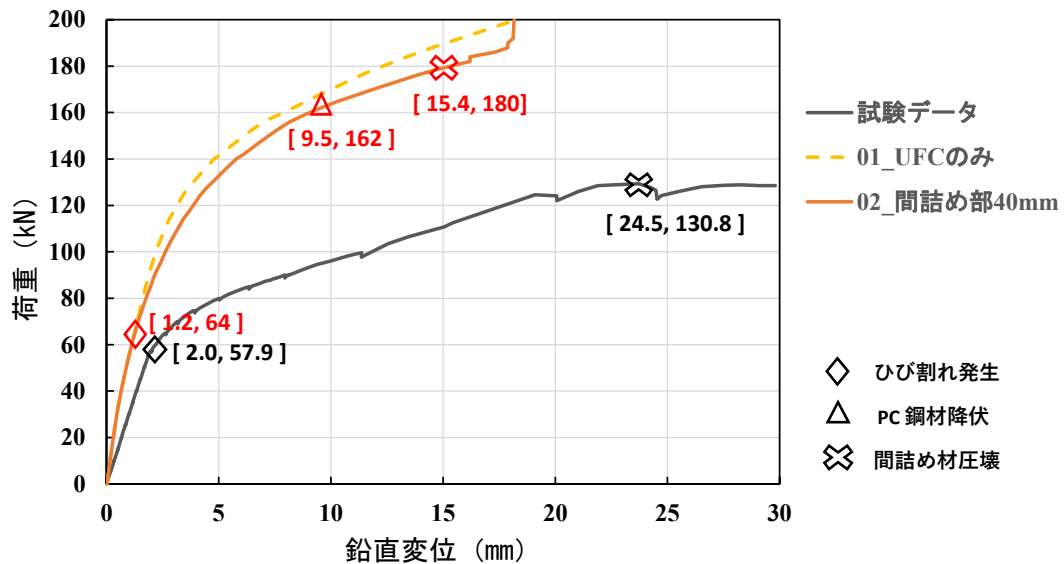


図-2.6.2.15 「Case02_間詰め部あり」荷重-中央変位図

e) 中央部 M-φ 図

Case02_間詰め部ありの場合の中央部曲げモーメントー曲率関係図を図-2.6.2.16 示す。

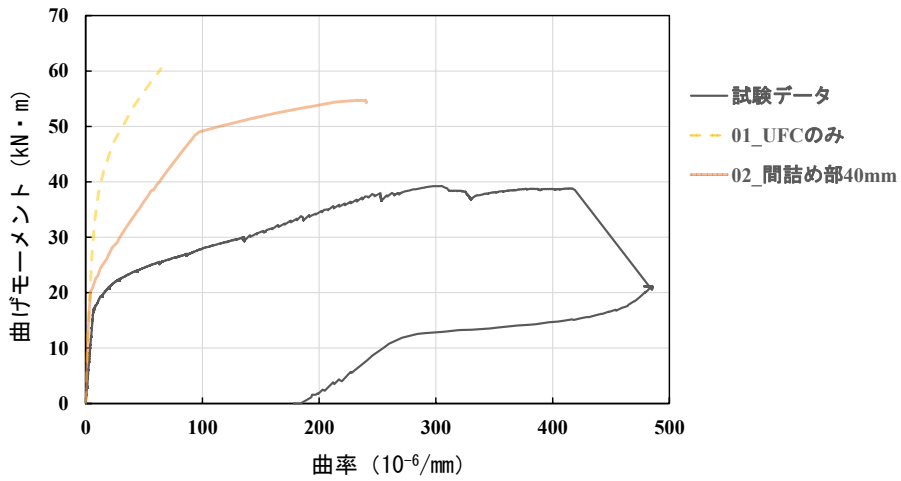


図-2.6.2.16 「Case02_間詰め部あり」中央部曲げモーメントー曲率関係図

f) 曲率分布図

120kN 荷重時の曲率分布を図-2.6.2.17 に示す。試験体間詰め部の曲率実測値の傾向と同じ、中央の間詰め部で曲率が急に大きくなっている。

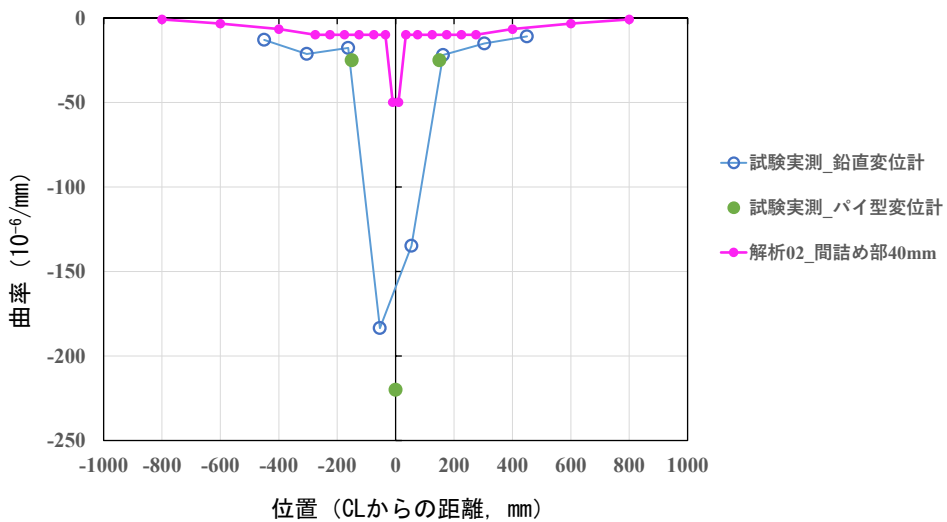


図-2.6.2.17 「Case02_間詰め部あり」120kN 荷重時の曲率分布図

(8) 解析結果 Case03_ヤング係数修正

a)モデル図

UFC 材料はコンクリートと違って、圧縮側の上昇勾配は直線に近いので、ソフトの中のコンクリート材料の構成則を適用する場合、UFC のヤング係数 46000N/mm^2 を直接入力すると、放物線に沿って上昇していくので、初期勾配はヤング係数より大きくなる。そのため、生成された応力ひずみ曲線の初期ヤング係数が 46000N/mm^2 になるように、入力値を 24200N/mm^2 に修正した (図-2.6.2.18)。

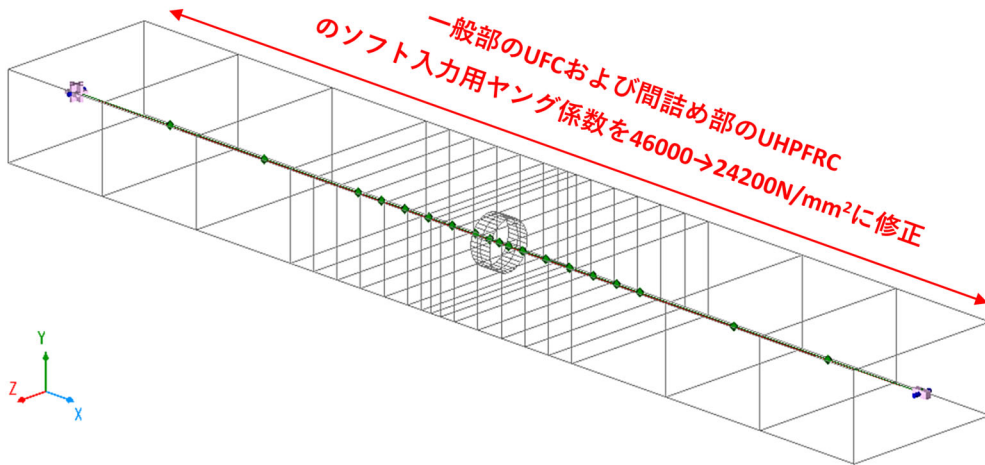
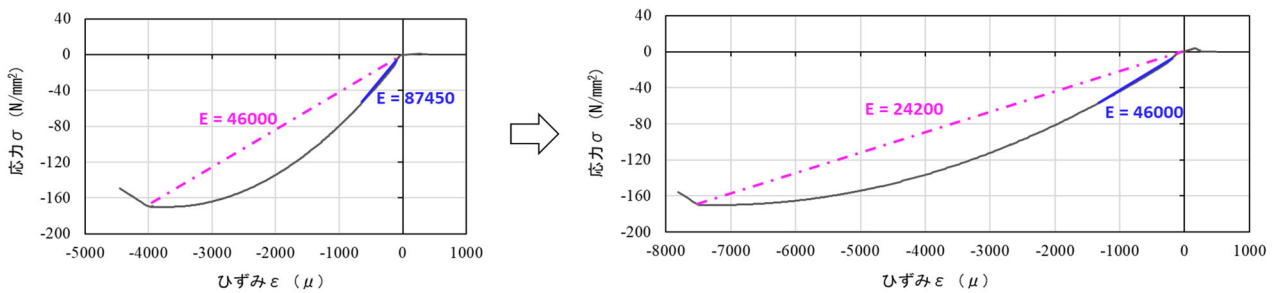


図-2.6.2.18 「Case03_ヤング係数修正」のモデル図

ヤング係数を修正した結果を図-2.6.2.19 に示す。(a)に示すように、UFC のヤング係数に 46000N/mm^2 を入力した時、初期勾配は 87450N/mm^2 になっている。応力-ひずみ曲線の初期勾配を 46000N/mm^2 にするために、ヤング係数に 24200N/mm^2 を入力する必要がある(b)。



(a) ヤング係数修正前

(b) ヤング係数修正後

図-2.6.2.19 ヤング係数修正

b)変形図

Case03_ヤング係数修正の変形図を図-2.6.2.20 に示す.

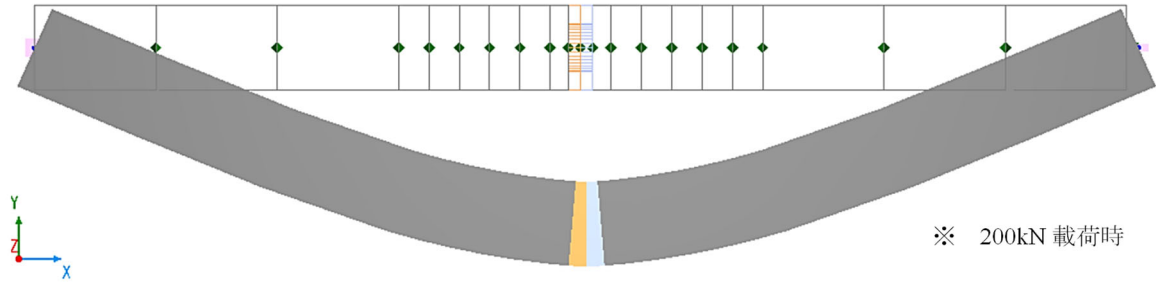


図-2.6.2.20 「Case03_ヤング係数修正」の変形図（間詰め部着色）

c)応力-ひずみ状態

ヤング係数修正前の Case02 と比べ、PC 鋼材が降伏した時のひずみと間詰め部圧壊する時のひずみが大きくなった (図-2.6.2.21).

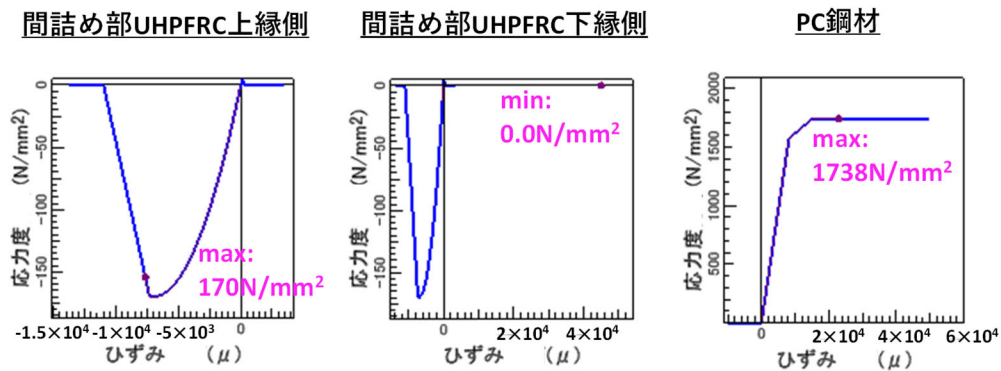


図-2.6.2.21 200kN 荷重後の応力状態

d)荷重-中央変位図

ヤング係数を修正することで、荷重変位曲線の初期勾配が試験結果に一致するようになった (図-2.6.2.22).

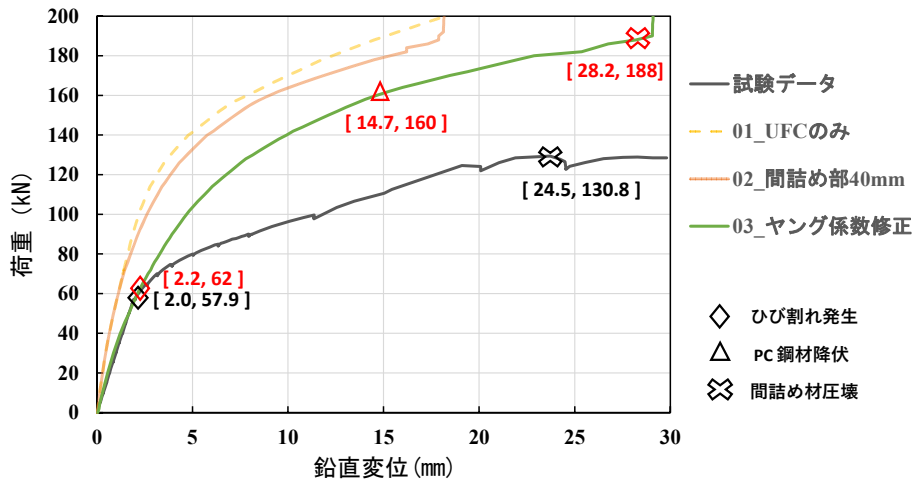


図-2.6.2.22 「Case03_ヤング係数修正」荷重-中央変位図

e) 中央部 M-φ 図

Case03_ヤング係数修正の場合の中央部曲げモーメントー曲率関係図を図-2.6.2.23 示す.

M-φ 曲線の初期上がり勾配も試験結果にフィッティングできた.

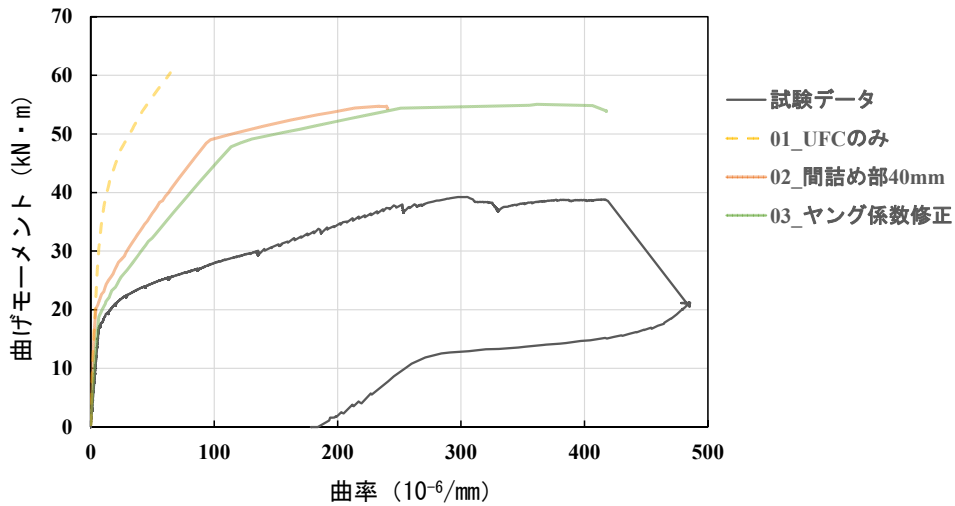


図-2.6.2.23 「Case03_ヤング係数修正」 中央部曲げモーメントー曲率関係図

f) 曲率分布図

ヤング係数修正した結果、間詰め部以外の部分の解析による曲率変化は鉛直変位計の実測値にフィットできるような傾向になった (図-2.6.2.24).

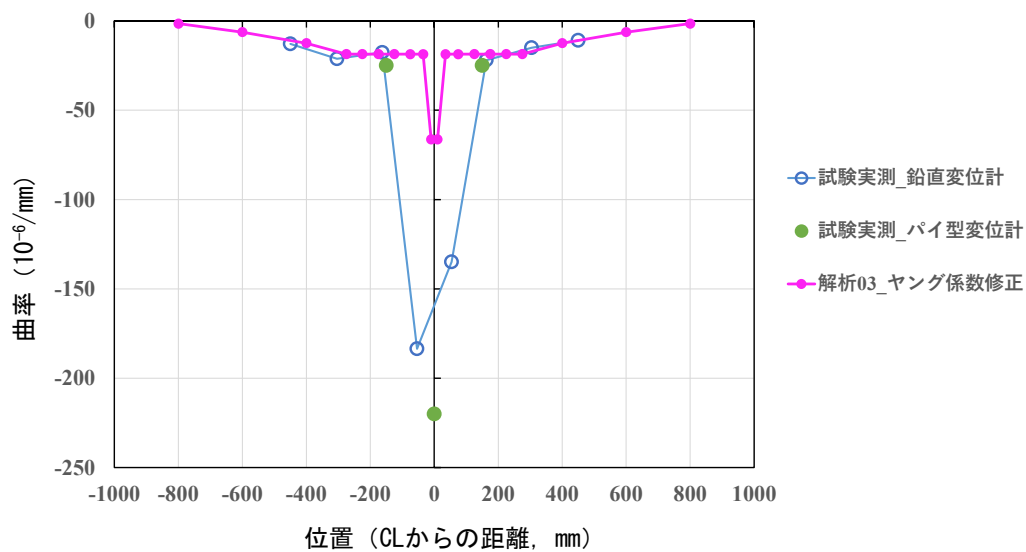


図-2.6.2.24 「Case03_ヤング係数修正」 120kN 載荷時の曲率分布図

(9) 解析結果 Case04_アンボンド PC

a)モデル図

間詰め部の PC がアンボンドであることを考慮し、ひび割れ発生後の応力上昇を緩めの勾配にした (図-2.6.2.25)。

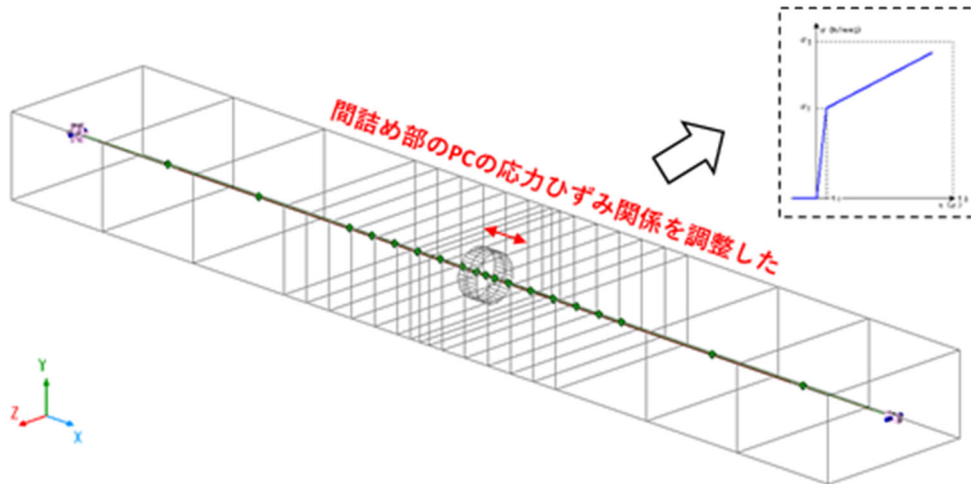


図-2.6.2.25 「Case04_アンボンド PC」のモデル図

b)変形図

Case04_アンボンド PC の変形図を図-2.6.2.26 に示す。間詰め部に大きな変位が生じて、試験体と同じ挙動をしている。

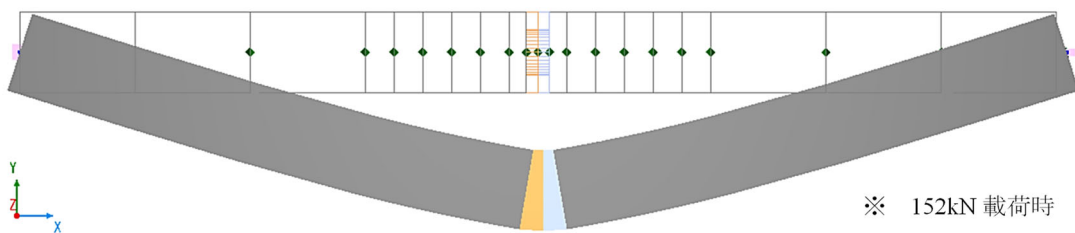


図-2.6.2.26 「Case04_アンボンド PC」の変形図 (間詰め部着色)

c) 応力-ひずみ状態

間詰め部のPC鋼材がアンボンド構造のため、降伏する前に上縁 UHPFRC の圧壊が先行した(図-2.6.2.27).

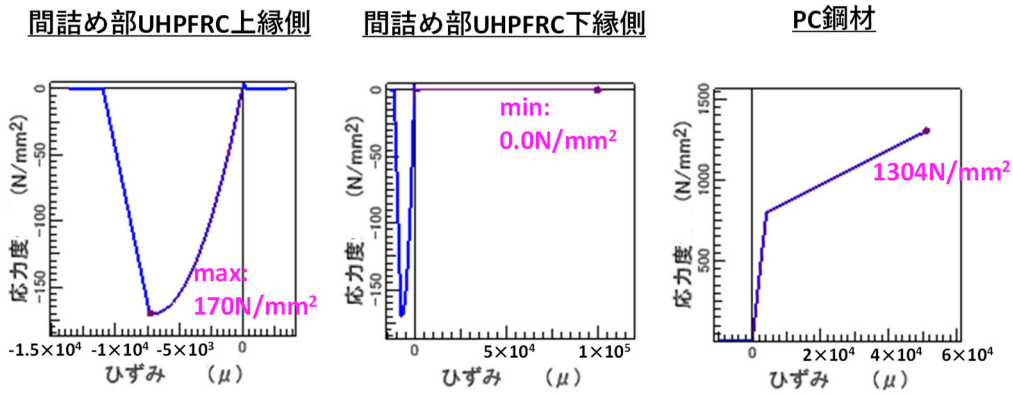


図-2.6.2.27 152kN 载荷後の応力状態

d) 荷重-中央変位図

試験とほぼ同じタイミングでひび割れが生じ、同じ変位で上縁の UHPFRC が圧壊され、その間の荷重変位曲線の変化勾配もほぼ同じの解析結果が得られた(図-2.6.2.28).

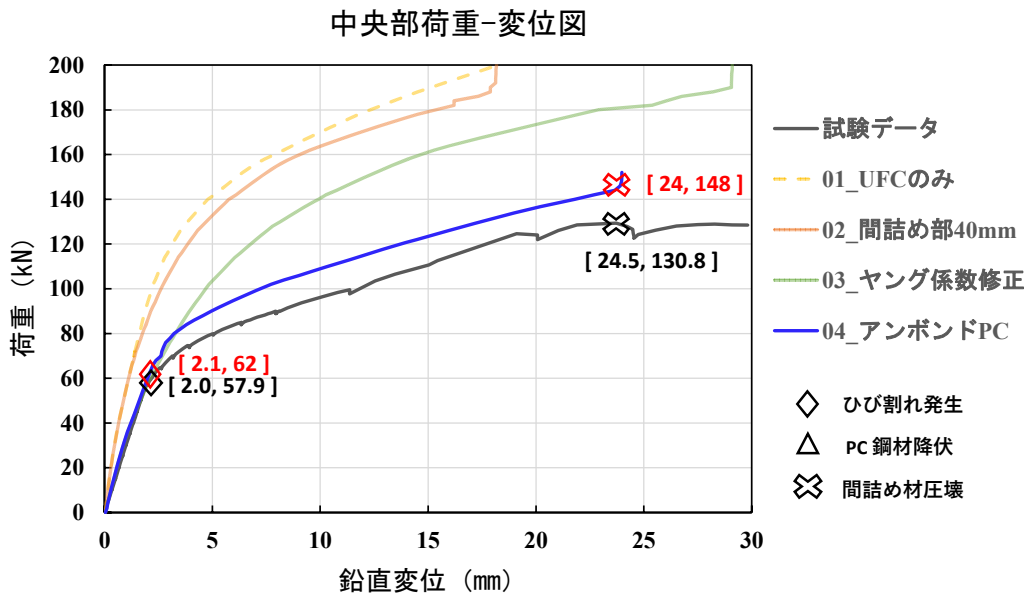


図-2.6.2.28 「Case04_アンボンドPC」荷重-中央変位図

e) 中央部 M-φ 図

Case04_アンボンド PC の場合の中央部曲げモーメントー曲率関係図を図-2.6.2.29 に示す。

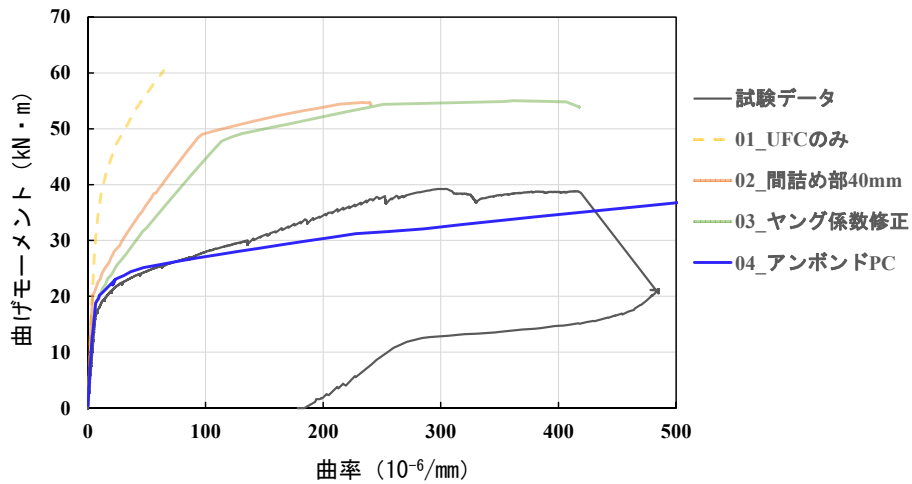


図-2.6.2.29 「Case04_アンボンド PC」 中央部曲げモーメントー曲率関係図

f) 曲率分布図

120kN 荷重時の曲率分布を図-2.6.2.30 に示す。解析により得られた間詰め部の曲率が実測値の約 2 倍であるが、実測値は変位計の測点距離の平均曲率であるので、実際の間詰め部の曲率よりは小さいと考えられる。なお、モールの定理によれば、解析結果と試験結果の支間中央付近の分布形状が特に異なる範囲において、それぞれの分布の面積が同程度で、かつ両者の分布の図心位置 (支点からの距離) もほとんど同じであれば、両者の支間中央のたわみは概ね同程度となる。

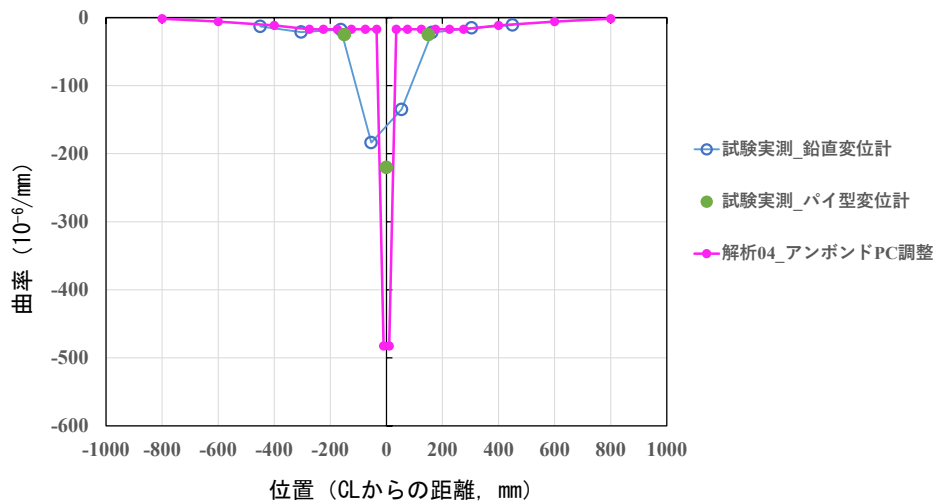


図-2.6.2.30 「Case04_アンボンド PC」 120kN 荷重時の曲率分布図

(10) 考察

合計 4 つの解析ケースを実施し、試験結果を再現できるように UFC のヤング係数や間詰め部の付着領域を仮定した PC 鋼材の構成則をパラメータとしてケースを想定した。各ケースの結果を以下に要約する。

- Case01 : UFC のみで間詰め部がない場合、載荷点間ではほぼ均一に変形しており、間詰め部の界面もないことから試験体より剛性があるため、試験結果より変位が小さい結果となった。
- Case02 : 試験体と同じ中央に 40mm の間詰め部を設けた場合、間詰め部の UHPFRC の剛性が一般部よりも小さいため、間詰め部の曲率が大きくなり、試験結果と同じひび割れ発生→PC 降伏→間詰め部上縁の UHPFRC 圧壊の順番となった。
- Case03 : UFC 材料の圧縮側剛性を再現するために、ソフト入力時の設定ヤング係数を修正した結果、荷重－変位曲線の初期勾配（ひび割れ発生まで）が試験結果に概ね一致した。
- Case04 : 間詰め部の PC 鋼材がアンボンド構造となるため、その応力ひずみ関係をひび割れ発生後緩やかに上昇するように設定した結果、ひび割れ発生以降の荷重－変位関係も試験結果に近い解析結果が得られた。

使用した市販ソフトによる解析では、UFC のような特殊な材料の構成則が表現できないため、解析精度には限界があると思われる。また、実験では曲げひび割れが PC 鋼材まで進展した際に、シースの接続部で PC 鋼材の付着切れが発生していると考えられる。その付着領域によって挙動が変化することから、再現解析でこれをどのように設定するかが今後の課題である。

2.7 ファイバーモデルによる曲げ挙動の計算

2.7.1 概要

はり供試体の荷重-変位関係及びモーメント-曲率関係 ($M-\phi$) について、表計算ソフトを用いてファイバーモデルでの計算を試みた。各 FRC の引張強度特性は、図-2.7.1.1 に示すように、直接引張試験の結果を踏まえて、ひび割れ発生後、引張応力がひずみに応じて指数関数で徐々に低下する式とした。ただし、供試体 S1 は、主材の FRC に有機繊維を含み、鉄筋を配置した構造であったことから、RC と同様の引張軟化式 (係数 $c=0.4$)¹⁾ を用いた。供試体 KF1 についても、それらの点については同 S1 と同様であったが、同 TS1、KJ と同様に指数関数によった。供試体 KF1 では、 $c = 0.4$ とした場合に途中までは概ね一致したが、それ以降の挙動は一致しなかった。圧縮側の応力-ひずみ関係はそれぞれ材料試験の結果にあてはめたものを用いた。鋼材の応力-ひずみ関係は材料引張試験またはミルシートの値を用いて、鉄筋はバイリニア、PC 鋼材はトリリニアでそれぞれ構成した。

計算において、接合部付近は、断面寸法、鋼材配置が異なるのに応じて断面ごとに $M-\phi$ を算出した。その際、プレキャスト部と間詰材の打継目はある程度の付着強度を有すると考え、試験結果との比較から、付着強度を推定した。供試体 KF1 の接合部付近で、高さが部分的にプレキャスト部の 1/2 とされていたので、図-2.7.1.2 に示すとおり、その直近の要素の全断面には力が伝達されないことを考慮して、概ね 45° で有効断面が変化するものとした (供試体 TS1 の断面変化部も同様)。さらに、繊維が交差していない打継目で割れが生じた後は、周囲の断面にも力が伝わらないことから、打継目から部材高さと同じ範囲の要素は、付着強度に達した後は FRC が引張を負担しないものと仮定した (引張鉄筋のある供試体 S1 は打継目近傍の要素のみ)。それらを考慮した上で、各断面の $M-\phi$ を計算した後、Area-Moment 法²⁾で支間中央のたわみを算出した。

はり供試体 TS1 では、接合部の PC 鋼材をアンボンドで使用していた。アンボンドの場合に、平面保持の仮定が成立しないが、ここでのファイバーモデルによる計算では、便宜的に PC 鋼材のひずみを付着ありとした場合におけるひずみの 1/20 と仮定して計算することとした。供試体 KJ はグラウトされてほとんどの区間で付着が有効であると考えたが、間詰材の区間にスポンジを配置していたことから、その 40mm の区間のみアンボンドと仮定して同様に計算した。

この 2.7 では第 1 編 3.と同様に、負曲げによる荷重、変位、モーメント、曲率はいずれも負号で表す。

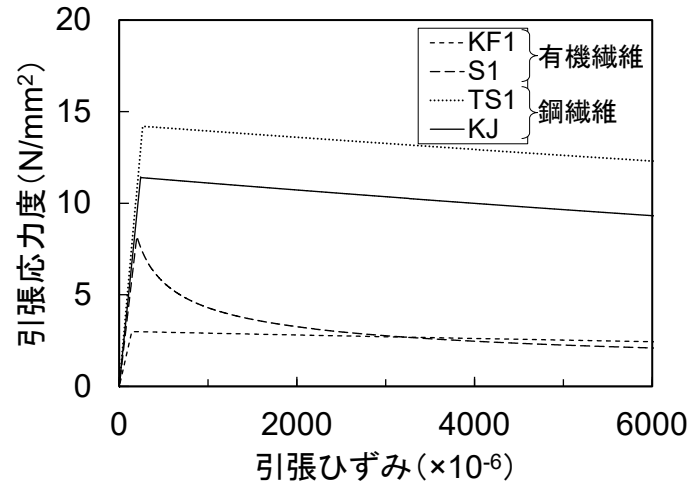


図-2.7.1.1 計算に用いた主材の引張応力度－引張ひずみの関係

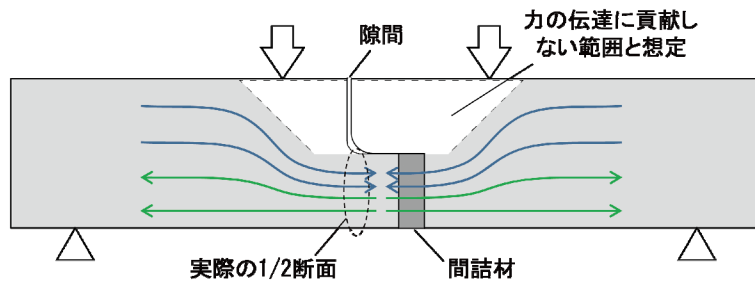


図-2.7.1.2 接合部付近の力の流れと計算モデルのイメージ (供試体 KF1 の例)

2.7.2 供試体 TS1

(1) 計算モデル

図-2.7.2.1 に、供試体 TS1 の計算モデルのイメージを示す。供試体 TS1 は、リブ構造や接合部の急激な断面変化、PC 鋼棒の途中定着など、比較的複雑であるが、ここでは他の供試体と同様にファイバーモデルによる計算を試みた。FRC の材料構成は、主材と間詰材の 2 種類とした。断面変化部付近は、供試体 KF1 と同様に全断面に力が伝わらず、抵抗曲げモーメントに寄与する範囲が限定されると仮定して、実際の高さの 70%、85%と徐々に変化させた。図-2.7.2.2 に、供試体 TS1 の材料モデルを示す。UFC、UHPFRC の圧縮側は、圧縮強度試験の応力-ひずみ関係に基づき、放物線で表した。同引張側は、直接引張試験の結果に基づき、ひび割れ発生までは圧縮側の傾きと同様とし（極性のみ逆）、ひび割れ発生後は、試験結果に概ね沿って、指数関数で徐々に応力度が低下する応力-ひずみ関係とした。PC 鋼材の応力-ひずみ関係は、前掲図-1.2.1.2 のとおり、ミルシートの値を用いてトリリニアで構成した。PC 鋼材のひずみには、有効プレストレスに相当する引張ひずみを初期値として与え、UFC や UHPFRC のひずみには、有効プレストレスに相当する圧縮ひずみを初期値として与えた。その際の鋼材、UFC、UHPFRC の弾性係数は、それぞれ 200000、51700、49600 N/mm² とした。載荷試験時における PC 鋼材の張力はいずれも 229kN（設計値）とした。

リブ付き床版の $M-\phi$ は、リブの上下縁のひずみゲージによる実測ひずみから求めた曲率とモーメントの関係に基づき、その有効幅について検討することとし、ここでは片側有効幅をリブ間隔の 1/6 とした仮定 A と、全断面有効から曲げひび割れ後に有効幅をゼロとした仮定 B の 2 種類について示す。

はり供試体の間詰部は、PC 鋼材の箱抜きが設けられたことから、引張域に繊維がまったくない断面がなかった。このことから、はり供試体の接合部は、3.4.2 で後述するジグソー形式の接合部に類似すると仮定して、打継目の割れが生じた後の引張域は繊維のある部分のみ有効断面とすることとした。打継目の付着強度は 6.5 N/mm² とした。

(2) 結果

図-2.7.2.3 に、供試体 TS1 の荷重-変位関係を試験結果とともに示す。有効幅の両仮定の結果を同図(a)、(b) にそれぞれ示す。打継目の割れが目視で確認できた 100kN 程度までは、いずれの計算においても、実測値と概ね同様の傾向が見られる。それ以上の荷重になると、仮定 A では変位の計算値が実測値より小さい。逆に仮定 B では計算結果の変位が実測値より大きくなる傾向が見られるが、仮定 A より実測値に近い傾向であった。

図-2.7.2.4 に、打継目付近の $M-\phi$ の実測値をたわみ計算の際の $M-\phi$ の計算値とともに示す。曲率 ϕ の実測値は、パイ型変位計による結果とたわみ変位による結果をそれぞれ示す。測定に用いた機器は、図中の補足図に示すとおりである。両者の結果は、概ね同程度の曲率が得られた。また、計算値はそれらの試験結果をよく表していた。

図-2.7.2.5 に、リブ付き床版の CL±320mm における $M-\phi$ の実測値を示す。 $M-\phi$ の計算値は図-2.7.2.6 に示す有効幅の仮定 A、B それぞれの場合について図-2.7.2.5(a)、(b)にそれぞれ示した。曲率 ϕ の実測値は、リブの上下縁に貼り付けたひずみゲージによるひずみから算出したものであり、合計 6 箇所での結果が得られた。A 面から見て左側の測定位置（データは図中の記号 L）では曲げひび割れが発生したが、同右側では（同 R）

ひずみゲージから支間中央寄りにやや離れた位置で曲げひび割れが発生した。このため、曲げひび割れが発生したと考えられる約 30 kN-m 以降、L1～L3 の曲率が急増して、左右の $M-\phi$ に顕著な違いが見られる。特に、L2 は幅方向中央のリブであり、L1～L3 の中で変形が最も大きい傾向が見られた。図-2.7.2.6(a)に示す仮定 A では、デッキプレート部の片側有効幅 λ を、道路橋示方書を参考にリブ間隔の 1/6 として 50mm とした。図-2.7.2.5(a)より、計算における曲げひび割れ発生までの $M-\phi$ の傾きがやや小さく、 λ を 50mm とすると断面性能を過少評価する傾向が見られた。曲げひび割れが発生した後の $M-\phi$ の計算値は、実測値 L1～L3 のような急な曲率の変化が見られず、曲率の実測値 L1～L3 に比べると仮定 A での計算値が曲率を著しく過少評価する傾向が見られた。この結果を踏まえて、図-2.7.2.6(b)に示す仮定 B では、曲げひび割れが発生するまでは全幅有効として、部材下縁が曲げひび割れが発生するひずみに達した後はデッキプレート部の高さ 40mm にわたって λ を 0 と仮定した。仮定 B の下での $M-\phi$ の計算結果を示した図-2.7.2.5(b)では、計算における曲げひび割れ発生までの $M-\phi$ の傾きは実測値とよく一致しており、また曲げひび割れ発生後において L1～L3 の結果と概ね同様の傾向となることが分かった。

これらのリブ付き床版の $M-\phi$ の計算より、鉄筋のない FRC 断面における引張側の有効幅は、曲げひび割れ発生後において 1/6 よりも小さくなる傾向があると考えられる。リブ付き床版の場合には、リブ間のひび割れた断面で鋼繊維間のせん断伝達がほとんどなく、リブから離れた位置の鋼繊維がリブの曲げに貢献しない場合があることを示唆する。

図-2.7.2.7 に、供試体 TS1-1 の試験結果と比較して、荷重—変位関係を計算したときの曲率分布を示す。ここでは、仮定 B の場合の計算結果を示す。荷重 100, 160, 184kN 時の結果をそれぞれ記号を変えて示した。供試体 TS1 は、接合部の構造が 3 次元的に変化する比較的複雑な構造であったが、160 kN 程度までは上記の仮定の下で、実測曲率分布の傾向をある程度示すことができた。

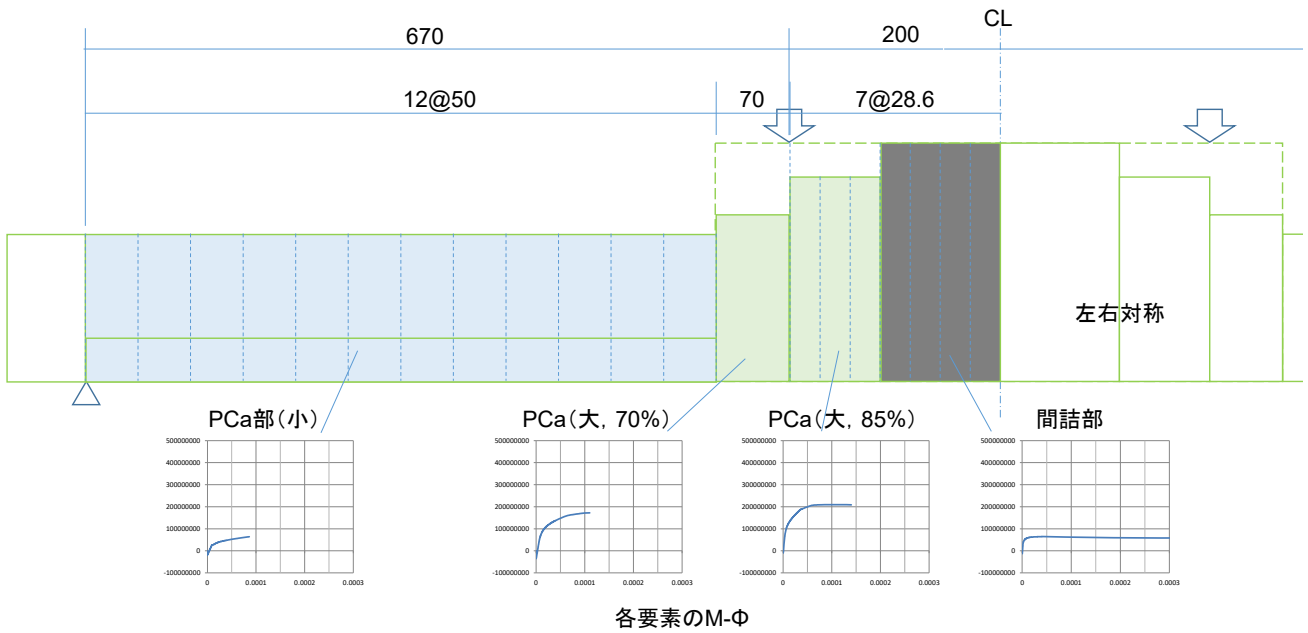
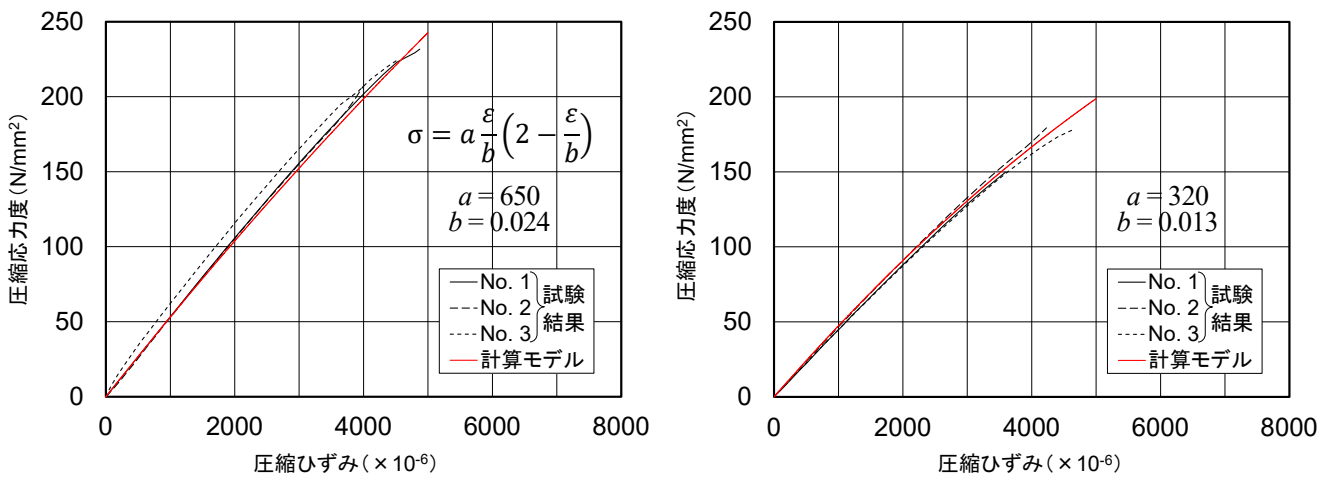
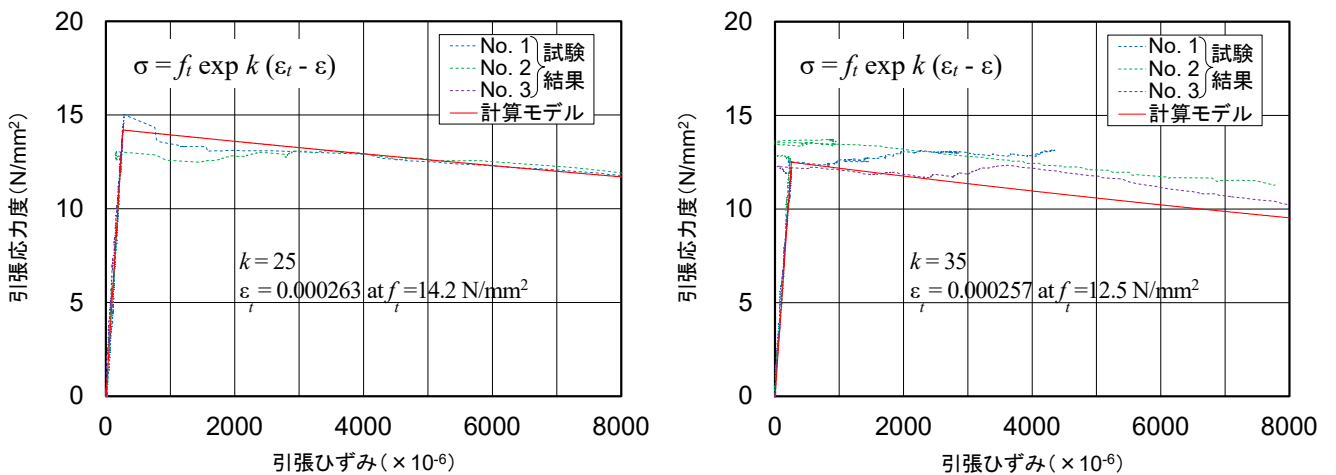


図-2.7.2.1 供試体 TS1 の計算モデルのイメージ

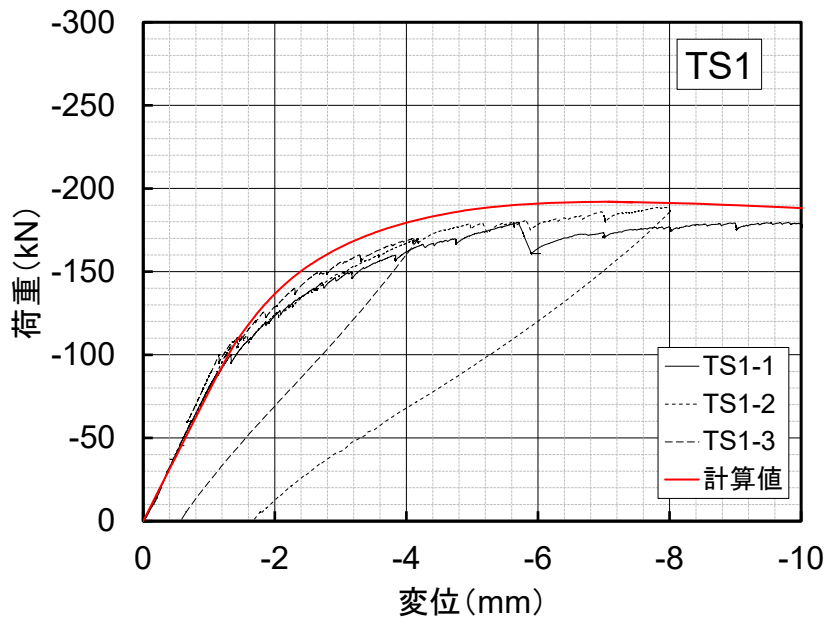


(a) FRC (圧縮域, 左図: 主材, 右図: 間詰材)

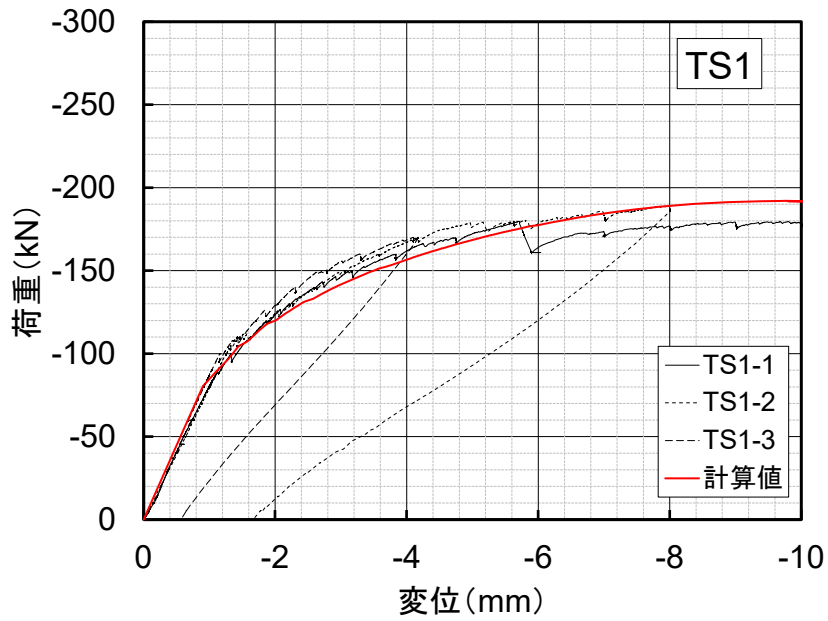


(b) FRC (引張域, 左図: 主材, 右図: 間詰材)

図-2.7.2.2 供試体 TS1 の計算に用いた材料モデル

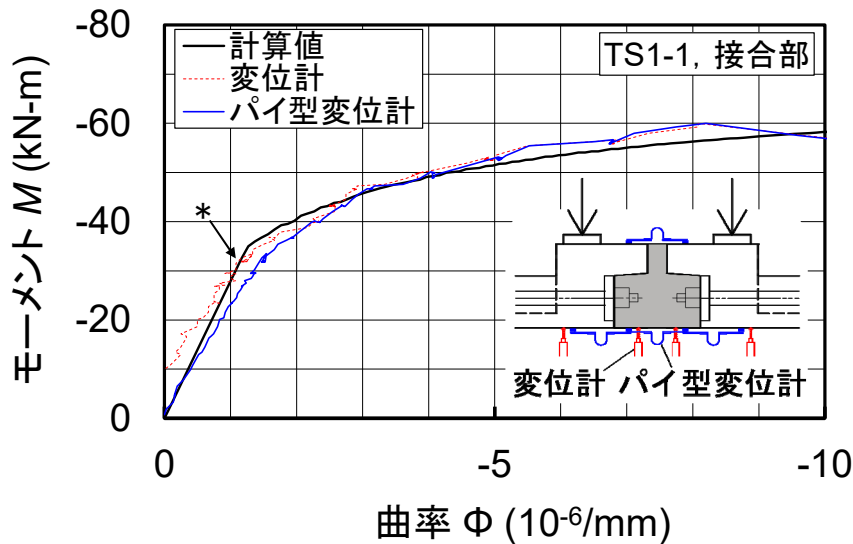


(a) 有効幅の仮定 A の場合



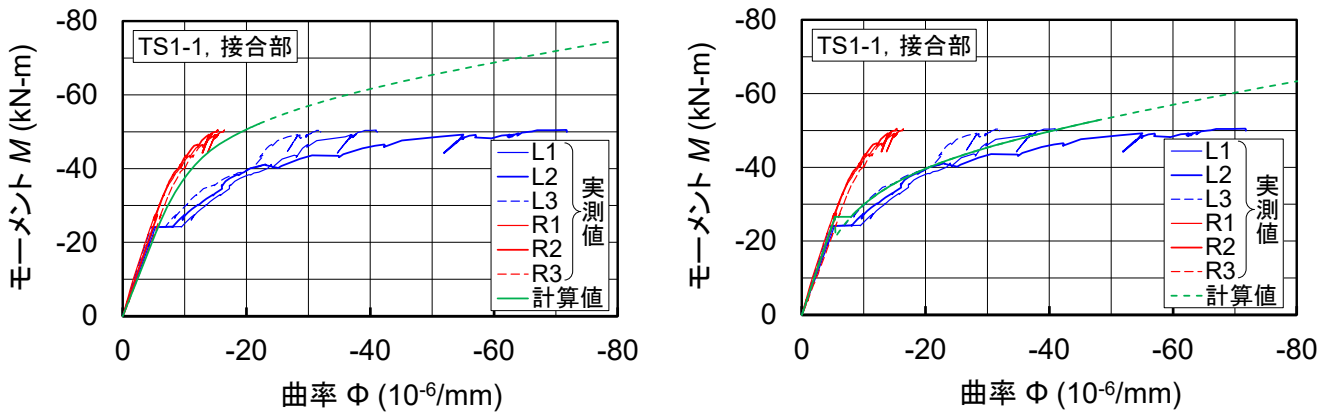
(b) 有効幅の仮定 B の場合

図-2.7.2.3 供試体 TS1 の荷重－変位関係比較



注) 挿入図はグラフに関連する測定機器のみ示す。*) 矢印はずれセンサによる打継目の割れ発生時を示す。

図-2.7.2.4 供試体 TS1-1, 打継目付近の $M-\phi$ 関係



(a) 有効幅の仮定 A の場合

(b) 有効幅の仮定 B の場合

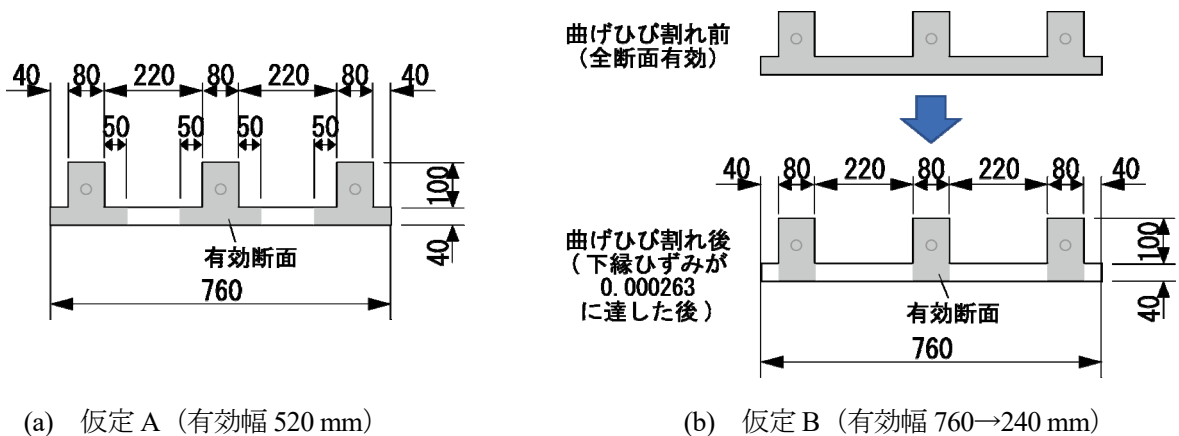
注) 曲率の実測値はひずみゲージによる値を示す。

記号のうち L, R は A 面側から見た左右のリップをそれぞれ示す。また番号は A 面に近い側から順に各リップを示す。

計算値の破線は $M-\phi$ の計算値を示し、実線はたわみ計算で用いた $M-\phi$ の計算の範囲を示す。

CL±320 mm の位置での、支間中央たわみの計算における最大曲げモーメントは約 52 kN-m であった。

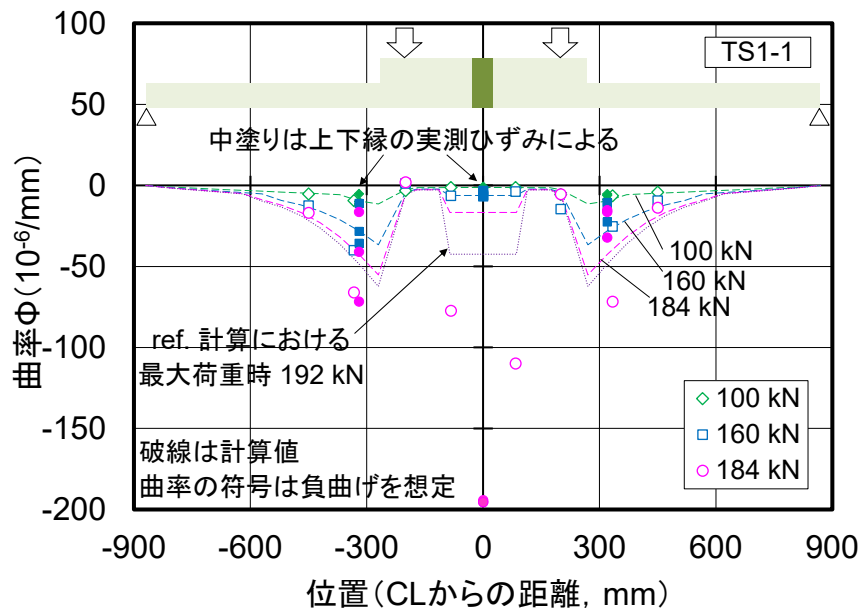
図-2.7.2.5 供試体 TS1-1, プレキャスト部リップ付き床版の $M-\phi$ 関係 (CL±320 mm)



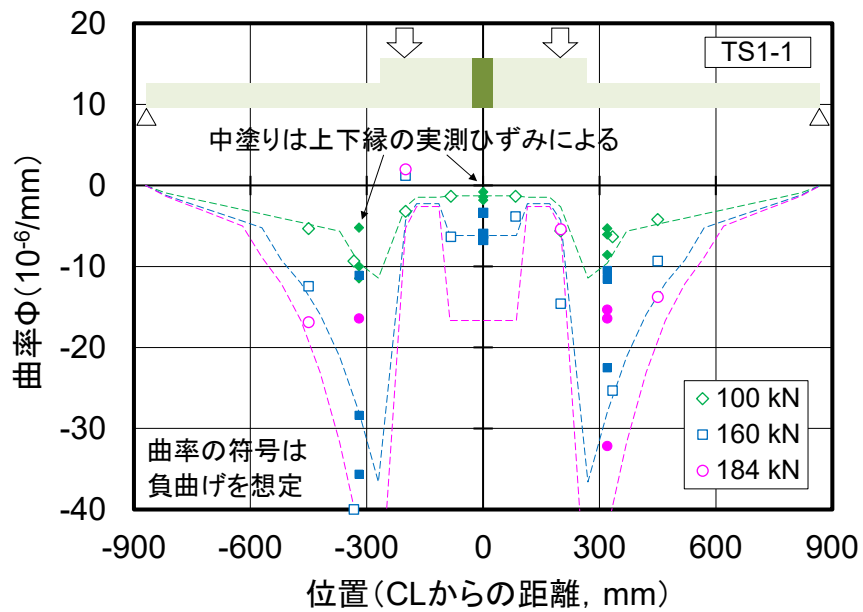
(a) 仮定 A (有効幅 520 mm)

(b) 仮定 B (有効幅 760→240 mm)

図-2.7.2.6 リブ付き床版の $M-\phi$ 関係における有効幅の仮定



(a) 全体



(b) 拡大

注) 図中の記号は実験値を, 破線は計算値をそれぞれ示す。

図-2.7.2.7 供試体 TS1-1 の曲率分布比較
(有効幅の仮定 B の場合)

2.7.3 供試体 KF1

(1) 計算モデル

図-2.7.3.1 に、供試体 KF1 の計算モデルのイメージを示す。供試体 KF1 の接合部では、前掲図-2.7.1.2 に示したとおり、接合部の一部に高さが 1/2 となる断面（1/2 断面）があり、鉄筋はその上縁付近に配置されていた（試験時の上縁）。接合部の構造は、側面から見て左右非対称であり、鉄筋配置も左右非対称であった。しかし、計算を簡単にするため左右対称と仮定し、中央付近に 1/2 断面があり、その区間内に間詰材の部分があるモデルとした。1/2 断面の近くは急激な断面変化のため全断面に力が伝わらず、抵抗曲げモーメントに寄与する範囲が限定されると考え、図-2.7.3.1 のとおり実際の高さまでの間を概ね 45° で変化すると仮定した。計算上は、簡単に高さ 100%と 50%の要素の間に 75%の断面を設けた。図-2.7.3.2 に、供試体 KF1 の材料モデルを示す。主材、間詰材ともに、他の供試体と同様に、圧縮強度試験の応力-ひずみ関係に基づき放物線で表した。主材の引張側は、直接引張試験の結果に基づき、ひび割れ発生までは圧縮側の傾きと同様とし（極性のみ逆）、ひび割れ発生後は、試験結果に概ね沿って、指数関数で徐々に応力度が低下する応力-ひずみ関係とした。しかし、間詰材の引張側は、繊維の種類やマトリックスが主材と大きく異なっていたことから、直接引張試験の結果を概ねそのまま当てはめたモデルを用いた。間詰材のすぐそばに打継目があることから、打継目の割れが生じた後は引張の負担をしないと仮定したが、荷重-変位関係の計算には影響しなかった（打継目の付着強度は 5.5 N/mm^2 と仮定）。鉄筋の応力-ひずみ関係は、ミルシートの値を用いてバイリニアで構成した。

(2) 結果

図-2.7.3.3 に、供試体 KF1 の荷重-変位関係を試験結果とともに示す。試験では 1/2 断面における隙間が曲げ変形で接触して荷重が再増加する現象が見られたが、それまでの曲げ挙動の計算結果は、試験結果をよく表している。

図-2.7.3.4 に、1/2 断面付近の $M-\phi$ の実測値をたわみ計算の際の $M-\phi$ の計算値とともに示す。曲率 ϕ の実測値は、パイ型変位計による結果とたわみ変位による結果をそれぞれ示す。測定に用いた機器は、図中の補足図に示すとおりである。ここで示したたわみ変位による曲率は、支間中央と両載荷点直下の 3 点のたわみ変位により算定した。両者の結果は、曲げひび割れが発生した $4.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$ から差が見られたが、全体としては概ね同程度の $M-\phi$ の関係が表されており、計算値はそれらの結果をよく表していた。 $4.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$ からの差は、主に曲率測定の対象範囲の違いによると考えられる。同図には、参考として、1/2 断面の FRC の引張強度特性として RC と同様の引張軟化式を用いた場合の結果も示す。供試体 KF1 の試験では、曲げひび割れ発生後も、引張抵抗が急に低下することがなく、前掲図-2.7.3.2(b)に示した構成則の方が実挙動をよく表していると考えられる。

図-2.7.3.5 に、供試体 KF1-1 の試験結果と比較して、荷重-変位関係を計算したときの曲率分布を示す。同図(a)のたわみ変位による曲率は、隣り合う 3 点のたわみ変位により算出した曲率を示す。同図(b)は、たわみ変位のうち打継目付近で比較的狭い間隔で測定した D-6, 7 の値を除いた場合の曲率の計算値を示す。いずれも荷重 20, 30, 40kN 時の測定結果をそれぞれ記号を変えて示した。たわみ計算の際における曲率の計算値は破線で示す。計算は左右対称のモデルとしたことから、図-2.7.3.5(a)では当然試験結果で見られる非対称の挙

動を表現できていない。純曲げ区間の平均的な曲率の変化を示した図-2.7.3.5(b)では、1/2 断面付近で負曲げが大きくなる状況を概ね表せていた。参考として、これらの実測曲率の算出に用いた実測たわみ分布を図-2.7.3.6 に示す。

図-2.7.3.7 に、供試体 KF1-1,2 の 1/2 断面のひび割れ発生状況を示す。供試体 KF1 の 3 体は、いずれも打継目の割れが見られる前に、1/2 断面付近に曲げひび割れが誘発される傾向が見られた。ただし、同図(a)に示す供試体 KF1-1 のみ、曲げひび割れとともに打継目のごく部分的な割れが見られた。1/2 断面付近に曲げひび割れが発生すると、高強度 FRC の引張強度特性が有効に働き、曲げひび割れを分散させるとともに、間詰材との打継目の割れを相対的に生じ難くしたと考えられる。このため、曲げ変形が 1/2 断面で局所的に大きくなるが、FRC の特性に由来するねばり強さが発揮された。この例から、供試体 KF1 に限らず、引張強度特性の面で有利な繊維のある断面に曲げひび割れを誘導することによって、FRC の本来の性状を効果的に活かせる可能性があることが分かる。

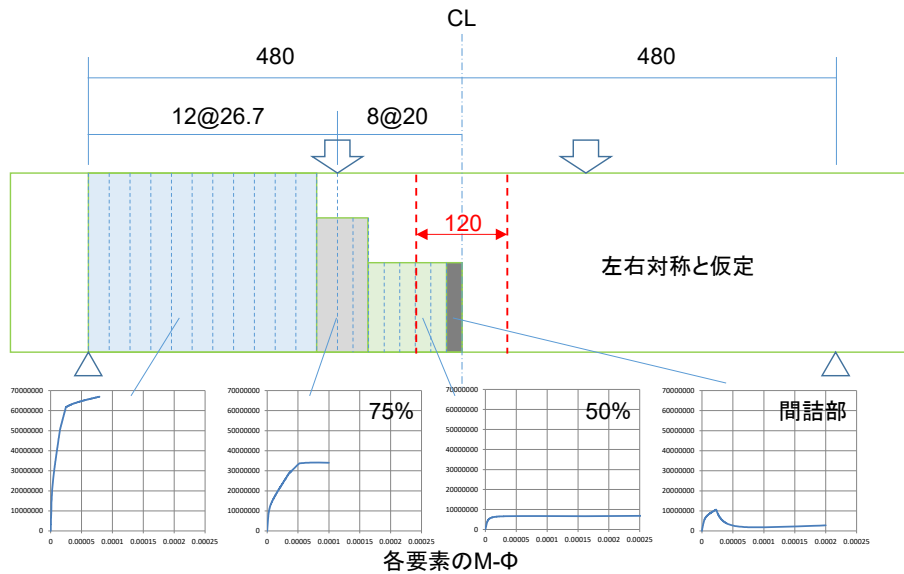


図-2.7.3.1 供試体 KF1 の計算モデルのイメージ

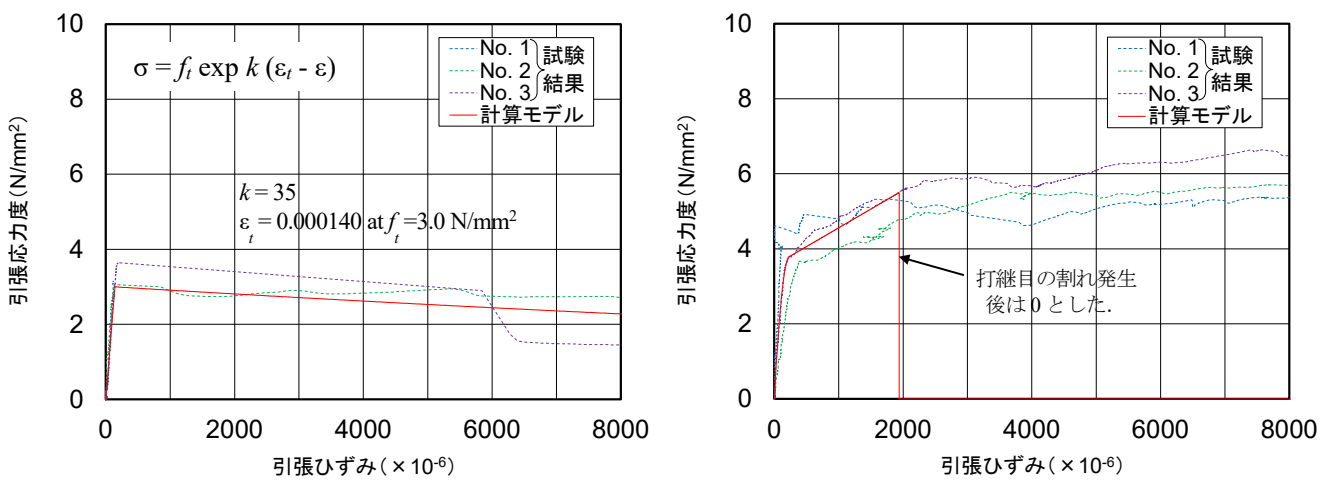
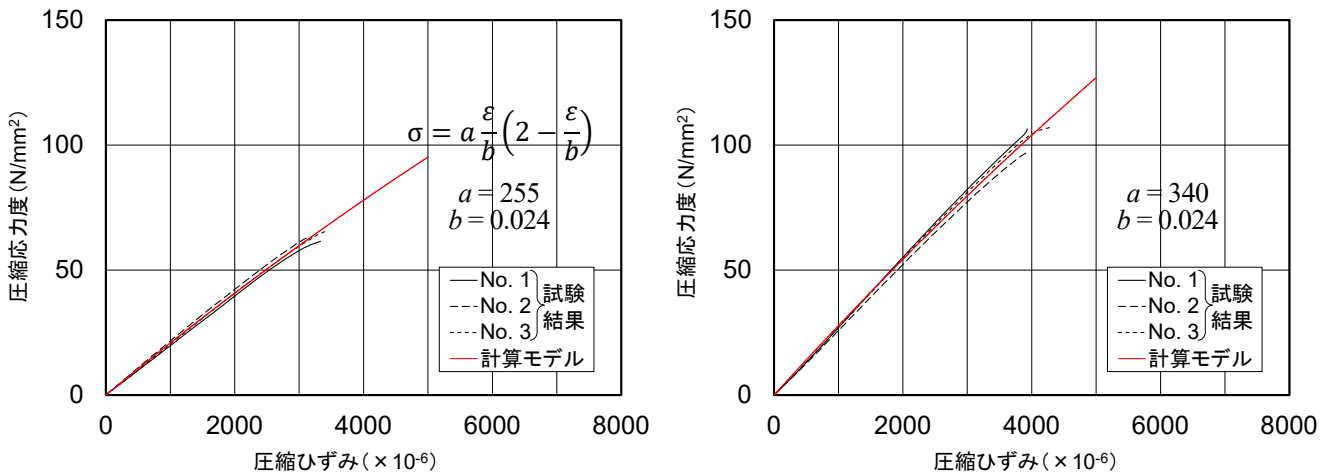


図-2.7.3.2 供試体 KF1 の計算に用いた材料モデル

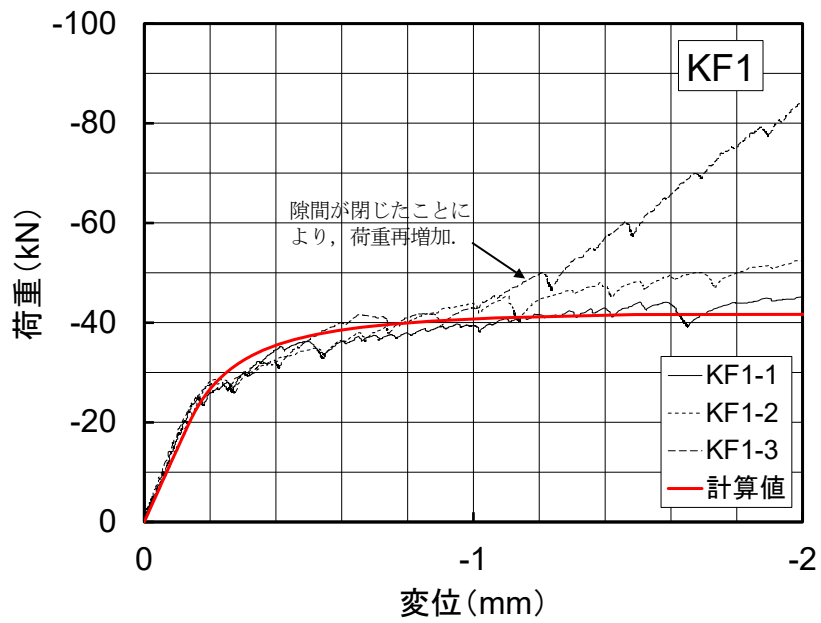
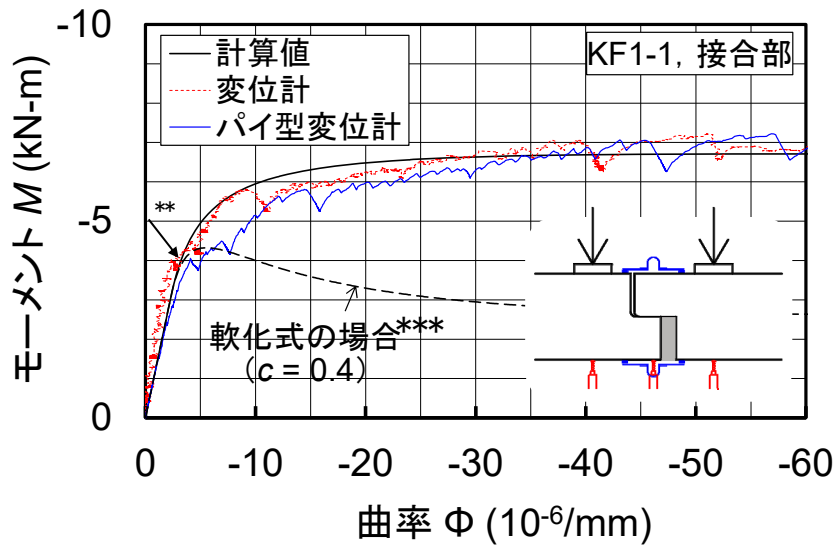
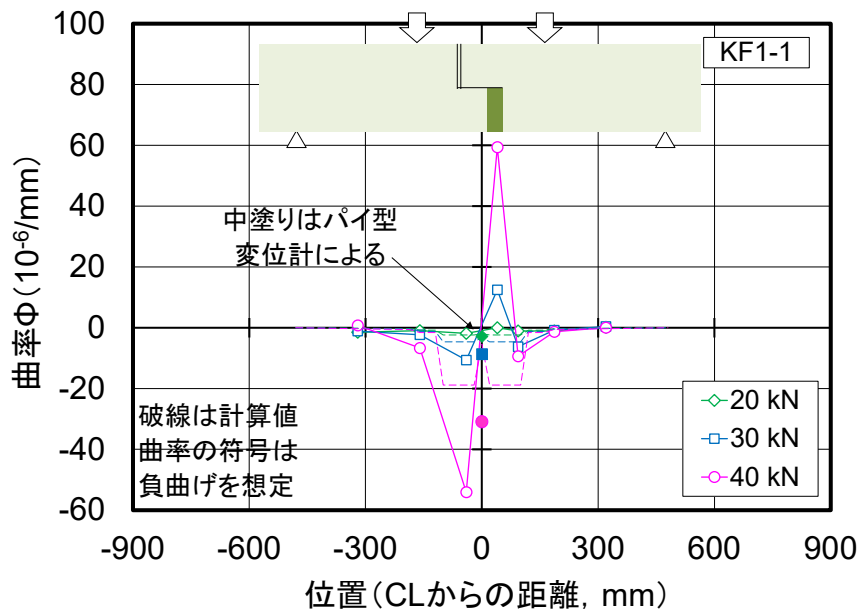


図-2.7.3.3 供試体 KF1 の荷重－変位関係比較

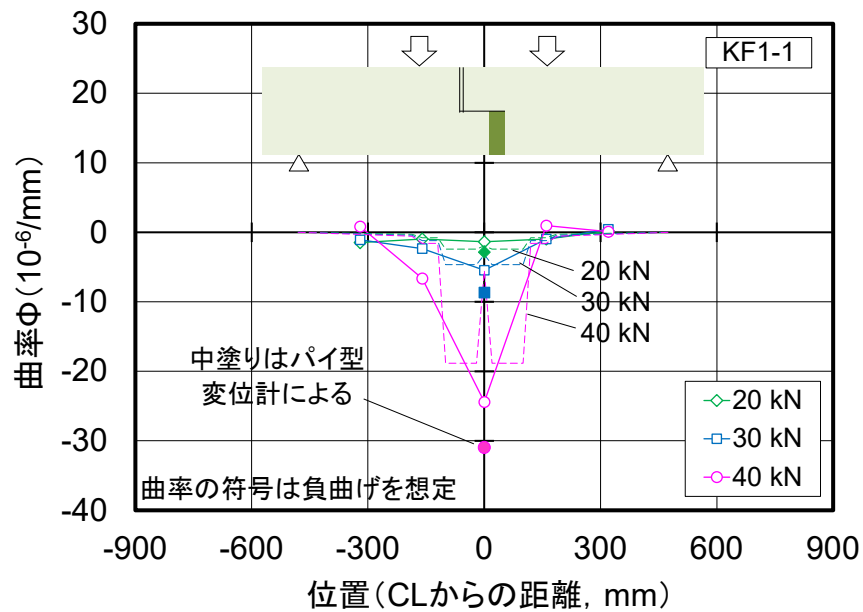


注) 挿入図はグラフに関連する測定機器のみ示す。
 **) プレキャスト部 1/2 断面の曲げひび割れ。一部で打継目の割れが生じた。
 ***) RC の引張軟化式による試算例。

図-2.7.3.4 供試体 KF1-1, 1/2 断面付近の $M-\phi$ 関係



(a) D-6, 7 のたわみ変位を含めた場合



(b) D-6, 7 のたわみ変位を除いた場合 (支間中央の値は図-2.7.3.4 の ϕ と同じ)

注) 図中の実線、記号は実験値を、破線は計算値をそれぞれ示す。

図-2.7.3.5 供試体 KF1-1 の曲率分布比較

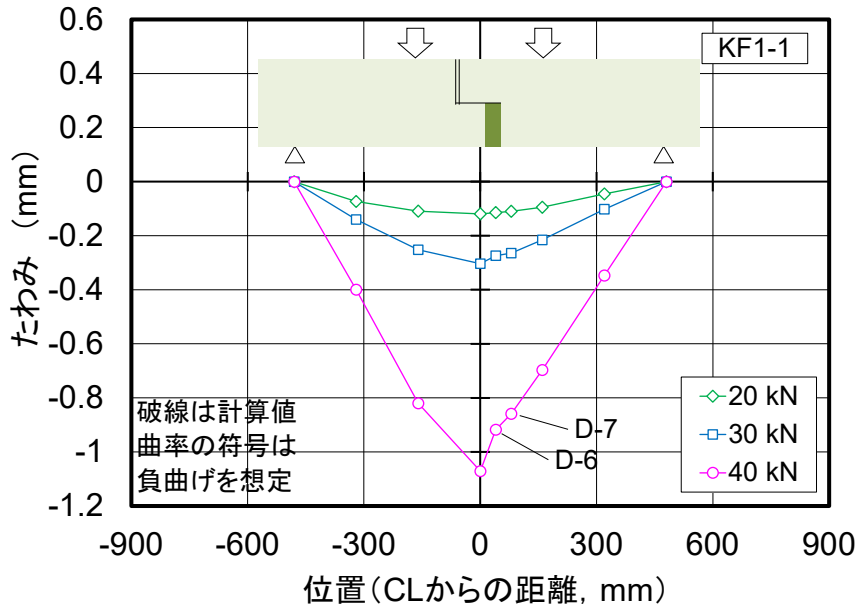
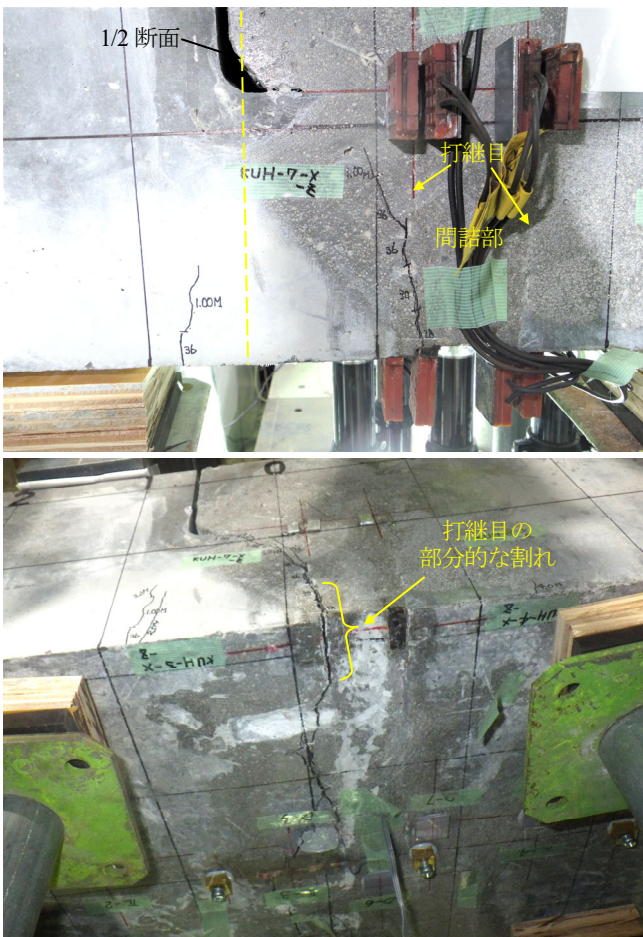
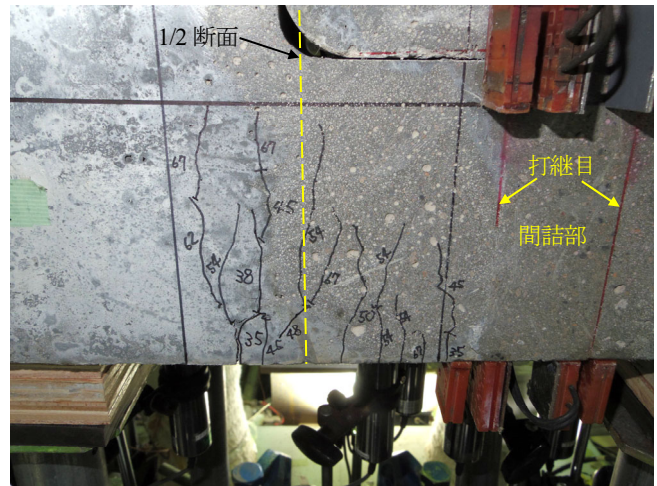


図-2.7.3.6 供試体 KF1-1 のたわみ分布



(a) KF1-1 (上：側面，下：斜め下方から)



(b) KF1-2

注) KF1-1 のみ，打継目の割れが図(a)に示す部分で見られた。それ以外は，隙間が接触した後，荷重がさらに上昇してから，明確な打継目の割れが発生した。

図-2.7.3.7 供試体 KF1 の 1/2 断面付近におけるひび割れ

(1/2 断面付近にひび割れが誘発され，高強度 FRC の引張強度特性が有効に働き，曲げひび割れを分散させた)

2.7.4 供試体 S1

(1) 計算モデル

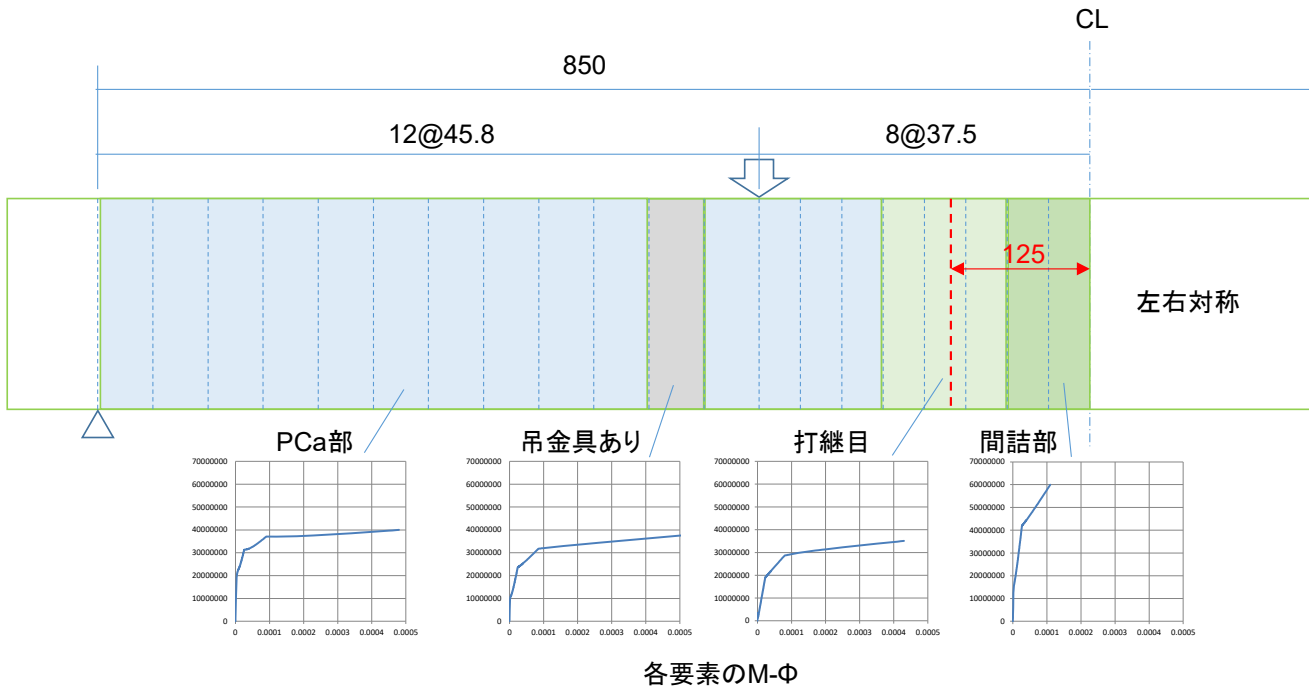
図-2.7.4.1 に、供試体 S1 の計算モデルのイメージを示す。供試体 S1 の接合部の構造は、側面からみると左右対称であるが、鉄筋が千鳥配置で幅方向に左右非対称であった。計算では、千鳥配置を考慮していない。図-2.7.4.2 に、供試体 S1 の材料モデルを示す。主材、間詰材ともに、圧縮側は、他の供試体と同様に、圧縮強度試験の応力-ひずみ関係に基づき放物線で表した。引張側は、FRC に有機繊維を含み、鉄筋を配置した構造であったことから、RC と同様の引張軟化式（係数 $c=0.4$ ）¹⁾を用いた。また、主材の高い強度を考慮して仮に $c=1.4$ とした場合についても試算した。打継目の割れが生じた後はその付近で引張を負担しないと仮定した。打継目の付着強度は荷重-変位関係や $M-\phi$ の試験結果との比較から 2.0 N/mm^2 とした。鉄筋の応力-ひずみ関係は引張試験結果を用いてバイリニアで構成した。なお、供試体 S1 は、載荷時の下面 $\text{CL}\pm 300\sim 360 \text{ mm}$ の辺りに吊金具が配置されており、その位置での曲げひび割れ発生が吊金具のない部分に比べて低い荷重で発生した。その影響を考慮して吊金具位置の要素について、引張ひずみのピーク値を 72×10^{-6} （引張応力度で 3 N/mm^2 相当）とした。

(2) 結果

図-2.7.4.3 に、供試体 S1 の荷重-変位関係を試験結果とともに示す。同図(a)の計算値は、主材の構成則のうち、ピーク後に RC と同様の軟化式 $c=0.4$ を用いた場合の結果を示した。係数 $c=0.4$ のままでは、試験結果との乖離が見られた。参考として、同図(b)に、 $c=1.4$ とした場合の計算値を同様に示す。適切な構成則は今後の課題であるが、仮に係数 c の設定を大きくすると試験結果と整合する傾向が見られた。なお、載荷試験において、打継目の割れが広がるとその付近の鉄筋の負担が大きくなり、それに伴い鉄筋が千鳥配置されたことによるねじりの影響が間詰材のひび割れなどに徐々に表れていた。

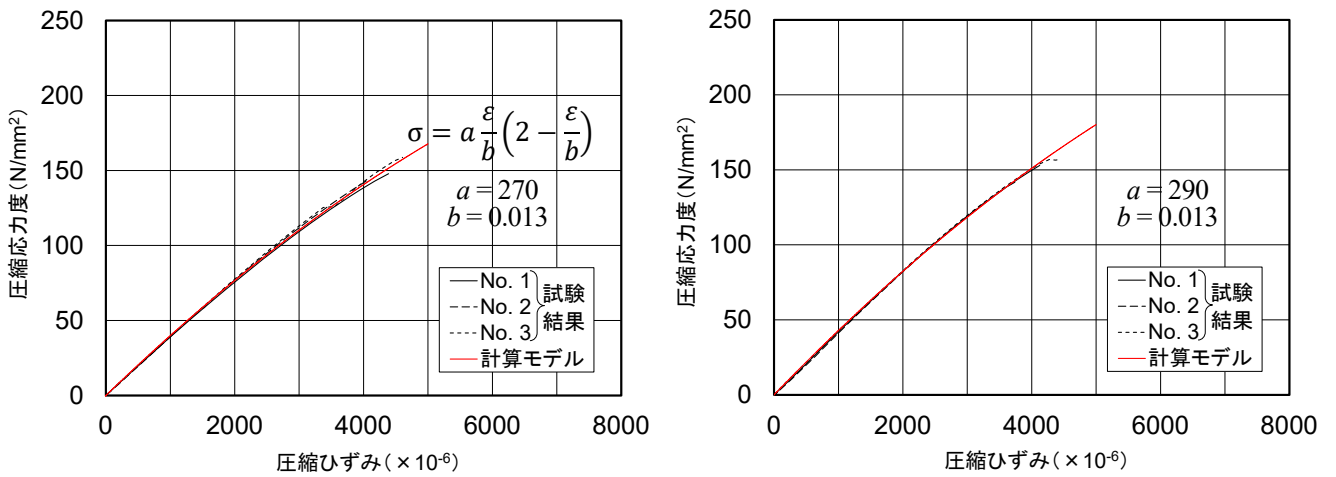
図-2.7.4.4 に、供試体 S1-3 における打継目付近の $M-\phi$ の実測値を $c=0.4$ を用いた場合のたわみ計算における $M-\phi$ の計算値とともに示す。打継目付近の $M-\phi$ は、係数 c の影響はほとんど見られなかった。曲率 ϕ の実測値は、パイ型変位計による結果とたわみ変位による結果をそれぞれ示す。測定に用いた機器は、図中の補足図に示すとおりである。たわみ変位による曲率は値が小さい段階でばらつきが大きい傾向が見られたが、概して見れば、パイ型変位計による曲率と概ね同程度であった。供試体 S1 では、打継目付近の $M-\phi$ の計算値が実測値とやや異なるが、傾きや変化点は概ね表されていた。2 箇所打継目はいずれも比較的早い段階から開きが見られ、計算で考慮していた引張付着強度 2 N/mm^2 による変化が供試体 S1-3 では明確に見られなかった。

図-2.7.4.5 に、供試体 S1-3 の試験結果と比較して、荷重-変位関係を計算したときの曲率分布を示す。荷重 30, 60, 120kN 時の結果をそれぞれ記号を変えて示した。鉛直変位の計測のうち 1 箇所（CL-300mm）で測定異常が見られたが、ここではそのまま用いて CL-400mm における試験結果として表示している。右半分て計算結果を試験結果と比較すると、30kN 時、60kN 時は、試験結果の傾向を概ねよく表している。曲率の計算において、荷重の増加とともに、計算結果と試験結果との乖離が大きくなっており、その影響が荷重-変位関係に表れていた。

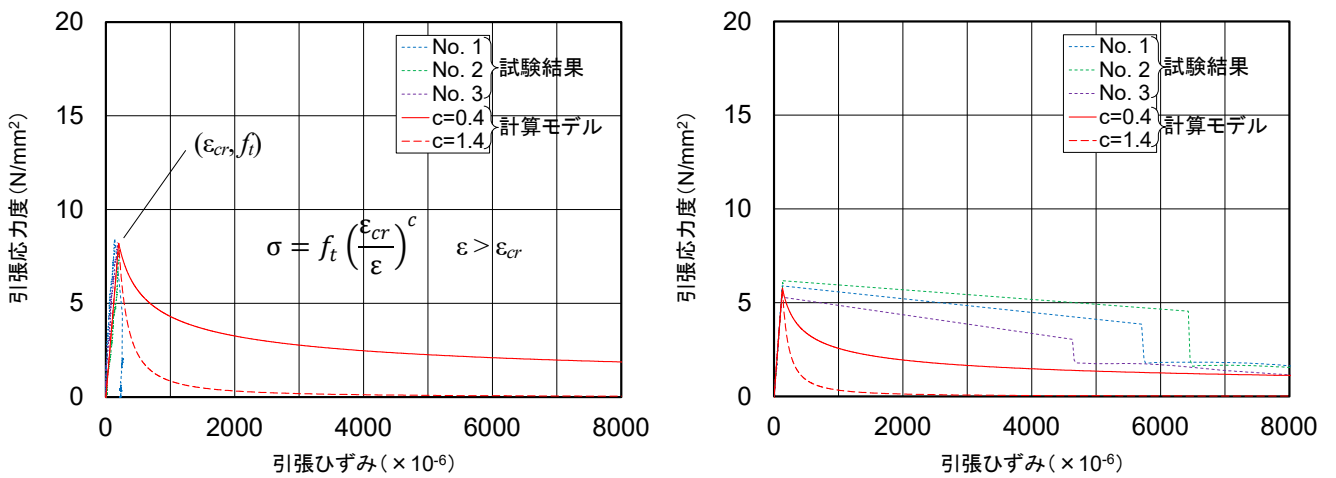


各要素のM-φ

図-2.7.4.1 供試体 S1 の計算モデルのイメージ (c=0.4)

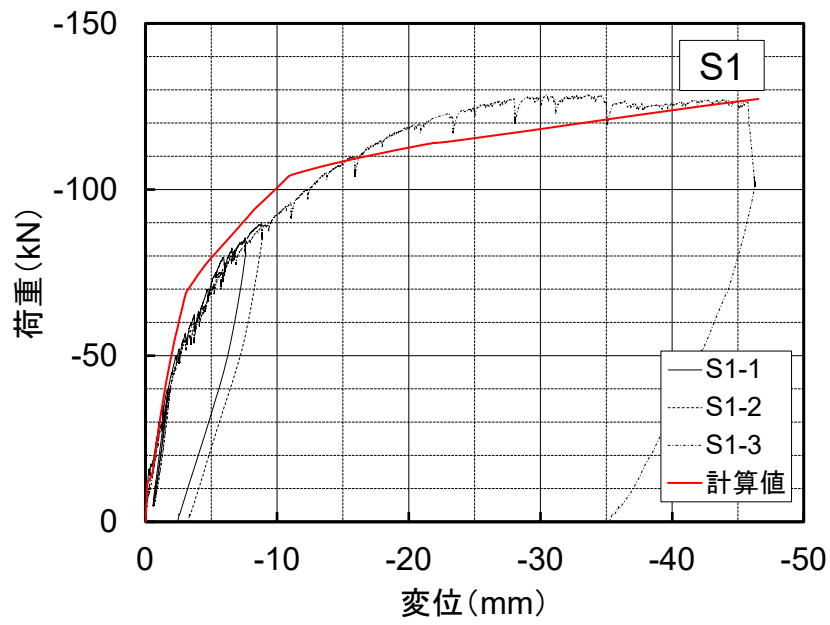


(a) FRC (圧縮域, 左図: 主材, 右図: 間詰材)

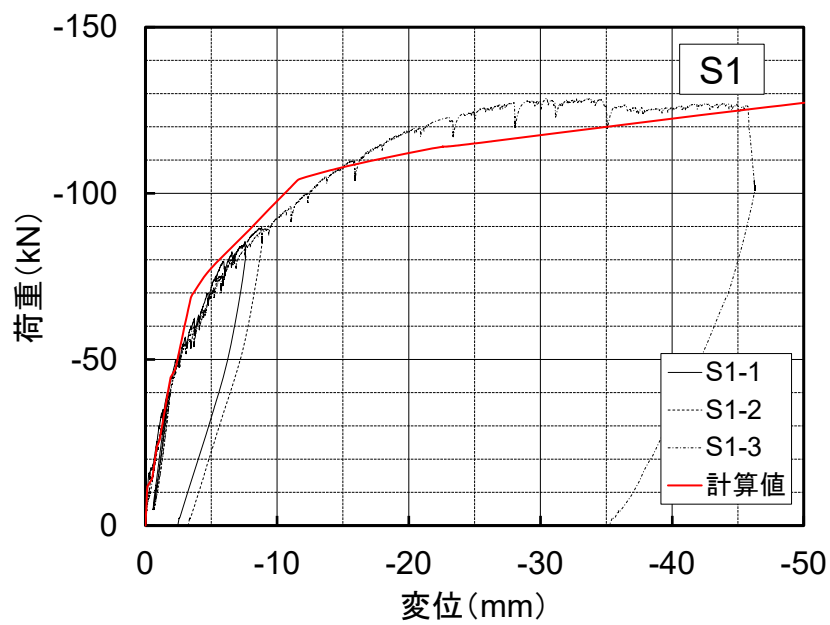


(b) FRC (引張域, 左図: 主材, 右図: 間詰材)

図-2.7.4.2 供試体 S1 の計算に用いた材料モデル

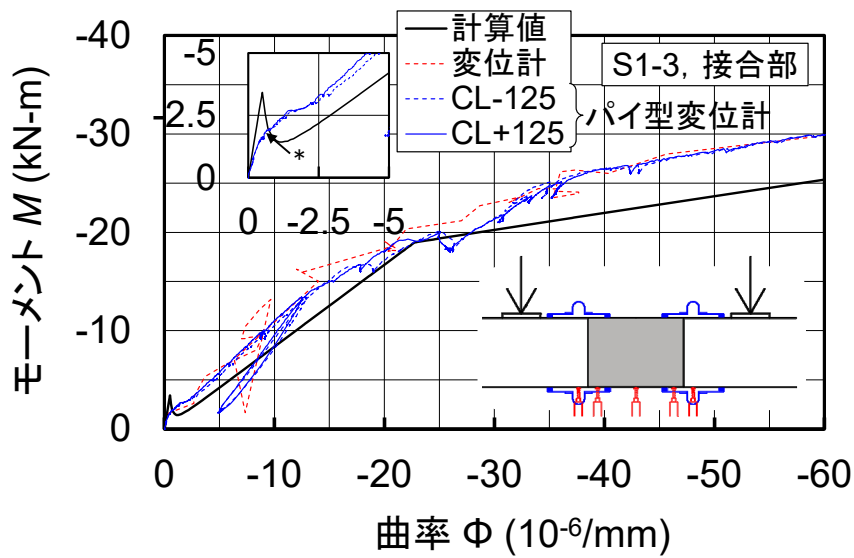


(a) $c = 0.4$ の場合



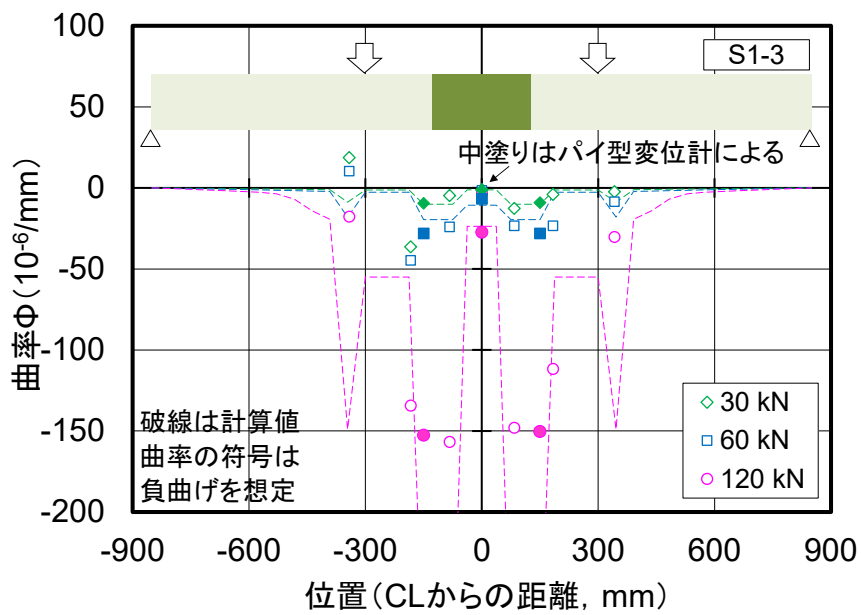
(b) $c = 1.4$ の場合 (参考)

図-2.7.4.3 供試体 S1 の荷重-変位関係比較



注) 挿入図はグラフに関連する測定機器のみ示す。*) 矢印はずれセンサによる打継目の割れ発生時を示す。

図-2.7.4.4 供試体 S1-3, 打継目付近の $M-\phi$ 関係 ($c=0.4$ の場合)



注) 図中の実線, 中抜き記号及び中塗りの記号は実験値を, 破線は計算値をそれぞれ示す。

図-2.7.4.5 供試体 S1 の曲率分布比較 ($c=0.4$ の場合)

2.7.5 供試体 KJ

(1) 計算モデル

図-2.7.5.1 に、供試体 KJ の計算モデルのイメージを示す。供試体 KJ の接合部の構造は、間詰材を打設後、PC 鋼材でプレストレスを導入するもので、上下対象の構造である。間詰部はせん断キーとなるように、上下縁が 20mm に対して内側は 40mm に膨らんでいる。間詰材がシースを塞がないようにするとともに、間詰材の区間にダクトの空間を確保するため、リング状のスポンジが配置された。いくつかの試算を踏まえて、間詰部の区間 40mm の範囲は、PC 鋼材がアンボンドに近い状態にあると仮定した。

図-2.7.5.2 に、供試体 KJ の材料モデルを示す。UFC、UHPFRC の圧縮側は、圧縮強度試験の応力-ひずみ関係に基づき、放物線で表した。UFC の引張側は、直接引張試験の結果に基づき、ひび割れ発生までは圧縮側の傾きと同様とし（極性のみ逆）、ひび割れ発生後は、試験結果に概ね沿って、指数関数で徐々に応力度が低下する応力-ひずみ関係とした。UHPFRC も材料本来の引張性状は UFC に近いが、間詰部の長さが短いことから、打継目の割れが発生した後は引張を伝達しないと仮定した。打継目の付着強度は荷重-変位関係の試験結果との比較から 6.5N/mm^2 とした。PC 鋼材の応力-ひずみ関係は、ミルシートの値を用いてトリリニアで構成した（後掲図-2.8.4.3）。PC 鋼材のひずみには、有効プレストレスに相当する引張ひずみを初期値として与え、UFC や UHPFRC のひずみには、有効プレストレスに相当する圧縮ひずみを初期値として与えた。その際の鋼材、UFC、UHPFRC の弾性係数は、それぞれ 191900 、 44800 、 43200 N/mm^2 とした。載荷試験時における PC 鋼材の張力は 426 kN （設計値）とした。アンボンドの影響の計算は、ここでは、スポンジ区間の PC 鋼材のひずみ増分 ε_s を、次式のとおり、付着ありとした場合のひずみ増分の $1/20$ と仮定して、抵抗曲げモーメントを計算した。

$$\varepsilon_s = \frac{\phi (y_s - y_c)}{20} + \varepsilon_{ps} \quad (2.7.5.1)$$

ここに、
 ϕ : 曲率
 y_s : PC 鋼材の位置（上縁からの距離）
 y_c : 中立軸の位置（上縁からの距離）
 ε_{ps} : 有効プレストレスによる PC 鋼材のひずみ

(2) 結果

図-2.7.5.3 に、計算で得られた供試体 KJ の荷重-変位関係を試験結果とともに示す。供試体 KJ の曲げ挙動は計算で概ねよく表されている。

図-2.7.5.4 に、供試体 KJ の打継目付近における $M-\phi$ の実測値とたわみ計算に用いた計算結果を示す。供試体 KJ の $M-\phi$ の計算値は、パイ型変位計及びたわみ変位による曲率の実測値をよく表していた。この結果は、前述のとおり、間詰部 40mm の区間をアンボンドと見なして得られたことから、その仮定は概ね妥当であったと考えられる。当初の計算では、間詰め材の区間も付着ありとしていたが、 $M-\phi$ の実測値と比べると打継目の割れ発生以降の曲率を過少に評価する傾向であった。また、そのために、荷重変位の関係が適切に表せていないことが分かった。これらの試行錯誤の上、リング状のスポンジと PC 鋼材の間にはグラウトが充填されていたが、PC 鋼材とスポンジの間のグラウト厚さは数 mm 程度であったことから、打継目の割れが生

じた後は、その区間でプレキャスト部と同等の十分な付着が得られない可能性があると考えた。その際、ここでは仮にアンボンドとした PC 鋼材のひずみを式 2.7.5.1 としたが、1/20 の妥当性については今後精査する必要がある。

図-2.7.5.5 に、供試体 KJ の試験結果と比較して、荷重-変位関係を計算したときの曲率分布を示す。荷重 30, 60, 120kN 時の結果をそれぞれ記号を変えて示した。いずれの荷重においても、試験結果の傾向を概ね表している。打継目の割れが発生した後は、打継目の界面を繊維が交差していないため、中立軸が荷重とともに急増する傾向にあり、それに応じて打継目付近の曲率も急増したと考えられる。

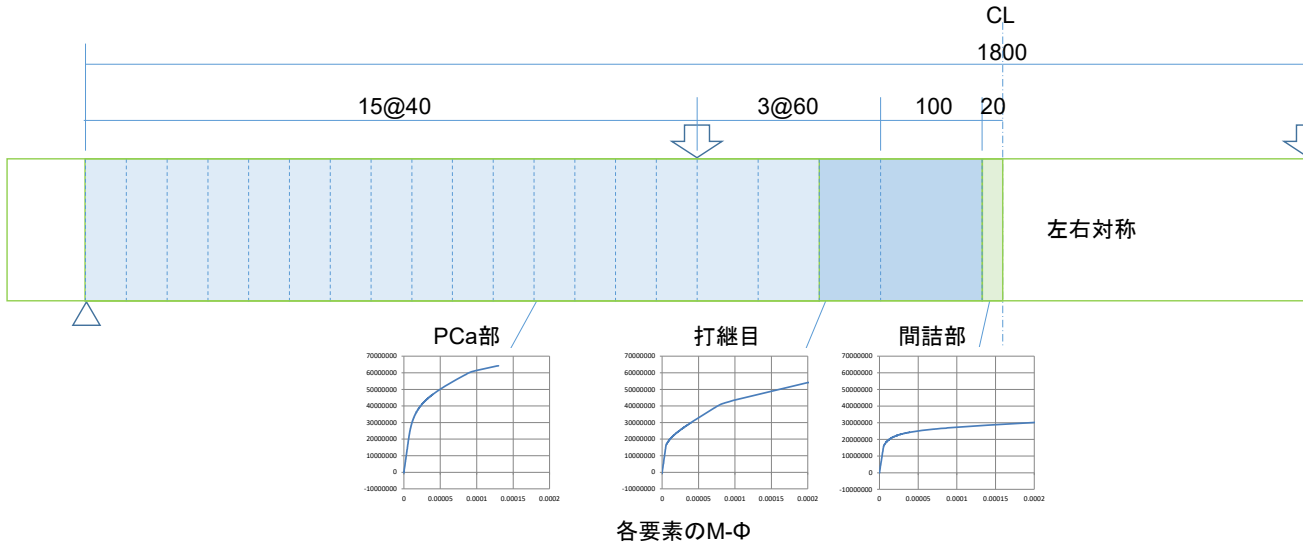
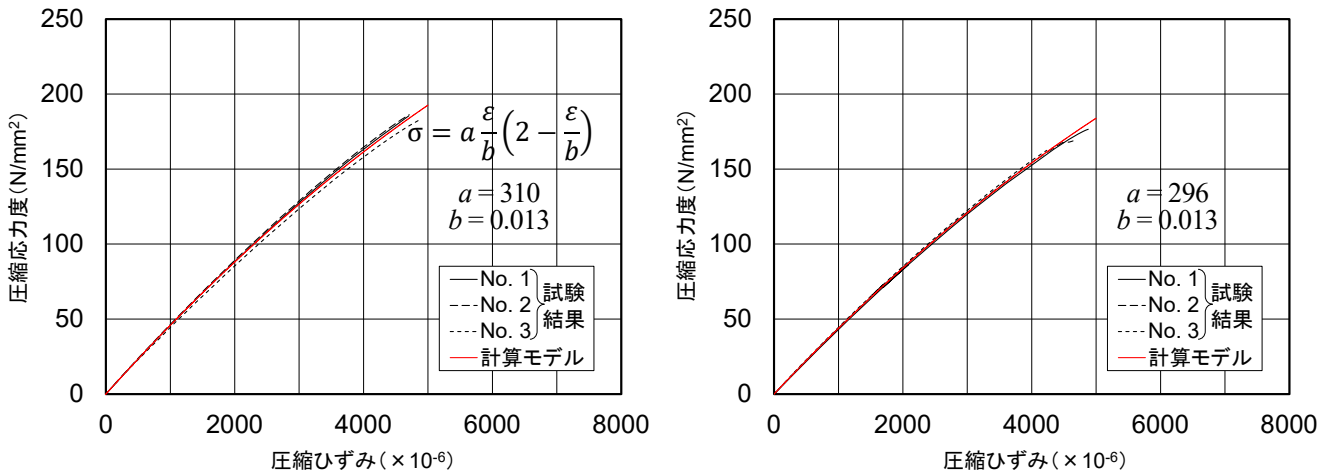
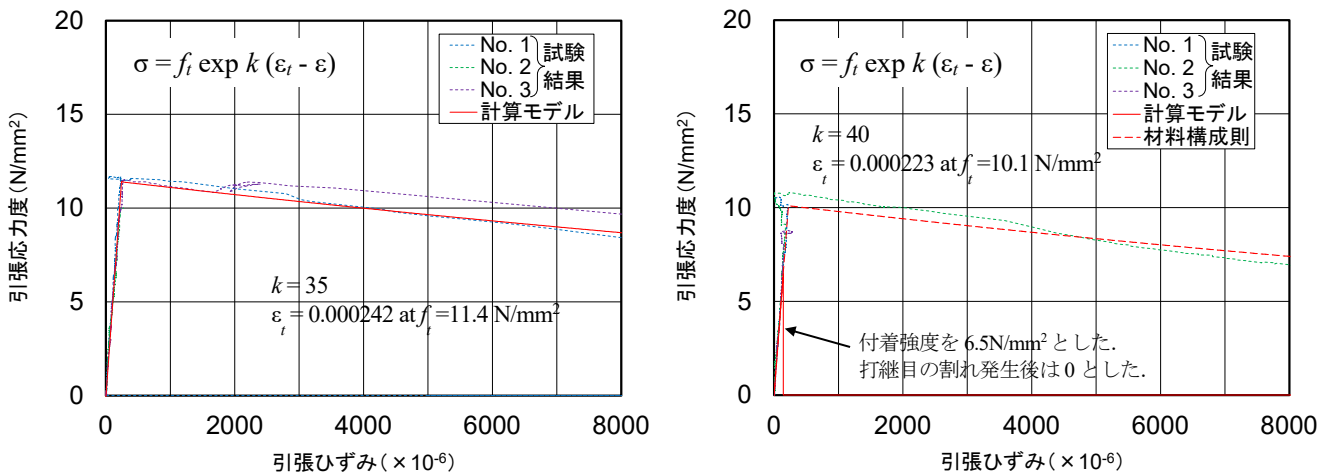


図-2.7.5.1 供試体 KJ の計算モデルのイメージ



(a) FRC (圧縮域, 左図: 主材, 右図: 間詰材)



(b) FRC (引張域, 左図: 主材, 右図: 間詰材)

図-2.7.5.2 供試体 KJ の計算に用いた材料モデル

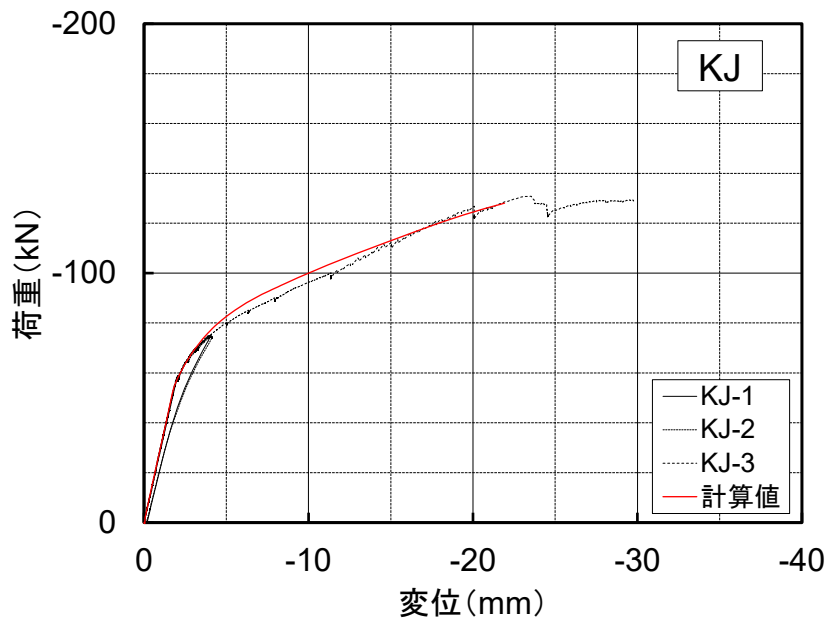
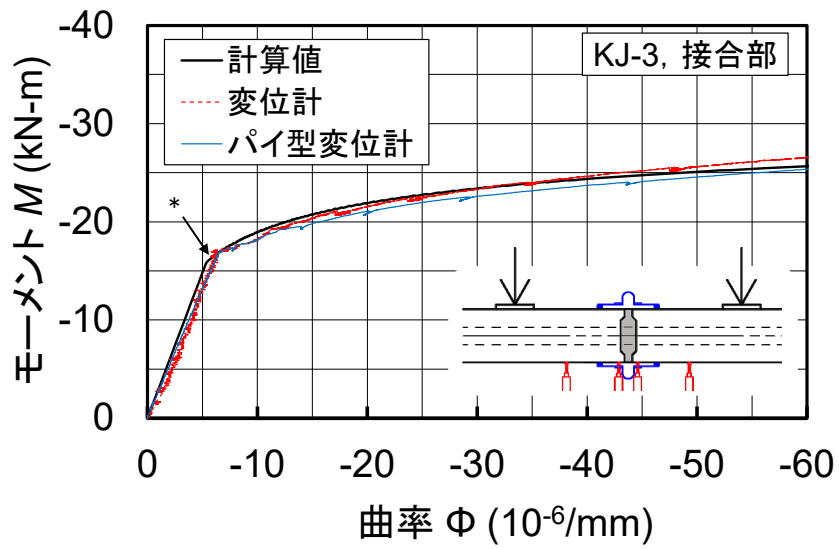
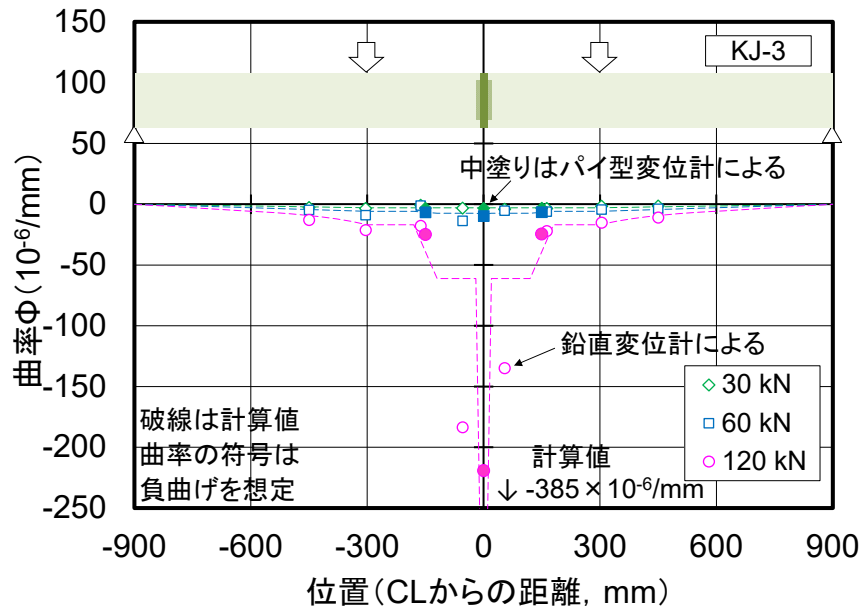


図-2.7.5.3 供試体 KJ の荷重—変位関係比較

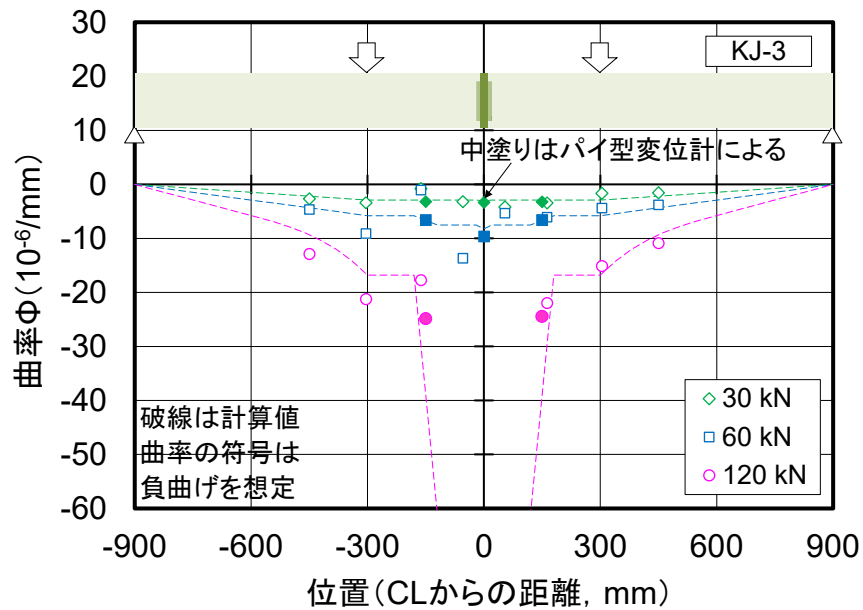


注) 挿入図はグラフに関連する測定機器のみ示す。
*) 矢印はずれセンサによる打継目の割れ発生時を示す。

図-2.7.5.4 供試体 KJ-3, 打継目付近の M - ϕ 関係



(a) 全体



(b) 拡大

注) 図中の記号は実験値を, 破線は計算値をそれぞれ示す.

図-2.7.5.5 供試体 KJ の曲率分布比較

2.7.6 接合部を有する FRC はりの曲げ挙動に関するファイバーモデルによる計算の留意点

以上のとおり、さまざまな材料構成、さまざまな接合構造のはり供試体を対象に、接合部を有する FRC はりの曲げ挙動について、ファイバーモデルによる計算を試み、荷重-変位関係、 $M-\phi$ 、曲率分布といった試験結果を概ね良好に表せることが分かった。これらの計算における主な留意点は次のとおりである。

(1) 接合部のモデル化

断面が変化しても、個々の断面について $M-\phi$ を計算すれば、適切に曲げ挙動を計算できる。しかし、断面が急変する場合には、その周辺で全断面に力がうまく伝わらず、断面が持つ曲げ抵抗性能を活かせない部分があることを考慮する必要がある。供試体 TS1 や KF1 において、断面急変部の周囲の有効断面は概ね 45° で変化すると仮定した。

プレキャスト部材の接合部では、現場施工における寸法誤差等に対応するため、間詰材を充填する工法が用いられることが多い。本試験シリーズでは、すべての供試体の接合部に間詰材が充填されていた。特に FRC を用いたプレキャスト部材の接合の場合、プレキャスト部と間詰材の打継目には、通常、繊維が両者に跨って配置されないため、打継目の割れの後には、引張に対する抵抗が打継目を跨いで配置された鉄筋や PC 鋼材に依存する構造となる。このことから計算では、打継目のマトリックス同士の付着強度を設定する必要がある。また、打継目の割れが生じた後は、断面急変に近い状態となり、周囲の部材において繊維が含有されていたとしても、割れた周囲には、引張力が作用しない部分が発生する。ここでの計算では、部材のひずみが付着強度相当に達した後は、その周囲の要素において引張を負担しない設定とした。

(2) FRC の材料構成則

供試体 TS1 及び KJ の鋼繊維を用いた FRC はいずれも UFC または UHPFRC であり、直接引張試験の結果に基づいて材料構成則を設定した。ひび割れが発生するまでは、引張側のひずみは圧縮側のひずみの極性を逆にしたものによく一致していた。ひび割れ発生後の応力-ひずみ関係は、鋼繊維の貢献により引張を負担することから、主材の UFC、間詰材の UHPFRC とともに指数関数で表した。なお、供試体 TS1、KJ とともに、鉄筋の配置がなく、打継目において PC 鋼材は断面高さの中央または上縁（負曲げの場合）に近い位置に配置されていたことから、負曲げによる割れが生じた後は、引張軟化を考慮する断面構成ではなかった。

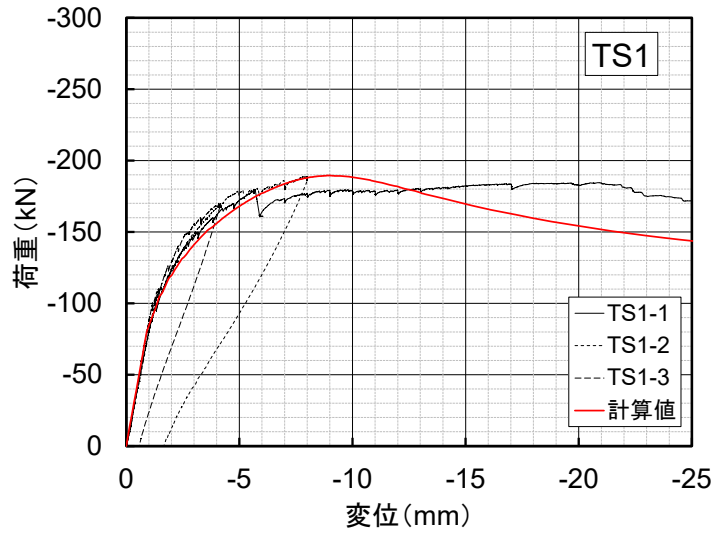
供試体 KF1 及び S1 は、それぞれ異なる有機繊維が用いられ、かつ鉄筋が配置された構造であった。供試体 KF1 では 1/2 断面において上縁（負曲げの場合）に近い位置に鉄筋が配置されていた。一方、S1 は打継目を跨いで下縁付近（同）にも鉄筋が配置されていた。ここでは、a) 鋼繊維と同様に直接引張試験の結果に基づき応力-ひずみ関係を構成則に用いる場合と、b) 鉄筋を有することから、RC と同様に引張軟化を考慮する場合について検討した。計算では、供試体 KF1 は前者の a) の場合、供試体 S1 は後者の b) の場合に、それぞれ試験結果を概ね表せる結果となった。このことから、有機繊維であっても、a)、b) いずれの構成則が妥当であるかは材料構成や鋼材配置によって異なることが分かった。ただし、供試体 S1 では RC と同様の引張軟化式（係数 $c=0.4$ ）を用いたが、係数 c を大きくした方がより試験結果に近い計算結果となった。供試体 S1 の場合、マトリックスが超高強度であったことから、普通強度のコンクリートにおけるひび割れ後の引張軟化の傾向と異なると考えられる。

(3) アンボンド PC

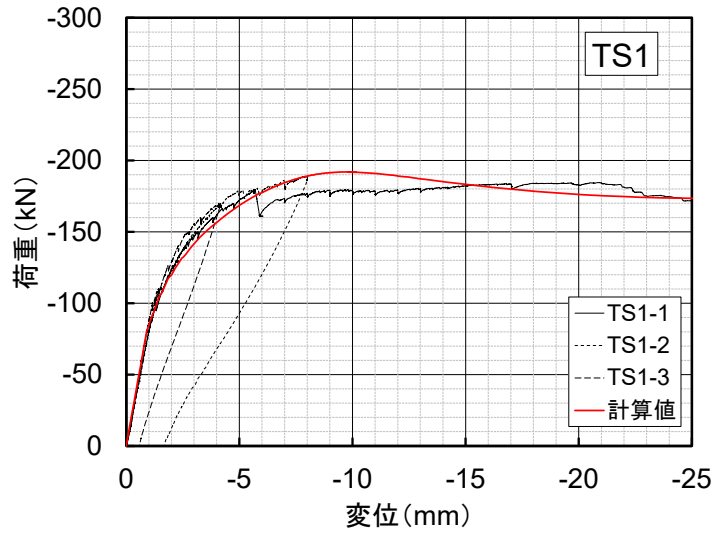
供試体 KJ では、2 個のプレキャスト部材を 1 本の PC 鋼材で接続した後グラウトされていたのでアンボンドではなかったが、間詰部でのグラウトは PC 鋼材とスポンジに挟まれた数 mm の薄層となっていた。上記のとおり、間詰部は 40mm の区間であったが、この区間でアンボンドと見なすことで、打継目の割れ発生後の $M-\phi$ や荷重-変位関係の計算値が、試験結果をよく表せることが分かった。その際、平面保持は成立しない中で、ファイバーモデルでアンボンドとした PC 鋼材を疑似的に表すのに、いくつかの応力-ひずみ関係のモデルを試した。アンボンドとしたときに、PC 鋼材のひずみは、a) 平面保持の仮定に従わないこと、b) はりの曲率の変化とともに変化すること、c) その増分が平面保持を仮定した場合よりもかなり小さいことを基本とした。それ以上の理屈は明確にできていないが、ここでは単純に、その増分を、平面保持を仮定した場合の $1/20$ とした (式 2.7.5.1)。

供試体 TS1 では、軸方向長さ 540 mm の接合部で短い PC 鋼材がアンボンドで直線配置されていた。試験中においても、PC 鋼材がシースと接触することはないと想定した。ひずみ増分の程度はアンボンド区間の長さに反比例すると考えて、ひずみ低減の程度を $1/270$ とした場合と、供試体 KJ と同様に一律 $1/20$ とした場合について計算した結果を図-2.7.6.1(a), (b) にそれぞれ示す。得られた荷重-変位関係のうち、荷重のピークまでの挙動は、ひずみ低減の程度による顕著な差が見られなかった。しかし、荷重のピーク値以降の挙動は、ひずみ低減の程度を $1/20$ とした方が試験結果に近い傾向を示した。検討の範囲は限られるが、ひずみ増分の程度はアンボンド区間の長さに必ずしも依存しない可能性があると考えられる。

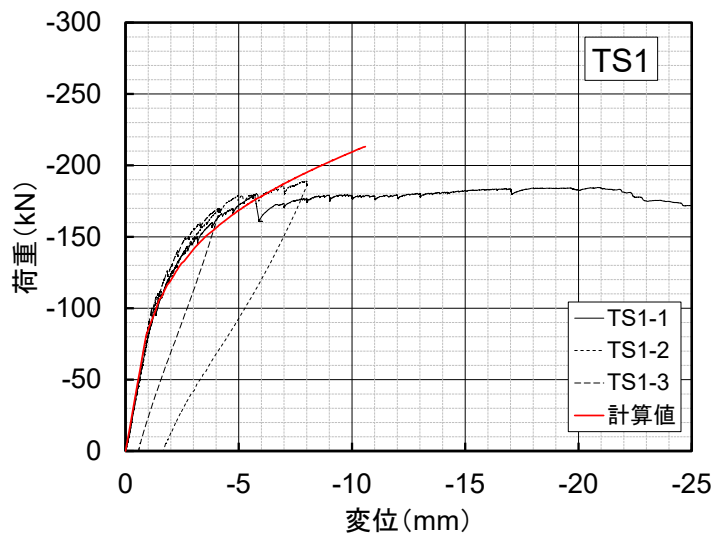
供試体 TS1 は、PC 定着体のための箱抜きを設けたため、打継目が立体的になっていたことから、ジグソー形式に類似しているを見なして計算した。後述 2.8 のとおり、ジグソー形式の場合に、短い区間でのアンボンドの影響はほとんど見られなくなる傾向が見られた。参考として図-2.7.6.1(c) に、供試体 TS1 について仮に PC 鋼材の付着があるとした場合の計算結果を示す。この場合の計算値は、試験結果のピーク荷重までの挙動は同図(b)と概ね同様であったが、それ以降は大きく異なる結果となった。このことから、供試体 TS1 の場合はジグソー形式に類似すると仮定しても、アンボンドを考慮する必要があったことが分かる。



(a) 1/270 の場合



(b) 1/20 の場合



(c) 仮に付着ありとした場合 (ひずみ低減なし)

図-2.7.6.1 アンボンドPC鋼材のひずみ低減の程度の違い (供試体 TS1, 有効幅の仮定 B の場合)

2.7.7 プレキャスト部材の接合部の開発におけるファイバーモデルによる計算の活用

プレキャスト部材の性能が高くなるほど、その接合部の構造性能は一層重要となる。開発段階において、接合部の構造性能を把握するためにはり曲げ試験は有用である。また、接合部の構造性能を改善する際、現状の性能の把握と、さらなる改善点を追求するための簡易な計算ツールが必要である。ここで示したさまざまな材料、さまざまな形状の接合構造に対して、ファイバーモデルによる計算を試みた結果、前項 2.7.6 に示した点に配慮すれば、接合部を有するはりであっても、 $M-\phi$ や荷重-たわみ関係といった曲げ挙動を推定できることを確認した。ここで用いたファイバーモデルによる計算は、いずれも汎用の表計算ソフトによる構造計算であり、計算内容が明快であることから、何が計算結果にどの程度影響するかを理解しやすく、開発ツールとして適している。何度かはり試験を行い、付着強度など、材料に依存する情報がある程度得られれば、以降、計算上での検討も並行して展開できると考える。次項 2.8 の接合構造の改善検討でも、ファイバーモデルによる計算を利用して考察を加えた。

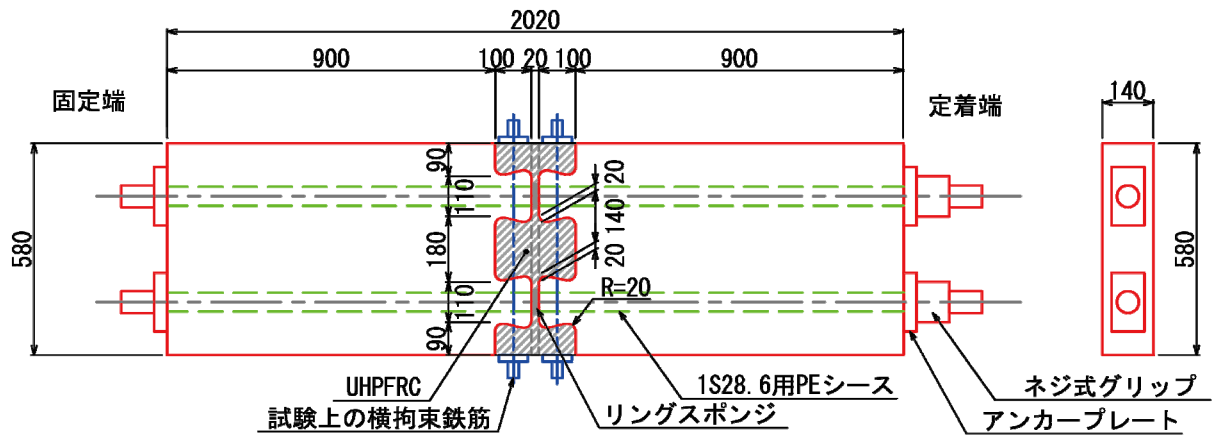
2.8 FRC 床版の接合部の改善に関する追加検討

2.8.1 概要

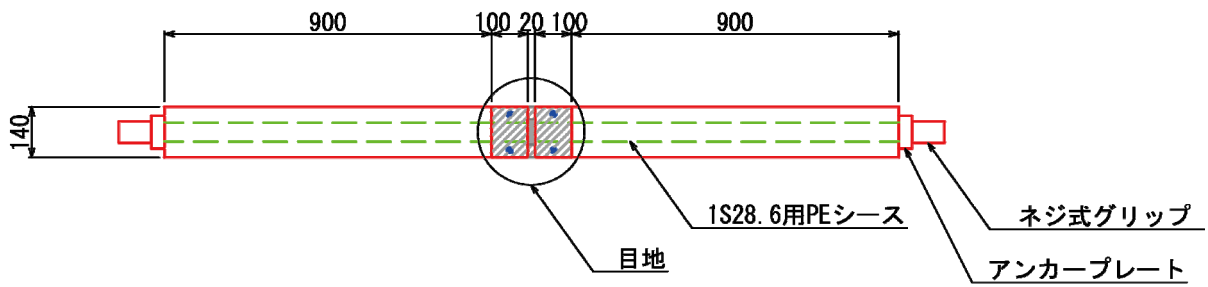
各種の高強度 FRC はりの曲げ試験やその直接引張試験を観察する中で、マトリックスの高い引張強度と繊維の有効性をより効果的に用いた接合構造として、ここではジグソー形状の接合を考える。これについて実験的に確認するため、2 体の供試体を製作し、負曲げ試験を行った。図-2.8.1.1 に供試体の形状寸法を示す。接合構造が比較的シンプルでファイバーによる計算が適用しやすい供試体 KJ を基本モデルとして、接合部にジグソーの形状を追加することとした。一般のコンクリートでは、このような構造では、施工や運搬に際して、突起部の破損が懸念されるが、本検討で用いた FRC の範囲では、比較的高い引張強度を有していることから、過度に心配する必要がない。プレキャスト部の製作において、ジグソーの形状を確保するための型枠の工夫をしておけば、流動性が高い FRC の場合に、比較的複雑な形状に対応しやすい。ジグソー形状であることから、断面ごとに見れば、まったく繊維がない箇所は解消される。

この形式の場合、プレキャスト部、間詰材ともに、突起部の付け根付近が引張に対して弱点となる。軸引張部材として利用する場合は、付け根部の有効断面の減少を補うため、厚さを 2 倍程度にする必要があるが、床版のように曲げ主体の断面であれば、プレキャスト部と同等の断面二次モーメントを確保するには、部材の厚さを約 1.3 倍にする程度でよい。高さ h を 1.3 倍すれば $h^3 = 2.2$ となり、断面二次モーメントは元の 2 倍以上を確保できると考える。このことから、供試体 JS1 は供試体 KJ と同じく高さを 140mm とし、供試体 JS2 は高さを約 1.3 倍して 180mm とした。実際に床版に適用する場合は、接合部のみ 180mm とするイメージであるが、確認試験であることから供試体の製作負担を軽減するため、支間方向に高さ 180mm 均等とした。また、曲げ挙動について、2 体の試験結果とファイバーモデルによる計算結果を比較して、計算の妥当性を確認した上で、供試体 JS1 の接合部のみ高さを 1.3 倍とした計算上のはりモデル JS3 について同様の計算による検討を行った。

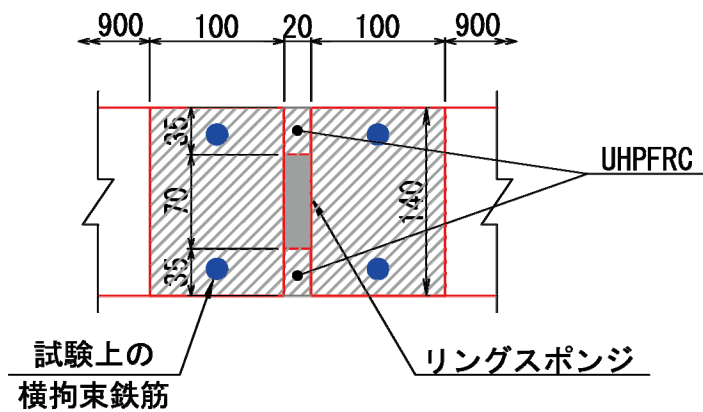
供試体 JS1, JS2 の幅は、接合部をジグソー形状とすることから、供試体 KJ の 2 倍とし、PC 鋼材の本数も 2 倍とした。



(a) 平面図



(b) 側面図



(c) 間詰部拡大図

図-2.8.1.1 ジグソー形式接合部を有する供試体の形状寸法 (供試体 JS1 の例)

2.8.2 供試体の製作

(1) 形状寸法

供試体の形状寸法は図-2.8.1.1 に示した。嵌合型を有する長さ 1000mm×幅 580mm×高さ 140mm の UFC ブロックを、間詰材 UHPFRC 及び PC 鋼材による緊張・グラウトによって接合し、長さ 2020mm×幅 580mm×高さ 140mm の供試体 JS1 とした。高さが 180mm の供試体 JS2 も、同様の手順で製作した。ただし、はり試験では、嵌合部の外側の突起が載荷時に面外方向に変形するのをある程度抑えるため、横方向鉄筋 D16、SD345 を片側に上下 2 本、計 4 本配置した（試験のときのみ配置を想定）。鉄筋の両端にボルトを設置したが、締め付けは行わなかった。

(2) 床版部と間詰部の配合

床版部と間詰部の配合表を表-2.8.2.1～2 に示す。プレキャスト部は、ポルトランドセメントとポゾラン材及びエトリンナイト生成系混和材で構成している。鋼繊維は、引張強度 2,000N/mm² 以上で直径が 0.2mm であり、長さ 15mm と 22mm を混合したものである。材料特性値は、圧縮強度 180N/mm² 以上、引張強度 8.8 N/mm² を有する。間詰部の UHPFRC は、蒸気養生を要せず現場施工が可能な超高強度繊維補強コンクリートで、床版部の UFC と同じ材料マトリックスであり、鋼繊維は充填性を考慮して、繊維長 15mm、1.50vol% とした。

表-2.8.2.1 プレキャスト部 UFC の配合

単体量 (kg/m ³)				鋼繊維*3
水*1	結合材*2	骨材	高性能減水剤	
195	1287	905	32.2	1.75vol.%

*1：高性能減水剤中の水分を含む

*2：エトリンナイト生成系プレミックス結合材

*3：繊維長 15mm 及び 22mm,

表-2.8.2.2 間詰材 UHPFRC の配合

単体量 (kg/m ³)					鋼繊維*3
水*1	結合材*2	骨材	高性能減水剤	収縮低減剤	
195	1287	905	32.2	12.9	1.50vol.%

*1：高性能減水剤中の水分を含む

*2：エトリンナイト生成系プレミックス結合材

*3：繊維長 15mm

(3) 製作

製作手順を図-2.8.2.1～7に示す。床版部の型枠にUFCを流し込み、翌日脱型及び1週間の60℃給熱養生を実施した。養生後は2体の床版部に間詰め用型枠を設置し、間詰材のUHPFRCを流し込んだ。図-2.8.2.3～4に示したように、間詰材がPCダクト内に流入するのを防ぐため、リング状のコンパクトなスポンジを設置しておいた。UHPFRCの強度を確認後、PC鋼材1S28.6(高さ140mmの供試体:緊張力374.9kN,高さ180mmの供試体:緊張力487.3kN)を緊張し、グラウト充填を行った。



(a) 型枠全体



(b) 嵌合部

図-2.8.2.1 プレキャスト部の型枠



図-2.8.2.2 UFC 打込み状況

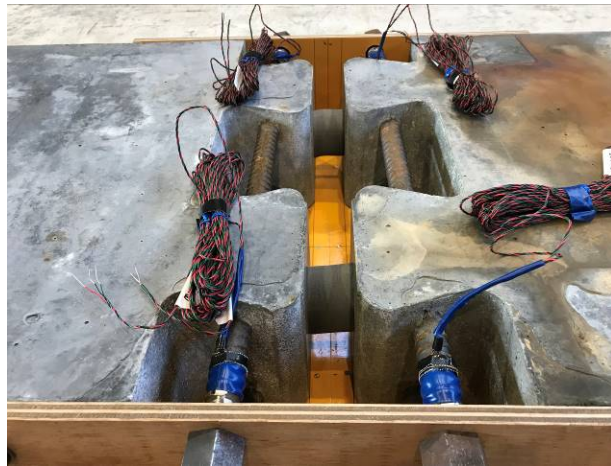


図-2.8.2.3 間詰め型枠



図-2.8.2.4 間詰め材 UHPFRC の打設



図-2.8.2.5 PC 鋼材の緊張



図-2.8.2.6 グラウト

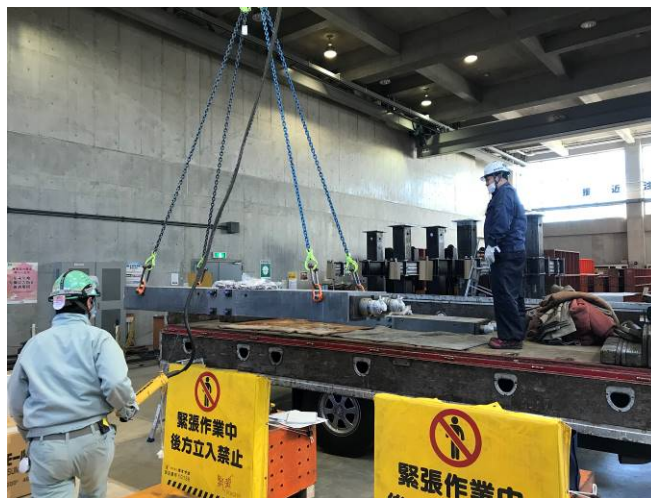


図-2.8.2.7 組み立て後の状態（供試体搬出時）

(4) 材料フレッシュ試験

床版部，間詰部及びグラウトの各フレッシュ試験結果を表-2.8.2.3～5 に示す。

表-2.8.2.3 フレッシュ試験結果（床版部）

	練上り温度 (°C)	モルタルフロー (mm×mm)	空気量 (%)
床版部 (UFC)	24.7	293×288	3.8

表-2.8.2.4 フレッシュ試験結果（間詰部）

	練上り温度 (°C)	モルタルフロー (mm×mm)	空気量 (%)
間詰部 (UHPFRC)	24.9	264×263	3.8

表-2.8.2.5 フレッシュ試験結果（グラウト材）

	練上り温度 (°C)	J14 漏斗 (s)
基準値	5～35	3.5～6.0
グラウト	18.9	3.9

(5) 材料試験

床版部，間詰め部及びグラウトの各材料供試体の本数を表-2.8.2.6 に示す．それらの各強度試験結果を表-2.8.2.7 に示す．

表-2.8.2.6 強度供試体採取本数

—	強度試験	寸法	採取本数	備考
床版部 (UFC)	圧縮試験	φ100×200	6本	内3本は蒸気養生後に鹿島技研で実施
	曲げタフネス試験	□100×400	6本	内4本は蒸気養生後に鹿島技研で実施
間詰め部 (UHPFRC)	圧縮試験	φ50×100	6本	内3本は緊張前に鹿島技研で実施
	圧縮試験	φ100×200	6本	土木研究所へ搬送
	曲げタフネス試験	□100×400	6本	内4本は材齢18日に鹿島技研で実施
	一軸引張試験	□100×400 (ドッグボーン型)	5本	土木研究所へ搬送
グラウト	圧縮試験	φ50×100	9本	内3本は材齢7日に鹿島技研で実施

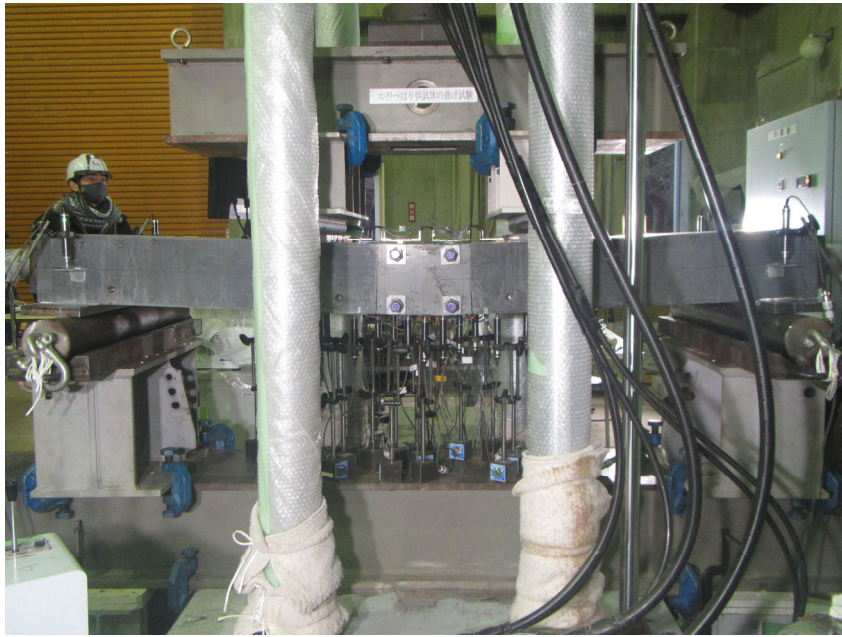
表-2.8.2.7 材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)		弾性係数 (kN/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)	
	1	2	1	2	1	2
床版部 (UFC) 蒸気養生後	1	187	1	42.7	1	23.1
	2	193	2	42.4	2	30.3
	3	200	3	42.6	3	22.1
	4	—	4	—	4	29.1
	平均値	193	平均値	42.5	平均値	26.1
間詰め部 (UHPFRC) 材齢7日	1	114	1	36.9	1	28.1
	2	122	2	38.7	2	26.7
	3	125	3	38.7	3	29.2
	4	—	4	—	4	27.2
	平均値	120	平均値	38.1	平均値	27.8
グラウト 材齢7日	1	82.7				
	2	83.0				
	3	83.5				
	平均値	83.1				

2.8.3 試験方法

はり試験は、供試体 KJ のはり試験と同様に、単純支持、2点荷重とした。図-2.8.3.1～2 に試験状況と荷重方法を示す。荷重は、500kN 疲労試験機を用いて、変位制御で漸増させた。試験中、打継目の割れが発生する前とある程度ひび割れが出た頃に一旦除荷を行った。

図-2.8.3.2 には計測機器の設置位置も示す。荷重試験中、荷重、たわみ、コンクリートの軸方向ひずみ及びパイ型変位計を用いた軸方向の平均ひずみを測定した。接合部の構造の特性から、端部の突起部の面外方向の変形をある程度拘束するために配置した鉄筋についても、軸方向のひずみを測定した。鉄筋のひずみゲージのゲージ長は 5mm とし、コンクリートのひずみゲージのゲージ長は 60mm とした。パイ型変位計は、すべて基長 150mm として配置した。各測定機器は、供試体 KJ と概ね同様の箇所に設置したが、ジグソー形状に起因する変形の特徴を把握するため、コンクリートのひずみゲージとずれセンサの設置位置を一部変更した。以上のすべてのデータについて、デジタルデータレコーダを用いて 100 Hz で連続測定を行った。

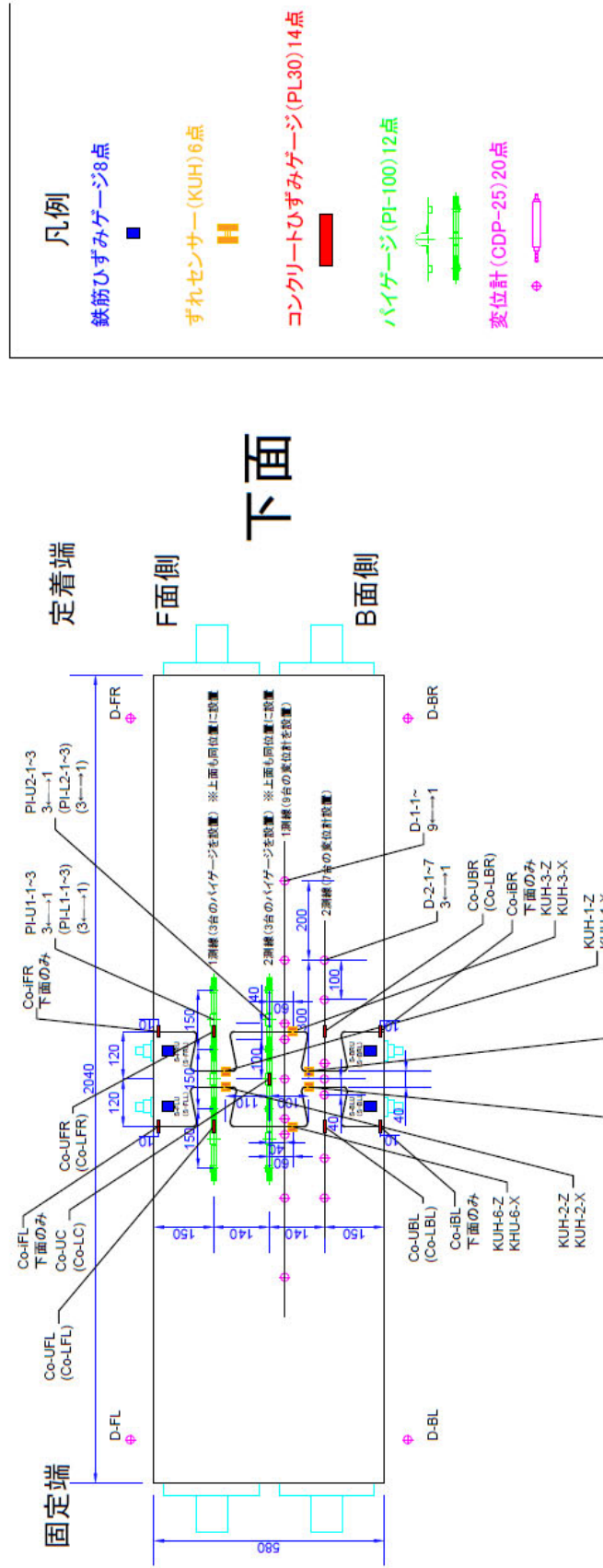
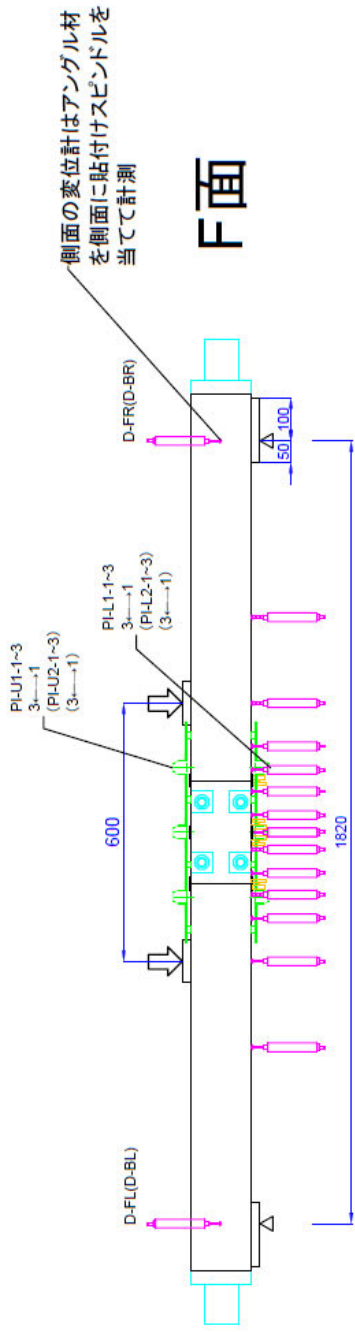


(a) 全景



(b) 载荷治具類

図-2.8.3.1 試験状況 (JS2 の例)



※上面・下面同位置のセンサー名称は下面側を()で表記

図-2.8.3.2 載荷方法と測定機器の設置位置

2.8.4 計算方法

図-2.8.4.1 に、供試体 JS1, JS2 の計算モデルのイメージを示す。モデルの構成は、供試体 KJ と概ね同様に、FRC の材料構成はプレキャスト部と間詰部の 2 種類とした。供試体 KJ では、打継目付近のプレキャスト部のみ、圧縮側の材料構成則をプレキャスト部のままとし、打継目界面の付着強度に達した時点で引張を負担しない設定としていた。また、付着強度は、供試体 KJ-1~3 の負曲げ試験の結果との比較により 6.5N/mm^2 とした。それに対して供試体 JS では、図-2.8.4.2 に示すとおり、プレキャスト側と間詰材側それぞれの突起先端で打継目の割れが生じ、それに伴い、a-a 断面や b-b 断面での引張側の部分は、割れた箇所付近の突起部の最小断面のみで力を負担すると考える。このことから、打継目の割れが発生した後、引張側は、突起部の最小断面のみ有効となるように幅を減少させることとした。具体には引張ひずみが発生した場合に、打継目の要素の幅は 220/580、間詰材の要素の幅は 140/580 とした。両側面、最外縁の突起部の鉄筋による横拘束は必ずしも十分ではない可能性があるが、計算上は軸方向の力を負担すると仮定した。

図-2.8.4.3 に、供試体 JS1, JS2 の材料モデルを示す。UFC, UHPFRC の圧縮側は、圧縮強度試験の応力-ひずみ関係に基づき、放物線で表した。同引張側は、UFC については供試体 KJ と同様とし、UHPFRC については供試体 JS とともにに行った直接引張試験の結果に基づき、ひび割れ発生までは圧縮側と同様とし（極性のみ逆）、ひび割れ発生後は、試験結果の最小のデータに概ね沿って、指数関数で徐々に応力度が低下する応力-ひずみ関係とした。PC 鋼材の応力-ひずみ関係は、同図(c)のとおり、ミルシートの値を用いてトリリニアでそれぞれ構成した。PC 鋼材のひずみには、有効プレストレスに相当する引張ひずみを初期値として与え、UFC や UHPFRC のひずみには、有効プレストレスに相当する圧縮ひずみを初期値として与えた。その際の鋼材、UFC, UHPFRC の弾性係数は、それぞれ 191900 , 42500 , 43000 N/mm^2 とした。供試体 JS1, JS2 の有効プレストレス力（試験時張力）はそれぞれ 367.5 , 477.8 kN/本 とした（注：有効プレストレスは供試体 KJ よりやや小さい）。

ファイバーモデルによる計算では、平面保持の仮定の下で、断面分割法により $M-\phi$ を求めた後、はりの曲率分布を算出し、モーメントの定理（弾性荷重法、The Area-Moment Method²⁾）を利用して支間中央のたわみを算出した。

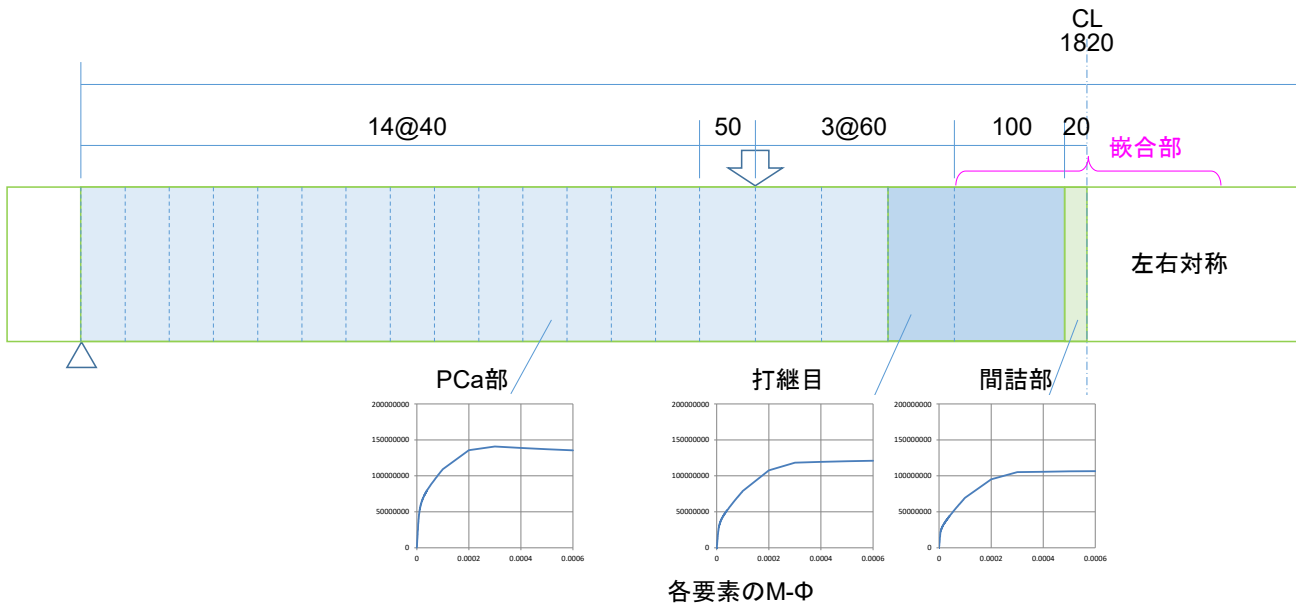


図-2.8.4.1 供試体 JS1, JS2 の計算モデルのイメージ

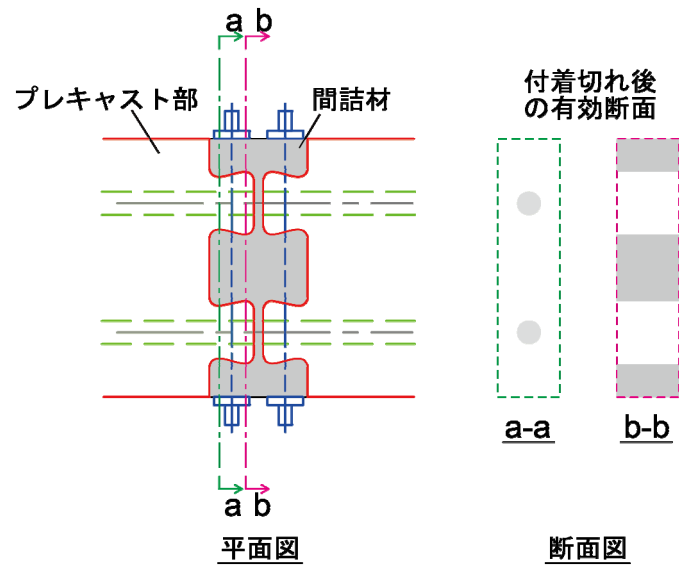


図-2.8.4.2 ジグソー形式接合部の計算における有効断面 (供試体 JS1 の例)

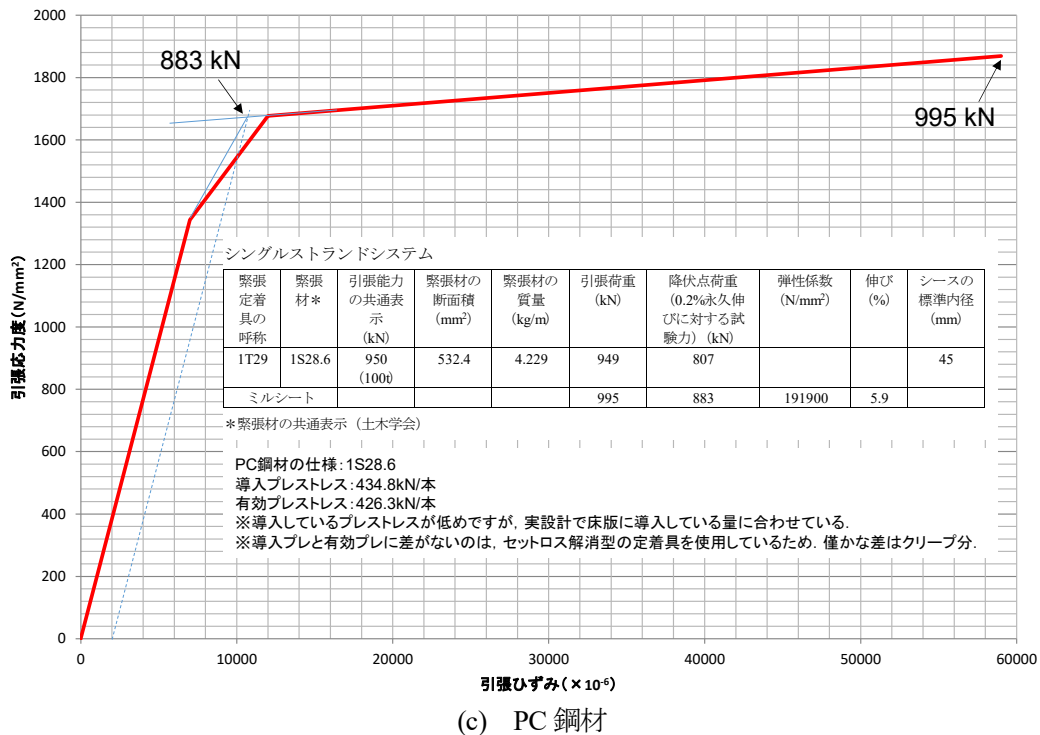
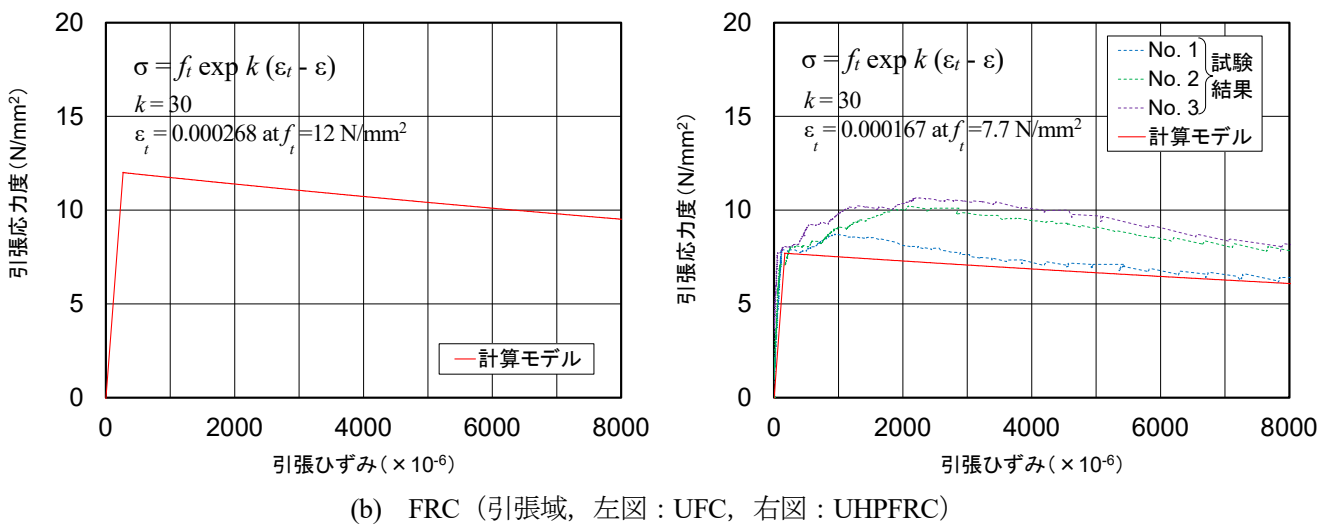
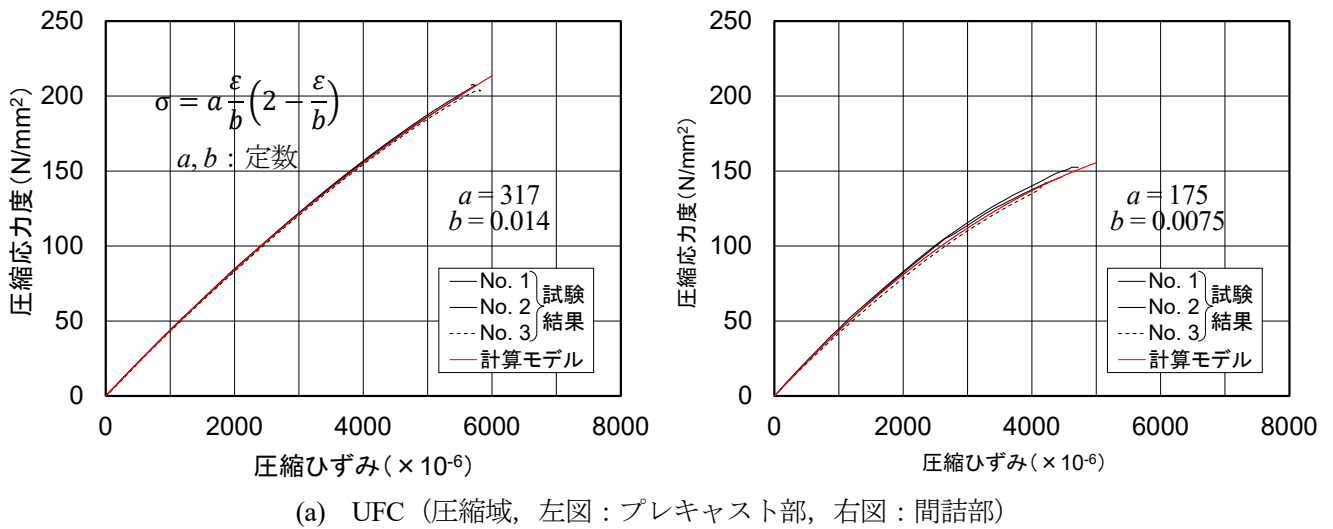


図-2.8.4.3 供試体 JS1, JS2 の計算に用いた材料モデル

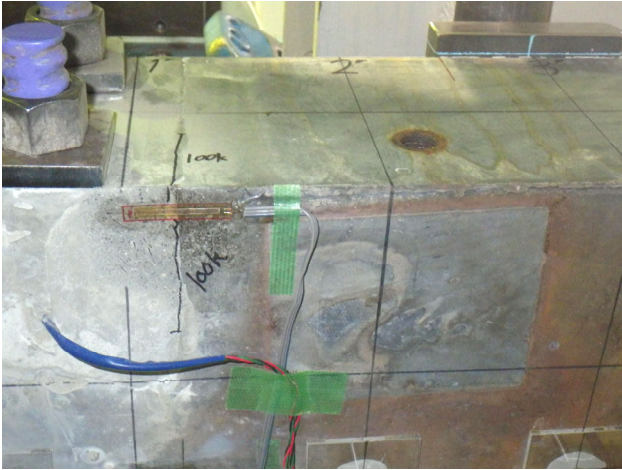
2.8.5 試験結果

図-2.8.5.1(a)～(d)に、供試体 JS1 の载荷中に確認された打継目の割れとひび割れの例を示す。同図(a)は、最初に見られた打継目の割れである。同図(b)は、その割れが見られた断面に広がった打継目の割れと近傍のプレキャスト側突起部の最小断面付近(図-2.8.4.2 の a-a 断面に相当する箇所)に発生した曲げひび割れを示す。同図(c)は、その後、b-b 断面に見られた打継目の割れとその付近の間詰材の最外縁突起部に見られた曲げひび割れを示す。同図(d)は、プレキャスト側突起部最小断面の曲げひび割れを再度示す。荷重 200kN 付近で、横方向鉄筋に関連すると思われる曲げひび割れが突起部に見られた。図-2.8.5.1(e)～(f)に、供試体 JS1, JS2 の試験後の下面のひび割れ発生状況を示す(上下反転した状態での下面)。両供試体の打継目の割れ、ひび割れ発生の順及び発生位置は概ね同様であった。

図-2.8.5.2 に、供試体 JS1, JS2 の荷重－変位関係を示す。参考として、図-2.8.5.3 に、供試体 KJ-3 の試験結果と計算結果を再掲する。ジグソー形式でなかった供試体 KJ-3 では、54kN で打継目の割れが発生した後に変位が急増する傾向が見られた。前述のとおり、この図に示した計算値は、間詰部に設置されたスポンジの区間 40mm の範囲で、PC 鋼材がアンボンドに近い挙動を示すと仮定して計算した結果と概ねよく合う結果であった。これを参考に、ジグソー形式の供試体 JS1, JS2 でも、スポンジの部分は同じディテールであったことから、図-2.8.5.2 には、アンボンドとした場合の結果も示した。

図-2.8.5.2 に示したように、供試体 KJ-3 と同様にアンボンドとした場合に、打継目の割れが生じると計算値の変位の増加が試験結果よりも大きい傾向が見られる。供試体 KJ-3 では、打継目の割れが生じると中立軸が急速に上昇して、引張の負担が PC 鋼材のみとなるため、アンボンドの影響が顕著になる傾向にある。それに対して、ジグソー形式とした供試体 JS1, JS2 の荷重－変位関係は、アンボンドとしない場合の計算結果(図中の接合部あり)と概ねよく合う傾向が見られた。打継目の割れが生じて突起部最小断面に曲げひび割れが生じて、PC 鋼材だけでなく、鋼繊維も引張を負担することから、アンボンドの挙動が顕著に影響しなかった可能性があると考えられる。JS2 の荷重－変位関係は、アンボンドとしない場合の計算結果と若干の差が見られるが、概して言えばアンボンドの影響について供試体 JS1 と同様の傾向が見られた。

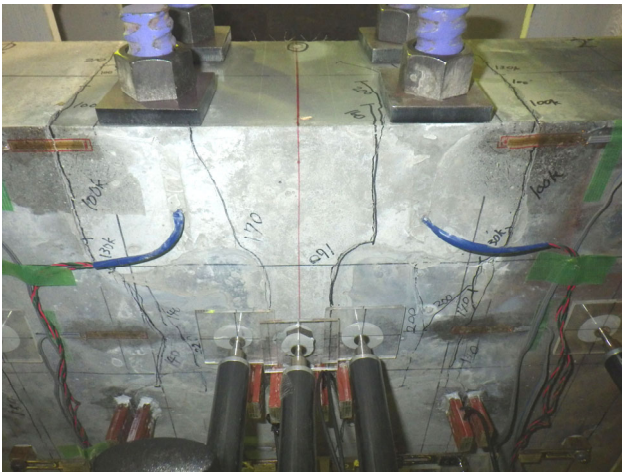
図-2.8.5.4 に、供試体 JS1 の曲率分布について、試験結果と計算結果を対比して示す。試験結果による曲率は、中抜き記号でたわみによる曲率を、中塗りの記号ではりの上縁と下縁に配置したパイ型変位計による値をそれぞれ示す。また、破線でファイバーモデルによる計算結果を示す。いずれも記号や線の色が同じものは、荷重レベルが同じであることを表す。たわみによる曲率は、5 本の変位計によるたわみ変位に基づき、例えば D-1-1～3, D-1-2～4, D-1-3～5, それぞれで得られた曲率を平均した値である。パイ型変位計による曲率は、計算値と概ね同様の傾向が見られる。



(a) 供試体 JS1, 打継目の割れ



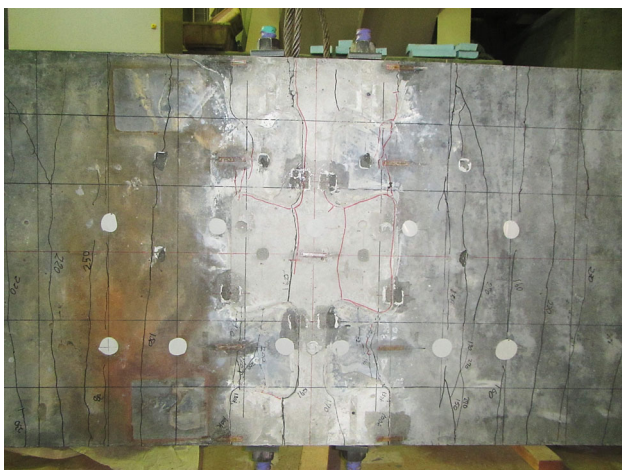
(b) 供試体 JS1, プレキャスト側突起部のひび割れ



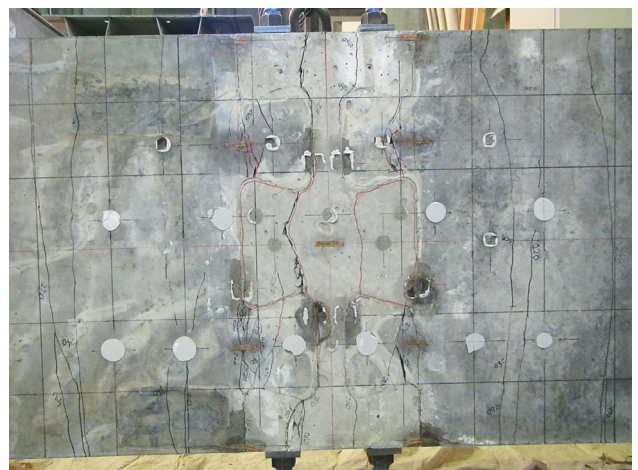
(c) 供試体 JS1, 間詰材外側突起部のひび割れ



(d) 供試体 JS1, プレキャスト側突起部のひび割れ

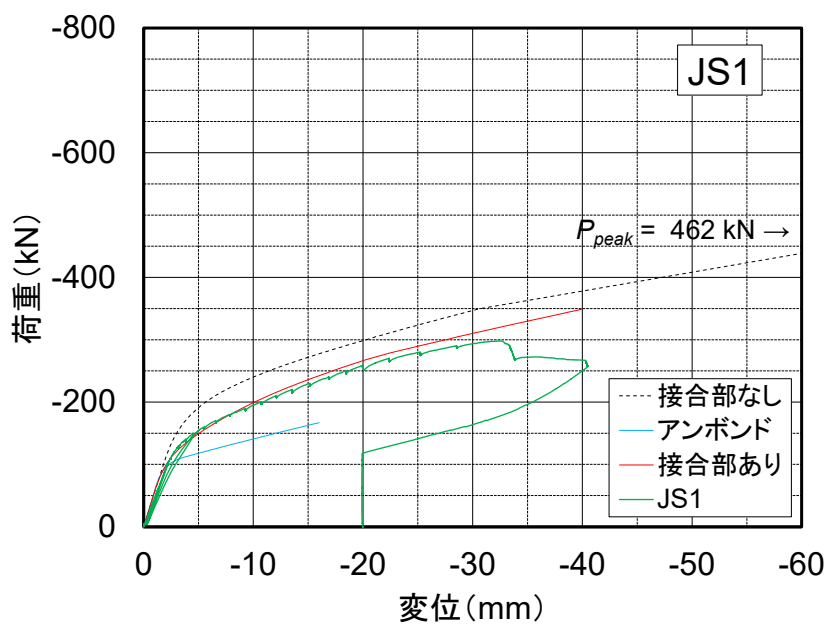


(e) 供試体 JS1, 試験後下面の割れとひび割れ

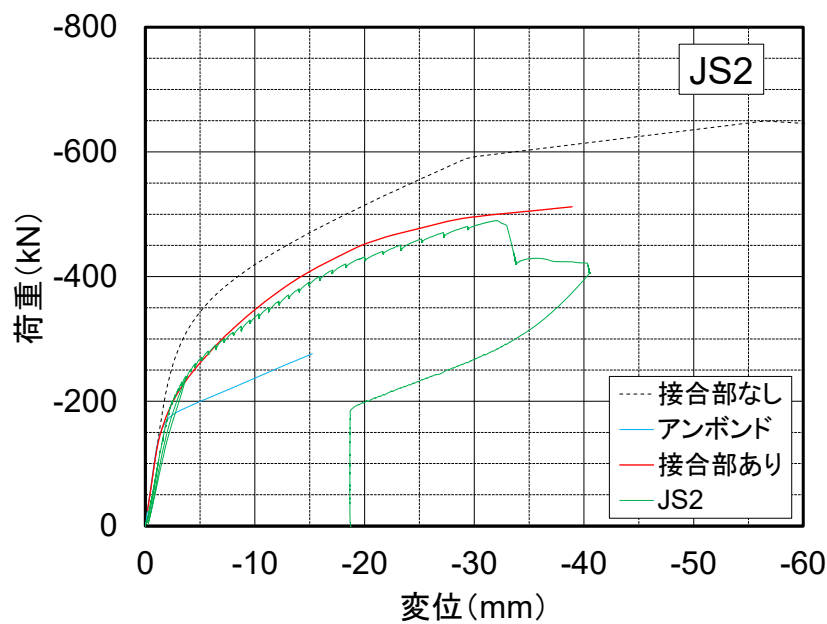


(f) 供試体 JS2, 試験後下面の割れとひび割れ

図-2.8.5.1 供試体 JS1, JS2 のひび割れ発生状況



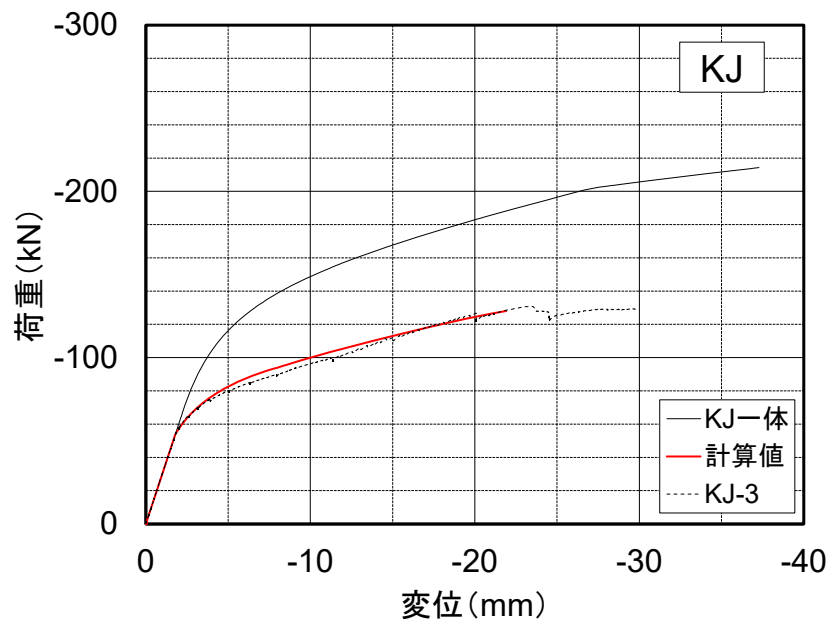
(a) 供試体 JS1



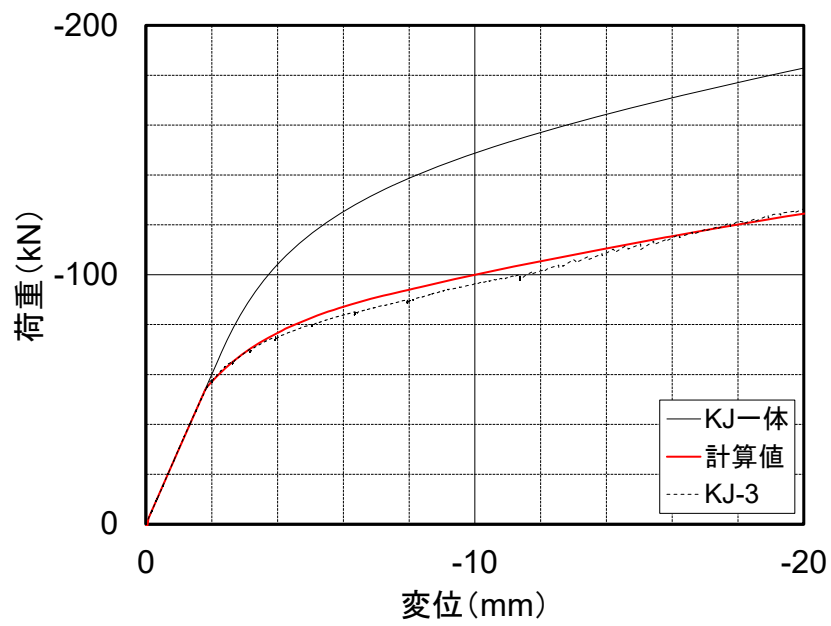
(b) 供試体 JS2

注) 図中の接合部なし, 接合部あり, アンボンドはいずれも計算結果を示す.

