

H28.11.25 土研新技術ショーケース2016 in 高松

## 【地盤対策技術】

**コンポジットパイル工法**  
～既設基礎杭耐震補強の必要性・  
制約条件下の技術～

(国研)土木研究所 寒地土木研究所

寒地地盤チーム 主任研究員 富澤幸一

# 説明概要

## ①既設杭基礎耐震補強の必要性 (1. 2. 3. 4. 5)

大地震多発、国策連動・H26事務連絡、倫理的意義

## ②既往補強の技術的課題 (1. 2. 3)

補強技術体系化・要求性能・解析手法

## ③耐震診断フロー (案)

変状杭基礎・液状化、橋梁全体診断

## ④コンポジットパイル工法=改良体併設補強 (1. 2. 3. 4)

概要、差別化・制約条件下、施工法、実験・設計法

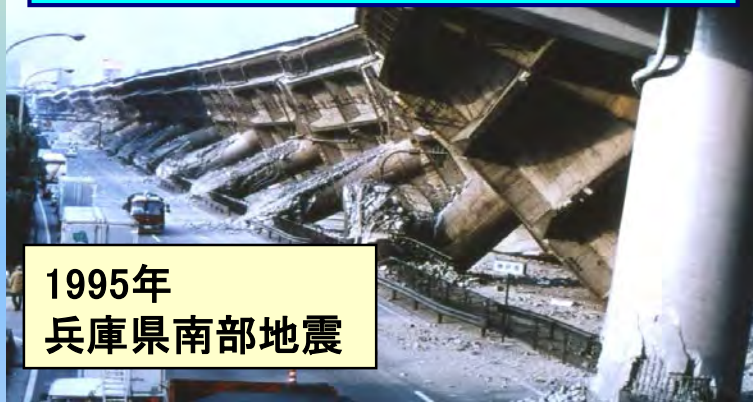
## ⑤補強技術の方向性・(他種)事例

**①既設杭基礎耐震補強の必要性  
(1. 2. 3. 4. 5)**

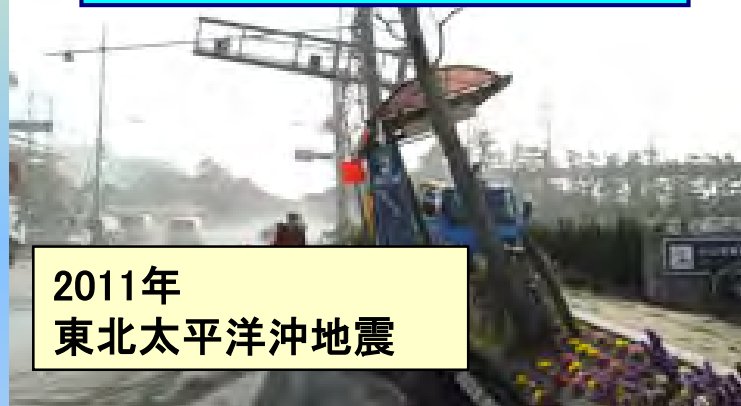
# ①既設杭基礎耐震補強の必要性 1

## (地震被災による塑性化)

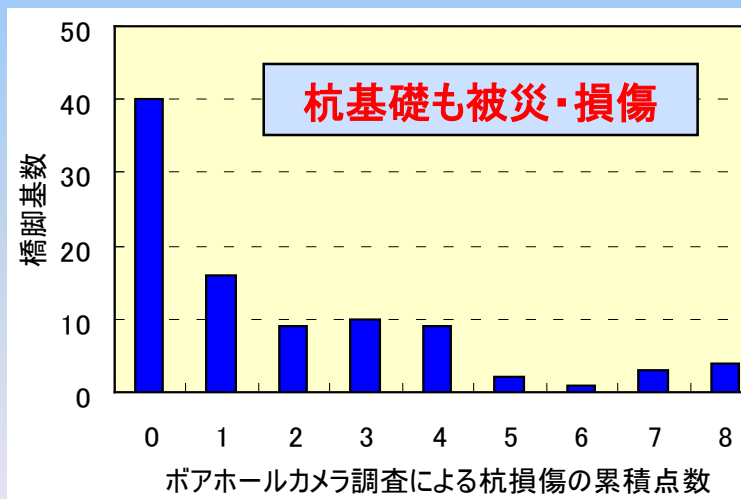
The Southern Hyogo prefecture earthquake 1995



Tohoku - Pacific Ocean Earthquake 2011



杭体に生じたひび割れ



※ 阪神高速道路公団 3号神戸線基礎構造の復旧に関する中間報告書を参考に作成

# ①既設杭基礎耐震補強の必要性 2

(設計基準改定・液状化現象)

大規模地震の経験を踏まえ、新設橋の  
設計地震力・保有耐力向上必要



**液状化被災は全国的課題＝対策急務**