図-2.8.5.2 供試体 JS1, JS2 の試験結果



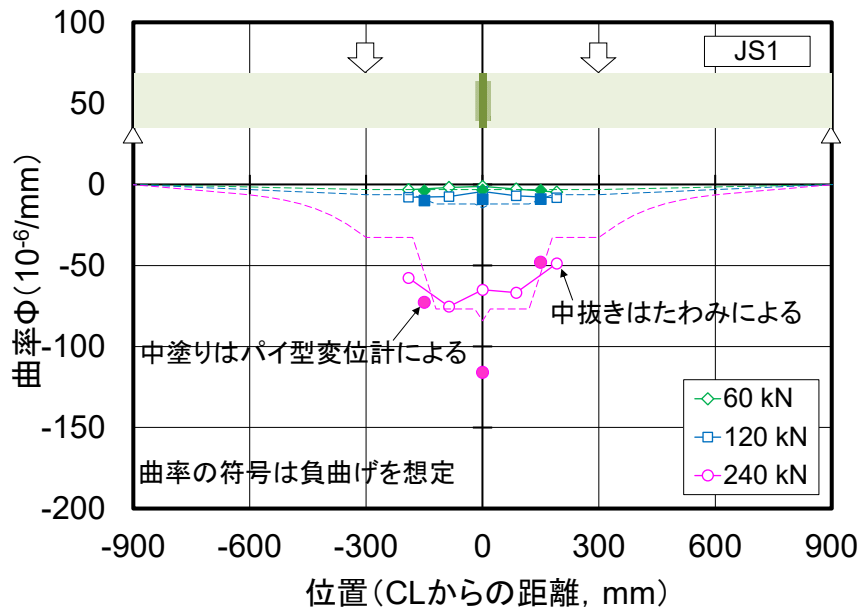
(a) 供試体 KJ3



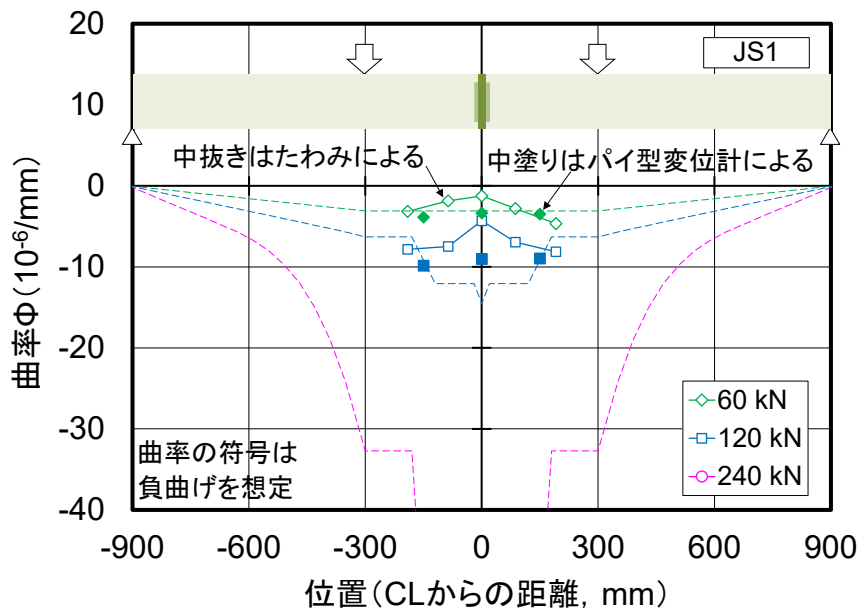
(b) 供試体 KJ-3, 拡大図

注) 「計算値」は間詰部でアンボンドとした場合、「KJ一体」は接合部なしとした場合の計算値.

図-2.8.5.3 供試体 KJ-3 の試験結果



(a) 全体



(b) 拡大図

注) 図中の記号は実験値を, 破線は計算値をそれぞれ示す.

図-2.8.5.4 供試体 JS1 の曲率分布
(試験結果と計算結果の比較)

2.8.6 考察

(1) ジグソー形式による接合部改善の効果試算

以上の結果を踏まえて、図-2.8.6.1に示すような、供試体 JS1 のうち接合部のみ厚さを 1.3 倍にしたはりの計算モデル JS3 について、荷重-変位関係を試算する。計算モデルは、同図(b)に示すように、供試体 JS1 と概ね同様であり、接合部のみ厚さを 1.3 倍とした。実際は同図(a)のようにハンチを設ける想定であるが、計算ではハンチ部を簡略にした。PC 鋼材の配置は、プレキャスト部と間詰部で一致する高さとした。供試体 JS1, JS2 の計算と同様に最外縁の突起部を有効とした。実際のプレキャスト床版ではジグソーが連続することから、最外縁の断面も有効になると考えられる。それ以外の構成則などはすべて供試体 JS1 と同じにした。計算した結果を図-2.8.6.2に示す。同図には、供試体 JS1 に接合部がない場合の計算結果も併せて示す(図中の JS1 一体)。これより、ジグソー形式の接合部を設けて、その厚さをプレキャスト部の 1.3 倍とすると、接合部のない構造と同等の曲げ耐荷性能が得られると考えられる。

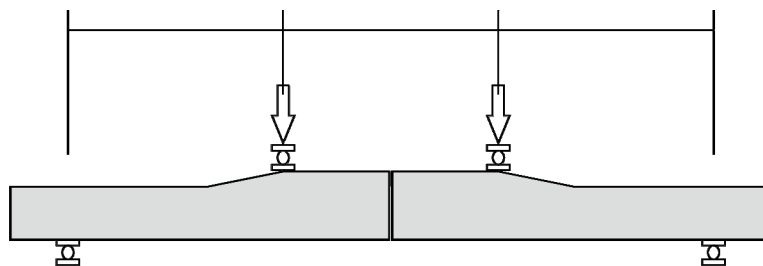
(2) ジグソーの形状

破壊の過程は、荷重を増加させると、突起部先端で付着が切れ、隣合う突起部の付け根付近で曲げひび割れが生じる。付着が切れた後は、図-2.8.6.1(c)に示すように、それぞれの突起部の付け根が有効断面となり、中立軸の急な上昇を抑えると考えられる。供試体 JS1 のジグソー形状は、供試体 KJ の PC 鋼材の配置や版厚に応じた大きさの突起を考え、かつ突起の付け根付近には応力集中が生じるので³⁾、その付近の半径を可能な範囲で大きくすることとして半径 20mm とした。

既往の研究において、FRC プレキャスト床版の接合部にジグザグ (zigzag) の形状を取り入れた例が見られる⁴⁾。突起部を設けてプレキャスト床版を接合する点では、ジグソー (jigsaw) の形状の場合と同様であるが、その名のとおり、突起部の平面形状がジグザグであり、最小断面位置は鋭角であった。同文献では、はり試験ではなく、床版の押抜きせん断試験であったため、鋭角の影響は顕著でなかったようである。引張を受ける軸部材や曲げを受けるはり部材の場合、応力集中の観点でジグソー形式の方が接合部の構造として適していると考えられる。また、製作において間詰材を隅まで充填する観点からもジグソーの形状の方が適していると考えられる。

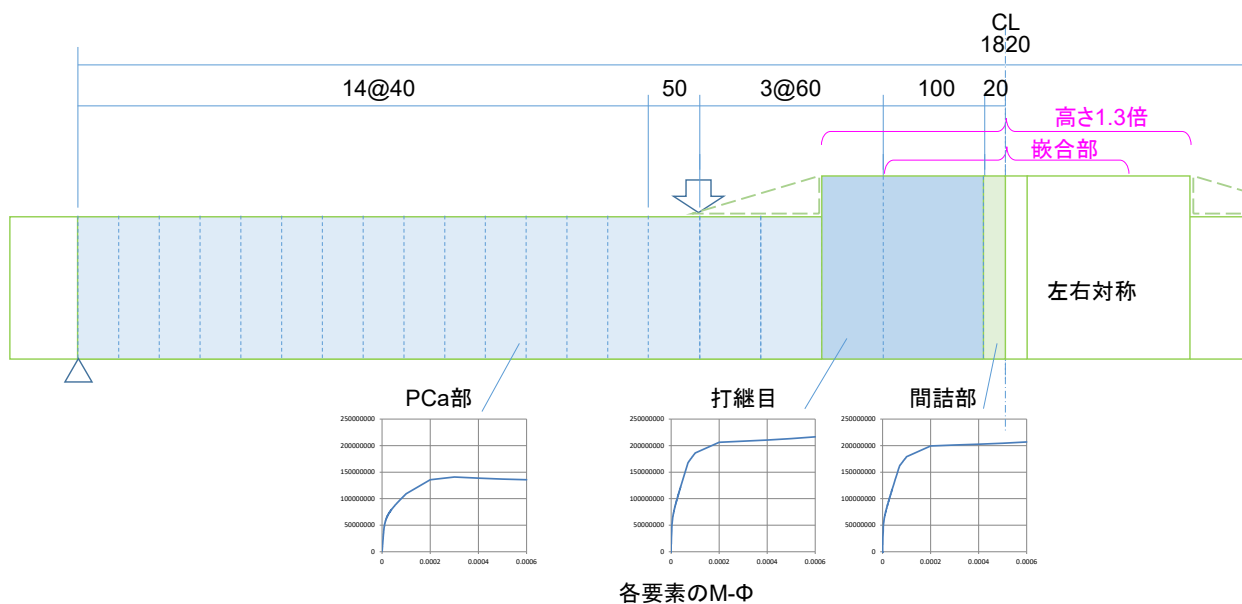
突起部の大きさは、供試体 JS1 のような大きさが必須ではなく、プレキャスト部の構造や厚さに応じた適切な大きさがあると考えられる。高強度 FRC のプレキャスト床版の場合には、突起の数を最小限にした方が、製作面で有利であると考えられる。突起の数を減らすと個々の突起は相対的に大きくなり、運搬等における損傷の懸念を最小限に抑える点でも有利であると考えられる。部材軸に対する突起側面の角度が大きいくほど、引張力を受けたときのかみ合わせはより確実になるが、逆に突起部の最小断面が小さくなる傾向にあり、それに応じて接合部の有効断面を得るための厚さを大きくする必要がある。また、高さに対して突起長さがあまりに小さいと、形状に沿って打継目の割れが生じてしまい、突起部の曲げひび割れが発生しにくくなるため、繊維の連続性の確保が難しくなる。突起部を設けて、その付け根付近に曲げひび割れを誘導することがジグソー形式の利点を活かす上で重要である。これらの点から、ジグソー形状は、プレキャスト部の厚さと概ね同程度の長さ、幅の突起を設けるのがよいと考えられる。

接合部のみ
h = 180 mm

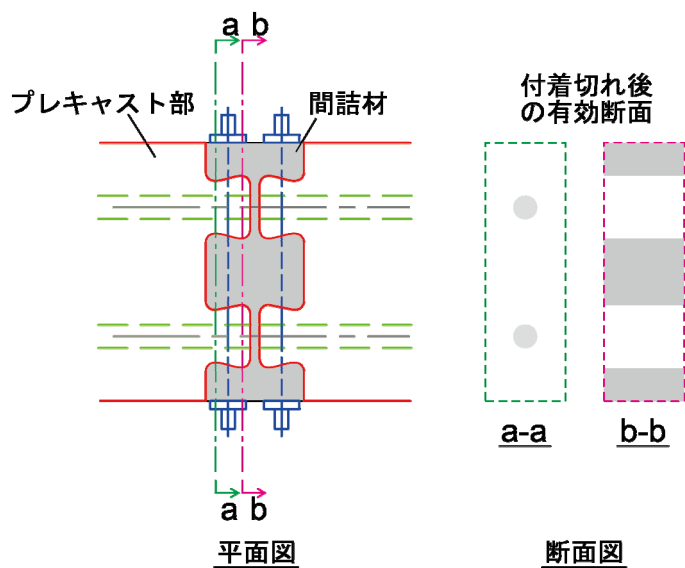


JS1 の接合部のみ、
高さを 180mm とし、
かつ床版を想定して
全幅有効とした試算

(a) 接合部の高さを 1.3 倍にするイメージ

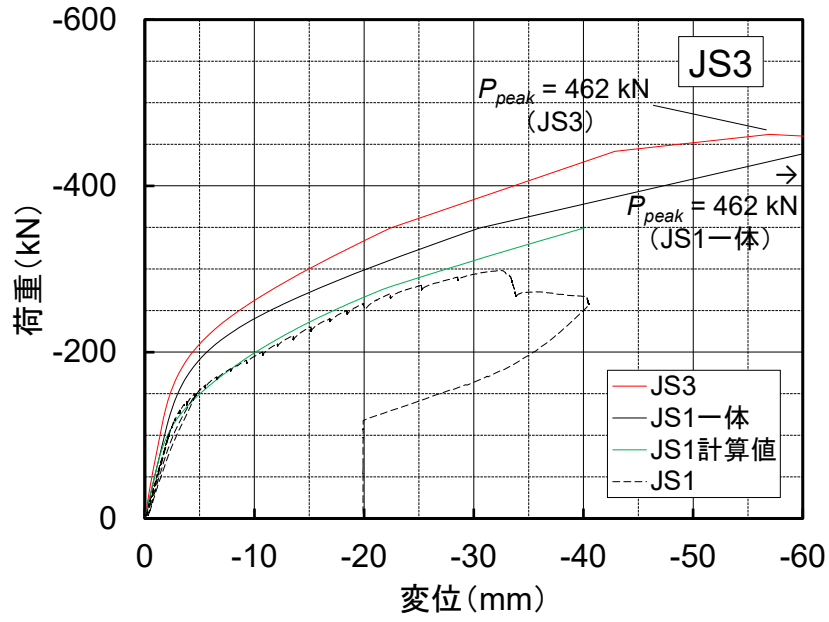


(b) 計算モデルのイメージ

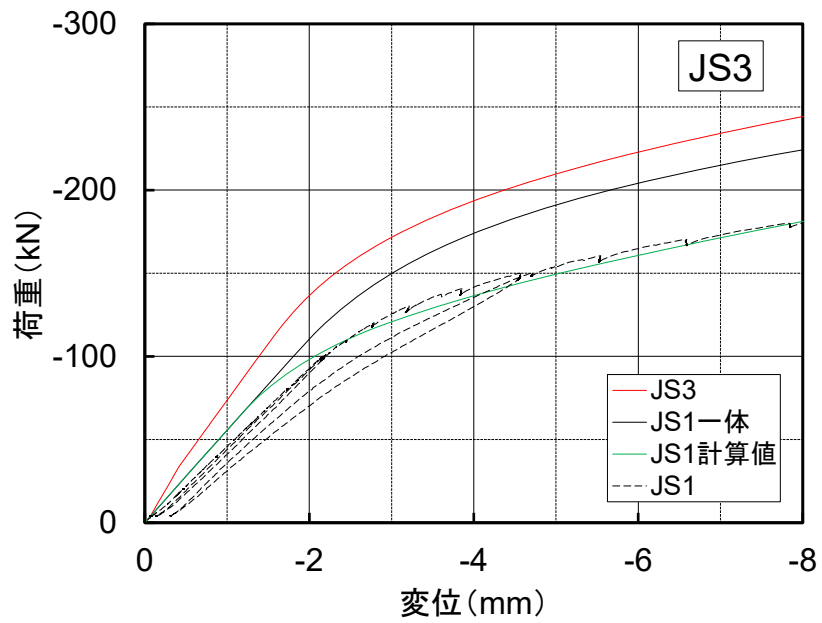


(c) 接合部の計算における有効断面

図-2.8.6.1 接合部を 1.3 倍にした場合のはりの計算モデル JS3



(a) 全体



(b) 拡大図

注) 図中の JS1 以外はいずれも計算結果を示す. JS1, JS1 計算値は比較のため再掲.

図-2.8.6.2 はりモデル JS3 の計算結果

参考文献

- 1) 岡村甫, 前川宏一 : 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.5.
- 2) Timoshenko, S. P. and Young, D. H. : *Elements of Strength of Materials*, fifth edition, Maruzen, 1968.
- 3) 夏堀格, 田中良樹, 上仙靖, 小沢拓弥, 古賀裕久 : 各種短繊維補強コンクリートの直接引張試験, 第77回土木学会年次学術講演会概要集, V-228, 2022.9.
- 4) Sayed-Ahmed, M. and Sennah, K. : Ultimate and fatigue strength of GFRP-reinforced, full-depth, precast bridge deck panels with zigzag-shape transverse joints filled with UHPFRC, *5th International Construction Specialty Conference, Vancouver, B.C.*, Canadian Society for Civil Engineering, 2015.

付属資料Ⅲ-1 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験
(KF2)

付属資料Ⅲ-2 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験
(KF2)

付属資料Ⅲ-3 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験
(S2)

付属資料Ⅲ-4 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験
(S2)

付属資料Ⅲ-5 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験
(TS3)

これらの付属資料は、本編での試験結果を踏まえて、プレキャスト床版接合部の構造を改善または新たに提案した供試体を製作し、水張り下での輪荷重走行試験と負曲げでの静的曲げ試験を行った結果を取りまとめたものである。

付属資料III-1 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験 (KF2)

1. 供試体 KF2

本試験で使用した床版は、既存の床版と同程度の厚みを有し、床版本体の単位体積質量を 18.5kN/m^3 に軽量化した高強度繊維補強コンクリートを用い、繊維による高い靱性および独自の鉄筋との高い付着性を考慮し、道路橋示方書に示されている鉄筋の引張応力度を 120N/mm^2 から 200N/mm^2 に引き上げて鉄筋量を設計した。また、接合部は供試体中央に異形鉄筋の配力筋を 120mm 突き出し、左右の2パネルの継手間隔を 150mm とした継手部で連結された供試体である。突き出した異形鉄筋の先端は単純に切断したままで付加的な付着増を狙った加工は一切していない。使用した材料の強度試験結果を表-1 に示す。

表-1 供試体に用いた FRC の諸元

	床版本体	接合部
単位体積質量(kN/m^3)	17.0	21.0
弾性係数(kN/mm^2)	16.2	28.5
圧縮強度(N/mm^2)	45.9	122

輪荷重走行試験に用いた供試体の構造概要を図-1、変位計、ひずみゲージの測定位置を図-2、図-3 に示す。床版供試体の版厚は現行道路橋示方書に準拠して支間 3m の連続版を対象に版厚 220mm とした。設計は鉄筋の許容応力を 200N/mm^2 で行い、それ以外は道路橋示方書に準拠した配筋とした。この床版を支間 2.5m で単純支持し、長さ 4.5m の両端辺を横梁で弾性支持する。また、接合部は中央に配置した。なお、鉄筋の許容応力については、過去の同様の FRC を用いた輪荷重走行試験の結果から、FRC によって鉄筋にかかる応力が分散される事、独自のコンクリートによる高い鉄筋との付着性が確認できた事から、鉄筋の許容応力を高く設定できると仮定し、鉄筋量の少ない床版とした。

2. 載荷方法

接合部の耐久性を確認するにあたり、まず、NEXCO 試験法 442 を行った後に、土木研究所方式による階段状漸増載荷による疲労耐久性評価の試験を実施した。

(1) NEXCO 試験法 442 による試験法

この試験法は取替用床版用に NEXCO (東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社) によって定められた試験法であり、最初から 250kN の大きな輪荷重を 10 万回まで往復させ、床版に急変する異常な挙動をしないことを検証し、その走行試験後に、継手を含む床版中央部で、プールを作り、 5mm 深さの水を張り 6 時間の間に床版下面に漏水が発生しない場合には 100 年の疲労耐久性を有するものと評価される。

(2) 土木研究所方式による階段状載荷による疲労耐久性評価の試験

試験(1)に追加して、更に大きな荷重による輪荷重走行で疲労耐久性を評価するものである。約 20kN ずつ増加させた荷重で 4 万回走行させるステップを荷重 392kN になるまで階段状に繰り返し、最終段階の荷重、

走行回数とその耐久性を表すものである。ただし、本床版の輪荷重走行試験は床版上部に水張りをした状態で試験するとこれまでにない過酷条件（RC床版で水を張った疲労実験では、乾燥状態の疲労寿命の1/100に低下する）で実施した。

単位：mm

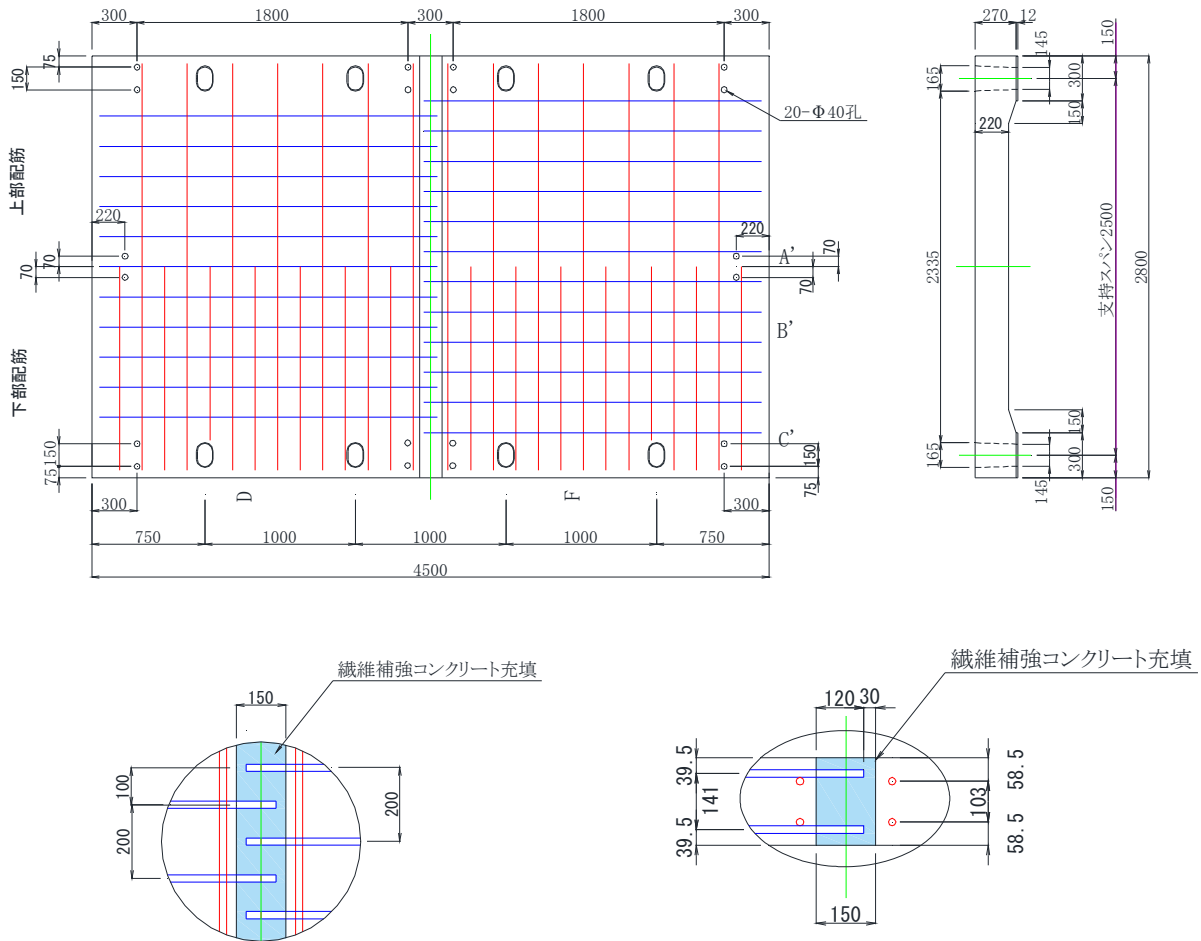


図-1 供試体 KF2 の構造図

単位：mm

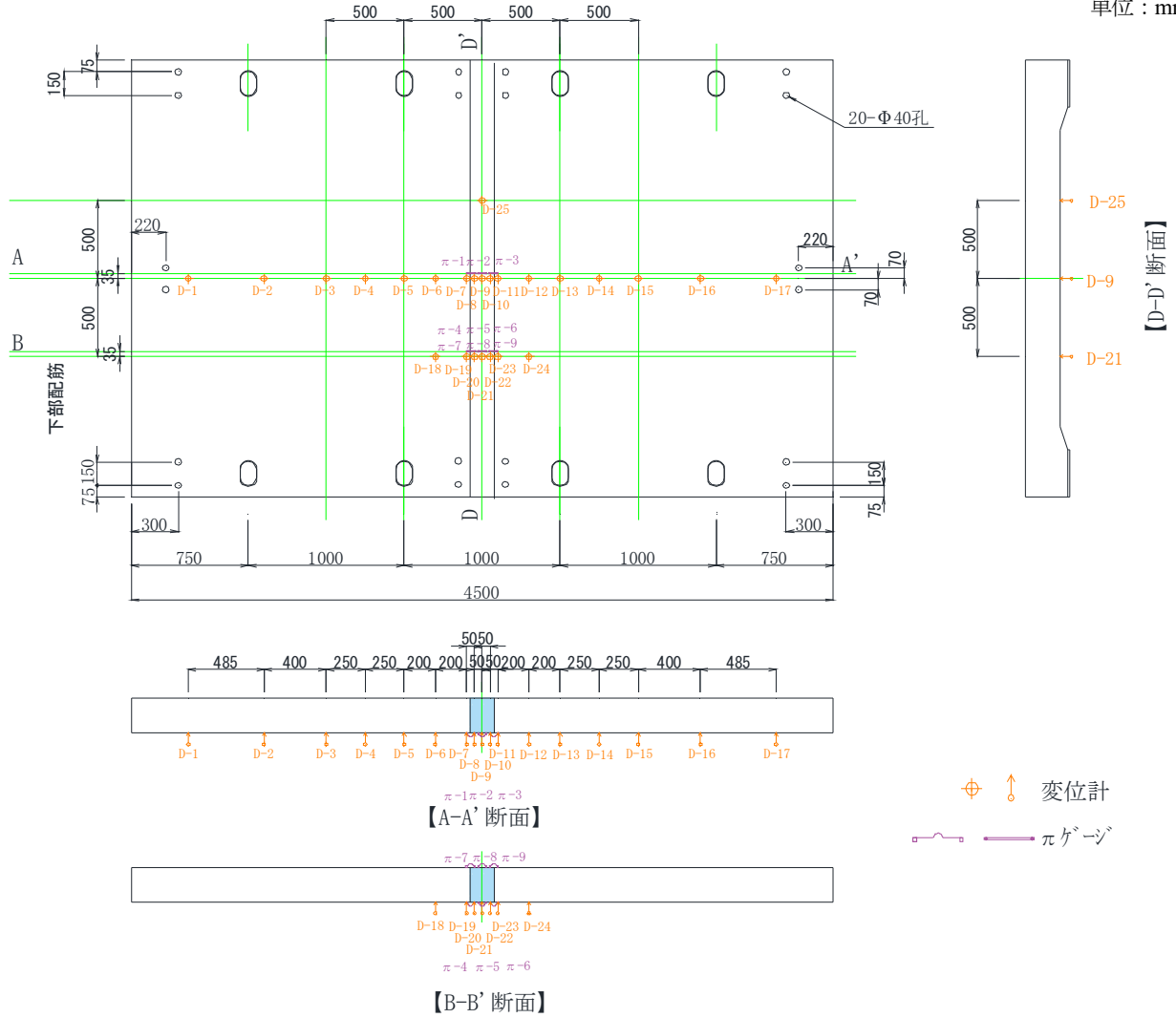


図-2 鉛直変位計およびパイ型変位計の測定位置

単位：mm

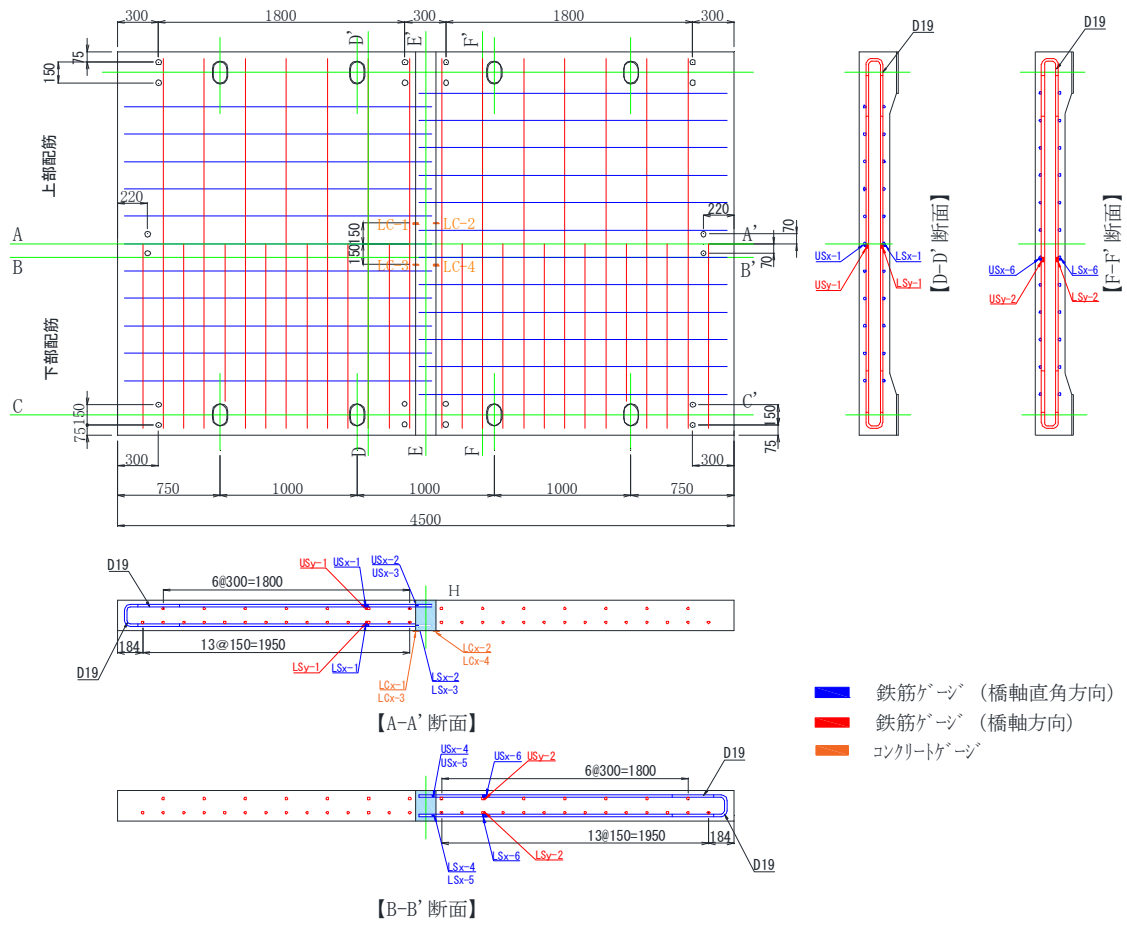


図-3 鉄筋およびコンクリートのひずみゲージ添付位置

3. 供試体 KF2 の結果

3.1 版の全体挙動

ひび割れ観察図を図-4 及び図-5, 漏水箇所 A, B を写真-1, 写真-2 に示す. 38 万回走行を終えても, 終局状態 (抜け落ち) に至らなかった. また, ヘアークラック程度のひび割れは輪荷重走行直下に発生し始め, その後, 走行回数に伴って床版中央を中心にひび割れが徐々に増加した.

接合部においては 2 か所から漏水が認められたが, 漏水と言っても, 滲み出ている程度のものであった. 輪荷重が載荷している継手中央部の橋軸方向の漏水 A において 11 万回で発見したが, 数千回で漏水は停止した. よって写真では漏水したことが判るセメント紛が残っている.

漏水 B は主桁近くのハンチ部に近い箇所にて 11.5 万回で発生した. この漏水も橋軸方向に発生しており走行回数 26 万回程度ではほぼ停止した.

以上のように今回の FRC を用いた継手部において漏水は発生したが, 通常コンクリート床版のように橋軸直角方向で床版全厚に貫通したひび割れに水が入ったものとは違っており, 界面での付着切れによるものではなく, 間詰材の自己収縮する際に鉄筋拘束の影響で, 間詰材の内部に引張ひずみが生じていたことが要因と考える.

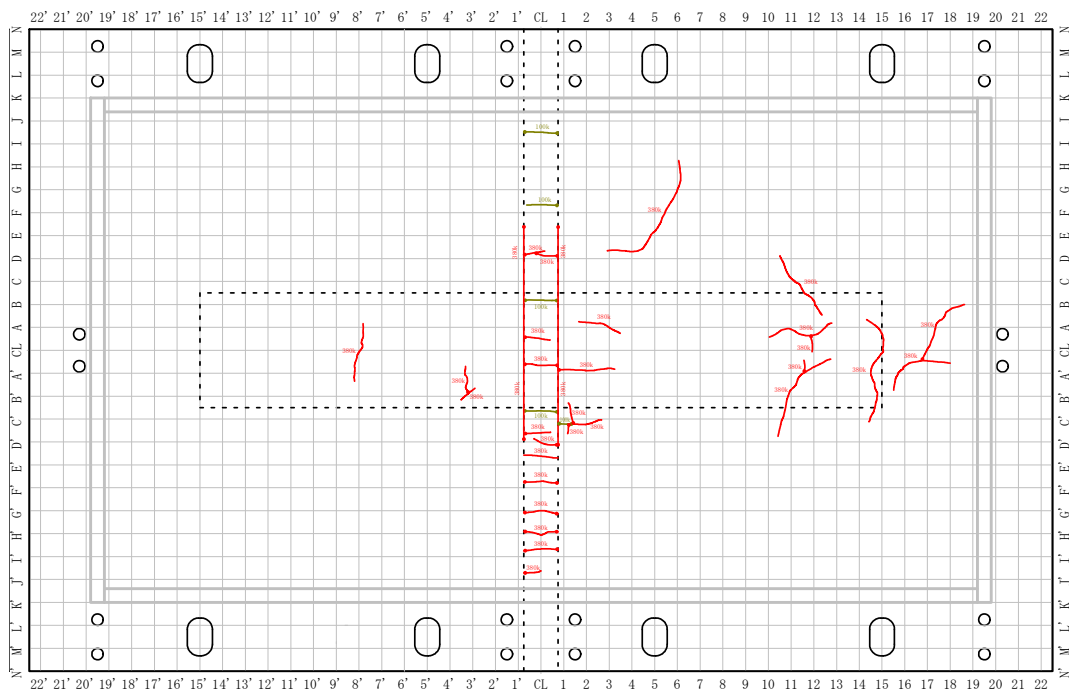


図-4 ひび割れ観察図 (上面)

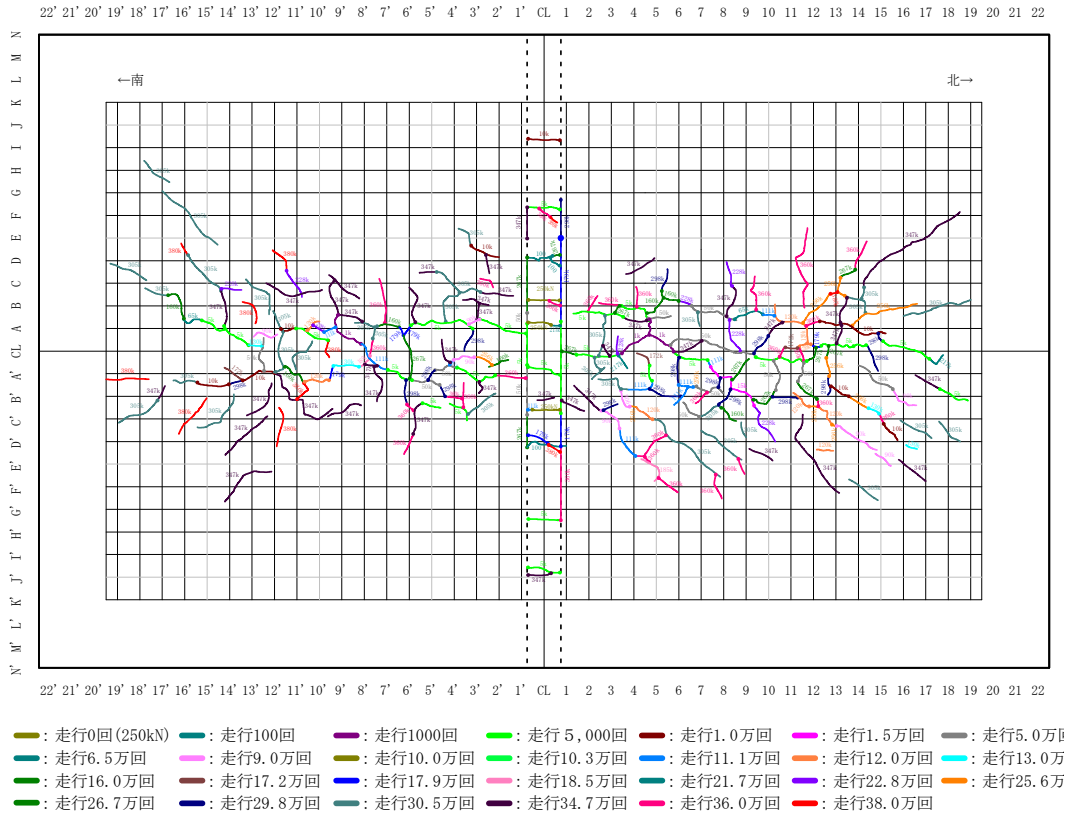


図-5 ひび割れ観察図 (下面)

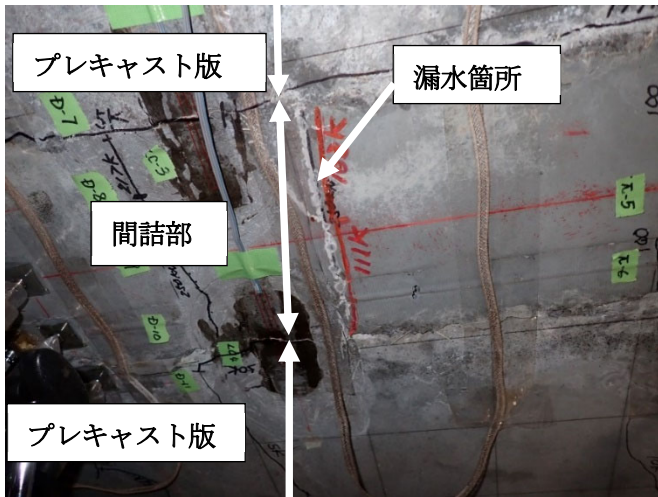


写真-1 漏水箇所 A

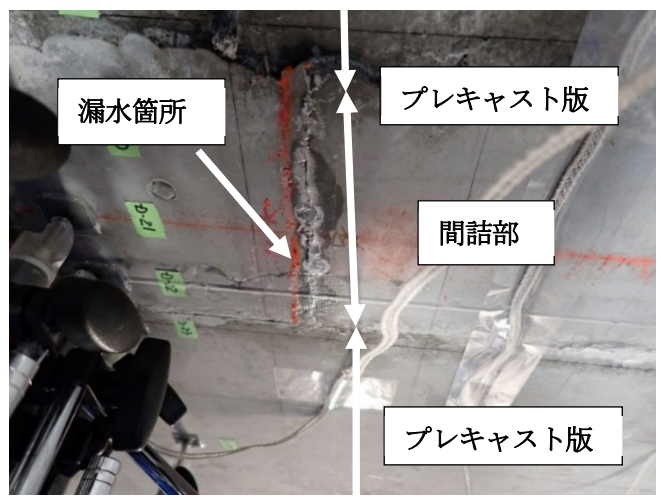


写真-2 漏水箇所 B

3.2 接合部の挙動

図-6 に床版中央と接合部における走行回数とたわみの変化, 図-7 に 157kN に換算した活荷重たわみの変化量, 図-8, 図-9 に走行回数と割れ幅変位を示す.

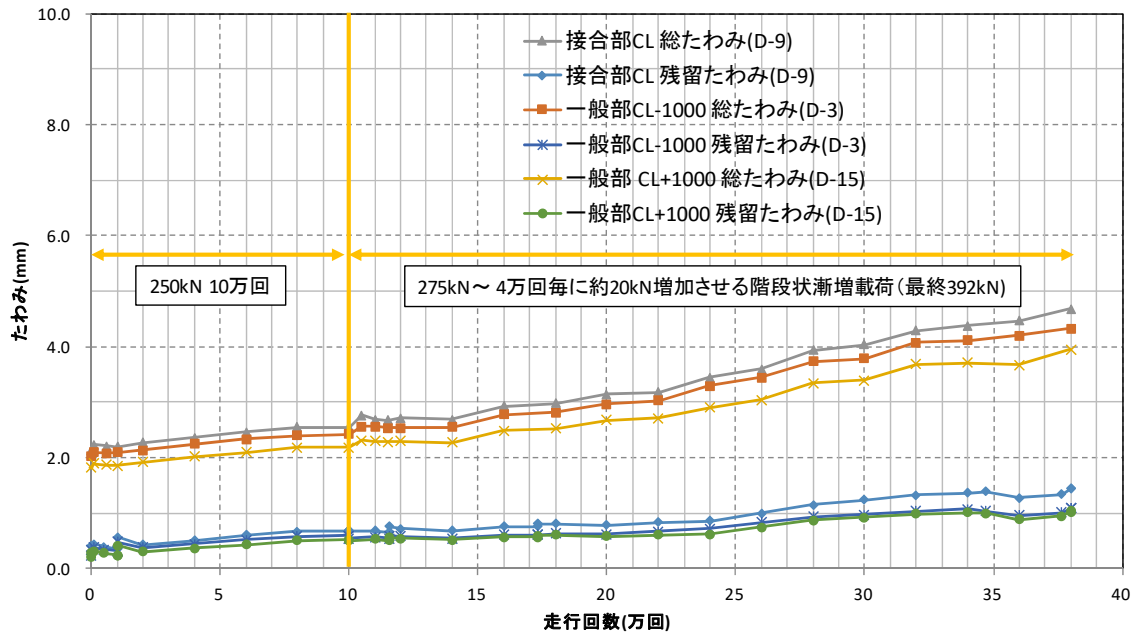


図-6 走行回数における床版中央のたわみ変化 (MM データ最大値)

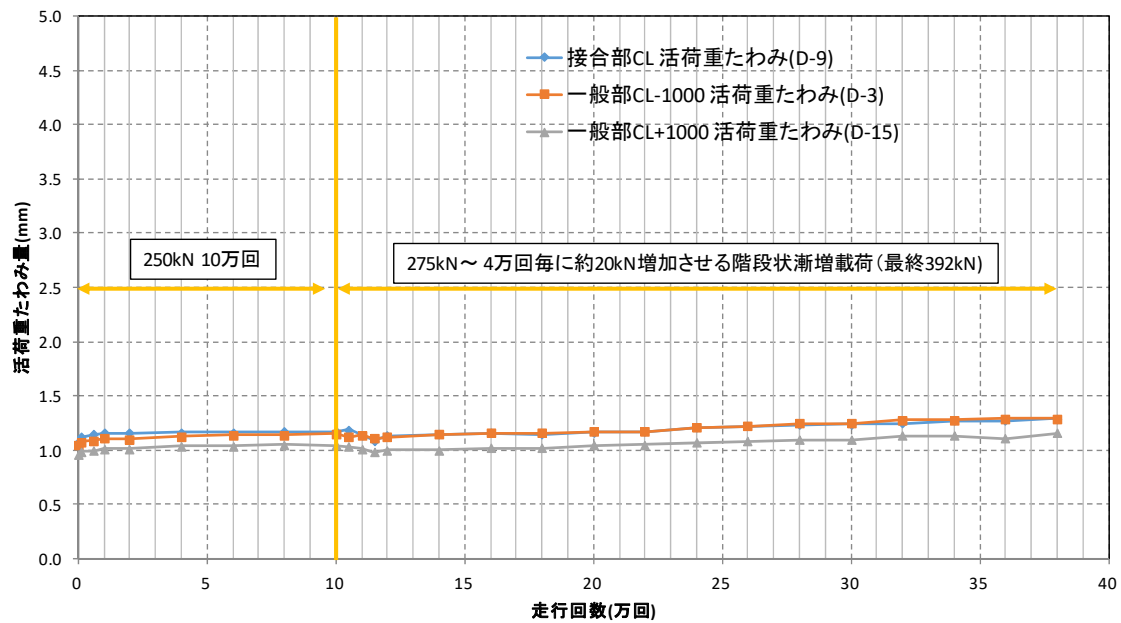


図-7 157kN に換算した活荷重たわみの変化量 (MM データ最大値)

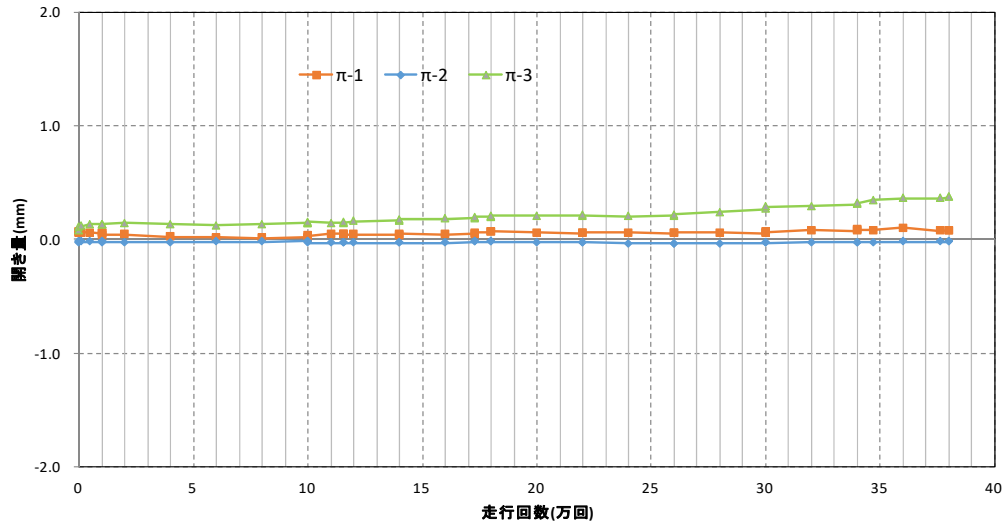


図-8 輪荷重走行位置直下の走行回数と接合部の開き (SS データ)

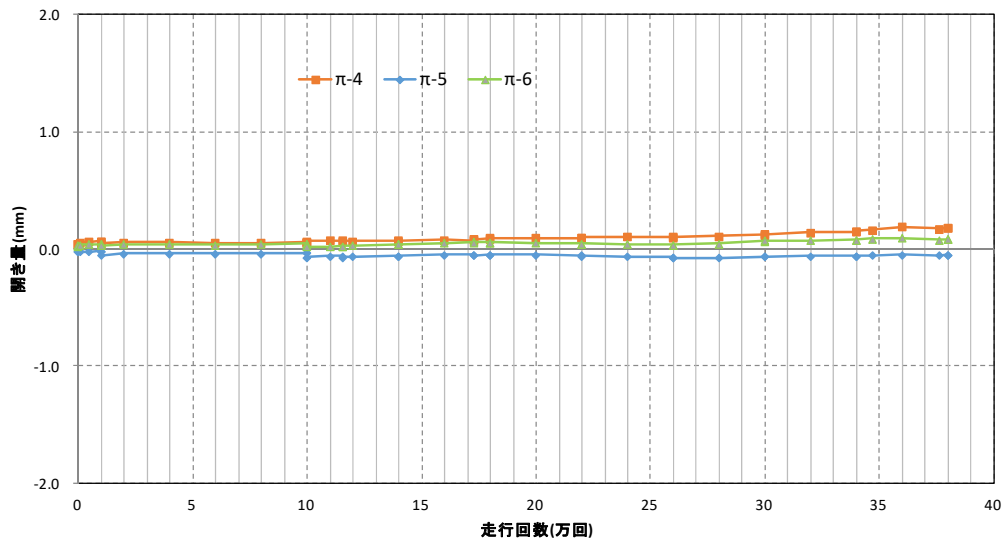


図-9 輪荷重付近 CL+332mm 走行回数と接合部の開き (SS データ)

図-6 に示す総たわみ量および残留たわみ量は床版中央(CL)とともに 38 万回まで単調増加しており、安定した漸増傾向にあることが判る。各載荷重を 157kN に換算した活荷重たわみ((総たわみ-残留たわみ)÷載荷重×157)の変化を図-7 に示す。換算した活荷重たわみの増加は 38 万回走行後でも僅か 0.3mm 程度であった。

図-8 はパイ型変位計によって計測した継手部のプレキャスト版と間詰部との界面、および間詰中央でのひずみ変化図である。青線のひずみはほぼ 0 の状態で推移しているが、ここではひび割れは発生していないことが判る。本体部と間詰材の界面の緑色線は南側界面のひずみ変化であるが、最初の数千回でひび割れが発生したが、ひび割れ幅は 0.1mm 以下の微細なものである。その後、26 万回位から 0.2mm~0.3mm に開いたが、ひび割れ面の劣化は無いまま最終回まで耐えていた。また、CL+332mm の位置においても同様の変化を示している。

付属資料III-2 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験 (KF2)

1. 供試体 KF2

梁曲げ載荷試験に用いた供試体の形状を図-1, 供試体諸元を表-1, 鉛直変位計およびパイ型変位計の設置位置を図-2 に示す. 供試体は継手部を 350mm とし, 橋軸方向を 350mm×3+縁端 (100mm×2) =1250mm とした. 橋軸直角方向の配筋が交互に配置出来るように2本配置し, 橋軸直角方向を 440mm とした. また, 供試体の本体側の接合面は, 間詰材と接する箇所を目荒らして, 間詰材との接着性を高くしている.

表-1 供試体に用いた FRC の諸元

	床版本体	接合部
単位体積質量(kN/m ³)	17.0	21.0
弾性係数(kN/mm ²)	16.4	27.1
圧縮強度(N/mm ²)	54.6	122.5

単位 : mm

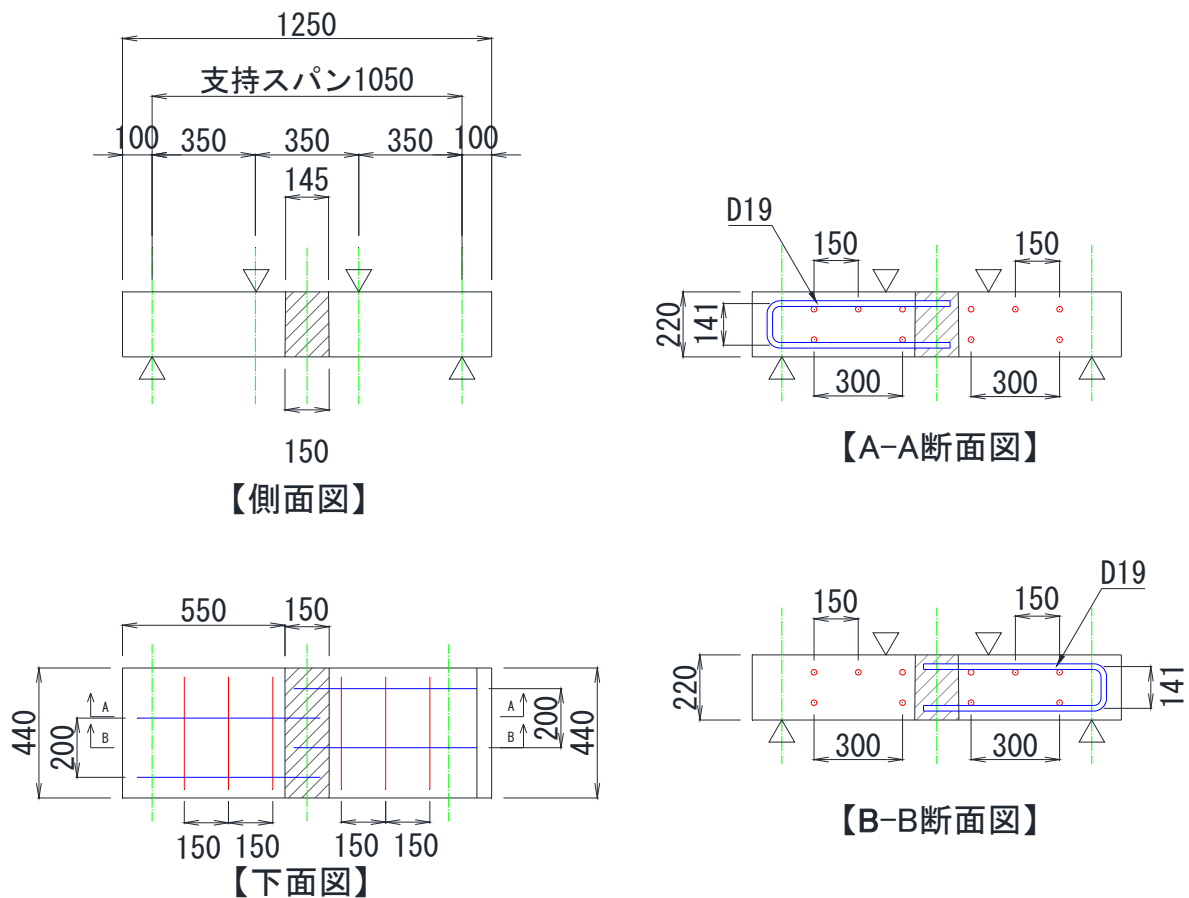
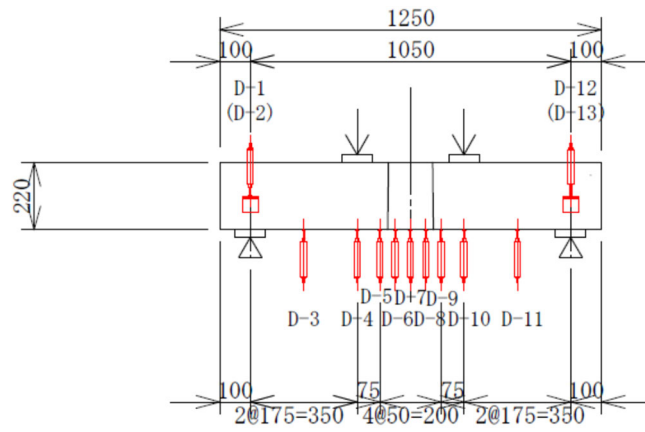
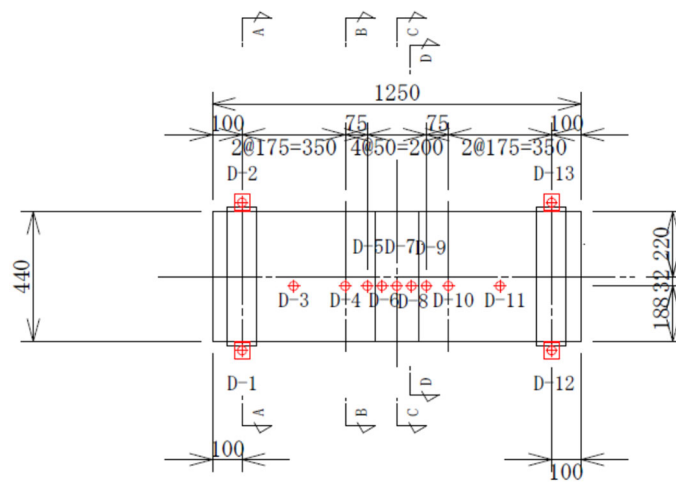


図-1 供試体の形状寸法

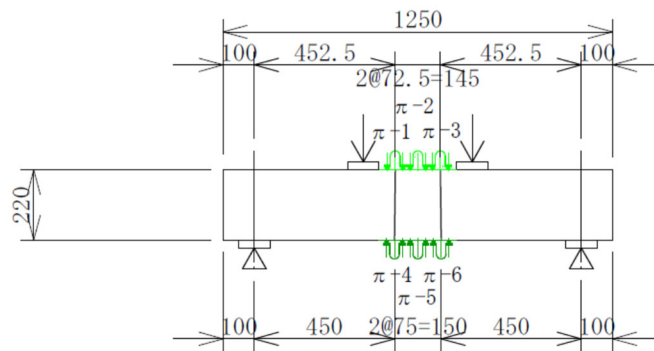
単位：mm



(a)側面図



(b)平面図（下面）



(c)パイ型変位計位置

図-2 鉛直変位計およびパイ型変位計の設置位置

2. 負曲げ梁試験の結果

2.1 荷重－変位関係

図-3 に供試体中央における荷重と鉛直変位の挙動を示す。試験は3回実施しており、3供試体は約55kNでひび割れが発生し、約200kNまでは同様の挙動を示している。いずれの供試体も支間中央たわみが約3mmで最大荷重となり、その後、徐々に低下し始めた。図-4は3回の試験における各荷重段階の鉛直変位分布を示している。図中オレンジ色の線は本体部と接合部界面の位置を示している。図中の変位分布より約55kNで載荷点の直下（CL+175mm付近）にひび割れが発生しているにも関わらず、繊維補強による高い靱性により、一体となった動きを示している。いずれの供試体においても、50kNまでは同様の鉛直変位分布を示しており、その後、ひび割れに伴って各場所の変位が増加しているが、支間中央が最も大きなたわみとなって左右対称な変位変化を示しており、本体部と接合部界面の段差による破壊ではなく、間詰材中央部で破壊が起こった。

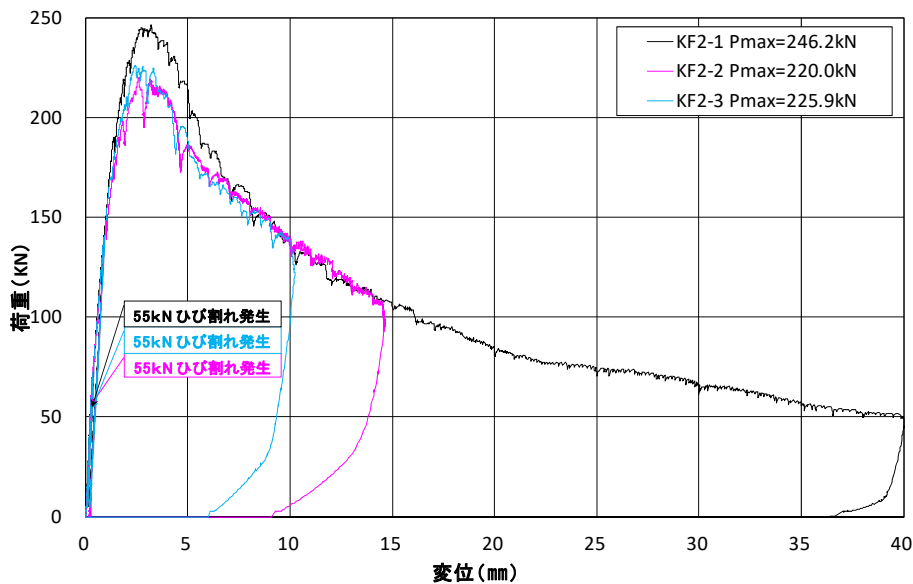


図-3 荷重-支間中央たわみの挙動

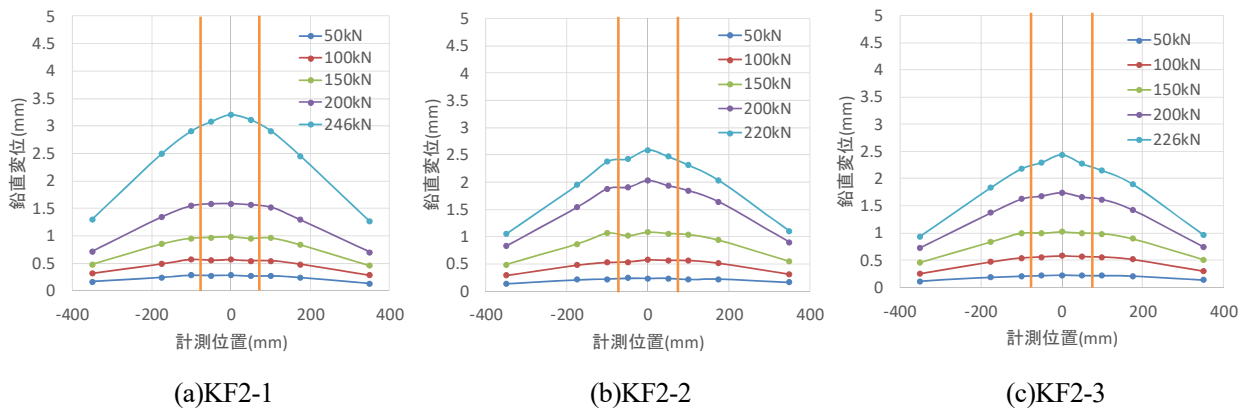


図-4 各荷重段階におけるはりの鉛直変位分布

2.2 接合部の挙動

図-5~図-7 に荷重とパイ型変位計による供試体下面の水平方向変位の関係を示す。いずれの供試体においても、約 55kN で載荷点直下の部分（本体部）からひび割れが発生し、約 70kN で本体部と接合部おける界面の開きが少し観測された。また、パイ型変位計から計測される変位を見ると、本体部と接合部における若干の界面剥離が影響したと考えられる若干の増加傾向が見られた。その影響は最大荷重時において 0.5mm 程度の増加が計測された。

これらは図-8~図-10 のひび割れ図に見る様に、本体部と接合部の界面の剥離が見受けられるが、主に本体側で曲げひび割れが発生していた。その後、最大荷重載荷付近から供試体側面で、上面の対角の位置に向かって斜めひび割れが発生し、下面でも対角の位置に向かってひび割れが確認された。また、側面の斜めひび割れに関して鉄筋の位置付近でのひび割れが少ない状況は、間詰材と鉄筋の付着強度が高い特性により、周囲の間詰材に圧縮域が形成され、鉄筋付近を避けるようにひび割れが発生したと考える。この事により、継手部での界面の剥離は最大荷重時において鉛直変位の増加が 0.5mm 程度に留まり本体部と継手部が一体となっていると考える。

また、図-11~図-13 は荷重と接合部の鉄筋ひずみを示す。鉄筋ひずみは最大荷重時においても約 700 $\mu\epsilon$ 程度であり、降伏点に到達していない。また、ひずみが大きく低下する等の顕著な挙動がない事から継手部の鉄筋は正常な付着が保たれていると考える。

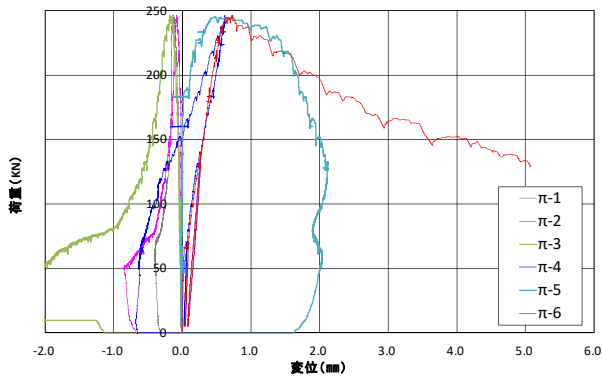


図-5 KF2-1 の荷重-パイ型変位曲線

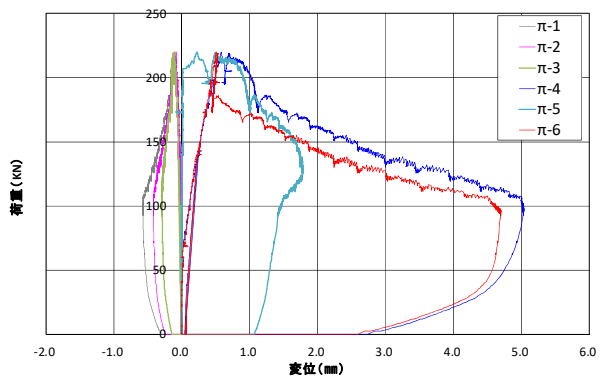


図-6 KF2-2 の荷重-パイ型変位曲線

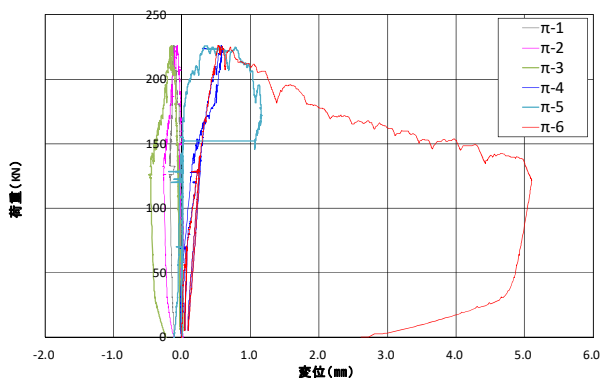
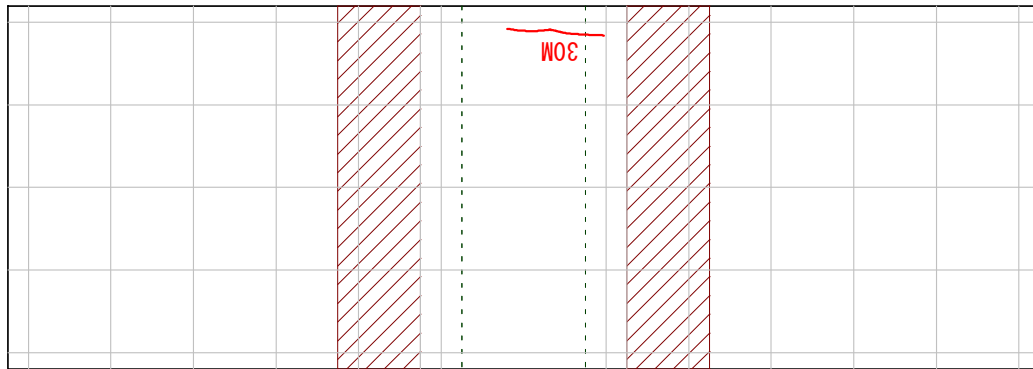


図-7 KF2-3 の荷重パイ型変位曲線

A面(北面)

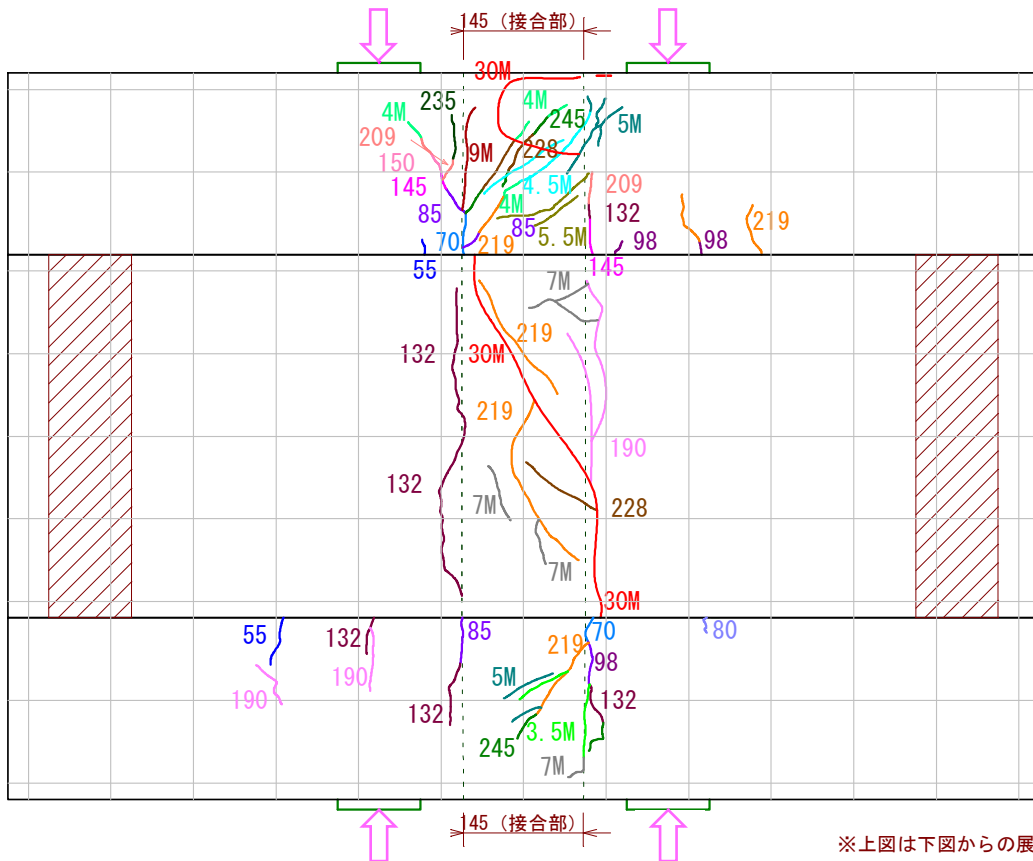
上面



A面(北面)

下面

B面(南面)



※上図は下図からの展開図

凡例

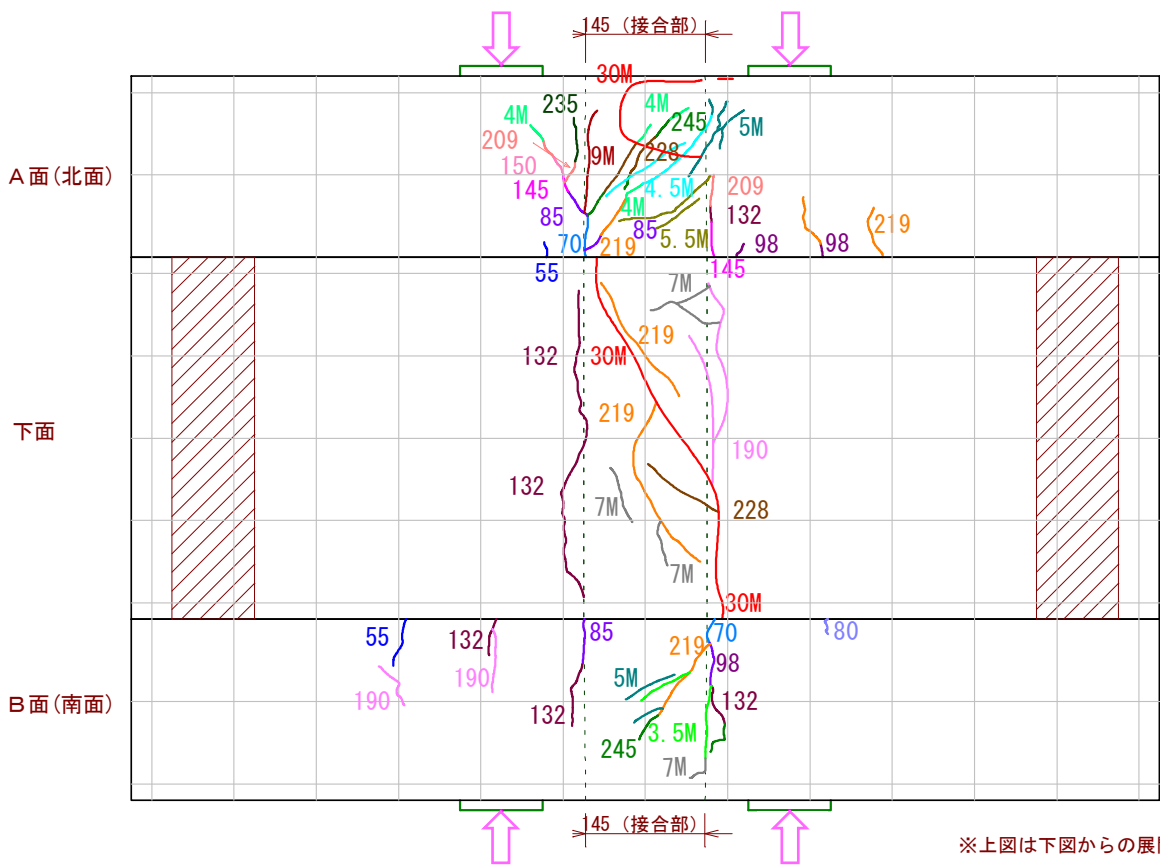
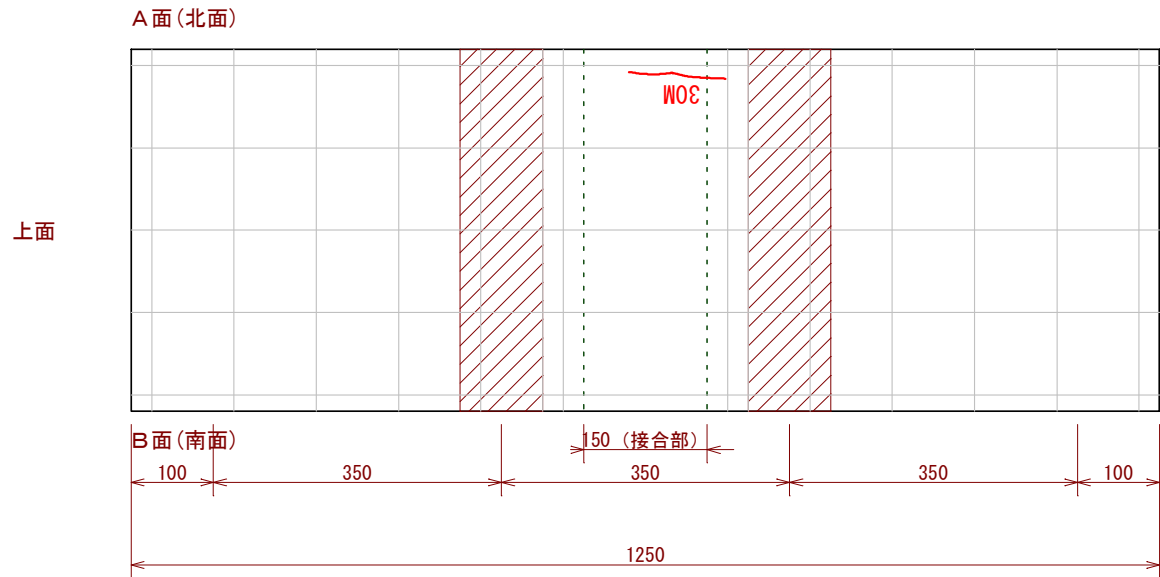
ひび割れ

剥離線

添え数字は発生荷重 (kN)

Mの付いた添え数字は発生変位 (mm)

図-8 ひび割れ図 (供試体 KF2-1)



凡例

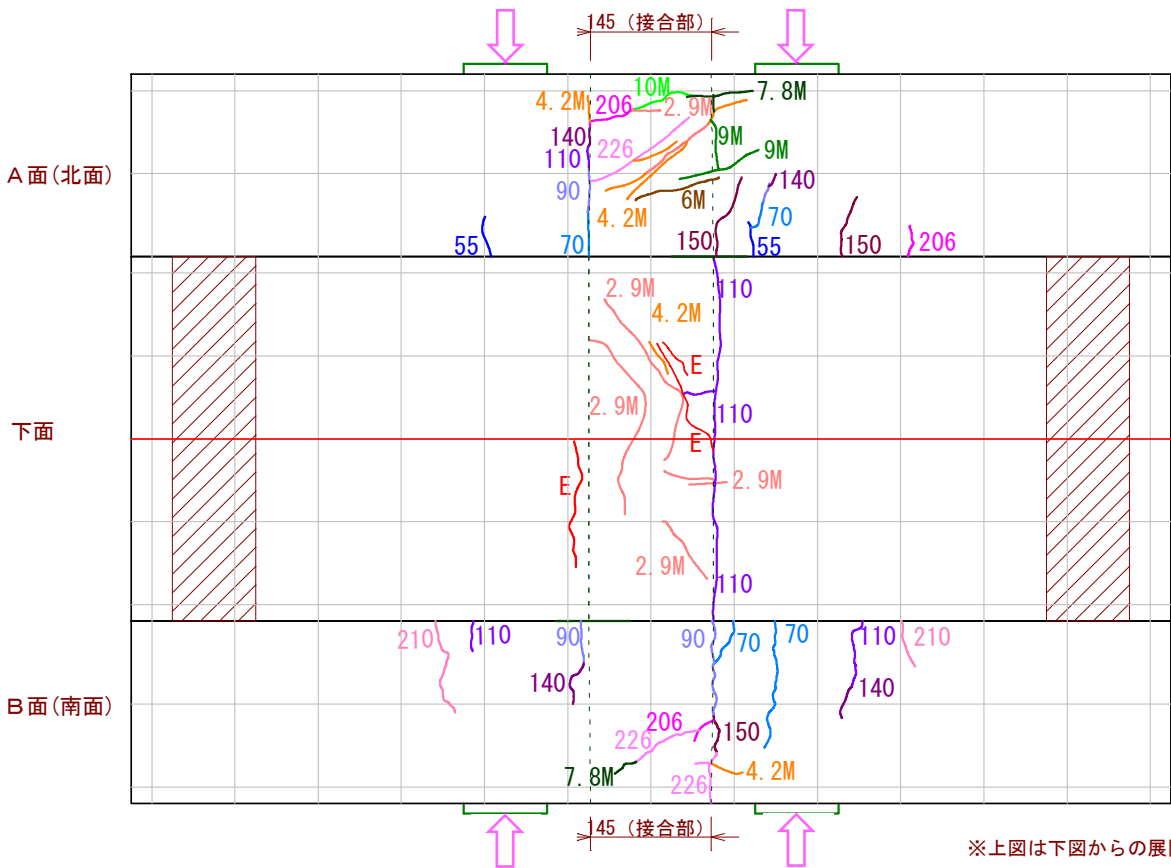
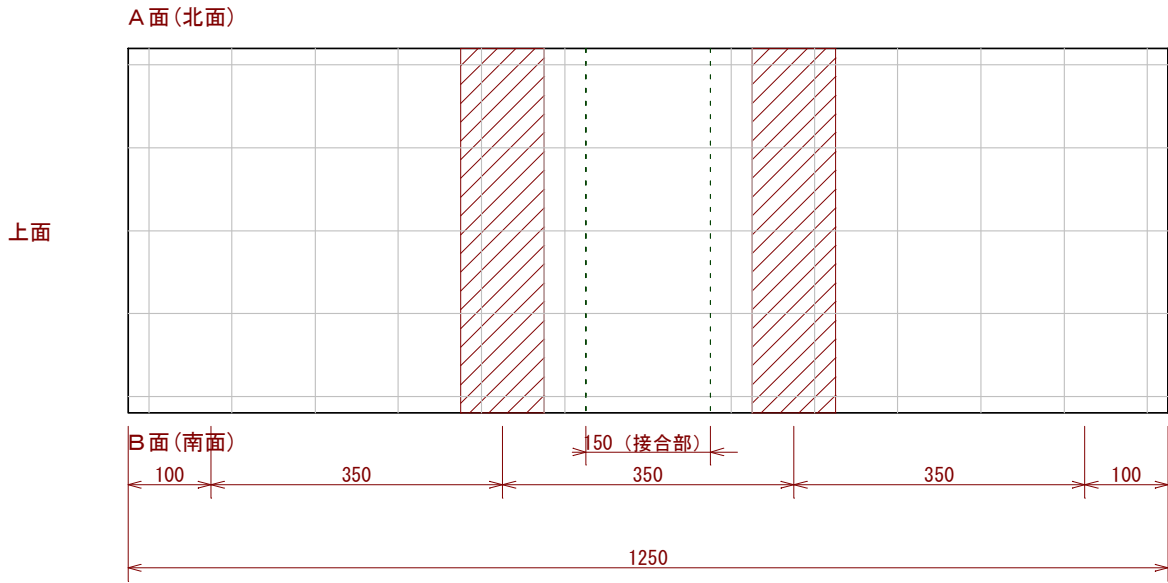
ひび割れ

剥離線

添え数字は発生荷重 (kN)

Mの付いた添え数字は発生変位 (mm)

図-9 ひび割れ図 (供試体 KF2-2)



凡例

ひび割れ

剥離線

添え数字は発生荷重 (kN)

Mの付いた添え数字は発生変位 (mm)

図-10 ひび割れ図 (供試体 KF2-3)

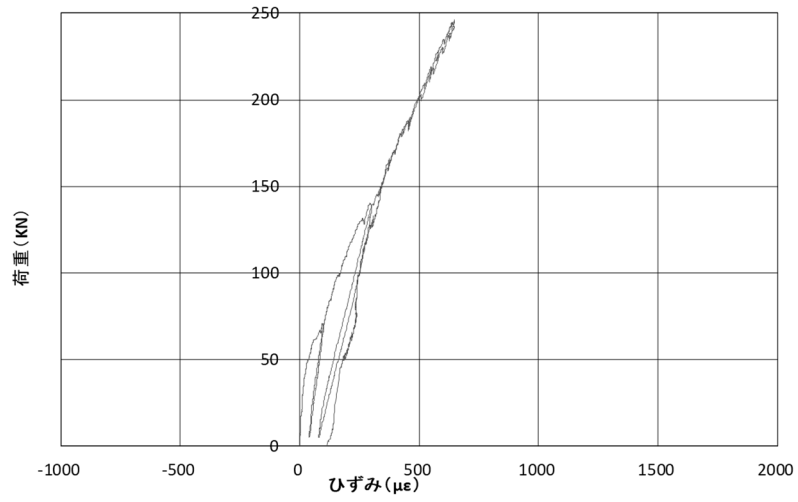


図-11 荷重-鉄筋ひずみ曲線 (KF2-1)

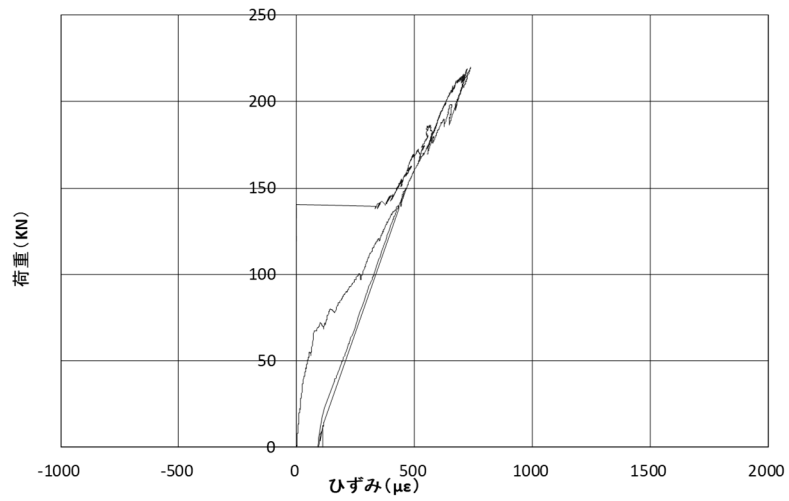


図-12 荷重-鉄筋ひずみ曲線 (KF2-2)

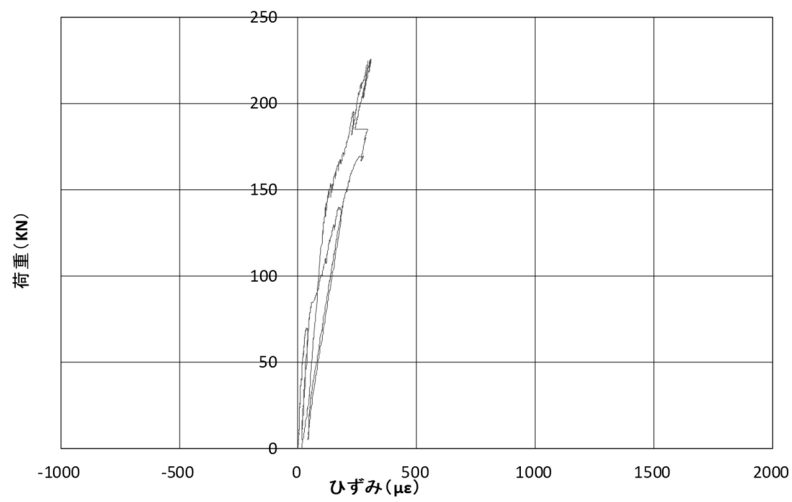


図-13 荷重-鉄筋ひずみ曲線 (KF2-3)

付属資料III-3 接合部を有するプレキャスト床版の水張り輪荷重走行試験 (S2)

1. 供試体 S2

1.1 材料

本試験で使用した FRC の使用材料・配合を表-1, および表-2 に示す。ただし一般部と接合部は同様の FRC を使用した。なお, S1 供試体では FRC の自己収縮に起因するものと考えられるひび割れが発生したため, 本供試体では対策として S1 からセメント量を低減した配合を適用した。打込み後は試験日まで現場気中養生とした。表-3 に供試体と同一養生を行った試験片の圧縮強度試験結果を示す。

鉄筋は全て SD345 を使用した。表-4 に使用した鉄筋の強度試験結果を示す。

表-1 使用材料

種類	記号	仕様
結合材	B	低熱ポルトランドセメント+シリカフューム
骨材	S	5号珪砂
石灰石微粉末	T	炭酸カルシウム
補強繊維	F	PVA 繊維, 繊維長 12mm, 繊維径 0.2mm
混和剤	A	専用混和剤
膨張材	E	石灰系膨張材

表-2 FRC 配合

$\frac{(W+A)}{B}$ (%)	単位量 (kg/m ³)						
	水	結合材	骨材	石灰石 微粉末	補強繊維	混和剤	膨張材
	<i>W</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>E</i>
22	194	980	990	130	22.5	26	20

表-3 強度試験結果 (FRC)

		各値(N/mm ²)			平均(N/mm ²)
一般部	1 バッチ目	138	136	141	138
		136	135	140	
	2 バッチ目	134	136	138	136
		138	137	132	
	3 バッチ目	139	141	134	137
		132	138	138	
接合部		122	130	127	125
		128	124	122	
		124	124	120	

表-4 強度試験結果（鉄筋）

種別	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
D16 SD345	384	571	22
D19 SD345	394	555	19

1.2 設計

S2 供試体の設計は S1 供試体と同様の設計フロー，および手法により行った．設計条件を表-5 に示す．S1 供試体から FRC の配合を変更したため，設計基準強度は 120 N/mm² から 100 N/mm² に低減した．また，それに伴い，床版厚を 180mm から 200mm とした．

表-6 に設計結果を示す．繰り返し回数より推定した本供試体の輪荷重走行試験における疲労破壊時の走行回数と載荷荷重はそれぞれ 356,000 回，392kN であった．

表-5 設計条件

項目		値
設計基準強度	FRC	100N/mm ²
	鉄筋	345N/mm ²
制限値	FRC	33N/mm ²
	鉄筋	120N/mm ²
ヤング係数比		4.5
床版厚		200mm
鉄筋配置	引張主鉄筋(下面)	D19, @100mm
	圧縮主鉄筋(上面)	D16, @100mm
	下面配力筋	D19, @125mm
	かぶり	30mm

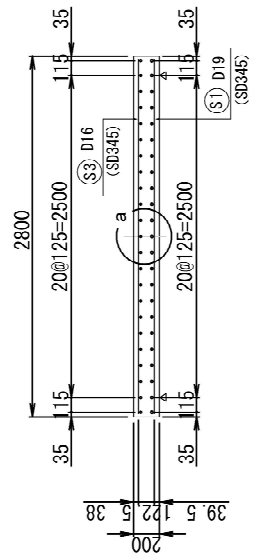
表-6 設計結果

照査項目			設計値	制限値	照査結果	
耐荷性能	曲げモーメント	支間方向	限界状態 1	50.3kN・m	110.2kN・m	O.K
			限界状態 3	50.3kN・m	98.5kN・m	O.K
		配力筋方向	限界状態 1	34.0kN・m	78.2kN・m	O.K
			限界状態 3	34.0kN・m	69.8kN・m	O.K
	押抜きせん断耐力		限界状態 3	172kN	448kN	O.K
疲労耐久性	曲げ応力度	支間方向	鉄筋	101N/mm ²	120N/mm ²	O.K
			コンクリート	10.4N/mm ²	33N/mm ²	O.K
		配力筋方向	鉄筋	94N/mm ²	120N/mm ²	O.K
			コンクリート	9.6N/mm ²	33N/mm ²	O.K
	押抜きせん断耐荷力			747kN	—	—
	繰り返し回数			196.7×10 ¹⁰ 回	1.0×10 ¹⁰ 回	O.K
	疲労破壊時 走行回数			356,000 回	—	—
	疲労破壊時 載荷荷重			392kN	—	—

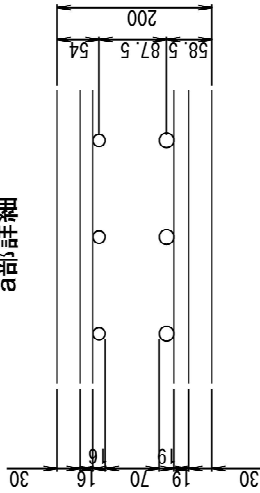
1.3 構造

図-2 に S2 の供試体の構造を示す。床版厚は 200mm とし、配筋は上面側と下面側の 2 段とした。鉄筋径は主鉄筋、配力筋ともに上面側は D16、下面側は D19 とした。また、鉄筋かぶりは 30mm とした。図-3 に接合部の詳細を示す。S1 供試体と同様、プレートナットによる継手構造とし、さらに一般部の側面に深さ 30mm の凹形状を設け、せん断力が伝達できる構造とした。また、界面の付着性能を高めるため、接合部コンクリートの打込み前にエポキシ系接着剤を塗布した。表-7 に使用した接着剤の基本物性を示す。

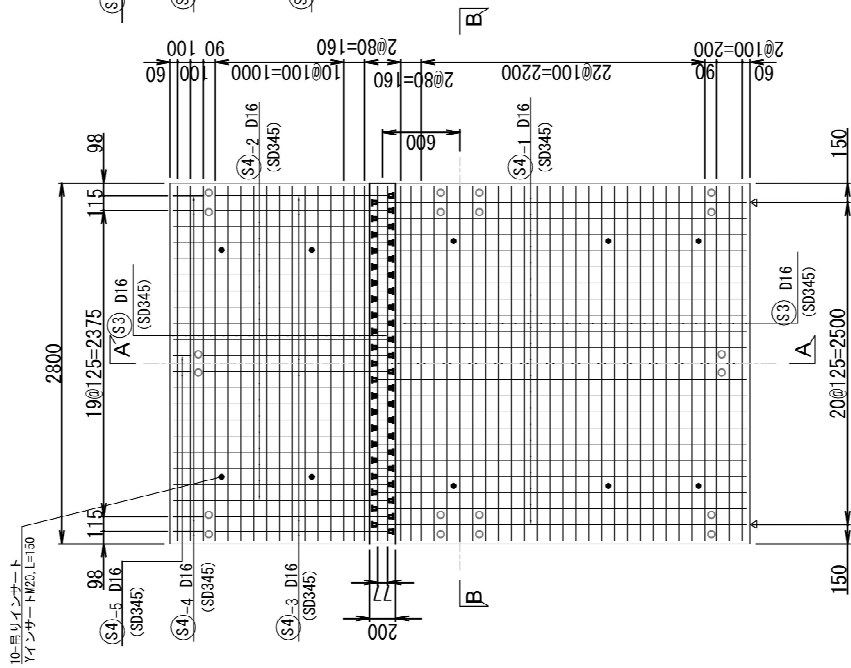
断面図(B-B)



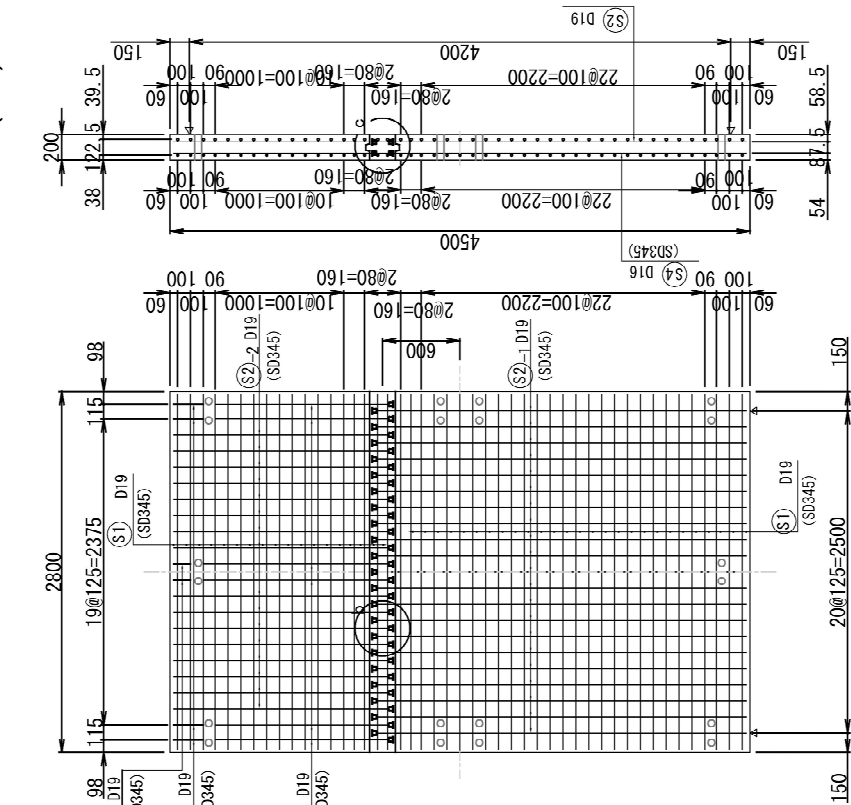
a部詳細



平面図(上面)



平面図(下面)



断面図(A-A)

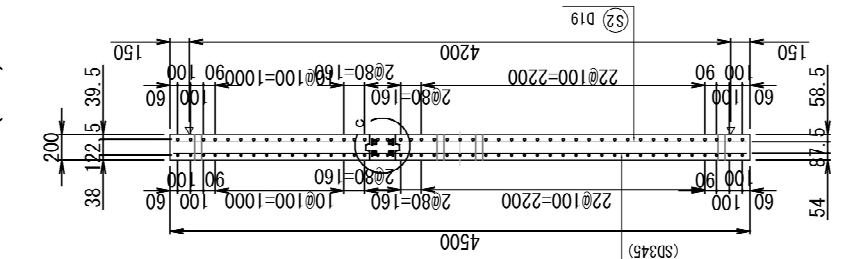


図-1 床版供試体 S2 の形状寸法 (単位 : mm)

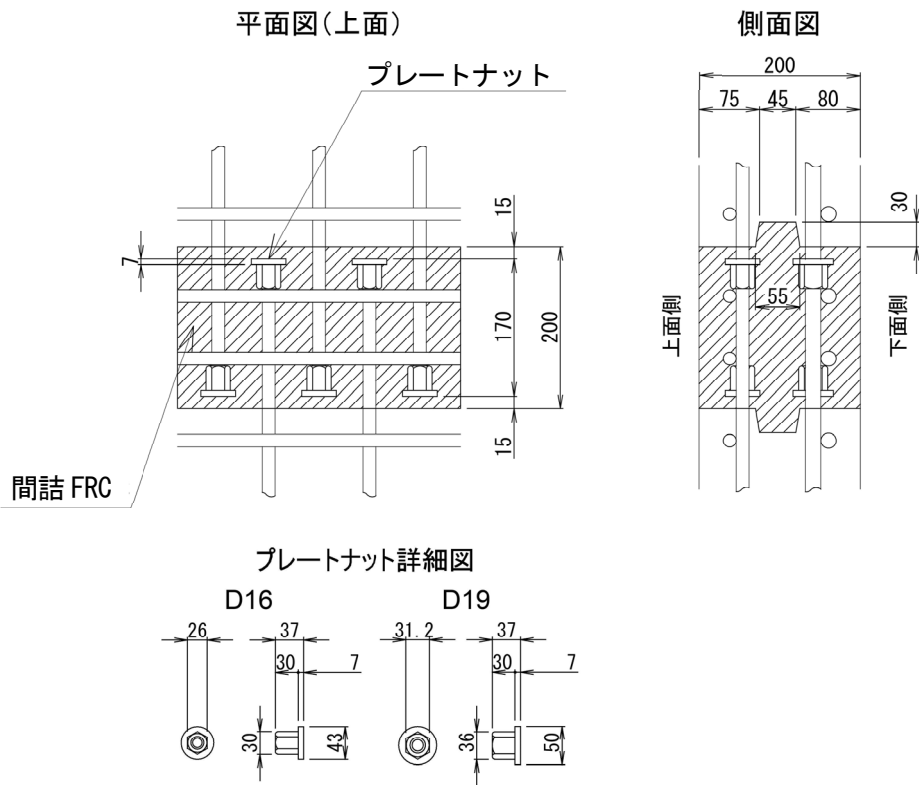


図-2 接合部構造図 (単位 : mm)

表-7 エポキシ系接着剤物性表

混合比 (主剤 : 硬化剤)	5 : 1
硬化物比重	1.40±0.20
圧縮強さ	50 N/mm ² 以上
圧縮弾性係数	1000 N/mm ² 以上
曲げ強さ	35 N/mm ² 以上
引張せん断強さ	10 N/mm ² 以上
コンクリート付着強さ	1.6 N/mm ² 以上または母材破壊
標準塗布量	1.4kg/m ² (人力施工)

2. 荷重方法

本供試体では「NEXCO 試験法 442-2019」¹⁾に準拠し、図-3 に示す荷重プログラムに沿って試験を実施した。ドライ（水張り無し）の状態では 250kN、10 万回走行の後、水張りをを行い、漏水が無いことを確認した後、そのまま階段荷重に移行し、392kN、50 万回まで荷重を行った。

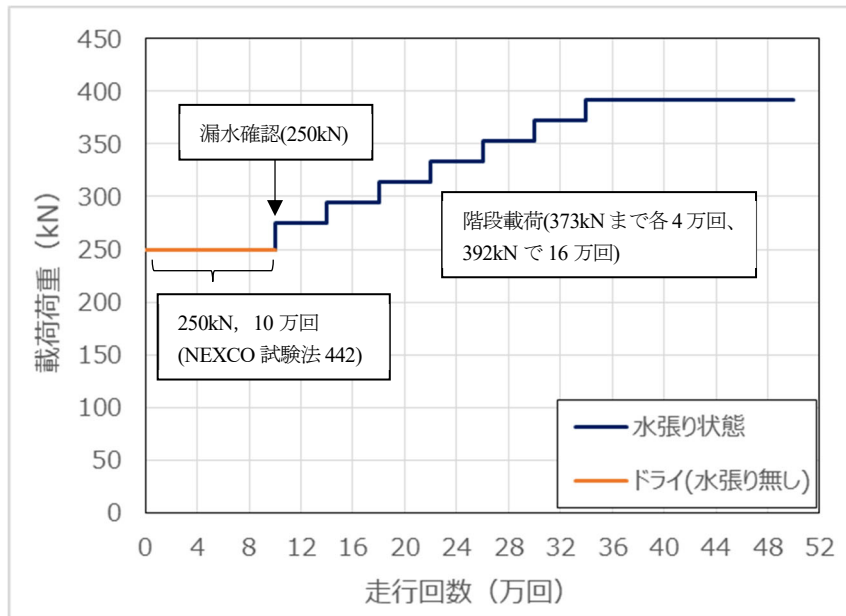


図-3 荷重プログラム

3. 供試体 S2 の結果

3.1 測定結果

3.1.1 たわみ

図-4 に床版支間中央 (CL, D12), 接合部中心直下 (CL-600mm, D8), および CL+750mm (D15) におけるたわみ測定値の変化を示す. 参考のため, 図に試験の載荷荷重を併記する (以下図同様). いずれの点でもたわみは走行回数とともに線形的に増加するが, 32 万回以降, 一般部に比べ接合部中心直下のたわみ増加が大きくなる傾向が見られた.

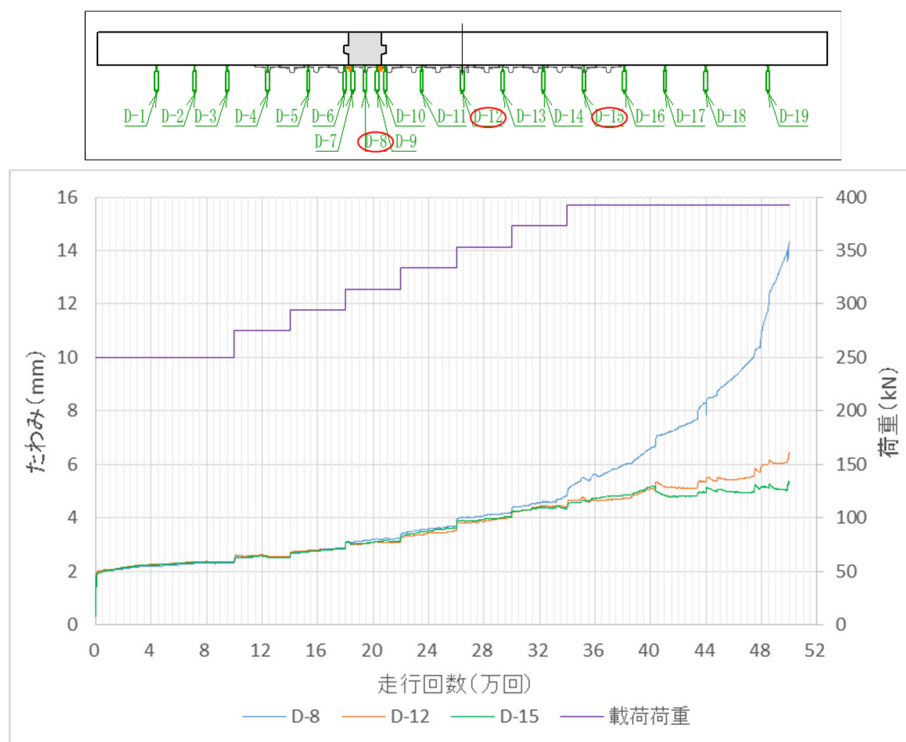


図-4 たわみ変化 (輪走行方向, CL 下面) (MM データ, 最大値)

3.1.2 ひび割れ性状

図-5, 図-6 に各走行回数時におけるひび割れの発生状況を示す。10.1 万回 (275kN) にて床版中央寄り界面上面に割れが確認された。また, 载荷とともに床版裏面に亀甲状のひび割れが進展し, 50 万回において, 接合部位置を中心に押し抜きせん断の兆候と思われる浮きが確認された。

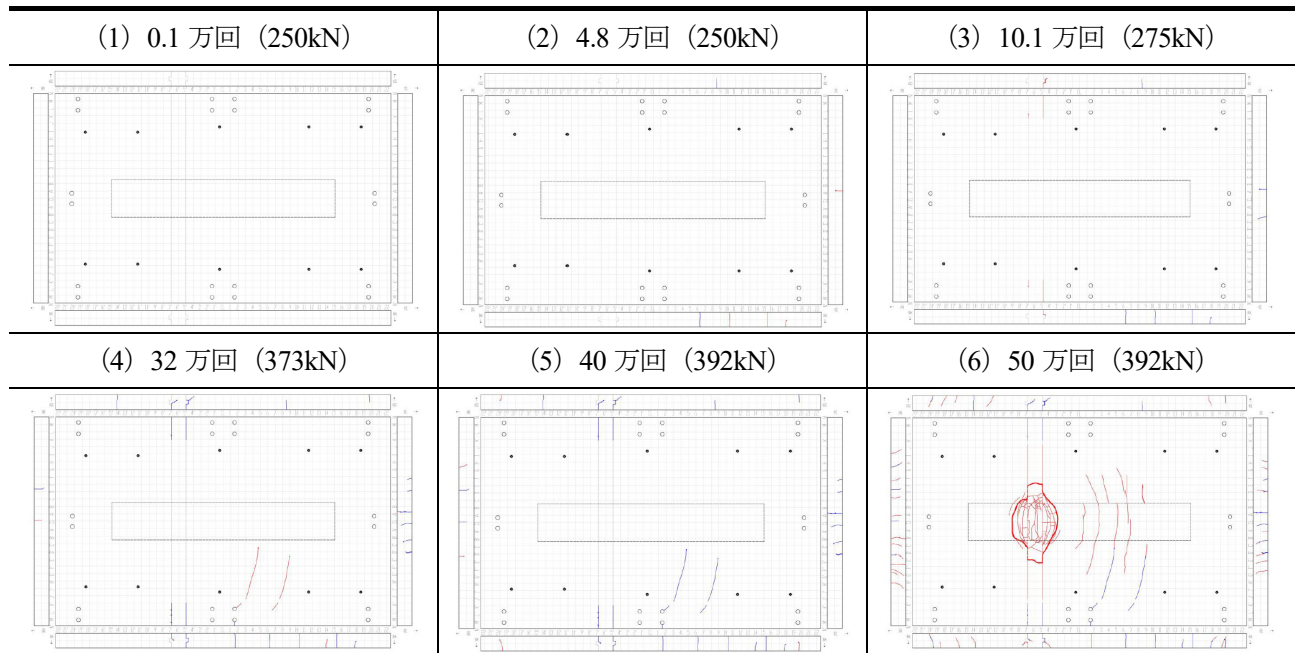


図-5 ひび割れ図 (表面)

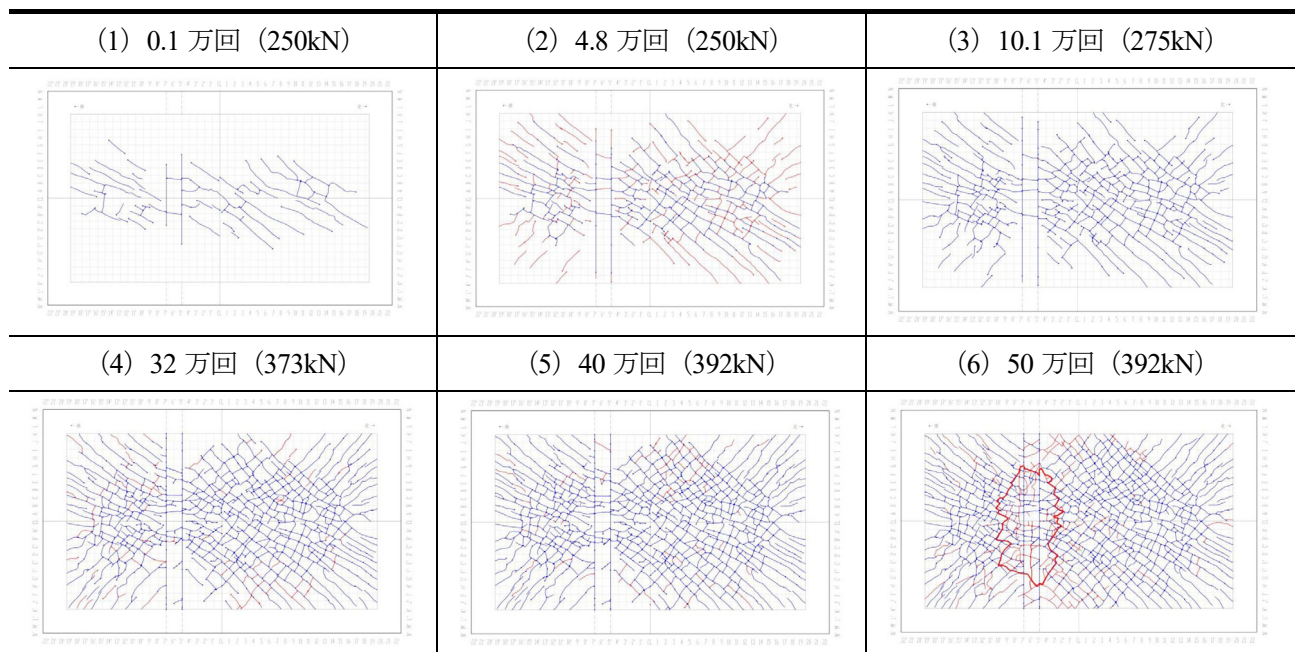


図-6 ひび割れ図 (裏面)

3.1.3 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，下面）

図-7～図-9 に輪走行方向における下面パイ型変位計測定値の変化を示す。

CL では 33 万回にて接合部右側界面（PI-6）の変位が漸増しており，この時点で界面の開きが進行したと考えられる．CL-332mm では 33 万回にて左側界面（PI-26）に変位の急増が見られ，界面の開きが生じたと考えられる．さらに CL+332mm では 31 万回にて左側界面（PI-30）に界面の開きと思われる変位の急増が生じている．

これらの結果から，31～33 万回の間界面の開きが大きくなり，その結果，接合部直下のたわみが大きくなったと推定される．

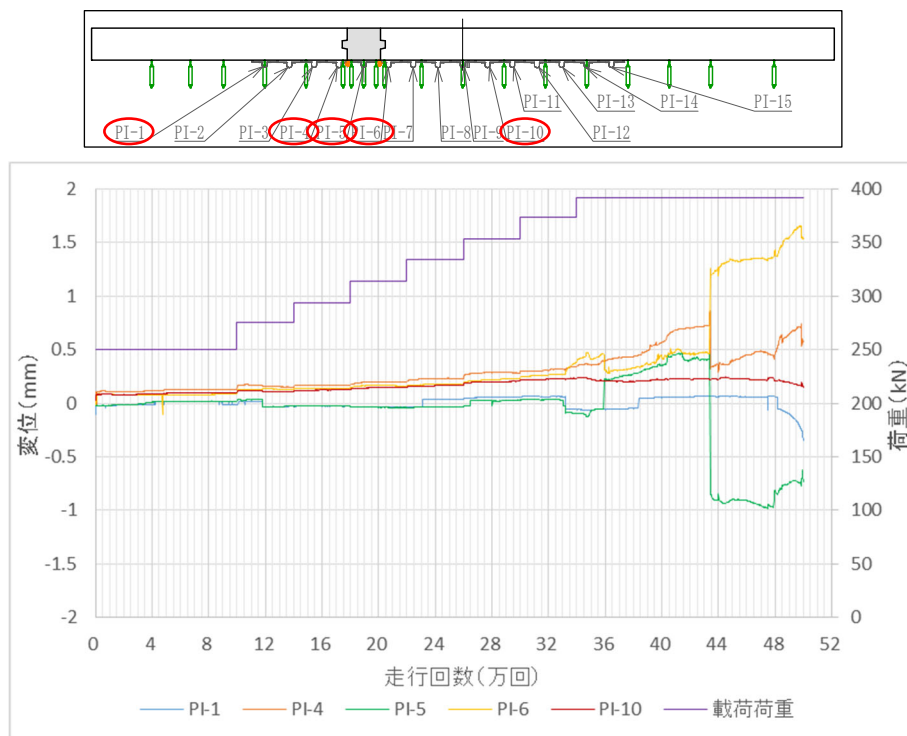


図-7 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL 下面）(MM データ，最大値)

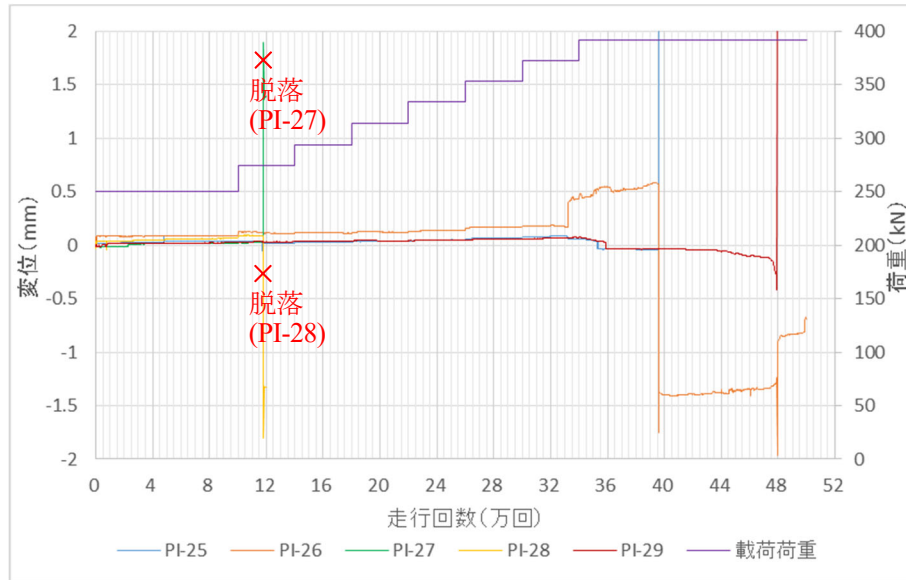
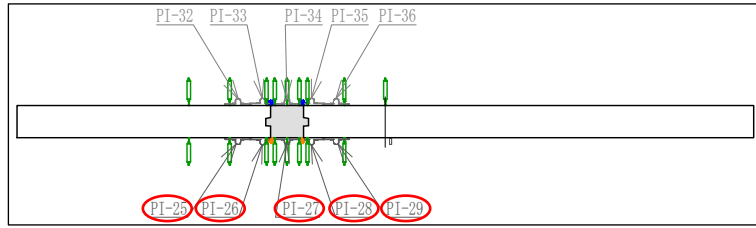


図-8 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL-332mm 下面）（MM データ，最大値）

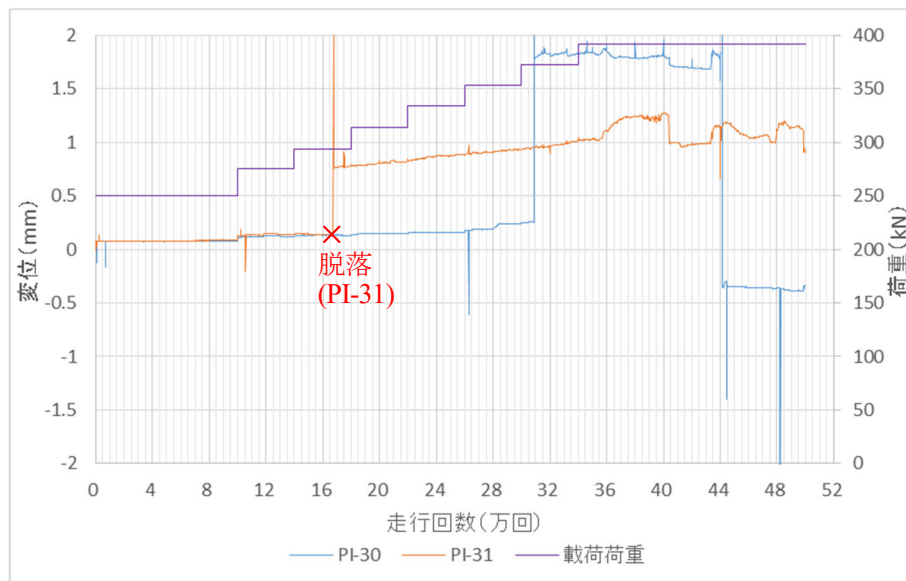
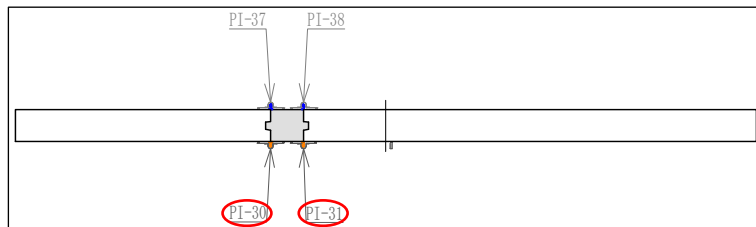


図-9 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL+332mm 下面）（MM データ，最大値）

3.1.4 パイ型変位計による開き量（輪走行直角方向，下面）

図-10に輪走行直角方向における下面のパイ型変位計測定値の変化を示す。いずれの点も33万回にてわずかに値が急落した後、その後変位の増加傾向が大きくなっている。先に示したたわみ、および下面パイ型変位計の開き量の結果から、33万回は接合部と一般部の連続性が失われ始めた段階であり、この変化は床版全体の耐荷機構が変化したことにより生じたものと考えられる。

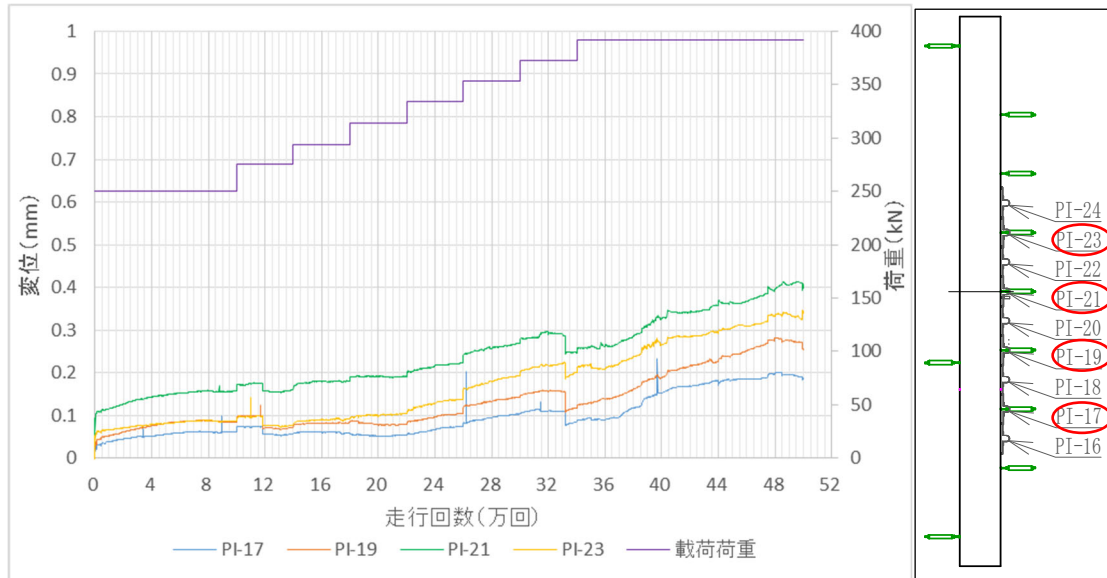


図-10 パイ型変位計による開き量（輪走行直角方向，下面）(MM データ，最大値)

3.1.5 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，上面）

図-11，図-12に輪走行方向における上面のパイ型変位計測定値の変化を示す。

CL-332mmでは左側界面(PI-33)の変位が20万回頃より負方向に漸増し、33万回にて増加傾向が大きくなっている。同じ33万回で直下の下面パイ型変位計(PI-26)にて変位の急増が見られたことから、界面の開きにより上端に圧縮が生じたものと考えられる。また、右側界面(PI-35)も33万回頃より負方向に増加している。

CL+332mmでは11万回に左側界面(PI-37)、22万回に右側界面(PI-38)にて急激に負の変位が生じているが、こちらは直下の下面パイ型変位計(PI-30, PI-31)の変位との間に明確な関係性は見られなかった。

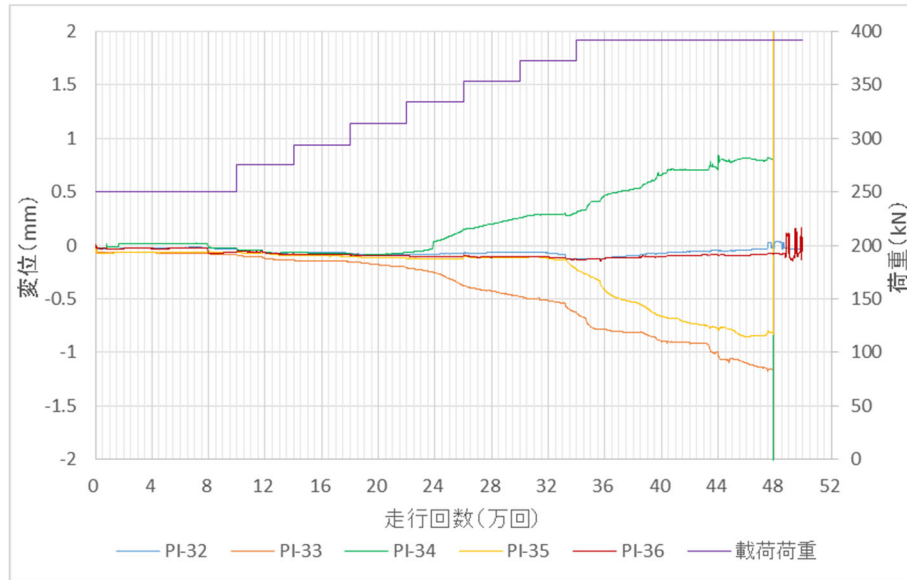
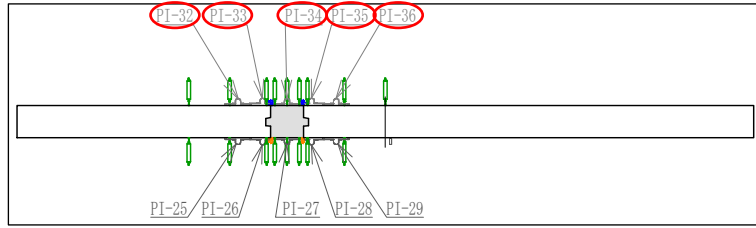


図-11 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL-332mm 上面）(MM データ，最大値)

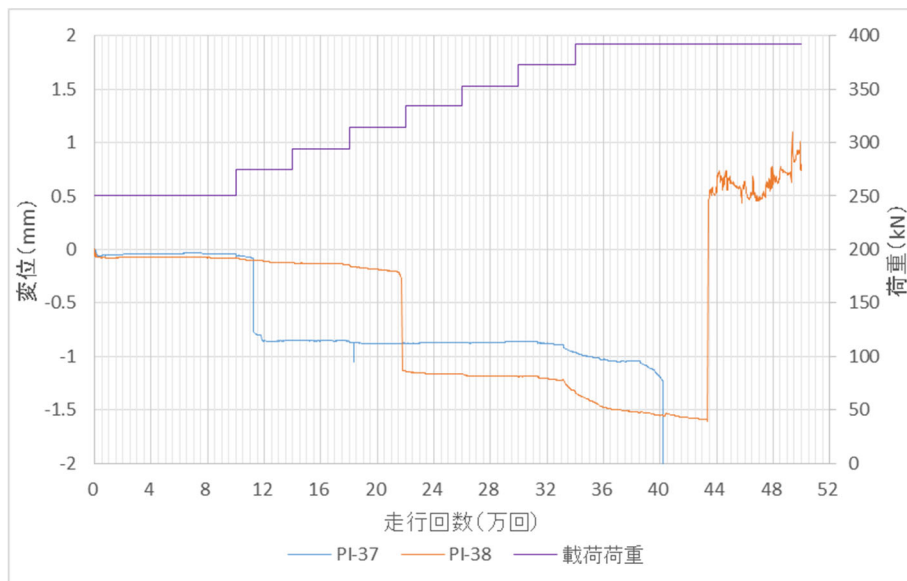
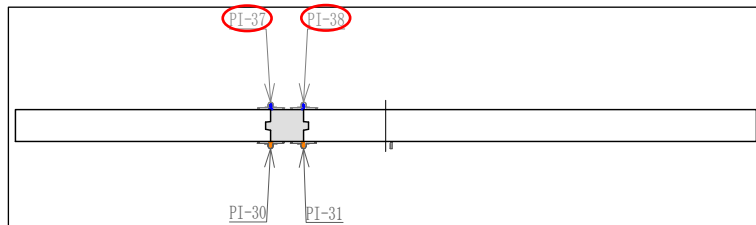


図-12 パイ型変位計による開き量（輪走行方向，CL+332mm 上面）(MM データ，最大値)

3.1.6 ずれセンサ（下面）

図-13～図-18 に接合部界面の下面におけるずれセンサ測定値の変化（GAP*-X：段差，GAP*-Z：開き）を示す。

CL（図-13，図-14）では12万回で右側界面（GAP2），16.5万回で左側界面（GAP1）にてX方向（段差）の変位が急増しており，このタイミングで界面の段差が生じたと考えられる。その後，右側界面（GAP2）では18万回より再び値の急増が見られる。Z方向（開き）についてはいずれの点も载荷初期より0.3mm程度の変位が生じており，右側界面（GAP2）では12万回にて変位が急増している。

CL-332mm（図-15，図-16）では左側，右側界面ともに12万回で0.1mm程度のX方向変位の急増が見られ，段差が生じたと考えられる。その後，右側界面（GAP4）では18万回，左側界面（GAP-3）では23万回より徐々に変位（負）が大きくなり，33万回にて再び変位が急増している。一方，Z方向はいずれの点も初期より0.3mm程度の変位が生じ，走行回数とともに漸増するものの，急激な値の変化は見られなかった。

CL+332mm（図-17，図-18）ではいずれの点も12万回頃を起点にX方向変位が変化し始め，30万回，33万回でそれぞれ値の急変が生じている。Z方向はCL，CL-332mmと同様，初期より変位が生じ，右側界面（GAP6）は33万回，左側界面は12万回より値が急増している。

以上のことから界面の段差は12万回頃より生じ始め，その後断続的に大きくなり，33万回頃にさらに急増したと考えられる。また，開きについてはいずれの点も载荷初期より徐々に増加する傾向が見られたが，同位置のパイ型変位計の変位が示す傾向と明確な関係性は見いだせなかった。

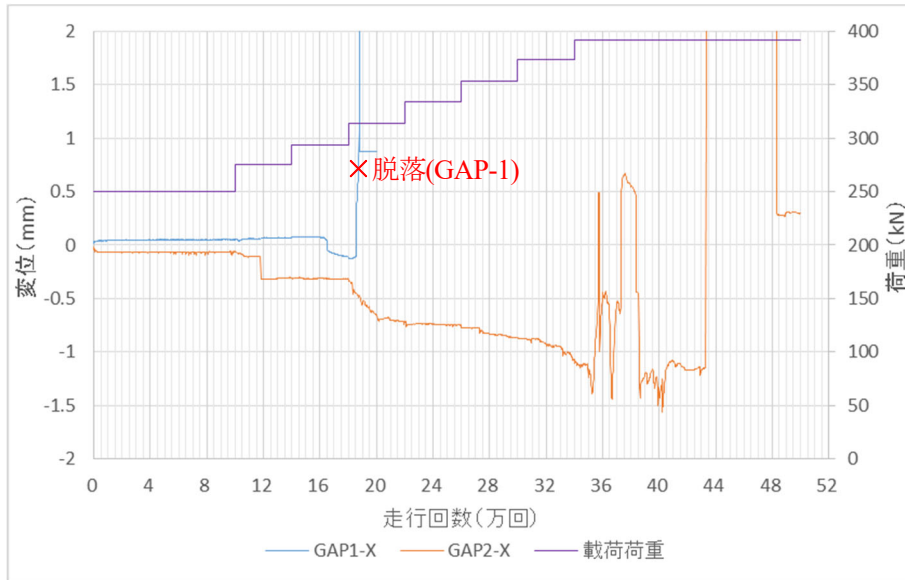
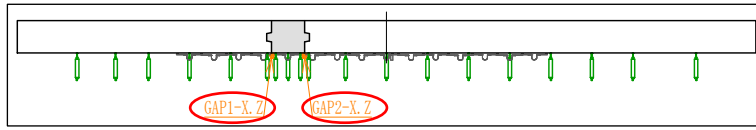


図-13 ずれセンサ変位 (CL 下面, 段差) (MM データ, 最大値)

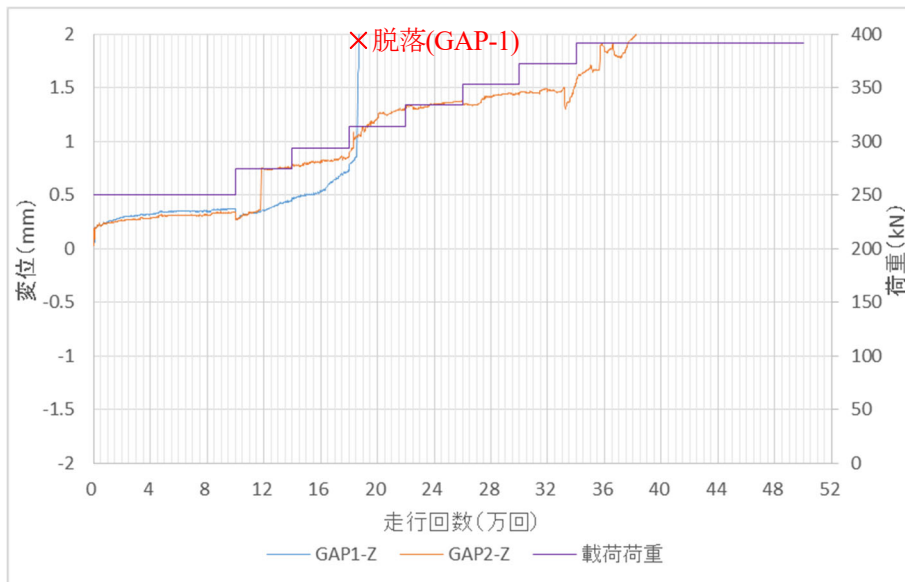


図-14 ずれセンサ変位 (CL 下面, 開き) (MM データ, 最大値)

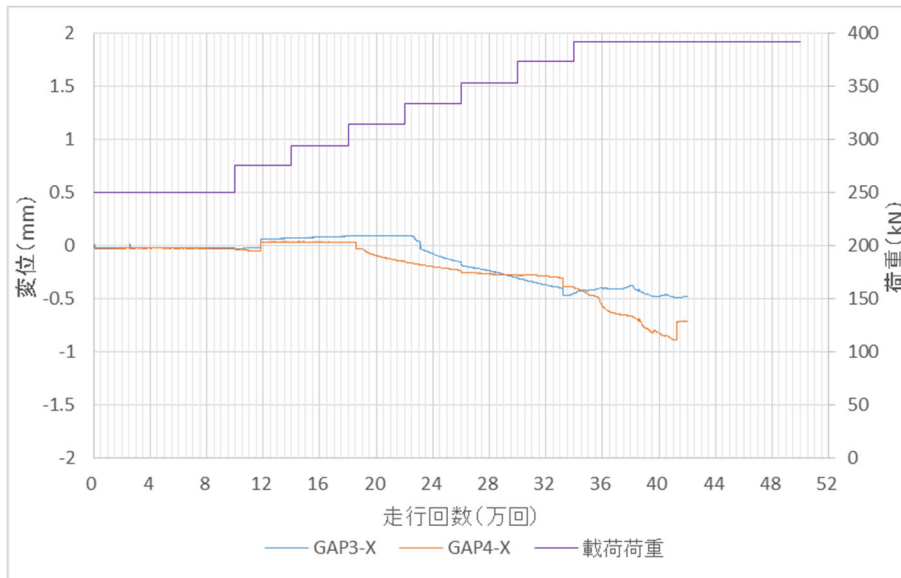
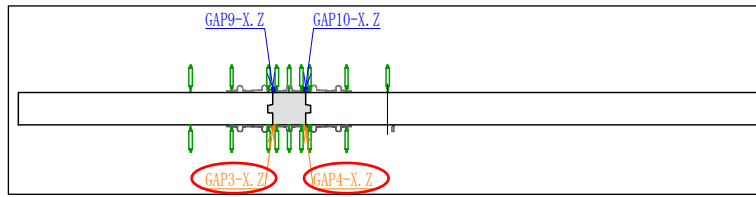


図-15 ずれセンサ変位 (CL-332mm 下面, 段差) (MM データ, 最大値)

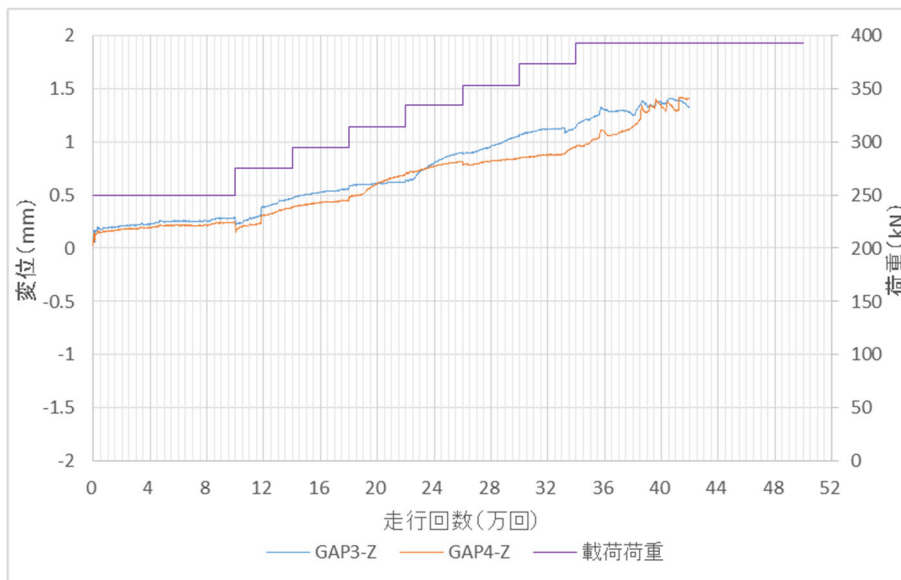


図-16 ずれセンサ変位 (CL-332mm 下面, 開き) (MM データ, 最大値)

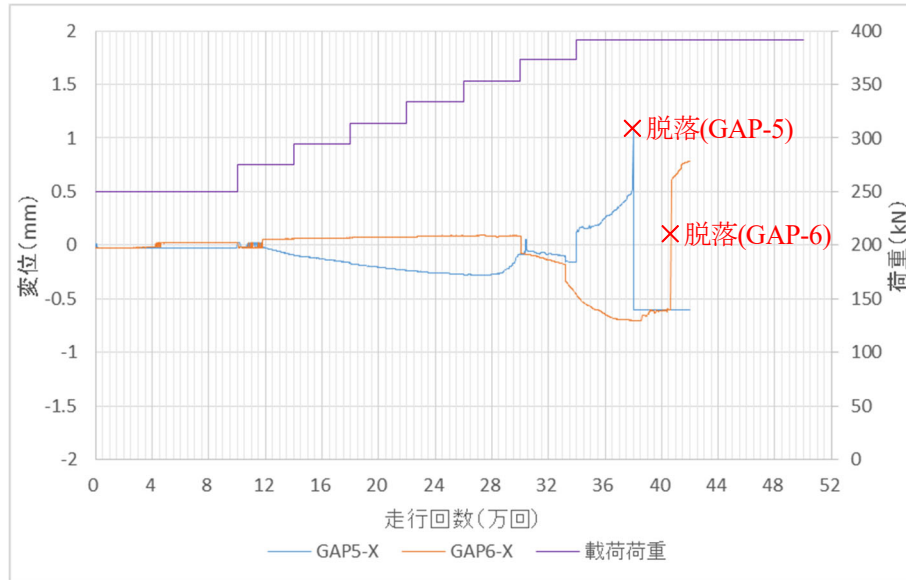
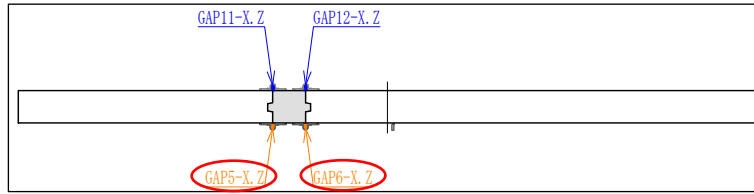


図-17 ずれセンサ変位 (CL+332mm 下面, 段差) (MM データ, 最大値)

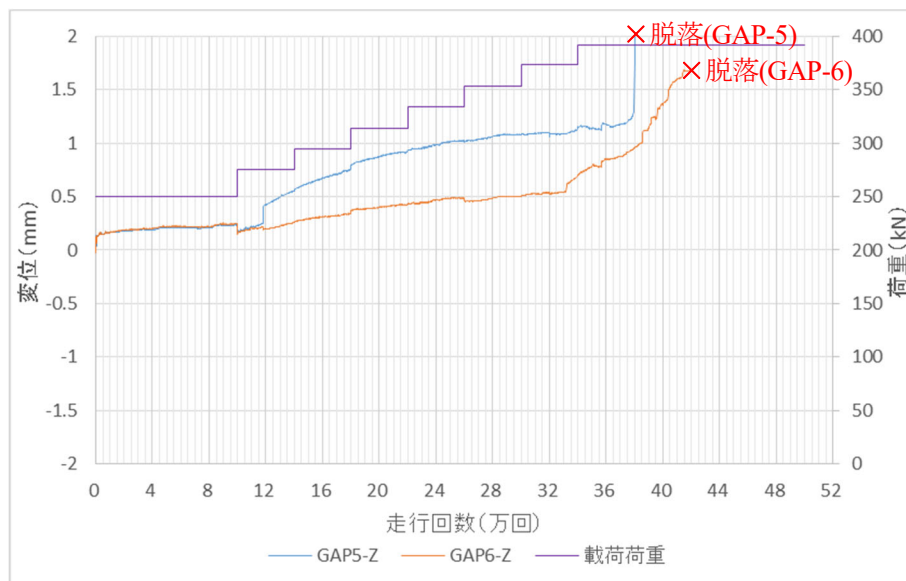


図-18 ずれセンサ変位 (CL+332mm 下面, 開き) (MM データ, 最大値)

3.1.7 ずれセンサ (上面)

図-19～図-22 に接合部界面の上面におけるずれセンサ測定値 (GAP*-X : 段差, GAP*-Z : 開き) の変化を示す。CL-332mm ではいずれの点も 10 万回より X 方向変位 (段差) が生じ始め、34 万回頃から急増している。また CL+332mm でも同様に 10 万回頃より X 方向変位が生じ始め、34 万回にて急増 (GAP11) が見られる。これらの変化のタイミングは下面ずれセンサの X 方向変位と概ね一致した。

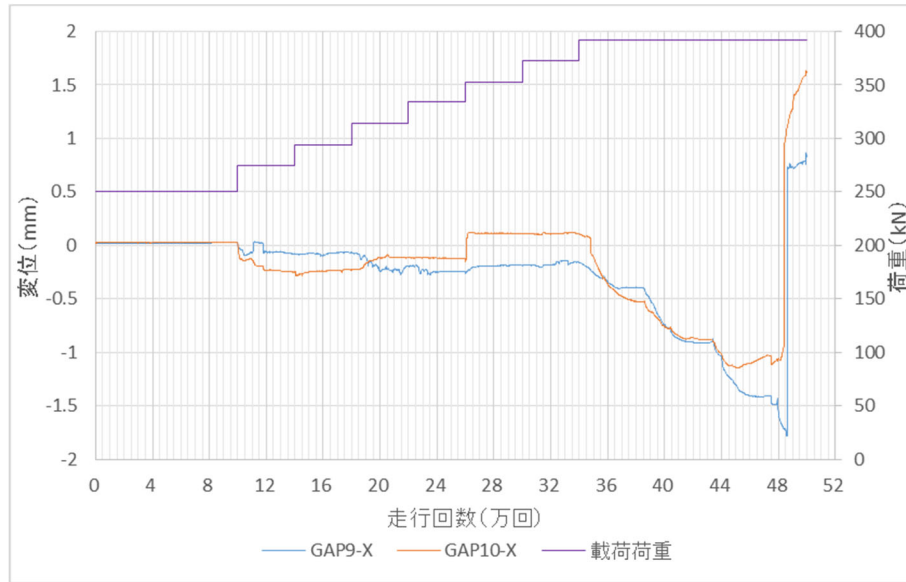
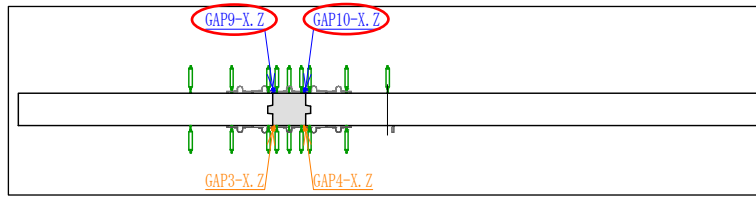


図-19 ずれセンサ変位 (CL-332mm 上面, 段差) (MM データ, 最大値)

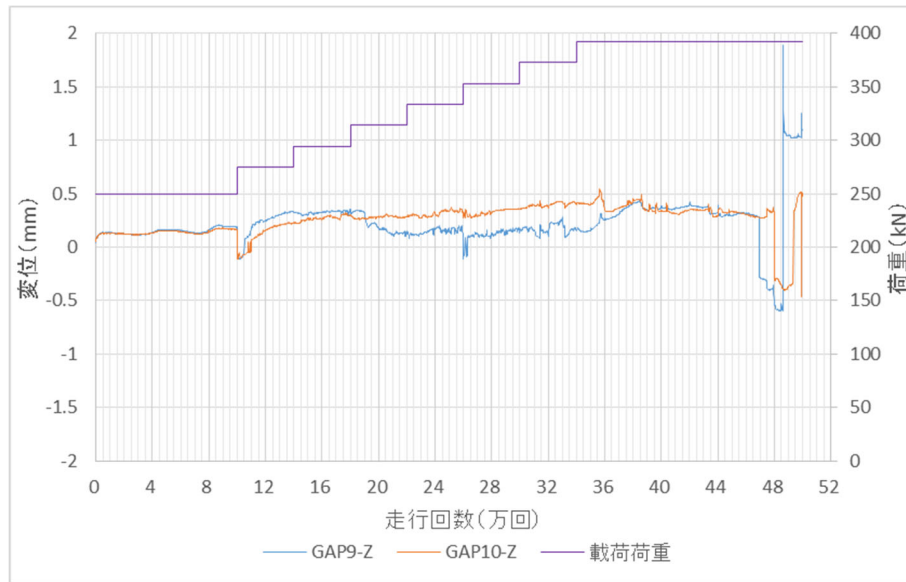


図-20 ずれセンサ変位 (CL-332mm 上面, 開き) (MM データ, 最大値)

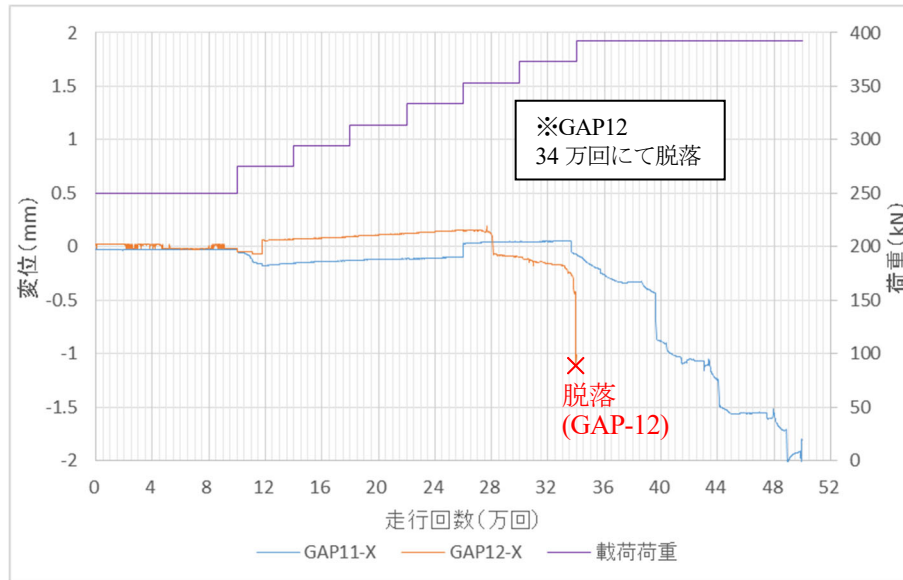
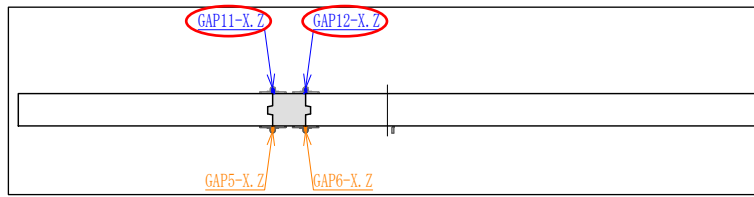


図-21 ずれセンサ変位 (CL+332mm 上面, 段差) (MM データ, 最大値)

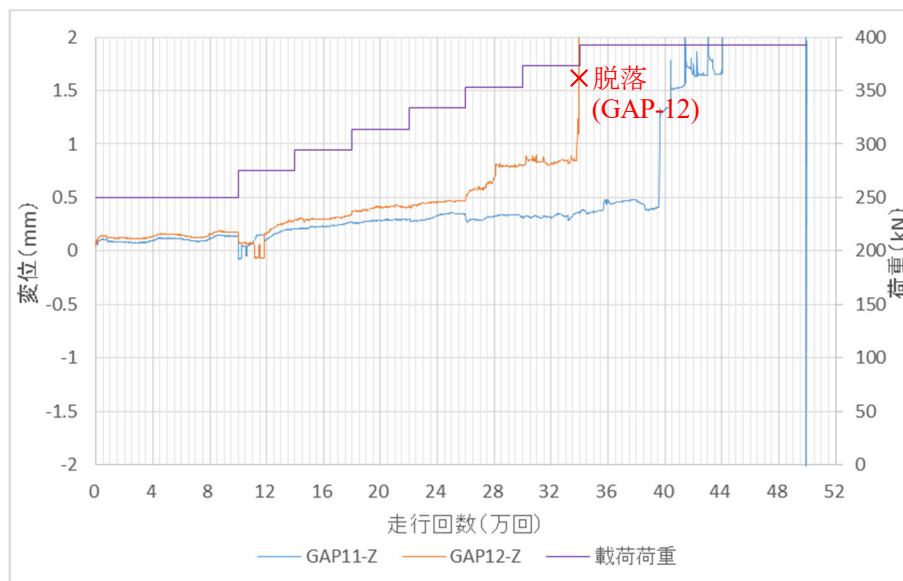


図-22 ずれセンサ変位 (CL+332mm 上面, 開き) (MM データ, 最大値)

3.2 漏水の有無

250kN, 10 万回走行後, 床版上面に設置した枠内に深さ 10mm 程度の水を張り, 6 時間滞水させた. 6 時間経過後, 床版下面から漏水有無の確認を行ったが, 接合部, 本体部, およびそれらの界面から漏水は確認されなかった. 写真-1 に水張り状況, 写真-2 に漏水確認の様子を示す.

また, 図-23 に漏水センサの変化を示す. 水張り後の走行開始直後, 10.1 万回で出力値が急増しており, 目視でも 10.1 万回において, 界面部, および, その近傍から漏水が確認された.



写真-1 水張り状況



写真-2 漏水確認状況

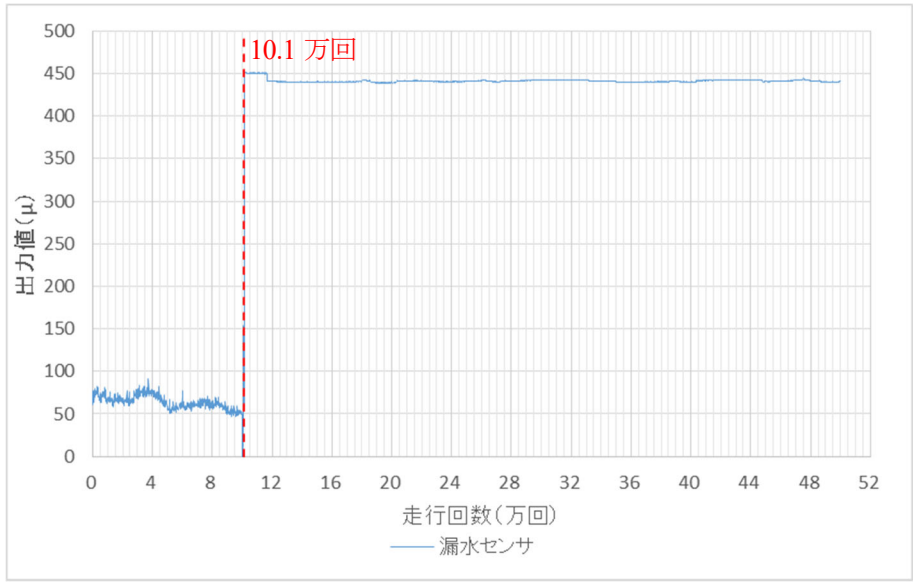


図-23 漏水センサ変化 (MM データ, 最大値)

3.3 接合部の挙動

図-24 に 250kN, 10 万回目走行時の輪走行方向における曲率の分布を示す。ただし、曲率は隣接する 3 点のたわみと測点位置を円で補間することにより算出し、負曲げについては便宜的に負の値とした。ここで、たわみは測定値から直前の静的載荷で得られた残留たわみを差し引いた値（活荷重たわみ）とした。赤点線は各測定の活荷重たわみが最大となるタイミングから推定した輪位置を示している。また、紫点線は接合部界面の位置を示す。

右側界面近傍に曲率 $10\sim 15\times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度の正曲げが生じており、この時点で既に下面の開きが生じていると考えられる。また、輪が右側の一般部（図上）にある時（図内 (e), (f)）、右側界面近傍に大きな負曲げが生じており、その時の曲率は概ね $5\sim 7\times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度である。

図-25 に 275kN, 10.5 万回目走行時の輪走行方向における曲率の分布を示す。輪が左側の一般部にある時（図内 (a), (b)）、左側界面近傍に曲率 $-10\sim -15\times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度の大きな負曲げが生じている。この負曲げは 10 万回, 250kN 載荷時には生じておらず、載荷荷重を 275kN に増加させた影響により発生したものと考えられる。

図-26 に輪が左側の一般部（CL から -1450mm）にある時の各走行回数における曲率の分布を示す。

左側界面近傍の曲率は 275kN, 10.5 万回で急増し、その後、18 万回まで大きな変化は見られないものの、26 万回で再び急激な値の増加が見られる。また、右側界面近傍でも 18 万回目にて $-10\times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度の負曲げが生じている。

漏水センサは 275kN, 10.1 万回にて値の急変が見られており、これは左側界面近傍に大きな負曲げが生じたタイミングと合致する。したがってこの時点で漏水が発生したと考え、接合部において界面割れが生じる曲率の閾値は $10\sim 15\times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度であり、上面の負曲げが閾値に達し、左側界面にて割れが生じたことから漏水が発生したと推定される。

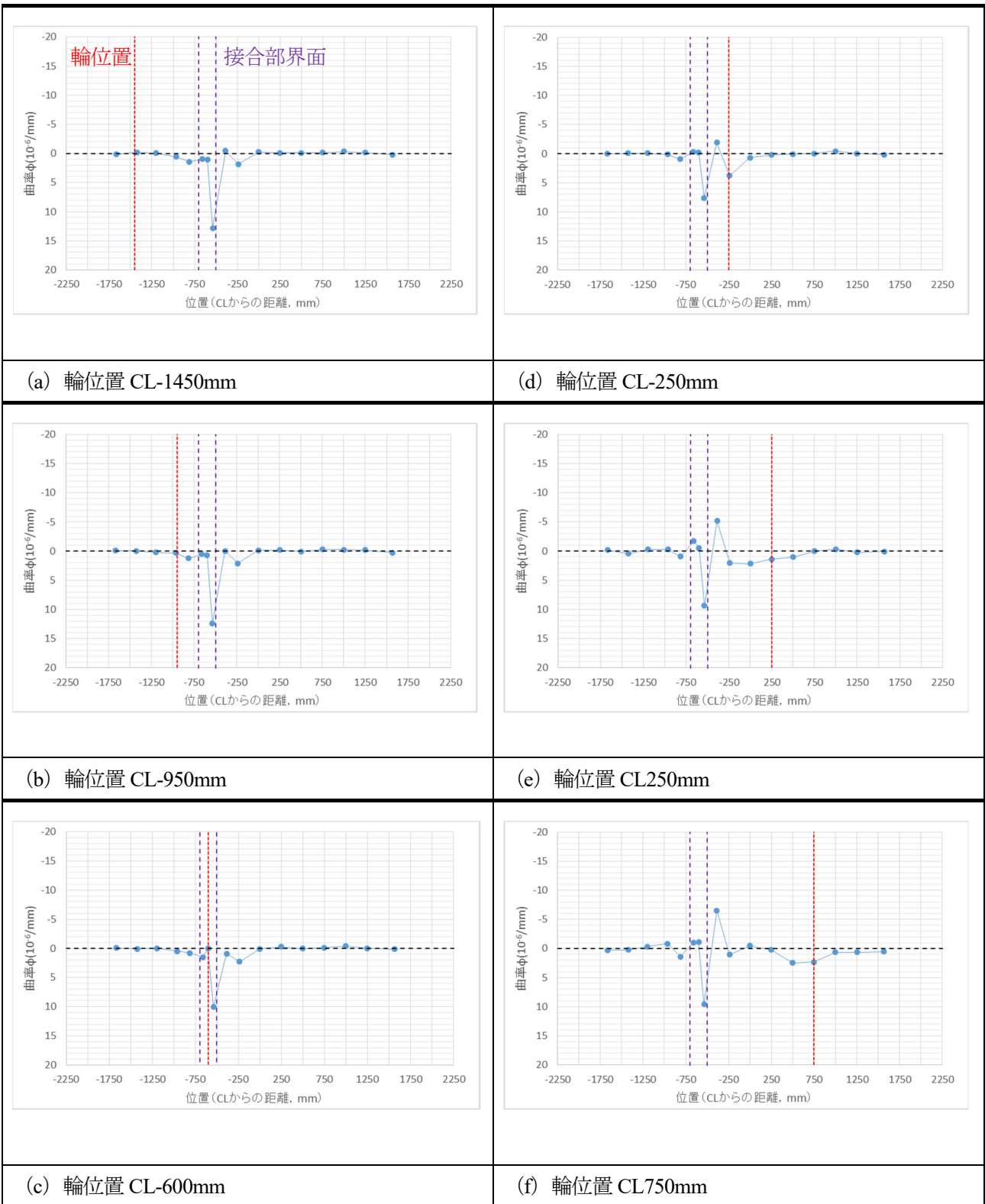


図-24 輪走行方向曲率分布 (10 万回, 250kN) (DT データ)

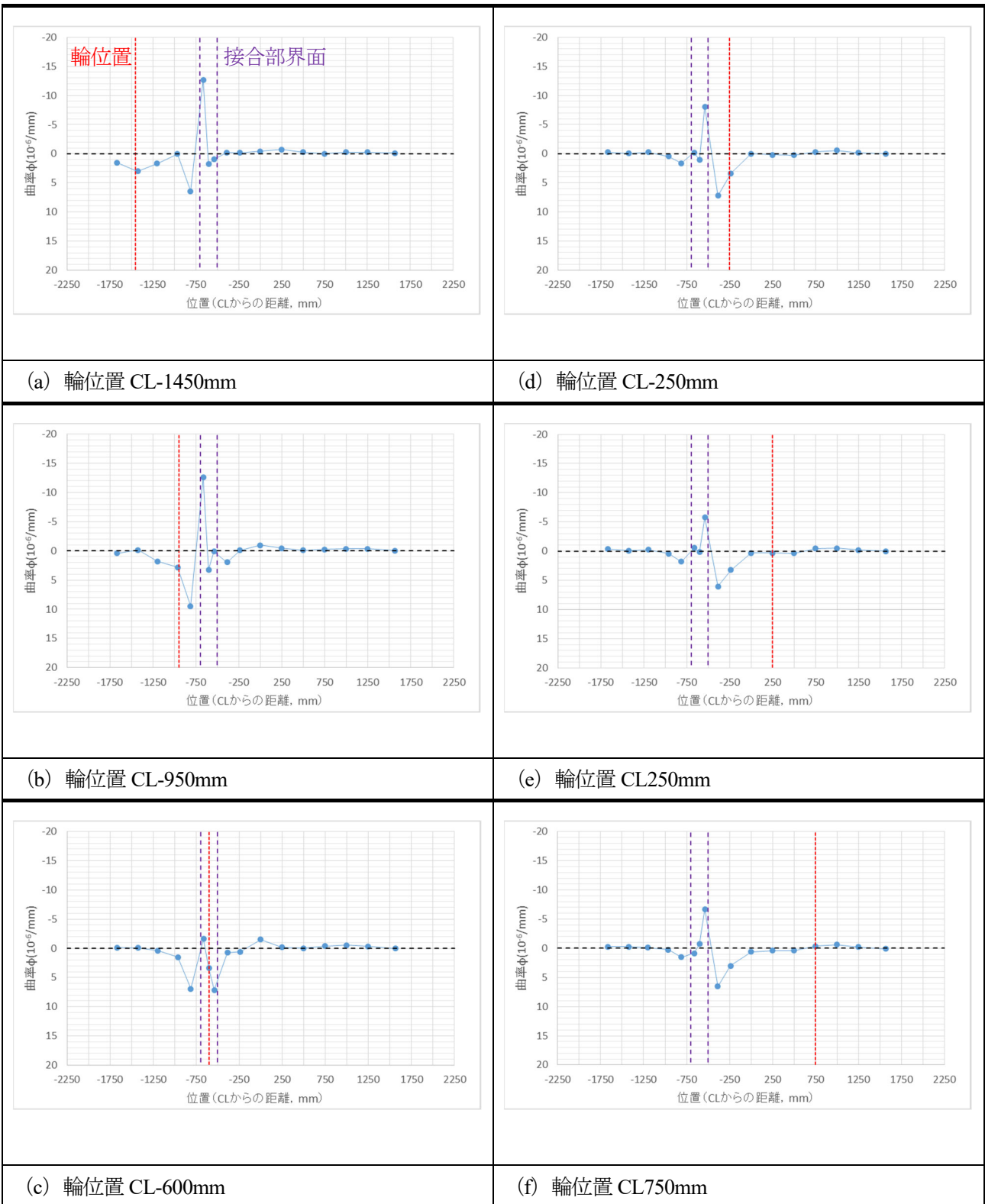


図-25 輪走行方向曲率分布 (10.5 万回, 275kN) (DT データ)

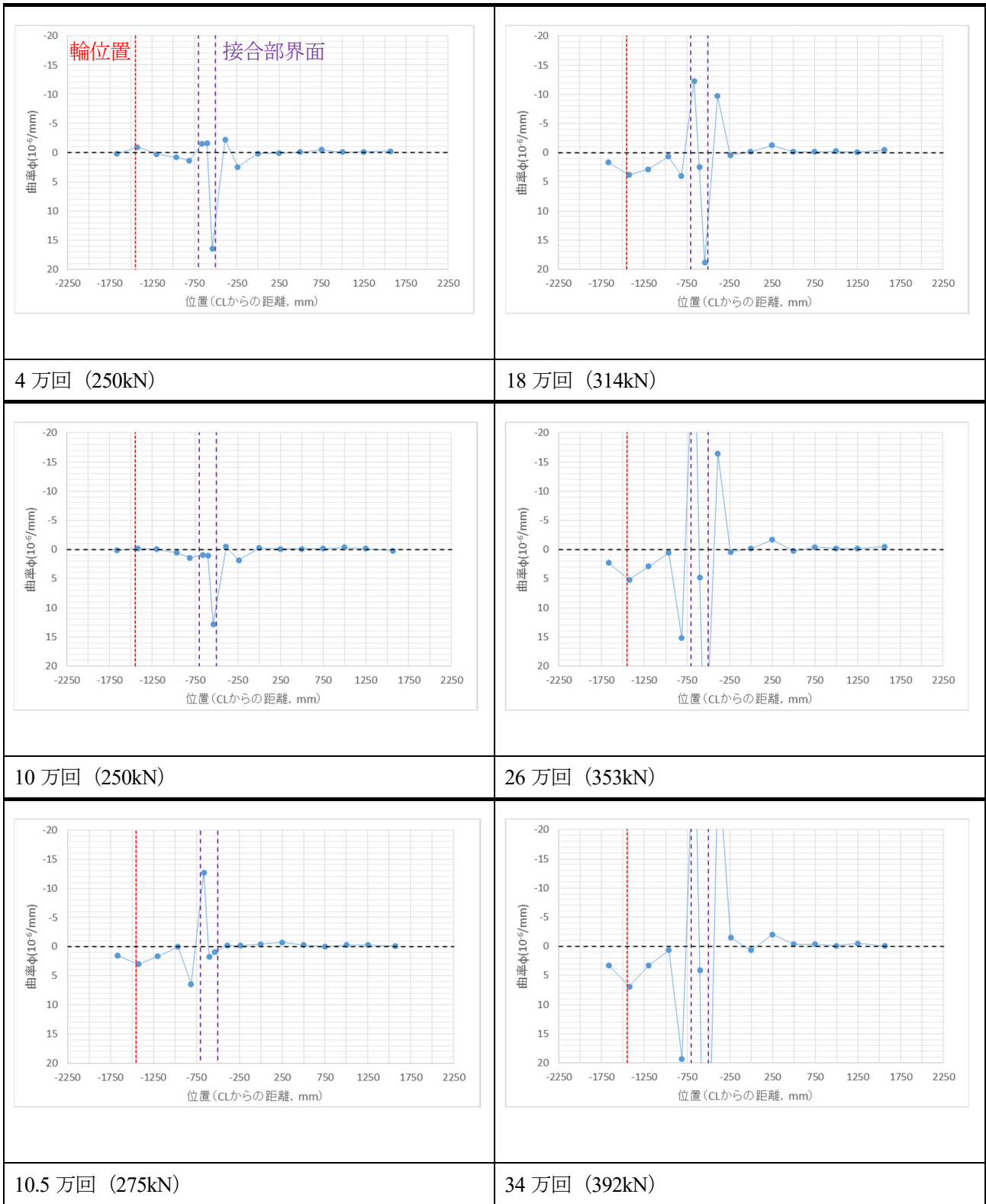


図-26 輪走行方向曲率分布（輪位置 CL-1450mm）（DT データ）

参考文献

- 1) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社 : NEXCO 試験方法 第4編 構造関係試験方法, 2020.7.

付属資料III-4 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験 (S2)

1. 供試体 S2

1.1 材料

本試験で使用した FRC の使用材料・配合は表-1, 表-2 の通り, 輪荷重走行試験 (S2) と同様とした。一般部は脱型後, 二次養生として蒸気養生 (70°C, 8 時間保持) を行った。また, 接合部は試験日まで現場気中養生とした。表-3 に供試体と同一養生を行った試験片の圧縮強度試験結果を示す。ただし一般部の試験は蒸気養生後, 材齢 10 日で実施し, 接合部は載荷試験当日 (材齢 83 日) に実施した。また, 鉄筋は全て SD345 を使用した。表-4 に使用した鉄筋の強度試験結果を示す。

RC 断面計算により供試体のひび割れ発生荷重, および鉄筋降伏耐力を算出した。表-5 に計算結果を示す。

表-1 FRC の使用材料

種類	記号	仕様
結合材	B	低熱ポルトランドセメント+シリカフューム
骨材	S	5号珪砂
石灰石微粉末	T	炭酸カルシウム
補強繊維	F	PVA 繊維, 繊維長 12mm, 繊維径 0.2mm
混和剤	A	専用混和剤
膨張材	E	石灰系膨張材

表-2 FRC 配合

$\frac{(W+A)}{B}$ (%)	単位量 (kg/m ³)						
	水	結合材	骨材	石灰石 微粉末	補強繊維	混和剤	膨張材
	<i>W</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>E</i>
22	194	980	990	130	22.5	26	20

表-3 強度試験結果 (FRC)

		各値(N/mm ²)						平均(N/mm ²)
一般部 (材齢 10 日)	1 バッチ目	131	135	133	134	129	136	133
	2 バッチ目	129	127	130	131	133	130	130
	3 バッチ目	129	133	130	132	130	136	132
	4 バッチ目	128	125	129	129	129	129	128
	5 バッチ目	127	119	129	127	127	130	127
	6 バッチ目	124	128	125	130	129	131	128
接合部(材齢 83 日)		149	151	140	150	151	144	147

表-4 強度試験結果（鉄筋）

種別	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
D16 SD345	384	571	22
D19 SD345	394	555	19

表-5 耐力計算結果

	項目	値
ひび割れ発生	FRC 引張強度	5.8N/mm ²
	作用曲げモーメント	12.0kN・m
	載荷荷重	43.6kN
鉄筋降伏	鉄筋降伏強度(D16)	384 N/mm ²
	作用曲げモーメント	22.1 kN・m
	載荷荷重	80.2 kN

1.2 構造

図-1 に S2 の供試体構造を示す。輪荷重走行試験の供試体と同様、断面高さは 200mm とし、配筋鉄筋間隔（はりの主鉄筋間隔）は 125mm とした。配筋は上側鉄筋として D16 を 2 本、下側鉄筋として D19 を 2 本としたが、床版における負曲げの影響を確認する為、はりを上下反転して載荷した。

接合部の構造はプレートナットによる継手とし、鉄筋を千鳥状に配置した。また、一般部の側面に深さ 30mm の凹形状を設け、はりの曲げに対しては繊維の連続性をある程度確保し、床版としてはせん断力も伝達できる構造とした。さらに、界面の付着性能を高める為、接合部 FRC の打込み前にエポキシ系接着剤を塗布した。表-6 に使用した接着剤の基本物性を示す。

平面図(上面)

平面図(下面)

側面図

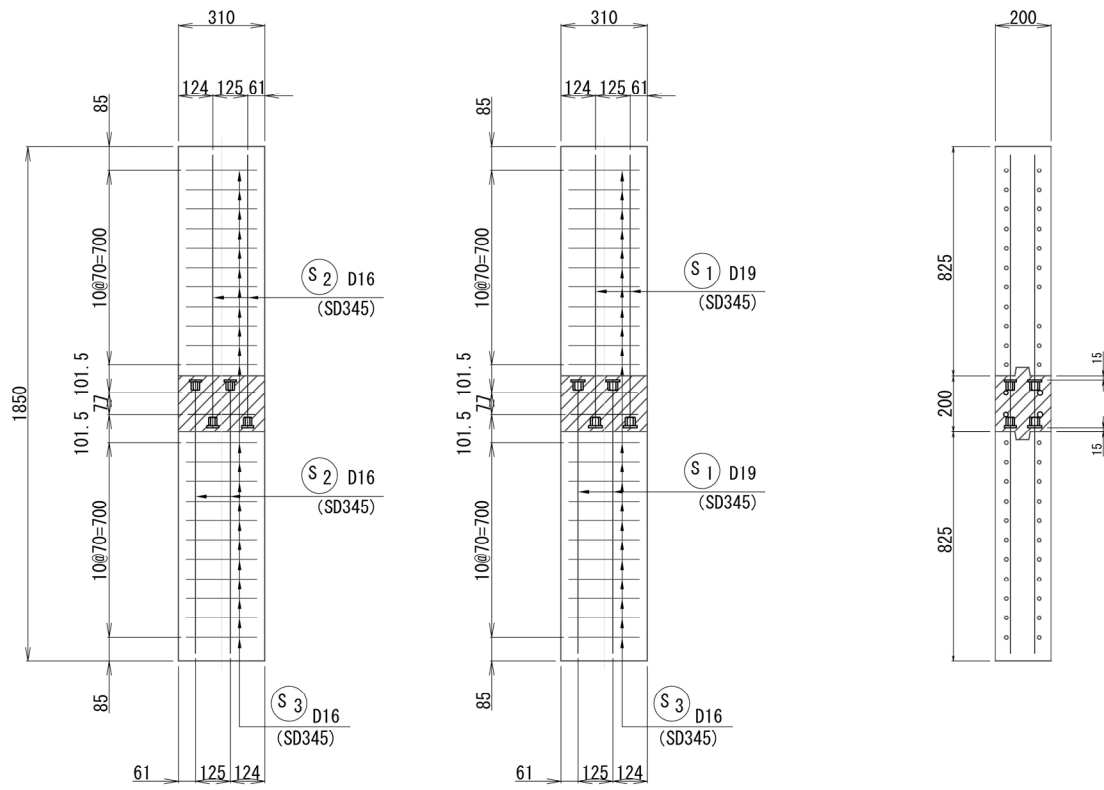


図-1 供試体構造図 (単位 : mm)

表-6 エポキシ系接着剤物性表

混合比 (主剤 : 硬化剤)	5 : 1
硬化物比重	1.40±0.20
圧縮強さ	50 N/mm ² 以上
圧縮弾性係数	1000 N/mm ² 以上
曲げ強さ	35 N/mm ² 以上
引張せん断強さ	10 N/mm ² 以上
コンクリート付着強さ	1.6 N/mm ² 以上または母材破壊
標準塗布量	1.4kg/m ² (人力施工)

2. 供試体 S2 の結果

2.1 荷重－変位関係と破壊の過程

図-2 に支間中央 (D-7) における荷重－変位関係を示す。ただし、赤点線は表-5 で算出した負曲げにおける鉄筋降伏耐力を示す。いずれの供試体も鉄筋降伏耐力の計算値を超えたあたりから徐々に変位が増大する傾向が見られた。目視では、S2-1 は 39kN、S2-2 は 40kN、S2-3 は 38kN 載荷時に接合部界面に沿った割れが確認され、ひび割れ発生荷重の計算値(43.6kN)と概ね一致した。いずれの供試体も同様の破壊過程を示し、荷重増加とともに界面割れの幅が徐々に大きくなり、変位が 30mm を超えた辺りで上面の圧壊兆候が見られた。写真-1 に終局後の供試体(S2-2)の状況を示す。

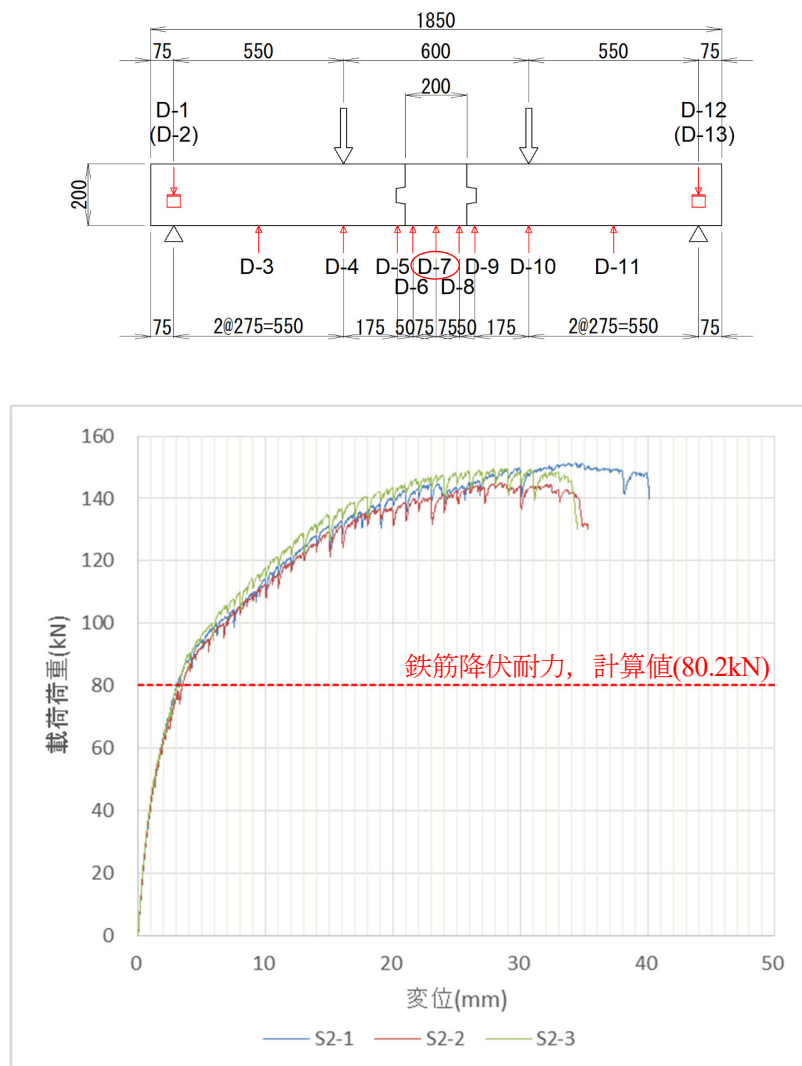


図-2 荷重－変位関係

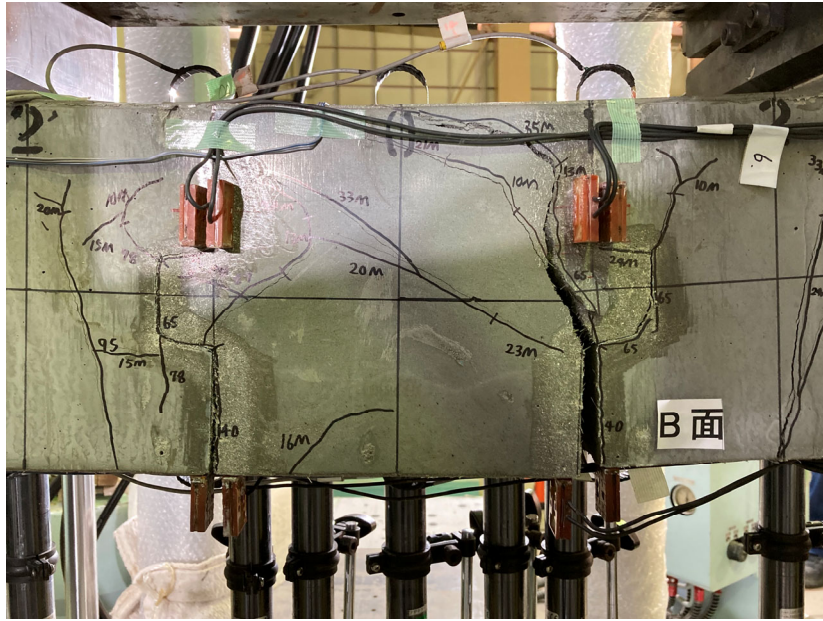


写真-1 終局後供試体 (S2-2)

2.2 接合部の挙動

2.2.1 パイ型変位計による開き量（下面）

図-3～図-5 に下面におけるパイ型変位計測定値の変化を示す。特に接合部界面（ $\pi-5$ 、 $\pi-7$ ）において荷重増加とともに変位が増加する傾向が見られたが、供試体 S1 において 50～70 kN で見られた接合部界面の開き量の急激な変化が、供試体 S2 では界面割れが発生した前後でも見られなかった。

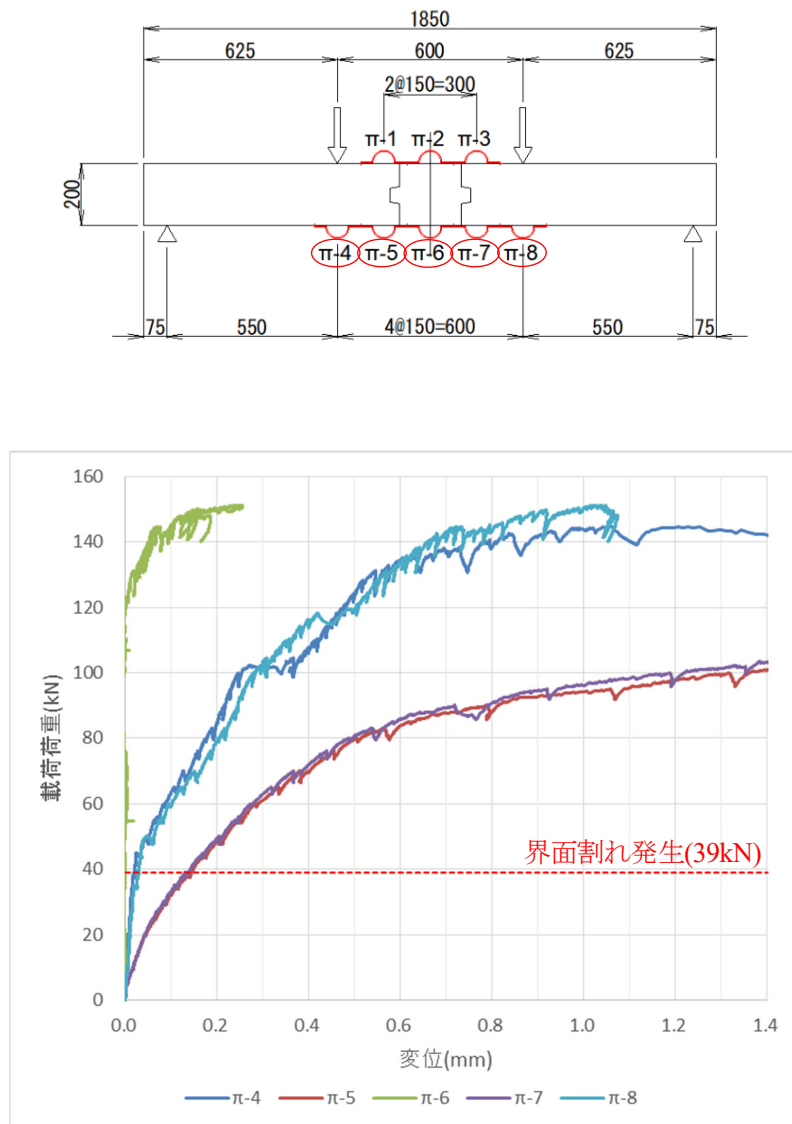


図-3 パイ型変位計による開き量（下面，S2-1 供試体）

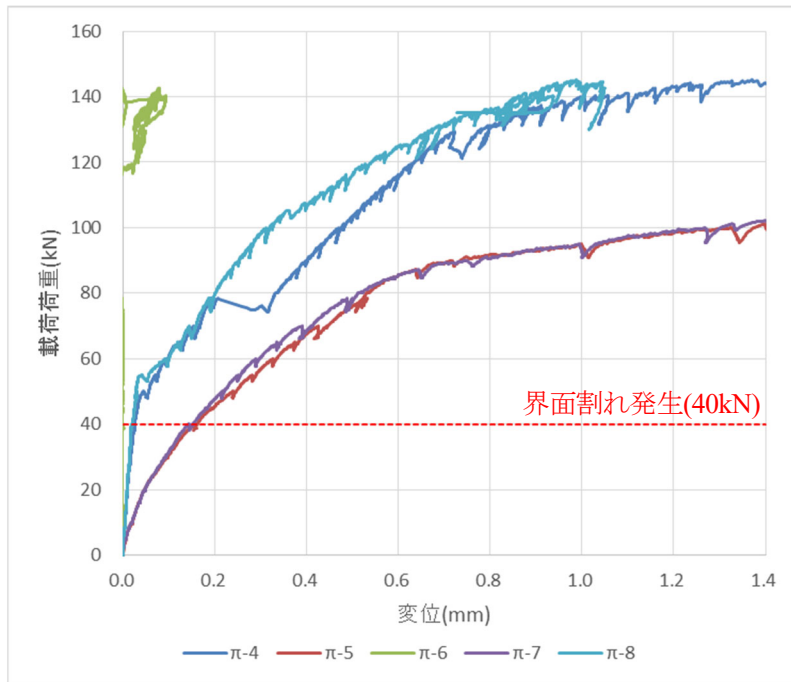


図-4 パイ型変位計による開き量（下面，S2-2 供試体）

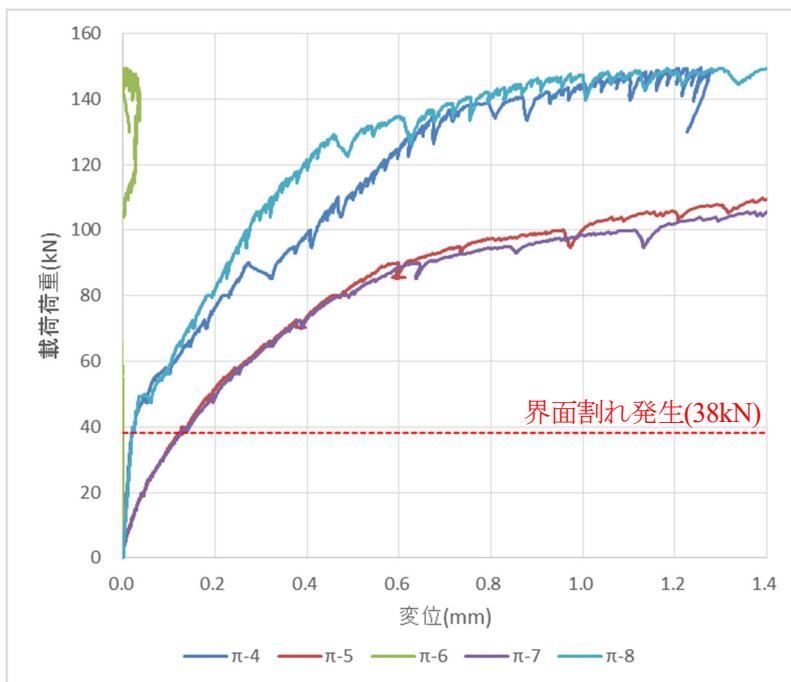


図-5 パイ型変位計による開き量（下面，S2-3 供試体）

2.2.2 パイ型変位計による開き量（上面）

図-6～図-8 に上面におけるパイ型変位計測定値の変化を示す。接合部界面（ $\pi-1$, $\pi-3$ ）の負変位が支間中央（ $\pi-2$ ）と比べて大きくなっており、下面で生じた界面割れの影響により大きな圧縮が生じたためと考えられる。

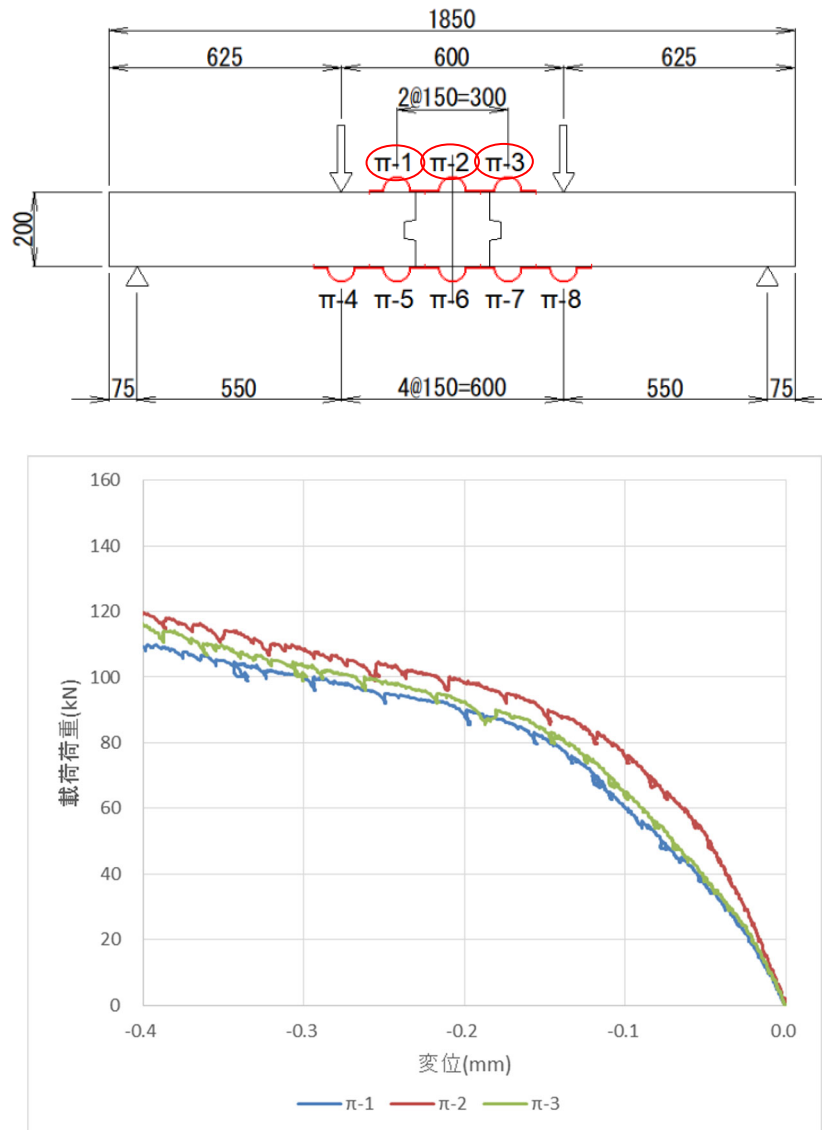


図-6 パイ型変位計による開き量（上面, S2-1 供試体）

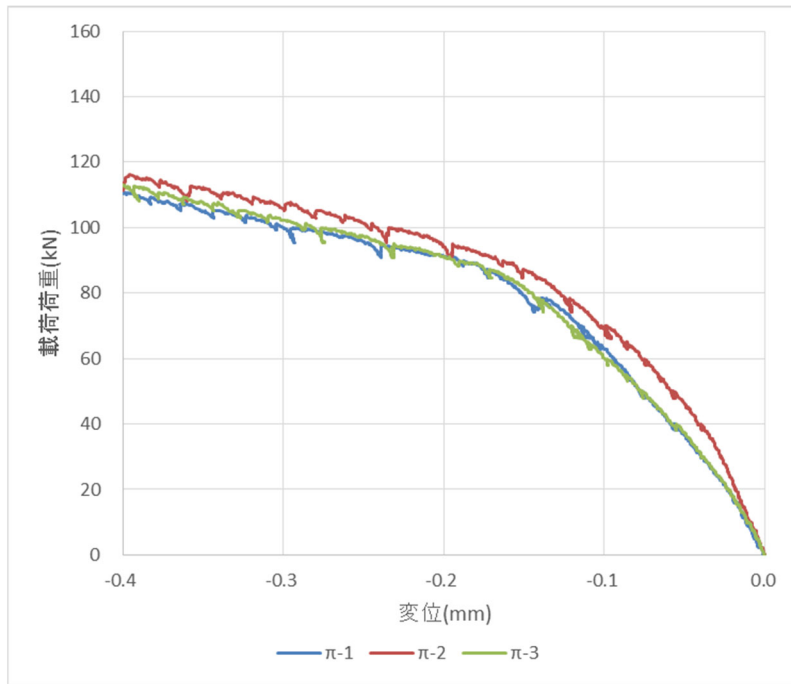


図-7 パイ型変位計による開き量（上面，S2-2 供試体）

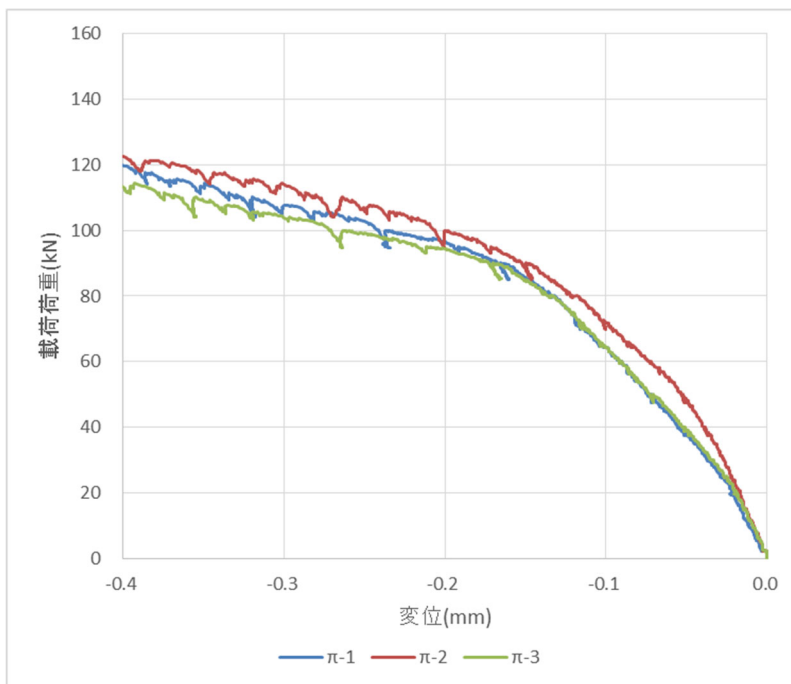


図-8 パイ型変位計による開き量（上面，S2-3 供試体）

2.2.3 ずれセンサ変位

図-9～図-12 に供試体 S2-1 におけるずれセンサ測定値（GAP*-X：段差，GAP*-Z：開き）の変化を示す。載荷荷重が 80kN を超えたあたりで上側センサ（KUH-2, 3），および下面センサ（KUH-8）にて段差の増大が見られ，鉄筋降伏により界面の開きが増大したためと考えられる。また，同じタイミングで上側センサ（KUH-1, 2, 3）にて開きの増大が見られた。一方，下面センサ（KUH-5～8）では載荷の初期段階から徐々に開きが増大する傾向が見られた。

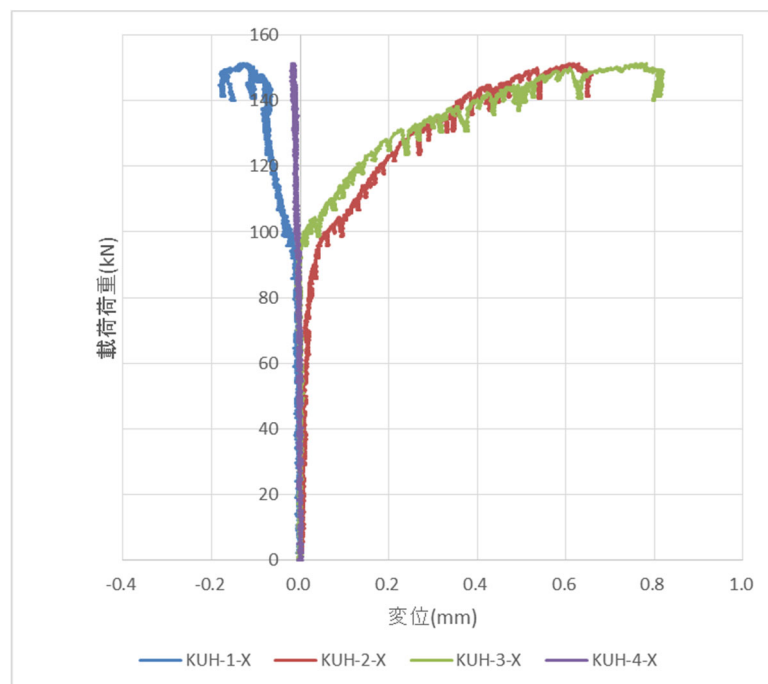
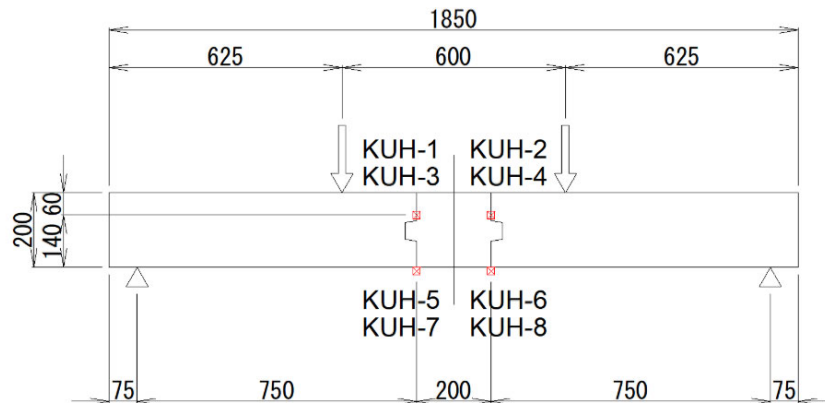


図-9 ずれセンサ変位（S2-1 供試体，上側，段差）

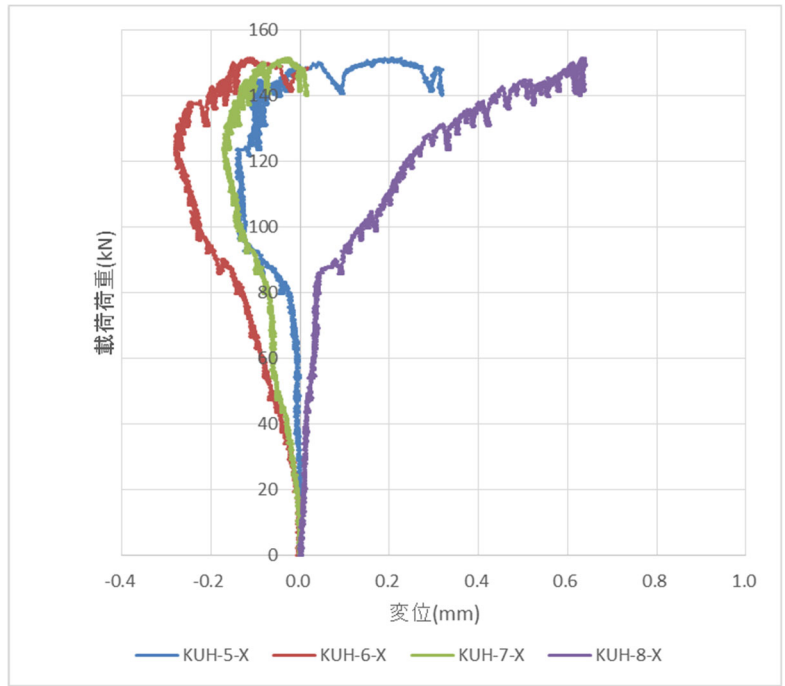


図-10 ずれセンサ変位 (S2-1 供試体, 下面, 段差)

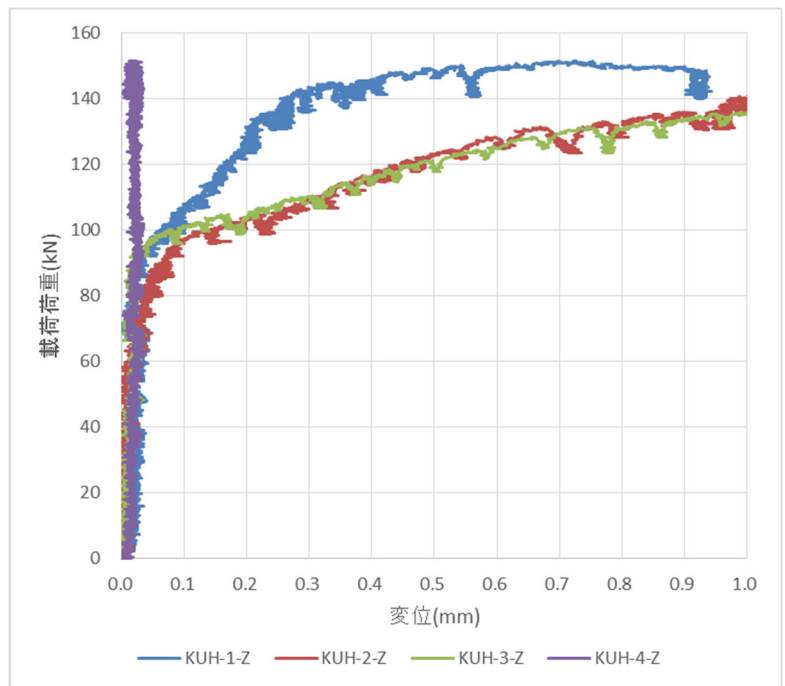


図-11 ずれセンサ変位 (S2-1 供試体, 上側, 開き)

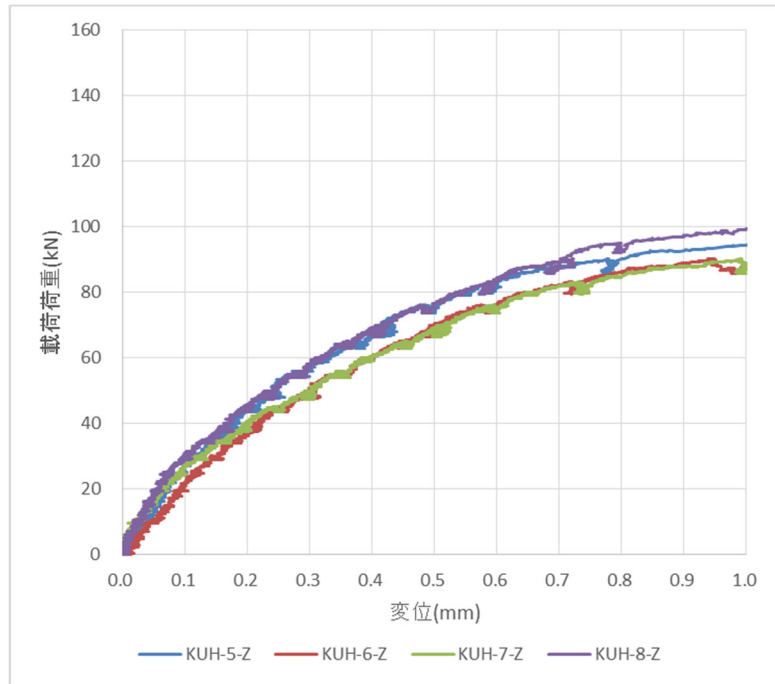


図-12 ずれセンサ変位 (S2-1 供試体, 下面, 開き)

2.3 接合部の曲率

図-13～図-15 に各載荷荷重における曲率分布を示す。ただし、曲率は隣接する3点のたわみと測点位置を円で補間することにより算出した。また紫線は接合部界面の位置を示す。載荷とともに界面近傍の曲率が増大する傾向が見られ、界面ひび割れが生じた時点（図中の赤点線）における接合部の曲率は概ね $5 \sim 10 \times 10^{-6}/\text{mm}$ であった。

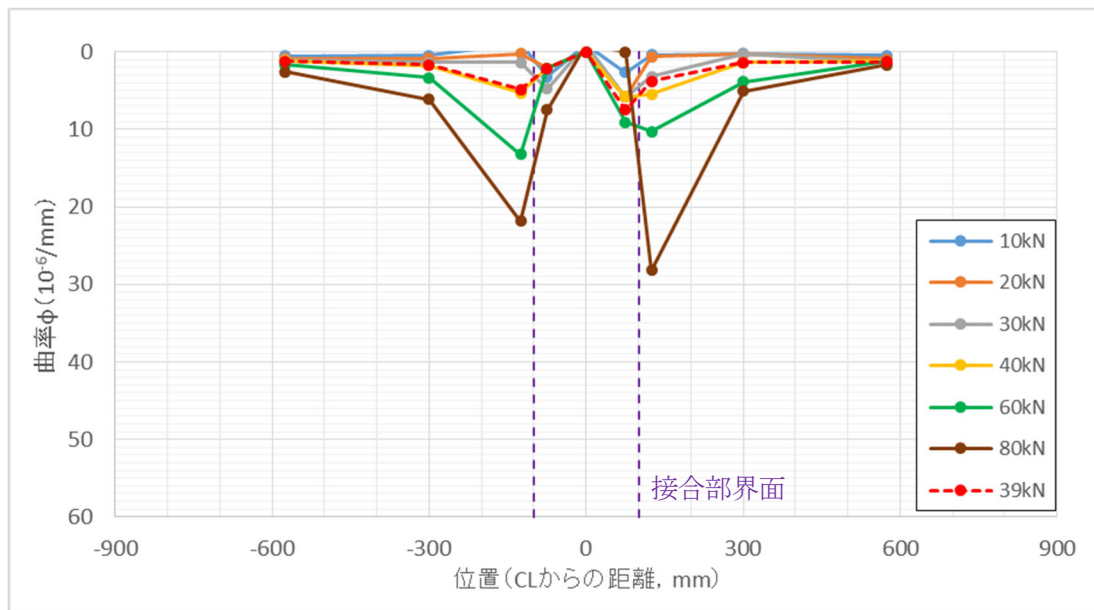


図 13 曲率分布 (S2-1 供試体)

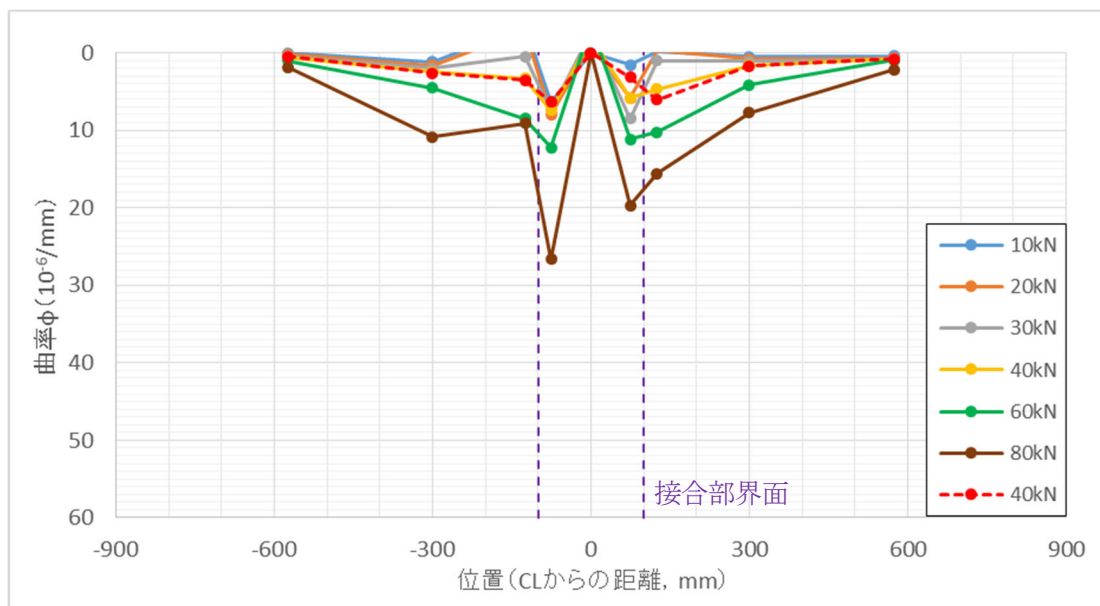


図 14 曲率分布 (S2-2 供試体)

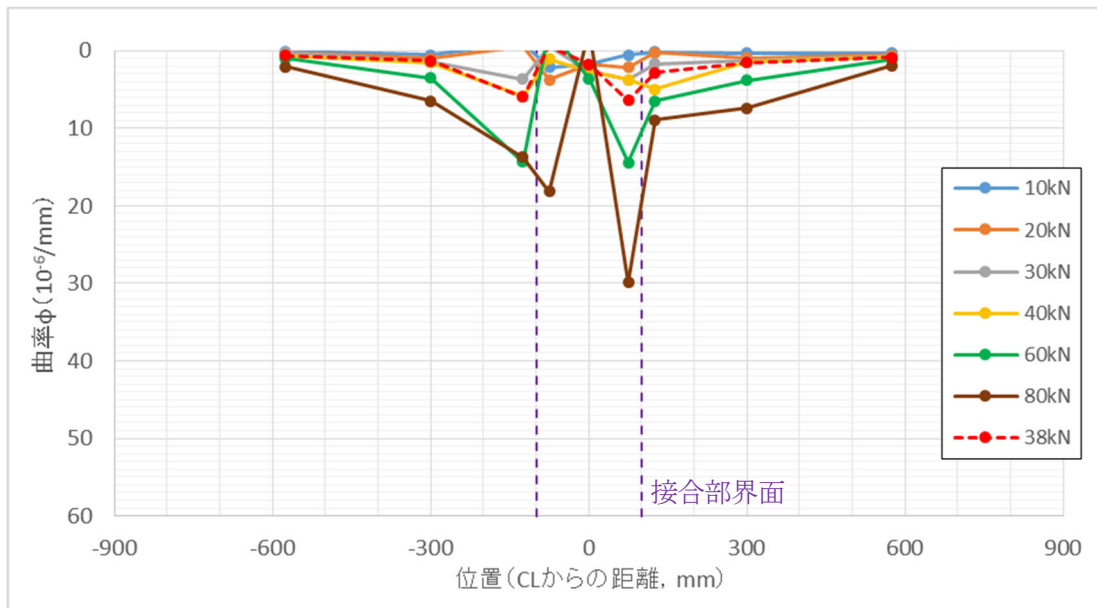


図-15 曲率分布 (S2-3 供試体)

付属資料III-5 プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験 (TS3)

1. 試験の概要

平板タイプの UFC 床版接合部における挙動を把握するため、[第III編]2.プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験と同様に、負曲げでの静的載荷試験を実施した。

2. 試験方法

2.1 供試体 TS3

[第III編]2.プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験と同様に負曲げの下での接合部の挙動を把握するため、4点曲げとし、順曲げ区間に接合部を配置した。

供試体はプレキャスト床版から主として接合部周辺の軸方向の構造を切り出した形状とした。本検討で実施した供試体を表-1、図-1 に示す。供試体は幅 600mm、高さ 140mm、長さ 2000mm とし、中央に 30mm の接合部を設けた。本検討では、接合面の目荒しの有無をパラメータとし、目荒し有を 3 体 (TS3-A-1, TS3-A-2, TS3-A-3)、目荒し無を 1 体 (TS3-N-1) 実施した。接合面の目荒しは、サンダーで表面を荒らす程度に実施した。

本試験で使用したコンクリートの配合・使用材料を表-2 に示す。本検討で使用した材料は、[第III編]2.プレキャスト床版接合部の負曲げ載荷試験の TS1 と同様である。

製作フローを図-2 に示す。PCa 部に UFC を打設後、2 次養生 (90°C48hr) を行って、接合部に UHPFRC を充填した。接合部の UHPFRC 打設後 7 日で緊張作業を行い、グラウトを注入した。1s28.6 の緊張力は 260kN/本とした。なお、緊張力は供試体に道路橋示方書で示される単位幅あたりの曲げモーメントの 0.6 倍 (供試体幅が 600mm のため) が作用した時に接合面における応力が 0N/mm^2 以上となるように設定した。

表-1 はり供試体の主な諸元 (TS3)

供試体名	床版形状	本体			接合部			繊維種類	備考
		主材 (いずれもFRC)	圧縮強度 [引張強度*] (N/mm ²)	鋼材	主材 (いずれもFRC)	圧縮強度 [引張強度*] (N/mm ²)	鋼材		
TS3	平板型	UFC	206 [11.62]	二方向 PC	UHPFRC	160 [12.87]	一方向 PC	鋼	はり試験のみ

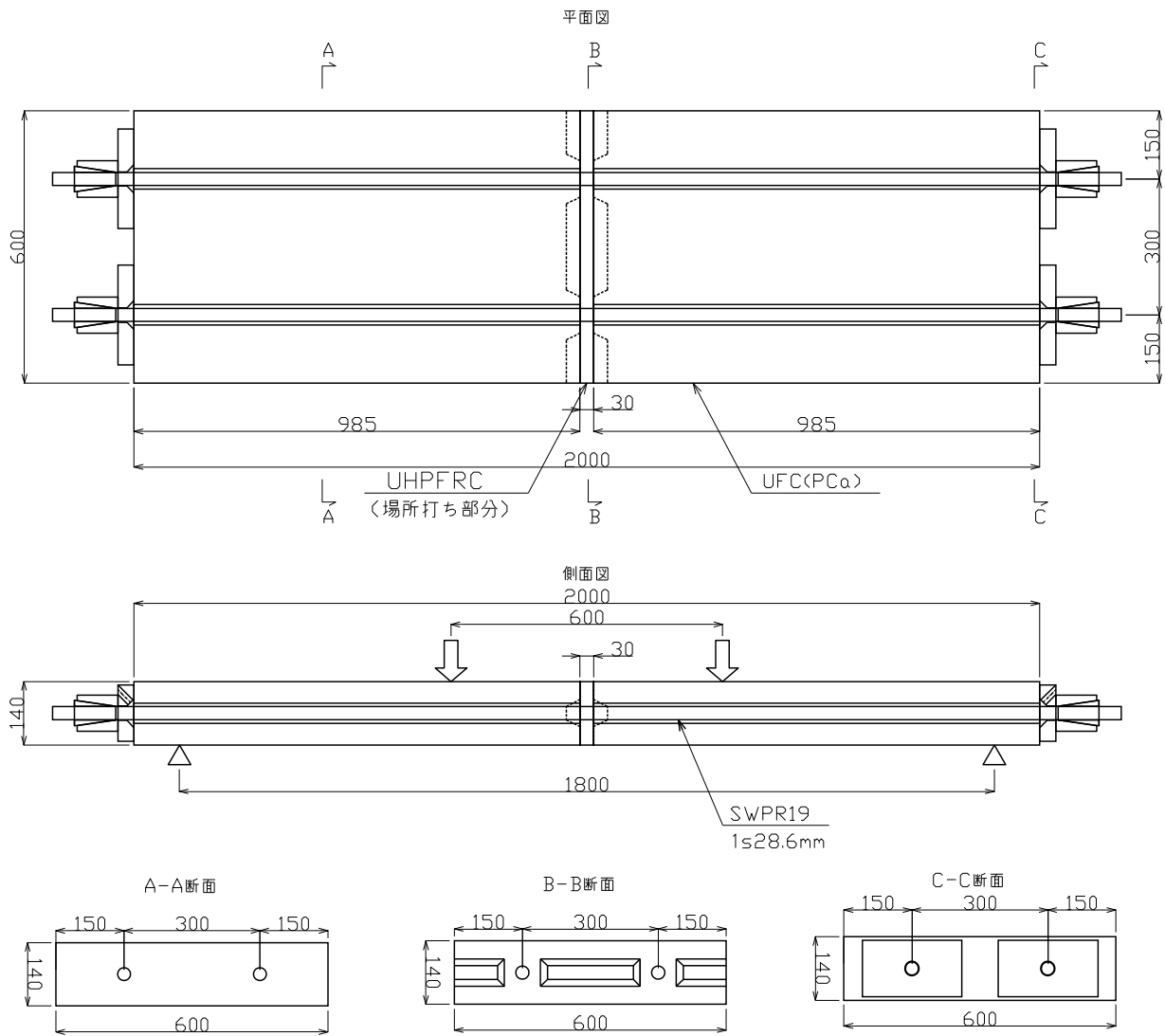


図-1 供試体 TS3 の形状寸法

単位 : mm

表-2 PCa部と接合部の配合

供試体	部位	単位量(kg/m ³)						
		TS3	PCa部 (UFC)	W		B1	S1	F1
	SP1							
180	20		1,278	934				
TS3	接合部 (UHPRC)	単位量(kg/m ³)						
		W				B2	S2	F2
			SP2	AF	SRA			
		182	18	1	15	1,431	650	157 (2.0vol.%)

PCa部

B1：ポルトランドセメント，シリカフューム等の混和材を予め混合した粉体

S1：珪砂（粒径 2.5mm 以下）

F1：鋼繊維（直径 0.22mm，長さ 15mm，引張強度 2,000N/mm² 以上）

SP1：ポリカルボン酸系高性能減水剤

接合部

B1：ポルトランドセメント，シリカフューム，膨張剤等の混和材を予め混合した粉体

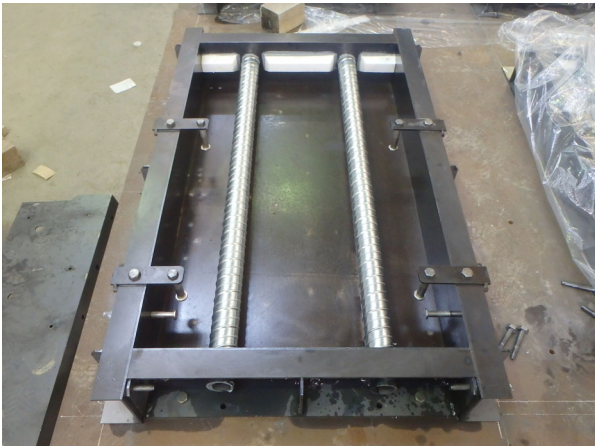
S2：珪砂（粒径 2.5mm 以下）

F2：鋼繊維（直径 0.16mm，長さ 13mm，引張強度 2,000N/mm² 以上）

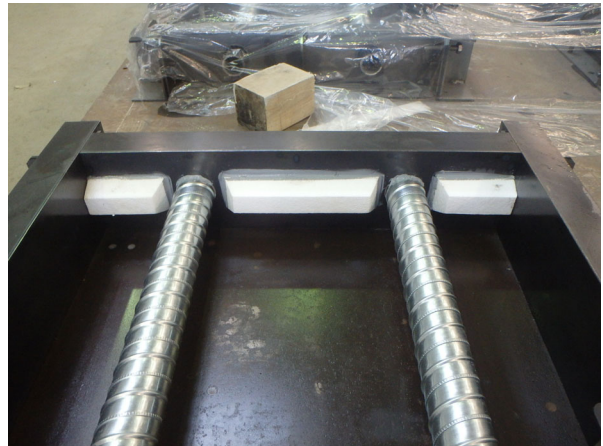
SP2：ポリカルボン酸系高性能減水剤

AF：ポリアルキレングリコール誘導体

SRA：低級アルコールアルキレンオキシド付加物，易溶性



(a) 型枠



(b) 型枠(接合面)

図-2 製作フロー



(c) UFC 打込み



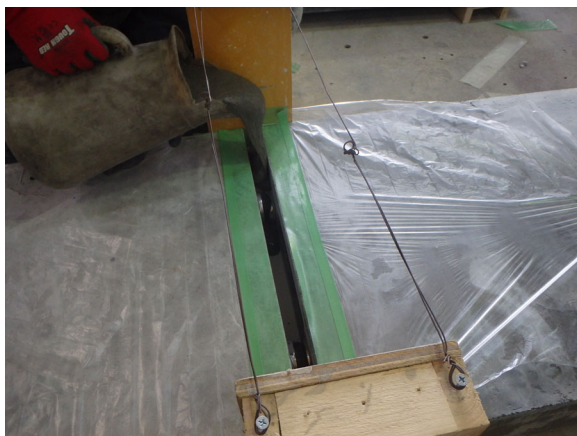
(d) 接合部型枠



(e) 接合面目荒し無



(f) 接合面目荒し有



(g) 接合部充填



(h) 緊張

図-2 製作フロー (続き)

強度試験結果を表-3、鋼材の降伏強度を表-4、直接引張試験状況を図-3、直接引張試験結果を図-4、図-5に示す。なお、直接引張試験は[第II編]2.直接引張試験と同様に PCa 部と接合部の FRC で実施し、供試体数は各種 3 体ずつとし、伸びの計測は標点間距離 150mm のパイ型変位計を用いた。

表-3 強度試験結果

供試体	部位	時期	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	ひび割れ 発生強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
TS3	PCa部	2次養生後	209	-	-	9.51 [*]	-
		試験時	206	48.5	0.23	10.02	11.62
	接合部	材齢28日	133	-	-	-	-
		試験時	160	44.6	0.22	9.93	12.87
	PCグラウト	材齢27日	64.7	-	-	-	-
		試験時	73.9	-	-	-	-

※: 割裂引張強度試験で供試体端部にひずみゲージを設置して算出

表-4 鋼材の降伏強度

供試体	鋼材	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	破断ひずみ (μ)
TS3	1s28.6 SWPR19L	1687	1848	195	65000

ミルシートの値

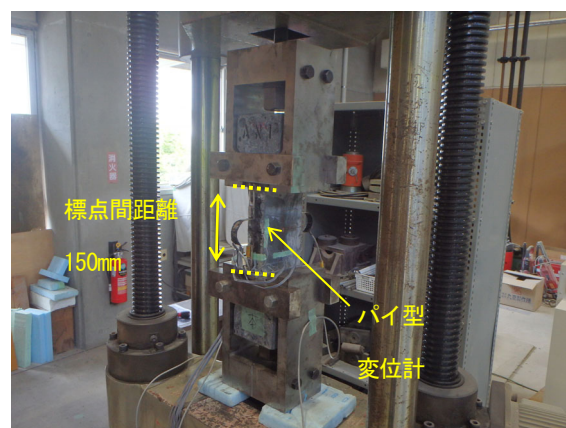
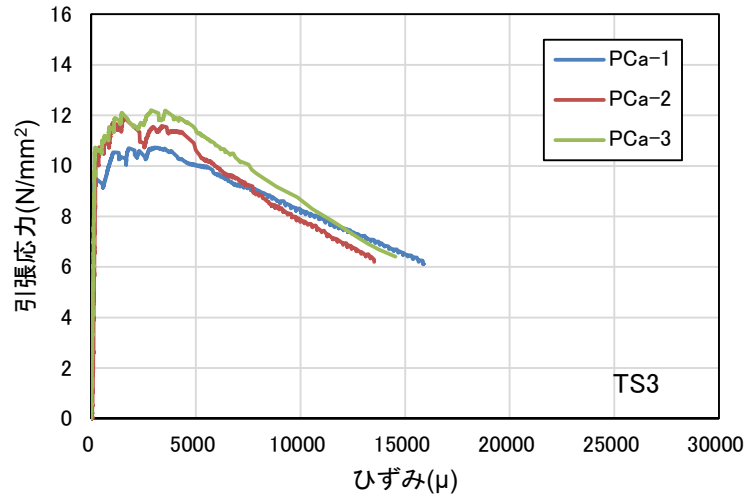


図-3 直接引張試験状況



(a) 引張応力-ひずみ関係 (パイ型変位計)



(b) PCa-1 の側面と破断面

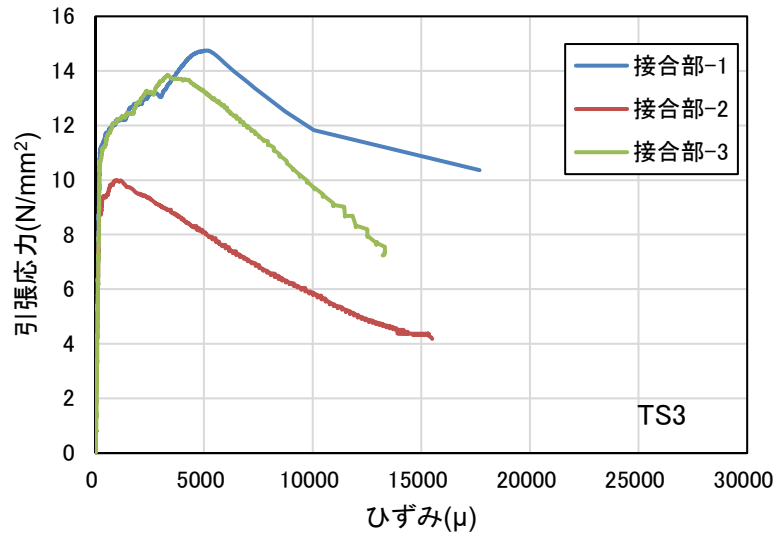


(c) PCa-2 の側面と破断面



(d) PCa-3 の側面と破断面

図-4 TS3 の直接引張試験結果 (PCa 部)



(a) 引張応力-ひずみ関係 (パイ型変位計)



(b) 接合部-1 の側面と破断面



(c) 接合部-2 の側面と破断面



(d) 接合部-3 の側面と破断面

図-5 TS3 の直接引張試験結果 (接合部)

2.2 載荷方法

図-6 に試験状況を示す。土木研究所の 500kN 疲労試験機で、単純支持、2点載荷として、静的での負曲げ
載荷試験を実施した。



図-6 試験状況（供試体 TS3）

2.3 測定

載荷試験中、荷重、たわみ、コンクリート上下縁それぞれの軸方向ひずみ及びパイ型変位計を用いた平均ひずみを測定し、接合面の開きを確認するため、接合面を跨いでずれセンサを設置した。図-7に計測位置図を示す。

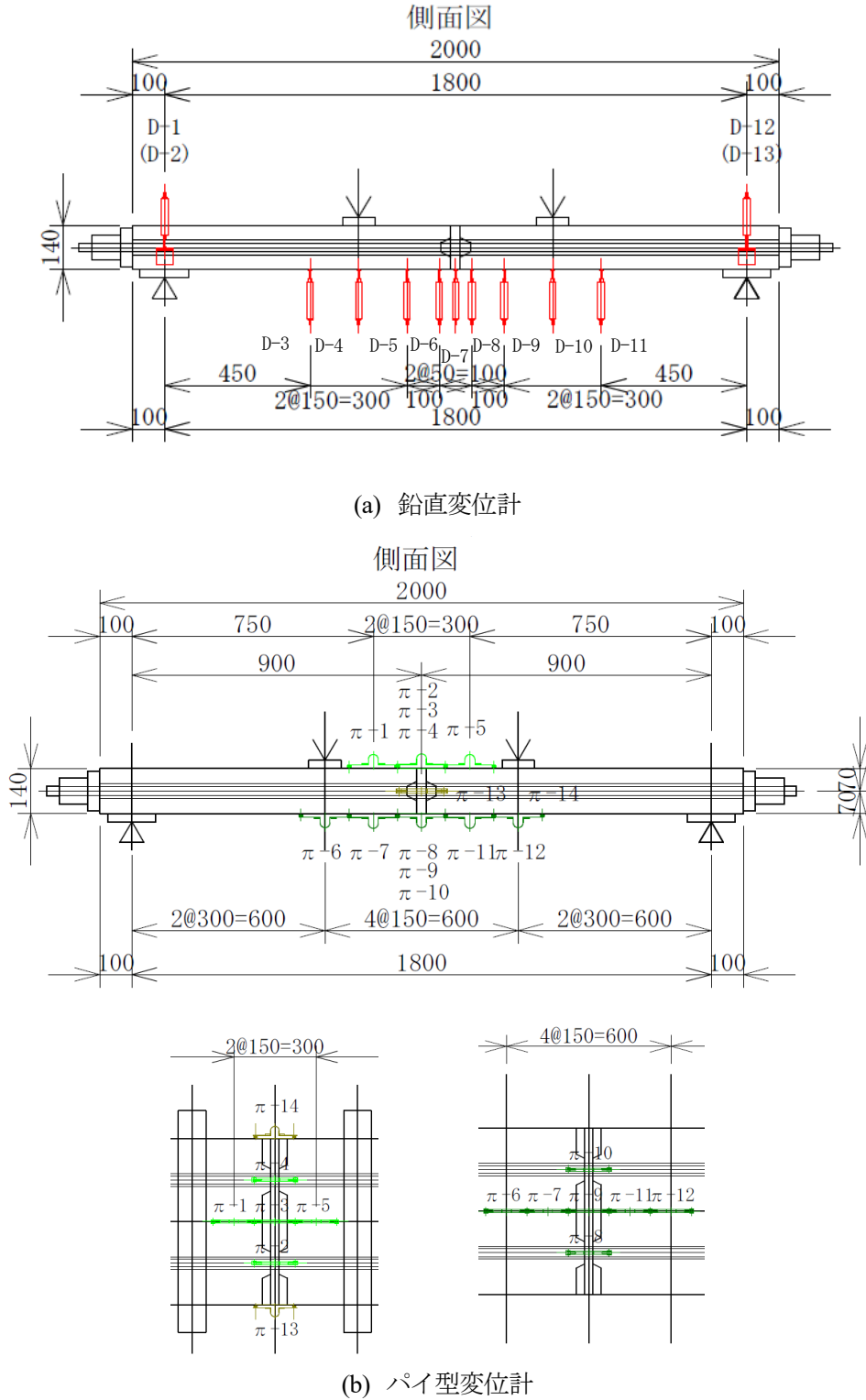


図-7 TS3の鉛直変位計及びパイ型変位計の設置位置

3. 供試体 TS3 の結果

3.1 荷重－変位関係と破壊の過程

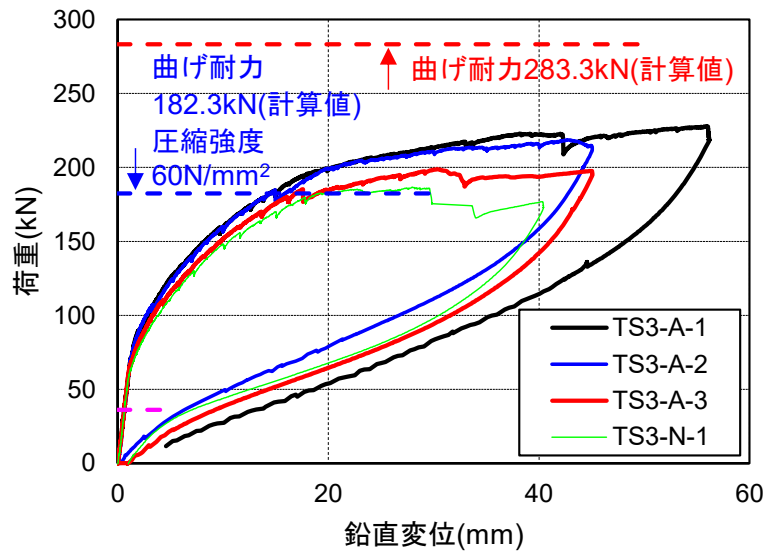
図-8 に荷重－変位関係 (D7), 図-9 に各載荷段階におけるはりの鉛直変位分布, 表-5 に破壊の過程, 図-10～図-13 にひび割れ図, 図-14 にはりの最終変形状況を示す. いずれの供試体も接合面に目開きが発生した後, PCa 部分にひび割れが発生して, 荷重 180～190kN で接合部のコンクリートの圧壊に至った.

図-8 中に目開き発生荷重と曲げ耐力の計算値を示す. 計算に使用した応力－ひずみ関係を図-15 に示す. 本床版構造では, PCa 部と接合部の界面が打継目となり, 繊維の架橋効果が期待できないため, コンクリートの圧縮側は UFC 指針に準拠し, 引張側は無視した. 目開きの発生荷重の計算値は, 接合面に引張応力が発生する段階の荷重, 曲げ耐力の計算値は上縁のコンクリートのひずみが 3500μ に達する段階の荷重である. コンクリートの圧縮強度とヤング係数は, 表-3 の接合部のコンクリートの結果を用いた.

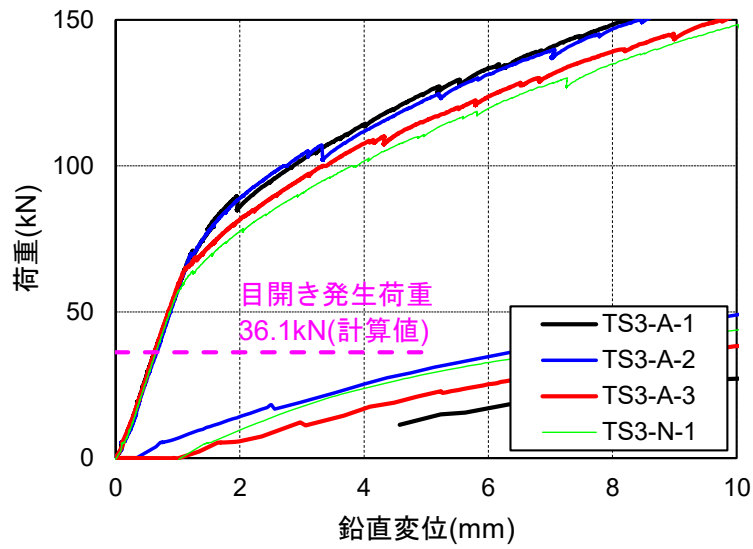
目開き発生荷重はいずれの供試体も計算値を上回っているが, 曲げ耐力は計算値に達しておらず, 接合部のコンクリートが圧壊した荷重 (180～190kN) は接合部のコンクリートの圧縮強度を 60N/mm^2 に低減した場合の曲げ耐力と同程度であった.

PCa 部と接合部の接合面の目荒しの有無を比較すると, 接合面の目荒しを行っていない供試体 (TS3-N-1) よりも目荒しを行った供試体 (TS3-A-1～3) の方が目開き発生荷重と荷重－変位関係が若干高いことが分かり, 接合面の目荒しにより目開き発生付近の荷重－変位関係が高くなることが分かった.

図-9 から, いずれの供試体も荷重が大きくなるにつれて, 接合部付近の鉛直変位が大きくなっているが, PCa 部は支点と接合部の鉛直変位をほぼ直線で結ぶように変形しており, 接合部を中心としたヒンジのように挙動していることが分かる. この傾向は, 図-10～図-13 に示したひび割れ図からも分かり, 接合部の目開き (ひび割れ) は上縁まで達しているのに対して, PCa 部のひび割れ高さは部材高さの中心以下であることが分かり, 部材の変形が接合部に集中していることが分かる (図-14).

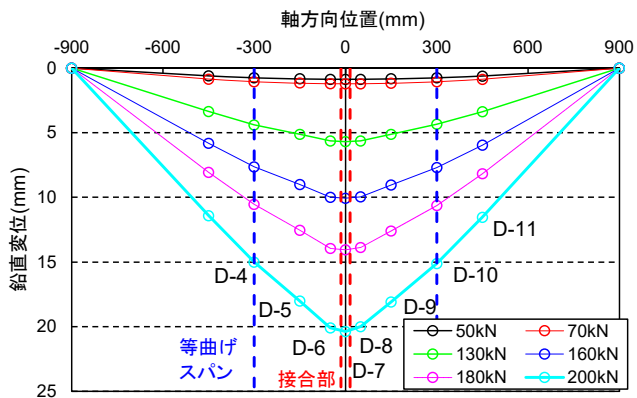


(a) 全体

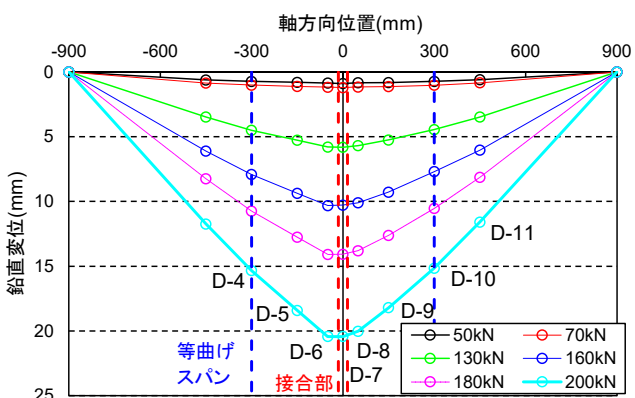


(b) 初期部分

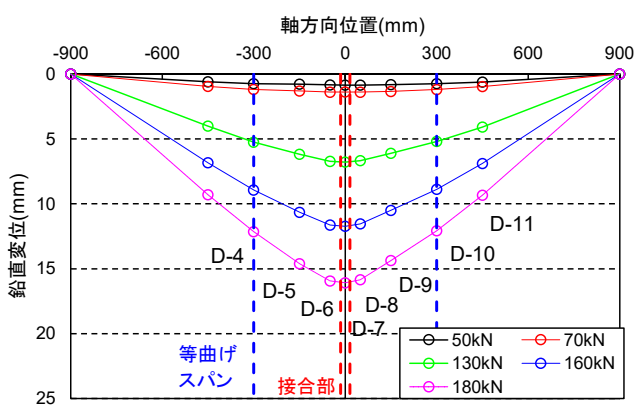
図-8 荷重-変位関係 (支間中央 : D7)



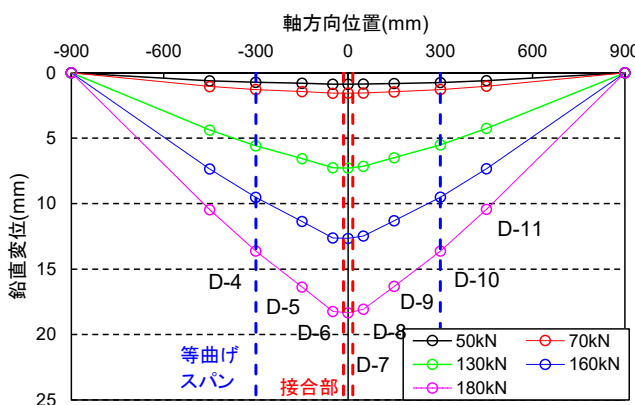
(a) TS3-A-1



(b) TS3-A-2



(c) TS3-A-3

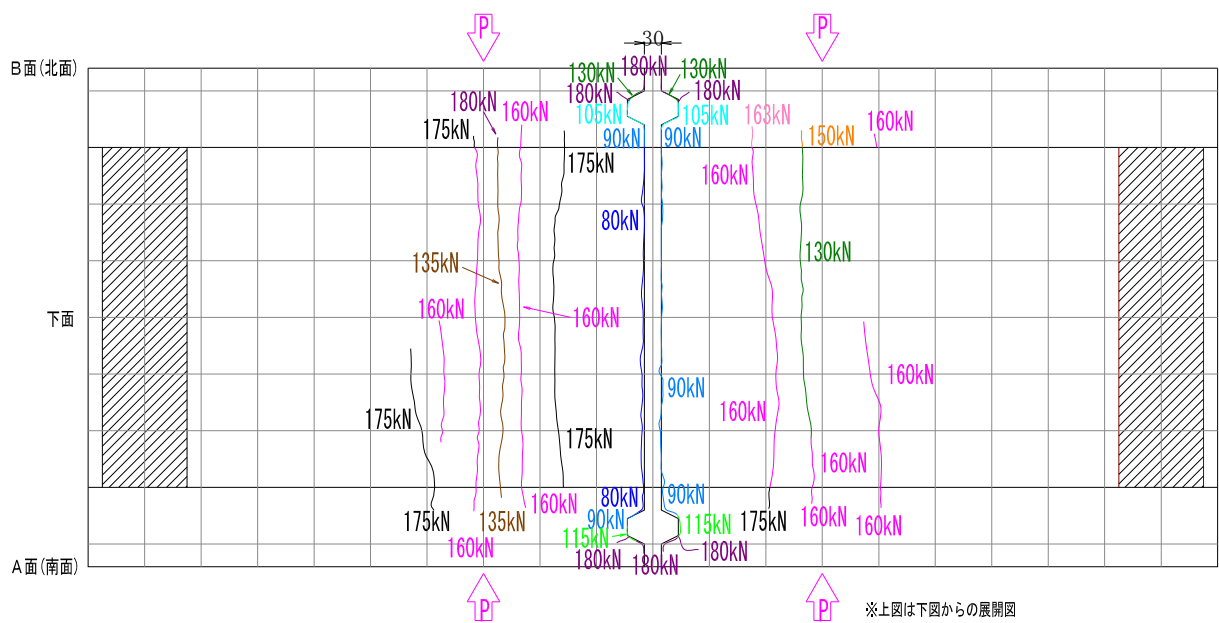
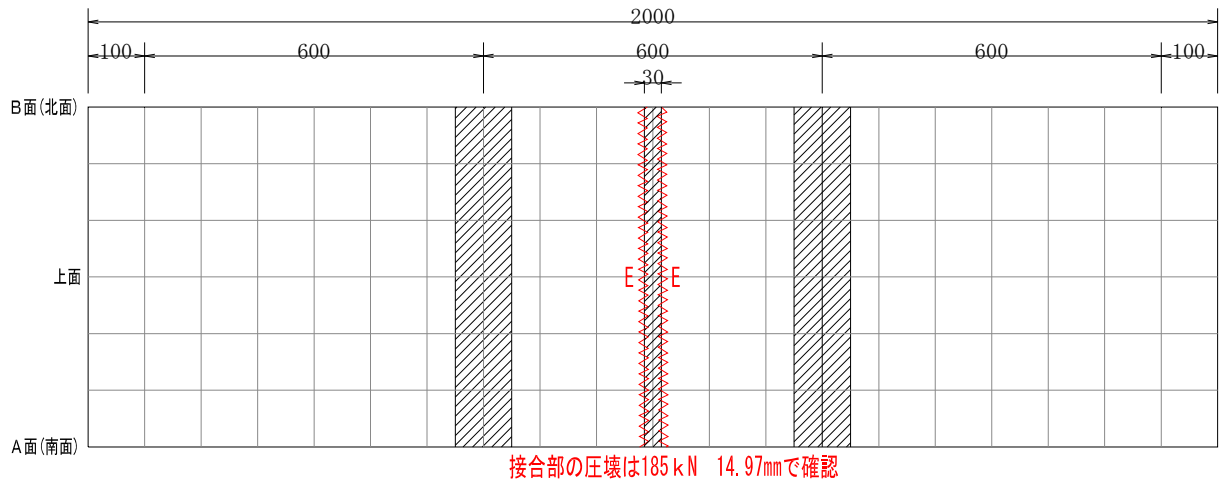


(d) TS3-N-1

図-9 各荷重段階におけるはりの鉛直変位分布

表-5 破壊の過程

	TS3-A-1	TS3-A-2	TS3-A-3	TS3-N-1
目開き発生荷重(kN)※ずれセンサの値	69	63	57	49
PCa 部ひび割れ発生荷重(kN)※ゲージの値	129	107	109	127
接合部の圧壊荷重(kN)※ゲージの値	185	195	178	183



凡例
 ひび割れ
 剥離線
 添え数字は発生荷重 (kN)

図-10 ひび割れ図 (TS3-A-1)

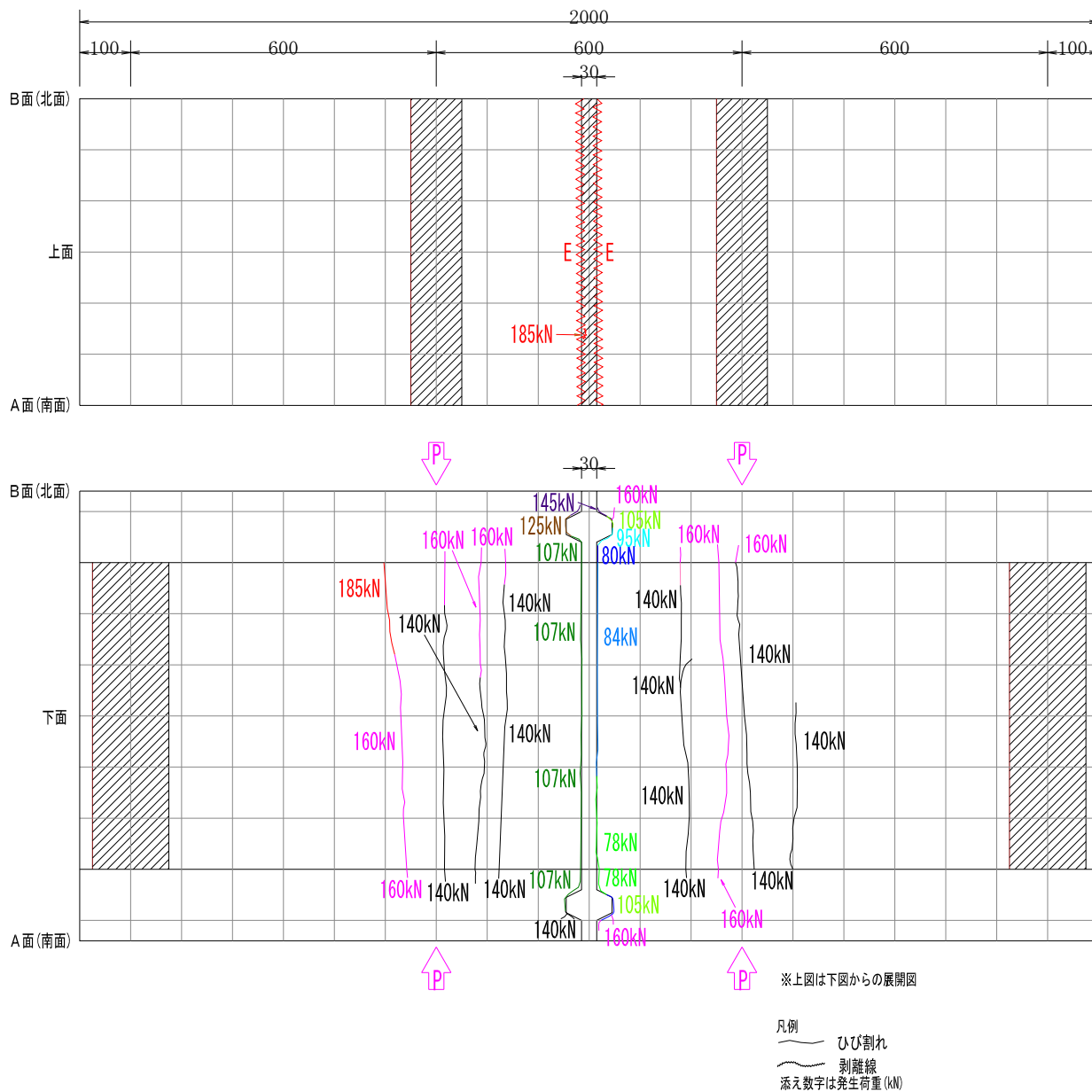
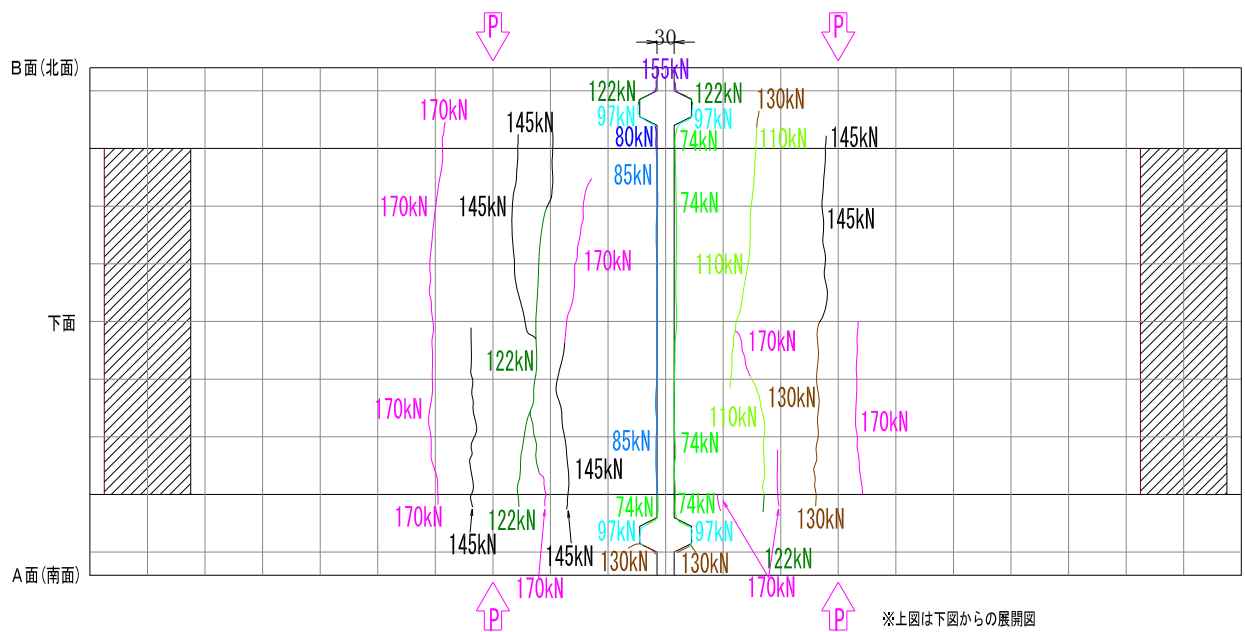
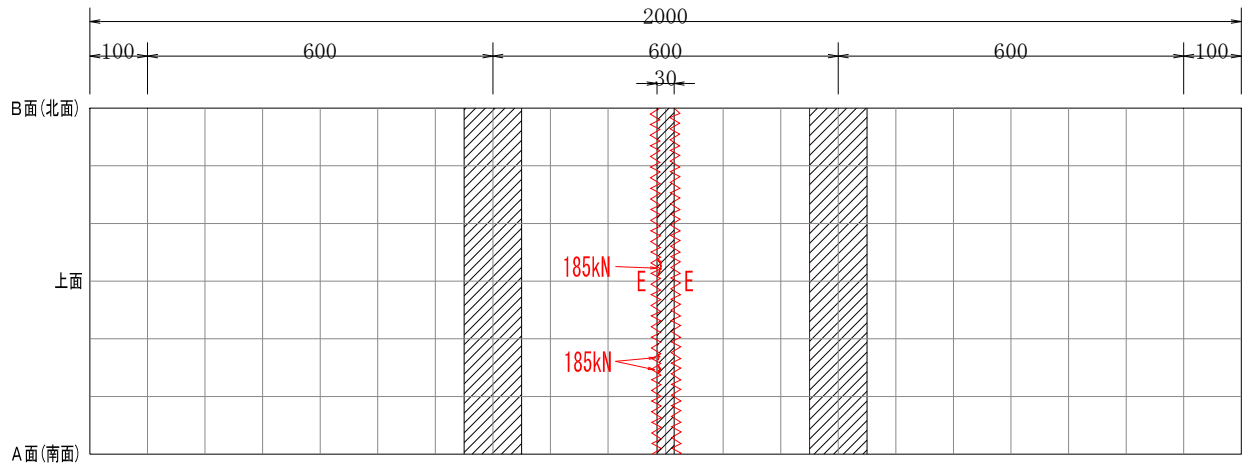


図-11 ひび割れ図 (TS3-A-2)



凡例
 ひび割れ
 剥離線
 添え数字は発生荷重 (kN)

図-12 ひび割れ図 (TS3-A-3)

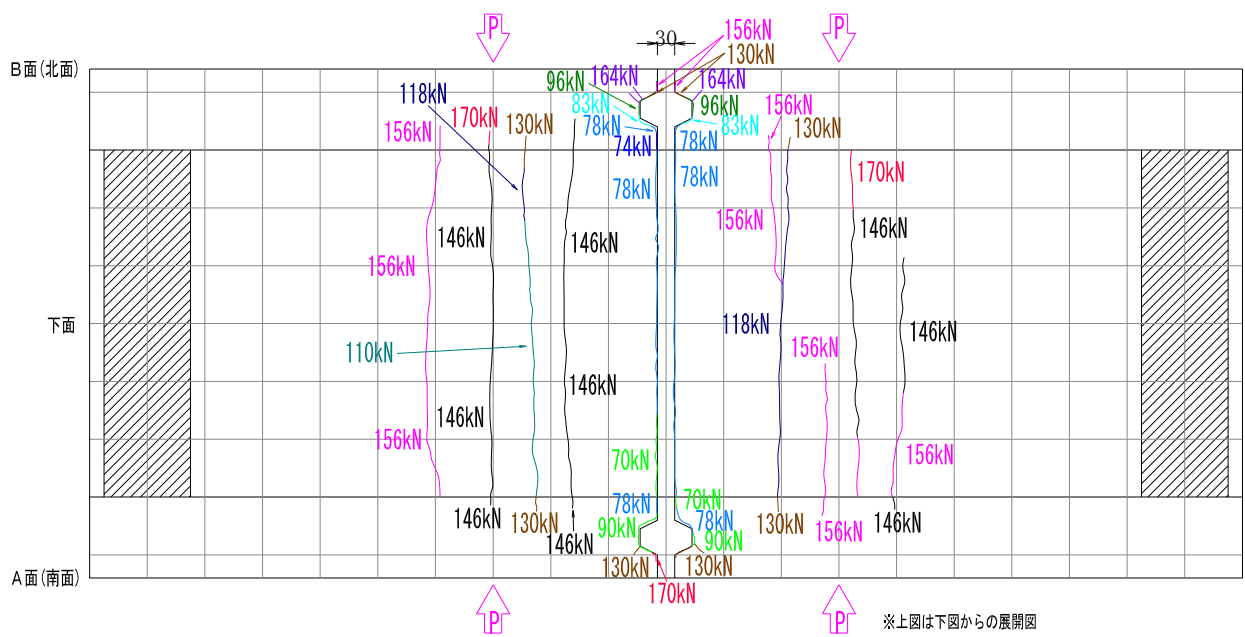
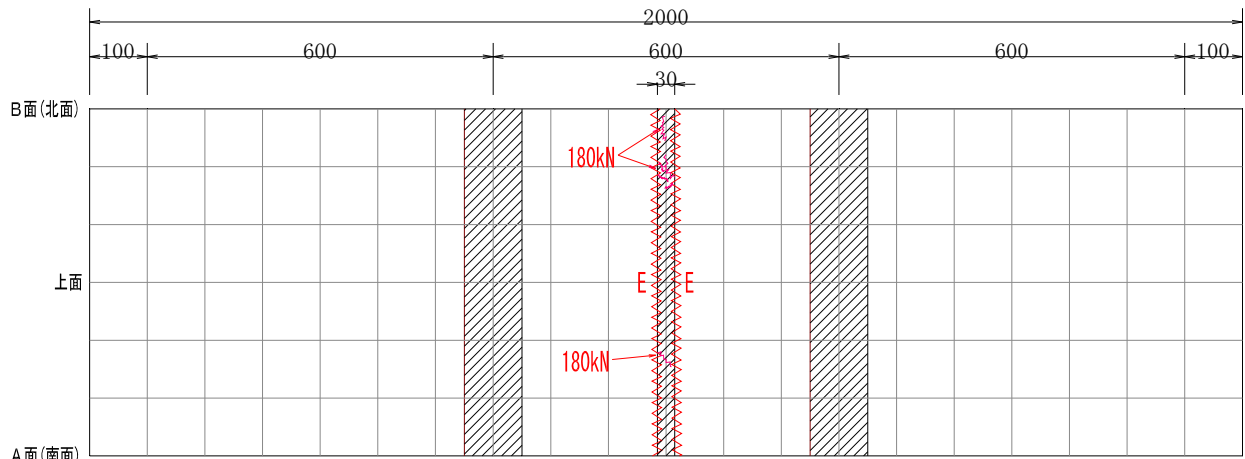


図-13 ひび割れ図 (TS3-N-1)

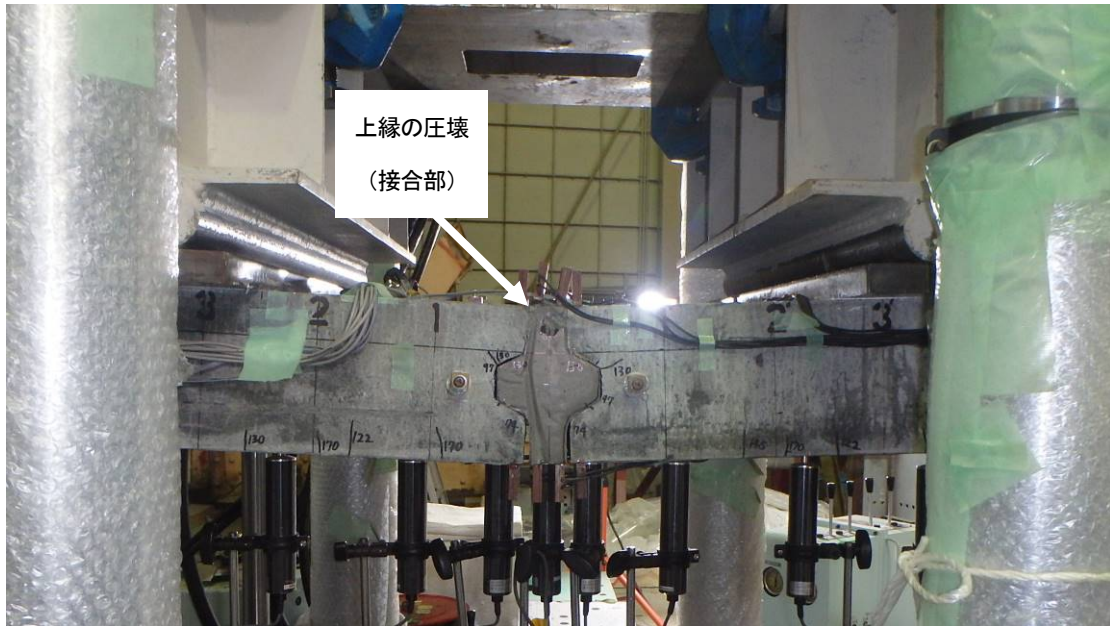


図-14 等曲げスパン付近の最終変形状態 (TS3-A-3 を一例)

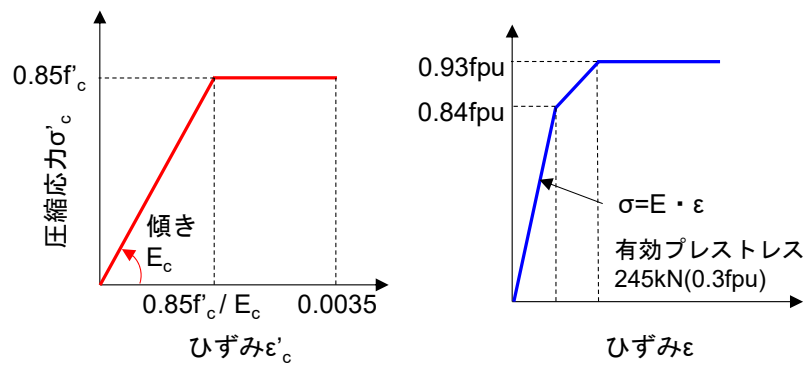


図-15 応力-ひずみ関係

3.2 接合部の挙動

(1) パイ型変位計（下面）

図-16～図-19 に下面に設置したパイ型変位計の結果を示す。接合面の目開き発生（70kN）以降、中央（接合部位置）のパイ型変位計（ π -9）の値のみが大きくなっていることが分かる。

荷重 160kN の時の接合部における目開き量に着目すると、TS3-A-1～3 は目開きが 2.0～2.5mm 程度となっているのに対して、TS3-N-1 は 3.0mm になっていることが分かる。これより、接合面の目荒しを行なうことで、接合部の目開きを若干抑制することができることが分かる。

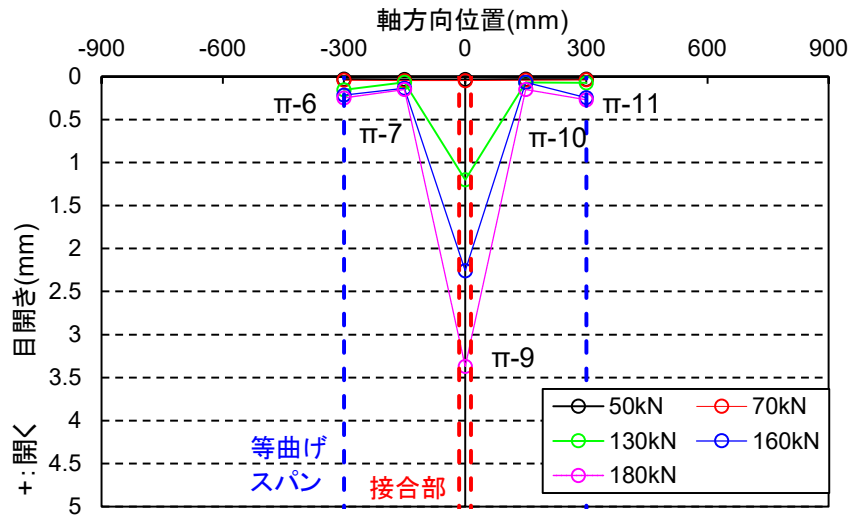


図-16 下面パイ型変位計の変化 (TS3-A-1)

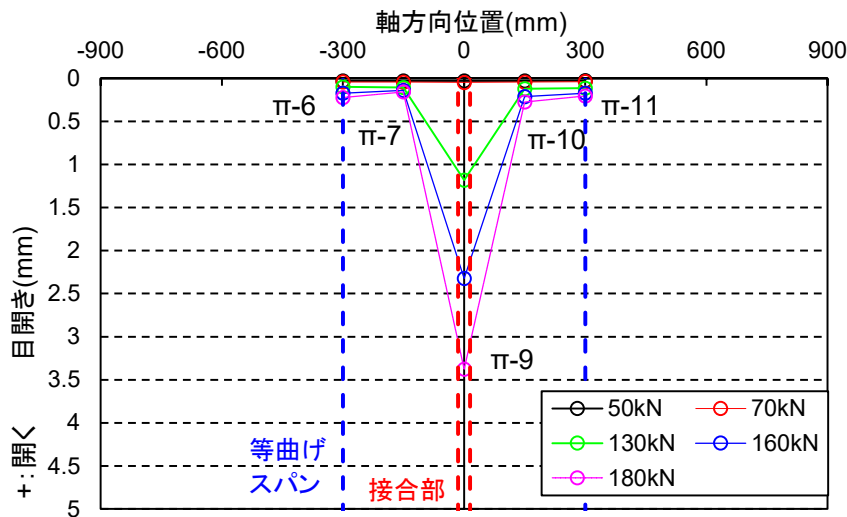


図-17 下面パイ型変位計の変化 (TS3-A-2)

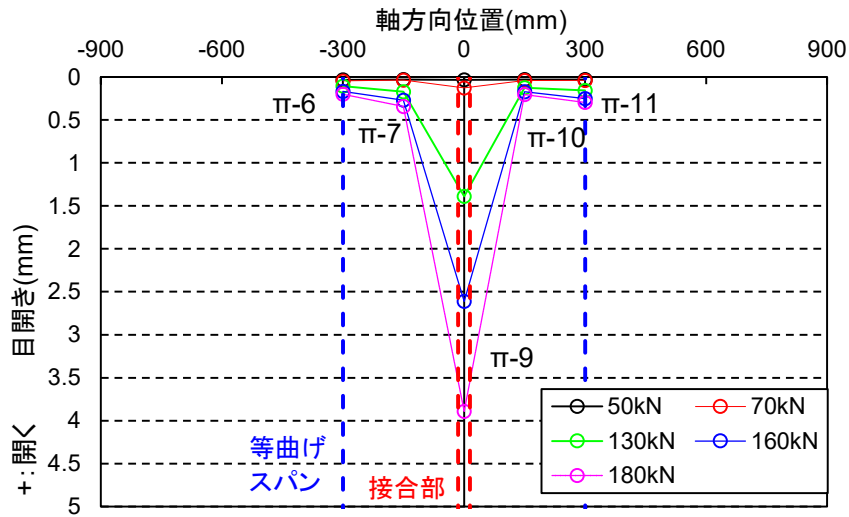


図-18 下面パイ型変位計の変化 (TS3-A-3)

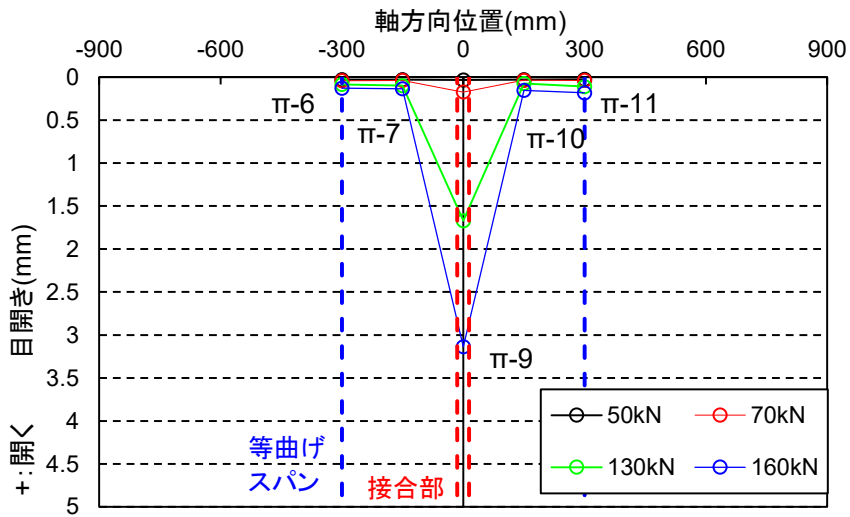


図-19 下面パイ型変位計の変化 (TS3-N-1)

(2) パイ型変位計（上面）

図-20～図-23 に上面に設置したパイ型変位計の結果を示す。下面に設置したパイ型変位計の結果と同様、接合面に目開き発生（70kN）以降、中央のパイ型変位計の値が大きくなっていることが分かる。

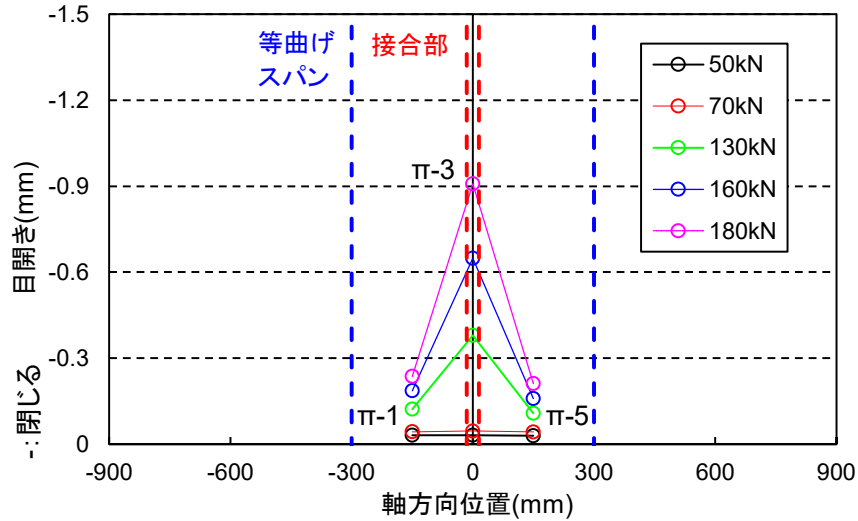


図-20 上面パイ型変位計の変化（TS3-A-1）

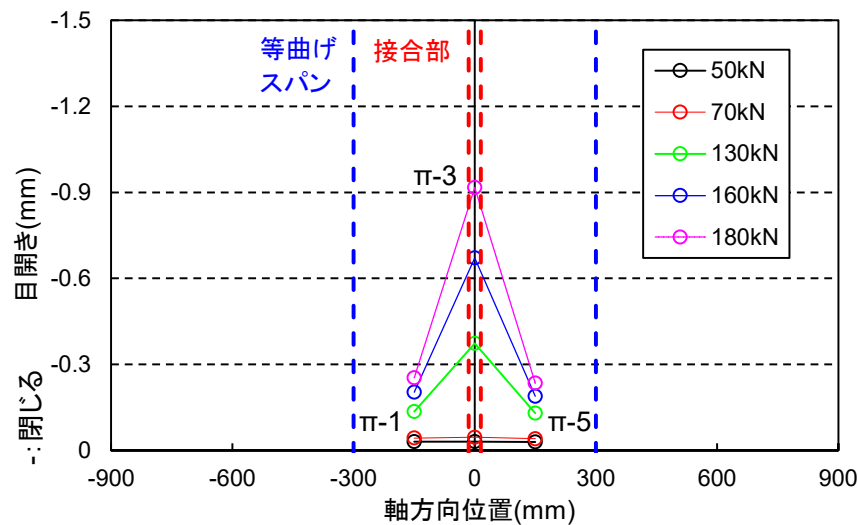


図-21 上面パイ型変位計の変化（TS3-A-2）

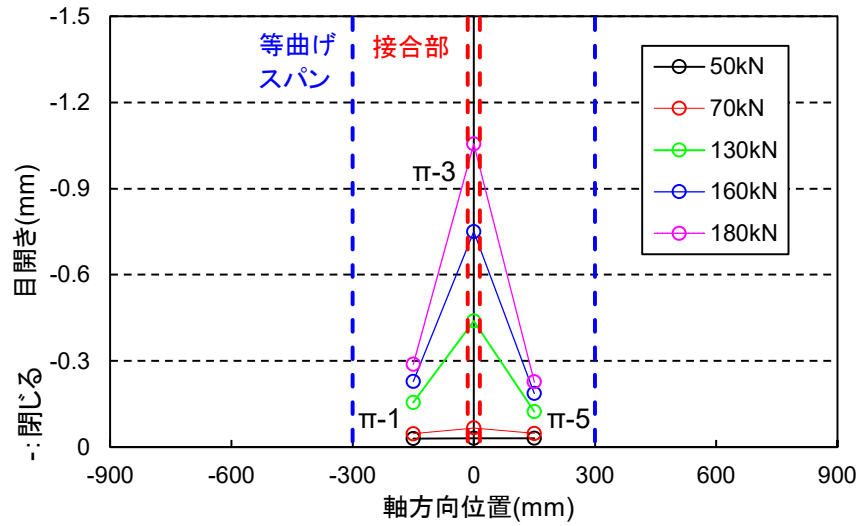


図-22 上面パイ型変位計の変化 (TS3-A-3)

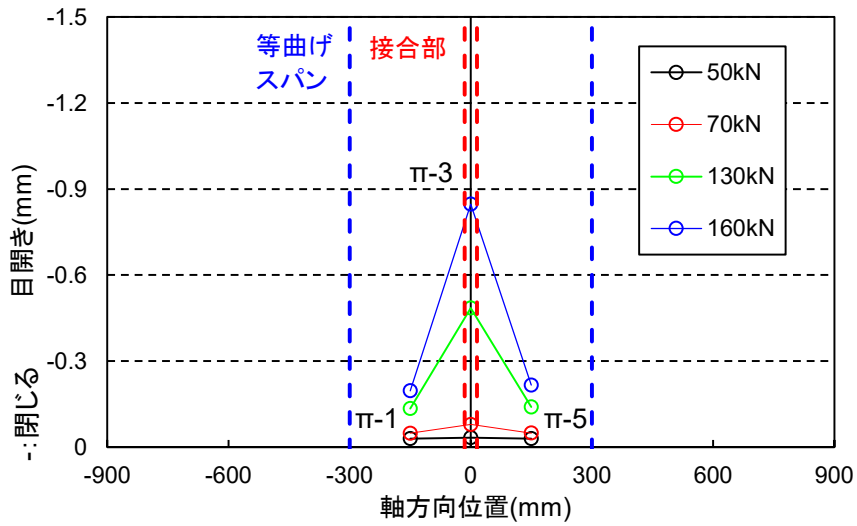


図-23 上面パイ型変位計の変化 (TS3-N-1)

3.3 接合部の曲率

図-24～図-27 に各載荷荷重における曲率分布を示す。曲率は隣接する3点の鉛直変位と測定位置を円で補間することで算出した。いずれの供試体も載荷荷重が大きくなるにつれて、接合部付近の曲率が大きくなり、接合面の目開き発生以降（70kN）は曲率が接合部付近に集中していることが分かる。

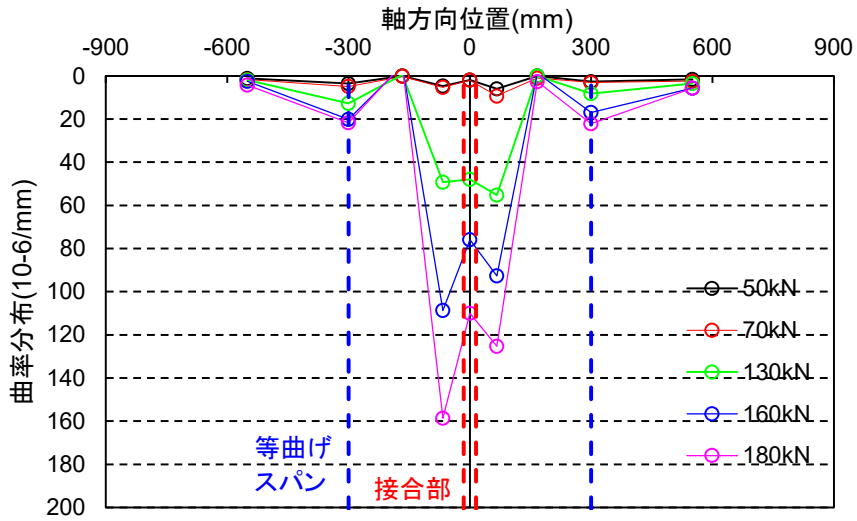


図-24 曲率分布 (TS3-A-1)

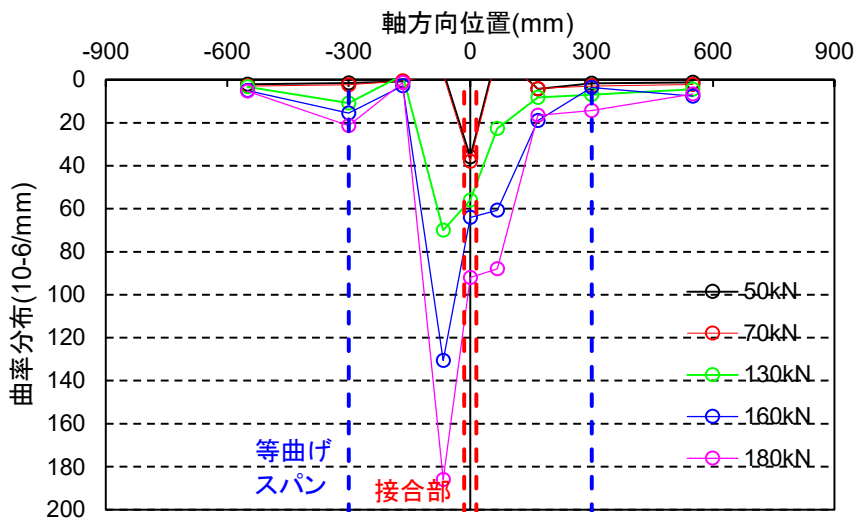


図-25 曲率分布 (TS3-A-2)

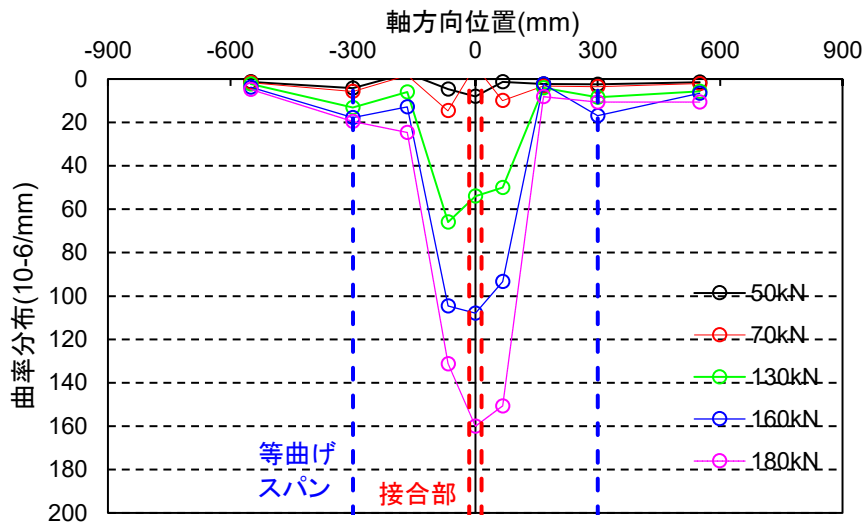


図-26 曲率分布 (TS3-A-3)

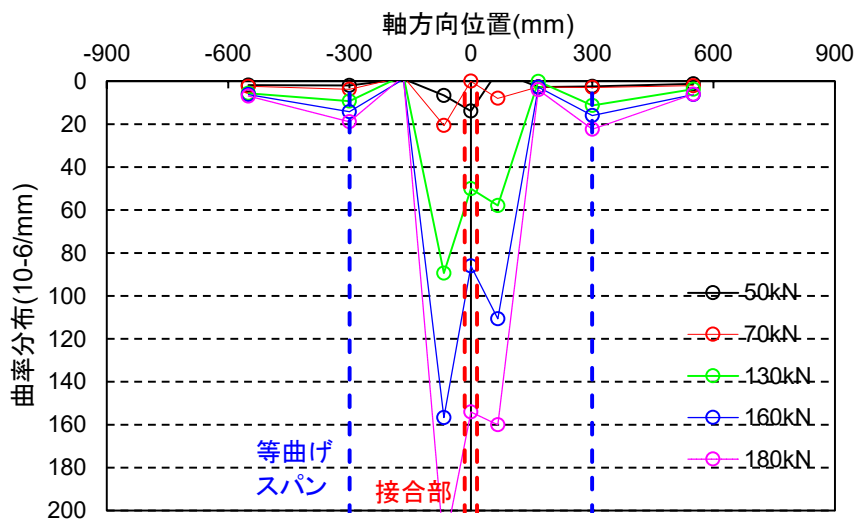


図-27 曲率分布 (TS3-N-1)

4. まとめ

平板タイプの UFC 床版を対象としたはりの曲げ試験を行なった。本検討で得られた結論を以下に示す。

- ・本構造では接合部に目開きが発生後、変形が接合部周辺に集中し、ヒンジのような挙動となることから、部材断面耐力は平面保持を仮定した断面耐力に達しない。
- ・本構造では接合部の FRC の特性に依存する。
- ・接合部における接合面の目荒しの有無により目開きの発生荷重および目開き後の挙動が影響し、接合面の目荒しを行うことで、接合面の目荒しを行わない場合と比較して荷重変位関係が若干高くなる。

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の
耐久性向上技術に関する共同研究報告書

第IV編 コンクリート床版の上面補修に関する試験報告

1. 屋外暴露試験

1.1 概要

過去の土木研究所の補修に関する検討では、車両が走行していない位置でもひび割れ等の劣化が発生することが確認された。補修材の劣化を受けた要因として、温度変化や乾湿繰り返し等の影響を受けたことが考えられた。また、実構造物の施工では、既設コンクリートと補修材の目地部および補修材同士の目地部（上下線の境界）の発生が避けられず、これらが劣化の起点になるおそれがあることから、目地部の仕様が補修効果の持続性に与える影響を確認することが望ましい。さらに、強度が高く粉体量の多い配合では、拘束条件によっては、自己収縮によるひび割れの発生が懸念される¹⁾。

以上から、上面補修を模擬した試験体を製作して屋外暴露試験を行うことで、温度変化等の影響、目地部の仕様の影響ならびに収縮によるひび割れに対する抵抗性を把握することとした。本報告書では、暴露後1年までの試験結果として、収縮によるひび割れに対する抵抗性を検討した。また、最終的には、温度変化や目地部等の影響を検討するための解体調査を行う予定であるため、解体調査の方針を整理した。

1.2 試験体の製作方法

1.2.1 床版模擬試験体と平板試験体

試験体は、昭和39年道路橋示方書により設計されたRC床版を想定し、10体を製作した。試験体の寸法と配筋を図-1.2.1.1に示す。補修材の施工を行う部位には、厚さ30mmの硬質ウレタンを設置し、あらかじめ断面が欠損するようにした。試験体の製作に用いたコンクリートは、JIS A 5308に適合したレディーミクストコンクリート「普通24 12 20 N」とした。

試験体の製作から約6か月後、ブレーカーまたはウォータージェットを用いてはつり工を実施した。試験体の目標はつり深さは、施工する補修材料に応じて5種類とした（表-1.2.1.1）。なお、目標はつり深さ30mmの場合は、ジェットたがねを用いて表面を処理した。ウォータージェットによるはつり後の全体状況およびはつり後の界面の状況をそれぞれ、図-1.2.1.2および図-1.2.1.3に示す。ウォータージェットの仕様は、目標はつり深さ30mm、40mmおよび50mm以上でそれぞれ、2穴回転ガンで水圧200MPa（表層研削用）、1穴回転ガンで水圧200MPa（鉄筋が露出する程度のはつり用）およびハンドガン(直射)で水圧120MPa（深いはつり用）とした。また、補修材の施工に先立ち、図-1.2.1.4のように鉄筋の軸方向にひずみゲージを貼り付けた。

平板試験体の基盤は、JIS A5371による歩道用コンクリート平板を用いた。コンクリート平板の表面をウォータージェット（2穴回転ガンで水圧200MPa）で処理した後、いずれの補修材料も厚さを30mmとして断面修復したものを平板試験体とした。

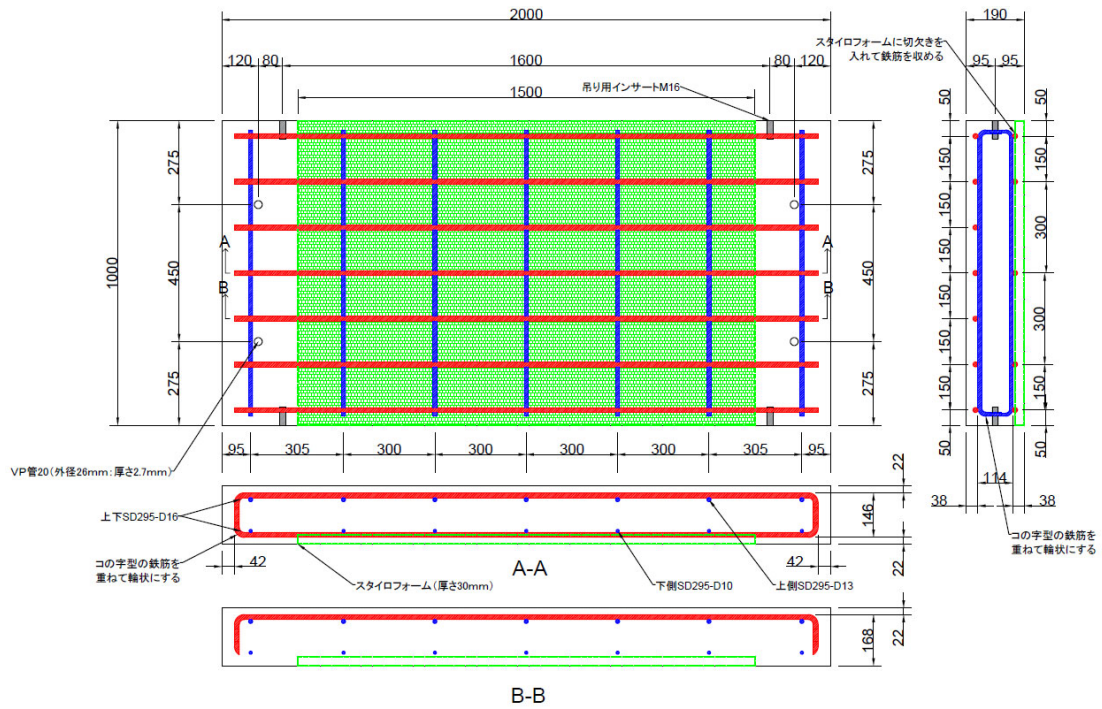


図-1.2.1.1 試験体の寸法と配筋

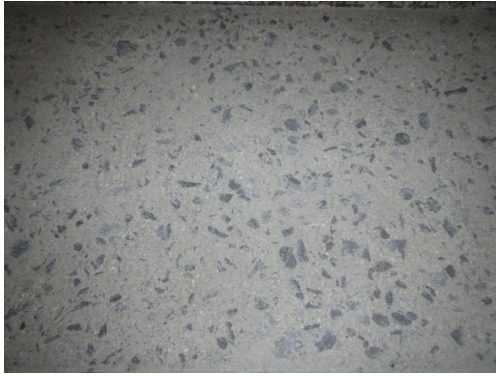
表-1.2.1.1 試験体の目標はつり深さ

	A (2体)	B (2体)	C (2体)	D (2体)	E (2体)
欠損深さ	60mm	50mm	40mm	30mm	50mm 及び 30mm※

※欠損範囲 1500×1000mm の内、2/3 が欠損深さ 50mm、1/3 が欠損深さ 30mm



図-1.2.1.2 ウォータージェットによるはつり後の全体状況 (目標はつり深さ 60mm)



(a)ジェットたがね, 目標深さ 30mm



(b)ウォータージェット, 目標深さ 30mm



(c)ブレーカー, 目標深さ 40mm



(d)ウォータージェット, 目標深さ 40mm



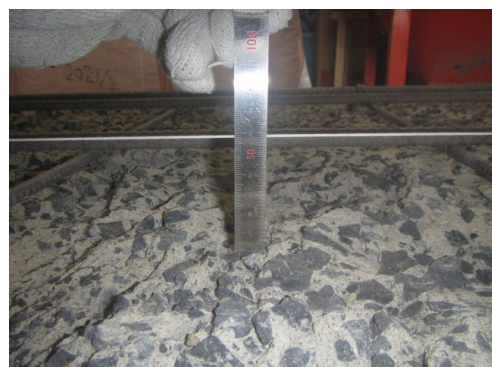
(e)ブレーカー, 目標深さ 50mm



(f)ウォータージェット, 目標深さ 50mm



(g)ブレーカー, 目標深さ 60mm



(h)ウォータージェット, 目標深さ 60mm

図-1.2.1.3 はつり後の界面の状況

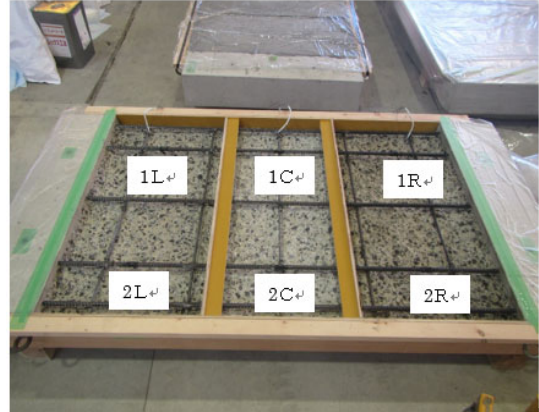
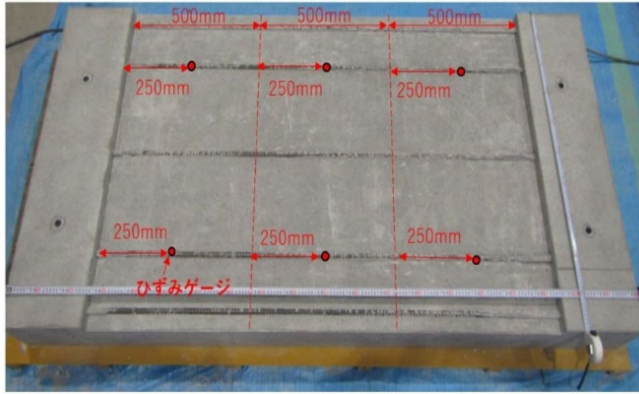


図-1.2.1.4 ひずみゲージの貼付け位置 (左：測定位置，右：測定位置の記号)

1.2.2 DK

補修材の施工に先立ち、下地コンクリート表面の処理として、図-1.2.2.1 に示すように中央から左側にはプライマーを塗布し、同図中央から右側は水湿しを行った。プライマーの塗布状況を図-1.2.2.2 に示す。

補修材の施工は、実施工を模擬した目地となるように、図-1.2.2.3 に示すように型枠を配置して左側 500mm と右側 500mm の範囲の施工を先行し、これらの施工の翌日に中央 500mm の範囲の施工を行った。補修材の施工状況を図-1.2.2.4 に示す。

補修材料の配合を表-1.2.2.1 に示す。補修材料には、セメントと細骨材がプレミックスされているもので、注水後 3 時間でコンクリートとして 20N/mm^2 以上の圧縮強度を発現する配合を用いた。

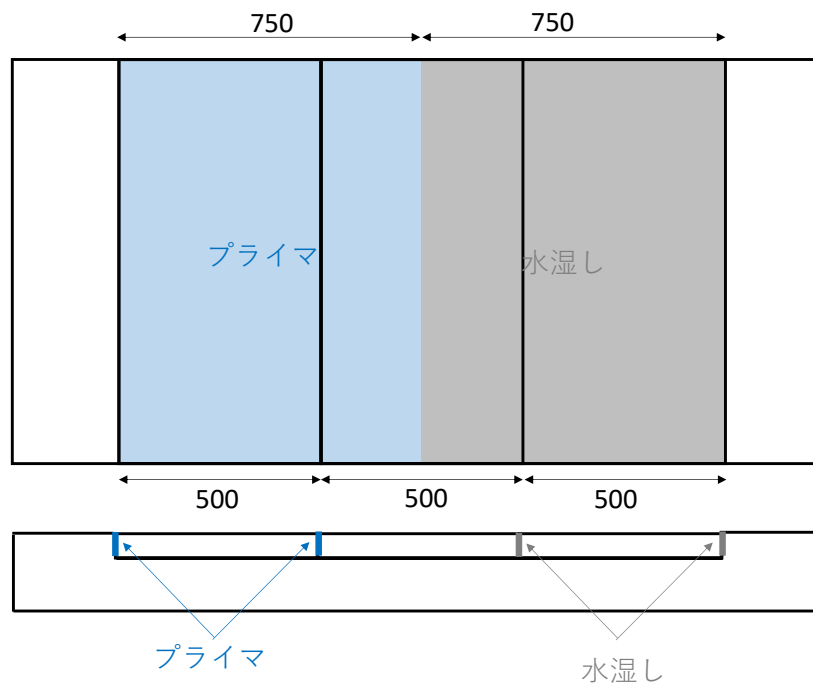


図-1.2.2.1 下地コンクリート表面の処理と補修材の施工範囲

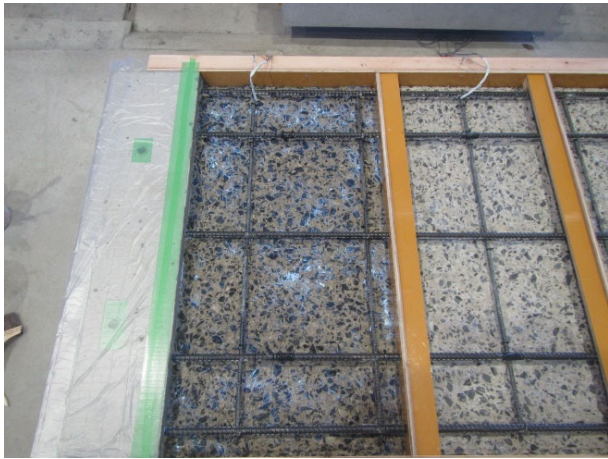


図-1.2.2.2 プライマー塗布状況

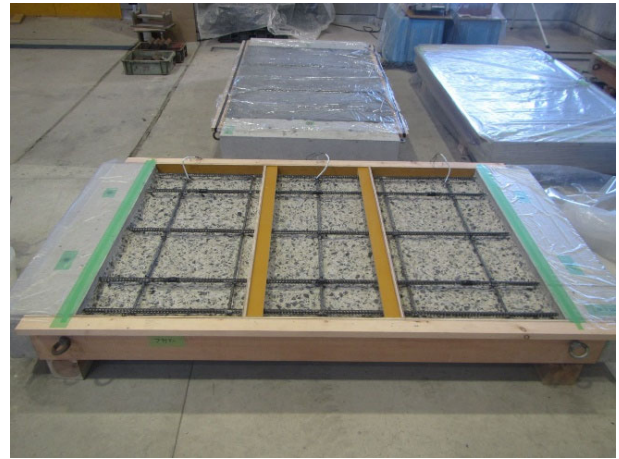


図-1.2.2.3 型枠の設置状況



図-1.2.2.4 補修材の施工状況

表-1.2.2.1 補修材料の配合

W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)			
		W	C*	S**	G
39.0	44.4	160	410	791	1002

*注水後 3 時間でコンクリートとして 20N/mm² 以上の圧縮強度を発現するもの、

**絶乾状態

1.2.3 TS

試験体の断面図を図-1.2.3.1に示す。補修材（UHPFRC）の厚さは40mmとし、補修材の施工は2回に分けて行った。表-1.2.3.1および表-1.2.3.2に補修材（UHPFRC）の使用材料、配合を示す。コンクリートの打継面は湿潤面および接着剤塗布面とし、補修材の施工目地部には引張補強材としてFRP格子筋を設置した。表-1.2.3.3および表-1.2.3.4に接着剤、引張補強材の仕様を示す。なお、接着剤は試験値、引張補強材はカタログ値である。また、補修材両端部におけるコンクリートとの打継部には、補修材硬化後に打継部を中心とした切れ目（幅8mm）を深さ20mmで入れ、常温型目地材（アスファルト乳剤型）を注入した。

補修材の施工はコンクリート試験体上に型枠を設置した後（図-1.2.3.2）、打継面に散水あるいは接着剤塗布の処理を行い（図-1.2.3.3～図-1.2.3.5）、打込みを行った（図-1.2.3.6）。補修材の締固めには図-1.2.3.7に示すような鋼材を取り付けたバイブレータを使用し、補修材上面から締固めを行っている。補修材施工後は、補修材上面にビニールシートを敷設し乾燥を防いだ状態で養生を行った。

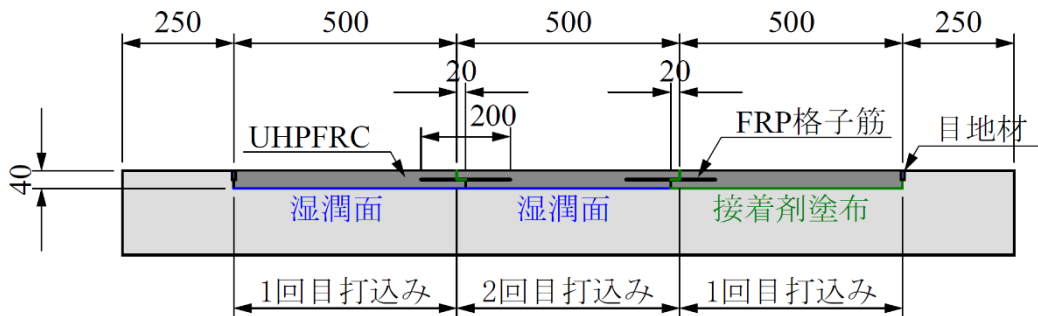


図-1.2.3.1 試験体断面図

表-1.2.3.1 補修材（UHPFRC）の使用材料

使用材料	記号	概要
結合材	B	ポルトランドセメント、シリカフェーム等の混和材を予め混合した粉体
骨材	S	珪砂(粒径2.5mm以下)
鋼繊維	F	長さ:15mm, 直径:0.2mm, アスペクト比:75 引張強度:2,000N/mm ² 以上
高性能減水剤	SP	専用減水剤
空気量調整剤	AC	ポリアルキレングリコール誘導体

表-1.2.3.2 補修材（UHPFRC）の配合

単位量 (kg/m ³)					
	W		B	S	F
	SP	AC			
185	14	1	1,108	1,129	157 (2vol.%)

表-1.2.3.3 接着剤の仕様

硬化物 比重	圧縮降伏強さ (N/mm ²)	圧縮弾性率 (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	引張せん断強さ (N/mm ²)
1.53	83.6	3,277	53.7	22.5

表-1.2.3.4 引張補強材の仕様

筋断面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)	格子間隔 (mm)	単位重量 (g/m ²)
26.4	1,400	100,000	50×50	1,510



図-1.2.3.2 型枠の設置状況

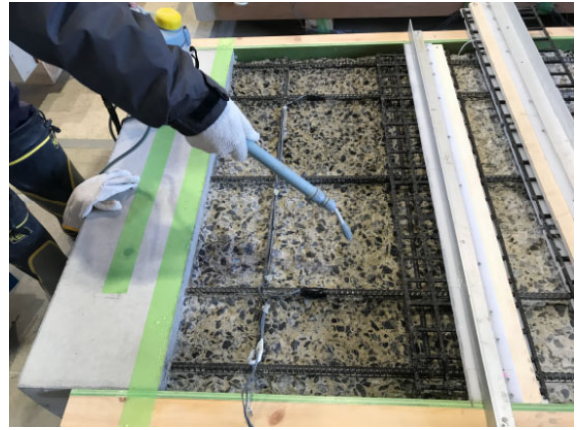


図-1.2.3.3 打継面への散水状況

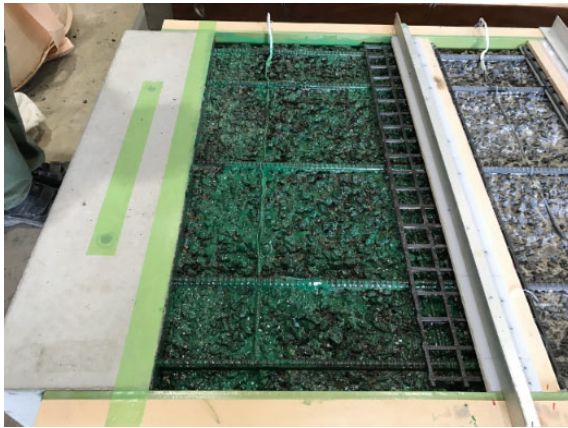


図-1.2.3.4 接着剤塗布状況



図-1.2.3.5 中央部打設前状況（散水処理）



図-1.2.3.6 補修材打込み状況



図-1.2.3.7 補修材上面仕上げ状況

1.2.4 S

試験体の下地コンクリートは、図-1.2.4.1 に示すように左側 500mm、中央部 500mm、右側 500mm の 3 ブロックに区分けした。下地コンクリートの処理は、中央部を超えて 800mm 程度までを接着剤をハケ塗りし、残りを水湿しとした。境界部には、20mm の緩衝地帯（無処理）を設け、接着剤と水湿しが干渉しないようにした。

施工のブロック区分けは、図-1.2.4.2 のように木製型枠で分割し、接着剤と水湿しの施工は、下地コンクリートと側面のコンクリート面にも同様に行なった。分割に用いる型枠は、鉄筋位置にスリットを設け、鉄筋と型枠の間はパテ材で補修材の流出を防いだ。また、型枠面には、図-1.2.4.3 のように鉛直打継目処理用樹脂シートを貼り付けることで打継ぎ目に凹凸形状を形成した。補修材の施工は、図-1.2.4.4 のように両端部を打込み、コテで均したのちにビニールシートを密着させ全体を覆い乾燥を防いだ。

硬化後、境界の型枠を取り外し、図-1.2.4.5 のように下地コンクリートと側面の打継ぎ目に接着剤と水浸し処理を実施した。直後に図-1.2.4.6 のように中央部の打込みを実施し、同様に、コテ仕上げとビニールによる養生を実施した。

本試験体に使用した補修材料は、超高強度合成繊維補強コンクリートで、結合材であるセメント材料と細骨材、合成繊維で構成されている。練混ぜ水は、専用の混和剤を混合し強制二軸ミキサで練混ぜを行った。補修材料の圧縮強度は、20°C環境下では材齢 28 日で 100N/mm^2 となる。配合を表-1.2.4.1 に示す。使用した接着剤は、硬化したコンクリートとフレッシュコンクリートの打継ぎに用いるエポキシ樹脂接着剤であり、基本物性（カタログ値）を表-1.2.4.2 に示す。また、鉛直打継目処理用樹脂シートの仕様と形状寸法を表-1.2.4.3 に示す。

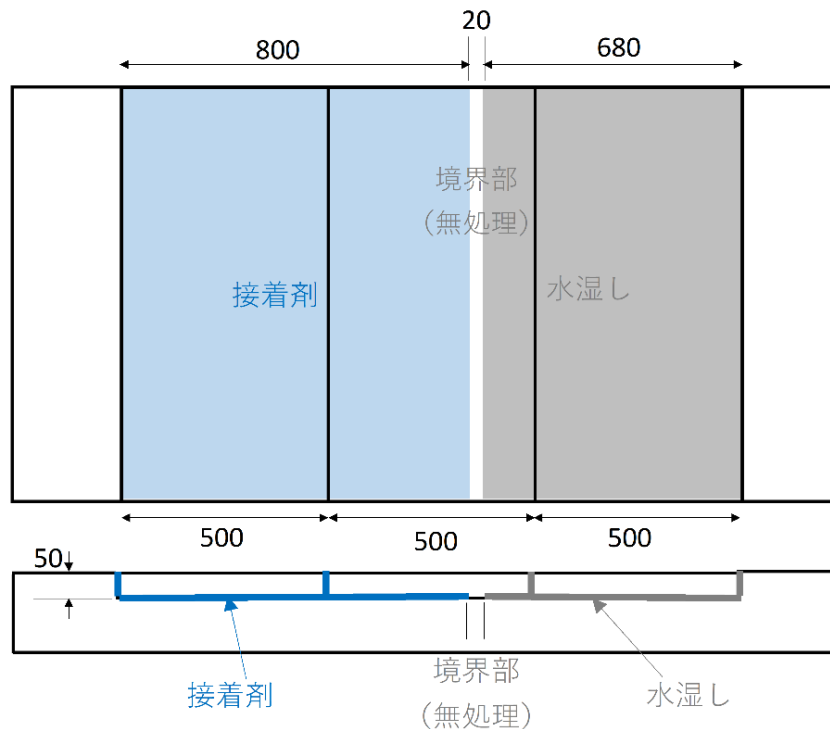


図-1.2.4.1 下地コンクリート処理の施工範囲

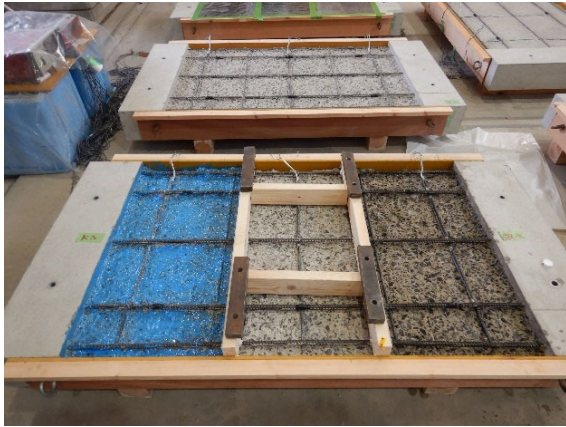


図-1.2.4.2 下地コンクリート処理（両端部）

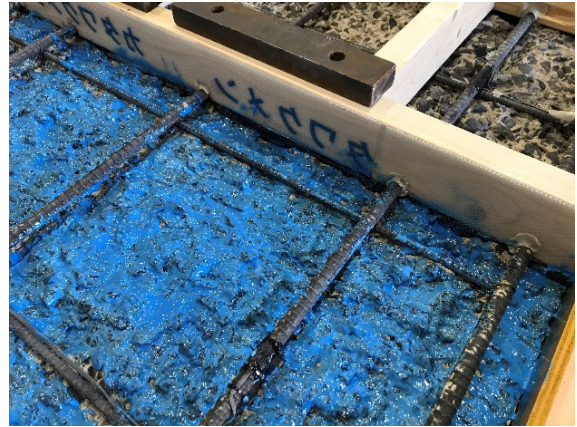


図-1.2.4.3 鉛直打継目処理用樹脂シートの貼付け

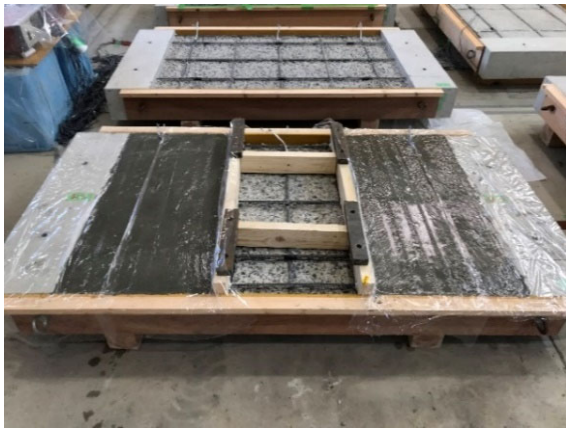


図-1.2.4.4 補修材施工（両端部）



図-1.2.4.5 下地コンクリート処理（中央部）



図-1.2.4.6 補修材施工（中央部）

表-1.2.4.1 配合表

水結合 材比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
	水	結合材		細骨材	PVA	混和剤	消泡剤	増粘剤
		プレミックス セメント	膨張材					
16.0	198	1480	20	650	39.0	38.25	0.55	0.30

表-1.2.4.2 エポキシ系接着剤物性表

混合比 (主剤 : 硬化剤)	5 : 1
硬化物比重	1.40±0.20
圧縮強さ	50 N/mm ² 以上
圧縮弾性係数	1000 N/mm ² 以上
曲げ強さ	35 N/mm ² 以上
引張剪断強さ	10 N/mm ² 以上
コンクリート付着強さ	1.6 N/mm ² 以上または母材破壊
標準塗布量	1.4kg/m ² (人力施工)

表-1.2.4.3 鉛直打継目処理用樹脂シートの仕様と形状寸法

製品材料	ポリプロピレン樹脂
製品寸法	900mm×900mm
厚さ・色	厚さ 0.4mm, 乳白色
凸状突起高さ・配置間隔	高さ 2mm, 間隔 3mm

1.2.5 KJ

補修材は、型枠を配置して左側 500mm と右側 500mm の範囲を先行して施工した。下地コンクリート表面の処理と補修材の施工範囲を図-1.2.5.1 に示す。補修材の施工に先立ち、コンクリート表面は全範囲に水湿しを行った。この後、はつり深さ 30mm 側については、端部から 100mm にエポキシ接着剤を塗布した。型枠の設置は図-1.2.5.2 に示すとおり、中央の補修材同士の鉛直打継ぎ面については、棲型枠に凹凸シートを設置している。

左右の範囲を施工した翌日に棲型枠を脱型し、コンクリート表面の水湿しと鉛直打継ぎ面へのエポキシ接着剤を行った後、中央 500mm の範囲の施工を行った。図-1.2.5.3 にエポキシ接着剤の塗布状況を、図-1.2.5.4 に補修材の施工状況を示す。

補修材料の配合を表-1.2.5.1 に示す。補修材料は、エトリンナイト生成系の UHPFRC（超高性能繊維補強セメント系複合材料）であり、水結合材比が 15.2%の超高強度モルタルに、鋼繊維を 3.0vol.%混入されているものである。

補修材の養生は、図-1.2.5.5 に示すように水分逸散防止としてコテ仕上げ完了後にシートを密着させ、屋外暴露までシートを設置した。

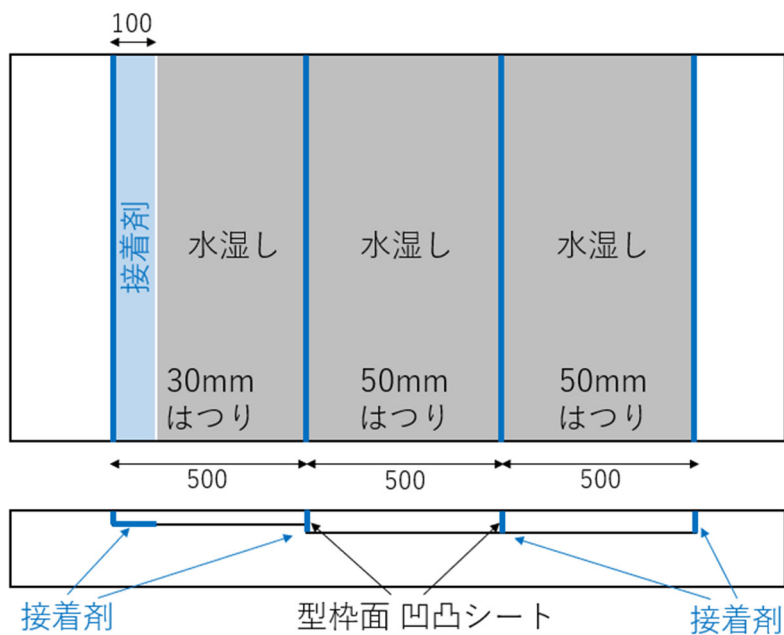


図-1.2.5.1 下地コンクリート表面の処理と補修材の施工範囲 (KJ)



図-1.2.5.2 型枠の設置状況 (KJ)

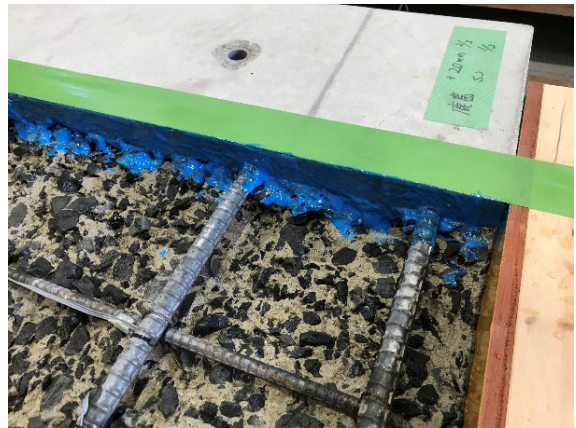
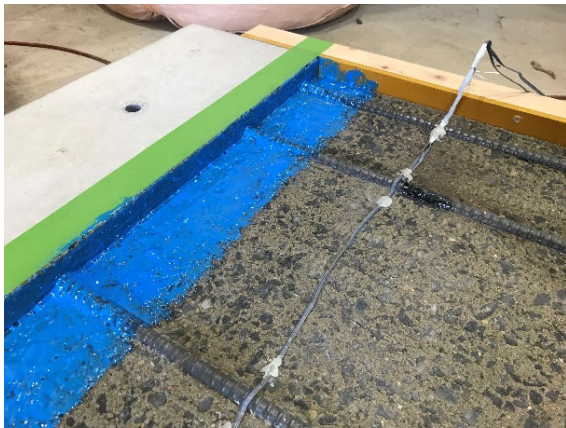


図-1.2.5.3 エポキシ接着剤の塗布状況 (KJ)



図-1.2.5.4 補修材の施工状況 (KJ)

表-1.2.5.1 補修材の配合 (UHPFRC)

W/B (%)	Air (%)	単体量 (kg/m ³)					鋼繊維***
		水* W	結合材** B	細骨材 S	収縮 低減剤	高性能 減水剤	
15.2	2.0	195	1,287	905	12.9	32.2	235.5 3.0vol.%

* 高性能減水剤中の水分を含む

** エトリンナイト生成系プレミックス結合材 (収縮低減型)

*** 繊維長 15mm, 径 0.2mm, 引張強度 2,000N/mm² 以上

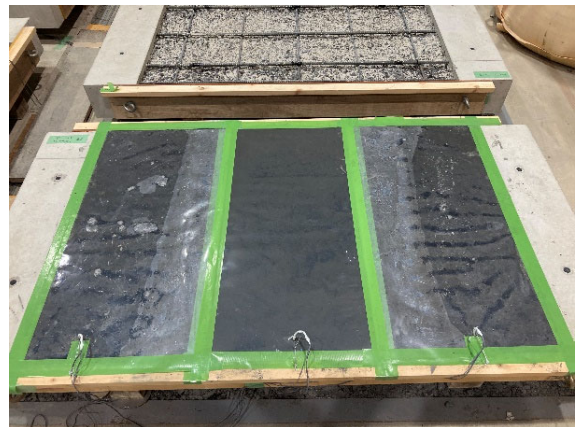


図-1.2.5.5 補修材の養生状況 (KJ)

1.2.6 JT

補修材の施工に先立ち、補修材との境界部となる下地コンクリートの立上り部に切れ込みを入れ、補修材同士の打ち継ぎ部には施工目地を跨ぐ形でワイヤーマッシュを設置する。下地コンクリートへの切れ込みとワイヤーマッシュの設置イメージを図-1.2.6.1 に示す。

補修材打ち込み面の塵埃を除去し散水により水浸しを行い、中央部を除く両側 500mm ずつの範囲に補修材を打ち込み、表面に珪砂を散布し散水した後ビニールシートを被せて養生を行い 1 日目の施工を終了した。

2 日目の中央部の施工に先立ち、図-1.2.6.2 に示すように補修材の打ち継ぎ面に切れ込みを入、1 日目と同様に打ち込み面の塵埃を除去した後、散水による水浸しを行ったうえで中央部に補修材を打ち込んだ。

表-1.2.6.1 に補修材の標準配合の仕様を示す。

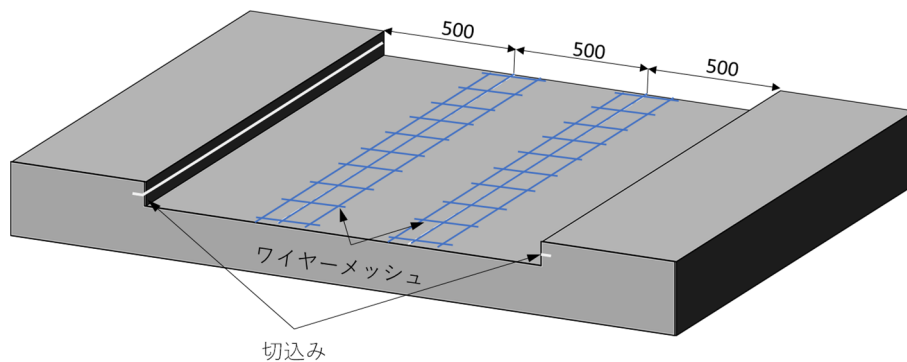


図-1.2.6.1 下地コンクリートへの切れ込みとワイヤーマッシュの設置

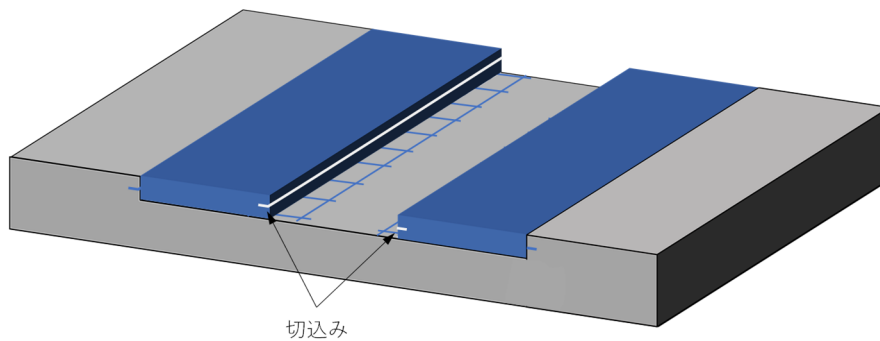


図-1.2.6.2 補修材打ち継ぎ面への切れ込み

表-1.2.6.1 補修材の仕様

設計強度 (N/mm ²)	単 位 量 (kg/m ³)					混和液粉体比 (%) (We /P)
	専用 ミックスセメント (P)	専用混和液 (We)	補強用鋼製 メゾ繊維	補強用鋼製 マイクロ繊維	その他 混和材(剤)	
130以上	1850	290	196	196	—	15

床版模擬試験体への切込み作業状況，準備工の完了状況および補修材の施工状況をそれぞれ，図-1.2.6.3～5に示す．また，中央層の施工前状況および補修材の打込み完了状況を図-1.2.6.6および図-1.2.6.7に示す．

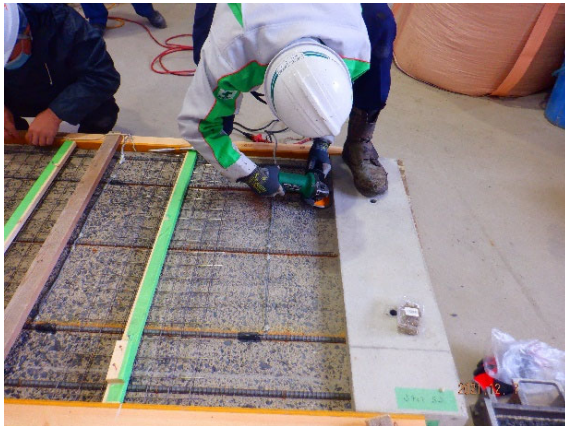


図-1.2.6.3 下地コンクリートへの切込み作業

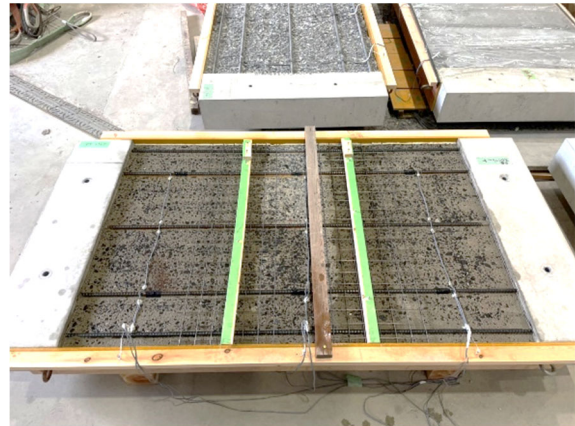


図-1.2.6.4 準備工の完了状況

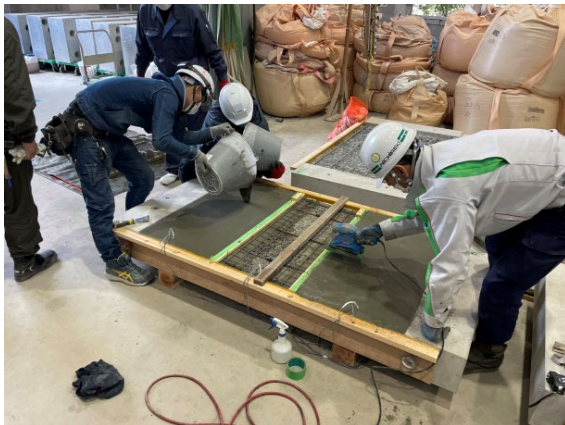


図-1.2.6.5 補修材の施工状況

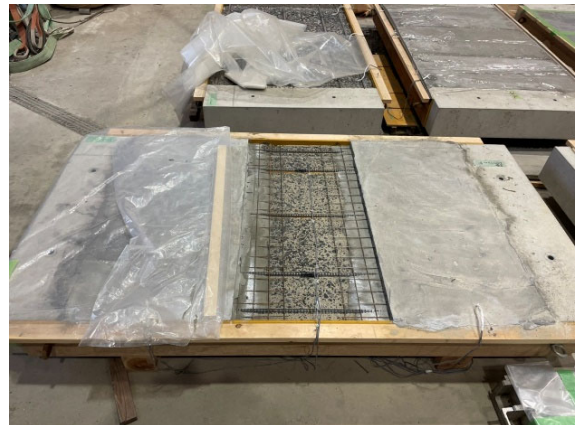


図-1.2.6.6 中央層の施工前状況

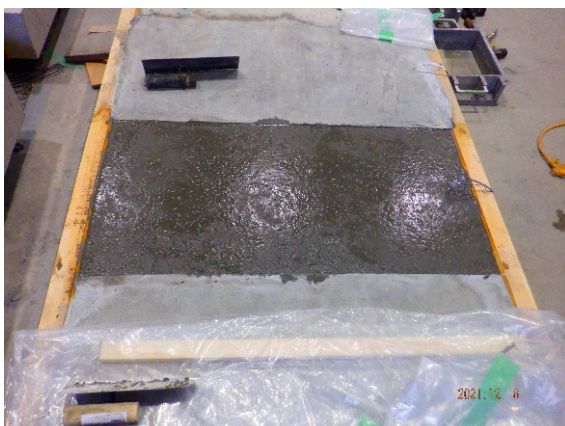


図-1.2.6.7 補修材打込みの完了状況

1.2.7 試験体の暴露状況

床版模擬試験体，平板および円柱試験体を図-1.2.7.1 に示す．これらの試験体の暴露は，2022 年 2 月 7 日に開始した．なお，いずれの試験体も，暴露開始は材齢 28 日以降とし，暴露開始までは室内にてシート養生とした．



左側：ブレーカー等によるはつりを行った試験体，
右側：ウォータージェットによるはつりを行った試験体



図-1.2.7.1 暴露試験状況（上：床版模擬試験体，下：平板と円柱）

1.3 測定項目

屋外暴露を実施するにあたり、各補修材料の基礎的な物性を把握するため、圧縮強度試験（JIS A 1108）、割裂引張強度試験（JISA 1113）、曲げ強度試験（JSCE G-552）および平板試験体を用いた付着試験（JSCE-K531）を共通項目として品質管理試験を実施した。各試験体は、床版模擬試験体と同時に製作した。

各試験体で共通して実施した試験の項目を表-1.3.1.1 に示す。試験体の養生は、床版模擬試験体と同じく気中養生とした。これ以外の試験については、表-1.3.1.2～6 に示すように試験体毎に適宜追加した。

屋外暴露開始後、各補修材料の材齢約1年まで、外観の目視観察と鉄筋ひずみ（図-1.2.1.4 に示す位置）の連続測定を行った。鉄筋ひずみは、補修材料の収縮を間接的に評価するために測定した。

表-1.3.1.1 各試験体で共通して実施した品質管理試験の項目

試験項目	材齢あたりの試験数	試験材令
圧縮強度試験	3 体	1 日, 7 日, 28 日
静弾性係数試験	6 体	材齢約 1 か月～2 か月（暴露開始時点）
割裂引張試験	3 体以上	28 日
曲げ強度試験（JSCE G-552）※	4 体	28 日
平板試験	3 回	1 日, 材齢約 11 か月～12 か月（暴露開始から約 10 か月）
表層透気試験（下地コンクリートが対象）	1 回	材齢約 5 か月～6 か月（暴露開始から約 4 ヶ月）

※繊維補強コンクリートが対象

表-1.3.1.2 DK の品質管理試験項目

試験種別	供試体寸法	試験数量	試験材齢					
			1d	7d	14d	28d	56d	91d
圧縮強度試験	φ100×200	3	○	○		○		○
静弾性係数試験	φ100×200	6						
割裂引張強度試験	φ100×200	3				○		
切欠きはりの曲げ試験	□100×100×400	－						
切欠きなしの曲げ試験	□100×100×400	－						

表-1.3.1.3 TS の品質管理試験項目

試験種別	供試体寸法	試験数量	試験材齢					
			1d	7d	14d	28d	56d	91d
圧縮強度試験	φ 50×100	3	○	○		○		○
静弾性係数試験	φ 100×200	3		○		○		○
静弾性係数試験	φ 50×100	6						
割裂引張強度試験	φ 100×110	6		○		○		○
切欠きはりの曲げ試験	□100×100×400	6		○		○		○
切欠きなしの曲げ試験	□100×100×400	4				○		

表-1.3.1.4 S の品質管理試験項目

試験種別	供試体寸法	試験数量	試験材齢					
			1d	7d	14d	28d	56d	91d
圧縮強度試験	φ 50×100	3	○	○	○	○	○	
静弾性係数試験	φ 100×200	3		○		○	○	
静弾性係数試験	φ 50×100	6						
割裂引張強度試験	φ 100×200	3				○		
切欠きはりの曲げ試験	□100×100×400	-						
切欠きなしの曲げ試験	□100×100×400	4				○		

表-1.3.1.5 KJ の品質管理試験項目

試験種別	供試体寸法	試験数量	試験材齢					
			1d	7d	14d	28d	56d	91d
圧縮強度試験	φ 50×100	3	○	○		○		○
静弾性係数試験	φ 100×200	3		○		○		○
静弾性係数試験	φ 50×100	6						
割裂引張強度試験	φ 100×200	3		○		○		○
切欠きはりの曲げ試験	□100×100×400	-						
切欠きなしの曲げ試験	□100×100×400	4				○		○

表-1.3.1.6 JT の品質管理試験項目

試験種別	供試体寸法	試験数量	試験材齢					
			1d	7d	14d	28d	56d	91d
圧縮強度試験	φ 50×100	3	○	○		○		
静弾性係数試験	φ 100×200	-				○		
静弾性係数試験	φ 50×100	6						
割裂引張強度試験	φ 100×200	-				○		
切欠きはりの曲げ試験	□100×100×400	-				○		
切欠きなしの曲げ試験	□100×100×400	-				○		

1.4 測定結果

下地コンクリートの品質管理試験結果を表-1.4.1.1, 各補修材料の品質管理試験結果を表-1.4.1.2~6 に示す。また、曲げ試験結果を図-1.4.1.1~4 に示す。図-1.4.1.2 は、試験の結果得られた荷重-ひび割れ肩口開口変位関係のうち最大および最小のデータを除去した 4 体の平均曲線を作成し、JCI-S-001-2003 付属書「コンクリートの引張軟化曲線の推定方法」に準じて引張軟化曲線の推定を行ったものである。

各補修材料の材齢約 1 年時点での外観を図-1.4.1.5~9 に示す。いずれの補修材料も、目視ではひび割れは確認されなかった。

表-1.4.1.1 下地コンクリートの品質管理試験結果

試験種別	供試体寸法 (mm)	試験数量 (個)	材齢 (日)	試験結果											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	
供試体No.															
圧縮強度試験	φ100×200	3	28		28.8	29.3	31.0	---	---	---	---	---	---	---	29.7
静弾性係数試験	φ100×200	3	366	f_c (N/mm ²)	31.6	27.3	21.0*	---	---	---	---	---	---	---	29.4
				E_c (kN/mm ²)	25.6	26.0	26.5	---	---	---	---	---	---	---	25.8
表層透気試験	床版模擬試験体で測定	10	130	K_t ($\times 10^{-16}$ m ²)	0.146	2.52	0.051	0.260	0.018	0.230	0.269	0.216	0.260	0.092	0.407

*測定不良と判断し平均値からは除外

表-1.4.1.2 DK の品質管理試験結果

試験種別	供試体寸法 (mm)	試験数量 (個)	材齢 (日)	試験結果								
				1	2	3	4	5	6	平均		
供試体No.												
圧縮強度試験	φ100×200	3	1	f_c (N/mm ²)	55.0	54.8	53.2	---	---	---	---	54.3
		3	7		64.8	61.2	64.9	---	---	---	63.6	
		3	28		59.9	68.0	68.4	---	---	---	65.4	
		3	91		67.9	63.4	72.5	---	---	---	67.9	
静弾性係数試験	φ100×200	3	31	f_c (N/mm ²)	62.0	66.2	73.0	73.1	70.6	69.8	69.1	
				E_c (kN/mm ²)	39.6	38.4	40.9	40.2	42.9	38.8	40.1	
割裂引張試験	φ100×200	3	28	f_t (N/mm ²)	3.30	3.65	4.31	---	---	---	3.75	
平板付着試験	300×300×30	3	1	f_a (N/mm ²)	1.44	1.52	1.43	---	---	---	1.46	
		3	325		1.83	2.32	2.24	---	---	---	2.13	

※平板付着試験における破壊形態：材齢 1 日，補修材のごく表層の凝集破壊 (n=3)；材齢 325 日，補修材の凝集破壊 (n=3)

表-1.4.1.3 TS の品質管理試験結果

試験種別	供試体寸法 (mm)	試験数量 (個)	材齢 (日)	試験結果							
				供試体No.	1	2	3	4	5	6	平均
圧縮強度試験	φ50×100	3	1	f_c (N/mm ²)	3.88	3.88	4.29	---	---	---	4.02
		3	7		106	110	107	---	---	---	108
		3	28		146	160	146	---	---	---	151
		3	91		187	189	190	---	---	---	189
静弾性係数試験	φ100×200	3	7	f_c (N/mm ²)	105	106	103	---	---	---	105
				E_c (kN/mm ²)	37.1	38.5	37.0	---	---	---	37.5
		3	28	f_c (N/mm ²)	143	148	141	---	---	---	144
				E_c (kN/mm ²)	43.3	43.6	43.4	---	---	---	43.4
		3	91	f_c (N/mm ²)	187	176	175	---	---	---	179
				E_c (kN/mm ²)	49.3	48.6	48.9	---	---	---	48.9
静弾性係数試験	φ50×100	6	50	f_c (N/mm ²)	151	125	138	139	147	144	140.7
				E_c (kN/mm ²)	43.7	41.0	43.2	43.2	43.8	43.0	43.0
割裂引張試験	φ100×110	6	7	f_{cr} (N/mm ²)	6.00	5.30	6.79	7.32	5.97	6.90	6.28
		6	28		7.76	7.80	7.66	7.31	7.11	6.86	7.42
		6	91		8.08	6.57	8.76	7.86	6.32	8.26	7.64
切欠きなし供試体の曲げ試験	□100×400	4	28	f_b (N/mm ²)	29.7	29.7	23.7	28.0	---	---	27.8
切欠きはりをを用いた曲げ試験	□100×400	6	7	f_t (N/mm ²)	8.08					---	
				w_1 (mm)	0.85					---	
				w_2 (mm)	4.74					---	
		6	28	f_t (N/mm ²)	9.67					---	
				w_1 (mm)	1.03					---	
				w_2 (mm)	5.06					---	
		6	91	f_t (N/mm ²)	11.0					---	
				w_1 (mm)	0.88					---	
				w_2 (mm)	4.65					---	
平板附着試験	300×300×30	3	1	f_a (N/mm ²)	0.69	0.56	0.65	---	---	---	0.63
		3	344		2.91	3.77	4.29	---	---	---	3.66

※平板附着試験における破壊形態：材齢 1 日，補修材のごく表層の凝集破壊 (n=3)；材齢 344 日，下地コンクリートの凝集破壊 (n=3)

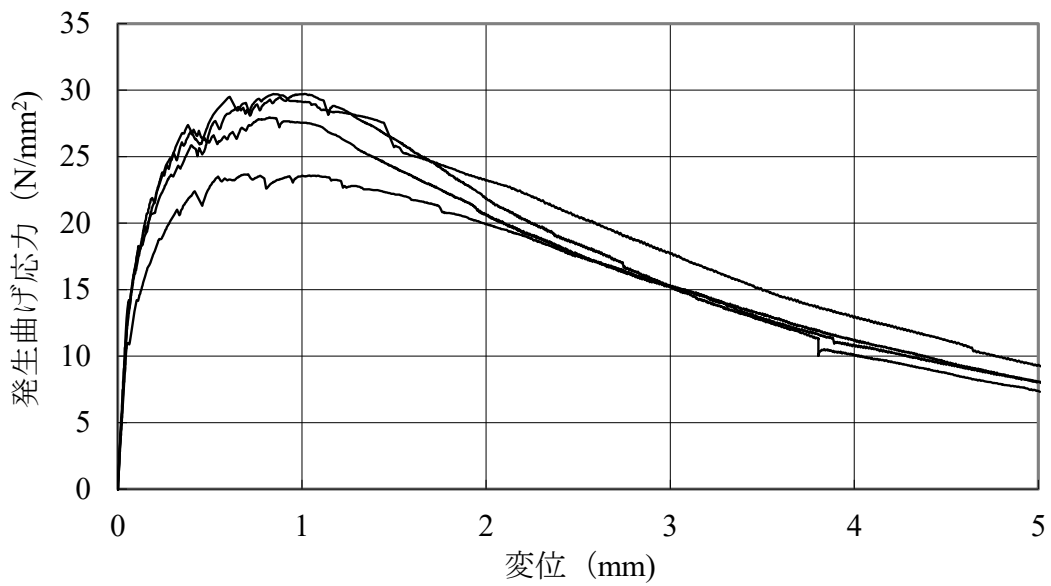


図-1.4.1.1 TS切欠きなし試験体の曲げ試験結果 (材齢 28 日)

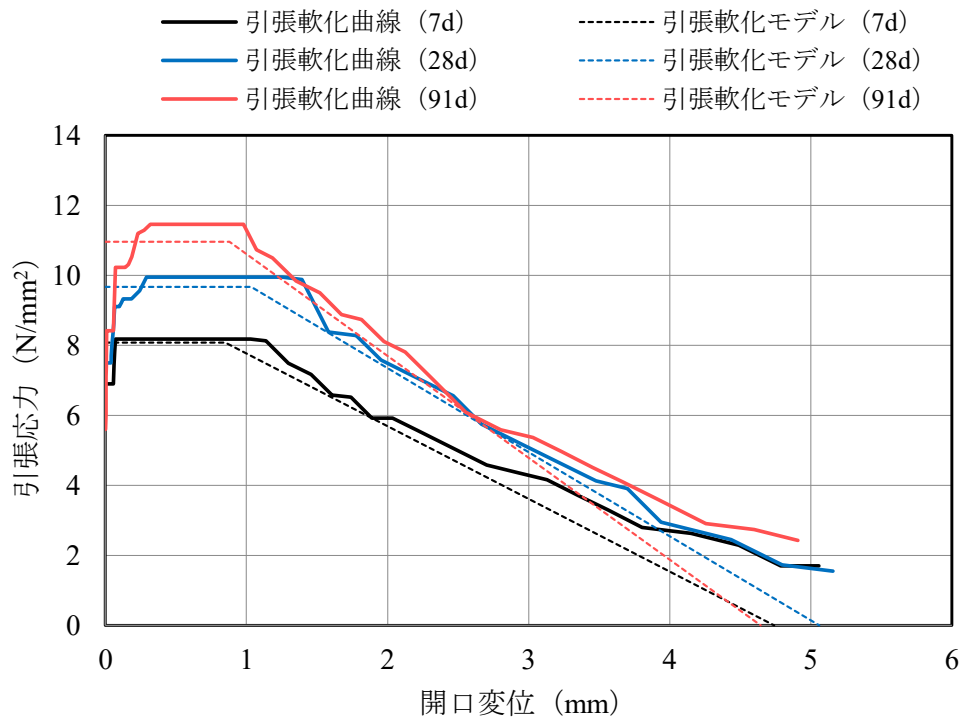


図-1.4.1.2 TS切欠きあり試験体の曲げ試験結果

表-1.4.1.4 KJの品質管理試験結果

試験種別	供試体寸法 (mm)	試験数量 (個)	材齢 (日)	試験結果							
				供試体No.	1	2	3	4	5	6	平均
圧縮強度試験	φ50×100	3	1	f_c (N/mm ²)	17.1	18.1	18.0	---	---	---	17.7
静弾性係数試験	φ50×100	3	7	f_c (N/mm ²)	116	117	118	---	---	---	117
				E_c (kN/mm ²)	38.2	39.2	40.2	---	---	---	39.2
		3	28	f_c (N/mm ²)	160	162	164	---	---	---	162
				E_c (kN/mm ²)	43.2	44.2	45.2	---	---	---	44.2
		6	66	f_c (N/mm ²)	151	147	153	139	152	151	150
				E_c (kN/mm ²)	43.9	44.3	43.6	43.8	43.3	43.8	43.9
3	91	f_c (N/mm ²)	179	180	181	---	---	---	180		
		E_c (kN/mm ²)	45.6	46.6	47.6	---	---	---	46.6		
静弾性係数試験	φ100×200	3	7	f_c (N/mm ²)	125.6	126.6	127.6	---	---	---	127
				E_c (kN/mm ²)	37.6	38.6	39.6	---	---	---	38.6
		3	28	f_c (N/mm ²)	154.8	155.8	156.8	---	---	---	156
				E_c (kN/mm ²)	41.9	42.9	43.9	---	---	---	42.9
		3	91	f_c (N/mm ²)	176	177	178	---	---	---	177
				E_c (kN/mm ²)	44.6	45.6	46.6	---	---	---	45.6
割裂引張試験	φ100×200	3	7	f_{cr} (N/mm ²)	15.50	16.5	17.50	---	---	---	16.5
		3	28		16.6	17.6	18.6	---	---	17.6	
		3	91		17.6	18.6	19.6	---	---	18.6	
切欠きなし供試体の曲げ試験	□100×400	4	28	f_b (N/mm ²)	36.8	37.8	37.8	39.8	---	---	38.1
		4	91	f_b (N/mm ²)	32.5	33.5	33.5	34.5	---	---	33.5
平板付着試験	300×300×30	3	1	f_a (N/mm ²)	1.16	1.14	1.36	---	---	---	1.22
			360		3.89	3.24	3.87	---	---	---	3.67

※平板付着試験における破壊形態：材齢1日，補修材のごく表層の凝集破壊 (n=3)；材齢360日，下地コンクリートの凝集破壊 (n=3)

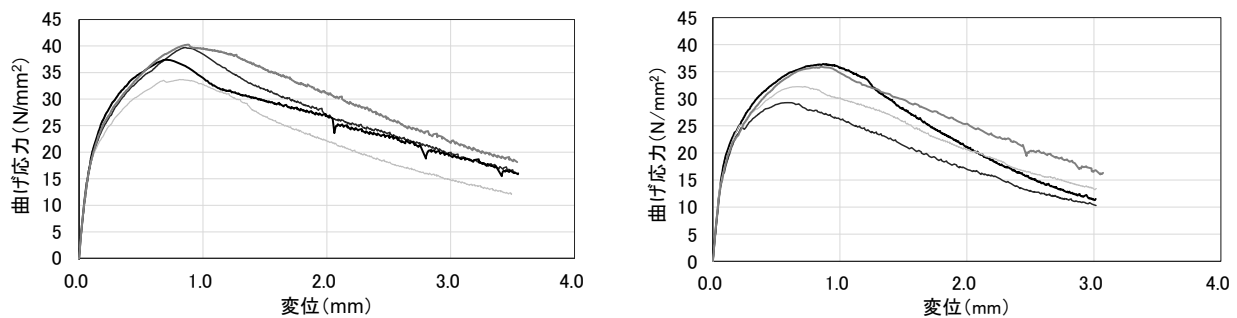


図-1.4.1.3 KJ切欠きあり試験体の曲げ試験結果 (左側：材齢28日，右側：材齢91日)

表-1.4.1.5 S の品質管理試験結果

試験種別	供試体寸法 (mm)	試験数量 (個)	材齢 (日)	試験結果							
				供試体No.	1	2	3	4	5	6	平均
圧縮強度試験	φ50×100	3	1	f_c (N/mm ²)	27.0	27.3	26.2	---	---	---	26.8
		3	7		92.0	92.0	91.7	---	---	---	91.9
		3	28		90.1	103	93.1	---	---	---	95.4
		3	91		125	113	119	---	---	---	119
静弾性係数試験	φ100×200	3	7	f_c (N/mm ²)	92.0	92.0	91.7	---	---	---	91.9
				E_c (kN/mm ²)	32.8	33.4	33.5	---	---	---	33.2
		3	28	f_c (N/mm ²)	90.1	103	93.1	---	---	---	95.4
				E_c (kN/mm ²)	38.9	34.5	38.9	---	---	---	37.4
		3	91	f_c (N/mm ²)	125	113	119	---	---	---	119
				E_c (kN/mm ²)	38.8	38.0	38.2	---	---	---	38.3
静弾性係数試験	φ50×100	6	65	f_c (N/mm ²)	107.0	108.0	105.0	109	100	105	105.7
				E_c (kN/mm ²)	36.5	37.5	37.0	35.8	36.2	35.1	36.4
割裂引張試験	φ100×200	6	7	f_{cr} (N/mm ²)	---	---	---	---	---	---	---
		6	28		8.08	9.64	8.85	---	---	---	8.86
		6	91		---	---	---	---	---	---	---
切欠きなし供試体の曲げ試験	□100×400	4	28	f_b (N/mm ²)	7.09	9.92	11.2	7.17*	---	---	9.40
平板付着試験	300×300×30	3	1	f_a (N/mm ²)	0.80	0.68	0.60	---	---	---	0.69
		3	359		4.74	5.31	2.94	---	---	---	4.33

*切欠きなし試験体の曲げ試験：7.17N/mm²の結果は曲げ区間外のためデータ除外

※平板付着試験における破壊形態：材齢1日，補修材のごく表層の凝集破壊（n=3）；材齢359日，コンクリート50%付着界面50%（4.74N/mm²），コンクリート100%（5.31N/mm²），コンクリート70%付着界面30%（2.94N/mm²）

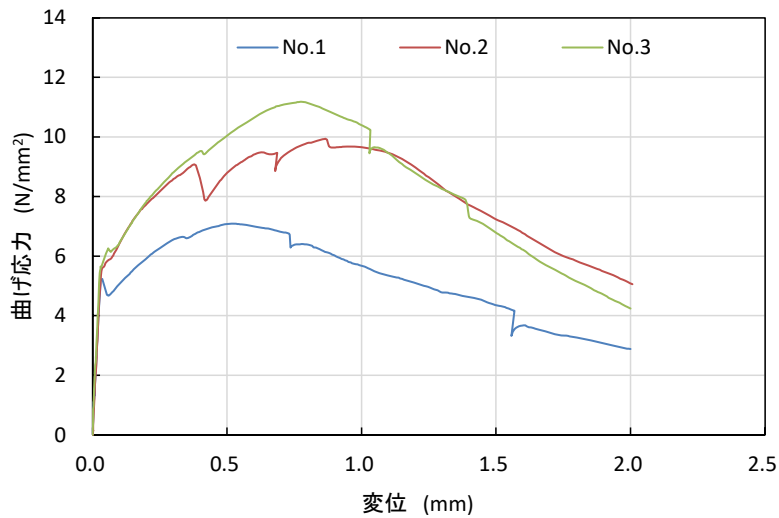


図-1.4.1.4 S 切欠きなし試験体の曲げ試験結果（材齢28日）

表-1.4.1.6 JT の品質管理試験結果

試験種別	供試体寸法 (mm)	試験数量 (個)	材齢 (日)	試験結果							
				供試体No.	1	2	3	4	5	6	平均
圧縮強度試験	φ50×100	3	1	f_c (N/mm ²)	68.5	73.5	72.1	---	---	---	71.4
		3	7		129	127	134	---	---	---	130
		3	28		156	163	160	---	---	---	160
		3	91		172	168	184	---	---	---	175
静弾性係数試験	φ100×200	3	28	f_c (N/mm ²)	137	134	137	---	---	---	136
				E_c (kN/mm ²)	37	35.8	35.4	---	---	---	36.1
		3	91	f_c (N/mm ²)	150	152	147	---	---	---	150
				E_c (kN/mm ²)	37.8	37.8	38.7	---	---	---	38.1
静弾性係数試験	φ50×100	6	59	f_c (N/mm ²)	141	134	138	136	123	139	135
				E_c (kN/mm ²)	37.5	35.6	36.3	36.2	36.9	37.3	36.6
割裂引張試験	φ100×200	6	28	f_{cr} (N/mm ²)	16.3	17.60	16.1	---	---	---	16.7
		6	91		19.5	18.1	16.4	---	---	---	18.0
切欠きなし供試体の曲げ試験	□100×400	3	28	f_b (N/mm ²)	26.5	20.8	22.2	---	---	---	23.2
		3	91		21.3	24.4	28.0	---	---	---	24.6
平板付着試験	300×300×30	3	1	f_a (N/mm ²)	1.21	1.26	1.16	---	---	---	1.21
		3	353		4.34	4.31	3.57	---	---	---	4.07

※平板付着試験における破壊形態：材齢1日，補修材のごく表層の凝集破壊 (n=3)；材齢353日，下地コンクリートの凝集破壊 (n=3)



図-1.4.1.5 DKの外観

(補修材の材齢約1年, 上段: フレーカー, 下段: ウォータージェット)



図-1.4.1.6 TSの外観

(補修材の材齢約1年, 上段: フレーカー, 下段: ウォータージェット)



図-1.4.1.7 KJの外観

(補修材の材齢約1年, 上段: フレーカー, 下段: ウォータージェット)



図-1.4.1.8 Sの外観

(補修材の材齢約1年, 上段: フレーカー, 下段: ウォータージェット)



図-1.4.1.9 JTの外観

(補修材の材齢約1年, 上段: フレーカー, 下段: ウォータージェット)

ウォータージェットではつりを行った試験体の鉄筋ひずみの測定結果（位置 2R）を図-1.4.1.10 に示す。この結果は、収縮開始時点（2022年2月7日）をひずみ 0 として補正したものである。なお、TS、S、KJ は補修材料中に鉄筋がすべて埋設されているのに対し、JT は芯かぶり 30mm に対して補修厚さ 30mm であり、鉄筋の上半分のみ埋設されているため、他よりもひずみの絶対値が小さかったと推察される。屋外暴露が始まる材齢約 2 か月の段階で、TS と JT ならびに S と KJ はそれぞれ、材齢約 1 年時点（2023 年 1 月）の鉄筋ひずみに対して約 30% ならびに約 50% の値を示し、材齢が若い段階での寄与が大きいことが確認された。屋外暴露後は、温度変化により鉄筋ひずみ変動しており、変動の幅は夏期よりも冬期の方が大きいことが確認された。また、材齢約 1 年まで鉄筋ひずみの増加が緩やかに継続していた。

はつり方法の違いが鉄筋ひずみに与える影響を図-1.4.1.11 に示す。縦軸は、ウォータージェット（WJ）によるはつりを行った試験体とブレイカー（BK）によるはつりを行った試験体の鉄筋ひずみの比である。鉄筋ひずみは、測定期間における最終の 1 週間の平均値とした。WJ によるはつりの場合、BK によるはつりの場合と比較して界面の表面積が増加することが報告されており²⁾、前者の方が拘束の影響が大きくなり鉄筋ひずみが小さくなることも想定されたが、その傾向は補修材料によって異なり明確でなかった。

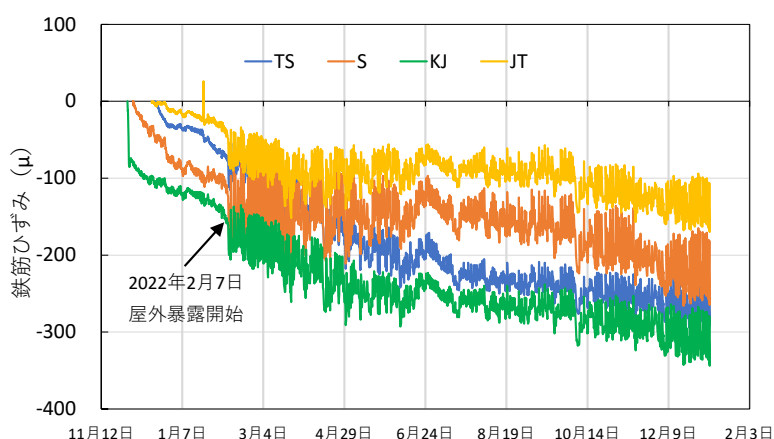


図-1.4.1.10 鉄筋ひずみの測定結果

(測定位置 2R, ウォータージェットではつり, 収縮開始時点をも 0 として補正)

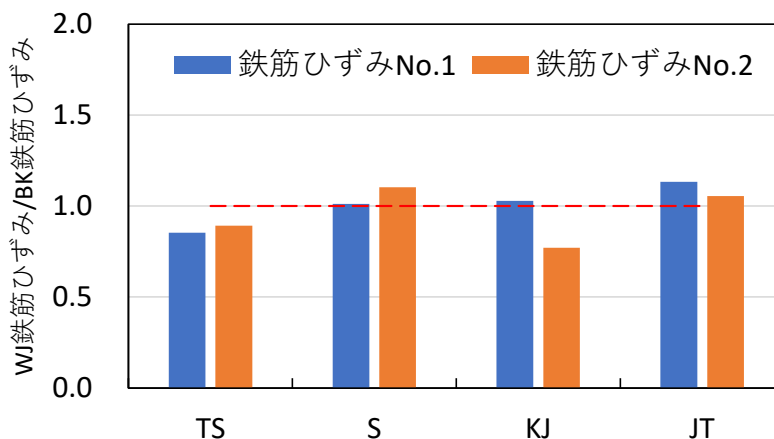


図-1.4.1.11 はつり方法の違いが鉄筋ひずみに与える影響 ((測定位置 2R))

1.5 今後の試験計画

補修材料の材齢が約1年程度の範囲では、目視ではひび割れは確認されなかった。今後も暴露試験を継続し、補修材内部のひび割れの有無、下地コンクリートと補修材の目地におけるひび割れ、補修材同士の目地におけるひび割れについては、最終的に解体調査で確認する予定である。なお、解体調査をしても、明確なひび割れが確認されず、評価が困難なことも想定される。目地部の評価としては、目地部にパイ型変位計を設置して開口挙動を測定することや、コア試料を採取して加圧透水試験を行うことなども考えられる。

また、本試験では、界面の処理方法として、ブレーカーとウォータージェットの2種類を用いた。界面の処理方法の違いの影響は、床版模擬試験体を用いた付着試験などにより確認する予定である。なお、付着試験は、40mm角やφ100mm等の寸法の治具を用いて実施されるのが一般的であるが、試験範囲が狭いため評価が困難なおそれもある。補修材料と下地コンクリートの全体の付着性を評価する方法としては、床版模擬試験体をはりの形状として切り出して、曲げ試験を行うことも考えられる。鉄筋ひずみの測定も継続し、最終的にどのような方法で評価するのかを検討したい。

1.6 まとめ

本検討は、上面補修を模擬した試験体を製作して屋外暴露試験を行うことで、温度変化等の影響、目地部の仕様の影響ならびに収縮によるひび割れに対する抵抗性を把握することを目的としたものである。この報告書では、屋外暴露開始後の初期値として、補修材料の材齢約1年までの各種強度試験、外観、鉄筋ひずみの結果をとりまとめた。目視で確認できる範囲では、いずれの補修材料もひび割れは生じなかった。今後も外観観察と鉄筋ひずみの測定を継続し、補修材料の材齢3年以降を目途に、解体調査を行う予定である。

参考文献

- 1) 牧田通, 渡邊有寿: 既設部材の補修・補強に用いる場所打ち UHPFRC の引張特性および拘束条件下における挙動に関する研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.77, No.3, pp.92-107, 2021.
- 2) 紫桃孝一郎, 上東泰, 野島昭二, 吉田敦: ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化処理, コンクリート工学, Vol.38, No.8, pp.40-54, 2000.

2. 補修輪荷重走行試験

2.1 概要

本試験は、コンクリート床版の上面補修における補修材の部分弾性床版としてとらえ、その挙動を簡易な解析方法で推定できるようにする際の比較検証データを得ること、及び補修材の打継目の開きと水の浸入について確認することを目的とした。

補修材と母材の界面に作用する力や隙間が、補修範囲、補修厚、補修材の弾性係数、荷重位置といったパラメータによって、どのように変化するかを、弾性床版の計算を用いて簡易に推定する方法を検討した。その検証データ、キャリブレーションデータを得るため、上面補修した際の補修材単体の弾性挙動を把握する。計算上の仮定に近付けるため、最初は版ではなく、マスコンクリートを用いた弾性床を用意する。また、試験においては、補修材の打継目に水が浸入するときの開き量を把握するため、各ケースの荷重終了時に打継目付近に水を供給する。このことから、図-2.1.1.1に示すような、弾性床と見なせるマスコンクリート（以下、母材）の上面、中央付近に補修を施し（以下、供試体）、上方から鉛直に荷重を載荷することとした。その際、補修材の挙動は、荷重位置によって大きく異なることが想定されることから、輪荷重走行試験機を利用して載荷することとした。

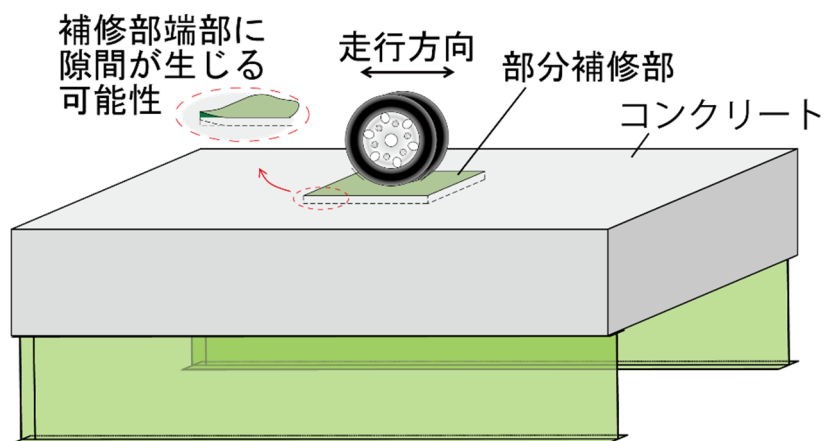


図-2.1.1.1 供試体の外観と荷重方向の概略

2.2 試験方法

2.2.1 試験ケース

試験ケースを表-2.2.1.1 に示す。補修材は、母材と強度が同程度の早強コンクリート（以下、H）、超速硬コンクリート（以下、UH）および現場打ち超高強度繊維補強コンクリート（以下、UHPFRC）の3種類とした。ケース1から4は、補修材単体の挙動を把握するため、界面を縁切りした。ケース5は、母材との付着をできるだけ確保するため、専用のプライマーと接着剤を界面に塗布した後、UHPFRCを打設した。また、ケース5'では、材料の耐久性を確認するため、水張り下で100万回の走行載荷を行った。

表-2.2.1.1 試験ケース

ケース	補修材		付着	載荷位置 (走行位置)	走行回数	水張り
1	補修材1	早強コンクリート (H)	なし（縁切り）	中央載荷 (CL)	12万回	なし
2	補修材2	超速硬コンクリート (UH)	なし（縁切り）	中央載荷 (CL)	12万回	なし
3	補修材2	超速硬コンクリート (UH)	なし（縁切り）	偏載荷 (CL+250mm)	1,000回	なし
4	補修材3	超高強度繊維補強コンクリート (UHPFRC)	なし（縁切り）	中央載荷 (CL)	12万回	なし
5	補修材4	超高強度繊維補強コンクリート (UHPFRC)	あり（接着剤）	中央載荷 (CL)	8万回	なし
5'	補修材4	超高強度繊維補強コンクリート (UHPFRC)	あり（接着剤）	中央載荷 (CL)	100万回	あり

注) ケース5'は、ケース5の補修材を打ち換えることなく、そのまま水張りして載荷した。

2.2.2 供試体の製作

図-2.2.2.1 に供試体の形状寸法, 図-2.2.2.2 に供試体の製作時の状況を示す. 上面補修を模擬した供試体は, 母材の上面中央付近に, あらかじめ設けた 1100mm×1100mm×深さ 40mm の切欠部に補修材を打設して製作した. 補修材は, 表-2.2.1.1 に示したとおり, 早強コンクリート (H), 超速硬コンクリート (UH), 超高強度繊維補強コンクリート (UHPFRC) の 3 種類とした.

付着なしの補修材を打設する場合 (ケース 1 から 4) は, 母材と補修材の界面にあらかじめラップ (厚さ約 0.01mm) を接着して界面を縁切りした. 所定の試験を終えた補修材は, コンクリート用カッター等を用いて撤去し, 作業時に欠けてしまった母材部分は, 次の補修材を打設する前に接着剤で固定した. 付着ありの補修材を打設する場合 (ケース 5) は, 専用のプライマーと接着剤を界面に塗布した後, UHPFRC を打設した. なお, 補修材のこて仕上げは, 母材の上面とできるだけ同じ高さとなるように施工したが, ケース 5 の補修材のみやや高めの仕上げとなってしまった.

母材に用いたコンクリート材料と配合, 材料試験結果を表-2.2.2.1~3 にそれぞれ示す. コンクリートの呼び強度を 18 N/mm² とした. コンクリートが硬化した後は, 供試体を天井クレーンで吊ることができないため, 輪荷重走行試験機 2 号機の下に型枠を組み, ポンプ圧送により打設した. 補修材の部分は, 型枠であらかじめ凹み部分を設けた. 供試体の大部分はコンクリートであるが, 作業員の安全確保及び収縮ひび割れの抑制のため, 下面及び側面の近くに D16 の鉄筋を配置した (図-2.2.2.1). 下面は主鉄筋 150mm 間隔, 配力鉄筋 300mm 間隔とし, 側面は周方向の鉄筋を 200~250mm 間隔で配置した. 使用した鉄筋は SD345 で, 試験片 3 本の引張強度試験より, 平均で降伏点 403 N/mm², 引張強度 608 N/mm² であった.

補修材の材料試験結果を表-2.2.2.4 に示す. 補修材 1 の配合は, 表-2.2.2.2 に示したとおりであり, 母材のコンクリートに比較的近い材料とした. 補修材 2 は, S 社製¹⁾のプレミックスの超速硬コンクリートを, 所定の配合で用いた. 冬季のため, セッター量を 1 セット当たり 1 袋とした. 補修材 3, 4 は, 大成建設の UHPFRC を用いた. 使用したプライマーと接着剤の弾性係数 (ロット試験成績表の圧縮弾性率) はそれぞれ 1790 N/mm², 3280 N/mm² であった.

母材及び補修材の材料試験方法は JISA 1108, 同 A 1149, 同 A 1113 によった. ただし, UHPFRC の引張強度試験は, 土木学会コンクリートライブラリー113 (平成 16 年)²⁾の参考資料 3 に記載のある直接引張強度試験の方法に準じて行った.

切欠部 1100×1100×40

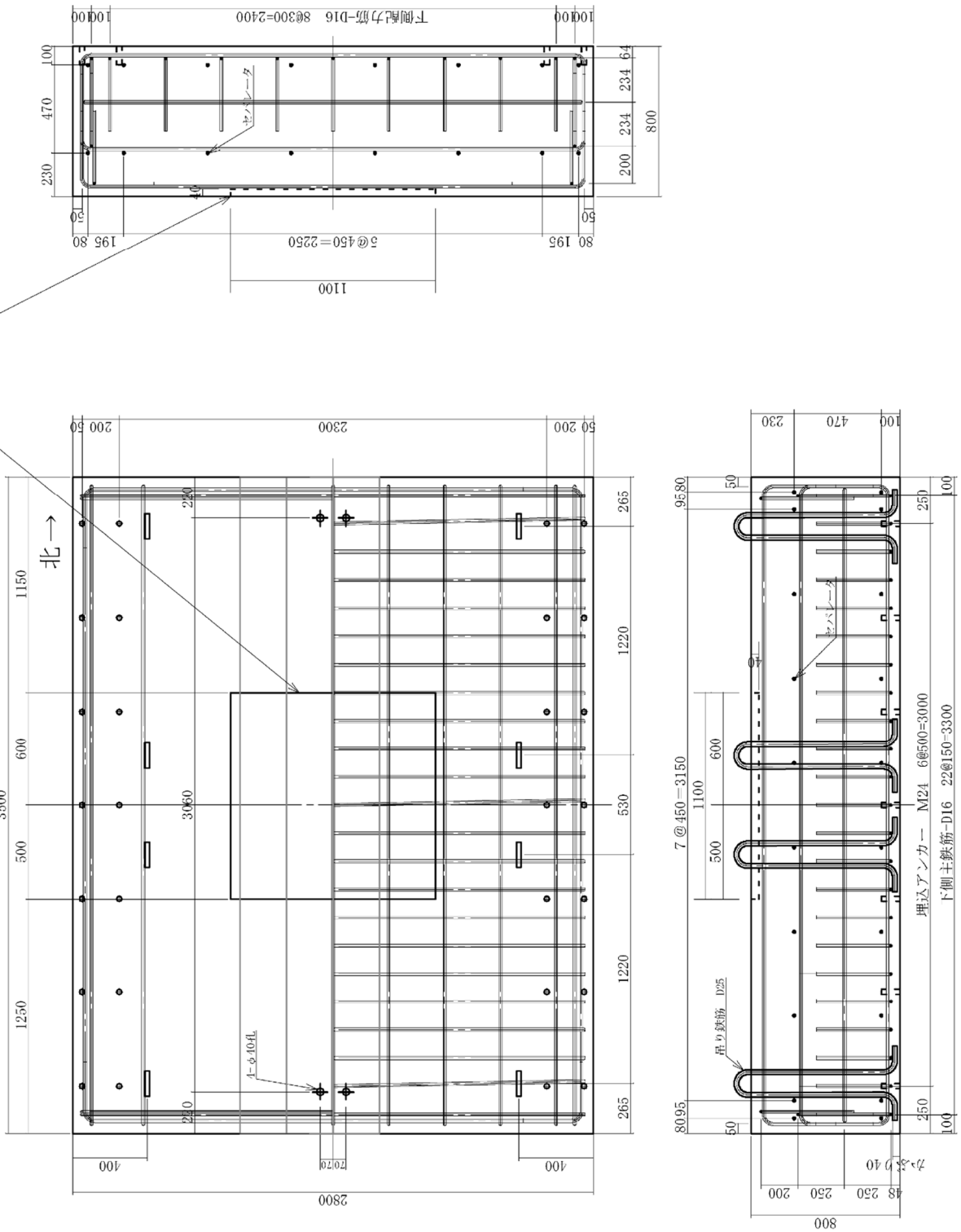
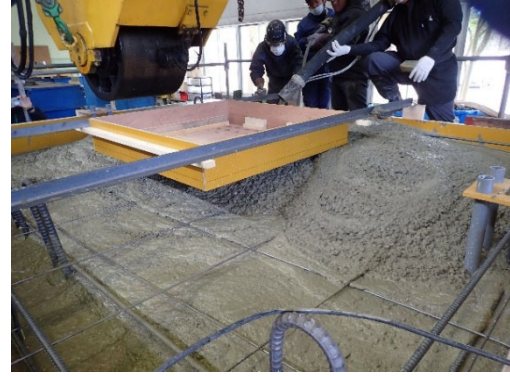


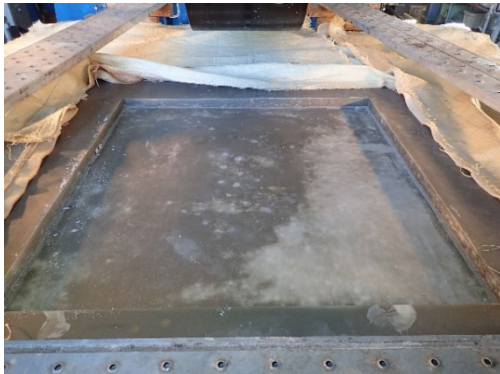
図-2.2.2.1 供試体の製作図



(a)母材の型枠と配筋



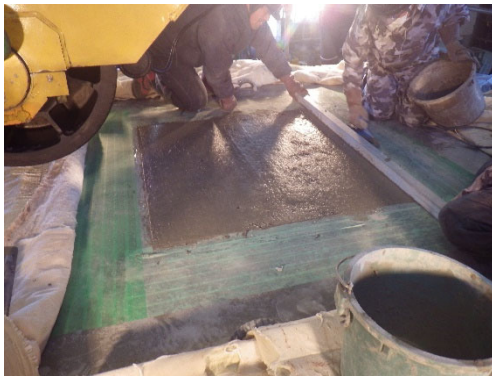
(b)母材のコンクリート打設の状況



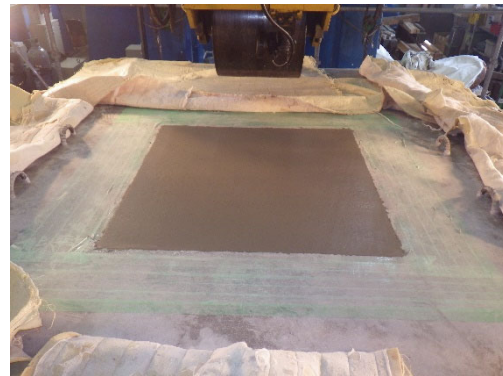
(c)脱型後の母材上面



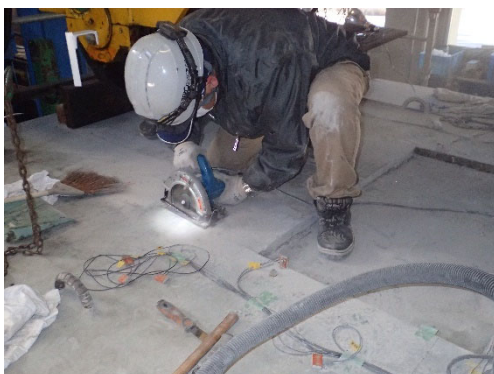
(d)縁切りするためのラップ貼付け



(e)補修材の打設



(f)補修材の仕上げ



(g)補修材の撤去時の状況



(h)撤去後の母材上面

図-2.2.2.2 供試体の製作時の状況

表-2.2.2.1 母材のコンクリート使用材料

セメントの種類	普通ポルトランドセメント
粗骨材	茨城県つくば市産砕石
細骨材	茨城県行方市産山砂 茨城県つくば市砕砂
混和剤	AE 減水剤 (標準形 I 種)

表-2.2.2.2 コンクリートの配合

部位	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	G _{max} (mm)	単位量(kg/m ³)				
							W	C	S	G	AE
母材	18	16.5 16	3.3 3.3	64.4	43.5	20	165	256	800	1068	2.56
補修材 1	8	6	3.7								

早強ポルトランドセメント使用.

スランプ, 空気量は実測値を示す. 下段が 1 台目, 上段が 2 台目の結果をそれぞれ示す.

ケース 1 に用いた補修材 1 のコンクリートの配合も示す.

表-2.2.2.3 母材のコンクリートの材料試験結果

バッチ	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	ポア ソン比	備考
1 台目	7	22.3	18.0	2.1	0.16	
2 台目	7	23.6	19.0	2.4	0.18	
2 台目	9	26.1	18.8	2.5	0.19	ケース 1 開始日
2 台目	44	34.2	20.5	2.7	0.17	ケース 5' 中断
2 台目	107	33.6	24.1	2.5	0.18	ケース 5' 終了日

注) コンクリートは 2 台のアジテータ車で搬入した. 上面付近のコンクリートは 2 台目に供給されたものであることから, 材齢 7 日以降は 2 台目のコンクリートの試験片について圧縮強度試験を行った.

表-2.2.2.4 補修材の材料試験結果

部位	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 ($\times 10^3$ N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	ポア ソン比	備考
補修材 1	7	25.9	19.3	1.8	0.16	ケース 1 開始日
補修材 1	10	29.7	20.6	2.1	0.16	ケース 1 終了日
補修材 2	2	65.8	36.8	5.0	0.19	ケース 2 開始日
補修材 2	5	70.4	37.9	5.8	0.19	ケース 3 終了日
補修材 3	2	47.5	44.1	3.8	0.13	ケース 4 開始日
補修材 3	5	62.6	34.1	5.8	0.16	ケース 4 終了日
補修材 4	5	77.2	37.6	6.8	0.17	ケース 5 開始日
補修材 4	7	84.4	38.1	13.9	0.16	ケース 5 終了日
補修材 4	16	111	44.6	7.0	0.17	ケース 5' 中断時
補修材 4	79	187	57.3	8.8	0.19	ケース 5' 終了日

補修材 1 : 早強コンクリート, 補修材 2 : 超速硬コンクリート, 補修材 3 : UHPFRC,

補修材 4 : UHPFRC (界面に接着剤を使用)

2.2.3 載荷方法

母材と補修の界面における挙動は、輪荷重の移動の影響を顕著に受けると考えられるため、試験では、走行載荷することとし、土木研究所の輪荷重走行試験機2号機を使用した。輪荷重走行試験時の様子を図-2.2.3.1、試験時の外観寸法、水張り範囲および載荷ブロックの配置位置を図-2.2.3.2に示す。供試体は、図-2.2.3.3に示す支持架台の上に固定し、長手方向の2辺を固定端とした。また、架台の倒れを防止するため、横ばりを設置したが、供試体の短辺は横ばりで支持せず、自由端とした。

輪荷重は160kN、走行速度は15rpm、走行範囲は母材と補修材の両境界を通過する2mとした。走行位置は、図-2.2.3.4(a)のように、供試体の中心を通過する位置を基本とした。ただし、ケース3では、載荷位置による影響を検討するため、図-2.2.3.4(b)のように走行位置を中心から上部方向へ250mmずらした位置とした。走行回数は、表-2.2.1.1に示すとおり、繰返し載荷の影響を把握するため、多数回の走行載荷を行ったが補修材の疲労破壊を目的としていないため、12万回を基本とした。ただし、ケース5では、水張りをした状態で100万回の繰返し載荷を行い、疲労破壊を試みた。



(a)基本走行



(b)水張り走行

図-2.2.3.1 輪荷重走行試験時の様子

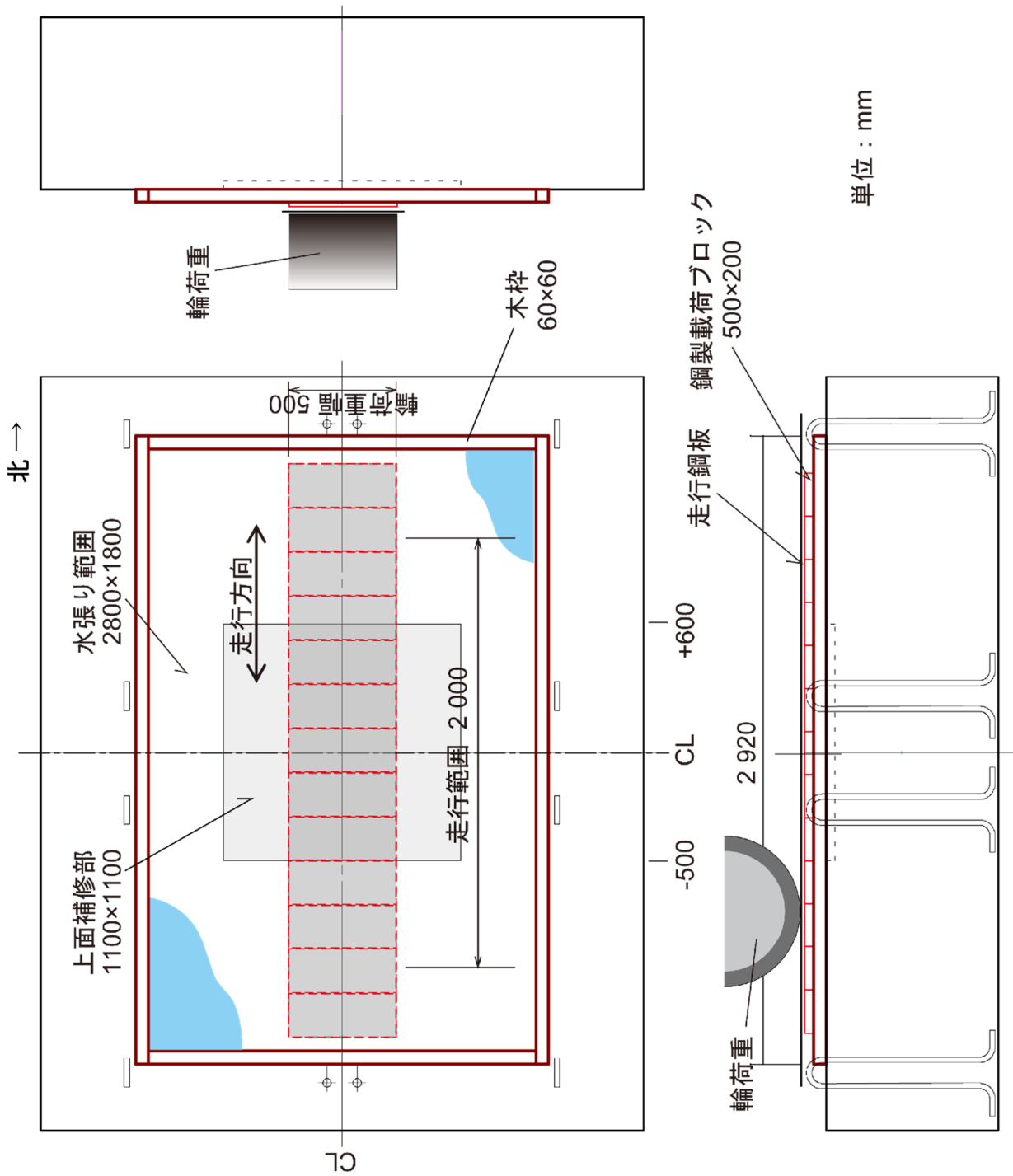


図-2.2.3.2 供試体の外観と水張り範囲，載荷ブロックの配置

注) ケース3の走行位置はこの図と異なる。

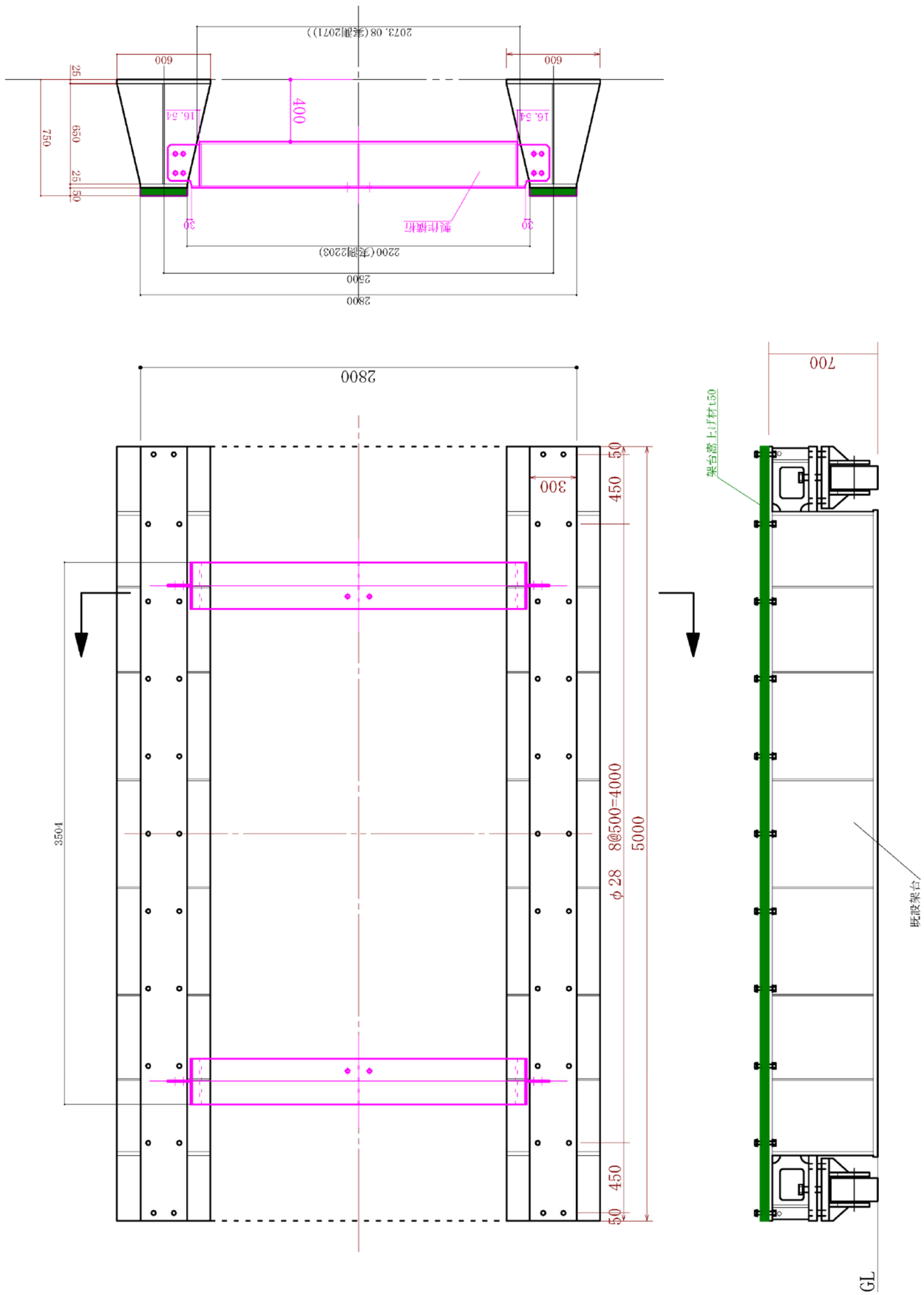
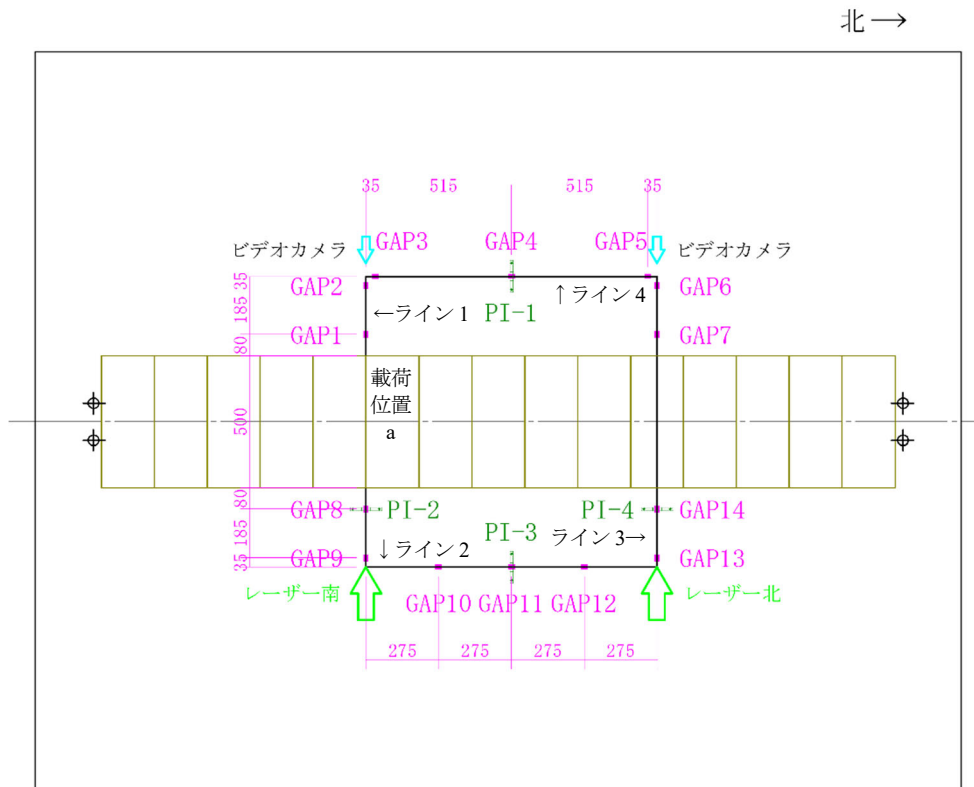
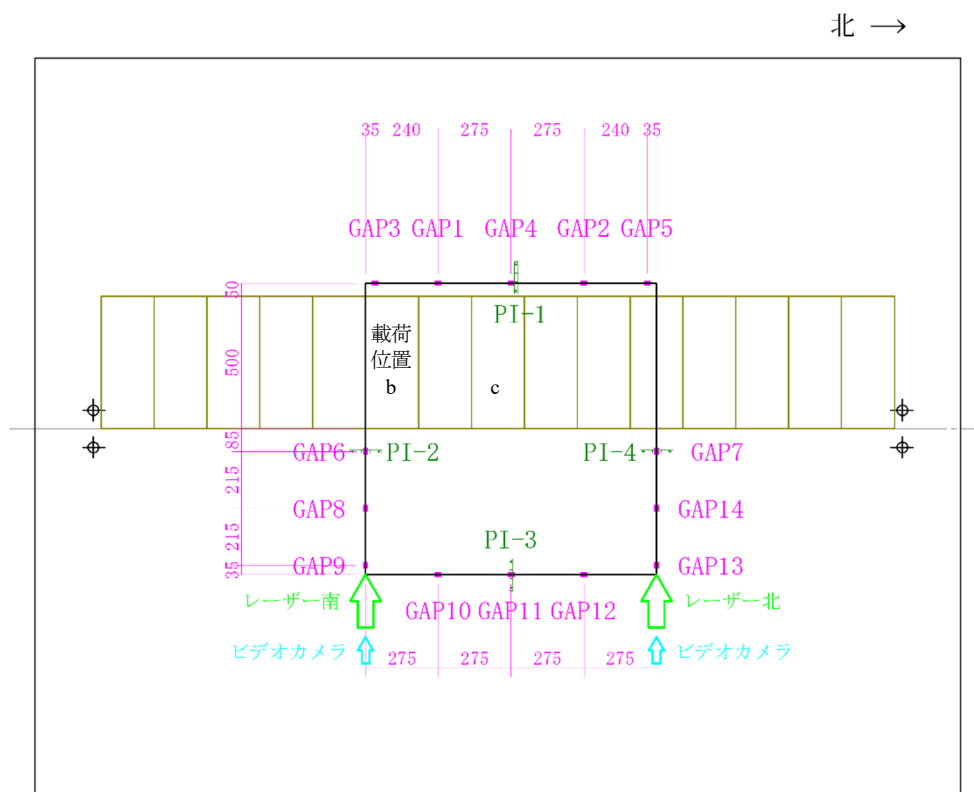


图-2.2.3.3 支持架台



(a)基本



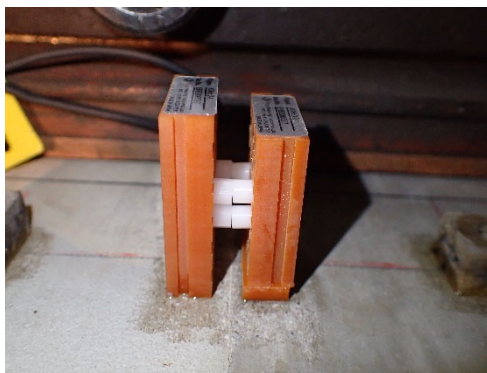
(b)ケース 3 の場合

図-2.2.3.4 載荷位置と変位計の設置位置

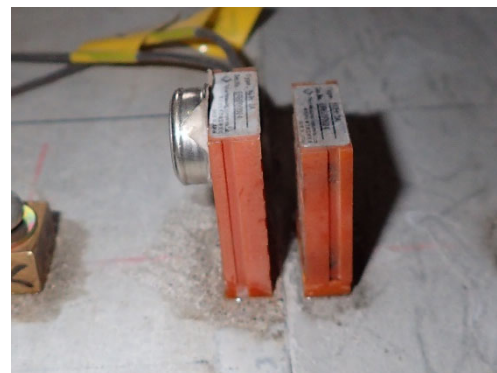
2.2.4 測定方法

走行下における補修材の界面付近の挙動を把握するため、供試体上面の母材と補修材の境界をまたいで水平方向の開きと鉛直方向の段差を測定する変位計、ずれセンサー³⁾を設置した。また、参考のため、パイ型変位計も設置した。各変位計の設置位置を図-2.2.3.4、設置状況図-2.2.4.1～図-2.2.4.6に示す。

従来のパイ型変位計やカンチレバー型変位計は、変位計の大きさから測定対象とする範囲が比較的大きいため、供試体上面の弾性変形の測定になってしまい、想定している界面付近の挙動が分かりにくくなる可能性があると考えた。事前の解析より、走行下において補修材の界面の挙動は0.01～0.03 mm程度と、かなり小さいことが想定されたが、既往の測定例から、ずれセンサーでもかろうじて検出できると考えた。また、本試験では、輪荷重の荷重位置を明確にする必要があることから、輪荷重の中心が補修部のそれぞれの境界上に来たことを検出するレーザー変位計を設置した。試験中は、ずれセンサーの開き量、段差量、パイ型変位計の変位、レーザー変位計の出力及び荷重を、試験機に付帯する計測システムを用いて100 Hzで測定した。試験中、補修部界面の様子を観察した。ケース1～5については、一連の走行荷重を終えた後、走行下で補修部の界面付近に水を垂らして、水の浸入を観察した。図-2.2.4.6に、水を垂らしたときの様子を示す。



(a)ケース1のみ専用のスペーサで間隔を保持



(b)ケース1以外は所定の間隔より0.1mm大きいスペーサを用いて設置（試験時はスペーサを除去）

図-2.2.4.1 ずれセンサーの設置状況

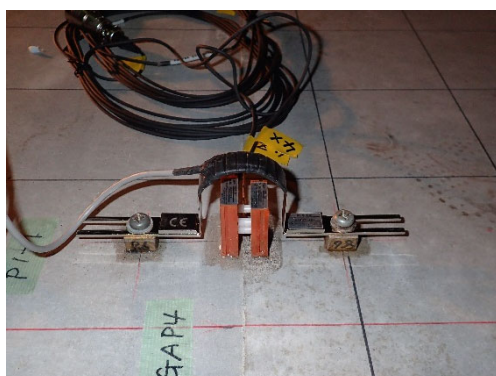


図-2.2.4.2 パイ型変位計の設置状況



図-2.2.4.3 下面の変位計の設置状況

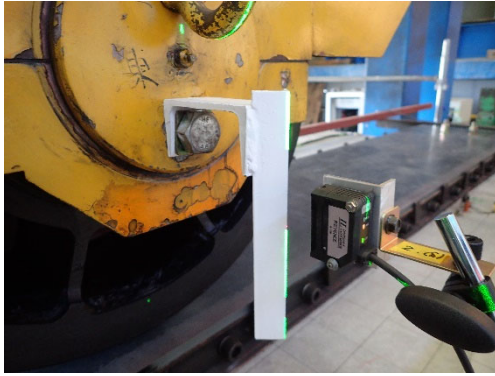


図-2.2.4.4 輪の位置出しの状況



図-2.2.4.5 水張り下での変位計の状況



図-2.2.4.6 水を滴下したときの様子

2.3 試験結果

試験結果は、供試体上面の母材と補修材の境界部をまたぐ位置に設置したずれセンサーから、水平方向、鉛直方向の変位（以下、開口量、段差量）と、参考のため設置したパイ型変位計から開口量を各ケースで整理した。ずれセンサー及びパイ型変位計の名称と設置位置は、図-2.2.3.4 に示したとおりである。

一例として、ケース 1 において、走行回数が 1000 回時点におけるずれセンサーの生データを図-2.3.1(a)を示す（以降の図では、ずれセンサーの Y 変位を開口量、X 変位を段差量と標記）。生データは、まず最頻値により、図-2.3.1(b)に示すような 0 点補正を行った。そして、振動の影響やずれセンサーの電気的な信号のノイズ等を拾っているため、载荷版の幅である 200mm で移動平均により、図-2.3.1(c)に示すような補正を行った。また、符号は、開口量では界面が開く場合を正、段差量では補修材が母材よりも相対的に下がる場合を正とした。

2.3.1 節～2.3.6 節に、ケース 1～5'における開口量、段差量の試験結果を示す。ここで、走行初期は、走行回数が 1000 回時点の結果、走行終了付近は、各ケースで定めた走行回数に到達する付近の結果を示している。また、载荷位置 a～c、ライン 1～4 は、図-2.2.3.4(a)に示したとおりである。

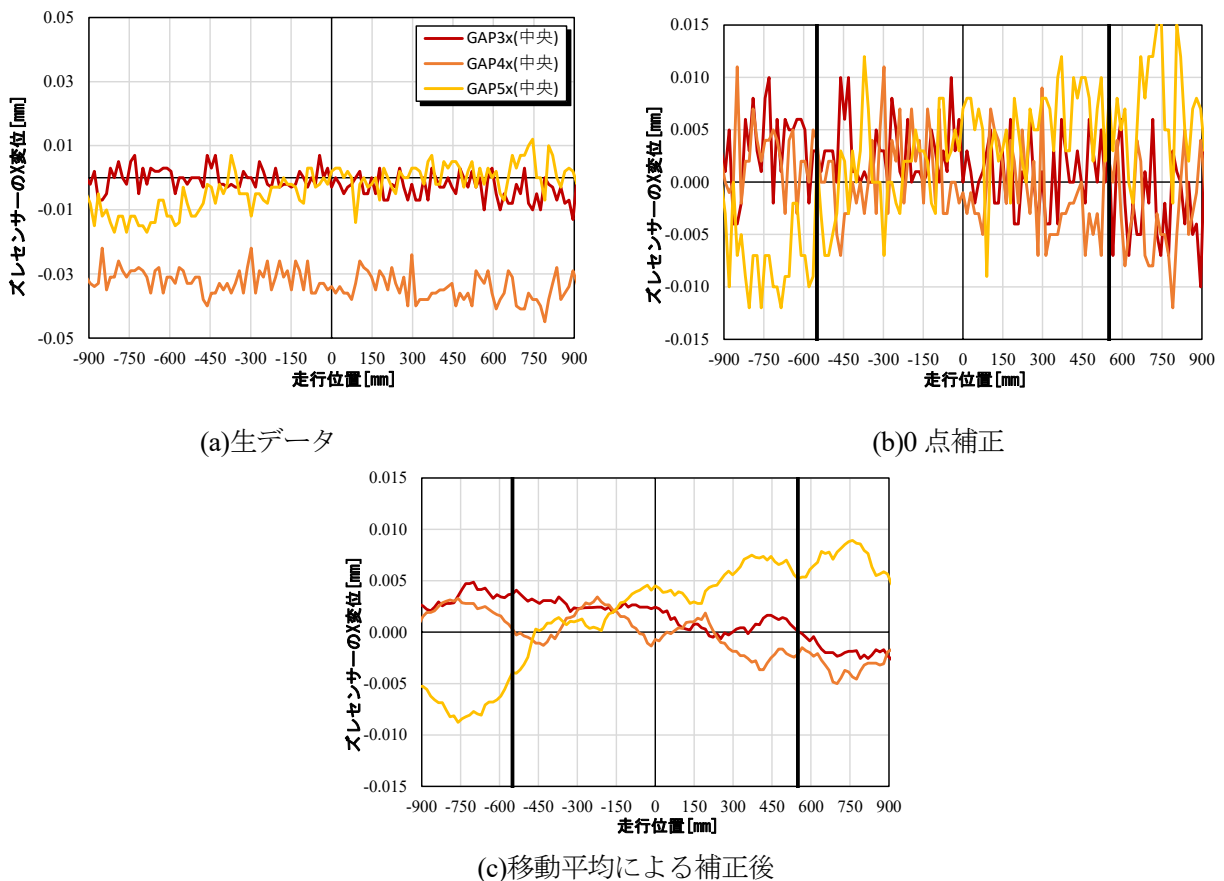


図-2.3.1 生データの処理方法

2.3.1 試験ケース 1 の結果

ケース 1 の走行初期における開口量，段差量を図-2.3.1.1～図-2.3.1.2 に示す。

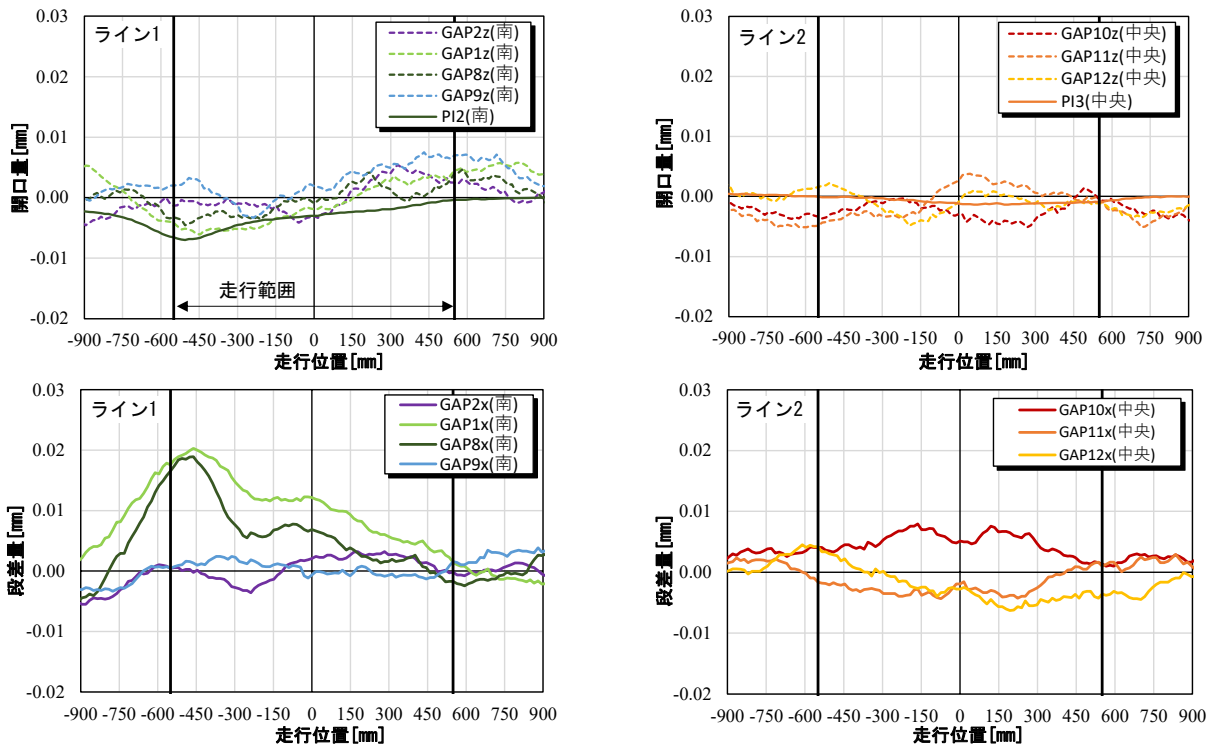


図-2.3.1.1 走行中の開口量，段差量（ケース 1，走行初期）

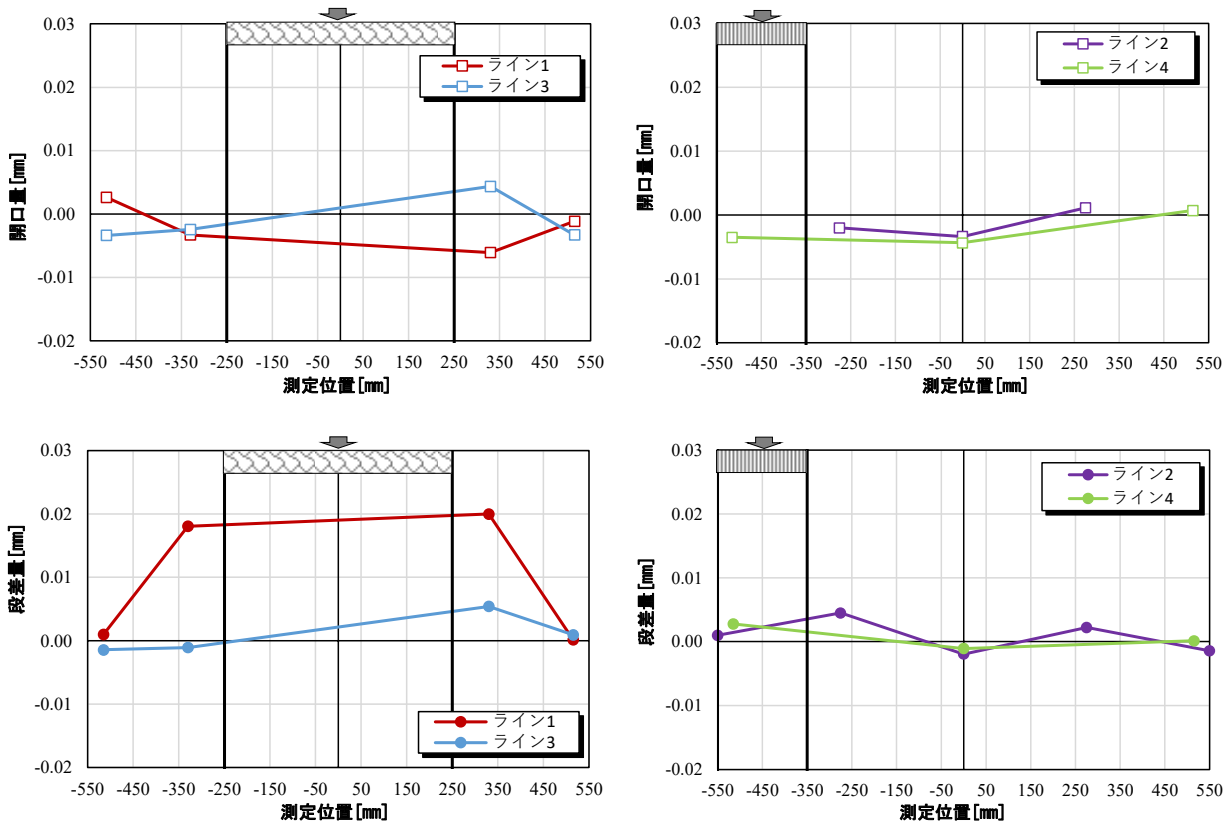


図-2.3.1.2 ずれズレセンサーで取得した载荷位置 a の開口量，段差量（ケース 1，走行初期）

ケース 1 の走行終了付近における開口量，段差量を図-2.3.1.3～図-2.3.1.4 に示す。

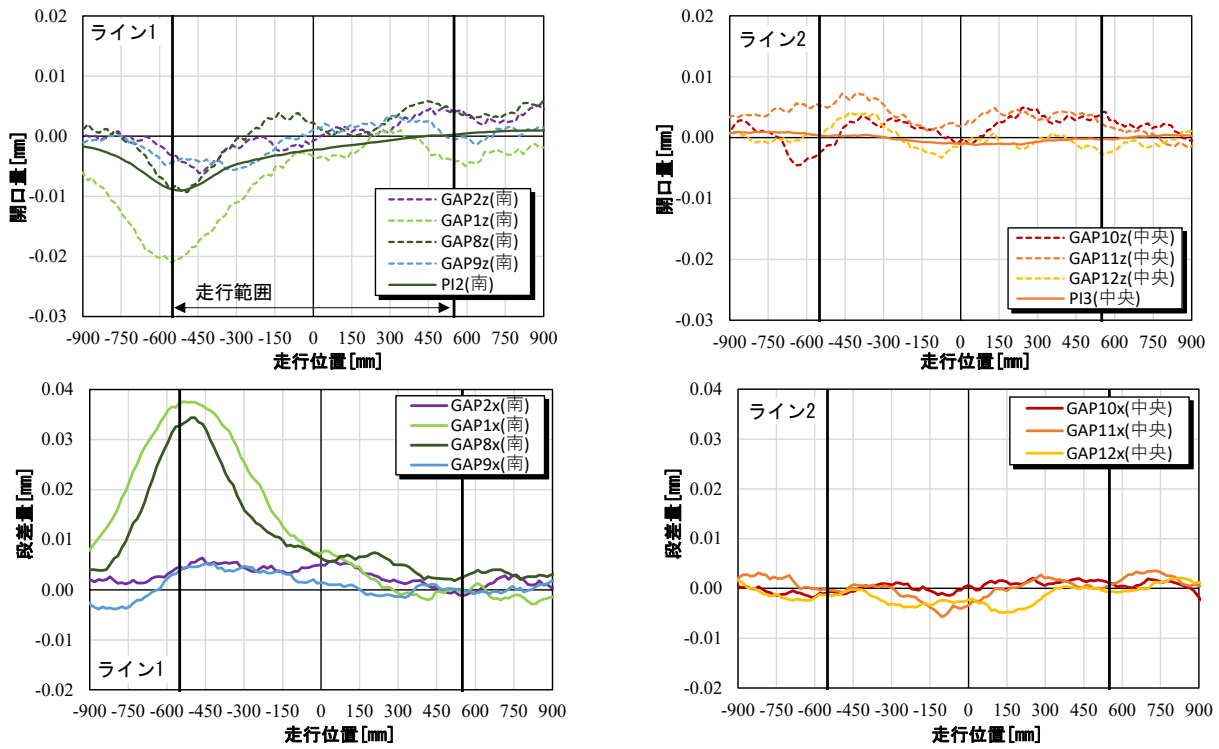


図-2.3.1.3 走行中の開口量，段差量（ケース 1，走行終了付近）

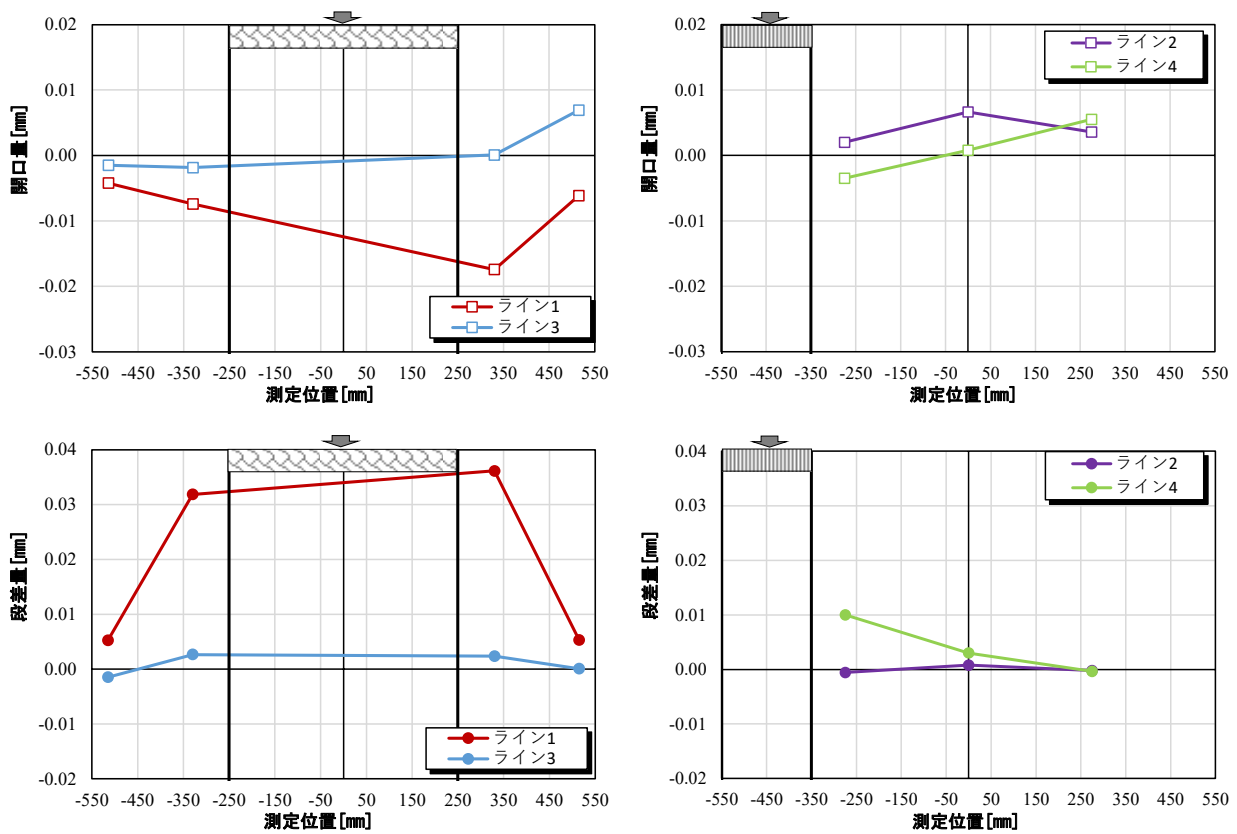


図-2.3.1.4 ずれセンサーで取得した载荷位置 a の開口量，段差量（ケース 1，走行終了付近）

2.3.2 試験ケース 2 の結果

ケース 2 の走行初期における開口量，段差量を図-2.3.2.1～図-2.3.2.2 に示す。

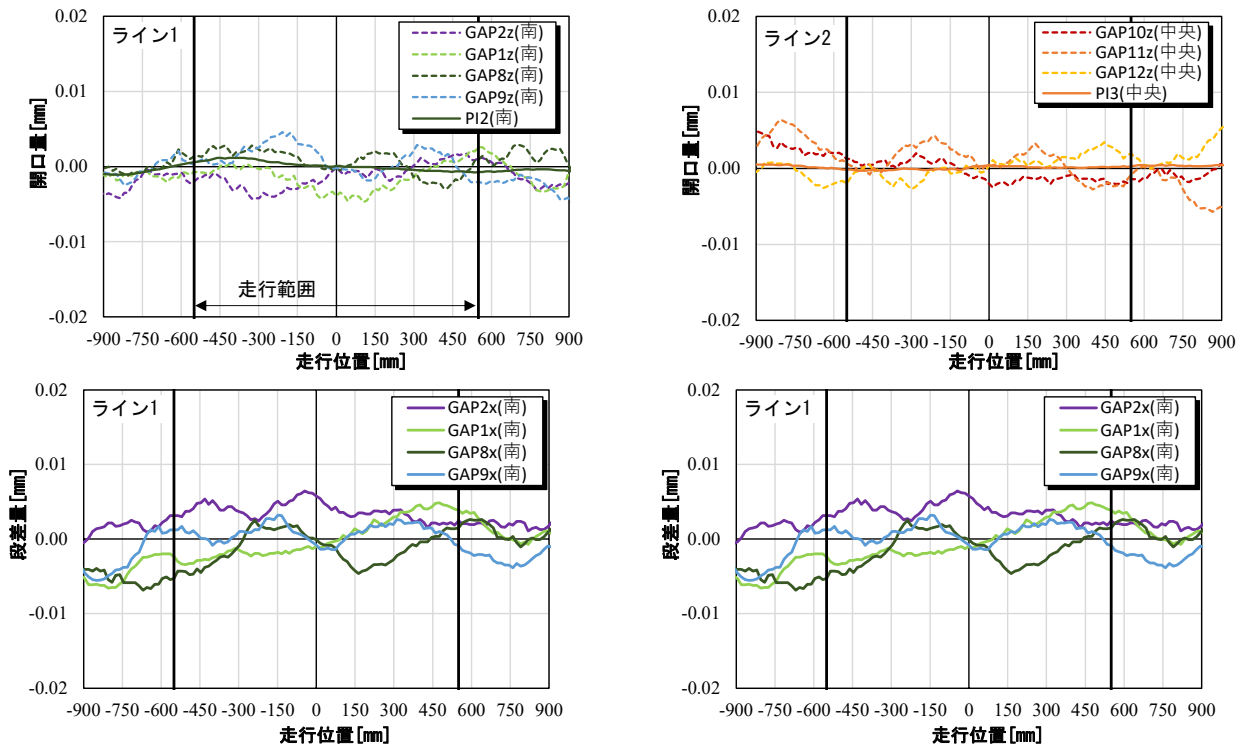


図-2.3.2.1 走行中の開口量，段差量（ケース 2，走行初期）

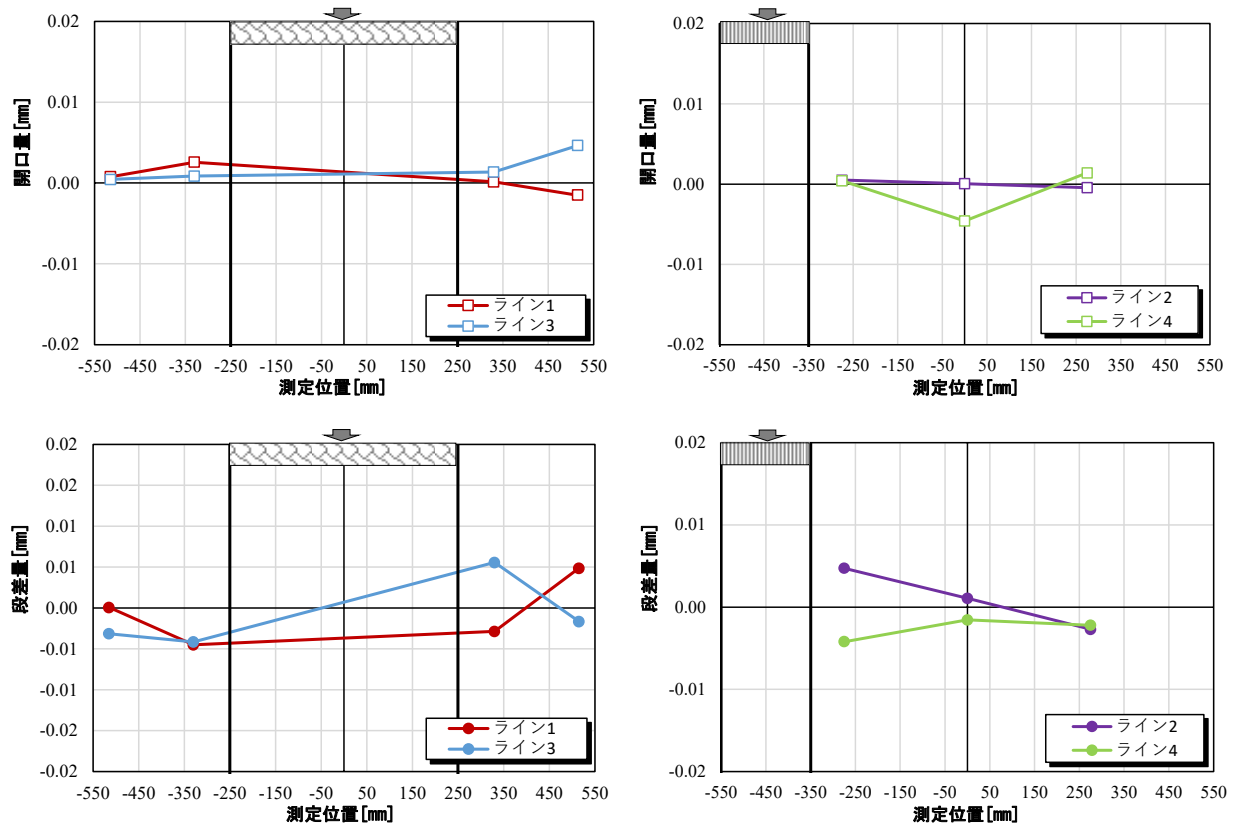


図-2.3.2.2 ずれセンサーで取得した荷重位置 a の開口量，段差量（ケース 2，走行初期）

ケース 2 の走行終了付近における開口量，段差量を図-2.3.2.3～図-2.3.2.4 に示す。

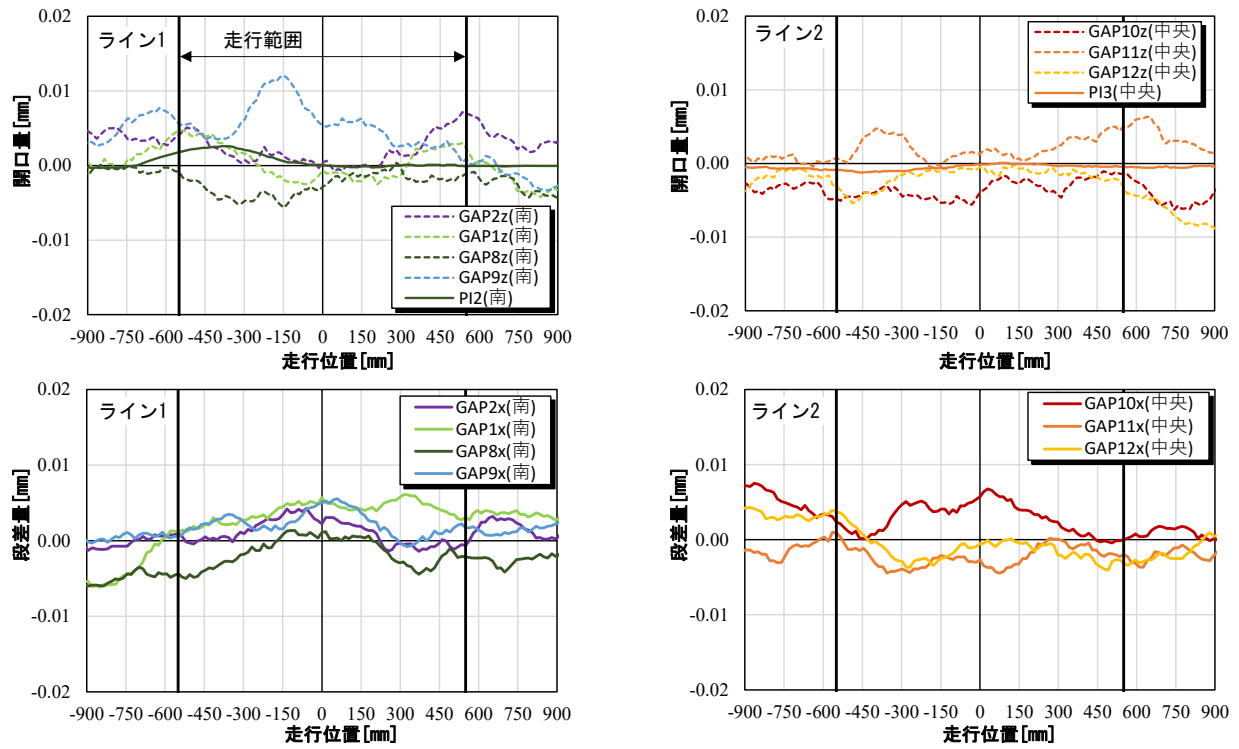


図-2.3.2.3 走行中の開口量，段差量（ケース 2，走行終了付近）

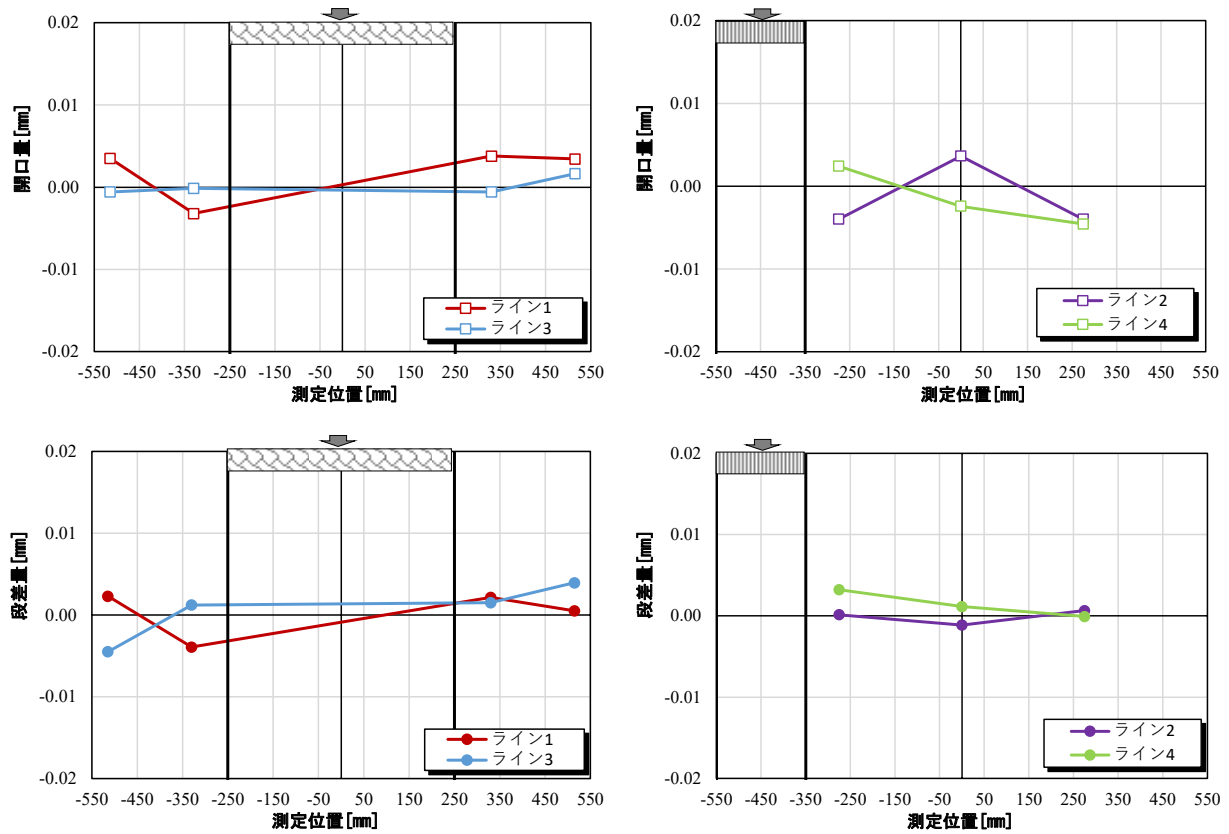


図-2.3.2.4 ずれセンサーで取得した载荷位置 a の開口量，段差量（ケース 2，走行終了付近）

2.3.3 試験ケース 3 の結果

ケース 3 の走行初期における開口量, 段差量を図-2.3.3.1, 載荷位置 b, c の開口量, 段差量を図-2.3.3.2～図-2.3.3.3 に示す。

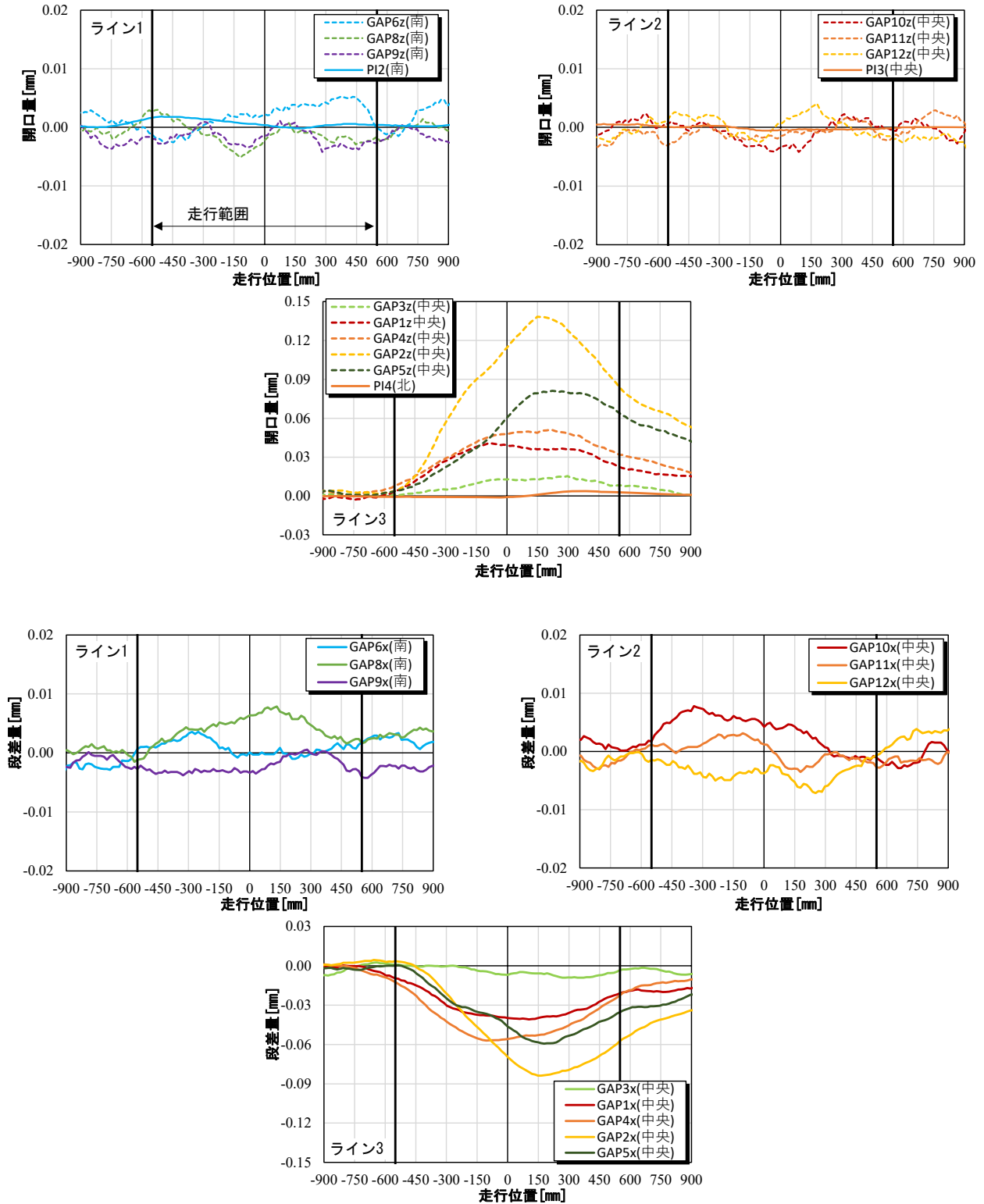


図-2.3.3.1 走行中の開口量, 段差量 (ケース 3, 走行初期)

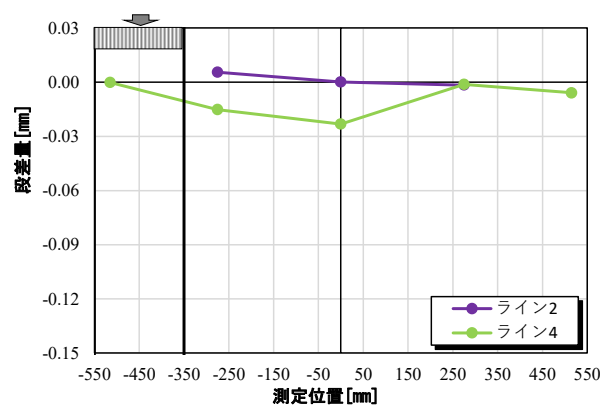
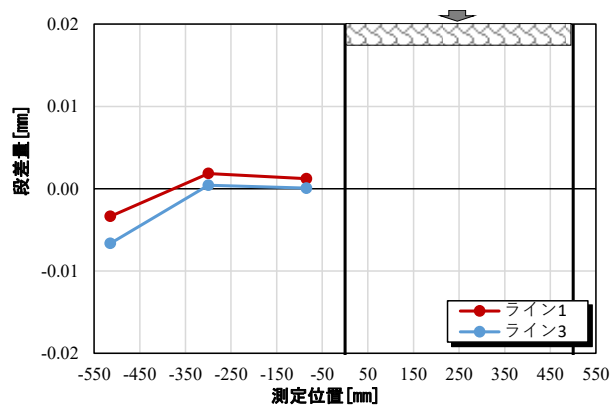
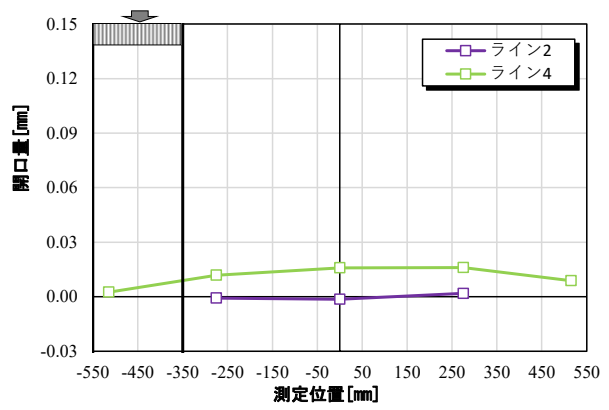
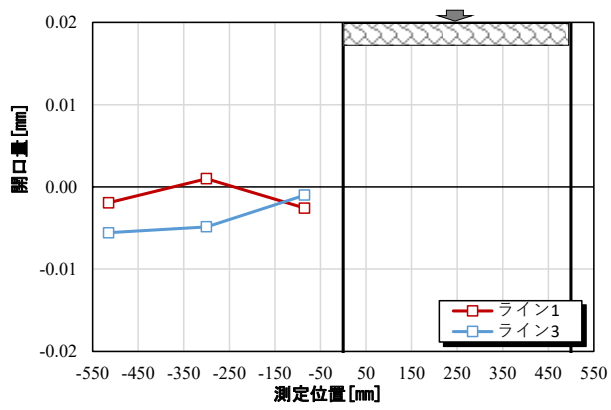


図-2.3.3.2 ずれセンサーで取得した荷重位置 b の開口量，段差量（ケース 3，走行初期）

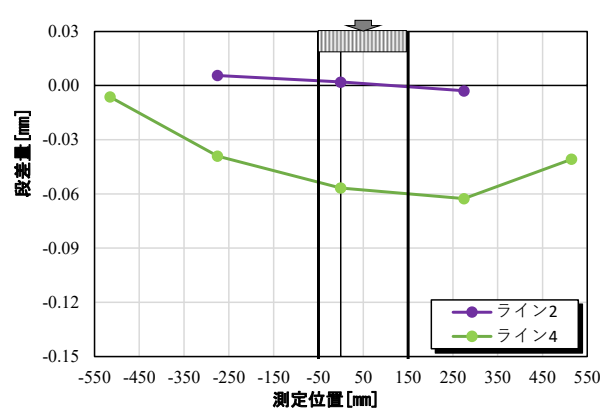
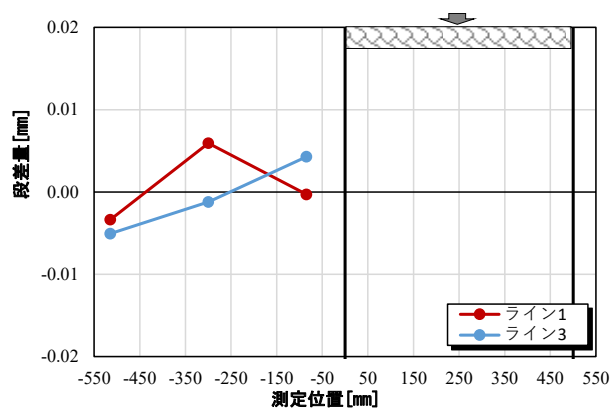
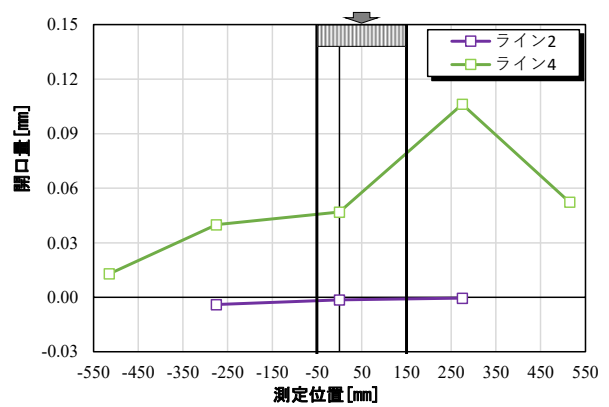
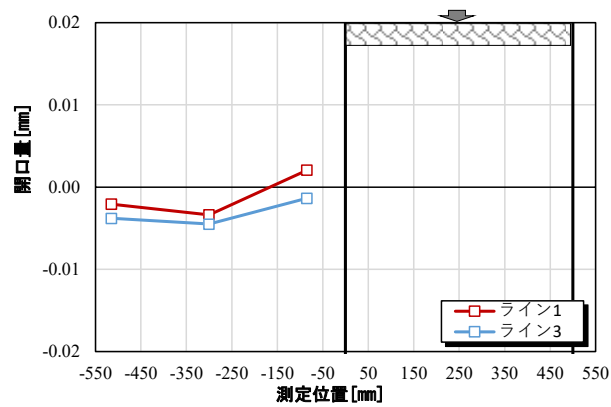


図-2.3.3.3 ずれセンサーで取得した荷重位置 c の開口量，段差量（ケース 3，荷重初期）

2.3.4 試験ケース 4 の結果

ケース 4 の走行初期における開口量，段差量を図-2.3.4.1～図-2.3.4.2 に示す。

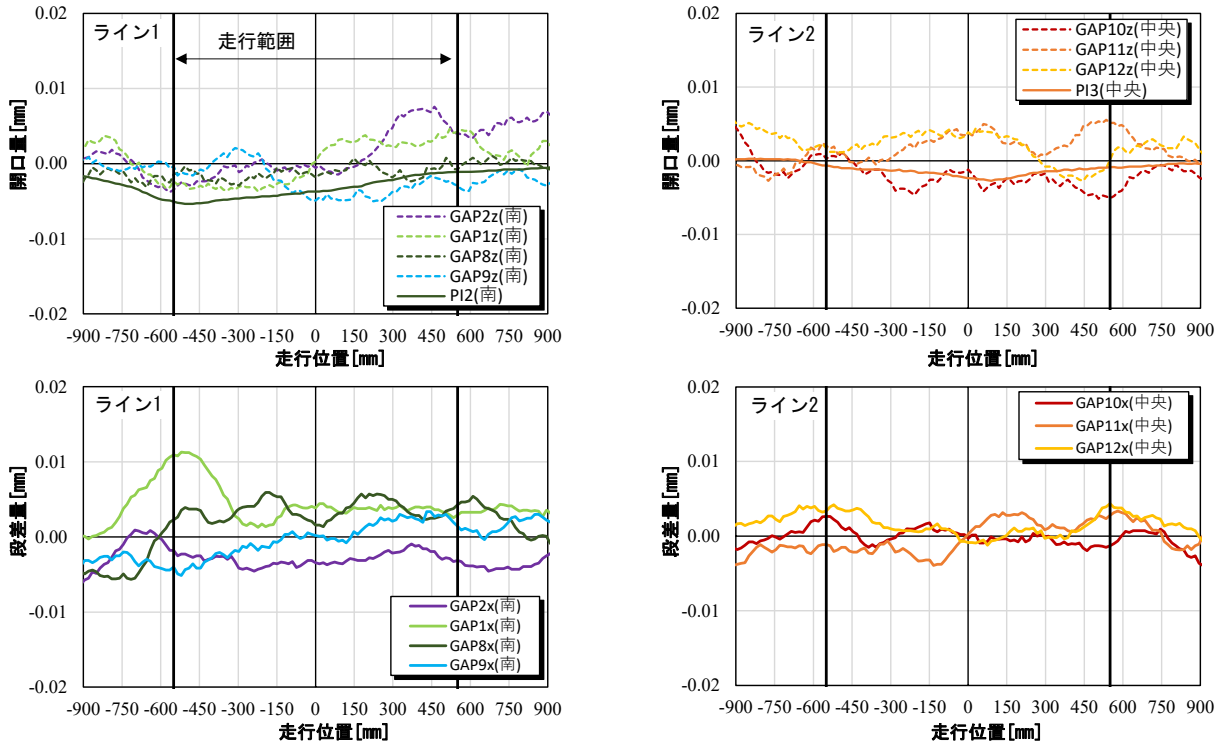


図-2.3.4.1 走行中の開口量，段差量（ケース 4，走行初期）

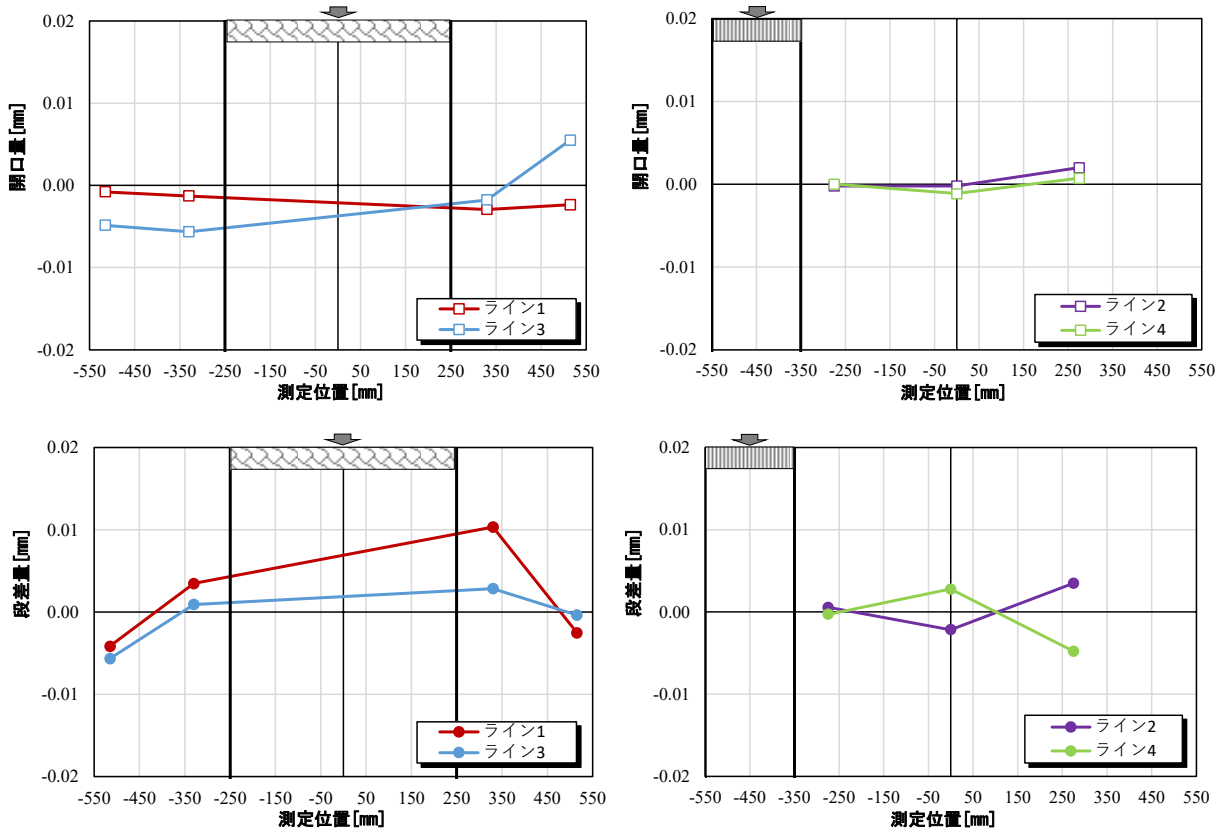


図-2.3.4.2 ずれセンサーで取得した载荷位置 a の開口量（ケース 4，走行初期）

ケース4の走行終了付近における開口量、段差量を図-2.3.4.3～図-2.3.4.4に示す。

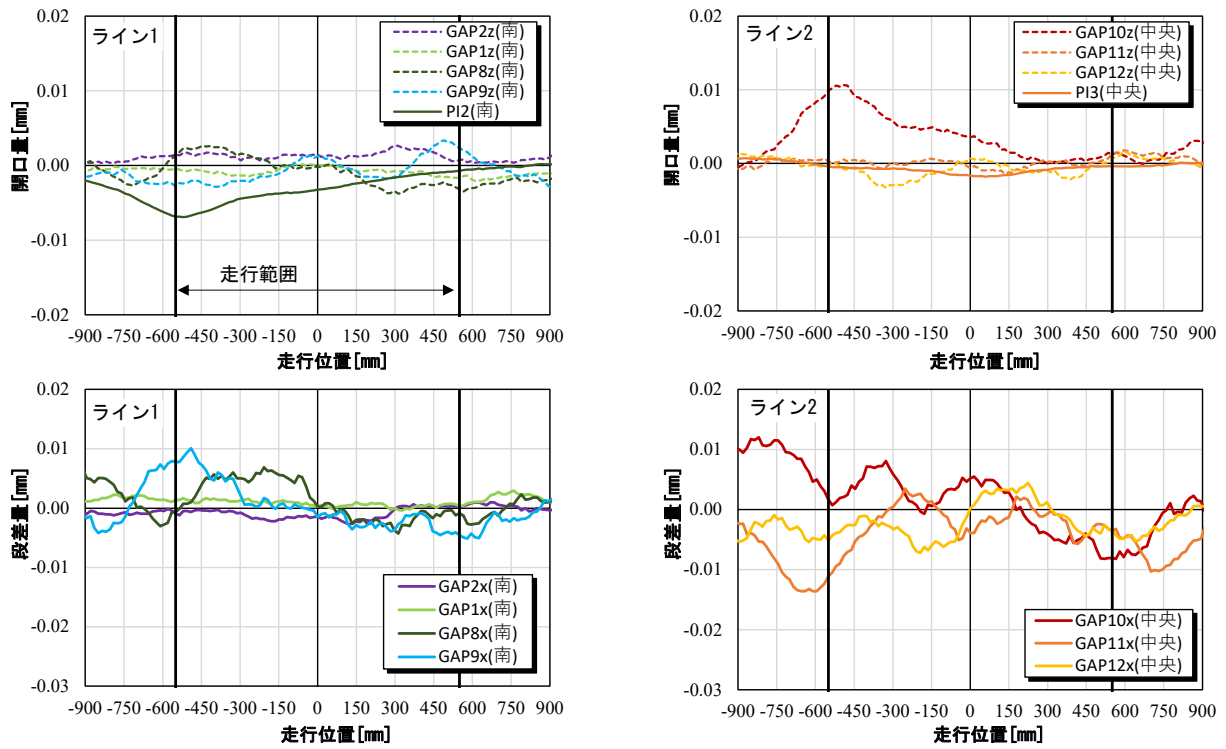


図-2.3.4.3 走行中の開口量，段差量（ケース4，走行終了付近）

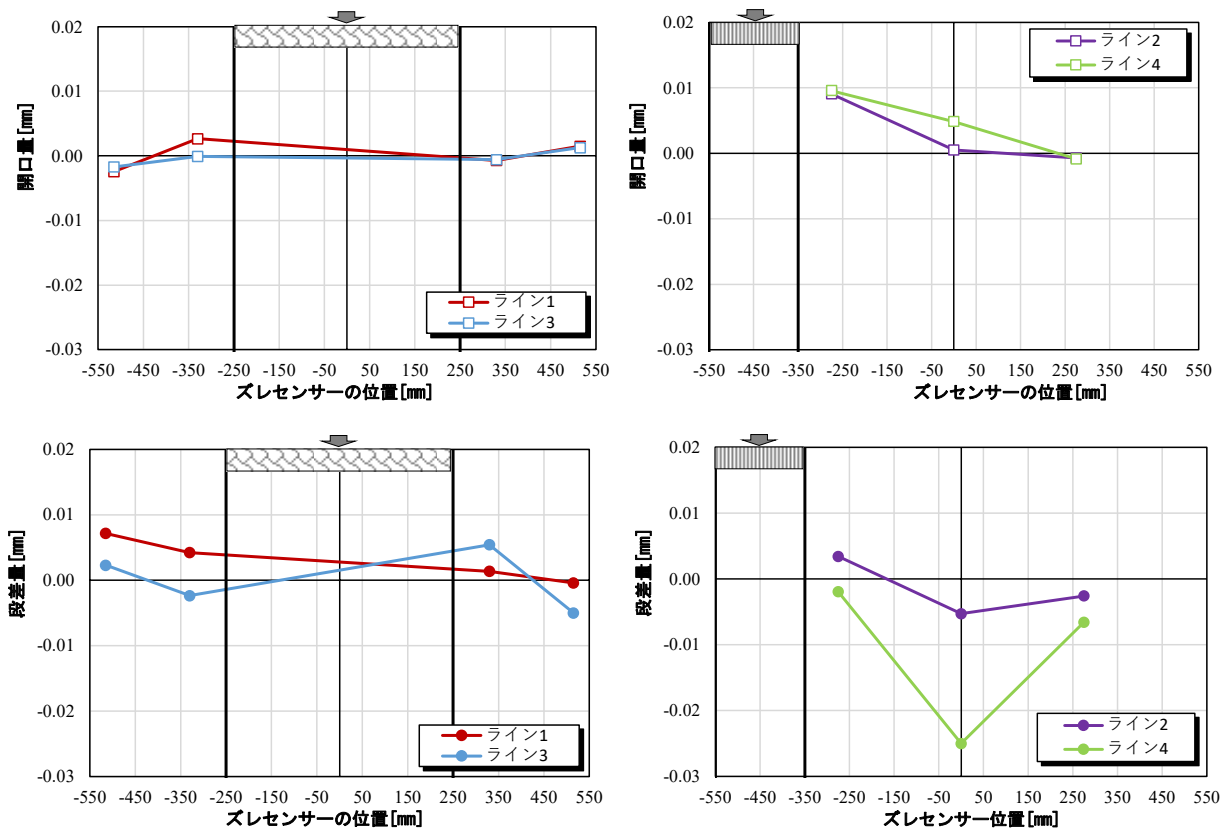


図-2.3.4.4 ずれセンサーで取得した载荷位置aの開口量，段差量（ケース4，走行終了付近）

2.3.5 試験ケース 5 の結果

ケース 5 の走行初期における開口量, 段差量を図-2.3.5.1～図-2.3.5.2 に示す.

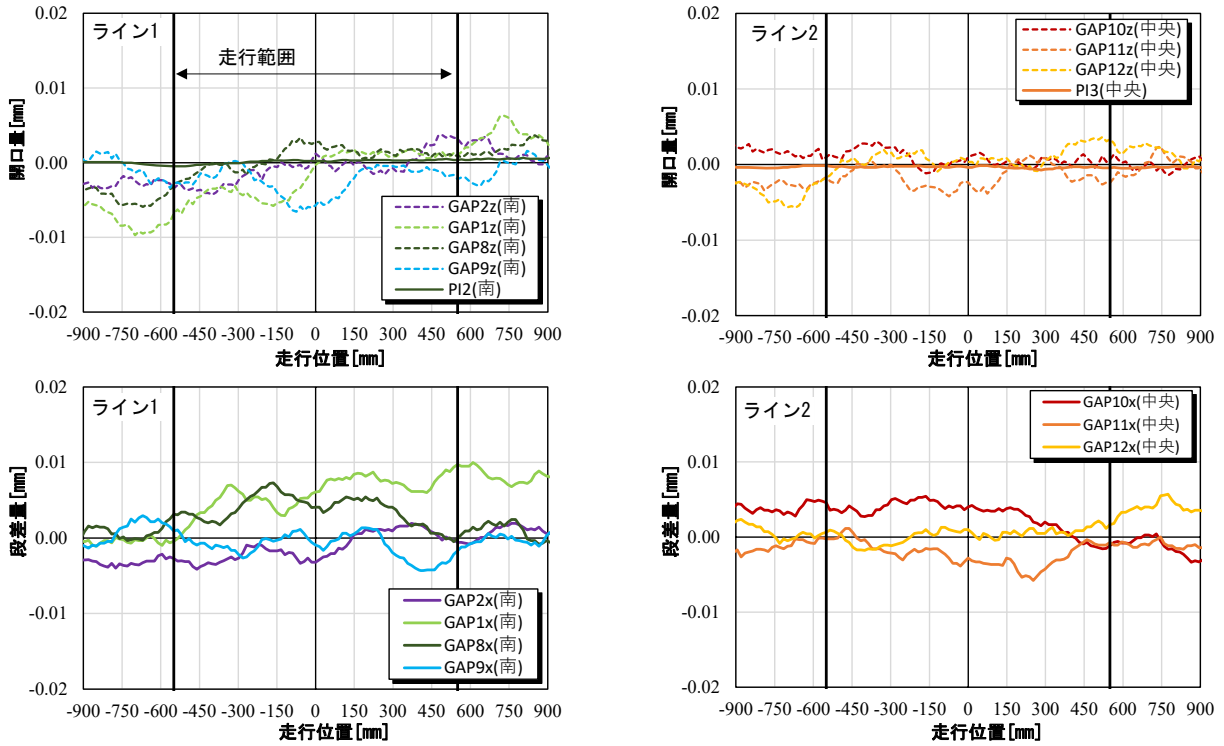


図-2.3.5.1 走行中の開口量, 段差量 (ケース 5, 走行初期)

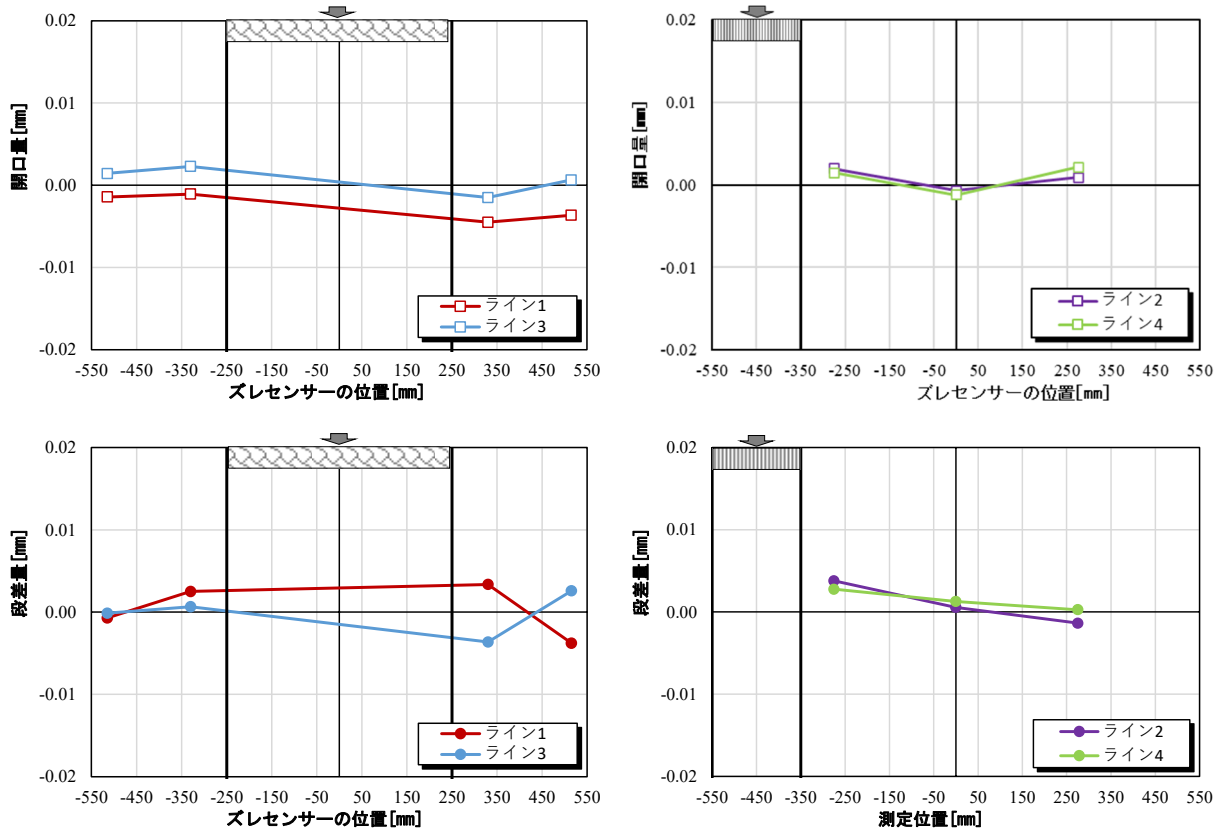


図-2.3.5.2 ずれセンサーで取得した载荷位置 a の開口量, 段差量 (ケース 5, 走行初期)

ケース 5 の走行終了付近における開口量，段差量を図-2.3.5.3～図-2.3.5.4 に示す。

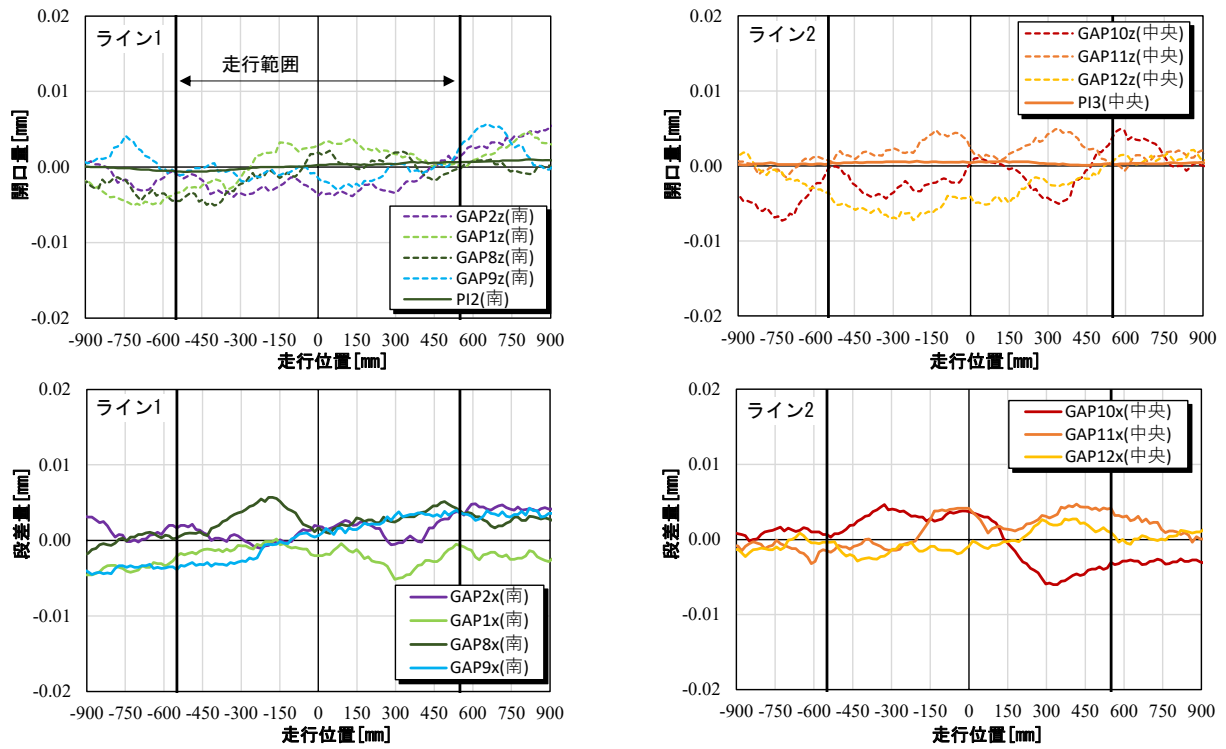


図-2.3.5.3 走行中の開口量，段差量（ケース 5，走行終了付近）

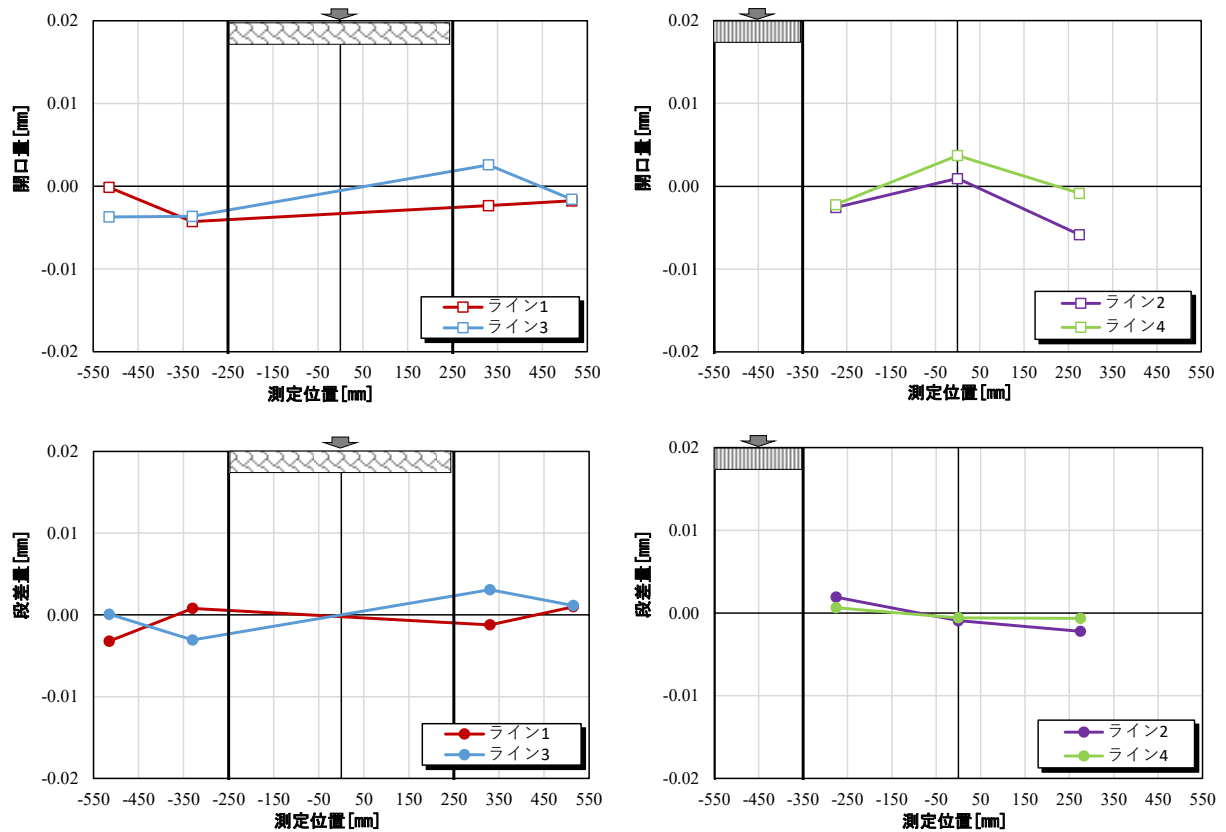


図-2.3.5.4 ずれセンサーで取得した载荷位置 a の開口量，段差量（ケース 5，走行終了付近）

2.3.6 試験ケース 5'の結果

ケース 5'の走行初期における開口量, 段差量を図-2.3.6.1～図-2.3.6.2 に示す.

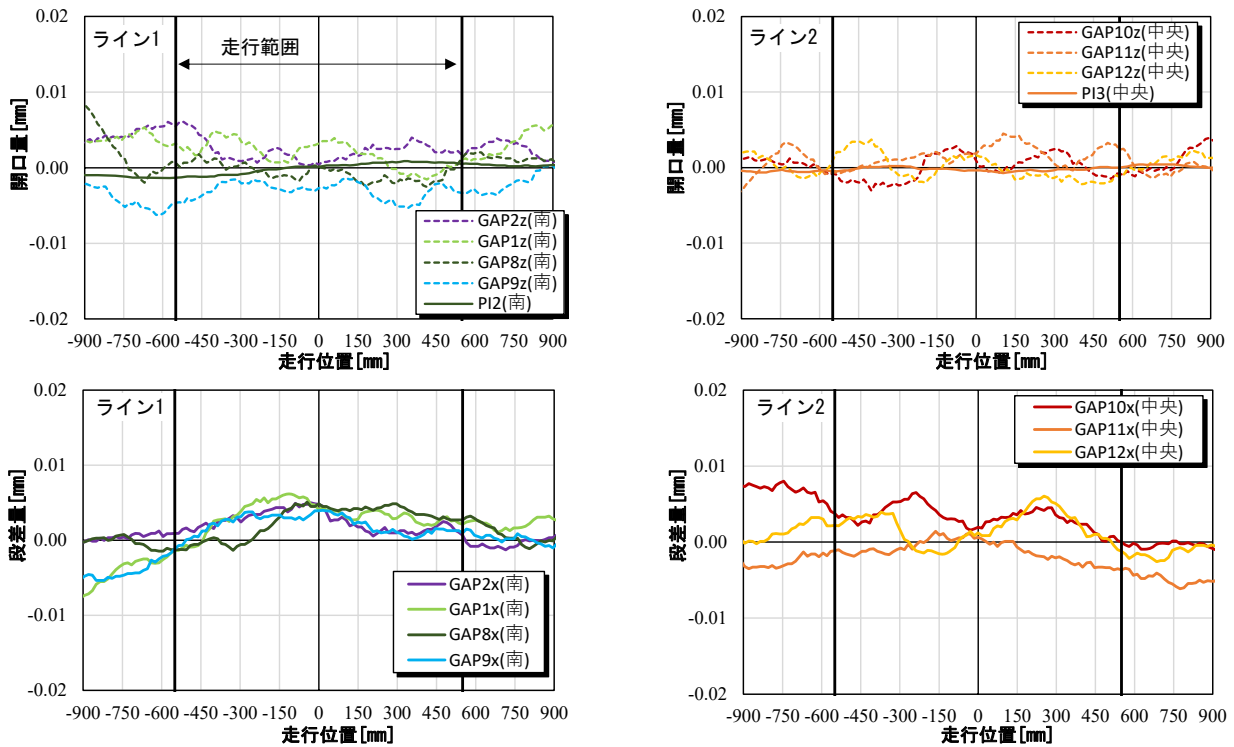


図-2.3.6.1 走行中の開口量, 段差量 (ケース 5', 走行初期)

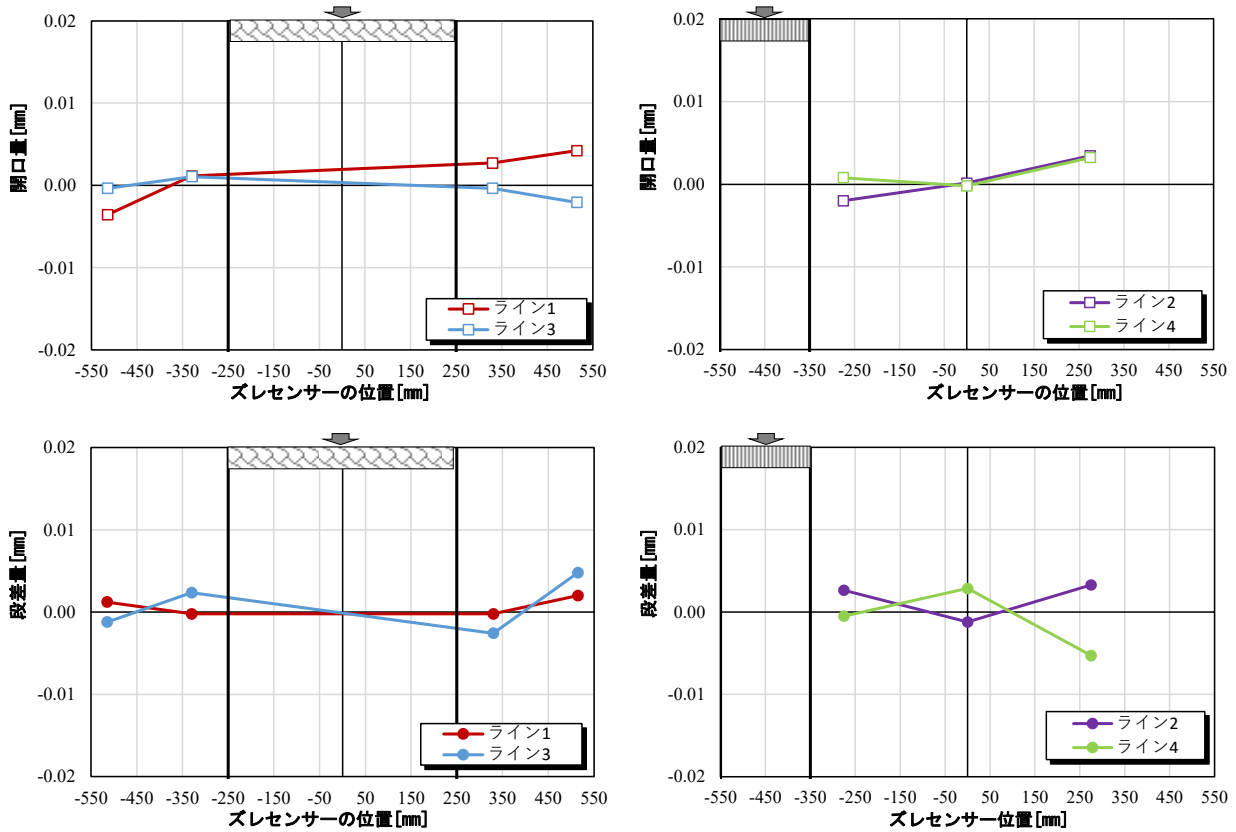


図-2.3.6.2 ずれセンサーで取得した載荷位置 a の開口量 (ケース 5', 走行初期)

ケース 5'の走行終了付近における開口量，段差量を図-2.3.6.3～図-2.3.6.4 に示す。

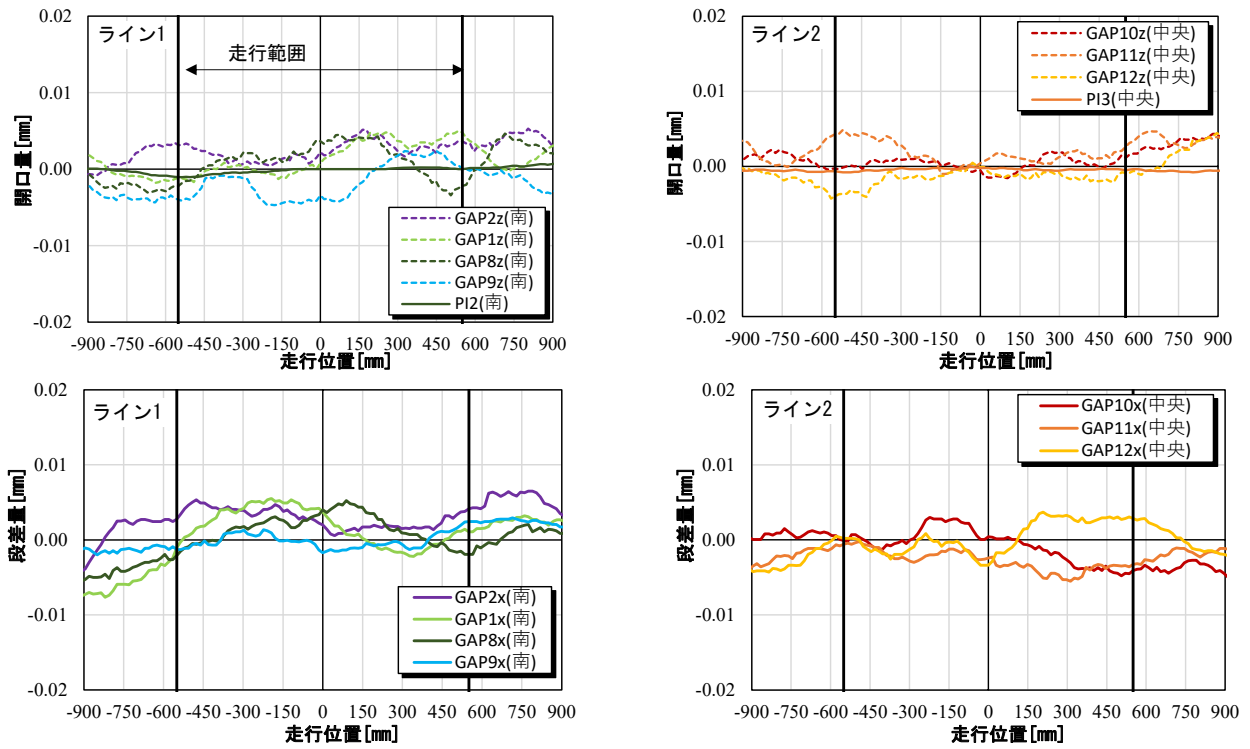


図-2.3.6.3 走行中の開口量，段差量（ケース 5'，走行終了付近）

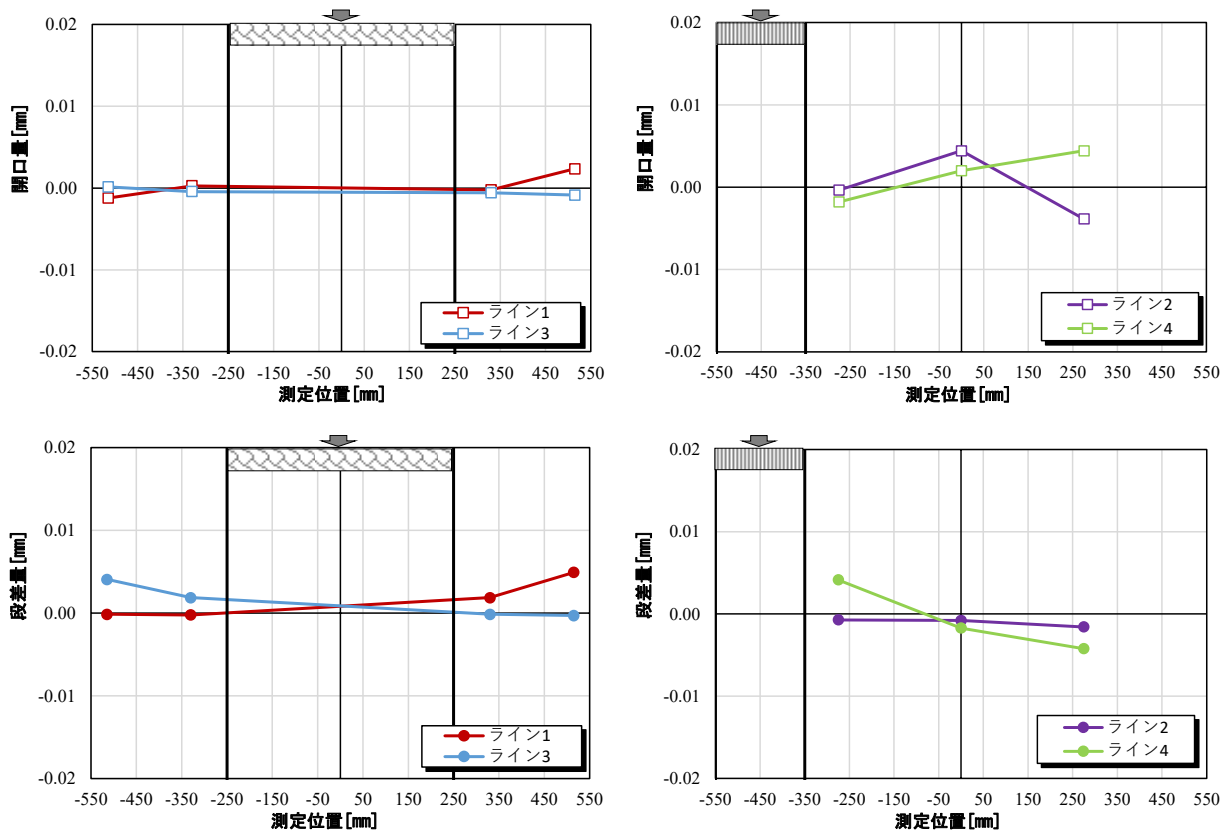


図-2.3.6.4 ずれセンサーで取得した载荷位置 a の開口量，段差量（ケース 5'，走行終了付近）

2.4 FEM 解析

2.4.1 モデル化

解析モデルの一例を図-2.4.1.1, 解析ケースを表-2.4.1.1 に示す. 汎用 FEM 解析プログラムは, Marc Mentat 2019 を適用し, 3 次元弾性解析を行った. 着目する補修材とその近傍の母材は, 要素サイズを $25\text{mm}\times 25\text{mm}\times 20\text{mm}$ とし, その他の母材では, 計算負荷を低減するため着目する部分に比して大きく (最大で $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 80\text{mm}$) なるよう要素分割した. ケース 1, 2 では, 対称性を考慮し Y 軸方向に 1/2 のモデルとし, ケース 3 では, 供試体全体をモデル化した.

補修材は母材と縁切りしているため, 界面で相対的なずれが生じることが想定される. そこで, 補修材の底面は, 母材との界面を二重節点とし, Marc に標準実装されている接触解析機能を用いた. また, 補修材の側面は, 乾燥の影響により補修材が収縮することも考えられるため, 0.1mm の隙間を考慮した. ただし, ケース 1 では, 補修材の側面を二重節点にして隙間がない状態も考慮することで, 隙間の有無による影響を検討した. 接触条件はペナルティ関数法を用いて, 摩擦係数は 0.5 とした.

母材とそれぞれの補修材の物性値は, 表-2.4.1.2 に示す値を使用した. 载荷ブロックは剛体とみなせる弾性係数 (母材の弾性係数の 100 倍) を入力し, 補修材と剛結した.

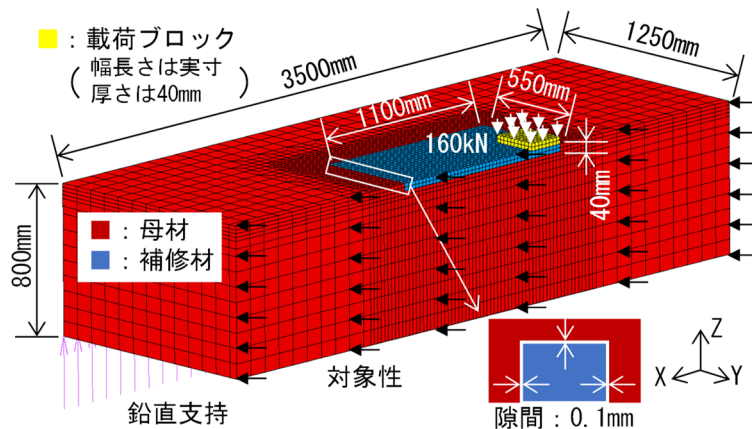


図-2.4.1.1 解析モデルの一例 (ケース 1, 隙間 0.1mm)

表-2.4.1.1 解析ケース

ケース	補修材	母材と補修材の界面	载荷位置	モデル化
1	H	隙間 0.1mm	a	1/2 対象性
		隙間なし		
2	UH	隙間 0.1mm	a	1/2 対象性
3			b	フルモデル
	c			

表-2.4.1.2 材料物性値

部位	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	備考
母材 H	9	26.1	18,800	0.186	実験開始日
補修材 H	7	25.9	19,300	0.159	ケース 1
補修材 UH	5	70.4	37,900	0.191	ケース 2,3
補修材	5	62.6	34,100	0.158	ケース 4
UHPFRC	7	84.4	38,100	0.155	ケース 5

2.4.2 載荷方法

FEM 解析の対象とする輪荷重の位置は、図-2.4.2.1 および表-2.4.1.1 のように、走行方向に対して補修材の縁部にある条件（以下、a）を基本とした。ただし、ケース 3 では、補修材の隅角部にある条件（以下、b）、走行直角方向に対して補修材の縁部にある条件（以下、c）とすることで、載荷位置の影響を検討した。実験の輪荷重（160kN）は、線で載荷ブロックに作用するが、FEM 解析では簡易な条件とするため面で作用する圧力として定義した。

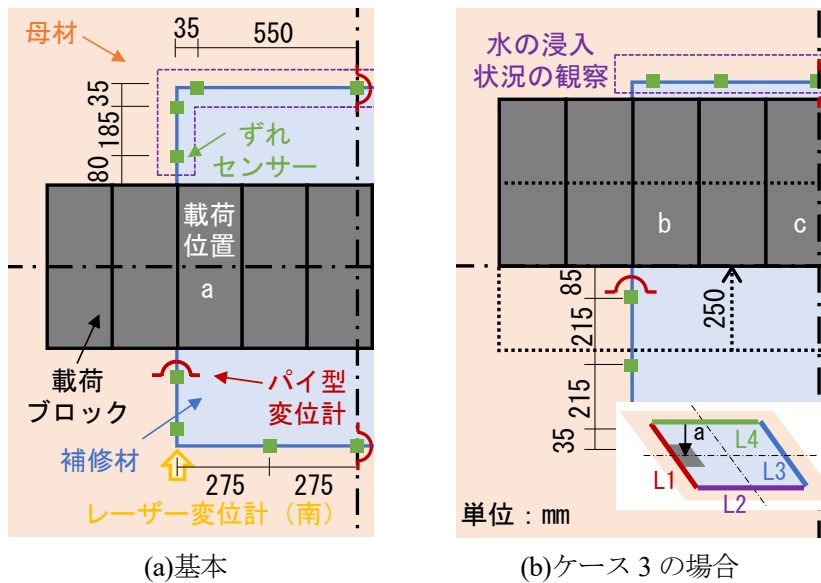


図-2.4.2.1 載荷と測定位置の概要

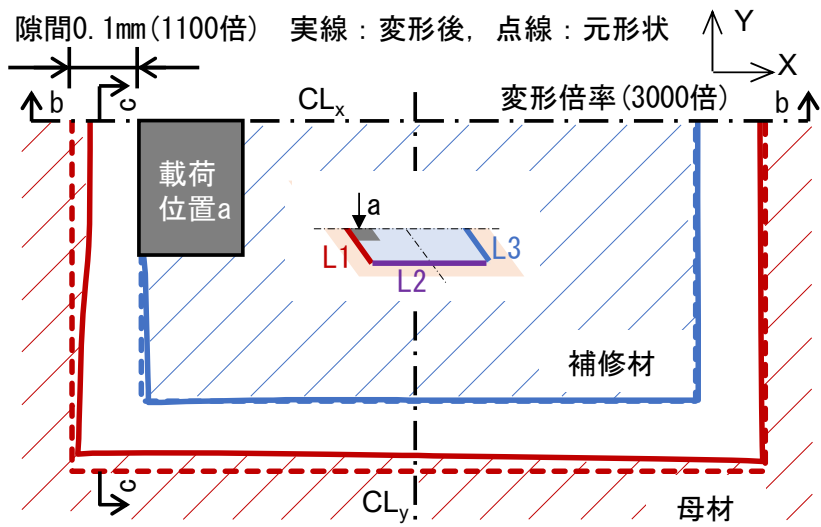
2.4.3 FEM 解析の結果

(1) FEM 解析による開口挙動の把握

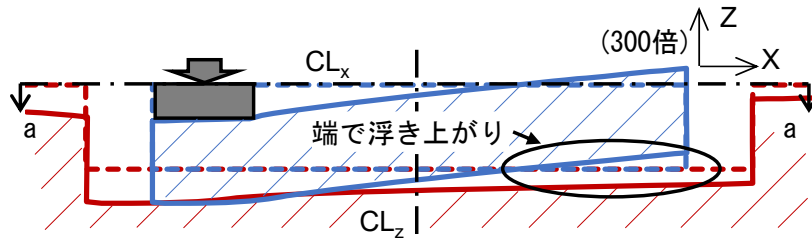
図-2.4.3.1 に、ケース 1（隙間 0.1mm）における母材と補修材との界面の開口挙動の概略図を示す。図-2.4.3 は、FEM 解析の結果から母材と補修材における界面の X, Y および Z 変位を求め、挙動が視覚的にわかるようそれぞれの変位に倍率を乗算して作成した。

図-2.4.3.1(a)より、a-a 平面図において、母材はいずれのライン（図表中では L と略記）も補修材に近づく開口挙動を示した。一方で、補修材は載荷点を支点としたそり変形の影響により、載荷ブロックに近いライン 1 では母材から離れる挙動を示し、対面のライン 3 では母材に近づく開口挙動を示した。図-2.4.3.1(b)より、b-b 断面図において、母材、補修材ともに載荷点直下を中心にして母材全体が載荷方向へたわんでいるが、補修材ではライン 3 の位置で端が浮き上がるそり変形が生じた。図-2.4.3.1(c)より、c-c 断面図においても、前述のとおり母材は載荷方向へたわみ、補修材ではそり変形が生じた。

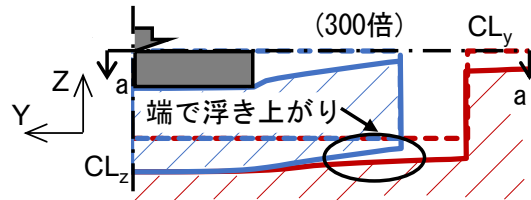
図-2.4.3.2 に、ケース 1（隙間なし）における母材と補修材との開口挙動の概略図を示す。図より、母材は載荷方向へたわみ、補修材では底面の中央付近が浮き上がるそり変形が生じた。ただし、変形量は、0.1mm の隙間がある場合と比較して小さい傾向にあり、隙間の有無によって、補修材単体のそり変形の挙動に差があった。



(a)a-a 平面図



(b)b-b 断面図



(c)c-c 断面図

図-2.4.3.1 FEM 解析による開口挙動の概略図 (ケース 1, 隙間 0.1mm)

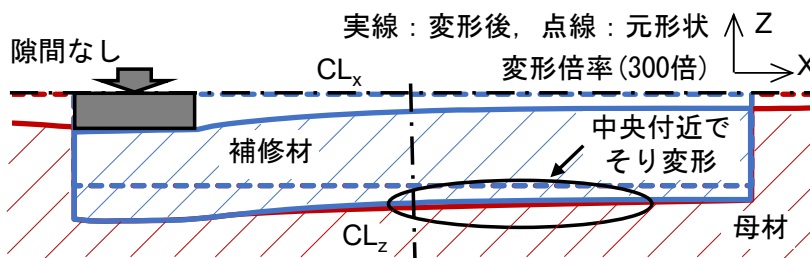


図-2.4.3.2 b-b 断面における開口挙動の概略図 (ケース 1, 隙間なし)

(2) FEM 解析における開口量と段差量の算出方法

輪荷重走行試験と FEM 解析で得られた母材と補修材の界面における水平方向の開口量，鉛直方向の段差量を比較した。実験では，ずれセンサーから取得した値は，走行中のドリフト等を除去するため，0 点補正した。FEM 解析では，母材と補修材の界面において，それぞれの節点から変位を加減算することで開口量，段差量を算出した。変位の加減算は，補修材の界面が開く場合を正として開口量を算出し，補修材が母材よりも相対的に下がる場合を正として段差量を算出した。

(3) 開口量と段差量の算出結果

図-2.4.3.3 にケース 1（隙間 0.1mm），図-2.4.3.4 にケース 1（隙間なし），図-2.4.3.5 にケース 2，図-2.4.3.6 及び図-2.4.3.7 にケース 3（载荷位置 b, c）の開口量と段差量の算出結果を示す。

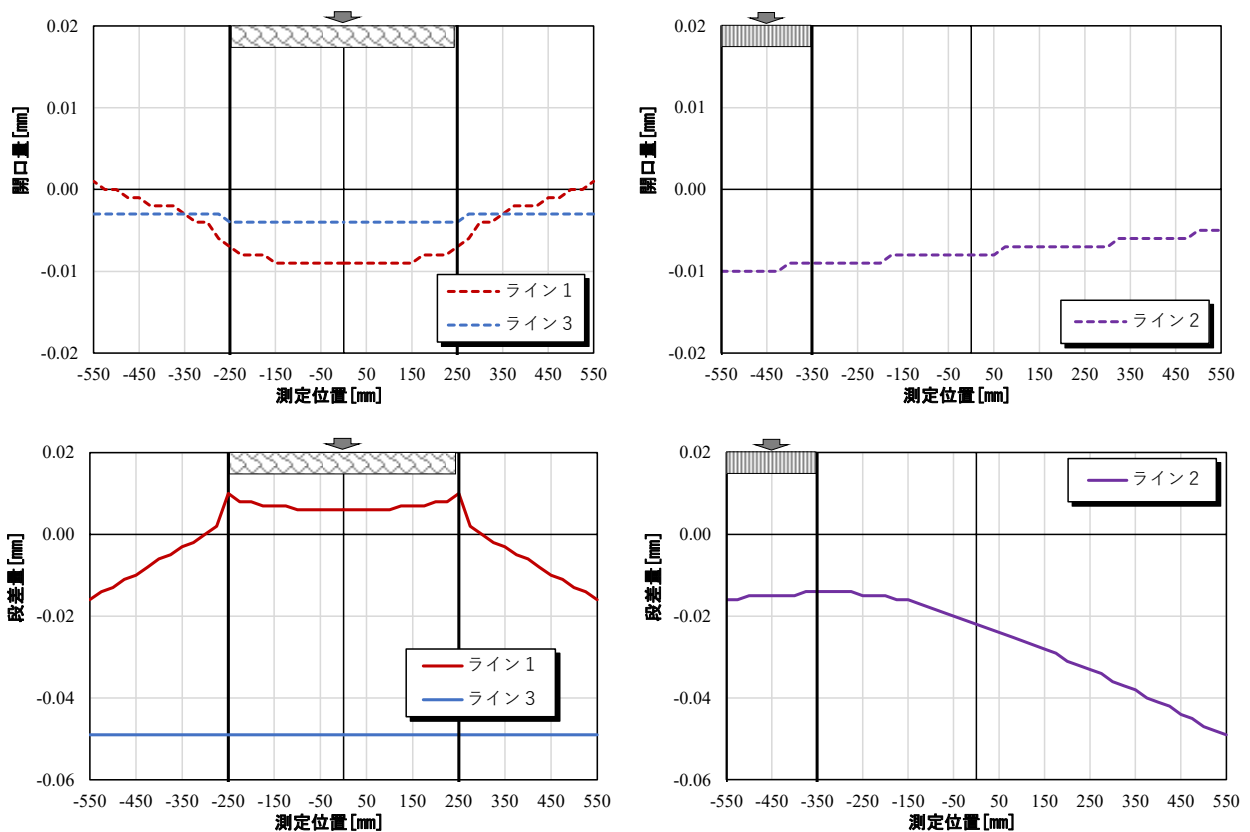


図-2.4.3.3 ケース 1（隙間 0.1mm）の解析による開口量，段差量

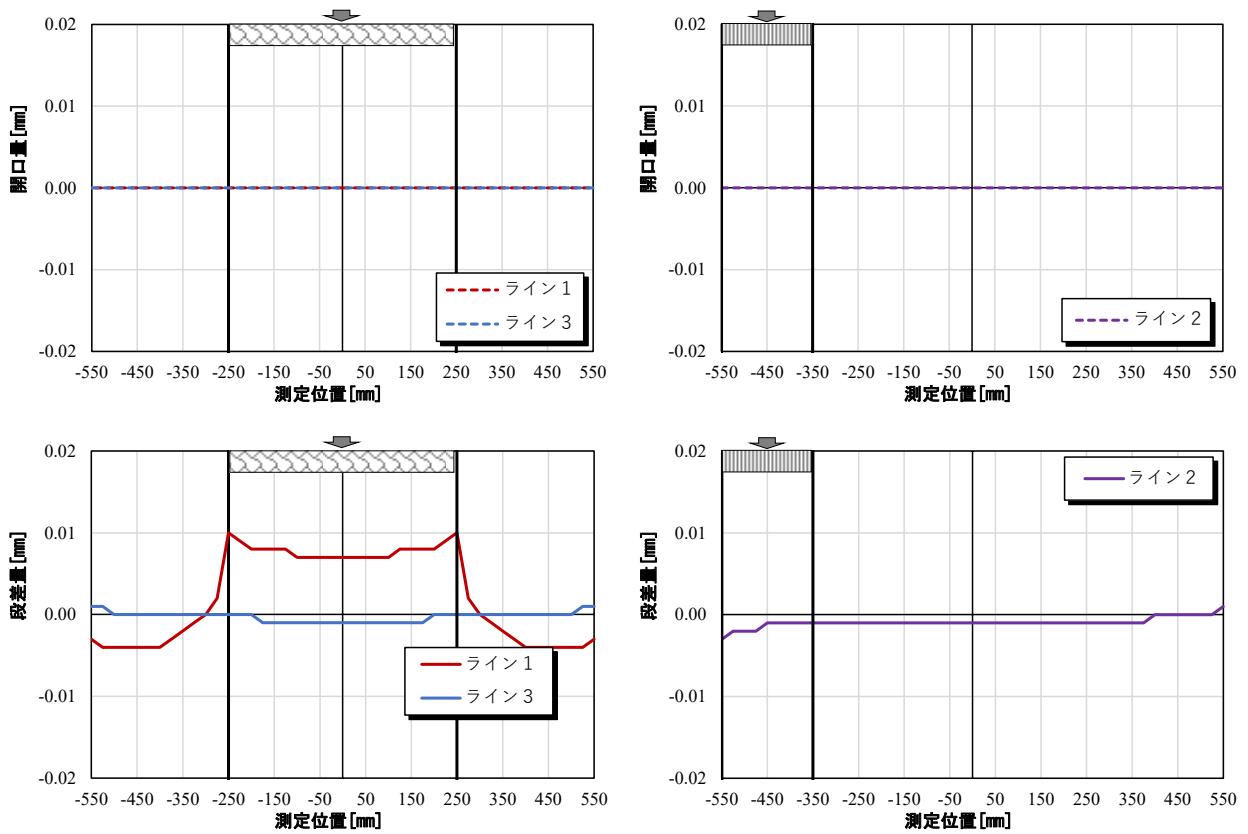


図-2.4.3.4 ケース 1 (隙間なし) の解析による開口量, 段差量

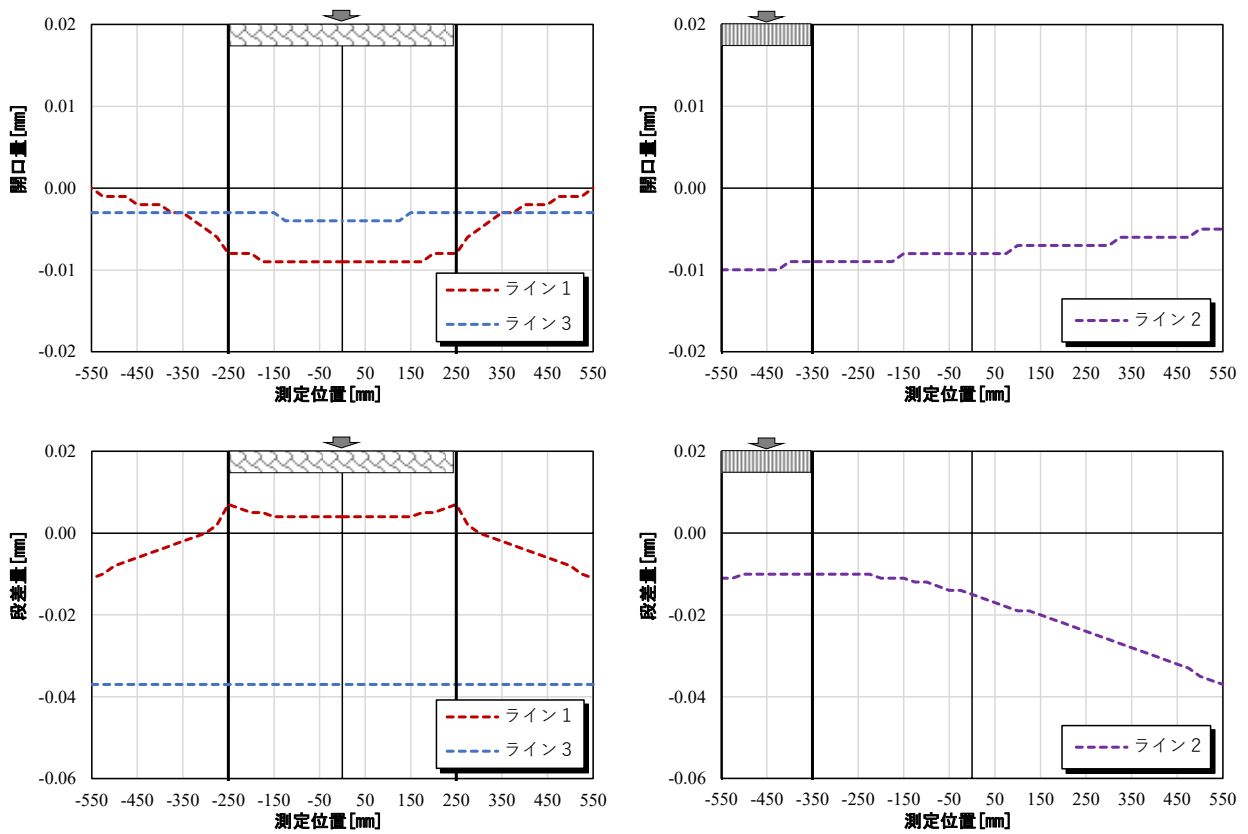


図-2.4.3.5 ケース 2 の解析による開口量, 段差量

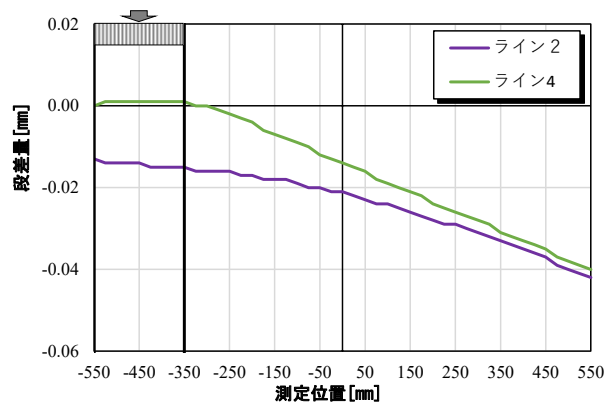
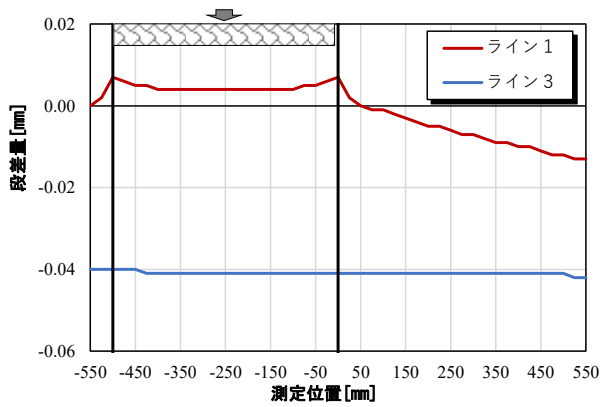
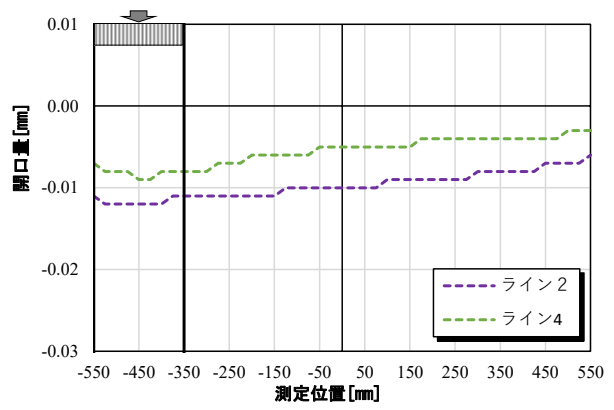
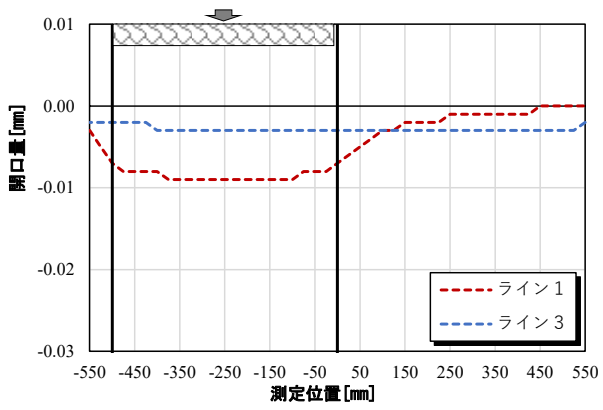


図-2.4.3.6 ケース 3 の荷重位置 b の解析による開口量，段差量

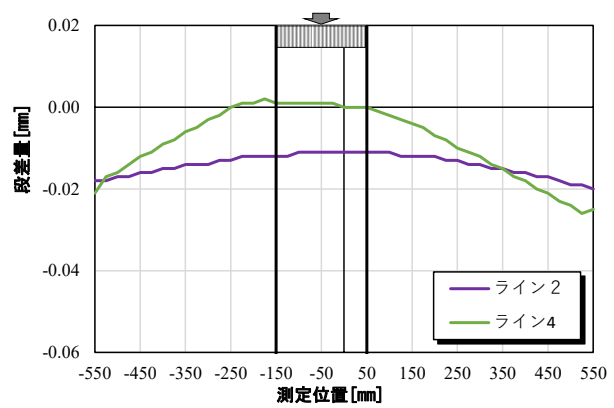
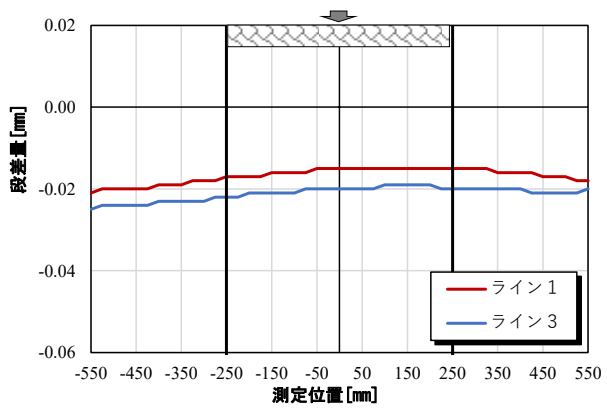
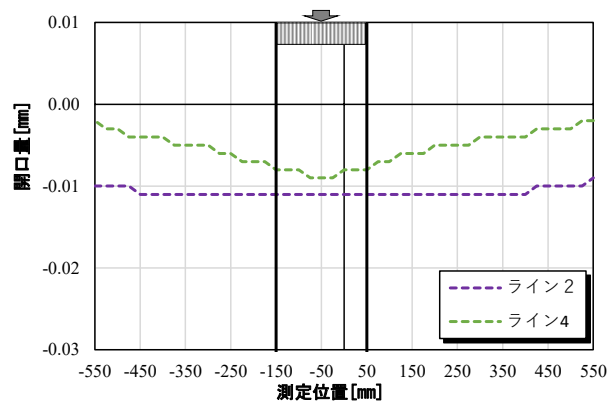
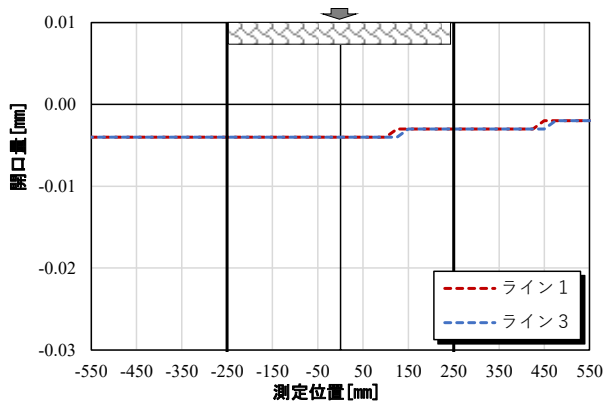


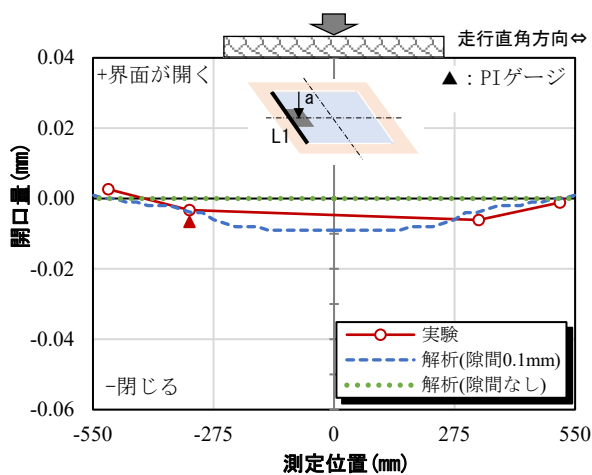
図-2.4.3.7 ケース 3 の荷重位置 c の解析による開口量，段差量

2.5 開口挙動に関する考察

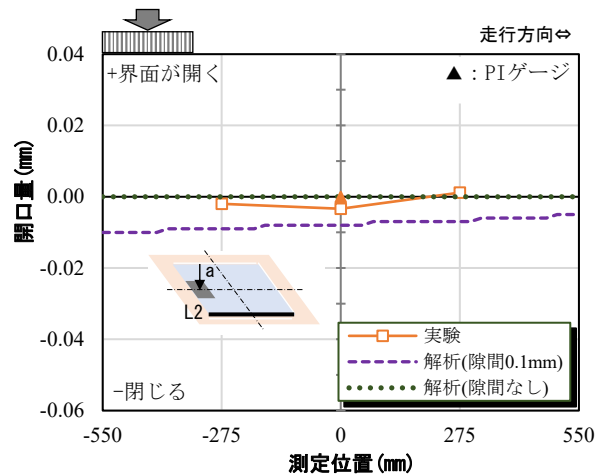
2.5.1 実験と解析結果の整合性

ケース 1 における実験および FEM 解析（隙間 0.1mm，隙間なし）から得られた開口量，段差量の比較結果を図-2.5.1.1 に示す。ここでの実験値は，FEM 解析では繰返し载荷の影響を考慮していないため，その影響の小さい走行回数が 1,000 回のデータを示した。

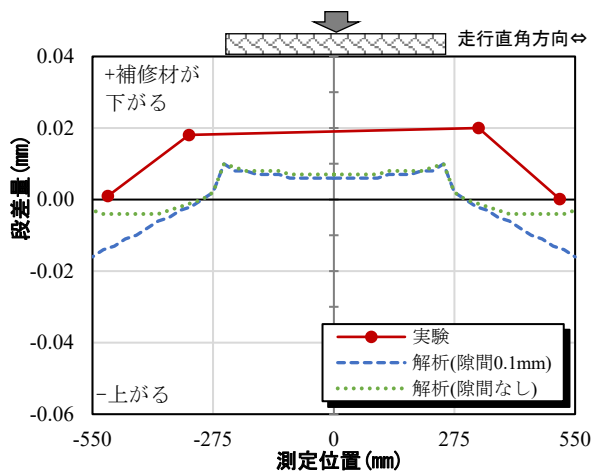
図-2.5.1.1(a)より，载荷ブロックに近いライン 1 の開口量は，実験値と解析値（隙間 0.1mm）とで値の大きさに若干の差があるものの载荷点近傍で界面が閉じる挙動を示す点で一致した。一方，解析値（隙間なし）では，開口量の値に変化がなかった。図-2.5.1.1(b)より，ライン 2 の開口量は，実験値ではいずれも値に変化がほぼなく，その傾向は解析値（隙間なし）でも同様であった。一方，解析値（隙間 0.1mm）では界面が閉じる挙動を示した。図-2.5.1.1(c)より，ライン 1 の段差量は，実験値では载荷点近傍で補修材が母材よりも下がる挙動を示し，解析値（隙間 0.1mm，隙間なし）でも値の大きさに若干の差があるものの同様な傾向が得られた。図-2.5.1.1(d)より，ライン 2 の段差量は，実験値および解析値（隙間なし）のいずれも値に変化がほぼなかったが，解析値（隙間 0.1mm）では補修材の端が上がるそり変形が生じた。



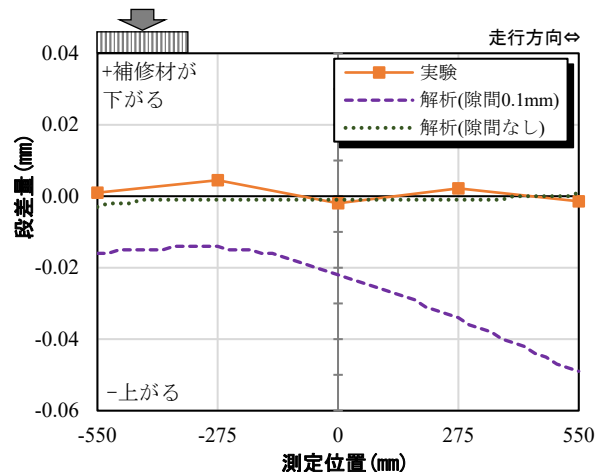
(a)ライン 1 の開口量



(b)ライン 2 の開口量



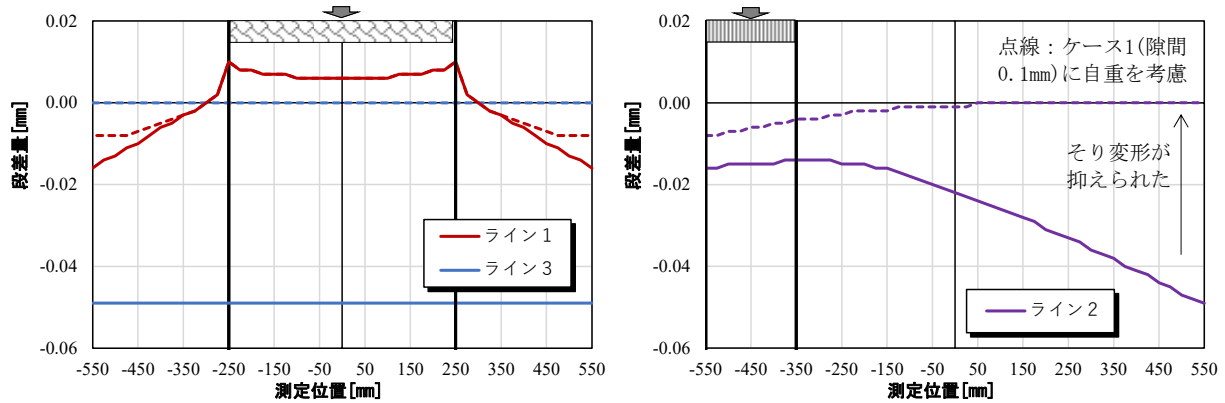
(c)ライン 1 の段差量



(d)ライン 2 の段差量

図-2.5.1.1 実験と FEM 解析における開口挙動の比較結果（ケース 1）

FEM 解析 (隙間 0.1mm) に母材と補修材の自重を考慮して得られた段差量の結果を図-2.5.1.2 に示す。FEM 解析 (隙間 0.1mm) で見られた補修材のそり変形について、自重を考慮したことでライン 1 では補修材の端の段差量が少し抑えられ、ライン 2 と 3 では載荷版から離れた位置での補修材のそり変形が完全に抑えられた。なお、自重を考慮しても開口量の値に変化はなかった。



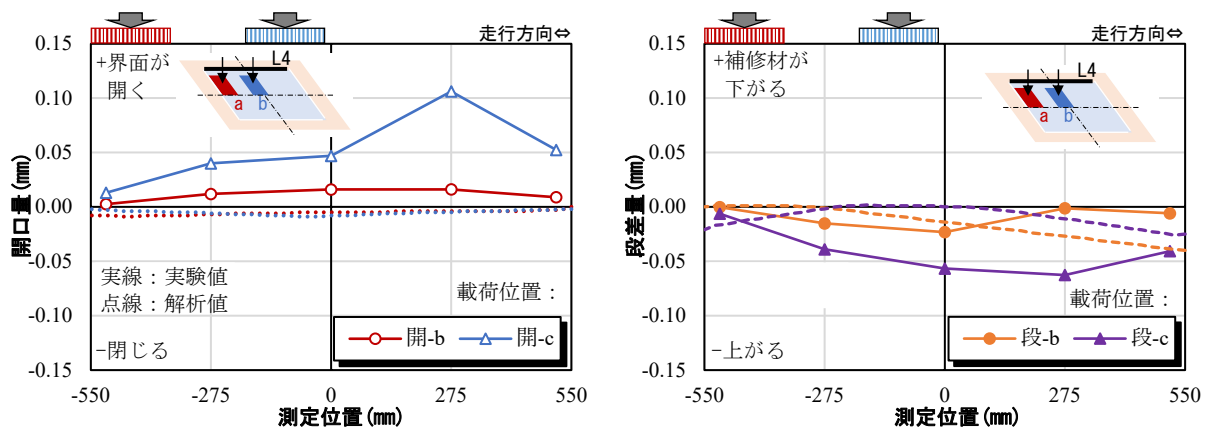
(a)ライン 1 と 3 の段差量 (b)ライン 2 の段差量

図-2.5.1.2 自重を考慮した場合の解析結果

2.5.2 荷重位置の影響

走行位置を中心からずらしたケース 3 において、荷重位置による開口挙動の影響を検討した。輪荷重の位置が補修材の隅角部 (b)、縁部 (c) にある条件の実験および FEM 解析から得られた開口量、段差量の比較結果を図-2.5.2.1 に示す。ここでの実験値も走行回数が 1,000 回のデータを示した。

図より、実験値では界面が開き、補修材の中央付近が上がる開口挙動を示したが、解析値では界面が閉じ、補修材の端が反りあがる開口挙動を示した。実験値では、輪荷重が隅角部 (b) にある条件よりも縁部 (c) にある条件の方が開口量、段差量の値が大きくなった。解析値では、荷重位置による影響で開口量、段差量の値に差がなかった。



(a)ライン 4 の開口量 (b)ライン 4 の開口量

図-2.5.2.1 荷重位置の比較結果 (ケース 3)

2.5.3 補修材の影響

ケース1（補修材 H）、2（補修材 UH）および4（補修材 UHPFRC）の結果を比較することで、補修材の弾性係数の差異による開口挙動の影響を検討した。実験と FEM 解析から得られた開口量、段差量の比較結果を図-2.5.3.1に示す。実験値は走行回数が1,000回のデータを示した。

図-2.5.3.1(a)より、荷重ブロックに近いライン1における実験値の開口量は、それぞれの補修材で異なる開口挙動を示しており、弾性係数の差異による影響が見られた。一方で、解析値の開口量は、補修材 H および UH の開口挙動がほぼ同様な傾向を示した。図-2.5.3.1 (b)より、実験値の段差量は、補修材 UH を除き、いずれも荷重点近傍で補修材が母材よりも相対的に下がる開口挙動を示し、その程度が補修材の弾性係数で異なった。また、解析値の段差量においても実験値と同様であった。

図-2.5.3.1 (c)より、ライン2における実験値の開口量は、いずれの補修材も値に変化がほぼなく、解析値でも同様な傾向であった。一方、図-2.5.3.1 (d)より、段差量は、変化が見られなかった実験値とは異なり、解析値ではいずれの補修材も補修材の端が浮き上がるそり変形が生じ、その程度が補修材の弾性係数で異なった。

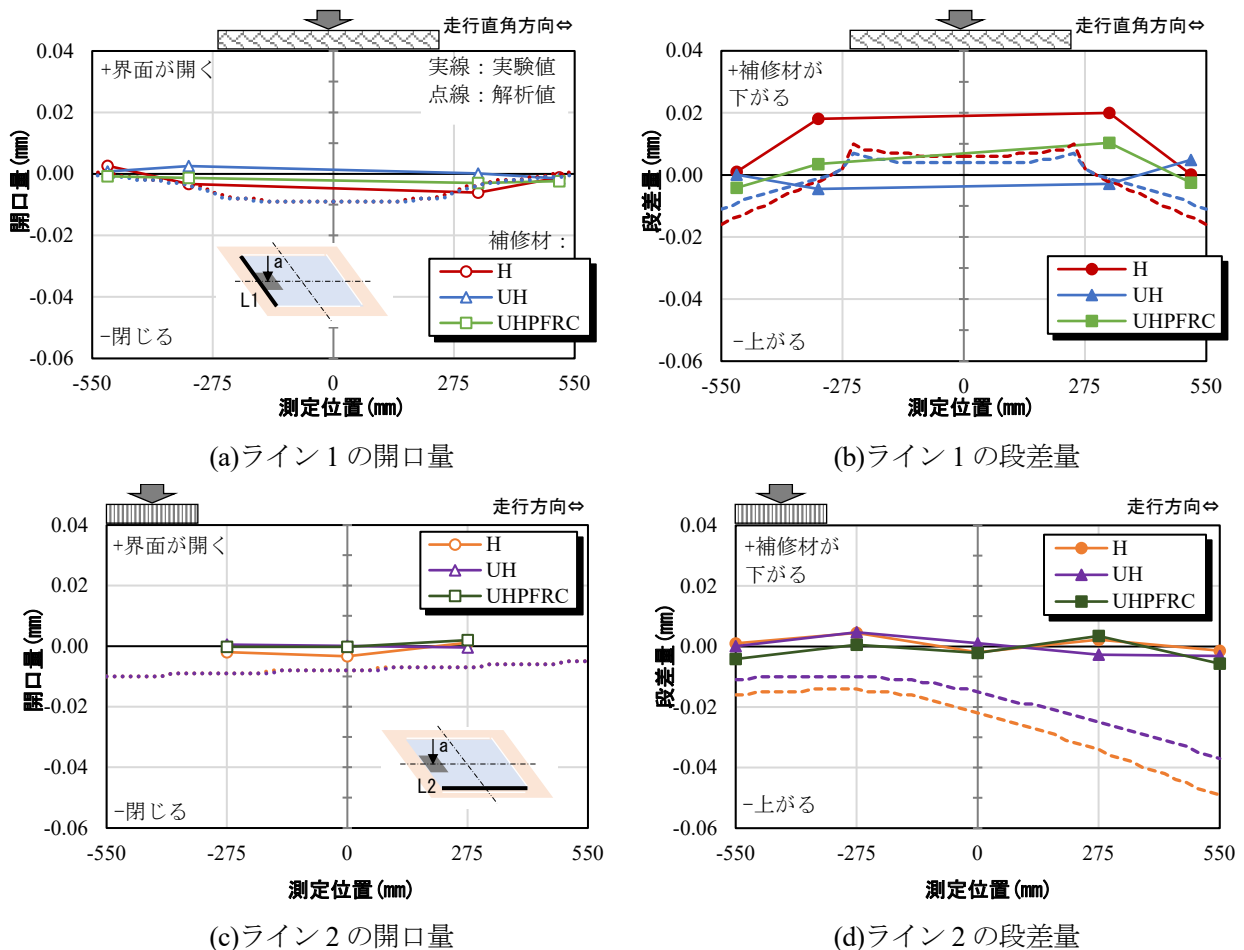


図-2.5.3.1 補修材の違いによる比較結果（ケース1,2と4）

2.5.4 繰返し载荷の影響

走行回数が初期（1,000回）と試験終了時（ケース1, 2および4では12万回, ケース5では8万回, ケース5'では100万回）の実験結果を比較することで、繰返し载荷の影響を検討した。着目する個所は、輪荷重が母材と補修材の境界を通過するライン1および3とし、走行初期と試験終了時の開口量、段差量から差分を算出した。

算出した結果、走行回数が増加したことによる開口量の差分は、ケース1では0.01mm, ケース4では0.01mmであった。段差量は、ケース1では0.02mm, ケース4では0.02mmであった。一方で、上記以外のケースでは、初期と終了時で値に変化がなかった。特に水張りで载荷したケース5'でも値に変化が見られなかったことから、繰返し载荷による開口挙動の影響はほぼなかった。

2.5.5 水の浸入状況による開口挙動の観察

輪が走行中に界面の開口挙動を目視で観察したが、変形量が微小であるため動きが確認できなかった。そのため、水の浸入状況から界面の開口挙動を観察した。水の浸入状況は、水を滴下した際に空気が泡として出てくる様子（図-2.5.5.1(a)）、水が噴出する様子（図-2.5.5.1(b)）から判断した。図-2.5.5.1(c)は、実際の泡の様子を撮影したものである。なお、このような現象は、輪の走行により界面の隙間が開閉することで生じるものと考えられた。

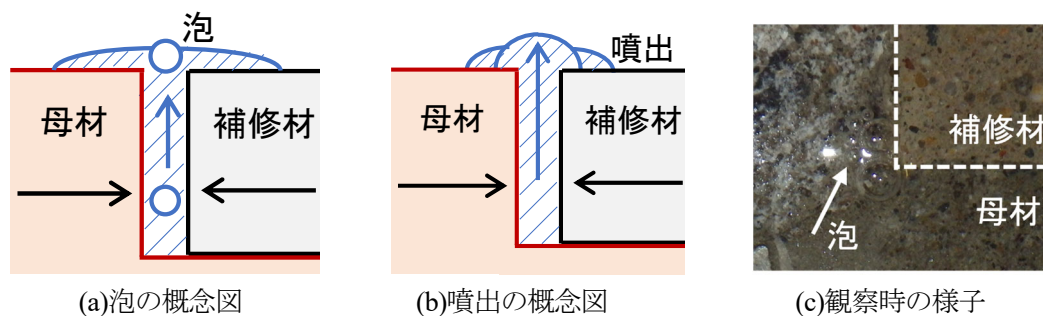


図-2.5.5.1 水の浸入状況の確認方法

水の浸入状況の観察結果を表-2.5.1.1に示す。母材と補修材の界面を縁切りしたケース1から4では、空気の泡または水が噴出する様子が確認できた。一方で、界面に接着剤を使用したケース5では、水の浸入の徴候を確認することができなかった。つまり、少なくともケース1から4では、隙間に動きが生じていたといえる。

表-2.5.5.1 水の浸入状況の観察結果

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
泡	無	有	有	有	無
噴出	有	有	有	有	無

2.5.6 隙間の影響

FEM 解析では界面の 0.1mm の隙間の有無によって、補修材単体のそり変形の挙動と開口挙動に差がみられた。しかし、実験では FEM 解析（隙間 0.1mm）で見られた補修材端部が浮き上がるそり変形の挙動を確認できなかった。両者の結果を比較すると、载荷ブロックに近い界面の開口挙動は、界面に 0.1mm の隙間を設けた解析値と実験値で同様な傾向を示した。一方で、载荷ブロックと離れた位置にある界面の開口挙動は、隙間がない解析値と実験値で同様な傾向を示した。

原因として、供試体における隙間は、施工時の仕上りの影響等から均一ではなく、FEM 解析で設けた 0.1mm よりも小さかったと推察される。試験開始時に、初期の隙間の測定を試みたが、目視では隙間の有無すら確認できなかった。また、実験では補修材の上面にあらかじめ载荷ブロックを設置した状態で走行载荷しているため、輪が載っていない载荷ブロックの自重で補修材のそり変形がある程度拘束されたものと考えられる。

2.5.7 付着の影響

界面を縁切りしたケース 4 と界面に付着を設けたケース 5、5'の結果を比較することで、付着の有無による開口挙動の影響を考察した。着目する個所は、輪荷重が母材と補修材の境界を通過するライン 1 および 3 とし、試験終了時における開口量、段差量のそれぞれの最大値と最小値の差分を算出した。

算出した結果、開口量、段差量は、ほとんどのケースにおいて 0.01mm であったことから、付着の有無でその程度に差異がなかった。つまり、接着材があっても、輪荷重が作用した際の界面挙動は変わっておらず、接着剤は界面の変形を拘束するのではなく、界面の変形に対して追従し、水の浸入を防いでいたと考えられる。また、今回の検討範囲においては、接着剤は、引張方向およびせん断方向に対して、0.01mm の繰返し変形に耐える性能を有する必要があることがわかった。

2.6 まとめ

床版上面補修における基礎的な検討として、弾性床と見なせる厚い版に上面補修を模擬した供試体から、界面挙動を把握するための輪荷重走行試験およびFEM解析を行った。その結果、次の知見が得られた。

- (1) FEM解析では、母材と補修材の隙間の有無によって、補修材のそり変形の挙動と開口挙動に差があった。
- (2) 輪荷重走行試験の結果より、界面の開口量と段差量は、0.01mmのオーダーで変形量が生じていた。
- (3) 試験結果と解析結果を比較すると、载荷ブロックに近い界面の開口挙動では、0.1mmの隙間を考慮した解析結果と同様な傾向であった。一方で、载荷ブロックと離れた界面の開口挙動は、実験では補修材端部が浮き上がるそり変形の挙動が生じないことから、隙間がない解析結果と一致していた。ただし、0.1mmの隙間を考慮した解析でも母材と補修材の自重を考慮することでそり変形の挙動が抑えられた。
- (4) 輪荷重走行試験において初期の隙間や開口挙動は、微小であり目視では確認できなかった。走行下で水を滴下した際に界面で動きがみられたが、FEM解析で設定した0.1mmよりも小さかったと推察される。
- (5) 輪荷重走行試験の結果より、接着剤の有無で界面の開口挙動は変わらなかった。接着剤は、界面の変形を拘束するのではなく、変形に対して追従していたものと考えられた。

なお、大成建設（株）からUHPFRCの材料の提供、施工の協力を頂いた。

参考文献

- 1) 島崎利孝, 橋本理, 小栗直幸, 石田征男: 既設RC床版上面増厚工法への現場打ちUFCの適用性の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1177-1182, 2019.
- 2) 超高強度繊維補強コンクリート研究小委員会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー113号, 土木学会, 2004.9.
- 3) 独立行政法人土木研究所, 株式会社東京測器研究所: コンクリート打継目のずれセンサーに関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 第448号, 2013.

3. 上面補修はり試験

3.1 概要

RC 床版の上面補修後に再劣化した事例では、既存コンクリートと補修材の界面で割れが生じている場合が多く見られる¹⁾。補修界面の改善には、既設コンクリートの表面処理に関する検討や、通常のコンクリートに比べて高強度で耐久性に優れた超高強度繊維補強セメント系複合材料が開発されるなど補修材に関する検討など、材料面、施工面の観点から多くの検討が行われている^{例えぼ 2)-5)}。しかし、RC 床版の上面補修について、構造設計が一般的に行われていない。

既存コンクリートと補修材との界面は、交通荷重により構造的な弱点になりうる場合もあるため、界面の力学的な挙動を把握することも重要である。例えば、車線内の輪荷重位置に継目がある場合など、界面の応力状態によっては、早期に界面割れが生じることも想定される⁶⁾。このことから、補修厚さ、補修範囲、輪荷重が作用する位置や主桁間などの構造的な位置関係に応じて、補修材や界面に要求する性能（補修材の弾性係数や付着強度など）を明確にするなど、上面補修の課題として構造的な視点からの検討も必要である。

そこで、本検討では、RC 床版の上面補修における構造特性のうち、既存コンクリートと補修材の界面に負曲げが生じた際の界面割れの発生や進展など上面補修特有の挙動に着目して検討を行った。検討には、補修端部の位置や補修深さをパラメータとしたはり供試体 4 体を用いて、その補修端部に負曲げを作用させる静的曲げ試験を実施した。まず、補修端部の位置や補修深さが部材の全体挙動に与える影響を把握するため、荷重—変位関係、ひび割れ発生状況やひび割れ荷重により確認した。荷重—変位関係については、断面分割法により算定した計算結果とも比較した。そして、床版の曲げ応力に対する鉛直界面の付着特性を評価するため、実験と計算により得られた補修された範囲と補修されていない範囲の曲げモーメントと曲率の関係を整理した。

3.2 試験方法

3.2.1 供試体の諸元

供試体 4 体それぞれの諸元を図-3.2.1.1、実験ケースを表-3.2.1.1 に示す。補修端部の位置は、支間中央 (CL) または載荷点直下 (CL±250mm) とした。補修深さは、劣化した RC 床版の表層を補修する場合を想定した 40mm、または鉄筋下まで補修することを想定した 70mm とした。供試体の断面は、幅 200mm、支間 2,600mm とした。供試体の断面は、幅 200mm、高さ 250mm、支間 2,600mm とした。

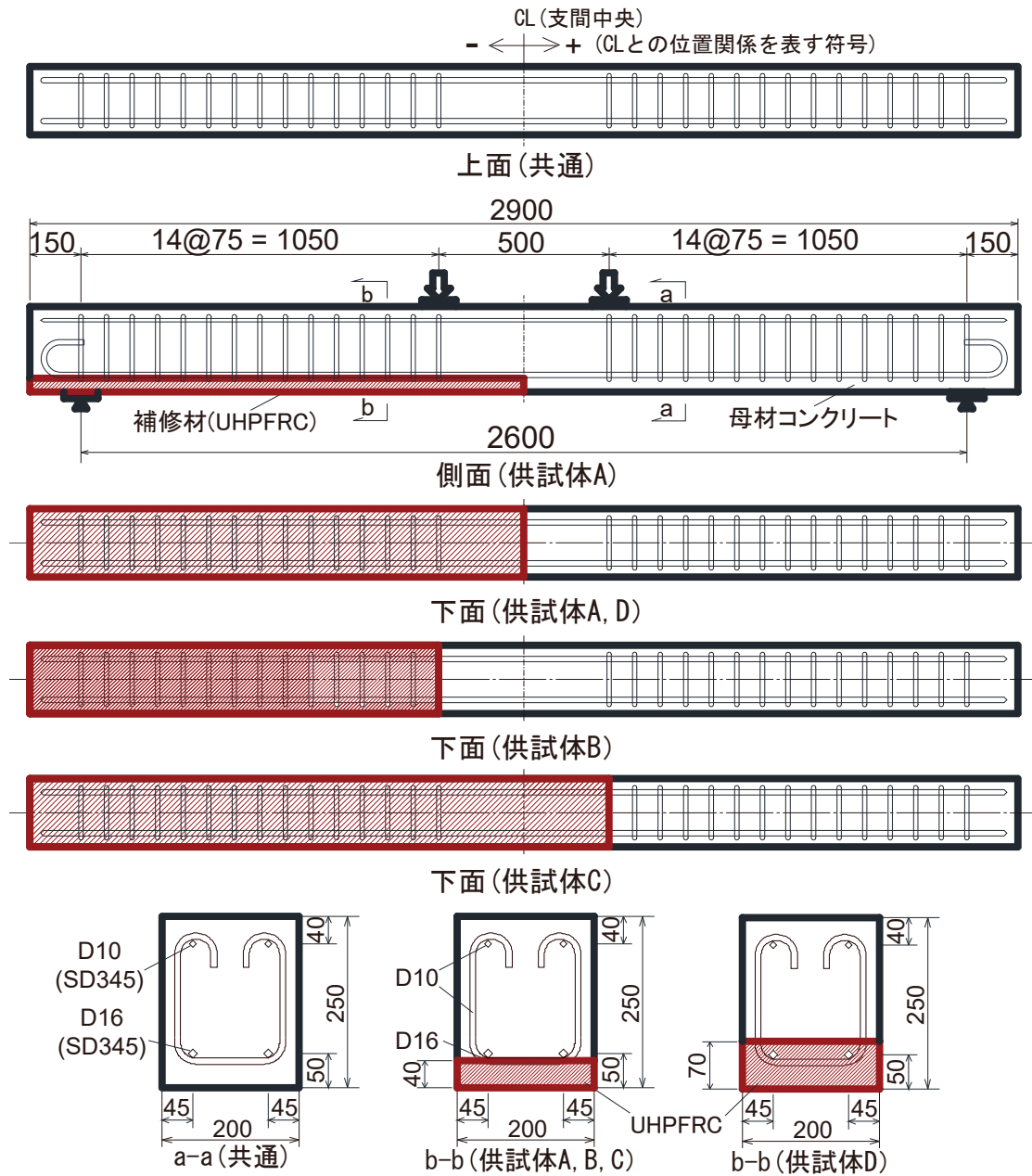


図-3.2.1.1 上面部分補修を模擬したはり供試体の諸元

表-3.2.1.1 実験ケース

供試体名	補修端部の位置	補修深さ
供試体 A	支間中央 (CL)	40mm (表層のみ)
供試体 B	荷点直下 (CL から-250mm の位置)	
供試体 C	荷点直下 (CL から 250mm の位置)	
供試体 D	支間中央	70mm (鉄筋下まで補修)

3.2.2 コンクリートの配合，材料物性値

母材コンクリート及び補修材の配合，材料物性値を表-3.2.2.1 に示す．供試体の母材コンクリートには，レディーミクストコンクリート（普通 24 12 20 N）を用いた．補修材には，鋼繊維（長さ 15mm，直径 0.2mm，体積混入率 2vol.%）を配合した現場打ち超高性能繊維補強コンクリート（UHPFRC）を用いた．図-3.2.2.1 に，ダンベル型の試験体による直接引張試験から得られた補修材の引張挙動を示す．最大荷重に到達した後，ひずみが 5,190 μ まで最大荷重を保持し，ひび割れ発生後も繊維が荷重を負担して 26,000 μ まで伸びた．

次に，鉄筋の材料物性値を表-3.2.2.2，補修材の打設時に使用したエポキシ樹脂系接着剤⁵⁾の材料物性を表-3.2.2.3 に示す．なお，補修材と既設コンクリートの付着は，JSCE-E 545-2018 に準じて引張付着試験により母材コンクリートで引張破壊が生じることを確認した．

表-3.2.2.1(a) 母材コンクリートの配合

呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	単位量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AE
24	10.5	3.6	56.0	44.1	20	169	302	795	1,038	3.23

表-3.2.2.1(b) 補修材の構成材料

使用材料	記号	概要
結合材	B	ポルトランドセメント，シリカフェーム等の混和材を予め混合した粉体
骨材	S	珪砂(粒径 2.5mm 以下)
鋼繊維	F	長さ:15mm，直径:0.2mm，アスペクト比:75 引張強度:2,000N/mm ² 以上
高性能減水剤	SP	専用減水剤
空気量調整剤	AC	ポリアルキレングリコール誘導体

表-3.2.2.1(c) 補修材の配合

単位量 (kg/m ³)					
W			B	S	F
	SP	AC			
185	14	1	1,108	1,129	157
					(2vol.%)

表-3.2.2.1(d) コンクリートの材料物性値

種別	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比(-)	載荷時の材齢(日)
母材	31.3	2.2	24,900	0.172	73
補修材	168.7	9.3	46,100	0.235	54

注) いずれも材料試験による3体の平均値

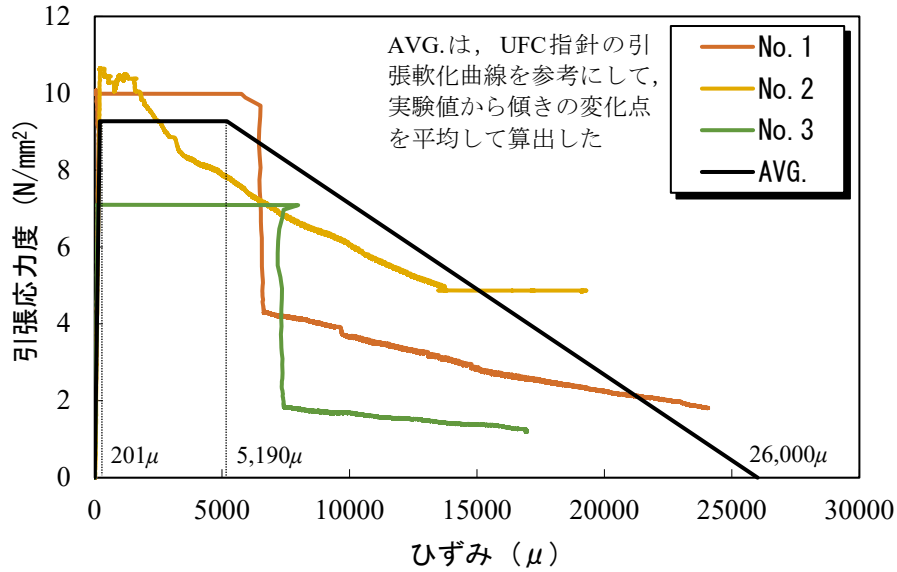


図-3.2.2.1 補修材 (UHPFRC) の引張挙動

表-3.2.2.2 鉄筋の材料物性値

種別	呼び径	鋼種	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
引張鉄筋	D16	SD345	386	193,000
圧縮鉄筋	D10	SD345	371	193,000
せん断補強筋	D10	SD345	380	193,000

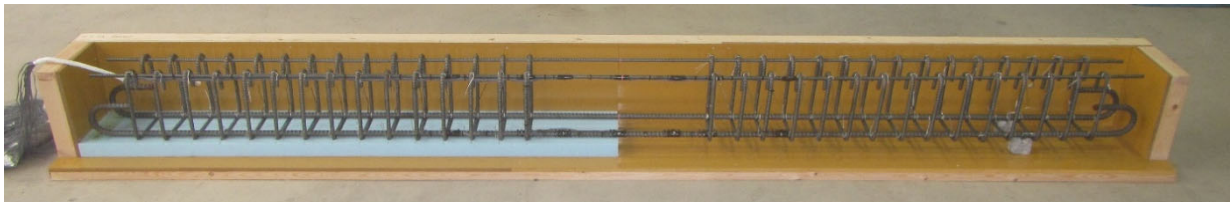
注) いずれも材料試験による3本の平均値

表-3.2.2.3 接着剤の材料物性値

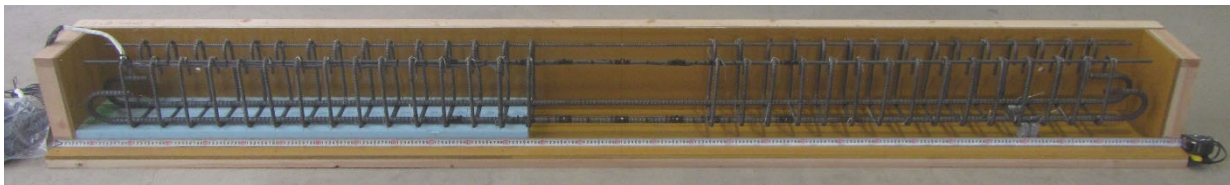
硬化物比重	圧縮降伏強度 (N/mm ²)	圧縮弾性係数 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	引張せん断強度 (N/mm ²)
1.53	83.6	3,277	53.7	22.5

3.2.3 はり供試体の製作

図-3.2.3.1 に示すように、母材コンクリートは、補修部分に予め押出発泡ポリスチレン板を設置した状態で打設し、断面欠損部を設けた。打設後は、供試体の全体をシート養生して材齢 7 日以降に型枠を脱型し、材齢 28 日まで静置した。補修材は、母材コンクリートとの界面をディスクサンダーで素地調整 (図-3.2.3.2 (a)) して接着剤を全面に塗布した後 (図-3.2.3.2 (b)), 直ちに打設した (図-3.2.3.2 (c))。なお、接着剤と補修材が型枠の隙間に流れ込まないように、図-3.2.3.3 に示すように、母材コンクリートの側面の隙間にシリコン系シール材を塗布した。補修材の表面及び母材コンクリートとの界面をラップで封緘し (図-3.2.3.4), 試体の全体を養生マットで覆いある程度保温できるような状態で材齢 28 日まで養生した。



(a)供試体 A(支間中央, 補修深さ 40mm)



(b)供試体 B(支間中央から-250mm, 補修深さ 40mm)

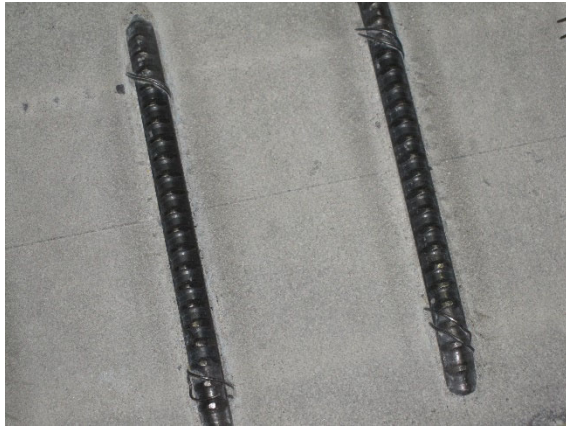


(c)供試体 C(支間中央から 250mm, 補修深さ 40mm)

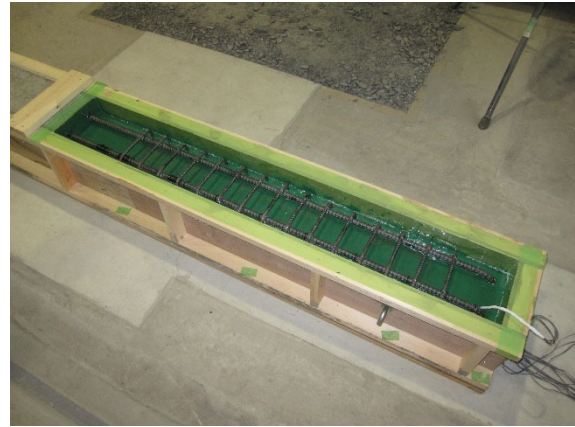


(d)供試体 D(支間中央, 補修深さ 70mm)

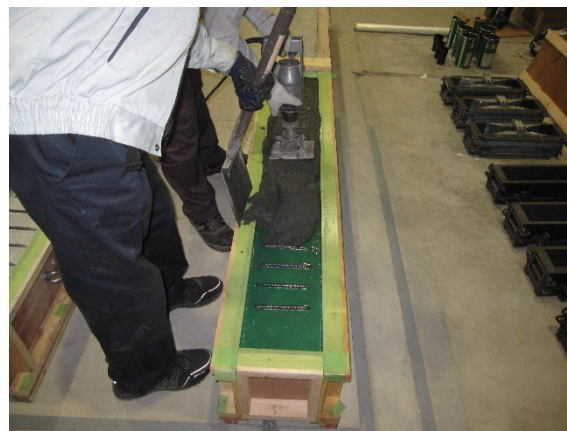
図-3.2.3.1 型枠



(a)素地調整



(b)接着剤塗布



(c)打設時

図-3.2.3.2 補修材の打設状況

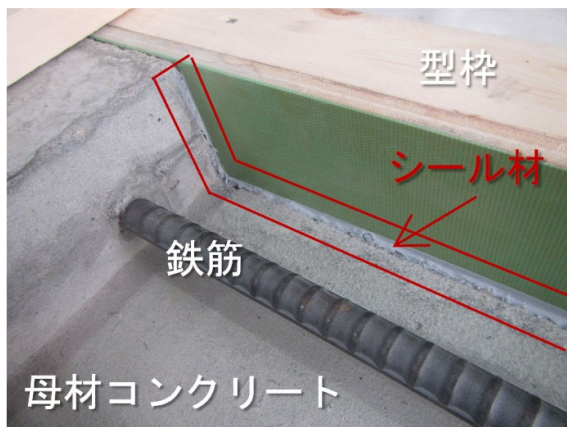


図-3.2.3.3 シリコン系シール材の塗布

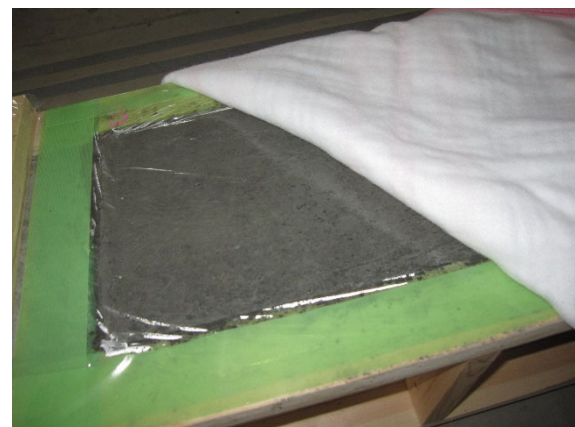


図-3.2.3.4 補修材の養生

3.2.4 荷重及び計測の方法

荷重は、図-3.2.4.1 に示したとおり、2点単純支持、2点荷重による静的曲げ試験とした。そして、供試体は、天地逆転させて鉛直界面に引張が作用するように設置した。荷重は、500kN 疲労試験機で変位制御により単調増加させた。

母材コンクリートと補修材の界面付近に設置した計測機器の状況や位置を図-3.2.4.2～図-3.2.4.7 に示す。荷重中は、供試体の全体挙動を把握するため、荷重と供試体中央の側面に設置した高感度変位計（CDP）により鉛直変位を測定した。そして、ひび割れ発生状況や進展状況を把握するため、ひび割れ観察を荷重が 5～10kN 間隔、鉄筋降伏後では試験機変位が 5～10mm 間隔で、荷重を停止させて行った。ただし、シール材等の影響で界面割れの状態を確認することが難しく（図-3.2.4.2）、荷重中の観察による界面割れの発生確認は遅れる傾向にあった。また、母材コンクリートと補修材の界面挙動（割れの発生時期や界面の応力状態）を把握するため、界面に設置したずれセンサー及びパイ型変位計（以下、PI ゲージ）、補修材の側面と下面に設置したひずみゲージにより界面の開きや補修材のひずみを計測した。測定詳細は、後述する各節で示す。



図-3.2.4.1 静的曲げ試験

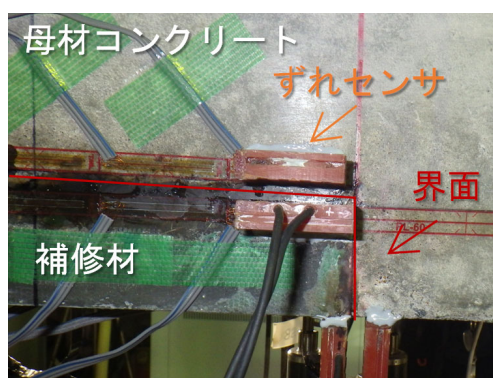


図-3.2.4.2 界面付近に設置した計測機器の状況

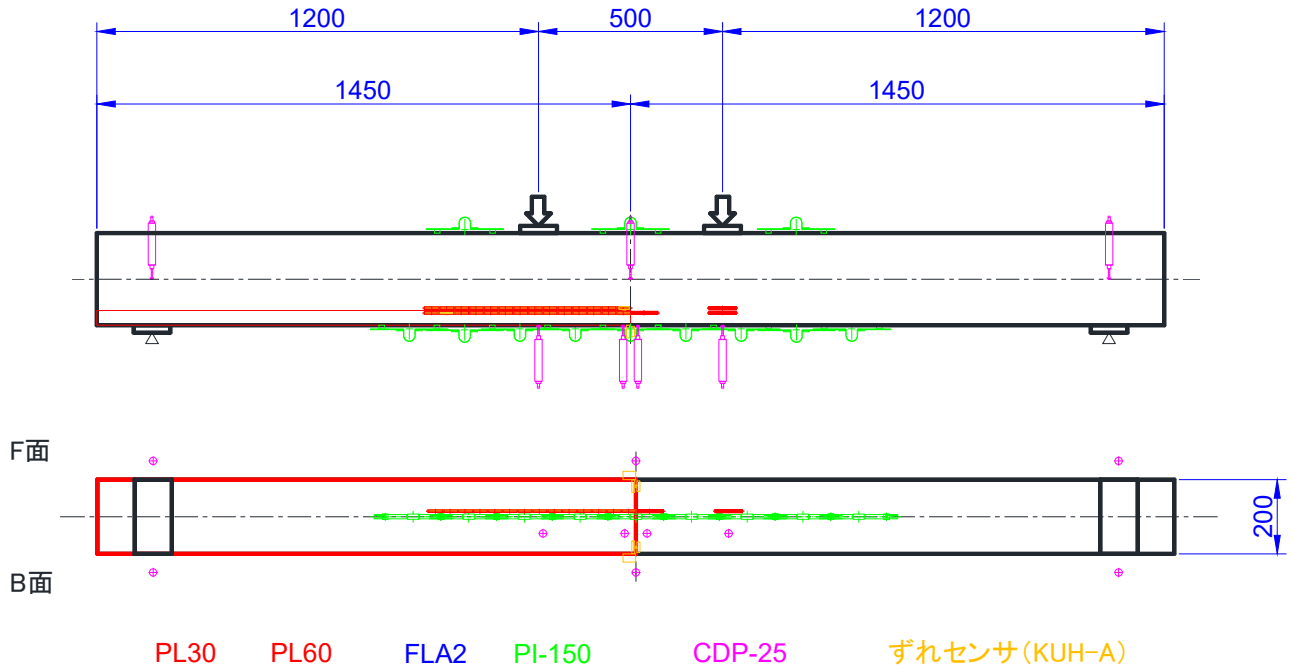


図-3.2.4.3 計測機器の設置位置

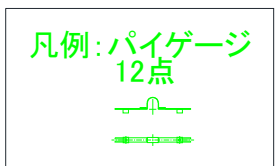
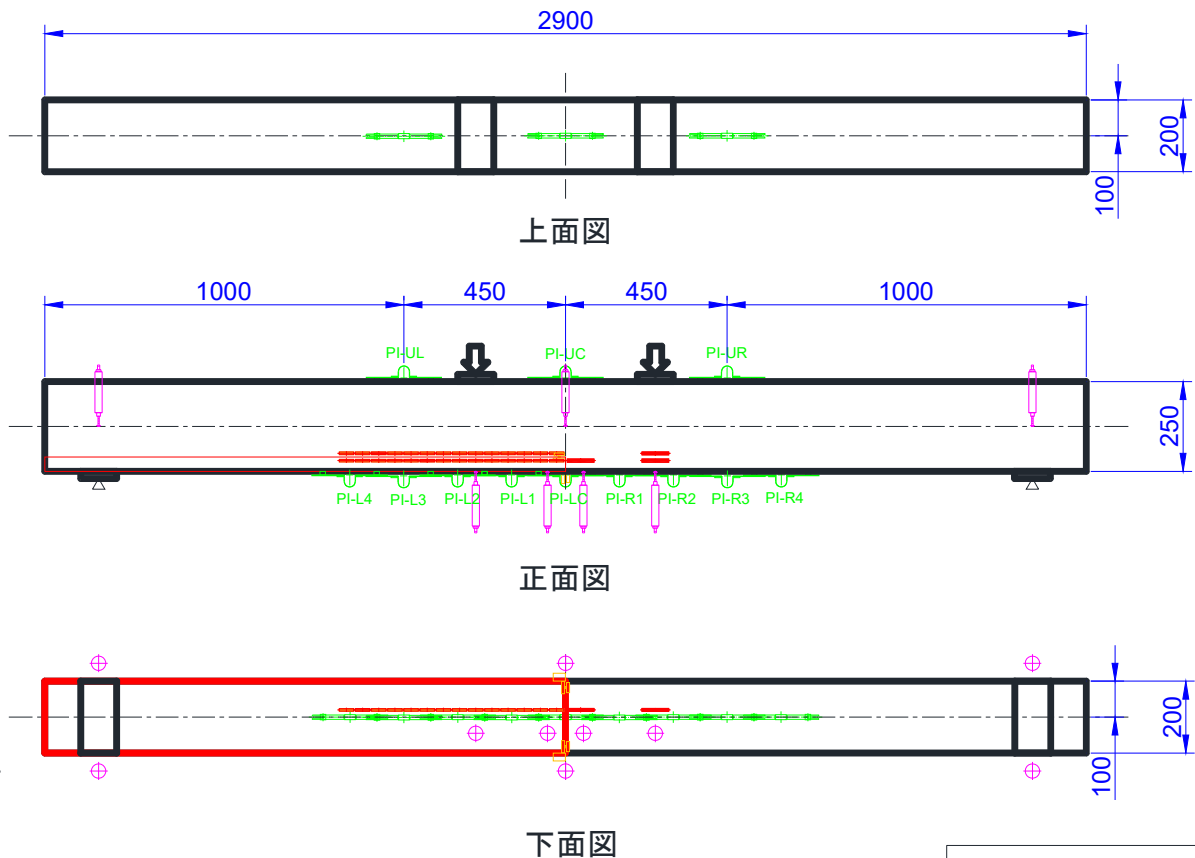
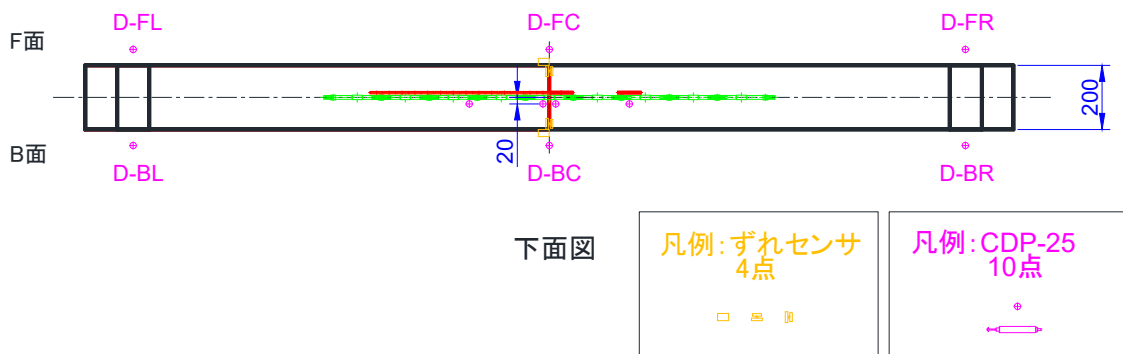
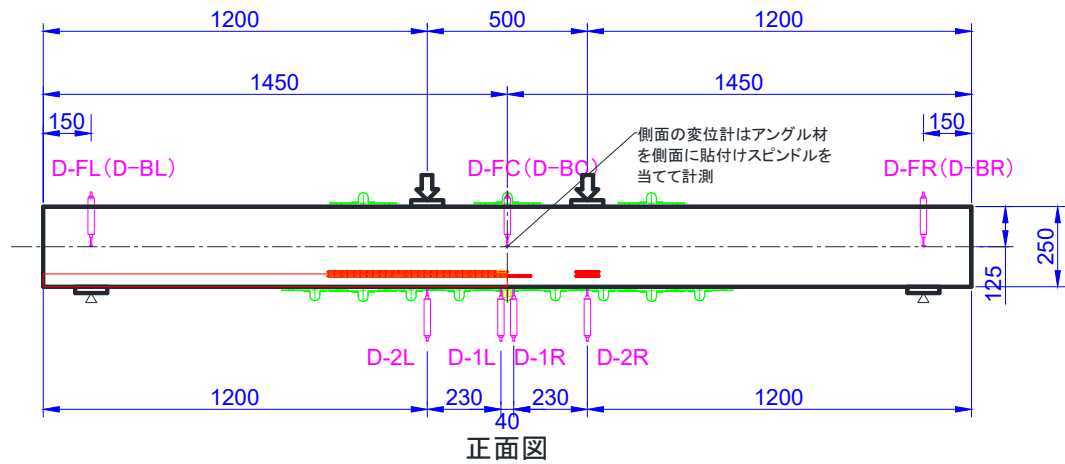
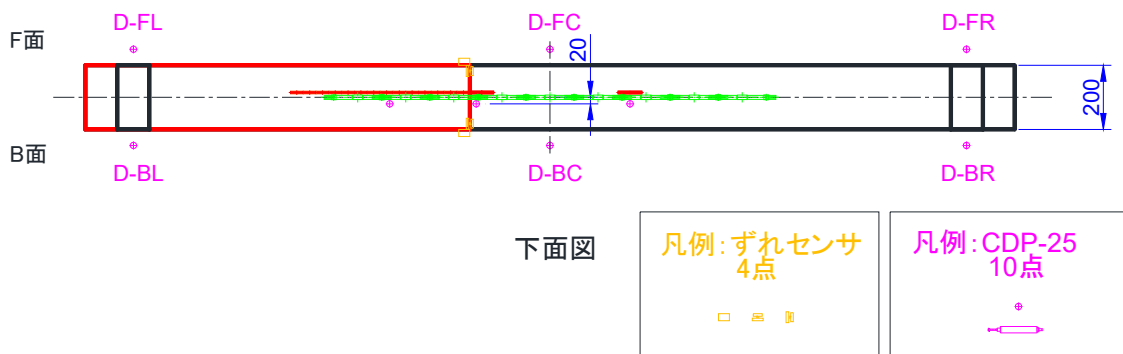
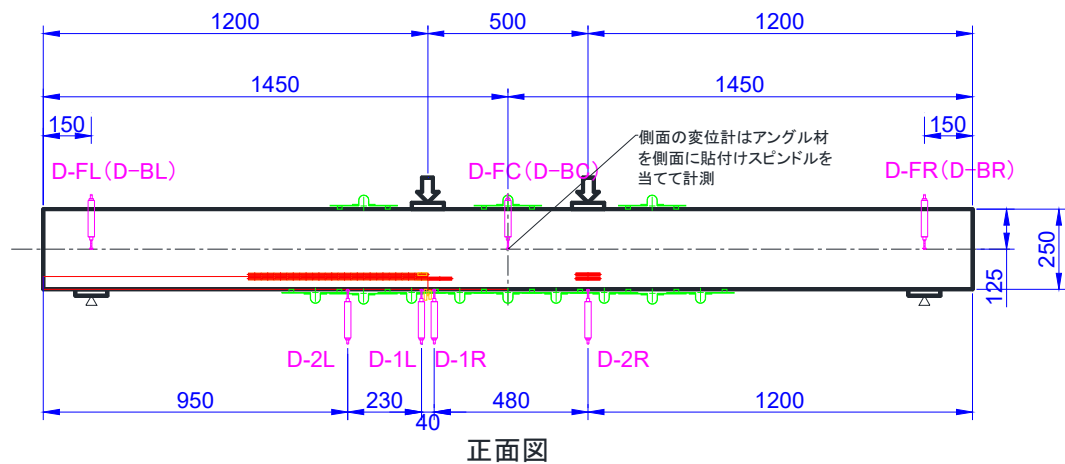


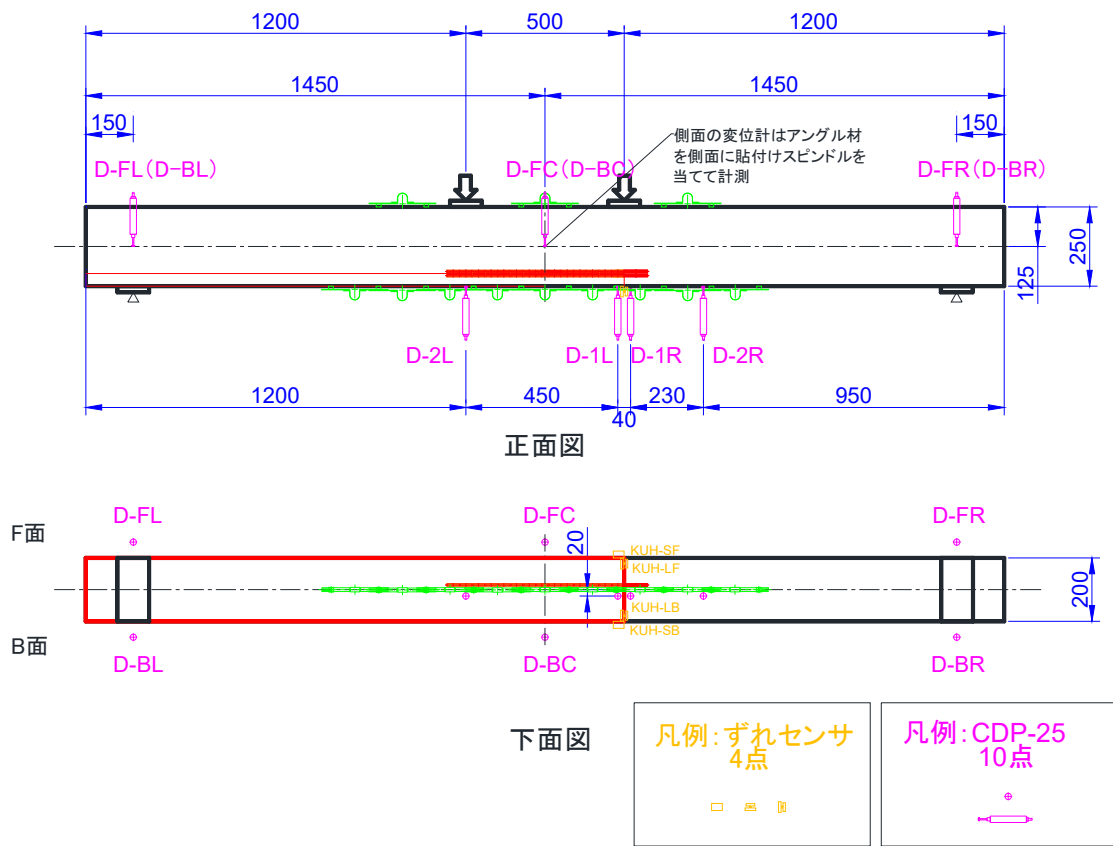
図-3.2.4.4 PI ゲージの設置位置 (全供試体共通)



(a)供試体 A, D

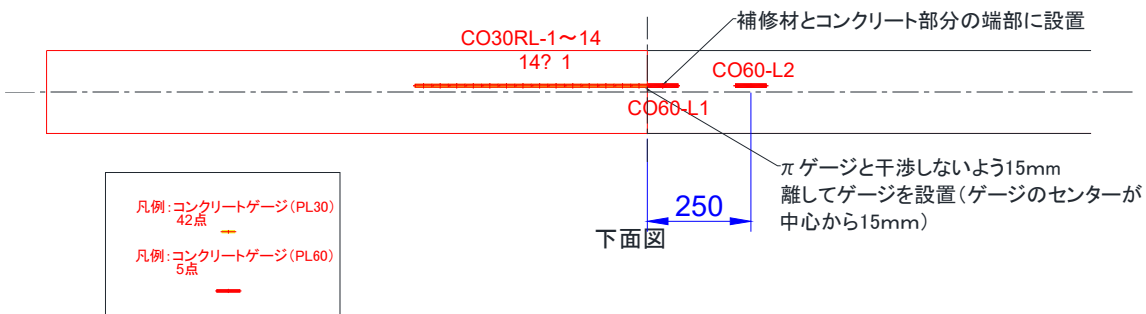
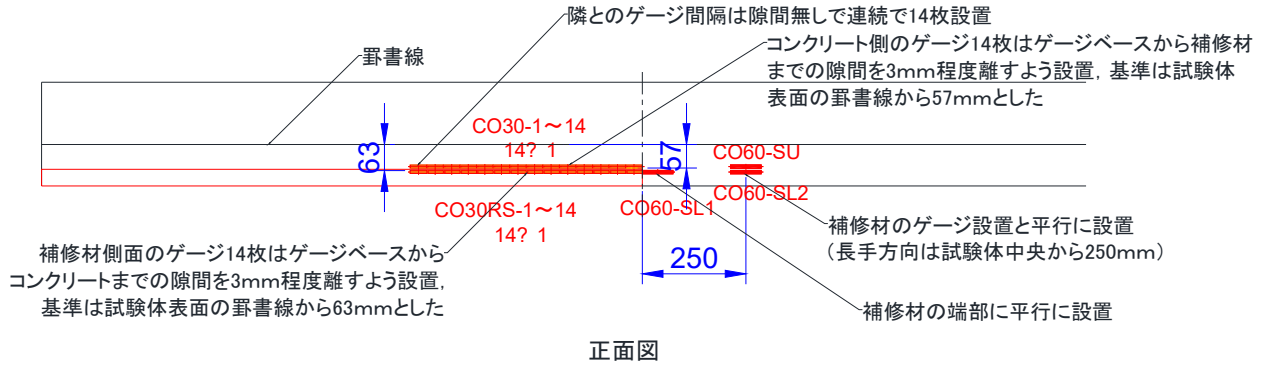


(b)供試体 B

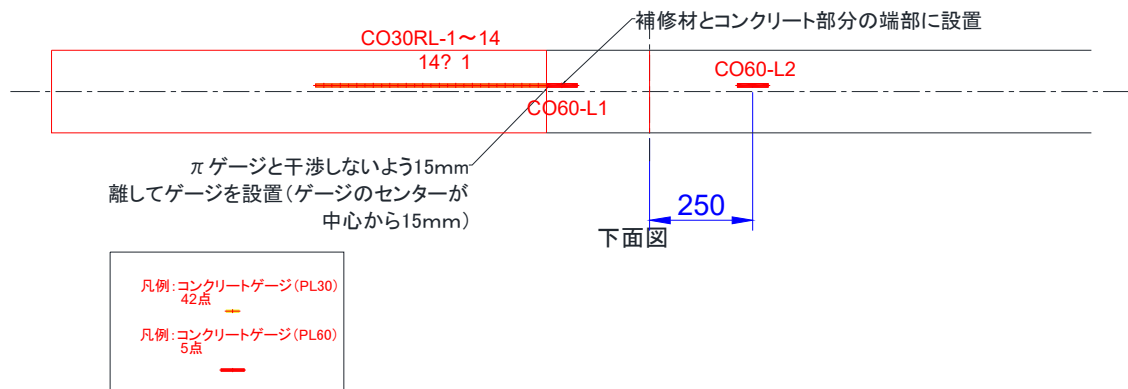
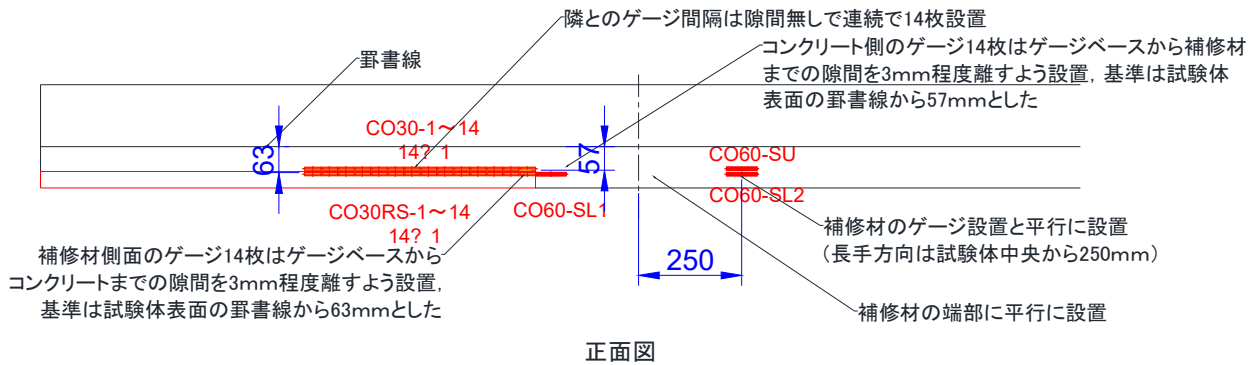


(c)供試体C

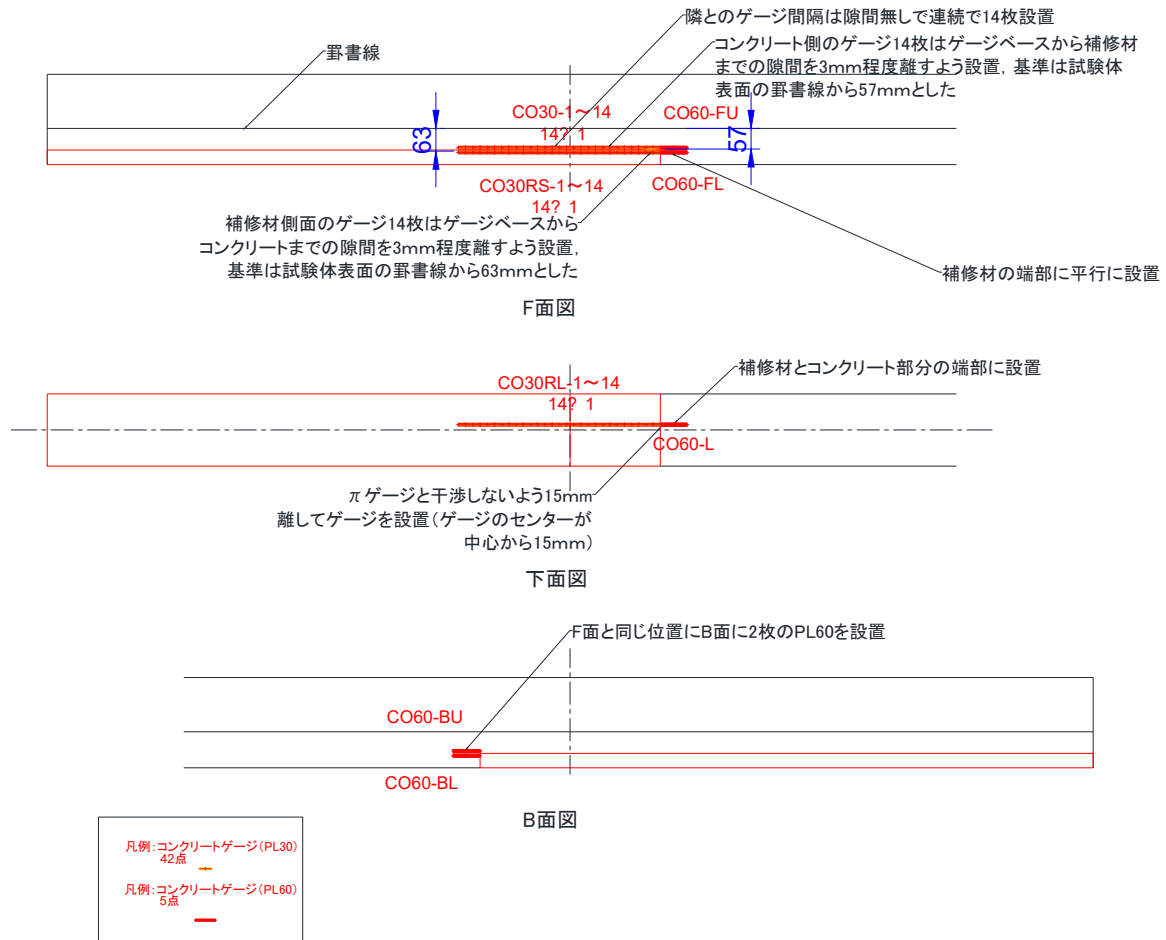
図-3.2.4.5 ずれセンサと鉛直変位計の設置位置 (供試体ごとに異なる)



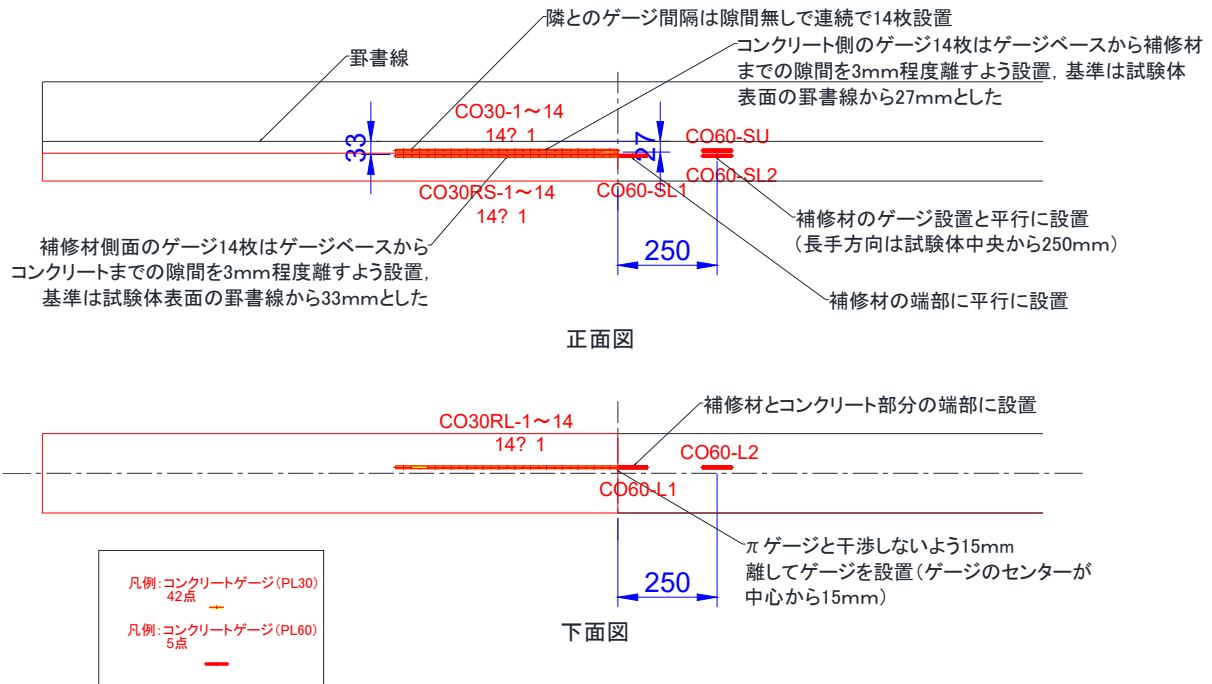
(a)供試体 A



(b)供試体 B

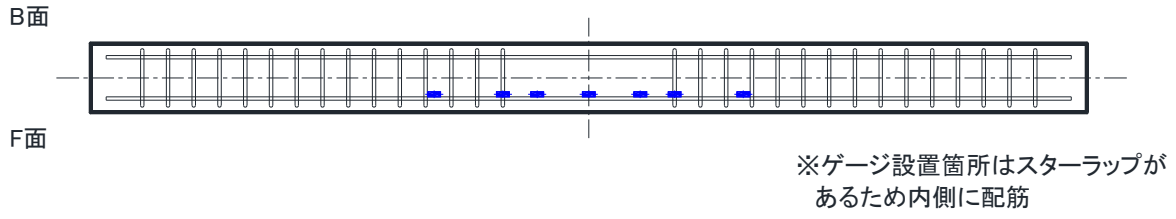


(c)供試体 C

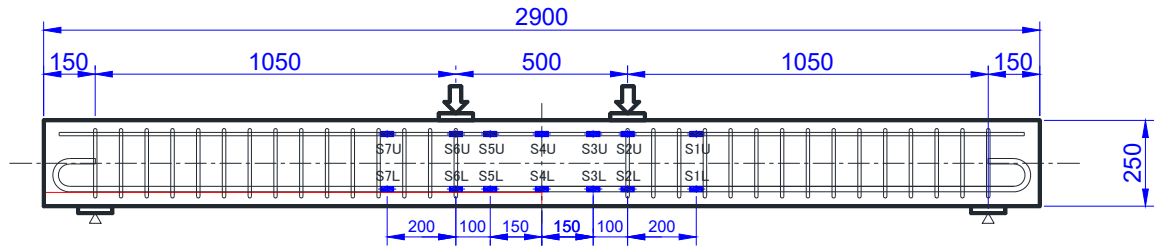


(d)供試体 D

図-3.2.4.6 コンクリートのひずみゲージの設置位置 (供試体ごとに異なる)

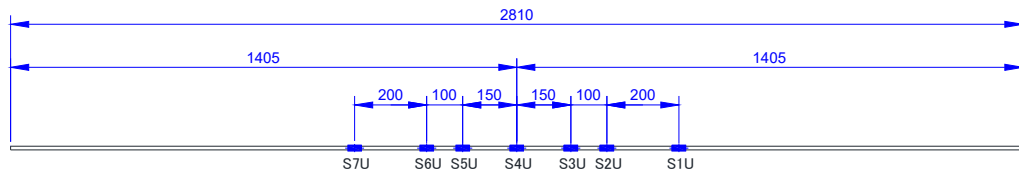


上面図



・鋼材ひずみゲージ: 14点(A~D共通)

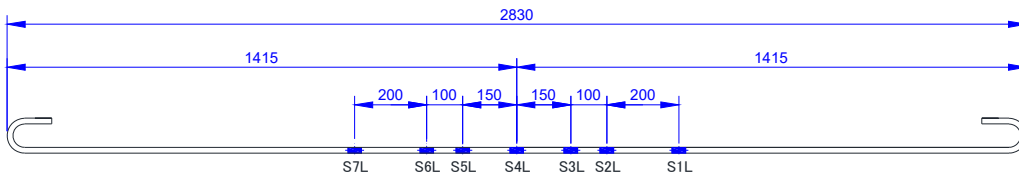
正面図



←リード線方向

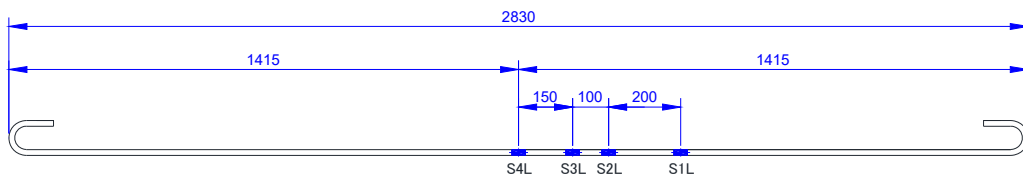
※鉄筋の中心を基準として設置

D10 片側7枚 × 4本 (全供試体共通) 計28枚



←リード線方向

D16 片側7枚 × 3本 (供試体A~C 欠損深さ40mm用) 計21枚



→リード線方向

D16 片側4枚 × 1本 (供試体D 欠損深さ70mm用) 計4枚

図-3.2.4.7 鉄筋のひずみゲージの設置位置

3.3 結果

3.3.1 荷重—変位関係

(1) 実験結果

供試体 A~D における荷重—変位関係の実験結果を図-3.3.1.1 に示す。なお、図-3.3.1.1 (a)の図中には、各供試体で 0—5kN 時における傾きを平均して求めた直線区間も併記している。荷重は 2 点载荷の合計である。

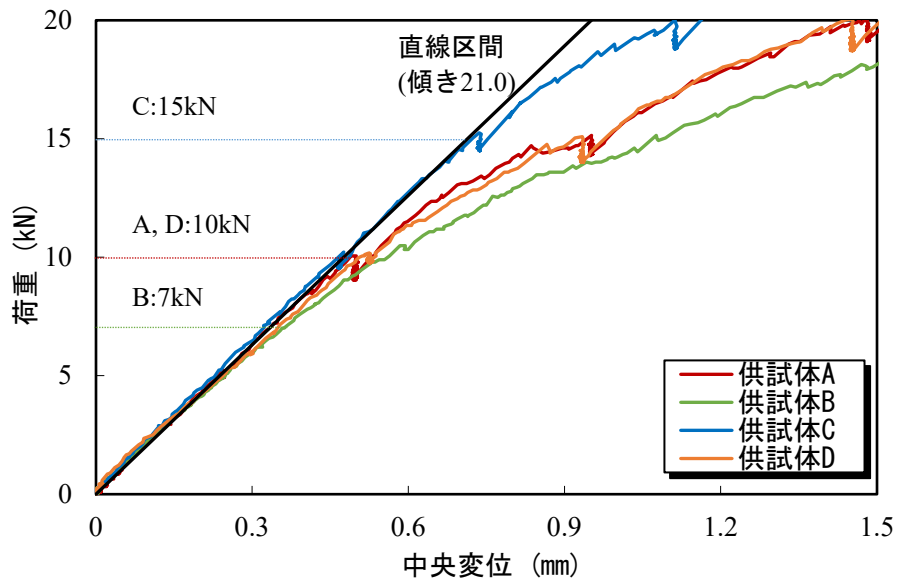
図-3.3.1.1 (a)より、供試体 A~D における荷重—変位関係は、荷重が供試体 A では 10kN 時、供試体 B では 7kN 時、供試体 C では 15kN 時、供試体 D では 10kN 時で母材コンクリートのひび割れ、または界面割れに伴うはり全体のたわみとして傾きの変化が確認できる。これは、純曲げ区間が母材コンクリートである供試体 B では変化点の荷重が小さく、純曲げ区間が補修材である供試体 C では荷重が大きかった。また、供試体 D は、鉄筋下まで補修しているが、供試体 D と補修端部の位置が同じで補修深さが薄い供試体 A と変化点の荷重が同程度であった。

図-3.3.1.1 (b)より、供試体 A~D における荷重—変位関係は、いずれの供試体も荷重が 60kN 付近で引張鉄筋が降伏して急激な傾きの変化が生じたことが確認できた。最大荷重は、圧壊の兆候が見られる直前で 70kN 程度であった。圧壊は、供試体 A、C 及び D では変位が 40mm、供試体 B では変位が 58mm の時、母材コンクリートの上縁に圧壊の兆候が目視で確認できた。供試体 A~D におけるひび割れ図を図-3.3.1.2、終局時の状況を図-3.3.1.3 に示す。供試体 A、C 及び D では、母材コンクリートと補修材の界面で生じた曲げひび割れに負担が集中してひび割れ幅が大きくなり、そのひび割れが上縁まで進展してその直上付近が圧壊した。また、補修されていない母材コンクリート側の荷重負担が大きくなるため、図中右側でひび割れが卓越した。一方で、供試体 B では、純曲げ区間の全域に渡って等間隔のひび割れが発生しているため、他の供試体より変位が大きい値で圧壊の兆候が見られたと考える。

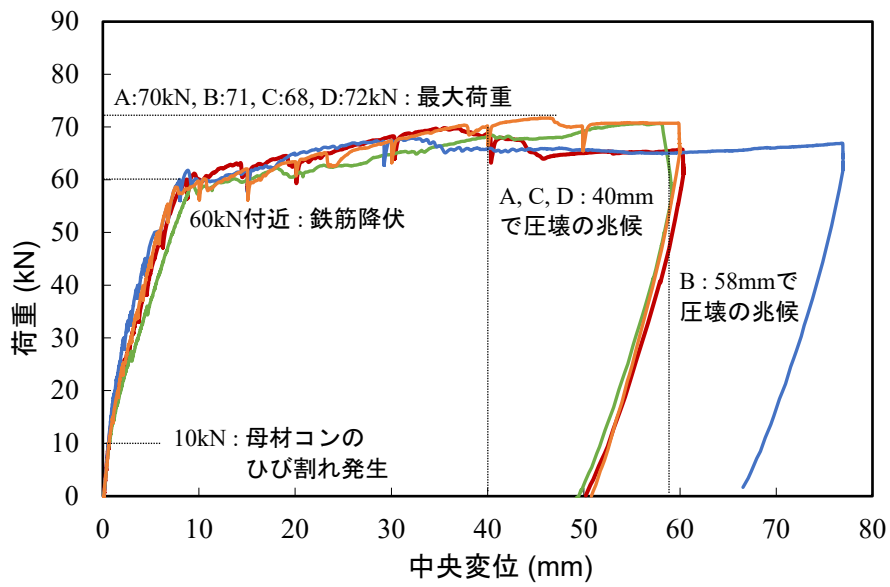
(2) 計算結果

断面分割法により算定した荷重—変位関係の計算結果（以下、計算値）を図-3.3.1.4 に示す。ここで、図中の凡例に示す無補修は、全長にわたって母材コンクリートのみとした場合、全補修は全長にわたって深さ 40mm の補修が行われたと仮定した場合、部分補修は支間中央で断面形状が変化する供試体 A と同じにした場合である。計算値で使用した構成則は、文献⁸⁾に示されているものを原則用いて、補修材の引張側の構成則では、図-3.2.2.1 の直接引張試験の結果を用いた。なお、計算値では母材コンクリートと補修材の界面がはく離するような挙動は考慮していない。

まず、供試体 A と計算値（部分補修）の荷重—変位関係は、ひび割れ発生と引張鉄筋の降伏による傾きの変化の傾向が実験値と計算値でよく一致していた。計算値（無補修）と（全補修）における荷重—変位関係は、ひび割れ発生による傾きの変化が 10kN 時と 34kN 時、引張鉄筋が降伏することによる傾きの変化が 58kN 時と 81kN 時で確認できた。計算値（部分補修）と（無補修）における荷重—変位関係を比較すると、傾きが増加する荷重は同様の傾向であった。これは、いずれも純曲げ区間の母材コンクリートでひび割れが発生し、引張鉄筋で荷重を負担するため部分的な補修効果による影響が小さかった。一方で、計算値（部分補修）と（全補修）における荷重—変位関係を比較すると、ひび割れ発生時の荷重が大きく異なることから、補修材の効果が顕著に表れており、全長にわたる補修の方が部分的な補修よりも補修効果が高いことがわかる。



(a) 傾きの変化点に着目



(b) 全体挙動

図-3.3.1.1 荷重—変位関係

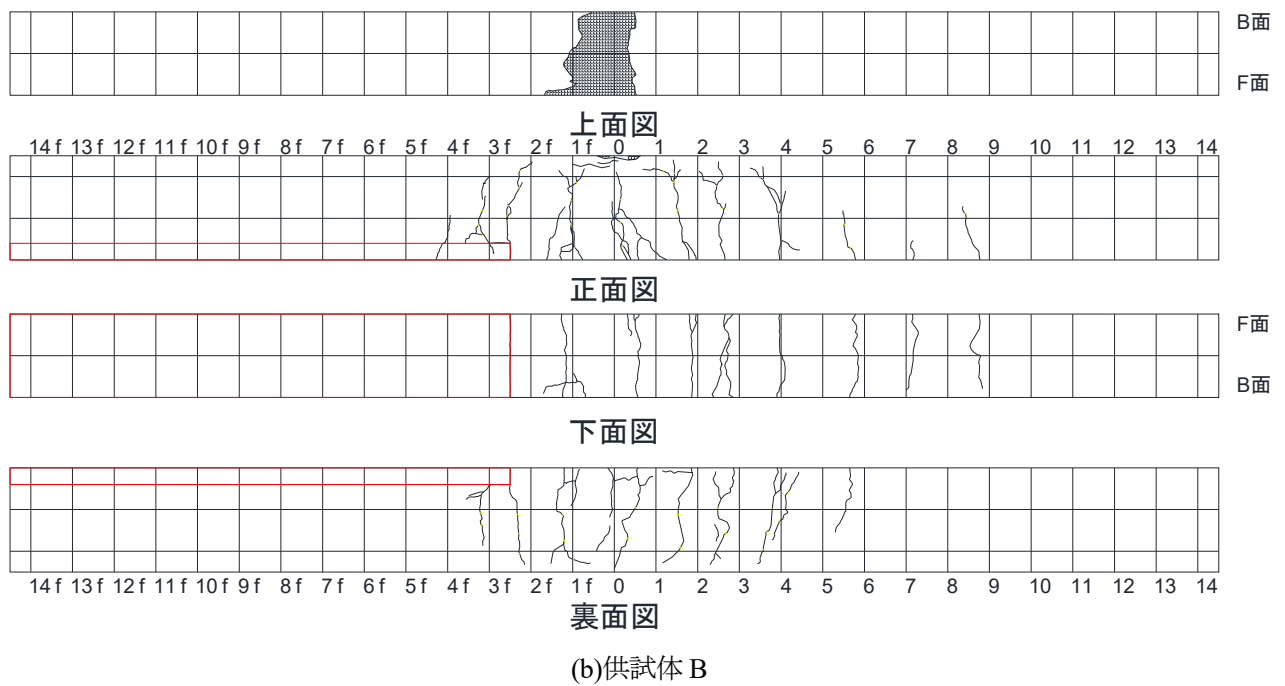
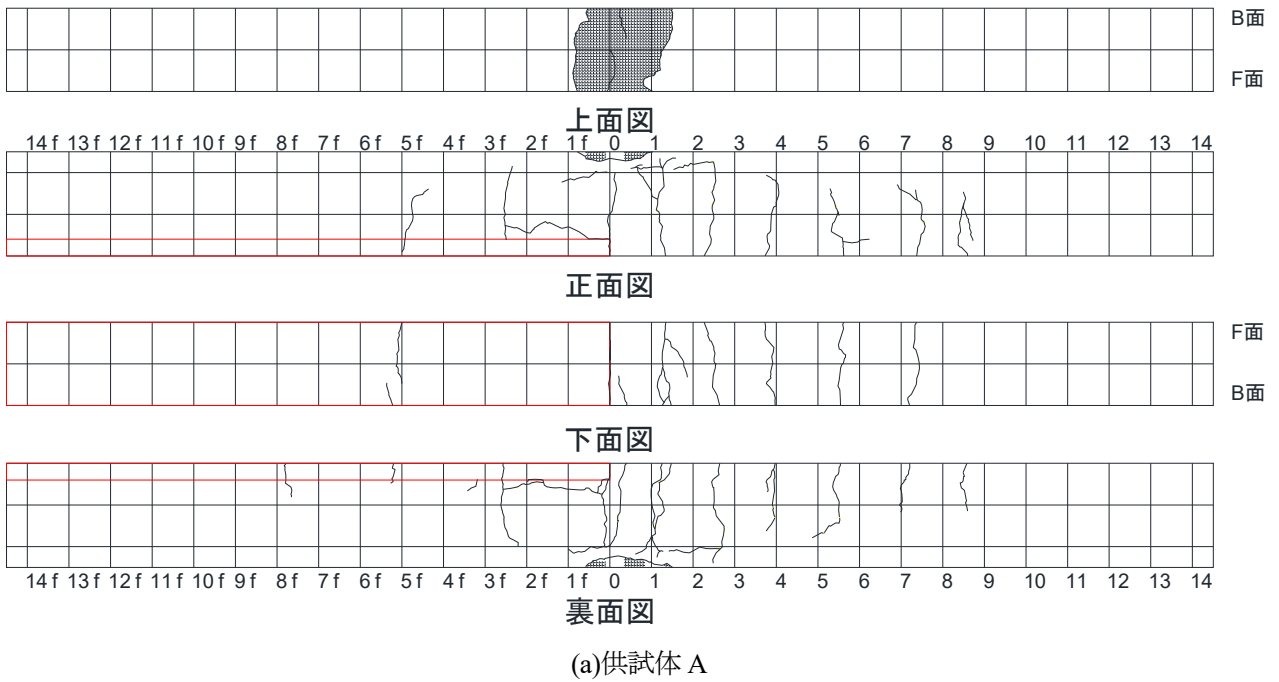
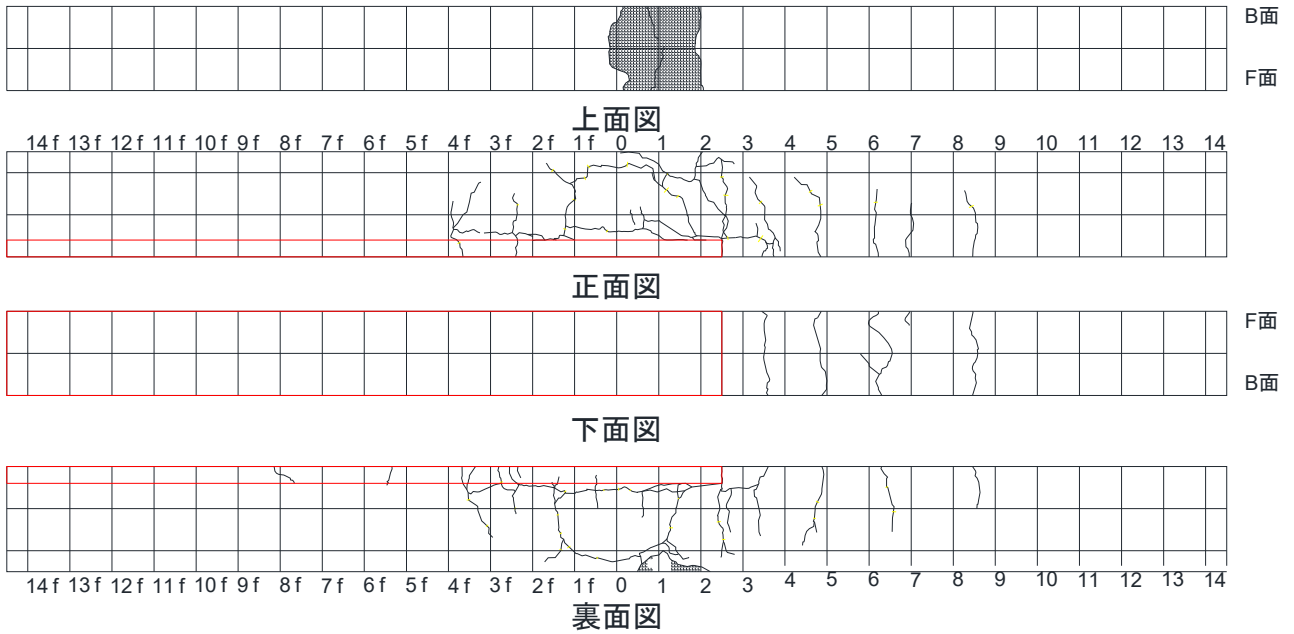
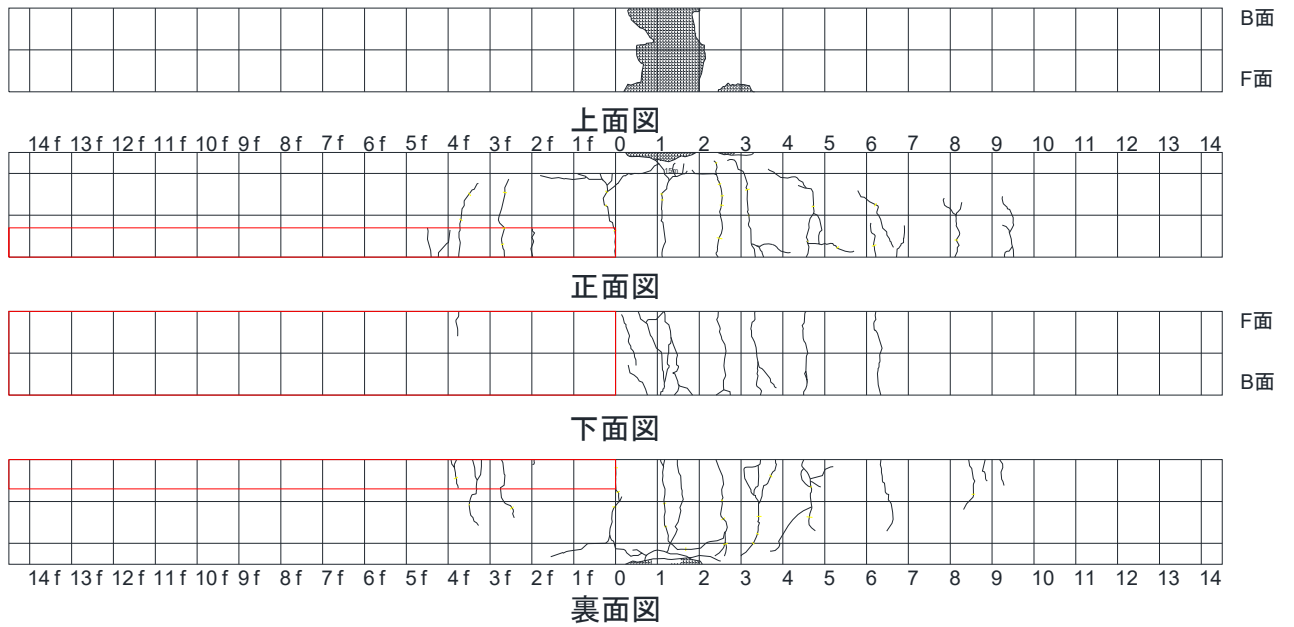


図-3.3.1.2 ひび割れ図



(c)供試体 C

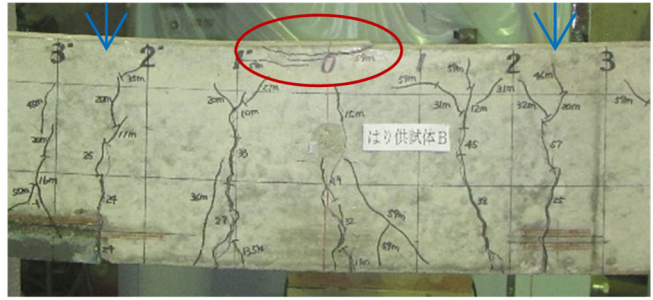


(d)供試体 D

図-3.3.1.2 ひび割れ図 (続き)



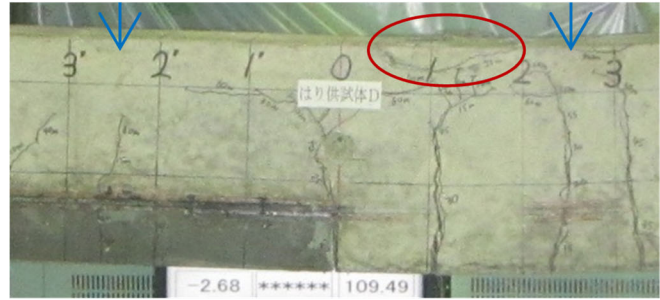
(a)供試体 A



(b)供試体 B



(c)供試体 C



(d)供試体 D

図-3.3.1.3 終局時の状況

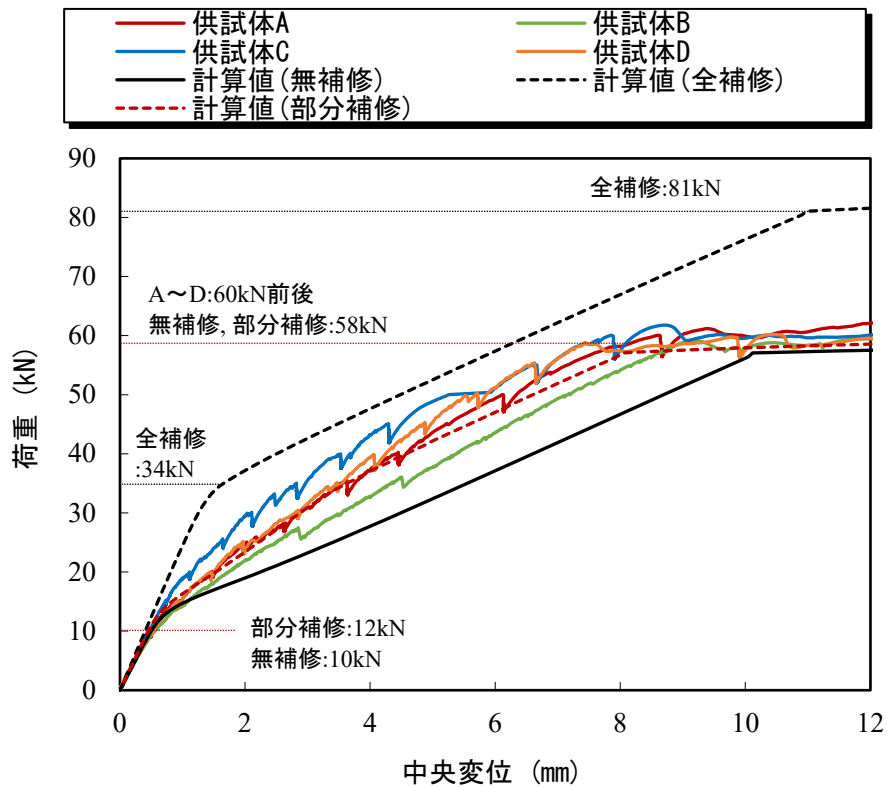


図-3.3.1.4 実験結果と計算結果の比較

3.3.2 界面割れの発生状況や進展状況

界面付近に着目した F 面のひび割れ図を図-3.3.2.1 に示す。図中には、支間中央から $\pm 500\text{mm}$ の範囲において、 35kN 時まで確認できたひび割れを赤線、それ以外を黒線で示した。また、鉄筋降伏までは目視により確認できたひび割れの発生荷重も併記した。ただし、前述のとおり、界面付近では目視での発生確認が遅れる傾向にあったため、ここでの発生荷重の値は参考値として扱う。

次に、界面割れの発生時期をより明確に把握するため、界面に設置したずれセンサ及び PI ゲージの測定結果を図-3.3.2.2 に示す。これらの測定結果は、図-3.3.2.3 で示すように、下面のずれセンサ及び PI ゲージの値から鉛直界面に沿ったひび割れの開き、側面のずれセンサの値から水平界面に沿ったひび割れの開き、下面のずれセンサの値から水平界面の開きに起因する下面の母材コンクリートと補修材の段差を捉えたものである。

(1) 補修部の位置による違い

図-3.3.2.1 より、補修端部の位置が異なる供試体 A~C のひび割れ図を比較する。いずれの供試体でも、鉛直界面の割れ（図中①）に伴う曲げひび割れ（図中②）が生じた。そして、鉛直界面の割れにより補修端部と母材コンクリートの縁が切れると、水平界面に長さ 50mm 程度の割れ（図中③）またはひび割れが生じ、母材コンクリート側の斜めひび割れ（図中④）として進展した。純曲げ区間内に補修材がある供試体 A と C では、母材コンクリート側に斜めひび割れが進展した後、さらに引張鉄筋に沿った水平方向のひび割れ（図中⑤）の進展も見られた。

図-3.3.2.2 より、供試体 A と B における鉛直界面の荷重—開きの関係は、界面割れによる明確な傾きの変化点が確認できなかった。一方で、水平界面における荷重—開き、荷重—段差の関係は、供試体 A では荷重が 30kN 時前後、供試体 B では 20kN 時前後で傾きが変化しており、界面割れの発生時期を捉えることができた。つまり、図-3.3.2.2 の測定結果からは、補修端部の位置で水平界面の割れの発生時期が異なることを確認できた。なお、供試体 C は B と同様の挙動を示した。

(2) 補修深さによる違い

図-3.3.2.1 より、補修深さが異なる供試体 A と D のひび割れ図を比較する。供試体 A では、水平界面の割れが 30kN 時前後で生じたが、鉄筋下まで補修した供試体 D では、母材コンクリート上縁側の圧壊まで载荷しても水平界面の割れが確認できなかった。

図-3.3.2.2 より、供試体 D における鉛直界面の荷重—開きの関係は、供試体 A~C と同様に界面割れによる明確な傾きの変化点が確認できなかった。また、水平界面における荷重—開きは、荷重が 60kN 時前後（鉄筋降伏した値）でも傾きに変化がなかった。なお、供試体 D は荷重—段差の関係が F 面と B 面で符号が異なった。中央変位でも载荷初期から F 面と B 面に若干の差が生じており（図-3.3.2.4）、ねじれの影響がずれセンサに影響を与えたものとする。

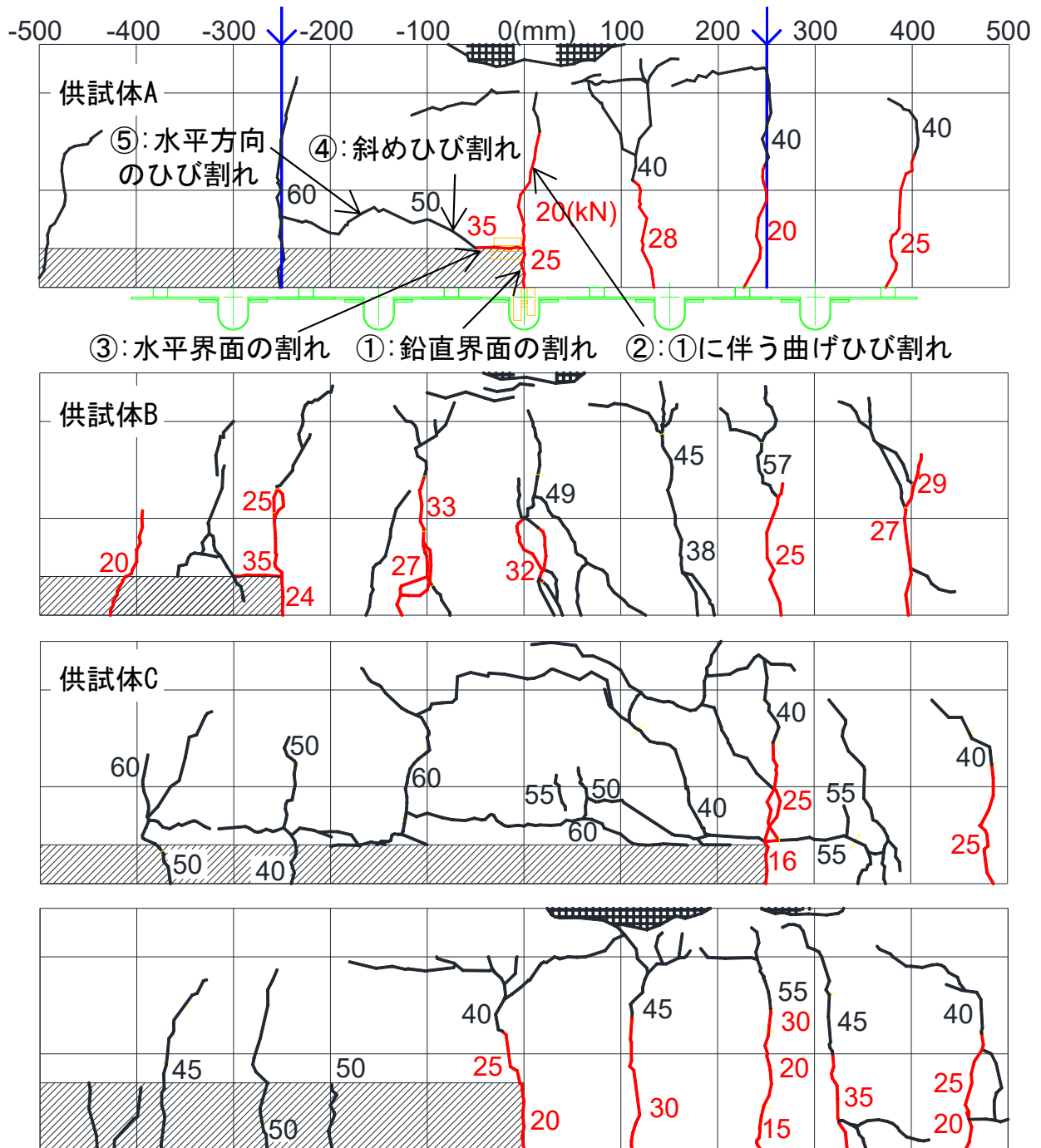
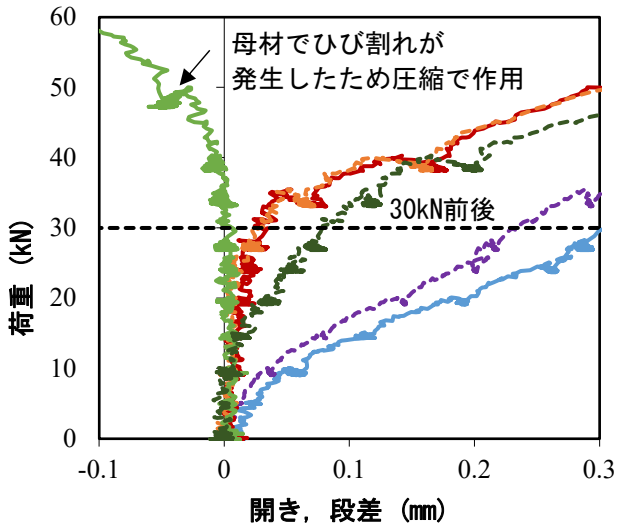
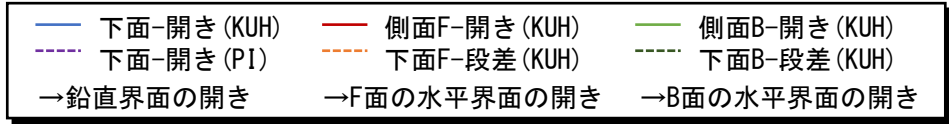
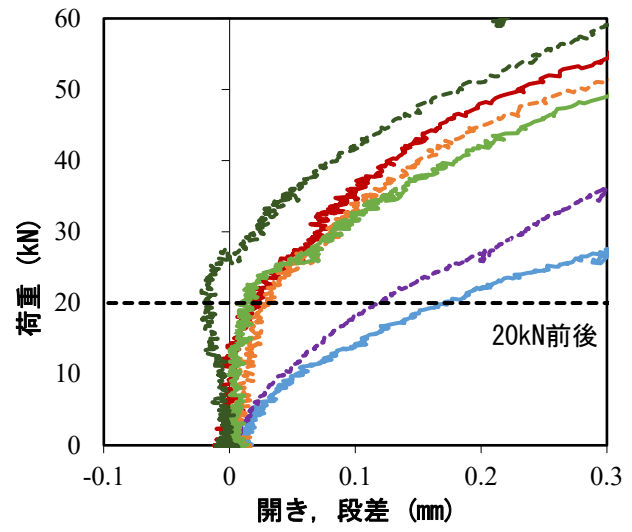


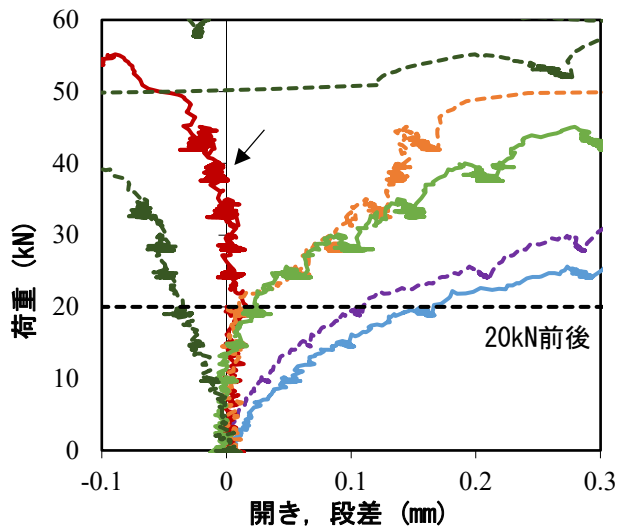
図-3.3.2.1 F面のひび割れ図 (数値は目視により確認した発生荷重)



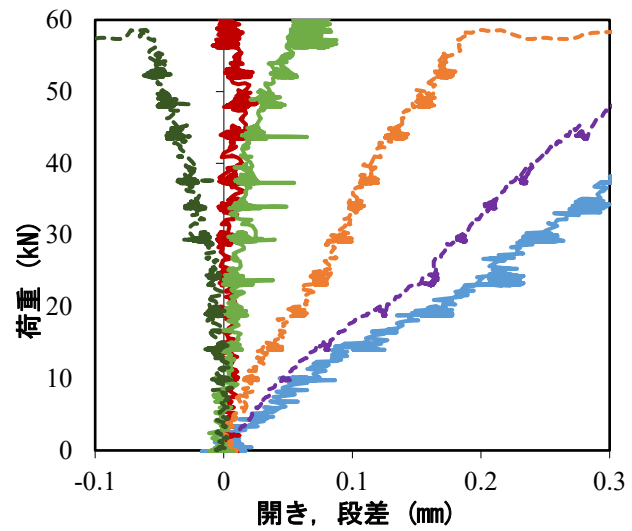
(a)供試体 A



(b)供試体 B



(c)供試体 C



(d)供試体 D

図-3.3.2.2 界面割れの測定結果

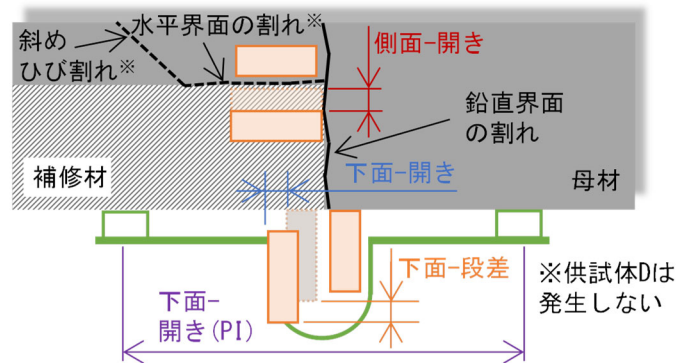
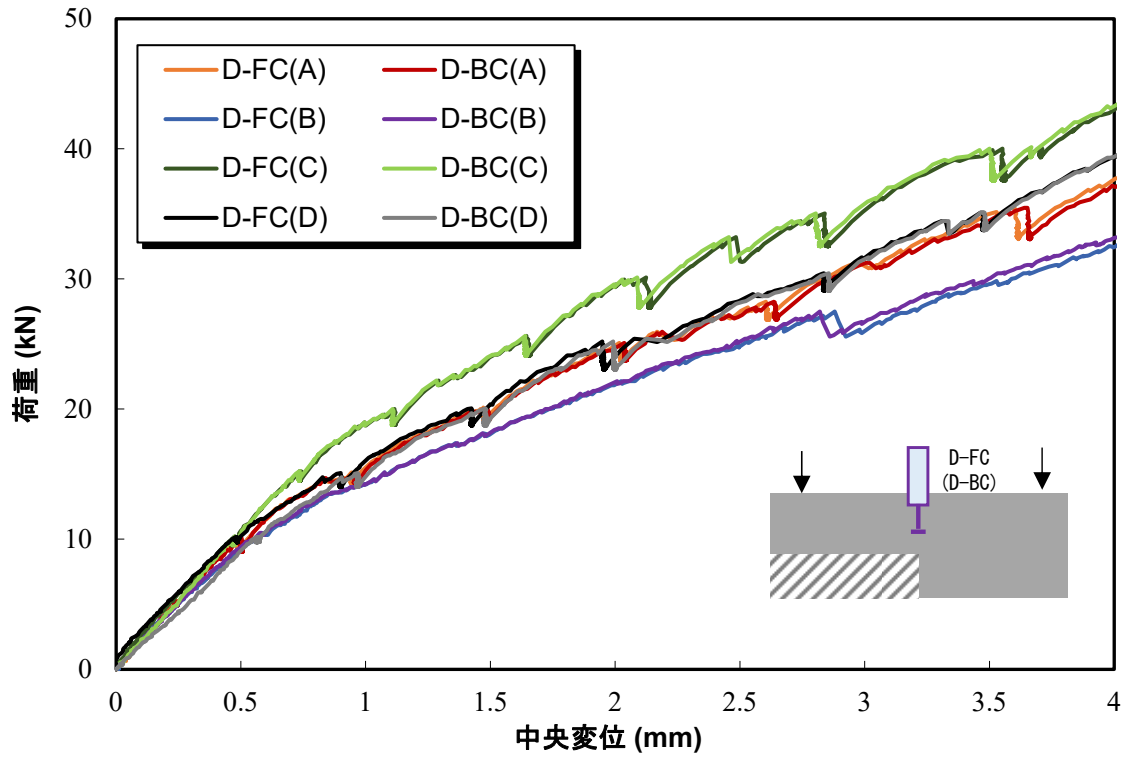


図-3.3.2.3 界面割れと測定位置の関係



(a)F 面と B 面の中央変位



(b)供試体 D の下面に発生していた斜めひび割れ

図-3.3.2.4 ねじれの影響を確認した結果

(3) 付着強度試験の結果

載荷試験終了後に、支点と支点付近のせん断区間で建研式付着強度試験を行った。試験箇所を図-3.3.2.5、試験結果を表-3.3.2.1 に示す。供試体 A は、支点(A-1)と、支点付近のせん断区間(A-2,A-3)で母材破壊した。供試体 B は、支点(B-1)では母材破壊したが、支点付近のせん断区間(B-2~B-5)では、切れ込み時に付着切れした。供試体 C は、支点(C-1)では試験時の切れ込み深さが足りず界面破壊してしまった。そして、支点付近のせん断区間(C-3~C-5)でも界面破壊し、C-2 では切れ込み時に付着切れした。母材破壊、界面破壊時の状況写真を図-3.3.2.6 に示す。

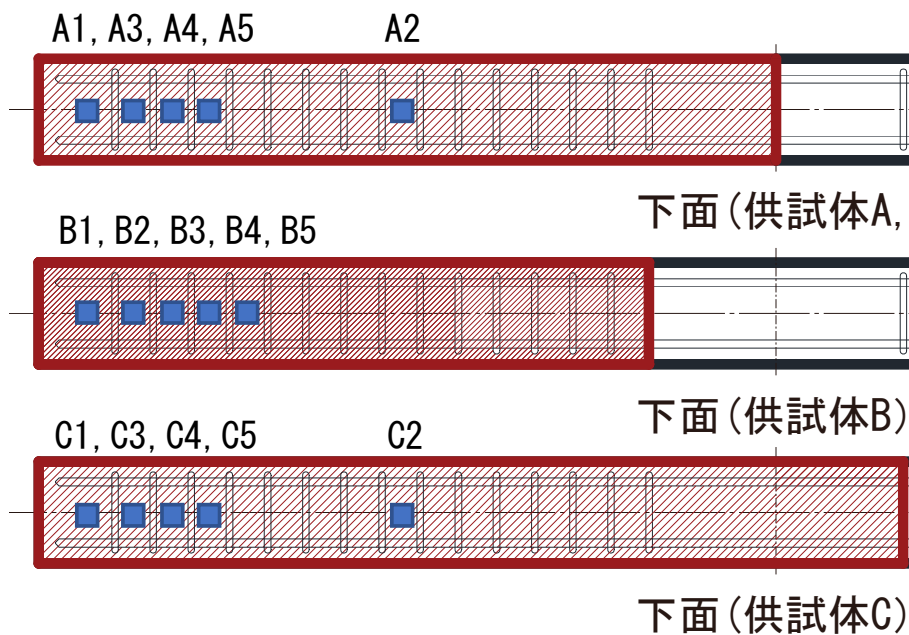


図-3.3.2.5 付着強度試験の箇所

表-3.3.2.1 付着強度試験の結果

供試体	試験箇所	引張荷重 (kN)	付着強度 (N/mm ²)	破壊箇所
A1	支点	4.8	3.0	母材破壊
A2	せん断 区間	3.9	2.4	母材破壊
A3		4.9	3.1	母材破壊
A4		2.1	1.3	界面破壊
A5		0.8	0.5	界面破壊
B1		支点	3.7	2.3
B2	せん断 区間	1.0	0.7	界面破壊
B3		-	-	付着切れ
B4		-	-	付着切れ
B5		-	-	付着切れ
C1	支点	1.8	1.2	界面破壊※
C2	せん断 区間	-	-	付着切れ
C3		2.0	1.3	界面破壊
C4		1.4	0.8	界面破壊
C5		1.3	0.8	界面破壊

※切れ込み深さが足りていなかった。



図-3.3.2.6 試験終了時の状況写真

(左から A-3 : 母材破壊, A-4 : 界面破壊, A-5 : 界面破壊)

3.4 界面割れに関する考察

3.4.1 鉛直界面の割れ

3.3.2 節の結果から、いずれの供試体でも、鉛直界面における割れの発生時期を明確に捉えることができなかった。そこで、図-3.3.2.2 の鉛直界面の開きと純曲げ区間の母材コンクリートに設置した PI ゲージ (図-3.2.4.4) の変位を比較することで、鉛直界面の割れの発生時期を考察する。図-3.4.1.1 に、縦軸を鉛直界面の開き、横軸を母材コンクリートの変位を対比して示した。一例として、供試体 A は支間中央に鉛直界面があるため、縦軸では LC の値、横軸ではそれぞれ R1 と R2 の値を使用する。また、図中には、図-3.3.1.1(a) の荷重—変位関係から、傾きに変化が確認できた荷重と対応する鉛直界面の開き量を併記した。

いずれの測定位置でも、鉛直界面の開き量が 0.04mm 程度までは、母材コンクリートの変位と比較して、鉛直界面の開き量が大きい傾向にある。つまり、鉛直界面の表面付近では、主として母材コンクリートの乾燥収縮等の影響により、試験のかなり早い段階から界面に割れが生じていた可能性がある。

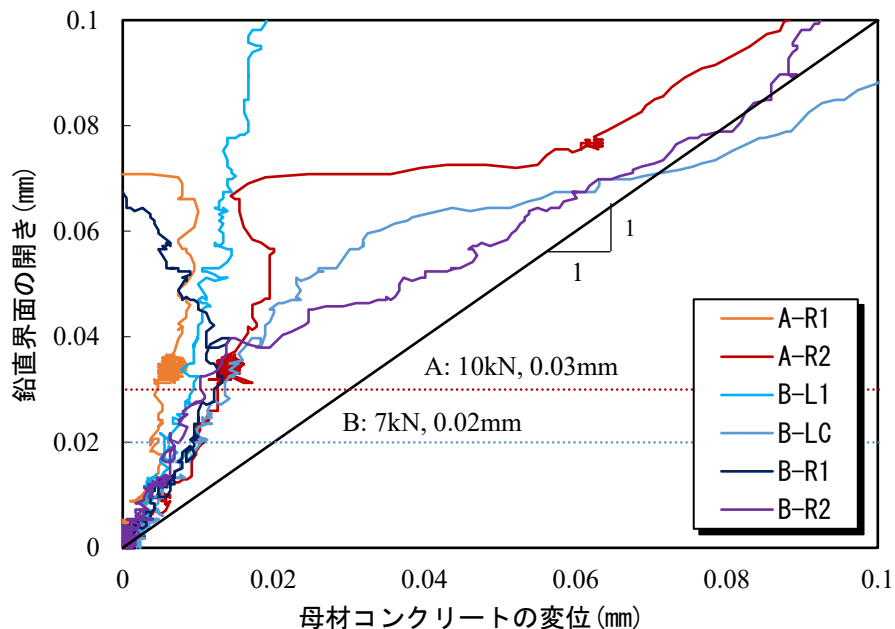


図-3.4.1.1 鉛直界面の開きと母材変位の比較

図-3.4.1.2 に鉛直界面の割れに伴う曲げひび割れの測定位置の関係，図-3.4.1.3 にその測定結果を示す。いずれの供試体でも下面のひずみ (CO60-L1) では，载荷初期時に引張ひずみが発生しているもののすぐに圧縮ひずみに符号が転じていることから，試験のかなり早い段階から界面に割れが生じていた可能性がある。また，側面のひずみ (CO60-L1) は，鉛直界面の割れが生じた後，その界面に伴う曲げひび割れが発生するためその発生荷重を確認したものである。供試体 A では 5kN，供試体 B では 3kN，供試体 C 及び D では 6kN 時に傾きの変化が確認できた。なお，図-3.3.1.1(a)の荷重—変位関係から，傾きに変化が確認できた荷重とは異なったため，はり全体のたわみに影響を与えるものではなかった。

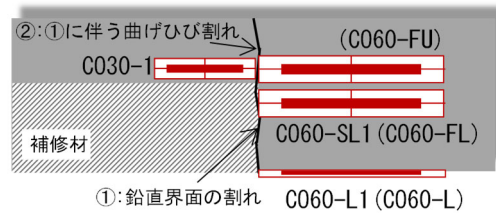


図-3.4.1.2 鉛直界面の割れに伴う曲げひび割れの測定位置の関係

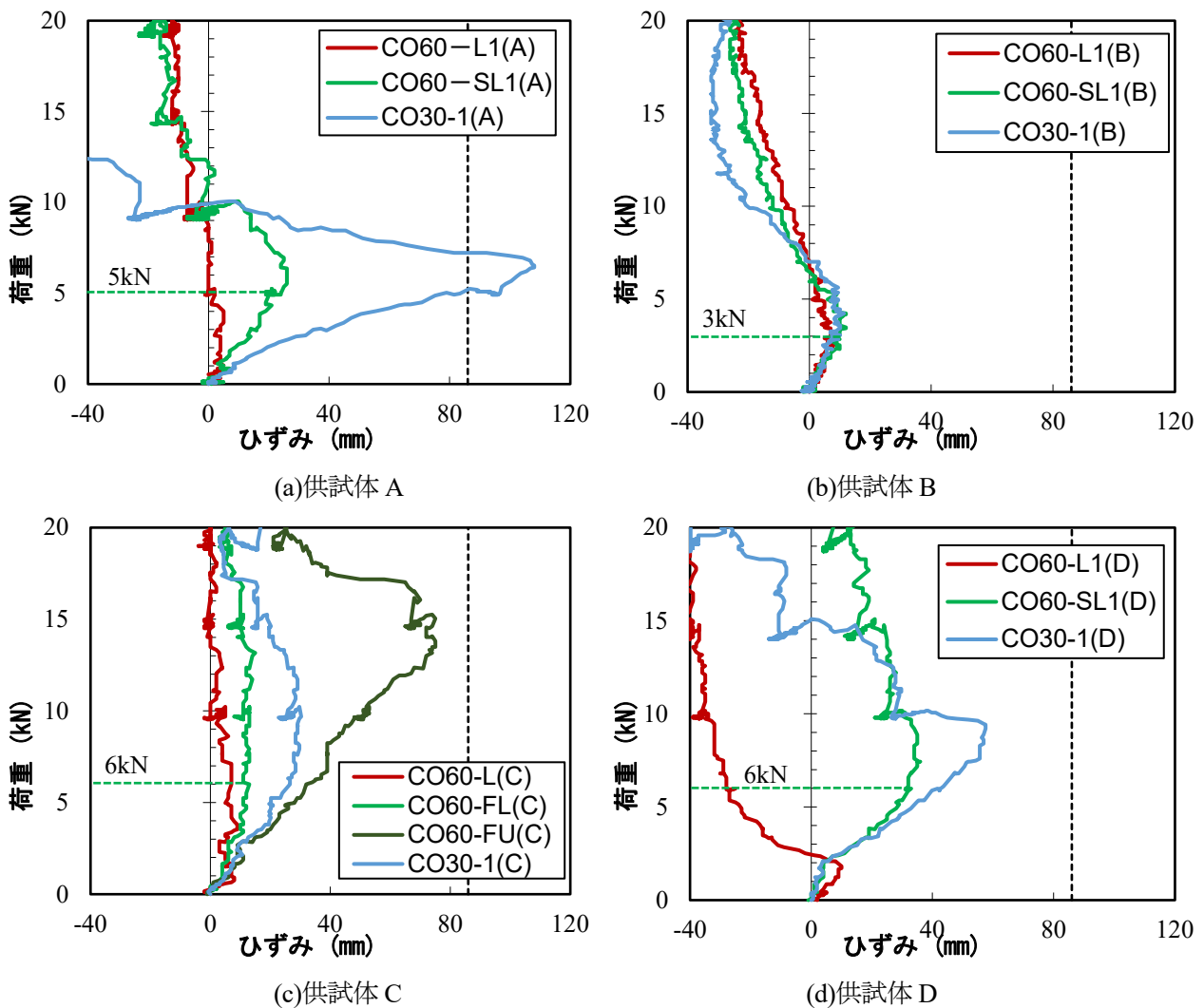


図-3.4.1.3 鉛直界面の割れに伴う曲げひび割れの測定結果

3.4.2 水平界面の応力状態

供試体 A～C では、水平界面の割れを確認し、鉄筋下まで補修した供試体 D では、水平界面の割れが確認できなかった。ここでは、母材コンクリートと補修材の水平界面に生じるせん断応力度 τ_b からその界面割れの状況を考察する。せん断応力度 τ_b は、図-3.4.2.1 に示す補修材の隣り合うひずみの差分から式(1)で算出した⁹⁾。ここでの τ_b は、仮に補修材の曲げを無視して、水平界面の応力状態を相対的に比較するものである。図-3.4.2.2～図-3.4.2.3 に、それぞれの供試体における支間中央からの距離に対する界面のせん断応力度（付着応力度） τ_b の分布を示す。

$$\tau_b = t_r \cdot E_r \cdot (a \cdot \Delta \varepsilon_s + \Delta \varepsilon_u) / (2 \cdot \Delta L) \quad (1)$$

ここで、 t_r 及び E_r は補修材の厚さ及び弾性係数、 $\Delta \varepsilon_s$ 及び $\Delta \varepsilon_u$ は側面及び下面の隣り合う実測ひずみの差分（例えば、 $\Delta \varepsilon_s = \varepsilon_{s,1} - \varepsilon_{s,2}$ ）、 a は ε_s を界面の位置のひずみに換算する補正值（ $a = (t_r/2) / [(t_r/2) - 6.5]$ ）、 ΔL はひずみゲージの設置間隔である（図-3.4.2.1）。

図-3.4.2.2(a)では、供試体 A を例に 10kN～35kN におけるせん断応力度の分布について比較した。せん断応力度 τ_b の分布は、水平界面に割れが生じる 20kN では、支間中央から -40mm～-200mm の区間でせん断応力度 τ_b が発生し、-80mm の位置で最大値を示した。そして、水平界面に割れが生じた 30kN 時では、最大値の位置が一つ隣の位置である -120mm に移動する挙動が確認できた。図-3.3.2.1 のひび割れ図では、水平界面の割れの長さ（図中③）が 50mm 程度であったことから、せん断応力度の最大値が移動した位置とも概ね対応している。なお、図-3.4.2.2(b)および(c)より、供試体 B および C でも同様の傾向が確認できた。既往の研究⁶⁾では、炭素繊維シートがコンクリートからはく離する現象をせん断応力度の最大値が移動する位置で確認しているが、本検討でも同様の測定で水平界面の割れを捉えることができた。水平界面の割れが生じた後、母材コンクリート側に斜めひび割れが進展したり、補修材に曲げひび割れが生じたりしたため、その後のはく離挙動は明確に捉えることができなかった。図-3.4.2.2(a)において、35kN 時に載荷点で値が急激に大きくなるのは、補修材にひび割れが発生したことによる影響である。

次に、図-3.4.2.2(d)より、供試体 D では、水平界面に割れが生じなかったがせん断応力度が発生していたことから、鉄筋による引張力の伝達だけでなく、補修端部から 160mm までの区間で付着を保持して力のある程度伝達していたと考えられる。なお、せん断応力度 τ_b の分布は、鉄筋による引張力の分担があるため、供試体 D では供試体 A と比較して小さくなると思っていたが、ほとんど変わらなかった。また、この分布形状は、鉄筋降伏の直前（50kN 時）まで荷重増加とともにそのまま最大値も増加した。

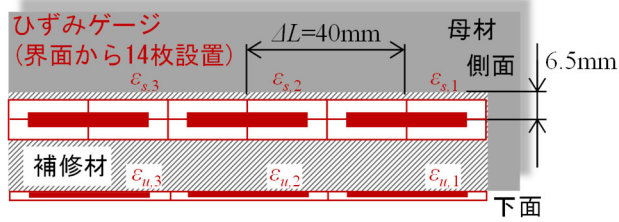
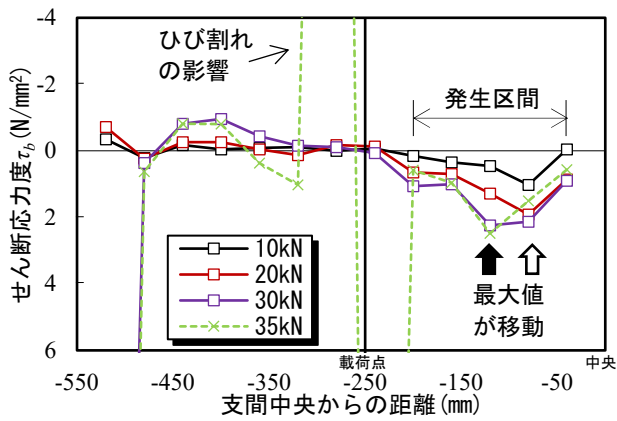
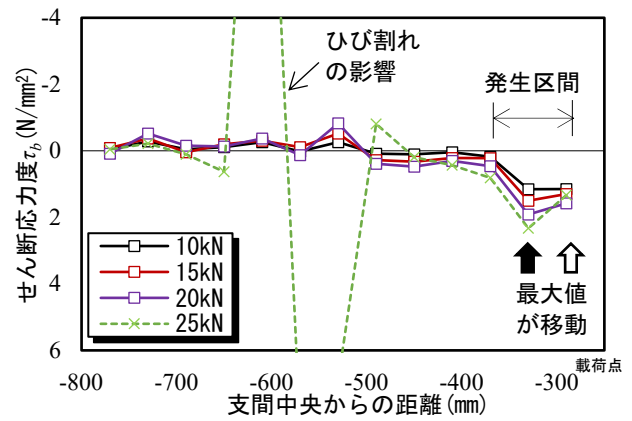


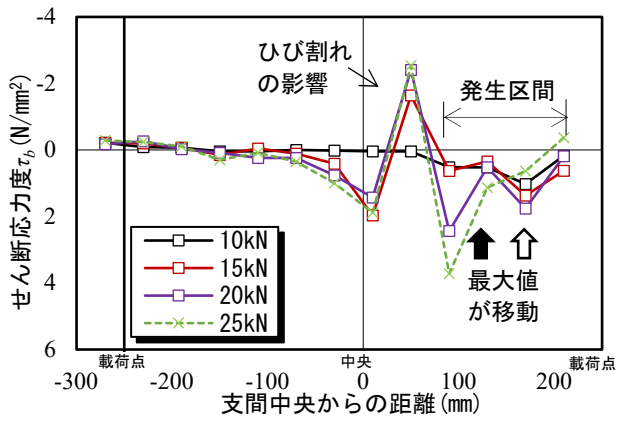
図-3.4.2.1 ひずみゲージの設置位置の概要



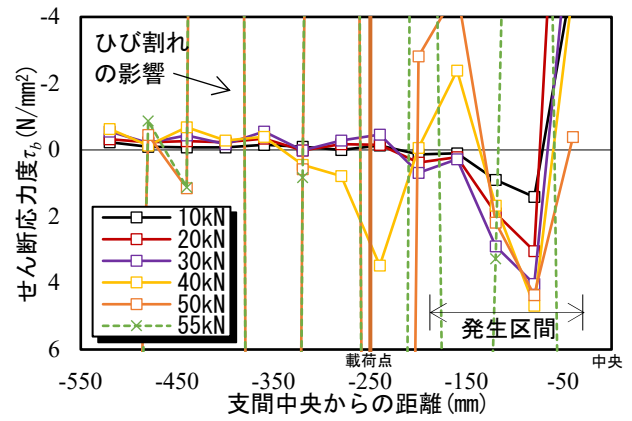
(a)供試体 A



(b)供試体 B



(c)供試体 C



(d)供試体 D

図-3.4.2.2 それぞれの荷重におけるせん断応力度 τ_b の分布

図-3.4.2.3 では、供試体 A~D におけるせん断応力度の分布について、10kN 時を例に比較した。せん断応力度の分布は、供試体 A 及び C では補修端部から 200mm までの区間、供試体 D では 160mm までの区間、供試体 B では 120mm までの区間で発生していることから、補修端部の位置や深さで傾向が異なった。最大値は、供試体 A, C および D では補修端部から 80mm の位置、供試体 B では 40mm の位置であった。

以上の結果から、供試体 A~C において、荷重とせん断応力度の関係を図-3.4.2.4 に示す。水平界面の割れをせん断応力度の最大値が移動する時期から推定すると、供試体 A では 28.1kN、供試体 B では 11.2kN、供試体 C では 23.0kN であった。ずれセンサの測定結果 (図-3.3.2.2) と比較すると、供試体 B のみ傾向が異なった。この理由として、供試体 B はせん断応力の最大値が 40mm の位置であるため、鉛直界面の割れの影響を捨ててしまっていることが考えられる。または、いずれの供試体も荷重が 25kN 前後で -80mm の位置のせん断応力度が低下しているため、この時期に水平界面の割れが発生したと考えると、供試体 B でもずれセンサの傾向と一致する。

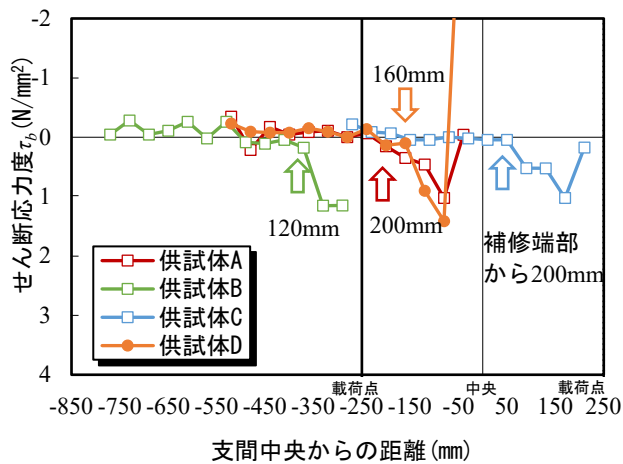


図-3.4.2.3 供試体 A~D におけるせん断応力度 τ_s の分布の比較 (10kN 時)

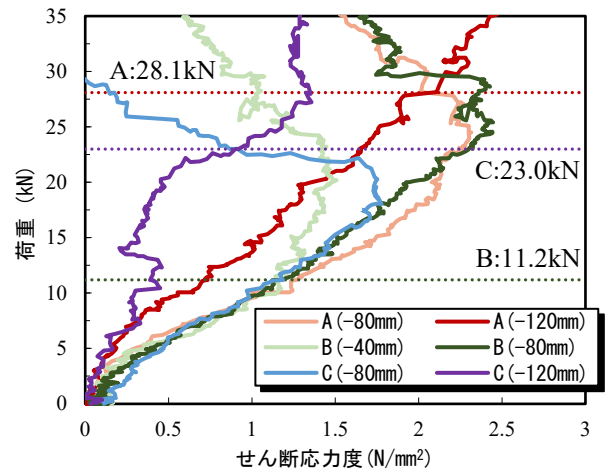


図-3.4.2.4 最大値が移動する時期

3.4.3 水平界面の割れが生じた理由

補修端部の変形挙動を確認するため、荷重が 5kN 時を例に補修材の側面と下面のひずみ ϵ_s , ϵ_u の分布、曲げモーメントの分布を供試体 A~D で比較した結果を図-3.4.3.1 に示す。いずれのひずみ分布も補修端部から 100mm の区間にかけてひずみの値が増加し、100mm 以降の区間でほぼ一定の値となったが、供試体 A~C では補修端部から 100mm の区間においては、側面のひずみ ϵ_s と下面のひずみ ϵ_u で傾向が異なった。この区間では、側面のひずみ ϵ_s と比較して下面のひずみ ϵ_u の値が小さいため、補修端部が下面側に変形するような挙動になっていたと考えられる。一方で、供試体 D は、補修端部が下面側に変形するような挙動になっていた点では他の供試体と同様の傾向であったが、100mm 以降の区間で下面のひずみ ϵ_u と比較して側面のひずみ ϵ_s の値が小さいため、補修材が鉄筋に拘束されて変形量が抑えられるものと考えられた。

図-3.4.3.1 に、側面と下面のひずみ差から弾性理論に基づき算出した補修材に生じる曲げモーメント M_r の分布を併記した。曲げモーメント M_r の分布は、いずれの供試体でも、補修端部から 100mm の区間で補修端部が下方にそるような曲げモーメントが発生したが、供試体 D のみ 140mm 以降の区間で上方にそるような曲げモーメントが発生した。

以上より、鉄筋下まで補修した供試体 D でも供試体 A~C と同様に水平界面にせん断応力が発生し、補修端部が下面側に変形するような挙動になっていたと考えられるが、水平界面での割れが生じなかった。その理由として補修材の厚さの影響と鉄筋の効果が挙げられるが、両者の影響の程度は、次節で考察する。

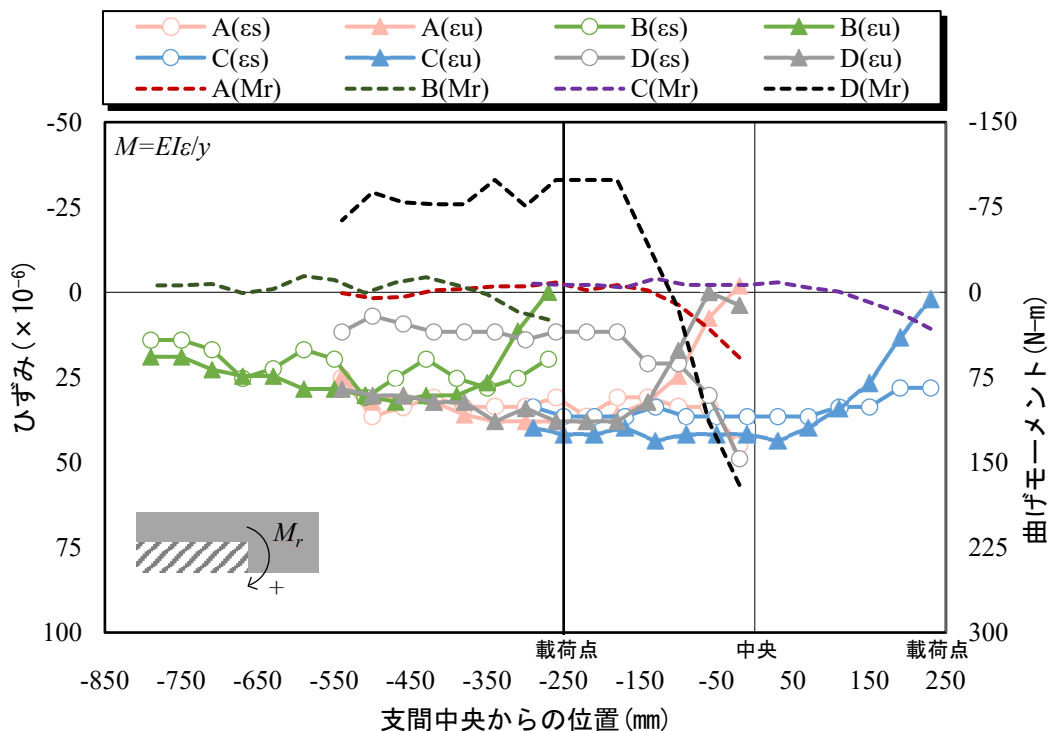


図-3.4.3.1 供試体 A~D におけるひずみと曲げモーメントの分布図 (5kN 時)

3.4.4 曲げモーメントと曲率の関係

(1) 中立軸の算定

図-3.4.4.1 に、中立軸と曲率を算定する際に用いたゲージ位置の関係を示す。各供試体におけるひずみ分布の例を図-3.4.4.2、荷重の増加に伴う中立軸の変化を図-3.4.4.3 に示す。それぞれについて、支間中央 (CL)、CL±150、CL±250 及び CL±450 の測定結果を示している。各位置における中立軸は、上下の主鉄筋のひずみ、計 2 点から線形近似して算出したもの (図中の凡例では鉄筋) と、コンクリート上縁または下縁のひずみを加えて計 3 点から算出したもの (上縁-鉄筋、鉄筋-下縁)、コンクリート上下縁のひずみを加えて計 4 点から算出したもの (上縁-鉄筋-下縁) を示した。なお、パイ型変位計を固定するための治具の高さによって、ひずみを線形近似する際の値に影響を与えるため、高さの補正を行った。また、図中には断面分割法により算定した中立軸の位置も示しており、断面形状が母材コンクリートである場合、補修深さが 40mm および 70mm の場合を記載している。

測定で得られた中立軸の位置は、界面位置を除き多くの場合、ひび割れ発生前では計算値よりもやや大きい位置にあるが、ひび割れ発生後では計算値と同程度の傾向を示していた。また、中立軸の算出方法の違いについて、「鉄筋」と「上縁-鉄筋」が比較的一致しており計算値とも同様の傾向を示していたが、下縁のひずみを含む「鉄筋-下縁」と「上縁-鉄筋-下縁」では異なる傾向にあった。このため、曲率の算定には、「鉄筋」と「上縁-鉄筋」を用いた。

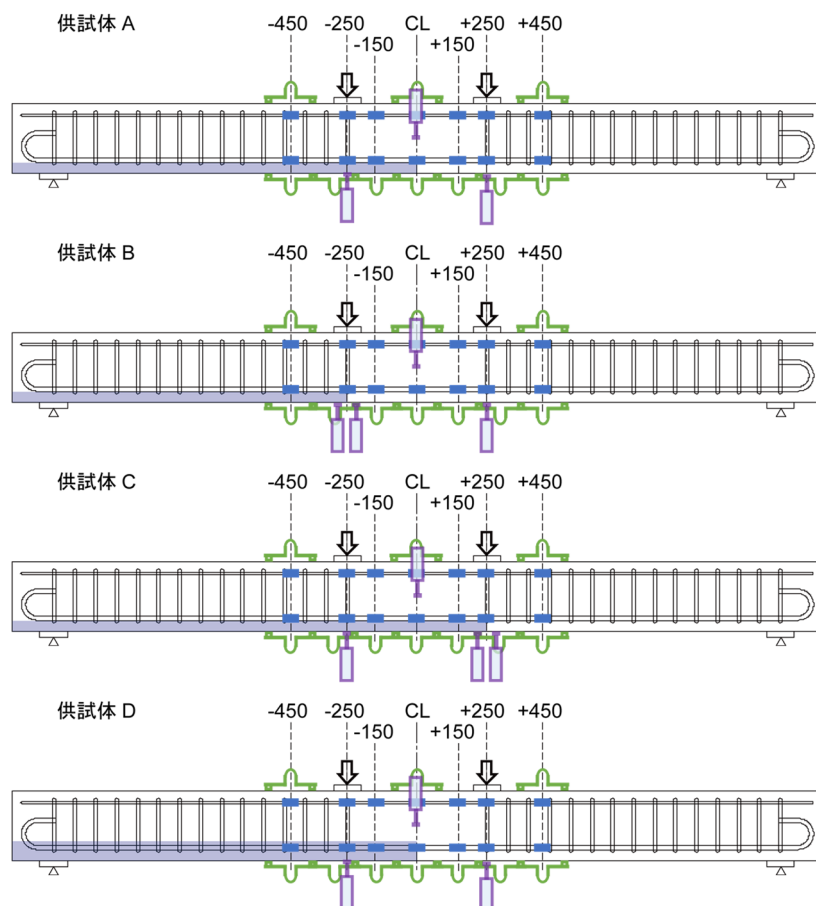
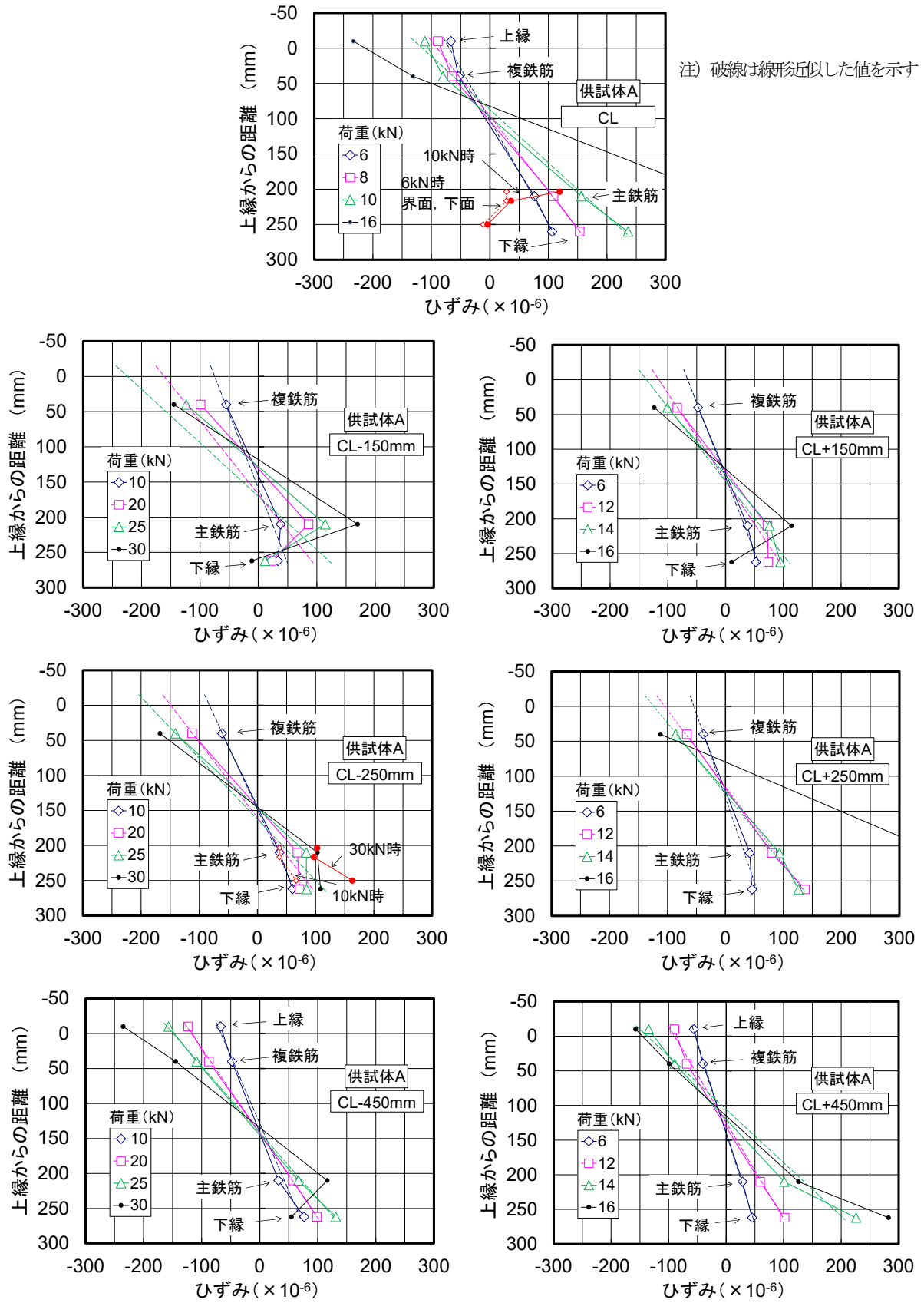
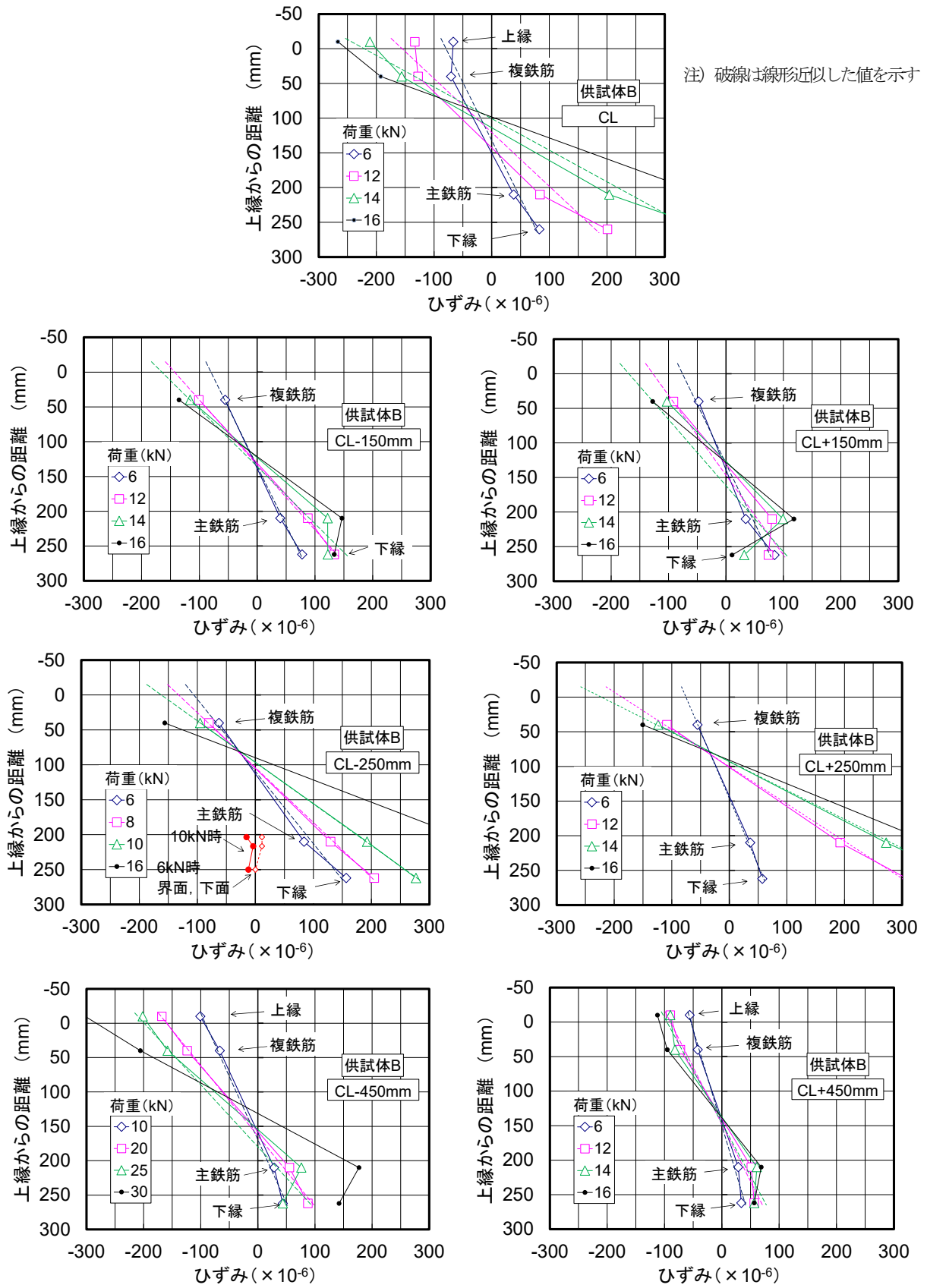


図-3.4.4.1 中立軸と曲率を算定する際に用いたゲージ位置



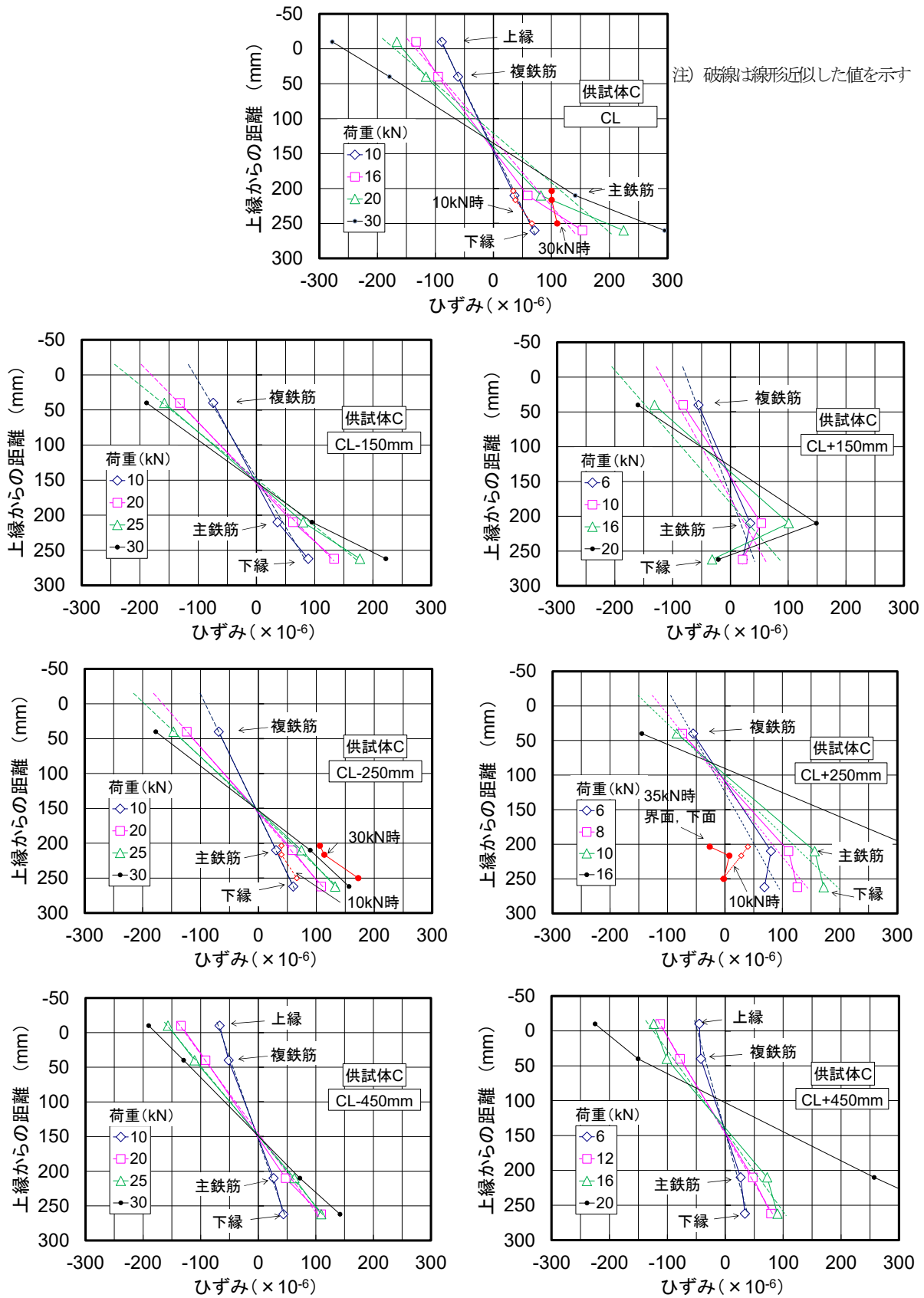
(a)供試体 A

図-3.4.4.2 鉛直方向ひずみ分布



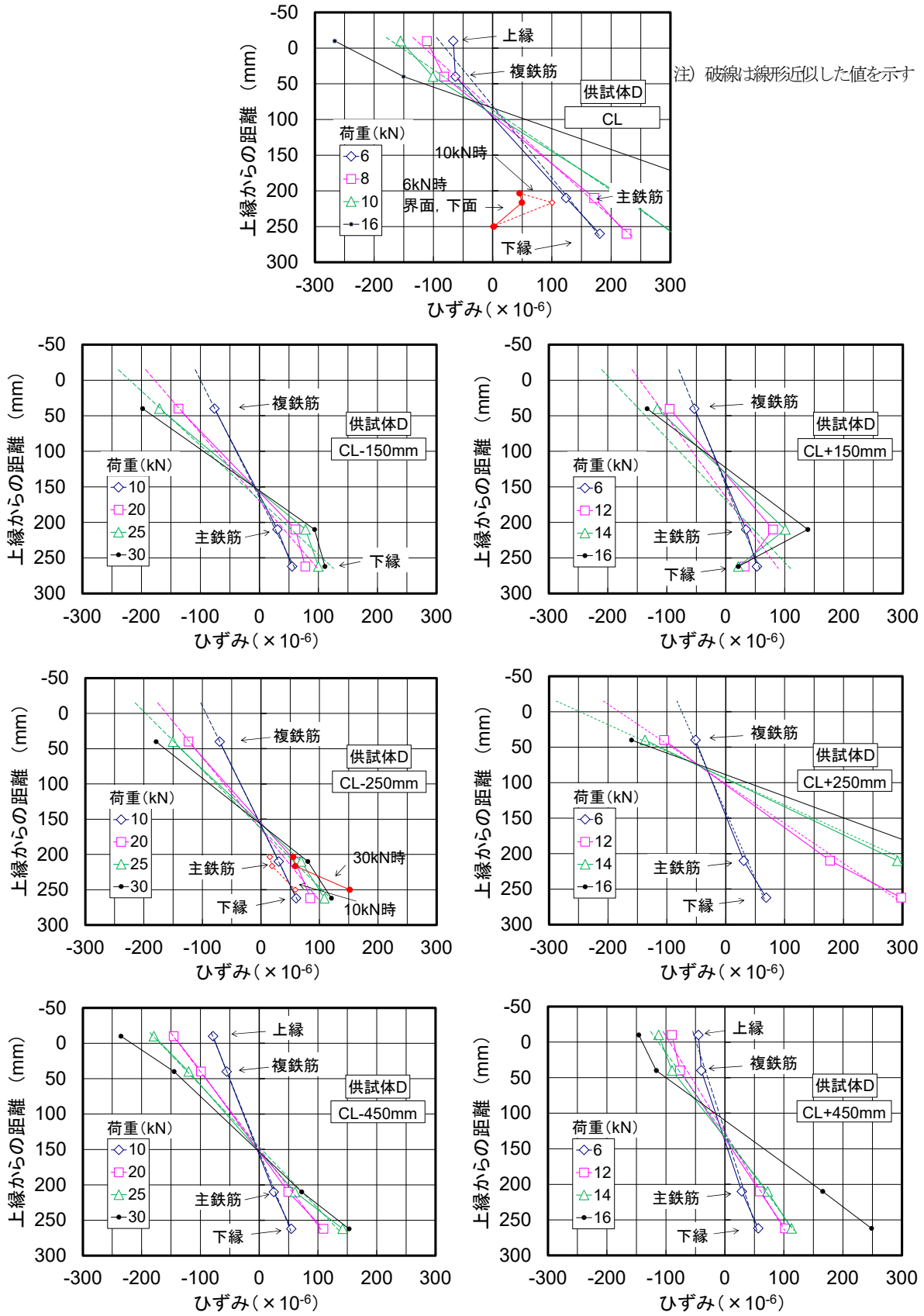
(b)供試体 B

図-3.4.4.2 鉛直方向ひずみ分布 (続き)



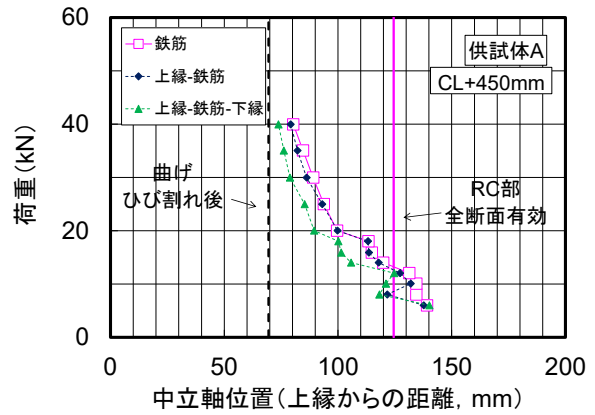
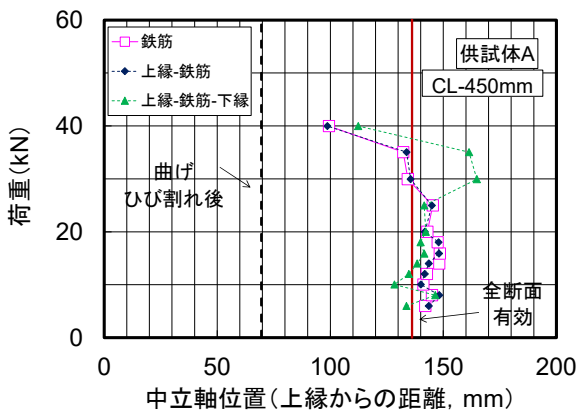
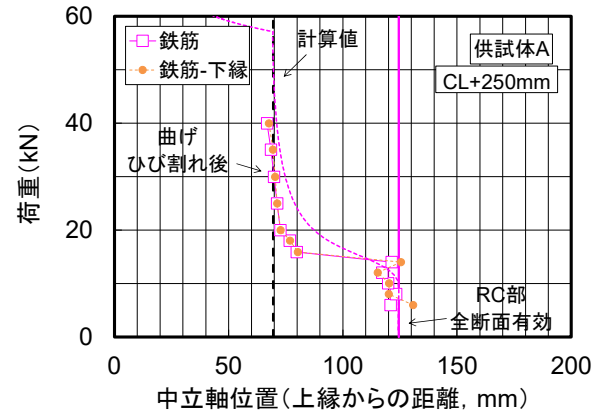
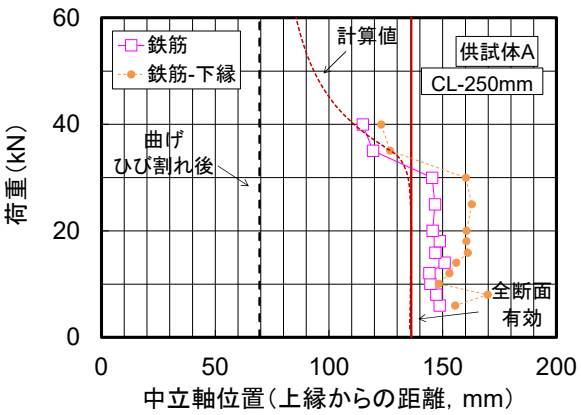
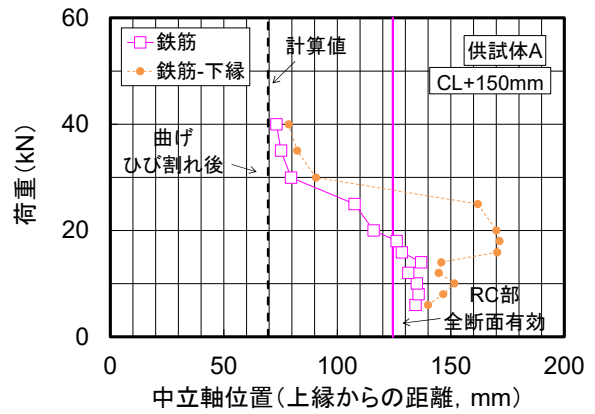
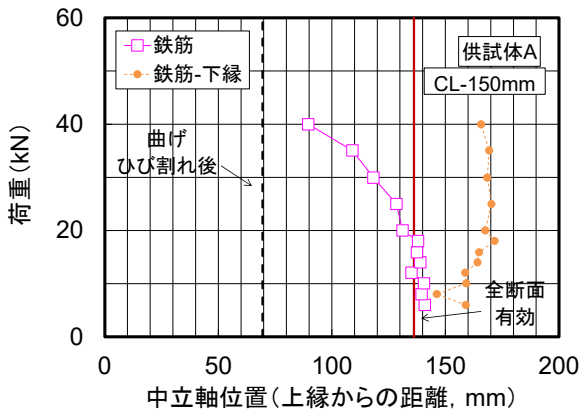
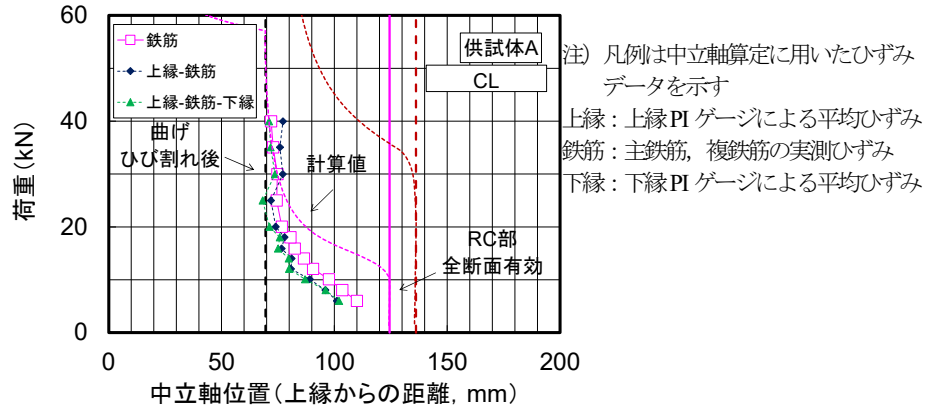
(c)供試体C

図-3.4.4.2 鉛直方向ひずみ分布 (続き)



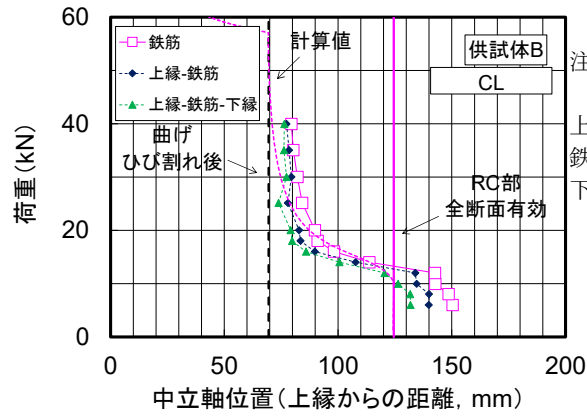
(d)供試体 D

図-3.4.4.2 鉛直方向ひずみ分布 (続き)

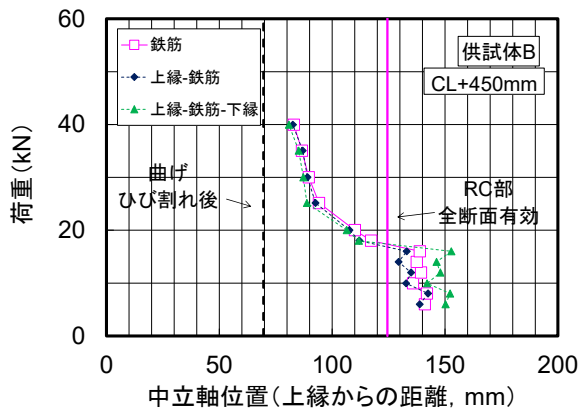
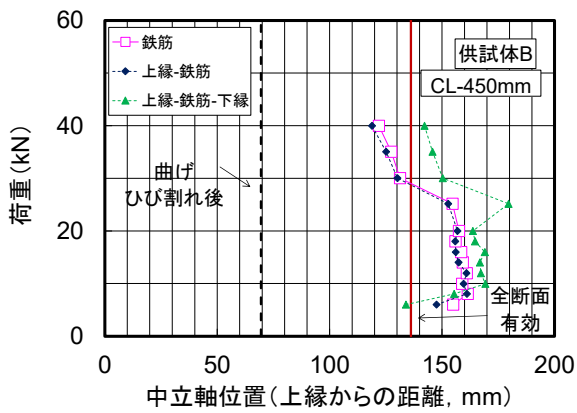
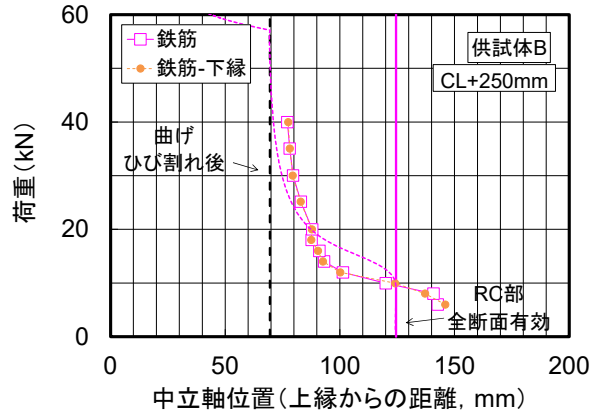
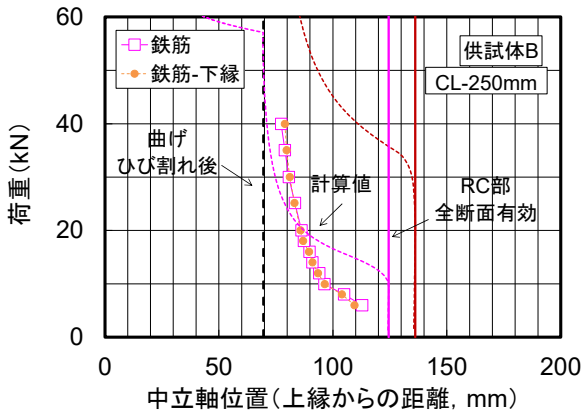
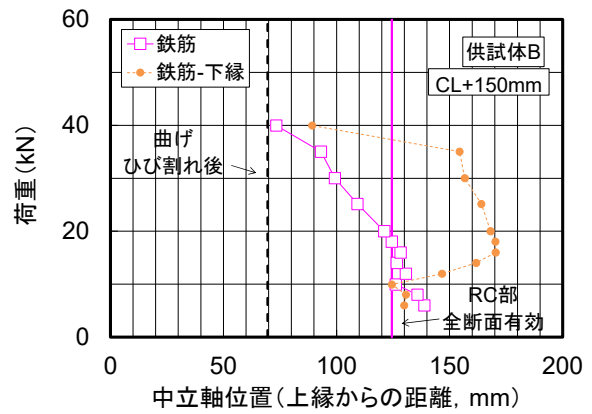
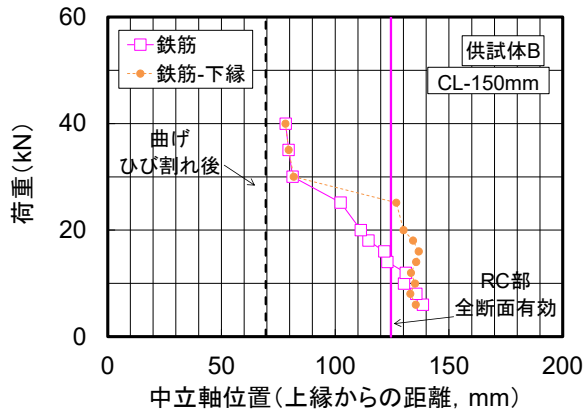


(a)供試体 A

図-3.4.4.3 中立軸位置の変化

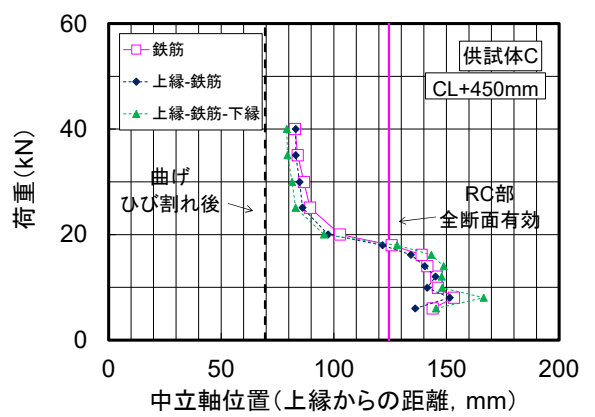
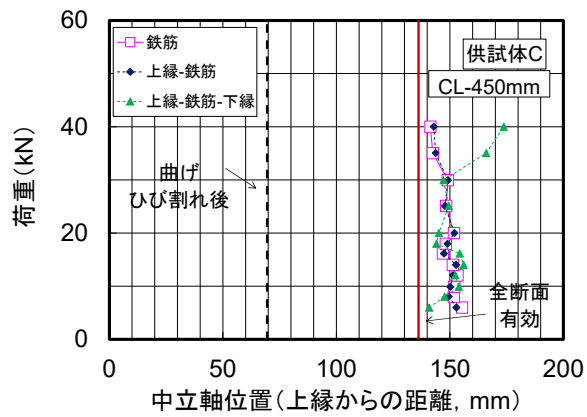
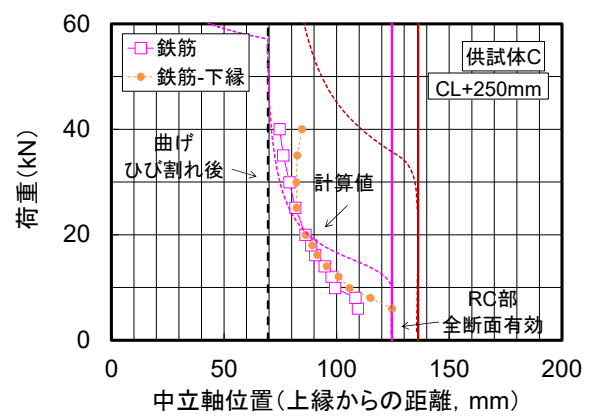
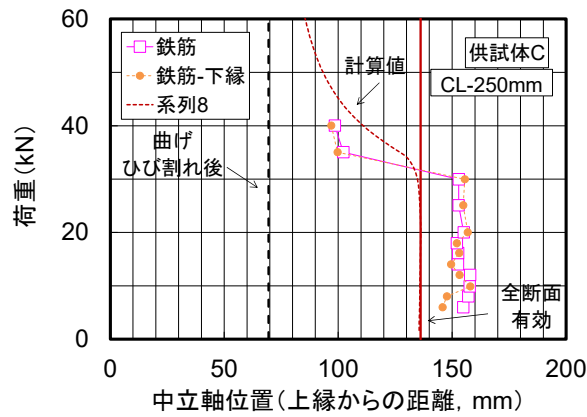
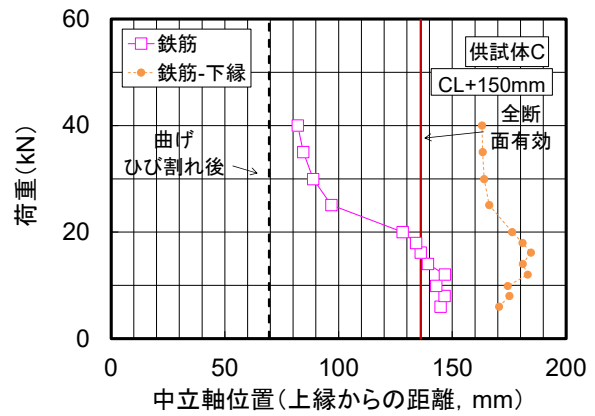
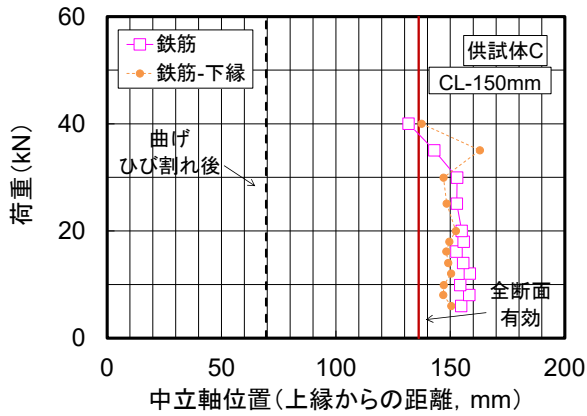
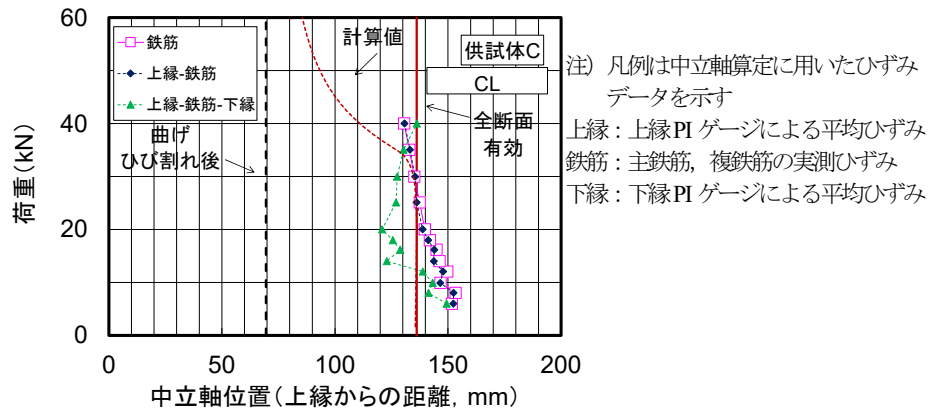


注) 凡例は中立軸算定に用いたひずみデータを示す
 上縁: 上縁PIゲージによる平均ひずみ
 鉄筋: 主鉄筋, 複鉄筋の実測ひずみ
 下縁: 下縁PIゲージによる平均ひずみ



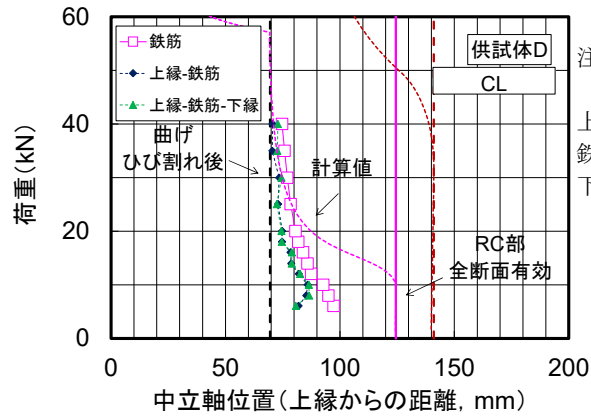
(b)供試体 B

図-3.4.4.3 中立軸位置の変化 (続き)

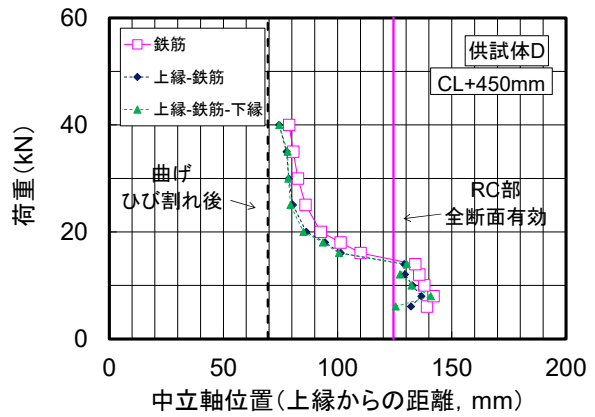
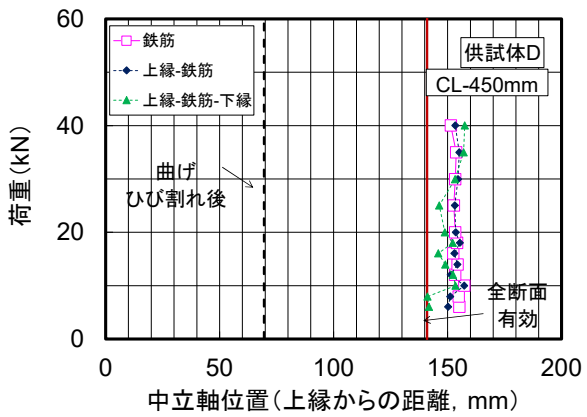
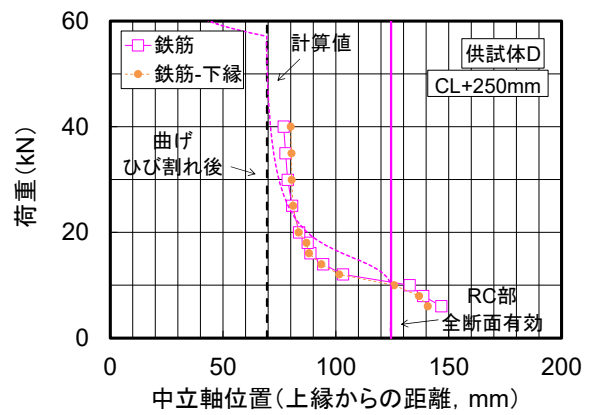
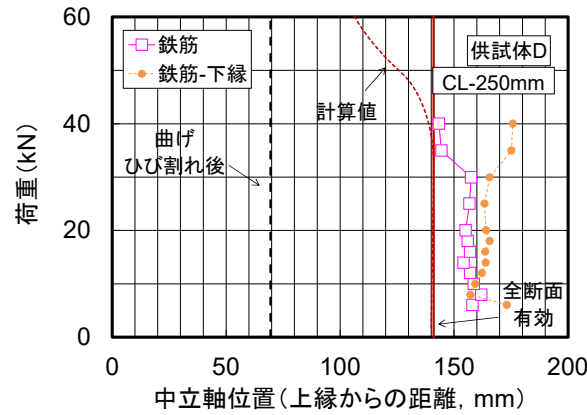
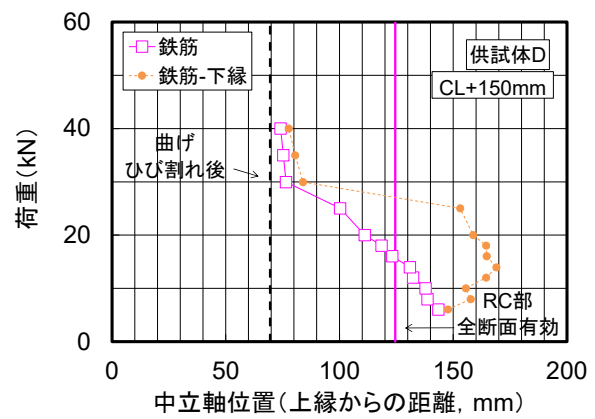
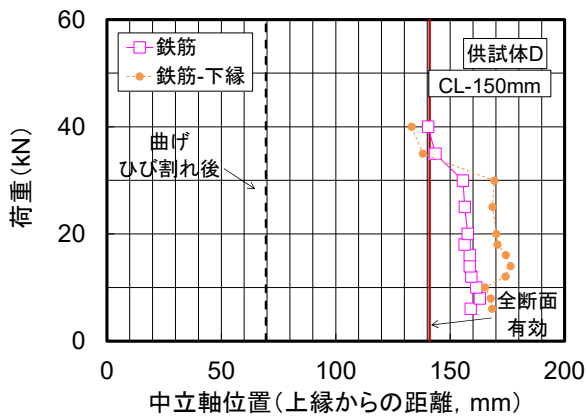


(c)供試体 C

図-3.4.4.3 中立軸位置の変化 (続き)



注) 凡例は中立軸算定に用いたひびずみデータを示す
 上縁: 上縁PI ゲージによる平均ひびずみ
 鉄筋: 主鉄筋, 複鉄筋の実測ひびずみ
 下縁: 下縁PI ゲージによる平均ひびずみ



(d)供試体 D

図-3.4.4.3 中立軸位置の変化 (続き)

(2) 曲率の算定

図-3.4.4.3 で算定した中立軸から各断面における曲率を算出し、また、図-3.4.4.4 に示す鉛直方向の変位から載荷点および支間中央の3点で純曲げ区間における平均曲率を算出して、図-3.4.4.5~6 に曲げモーメントと曲率の関係を示した。なお、ここでの各断面における曲率は、「鉄筋」または「上縁-鉄筋」により算出した。

図-3.4.4.4 より、曲げモーメントと曲率の関係は、界面の位置を除き、断面形状が母材である場合には RC 部の計算値と比較的一致し、補修材である場合には補修部の計算値と比較的一致した。図-3.4.4.6 より、純曲げ区間が母材である供試体 B では RC 部の計算値と比較的一致しており、純曲げ区間が補修材である供試体 C では補修部の計算と比較的一致していた。また、供試体 A と D では、補修深さが異なるが曲げモーメントと曲率の関係には影響がほとんど確認できなかった。

界面位置に着目すると、いずれの供試体においても、他の断面と比較して載荷初期の段階から曲率の増加が大きく、その値は断面形状が母材である場合の曲率よりもかなり低いことがわかった。そして、界面位置では補修端の位置や補修深さに関わらず、曲げモーメントと曲率の関係は同様の傾向を示していた。

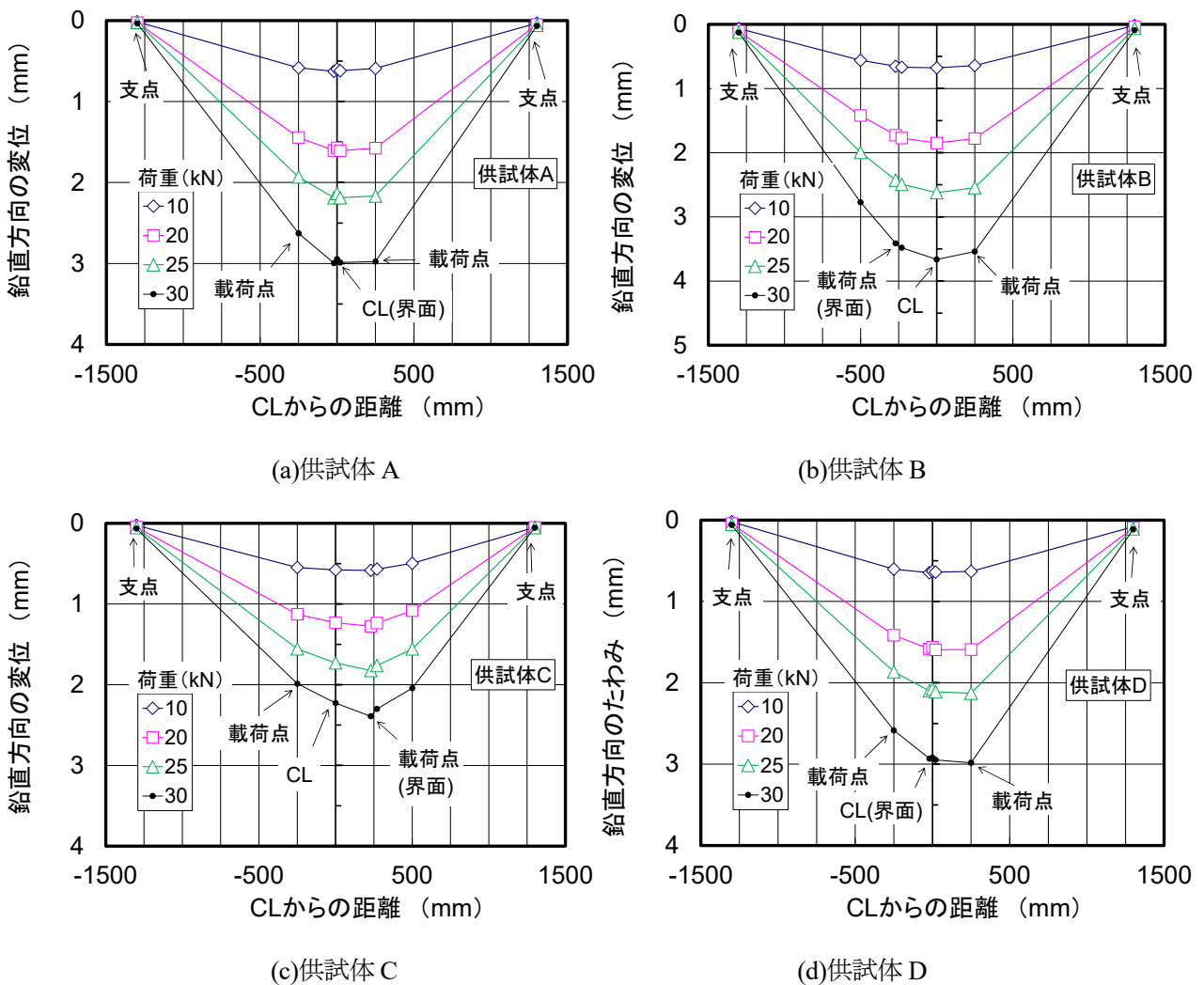
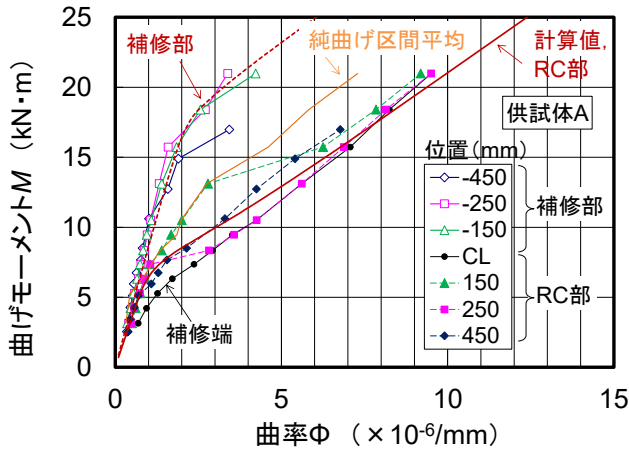
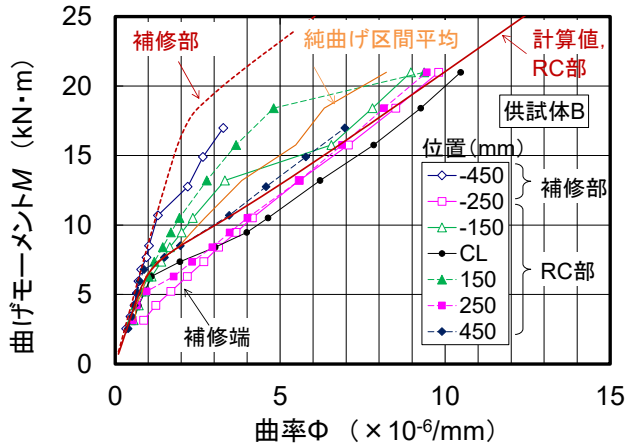


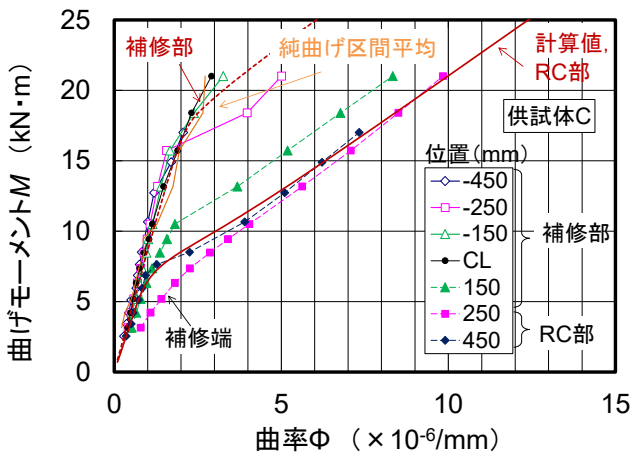
図-3.4.4.4 鉛直方向の変位



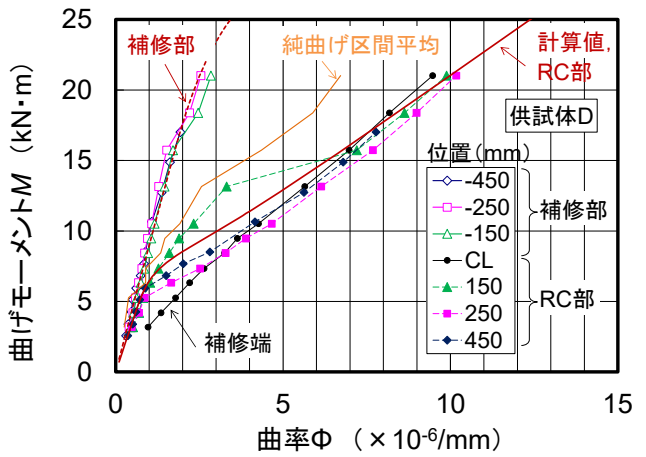
(a)供試体 A



(b)供試体 B



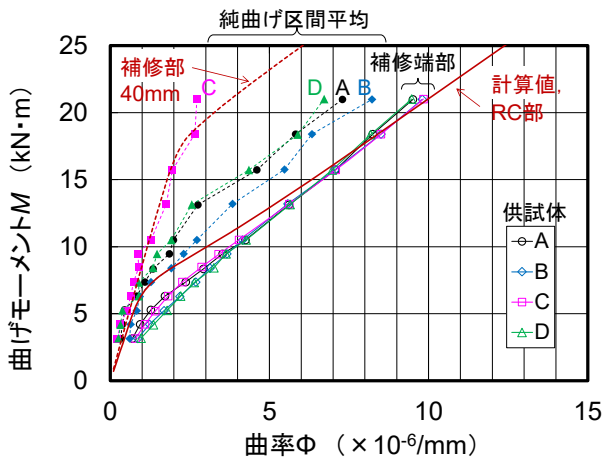
(c)供試体 C



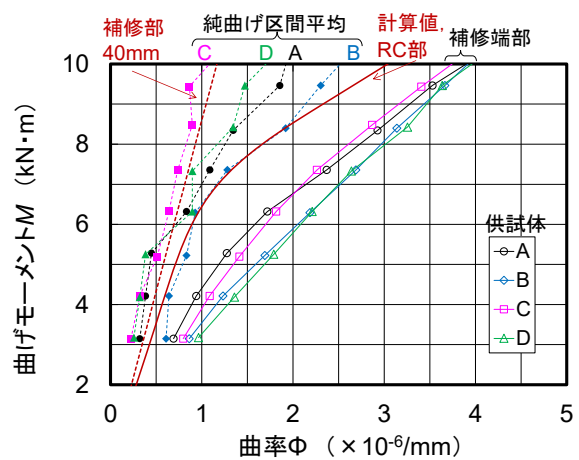
(d)供試体 D

注) CL-450, CL および CL+450 は上縁鉄筋による
 CL-250, CL-150, CL-250 および CL-150 は鉄筋による
 純曲げ区間平均曲率は、荷重点と支間中央の鉛直変位による

図-3.4.4.5 各断面における M-φ (局所的な曲率)



(a) 荷重 6~40 kN 時における比較



(b) 図(a)の拡大

図-3.4.4.6 補修端部の各断面における M-φ の比較 (局所的な曲率と純曲げ区間平均曲率)

(3) 実構造のRC床版に作用する曲げモーメントと漏水限界との対応に関する分析

はり試験における曲げモーメントと実際のRC床版に作用する曲げモーメントを比較し、本報告書のⅢ編で検討した漏水限界との対応を確認するため、道路橋示方書Ⅱ編に示される設計曲げモーメントを参考に検討した。本供試体の形状寸法に基づいて連続版の中間支点上に発生する負曲げの設計曲げモーメント M_d の算定結果表-3.4.4.1に示し、その値を図-3.4.4.7に併記した。また、同図には、本報告書のⅢ編で検討した漏水限界を表す曲率も併記している。

負曲げの設計曲げモーメント $M_d = -8.3 \text{ kNm}$ は、RC部の計算値の曲率および漏水限界を表す曲率とほぼ一致した。そのため、実際のRC床版での曲げモーメント作用下において漏水を防ぐためには、界面位置での局所的な曲率をRC部の計算値と同程度以下に抑制する必要があると考えられる。

表-3.4.4.1 設計の負曲げモーメントの算出

床版支間 L(m)	床版厚 d(m)	等分布死荷重 w(kN/m ²)	活荷重 M _{TL} (kN・m/m)	死荷重 M _{DL} (kN・m/m)	合計 M _d (kN・m/m)	幅を考慮 M _d (kN・m)
2.6	0.25	15.9 ^{※1}	-30.6 ^{※2}	-13.5 ^{※4}	-44.02	-8.8
				-10.8 ^{※5}	-41.33	-8.3
			-52.2 ^{※3}	-13.5 ^{※4}	-65.62	-13.1
				-10.8 ^{※5}	-62.93	-12.6

※1：単位体積重量を 24.5kN/m³ として単位幅あたりの等分布死荷重として計算

※2：床版支間の方向が車両進行方向に直角，連続版の支点曲げモーメント $M_{TL} = -(0.12 \times L + 0.07) \times P \times 0.8$

※3：床版支間の方向が車両進行方向に平行，連続版の支点曲げモーメント $M_{TL} = -(0.22 \times L + 0.08) \times P \times 0.8$

※4：2支間の場合 $M_{DL} = -w \times L^2 / 8$

※5：3支間以上の場合 $M_{DL} = -w \times L^2 / 10$

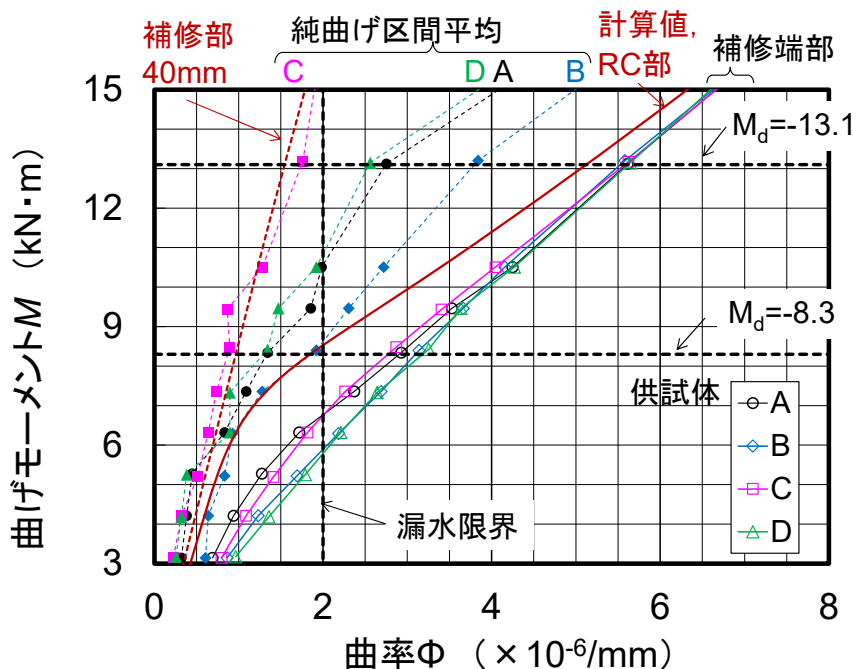


図-3.4.4.7 設計曲げモーメントと測定値による $M-\phi$ との比較

3.5 まとめ

本検討は、上面部分補修を模擬したはり供試体を用いて負曲げ試験を行った。その結果、この試験の範囲で次の知見が得られた。

- (1) はり試験から得られた荷重－変位関係は、母材コンクリートのひび割れまたは界面の割れに伴いはり全体のたわみとして傾きの変化が補修端部の位置が異なる供試体で異なった。一方で、補修深さが異なる供試体では同様の傾向であった。
- (2) 鉛直界面の割れは、主として母材コンクリートの乾燥収縮の影響などにより、いずれの供試体においてもかなり早い段階で生じたため、補修の範囲や深さの影響を把握することができなかった。
- (3) 鉛直界面の割れまたはその付近で曲げひび割れが生じた後は、供試体 D のように、鉄筋下まで補修した場合であっても、負曲げを受けると補修端部付近の水平界面にせん断応力が作用することがわかった。ただし、せん断応力度の分布の大きさは、鉄筋による引張力の分担があってもほとんど変わらなかった。
- (4) 供試体 A～C では、荷重 20～30kN、換算すると無補修の RC はりにおける計算曲げひび割れ発生荷重の 2～3 倍程度で、補修端部付近の水平界面に割れが生じ始めた。一方、供試体 D では、水平界面にせん断応力が作用していたが、水平界面の割れは生じなかった。
- (5) 測定値から算出した界面位置での局所的な曲率は、鉛直界面で割れが生じるとその断面での曲げ剛性がはり供試体の中で最も早く小さくなる傾向が見られた。そして、純曲げ区間の平均的な曲率と比較して、載荷初期から曲率の値が先行しており、無補修の RC はりにおける計算よりも低い傾向を示した。

なお、大成建設（株）から UHPFRC の材料の提供、施工の協力を頂いた。

参考文献

- 1) AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究, 点検 AI (床版の土砂化等) 開発グループ: AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究報告書 (II-2) -レーダを用いた床版上面の劣化調査, 国道 210 号山ノ釣橋一, 土木研究所共同研究報告書, No. 552, 2022.3.
- 2) 和田吉憲, 松本政徳, 渡邊晋也: 床版上面の断面修復に浸透性接着剤を用いた場合の疲労耐久性向上に関する検討, 第 8 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 土木学会, pp. 81-86, 2014.10
- 3) 松本政徳, 後藤昭彦, 渡邊晋也, 一瀬八洋: RC 床版における断面修復部の耐久性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No.2, pp.673-678, 2013.
- 4) 今野久志, 三田村浩, 植田健介, 松本高志: 超緻密高強度繊維補強コンクリートで上面補修した RC 床版の押抜きせん断試験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, No.2, pp.787-792, 2023.
- 5) 橋本理, 越川喜孝: UHPFRC で上面を打ち替えた RC 床版の耐疲労性の評価, 第 12 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.279-284, 2022.
- 6) 西沢辰男, 福田正, 松野三朗: コンクリート舗装版の横目地における力学的挙動の解析, 土木学会論文集, 第 378 号/V-6, pp.185-193, 1987.
- 7) 独立行政法人土木研究所, 株式会社東京測器研究所: コンクリート打継目のずれセンサーに関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 第 448 号, 2013.
- 8) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.
- 9) 上原子晶久, 下村匠, 丸山久一, 西田浩之: 連続繊維シートとコンクリートの付着・剥離挙動の解析, 土木学会論文集, No.634/V-45, pp.197-208, 1999.

記号の一覧

編	章	大成建設	カナフレックス	J-ティフコム	エスイー	鹿島建設	土木研究所
II	1 凍結融解	TS-本体 TS-目地 TS-補修	KF-本体 KF-目地	JT-補修	S-本体 S-目地 S-補修	KJ-本体	N
	2 直接引張	TS1-床版(小)-1~6 TS1-床版(大)-1~6 TS1-床版(間)-1~6 TS1-はり-1~5 TS1-はり(間)-1~3 上面補修はり-1~5	KF1-床版-1~6 KF1-床版(間)-1~6 KF1-はり-1~3 KF1-はり(間)-1~3	JT-1~6	S1-床版-4~6 S1-床版(間)-4~6 S1-はり-1~3 S1-はり(間)-1~3	KJ-はり-1~6 KJ-はり(間)-1~6 JS-はり-1~3	-
	3 配向性	試験片A~D	-	-	-	-	-
III	1 輪荷重	TS1	KF1	-	S1	KJ	-
	2 はり	TS1-1~3	KF1-1~3	-	S1-1~3	KJ-1~3 JS1, JS2	-
	付属資料	TS3	KF2	-	S2	-	-
IV	1 屋外暴露	TS	-	JT	S	KJ	DK
	2 補修輪荷重	補修材3, 4 (UHPFRC)	-	-	-	-	補修材1(H) 補修材2(UH)
	3 補修はり	補修材(UHPFRC)	-	-	-	-	-

短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の 耐久性向上技術に関する共同研究報告書

付録 開発者による繊維補強コンクリート床版の性能説明書

これらの付録は、繊維補強コンクリートを用いた道路橋の床版技術における要求性能、性能の確認手法を定めた「道路橋の繊維補強コンクリート床版の性能確認マニュアル（案）」を国土交通省が策定したことを受けて、それぞれの開発者が有する繊維補強コンクリート床版の性能をそれぞれの開発者が説明した性能説明書である。

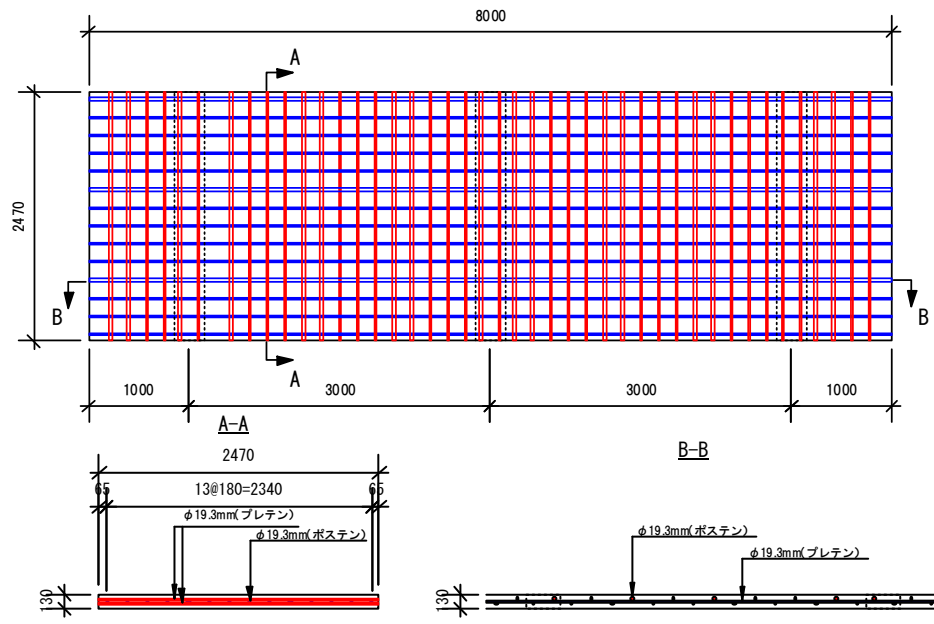
付録-1 超高強度繊維補強コンクリート（UFC）道路橋床版
（道路橋用ダクトアル PC 床版）

開発者名：大成建設株式会社

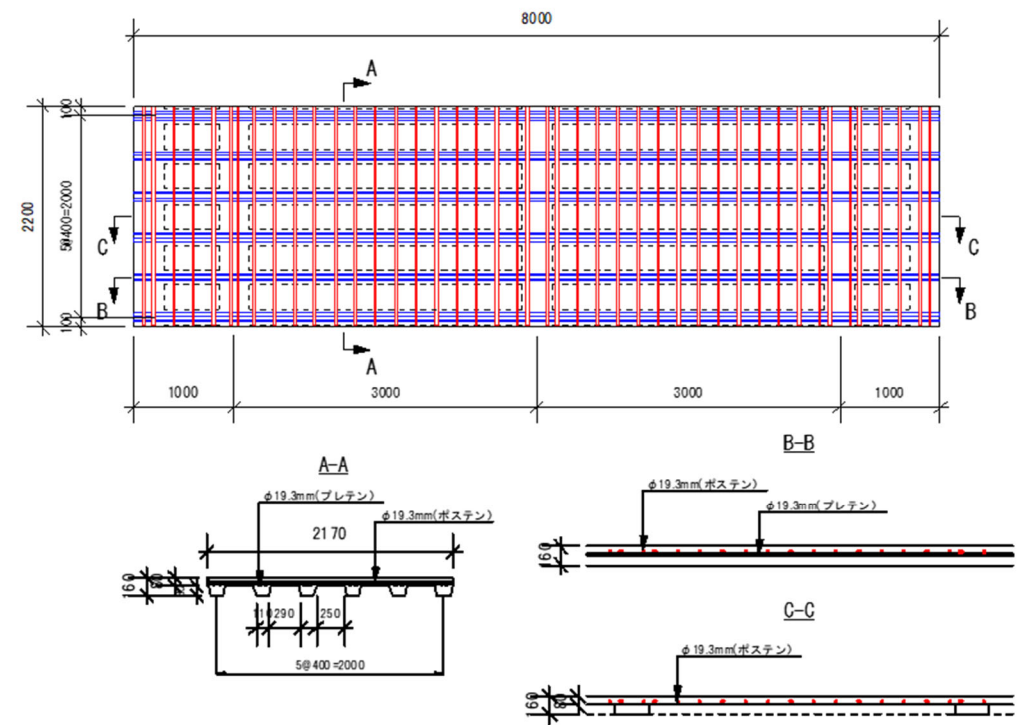
1. 技術の概要に関する確認

繊維補強コンクリート床版としての技術の概要に関する確認事項

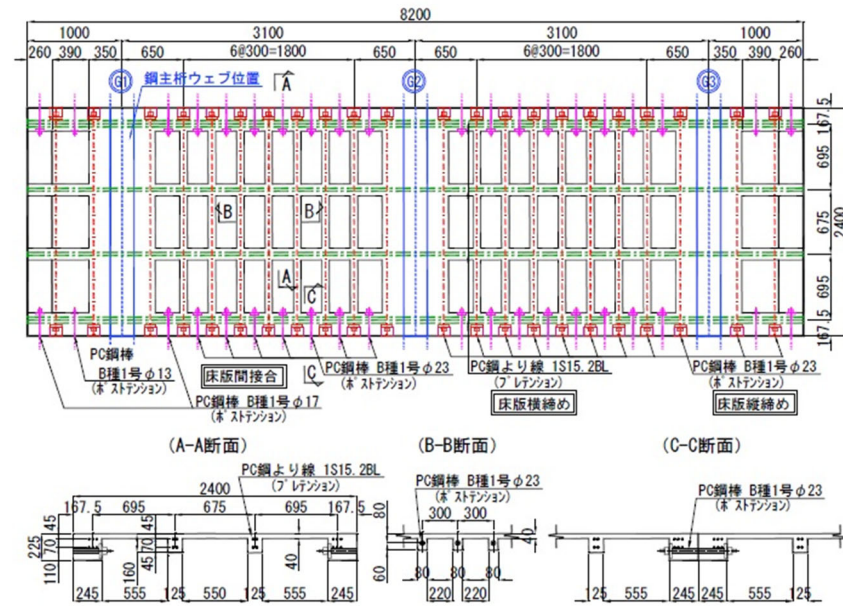
NO.	着目する項目	技術開発者記入欄	資料 No.
	技術名称 (同 副題)	超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版 (道路橋用ダクトル PC 床版) (以下, ダクトル床版)	
	開発者名	大成建設株式会社	
	NETIS 登録状況	登録済 KT-230007-A	
	特許等取得状況	特許 6865874 プレストレストコンクリート床版およびプレストレストコンクリート床版を用いた床版の施工方法 特許 6754219 床版接合構造および床版更新方法 特許 6718658 プレストレストコンクリート床版 特許 6301747 プレキャスト床版と、主桁との接合構造	
	第三者機関等の証明情報	なし	
	施工実績	・施工実績がある場合は、施工実績表を別途添付ください。	なし
	技術の概要 ①床版本体の構造概要 ②床版同士の接合部の構造概要 ③当該技術の特徴 ④製品としてのシリーズに関する情報	① ・床版本体の構造概要が判る図を掲載ください。 ・床版の概要として、床版を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方 (曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む) を記載ください。	① ・「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案) 土木学会」で規定された超高強度繊維補強コンクリート (UFC) の一つである UFC (ダクトル) を使用 ・UFC (ダクトル) は一般のコンクリート部材と違い、鉄筋の代わりに専用の高張力鋼の鋼繊維で補強したコンクリート部材で、部材厚を薄くすることで床版の軽量化が可能 ・床版を軽量化することで上部工重量を抑えられ、既設下部工の耐震対策を最小限に抑えられる ・UFC (ダクトル) は強度と耐久性が高く耐用年数が長くなるので LCC 低減の効果が期待 ・床版のタイプは、 <u>平板型</u> 、 <u>1方向リブ型</u> 、 <u>2方向リブ型</u> の3種類



平板型

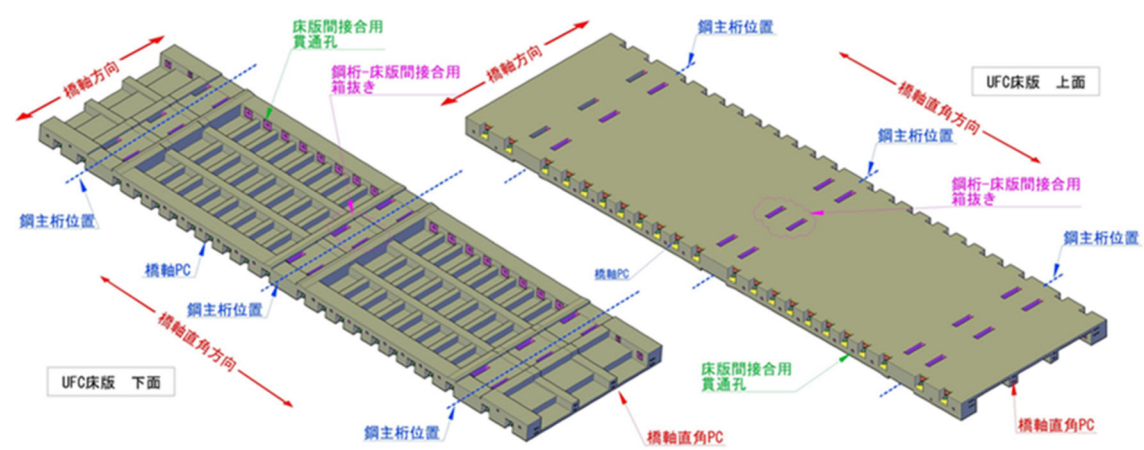


1方向リブ型



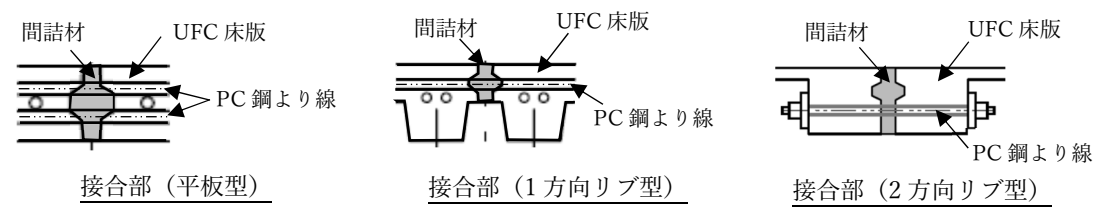
2方向リブ型

- ②
 - ・橋軸方向の接合部、橋軸直角方向の接合部に分けて、接合部の構造概要が判る図を掲載ください。(ただし、想定していない接合部はその旨記述し、内容を省略いただいて結構です。)
 - ・接合部の概要として、橋軸方向、橋軸直角方向の各々について、接合部を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方(曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む)を記載ください。
- ③
 - ・当該技術の特徴(セールスポイント)を簡潔に説明願います。(特に、従来のRC床版やPC床版と比較した場合の優れている点等)
- ④
 - ・プレキャスト床版の製品としてシリーズが既に準備されている場合には、その製品群に関する情報(カタログ等)を添付ください。



2方向リブ型の構造概要

- ②
 - ・橋軸方向接合部は、30~50mm程度の床版同士の隙間に間詰材を充填し、プレストレスを導入する。
 - ・全断面有効として設計を行う。



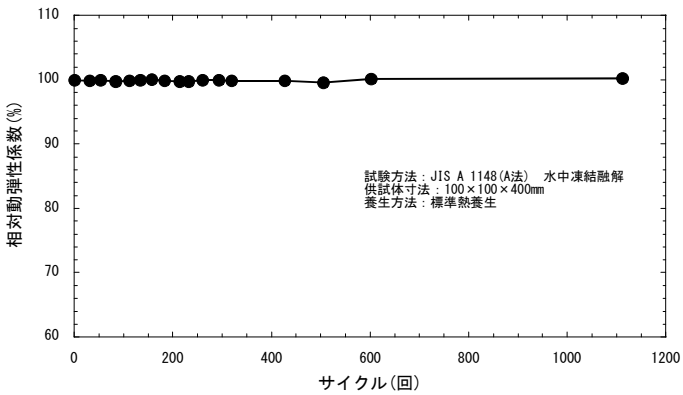
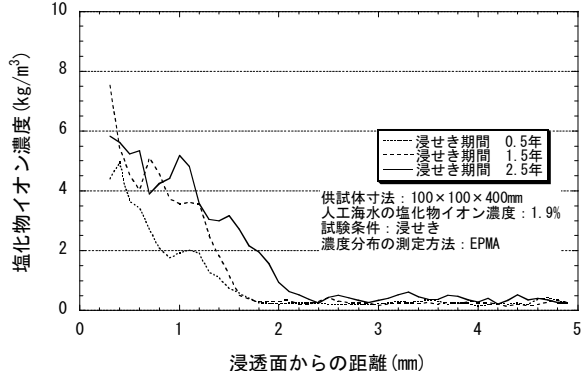
- ③
 - ・床版の軽量化により、既設橋梁の下部工および桁の補強を最小限に抑えることが可能になる。
 - ・緻密材料で高耐久な材料特性を活かし、水や塩分の浸透に対する抵抗性、海岸部では潮風、降雪地帯では融雪剤による床版劣化に対して優れた抵抗性を有する。
 - ・高強度なUFC(ダクトル)を使用していることから、床版切削に対する抵抗性や供用時の疲労耐久性に優れている。
- ④
 - ・NETIS(KT-230007-A)：道路橋用ダクトルPC床版

II. 性能の確認

1. 設計に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1	使用材料に求める事項の確認		
1	(1) 補強鋼材	<p>(道示 I-9.1 鋼材)</p> <p>(1) 鋼材は、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそり等の形状寸法等の特性や品質が確かなものでなければならない。</p> <p>(2) 表-9.1.1<省略>に示す鋼材は、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版に使用する補強鋼材を提示ください。また、その鋼材が道路橋示方書 I 編 9.1 表-9.1.1 に示す鋼材の場合、JIS 規格を提示ください。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性や品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>※コンクリート床版に使用する線材、棒鋼等の鋼材等は、製造時に材料としての特性や品質が決定されるため、その特性や品質が確保されていることを使用上の前提条件としています。道路橋示方書 I 編 9.1 では、JIS に適合し、かつこれまでに十分な使用実績がある鋼材については、特性が明確で一定の水準以上の品質を有するとみなしてよいとされています。</p> <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書 I 編 9.1 表-9.1.1 に示された鋼材のうち、「JIS G 3536 PC 鋼線及び PC 鋼より線」に適合した鋼材を使用する。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1 使用材料に求める事項の確認			
2	(2) 繊維補強コンクリートの構成材料	<p>(道示 I-9.2.1 一般) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.2 コンクリート材料) (1) コンクリートに用いる材料は、次に示すものを使用しなければならない。 1) セメントは、比表面積、凝結時間、圧縮強さ、有害成分の制限等の特性や品質が確かなものでなければならない。 2) 水には油、酸、塩類、有機物等の有害物が含まれてはならない。 3) 細骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、ごみ、泥、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 4) 粗骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、薄い石片、細長い石片、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 5) 混和材料として用いる混和剤及び混和材は、コンクリートの特性や品質の改善に対する効果及びその特性や品質が確かなものとする。 (2) 表-9.2.1<省略>に示す規格又は規定に適合する材料については、上記品質を有するとみなしてよい。 (3) フレッシュコンクリート中に含まれる塩化物イオンの総量は、0.3kg/m³以下とする。</p>	<p>①-1 ・道路橋示方書 I 編 9.2.2、表-9.2.1 に示す規格又は規定に適合する材料を使用していますか？ セメント、混和材料、水、骨材、細骨材、混和材それぞれについて JIS 規格を提示ください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、品質の確かさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・補強用繊維について、繊維の種類（材質）及び品質管理項目を提示ください。また、合成繊維を使用する場合は、耐熱性、耐アルカリ性について根拠資料を提示ください。</p> <p>②-2 ・上記②-1 によらない場合、耐熱性、耐アルカリ性の試験結果を示すことに加え、実際の繊維補強コンクリートを長期間屋外に暴露した結果等を用いて、繊維補強コンクリートに対する経年の影響について説明できる根拠資料を提示ください。</p> <p>③-1 ・塩化物イオンの総量を適切に管理されていますか？ 塩化物イオンの総量と管理方法を提示ください。</p> <p>③-2 ・上記③-1 によらず、従来のコンクリートを対象としたフレッシュコンクリートに対する試験方法が適用できない場合や、全て工場等で準備した材料等を用いる場合、それらの条件に応じて適切な方法で管理されていることを提示ください。</p> <p>①-1 ・道路橋示方書 I 編 9.2.2、表-9.2.1 に示す規格又は規定に適合する材料を使用している。セメント、混和材料、水、骨材、細骨材、混和材のそれぞれは、道路橋示方書に示される JIS 規格のとおりである。ただし、UFC（ダクトル）は粗骨材を用いておらず、細骨材の粒径および粒度分布はフレッシュコンクリートの特性および鋼繊維の分散性を考慮して調整をしている。細骨材の産地は、力学特性を満足するものを使用するとともに、JIS A 5308 のうち、アルカリシリカ反応性による区分 A を用いることとしている。</p> <p>①-2 ・結合材には、セメントと専用的高強度混和材を予め混合したプレミックス結合材を用いる。各材料の品質は、メーカーの試験に基づいた試験成績表でその品質を確認している。</p> <p>②-1 ・鋼繊維は、引張強度 2.0×10³N/mm² 以上の鋼繊維であり、JIS Z 2241「金属材料引張試験」に準拠した方法で確認する。繊維径は 0.2±0.03mm、長さは 15±1.5mm としている。 ・合成繊維は使用しない。</p> <p>③-1 ・UFC（ダクトル）はセメントおよび混和剤が多いため、塩化物イオン総量 0.3kg/m³以上となる。一方、硬化体が非常に緻密で外部からの酸素や水の供給がほとんどないため、塩化物イオンによる鋼材の腐食が抑制される。 ・上記について、塩化物イオン量 13kg/m³となるように塩分を混入して製造した UFC（ダクトル）に鋼材（JIS G 3108 準拠 みがき鋼棒）を埋め込み、JCI-SC2「塩分を含んだコンクリート中の補強用鋼棒の促進腐食試験方法－オートクレーブ法－」に準じた試験にて、鋼棒が腐食していないことを確認している。</p> <p>③-2 ・③-1 による事前の確認に基づき、フレッシュコンクリートによる塩化物イオン量の管理に代えている。なお、塩化物イオン総量管理はメーカーの試験成績表においても管理している。</p>	

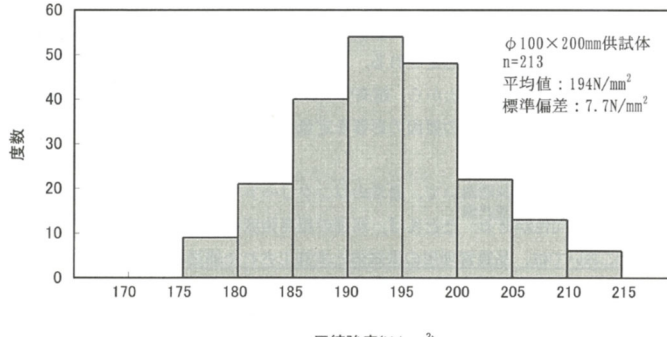
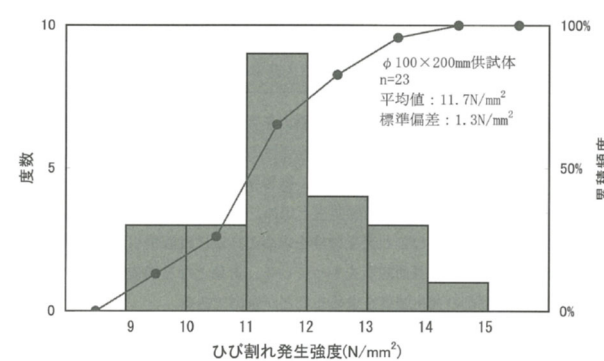
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1 使用材料に求める事項の確認	<p>(3) 繊維補強コンクリートの品質</p> <p>(道示 I-9.2.1 コンクリート) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.3 コンクリートの強度) コンクリートは原則として、表-9.2.2<省略>に示す最低設計基準強度以上のものを用いる。</p> <p>(道示 II-14.3.2 床版のコンクリートの設計基準強度) (1) 床版のコンクリートの設計基準強度は、所用の強度が確保できるようにするほか、床版の耐久性を考慮して定めなければならない。 (2) 床版のコンクリートの設計基準強度の決定にあたっては、試験練り又は実績等により、施工時に有害なひび割れが生じないことを確認する。 (3) (4)から(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。 (4) 床版のコンクリートの設計基準強度 σ_{ck} は、24N/mm^2 以上とする。ただし、床版にプレストレスを導入する場合は I 編 9.2.3 の規定による。 (5) <省略> (6) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版に使用する繊維補強コンクリートの設計基準強度を提示ください。また、この設計基準強度が道路橋示方書 II 編 14.3.2 (4), (5) に示される値以上であることを示してください。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐凍結融解性能について確認されていますか？ 要求される凍結融解性能が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリートの塩分浸透性について確認されていますか？ 要求される塩分浸透性が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> アルカリ骨材反応抑制対策を行っていますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、アルカリ骨材反応に対し安全であることをその結果から説明ください。 <p>⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> プレキャストコンクリート製品が適切に製作できる施工性を有していますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、施工性を有していることを説明ください。 <p>①UFC (ダクトル) の設計基準強度 (熱養生後) 圧縮強度 f_{ck} : 180N/mm^2, ひび割れ発生強度 f_{cr} : 8.0N/mm^2, 引張強度 f_{tk} : 8.8N/mm^2</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐凍結融解抵抗性については、土木研究所との共同研究「短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の耐久性向上技術に関する共同研究」で JIS A 1148 の A 法に準じた試験を行って 300 サイクル経過後の相対動弾性係数が 60% 以上と凍結融解抵抗性を有することを確認している。使用水は 3% NaCl 水としており、万一凍結防止剤を含む水が床版に供給された場合でも一定の凍結融解抵抗性を有することが期待される。 JIS A 1148 (A 法)「コンクリートの凍結融解試験法 (水中凍結融解試験)」により淡水を用いた試験の場合、凍結融解サイクルを JIS で規定された 300 回以上で、かつ設計耐用年数 100 年に対応する 500 回以上としても、相対動弾性係数の低下、質量の減少ならびに表面のスケールは確認されていない。  <p>相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係</p> <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 人工海水 (塩化物イオン濃度: 1.9%) に浸せきさせた後、電子線マイクロアナライザー (EPMA) にて塩化物イオン濃度を分析して算出している。 浸せき期間 30 ヶ月 (2.5 年) 時点における塩化物イオンの拡散係数は $0.0019\text{cm}^2/\text{年}$ であり、これを用いて UFC (ダクトル) での最小かぶり 20mm で鋼材腐食の照査を行うと、鋼材表面位置において腐食限界塩化物イオン濃度に達するのは、計算上 300 年以降となる。  <p>UFC (ダクトル) 表面からの塩化物イオン濃度分布</p>	

- ④
 ・UFC（ダクタル）に用いられる骨材は以下の品質を満たしており、JIS A 5308 付属書 1 のアルカリシリカ反応性による区分 A の骨材であることを確認して用いている。

UFC（ダクタル）に用いる骨材の品質

粒径 (mm)	絶対密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粘土塊量 (%)	微粒分量 (%)	有機不純物	塩化物量 (NaClとして) (%)	安定性 (%)
2.5以下	2.5以上	3.0以下	1.0以下	2.0以下	標準色よりも淡い	0.02以下	10以下

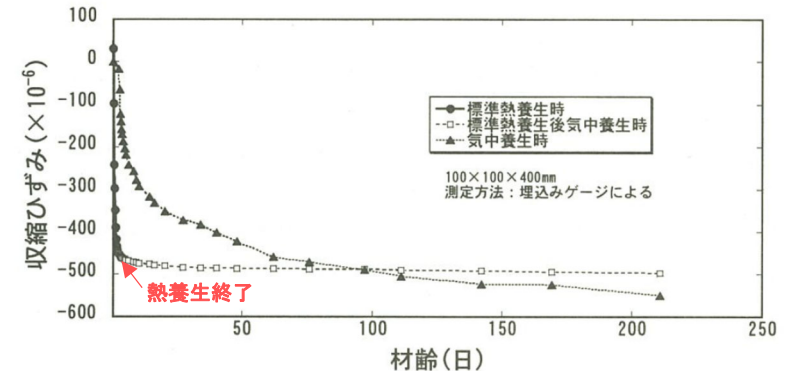
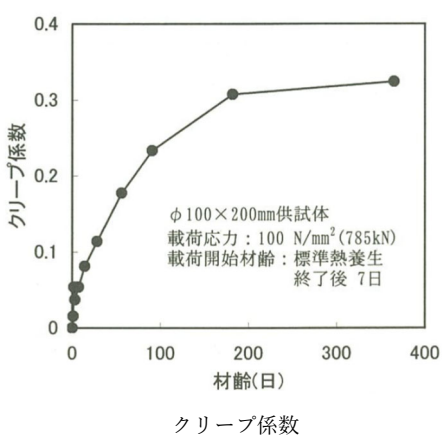
- ⑤
 ・フロー試験（JIS R 5201，落下なし）におけるフロー値を 230～270mm 程度とすることで、自己充填による部材の成形が可能であることや繊維の沈殿が生じないことが確認されている。
 ・打込み時には内部振動機を用いず、連続的に打ち込むことを原則としている。打込み方法により鋼繊維の配向が床版の耐力に影響する可能性があるため、事前の検討により定めた方法で打込みを行う。

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
4	<p>1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認</p> <p>(1) 強度の特性値</p>	<p>(道示 II-4.1.1 一般)</p> <p>(1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がその強度を下回る確率がある一定の値以下となることが保証された値としなければならない。</p> <p>(2) 4.1.2 及び 4.1.3 の規定による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) コンクリートを使用する場合には、この編及び III 編に規定する材料の強度の特性値を用いることにより、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 III-4.1.1 一般)</p> <p>(1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がそれを下回る確率がある一定の値以下となることが保証された強度の値としなければならない。</p> <p>(2) 4.1.2 の規定による場合には、鋼材の強度は(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) コンクリートの圧縮強度は 4.1.3 の規定による。</p> <p>(道示 III-4.1.3 コンクリートの圧縮強度の特性値)</p> <p>(1) コンクリートの圧縮強度の特性値をもって設計基準強度とする。</p> <p>(2) コンクリートの圧縮強度の特性値は、材齢 28 日における試験強度に基づき、試験値がその値を下回る確率が 5% となるように定められた値とする。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート用棒鋼、PC 鋼線、PC 鋼より線、PC 鋼棒の強度の特性値については、道路橋示方書 III 編表-4.1.1～表-4.1.4 を適用されていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 繊維補強コンクリートの圧縮強度は道路橋示方書 III 編 4.1.3 の(1)および(2)に従って定められていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> プレキャストコンクリートにおいては蒸気養生などを実施し早期に強度発現が期待できるものもあることから、材齢 1 4 日などの強度試験結果に基づいて特性値を定めることも可能である。したがって、上記の場合、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 繊維補強コンクリートの引張応力の制限値を定める根拠となる引張強度については、ひび割れ発生強度により設定されていますか？繊維補強コンクリートのひび割れ発生強度を求めた試験法試験およびその設定方法について提示ください。 <p>※繊維補強コンクリート床版に用いる材料の強度の特性値は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、材料特性の確からしさを確認するための試験により検証され、その結果に基づいて設定されていることを確認する。</p>	<p>①-1</p> <p>PC 鋼より線、PC 鋼棒の強度の特性値は、道路橋示方書 III 編表-4.1.2、表-4.1.3 を適用している。</p> <p>②-1, ②-2</p> <p>UFC (ダクトル) の圧縮強度は、道路橋示方書 III 編 4.1.3 の(1)および(2)に準じるが、熱養生を実施する場合には熱養生後の試験強度から特性値を定めている。以下、圧縮強度の特性値の設定根拠を示す。正規分布を仮定し危険率 5% となる値 (181.4N/mm²) 以下として、安全側に特性値 180N/mm² と設定した。</p>  <p>UFC (ダクトル) の圧縮強度試験結果の度数分布</p> <p>③</p> <p>UFC (ダクトル) のひび割れ発生強度は、JIS A 1113 により試験強度を取得している。以下、ひび割れ発生強度の特性値の設定根拠を示す。正規分布を仮定し危険率 5% となる値 (9.56N/mm²) 以下として、安全側にひび割れ発生強度の特性値は 8.0N/mm² と設定した。</p>  <p>UFC (ダクトル) のひび割れ発生試験結果の度数分布</p>

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

5	<p>(2) 設計に用いる定数</p>	<p>(道示 I-9.3 設計計算に用いる定数) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性や品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。</p> <p>(道示 III-4.2.1 一般) (1) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性及び品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。 (2) 4.2.2 及び 4.2.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 I-8.1 死荷重) (1) 死荷重は、材料の単位体積重量を適切に評価して定めなければならない。 (2) <省略> (3) 材料の単位体積重量を(2)によらず定める場合には、(4)から(6)に従わなければならない。 (4) 材料の単位体積重量のばらつきを適切に評価する。 (5) JIS 等の公的規格に従って材料の単位体積重量や部材寸法等の変動の上限値や下限値が制御された材料を用いる場合には、規格を満足するもののみを母集団とする場合のばらつきで評価する。 (6) 材料の単位体積重量の特性値は、その母集団を正規分布としたときの非超過確率 50%に相当する値とすることを標準とする。</p>	<p>①-1 ・繊維補強コンクリート床版に用いる使用鋼材を提示ください。その鋼材が、道路橋示方書 I 編 9. 1 に示す JIS 規格に適合する鋼材である場合、道路橋示方書 III 編表-4.2.1 および表-4.2.2 に示される値を適用しているか提示してください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性および品質の確かさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・設計基準強度が 80N/mm² 以下、かつ普通骨材のみを用いる場合は、コンクリートのヤング係数・クリープ係数・乾燥収縮度・せん断弾性係数などの定数は、道路橋示方書 III 編 4.2.2 の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式 (4.2.1) の値を採用していますか？</p> <p>②-2 ・設計基準強度が 80N/mm² を超える繊維補強コンクリートの場合や軽量骨材を用いる繊維補強コンクリートでは、道路橋示方書が前提とする一般的なコンクリートとは特性が異なることから、道路橋示方書の条文の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式 (4.2.1) は適用できないものと思われます。その場合には、特性の確かさを確認するための試験とその結果及び設定根拠を提示ください。</p> <p>※繊維補強コンクリート床版の設計に用いる定数は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、繊維補強コンクリート床版の品質を考慮したうえで適切に設定されていることを確認する。</p> <p>・熱養生後における UFC (ダクタル) のクリープ係数は JIS A1157 「コンクリートの圧縮クリープ試験方法」による試験の結果より 0.4 と設定している。以下に試験結果を示す。</p>	<p>①-1 ・PC 鋼より線 (JIS G 3536) および PC 鋼棒 (JIS G 3109) を使用し、道路橋示方書 III 編表-4.2.1 および表-4.2.2 に示される値を適用している。</p> <p>②-2 ・UFC (ダクタル) のヤング係数は、JIS A 1149 による試験データより 50kN/mm² と設定している。以下、試験データの一例を示す。</p> <p style="text-align: center;">ヤング係数試験結果の一例</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>圧縮強度 N/mm²</th> <th>ヤング係数 kN/mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>219</td><td>52.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>222</td><td>51.6</td></tr> <tr><td>3</td><td>228</td><td>51.9</td></tr> <tr><td>4</td><td>220</td><td>52.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>227</td><td>52.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>229</td><td>51.6</td></tr> <tr><td>7</td><td>232</td><td>51.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>231</td><td>51.6</td></tr> <tr><td>9</td><td>202</td><td>49.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>202</td><td>49.7</td></tr> <tr><td>11</td><td>212</td><td>48.7</td></tr> <tr><td>12</td><td>202</td><td>50.1</td></tr> <tr><td>13</td><td>202</td><td>51.3</td></tr> <tr><td>14</td><td>207</td><td>49.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>208</td><td>51.7</td></tr> <tr><td>16</td><td>214</td><td>50.9</td></tr> <tr><td>17</td><td>231</td><td>51.4</td></tr> <tr><td>18</td><td>223</td><td>52.4</td></tr> <tr><td>19</td><td>241</td><td>51.3</td></tr> <tr><td>20</td><td>247</td><td>52.1</td></tr> <tr><td>21</td><td>243</td><td>50.2</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">ヤング係数の平均値：51.1kN/mm²、変動係数：0.02</p> <p>・UFC (ダクタル) の収縮は自己収縮が主であり、熱養生後の乾燥収縮は小さい。以下、打込み時からのひずみおよび熱養生後における乾燥収縮の試験結果を示す。また、参考までに気中養生時の試験結果も併せて示した。</p>	No.	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²	1	219	52.0	2	222	51.6	3	228	51.9	4	220	52.3	5	227	52.4	6	229	51.6	7	232	51.0	8	231	51.6	9	202	49.3	10	202	49.7	11	212	48.7	12	202	50.1	13	202	51.3	14	207	49.5	15	208	51.7	16	214	50.9	17	231	51.4	18	223	52.4	19	241	51.3	20	247	52.1	21	243	50.2	
No.	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²																																																																					
1	219	52.0																																																																					
2	222	51.6																																																																					
3	228	51.9																																																																					
4	220	52.3																																																																					
5	227	52.4																																																																					
6	229	51.6																																																																					
7	232	51.0																																																																					
8	231	51.6																																																																					
9	202	49.3																																																																					
10	202	49.7																																																																					
11	212	48.7																																																																					
12	202	50.1																																																																					
13	202	51.3																																																																					
14	207	49.5																																																																					
15	208	51.7																																																																					
16	214	50.9																																																																					
17	231	51.4																																																																					
18	223	52.4																																																																					
19	241	51.3																																																																					
20	247	52.1																																																																					
21	243	50.2																																																																					



UFC (ダクタル) の打込み時からの収縮ひずみ

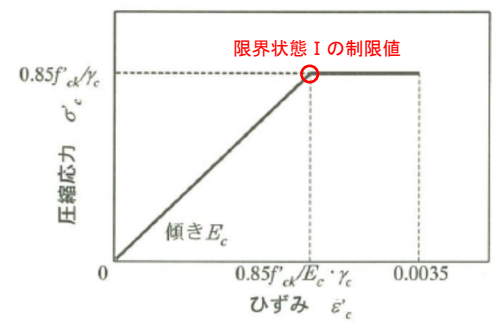
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

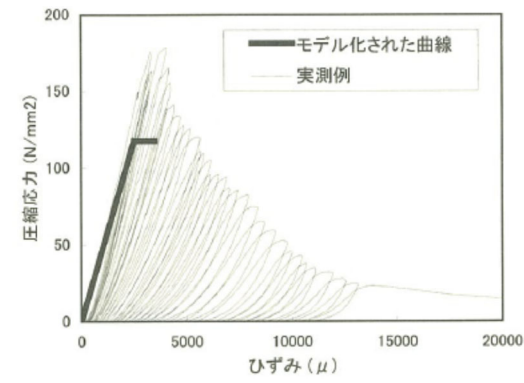
(2) 設計に用いる定数

(続き)

- ③ 設計に用いる繊維補強コンクリートの応力ひずみ曲線を提示ください。また、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。
- ④ 死荷重を計算する際の繊維補強コンクリートもしくは軽量骨材コンクリートの単位体積重量について、道路橋示方書I編 8.1(4)~(6)に従って定めているものと思われませんが、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。
 なお、設計に用いる死荷重については、鉄筋やPC鋼材を見込んだ重量と繊維補強コンクリートのみの重量に分けて提示ください。
 また、鉄筋やPC鋼材の重量を見込む場合の方法も提示ください。
 ※道路橋示方書では、橋に用いられる材料の単位体積重量については、一般には単位体積重量の平均値を特性値として用いてよいとされています。
- ③ 設計に用いる UFC (ダクタル) の圧縮応力-ひずみ曲線および試験結果の一例を示す。

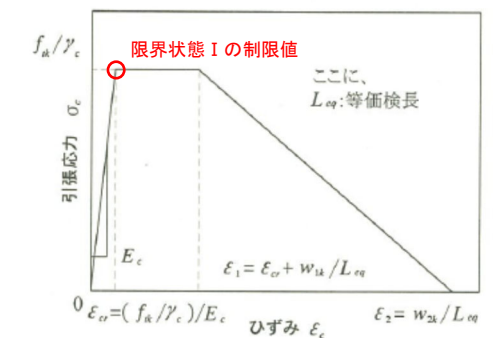


モデル化された圧縮応力-ひずみ曲線



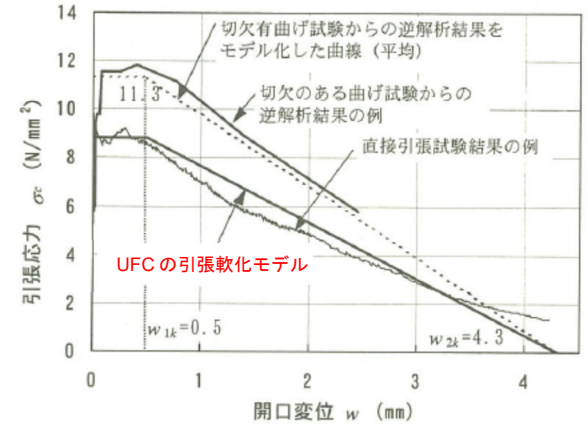
直径 50mm の円柱供試体における圧縮応力とひずみ曲線

- ③ 設計に用いる UFC (ダクタル) の引張応力-ひずみ曲線および試験結果の一例を示す。ε₁およびε₂は、切欠きはりの曲げ試験結果を逆解析して求められる引張軟化曲線より推定した w_{1k}, w_{2k} を等価検長 L_{eq} で除すことにより算出する。



モデル化された引張応力-ひずみ曲線

w_{1k}: ひび割れ発生後、一定応力を保持できる開口変位
 w_{2k}: ひび割れ発生後、応力が0となる開口変位



(等価検長 L_{eq} の算出方法)

$$L_{eq}/h = 0.8 \cdot \left\{ 1 - 1 / (1.05 + 6h/l_{ch})^4 \right\}$$

$$f_b = \left\{ 1 + 1 / (0.5 + 3.0(h/l_{ch})^{0.7}) \right\} \cdot f_t$$

ここに、 l_{ch} : 特性長さ (= $G_f E_c / f_t^2 = 1.06 \times 10^4 \text{ mm}$)
 ただし、 G_f : 破壊エネルギー (= 27.12 N/mm), E_c : ヤング係数 (= $5.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$),
 f_t : 引張強度の平均値 (= 11.3 N/mm^2)

- UFC (ダクタル) の単位体積重量
 試験結果に基づき 24.7 kN/m^3 とする (材料のみ、鋼繊維含む)。その他補強鋼材の重量は別途考慮する。

UFC (ダクタル) の単位体積重量		
	記号	単位体積重量 (kN/m ³)
サンプル数	n	130
最大	γ_{max}	25.1
最小	γ_{min}	23.4
平均	γ_{ave}	24.1
標準偏差	σ	0.36
特性値*	$\gamma_{ave} + 1.64\sigma$	24.7

*単位体積重量が小さい方が不利な場合は特性値 ($\gamma_{ave} - 1.64\sigma$) を用いる。

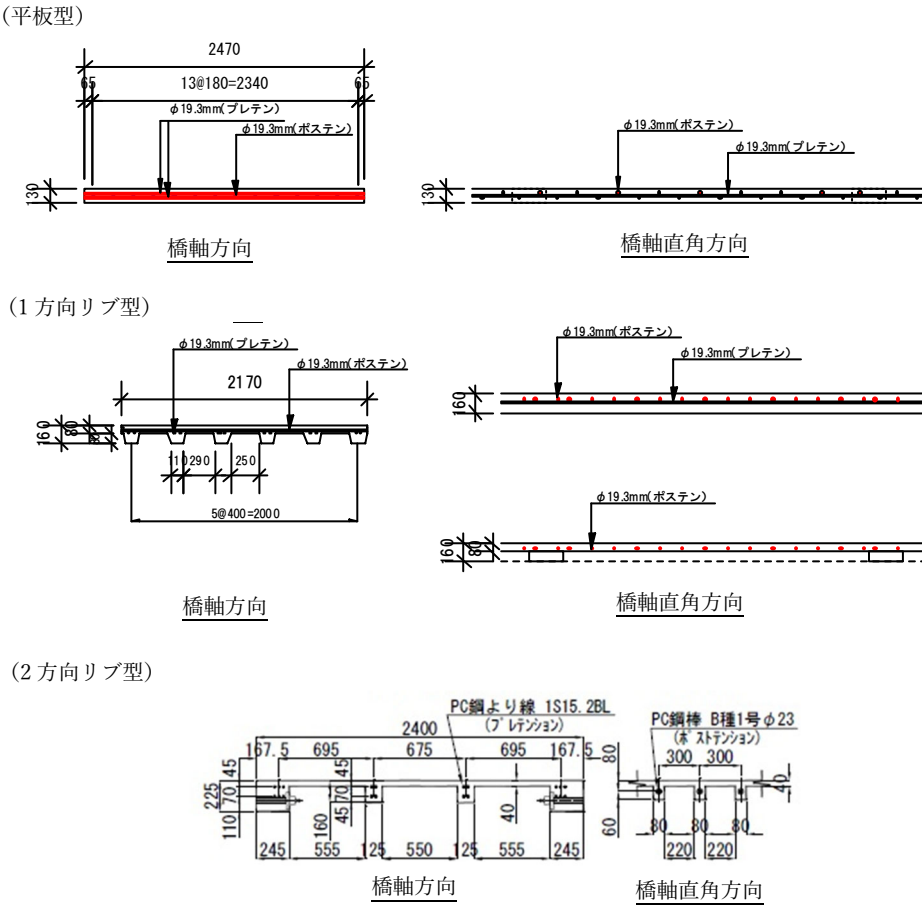
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認		
6	(1) 床版の耐荷機構の説明	<p>(道示 III-5.1.1 部材設計の基本)</p> <p>(1) コンクリート部材の設計においては、1)から10)を満足しなければならない。</p> <p>1) <省略> 2) <省略> 3) <省略> 4) コンクリート部材の設計にあたっては、部材を構成する材料、部材断面への作用力及び作用力に対する部材の耐荷機構を明確にし、適切に限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び施工方法を定める。</p> <p>5) 4)を満足するにあたっては、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮を適切に考慮する。</p> <p>6) コンクリート部材は、耐荷機構の前提として考慮されたコンクリート、鉄筋及びPC鋼材のみにより作用力に対して抵抗させる。ただし、コンクリートに引張力は負担させないことを原則とする。</p> <p>7) コンクリート部材は、作用力の伝達が一方の棒部材又は二方向の版部材として扱い、応答値を算出することを原則とする。</p> <p>8) <省略> 9) <省略> 10) <省略> (2) <省略> (3) <省略> (4) <省略></p> <p>(道示 III-5.1.2 コンクリート部材の種別)</p> <p>(1) コンクリート部材を、プレストレスを導入する構造とする場合には、プレストレスの存在を前提とした耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(2) プレストレスを導入する構造を、プレストレストコンクリート構造として設計する場合には、プレストレスの存在を前提として、コンクリートが全断面で抵抗すると見なせる耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(3) コンクリート部材を、鉄筋コンクリート構造として設計する場合には、部材断面に発生する引張応力に対しコンクリートの引張抵抗を見込まず、鉄筋により抵抗する耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(4) プレストレスを導入する構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するようプレストレスを導入し、5.2及び5.3の規定に従い鉄筋及びPC鋼材を配置しなければならない。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するよう、5.2の規定に従い鉄筋を配置しなければならない。</p> <p>(6) <省略> (7) <省略></p>	<p>①</p> <p>1) 繊維補強コンクリート床版を構成する材料や部材断面に対し設計上想定している作用力を提示ください。</p> <p>2) 上記作用力に対し、床版を構成する材料や部材断面の設計上想定している耐荷機構を提示ください。</p> <p>3) 上記耐荷機構において、床版を構成する材料や部材断面の限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び、前提となる施工方法について提示ください。</p> <p>②</p> <p>・繊維補強コンクリート床版の耐荷機構について、道路橋示方書のプレストレストコンクリート構造や鉄筋コンクリート構造と比較した場合の、繊維がその耐荷機構に果たす役割について説明ください。</p> <p>①</p> <p>1) 床版には超高強度繊維補強コンクリート UFC (ダクトル) を使用する。設計上想定する作用力は道示 I-8 章に準じ、死荷重、活荷重、衝撃、プレストレス、衝突荷重等を考慮する。</p> <p>2) 床版は、直角方向にプレテンション方式で、橋軸方向にポストテンション方式で、プレストレスを導入する 2 方向 PC 構造である。曲げモーメントに対しては全断面を有効とし、圧縮応力度および引張応力度が制限値以内としている。</p> <p>3) 曲げモーメントによる圧縮応力度の制限値は設計基準強度 180N/mm² の 0.6 倍の 108N/mm² としている。引張応力度の制限値はひび割れ発生強度 8N/mm² としている。曲げモーメントは FEM 解析により算出する。せん断力に対しては FEM 解析による引張応力度が制限値であるひび割れ発生強度 8N/mm² 以内とするか、設計施工実績のある床版支間および床版厚さの組合せでは照査を省略する。床版は工場で作製し、試験で性能が確認された床版試験体と同一の方法で UFC (ダクトル) を打ち込むことを前提としている。</p> <p>②</p> <p>・床版の一般部は、使用状態ではひび割れ発生強度以下で設計されており、ひび割れを許容していない。UFC に混入した鋼繊維は、万一ひび割れが発生した場合に床版の構造性能を担保する。鋼繊維の補強効果による引張強度は 8.8N/mm² であり、UFC (ダクトル) にひび割れが発生する応力は 8N/mm² 以上である。</p> <p>・終局時の設計では、ダクトルの引張特性として引張軟化曲線を考慮した引張抵抗を考慮する (1.2(2)参照)。すなわち、引張側はダクトルに混合される鋼繊維と PC 鋼材により作用力に対して抵抗する。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
6	(2) 床版の設計曲げモーメントの算定	<p>(道示 II-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版は 11.2 から 11.7 の規定、鋼床版は 11.8 から 11.11 の規定による場合には、(1) から (3) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.2.1 一般)</p> <p>(1) この節は、2 辺又は 1 辺で支持される床版で、その床版支間がなす短辺と長辺の辺長比が 1:2 以上の 1 方向版としてモデル化できる鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の設計に適用する。</p> <p>(2) この節の規定は、20 章の規定を満足することを前提として設計に適用することができる。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.2.2 床版の支間)</p> <p>(1) 単純版並びに連続版の T 荷重及び死荷重による曲げモーメントを算出する場合の支間は、床版から支持桁への応力伝達と輪荷重の載荷位置を考慮して、かつ、桁のフランジ形状、床版と桁の連結構造並びに床版の材料及び構造に応じて、適切に設定する。</p> <p>(2) (3) 及び (4) による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 II-11.2.3 床版の設計曲げモーメント)</p> <p>(1) B 活荷重で設計する橋においては、I 編 8.2 に規定する T 荷重 (衝撃の影響を含む) による床版の単位幅 (1m) あたりの T 荷重による曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>に示す式で算出する。ただし、床版の支間が車両進行方向に直角の場合の単純版、連続版及び片持版の主鉄筋方向の曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>により算出した曲げモーメントに、表-11.2.2<省略>又は表-11.2.3<省略>の割増係数を乗じた値とする。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) 等分布荷重による床版の単位幅 (1m) あたりの曲げモーメントは、表-11.2.4 に示す式で算出してよい。ただし、プレストレストコンクリート床版が鋼桁に支持される場合には、等分布死荷重における床版の単位幅 (1m) あたりの曲げモーメントは、支持桁の拘束条件を考慮して算出しなければならない。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計曲げモーメントの算定は道路橋示方書 II-11.2.2(3)(4) に規定する支間長を用い、かつ II-11.2.3(1)~(3) によっていますか? よっている場合は、次の 2 つについての情報を提示ください。 <p>1) 床版が等方性版の性状を示すことを確認した結果に関する情報 ※「等方性版」であることの確認方法については、例えば、国総研資料第 609 号「道路橋の技術評価手法に関する研究-新技術評価のガイドライン(案) “床版の曲げモーメント式的前提条件との整合性が不明な場合”(P20)」を参照してください。</p> <p>2) 当該技術を床版として使用可能とする床版支持条件 (支間と辺長の比が 1:2 以上の一方向版としてモデル化できる支持条件であることの確認)</p> <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版厚が薄く道路橋示方書が規定する最小床版厚 (160mm) の床版に対し明らかに剛性が小さい床版の場合や、上記①-1 の 1), 2) の条件を満足しない床版の場合は、設計曲げモーメントを算定する方法を提示ください。 上記算定方法が妥当であることを試験等との比較により確認した結果を提示ください。 <p>①-1, ①-2 (平板型)</p> <ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書 II-11.2.2(3)(4) に規定する支間長を用い、かつ II-11.2.3(1)~(3) による。FEM 解析の結果から、表-11.2.1 に示される床版支間方向と直角方向の曲げモーメントの比率と同程度の比率となることが確認されている。曲げ剛性が最小床版厚 (160mm) の床版に対して小さい場合は、FEM 解析により曲げ応力度を照査する。 <p>(1 方向リブ型, 2 方向リブ型)</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計曲げモーメントの算定は FEM 解析により算出する。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
7	<p>(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法</p>	<p>(道示Ⅱ-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版は11.2から11.7の規定、鋼床版は11.8から11.11の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.7 鉄筋の種類及び配置)</p> <p>(1) 鉄筋には異形棒鋼を用いるものとし、その直径は13、16、19mmを原則とする。ただし、プレストレストコンクリート床版及び鋼コンクリート合成床版においては直径22、25mmを用いてよい。</p> <p>(2) 鉄筋のかぶりは30mm以上とする。</p> <p>(3) 鉄筋の中心間隔は100mm以上でかつ300mm以下とする。ただし、引張主鉄筋の中心間隔は床版の全厚を超えてはならない。</p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版及びPC合成床版において断面内の圧縮側には、引張側の鉄筋量の少なくとも1/2の鉄筋を配置するのを原則とする。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート床版において連続版で主鉄筋を曲げる場合には、図-11.2.3<省略>に示すように支点からL/6の断面で曲げなければならない。ただし、床版の支間の中央部の引張鉄筋量の80%以上及び支点上の引張鉄筋量の50%以上は、それぞれ曲げずに連続させて配置しなければならない。ここに、Lは支持桁の中心間隔とする。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) プレストレストコンクリート床版のプレストレス導入方向には、直径13mm以上の異形棒鋼を配置し、その中心間隔は、300mm又は床版の全厚の小さい方の値以下でなければならない。</p> <p>(道示Ⅱ-11.2.8 PC鋼材の配置)</p> <p>(1) プレストレストコンクリート床版のPC鋼材は、床版に一樣にプレストレスが導入されるように配置しなければならない。</p> <p>(2) 斜橋の支承部付近における床版の支間方向のPC鋼材は、支承線方向に配置する。</p>	<p><床版の設計上の構成要素として鉄筋を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>①-1【過大な幅のひび割れ発生を防止するための使用鉄筋径に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋には道路橋示方書に規定する異形鉄筋を使用し、かつプレストレスを導入しない床版の場合は、鉄筋径が13、16、19mm、プレストレスを導入する床版の場合は、13、16、19、22、25mmのいずれかを使用することとしていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1によらない場合、使用する鉄筋を用いて、発生応力とひび割れ幅との関係、および発生応力と最小ひび割れ間隔との関係が把握できており、その性状が、少なくとも道路橋示方書が使用を許容する最大の鉄筋による場合と同等であることを確認した結果を提示ください。 <p>②-1【コンクリートの施工性および押抜きせん断耐力確保のための鉄筋の配置間隔の設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の中心間隔は道路橋示方書の規定に従い100mm～300mmの間で設定されていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1によらない場合、鉄筋間隔が狭い場合はコンクリートを打ち込む際の施工性について、また鉄筋間隔が広い場合には、押抜きせん断耐力が所定の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。(※押抜きせん断耐力の試験に関する情報については、別項1. 4 (2)によることも可) <p>③-1【連続版の正負交番部近傍に生じる曲げモーメントに確実に抵抗するための折り曲げ鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 連続版で主鉄筋を曲げる場合、鉄筋の折り曲げ詳細は道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(5)によっていますか？ <p>③-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記③-1によらない場合、連続床版として想定される全ての輪荷重載荷位置について、折り曲げ鉄筋位置近傍において他の位置と比較して過度なひび割れが生じないこと、また折り曲げたことにより床版として耐荷力の低下が生じないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>④-1【不測の逆向き曲げモーメントに確実に抵抗するための鉄筋配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計上想定される床版の圧縮領域においても、道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(4)に規定するとおり、引張領域の鉄筋量の1/2の鉄筋量を配置していますか？ <p>④-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記④-1によらない場合、設計上想定される曲げモーメントに対し逆向きの曲げモーメントが作用した場合を想定し、その曲げモーメントに対しても、正規の曲げモーメントに対する抵抗力の1/2以上は確保できていることを、設計の考え方や設計方法により提示ください。 <p>⑤-1【鉄筋の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で30mm、また塩害環境下では、Ⅲ-6.2.3に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑤-1によらない場合、鉄筋の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、鉄筋の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p>・本技術では、鉄筋は原則使用しない(1.3 (1) 参照)。</p>	

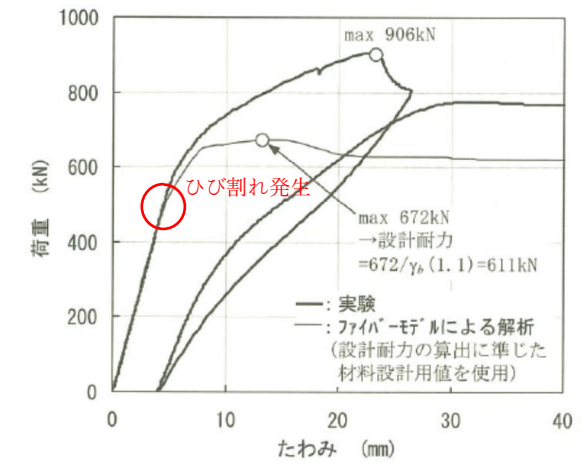
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
7	(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法	(続き)	<p><床版の設計上の構成要素として PC 鋼材を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>⑤-1 【PC 鋼材の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で 30mm、また塩害環境下では、III-6.2.3 に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑤-1 によらない場合、PC 鋼材の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、PC 鋼材の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑥-1 【一方向にのみプレストレスを導入する場合のプレストレスしない方向にひび割れを発生させないための用心鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 用心鉄筋として、道路橋示方書の規定に従い、鉄筋径 13mm 以上の異形鉄筋を、中心間隔 300mm または床版全厚以下の間隔で配置することとしていますか？ <p>⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑥-1 によらない場合、プレストレスを導入しない方向についても、想定する使用条件において、活荷重や乾燥収縮等の影響によるひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑦ 【プレストレスを均等に導入するための PC 鋼材の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材の配置の仕方について、PC 鋼材により導入されるプレストレスの応力分布が、床版断面の曲げモーメントに対する設計において設計上想定している圧縮応力の分布となっていることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 	<ul style="list-style-type: none"> 1.3 (1) に示すとおり、UFC (ダクトアル) の耐久性が優れていることから、PC 鋼材およびシースの最小かぶりは塩害環境の度合いに関わらず 30mm とする。 ※人工海水に浸せきさせた後、深さ 20mm 位置において塩化物イオン濃度を分析した結果、腐食限界塩化物イオン濃度に達するのは、計算上 300 年以降となることが確認されている (1.1(3)参照)。 PC 鋼材の破断までの付着割裂破壊については、今後の試験で確認予定。 ダクトアル床版は、2 方向にプレストレスを導入することを基本とする。 ダクトアル床版は床版厚が薄いため、出来形精度を確保するためにプレストレスは軸力配置で導入を行う。床版断面の曲げモーメントに対してプレストレスにより所要の圧縮応力分布となっていることは、輪荷重走行試験における初期載荷時 (設計の輪荷重) において、ひび割れの発生がないことにより確認している。

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
8	(4) 床版と支持桁の結合部	<p>(道示 II-11.2.12 床版のハンチ)</p> <p>(1) 床版と支持桁との結合部は、応力が円滑に伝わる構造としなければならない。</p> <p>(2) 床版には、支持桁上にハンチを設けるのを原則とする。</p> <p>(3) (4)から(5)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版と支持桁との接合部の構造詳細については、道路橋示方書 II-11.2.12(4)(5)に従ったハンチを設けることとしていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1によらない場合、ハンチの有無やハンチの形状によらず、床版と支持桁との接合部に局所的なひび割れや過度な応力集中が発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>※試験については、床版と支持桁との接合部の構造を代表できる試験体を用い、輪荷重による押抜きせん断力の支持桁近傍での偏りや、支持桁の剛性が床版の支持桁近傍のたわみ角を拘束することによる影響等に伴う応力集中に着目した試験や構造解析が行われている必要が求められます。</p> <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 基本的にはハンチを設置しない。擦り付けや寸法調整が必要な場合にはハンチで高さ調整を行う場合がある。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ハンチを設置しない場合、床版と支持桁の接合部において局所的な応力が生じないことを FEM 解析にて確認する。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 4	<p>耐荷性能の確認</p> <p>(1) プレキャスト床版本体の曲げモーメントに対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)</p>	<p>(道示 II-11.3.1 曲げモーメントを受ける床版)</p> <p>(1) 曲げモーメントを受ける床版が, (2)から(4)による場合には, 限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(2) 床版に生じる曲げモーメントが, (3)又は(4)による制限値を超えない。ただし, T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には, 11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版, 鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.5.1(3) の規定による。</p> <p>(4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.6.1(3) の規定による。</p> <p>(道示 II-11.4.1 曲げモーメントを受ける床版)</p> <p>(1) 曲げモーメントを受ける床版が, (2)から(4)による場合には, 限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(2) 床版に生じる曲げモーメントが, (3)又は(4)による制限値を超えない。ただし, T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には, 11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版, 鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.7.1(3) 及び(4)の規定による。</p> <p>(4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.8.1(3)及び(4)の規定による。</p>	<p>プレキャスト床版本体の設計に用いる静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。</p> <p>なお, 床版に生じる曲げモーメントとして正曲げと負曲げにより耐荷機構が異なる場合には, 各々について以下の事項を提示ください。</p> <p>①</p> <p>1)床版本体の設計において有効断面としている構成要素 (FRC, 鉄筋, PC 鋼材等) を図示するとともに, 引張応力に FRC の引張抵抗を有効としているか否かについて明示。</p> <p>2)床版に生じる曲げモーメントに対する設計計算に用いることのできる, 構造安全性が失われる限界の状態までの荷重と変位の関係 (P-δ あるいは M-φ 曲線等) もしくは床版を構成する要素 (FRC, 鉄筋, PC 鋼材等) の σ-ϵ 曲線の定義式。</p> <p>①</p> <p>・床版本体の設計では全断面有効とする。また, 作用する引張応力に対し UFC (ダクトル) の引張抵抗を有効とする。</p>  <p>・限界状態 1 の照査を行う際の UFC (ダクトル) の制限値は以下のとおりである。</p> <p>曲げ圧縮応力の制限値: 108N/mm^2 ($0.6 \times$ 圧縮強度の特性値)</p> <p>曲げ引張応力の制限値: 8N/mm^2 (ひび割れ発生強度の特性値)</p> <p>・構造安全性が失われる限界の状態までのダクトルの σ-ϵ 曲線の定義式には, 1.2(2)の応力-ひずみ曲線を使用する。</p> <p>圧縮応力の最大値: 0.85×180 (圧縮強度特性値) / 1.3 (材料係数) = 118N/mm^2</p> <p>引張応力の最大値: 8.8 (引張強度特性値) / 1.3 (材料係数) = 6.8N/mm^2</p>	

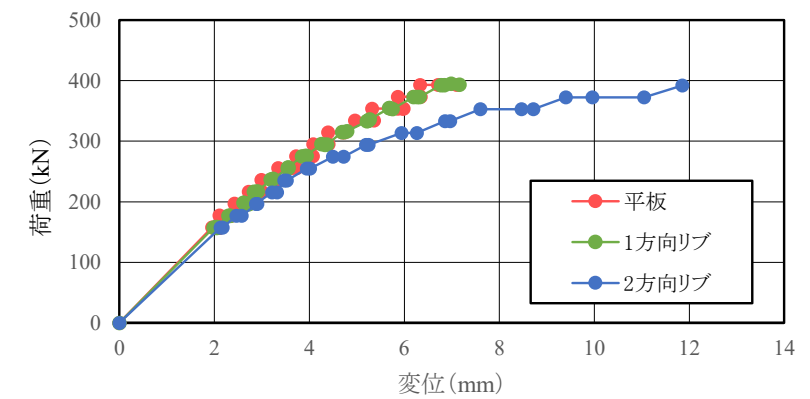
- ②
- ・上記①②)の曲線の妥当性が確認できる試験結果、およびその試験結果に基づく、荷重変位曲線上の主要点（構造安全性が失われる限界点、ひび割れ発生点等）の提示。
- ※試験による検証に際しては、繊維補強コンクリートの収縮による内部応力の発生が無視し得ない場合が想定されるため、その場合には、供試体作製にあたり、その影響が評価できる供試体形状や作製方法となっていることが判る情報についても提示ください。
- ③
- ・上記①②)の曲線上で限界状態 1 の特性値となる可逆性を有する点の提示。
- ④
- ・試験結果等に基づく破壊形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）の説明、および当該破壊点に対し上記 4)で定義した限界状態 1 の特性値の余裕量の提示。

- ②③④
- ・曲げを受けるはり部材の荷重-変位関係の実験値と計算値を示す。解析結果の最大耐力が実験値に比べてかなり小さくなっているのは材料係数、部材係数を考慮したためである。

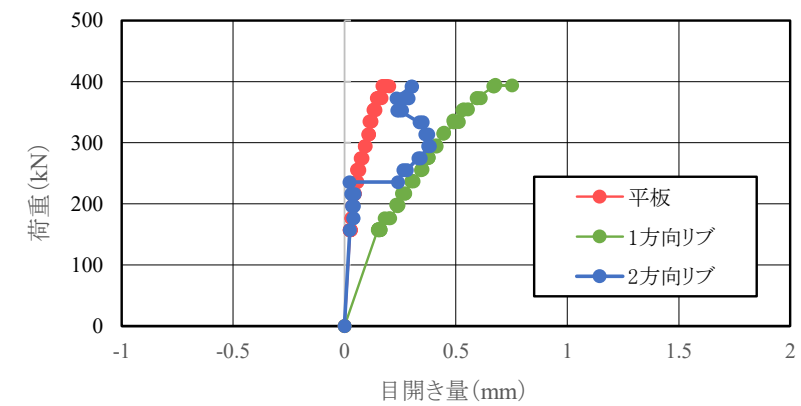


曲げを受けるはり部材の荷重-変位関係

- ・輪荷重走行試験における荷重-変位関係、荷重-目開き量関係を以下に示す。載荷荷重 200kN 程度までいずれもほぼ線形挙動を示していることが確認されている。
- ・平板型では床版中央の橋軸方向に、1方向リブ型および2方向リブ型ではリブ部にひび割れが発生し始め、ひび割れ範囲の拡大とともに線形挙動から外れる結果となった。



輪荷重走行試験における荷重-変位関係



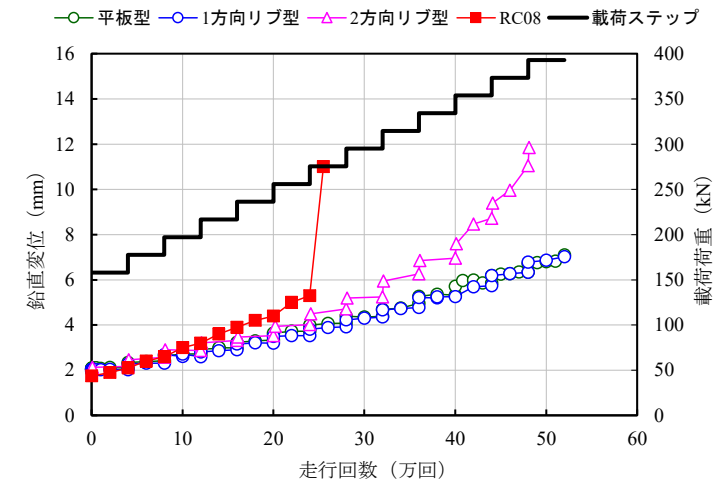
輪荷重走行試験における荷重-目開き量関係

			<p>⑤</p> <p>1) 圧縮応力を分担する繊維補強コンクリートの応力-ひずみ関係のばらつき、引張応力を分担する鋼材等の応力-ひずみ関係のばらつきの状況を既往の試験結果等より提示ください。</p> <p>2) 上記1)に提示のばらつきが、従来の鉄筋またはPC鋼材と同程度以下であること、および部材の耐荷力評価式のモデル化時の誤差が従来の鉄筋コンクリート構造と同程度以下であることが判るデータを提示ください。</p> <p>※従来の材料や耐荷力評価式のモデル誤差の評価の方法については、「コンクリート道路橋の性能規定及び部分係数設計法に関する調査研究」(土木研究所資料第4401号)を参考にしてください。</p> <p>⑥</p> <p>・上記①～⑤が確認できる時、プレストレスを導入しない床版の場合は、「部材に生じる曲げモーメントが軸方向を考慮した道路橋示方書Ⅲの式(5.5.1)に定める制限値を超えない、かつ、式(5.8.1)に定める制限値を超えない」、また、プレストレスを導入する床版の場合は、「応力度が道路橋示方書Ⅲの表-5.6.1及び表-5.6.2の制限値を満足している、かつ、部材に生じる曲げモーメントが、軸方向を考慮した道路橋示方書Ⅲの式(5.8.1)に定める制限値を超えない」という設計をしていますか？</p> <p>⑤</p> <p>・UFC(ダクタル)のヤング係数は、最近実施した試験結果によると(試験結果の一例)、平均値は51.1kN/mm²、変動係数は0.02と確認されている。</p> <p>⑥</p> <p>・高強度で、かつ鋼繊維が混入されていることから、表-5.6.1および表-5.6.2に示される制限値は使用していない。</p> <p>・式(5.8.1)に定める制限値を超えないという設計はしていないが、輪荷重走行試験において平成8年道路橋示方書に準拠して設計された床版に比べて高耐力であることを確認している。</p>	
--	--	--	---	--

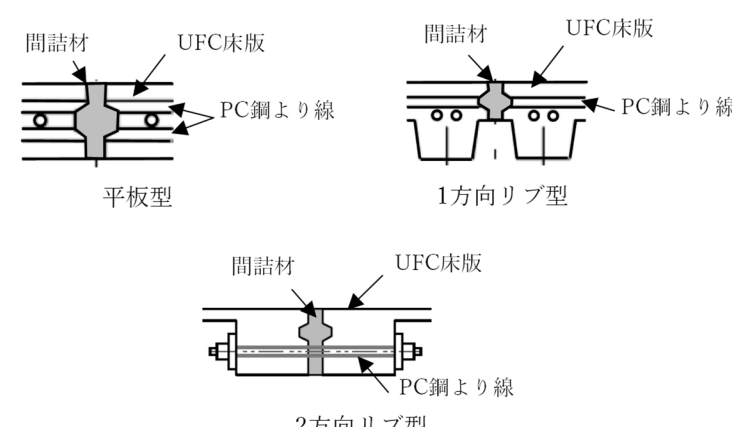
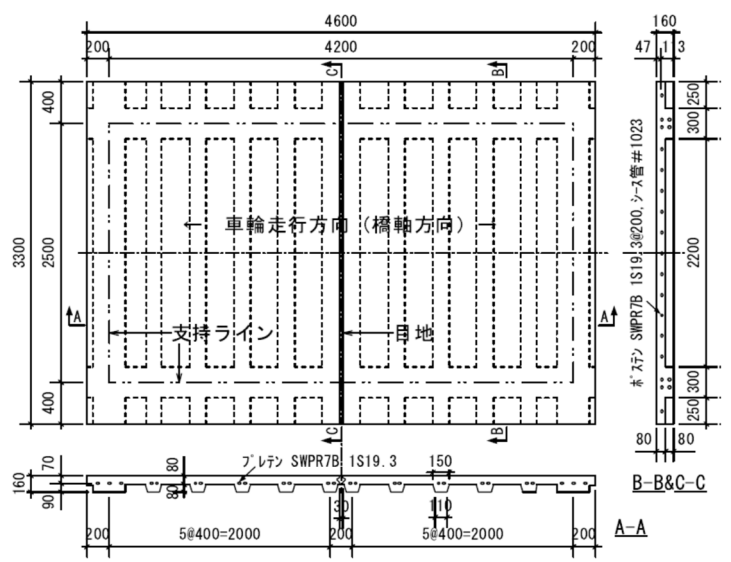
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 4 耐荷性能の確認

10	<p>(2) プレキャスト床版本体の押抜きせん断力に対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)</p>	<p>(道示 II-11.2.4 床版の最小全厚)</p> <p>(1) 床版の厚さは、設計耐久期間における耐荷性能が確保されるように決定する。</p> <p>(2) (3)及び(4)に従い、かつ、11.5(2)から 11.5(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の車道部分の床版の最小全厚は 160mm とする。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 II-11.3.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.4.2 の規定を満足する場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(道示 II-11.4.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.2.4 の規定を満足する場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版の押し抜きせん断耐力に着目した最小全厚を、道路橋示方書 II-11.3.2 および II-11.4.2 に基づく II-11.2.4 に規定する 160mm 以上と設定していますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、活荷重(T 荷重)による押抜きせん断耐力が確認できており、その耐力が、道路橋示方書 II-11.2.4 に規定する最小床版厚 160mm のときの輪荷重による押抜きせん断耐力と比較して同等以上の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版の最小全厚は、平板型で 130mm、1 方向リブ型で 60mm、2 方向リブ型で 40mm としている。 <p>①-2</p> <p>輪荷重走行試験を実施し、押抜きせん断破壊が生じないこと、平成 8 年版の道路橋示方書で設計された RC 床版に比べて耐力が大きいことを確認している。</p> <p>※RC08：平成 8 年版の道路橋示方書で設計された RC 床版 (参考文献) 趙ら：UFC プレキャスト PC 床版の技術的検討、土木学会第 64 回年次学術講演概要集、I-358, pp.715-716, 2009.9</p>	
----	---	---	--	--



輪荷重走行試験結果 (RC08 床版との比較)

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 4	<p>1. 4 耐荷性能の確認</p> <p>(3) プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷力(限界状態 1・3)</p>	<p>(道示Ⅲ-7.3.1 一般)</p> <p>(1) 部材を剛結となるよう連結し一体の部材とする場合には、接合部において部材としての連続性を失わず、かつ、接合部が部材相互の曲げモーメント、軸方向力、せん断力及びねじりモーメントを着実に伝達するとともに、部材の一般部が限界状態 3 に達したときの断面力を確実に伝達できるようにしなければならない。</p> <p>(2) 1) から 4) を満足する場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>1) 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部では、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担により、断面力を伝達できる構造とする。</p> <p>2) せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部では、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造とする。ただし、接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないよう、接合部が限界状態 1 を超えてからは鋼材が引張応力のみで作用力に対して抵抗し、鋼材が降伏した後に接合部が破壊に至る構造とする。</p> <p>3) コンクリート部材どうしを連結する場合は、7.3.2 及び 7.3.3 の規定による。</p> <p>4) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅲ-7.3.2 同じ機能を有するコンクリート部材の連結)</p> <p>同じ機能を有するコンクリート部材どうしを連結し一体の部材とする場合の接合部は、以下の 1) から 6) を満足しなければならない。</p> <p>1) 接合部への作用により生じる引張力に抵抗するよう接合部に配置された鉄筋が、5.2.5 の規定に従い連結する部材のコンクリートに定着されている又は 5.2.7 の規定に従い連結する部材の主鉄筋に連結されている。</p> <p>2) 連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により、接合面に発生する引張力に抵抗できるよう、十分な鉄筋が配置されている。</p> <p>3) 接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗する。</p> <p>4) 連結される部材と同等の断面を有し、かつ、同等以上の主鉄筋が抵抗に有効となるよう配置されている。</p> <p>5) 接合部における二次応力の影響を十分に小さくできる構造とする。</p> <p>6) 双対の鉄筋をループ状に重ねた継手により部材を連結する場合は、7.6 の規定による。</p>	<p>プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。</p> <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部については、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担等、接合部の断面力を伝達するための要素とその伝達機構の説明。 上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版同士の間隔を数 cm 開けて設置し、現場で接合部用の UHPFRC (鋼繊維 2.0vol/%) を充填して硬化後に PC 鋼材で橋軸方向にポストテンション方式でプレストレスを導入する構造 (鉄筋は配置しない) としている。  <p>接合部を有する床版を対象として、支間長 2.5m で単純支持し輪荷重走行試験を実施している (床版厚さ：平板型 120mm, 1方向リブ型 160mm (最小 80mm), 下図参照)。その結果、段階走行試験方法で定められている上限荷重 392kN と上限走行回数 52 万回を完走し、型、1 方向リブ型とも破壊しなかった。また、輪荷重走行試験後に供試体を切断し接合部を観察した所、接合面の磨り減りが無く、せん断キーはまったく健全な状態であった。</p>  <p>輪荷重走行試験に用いた試験体の形状 (1 方向リブ型) ※平板型も平面寸法は同様</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 方向リブ型についても接合部を有する床版の輪荷重走行試験を実施している。その結果、接合部ではなく本体部において押抜きせん断破壊が生じ破壊に至った。 	

			<p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部については、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造としての評価方法（設計方法）。 上記のせん断力及びねじりモーメントを受ける接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないための耐荷機構の説明。 上記の評価方法や耐荷機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部に発生する引張力に抵抗するよう鉄筋を配置する場合には、鉄筋とコンクリートが一体となって働くこと、および鉄筋とコンクリートとの間の応力伝達が確実に行えるための鉄筋の定着構造の概要とその応力伝達機構の説明。 上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> 連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により接合部に生じる引張力等内部応力の評価方法 上記の応力伝達機構の説明。 <p>⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗することの確認結果。 <p>⑥連結される部材と同等以上の抵抗性能を有していることの確認結果。</p> <p>⑦接合部における二次応力の影響を小さくするための配慮事項。</p> <p>①～⑦-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①～⑦によらない場合、下記についての情報を提示ください。 <ol style="list-style-type: none"> 限界状態 1 にいたるまでの接合部の剛性がプレキャスト床版部と同等以上であることの確認結果。 限界状態 1 にいたるまでの間に接合部に集中したひび割れが生じないことの確認結果。 限界状態 3 に達するまでの間に接合部の破壊が床版の破壊に先行しないことの確認結果。 	
--	--	--	--	--

②

- 接合部のせん断に対する照査は、コンクリート標準示方書 設計編 標準 9.2.1 (3) に準じて行う。
- 接合部にはせん断キーが設けられており、限界状態 3 を超えるせん断力が作用しても急激な耐力低下が生じない構造となっている。

③

- 鉄筋は配置しない。

④⑤⑥

- 間詰材のヤング係数や線膨張係数は UFC (ダクタル) と同等な大差ない値となっており、変形特性の違いによる応力はほとんど生じないと判断される。①で示した輪荷重走行試験結果からも、接合部は本体と一体となって挙動していることが確認されており、破壊が生じた 2 方向リブ型では接合部以外の本体部において破壊が生じた。
 間詰材のヤング係数：47kN/mm² (ダクタルは 50kN/mm²)
 間詰材の線膨張係数：11.8×10⁻⁶ (ダクタルは 13.5×10⁻⁶)

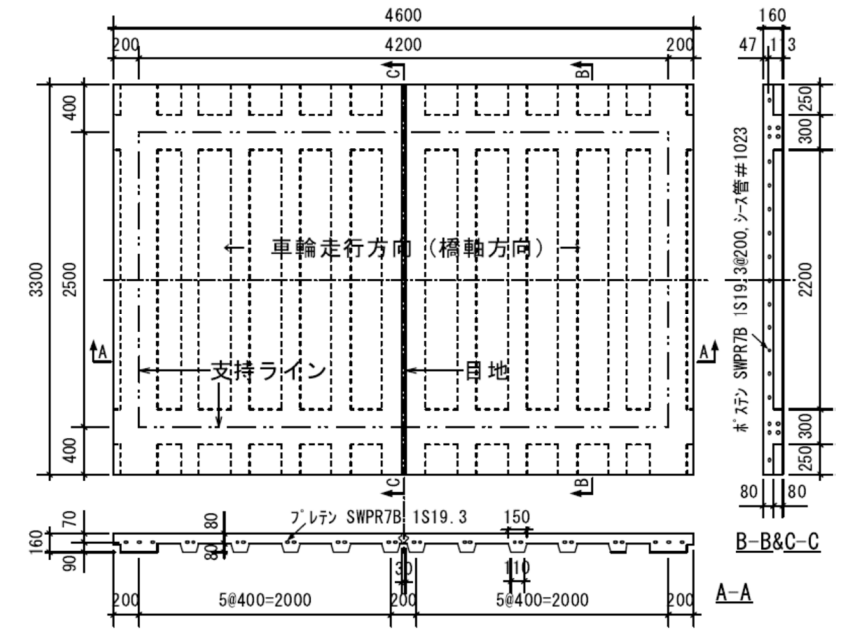
⑦

接合部の間詰材は、低収縮の材料である。(材齢 365 日の自己収縮量は 42×10⁻⁶)。
 (参考文献) 橋本ら：膨張材および収縮低減剤の使用が高強度繊維補強モルタルの諸性能に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.74，pp.273-280，2021.3

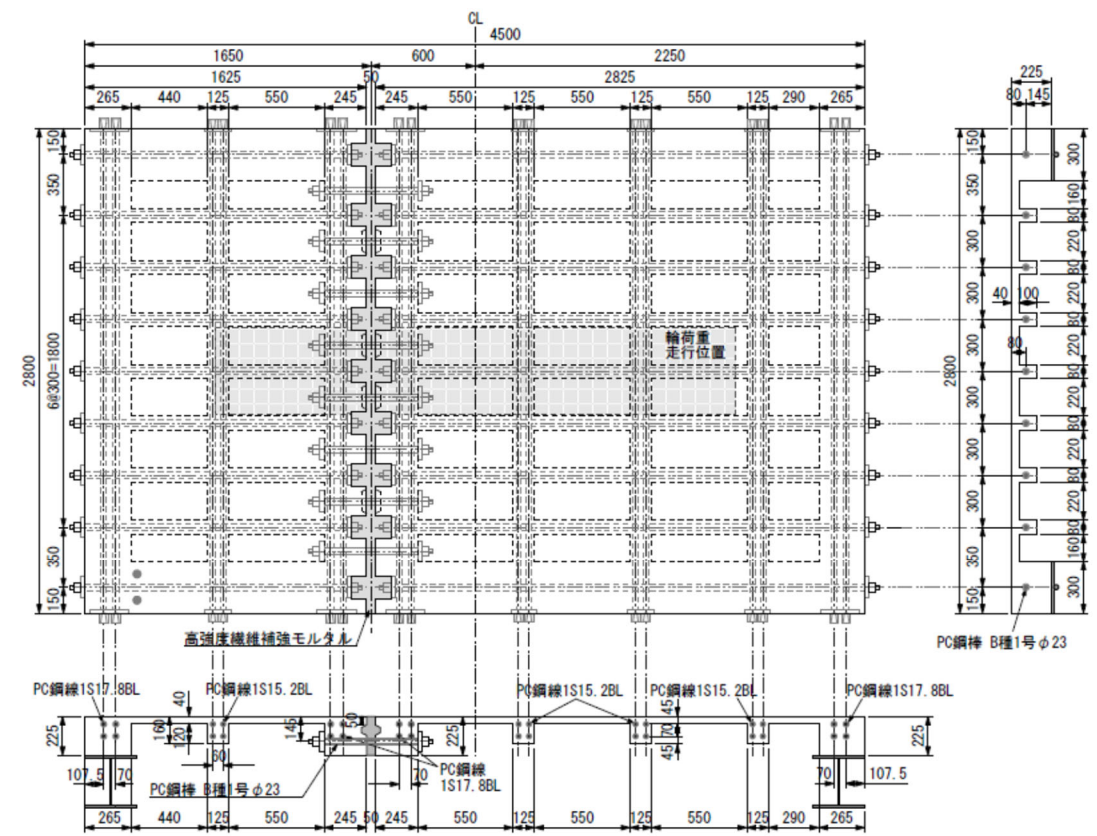
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 5 疲労に対する耐久性能の確認

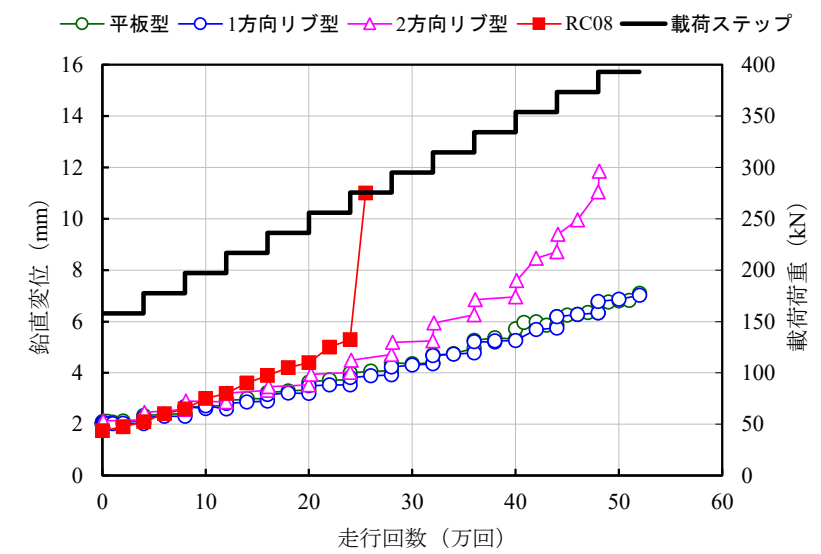
12	-	<p>(道示 II-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) <省略></p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版は 11.2 から 11.7 の規定、鋼床版は 11.8 から 11.11 の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.5 コンクリート系床版の疲労に対する耐久性能)</p> <p>(1) 11.2 の規定を満足する鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版が、自動車の繰返し通行に伴う疲労に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2)から(11)を満足する場合には、所用の床版の耐久性能を満足するとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) <省略></p> <p>(8) <省略></p> <p>(9) <省略></p> <p>(10) <省略></p> <p>(11) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・疲労耐久性に着目した最小床版厚を、道路橋示方書 II-11.5(2)～(5)に規定する床版厚としていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記①-1 によらない場合、コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、当該技術が最小床版厚とする版厚において、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっていることについての設計計算上の確認結果を提示ください。 <p>※道路橋示方書が定める疲労耐久性に着目した最小床版厚の設定根拠は、下記によっております。</p> <p>「コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっているために必要な床版厚」：鋼道路橋床版の設計に関する暫定基準(案)および施工に関する注意事項 道路 1968-10</p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの疲労によるひび割れ量を制限することを目的に、道路橋示方書が II-11.5 (7), (8) で規定する床版各部に生じる応力度の上限値を満足するよう設計することとしていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記②-1 によらない場合、③で実施する輪荷重走行試験の試験過程において、T 荷重レベルの繰返し荷重載荷の段階においては、過大なひび割れが発生していないこと、また試験過程の全般にわたり、床版に発生するたわみが RC08 床版のそれと比較して同等かそれ以下であることの確認結果を提示ください。 	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・疲労耐久性に着目した最小床版厚は道示 II-11.5(2)～(5)とは別に設定。 平板型：130mm, 1 方向リブ型：60mm, 2 方向リブ型：40mm <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計時において、ダクトルを全断面有効とし、ひび割れを許容しない設計としている。 <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・輪荷重試験の結果、T 荷重レベルの繰返し荷重載荷の段階において、過大なひび割れが発生していないこと、また試験過程の全般にわたり床版に発生するたわみが RC08 床版以下となることが確認されている。以下、輪荷重走行試験の試験体形状および試験結果を示す。 	
----	---	---	--	---	--



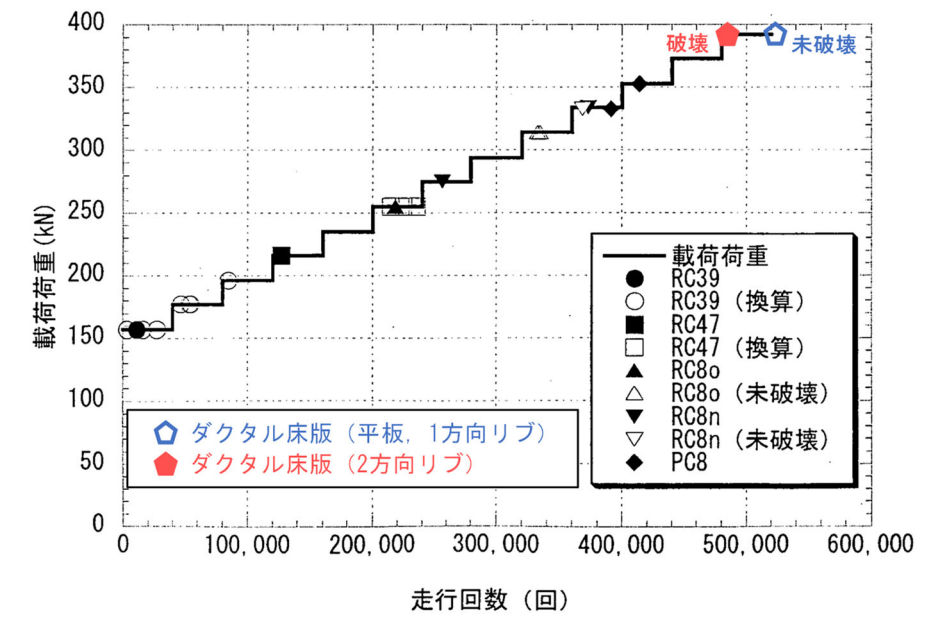
輪荷重走行試験に用いた試験体の形状 (1 方向リブ型)
※平板型も平面寸法は同様



輪荷重走行試験に用いた試験体の形状 (2方向リブ型)



輪荷重走行試験結果 (RC08床版との比較)



既往の輪荷重走行試験結果との比較

(参考文献)

国土総合技術研究所：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国総研資料第28号，2002.3

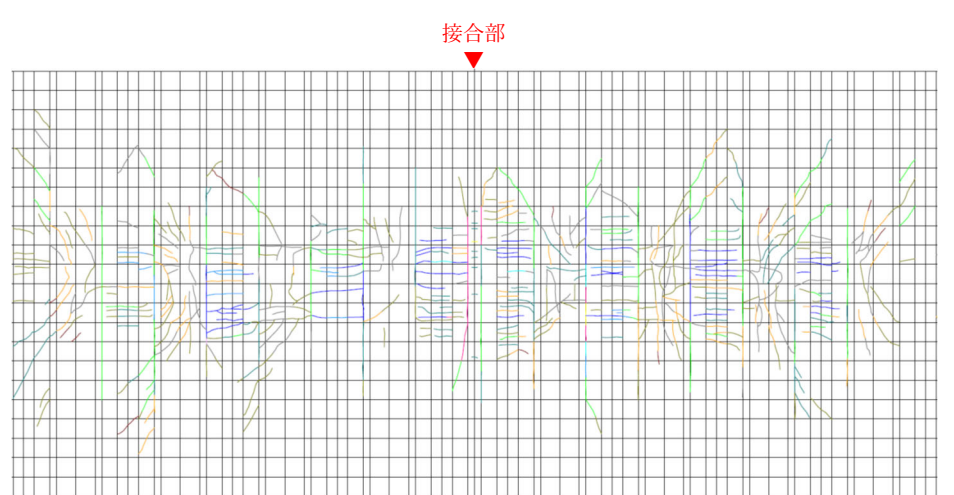
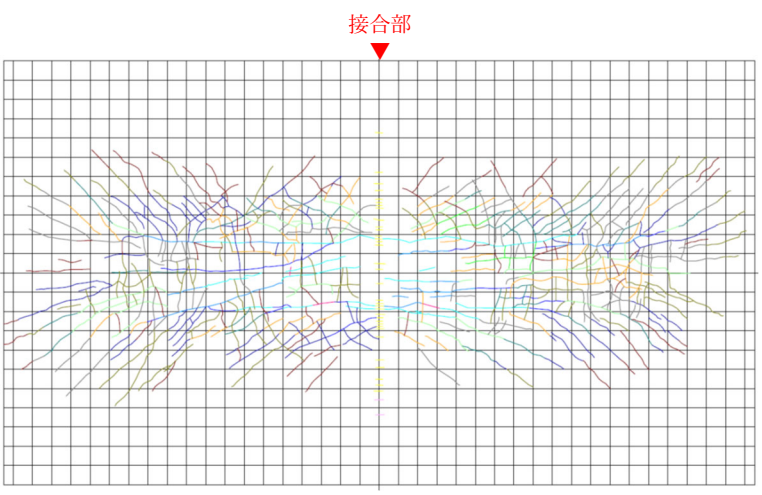
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

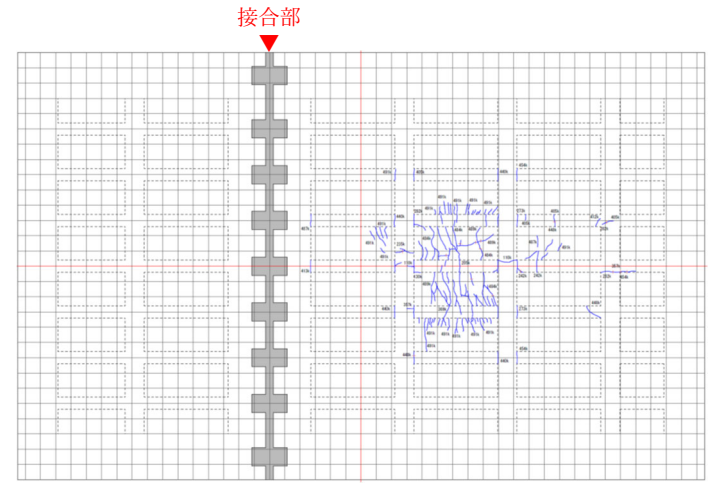
1. 5 疲労に対する耐久性能の確認

12	-	<p>(続き)</p>	<p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> RC08 床版と同じ設計条件で設計した当該技術の床版を用い、かつ接合部を有する床版の場合には、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製した上で、RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の条件（輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数）による試験を実施することにより、破壊荷重および破壊に至るまでの走行回数が RC08 床版と同等以上であること分かる確認結果を提示ください。 当該試験結果により破壊に至る形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）を説明ください。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記③の輪荷重走行試験により接合部の損傷が先行しないことが確認されている結果を提示ください。 <p>※本項で求める輪荷重走行試験については以下を基本としています。</p> <ol style="list-style-type: none"> RC08 床版とは、平成 8 年版道路橋示方書に従い設計した RC 床版とする。 供試体は、RC08 床版と同じ設計条件で設計した以下の供試体を使用する。 <ul style="list-style-type: none"> 支間 3m の連続床版（もしくは支間 2.5m の単純床版）に当該技術の床版を適用する場合の技術所定の設計方法により設計された床版。なお RC08 床版では最小版厚規定や交通量に伴う床版厚の割り増しを考慮しているが、供試体作製にあたっては、あくまでも当該技術の所定の設計方法によって決定した床版構造の供試体とする。 接合部を有する床版の場合には、下記点に留意し、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製する。 <ul style="list-style-type: none"> 想定する接合部の方向（輪荷重走行方向に設ける接合部か、もしくは走行と直角方向に設ける接合部か）と、輪荷重走行方向に設ける接合部の場合は接合部の位置（床版支間に対する位置）に着目し、実際の接合部に発生する応力度を適切に評価できる位置に接合部を設置する。 RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数により試験を実施する。 	
----	---	-------------	---	--

③④

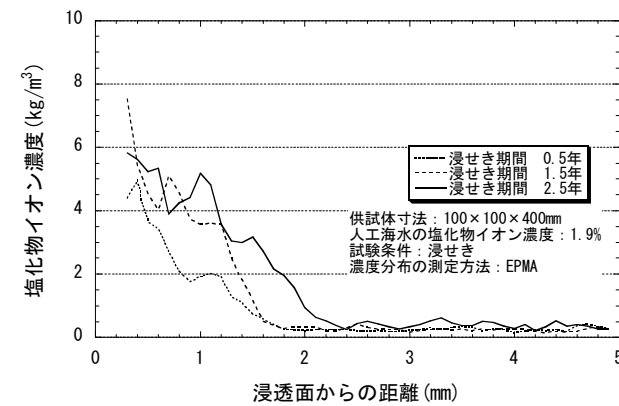
- 輪荷重走行試験の結果は②のとおり。
- 平板型および 1 方向リブ型の輪荷重走行試験では、試験終了（載荷荷重 392kN、走行回数 52 万回）まで破壊は生じておらず、接合部の損傷が先行している様子も確認されなかった。一方、2 方向リブ型では、載荷荷重を 392kN で 1000 回走行した時点で、本体部分において押抜きせん断破壊が生じた。本試験は水張条件にて実施したが、接合部からの漏水は確認されていない。





試験後における試験体下面のひび割れ発生状況（2方向リブ型）

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 6	内部鋼材の腐食に対する耐久性能の確認	<p>(道示 II-11.6 コンクリート系床版の内部鋼材の腐食に対する耐久性能)</p> <p>(1) 鉄筋コンクリート床版, プレストレストコンクリート床版及びPC合成床版における内部鋼材の腐食に対して, 設計耐久期間を100年とし, (2)及び(3)を満足する場合には, 所要の部材の耐久性能が確保されるとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(道示 III-6.2.1 一般)</p> <p>コンクリート部材は, 6.1(3)により当該部材に定めた設計耐久期間内において, 内部鋼材の腐食により部材の耐荷性能が低下することがないようにしなければならない。</p> <p>(道示 III-6.2.3 かぶりによる内部鋼材の防食)</p> <p>(1) かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には, 架橋地点の環境, 橋の部位及び規模, 部材の形状を考慮し, 少なくとも(2)及び(3)に規定する最小かぶりを満足したうえで, 適切なかぶりを確保する。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 永続作用支配状況での設計において, FRC床版のコンクリートに生じる応力度により, 床版に配置されている鋼材の腐食について有害なひび割れが発生しないことについて, 試験等により確認した結果を提示ください。 <p>※本項は床版内に配置される鉄筋等の鋼材に加え, 床版コンクリートに混入される鋼材繊維の腐食に着目しています。参考までに, 本項に関する要求性能として道路橋示方書では, 鉄筋の引張応力度が100N/mm²以下となるよう規定しており, この応力度に到達した際のひび割れ幅やひび割れ間隔の発生状況を, 腐食に対する耐久性に影響を及ぼし始めるひび割れ限界の目安として規定しています。</p> <p>※内部に腐食する鋼材や鋼繊維を使用しない床版の場合, もしくはプレストレスを導入する床版の場合で引張応力が発生しないことを設計方針としている場合は, 回答不要です。</p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には, 道示 III-6.2.3 に準拠した設計を行うこととしていますか? <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1によらない場合, 塩化物イオンに対する拡散係数について従来のコンクリートとの相对比较で評価し, 従来コンクリートと同等の内部鋼材の腐食に対する耐久性能が確保できていることが判るデータを提示ください。 <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 永続作用支配状況(死荷重, 活荷重, 風荷重, 衝突荷重等)において, 引張応力がひび割れ発生強度を超えないことを確認している。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> PC鋼材およびシースの最小かぶりは <u>30mm</u> とする。 <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 人工海水(塩化物イオン濃度: 1.9%)への浸せき期間30ヶ月(2.5年)時点におけるUFC(ダクトル)の塩化物イオンの拡散係数は0.0019cm²/年であり(一般的なコンクリート(W/C=30%)の参考値=0.14cm²/年), これを用いてかぶり20mm位置での鋼材腐食の照査を行うと, 鋼材表面位置において腐食限界塩化物イオン濃度に達するのは, 計算上300年以降となる。 	



UFC (ダクトル) 表面からの塩化物イオン濃度分布

2. 施工に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																																	
2. 1	プレキャスト床版の製作についての確認	<p>(道示 III-17.3 施工要領書) 施工にあたっては、設計の前提条件及び施工段階で定めた事項等を満足する施工が行われることを確認できるよう、施工の手法、手順、検査の方法等に関する要領を定めなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.1 一般) プレキャスト部材を用いた構造物の施工にあたっては、所要の品質、精度が確保できるようプレキャスト部材の製作、運搬、保管、連結について、あらかじめ計画を立て、安全に施工されなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.2 部材の製作) (1) プレキャスト部材は、所要の施工精度を満足するように製作されなければならない。 (2) <省略> (3) プレキャスト部材は、製作にあたり製作に関わる資材、加工及び組立てについて記された施工要領書が作成されなくてはならない。 (4) プレキャスト部材は、加工及び組立て段階において所定の方法で施工されていることが確認されなくてはならない。</p>	<p>①プレキャスト床版製作時の品質管理について ・プレキャスト床版を製作する際の計量、練り混ぜ、養生、部材寸法精度などの品質管理方法については、プレキャスト床版は JIS A 5364、プレストレストコンクリート床版は JIS A 5373 に示されています。本要領では、これらの JIS にしたがった品質管理が望ましいと考えています。上記 JIS を適用されていますか？あるいは上記 JIS と同等の管理をされていますか？ JIS と同等の管理がされていることを提示ください。</p> <p>②繊維の配向・分散の確認について ・繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ 再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>① ・床版を製作する際の計量、練り混ぜ、養生、部材寸法精度などの品質管理方法については、土木学会 UFC 指針「12.10.4 コンクリートの検査」(下表) に準じる。また、UFC 床版は JISA 5373 に準拠してプレストレストコンクリート床版を製作可能な工場で製作する。</p> <p style="text-align: center;">UFC の検査内容</p> <table border="1" data-bbox="1822 583 2641 982"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>検査方法</th> <th>時期・回数</th> <th>判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>配合</td> <td>各材料の計量値</td> <td>全バッチ</td> <td>許容範囲内にあること</td> </tr> <tr> <td>フレッシュコンクリートの状態</td> <td>責任技術者またはそれと同等の技術を有する技術者による目視</td> <td>打込み時随時</td> <td>ワーカビリティがよく、品質が均質で安定していること</td> </tr> <tr> <td>コンシステンシー</td> <td>JIS R 5201フロー(落下なし)</td> <td rowspan="2">・強度試験用供試体採取時 ・打込み中に品質の変化が認められたとき</td> <td>成形方法から要求される所要の条件に適合すること</td> </tr> <tr> <td>空気量</td> <td>JIS A 1116の方法 JIS A 1128の方法</td> <td>定められた条件に適合すること</td> </tr> <tr> <td>練上がり温度</td> <td>温度測定</td> <td></td> <td>定められた条件に適合すること</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>JIS A 1108の方法</td> <td rowspan="3">1回/日または構造物の重要度と工事の規模に応じて20~150m³ごとに1回</td> <td>設計基準強度を下回る確率が5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ発生強度</td> <td>3.2.3に示す方法</td> <td></td> </tr> <tr> <td>引張強度</td> <td>3.2.4に示す方法</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">(参考) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，2004</p> <p>② ・床版製作時には、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法で UFC(ダクトル)の打込みを行う。上記の供試体製作時には、試験後に試験体を切り出し採取し繊維の配向性調査を行っており、各所における繊維配向の傾向が確認されている。</p>	項目	検査方法	時期・回数	判定基準	配合	各材料の計量値	全バッチ	許容範囲内にあること	フレッシュコンクリートの状態	責任技術者またはそれと同等の技術を有する技術者による目視	打込み時随時	ワーカビリティがよく、品質が均質で安定していること	コンシステンシー	JIS R 5201フロー(落下なし)	・強度試験用供試体採取時 ・打込み中に品質の変化が認められたとき	成形方法から要求される所要の条件に適合すること	空気量	JIS A 1116の方法 JIS A 1128の方法	定められた条件に適合すること	練上がり温度	温度測定		定められた条件に適合すること	圧縮強度	JIS A 1108の方法	1回/日または構造物の重要度と工事の規模に応じて20~150m ³ ごとに1回	設計基準強度を下回る確率が5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること	ひび割れ発生強度	3.2.3に示す方法		引張強度	3.2.4に示す方法		
項目	検査方法	時期・回数	判定基準																																		
配合	各材料の計量値	全バッチ	許容範囲内にあること																																		
フレッシュコンクリートの状態	責任技術者またはそれと同等の技術を有する技術者による目視	打込み時随時	ワーカビリティがよく、品質が均質で安定していること																																		
コンシステンシー	JIS R 5201フロー(落下なし)	・強度試験用供試体採取時 ・打込み中に品質の変化が認められたとき	成形方法から要求される所要の条件に適合すること																																		
空気量	JIS A 1116の方法 JIS A 1128の方法		定められた条件に適合すること																																		
練上がり温度	温度測定		定められた条件に適合すること																																		
圧縮強度	JIS A 1108の方法	1回/日または構造物の重要度と工事の規模に応じて20~150m ³ ごとに1回	設計基準強度を下回る確率が5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること																																		
ひび割れ発生強度	3.2.3に示す方法																																				
引張強度	3.2.4に示す方法																																				

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 2	プレキャスト床版の施工性の確認			
15	-	<p>(道示 II-11.7 コンクリート系床版の施工時の前提条件)</p> <p>(1) 床版は、コンクリート打設時に生じるたわみにより、硬化中のコンクリートのひび割れ、床版の疲労に対する耐久性を損なう有害な局部変形及び応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(2) プレキャスト部材を用いる場合には、運搬時及び設置時に作用する荷重に対して、局部変形や応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版の最小全厚は施工性を考慮し、道路橋示方書 II 編 11.2.4 に示される 160mm 以上としますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記によらない場合、道路橋示方書に示される床版の最小全厚 160mm 以上の床版の施工と同様に確実に施工が行われることを確認されている根拠を提示ください。 <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・床版の最小全厚は、平板型で 130mm、1 方向リブ型で 60mm、2 方向リブ型で 40mm とすることを前提としている。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・UFC 床版は、道路橋示方書に示される最小全厚 160mm 以上の床版と同程度以上の曲げ剛性となるよう設計されており、床版製作時には製作工場において熱養生を行い、十分に強度が発現した状態で現場に出荷することとしている。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 3	プレキャスト床版接合部の施工品質の確認			
16	-	<p>(道示 IIII-17.12.4 連結)</p> <p>(1) プレキャスト部材の連結は、使用する材料に最も適する施工方法を検討し、強度、耐久性、水密性等所要の品質が得られるように入念に行われなければならない。</p> <p>(2) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版同士の接合部の施工品質の確認方法として、次の2つの項目についての施工後の確認要領について提示ください。 <ul style="list-style-type: none"> 1)接合部に求める所定の強度が得られていることの確認方法 2)有害な初期ひび割れが発生しないことの確認方法（配合の妥当性確認に加え、実施工での初期ひび割れが発生しなかったことの確認要領等） <p>※接合部の品質を確保するための施工方法について、下記 a)、b) のマニュアルに照査の考え方、品質管理項目、検査項目が示されています。</p> <p>a) 「鋼道路橋 PC 床版の施工品質向上策に関する検討（I） PC 床版施工マニュアル（案）・施工管理要領（案） プレキャスト PC 床版編（H15.8 国総研資料第 121 号）」</p> <p>b) 「プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領（H30.3 JPCI） 4.6 床版相互の接合」</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部においても繊維補強コンクリートを使用する場合は、その繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ <p>再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部間詰材の強度は、下記材齢において圧縮強度を確認する。 <ul style="list-style-type: none"> 供用開始時（現場養生） 材齢 28 日（標準養生） ・使用する間詰材の自己収縮ひずみは、室内試験の結果から 42×10^{-6}（20℃封緘、材齢 365 日）と小さく、実物大の床版接合部に施工しその後初期ひび割れが生じないことを確認している。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作時において、接合部に充填する間詰材は部材端部よりエントラップトエアを極力巻き込まないよう一層で上面まで連続的に打込む手法を用いており、現場で施工する際にも同様の方法とする。 	

3. 維持管理に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

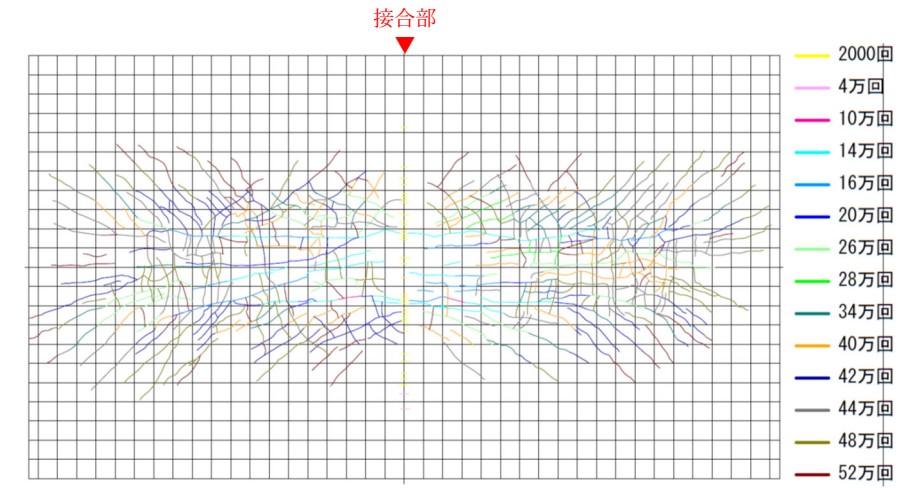
3. 1 維持管理の確実さの確認

(道示 I-1.3 設計の基本理念)
 橋の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、維持管理の確実性及び容易さ、施工品質の確保、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。

① 既往の疲労試験結果等により得られるひび割れ進展形態をもとに、供用後の橋梁定期点検等維持管理において役立つ、ひび割れ評価の概略図を提示ください。(例：橋梁定期点検損傷度評価指標 (下図))

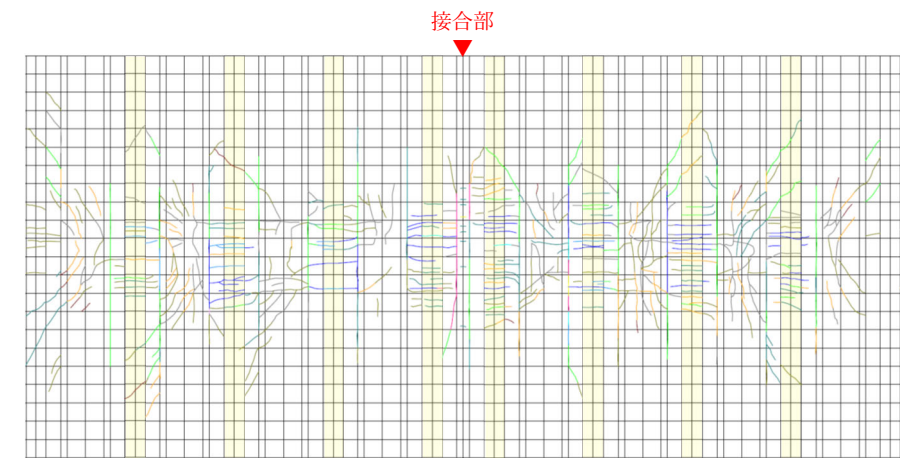
状態	1方向ひびわれ			2方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	漏水・剥離石灰	性状	ひびわれ	漏水・剥離石灰
a		損傷なし	なし	-		
b		・ひびわれは主として1方向のみ ・最小ひびわれ間隔は概ね1m以上 ・最大ひびわれ幅は0.05mm以下 (ヘアークラック程度)	なし	-		
c		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は間わない ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m程度以上 ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし
d		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は間わない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m~0.2m ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし
e		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は間わない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり
f		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は間わない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは間わない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり

① 平板型は支間方向（橋軸直角方向）のひび割れが先行し、その後橋軸方向のひび割れが生じる傾向がある。輪荷重走行試験では破壊に至っていないが、橋軸直角方向ひび割れが増加した場合や漏水が確認された場合には更新を検討する必要があると判断される。



輪荷重走行試験後における試験体下面のひび割れ発生状況 (平板型)

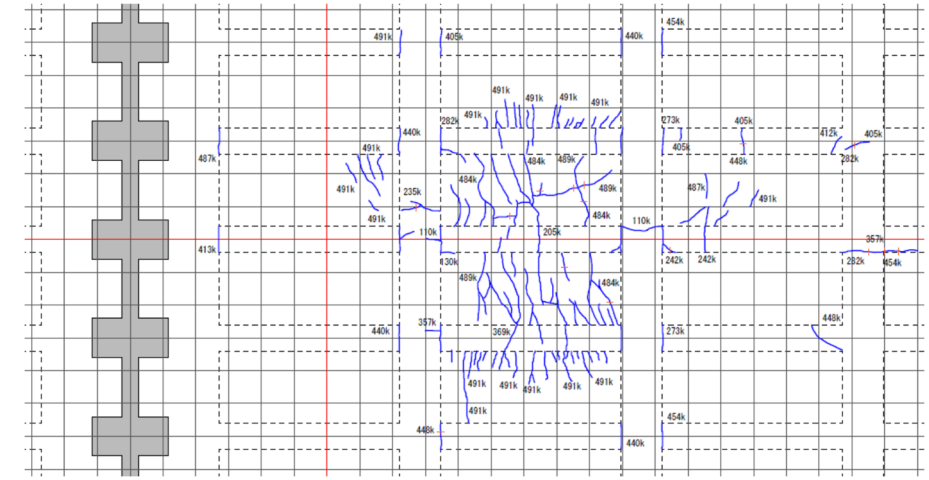
・1方向リブ型はリブ下面のひび割れが先行し、その後デッキ部のひび割れが生じる傾向がある。輪荷重走行試験では破壊に至っていないが、リブ下面のひび割れが増加した場合や漏水が確認された場合には更新を検討する必要があると判断される。



□リブ下面

輪荷重走行試験後における試験体下面のひび割れ発生状況 (1方向リブ型)

・2方向リブ型はリブ下面やリブ交差部のひび割れが先行し、その後デッキ部のひび割れが生じる傾向がある。輪荷重走行試験では最終的にデッキ部に多くのひび割れを生じた後に破壊に至った。したがって、リブ下面やリブ交差部のひび割れに留意して調査を行い、ひび割れが増加したり漏水が確認された場合には更新を検討する必要があると判断される。



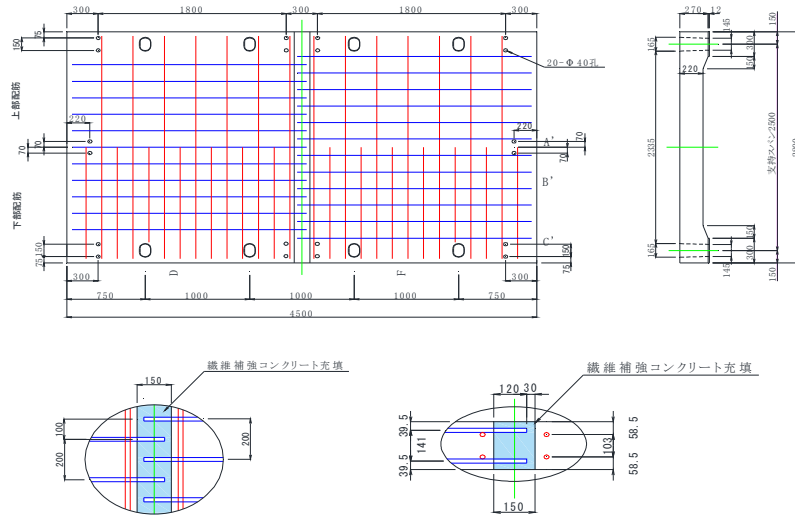
輪荷重走行試験後における試験体下面のひび割れ発生状況（2方向リブ型）

付録-2 道路橋床版カナクリート床版（軽量高強度繊維補強 RC）

開発者名：カナフレックスコーポレーション株式会社

1. 技術の概要に関する確認

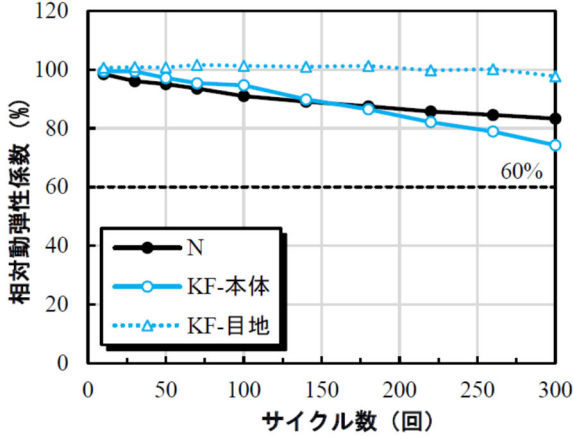
繊維補強コンクリート床版としての技術の概要に関する確認事項

NO.	着目する項目	技術開発者記入欄	資料 No.	
	技術名称 (同 副題)	カナクリート床版 (軽量高強度繊維補強 RC)		
	開発者名	カナフレックスコーポレーション株式会社		
	NETIS 登録状況	カナクリート RC プレキャスト床版 (KK-220050-A)		
	特許等取得状況	出願中		
	第三者機関等の証明情報			
	施工実績	・施工実績がある場合は、施工実績表を別途添付ください。 国道 6 号線 堀切橋 (福島県)	添付資料①	
	技術の概要 ①床版本体の構造概要 ②床版同士の接合部の構造概要 ③当該技術の特徴 ④製品としてのシリーズに関する情報	① ・床版本体の構造概要が判る図を掲載ください。 ・床版の概要として、床版を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方 (曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む) を記載ください。 ② ・橋軸方向の接合部、橋軸直角方向の接合部に分けて、接合部の構造概要が判る図を掲載ください。(ただし、想定していない接合部はその旨記述し、内容を省略いただいて結構です。) ・接合部の概要として、橋軸方向、橋軸直角方向の各々について、接合部を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方 (曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む) を記載ください。 ③ ・当該技術の特徴 (セールスポイント) を簡潔に説明願います。(特に、従来の RC 床版や PC 床版と比較した場合の優れている点等) ④ ・プレキャスト床版の製品としてシリーズが既に準備されている場合には、その製品群に関する情報 (カタログ等) を添付ください。	① ・床版本体の構造は図に示すような平板型の鉄筋コンクリート構造 (RC 構造) で、プレストレスの導入はしません。設計上の考え方は、通常の鉄筋コンクリートと全く同じです。 ② ・どん突き継手は橋軸方向及び橋軸直角方向とも同じ構造で、図に示す通りです。  <p style="text-align: center;">図 1. 本体部および継手部の構造図</p> <p>・接合部を構成する要素は、間詰めに充填されるコンクリート (カナクリート) と、床版本体に配置され継手部に突き出した鉄筋です。曲げモーメントは、間詰め部のカナクリートと鉄筋の付着により伝達され、せん断力は間詰め部のコンクリートが受け持ちます。</p> <p>③ ・軽量コンクリートのため、従来の RC 床版に比べて死荷重が小さく鋼桁の負担が小さいことが最大の長です。また、緻密な材料を用いたコンクリートのため、外部からの空気・水の侵入が少なく、外的要因による劣化が抑制されます。さらに、通常の鉄筋コンクリート構造と同様に引張側のコンクリートは無視して設計しますが、引張抵抗が高いため従来の RC 床版に比べて引張側にひび割れが生じにくく、このことも劣化を抑制し耐久性を高める要因になっています。</p> <p>④ 別途、軟弱地盤等の仮設道路用に製作している簡易道路床版のカタログを別添します。</p>	添付資料②

II. 性能の確認 1. 設計に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1 使用材料に求める事項の確認	<p>(1) 補強鋼材</p> <p>(道示 I-9.1 鋼材)</p> <p>(1) 鋼材は、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそれ等の形状寸法等の特性や品質が確かなものでなければならない。</p> <p>(2) 表-9.1.1<省略>に示す鋼材は、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版に使用する補強鋼材を提示ください。また、その鋼材が道路橋示方書 I 編 9.1 表-9.1.1 に示す鋼材の場合、JIS 規格を提示ください。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性や品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>※コンクリート床版に使用する線材、棒鋼等の鋼材等は、製造時に材料としての特性や品質が決定されるため、その特性や品質が確保されていることを使用上の前提条件としています。道路橋示方書 I 編 9.1 では、JIS に適合し、かつこれまでに十分な使用実績がある鋼材については、特性が明確で一定の水準以上の品質を有するとみなしてよいとされています。</p> <p>① -1</p> <ul style="list-style-type: none"> 補強鋼材：道示 I 編表-9.1.1 JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼に適合した鋼材を使用しています。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																									
1.	1 (2) 繊維補強コンクリートの構成材料	<p>(道示 I-9.2.1 一般) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.2 コンクリート材料) (1) コンクリートに用いる材料は、次に示すものを使用しなければならない。 1) セメントは、比表面積、凝結時間、圧縮強度、有害成分の制限等の特性や品質が確かなものでなければならない。 2) 水には油、酸、塩類、有機物等の有害物が含まれてはならない。 3) 細骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、ごみ、泥、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 4) 粗骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、薄い石片、細長い石片、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 5) 混和材料として用いる混和剤及び混和材は、コンクリートの特性や品質の改善に対する効果及びその特性や品質が確かなものとする。 (2) 表-9.2.1<省略>に示す規格又は規定に適合する材料については、上記品質を有するとみなしてよい。 (3) フレッシュコンクリート中に含まれる塩化物イオンの総量は、0.3kg/m³以下とする。</p>	<p>①-1 ・道路橋示方書 I 編 9.2.2、表-9.2.1 に示す規格又は規定に適合する材料を使用していますか？ セメント、混和材料、水、骨材、細骨材、混和材それぞれについて JIS 規格を提示ください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、品質の確かさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・補強用繊維について、繊維の種類（材質）及び品質管理項目を提示ください。また、合成繊維を使用する場合は、耐熱性、耐アルカリ性について根拠資料を提示ください。</p> <p>②-2 ・上記②-1 によらない場合、耐熱性、耐アルカリ性の試験結果を示すことに加え、実際の繊維補強コンクリートを長期間屋外に暴露した結果等を用いて、繊維補強コンクリートに対する経年の影響について説明できる根拠資料を提示ください。</p> <p>③-1 ・塩化物イオンの総量を適切に管理されていますか？ 塩化物イオンの総量と管理方法を提示ください。</p> <p>③-2 ・上記③-1 によらず、従来のコンクリートを対象としたフレッシュコンクリートに対する試験方法が適用できない場合や、全て工場等で準備した材料等を用いる場合、それらの条件に応じて適切な方法で管理されていることを提示ください。</p> <p>①-1 ・補強用繊維以外は、道示 I 編表-9.2.1 に示された規格又は規定に適合する材料を使用しています。 ・JIS 規格 セメント JIS R 5210（ポルトランドセメント） 水 JIS A 5308 付属書 C 軽量骨材 JIS A 5002（区分 M） 混和剤 JIS A 6204 混和材 JIS A 6201</p> <p>② -1 ・補強繊維は合成繊維を使用しています。 ・耐熱性、耐アルカリ性については下記の通りです。 （耐熱性）繊維メーカーの試験で軟化点温度 200～250℃ （耐アルカリ性）人工軽量骨材としての材質上問題ありません。また長期間経過後の強度低下等の不具合もありません。</p> <p>9. 物理的及び化学的性質</p> <p>物理的状態 : 固体 外観 : 繊維 色 : 白～クリーム色 臭い : 無臭 融点 : 200℃以上 引火点 : 200℃以上（クリーブランド開放式） 密度 : 1.31 g/cm³ 溶解度 : 常温の水に不溶。塩酸に溶解（20%塩酸）。 自然発火温度 : 440℃以上 分解温度 : 200℃以上で劣化または分解が顕著になる。</p> <p>図表 2. 繊維メーカーの SDS</p> <p>③-1 ・使用する骨材に対して JIS A 5002 に基づき塩化物（NaCl として）濃度を測定し、規定値以下であることを確認しています。</p> <p>1. 品質</p> <table border="1" data-bbox="1834 1228 2597 1339"> <thead> <tr> <th>試験項目</th> <th>粗骨材</th> <th>細骨材</th> <th>試験方法</th> <th>JIS A 5002 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>強熱減量</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>JIS R 5202</td> <td>1 以下</td> </tr> <tr> <td>三酸化硫黄 (SO₂として)</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>JIS R 5202</td> <td>0.5 以下</td> </tr> <tr> <td>塩化物 (NaClとして)</td> <td>0.001未満</td> <td>0.001未満</td> <td>JIS A 5002</td> <td>0.01以下</td> </tr> <tr> <td>有機不純物</td> <td>淡い</td> <td>淡い</td> <td>JIS A 1105</td> <td>試験溶液の色が標準色液又は色見本より淡い</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 1. 骨材の試験成績書</p>	試験項目	粗骨材	細骨材	試験方法	JIS A 5002 (%)	強熱減量	+	+	JIS R 5202	1 以下	三酸化硫黄 (SO ₂ として)	0.02	0.02	JIS R 5202	0.5 以下	塩化物 (NaClとして)	0.001未満	0.001未満	JIS A 5002	0.01以下	有機不純物	淡い	淡い	JIS A 1105	試験溶液の色が標準色液又は色見本より淡い	
試験項目	粗骨材	細骨材	試験方法	JIS A 5002 (%)																									
強熱減量	+	+	JIS R 5202	1 以下																									
三酸化硫黄 (SO ₂ として)	0.02	0.02	JIS R 5202	0.5 以下																									
塩化物 (NaClとして)	0.001未満	0.001未満	JIS A 5002	0.01以下																									
有機不純物	淡い	淡い	JIS A 1105	試験溶液の色が標準色液又は色見本より淡い																									

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1	使用材料に求める事項の確認		
3	(3) 繊維補強コンクリートの品質	<p>(道示 I-9.2.1 コンクリート) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.3 コンクリートの強度) コンクリートは原則として、表-9.2.2<省略>に示す最低設計基準強度以上のものを用いる。</p> <p>(道示 II-14.3.2 床版のコンクリートの設計基準強度) (1) 床版のコンクリートの設計基準強度は、所用の強度が確保できるようにするほか、床版の耐久性を考慮して定めなければならない。 (2) 床版のコンクリートの設計基準強度の決定にあたっては、試験練り又は実績等により、施工時に有害なひび割れが生じないことを確認する。 (3) (4)から(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。 (4) 床版のコンクリートの設計基準強度σ_{ck}は、24N/mm^2以上とする。ただし、床版にプレストレスを導入する場合はI編 9.2.3の規定による。 (5) <省略> (6) <省略></p>	<p>① ・床版に使用する繊維補強コンクリートの設計基準強度を提示ください。 また、この設計基準強度が道路橋示方書II編 14.3.2 (4)、(5)に示される値以上であることを示してください。</p> <p>② ・耐凍結融解性能について確認されていますか？ 要求される凍結融解性能が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。</p> <p>③ ・コンクリートの塩分浸透性について確認されていますか？ 要求される塩分浸透性が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。</p> <p>④ ・アルカリ骨材反応抑制対策を行っていますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、アルカリ骨材反応に対し安全であることをその結果から説明ください。</p> <p>⑤ ・プレキャストコンクリート製品が適切に製作できる施工性を有していますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、施工性を有していることを説明ください。</p> <p>① ・床版本体の設計基準強度は 40N/mm^2、また間詰め部に使用するカナクリートの設計基準強度は 60N/mm^2 としています。 ・これらはいずれも道示II編 14.3.2 に示される値 (24N/mm^2) 以上です。</p> <p>② ・耐凍結融解抵抗性については、土木研究所との共同研究で JIS A 1148 の A 法に準じた試験を行って 300 サイクル経過後の相対動弾性係数が 60%以上と凍結融解抵抗性を有することを確認しています。なお、使用水は 3%NaCl 水としており、万一凍結防止剤を含む水が床版に供給された場合も一定の凍結融解抵抗性を有することが期待されます。 試験データを下記に示します。</p>  <p>図 2. 3%NaCl 水での凍結融解の試験結果</p> <p>③ ・塩分浸透性については確認試験を行っていませんが、透水試験及び気体（二酸化炭素）による中性化促進試験を行っています。コンクリート中への塩化物イオンの拡散係数が $10^{-7}\text{cm}^2/\text{s}$ 程度であるのに比して、気体の場合は $10^{-4}\text{cm}^2/\text{s}$ 程度と、気体の浸透性のはるかに大きいと判断し、塩分浸透性については気体を使用した中性化促進試験の結果（52 週での中性化深さは 0mm）より、塩分浸透性については問題ないと判断されます。また、透水試験の結果から考察すると、インプット法による試験結果から算定した透水係数は約 $1.8 \times 10^{-13}\text{cm}^2/\text{sec}$ で、これは一般のコンクリートの透水係数 $10^{-12} \sim 10^{-10}\text{cm}^2/\text{s}$ に比べて非常に小さい値であり、このことから塩分浸透性に対する問題はないものと考えます。 試験データを別添します。</p> <p>④ ・アルカリ骨材反応抑制対策 骨材には人工軽量骨材を使用しています。アルカリ骨材に該当する材料でないことを骨材メーカーにて確認されています。</p> <p>⑤ ・製品の製作における施工性 コンクリート製品を製造する各工場が JIS A 5371 に基づく工場認定を取得しており、プレキャストコンクリート製品を適切に製造する施工性を有しています。 製品の製作における施工性の中で特に重要なワーカビリティについては、スランプフロー試験により必要な性状を確保していることを確認しています。また、補強繊維材が均等に混練りされていることを目視により確認しています。</p>	<p>添付資料③ 添付資料④</p>

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																											
1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認																															
4	<p>(1) 強度の特性値</p>	<p>(道示 II-4.1.1 一般)</p> <p>(1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がその強度を下回る確率がある一定の値以下となることが保証された値としなければならない。</p> <p>(2) 4.1.2 及び 4.1.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) コンクリートを使用する場合には、この編及び III 編に規定する材料の強度の特性値を用いることにより、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 III-4.1.1 一般)</p> <p>(1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がそれを下回る確率がある一定の値以下となることが保証された強度の値としなければならない。</p> <p>(2) 4.1.2 の規定による場合には、鋼材の強度は(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) コンクリートの圧縮強度は 4.1.3 の規定による。</p> <p>(道示 III-4.1.3 コンクリートの圧縮強度の特性値)</p> <p>(1) コンクリートの圧縮強度の特性値をもって設計基準強度とする。</p> <p>(2) コンクリートの圧縮強度の特性値は、材齢 28 日における試験強度に基づき、試験値がその値を下回る確率が 5% となるように定められた値とする。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート用棒鋼、PC鋼線、PC鋼より線、PC鋼棒の強度の特性値については、道路橋示方書 III 編表-4.1.1～表-4.1.4 を適用されていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 繊維補強コンクリートの圧縮強度は道路橋示方書 III 編 4.1.3 の(1)および(2)に従って定められていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> プレキャストコンクリートにおいては蒸気養生などを実施し早期に強度発現が期待できるものもあることから、材齢 14 日などでの強度試験結果に基づいて特性値を定めることも可能である。したがって、上記の場合、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 繊維補強コンクリートの引張応力の制限値を定める根拠となる引張強度については、ひび割れ発生強度により設定されていますか？繊維補強コンクリートのひび割れ発生強度を求めた試験法試験およびその設定方法について提示ください。 <p>※繊維補強コンクリート床版に用いる材料の強度の特性値は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、材料特性の確からしさを確認するための試験により検証され、その結果に基づいて設定されていることを確認する。</p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート用棒鋼を使用し、道示 III 編表-4.1.1 及び表-4-1.4 の特性値を適用しています。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 繊維補強コンクリートの圧縮強度の特性値は道示 III 編 4.1.3 により定めています。試験データを以下に示します。 <div style="text-align: center;"> <p>データ数：30 平均値：$\mu = 55.6\text{N/mm}^2$ 標準偏差：$\sigma = 5.47\text{N/mm}^2$</p> </div> <p>図 3. 圧縮強度ヒストグラム</p> <p>試験結果より、試験値を下回る確率を 5% とした場合の圧縮強度の特性値 f_k は、 $f_k = \mu - 1.645 \times \sigma = 55.6 - 1.645 \times 5.47 = 46.6\text{N/mm}^2$ となり、これにより安全側に設計基準強度として 40N/mm^2 を採用しています。</p> <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 引張強度については、通常は鉄筋コンクリート構造として繊維補強コンクリートによる引張応力の分担を考慮していないため制限値は設けていません。 無筋コンクリートとして設計する場合に引張強度を考慮しますが、制限値はひび割れ発生強度により設定します。 なお、土木研究所との共同研究で、以下のような試験結果が得られています。 																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>供試体</th> <th>標点内破壊数</th> <th>圧縮強度 (N/mm²)</th> <th>弾性係数 (N/mm²)</th> <th>ひび割れ発生荷重 (kN)</th> <th>ひび割れ発生強度 (N/mm²)</th> <th>ポアソン比</th> <th>引張強度 (N/mm²)</th> <th>標準偏差</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>本体部</td> <td>2</td> <td>65</td> <td>19.5</td> <td>13.1</td> <td>3.3</td> <td>0.19</td> <td>3.3</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>間詰部</td> <td>3</td> <td>95</td> <td>23.3</td> <td>14.9</td> <td>3.7</td> <td>0.16</td> <td>6.1</td> <td>0.19</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 2. 直接引張試験の試験結果の例</p>					供試体	標点内破壊数	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ひび割れ発生荷重 (kN)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)	標準偏差	本体部	2	65	19.5	13.1	3.3	0.19	3.3	0.40	間詰部	3	95	23.3	14.9	3.7	0.16	6.1	0.19
供試体	標点内破壊数	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ひび割れ発生荷重 (kN)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)	標準偏差																							
本体部	2	65	19.5	13.1	3.3	0.19	3.3	0.40																							
間詰部	3	95	23.3	14.9	3.7	0.16	6.1	0.19																							

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.														
1. 2	繊維補強コンクリートの特性値の確認																	
5	(2) 設計に用いる定数	<p>(道示 I-9.3 設計計算に用いる定数) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性や品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。</p> <p>(道示 III-4.2.1 一般) (1) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性及び品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。 (2) 4.2.2 及び 4.2.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 I-8.1 死荷重) (1) 死荷重は、材料の単位体積重量を適切に評価して定めなければならない。 (2) <省略> (3) 材料の単位体積重量を(2)によらず定める場合には、(4)から(6)に従わなければならない。 (4) 材料の単位体積重量のばらつきを適切に評価する。 (5) JIS 等の公的規格に従って材料の単位体積重量や部材寸法等の変動の上限値や下限値が制御された材料を用いる場合には、規格を満足するもののみを母集団とする場合のばらつきで評価する。 (6) 材料の単位体積重量の特性値は、その母集団を正規分布としたときの非超過確率 50% に相当する値とすることを標準とする。</p>	<p>①-1 ・繊維補強コンクリート床版に用いる使用鋼材を提示ください。その鋼材が、道路橋示方書 I 編 9. 1 に示す JIS 規格に適合する鋼材である場合、道路橋示方書 III 編表-4.2.1 および表-4.2.2 に示される値を適用しているか提示してください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性および品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・設計基準強度が 80N/mm² 以下、かつ普通骨材のみを用いる場合は、コンクリートのヤング係数・クリープ係数・乾燥収縮度・せん断弾性係数などの定数は、道路橋示方書 III 編 4.2.2 の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式(4.2.1) の値を採用しますか？</p> <p>②-2 ・設計基準強度が 80N/mm² を超える繊維補強コンクリートの場合や軽量骨材を用いる繊維補強コンクリートでは、道路橋示方書が前提とする一般的なコンクリートとは特性が異なることから、道路橋示方書の条文の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式(4.2.1) は適用できないものと思われます。その場合には、特性の確からしさを確認するための試験とその結果及び設定根拠を提示ください。</p> <p>※繊維補強コンクリート床版の設計に用いる定数は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、繊維補強コンクリート床版の品質を考慮したうえで適切に設定されていることを確認する。</p>	<p>1-1 ・道示 I 編 9.1 に示す JIS 規格適合鋼材を使用し、かつ道示 III 編表 4-2.1 の値を適用しています。</p> <p>②-1 ・設計基準強度は 80N/mm² 以下ですが、軽量骨材を使用しているため非該当。 ・ヤング係数、クリープ係数、乾燥収縮度等については試験により確認した下記の数値を用いています。 (ヤング係数) 圧縮試験から得られた結果より、$1.6 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ としています。</p> <p>(クリープ係数) RC 構造としているため設計では使用しませんが、JIS A1157「コンクリートの圧縮クリープ試験方法」により以下の値が得られています。 (材齢 28 日を経過した時点から 1 年間の継続載荷)</p> <table border="1" data-bbox="1798 877 2656 936"> <thead> <tr> <th>載荷継続日数 (日)</th> <th>3</th> <th>7</th> <th>14</th> <th>28</th> <th>91</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>クリープ係数</td> <td>0.19</td> <td>0.26</td> <td>0.34</td> <td>0.47</td> <td>0.73</td> <td>0.95</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 3. クリープ係数</p> <p>(乾燥収縮度) やはり設計では使用しませんが、JIS A1129-1「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法—第 3 部：ダイヤルゲージ方法」より得られた材齢 26 週における試験値は -124μ です。</p> <p>(せん断弾性係数) 設計においてせん断弾性係数を用いることはありませんが、道示 III 4.2.3 の式と同様にポアソン比から下記のように推定します。 $G = E_c / 2(1 + \nu) = E_c / 2.46$ ここに ν : カナクリート本体部ポアソン比 (平均値=0.23)</p>	載荷継続日数 (日)	3	7	14	28	91	365	クリープ係数	0.19	0.26	0.34	0.47	0.73	0.95
載荷継続日数 (日)	3	7	14	28	91	365												
クリープ係数	0.19	0.26	0.34	0.47	0.73	0.95												

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

(2) 設計に用いる定数

(続き)

- ③ 設計に用いる繊維補強コンクリートの応力ひずみ曲線を提示ください。また、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。
- ④ 死荷重を計算する際の繊維補強コンクリートもしくは軽量骨材コンクリートの単位体積重量について、道路橋示方書 I 編 8.1(4)~(6)に従って定めているものと思われませんが、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。
 なお、設計に用いる死荷重については、鉄筋や PC 鋼材を見込んだ重量と繊維補強コンクリートのみの重量に分けて提示ください。
 また、鉄筋や PC 鋼材の重量を見込む場合の方法も提示ください。
 ※道路橋示方書では、橋に用いられる材料の単位体積重量については、一般には単位体積重量の平均値を特性値として用いてよいとされています。

③ 応力-ひずみ曲線
 圧縮強度及び静弾性試験の結果から得られた応力-ひずみ曲線を図-4 に示します。

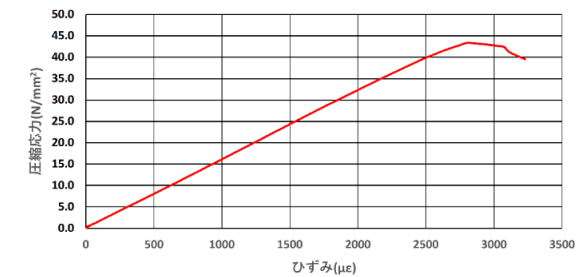


図 4-1) 応力-ひずみ曲線の例

これより、設計に用いる応力-ひずみ曲線は下図のように設定します。

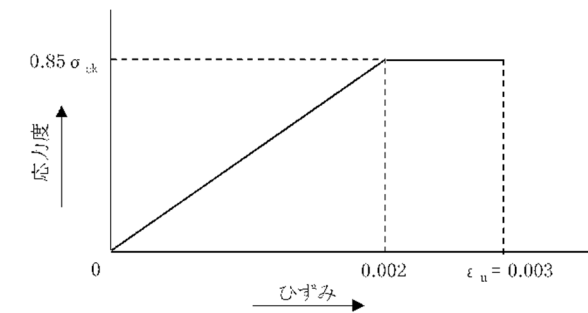


図 4-2) 応力-ひずみ曲線 (設計モデル)

- ④ 単位体積重量は道示 I 8.1 に従って、圧縮強度の異なる繊維補強コンクリートの比重を測定しその平均値から求めた単位体積重量を決定しています (下表)。

比重 kN/m ³	測定回数	圧縮強度 N/mm ²
16	1	47.0
	2	44.6
	3	48.9
	平均	46.8
17	1	58.2
	2	57.9
	3	60.0
	平均	58.7
18	1	67.9
	2	68.8
	3	70.5
	平均	69.1
19	1	84.5
	2	84.2
	3	75.0
	平均	81.2

※赤枠部が床版で想定している比重に対応している箇所

表 4. 各単位体積重量における圧縮強度試験結果

- ・設計に死荷重として用いる場合の単位体積重量は、繊維補強コンクリートのみの重量に、設計計算によって決定された鉄筋量に基づく鉄筋重量を加算した換算単位体積重量を使用します。

添付資料⑤

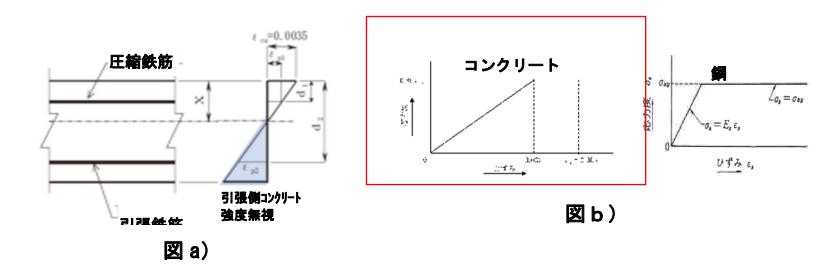
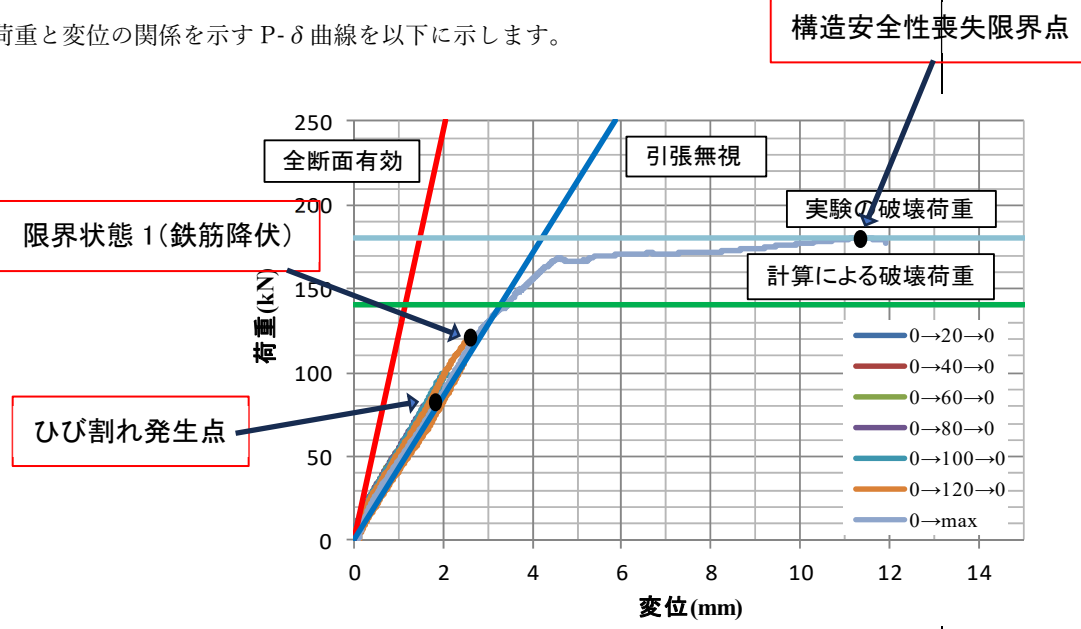
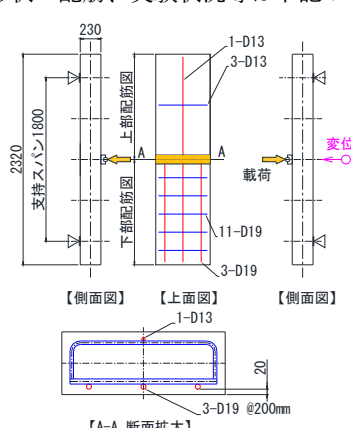

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
6	(1) 床版の耐荷機構の説明	<p>(道示 III-5.1.1 部材設計の基本)</p> <p>(1) コンクリート部材の設計においては、1)から10)を満足しなければならない。</p> <p>1) <省略></p> <p>2) <省略></p> <p>3) <省略></p> <p>4) コンクリート部材の設計にあたっては、部材を構成する材料、部材断面への作用力及び作用力に対する部材の耐荷機構を明確にし、適切に限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び施工方法を定める。</p> <p>5) 4)を満足するにあたっては、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮を適切に考慮する。</p> <p>6) コンクリート部材は、耐荷機構の前提として考慮されたコンクリート、鉄筋及びPC鋼材のみにより作用力に対して抵抗させる。ただし、コンクリートに引張力は負担させないことを原則とする。</p> <p>7) コンクリート部材は、作用力の伝達が一方の棒部材又は二方向の版部材として扱い、応答値を算出することを原則とする。</p> <p>8) <省略></p> <p>9) <省略></p> <p>10) <省略></p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 III-5.1.2 コンクリート部材の種別)</p> <p>(1) コンクリート部材を、プレストレスを導入する構造とする場合には、プレストレスの存在を前提とした耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(2) プレストレスを導入する構造を、プレストレストコンクリート構造として設計する場合には、プレストレスの存在を前提として、コンクリートが全断面で抵抗すると見なせる耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(3) コンクリート部材を、鉄筋コンクリート構造として設計する場合には、部材断面に発生する引張応力に対しコンクリートの引張抵抗を見込まず、鉄筋により抵抗する耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(4) プレストレスを導入する構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するようプレストレスを導入し、5.2及び5.3の規定に従い鉄筋及びPC鋼材を配置しなければならない。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するよう、5.2の規定に従い鉄筋を配置しなければならない。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) <省略></p>	<p>①</p> <p>1) 繊維補強コンクリート床版を構成する材料や部材断面に対し設計上想定している作用力を提示ください。</p> <p>2) 上記作用力に対し、床版を構成する材料や部材断面の設計上想定している耐荷機構を提示ください。</p> <p>3) 上記耐荷機構において、床版を構成する材料や部材断面の限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び、前提となる施工方法について提示ください。</p> <p>②</p> <p>・繊維補強コンクリート床版の耐荷機構について、道路橋示方書のプレストレストコンクリート構造や鉄筋コンクリート構造と比較した場合の、繊維がその耐荷機構に果たす役割について説明ください。</p> <p>①</p> <p>1) 死荷重、活荷重、衝撃荷重、高欄への衝突により伝達される荷重、その他必要に応じて雪荷重、温度変化による影響等を考慮します。</p> <p>2) 原則としてカナクリートと鉄筋により構成される鉄筋コンクリート構造として外力に抵抗するものとしています。</p> <p>3) 道示 III 5.5 (限界状態 1)、5.7 (限界状態 3) に基づき、曲げモーメント・せん断力及び押抜きせん断力に対する照査を行います。</p> <p>・鉄筋の引張応力度に対する制限値は、道示 III 4.1.2 の強度特性値における降伏強度とし、コンクリートの制限値は道示 III 5.1.5 表-5.1.2 の圧縮強度の制限値を使用します。</p> <p>・解析においては、道示 I 3.3 により、荷重の組み合わせに応じた荷重組合せ係数及び荷重係数を考慮して断面力を求めます。</p> <p>・プレキャスト床版の製作及び架設方法は、事前の試験で性能が確認された床版の製作及び架設方法と同様で以下の通りです。</p> <p>(練混ぜ方法) 骨材とセメント系 (混和剤等を含む) を空練りした後、水系 (AE 剤等を含む) を加え、混練します。その後、繊維を投入し、分散するまで混練します。</p> <p>(打込み方法) 打ち込みは流し込みによる方法を原則としますが、ポンプを使用して打設する場合は、水セメント比を上げずに所定のワーカビリティが得られるよう適宜高性能減水剤を使用します。材料の分離したり繊維が一方に配向したりすることのないよう注意し、目視で確認します。</p> <p>(養生方法) プレキャスト床版製作の際、打設 3 時後、湿潤状態を保ち養生温度を 50°C として管理します (温度上昇温度速度 20°C/hr、養生期間 12 時間を標準とします)。その後、圧縮強度が 14N/mm² 以上を目安として脱型します。脱型後は二次養生として蒸気養生を行います。温度上昇速度 20°C/hr、最高温度 80°C、養生期間 20 時間を標準とします。</p> <p>(架設方法) 運搬および架設に際しては、床版に有害な変形・断面力の発生がないよう運搬時の支持台、架設時の吊り治具を用います。</p> <p>②</p> <p>・本技術の床版は、設計上は一般の繊維を含まない RC 床版と同様の耐荷機構であるものとして照査します。</p> <p>・このため、繊維による抵抗を部材強度に加味することはありませんが、繊維の存在によりコンクリートには粘りと耐久性が付与されると考えられます。コンクリートは引張りに弱く延性に乏しいという特性があり、硬化時・乾燥時の体積変化や外力作用時に引張応力が作用するとひび割れが生じ、そのため空気・水・塩分などが浸入し鉄筋の腐食を惹き起こし、部材の耐久性に影響を与えるおそれがあります。繊維補強されたコンクリートの場合、繊維はひび割れ面をつなぎとめる効果があるためひび割れの進展が抑制されます。</p> <p>・繊維補強コンクリート (カナクリート) はひび割れが発生しにくいだけでなく、ひび割れが発生した後でもある程度の強度が保たれるため、急激な破壊を生じることはなくじん性の富んだ性状を示します。さらにカナクリートの場合、補強繊維は非鉄材料であるため腐食するおそれはありません。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
6	(2) 床版の設計曲げモーメントの算定	<p>(道示Ⅱ-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版は11.2から11.7の規定、鋼床版は11.8から11.11の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.1 一般)</p> <p>(1) この節は、2辺又は1辺で支持される床版で、その床版支間がなす短辺と長辺の辺長比が1:2以上の1方向版としてモデル化できる鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版の設計に適用する。</p> <p>(2) この節の規定は、20章の規定を満足することを前提として設計に適用することができる。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.2 床版の支間)</p> <p>(1) 単純版並びに連続版のT荷重及び死荷重による曲げモーメントを算出する場合の支間は、床版から支持桁への応力伝達と輪荷重の載荷位置を考慮して、かつ、桁のフランジ形状、床版と桁の連結構造並びに床版の材料及び構造に応じて、適切に設定する。</p> <p>(2) (3)及び(4)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.3 床版の設計曲げモーメント)</p> <p>(1) B活荷重で設計する橋においては、I編8.2に規定するT荷重(衝撃の影響を含む)による床版の単位幅(1m)あたりのT荷重による曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>に示す式で算出する。ただし、床版の支間が車両進行方向に直角の場合の単純版、連続版及び片持版の主鉄筋方向の曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>により算出した曲げモーメントに、表-11.2.2<省略>又は表-11.2.3<省略>の割増係数を乗じた値とする。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) 等分布荷重による床版の単位幅(1m)あたりの曲げモーメントは、表-11.2.4に示す式で算出してよい。ただし、プレストレストコンクリート床版が鋼桁に支持される場合には、等分布死荷重における床版の単位幅(1m)あたりの曲げモーメントは、支持桁の拘束条件を考慮して算出しなければならない。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計曲げモーメントの算定は道路橋示方書Ⅱ-11.2.2(3)(4)に規定する支間長を用い、かつⅡ-11.2.3(1)~(3)によっていますか? よっている場合は、次の2つについての情報を提示ください。 <p>1)床版が等方性版の性状を示すことを確認した結果に関する情報 ※「等方性版」であることの確認方法については、例えば、国総研資料第609号「道路橋の技術評価手法に関する研究-新技術評価のガイドライン(案)“床版の曲げモーメント式的前提条件との整合性が不明な場合”(P20)」を参照してください。</p> <p>2)当該技術を床版として使用可能とする床版支持条件(支間と辺長の比が1:2以上の一方向版としてモデル化できる支持条件であることの確認)</p> <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版厚が薄く道路橋示方書が規定する最小床版厚(160mm)の床版に対し明らかに剛性が小さい床版の場合や、上記①-1の1),2)の条件を満足しない床版の場合は、設計曲げモーメントを算定する方法を提示ください。 上記算定方法が妥当であることを試験等との比較により確認した結果を提示ください。 <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計曲げモーメントの算定における支間長及び曲げモーメントは、それぞれ道示Ⅱ編11.2.2及び11.2.3によっています。 <p>1) 床版は平板タイプであり、鉄筋を考慮しない場合、支間方向及び支間直角方向とも同じ断面剛性(EI)を有しています。したがって等方性に関与するのは支間方向主筋及び支間直角方向の配力筋による鉄筋量の差異のみです。 道示Ⅱ編11.2.3による曲げモーメントに対して、下記のような床版断面を試算すると、Ix/Iy=1.18であり、等方性を前提とした示方書の規定を逸脱するものではないと考えます。</p> <p>(試算結果)</p> <ul style="list-style-type: none"> 単純版、支間2.5m、T荷重の片側荷重100kN 床版厚160mm、コンクリート単重20kN/m³ 支間方向 曲げモーメント M=32.60kN・m (活荷重+版自重) 鉄筋 As=8-D19 (2292.0mm²)、As'=8-D13 (1013.6mm²) 支間直角方向 曲げモーメント M=24.00kN・m (活荷重) 鉄筋 As=8-D16 (1588.8mm²)、As'=4-D16 (791.4mm²) 断面二次モーメント 支間方向 Ix=4.38×10⁸mm⁴ 支間直角方向 Iy=3.70×10⁸mm⁴ <p>2) 床版の短辺と長辺の辺長比については、当該橋梁の主桁・横桁の配置状況によりますが、床版としては辺長比1:2以上の一方向版であることを前提としています。</p> <p>①-2 (非該当)</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
7	<p>(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法</p>	<p>(道示Ⅱ-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版は11.2から11.7の規定、鋼床版は11.8から11.11の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.7 鉄筋の種類及び配置)</p> <p>(1) 鉄筋には異形棒鋼を用いるものとし、その直径は13、16、19mmを原則とする。ただし、プレストレストコンクリート床版及び鋼コンクリート合成床版においては直径22、25mmを用いてよい。</p> <p>(2) 鉄筋のかぶりは30mm以上とする。</p> <p>(3) 鉄筋の中心間隔は100mm以上でかつ300mm以下とする。ただし、引張主鉄筋の中心間隔は床版の全厚を超えてはならない。</p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版及びPC合成床版において断面内の圧縮側には、引張側の鉄筋量の少なくとも1/2の鉄筋を配置するのを原則とする。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート床版において連続版で主鉄筋を曲げる場合には、図-11.2.3<省略>に示すように支点からL/6の断面で曲げなければならない。ただし、床版の支間の中央部の引張鉄筋量の80%以上及び支点上の引張鉄筋量の50%以上は、それぞれ曲げずに連続させて配置しなければならない。ここに、Lは支持桁の中心間隔とする。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) プレストレストコンクリート床版のプレストレス導入方向には、直径13mm以上の異形棒鋼を配置し、その中心間隔は、300mm又は床版の全厚の小さい方の値以下でなければならない。</p> <p>(道示Ⅱ-11.2.8 PC鋼材の配置)</p> <p>(1) プレストレストコンクリート床版のPC鋼材は、床版に一樣にプレストレスが導入されるように配置しなければならない。</p> <p>(2) 斜橋の支承部付近における床版の支間方向のPC鋼材は、支承線方向に配置する。</p>	<p><床版の設計上の構成要素として鉄筋を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>①-1【過大な幅のひび割れ発生を防止するための使用鉄筋径に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋には道路橋示方書に規定する異形鉄筋を使用し、かつプレストレスを導入しない床版の場合は、鉄筋径が13、16、19mm、プレストレスを導入する床版の場合は、13、16、19、22、25mmのいずれかを使用することとしていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1によらない場合、使用する鉄筋を用いて、発生応力とひび割れ幅との関係、および発生応力と最小ひび割れ間隔との関係が把握できており、その性状が、少なくとも道路橋示方書が使用を許容する最大の鉄筋による場合と同等であることを確認した結果を提示ください。 <p>②-1【コンクリートの施工性および押抜きせん断耐力確保のための鉄筋の配置間隔の設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の中心間隔は道路橋示方書の規定に従い100mm～300mmの間で設定されていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1によらない場合、鉄筋間隔が狭い場合はコンクリートを打ち込む際の施工性について、また鉄筋間隔が広い場合には、押抜きせん断耐力が所定の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。(※押抜きせん断耐力の試験に関する情報については、別項1. 4 (2)によることでも可) <p>③-1【連続版の正負交番部近傍に生じる曲げモーメントに確実に抵抗するための折り曲げ鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 連続版で主鉄筋を曲げる場合、鉄筋の折り曲げ詳細は道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(5)によっていますか？ <p>③-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記③-1によらない場合、連続床版として想定される全ての輪荷重載荷位置について、折り曲げ鉄筋位置近傍において他の位置と比較して過度なひび割れが生じないこと、また折り曲げたことにより床版として耐荷力の低下が生じないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>④-1【不測の逆向き曲げモーメントに確実に抵抗するための鉄筋配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計上想定される床版の圧縮領域においても、道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(4)に規定するとおり、引張領域の鉄筋量の1/2の鉄筋量を配置していますか？ <p>④-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記④-1によらない場合、設計上想定される曲げモーメントに対し逆向きの曲げモーメントが作用した場合を想定し、その曲げモーメントに対しても、正規の曲げモーメントに対する抵抗力の1/2以上は確保できていることを、設計の考え方や設計方法により提示ください。 <p>⑤-1【鉄筋の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で30mm、また塩害環境下では、Ⅲ-6.2.3に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑤-1によらない場合、鉄筋の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、鉄筋の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p>① -1</p> <ul style="list-style-type: none"> プレストレスを導入せず、道示Ⅱ11.2.7に従って、D13、D16、D19、D22の異形棒鋼を使用しています。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋中心間隔は道示Ⅱ11.2.7及び道示Ⅲ5.2.2の規定に従って100～300mmの間で配置しています。 <p>③-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 道示Ⅱ2.7.5(5)の規定に従っています。 <p>④-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 道示Ⅱ11.2.7(4)の規定に従っています。 <p>⑤-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 一般環境下では道示Ⅱ11.2.7(3)の規定により30mm、塩害環境下では道示Ⅲ6.2.3の規定に従って、それぞれかぶりを決めています。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
7	(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法	(続き)	<p><床版の設計上の構成要素として PC 鋼材を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>⑤-1 【PC 鋼材の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で 30mm、また塩害環境下では、III-6.2.3 に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑤-1 によらない場合、PC 鋼材の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、PC 鋼材の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑥-1 【一方向にのみプレストレスを導入する場合のプレストレスしない方向にひび割れを発生させないための用心鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 用心鉄筋として、道路橋示方書の規定に従い、鉄筋径 13mm 以上の異形鉄筋を、中心間隔 300mm または床版全厚以下の間隔で配置することとしていますか？ <p>⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑥-1 によらない場合、プレストレスを導入しない方向についても、想定する使用条件において、活荷重や乾燥収縮等の影響によるひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑦ 【プレストレスを均等に導入するための PC 鋼材の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材の配置の仕方について、PC 鋼材により導入されるプレストレスの応力分布が、床版断面の曲げモーメントに対する設計において設計上想定している圧縮応力の分布となっていることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 	<p>⑤-1 (PC 構造を想定していないため非該当)</p> <p>⑥-1 (PC 構造を想定していないため非該当)</p> <p>⑦ (PC 構造を想定していないため非該当)</p>

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
8	(4) 床版と支持桁の結合部	<p>(道示 II-11.2.12 床版のハンチ)</p> <p>(1) 床版と支持桁との結合部は、応力が円滑に伝わる構造としなければならない。</p> <p>(2) 床版には、支持桁上にハンチを設けるのを原則とする。</p> <p>(3) (4)から(5)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <p>・床版と支持桁との接合部の構造詳細については、道路橋示方書 II-11.2.12(4)(5)に従ったハンチを設けることとしていますか？</p> <p>①-2</p> <p>・上記①-1によらない場合、ハンチの有無やハンチの形状によらず、床版と支持桁との接合部に局部的なひび割れや過度な応力集中が発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。</p> <p>※試験については、床版と支持桁との接合部の構造を代表できる試験体を用い、輪荷重による押抜きせん断力の支持桁近傍での偏りや、支持桁の剛性が床版の支持桁近傍のたわみ角を拘束することによる影響等に伴う応力集中に着目した試験や構造解析が行われている必要が求められます。</p> <p>① -1</p> <p>・道示 II 11.2.12(4)(5)に従っています。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 4	<p>耐荷性能の確認</p> <p>(1) プレキャスト床版本体の曲げモーメントに対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)</p>	<p>(道示 II-11.3.1 曲げモーメントを受ける床版)</p> <p>(1) 曲げモーメントを受ける床版が、(2)から(4)による場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(2) 床版に生じる曲げモーメントが、(3)又は(4)による制限値を超えない。ただし、T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には、11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.5.1(3) の規定による。</p> <p>(4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.6.1(3) の規定による。</p> <p>(道示 II-11.4.1 曲げモーメントを受ける床版)</p> <p>(1) 曲げモーメントを受ける床版が、(2)から(4)による場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(2) 床版に生じる曲げモーメントが、(3)又は(4)による制限値を超えない。ただし、T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には、11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.7.1(3) 及び(4)の規定による。</p> <p>(4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.8.1(3)及び(4)の規定による。</p>	<p>プレキャスト床版本体の設計に用いる静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。</p> <p>なお、床版に生じる曲げモーメントとして正曲げと負曲げにより耐荷機構が異なる場合には、各々について以下の事項を提示ください。</p> <p>① 床版本体の設計において有効断面としている構成要素 (FRC、鉄筋、PC 鋼材等) を図示するとともに、引張応力に FRC の引張抵抗を有効としているか否かについて明示。</p> <p>2) 床版に生じる曲げモーメントに対する設計計算に用いることのできる、構造安全性が失われる限界の状態までの荷重と変位の関係 (P-δ あるいは M-ϕ 曲線等) もしくは床版を構成する要素 (FRC、鉄筋、PC 鋼材等) の σ-ϵ 曲線の定義式。</p> <p>② 上記①2)の曲線の妥当性が確認できる試験結果、およびその試験結果に基づく、荷重変位曲線上の主要点 (構造安全性が失われる限界点、ひび割れ発生点等) の提示。</p> <p>※試験による検証に際しては、繊維補強コンクリートの収縮による内部応力の発生が無視し得ない場合が想定されるため、その場合には、供試体作製にあたり、その影響が評価できる供試体形状や作製方法となっていることが判る情報についても提示ください。</p> <p>③ 上記①2)の曲線上で限界状態 1 の特性値となる可逆性を有する点の提示。</p> <p>④ 試験結果等に基づく破壊形態 (床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか) の説明、および当該破壊点に対し上記 4) で定義した限界状態 1 の特性値の余裕量の提示。</p> <p>⑤ 1) 圧縮応力を分担する繊維補強コンクリートの応力-ひずみ関係のばらつき、引張応力を分担する鋼材等の応力-ひずみ関係のばらつきの状況を既往の試験結果等より提示ください。</p> <p>2) 上記 1) に提示のばらつきが、従来の鉄筋または PC 鋼材と同程度以下であること、および部材の耐荷力評価式のモデル化時の誤差が従来の鉄筋コンクリート構造と同程度以下であることが判るデータを提示ください。</p> <p>※従来の材料や耐荷力評価式のモデル誤差の評価の方法については、「コンクリート道路橋の性能規定及び部分係数設計法に関する調査研究」(土木研究所資料第 4401 号) を参考にしてください。</p> <p>⑥ 上記①~⑤が確認できるとき、プレストレスを導入しない床版の場合は、「部材に生じる曲げモーメントが軸方向を考慮した道路橋示方書 III の式 (5.5.1) に定める制限値を超えない、かつ、式 (5.8.1) に定める制限値を超えない」、また、プレストレスを導入する床版の場合は、「応力度が道路橋示方書 III の表-5.6.1 及び表-5.6.2 の制限値を満足している、かつ、部材に生じる曲げモーメントが、軸方向を考慮した道路橋示方書 III の式 (5.8.1) に定める制限値を超えない」という設計をしていますか？</p> <p>① 1) 床版を構成するコンクリートおよび鉄筋の配置と、曲げモーメントによるひずみ分布を図 a)、コンクリート及び鋼材 (鉄筋) の応力度-ひずみ曲線を図 b) に示します。なお、FRC の引張抵抗は考慮していません。</p>  <p>図 5 . a) 曲げモーメントによるひずみ分布 .b) コンクリート及び鋼材 (鉄筋) の応力度-ひずみ曲線</p> <p>2) 荷重と変位の関係を示す P-δ 曲線を以下に示します。</p>  <p>図 6. 荷重-変位 (P-δ) 曲線</p> <p>※供試体形状・配筋、実験状況等は下記のとおりです。</p>  <p>図 7. 供試体形状・配筋</p>  <p>写真 1. 実験状況</p> <p>添附資料⑥ シボジウム論文</p>	

②試験結果を下表に示します。
 なお、図6のP-δ曲線上に、ひび割れ発生点、引張鉄筋降伏時（限界状態1）の荷重、破壊点（構造安全性喪失限界点）を表示します。

	実験値	計算値	実験値/計算値
曲げひび割れ発生荷重 Pcr (kN)	80	35	2.28
限界状態1（引張鉄筋降伏時荷重） Pyc (kN)	130	117	1.11
破壊点（構造安全性喪失限界点） Pu (kN)	181	140	1.29

表5. 実測値と計算値の比較表

③P-δ曲線に図示する弾性範囲の上限値（引張鉄筋降伏時荷重）を限界状態1とします。

④載荷荷重に対して変位が急激に増大する点を破壊点としています。曲げひび割れ発生、引張鉄筋降伏時及び終局破壊時の荷重の実験値と計算値は上表のとおりです。破壊点に対して限界状態1特性値の余裕は下表のとおりです。

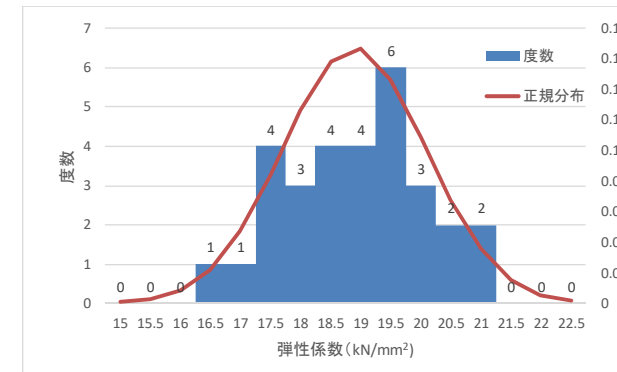
① 破壊点	② 限界状態1の特性値 (引張鉄筋降伏時荷重の実測値)	①/② (余裕量)
181 kN	131 kN	1.39

表6 限界状態1特性値の余裕量

⑤
 1) 繊維補強コンクリート（カナクリート）の応力-ひずみ関係のばらつきは、圧縮強度のばらつきから判断します。

1.2 (1) 図3に示した圧縮強度ヒストグラムより、
 圧縮強度平均値 $\mu = 55.6 \text{ N/mm}^2$
 標準偏差 $\sigma = 5.47 \text{ N/mm}^2$
 変動係数 $V = 5.47/55.6 \times 100 = 9.8\%$

となり、従来のコンクリートと同程度以下とみなせます。
 なおヤング係数の試験結果は下図の通りで、圧縮強度と同様にヤング係数の変動係数は $V = 1.19/18.64 \times 100 = 6.4\%$ となり、圧縮強度の場合より小さな値となっています。



データ数：30
 平均値：18.64kN/mm²
 標準偏差：1.19kN/mm²

図8. 弾性係数ヒストグラム

また、使用する鋼材はJIS規格の異形棒鋼の購入品を使用していますので、道路橋示方書に規定された応力-ひずみ関係が適用できます。購入品の仕様についてはメーカー作成のミルシートにより確認しています。

2) 上記のばらつきに対する考察から、部材としての耐荷力評価式のモデル化に際しての誤差についても従来のコンクリートと同程度以下と判断されます。

⑥
 ・プレストレスを導入しない床版として、道示Ⅲの式(5.5.1)及び(5.8.1)に定める制限値を超えない設計を行っています。

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 4	耐荷性能の確認			
10	(2) プレキャスト床版本体の押抜きせん断力に対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)	<p>(道示 II-11.2.4 床版の最小全厚)</p> <p>(1) 床版の厚さは、設計耐久期間における耐荷性能が確保されるように決定する。</p> <p>(2) (3)及び(4)に従い、かつ、11.5(2)から 11.5(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の車道部分の床版の最小全厚は 160mm とする。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 II-11.3.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.4.2 の規定を満足する場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(道示 II-11.4.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.2.4 の規定を満足する場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p>	<p>①-1</p> <p>・床版の押し抜きせん断耐力に着目した最小全厚を、道路橋示方書 II-11.3.2 および II-11.4.2 に基づく II-11.2.4 に規定する 160mm 以上と設定していますか？</p> <p>①-2</p> <p>・上記①-1 によらない場合、活荷重(T 荷重)による押抜きせん断耐力が確認できており、その耐力が、道路橋示方書 II-11.2.4 に規定する最小床版厚 160mm のときの輪荷重による押抜きせん断耐力と比較して同等以上の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。</p> <p>①-1</p> <p>・道示 II 編 11.2.4 の規定通りに設定しています。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.	
1. 4	耐荷性能の確認				
11	<p>(3) プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷力(限界状態 1・3)</p>	<p>(道示Ⅲ-7.3.1 一般)</p> <p>(1) 部材を剛結となるよう連結し一体の部材とする場合には、接合部において部材としての連続性を失わず、かつ、接合部が部材相互の曲げモーメント、軸方向力、せん断力及びねじりモーメントを着実に伝達するとともに、部材の一般部が限界状態 3 に達したときの断面力を確実に伝達できるようにしなければならない。</p> <p>(2) 1) から 4) を満足する場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>1) 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部では、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担により、断面力を伝達できる構造とする。</p> <p>2) せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部では、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造とする。ただし、接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないよう、接合部が限界状態 1 を超えてからは鋼材が引張応力のみで作用力に対して抵抗し、鋼材が降伏した後に接合部が破壊に至る構造とする。</p> <p>3) コンクリート部材どうしを連結する場合は、7.3.2 及び 7.3.3 の規定による。</p> <p>4) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅲ-7.3.2 同じ機能を有するコンクリート部材の連結)</p> <p>同じ機能を有するコンクリート部材どうしを連結し一体の部材とする場合の接合部は、以下の 1) から 6) を満足しなければならない。</p> <p>1) 接合部への作用により生じる引張力に抵抗するよう接合部に配置された鉄筋が、5.2.5 の規定に従い連結する部材のコンクリートに定着されている又は 5.2.7 の規定に従い連結する部材の主鉄筋に連結されている。</p> <p>2) 連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により、接合面に発生する引張力に抵抗できるよう、十分な鉄筋が配置されている。</p> <p>3) 接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗する。</p> <p>4) 連結される部材と同等の断面を有し、かつ、同等以上の主鉄筋が抵抗に有効となるよう配置されている。</p> <p>5) 接合部における二次応力の影響を十分に小さくできる構造とする。</p> <p>6) 双対の鉄筋をループ状に重ねた継手により部材を連結する場合は、7.6 の規定による。</p>	<p>プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。</p> <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部については、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担等、接合部の断面力を伝達するための要素とその伝達機構の説明。 上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部については、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造としての評価方法(設計方法)。 上記のせん断力及びねじりモーメントを受ける接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないための耐荷機構の説明。 上記の評価方法や耐荷機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部に発生する引張力に抵抗するよう鉄筋を配置する場合には、鉄筋とコンクリートが一体となって働くこと、および鉄筋とコンクリートとの間の応力伝達が確実に伝達するための鉄筋の定着構造の概要とその応力伝達機構の説明。 上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> 連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により接合部に生じる引張力等内部応力の評価方法 上記の応力伝達機構の説明。 <p>⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗することの確認結果。 <p>⑥ 連結される部材と同等以上の抵抗性能を有していることの確認結果。</p> <p>⑦ 接合部における二次応力の影響を小さくするための配慮事項。</p> <p>①～⑦-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①～⑦によらない場合、下記についての情報を提示ください。 限界状態 1 にいたるまでの接合部の剛性がプレキャスト床版部と同等以上であることの確認結果。 限界状態 1 にいたるまでの間に接合部に集中したひび割れが生じないことの確認結果。 限界状態 3 に達するまでの間に接合部の破壊が床版の破壊に先行しないことの確認結果。 	<p>①～⑦-2</p> <p>1) 及び 2) : 実験結果による考察</p> <p>最終走行試験荷重 392kN に至るまでの版中央における総たわみが、荷重の増加に比例して安定的に増加する傾向を示しており、継手を含む供試体が弾性状態を保持しているものと判断されました。この間、床版本体及び継手間詰め部のいずれにも、局所的な破壊はもちろんのこと目立ったひび割れも生じていないことが確認されています。このことにより、限界状態 1 における接合部の剛性は床版本体と同等以上であると判断します。</p> <p>輪荷重走行試験における床版たわみは下図のとおりです (L 字重ね合わせ継手及びどん突継手)。</p> <div data-bbox="1988 609 2671 1155"> <p>カナクリート床版輪荷重走行試験結果 (L 字重ね合わせ継手:たわみ-走行回数)</p> <p>※52万回の段差は床版再設置によるもの。</p> </div> <div data-bbox="1988 1239 2671 1785"> <p>カナクリート床版輪荷重走行試験結果 (どん突継手:たわみ-走行回数)</p> </div>	<p>図 9. 輪荷重走行試験における床版たわみ</p>

3) : 実験結果による考察
 実験は上述のように荷重 392kN を最終荷重として終了しています。この段階での鉄筋に生じていたひずみ (応力度) は、床版本体部で 850μ ($170\text{N}/\text{mm}^2$)、継手部で 700μ ($140\text{N}/\text{mm}^2$) でいずれも降伏応力度に達していません。鉄筋量はつり合い鉄筋比以下としているため、コンクリートの圧縮ひずみも終局ひずみに達していないこととなります。したがって今回の実験にて限界状態 3 に達するまでに接合部の破壊が床版本体の破壊に先行しないと結論付けられませんが、継手部が十分に高い荷重伝達機能を有していると推定されます。

※ (接合部の形状・配筋)

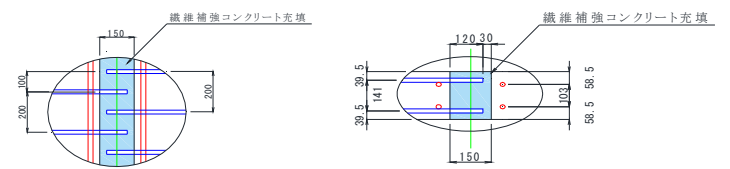
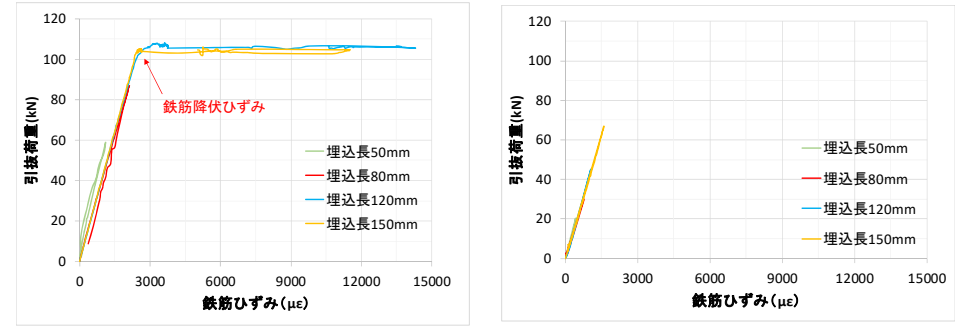


図 10. 接合部形状・配筋 (どん突継手)

※ (接合部の荷重伝達機構)

接合部に作用する曲げに対して鉄筋に引張応力が作用し、付着力を介してコンクリートに伝達されます。付着力は周囲のコンクリートのせん断力によって他方の鉄筋へ付着力を介して伝達されることから、連続した鉄筋が配置されている場合と同等の効果をもたらしています。通常の鉄筋の重ね継手と同じ原理ですが、コンクリート (カナクリート) の付着強度が高いため、本供試体のように接合部の鉄筋のラップ長さが短くとも荷重伝達がなされているものと考えます。付着力については、鉄筋の引き抜き試験を行って、鉄筋の破断が先行することを確認しています。試験結果は下図に示すように、カナクリート間詰め材の場合、埋込長 50mm の場合を除き鉄筋降伏以上の引抜力に耐えています。



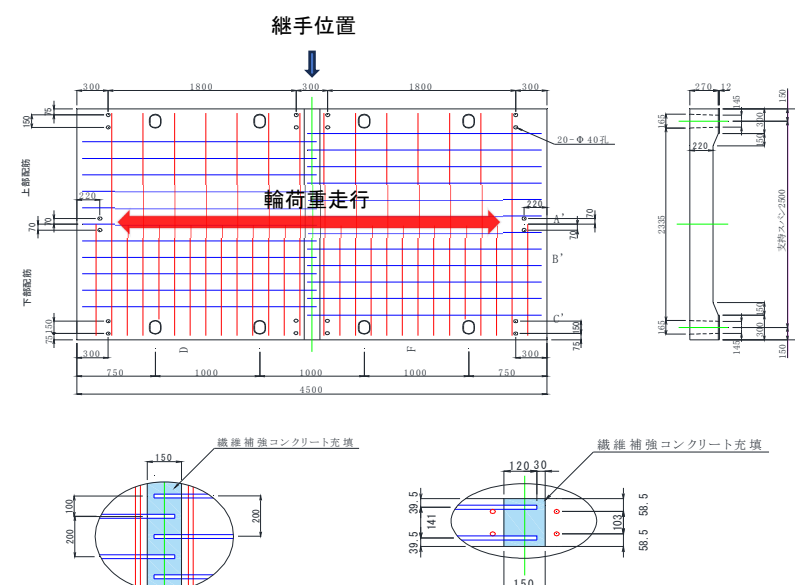
カナクリート間詰め材 普通コンクリート

図 11. 引抜荷重-鉄筋ひずみ曲線

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.	
1. 5	疲労に対する耐久性能の確認	<p>(道示 II-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) <省略></p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版は 11.2 から 11.7 の規定、鋼床版は 11.8 から 11.11 の規定による場合には、(1) から (3) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.5 コンクリート系床版の疲労に対する耐久性能)</p> <p>(1) 11.2 の規定を満足する鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版が、自動車の繰返し通行に伴う疲労に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2) から (11) を満足する場合には、所用の床版の耐久性能を満足するとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) <省略></p> <p>(8) <省略></p> <p>(9) <省略></p> <p>(10) <省略></p> <p>(11) <省略></p>	<p>①-1</p> <p>・疲労耐久性に着目した最小床版厚を、道路橋示方書 II-11.5(2)～(5) に規定する床版厚としていますか？</p> <p>①-2</p> <p>・上記①-1 によらない場合、コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、当該技術が最小床版厚とする版厚において、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっていることについての設計計算上の確認結果を提示ください。</p> <p>※道路橋示方書が定める疲労耐久性に着目した最小床版厚の設定根拠は、下記によっております。</p> <p>「コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっているために必要な床版厚」：鋼道路橋床版の設計に関する暫定基準（案）および施工に関する注意事項 道路 1968-10</p> <p>②-1</p> <p>・コンクリートの疲労によるひび割れ量を制限することを目的に、道路橋示方書が II-11.5 (7)、(8) で規定する床版各部に生じる応力度の上限値を満足するよう設計することとしていますか？</p> <p>②-2</p> <p>・上記②-1 によらない場合、③ で実施する輪荷重走行試験の試験過程において、T 荷重レベルの繰返し荷重載荷の段階においては、過大なひび割れが発生していないこと、また試験過程の全般にわたり、床版に発生するたわみが RC08 床版のそれと比較して同等かそれ以下であることの確認結果を提示ください。</p>	<p>①-1</p> <p>・床版厚の設定は、道示 II 編 11.5.2(2)～(3) の規定に従っています。</p> <p>② -1</p> <p>・床版各部に生じる応力度は、道示 II 編 11.5(7)(8) に規定する制限値を上限値として設計します。</p> <p>※ここで示す実験に用いた供試体においては引張鉄筋の許容応力度を 200N/mm² と大きく仮定しているため、鉄筋量が少な目ですが、試験結果から耐久性に問題はないものと判断されます。当面、道示 II 編 11.5(7)(8) に規定する制限値を上限値としますが、鉄筋量の低減の可否については、今後の課題にしたいと考えます。</p>	

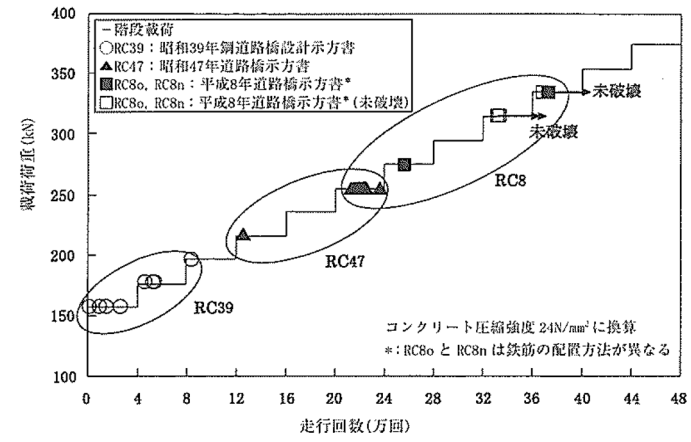
12

—

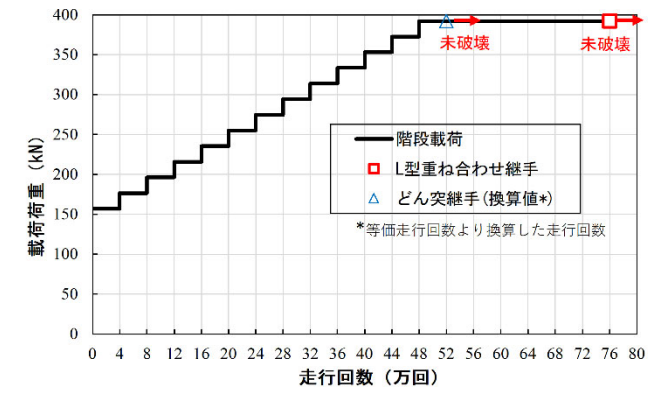
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 5	疲労に対する耐久性能の確認	(続き)	<p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> RC08 床版と同じ設計条件で設計した当該技術の床版を用い、かつ接合部を有する床版の場合には、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製した上で、RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の条件（輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数）による試験を実施することにより、破壊荷重および破壊に至るまでの走行回数が RC08 床版と同等以上であること分かる確認結果を提示ください。 当該試験結果により破壊に至る形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）を説明ください。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記③の輪荷重走行試験により接合部の損傷が先行しないことが確認されている結果を提示ください。 <p>※本項で求める輪荷重走行試験については以下を基本としています。</p> <ol style="list-style-type: none"> RC08 床版とは、平成 8 年版道路橋示方書に従い設計した RC 床版とする。 供試体は、RC08 床版と同じ設計条件で設計した以下の供試体を使用する。 <ul style="list-style-type: none"> 支間 3m の連続床版（もしくは支間 2.5m の単純床版）に当該技術の床版を適用する場合の技術所定の設計方法により設計された床版。なお RC08 床版では最小版厚規定や交通量に伴う床版厚の割り増しを考慮しているが、供試体作製にあたっては、あくまでも当該技術の所定の設計方法によって決定した床版構造の供試体とする。 接合部を有する床版の場合には、下記点に留意し、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製する。 想定する接合部の方向（輪荷重走行方向に設ける接合部か、もしくは走行と直角方向に設ける接合部か）と、輪荷重走行方向に設ける接合部の場合は接合部の位置（床版支間に対する位置）に着目し、実際の接合部に発生する応力度を適切に評価できる位置に接合部を設置する。 RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数により試験を実施する。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> RC08 床版（支間 2.5m、床版厚 250mm）の試験結果（破壊時荷重：275kN、走行回数：255,649 回）と比較（破壊形態及び破壊時荷重（破壊耐力）まで）。  <p>図 12. 試験体構造図</p> <p>※L 型重ね合わせ継手 157kN から 392kN の階段状漸増荷重で実施した後、392kN で 24.7 万回追加走行を行い、未破壊であった為、終了した。なお、走行開始時から水張状態で実施した。本試験の基準荷重 157kN における等価走行回数は 6.10×10^{12} 回となる。ただし、等価走行回数は以下式により算出した。</p> $N_{ep} = \sum (P_i/P)^m \cdot n_i$ <p>ここに、N_{ep}：基準荷重における等価走行回数 P_i：載荷荷重 P：基準荷重 (= 157kN) m：S-N 曲線の傾きの逆数（土研式：18.35） n_i：各荷重における走行回数</p> <p>※どん突継手 本試験は 250kN 10 万回後、274.6kN から 4 万回毎に 19.6kN 増加させ、最終 392kN まで階段状漸増荷重で行い、未破壊であった為、終了した。なお、250kN 10 万回は乾燥状態で実施し、274.6kN 以降は水張状態にて実施した。本試験の基準荷重 157kN における等価走行回数は 1.290×10^{12} 回であり、157kN からの階段状漸増荷重における等価走行回数 1.290×10^{12} 回と同等である。等価走行回数は上記の式にて算出した。</p>	

・試験は土研式の漸増荷重方法で実施し、10万回までは乾燥状態、その後10万回以降は水張りをした状態というこれまでにない過酷条件（RC床版で水を張った疲労実験では、乾燥状態の疲労寿命の1/100に低下する）ですが、最終段階まで問題なく耐えており、高耐久性を有している事を確認しています。

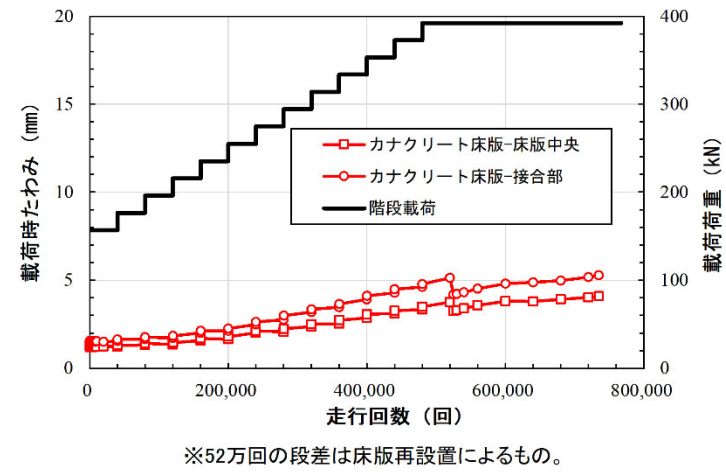
道示Ⅲ 図-解 9.1.1



カナクリート床版輪荷重走行試験結果
(荷重-走行回数)



カナクリート床版輪荷重走行試験結果
(L字重ね合わせ継手:たわみ-走行回数)



カナクリート床版輪荷重走行試験結果
(どん突継手:たわみ-走行回数)

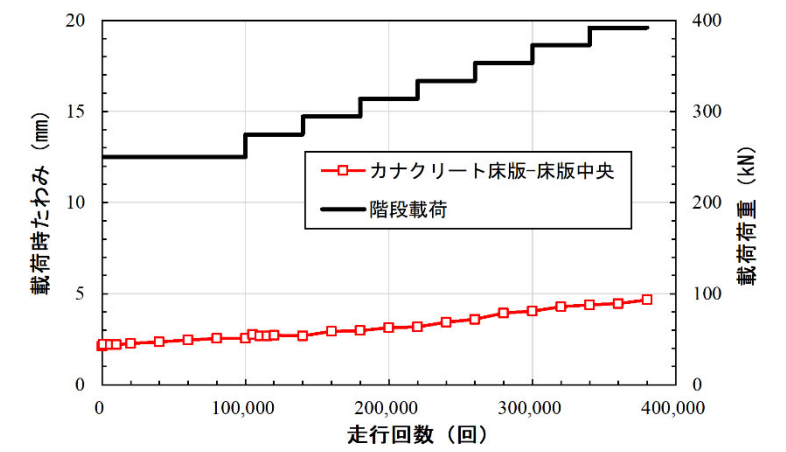


図 13. 輪荷重走行試験結果 (RC08 床版との比較)

④ RC08 床版は輪荷重 260~320kN の間で押し抜きせん断破壊をする場合があるのに対して、今回のカナクリート床版は階段載荷 392kN の輪荷重に対しても健全に耐えることが実験で確認されました。また、下図に示すひび割れ発生図からみられるように接合部の損傷が先行するという事象はありませんでした。下記に荷重・走行回数の各段階におけるひび割れ状況図を示します。

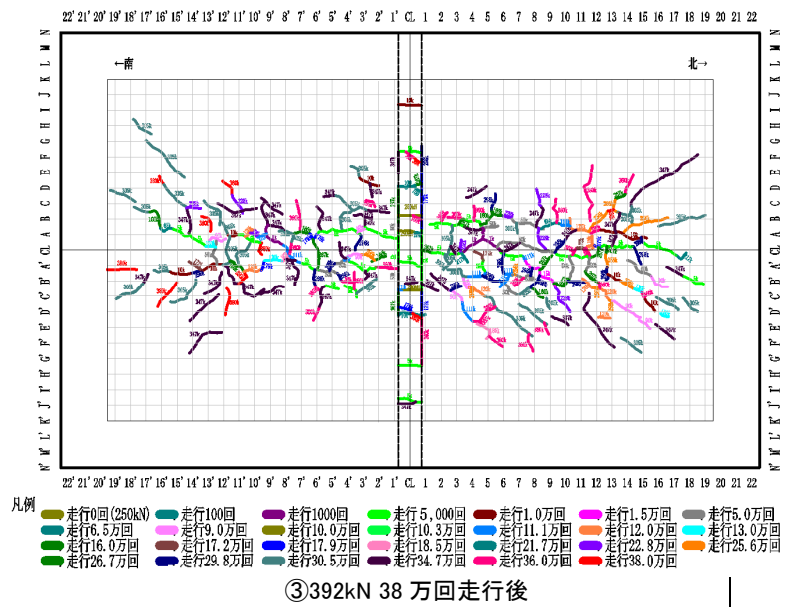
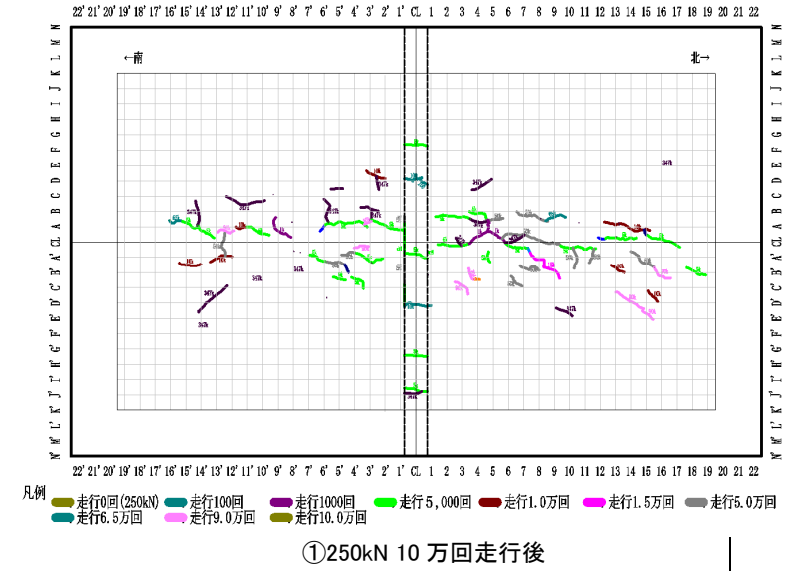
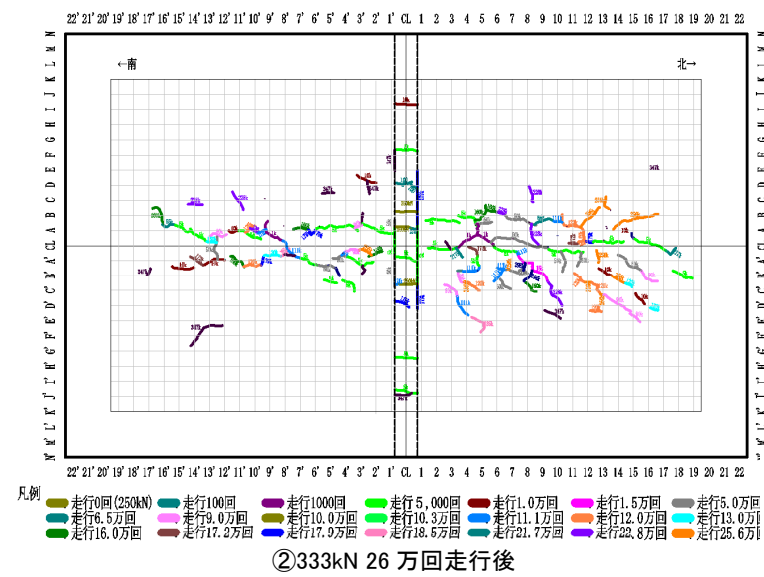


図 14. 床版ひび割れ状況図

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 6	内部鋼材の腐食に対する耐久性能の確認	<p>(道示 II-11.6 コンクリート系床版の内部鋼材の腐食に対する耐久性能)</p> <p>(1) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版における内部鋼材の腐食に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2)及び(3)を満足する場合には、所要の部材の耐久性能が確保されるとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(道示 III-6.2.1 一般)</p> <p>コンクリート部材は、6.1(3)により当該部材に定めた設計耐久期間内において、内部鋼材の腐食により部材の耐荷性能が低下することがないようにしなければならない。</p> <p>(道示 III-6.2.3 かぶりによる内部鋼材の防食)</p> <p>(1) かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には、架橋地点の環境、橋の部位及び規模、部材の形状を考慮し、少なくとも(2)及び(3)に規定する最小かぶりを満足したうえで、適切なかぶりを確保する。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 永続作用支配状況での設計において、FRC 床版のコンクリートに生じる応力度により、床版に配置されている鋼材の腐食について有害なひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>※本項は床版内に配置される鉄筋等の鋼材に加え、床版コンクリートに混入される鋼材繊維の腐食に着目しています。参考までに、本項に関する要求性能として道路橋示方書では、鉄筋の引張応力度が 100N/mm² 以下となるよう規定しており、この応力度に到達した際のひび割れ幅やひび割れ間隔の発生状況を、腐食に対する耐久性に影響を及ぼし始めるひび割れ限界の目安として規定しています。</p> <p>※内部に腐食する鋼材や鋼繊維を使用しない床版の場合、もしくはプレストレスを導入する床版の場合で引張応力が発生しないことを設計方針としている場合は、回答不要です。</p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には、道示 III-6.2.3 に準拠した設計を行うこととしていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1 によらない場合、塩化物イオンに対する拡散係数について従来のコンクリートとの相対比較で評価し、従来コンクリートと同等の内部鋼材の腐食に対する耐久性能が確保できていることが判るデータを提示ください。 <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋は使用しますが、補強繊維に鋼繊維は使用しません。 道示 II-11.6 にしたがって、死荷重による曲げモーメントに対して鉄筋引張応力度は 100N/mm² 以下となるように設計しています。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 道示 III 編 6.2.3 の最小かぶりの規定に従っています。 	

2. 施工に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 1	プレキャスト床版の製作についての確認	<p>(道示 III-17.3 施工要領書) 施工にあたっては、設計の前提条件及び施工段階で定めた事項等を満足する施工が行われることを確認できるよう、施工の手法、手順、検査の方法等に関する要領を定めなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.1 一般) プレキャスト部材を用いた構造物の施工にあたっては、所要の品質、精度が確保できるようプレキャスト部材の製作、運搬、保管、連結について、あらかじめ計画を立て、安全に施工されなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.2 部材の製作) (1) プレキャスト部材は、所要の施工精度を満足するように製作されなければならない。 (2) <省略> (3) プレキャスト部材は、製作にあたり製作に関わる資材、加工及び組立てについて記された施工要領書が作成されなくてはならない。 (4) プレキャスト部材は、加工及び組立て段階において所定の方法で施工されていることが確認されなくてはならない。</p>	<p>①プレキャスト床版製作時の品質管理について ・プレキャスト床版を製作する際の計量、練り混ぜ、養生、部材寸法精度などの品質管理方法については、プレキャスト床版は JIS A 5364、プレストレストコンクリート床版は JIS A 5373 に示されています。本要領では、これらの JIS にしたがった品質管理が望ましいと考えています。上記 JIS を適用されていますか？あるいは上記 JIS と同等の管理をされていますか？ JIS と同等の管理がされていることを提示ください。</p> <p>②繊維の配向・分散の確認について ・繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ 再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>① ・コンクリート製品を製造する各工場は、JIS A 5371 の認定書を取得しており、これに従った品質管理を行っています。</p> <p>② ・練り混ぜについてはノウハウになる為、詳細は提示できませんが、打設に際しては配向性・分散に留意しています。計量、練り混ぜ、養生、部材寸法精度など、製作方法はマニュアル化されており、そのマニュアルに従った方法で製作した供試体で、これまで提示した耐荷性能確認試験などを行っています。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 2	プレキャスト床版の施工性の確認	<p>(道示 II-11.7 コンクリート系床版の施工時の前提条件)</p> <p>(1) 床版は、コンクリート打設時に生じるたわみにより、硬化中のコンクリートのひび割れ、床版の疲労に対する耐久性を損なう有害な局部変形及び応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(2) プレキャスト部材を用いる場合には、運搬時及び設置時に作用する荷重に対して、局部変形や応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版の最小全厚は施工性を考慮し、道路橋示方書 II 編 11.2.4 に示される 160mm 以上としますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記によらない場合、道路橋示方書に示される床版の最小全厚 160mm 以上の床版の施工と同様に確実に施工が行われることを確認されている根拠を提示ください。 <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・道示 II 編 11.2.4 の規定通り 160mm 以上としています。 	
15	-			

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 3	プレキャスト床版接合部の施工品質の確認			
16	-	<p>(道示 IIII-17.12.4 連結)</p> <p>(1) プレキャスト部材の連結は、使用する材料に最も適する施工方法を検討し、強度、耐久性、水密性等所要の品質が得られるように入念に行われなければならない。</p> <p>(2) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版同士の接合部の施工品質の確認方法として、次の2つの項目についての施工後の確認要領について提示ください。 <ul style="list-style-type: none"> 1)接合部に求める所定の強度が得られていることの確認方法 2)有害な初期ひび割れが発生しないことの確認方法（配合の妥当性確認に加え、実施工での初期ひび割れが発生しなかったことの確認要領等） <p>※接合部の品質を確保するための施工方法について、下記 a)、b) のマニュアルに照査の考え方、品質管理項目、検査項目が示されています。</p> <p>a) 「鋼道路橋 PC 床版の施工品質向上策に関する検討 (I) PC 床版施工マニュアル (案)・施工管理要領 (案) プレキャスト PC 床版編 (H15.8 国総研資料第 121 号)」</p> <p>b) 「プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領 (H30.3 JPCI) 4.6 床版相互の接合」</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部においても繊維補強コンクリートを使用する場合は、その繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ <p>再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>①</p> <p>1) 接合部コンクリートに求められる強度は圧縮強度及び付着強度ですが、圧縮強度の確認により行うことができると考えています。配合・練り混ぜは工場内で行う場合と同一で養生条件のみ異なります。したがって現場と同一条件で打設・養生した供試体の圧縮強度試験を行って所要の強度が得られているか確認しています。</p> <p>2) 配合において乾燥収縮によるひび割れ・肌離れを防止するため収縮補償用膨張コンクリートを使用するほか、打設箇所の清掃・適度な湿潤状態の維持、打設時の気象状況等に配慮します。このような管理方法により、実験においても初期ひび割れの発生はありません。</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部においても床版本体と同じ繊維補強コンクリートを使用しており、製作方法も工場における場合と基本的に同様です。マニュアル化されており再現性は確保されています。 	

3. 維持管理に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

3. 1 維持管理の确实さの確認

(道示 I-1.3 設計の基本理念)
 橋の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、維持管理の确实性及び容易さ、施工品質の確保、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。

① 既往の疲労試験結果等により得られるひび割れ進展形態をもとに、供用後の橋梁定期点検等維持管理において役立つ、ひび割れ評価の概略図を提示ください。(例：橋梁定期点検損傷度評価指標 (下図))

状態	1方向ひびわれ			2方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	漏水・遊離石灰	性状	ひびわれ	漏水・遊離石灰
a		損傷なし	なし	-		
b		・ひびわれは主として1方向のみ ・最大ひびわれ幅は0.1mm以上 ・最大ひびわれ幅は0.05mm以下 (ヘアークラック程度)	なし	-		
c		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m程度以上 ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし
d		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m~0.2m ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし
e		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	あり
			なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	なし
f		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり
			なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	なし

① 1) 輪荷重走行試験結果より、以下の結果が得られています。
 (床版一般部)
 ・392kN 載荷時までには 0.2mm 以上のひび割れは発生していない。
 ・漏水なし。
 (床版継手部)
 ・最初の数千回の載荷でひび割れが発生したが、ひび割れ幅は 0.1mm 以下の微細なひび割れであった。
 ・その後、26 万回位から 0.2~0.3mm に開いたが、ひび割れ面の劣化はないうまま最終回 (392kN 載荷) まで耐えた。
 ・10 万回まで乾燥状態、その後水張りをした状態で載荷試験を行ったが、11 万回位で継手部において 2 か所から漏水 (滲み程度) が認められたが、いずれも途中から停止した。

2) 最終段階までのひび割れ発生状況は以下の通りです。
 ・ひび割れは格子状
 ・格子の大きさは 0.2m 程度
 ・ひび割れ幅は 0.1mm 以下が主 (継手部にて一部 0.2~0.3mm)。
 ・漏水、遊離石灰等はなし (継手部において一部滲みあり)。
 各段階のひび割れ状況は、“1.5 疲労に対する耐久性能の確認”の図 14 に示したとおりです。最終時のひび割れ状況図を以下に再掲します。

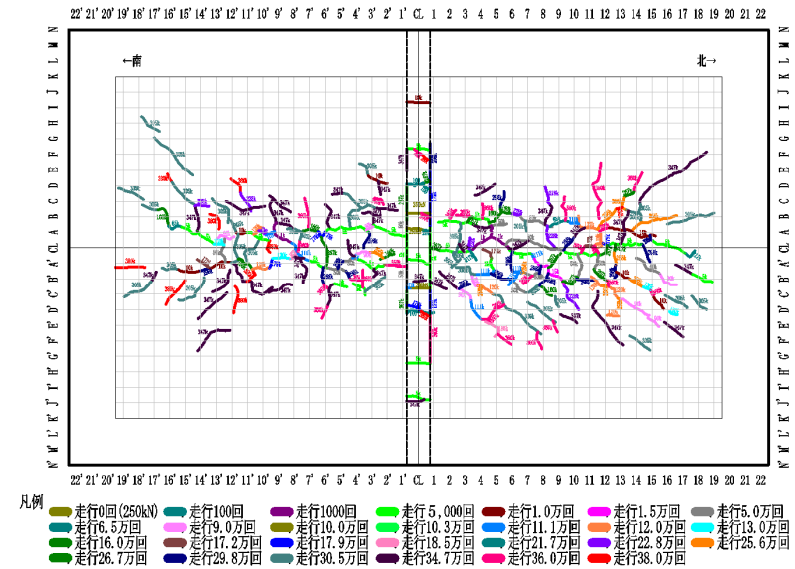


図 15. 床版ひび割れ状況図 (最終時：392kN・38 万回走行)

※ひび割れは初期のうちは主筋に沿うように支間方向に生じ (一方向ひび割れ)、次に、主筋方向のひび割れに伴って配力筋方向の剛性が低下することにより、配力筋方向にもひび割れが生じてきました (二方向ひび割れ)。格子の大きさ及びひび割れ幅は走行回数の増加に伴って増加しましたが、最終段階においても、格子の大きさは 0.2m 以下、ひび割れ幅はほとんどが 0.1mm 以下と小さなものでした。また漏水・遊離石灰等の発生もありませんでした。
 このように、荷重による劣化は従来のコンクリート床版と同じ過程をたどると考えられますが、劣化の進展速度・劣化程度はかなり抑えられるものとみられます。

添付資料⑦

付録-3 ESCON スラブ

開発者名：株式会社エスイー

1. 技術の概要に関する確認

繊維補強コンクリート床版としての技術の概要に関する確認事項

NO.	着目する項目	技術開発者記入欄	資料 No.																																
	技術名称 (同 副題)	ESCON スラブ																																	
	開発者名	株式会社 エスイー																																	
	NETIS 登録状況	無し (同構造の歩道用床版としては登録あり：QS-210060-A)																																	
	特許等取得状況	無し																																	
	第三者機関等の証明情報	無し																																	
-	施工実績	<p>・施工実績がある場合は、施工実績表を別途添付ください。</p> <p>施工実績なし ただし同構造の歩道用床版として以下表の実績あり</p> <table border="1" data-bbox="1596 787 2650 1129"> <caption>表 歩道用床版の施工実績</caption> <thead> <tr> <th>件名</th> <th>発注者</th> <th>規模</th> <th>施工年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>梅崎橋(香月楠橋1号線)橋梁補修工事</td> <td>北九州市</td> <td>橋長 37.56m、全幅 1.75m</td> <td>2017年3月</td> </tr> <tr> <td>坂之上人道橋補修工事</td> <td>鹿児島市</td> <td>橋長 15.05m、全幅 2.5m</td> <td>2020年11月</td> </tr> <tr> <td>令和3年度135号道路維持(災害工事費)工事(稲取横断歩道橋復旧工)</td> <td>静岡県</td> <td>橋長 14.00m、全幅 1.9m</td> <td>2022年12月</td> </tr> <tr> <td>道路メンテナンス工事(中坪橋補修)</td> <td>秋田県</td> <td>橋長 7.5m、全幅 1.8m</td> <td>2023年3月</td> </tr> <tr> <td>道路メンテナンス事業 市道南町浅川線(濁川橋歩道橋)橋梁補修工事</td> <td>福島市</td> <td>橋長 21.44m、全幅 1.8m</td> <td>2023年4月</td> </tr> <tr> <td>市道馬場・小町線槻ノ木橋橋梁補修工事</td> <td>湯沢市</td> <td>橋長 10.94m、全幅 1.72m</td> <td>2023年4月</td> </tr> <tr> <td>二級河川沢川筋新中の橋ポンプゲート設置及び樋門改築工事</td> <td>岩手県</td> <td>5.5m×2.5m</td> <td>2023年6月</td> </tr> </tbody> </table>	件名	発注者	規模	施工年	梅崎橋(香月楠橋1号線)橋梁補修工事	北九州市	橋長 37.56m、全幅 1.75m	2017年3月	坂之上人道橋補修工事	鹿児島市	橋長 15.05m、全幅 2.5m	2020年11月	令和3年度135号道路維持(災害工事費)工事(稲取横断歩道橋復旧工)	静岡県	橋長 14.00m、全幅 1.9m	2022年12月	道路メンテナンス工事(中坪橋補修)	秋田県	橋長 7.5m、全幅 1.8m	2023年3月	道路メンテナンス事業 市道南町浅川線(濁川橋歩道橋)橋梁補修工事	福島市	橋長 21.44m、全幅 1.8m	2023年4月	市道馬場・小町線槻ノ木橋橋梁補修工事	湯沢市	橋長 10.94m、全幅 1.72m	2023年4月	二級河川沢川筋新中の橋ポンプゲート設置及び樋門改築工事	岩手県	5.5m×2.5m	2023年6月	
件名	発注者	規模	施工年																																
梅崎橋(香月楠橋1号線)橋梁補修工事	北九州市	橋長 37.56m、全幅 1.75m	2017年3月																																
坂之上人道橋補修工事	鹿児島市	橋長 15.05m、全幅 2.5m	2020年11月																																
令和3年度135号道路維持(災害工事費)工事(稲取横断歩道橋復旧工)	静岡県	橋長 14.00m、全幅 1.9m	2022年12月																																
道路メンテナンス工事(中坪橋補修)	秋田県	橋長 7.5m、全幅 1.8m	2023年3月																																
道路メンテナンス事業 市道南町浅川線(濁川橋歩道橋)橋梁補修工事	福島市	橋長 21.44m、全幅 1.8m	2023年4月																																
市道馬場・小町線槻ノ木橋橋梁補修工事	湯沢市	橋長 10.94m、全幅 1.72m	2023年4月																																
二級河川沢川筋新中の橋ポンプゲート設置及び樋門改築工事	岩手県	5.5m×2.5m	2023年6月																																

- 技術の概要
- ①床版本体の構造概要
 - ②床版同士の接合部の構造概要
 - ③当該技術の特徴
 - ④製品としてのシリーズに関する情報

- ①
- ・床版本体の構造概要が判る図を掲載ください。
 - ・床版の概要として、床版を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方(曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む)を記載ください。

- ①
- 下図に ESCON スラブの構造図(例)を示す。
- ・ ESCON スラブは鉄筋、およびコンクリートにより構成される。
 - ・プレストレス導入無し。
 - ・RC 構造のため、引張側コンクリートを無視した断面にて設計を行う。

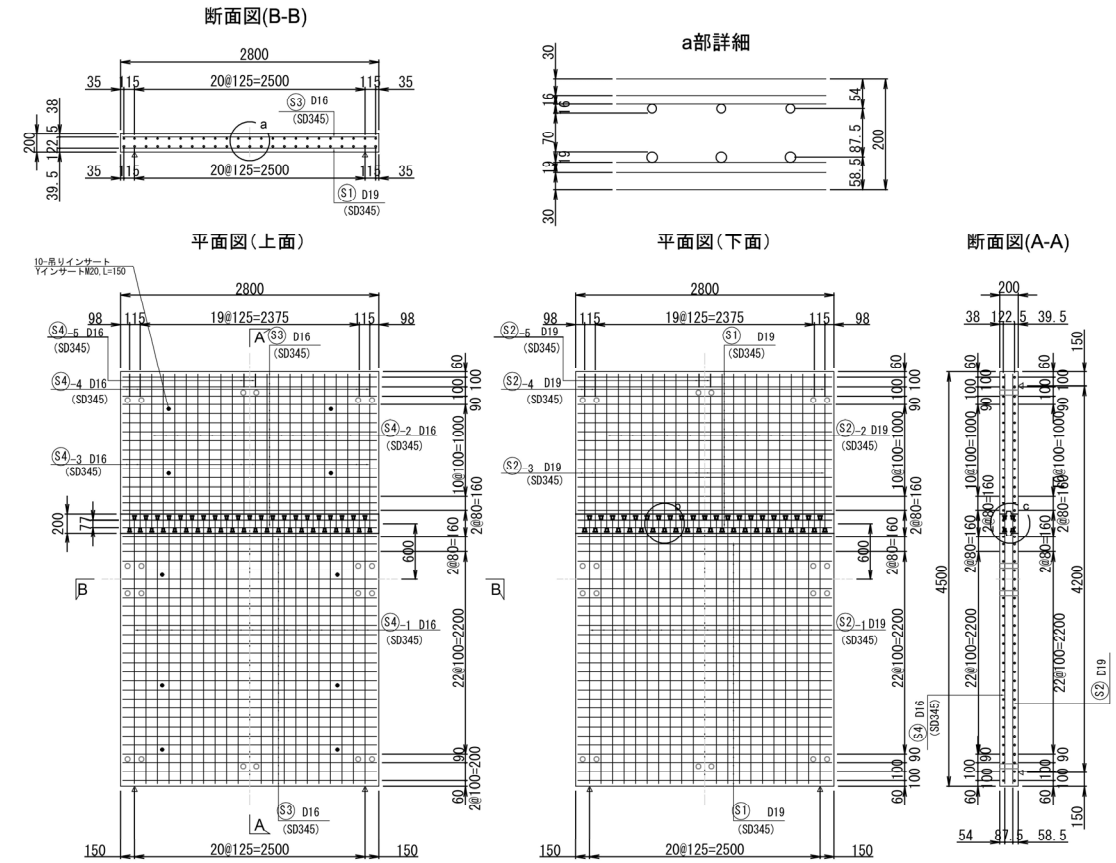


図 床版構造図(例)

- ②
- ・橋軸方向の接合部、橋軸直角方向の接合部に分けて、接合部の構造概要が判る図を掲載ください。(ただし、想定していない接合部はその旨記述し、内容を省略いただいて結構です。)
 - ・接合部の概要として、橋軸方向、橋軸直角方向の各々について、接合部を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方(曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む)を記載ください。

- ③
- ・当該技術の特徴(セールスポイント)を簡潔に説明願います。(特に、従来の RC 床版や PC 床版と比較した場合の優れている点等)

- ④
- ・プレキャスト床版の製品としてシリーズが既に準備されている場合には、その製品群に関する情報(カタログ等)を添付ください。

- ②
- 橋軸直角方向の接合構造は現在検討中のため、以下橋軸方向の接合部についてのみ示す。下図に ESCON スラブの接合部(橋軸方向)の構造図(例)を示す。

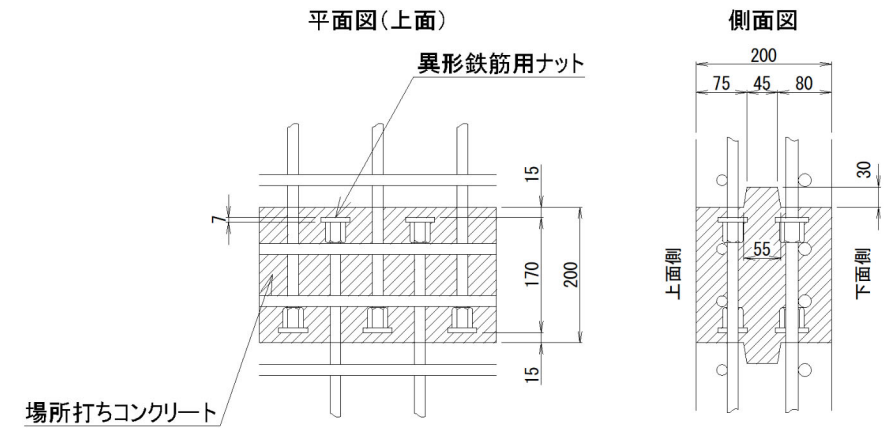


図 床版接合部構造図(例)

- ・鉄筋、異形ナット、場所打ちコンクリート(本体と同様の材料)にて構成される。
- ・プレストレス導入無し
- ・有効断面の考え方は床版本体部と同様とする。

- ③
- ESCON スラブは超高強度合成繊維補強コンクリート(ESCON)を用いた RC 床版である。高強度材料を使用することにより、従来の RC 床版と比較し薄型・軽量となり、さらに疲労耐久性の向上が図れる。また、ESCON は各種劣化因子の侵入に対して高い抵抗性を有する材料であるため、高い耐久性が期待できる。

- ④
- 資料 0.1 に ESCON スラブのカタログを示す。

資料 0.1

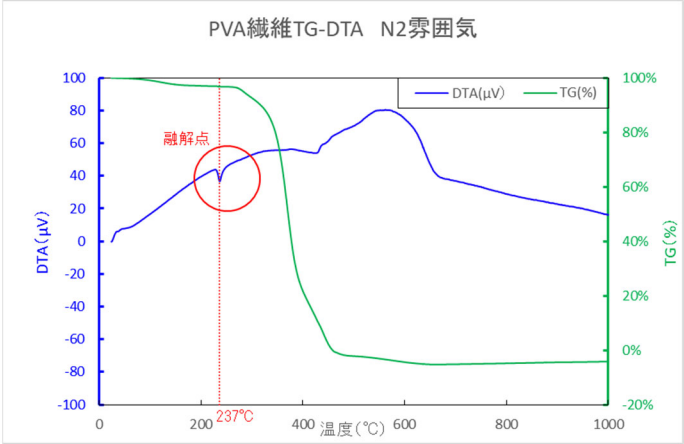
II. 性能の確認

1. 設計に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1	使用材料に求める事項の確認		
1	(1) 補強鋼材	<p>(道示 I-9.1 鋼材)</p> <p>(1) 鋼材は、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそり等の形状寸法等の特性や品質が確かなものでなければならない。</p> <p>(2) 表-9.1.1<省略>に示す鋼材は、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版に使用する補強鋼材を提示ください。また、その鋼材が道路橋示方書 I 編 9.1 表-9.1.1 に示す鋼材の場合、JIS 規格を提示ください。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性や品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>※コンクリート床版に使用する線材、棒鋼等の鋼材等は、製造時に材料としての特性や品質が決定されるため、その特性や品質が確保されていることを使用上の前提条件としています。道路橋示方書 I 編 9.1 では、JIS に適合し、かつこれまでに十分な使用実績がある鋼材については、特性が明確で一定の水準以上の品質を有するとみなしてよいとされています。</p> <p>①</p> <p>補強鋼材は SD345 (JIS G3112 に適合) を使用する。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 1 使用材料に求める事項の確認

2	<p>(2) 繊維補強コンクリートの構成材料</p>	<p>(道示 I-9.2.1 一般) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.2 コンクリート材料) (1) コンクリートに用いる材料は、次に示すものを使用しなければならない。 1) セメントは、比表面積、凝結時間、圧縮強さ、有害成分の制限等の特性や品質が確かなものでなければならない。 2) 水には油、酸、塩類、有機物等の有害物が含まれてはならない。 3) 細骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、ごみ、泥、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 4) 粗骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、薄い石片、細長い石片、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 5) 混和材料として用いる混和剤及び混和材は、コンクリートの特性や品質の改善に対する効果及びその特性や品質が確かなものとする。 (2) 表-9.2.1<省略>に示す規格又は規定に適合する材料については、上記品質を有するとみなしてよい。 (3) フレッシュコンクリート中に含まれる塩化物イオンの総量は、0.3kg/m³以下とする。</p>	<p>①-1 ・道路橋示方書 I 編 9.2.2、表-9.2.1 に示す規格又は規定に適合する材料を使用していますか？ セメント、混和材料、水、骨材、細骨材、混和材それぞれについて JIS 規格を提示ください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・補強用繊維について、繊維の種類（材質）及び品質管理項目を提示ください。また、合成繊維を使用する場合は、耐熱性、耐アルカリ性について根拠資料を提示ください。</p> <p>②-2 ・上記②-1 によらない場合、耐熱性、耐アルカリ性の試験結果を示すことに加え、実際の繊維補強コンクリートを長期間屋外に暴露した結果等を用いて、繊維補強コンクリートに対する経年の影響について説明できる根拠資料を提示ください。</p>	<p>①-1 以下に各材料の諸元を示す。 ・ベースセメント：JIS R5210 に適合した低熱ポルトランドセメント ・混和材：JIS A6207 に適合したシリカフェーム ・膨張材：JIS A6202 に適合した膨張材 ・水：JIS A5308 付属書 C に適合する回収水以外の水 ・骨材：(使用しない) ・細骨材：珪砂 ・混和剤：JIS A6204 に準拠した高性能減水剤</p> <p>①-2 細骨材の品質は以下に示す項目について試験を行い確認する。</p> <p style="text-align: center;">表 細骨材の品質管理項目</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>品質</th> <th>試験方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>粒径(mm)</td> <td>2.0 以下</td> <td>JISA1102</td> </tr> <tr> <td>吸水率(%)</td> <td>3.0 以下</td> <td>JIS A1109</td> </tr> <tr> <td>塩化物量(NaClとして)(%)</td> <td>0.02 以下</td> <td>JIS A5002</td> </tr> <tr> <td>アルカリシリカ反応性</td> <td>区分 A</td> <td>JISA 1145 又は 1146</td> </tr> </tbody> </table> <p>② 繊維の種類は PVA(ビニロン)繊維とする。 品質管理項目を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 繊維の品質管理項目</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>品質</th> <th>試験方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>繊維長</td> <td>mm</td> <td>12±2.0</td> </tr> <tr> <td>引張強度</td> <td>MPa</td> <td>975±182</td> </tr> <tr> <td>引張伸度</td> <td>%</td> <td>9.0±3.0</td> </tr> <tr> <td>ヤング率</td> <td>GPa</td> <td>27.3±3.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>【耐熱性】 PVA の融点を超えない範囲での使用とする。 使用する PVA 繊維にて実施した TG-DTA(示差熱-熱重量)分析の結果を示す。 試験結果より推定される融点は 237°C である。</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">図 TG-DTA 分析結果</p> </div>	項目	品質	試験方法	粒径(mm)	2.0 以下	JISA1102	吸水率(%)	3.0 以下	JIS A1109	塩化物量(NaClとして)(%)	0.02 以下	JIS A5002	アルカリシリカ反応性	区分 A	JISA 1145 又は 1146	項目	品質	試験方法	繊維長	mm	12±2.0	引張強度	MPa	975±182	引張伸度	%	9.0±3.0	ヤング率	GPa	27.3±3.9	
項目	品質	試験方法																																	
粒径(mm)	2.0 以下	JISA1102																																	
吸水率(%)	3.0 以下	JIS A1109																																	
塩化物量(NaClとして)(%)	0.02 以下	JIS A5002																																	
アルカリシリカ反応性	区分 A	JISA 1145 又は 1146																																	
項目	品質	試験方法																																	
繊維長	mm	12±2.0																																	
引張強度	MPa	975±182																																	
引張伸度	%	9.0±3.0																																	
ヤング率	GPa	27.3±3.9																																	

			<p>③-1 ・塩化物イオンの総量を適切に管理されていますか？ 塩化物イオンの総量と管理方法を提示ください。</p> <p>③-2 ・上記③-1によらず、従来のコンクリートを対象としたフレッシュコンクリートに対する試験方法が適用できない場合や、全て工場等で準備した材料等を用いる場合、それらの条件に応じて適切な方法で管理されていることを提示ください。</p>	<p>【耐アルカリ性】 既往研究*において、強アルカリ環境下に曝した PVA 繊維を使用したコンクリートにて曲げタフネス試験を実施し、強度の低下がほとんどないことを確認している。</p> <p>※守田貴昭, 仲野弘識, 末森寿志, 内田裕市: アルカリ水溶液に浸漬した PVA 繊維補強コンクリートの曲げ特性, 平成 29 年度 土木学会年次論文集, pp1069-1070, 2017</p> <p>③ 各材料の塩化物イオン含有量(%)と配合量から計算により塩化物イオン総量を求め、制限値 0.3kg/m^3 以下であることを確認している。</p>	
--	--	--	---	---	--

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.	
1.	1	使用材料に求める事項の確認			
3	(3) 繊維補強コンクリートの品質	<p>(道示 I-9.2.1 コンクリート) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.3 コンクリートの強度) コンクリートは原則として、表-9.2.2<省略>に示す最低設計基準強度以上のものを用いる。</p> <p>(道示 II-14.3.2 床版のコンクリートの設計基準強度) (1) 床版のコンクリートの設計基準強度は、所用の強度が確保できるようにするほか、床版の耐久性を考慮して定めなければならない。 (2) 床版のコンクリートの設計基準強度の決定にあたっては、試験練り又は実績等により、施工時に有害なひび割れが生じないことを確認する。 (3) (4)から(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。 (4) 床版のコンクリートの設計基準強度 σ_{ck} は、24N/mm^2 以上とする。ただし、床版にプレストレスを導入する場合は I 編 9.2.3 の規定による。 (5) <省略> (6) <省略></p>	<p>① ・床版に使用する繊維補強コンクリートの設計基準強度を提示ください。 また、この設計基準強度が道路橋示方書 II 編 14.3.2 (4)、(5) に示される値以上であることを示してください。</p> <p>② ・耐凍結融解性能について確認されていますか？ 要求される凍結融解性能が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。</p> <p>③ ・コンクリートの塩分浸透性について確認されていますか？ 要求される塩分浸透性が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。</p> <p>④ ・アルカリ骨材反応抑制対策を行ってありますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、アルカリ骨材反応に対し安全であることをその結果から説明ください。</p> <p>⑤ ・プレキャストコンクリート製品が適切に製作できる施工性を有していますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、施工性を有していることを説明ください。</p>	<p>① 設計基準強度は 100N/mm^2 または 150N/mm^2 である。 これは道路示方書に示される最低設計基準強度 24N/mm^2 以上である。</p> <p>② 耐凍結融解抵抗性については、土木研究所との共同研究で JIS A 1148 の A 法に準じた試験を行い、300 サイクル経過後の相対動弾性係数が 60% 以上と凍結融解抵抗性を有することを確認した*。なお使用水は 3%NaCl 水としており、万が一凍結防止剤を含む水が床版に供給された場合にも一定の凍結融解抵抗性を有することが期待される。 ※小沢拓弥、櫻庭浩樹、古賀裕久：超高強度繊維補強コンクリートの塩分環境下における凍結融解抵抗性、第 77 回 土木学会年次学術講演会概要集、V-223、2022。</p> <p>JIS A1148(A 法)「コンクリートの凍結融解試験法 (水中凍結融解試験法)」により、510 サイクル経過時の相対動弾性係数は低下が認められず、質量減少率は平均 0.1% と十分な凍結融解抵抗性を有することを確認した。(資料 3.1 参照)</p> <p>③ JSCE-G571-2010「電気泳動法によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法 (案)」により、塩化物イオンの実効拡散係数を推定した。500 日経過後の平均実効拡散係数は 0.00591 と極めて小さく、十分な塩分浸透抵抗性を有することを確認した。(資料 3.2 参照)</p> <p>④ 珪砂は、アルカリ骨材反応の有無について JIS A1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法 (化学法)」により、アルカリ骨材反応に対して無害であることを確認する。 試験結果例を資料 3.3 に示す。</p> <p>⑤ コンクリートの施工性は練り上がり直後のコンシステンシーにより判定する。JIS R5201「セメントの物理試験方法」のフロー試験に準じ、落下無し、コーン引き上げ後 3 分経過時のフロー値が 320 ± 30 となることを確認する。試験結果例を以下に示す。 この判定に合格するものを床版の製作に用いることを前提としており、これまでの施工実績等で、床版製作に必要なワーカビリティを有していることを確認している。</p>	<p>資料 3.1</p> <p>資料 3.2</p> <p>資料 3.3</p>

表 フロー試験結果例

ロット	フロー値 mm
1	316×320
2	324×332
3	310×312

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

4	<p>(1) 強度の特性値</p>	<p>(道示 II-4.1.1 一般)</p> <p>(1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がその強度を下回る確率がある一定の値以下となることが保証された値としなければならない。</p> <p>(2) 4.1.2 及び 4.1.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) コンクリートを使用する場合には、この編及び III 編に規定する材料の強度の特性値を用いることにより、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 III-4.1.1 一般)</p> <p>(1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がそれを下回る確率がある一定の値以下となることが保証された強度の値としなければならない。</p> <p>(2) 4.1.2 の規定による場合には、鋼材の強度は(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) コンクリートの圧縮強度は 4.1.3 の規定による。</p> <p>(道示 III-4.1.3 コンクリートの圧縮強度の特性値)</p> <p>(1) コンクリートの圧縮強度の特性値をもって設計基準強度とする。</p> <p>(2) コンクリートの圧縮強度の特性値は、材齢 28 日における試験強度に基づき、試験値がその値を下回る確率が 5% となるように定められた値とする。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート用棒鋼、P C 鋼線、P C 鋼より線、P C 鋼棒の強度の特性値については、道路橋示方書 III 編表-4.1.1～表-4.1.4 を適用されていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 繊維補強コンクリートの圧縮強度は道路橋示方書 III 編 4.1.3 の(1)および(2)に従って定められていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> プレキャストコンクリートにおいては蒸気養生などを実施し早期に強度発現が期待できるものもあることから、材齢 1 4 日などの強度試験結果に基づいて特性値を定めることも可能である。したがって、上記の場合、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 	<p>①</p> <p>鉄筋(SD345)の強度特性値は道路示方書の規定を適用する。</p> <p>②-1</p> <p>【床版本体のコンクリート】 蒸気養生を実施する場合、蒸気養生後の強度試験結果に基づいて定める。現場養生の場合は道路橋示方書の規定による。</p> <p>【接合部の場所打ちコンクリート】 現場養生の為、道路橋示方書の規定による。</p> <p>②-2</p> <p>床版本体のコンクリートにて蒸気養生を実施する場合、蒸気養生後の供試体について強度試験を実施し（蒸気養生後標準水中養生、材齢 7 日）、試験値がその値を下回る確率が 5% となるように定めた値を圧縮強度の特性値とする。 設計基準強度 150 N/mm² の場合の試験結果を以下に示す。平均値は 167 N/mm²、標準偏差は 10.1 N/mm² であり、得られた度数分布が正規分布であると仮定した場合の危険率 5% となる値を以下式により算出し、150 N/mm² を特性値と定めた。</p> <div data-bbox="1982 982 2466 1402" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>圧縮強度試験結果度数分布 (推定値)</caption> <thead> <tr> <th>圧縮強度 (N/mm²)</th> <th>度数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>140</td><td>4</td></tr> <tr><td>145</td><td>3</td></tr> <tr><td>150</td><td>6</td></tr> <tr><td>155</td><td>19</td></tr> <tr><td>160</td><td>21</td></tr> <tr><td>165</td><td>25</td></tr> <tr><td>170</td><td>27</td></tr> <tr><td>175</td><td>19</td></tr> <tr><td>180</td><td>8</td></tr> <tr><td>185</td><td>3</td></tr> <tr><td>190</td><td>1</td></tr> <tr><td>195</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> </div> <p style="text-align: center;">図 圧縮強度試験結果度数分布</p> $f_k = f_m - k\sigma$ <p>ここに、f_k : 材料強度の特性値 f_m : 試験値の平均値 (=167 N/mm²) σ : 試験値の標準偏差 (=10.1 N/mm²) k : 係数 (特性値を下回る確率 5% として、1.64 とする。)</p>	圧縮強度 (N/mm ²)	度数	140	4	145	3	150	6	155	19	160	21	165	25	170	27	175	19	180	8	185	3	190	1	195	1	
圧縮強度 (N/mm ²)	度数																														
140	4																														
145	3																														
150	6																														
155	19																														
160	21																														
165	25																														
170	27																														
175	19																														
180	8																														
185	3																														
190	1																														
195	1																														

③

・繊維補強コンクリートの引張応力の制限値を定める根拠となる引張強度については、ひび割れ発生強度により設定されていますか？
 繊維補強コンクリートのひび割れ発生強度を求めた試験法試験およびその設定方法について提示ください。

※繊維補強コンクリート床版に用いる材料の強度の特性値は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、材料特性の確からしさを確認するための試験により検証され、その結果に基づいて設定されていることを確認する。

③

設計では、RC 構造として繊維補強コンクリートによる引張応力の分担を考慮していないため、引張応力の制限値は設定しない。
 ひび割れ発生強度の特性値はJIS A1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」により得られた試験強度に基づき、試験値がその値を下回る確率が 5%となるように定めた値とした。
 設計基準強度 150 N/mm²の場合の試験結果を以下に示す。平均値は 8.89 N/mm²、標準偏差は 1.22 N/mm² であり、得られた度数分布が正規分布であると仮定した場合の危険率 5%となる値を以下式により算出し、6.88 N/mm²を特性値と定めた。

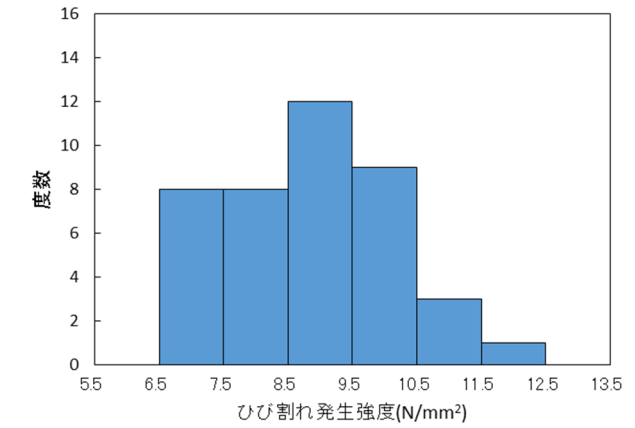
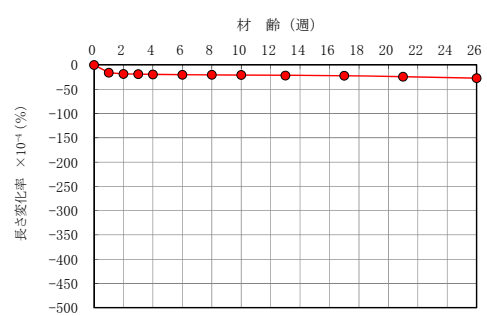
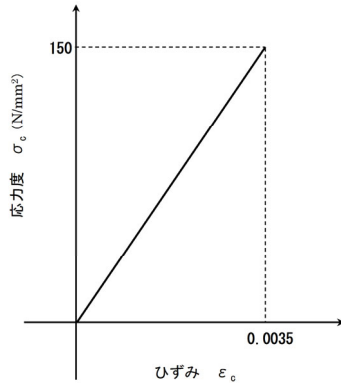
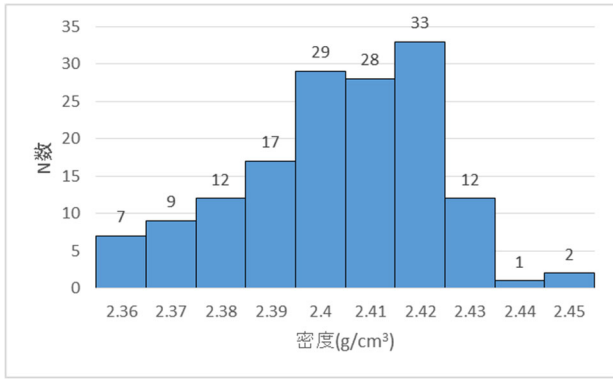


図 ひび割れ発生強度試験結果度数分布

$$f_k = f_m - k\sigma$$

ここに、 f_k : 材料強度の特性値
 f_m : 試験値の平均値 (= 8.89 N/mm²)
 σ : 試験値の標準偏差 (= 1.22 N/mm²)
 k : 係数 (特性値を下回る確率 5%として、1.64 とする。)

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																														
5	<p>1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認</p> <p>(2) 設計に用いる定数</p>	<p>(道示 I-9.3 設計計算に用いる定数) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性や品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。</p> <p>(道示 III-4.2.1 一般) (1) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性及び品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。 (2) 4.2.2 及び 4.2.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 I-8.1 死荷重) (1) 死荷重は、材料の単位体積重量を適切に評価して定めなければならない。 (2) <省略> (3) 材料の単位体積重量を(2)によらず定める場合には、(4)から(6)に従わなければならない。 (4) 材料の単位体積重量のばらつきを適切に評価する。 (5) JIS 等の公的規格に従って材料の単位体積重量や部材寸法等の変動の上限値や下限値が制御された材料を用いる場合には、規格を満足するもののみを母集団とする場合のばらつきで評価する。 (6) 材料の単位体積重量の特性値は、その母集団を正規分布としたときの非超過確率 50%に相当する値とすることを標準とする。</p>	<p>①-1 ・繊維補強コンクリート床版に用いる使用鋼材を提示ください。その鋼材が、道路橋示方書 I 編 9. 1 に示す JIS 規格に適合する鋼材である場合、道路橋示方書 III 編表-4.2.1 および表-4.2.2 に示される値を適用しているか提示してください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性および品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・設計基準強度が 80N/mm² 以下、かつ普通骨材のみを用いる場合は、コンクリートのヤング係数・クリープ係数・乾燥収縮度・せん断弾性係数などの定数は、道路橋示方書 III 編 4.2.2 の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式 (4.2.1) の値を採用してありますか？</p> <p>②-2 ・設計基準強度が 80N/mm² を超える繊維補強コンクリートの場合や軽量骨材を用いる繊維補強コンクリートでは、道路橋示方書が前提とする一般的なコンクリートとは特性が異なることから、道路橋示方書の条文の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式 (4.2.1) は適用できないものと思われます。その場合には、特性の確からしさを確認するための試験とその結果及び設定根拠を提示ください。</p> <p>※繊維補強コンクリート床版の設計に用いる定数は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、繊維補強コンクリート床版の品質を考慮したうえで適切に設定されていることを確認する。</p> <p>① 使用鋼材は JIS G3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」に適合する SD345 とする。各定数は道路示方書の値を適用する。</p> <p>②-2 【ヤング係数】 JIS A1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」により得られた試験値に基づき、4.2×10^4 N/mm² と定めた。以下に試験結果を示す。</p> <table border="1" data-bbox="2071 577 2398 865"> <caption>表 静弾性係数</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">供試体 No</th> <th colspan="2">静弾性係数 E_c (kN/mm²)</th> </tr> <tr> <th>各値</th> <th>平均値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>42.9</td><td rowspan="6">42.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>41.8</td></tr> <tr><td>3</td><td>42.7</td></tr> <tr><td>4</td><td>41.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>42.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>43.4</td></tr> </tbody> </table> <p>【クリープ係数】 RC 構造の為、設計では使用しない。 参考にクリープ係数は JIS A1157 「コンクリートの圧縮クリープ試験方法」により以下の値が得られている。(資料 5.1 参照)</p> <table border="1" data-bbox="1923 1033 2546 1144"> <caption>表 クリープ係数</caption> <thead> <tr> <th>持続荷重を載荷する時のコンクリートの材齢</th> <th>4~7</th> <th>14</th> <th>28</th> <th>90</th> <th>365</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>クリープ係数</td> <td>0.9</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>0.2</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>(経過材齢 1000 日以降)</p> <p>【乾燥収縮度】 RC 構造の為、設計では使用しない。 参考に JIS A1129-1 「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法—第 3 部：ダイヤルゲージ方法」より得られた材齢と長さ変化率の関係を下図に示す。ただし材齢は蒸気養生完了直後を起点とした材齢とし、長さ変化率は自己収縮によるひずみを含む。材齢 180 日における乾燥収縮ひずみは概ね -30μ であった。</p>  <p>図 材齢と長さ変化率の関係</p> <p>【せん断弾性係数】 設計においてせん断弾性係数を用いる解析を行うことは想定していないため、未設定である。</p>	供試体 No	静弾性係数 E_c (kN/mm ²)		各値	平均値	1	42.9	42.5	2	41.8	3	42.7	4	41.5	5	42.4	6	43.4	持続荷重を載荷する時のコンクリートの材齢	4~7	14	28	90	365	クリープ係数	0.9	0.5	0.4	0.2	0.1	資料 5.1
供試体 No	静弾性係数 E_c (kN/mm ²)																																	
	各値	平均値																																
1	42.9	42.5																																
2	41.8																																	
3	42.7																																	
4	41.5																																	
5	42.4																																	
6	43.4																																	
持続荷重を載荷する時のコンクリートの材齢	4~7	14	28	90	365																													
クリープ係数	0.9	0.5	0.4	0.2	0.1																													

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
5	1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認 (2) 設計に用いる定数	(続き)	<p>③ ・設計に用いる繊維補強コンクリートの応力ひずみ曲線を提示ください。また、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。</p> <p>④ ・死荷重を計算する際の繊維補強コンクリートもしくは軽量骨材コンクリートの単位体積重量について、道路橋示方書 I 編 8.1(4)~(6)に従って定めているものと思われませんが、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。 なお、設計に用いる死荷重については、鉄筋や PC 鋼材を見込んだ重量と繊維補強コンクリートのみの重量に分けて提示ください。 また、鉄筋や PC 鋼材の重量を見込む場合の方法も提示ください。 ※道路橋示方書では、橋に用いられる材料の単位体積重量については、一般には単位体積重量の平均値を特性値として用いてよいとされています。</p> <p>③ 応力ひずみの関係は圧縮ひずみのみ規定し、引張側は考慮しないこととしている。設計で用いるコンクリートの応力ひずみ曲線はコンクリートの強度試験結果(資料 5.2 参照)に基づき直線と仮定し、下図のとおり設定した。</p>  <p>図 応力ひずみ曲線</p> <p>④ コンクリートの単位体積重量は実測密度の値から 24.0kN/m³ と定めた。下図にコンクリート密度の度数分布を示す。一般に床版の場合は重量が大きい方が設計上不利になるため、本データから超過確率が 5% となるように単位体積重量を定めた。平均値は 2.403 g/cm³、標準偏差は 0.02 g/cm³ であり、得られた度数分布が正規分布であると仮定した場合の危険率 5% となる値を以下式により算出した。</p>  <p>図 コンクリート密度度数分布</p> $f_k = f_m + k\sigma$ <p>ここに、f_k : 単位体積重量の特性値 f_m : 試験値の平均値 (=2.403 g/cm³ ≒ 23.56 kN/m³) σ : 試験値の標準偏差 (=0.02 g/cm³ ≒ 0.196 kN/m³) k : 係数 (特性値を上回る確率 5% として、1.64 とする。)</p> <p>また、鉄筋を含む繊維補強コンクリート床版の単位体積重量は、鉄筋による単位体積重量の増加が道路橋示方書 I 編 8.1 にて示された数値と等しいと仮定し、25.5kN/m³ と設定する。</p>	資料 5.2

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																					
1. 3	<p>繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認</p> <p>(1) 床版の耐荷機構の説明</p>	<p>(道示 III-5.1.1 部材設計の基本)</p> <p>(1) コンクリート部材の設計においては、1)から10)を満足しなければならない。</p> <p>1) <省略></p> <p>2) <省略></p> <p>3) <省略></p> <p>4) コンクリート部材の設計にあたっては、部材を構成する材料、部材断面への作用力及び作用力に対する部材の耐荷機構を明確にし、適切に限界状態、照査項目、制限値、解析法及び施工方法を定める。</p> <p>5) 4)を満足するにあたっては、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮を適切に考慮する。</p> <p>6) コンクリート部材は、耐荷機構の前提として考慮されたコンクリート、鉄筋及びPC鋼材のみにより作用力に対して抵抗させる。ただし、コンクリートに引張力は負担させないことを原則とする。</p> <p>7) コンクリート部材は、作用力の伝達が一方の棒部材又は二方向の版部材として扱い、応答値を算出することを原則とする。</p> <p>8) <省略></p> <p>9) <省略></p> <p>10) <省略></p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 III-5.1.2 コンクリート部材の種別)</p> <p>(1) コンクリート部材を、プレストレスを導入する構造とする場合には、プレストレスの存在を前提とした耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(2) プレストレスを導入する構造を、プレストレストコンクリート構造として設計する場合には、プレストレスの存在を前提として、コンクリートが全断面で抵抗すると見なせる耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(3) コンクリート部材を、鉄筋コンクリート構造として設計する場合には、部材断面に発生する引張応力に対しコンクリートの引張抵抗を見込まず、鉄筋により抵抗する耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(4) プレストレスを導入する構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するようプレストレスを導入し、5.2及び5.3の規定に従い鉄筋及びPC鋼材を配置しなければならない。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するよう、5.2の規定に従い鉄筋を配置しなければならない。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) <省略></p>	<p>①</p> <p>1) <u>繊維補強コンクリート床版を構成する材料や部材断面に対し設計上想定している作用力を提示ください。</u></p> <p>2) <u>上記作用力に対し、床版を構成する材料や部材断面の設計上想定している耐荷機構を提示ください。</u></p> <p>3) <u>上記耐荷機構において、床版を構成する材料や部材断面の限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び、前提となる施工方法について提示ください。</u></p> <p>②</p> <p>・<u>繊維補強コンクリート床版の耐荷機構について、道路橋示方書のプレストレストコンクリート構造や鉄筋コンクリート構造と比較した場合の、繊維がその耐荷機構に果たす役割について説明ください。</u></p> <p>①</p> <p>1) 設計上の作用力は、道路橋示方書の規定に従って、以下の荷重を想定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・永続作用に関わる荷重作用：床版自重、舗装荷重、防護柵荷重による断面力 ・変動作用に関わる荷重作用：T活荷重による設計断面力 ・偶発作用支配状況：防護柵に作用する衝突荷重による断面力 <p>2) 本技術の床版が設計上想定する耐荷機構は一般のRC床版と同様である。</p> <p>3) 限界状態、照査項目、および制限値の設定方法は道路橋示方書による。ただし、制限値は繊維補強コンクリートの材料特性に基づき「1.4 耐荷性能の確認」に示すとおり定めることとする。</p> <p>適用の前提となる施工方法等の条件は以下のとおりとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非合成桁への適用を基本とする。 ・新設床版、および更新床版を対象とする。 ・適用支間は4m以下とする。 ・プレキャスト床版の製作方法は、「2.1 プレキャスト床版の製作についての確認」に示す製作方法と同様とする。 <p>②</p> <p>繊維が耐荷力に与える効果について下図に示すRCはり部材の曲げ載荷試験により検証を行っている。(資料6.1参照)</p> <p>本試験では繊維無、および繊維補強コンクリートの標準配合となる繊維混入率 1.7vol%の供試体について比較を行った。</p> <p>下表に示すとおり繊維の混入によって材料自体の圧縮強度は低下するが、はりのひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重、最大荷重はいずれも向上が見られた。また、ひび割れ幅についても低減する傾向が確認された。</p> <p>これらの結果から、繊維の効果により通常のRC構造と比較し部材の耐力は向上すると考えられるが、現状これらの効果を見込んだ設計は行っていない。</p> <div data-bbox="1869 1281 2671 1533"> <p>図 RC はり部材供試体構造図 (単位: mm)</p> <p>図は、長さ4800mmのRCはり部材の構造を示しています。中央に700mmの荷重作用点があり、その両側に1800mmの距離があります。全長は4800mmで、両端から400mmの位置に支持点があります。断面は幅250mm、有効高350mm、有効径d=308mmです。縦筋はD19×3本、横筋はD16×3本です。また、400mmの位置に4φ125の筋が配置されています。中央部には13φ250の筋が配置されています。</p> </div> <p>表 各供試体の材料諸元 (※主鉄筋は USD685)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験ケース</th> <th>繊維無</th> <th>繊維有</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>繊維混入率 (vol%)</td> <td>0.0</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>203</td> <td>164</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 曲げ載荷試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>試験ケース</th> <th>繊維無</th> <th>繊維有</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ひび割れ発生荷重 (kN)</td> <td>26</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>降伏荷重 (kN)</td> <td>187</td> <td>208</td> </tr> <tr> <td>最大荷重 (kN)</td> <td>235</td> <td>247</td> </tr> </tbody> </table>	試験ケース	繊維無	繊維有	繊維混入率 (vol%)	0.0	1.7	圧縮強度	203	164	試験ケース	繊維無	繊維有	ひび割れ発生荷重 (kN)	26	38	降伏荷重 (kN)	187	208	最大荷重 (kN)	235	247	<p>資料 6.1</p>
試験ケース	繊維無	繊維有																							
繊維混入率 (vol%)	0.0	1.7																							
圧縮強度	203	164																							
試験ケース	繊維無	繊維有																							
ひび割れ発生荷重 (kN)	26	38																							
降伏荷重 (kN)	187	208																							
最大荷重 (kN)	235	247																							

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
6	(2) 床版の設計曲げモーメントの算定	<p>(道示Ⅱ-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版は11.2から11.7の規定、鋼床版は11.8から11.11の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.1 一般)</p> <p>(1) この節は、2辺又は1辺で支持される床版で、その床版支間がなす短辺と長辺の辺長比が1:2以上の1方向版としてモデル化できる鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版の設計に適用する。</p> <p>(2) この節の規定は、20章の規定を満足することを前提として設計に適用することができる。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.2 床版の支間)</p> <p>(1) 単純版並びに連続版のT荷重及び死荷重による曲げモーメントを算出する場合の支間は、床版から支持桁への応力伝達と輪荷重の載荷位置を考慮して、かつ、桁のフランジ形状、床版と桁の連結構造並びに床版の材料及び構造に応じて、適切に設定する。</p> <p>(2) (3)及び(4)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.3 床版の設計曲げモーメント)</p> <p>(1) B活荷重で設計する橋においては、I編8.2に規定するT荷重(衝撃の影響を含む)による床版の単位幅(1m)あたりのT荷重による曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>に示す式で算出する。ただし、床版の支間が車両進行方向に直角の場合の単純版、連続版及び片持版の主鉄筋方向の曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>により算出した曲げモーメントに、表-11.2.2<省略>又は表-11.2.3<省略>の割増係数を乗じた値とする。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) 等分布荷重による床版の単位幅(1m)あたりの曲げモーメントは、表-11.2.4に示す式で算出してよい。ただし、プレストレストコンクリート床版が鋼桁に支持される場</p>	<p>①-1</p> <p>・設計曲げモーメントの算定は道路橋示方書Ⅱ-11.2.2(3)(4)に規定する支間長を用い、かつⅡ-11.2.3(1)~(3)によっていますか?</p> <p>・よっている場合は、次の2つについての情報を提示ください。</p> <p>1)床版が等方性版の性状を示すことを確認した結果に関する情報 ※「等方性版」であることの確認方法については、例えば、国総研資料第609号「道路橋の技術評価手法に関する研究-新技術評価のガイドライン(案)“床版の曲げモーメント式の前提条件との整合性が不明な場合”(P20)」を参照してください。</p> <p>2)当該技術を床版として使用可能とする床版支持条件(支間と辺長の比が1:2以上の1方向版としてモデル化できる支持条件であることの確認)</p> <p>①-2</p> <p>・床版厚が薄く道路橋示方書が規定する最小床版厚(160mm)の床版に対し明らかに剛性が小さい床版の場合や、上記①-1の1),2)の条件を満足しない床版の場合は、設計曲げモーメントを算定する方法を提示ください。</p> <p>・上記算定方法が妥当であることを試験等との比較により確認した結果を提示ください。</p> <p>①-1</p> <p>設計曲げモーメントの算定は、道路橋示方書の規定にしたがって行っている。</p> <p>1)</p> <p>国総研資料第609号「道路橋の技術評価手法に関する研究-新技術評価のガイドライン(案)“床版の曲げモーメント式の前提条件との整合性が不明な場合”」によれば、等方性版とみなすための確認事項として、設計で考慮する荷重状態に対し、道路橋示方書に規定のあるRC床版と同等のIx/Iy比(床版支間方向に対する配力筋方向の剛性比)を有することとある。</p> <p>そこで本技術の床版におけるIx/Iyを算出し、道路橋示方書と同等であることの確認を行った。以下に検討結果を示す。ここでは一例として床版厚140mmの場合について検討を行った。</p> <p>(検討条件)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・床版支間: 2.0 m ・床版厚: 140 mm (道路橋示方書Ⅱ-11.5(2)の算定式によれば、170mm) ・設計荷重: 100 kN (T活荷重) ・引張鉄筋配置 <ul style="list-style-type: none"> ・床版支間方向: D19,100mm ピッチ,有効高100 mm ・配力筋方向: D19,125mm ピッチ,有効高81 mm <p>(検討結果)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・床版支間方向 Iy: 5,729 cm⁴ ・配力筋方向 Ix: 3,326 cm⁴ ・剛性比 Ix/Iy: 0.58 <p>一方、一般のRC床版の最小床版厚160mmにおけるIx/Iyは概ね0.6程度であるため*、床版厚140mmにおいては等方性を有していると考えられる。</p> <p>※前田幸雄・松井繁之:道路橋RC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察,土木学会論文報告集,第252号・1976年8月</p> <p>2)について</p> <p>本技術の床版は、通常の鋼道路橋に適用することを想定している。このため、支間と辺長の比(床版支間/桁長の比)が1:2未満の床版の支持条件となることはないと考えている。</p> <p>①-2</p> <p>床版厚が薄い場合においても道路示方書に規定される設計曲げモーメント式を適用することとする。</p> <p>上記①-1,1)に示したとおり床版厚140mmでは床版が等方性を有する事を設計計算により確認している。それ以下の床版厚とする場合は都度等方性の有無を検討することとする。</p>	

		合には、等分布死荷重における床版の単位幅（1m）あたりの曲げモーメントは、支持桁の拘束条件を考慮して算出しなければならない。 (4) <省略> (5) <省略>	
--	--	--	--

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 3 繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認

7	<p>(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法</p>	<p>(道示Ⅱ-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版は11.2から11.7の規定、鋼床版は11.8から11.11の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.7 鉄筋の種類及び配置)</p> <p>(1) 鉄筋には異形棒鋼を用いるものとし、その直径は13、16、19mmを原則とする。ただし、プレストレストコンクリート床版及び鋼コンクリート合成床版においては直径22、25mmを用いてよい。</p> <p>(2) 鉄筋のかぶりは30mm以上とする。</p> <p>(3) 鉄筋の中心間隔は100mm以上でかつ300mm以下とする。ただし、引張主鉄筋の中心間隔は床版の全厚を超えてはならない。</p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版及びPC合成床版において断面内の圧縮側には、引張側の鉄筋量の少なくとも1/2の鉄筋を配置するのを原則とする。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート床版において連続版で主鉄筋を曲げる場合には、図-11.2.3<省略>に示すように支点からL/6の断面で曲げなければならない。ただし、床版の支間の中央部の引張鉄筋量の80%以上及び支点上の引張鉄筋量の50%以上は、それぞれ曲げずに連続させて配置しなければならない。ここに、Lは支持桁の中心間隔とする。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) プレストレストコンクリート床版のプレストレス導入方向には、直径13mm以上の異形棒鋼を配置し、その中心間隔は、300mm又は床版の全厚の小さい方の値以下でなければならない。</p> <p>(道示Ⅱ-11.2.8 PC鋼材の配置)</p> <p>(1) プレストレストコンクリート床版のPC鋼材は、床版に一樣にプレストレスが導入されるように配置しなければならない。</p> <p>(2) 斜橋の支承部付近における床版の支間方向のPC鋼材は、支承線方向に配置する。</p>	<p><床版の設計上の構成要素として鉄筋を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>①-1【過大な幅のひび割れ発生を防止するための使用鉄筋径に関する確認】</p> <p>・鉄筋には道路橋示方書に規定する異形鉄筋を使用し、かつプレストレスを導入しない床版の場合は、鉄筋径が13, 16, 19mm、プレストレスを導入する床版の場合は、13, 16, 19, 22, 25mmのいずれかを使用することとしていますか？</p> <p>①-2</p> <p>・上記①-1によらない場合、使用する鉄筋を用いて、発生応力とひび割れ幅との関係、および発生応力と最小ひび割れ間隔との関係が把握できており、その性状が、少なくとも道路橋示方書が使用を許容する最大の鉄筋による場合と同等であることを確認した結果を提示ください。</p> <p>②-1【コンクリートの施工性および押抜きせん断耐力確保のための鉄筋の配置間隔の設定に関する確認】</p> <p>・鉄筋の中心間隔は道路橋示方書の規定に従い100mm～300mmの間で設定されていますか？</p> <p>②-2</p> <p>・上記②-1によらない場合、鉄筋間隔が狭い場合はコンクリートを打ち込む際の施工性について、また鉄筋間隔が広い場合には、押抜きせん断耐力が所定の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。（※押抜きせん断耐力の試験に関する情報については、別項1. 4 (2) によることでも可）</p> <p>③-1【連続版の正負交番部近傍に生じる曲げモーメントに確実に抵抗するための折り曲げ鉄筋の配置に関する確認】</p> <p>・連続版で主鉄筋を曲げる場合、鉄筋の折り曲げ詳細は道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(5)によっていますか？</p> <p>③-2</p> <p>・上記③-1によらない場合、連続床版として想定される全ての輪荷重載荷位置について、折り曲げ鉄筋位置近傍において他の位置と比較して過度なひび割れが生じないこと、また折り曲げたことにより床版として耐力の低下が生じないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。</p> <p>④-1【不測の逆向き曲げモーメントに確実に抵抗するための鉄筋配置に関する確認】</p> <p>・設計上想定される床版の圧縮領域においても、道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(4)に規定するとおり、引張領域の鉄筋量の1/2の鉄筋量を配置していますか？</p> <p>④-2</p> <p>・上記④-1によらない場合、設計上想定される曲げモーメントに対し逆向きの曲げモーメントが作用した場合を想定し、その曲げモーメントに対しても、正規の曲げモーメントに対する抵抗力の1/2以上は確保できていることを、設計の考え方や設計方法により提示ください。</p> <p>⑤-1【鉄筋の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <p>・鉄筋のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で30mm、また塩害環境下では、Ⅲ-6.2.3に定めるかぶりを満足する設計としていますか？</p> <p>⑤-2</p> <p>・上記⑤-1によらない場合、鉄筋の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、鉄筋の付着試験等により確認した結果を提示ください。</p>	<p>① 本技術では、使用する鉄筋径は道路橋示方書の規定に従い13mm,16mm,19mmとすることを原則としている。</p> <p>② 鉄筋の配置間隔は、道路橋示方書の規定に従い、100mm～300mmとしている。</p> <p>③ 連続版の場合の鉄筋の折り曲げは、道路橋示方書の規定に従っている。</p> <p>④ 床版の圧縮領域への鉄筋の配置は、道路橋示方書の規定に従っている。</p> <p>⑤ 一般環境下での鉄筋かぶりは道路橋示方書の規定に従う。塩害環境下では繊維補強コンクリートの塩化物イオン拡散係数が小さいことを考慮して規定より小さく設定するが、鉄筋と繊維補強コンクリートの付着を確保するため、一般環境下でのかぶり厚は下回らないものとする。</p>
---	--------------------------------------	---	--	---

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
7	(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法	(続き)	<p><床版の設計上の構成要素として PC 鋼材を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>⑤-1 【PC 鋼材の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PC 鋼材のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で 30mm、また塩害環境下では、III-6.2.3 に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記⑤-1 によらない場合、PC 鋼材の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、PC 鋼材の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑥-1 【一方向にのみプレストレスを導入する場合のプレストレスしない方向にひび割れを発生させないための用心鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 用心鉄筋として、道路橋示方書の規定に従い、鉄筋径 13mm 以上の異形鉄筋を、中心間隔 300mm または床版全厚以下の間隔で配置することとしていますか？ <p>⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記⑥-1 によらない場合、プレストレスを導入しない方向についても、想定する使用条件において、活荷重や乾燥収縮等の影響によるひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑦ 【プレストレスを均等に導入するための PC 鋼材の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PC 鋼材の配置の仕方について、PC 鋼材により導入されるプレストレスの応力分布が、床版断面の曲げモーメントに対する設計において設計上想定している圧縮応力の分布となっていることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>・ 本技術では、PC 鋼材は使用しない。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
8	(4) 床版と支持桁の結合部	<p>(道示 II-11.2.12 床版のハンチ)</p> <p>(1) 床版と支持桁との結合部は、応力が円滑に伝わる構造としなければならない。</p> <p>(2) 床版には、支持桁上にハンチを設けるのを原則とする。</p> <p>(3) (4)から(5)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <p>・床版と支持桁との接合部の構造詳細については、道路橋示方書 II-11.2.12(4)(5)に従ったハンチを設けることとしていますか？</p> <p>①-2</p> <p>・上記①-1によらない場合、ハンチの有無やハンチの形状によらず、床版と支持桁との接合部に局部的なひび割れや過度な応力集中が発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。</p> <p>※試験については、床版と支持桁との接合部の構造を代表できる試験体を用い、輪荷重による押抜きせん断力の支持桁近傍での偏りや、支持桁の剛性が床版の支持桁近傍のたわみ角を拘束することによる影響等に伴う応力集中に着目した試験や構造解析が行われている必要が求められます。</p> <p>①</p> <p>道路示方書に則り、ハンチを設けることを原則とする。</p>	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.	
1. 4	<p>耐荷性能の確認</p> <p>(1) プレキャスト床版本体の曲げモーメントに対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)</p>	<p>(道示 II-11.3.1 曲げモーメントを受ける床版)</p> <p>(1) 曲げモーメントを受ける床版が、(2)から(4)による場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(2) 床版に生じる曲げモーメントが、(3)又は(4)による制限値を超えない。ただし、T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には、11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.5.1(3) の規定による。</p> <p>(4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.6.1(3) の規定による。</p> <p>(道示 II-11.4.1 曲げモーメントを受ける床版)</p> <p>(1) 曲げモーメントを受ける床版が、(2)から(4)による場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(2) 床版に生じる曲げモーメントが、(3)又は(4)による制限値を超えない。ただし、T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には、11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.7.1(3) 及び(4)の規定による。</p> <p>(4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.8.1(3)及び(4)の規定による。</p>	<p>プレキャスト床版本体の設計に用いる静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。</p> <p>なお、床版に生じる曲げモーメントとして正曲げと負曲げにより耐荷機構が異なる場合には、各々について以下の事項を提示ください。</p> <p>①</p> <p>1)床版本体の設計において有効断面としている構成要素 (FRC、鉄筋、PC 鋼材等) を図示するとともに、引張応力に FRC の引張抵抗を有効としているか否かについて明示。</p> <p>2)床版に生じる曲げモーメントに対する設計計算に用いることのできる、構造安全性が失われる限界の状態までの荷重と変位の関係 (P-δあるいは M-φ 曲線等) もしくは床版を構成する要素 (FRC、鉄筋、PC 鋼材等) の σ-ϵ 曲線の定義式。</p> <p>②</p> <p>・上記①2)の曲線の妥当性が確認できる試験結果、およびその試験結果に基づく、荷重変位曲線上の主要点 (構造安全性が失われる限界点、ひび割れ発生点等) の提示。</p> <p>※試験による検証に際しては、繊維補強コンクリートの収縮による内部応力の発生が無視し得ない場合が想定されるため、その場合には、供試体作製にあたり、その影響が評価できる供試体形状や作製方法となっていることが判る情報についても提示ください。</p>	<p>本技術の床版は、正曲げと負曲げに対して耐荷機構が異なるため、以下、正曲げについて記述する。</p> <p>①</p> <p>1) 本技術の床版の構成要素は、繊維補強コンクリートと補強鉄筋である。以下図に床版の断面構造を示す。床版の断面設計にあたり、繊維による引張抵抗は考慮しない。</p> <div data-bbox="1988 619 2507 787" data-label="Diagram"> </div> <p>図 床版断面図</p> <p>2) 【コンクリート】 繊維補強コンクリートの圧縮応力度-ひずみ関係は試験結果に基づき下図に示す σ-ϵ 曲線とする。</p> <div data-bbox="2107 987 2404 1312" data-label="Figure"> </div> <p>図 コンクリートの σ-ϵ 曲線</p> <p>【鉄筋】 鉄筋の応力度-ひずみ関係は、道路橋示方書に示されている σ-ϵ 曲線を適用する。</p> <p>② 繊維補強コンクリートの σ-ϵ 曲線の妥当性は別途コンクリートの強度試験(資料 5.2 参照)により確認した。以下図に試験にて得られた応力とひずみの例を示す。繊維補強コンクリートの終局ひずみは試験結果に基づき 0.0035 とする。</p> <div data-bbox="2003 1606 2493 1879" data-label="Figure"> </div> <p>図 試験により得られた繊維補強コンクリートの応力とひずみの関係の例</p>	<p>資料 5.2(再掲)</p>

- ③ 上記①②の曲線上で限界状態 1 の特性値となる可逆性を有する点の提示。
- ④ 試験結果等に基づく破壊形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）の説明、および当該破壊点に対し上記③で定義した限界状態 1 の特性値の余裕量の提示。

③ 限界状態 1 の特性値は道路示方書に則り、引張側主鉄筋の降伏強度、および繊維補強コンクリートの設計基準強度の 2/3 とする。

④ 下表に示す 2000×1000mm、版厚 100mm の床版供試体にて曲げ載荷試験を実施した。下図に載荷方法、および試験により得られた荷重－変位曲線を示す。破壊形態は床版上面コンクリートの圧壊であった。
 以下表に試験における各段階の荷重、および限界状態 1 および 3 の設計値を示す。また、設計値に対する試験値の比率を併記する。
 試験の終局点に対する限界状態 1 の設計値の余裕量(比率)は 218/130=1.68 であった。

表 試験体諸元

寸法	2000mm(支間方向)×1000mm(支間直角方向)	
支間長	1.9m	
床版厚	100mm	
鉄筋配置	引張側主鉄筋(下面)	D16、@77mm(13本)
	圧縮側主鉄筋(上面)	D13、@154mm(7本)

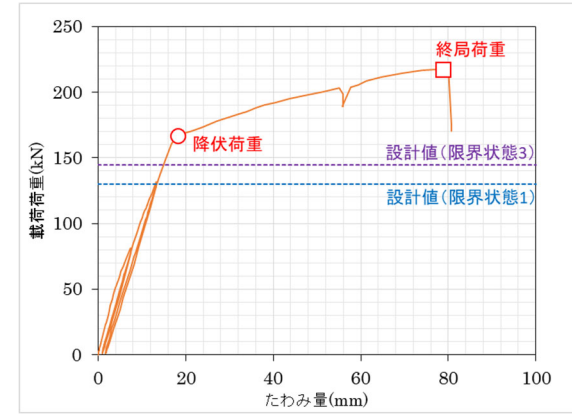
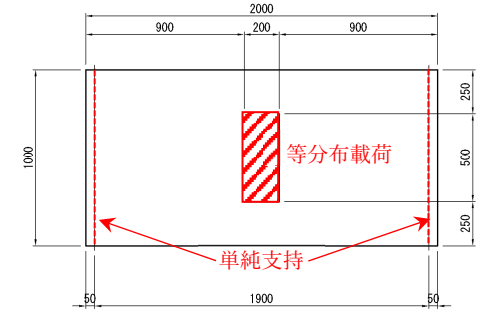


表 設計値と試験値の比較

	限界状態 1 (降伏荷重)	限界状態 3 (終局荷重)
設計値(kN)	130(1)	145(1)
試験値(kN)	168(1.29)	218(1.50)

※括弧内は設計値に対する比率

<p>⑤</p> <p>1) <u>圧縮応力を分担する繊維補強コンクリートの応力-ひずみ関係のばらつき、引張応力を分担する鋼材等の応力-ひずみ関係のばらつきの状況を既往の試験結果等より提示ください。</u></p> <p>2) <u>上記1)に提示のばらつきが、従来の鉄筋またはPC鋼材と同程度以下であること、および部材の耐荷力評価式のモデル化時の誤差が従来の鉄筋コンクリート構造と同程度以下であることが判るデータを提示ください。</u></p> <p>※従来の材料や耐荷力評価式のモデル誤差の評価の方法については、「コンクリート道路橋の性能規定及び部分係数設計法に関する調査研究」(土木研究所資料第4401号)を参考にしてください。</p> <p>⑥</p> <p>・<u>上記①～⑤が確認できるとき、プレストレスを導入しない床版の場合は、<u>「部材に生じる曲げモーメントが軸方向を考慮した道路橋示方書Ⅲの式(5.5.1)に定める制限値を超えない、かつ、式(5.8.1)に定める制限値を超えない」、また、プレストレスを導入する床版の場合は、「応力度が道路橋示方書Ⅲの表-5.6.1及び表-5.6.2の制限値を満足している、かつ、部材に生じる曲げモーメントが、軸方向を考慮した道路橋示方書Ⅲの式(5.8.1)に定める制限値を超えない」という設計をしていますか?</u></u></p>	<p>⑤</p> <p>繊維補強コンクリートの圧縮強度の変動係数は6.7%であり、従来のコンクリートの変動係数と同程度である。</p> <p>下図に6本の供試体にて得られた応力-ひずみ関係のばらつきを示す。現状、繊維補強コンクリートの応力-ひずみ関係のばらつきを整理したデータは限られているが、従来のコンクリートと比較し、ばらつきは同程度、または小さいものと想定される。</p> <p>また、鉄筋はJISに適合したものをを用い、道路橋示方書に規定される応力-ひずみ関係を使用することから、従来と同程度である。</p> <p>したがって、これらの複合材料となる鉄筋コンクリートにおいても、耐力評価に関わるばらつきは従来の鉄筋コンクリートと同程度以下になると考えられる。</p> <div data-bbox="1929 483 2522 924"> </div> <p>図 応力-ひずみ関係のばらつき</p> <p>⑥</p> <p>床版の耐荷性能の照査においては、道路橋示方書の規定にしたがい、作用曲げモーメントが限界状態1および限界状態3の制限値を超えないよう設計を行っている。</p>
---	--

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																																
1. 4	<p>耐荷性能の確認</p> <p>(2) プレキャスト床版本体の押抜きせん断力に対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)</p>	<p>(道示 II-11.2.4 床版の最小全厚)</p> <p>(1) 床版の厚さは、設計耐久期間における耐荷性能が確保されるように決定する。</p> <p>(2) (3)及び(4)に従い、かつ、11.5(2)から 11.5(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の車道部分の床版の最小全厚は 160mm とする。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 II-11.3.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.4.2 の規定を満足する場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(道示 II-11.4.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.2.4 の規定を満足する場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版の押し抜きせん断耐力に着目した最小全厚を、道路橋示方書 II-11.3.2 および II-11.4.2 に基づく II-11.2.4 に規定する 160mm 以上と設定していますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、活荷重(T 荷重)による押抜きせん断耐力が確認できており、その耐力が、道路橋示方書 II-11.2.4 に規定する最小床版厚 160mm のときの輪荷重による押抜きせん断耐力と比較して同等以上の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>①</p> <p>床版厚は 160mm 以上を原則とする。ただし、道路示方書 III-5.7.2 の方法により押抜きせん断耐力の照査を行う事で、床版厚を 160mm より小さくすることも可能とする。ただし、その場合、コンクリートの押抜きせん断応力度の基本値は設計基準強度 80N/mm² における値である 1.50 N/mm² に設定する。この方法で設計した床版厚 120mm の床版試験体にて押抜きせん断試験を行った。(資料 10.1 参照) 下図に試験体寸法、および荷重方法を示す。</p> <div data-bbox="2107 567 2404 924" style="text-align: center;"> <p>図 荷重方法</p> </div> <p>表 1 に試験結果、および道路示方書 III-5.7.2 の式により計算した押抜きせん断耐力の設計値を示す。試験値は設計値を上回っており、この設計方法にて本技術の床版の押抜きせん断耐力を安全側に評価できると考えられる。また参考のため、同方法により計算した一般的な RC 床版の押抜きせん断耐力の設計値を表 2 に示す。ただし床版厚は 160mm とし、コンクリートの設計基準強度は一般的な強度として 30N/mm² に設定した。設計値は試験値に比べ大きく、本床版は床版厚 160mm の一般的な床版と比べ、同等以上の押抜きせん断耐力を有していると考えられる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <table border="1" data-bbox="1929 1197 2552 1407"> <caption>表 1 設計値と試験結果の比較</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">設計</th> <th rowspan="2">設計条件</th> <th>床版厚(mm)</th> <td>120</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計基準強度(N/mm²)</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>押抜きせん断応力度の基本値(N/mm²)</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>押抜きせん断耐力 設計値(kN)</td> <td>544</td> </tr> <tr> <td>試験結果</td> <td></td> <td>押抜きせん断耐力 試験値(kN)</td> <td>790</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1929 1449 2552 1606"> <caption>表 2 一般的な RC 床版の設計値</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">設計</th> <th rowspan="2">設計条件</th> <th>床版厚(mm)</th> <td>160</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計基準強度(N/mm²)</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>押抜きせん断応力度の基本値(N/mm²)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>押抜きせん断耐力 設計値(kN)</td> <td>518</td> </tr> </tbody> </table> </div>	設計	設計条件	床版厚(mm)	120	設計基準強度(N/mm ²)	80			押抜きせん断応力度の基本値(N/mm ²)	1.5			押抜きせん断耐力 設計値(kN)	544	試験結果		押抜きせん断耐力 試験値(kN)	790	設計	設計条件	床版厚(mm)	160	設計基準強度(N/mm ²)	30			押抜きせん断応力度の基本値(N/mm ²)	1.0			押抜きせん断耐力 設計値(kN)	518	<p>資料 10.1</p>
設計	設計条件	床版厚(mm)	120																																	
		設計基準強度(N/mm ²)	80																																	
		押抜きせん断応力度の基本値(N/mm ²)	1.5																																	
		押抜きせん断耐力 設計値(kN)	544																																	
試験結果		押抜きせん断耐力 試験値(kN)	790																																	
設計	設計条件	床版厚(mm)	160																																	
		設計基準強度(N/mm ²)	30																																	
		押抜きせん断応力度の基本値(N/mm ²)	1.0																																	
		押抜きせん断耐力 設計値(kN)	518																																	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 4	耐荷性能の確認			
11	<p>(3) プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷力(限界状態 1・3)</p>	<p>(道示Ⅲ-7.3.1 一般)</p> <p>(1) 部材を剛結となるよう連結し一体の部材とする場合には、接合部において部材としての連続性を失わず、かつ、接合部が部材相互の曲げモーメント、軸方向力、せん断力及びねじりモーメントを着実に伝達するとともに、部材の一般部が限界状態 3 に達したときの断面力を確実に伝達できるようにしなければならない。</p> <p>(2) 1) から 4) を満足する場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>1) 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部では、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担により、断面力を伝達できる構造とする。</p> <p>2) せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部では、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造とする。ただし、接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないよう、接合部が限界状態 1 を超えてからは鋼材が引張応力のみで作用力に対して抵抗し、鋼材が降伏した後に接合部が破壊に至る構造とする。</p> <p>3) コンクリート部材どうしを連結する場合は、7.3.2 及び 7.3.3 の規定による。</p> <p>4) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅲ-7.3.2 同じ機能を有するコンクリート部材の連結)</p> <p>同じ機能を有するコンクリート部材どうしを連結し一体の部材とする場合の接合部は、以下の 1) から 6) を満足しなければならない。</p> <p>1) 接合部への作用により生じる引張力に抵抗するよう接合部に配置された鉄筋が、5.2.5 の規定に従い連結する部材のコンクリートに定着されている又は 5.2.7 の規定に従い連結する部材の主鉄筋に連結されている。</p> <p>2) 連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により、接合面に発生する引張力に抵抗できるよう、十分な鉄筋が配置されている。</p> <p>3) 接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗する。</p> <p>4) 連結される部材と同等の断面を有し、かつ、同等以上の主鉄筋が抵抗に有効となるよう配置されている。</p> <p>5) 接合部における二次応力の影響を十分に小さくできる構造とする。</p> <p>6) 双対の鉄筋をループ状に重ねた継手により部材を連結する場合は、7.6 の規定による。</p>	<p>プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。</p> <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部については、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担等、接合部の断面力を伝達するための要素とその伝達機構の説明。 上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部については、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造としての評価方法(設計方法)。 上記のせん断力及びねじりモーメントを受ける接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないための耐荷機構の説明。 上記の評価方法や耐荷機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合部に発生する引張力に抵抗するよう鉄筋を配置する場合には、鉄筋とコンクリートが一体となって働くこと、および鉄筋とコンクリートとの間の応力伝達が確実にできるための鉄筋の定着構造の概要とその応力伝達機構の説明。 上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。 <p>①～③ 以下図に本技術の接合部構造を示す。</p> <div data-bbox="1840 399 2641 798"> </div> <p>図 接合部構造図</p> <p>本接合部は床版本体より突出した鉄筋に異形ナットを装着し、間詰材を介して異形ナットが互いに拘束される事で引張応力を伝達する構造となっている。</p> <p>また、床版-接合部間のせん断を伝達されるため、床版本体の側面に幅 45~55mm、深さ 30mm のせん断キーを設けている。</p> <p>本接合部の静的耐荷性能については別途はり試験により確認を行っている。</p> <p>以下にはり供試体の構造、および載荷方法を示す。なお本試験では下面を載荷面として試験を行った。</p> <div data-bbox="1869 1092 2611 1701"> </div> <p>図 はり供試体構造図(S2-1～S2-3 は同構造)</p>	

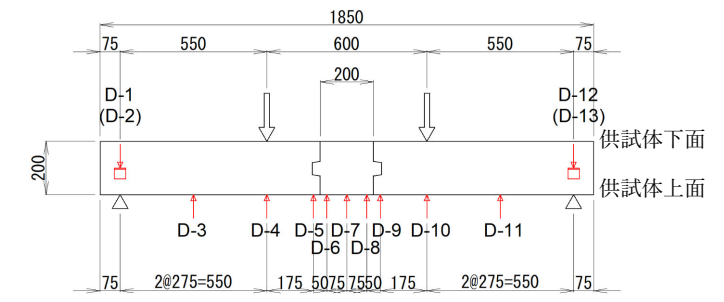


図 載荷方法(↑は変位計位置を示す)

下図に支間中央におけるたわみと荷重の関係を示す。また図に併記した点線は限界状態1、および3の設計値を示す。設計では接合部は見込んでおらず、また、試験結果における鉄筋降伏荷重、および終局荷重はいずれも設計値を上回っていることから、本接合部は曲げの作用に対して十分な耐荷性能を有していると考えられる。また破壊形態は圧縮縁の圧壊であり、せん断キヤにおける脆性的な破壊は見られなかった。

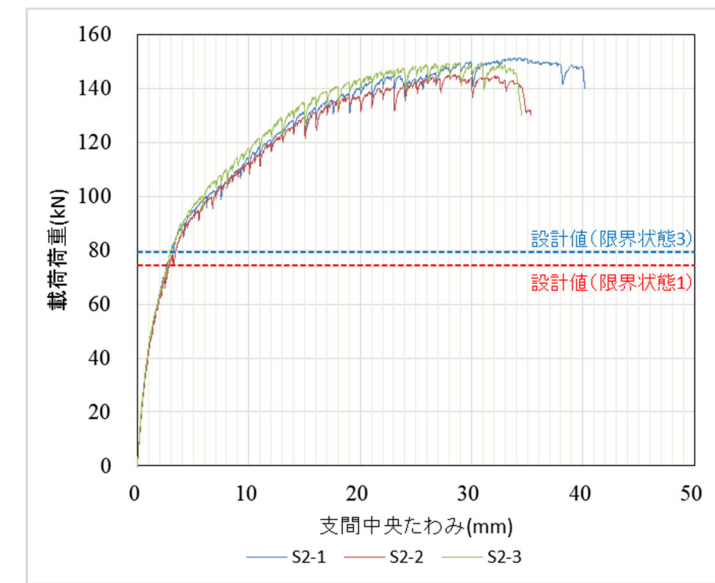


図 曲げ載荷試験結果

また、接合部有と無の床版それぞれについて押抜きせん断試験を実施した。(資料10.1参照)下図に試験体寸法、および載荷方法を示す。

資料10.1
(再掲)

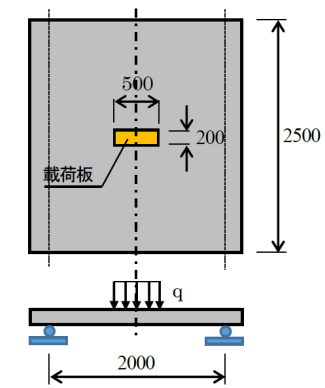


図 載荷方法

下図に接合部無し(Type-C')、接合部有り(Type-CJ')の床版中央における変位と荷重の関係を示す。どちらもほぼ同じ挙動を示しており、最大荷重もほぼ同じことから本接合部は十分な耐荷性能を有していると考えられる。

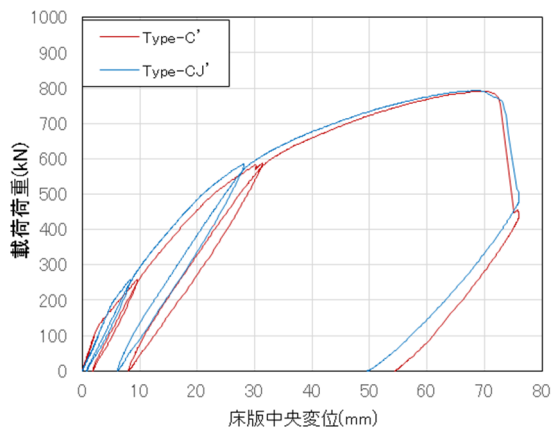


図 押抜きせん断試験結果(荷重—中央変位)
(Type-C'：接合部無し、Type-CJ'：接合部有り)

④
・連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により接合部に生じる引張力等内部応力の評価方法
・上記の応力伝達機構の説明。

⑤
・接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗することの確認結果。

⑥連結される部材と同等以上の抵抗性能を有していることの確認結果。

⑦接合部における二次応力の影響を小さくするための配慮事項。

- ①～⑦-2
・上記①～⑦によらない場合、下記についての情報を提示ください。
- 1)限界状態1にいたるまでの接合部の剛性がプレキャスト床版部と同等以上であることの確認結果。
 - 2)限界状態1にいたるまでの間に接合部に集中したひび割れが生じないことの確認結果。
 - 3)限界状態3に達するまでの間に接合部の破壊が床版の破壊に先行しないことの確認結果。

④
接合部の間詰は床版本体と同様の繊維補強コンクリートを使用しており、温度による変形量や剛性は同程度である。また、乾燥による変形については膨張材、および混和剤に内添した収縮低減剤の効果により抑制を図る。

⑤、⑥
接合部を有する床版にて輪荷重走行試験を実施し、100年相当の輪荷重を与えた後に床版上面に水張りし、漏水が無いことを確認した(資料11.1参照)。供試体諸元は「1.5 疲労に対する耐久性能の確認」No12に示す。本試験では100年相当の輪荷重として既往の研究*から250kN、10万回を設定した。
※後藤俊吾、長谷俊彦、本間淳史、平野勝彦：PC床版の疲労耐久性評価方法の提案、構造工学論文集、vol.66A、pp762-773、2020

本試験は接合部の疲労耐久性を評価する方法としてNEXCO試験法442「プレキャストPC床版接合部の疲労耐久性試験方法」にて定められており、この結果から少なくとも供用年数100年においては、接合部は床版本体と一体となって作用に抵抗し、かつ同等の抵抗性能を有していることを確認している。

⑦
接合部の間詰には本体と同配合の繊維補強コンクリートを使用し、膨張材、および混和剤に内添した収縮低減剤の効果により自己収縮による二次応力の抑制を図る。

資料 11.1

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 5 疲労に対する耐久性能の確認

(道示 II-11.1.2 設計の基本)

(1) <省略>

(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。

(3) <省略>

(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版は 11.2 から 11.7 の規定、鋼床版は 11.8 から 11.11 の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。

(5) <省略>

(道示 II-11.5 コンクリート系床版の疲労に対する耐久性能)

(1) 11.2 の規定を満足する鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版が、自動車の繰返し通行に伴う疲労に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2)から(11)を満足する場合には、所用の床版の耐久性能を満足するとみなしてよい。

(2) <省略>

(3) <省略>

(4) <省略>

(5) <省略>

(6) <省略>

(7) <省略>

(8) <省略>

(9) <省略>

(10) <省略>

(11) <省略>

①-1
 ・疲労耐久性に着目した最小床版厚を、道路橋示方書 II-11.5(2)～(5)に規定する床版厚としていますか？

①-1
 床版厚の設定においては、道路橋示方書の規定に示されている疲労耐久性に対する床版の最小全厚算定式の規定、および大型車交通量による床版厚の割増の規定によらず行う方針とする。
 以下に本技術の床版の設計フローを示す。疲労耐久性については別途松井式(式(1))により梁状化した床版の押抜きせん断耐力 P_{sx} を求め、式(2)により表わされる RC 床版の S-N 曲線を用いて設計輪荷重による疲労破壊回数が 100 年相当の繰返し回数以上となることを確認することにより照査した上で、床版厚・鉄筋配置を決定することとする。

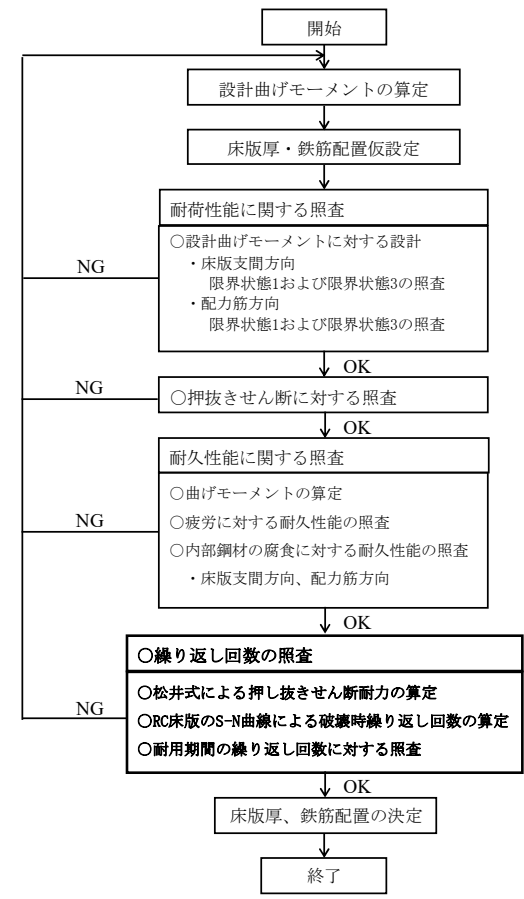


図 設計フロー

$$P_{sx} = 2B(f_v x_m + f_t C_m) \quad \text{式(1)}$$

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log C \quad \text{式(2)}$$

ここに、 P_{sx} ：梁状化した RC 床版の押抜きせん断耐力
 f_m ：梁状化の梁幅、 $B = (2b + 2d_d)$
 b ：載荷部の橋軸方向の辺長
 d_d ：配力鉄筋の有効高さ
 f_v ：コンクリートのせん断強度
 f_t ：コンクリートの引張強度
 f_c' ：コンクリートの圧縮強度
 x_m ：主鉄筋に直角な断面の引張コンクリートを無視した時の中立軸深さ

			<p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記①-1によらない場合、<u>コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、当該技術が最小床版厚とする版厚において、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっていることについての設計計算上の確認結果を提示ください。</u> <p>※道路橋示方書が定める疲労耐久性に着目した最小床版厚の設定根拠は、下記によっております。 「コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっているために必要な床版厚」：<u>鋼道路橋床版の設計に関する暫定基準（案）および施工に関する注意事項 道路 T968-10</u></p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>コンクリートの疲労によるひび割れ量を制限することを目的に、道路橋示方書がII-11.5(7)、(8)で規定する床版各部に生じる応力度の上限値を満足するよう設計することとしていますか？</u> <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記②-1によらない場合、③で実施する輪荷重走行試験の試験過程において、T荷重レベルの繰返し荷重载荷の段階においては、過大なひび割れが発生していないこと、また試験過程の全般にわたり、床版に発生するたわみがRC08床版のそれと比較して同等かそれ以下であることの確認結果を提示ください。 	
--	--	--	---	--

C_m : 主鉄筋の中心から測ったかぶり厚さ
 P : 輪荷重
 N : 繰返し回数
 C : S-N 曲線の切片(水張り無 : 1.52、水張り有 : 1.23)

①-2
本技術の床版では繊維補強コンクリートによる引張応力の分担を考慮しないため、疲労耐久性に着目した最小床版厚の設定根拠は①-1に示す方法による。

②
鉄筋の引張応力度、および圧縮応力度の制限値は道路示方書の規定による。
繊維補強コンクリートの曲げ圧縮応力度の制限値は道路示方書の鋼桁との合成を考慮しない場合の制限値の設定方法に基づき、設計基準強度の 1/3 に設定する。

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																																									
1. 5	疲労に対する耐久性能の確認	(続き)	<p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> RC08 床版と同じ設計条件で設計した当該技術の床版を用い、かつ接合部を有する床版の場合には、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製した上で、RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の条件（輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数）による試験を実施することにより、破壊荷重および破壊に至るまでの走行回数が RC08 床版と同等以上であること分かる確認結果を提示ください。 当該試験結果により破壊に至る形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）を説明ください。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記③の輪荷重走行試験により接合部の損傷が先行しないことが確認されている結果を提示ください。 <p>※本項で求める輪荷重走行試験については以下を基本としています。</p> <ol style="list-style-type: none"> RC08 床版とは、平成 8 年版道路橋示方書に従い設計した RC 床版とする。 供試体は、RC08 床版と同じ設計条件で設計した以下の供試体を使用する。 <ul style="list-style-type: none"> 支間 3m の連続床版（もしくは支間 2.5m の単純床版）に当該技術の床版を適用する場合の技術所定の設計方法により設計された床版。なお RC08 床版では最小版厚規定や交通量に伴う床版厚の割り増しを考慮しているが、供試体作製にあたっては、あくまでも当該技術の所定の設計方法によって決定した床版構造の供試体とする。 接合部を有する床版の場合には、下記点に留意し、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製する。 想定する接合部の方向（輪荷重走行方向に設ける接合部か、もしくは走行と直角方向に設ける接合部か）と、輪荷重走行方向に設ける接合部の場合は接合部の位置（床版支間に対する位置）に着目し、実際の接合部に発生する応力度を適切に評価できる位置に接合部を設置する。 RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数により試験を実施する。 <p>③</p> <p>接合部を有する床版にて輪荷重走行試験を実施した。(資料 11.1 参照)</p> <p>以下表に供試体の諸元を示す。</p> <table border="1" data-bbox="1923 478 2576 821"> <caption>表 輪荷重走行試験 供試体諸元</caption> <thead> <tr> <th>寸法</th> <th colspan="2">2800mm(支間方向)×4500mm(支間直角方向)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>支間長</td> <td colspan="2">2.5m</td> </tr> <tr> <td>床版厚</td> <td colspan="2">200mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">鉄筋配置</td> <td>引張側主鉄筋(下面)</td> <td>D19、@100mm</td> </tr> <tr> <td>圧縮側主鉄筋(上面)</td> <td>D16、@100mm</td> </tr> <tr> <td>下面配力筋</td> <td>D19、@125mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">接合部</td> <td>位置</td> <td>輪走行方向、CL-600mm</td> </tr> <tr> <td>幅</td> <td>200mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>床版の設計は前述の 1.5①-1 に示した設計フローに沿って行った。</p> <p>なお接合部は床版中心(CL)より 600mm 離れた位置に設けたが、事前に行った FEM 解析の結果より、床版下縁に発生するコンクリートひずみが CL-600mm と CL でほぼ差がないことを確認している。以下表に CL、および CL-600mm の位置における発生ひずみの解析値を示す。この結果から本接合部位置は実際の接合部に発生する応力度を適切に評価出来ると判断した。</p> <table border="1" data-bbox="1816 1119 2683 1381"> <caption>表 FEM 解析による床版下縁のコンクリートひずみ</caption> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Case1 (全断面有効)</th> <th>Case2 (引張側コンクリート無視)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張ひずみ</td> <td>CL</td> <td>191</td> <td>644</td> </tr> <tr> <td>最大$\sigma_{ct}(\mu)$</td> <td>CL-600mm</td> <td>189</td> <td>642</td> </tr> <tr> <td>せん断ひずみ</td> <td>CL</td> <td>3.0</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>最大$\tau_{yz}(\mu)$</td> <td>CL-600mm</td> <td>3.0</td> <td>27</td> </tr> </tbody> </table> <p>以下図に荷重ステップ、および試験で得られた荷重と荷重時たわみの関係を示す。また各走行回数におけるひび割れ図を示す。</p> <p>本試験では 250kN、10 万回まで荷重した後、水張り状態にて図に示す階段荷重に移行した。392kN、50 万回にて接合部位置を中心として押抜きせん断破壊と思われるひび割れが確認されたため、この時点で試験を終了した。</p>	寸法	2800mm(支間方向)×4500mm(支間直角方向)		支間長	2.5m		床版厚	200mm		鉄筋配置	引張側主鉄筋(下面)	D19、@100mm	圧縮側主鉄筋(上面)	D16、@100mm	下面配力筋	D19、@125mm	接合部	位置	輪走行方向、CL-600mm	幅	200mm			Case1 (全断面有効)	Case2 (引張側コンクリート無視)	引張ひずみ	CL	191	644	最大 $\sigma_{ct}(\mu)$	CL-600mm	189	642	せん断ひずみ	CL	3.0	27	最大 $\tau_{yz}(\mu)$	CL-600mm	3.0	27	資料 11.1 (再掲)
寸法	2800mm(支間方向)×4500mm(支間直角方向)																																												
支間長	2.5m																																												
床版厚	200mm																																												
鉄筋配置	引張側主鉄筋(下面)	D19、@100mm																																											
	圧縮側主鉄筋(上面)	D16、@100mm																																											
	下面配力筋	D19、@125mm																																											
接合部	位置	輪走行方向、CL-600mm																																											
	幅	200mm																																											
		Case1 (全断面有効)	Case2 (引張側コンクリート無視)																																										
引張ひずみ	CL	191	644																																										
最大 $\sigma_{ct}(\mu)$	CL-600mm	189	642																																										
せん断ひずみ	CL	3.0	27																																										
最大 $\tau_{yz}(\mu)$	CL-600mm	3.0	27																																										

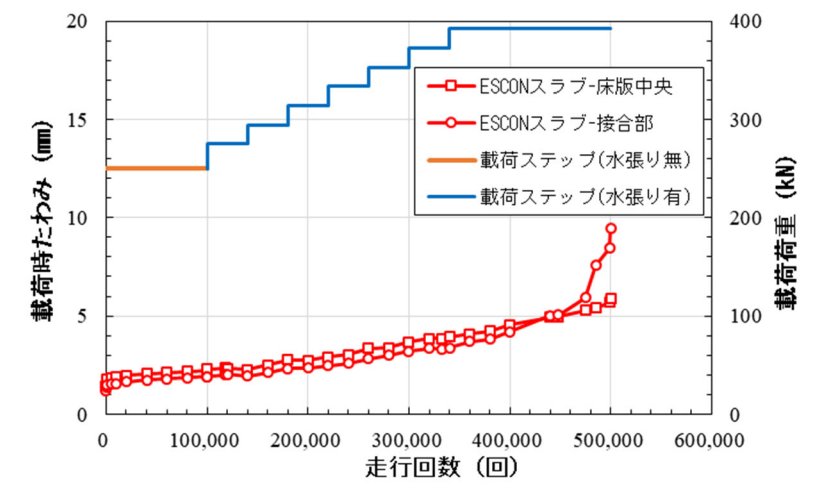


図 ESCON スラブの走行回数と荷重時たわみの関係

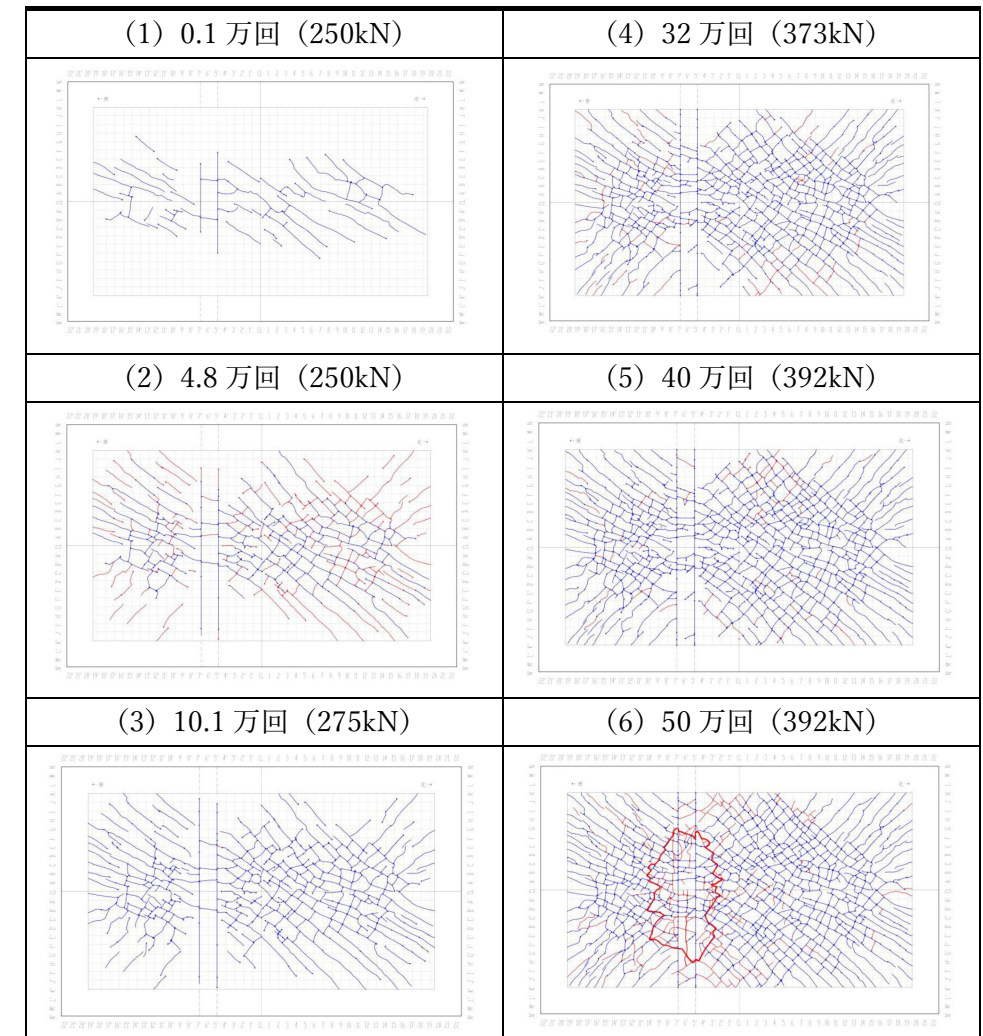


図 ESCON スラブのひび割れ状況(下面)

この結果を以下式を用いて基準荷重 100kN における等価走行回数に換算し、RC08 床版の階段荷重に当てはめることにより、両者の試験結果を比較した。

$$N_{ep} = \sum (P_i/P)^m \cdot n_i$$

- ここに、 N_{ep} : 基準荷重における等価走行回数
- P_i : 載荷荷重
- P : 基準荷重 (=100kN)
- m : S-N 線図(水張り時)の傾きの逆数
- n_i : 各荷重における走行回数

以下図に従来の床版、および本技術の試験結果を併記する。なお、本技術の試験結果は押抜きせん断破壊が生じた 50 万回に加え、接合部のたわみが急増し、接合部が使用限界に達したと考えられる 44 万回を併記する。本技術は RC08 床版を大きく上回る結果となっており、高い疲労耐久性が確認された。

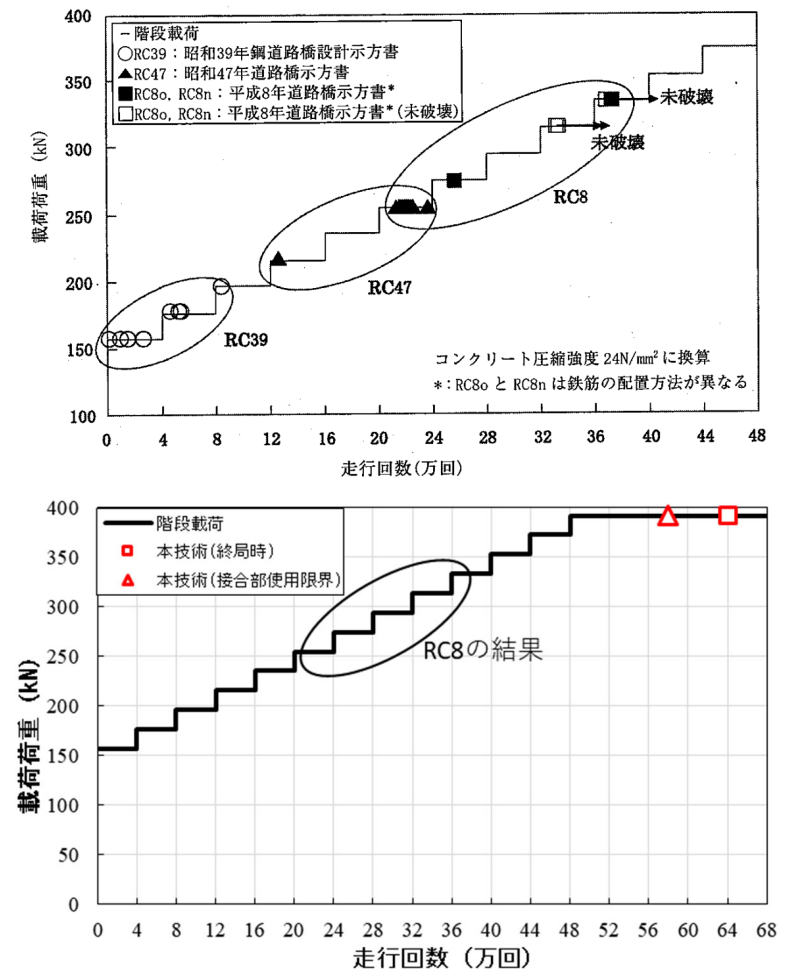


図 輪荷重走行試験結果の比較(上：従来の床版、下：本技術)

④ RC08 床版と同等の載荷荷重の範囲では、接合部の先行破壊は確認されなかった。

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 6	内部鋼材の腐食に対する耐久性能の確認	<p>(道示 II-11.6 コンクリート系床版の内部鋼材の腐食に対する耐久性能)</p> <p>(1) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版における内部鋼材の腐食に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2)及び(3)を満足する場合には、所要の部材の耐久性能が確保されるとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(道示 III-6.2.1 一般)</p> <p>コンクリート部材は、6.1(3)により当該部材に定めた設計耐久期間内において、内部鋼材の腐食により部材の耐荷性能が低下することがないようにしなければならない。</p> <p>(道示 III-6.2.3 かぶりによる内部鋼材の防食)</p> <p>(1) かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には、架橋地点の環境、橋の部位及び規模、部材の形状を考慮し、少なくとも(2)及び(3)に規定する最小かぶりを満足したうえで、適切なかぶりを確保する。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 永続作用支配状況での設計において、FRC 床版のコンクリートに生じる応力度により、床版に配置されている鋼材の腐食について有害なひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>※本項は床版内に配置される鉄筋等の鋼材に加え、床版コンクリートに混入される鋼材繊維の腐食に着目しています。参考までに、本項に関する要求性能として道路橋示方書では、鉄筋の引張応力度が 100N/mm² 以下となるよう規定しており、この応力度に到達した際のひび割れ幅やひび割れ間隔の発生状況を、腐食に対する耐久性に影響を及ぼし始めるひび割れ限界の目安として規定しています。</p> <p>※内部に腐食する鋼材や鋼繊維を使用しない床版の場合、もしくはプレストレスを導入する床版の場合で引張応力が発生しないことを設計方針としている場合は、回答不要です。</p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には、道示 III-6.2.3 に準拠した設計を行うこととしていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1 によらない場合、塩化物イオンに対する拡散係数について従来のコンクリートとの相対比較で評価し、従来コンクリートと同等の内部鋼材の腐食に対する耐久性能が確保できていることが判るデータを提示ください。 <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼繊維は使用しない。 鉄筋腐食については、道路橋示方書の規定に則り、永続作用の影響が支配的な状況において鉄筋の引張応力度が 100N/mm² 以下となる様に設計すること、および②に示す最小かぶりの設定により管理する。 <p>②-1</p> <p>塩害環境下における鉄筋の最小かぶりは道路示方書の規定によらず、30mm とする。</p> <p>②-2</p> <p>JSCE-G571-2010「電気泳動法によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案)」により、繊維補強コンクリート、および従来コンクリート(30-15-20N)の実効拡散係数を測定した(資料 3.2 参照)。以下表に各材料の拡散係数を示す。さらにコンクリート標準示方書(設計編)の方法に基づき、以下式により供用年数 100 年における各材料の鉄筋位置の塩化物イオン濃度 C_d を算定した。</p> $C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right) + C_i$ <p>ここに、C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値(kg/m³) γ_{cl} : C_d のばらつきを考慮した安全係数。一般に 1.3 とする。 C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン濃度(kg/m³) c : かぶり(mm) D_d : 塩化物イオンに対する設計拡散係数(cm²/年) t : 塩化物イオンの侵入に対する耐用年数(年)。100 年を上限とする。 C_i : 初期塩化物イオン濃度(kg/m³)。一般に 0.30kg/m³ とする。</p> <p>D_d はひび割れ発生を想定し、以下式により算定した。</p> $D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \left(\frac{w}{l} \right) \cdot D_0$ <p>ここに、γ_c : コンクリートの材料係数。一般に 1.0 とする。 D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値(cm²/年) λ : ひび割れの存在が拡散係数に及ぼすひび割れの影響を表す定数(kg/m³)。一般に 1.5 とする。 D_0 : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す係数(mm)。一般に 400cm²/年とする。 w/l : ひび割れ幅とひび割れ間隔の比</p>	資料 3.2(再掲)

w/lは以下式により算定した。

$$\frac{w}{l} = \frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd}$$

ここに、 σ_{se} : 鉄筋の引張応力度
 E_s : 鉄筋の弾性係数
 ε'_{csd} : コンクリートの収縮およびクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮する為の数値

かぶりは繊維補強コンクリートで 30mm、従来コンクリートで 70mm(道示規定における最大値)とした。また、コンクリート表面の塩化物イオン濃度はコンクリート標準示方書を参考に 9.0kg/m³(飛来塩分が多い地域、汀線付近)に設定した。鉄筋応力度は腐食に対する制限値である 100N/mm²とした。

以下表に算定結果を示す。
 鉄筋位置における塩化物イオン濃度は従来コンクリートで 8.99kg/m³、繊維補強コンクリートで 8.79kg/m³であり、繊維補強コンクリートはかぶり 30mm であっても従来コンクリートにおけるかぶり 70mm の場合とほぼ同等の腐食抵抗性を有すると考えられる。
 なお、道路橋示方書に規定される対策区分 S および I においては、かぶりによる防食の他に塗装鉄筋等、他の防食方法を併用することとする。

表 拡散係数、鉄筋位置における塩化物イオン濃度推定値

項目	記号	単位	従来コンクリート	繊維補強コンクリート
拡散係数の特性値(実験値)	D _k	cm ² /年	1.91	0.00591
コンクリートの材料係数	γ _c	-		1.0
コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数	D ₀	cm ² /年		400
ひび割れの存在が拡散係数に及ぼす影響を表す係数	λ			1.5
鉄筋の引張応力度	σ _{se}	N/mm ²		100
鉄筋の弾性係数	E _s	N/mm ²		200000
コンクリートの収縮およびクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮する為の数値	ε'csd			0.0001
ひび割れ幅とひび割れ間隔の比	w/l	-		0.0006
塩化物イオンによる設計拡散係数	D _d	cm ² /年	2.270	0.366
C _d のばらつきを考慮した安全係数	γ _{cl}			1.3
コンクリート表面における塩化物イオン濃度	C ₀	kg/m ³		9
かぶりの設計値	c	mm	70	30
設計供用年数	t	年		100
初期塩化物イオン濃度	C _i	kg/m ³		0.3
鉄筋位置の塩化物イオン濃度の設計用値	C _d	kg/m ³	8.99	8.79

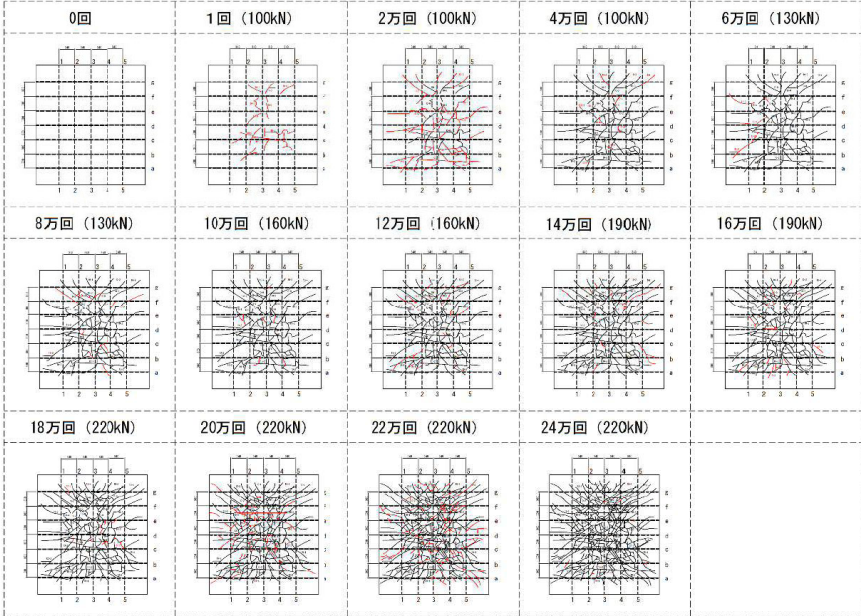
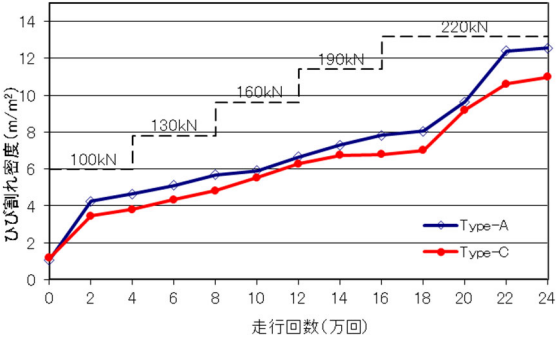
2. 施工に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																		
14	-	<p>2. 1 プレキャスト床版の製作についての確認</p> <p>(道示 III-17.3 施工要領書) 施工にあたっては、設計の前提条件及び施工段階で定めた事項等を満足する施工が行われることを確認できるよう、施工の手法、手順、検査の方法等に関する要領を定めなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.1 一般) プレキャスト部材を用いた構造物の施工にあたっては、所要の品質、精度が確保できるようプレキャスト部材の製作、運搬、保管、連結について、あらかじめ計画を立て、安全に施工されなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.2 部材の製作) (1) プレキャスト部材は、所要の施工精度を満足するように製作されなければならない。 (2) <省略> (3) プレキャスト部材は、製作にあたり製作に関わる資材、加工及び組立てについて記された施工要領書が作成されなくてはならない。 (4) プレキャスト部材は、加工及び組立て段階において所定の方法で施工されていることが確認されなくてはならない。</p>	<p>①プレキャスト床版製作時の品質管理について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版を製作する際の計量、練り混ぜ、養生、部材寸法精度などの品質管理方法については、プレキャスト床版は JIS A 5364、プレストレストコンクリート床版は JIS A 5373 に示されています。本要領では、これらの JIS にしたがった品質管理が望ましいと考えています。上記 JIS を適用されていますか？あるいは上記 JIS と同等の管理をされていますか？ <p>JIS と同等の管理がされていることを提示ください。</p> <p>②繊維の配向・分散の確認について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ <p>再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>① 以下表に JIS A5364 の適用状況を示す。JIS に従って品質管理を行っている。</p> <p style="text-align: center;">表 JIS A5364 適用状況</p> <table border="1" data-bbox="1884 485 2561 747"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>適用の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 製造方法</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>5.1 材料の計量</td> <td>適用する</td> </tr> <tr> <td>5.2 鋼材の組立</td> <td>適用する</td> </tr> <tr> <td>5.3 プレストレスの導入</td> <td>(プレストレスは導入しない)</td> </tr> <tr> <td>5.4 成型</td> <td>適用する</td> </tr> <tr> <td>5.5 養生</td> <td>適用する</td> </tr> <tr> <td>5.6 脱型</td> <td>適用する</td> </tr> <tr> <td>5.7 コンクリートの品質管理</td> <td>適用する</td> </tr> </tbody> </table> <p>② 再現性を確保する為、下図に示すように中心部からの打込みを基本とする。繊維の効果を設計に見込まない為、現状管理項目とはしていない。ただし、繊維の分散が不十分な場合、局所的な脆弱部が生じる可能性がある為、練混ぜ後のコンクリートについて、ファイバーボール(繊維のダマ)が無く、繊維が一様に分散していることを目視により確認している。現状、この方法にてこれまで製作した供試体で性能に大きなバラつきは見られていない。</p> <div style="text-align: center;">  <p>打込み位置</p> </div> <p>図 打込み方法イメージ</p>	項目	適用の有無	5 製造方法	—	5.1 材料の計量	適用する	5.2 鋼材の組立	適用する	5.3 プレストレスの導入	(プレストレスは導入しない)	5.4 成型	適用する	5.5 養生	適用する	5.6 脱型	適用する	5.7 コンクリートの品質管理	適用する	
項目	適用の有無																					
5 製造方法	—																					
5.1 材料の計量	適用する																					
5.2 鋼材の組立	適用する																					
5.3 プレストレスの導入	(プレストレスは導入しない)																					
5.4 成型	適用する																					
5.5 養生	適用する																					
5.6 脱型	適用する																					
5.7 コンクリートの品質管理	適用する																					

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 2	プレキャスト床版の施工性の確認			
15	-	<p>(道示 II-11.7 コンクリート系床版の施工時の前提条件)</p> <p>(1) 床版は、コンクリート打設時に生じるたわみにより、硬化中のコンクリートのひび割れ、床版の疲労に対する耐久性を損なう有害な局部変形及び応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(2) プレキャスト部材を用いる場合には、運搬時及び設置時に作用する荷重に対して、局部変形や応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版の最小全厚は施工性を考慮し、道路橋示方書 II 編 11.2.4 に示される 160mm 以上としますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記によらない場合、道路橋示方書に示される床版の最小全厚 160mm 以上の床版の施工と同様に確実に施工が行われることを確認されている根拠を提示ください。 <p>①</p> <p>床版厚は 160mm 以上を原則とする。 ただし、繊維補強コンクリートは高い自己充填性を有しており 160mm 未満の床版厚であっても施工可能と考えられる。 既往の試験 (資料 11.1 参照) では床版厚 t=120mm の接合部有りの供試体を作製したが、繊維補強コンクリートは鉄筋間や接合部に隙間なく充填されており、床版の品質に問題は見られなかった。</p>	資料 11.1 (再掲)

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 3	プレキャスト床版接合部の施工品質の確認			
16	-	<p>(道示 IIII-17.12.4 連結)</p> <p>(1) プレキャスト部材の連結は、使用する材料に最も適する施工方法を検討し、強度、耐久性、水密性等所要の品質が得られるように入念に行われなければならない。</p> <p>(2) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版同士の接合部の施工品質の確認方法として、次の2つの項目についての施工後の確認要領について提示ください。 <ul style="list-style-type: none"> 1)接合部に求める所定の強度が得られていることの確認方法 2)有害な初期ひび割れが発生しないことの確認方法（配合の妥当性確認に加え、実施工での初期ひび割れが発生しなかったことの確認要領等） <p>※接合部の品質を確保するための施工方法について、下記 a)、b) のマニュアルに照査の考え方、品質管理項目、検査項目が示されています。</p> <p>a) 「鋼道路橋 PC 床版の施工品質向上策に関する検討 (I) PC 床版施工マニュアル (案)・施工管理要領 (案) プレキャスト PC 床版編 (H15.8 国総研資料第 121 号)」</p> <p>b) 「プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領 (H30.3 JPCI) 4.6 床版相互の接合」</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部においても繊維補強コンクリートを使用する場合は、その繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ <p>再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>①</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 接合部打込みと同バッチにて採取し、接合部と同一の養生を施した試験体について圧縮強度試験を行い、所定の強度以上であることを確認する。 2) 接合部には床版本体部と同配合の繊維補強コンクリートを使用し、膨張材、および混和剤に内添された収縮低減剤の効果により自己収縮によるひび割れを抑制する。また接合部界面の付着性能を高めるため、打込み直前にエポキシ系接着剤を全面塗布する。脱型後、目視によりひび割れの有無を確認する。 <p>②</p> <p>製作方法（打込み方法）はプレキャスト部と同様、打設範囲の中心部から打込むことを基本とする。</p>	

3. 維持管理に関する確認事項

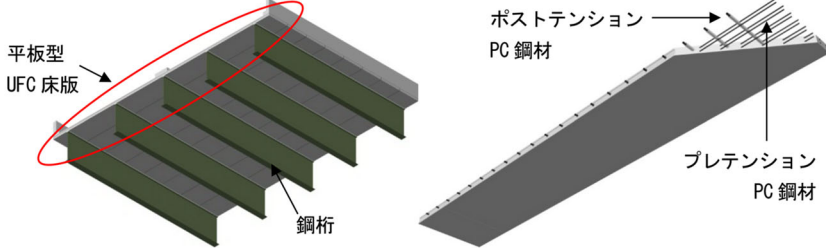
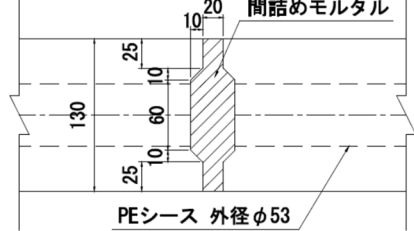
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
3. 1	維持管理の确实さの確認	<p>(道示 I-1.3 設計の基本理念)</p> <p>橋の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、維持管理の确实性及び容易さ、施工品質の確保、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。</p>	<p>① 既往の疲労試験結果等により得られるひび割れ進展形態をもとに、供用後の橋梁定期点検等維持管理において役立つ、ひび割れ評価の概略図を提示ください。(例：橋梁定期点検損傷度評価指標 (下図))</p> <p>① 現状、通常の RC 床版と同様の評価方法とする。参考のため、以下図に既往の輪荷重走行試験 (資料 12.1 参照) にて得られたひび割れ進展図を示す。載荷初期の段階では橋軸直角方向のひび割れが発生し、その後亀甲状のひび割れに発展する傾向が見られた。ESCON スラブでは繊維の架橋効果、および密に配置した鉄筋の影響によって、従来の RC 床版と比較しひび割れの分散によりひび割れ密度は大きくなるが、ひび割れ幅は小さく抑えられると考えられる。また、載荷終了時(走行回数 24 万回)においても全てのひび割れで角落ち、段差がなく十分な健全性を有していた。</p>  <p>図 輪荷重走行試験におけるひび割れ進展図 (Type-A：主鉄筋ピッチ 150mm)</p> <p>以下に走行回数とひび割れ密度の関係を示す。一般に RC 床版の使用限界時のひび割れ密度は 10m/m² と言われているが、その時の本技術の床版におけるひび割れ密度を試験結果より推定すると概ね 14 m/m² となった。</p>  <p>図 走行回数とひび割れ密度の関係 (Type-A：主鉄筋ピッチ 150mm、Type-C：主鉄筋ピッチ 100mm)</p>	資料 12.1 (再掲)

付録-4 超高強度繊維補強コンクリート（UFC）道路橋床版

開発者名：阪神高速道路株式会社，鹿島建設株式会社

1. 技術の概要に関する確認

繊維補強コンクリート床版としての技術の概要に関する確認事項

NO.	着目する項目	技術開発者記入欄	資料 No.																									
	技術名称 (同 副題)	超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版																										
	開発者名	阪神高速道路株式会社, 鹿島建設株式会社																										
	NETIS 登録状況	超高強度繊維補強コンクリート(UFC)道路橋床版 (KK-190043-A)																										
	特許等取得状況																											
	第三者機関等の証明情報	土木学会技術評価証 第 17 号「超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 道路橋床版」																										
	施工実績	<p>・施工実績がある場合は、施工実績表を別途添付ください。</p> <p>・阪神高速道路で 4 橋の施工実績</p> <table border="1" data-bbox="1596 730 2516 898"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>企業者</th> <th>種別</th> <th>規模</th> <th>完成年月</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 阪神高速道路15号堺線玉出入口</td> <td>阪神高速</td> <td>道路橋</td> <td>6.25m×22.0m×3径間</td> <td>2018年11月</td> </tr> <tr> <td>2 阪神高速12号守口線床版取替工事</td> <td>阪神高速</td> <td>道路橋</td> <td>17.60~18.64m×35.0m</td> <td>2021年4月</td> </tr> <tr> <td>3 阪神高速道路1号環状線信濃橋入路橋</td> <td>阪神高速</td> <td>道路橋</td> <td>5.75~5.83m×37.0m</td> <td>2020年1月</td> </tr> <tr> <td>4 阪神高速神戸線床版取替工事</td> <td>阪神高速</td> <td>道路橋</td> <td>17.60m×30.1m</td> <td>施工中</td> </tr> </tbody> </table>	名称	企業者	種別	規模	完成年月	1 阪神高速道路15号堺線玉出入口	阪神高速	道路橋	6.25m×22.0m×3径間	2018年11月	2 阪神高速12号守口線床版取替工事	阪神高速	道路橋	17.60~18.64m×35.0m	2021年4月	3 阪神高速道路1号環状線信濃橋入路橋	阪神高速	道路橋	5.75~5.83m×37.0m	2020年1月	4 阪神高速神戸線床版取替工事	阪神高速	道路橋	17.60m×30.1m	施工中	
名称	企業者	種別	規模	完成年月																								
1 阪神高速道路15号堺線玉出入口	阪神高速	道路橋	6.25m×22.0m×3径間	2018年11月																								
2 阪神高速12号守口線床版取替工事	阪神高速	道路橋	17.60~18.64m×35.0m	2021年4月																								
3 阪神高速道路1号環状線信濃橋入路橋	阪神高速	道路橋	5.75~5.83m×37.0m	2020年1月																								
4 阪神高速神戸線床版取替工事	阪神高速	道路橋	17.60m×30.1m	施工中																								
	<p>技術の概要</p> <p>①床本体の構造概要</p> <p>②床版同士の接合部の構造概要</p> <p>③当該技術の特徴</p> <p>④製品としてのシリーズに関する情報</p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 床本体の構造概要が判る図を掲載ください。 床版の概要として、床版を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方 (曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む) を記載ください。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> 橋軸方向の接合部、橋軸直角方向の接合部に分けて、接合部の構造概要が判る図を掲載ください。(ただし、想定していない接合部はその旨記述し、内容を省略いただいて結構です。) 接合部の概要として、橋軸方向、橋軸直角方向の各々について、接合部を構成する要素と、設計上のそれらの有効断面の考え方 (曲げモーメントおよびせん断力による応力の伝達機構で、プレストレスを導入する構造か否かも含む) を記載ください。 <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 当該技術の特徴 (セールスポイント) を簡潔に説明願います。(特に、従来の RC 床版や PC 床版と比較した場合の優れている点等) <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> プレキャスト床版の製品としてシリーズが既に準備されている場合には、その製品群に関する情報 (カタログ等) を添付ください。 	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案) 土木学会」で規定された超高強度繊維補強コンクリート (以下、UFC) のひとつであるサクセムを用いた道路橋用プレキャスト床版 床版は、直角方向にプレテンション方式で、橋軸方向にポストテンション方式で、プレストレスを導入する 2 方向 PC 構造です。 床版の厚さは 130mm 以上で床版支間に応じて設定し、全断面を有効として設計します。  <p>UFC 製造橋用プレキャスト床版の構造概要</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> 橋軸方向接合部は、数十 mm の床版同士の隙間に間詰め材を充填し、プレストレスを導入する構造です。 全断面を有効として設計します。  <p>床版の接合部</p> <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 方向にプレストレスを導入する構造であるため疲労耐久性に優れています。 緻密な材料を使用しているため、腐食に対する耐久性にも優れています。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> NETIS(KK-190043-A) : 超高強度繊維補強コンクリート(UFC)道路橋床版 																									

II. 性能の確認

1. 設計に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1	使用材料に求める事項の確認		
1	(1) 補強鋼材	<p>(道示 I-9.1 鋼材)</p> <p>(1) 鋼材は、強度、伸び、じん性等の機械的性質、化学組成、有害成分の制限、厚さやそり等の形状寸法等の特性や品質が確かなものでなければならない。</p> <p>(2) 表-9.1.1<省略>に示す鋼材は、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版に使用する補強鋼材を提示ください。また、その鋼材が道路橋示方書 I 編 9.1 表-9.1.1 に示す鋼材の場合、JIS 規格を提示ください。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性や品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。 <p>※コンクリート床版に使用する線材、棒鋼等の鋼材等は、製造時に材料としての特性や品質が決定されるため、その特性や品質が確保されていることを使用上の前提条件としています。道路橋示方書 I 編 9.1 では、JIS に適合し、かつこれまでに十分な使用実績がある鋼材については、特性が明確で一定の水準以上の品質を有するとみなしてよいとされています。</p> <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書 I 編 9.1 表-9.1.1 に示された鋼材のうち、「JIS G 3536 PC 鋼線及び PC 鋼より線」に適合した鋼材を使用します。 	

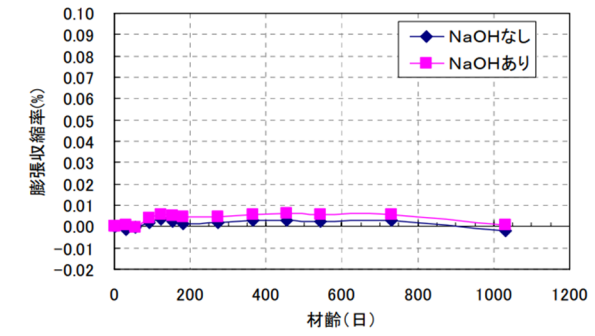
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1.	1 使用材料に求める事項の確認	<p>(2) 繊維補強コンクリートの構成材料</p> <p>(道示 I-9.2.1 一般) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.2 コンクリート材料) (1) コンクリートに用いる材料は、次に示すものを使用しなければならない。 1) セメントは、比表面積、凝結時間、圧縮強さ、有害成分の制限等の特性や品質が確かなものでなければならない。 2) 水には油、酸、塩類、有機物等の有害物が含まれてはならない。 3) 細骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、ごみ、泥、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 4) 粗骨材は、清浄、強硬で耐久性と適度な粒度を有するとともに、薄い石片、細長い石片、有機不純物、塩化物等を有害量含まれてはならない。 5) 混和材料として用いる混和剤及び混和材は、コンクリートの特性や品質の改善に対する効果及びその特性や品質が確かなものとする。 (2) 表-9.2.1<省略>に示す規格又は規定に適合する材料については、上記品質を有するとみなしてよい。 (3) フレッシュコンクリート中に含まれる塩化物イオンの総量は、0.3kg/m³以下とする。</p>	<p>①-1 ・道路橋示方書 I 編 9.2.2、表-9.2.1 に示す規格又は規定に適合する材料を使用していますか？ セメント、混和材料、水、骨材、細骨材、混和材それぞれについて JIS 規格を提示ください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、品質の確かさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・補強用繊維について、繊維の種類（材質）及び品質管理項目を提示ください。また、合成繊維を使用する場合は、耐熱性、耐アルカリ性について根拠資料を提示ください。</p> <p>②-2 ・上記②-1 によらない場合、耐熱性、耐アルカリ性の試験結果を示すことに加え、実際の繊維補強コンクリートを長期間屋外に暴露した結果等を用いて、繊維補強コンクリートに対する経年の影響について説明できる根拠資料を提示ください。</p> <p>③-1 ・塩化物イオンの総量を適切に管理されていますか？ 塩化物イオンの総量と管理方法を提示ください。</p> <p>③-2 ・上記③-1 によらず、従来のコンクリートを対象としたフレッシュコンクリートに対する試験方法が適用できない場合や、全て工場等で準備した材料等を用いる場合、それらの条件に応じて適切な方法で管理されていることを提示ください。</p>	<p>①-1 ・いずれも規格・規定に適合した品質の材料を用いているため、道路橋示方書に示されている JIS 規格のとおりです。 ただし、UFC 材料は粗骨材を用いておらず、細骨材の寸法および粒度分布についてはフレッシュコンクリートの特性 (JIS R 5201 モルタルフロー) および繊維の分散性を考慮して調整をしています。 ・細骨材は、力学特性を満足することが確認されたものにしており、JIS A 5308 のうち、アルカリシリカ反応性による区分 A を用いることとしています。</p> <p>①-2 ・結合材は、セメント以外に専用の高強度混和材（分割タイプ）、もしくはセメントとブレンドしたプレミックス結合材（プレミックスタイプ）を用います。内容は開示できませんが、メーカーより以下の試験に基づいた製品規格による試験成績表でその品質を確認しています。 ・JIS R 5202「セメントの化学分析方法」に準じ加熱減量、酸化マグネシウム、塩化物イオンを、JIS A 5011「コンクリート用スラグ骨材」に準じ三酸化硫黄を確認しています。 ・収縮低減剤は、JIS A 6211「コンクリート用収縮低減剤」に定められた項目にて性能・品質が適合しているものを用いています。</p> <p>②-1 ・繊維は、引張強度 2.0×10³N/mm²以上の鋼繊維であり、JIS Z 2241「金属材料引張試験」に準拠した方法で確認します。繊維径は 0.2±0.03mm、長さは 15～22±1.5mm としています。 ・合成繊維は使用しません。</p> <p>③-1 ・UFC の場合、セメントおよび混和剤が多いため、塩化物イオン総量 0.3kg/m³ (0.6kg/m³) 以上となります。一方で硬化体が非常に緻密であるため、外部からの酸素や水の供給がほとんどないため、塩化物イオンによる鋼材の腐食が抑制されます。 ・上記について、塩化物イオン量 13kg/m³を別添した UFC に鋼材 (JIS G 3108 準拠 みがき鋼棒) を埋め込み、JCI-SC2「塩分を含んだコンクリート中の補強用鋼棒の促進腐食試験方法—オートクレーブ法—」に準じた試験にて、鋼棒が腐食していないことを確認しています。</p> <p>③-2 ・③-1 による事前の確認に基づき、塩化物イオン量が 0.3kg/m³を超えても酸素や水の供給がほとんどないため、13kg/m³までの範囲で腐食が生じないことを確認しており、納入材料の受入検査による塩化物イオン量の管理（算出）に代えています。 UFC (サクセム) の場合、工場で準備する可能性のあるものは、結合材の分割タイプを採用した際の「セメントのみ」になります。</p>
2				

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 1 使用材料に求める事項の確認

3	<p>(3) 繊維補強コンクリートの品質</p>	<p>(道示 I-9.2.1 コンクリート) コンクリートは、強度、変形能、耐久性や施工に適するワーカビリティ等の特性や品質が確かなものでなければならない。そのためには材料の選定、配合及び施工の各段階において適切な配慮をしなければならない。</p> <p>(道示 I-9.2.3 コンクリートの強度) コンクリートは原則として、表-9.2.2<省略>に示す最低設計基準強度以上のものを用いる。</p> <p>(道示 II-14.3.2 床版のコンクリートの設計基準強度) (1) 床版のコンクリートの設計基準強度は、所用の強度が確保できるようにするほか、床版の耐久性を考慮して定めなければならない。 (2) 床版のコンクリートの設計基準強度の決定にあたっては、試験練り又は実績等により、施工時に有害なひび割れが生じないことを確認する。 (3) (4)から(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。 (4) 床版のコンクリートの設計基準強度 σ_{ck} は、24N/mm^2 以上とする。ただし、床版にプレストレスを導入する場合は I 編 9.2.3 の規定による。 (5) <省略> (6) <省略></p>	<p>① ・床版に使用する繊維補強コンクリートの設計基準強度を提示ください。 また、この設計基準強度が道路橋示方書 II 編 14.3.2 (4)、(5) に示される値以上であることを示してください。</p> <p>② ・耐凍結融解性能について確認されていますか？ 要求される凍結融解性能が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。</p> <p>③ ・コンクリートの塩分浸透性について確認されていますか？ 要求される塩分浸透性が確保されていることが試験等により示されている根拠を提示ください。</p> <p>④ ・アルカリ骨材反応抑制対策を行っていますか？ その確認の方法および結果を提示いただき、アルカリ骨材反応に対し安全であることをその結果から説明ください。</p>	<p>① ・蒸気養生後における UFC (サクセム) の設計基準強度は以下になります。 圧縮強度 f_{ck} : 180N/mm^2 ひび割れ発生強度 f_{cr} : 8.0N/mm^2 引張強度 f_{tk} : 8.8N/mm^2</p> <p>② ・UFC (サクセム) の耐凍結融解抵抗性については、土木研究所との共同研究で JIS A 1148 の A 法に準じた試験を行って 300 サイクル経過後の相対動弾性係数が 60% 以上と凍結融解抵抗性を有することを確認しています。なお、使用水は 3% NaCl 水としており、万一、凍結防止剤を含む水が床版に供給された場合も一定の凍結融解抵抗性を有することが期待されます。 ・JIS A 1148 (A 法)「コンクリートの凍結融解試験法 (水中凍結融解試験)」により淡水を用いた試験の場合、凍結融解サイクルを JIS で規定された 300 回を超える 4500 回以上としても相対動弾性係数の低下、質量の減少ならびに表面のスケールングが認められていません。</p> <div data-bbox="1982 737 2472 1010" data-label="Figure"> </div> <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) の凍結融解抵抗性</p> <p>③ ・JSCE-G 572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」を参考に、塩水 (10%NaCl 水溶液=塩化物イオン濃度約 6% : UFC 指針案に記載されている方法よりも高い濃度) に浸せきさせたのち、電子線マイクロアナライザー (EPMA) にて塩化物イオン濃度を分析して算出しています。 ・浸せき期間 30 ヶ月 (2.5 年) 時点における塩化物イオンの拡散係数は $0.0018\text{cm}^2/\text{年}$ であり、これを用いて UFC での最小かぶり 20mm で鋼材腐食の照査を行うと、鋼材表面位置において腐食限界塩化物イオン濃度に達するのは、計算上 300 年以降となります。</p> <div data-bbox="1991 1430 2472 1745" data-label="Figure"> </div> <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) の塩化物イオン拡散係数</p> <p>④ ・UFC (サクセム) に使用する骨材は、アルカリシリカ反応性による区分 A (無害) を用いています。 ・JCI AAR3「コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法 (コンクリート</p>
---	--------------------------	---	---	--

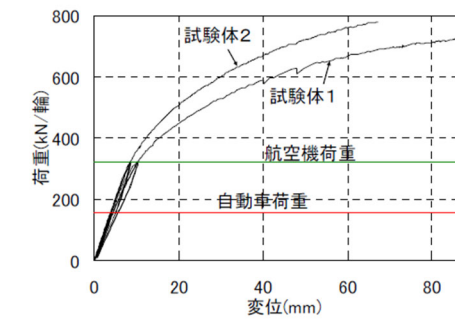
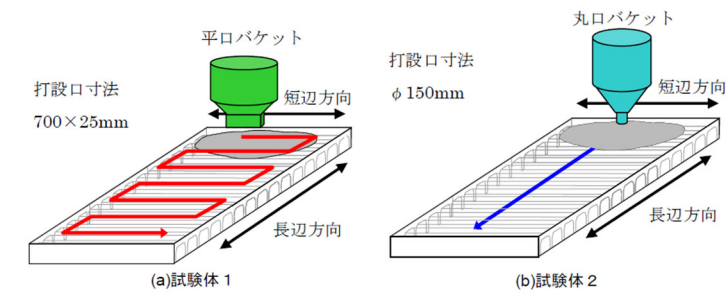
法)」によってUFCの促進膨張試験を実施した結果、12ヵ月後の膨張率が 55×10^{-6} ($\leq 1000 \times 10^{-6}$)であること、その後の膨張も認められないことを確認しています。



UFC (サクセム) のアルカリシリカ反応性 ($\leq 1000 \times 10^{-6}$)

- ⑤
- ・プレキャストコンクリート製品が適切に製作できる施工性を有していますか？
その確認の方法および結果を提示いただき、施工性を有していることを説明ください。

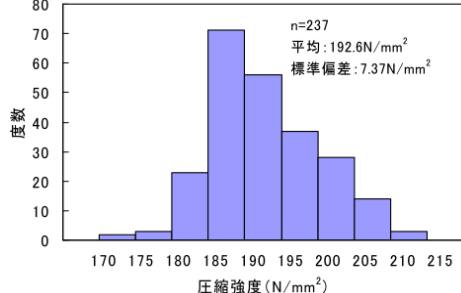
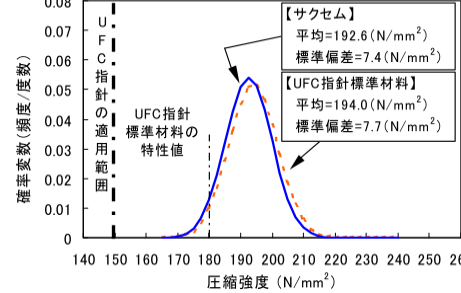
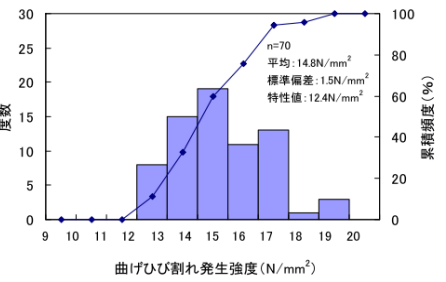
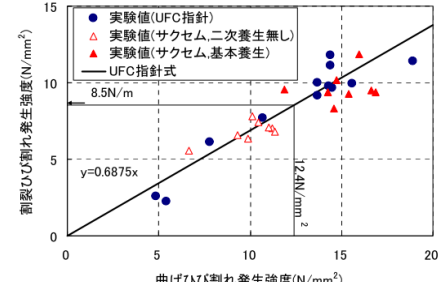
- ⑤
- ・UFC (サクセム) のフレッシュコンクリートとしての特性は流動性および自己充填性に優れ、モルタルフローでコンシステンシーを確認します。また、定められたコンシステンシー (打込み時点のモルタルフロー230~270mm) で練混ぜを管理することで、繊維の沈降といった材料分離を防いでいます。
 - ・打込み時には内部振動機を用いず、1体の製品につき連続的に打ち込むことを原則としています。打込み方法によっても繊維の配向により床版の耐力が変わることがあるため、事前の検討にて定めた方法にて打ち込むこととしています。



打込み方法による部材耐力の違い (例)

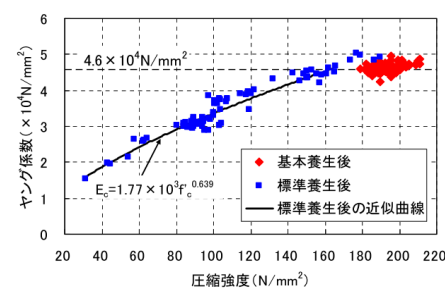
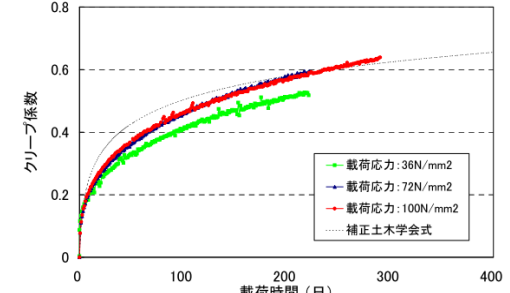
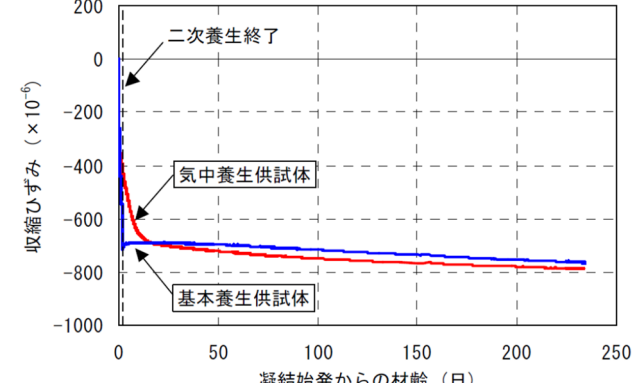
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

4	<p>(1) 強度の特性値</p>	<p>(道示 II-4.1.1 一般) (1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がその強度を下回る確率がある一定の値以下となることが保証された値としなければならない。 (2) 4.1.2 及び 4.1.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。 (3) コンクリートを使用する場合には、この編及び III 編に規定する材料の強度の特性値を用いることにより、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 III-4.1.1 一般) (1) 材料の強度の特性値は、適切に定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを考慮したうえで、試験値がそれを下回る確率がある一定の値以下となることが保証された強度の値としなければならない。 (2) 4.1.2 の規定による場合には、鋼材の強度は(1) を満足するとみなしてよい。 (3) コンクリートの圧縮強度は 4.1.3 の規定による。</p> <p>(道示 III-4.1.3 コンクリートの圧縮強度の特性値) (1) コンクリートの圧縮強度の特性値をもって設計基準強度とする。 (2) コンクリートの圧縮強度の特性値は、材齢 28 日における試験強度に基づき、試験値がその値を下回る確率が 5% となるように定められた値とする。 (3) <省略></p>	<p>①-1 ・鉄筋コンクリート用棒鋼、PC 鋼線、PC 鋼より線、PC 鋼棒の強度の特性値については、道路橋示方書 III 編表-4.1.1～表-4.1.4 を適用されていますか？</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・繊維補強コンクリートの圧縮強度は道路橋示方書 III 編 4.1.3 の(1)および(2)に従って定められていますか？</p> <p>②-2 ・プレキャストコンクリートにおいては蒸気養生などを実施し早期に強度発現が期待できるものもあることから、材齢 1 4 日などの強度試験結果に基づいて特性値を定めることも可能である。 したがって、上記の場合、特性の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>③ ・繊維補強コンクリートの引張応力の制限値を定める根拠となる引張強度については、ひび割れ発生強度により設定されていますか？ 繊維補強コンクリートのひび割れ発生強度を求めた試験法試験およびその設定方法について提示ください。</p> <p>※繊維補強コンクリート床版に用いる材料の強度の特性値は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、材料特性の確からしさを確認するための試験により検証され、その結果に基づいて設定されていることを確認する。</p>	<p>①-1 ・PC 鋼より線、PC 鋼棒の強度の特性値は、道路橋示方書 III 編表-4.1.2、表-4.1.3 を適用しています。</p> <p>②-1, ②-2 ・1.1.3 (3) の①にて回答のとおりです。圧縮強度の特性値は、材齢 28 日ではなく蒸気養生後の試験強度に基づき定めています。 ・JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて試験し、圧縮強度の平均値は 192.6N/mm²、標準偏差は 7.4N/mm²です。正規分布を仮定し、危険率 5% となる値は 180.5N/mm²となります。</p>   <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) の圧縮強度の特性値</p> <p>③ ・まず、JSCE-G552「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法」により、100×100×400mm 供試体を用いた 3 等分点曲げ載荷から、曲げひび割れ発生強度を算出します。曲げひび割れ発生強度は、平均値 14.8N/mm²、標準偏差 1.5N/mm²、正規分布を仮定し危険率 5% となる値は 12.4N/mm²となります。 ・これを JIS A 1113 割裂引張試験によるひび割れ発生強度に換算すると、8.5N/mm² となることから、安全側にひび割れ発生強度の特性値は 8.0N/mm² と設定しています。</p>   <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) のひび割れ発生強度の算出</p>	
---	-------------------	--	--	---	--

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

5	<p>(2) 設計に用いる定数</p>	<p>(道示 I-9.3 設計計算に用いる定数) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性や品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。</p> <p>(道示 III-4.2.1 一般) (1) 設計計算に用いる定数は、使用する材料の特性及び品質を考慮したうえで適切に設定しなければならない。 (2) 4.2.2 及び 4.2.3 の規定による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(道示 I-8.1 死荷重) (1) 死荷重は、材料の単位体積重量を適切に評価して定めなければならない。 (2) <省略> (3) 材料の単位体積重量を(2)によらず定める場合には、(4)から(6)に従わなければならない。 (4) 材料の単位体積重量のばらつきを適切に評価する。 (5) JIS 等の公的規格に従って材料の単位体積重量や部材寸法等の変動の上限値や下限値が制御された材料を用いる場合には、規格を満足するもののみを母集団とする場合のばらつきで評価する。 (6) 材料の単位体積重量の特性値は、その母集団を正規分布としたときの非超過確率 50%に相当する値とすることを標準とする。</p>	<p>①-1 ・繊維補強コンクリート床版に用いる使用鋼材を提示ください。その鋼材が、道路橋示方書 I 編 9. 1 に示す JIS 規格に適合する鋼材である場合、道路橋示方書 III 編表-4.2.1 および表-4.2.2 に示される値を適用しているか提示してください。</p> <p>①-2 ・上記①-1 によらない場合、左記要求事項に示す原則に従って、特性および品質の確からしさを確認するための試験及びその結果を提示ください。</p> <p>②-1 ・設計基準強度が 80N/mm² 以下、かつ普通骨材のみを用いる場合は、コンクリートのヤング係数・クリープ係数・乾燥収縮度・せん断弾性係数などの定数は、道路橋示方書 III 編 4.2.2 の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式 (4.2.1) の値を採用していますか？</p> <p>②-2 ・設計基準強度が 80N/mm² を超える繊維補強コンクリートの場合や軽量骨材を用いる繊維補強コンクリートでは、道路橋示方書が前提とする一般的なコンクリートとは特性が異なることから、道路橋示方書の条文の表-4.2.3～表 4.2.5 及び式 (4.2.1) は適用できないものと思われます。その場合には、特性の確からしさを確認するための試験とその結果及び設定根拠を提示ください。</p> <p>※繊維補強コンクリート床版の設計に用いる定数は、道路橋示方書の要求事項を踏まえ、繊維補強コンクリート床版の品質を考慮したうえで適切に設定されていることを確認する。</p>	<p>②-1 および②-2 ・UFC のヤング係数は $4.6 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ としています。ヤング係数は ϕ 100×200mm 供試体での圧縮強度試験において、コンプレッソメータで長さ変化を計測して求めています。</p>  <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) のヤング係数</p> <p>・蒸気養生後の UFC (サクセム) のクリープ係数は 0.7 としています。クリープひずみは $\phi 75 \times 150 \text{mm}$ 供試体を用いて、36, 72, 100N/mm² の圧縮応力を作用させ、圧縮力を与えた試験体のひずみから同じ環境条件下で圧縮力を与えない試験体のひずみを引いて求めています。</p>  <p style="text-align: center;">蒸気養生後の UFC (サクセム) のクリープ係数</p> <p>・UFC (サクセム) の収縮は自己収縮が主であり、蒸気養生後の乾燥収縮は以下の図に示すように小さくなっています。</p>  <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) の凝結の始発からの収縮ひずみ (自己収縮+乾燥収縮)</p>
---	---------------------	---	---	--

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 2 繊維補強コンクリートの特性値の確認

(2) 設計に用いる定数

(続き)

③
 ・設計に用いる繊維補強コンクリートの応力ひずみ曲線を提示ください。また、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。

③
 ・設計に用いる圧縮応力-ひずみ曲線および引張応力-ひずみ曲線は、試験に基づき、以下の図のモデルを用いています。

設計に用いる圧縮応力-ひずみ曲線

試験による圧縮応力-ひずみ曲線

設計に用いる引張応力-ひずみ曲線

試験による引張応力-ひずみ曲線

④

・死荷重を計算する際の繊維補強コンクリートもしくは軽量骨材コンクリートの単位体積重量について、道路橋示方書Ⅰ編 8.1(4)～(6)に従って定めているものと思われませんが、試験とその試験結果に基づいて定められた根拠を提示ください。

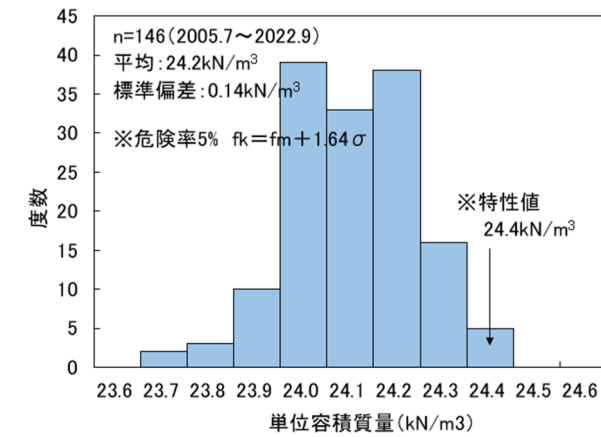
なお、設計に用いる死荷重については、鉄筋やPC鋼材を見込んだ重量と繊維補強コンクリートのみの重量に分けて提示ください。

また、鉄筋やPC鋼材の重量を見込む場合の方法も提示ください。

※道路橋示方書では、橋に用いられる材料の単位体積重量については、一般には単位体積重量の平均値を特性値として用いてよいとされています。

④

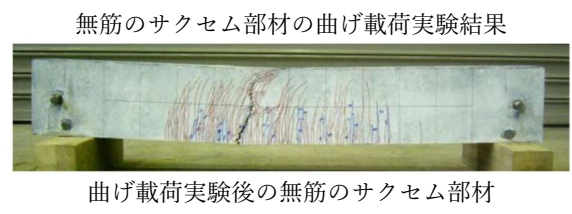
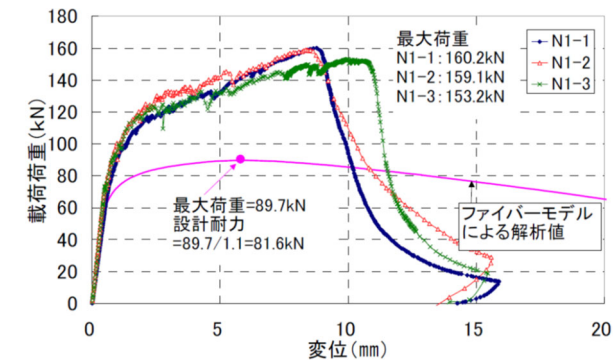
・UFC（サクセム）の単位体積重量は、試験に基づき 24.5kN/m^3 と設定していません。製造時のコンシステンシー試験の際、JIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量法）」に基づき算出し、日超過確率 5%として設定していますが、単位体積重量が小さい方が不利になる場合は適切に設定する必要があります。



UFC（サクセム）の単位体積重量（材料のみ）

1. 3 繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認

6	<p>(1) 床版の耐荷機構の説明</p>	<p>(道示 III-5.1.1 部材設計の基本)</p> <p>(1) コンクリート部材の設計においては、1)から10)を満足しなければならない。</p> <p>1) <省略></p> <p>2) <省略></p> <p>3) <省略></p> <p>4) コンクリート部材の設計にあたっては、部材を構成する材料、部材断面への作用力及び作用力に対する部材の耐荷機構を明確にし、適切に限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び施工方法を定める。</p> <p>5) 4)を満足するにあたっては、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮を適切に考慮する。</p> <p>6) コンクリート部材は、耐荷機構の前提として考慮されたコンクリート、鉄筋及びPC鋼材のみにより作用力に対して抵抗させる。ただし、コンクリートに引張力は負担させないことを原則とする。</p> <p>7) コンクリート部材は、作用力の伝達が一方の棒部材又は二方向の版部材として扱い、応答値を算出することを原則とする。</p> <p>8) <省略></p> <p>9) <省略></p> <p>10) <省略></p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 III-5.1.2 コンクリート部材の種類)</p> <p>(1) コンクリート部材を、プレストレスを導入する構造とする場合には、プレストレスの存在を前提とした耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(2) プレストレスを導入する構造を、プレストレスコンクリート構造として設計する場合には、プレストレスの存在を前提として、コンクリートが全断面で抵抗すると見なせる耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(3) コンクリート部材を、鉄筋コンクリート構造として設計する場合には、部材断面に発生する引張応力に対しコンクリートの引張抵抗を見込まず、鉄筋により抵抗する耐荷機構を満足しなければならない。</p> <p>(4) プレストレスを導入する構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するようプレストレスを導入し、5.2及び5.3の規定に従い鉄筋及びPC鋼材を配置しなければならない。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート構造の設計では、5.1.1(1)の4)から6)を満足するよう、5.2の規定に従い鉄筋を配置しなければならない。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) <省略></p>	<p>①</p> <p>1) 繊維補強コンクリート床版を構成する材料や部材断面に対し設計上想定している作用力を提示ください。</p> <p>2) 上記作用力に対し、床版を構成する材料や部材断面の設計上想定している耐荷機構を提示ください。</p> <p>3) 上記耐荷機構において、床版を構成する材料や部材断面の限界状態、照査項目、制限値、解析方法及び、前提となる施工方法について提示ください。</p> <p>②</p> <p>・繊維補強コンクリート床版の耐荷機構について、道路橋示方書のプレストレスコンクリート構造や鉄筋コンクリート構造と比較した場合の、繊維がその耐荷機構に果たす役割について説明ください。</p> <p>①</p> <p>1) 床版には UFC (サクセム) を使用する。作用の種類としては、死荷重等の永続荷重の他、活荷重等の変動荷重、壁高欄への衝突等の偶発作用を想定しており、床版の設計に必要な作用を考慮しています。</p> <p>2) 床版は、直角方向にプレテンション方式で、橋軸方向にポストテンション方式で、プレストレスを導入する2方向PC構造です。曲げモーメントに対しては全断面を有効とし、圧縮応力度および引張応力度が制限値以内としています。</p> <p>3) 曲げモーメントによる圧縮応力度の制限値は設計基準強度 180N/mm^2 の0.6倍 108N/mm^2 としています。引張応力度の制限値は曲げひび割れ発生強度 12N/mm^2 としています。曲げモーメントは FEM 解析により算出します。せん断力に対しては FEM 解析による引張応力度が制限値であるひび割れ発生強度 8N/mm^2 以内とするか、設計施工実績のある床版支間および床版厚さの組合せでは照査を省略します。床版は工場で作成し、試験で性能が確認された床版試験体と同一の方法で UFC (サクセム) を打ち込むことを前提としています。</p> <p>②</p> <p>・ UFC (サクセム) に混入した鋼繊維は万が一ひび割れが発生した場合に床版の構造性能を担保します。鋼繊維の補強効果による引張強度は 8.8N/mm^2 であり、UFC にひび割れが発生する強度 8N/mm^2 以上であるためひび割れが分散して発生し、無筋部材でも鉄筋コンクリートと同様な変形性能が得られます。</p>	
---	-----------------------	---	---	--



NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
6	(2) 床版の設計曲げモーメントの算定	<p>(道示 II-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版は 11.2 から 11.7 の規定、鋼床版は 11.8 から 11.11 の規定による場合には、(1) から (3) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.2.1 一般)</p> <p>(1) この節は、2 辺又は 1 辺で支持される床版で、その床版支間がなす短辺と長辺の辺長比が 1:2 以上の 1 方向版としてモデル化できる鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の設計に適用する。</p> <p>(2) この節の規定は、20 章の規定を満足することを前提として設計に適用することができる。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.2.2 床版の支間)</p> <p>(1) 単純版並びに連続版の T 荷重及び死荷重による曲げモーメントを算出する場合の支間は、床版から支持桁への応力伝達と輪荷重の載荷位置を考慮して、かつ、桁のフランジ形状、床版と桁の連結構造並びに床版の材料及び構造に応じて、適切に設定する。</p> <p>(2) (3) 及び (4) による場合には、(1) を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 II-11.2.3 床版の設計曲げモーメント)</p> <p>(1) B 活荷重で設計する橋においては、I 編 8.2 に規定する T 荷重 (衝撃の影響を含む) による床版の単位幅 (1m) あたりの T 荷重による曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>に示す式で算出する。ただし、床版の支間が車両進行方向に直角の場合の単純版、連続版及び片持版の主鉄筋方向の曲げモーメントは、表-11.2.1<省略>により算出した曲げモーメントに、表-11.2.2<省略>又は表-11.2.3<省略>の割増係数を乗じた値とする。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) 等分布荷重による床版の単位幅 (1m) あたりの曲げモーメントは、表-11.2.4 に示す式で算出してよい。ただし、プレストレストコンクリート床版が鋼桁に支持される場合には、等分布死荷重における床版の単位幅 (1m) あたりの曲げモーメントは、支持桁の拘束条件を考慮して算出しなければならない。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計曲げモーメントの算定は道路橋示方書 II-11.2.2(3)(4) に規定する支間長を用い、かつ II-11.2.3(1)~(3) によっていますか? よっている場合は、次の 2 つについての情報を提示ください。 <p>1) 床版が等方性版の性状を示すことを確認した結果に関する情報 ※「等方性版」であることの確認方法については、例えば、国総研資料第 609 号「道路橋の技術評価手法に関する研究—新技術評価のガイドライン(案) “床版の曲げモーメント式の前条件との整合性が不明な場合”(P20)」を参照してください。</p> <p>2) 当該技術を床版として使用可能とする床版支持条件 (支間と辺長の比が 1:2 以上の一方向版としてモデル化できる支持条件であることの確認)</p> <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版厚が薄く道路橋示方書が規定する最小床版厚 (160mm) の床版に対し明らかに剛性が小さい床版の場合や、上記①-1 の 1), 2) の条件を満足しない床版の場合は、設計曲げモーメントを算定する方法を提示ください。 上記算定方法が妥当であることを試験等との比較により確認した結果を提示ください。 <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計曲げモーメントの算定は FEM 解析によることとしています。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版の曲げ剛性 EI が厚さ 160mm のコンクリート床版と同程度以上になるように床版厚さを設定しています。UFC (サクセム) は通常のコンクリートよりもヤング係数が大きいので、同じ曲げ剛性 EI を確保しても薄く設定することができます。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 3	繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認			
7	<p>(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法</p>	<p>(道示Ⅱ-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重等の影響に対して耐荷性能を満足するようにしなければならない。</p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版は11.2から11.7の規定、鋼床版は11.8から11.11の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示Ⅱ-11.2.7 鉄筋の種類及び配置)</p> <p>(1) 鉄筋には異形棒鋼を用いるものとし、その直径は13、16、19mmを原則とする。ただし、プレストレストコンクリート床版及び鋼コンクリート合成床版においては直径22、25mmを用いてよい。</p> <p>(2) 鉄筋のかぶりは30mm以上とする。</p> <p>(3) 鉄筋の中心間隔は100mm以上でかつ300mm以下とする。ただし、引張主鉄筋の中心間隔は床版の全厚を超えてはならない。</p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版及びPC合成床版において断面内の圧縮側には、引張側の鉄筋量の少なくとも1/2の鉄筋を配置するのを原則とする。</p> <p>(5) 鉄筋コンクリート床版において連続版で主鉄筋を曲げる場合には、図-11.2.3<省略>に示すように支点からL/6の断面で曲げなければならない。ただし、床版の支間の中央部の引張鉄筋量の80%以上及び支点上の引張鉄筋量の50%以上は、それぞれ曲げずに連続させて配置しなければならない。ここに、Lは支持桁の中心間隔とする。</p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) プレストレストコンクリート床版のプレストレス導入方向には、直径13mm以上の異形棒鋼を配置し、その中心間隔は、300mm又は床版の全厚の小さい方の値以下でなければならない。</p> <p>(道示Ⅱ-11.2.8 PC鋼材の配置)</p> <p>(1) プレストレストコンクリート床版のPC鋼材は、床版に一樣にプレストレスが導入されるように配置しなければならない。</p> <p>(2) 斜橋の支承部付近における床版の支間方向のPC鋼材は、支承線方向に配置する。</p>	<p><床版の設計上の構成要素として鉄筋を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>①-1【過大な幅のひび割れ発生を防止するための使用鉄筋径に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋には道路橋示方書に規定する異形鉄筋を使用し、かつプレストレスを導入しない床版の場合は、鉄筋径が13、16、19mm、プレストレスを導入する床版の場合は、13、16、19、22、25mmのいずれかを使用することとしていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1によらない場合、使用する鉄筋を用いて、発生応力とひび割れ幅との関係、および発生応力と最小ひび割れ間隔との関係が把握できており、その性状が、少なくとも道路橋示方書が使用を許容する最大の鉄筋による場合と同等であることを確認した結果を提示ください。 <p>②-1【コンクリートの施工性および押抜きせん断耐力確保のための鉄筋の配置間隔の設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の中心間隔は道路橋示方書の規定に従い100mm～300mmの間で設定されていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1によらない場合、鉄筋間隔が狭い場合はコンクリートを打ち込む際の施工性について、また鉄筋間隔が広い場合には、押抜きせん断耐力が所定の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。(※押抜きせん断耐力の試験に関する情報については、別項1. 4 (2)によることも可) <p>③-1【連続版の正負交番部近傍に生じる曲げモーメントに確実に抵抗するための折り曲げ鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 連続版で主鉄筋を曲げる場合、鉄筋の折り曲げ詳細は道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(5)によっていますか？ <p>③-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記③-1によらない場合、連続床版として想定される全ての輪荷重載荷位置について、折り曲げ鉄筋位置近傍において他の位置と比較して過度なひび割れが生じないこと、また折り曲げたことにより床版として耐荷力の低下が生じないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>④-1【不測の逆向き曲げモーメントに確実に抵抗するための鉄筋配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計上想定される床版の圧縮領域においても、道路橋示方書Ⅱ-11.2.7(4)に規定するとおり、引張領域の鉄筋量の1/2の鉄筋量を配置していますか？ <p>④-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記④-1によらない場合、設計上想定される曲げモーメントに対し逆向きの曲げモーメントが作用した場合を想定し、その曲げモーメントに対しても、正規の曲げモーメントに対する抵抗力の1/2以上は確保できていることを、設計の考え方や設計方法により提示ください。 <p>⑤-1【鉄筋の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で30mm、また塩害環境下では、Ⅲ-6.2.3に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑤-1によらない場合、鉄筋の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、鉄筋の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p><床版の設計上の構成要素として鉄筋を使用する技術の場合の確認事項></p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋は使用しません。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 3 繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認

7	<p>(3) 補強鋼材の有効性を確保するための配置および定着方法</p>	<p>(続き)</p>	<p><床版の設計上の構成要素として PC 鋼材を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>⑤-1 【PC 鋼材の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材のかぶりは、道路橋示方書に規定するとおりの、一般環境下で 30mm、また塩害環境下では、III-6.2.3 に定めるかぶりを満足する設計としていますか？ <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑤-1 によらない場合、PC 鋼材の破断まで付着割裂破壊が生じないことについて、PC 鋼材の付着試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑥-1 【一方向にのみプレストレスを導入する場合のプレストレスしない方向にひび割れを発生させないための用心鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 用心鉄筋として、道路橋示方書の規定に従い、鉄筋径 13mm 以上の異形鉄筋を、中心間隔 300mm または床版全厚以下の間隔で配置することとしていますか？ <p>⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記⑥-1 によらない場合、プレストレスを導入しない方向についても、想定する使用条件において、活荷重や乾燥収縮等の影響によるひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>⑦ 【プレストレスを均等に導入するための PC 鋼材の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材の配置の仕方について、PC 鋼材により導入されるプレストレスの応力分布が、床版断面の曲げモーメントに対する設計において設計上想定している圧縮応力の分布となっていることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 	<p><床版の設計上の構成要素として PC 鋼材を使用する技術の場合の確認事項></p> <p>⑤-1 【PC 鋼材の腐食防止および付着強度を確保するためのかぶりの設定に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> PC 鋼材のかぶりは 20mm 以上としています。塩化物イオンの拡散係数が小さいため初期塩化物イオン濃度 0.3kg/m³、表面塩化物イオン濃度を 13kg/m³ の塩害環境下でもかぶり 20mm の PC 鋼材位置で腐食限界濃度に達するのに約 300 年を要することを確認しています。 <p>⑤-2</p> <ul style="list-style-type: none"> この技術では、部材の有効高さが小さいため PC 鋼材は破断には至らないが、荷重を大きくしていくと PC 鋼材の降伏後に UFC が圧縮破壊することを確認しています。(一宮, 曾我部, 本田, 日柴喜: 超高強度繊維補強コンクリートを用いたプレテンション部材の構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, 2006) <p>⑥ 【一方向にのみプレストレスを導入する場合のプレストレスしない方向にひび割れを発生させないための用心鉄筋の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 方向にプレストレスを導入することとしています。 <p>⑦ 【プレストレスを均等に導入するための PC 鋼材の配置に関する確認】</p> <ul style="list-style-type: none"> 橋軸方向, 直角方向とも図心位置に PC 鋼材を配置しており, 想定通りのプレストレスが導入されることを FEM 解析により確認しています。下図は直角方向応力度コンター図。プレテンション PC 鋼材による導入力の分布を示す。PC 鋼材端部には付着領域を考慮 <div data-bbox="1840 1134 2641 1680" style="text-align: center;"> <p>(目安: 青～黄色は12N/mm²以下。 オレンジは12～20N/mm²。朱と赤は20N/mm²超え。)</p> <p>(-) : 圧縮 (+) : 引張</p> </div> <p>解析結果の例</p>
---	--------------------------------------	-------------	---	---

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 3 繊維補強コンクリート床版の耐荷機構に関する事項の確認

8	<p>(4) 床版と支持桁の結合部</p>	<p>(道示 II-11.2.12 床版のハンチ)</p> <p>(1) 床版と支持桁との結合部は、応力が円滑に伝わる構造としなければならない。</p> <p>(2) 床版には、支持桁上にハンチを設けるのを原則とする。</p> <p>(3) (4)から(5)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版と支持桁との接合部の構造詳細については、道路橋示方書 II-11.2.12(4)(5)に従ったハンチを設けることとしていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、ハンチの有無やハンチの形状によらず、床版と支持桁との接合部に局部的なひび割れや過度な応力集中が発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>※試験については、床版と支持桁との接合部の構造を代表できる試験体を用い、輪荷重による押抜きせん断力の支持桁近傍での偏りや、支持桁の剛性が床版の支持桁近傍のたわみ角を拘束することによる影響等に伴う応力集中に着目した試験や構造解析が行われている必要が求められます。</p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ハンチは設けていません。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> FEM 解析により過度な応力集中が発生しないことを確認しています。以下の図は、T 活荷重と風荷重により発生する引張応力度を直角方向のプレストレスによってひび割れ発生強度より小さい-6.38N/mm^2とした例です。(藤代, 齋藤, 鈴木, 佐藤: 阪神高速道路玉出入路橋の床版取替工事, プレストレストコンクリート, Vol.61, No11, 2019) <div data-bbox="1899 504 2582 1050" data-label="Figure"> </div> <p style="text-align: center;">解析結果の例</p>	
---	-----------------------	---	--	---	--

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 4 耐荷性能の確認

(1) プレキャスト床版本体の曲げモーメントに対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)

(道示 II-11.3.1 曲げモーメントを受ける床版)
 (1) 曲げモーメントを受ける床版が、(2)から(4)による場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。
 (2) 床版に生じる曲げモーメントが、(3)又は(4)による制限値を超えない。ただし、T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には、11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。
 (3) 鉄筋コンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.5.1(3)の規定による。
 (4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.6.1(3)の規定による。

(道示 II-11.4.1 曲げモーメントを受ける床版)
 (1) 曲げモーメントを受ける床版が、(2)から(4)による場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。
 (2) 床版に生じる曲げモーメントが、(3)又は(4)による制限値を超えない。ただし、T 荷重及び死荷重による曲げモーメントの算出には、11.2.3 の規定による曲げモーメントを特性値として用いる。
 (3) 鉄筋コンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版の鉄筋コンクリート断面に生じる曲げモーメントの制限値は III 編 5.7.1(3)及び(4)の規定による。
 (4) プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版の PC 板に生じる応力度の制限値は III 編 5.8.1(3)及び(4)の規定による。

プレキャスト床版本体の設計に用いる静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。
 なお、床版に生じる曲げモーメントとして正曲げと負曲げにより耐荷機構が異なる場合には、各々について以下の事項を提示ください。

①
 1) 床版本体の設計において有効断面としている構成要素 (FRC、鉄筋、PC 鋼材等) を図示するとともに、引張応力に FRC の引張抵抗を有効としているか否かについて明示。

2) 床版に生じる曲げモーメントに対する設計計算に用いることのできる、構造安全性が失われる限界の状態までの荷重と変位の関係 (P- δ あるいは M- ϕ 曲線等) もしくは床版を構成する要素 (FRC、鉄筋、PC 鋼材等) の σ - ϵ 曲線の定義式。

②
 ・上記①(2)の曲線の妥当性が確認できる試験結果、およびその試験結果に基づく、荷重変位曲線上の主要点 (構造安全性が失われる限界点、ひび割れ発生点等) の提示。
 ※試験による検証に際しては、繊維補強コンクリートの収縮による内部応力の発生が無視し得ない場合が想定されるため、その場合には、供試体作製にあたり、その影響が評価できる供試体形状や作製方法となっていることが判る情報についても提示ください。

③
 ・上記①(2)の曲線上で限界状態 1 の特性値となる可逆性を有する点の提示。

技術開発者記入欄

①
 1) 床版支間 4m で厚さ 150mm とした場合の PC 鋼材配置例を以下に示します。床版部は T 荷重作用時に UFC の引張抵抗を有効としています。

サクセム製平板型 UFC 床版の PC 鋼材の配置例

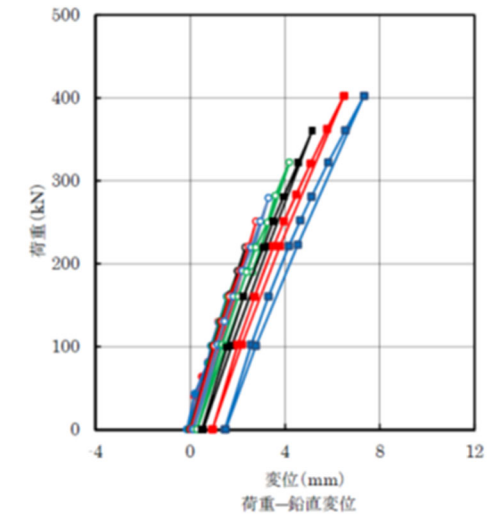
2)、②、③
 ・輪荷重試験で接合部の直上に載荷した場合の荷重-たわみ曲線から、載荷荷重 400kN 程度まで接合部は線形挙動をしており、このときの床版下面におけるプレストレスおよび載荷荷重による直角方向引張応力度は 28.3N/mm² となっています。ただし、荷重 280kN で床版本体部の下面にひび割れが生じており、このときの床版下面における直角方向引張応力度は 18.2N/mm² となっています。床版下面にひび割れが生じた 280kN を超えても線形挙動をしています。安全側に設定して限界状態 1 に達するのは床版の引張応力度が 18N/mm² に達したときと設定することができると考えられます。(床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討、プレレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集、2017 年)

輪荷重走行試験の試験体

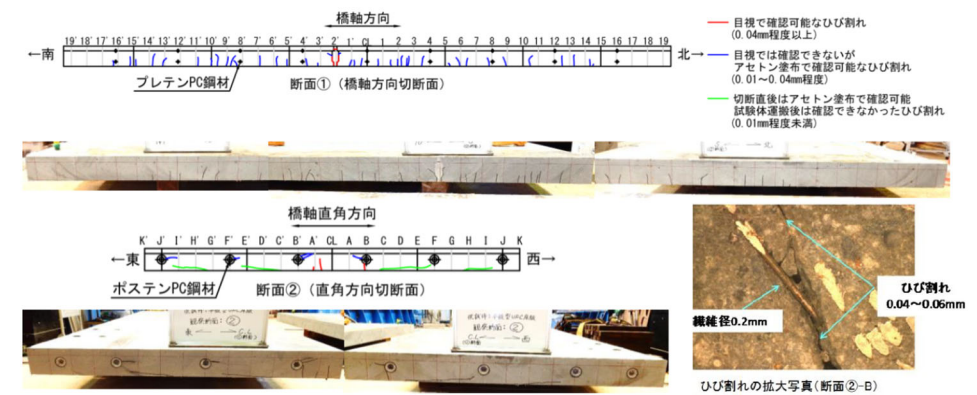
- ④ 試験結果等に基づく破壊形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）の説明、および当該破壊点に対し上記4)で定義した限界状態1の特性値の余裕量の提示。

- ④ 上記の階段状に荷重を増加させる輪荷重走行試験で試験機の限界である400kNまで荷重しても破壊には至りませんでした。試験終了後の試験体の切断面には斜めひび割れが確認されなかったこと、接合部には鋼繊維が架橋していないため目開きが生じていることから、破壊形態は接合部における曲げ破壊になると推定されます。破壊荷重は400kN以上ありますので、限界状態1に至る荷重を280kNとすると、限界状態1の特性値は破壊に対して1.4倍以上の余裕量があることとなります。

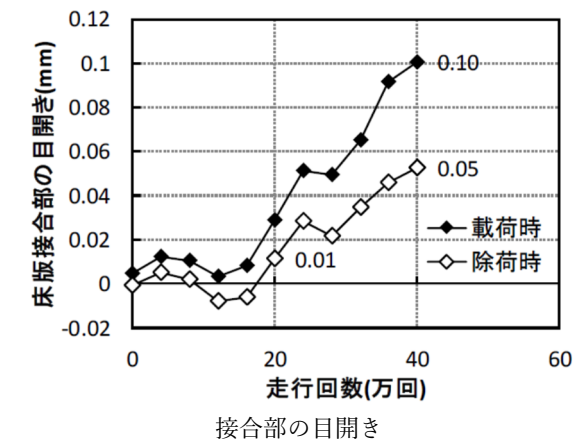
DV-N1



輪荷重走行試験における荷重-鉛直変位関係



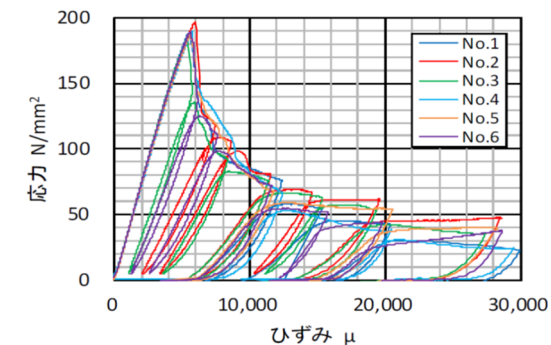
輪荷重走行試験後の試験体切断面のひび割れ図



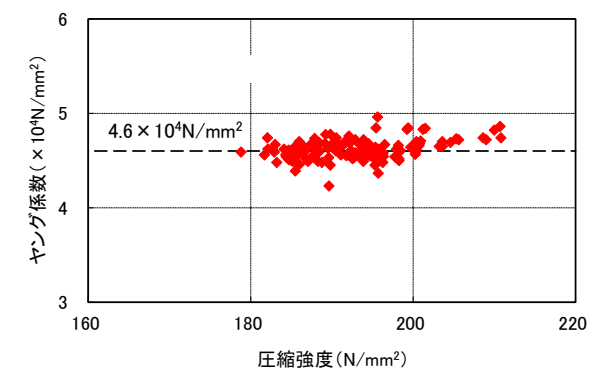
⑤
 1) 圧縮応力を分担する繊維補強コンクリートの応力-ひずみ関係のばらつき、引張応力を分担する鋼材等の応力-ひずみ関係のばらつきの状況を既往の試験結果等より提示ください。
 2) 上記1)に提示のばらつきが、従来の鉄筋またはPC鋼材と同程度以下であること、および部材の耐荷力評価式のモデル化時の誤差が従来の鉄筋コンクリート構造と同程度以下であることが判るデータを提示ください。
 ※従来の材料や耐荷力評価式のモデル誤差の評価の方法については、「コンクリート道路橋の性能規定及び部分係数設計法に関する調査研究」(土木研究所資料第4401号)を参考にしてください。

⑥
 ・上記①～⑤が確認できるとき、プレストレスを導入しない床版の場合は、「部材に生じる曲げモーメントが軸方向を考慮した道路橋示方書Ⅲの式(5.5.1)に定める制限値を超えない、かつ、式(5.8.1)に定める制限値を超えない」、また、プレストレスを導入する床版の場合は、「応力度が道路橋示方書Ⅲの表-5.6.1及び表-5.6.2の制限値を満足している、かつ、部材に生じる曲げモーメントが、軸方向を考慮した道路橋示方書Ⅲの式(5.8.1)に定める制限値を超えない」という設計をしていますか？

⑤
 1)2) 圧縮応力ひずみ曲線は、圧縮強度までほぼ直線となるため、応力ひずみ関係のばらつきはヤング係数のばらつきとなります。ヤング係数は $4.2 \sim 4.9 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ の範囲で分布しており、粗骨材を用いてないため設計で用いる $4.6 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ に対する比は $0.9 \sim 1.1$ と、普通コンクリートにおける推定値に対する実測値の比 $0.7 \sim 1.3$ よりばらつきは小さくなっています。



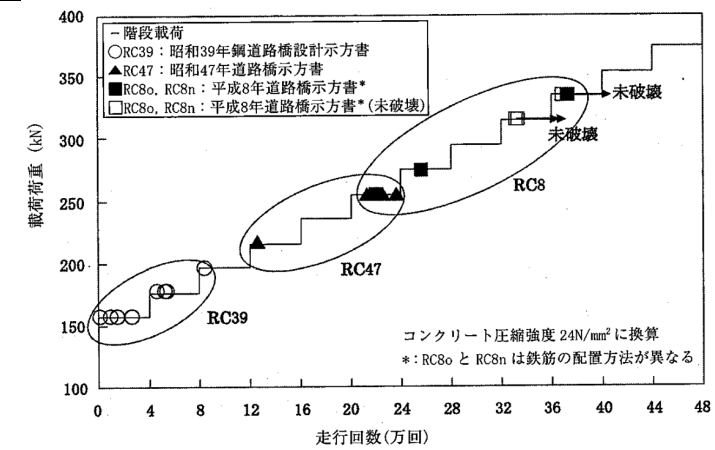
UFC (サクセム) の圧縮応力ひずみ曲線の例



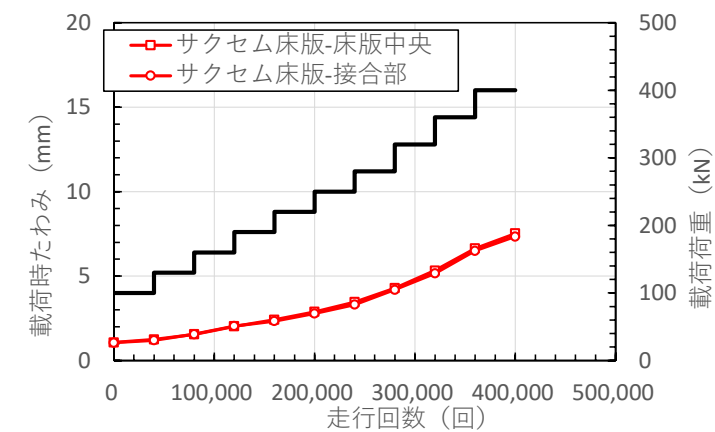
UFC (サクセム) の圧縮強度とヤング係数の関係

⑥
 ・強度が高いため、表-5.6.1 および表-5.6.2 の制限値は使用していません。
 ・式(5.8.1)による照査は行っていませんが、上記の輪荷重走行試験で④に記載したように限界状態1の特性値は破壊に対して1.4倍以上の余裕量があることになり、道路橋示方書に定める曲げモーメントに対して余裕があることを確認しています。

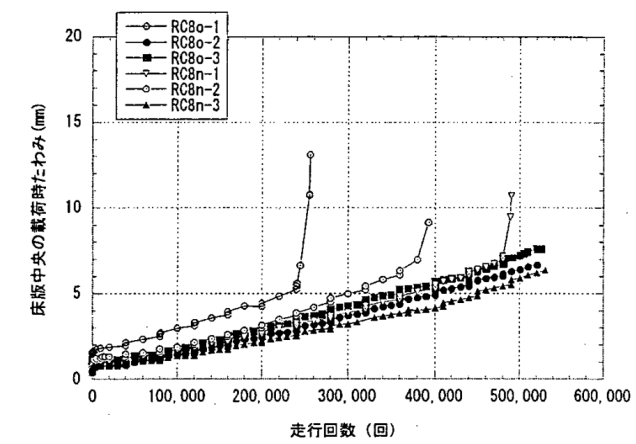
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
1. 4	<p>耐荷性能の確認</p> <p>(2) プレキャスト床版本体の押抜きせん断力に対する静的耐荷力 (限界状態 1・3)</p>	<p>(道示 II-11.2.4 床版の最小全厚)</p> <p>(1) 床版の厚さは、設計耐久期間における耐荷性能が確保されるように決定する。</p> <p>(2) (3)及び(4)に従い、かつ、11.5(2)から11.5(6)による場合には、(1)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(3) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及びPC合成床版の車道部分の床版の最小全厚は160mmとする。</p> <p>(4) <省略></p> <p>(道示 II-11.3.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.4.2の規定を満足する場合には、限界状態 1 を超えないとみなしてよい。</p> <p>(道示 II-11.4.2 せん断力を受ける床版) 押抜きせん断力を受ける床版が、11.2.4の規定を満足する場合には、限界状態 3 を超えないとみなしてよい。</p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版の押し抜きせん断耐力に着目した最小全厚を、道路橋示方書 II-11.3.2 および II-11.4.2 に基づく II-11.2.4 に規定する 160mm 以上と設定していますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記①-1 によらない場合、活荷重(T 荷重)による押し抜きせん断耐力が確認できており、その耐力が、道路橋示方書 II-11.2.4 に規定する最小床版厚 160mm のときの輪荷重による押し抜きせん断耐力と比較して同等以上の耐力を有していることについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 床版の押し抜きせん断耐力に着目した最小全厚は 130mm 以上としています。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大 400kN を載荷する輪荷重走行試験を実施し、押し抜きせん断破壊に至りませんでした。平成 8 年版の道路橋示方書で設計された RC 床版が 333kN で破壊しているのに対し、同等以上の耐力を有していることを確認しています。 <p>輪荷重走行試験の試験体</p> <p>UFC 床版の破壊時載荷荷重と走行回数との関係</p>	



国土交通省における鉄筋コンクリート床版の輪荷重走行試験結果の例



UFC (サクセム) 製プレキャスト床版の走行回数と載荷時たわみの関係



RC8 供試体の走行回数と床版中央の載荷時たわみの関係

1. 4 耐荷性能の確認

(3) プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷力(限界状態 1・3)

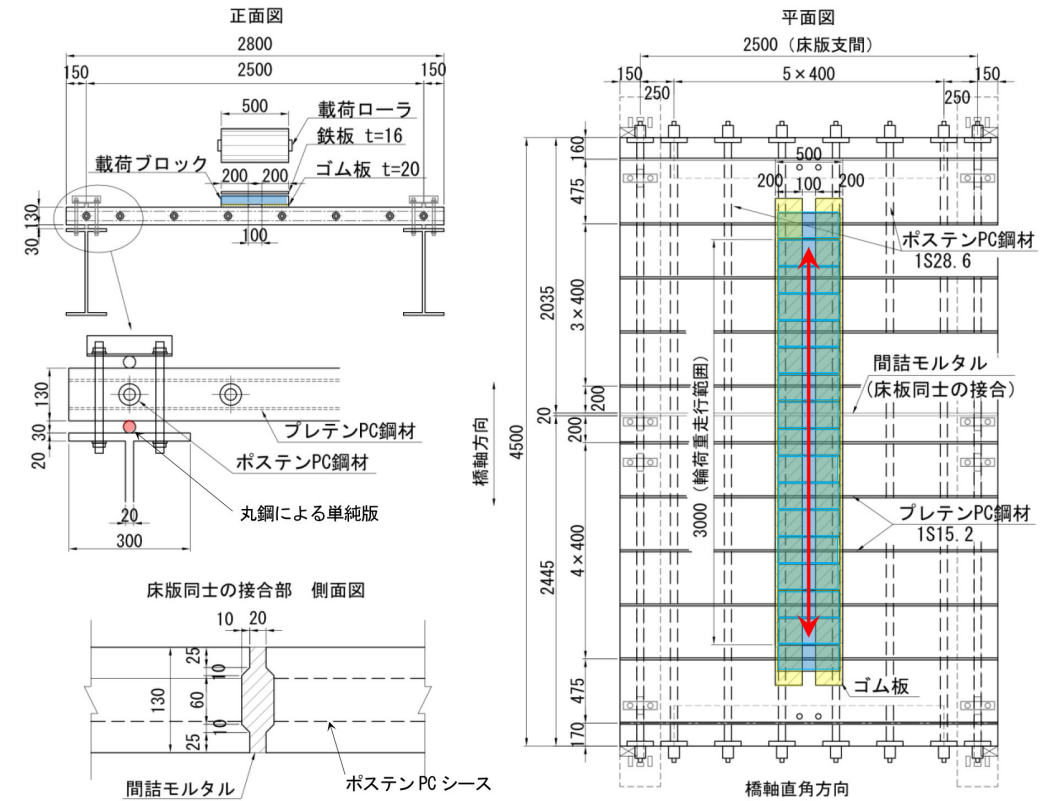
- (道示Ⅲ-7.3.1 一般)
- (1) 部材を剛結となるよう連結し一体の部材とする場合には、接合部において部材としての連続性を失わず、かつ、接合部が部材相互の曲げモーメント、軸方向力、せん断力及びねじりモーメントを着実に伝達するとともに、部材の一般部が限界状態 3 に達したときの断面力を確実に伝達できるようにしなければならない。
 - (2) 1) から 4) を満足する場合には、(1) を満足するとみなしてよい。
 - 1) 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部では、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担により、断面力を伝達できる構造とする。
 - 2) せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部では、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造とする。ただし、接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないよう、接合部が限界状態 1 を超えてからは鋼材が引張応力のみで作用力に対して抵抗し、鋼材が降伏した後に接合部が破壊に至る構造とする。
 - 3) コンクリート部材どうしを連結する場合は、7.3.2 及び 7.3.3 の規定による。
 - 4) <省略>
 - (3) <省略>
 - (4) <省略>
 - (5) <省略>

- (道示Ⅲ-7.3.2 同じ機能を有するコンクリート部材の連結)
- 同じ機能を有するコンクリート部材どうしを連結し一体の部材とする場合の接合部は、以下の 1) から 6) を満足しなければならない。
- 1) 接合部への作用により生じる引張力に抵抗するよう接合部に配置された鉄筋が、5.2.5 の規定に従い連結する部材のコンクリートに定着されている又は 5.2.7 の規定に従い連結する部材の主鉄筋に連結されている。
 - 2) 連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により、接合面に発生する引張力に抵抗できるよう、十分な鉄筋が配置されている。
 - 3) 接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗する。
 - 4) 連結される部材と同等の断面を有し、かつ、同等以上の主鉄筋が抵抗に有効となるよう配置されている。
 - 5) 接合部における二次応力の影響を十分に小さくできる構造とする。
 - 6) 双対の鉄筋をループ状に重ねた継手により部材を連結する場合は、7.6 の規定による。

プレキャスト床版同士の接合部の静的耐荷性能に関する以下の事項について提示ください。

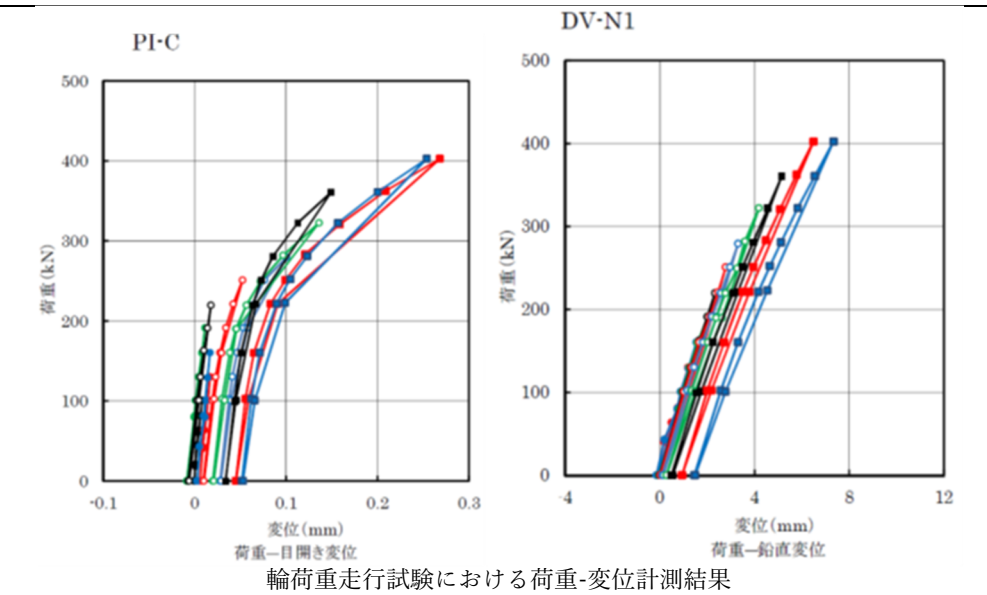
- ① 曲げモーメント又は軸方向力を受ける接合部については、コンクリート内部における圧縮応力、又はコンクリート内部における圧縮応力及びコンクリートと一体として抵抗する鋼材等による引張応力の分担等、接合部の断面力を伝達するための要素とその伝達機構の説明。
- ・上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。

- ① 床版同士の間隔を数 cm 開けて設置し、現場で接合部用の UHPFRC を充填して硬化後に PC 鋼材で橋軸方向にポストテンション方式でプレストレスを導入する構造(鉄筋は配置しない代わりに鋼繊維を 1.5% 混入)としています。
- ・プレストレス導入後にグラウトを充填するため PC 鋼材は付着を有しており、接合部が開いても曲げモーメントに対して急激に耐荷力を失わないことを以下に示す実験で確認しています。
- ・床版厚 130mm で接合部を有する床版を支間長 2.5m で単純支持し輪荷重走行試験を実施しています。載荷荷重は 100~400kN の範囲で階段状に荷重を増加させ各荷重で 4 万回ずつ繰返し載荷しました。
- ・輪荷重試験で接合部の直上に載荷した場合の荷重-目開き曲線から、載荷荷重が 220kN を超えると目開きが生じています。載荷荷重 220kN における床版下面の橋軸方向引張応力度は 5.7N/mm² となっています。載荷荷重 280kN においても、0.1mm 程度の微細な目開きにとどまっており、荷重-鉛直変位関係は線形挙動をしていますが、安全側に設定して限界状態 1 に達するのは床版の橋軸方向引張応力度が 5N/mm² に達したときと設定することができると考えられます。
- ・(床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討、プレレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集、2017 年)

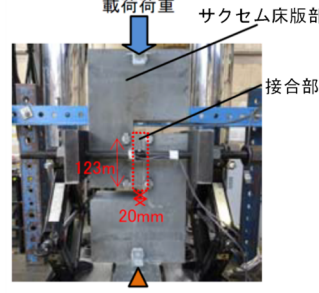


輪荷重走行試験の試験体

- ②
 - ・せん断力及びねじりモーメントを受ける接合部については、圧縮応力及びせん断応力に対してコンクリートが抵抗する構造としての評価方法（設計方法）。
 - ・上記のせん断力及びねじりモーメントを受ける接合部が限界状態 3 を超えた場合でも急激に耐荷力を失わないための耐荷機構の説明。
 - ・上記の評価方法や耐荷機構の妥当性が確認できる試験結果。
- ③
 - ・接合部に発生する引張力に抵抗するよう鉄筋を配置する場合には、鉄筋とコンクリートが一体となって働くこと、および鉄筋とコンクリートとの間の応力伝達が確実に行えるための鉄筋の定着構造の概要とその応力伝達機構の説明。
 - ・上記の伝達機構の妥当性が確認できる試験結果。
- ④
 - ・連結される部材相互の温度及び乾燥による変形量の違い、剛性の違い等により接合部に生じる引張力等内部応力の評価方法
 - ・上記の応力伝達機構の説明。
- ⑤
 - ・接合部において部材相互のコンクリートが一体化して作用に抵抗することの確認結果。
- ⑥連結される部材と同等以上の抵抗性能を有していることの確認結果。
- ⑦接合部における二次応力の影響を小さくするための配慮事項。
- ①～⑦-2
 - ・上記①～⑦によらない場合、下記についての情報を提示ください。
 - 1)限界状態 1 にいたるまでの接合部の剛性がプレキャスト床版部と同等以上であることの確認結果。
 - 2)限界状態 1 にいたるまでの間に接合部に集中したひび割れが生じないことの確認結果。
 - 3)限界状態 3 に達するまでの間に接合部の破壊が床版の破壊に先行しないことの確認結果。



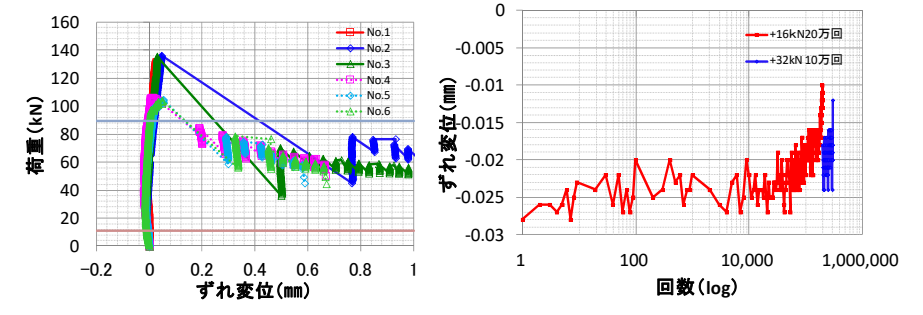
- ②
 - ・接合部にはプレストレスが導入されており、限界状態 3 のせん断力に対して摩擦のみで抵抗できます。サクセム床版と接合部を模擬したせん断試験を実施しており、154kN の T 荷重を想定した設計荷重の 10 倍以上のせん断力に抵抗できることが確認されている。(UFC 道路橋床版の接合構造に関する実験的検討、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014 年)
 - ・設計では考慮していませんが、せん断キーを設けており、限界状態 3 を超えるせん断力が作用しても急激な耐荷力低下には至りません。



試験体の諸元および試験条件

載荷	試験体No.	軸力導入位置	軸力(kN)	最大荷重(kN)		最大荷重/設計せん断力(11.2kN)
				-	平均	
静的載荷試験	1	図心	110	131.6	134.4	12.0
	2			136.1		
	3			135.5		
	4	偏心		106.4	105.1	9.4
	5			104.7		
	6			104.1		
疲労試験	-	偏心	-	98.7	8.8	

接合部のせん断試験



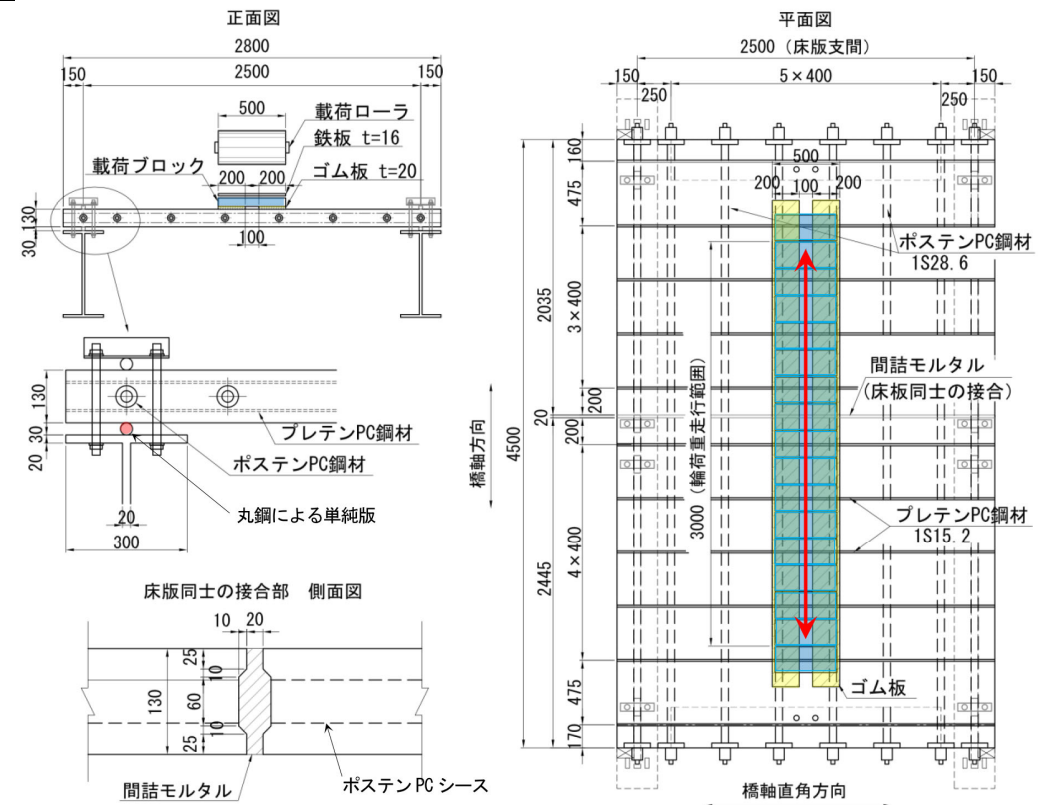
- ③
 - ・鉄筋は配置していません。

			<p>④ ・接合部に使用する材料はサクセム床版と同じマトリクスであり、床版部と同程度の力学特性が得られます。床版部と間詰部は、プレストレスが導入されて床版と一体化されているため、均質なコンクリートと同様に挙動します。</p> <p>⑤ ・上記の輪荷重走行試験において、接合面に開口が発生した時点（320kN 載荷時、接合部開口変位：最大 0.1mm）でも、急激な剛性の変化がないことを確認しています。</p> <p>⑥床版部も接合部と同じプレストレスを導入しているため床版部の方が抵抗性能は高くなっています、接合部は作用断面力に対して十分な抵抗性能を有しています。接合部の破壊を先行させないようにする場合は、別途、接合部の補強が必要になります。</p> <p>⑦接合部の間詰材には床版部と同様な材料を用いています。</p>	
--	--	--	---	--

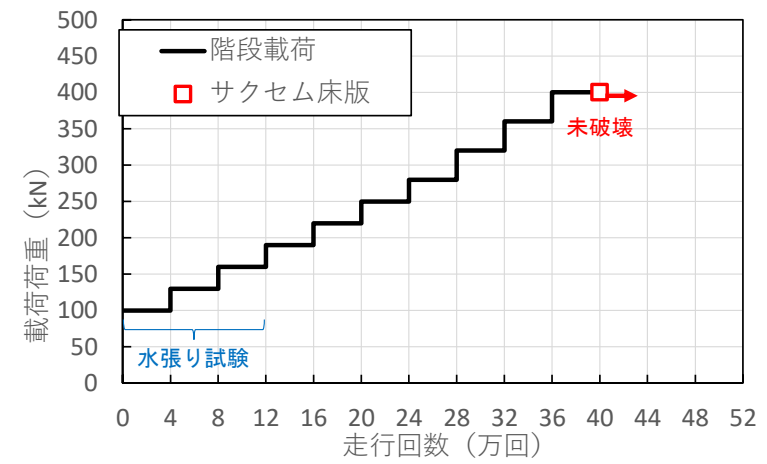
NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 5 疲労に対する耐久性能の確認

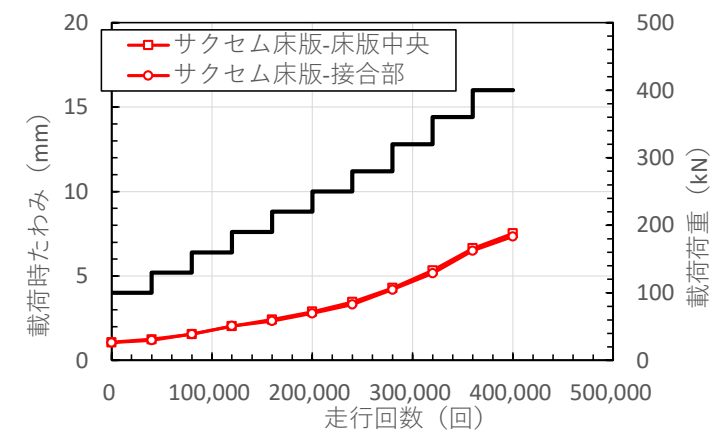
12	-	<p>(道示 II-11.1.2 設計の基本)</p> <p>(1) <省略></p> <p>(2) 床版は、活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版は 11.2 から 11.7 の規定、鋼床版は 11.8 から 11.11 の規定による場合には、(1)から(3)を満足するとみなしてよい。</p> <p>(5) <省略></p> <p>(道示 II-11.5 コンクリート系床版の疲労に対する耐久性能)</p> <p>(1) 11.2 の規定を満足する鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼コンクリート合成床版及び PC 合成床版が、自動車の繰返し通行に伴う疲労に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2)から(11)を満足する場合には、所用の床版の耐久性能を満足するとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p> <p>(6) <省略></p> <p>(7) <省略></p> <p>(8) <省略></p> <p>(9) <省略></p> <p>(10) <省略></p> <p>(11) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・疲労耐久性に着目した最小床版厚を、道路橋示方書 II-11.5(2)～(5)に規定する床版厚としていますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記①-1 によらない場合、コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、当該技術が最小床版厚とする版厚において、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっていることについての設計計算上の確認結果を提示ください。 <p>※道路橋示方書が定める疲労耐久性に着目した最小床版厚の設定根拠は、下記によっております。</p> <p>「コンクリートを全断面有効とし、かつコンクリートの引張強度に期待した場合の応力計算により、引張側床版縁のコンクリートに発生する引張応力が、同コンクリートの最大曲げ引張強度以内に収まっているために必要な床版厚」： 鋼道路橋床版の設計に関する暫定基準（案）および施工に関する注意事項 道路 1968-10</p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの疲労によるひび割れ量を制限することを目的に、道路橋示方書が II-11.5 (7)、(8)で規定する床版各部に生じる応力度の上限値を満足するよう設計することとしていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記②-1 によらない場合、③で実施する輪荷重走行試験の試験過程において、T 荷重レベルの繰返し荷重段階においては、過大なひび割れが発生していないこと、また試験過程の全般にわたり、床版に発生するたわみが RC08 床版のそれと比較して同等かそれ以下であることの確認結果を提示ください。 	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・疲労耐久性に着目した最小床版厚は 130mm 以上としています。 <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・床版支間により適切に床版厚さを決定し、T 荷重によって生じる床版の応力度を照査しています。(藤代, 齋藤, 鈴木, 佐藤: 阪神高速道路玉出入路橋の床版取替工事, プレストレストコンクリート, Vol.61, No1, 2019) <div data-bbox="1780 483 2463 1018" style="text-align: center;"> <p>解析結果の例</p> </div> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れを許容しない設計としています。 <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前期の輪荷重走行試験において、280kN 荷重時に初めて目視でひび割れ (0.1mm 未満) が観察されました。その後、荷重の増加とともにひび割れは増加しましたが、いずれのひび割れも 0.1mm 未満でした。 ・平成 8 年道路橋示方書で設計された RC 床版では、330kN で破壊する前のたわみが 7mm となっているのに対し、サクセム床版では 320kN 荷重時のたわみが 5mm となっており、たわみが小さくなっています。 <p>(参考文献)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1)床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討、プレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集、2017 年) 2)国土総合技術研究所：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験、国総研資料 第 28 号、2002.3 	
----	---	---	--	--	--

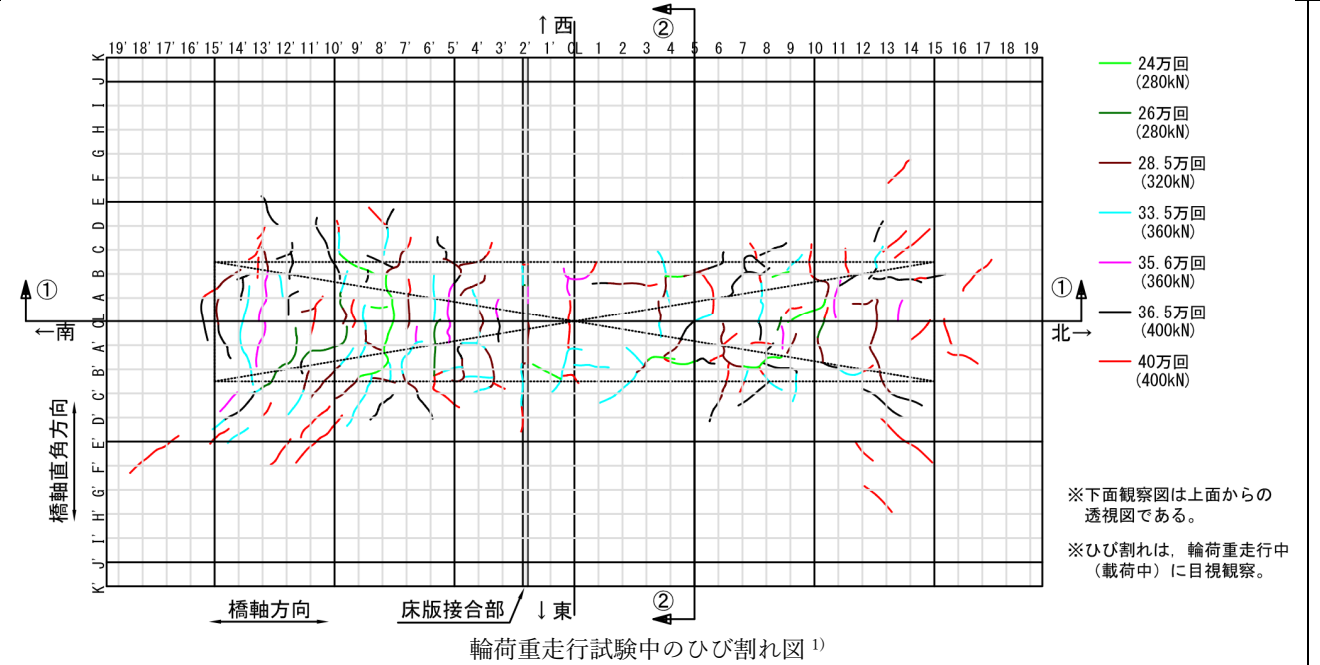


輪荷重走行試験の試験体¹⁾



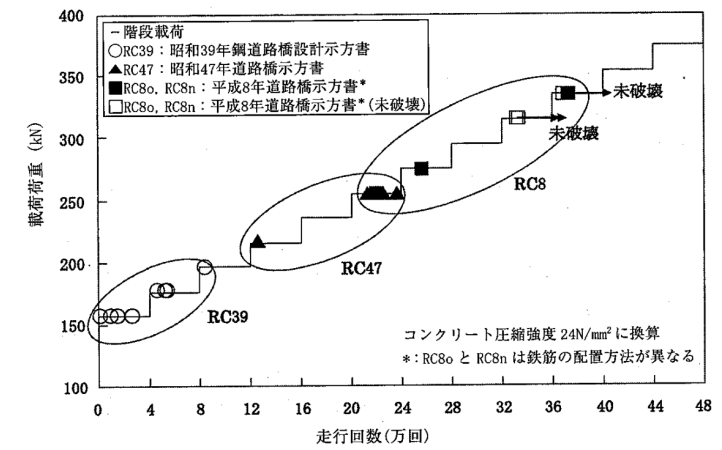
UFC (サクセム) 製プレキャスト床版の破壊時載荷荷重と走行回数との関係



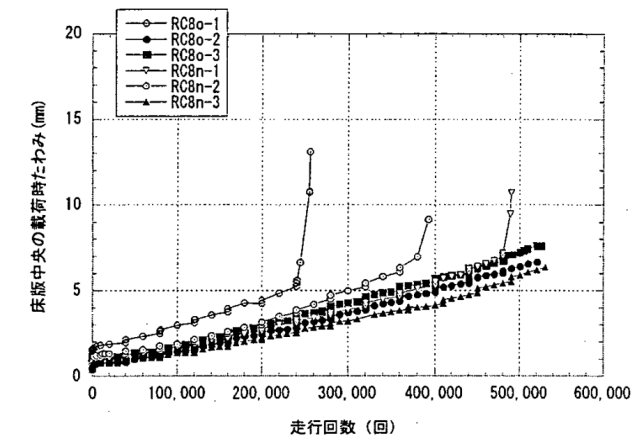


※下面観察図は上面からの透視図である。
 ※ひび割れは、輪荷重走行中(載荷中)に目視観察。

UFC (サクセム) 製プレキャスト床版の走行回数と載荷時たわみの関係



国土交通省の行ける鉄筋コンクリート床版の輪荷重走行試験結果の例 2)



RC8 供試体の走行回数と床版中央の載荷時たわみの関係 2)

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 5 疲労に対する耐久性能の確認

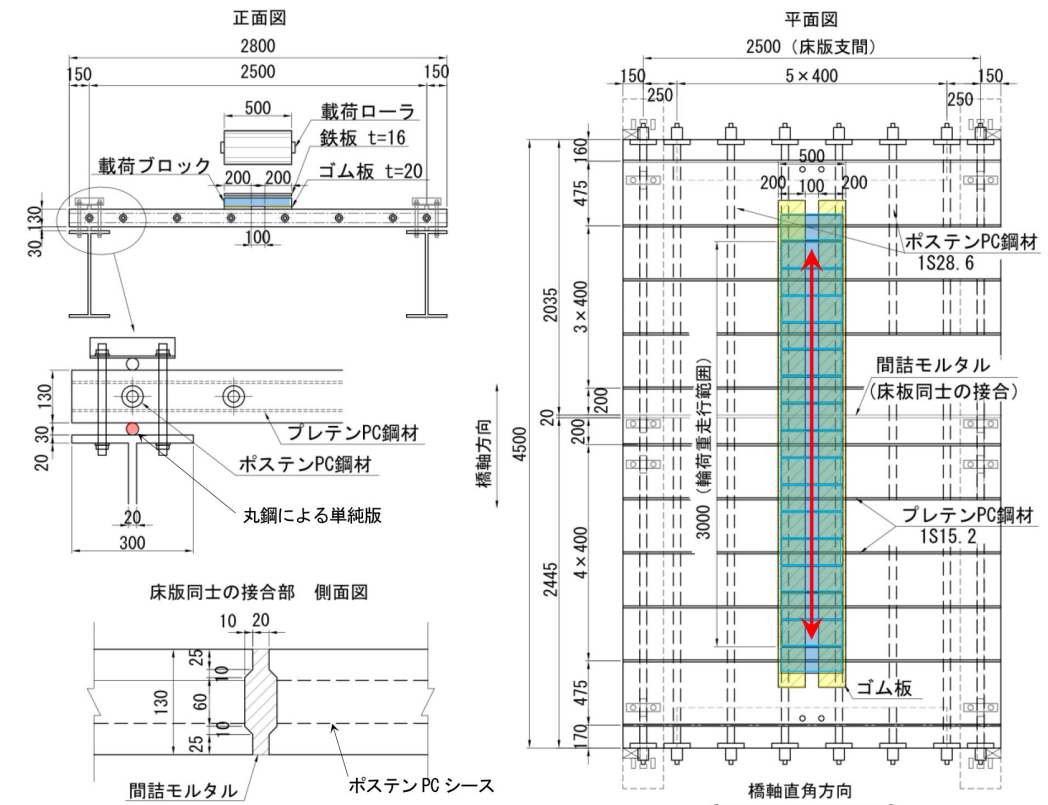
(続き)

③

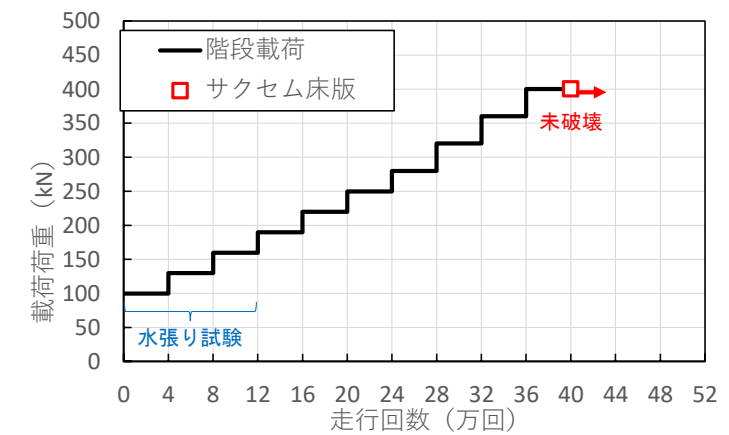
- ・RC08 床版と同じ設計条件で設計した当該技術の床版を用い、かつ接合部を有する床版の場合には、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製した上で、RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の条件（輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数）による試験を実施することにより、破壊荷重および破壊に至るまでの走行回数が RC08 床版と同等以上であること分かる確認結果を提示ください。
- ・当該試験結果により破壊に至る形態（床版を構成する要素の内、どの要素がどのような状態になった時点であるか）を説明ください。

③

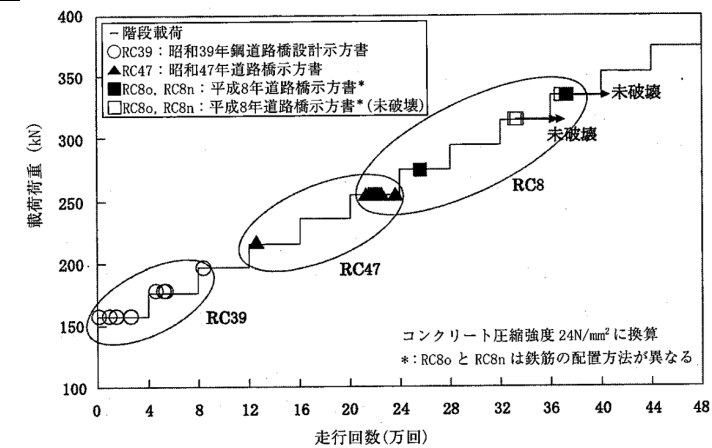
- ・前記の輪荷重走行試験において平成 8 年版道路橋示方書で設計された RC08 床版よりも高い荷重でも疲労破壊に至りませんでした。
- ・荷重 400kN では破壊形態は 0.2mm を超える目開きが接合部に生じており、橋軸方向 PC 鋼材に応力変動が生じているため、PC 鋼材の疲労破断による曲げ破壊と推定されます。
- ・(床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討、プレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集、2017 年)



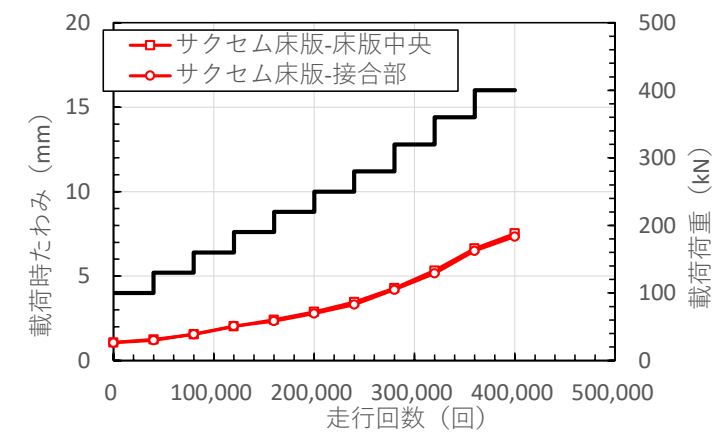
輪荷重走行試験の試験体



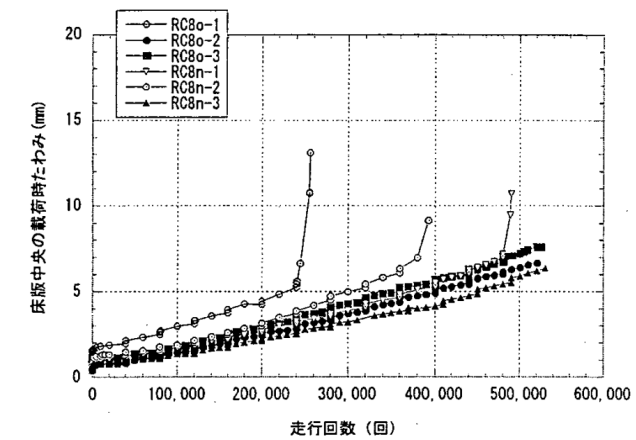
UFC (サクセム) 製プレキャスト床版の破壊時載荷荷重と走行回数との関係



国土交通省の行ける鉄筋コンクリート床版の輪荷重走行試験結果の例



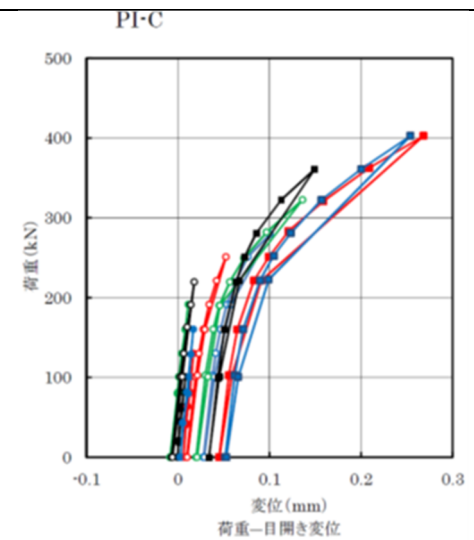
UFC (サクセム) 製プレキャスト床版の走行回数と載荷時たわみの関係



RC8 供試体の走行回数と床版中央の載荷時たわみの関係

- ④
 ・上記③の輪荷重走行試験により接合部の損傷が先行しないことが確認されている結果を提示ください。

※本項で求める輪荷重走行試験については以下を基本としています。
 1)RC08 床版とは、平成8年版道路橋示方書に従い設計したRC床版とする。
 2)供試体は、RC08 床版と同じ設計条件で設計した以下の供試体を使用する。
 ・支間3mの連続床版（もしくは支間2.5mの単純床版）に当該技術の床版を適用する場合の技術所定の設計方法により設計された床版。なおRC08 床版では最小版厚規定や交通量に伴う床版厚の割り増しを考慮しているが、供試体作製にあたっては、あくまでも当該技術の所定の設計方法によって決定した床版構造の供試体とする。
 3)接合部を有する床版の場合には、下記点に留意し、想定する接合部に生じる曲げモーメントが適切に評価できる位置に接合部を設けた供試体を作製する。
 ・想定する接合部の方向（輪荷重走行方向に設ける接合部か、もしくは走行と直角方向に設ける接合部か）と、輪荷重走行方向に設ける接合部の場合は接合部の位置（床版支間に対する位置）に着目し、実際の接合部に発生する応力度を適切に評価できる位置に接合部を設置する。
 4)RC08 床版で実施した輪荷重走行試験と同等以上の輪荷重強度とその漸増ステップ、繰り返し回数により試験を実施する。

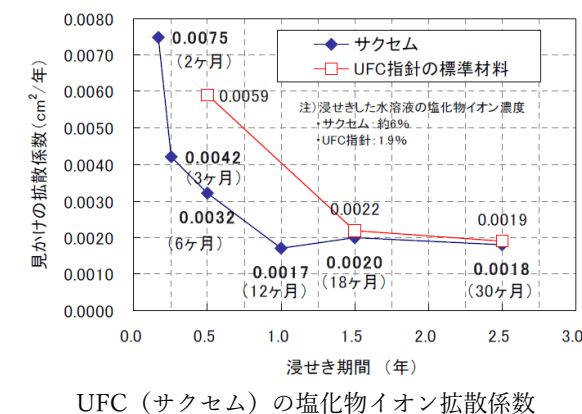


- ④
 ・床版部も接合部と同じプレストレスを導入しているため床版部の方が抵抗性能は高くなっています。接合部は作用断面力に対して十分な抵抗性能を有しています。接合部の破壊を先行させないようにする場合は、別途、接合部の補強が必要になります。

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

1. 6 内部鋼材の腐食に対する耐久性能の確認

13	-	<p>(道示 II-11.6 コンクリート系床版の内部鋼材の腐食に対する耐久性能)</p> <p>(1) 鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版及び PC 合成床版における内部鋼材の腐食に対して、設計耐久期間を 100 年とし、(2)及び(3)を満足する場合には、所要の部材の耐久性能が確保されるとみなしてよい。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p> <p>(道示 III-6.2.1 一般)</p> <p>コンクリート部材は、6.1(3)により当該部材に定めた設計耐久期間内において、内部鋼材の腐食により部材の耐荷性能が低下することがないようにしなければならない。</p> <p>(道示 III-6.2.3 かぶりによる内部鋼材の防食)</p> <p>(1) かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には、架橋地点の環境、橋の部位及び規模、部材の形状を考慮し、少なくとも(2)及び(3)に規定する最小かぶりを満足したうえで、適切なかぶりを確保する。</p> <p>(2) <省略></p> <p>(3) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 永続作用支配状況での設計において、FRC 床版のコンクリートに生じる応力度により、床版に配置されている鋼材の腐食について有害なひび割れが発生しないことについて、試験等により確認した結果を提示ください。 <p>※本項は床版内に配置される鉄筋等の鋼材に加え、床版コンクリートに混入される鋼材繊維の腐食に着目しています。参考までに、本項に関する要求性能として道路橋示方書では、鉄筋の引張応力度が 100N/mm² 以下となるよう規定しており、この応力度に到達した際のひび割れ幅やひび割れ間隔の発生状況を、腐食に対する耐久性に影響を及ぼし始めるひび割れ限界の目安として規定しています。</p> <p>※内部に腐食する鋼材や鋼繊維を使用しない床版の場合、もしくはプレストレスを導入する床版の場合で引張応力が発生しないことを設計方針としている場合は、回答不要です。</p> <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> かぶりにより内部鋼材の防食を行う場合には、道示 III-6.2.3 に準拠した設計を行うこととしていますか？ <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記②-1 によらない場合、塩化物イオンに対する拡散係数について従来のコンクリートとの相対比較で評価し、従来コンクリートと同等の内部鋼材の腐食に対する耐久性能が確保できていることが判るデータを提示ください。 <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> UFC (サクセム) 製プレキャスト床版には、橋軸方向と直角方向 2 方向にプレストレスが導入されており、設計荷重作用によってひび割れが生じない設計としているため、鋼材の腐食に有害なひび割れは発生しないと考えられます。 <p>②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> UFC (サクセム) は、塩化物イオンや水分など、内部の鋼材を腐食させる劣化因子が侵入しにくく、初期塩化物イオン濃度 0.3kg/m³ で表面塩化物イオン濃度を 13kg/m³ の塩害環境下のような環境でもかぶりが 20mm 以上あれば 100 年以上 (300 年) 内部の鋼材や鋼繊維が腐食しないことを、②-2 のような方法で確認していることから、道示と異なり、かぶりを 20mm 以上とすることで腐食に対する耐久性能が確保されていると考えています。c 1.1.3 (3) の③にて回答のとおりです。UFC の最小かぶり 20mm における内部鋼材の腐食に関する照査にて、100 年以上 (300 年) の耐久性を確認しています。 <p>②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 同上。UFC (サクセム) の水結合材比は 15%、塩化物イオン拡散係数は 0.0018cm²/年と従来のプレストレストコンクリート用のコンクリートなどと比較しても小さく、従来コンクリートに比べて 2 オーダーほど小さい値です。塩化物イオンの拡散係数が小さいため、かぶりが 20mm 以上あれば初期塩化物イオン濃度 0.3kg/m³、表面塩化物イオン濃度を 13kg/m³ の塩害環境下においてかぶり 20mm の PC 鋼材位置で腐食限界濃度に達するのに約 300 年を要することを確認しています。 	
----	---	---	---	--



2. 施工に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.																																																													
2. 1	プレキャスト床版の製作についての確認	<p>(道示 III-17.3 施工要領書) 施工にあたっては、設計の前提条件及び施工段階で定めた事項等を満足する施工が行われることを確認できるよう、施工の手法、手順、検査の方法等に関する要領を定めなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.1 一般) プレキャスト部材を用いた構造物の施工にあたっては、所要の品質、精度が確保できるようプレキャスト部材の製作、運搬、保管、連結について、あらかじめ計画を立て、安全に施工されなければならない。</p> <p>(道示 III-17.12.2 部材の製作) (1) プレキャスト部材は、所要の施工精度を満足するように製作されなければならない。 (2) <省略> (3) プレキャスト部材は、製作にあたり製作に関わる資材、加工及び組立てについて記された施工要領書が作成されなくてはならない。 (4) プレキャスト部材は、加工及び組立て段階において所定の方法で施工されていることが確認されなくてはならない。</p>	<p>①プレキャスト床版製作時の品質管理について ・プレキャスト床版を製作する際の計量、練り混ぜ、養生、部材寸法精度などの品質管理方法については、プレキャスト床版は JIS A 5364、プレストレストコンクリート床版は JIS A 5373 に示されています。本要領では、これらの JIS にしたがった品質管理が望ましいと考えています。上記 JIS を適用されていますか？あるいは上記 JIS と同等の管理をされていますか？ JIS と同等の管理がされていることを提示ください。</p> <p>②繊維の配向・分散の確認について ・繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ 再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p> <p>① UFC (サクセム) 製プレキャスト床版は、基本的に JIS A 5373 に準拠したプレストレストコンクリート床版を製作可能な工場での製作を原則としています。UFC の品質および検査方法については、土木学会 UFC 指針「12.10.4 コンクリートの検査」に示される項目を基本としています。 ・各項目については、JIS および土木学会基準に準拠した試験方法にて品質管理および検査を行っています。</p> <p style="text-align: center;">標準的な UFC (サクセム) の検査内容 (例)</p> <table border="1" data-bbox="1893 625 2558 1281"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>検査方法</th> <th>標準頻度</th> <th>規格値</th> <th>判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>配合</td> <td>各材料の計量値</td> <td>全バッチ</td> <td></td> <td>許容範囲内にあること</td> </tr> <tr> <td>フレッシュコンクリートの状態</td> <td>目視</td> <td>打込み時随時</td> <td>-</td> <td>ワーカビリティがよく、品質が均質で安定していること</td> </tr> <tr> <td>コンシステンシー</td> <td>JIS R 5201 フロー (落下なし)</td> <td>・強度試験用供試体採取時</td> <td>230~270mm (打込み時点)</td> <td>成形方法から要求される所要の条件に適合すること</td> </tr> <tr> <td>空気量</td> <td>JIS A 1116 の方法 JIS A 1128 の方法</td> <td>・打込み中に品質の変化が認められたとき</td> <td>5.0%以下 (打込み時点)</td> <td>定められた条件に適合すること</td> </tr> <tr> <td>コンクリート温度</td> <td>JIS B 7411 の方法 (温度計による)</td> <td></td> <td>5℃以上 40℃以下</td> <td>定められた条件に適合すること</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>JIS A 1108 の方法</td> <td></td> <td>基本養生後 180N/mm²以上^{*1}</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ひび割れ発生強度</td> <td>JSCE-G552 の方法で曲げひび割れ発生強度を求め、3.2.3 に示す方法で算出</td> <td>1 回/日または構造物の重要度と工事の規模に応じて 20~150m²ごとに 1 回</td> <td>基本養生後 8.0N/mm²以上^{*2}</td> <td>設計基準強度を下回る確率が 5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること^{*3}</td> </tr> <tr> <td>引張強度</td> <td>JSCE-G552 の方法で曲げ強度を求め、3.2.4 に示す方法で算出</td> <td></td> <td>基本養生後 8.8N/mm²以上^{*2}</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 : 3 個以上の供試体の平均値 *2 : 4 個以上の供試体の平均値 *3 : 1 回の試験結果が設計基準強度の 85%以上で、試験結果の平均値が設計基準強度以上であること</p> <p style="text-align: center;">UFC (サクセム) 製品の検査内容 (例)</p> <table border="1" data-bbox="1893 1396 2558 1627"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>最終検査</th> <th>受渡検査</th> <th>判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外観</td> <td>抜取検査または全数検査</td> <td>無試験検査、抜取検査または全数検査</td> <td>使用上有害なきず、ひび割れ、欠け、反り、ねじれなどが無いこと</td> </tr> <tr> <td>形状および寸法</td> <td>抜取検査または全数検査</td> <td>無試験検査、抜取検査または全数検査</td> <td>所定の範囲内にあること</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度 ひび割れ発生強度 引張強度</td> <td>抜取検査</td> <td>無試験検査または抜取検査</td> <td>設計基準強度を下回る確率が 5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること^{*1}</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 : 1 回の試験結果が設計基準強度の 85%以上で、試験結果の平均値が設計基準強度以上であること</p>	項目	検査方法	標準頻度	規格値	判定基準	配合	各材料の計量値	全バッチ		許容範囲内にあること	フレッシュコンクリートの状態	目視	打込み時随時	-	ワーカビリティがよく、品質が均質で安定していること	コンシステンシー	JIS R 5201 フロー (落下なし)	・強度試験用供試体採取時	230~270mm (打込み時点)	成形方法から要求される所要の条件に適合すること	空気量	JIS A 1116 の方法 JIS A 1128 の方法	・打込み中に品質の変化が認められたとき	5.0%以下 (打込み時点)	定められた条件に適合すること	コンクリート温度	JIS B 7411 の方法 (温度計による)		5℃以上 40℃以下	定められた条件に適合すること	圧縮強度	JIS A 1108 の方法		基本養生後 180N/mm ² 以上 ^{*1}		ひび割れ発生強度	JSCE-G552 の方法で曲げひび割れ発生強度を求め、3.2.3 に示す方法で算出	1 回/日または構造物の重要度と工事の規模に応じて 20~150m ² ごとに 1 回	基本養生後 8.0N/mm ² 以上 ^{*2}	設計基準強度を下回る確率が 5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること ^{*3}	引張強度	JSCE-G552 の方法で曲げ強度を求め、3.2.4 に示す方法で算出		基本養生後 8.8N/mm ² 以上 ^{*2}		項目	最終検査	受渡検査	判定基準	外観	抜取検査または全数検査	無試験検査、抜取検査または全数検査	使用上有害なきず、ひび割れ、欠け、反り、ねじれなどが無いこと	形状および寸法	抜取検査または全数検査	無試験検査、抜取検査または全数検査	所定の範囲内にあること	圧縮強度 ひび割れ発生強度 引張強度	抜取検査	無試験検査または抜取検査	設計基準強度を下回る確率が 5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること ^{*1}	
項目	検査方法	標準頻度	規格値	判定基準																																																													
配合	各材料の計量値	全バッチ		許容範囲内にあること																																																													
フレッシュコンクリートの状態	目視	打込み時随時	-	ワーカビリティがよく、品質が均質で安定していること																																																													
コンシステンシー	JIS R 5201 フロー (落下なし)	・強度試験用供試体採取時	230~270mm (打込み時点)	成形方法から要求される所要の条件に適合すること																																																													
空気量	JIS A 1116 の方法 JIS A 1128 の方法	・打込み中に品質の変化が認められたとき	5.0%以下 (打込み時点)	定められた条件に適合すること																																																													
コンクリート温度	JIS B 7411 の方法 (温度計による)		5℃以上 40℃以下	定められた条件に適合すること																																																													
圧縮強度	JIS A 1108 の方法		基本養生後 180N/mm ² 以上 ^{*1}																																																														
ひび割れ発生強度	JSCE-G552 の方法で曲げひび割れ発生強度を求め、3.2.3 に示す方法で算出	1 回/日または構造物の重要度と工事の規模に応じて 20~150m ² ごとに 1 回	基本養生後 8.0N/mm ² 以上 ^{*2}	設計基準強度を下回る確率が 5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること ^{*3}																																																													
引張強度	JSCE-G552 の方法で曲げ強度を求め、3.2.4 に示す方法で算出		基本養生後 8.8N/mm ² 以上 ^{*2}																																																														
項目	最終検査	受渡検査	判定基準																																																														
外観	抜取検査または全数検査	無試験検査、抜取検査または全数検査	使用上有害なきず、ひび割れ、欠け、反り、ねじれなどが無いこと																																																														
形状および寸法	抜取検査または全数検査	無試験検査、抜取検査または全数検査	所定の範囲内にあること																																																														
圧縮強度 ひび割れ発生強度 引張強度	抜取検査	無試験検査または抜取検査	設計基準強度を下回る確率が 5%以下であることを、適当な生産者危険率で推定できること ^{*1}																																																														

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
15	-	<p>2. 2 プレキャスト床版の施工性の確認</p> <p>(道示 II-11.7 コンクリート系床版の施工時の前提条件)</p> <p>(1) 床版は、コンクリート打設時に生じるたわみにより、硬化中のコンクリートのひび割れ、床版の疲労に対する耐久性を損なう有害な局部変形及び応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(2) プレキャスト部材を用いる場合には、運搬時及び設置時に作用する荷重に対して、局部変形や応力集中が生じないようにしなければならない。</p> <p>(3) <省略></p> <p>(4) <省略></p> <p>(5) <省略></p>	<p>①-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版の最小全厚は施工性を考慮し、道路橋示方書 II 編 11.2.4 に示される 160mm 以上としますか？ <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記によらない場合、道路橋示方書に示される床版の最小全厚 160mm 以上の床版の施工と同様に確実に施工が行われることを確認されている根拠を提示ください。 <p>①-1</p> <p>①-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・床版厚さは 160mm より小さくしていますが、床版製作では剛性の高い型枠を用いて打設時にたわみが生じないようにしています。また、鋼材のあきやかぶりを 20mm 以上とすることによって UFC (サクセム) が充填できることを確認しています。 	

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
2. 3	プレキャスト床版接合部の施工品質の確認	<p>(道示 IIII-17.12.4 連結)</p> <p>(1) プレキャスト部材の連結は、使用する材料に最も適する施工方法を検討し、強度、耐久性、水密性等所要の品質が得られるように入念に行われなければならない。</p> <p>(2) <省略></p>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレキャスト床版同士の接合部の施工品質の確認方法として、次の2つの項目についての施工後の確認要領について提示ください。 1)接合部に求める所定の強度が得られていることの確認方法 2)有害な初期ひび割れが発生しないことの確認方法(配合の妥当性確認に加え、実施工での初期ひび割れが発生しなかったことの確認要領等) <p>※接合部の品質を確保するための施工方法について、下記 a)、b) のマニュアルに照査の考え方、品質管理項目、検査項目が示されています。</p> <p>a) 「鋼道路橋 PC 床版の施工品質向上策に関する検討 (I) PC 床版施工マニュアル (案)・施工管理要領 (案) プレキャスト PC 床版編 (H15.8 国総研資料第 121 号)」</p> <p>b) 「プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領 (H30.3 JPCI) 4.6 床版相互の接合」</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部においても繊維補強コンクリートを使用する場合は、その繊維補強コンクリートの打ち込みにおける繊維の配向や分散に対し、耐荷性能や耐久性能を確認した試験の供試体製作方法と同様の方法でプレキャスト床版製品が製作されるなど、再現性が確保されている製作方法がとられていますか？ <p>再現性が確保されている製作方法を提示ください。</p>	<p>①</p> <p>1)現場で接合部と同様な方法で養生したテストピースの圧縮強度試験で強度を確認しています。</p> <p>2)収縮を 400μ 程度に低減した間詰材を用いており、目視でひび割れが生じていないことを確認しています。</p> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接合部の間詰材は勾配の低い側から流し込み、片押しで充填しています。輪荷重走行試験の試験体製作でも同様な方法で充填し、このように製作した間詰め部の耐疲労性を確認しています。

3. 維持管理に関する確認事項

NO.	着目する項目	道路橋示方書の要求事項	技術開発者記入欄	資料 No.
-----	--------	-------------	----------	--------

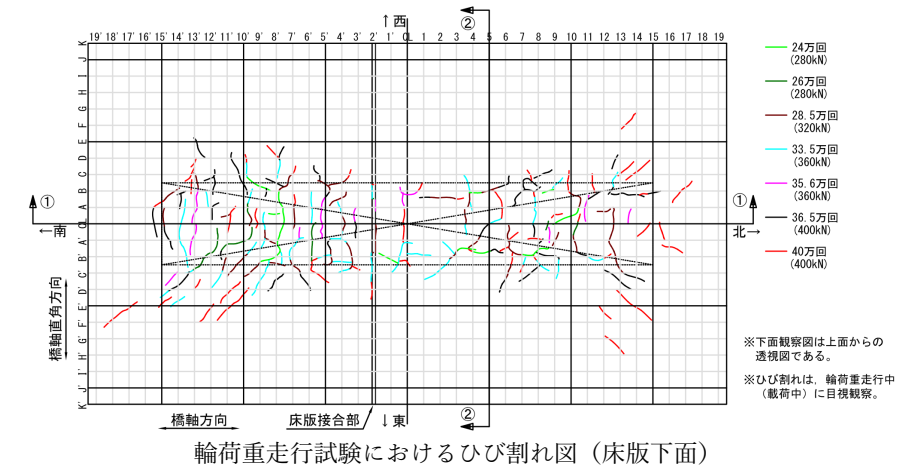
3. 1 維持管理の确实さの確認

(道示 I-1.3 設計の基本理念)
 橋の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、維持管理の确实性及び容易さ、施工品質の確保、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。

① 既往の疲労試験結果等により得られるひび割れ進展形態をもとに、供用後の橋梁定期点検等維持管理において役立つ、ひび割れ評価の概略図を提示ください。(例：橋梁定期点検損傷度評価指標 (下図))

状態	1方向ひびわれ			2方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	露水・剥離石灰	性状	ひびわれ	露水・剥離石灰
a		損傷なし	なし	-	-	-
b		・ひびわれは主として1方向のみ ・最小ひびわれ間隔は概ね1m以上 ・最大ひびわれ幅は0.05mm以下 (ヘアークラック程度)	なし	-	-	-
c		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m程度以上 ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし
d		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m~0.2m ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし
e		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	あり
		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	なし
f		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり
		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは開かない ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる	あり

① 階段状に荷重を大きくする輪荷重走行試験を実施しており、各荷重におけるひび割れを観察しています。280kN 載荷時に床版に橋軸方向および直角方向のひび割れが生じ、320kN で橋軸方向接合部の境界面に目開きが生じているため、維持管理では床版部の曲げひび割れおよび接合部の目開きに注目すればよいと考えます。また、400kN 以上の荷重でも破壊に至らなかったため、ひび割れが発生してから破壊までは1.4倍の余裕度があります。(床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討、プレストレストコンクリート工学会第26回シンポジウム論文集, 2017年)



共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No.584 March 2024

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

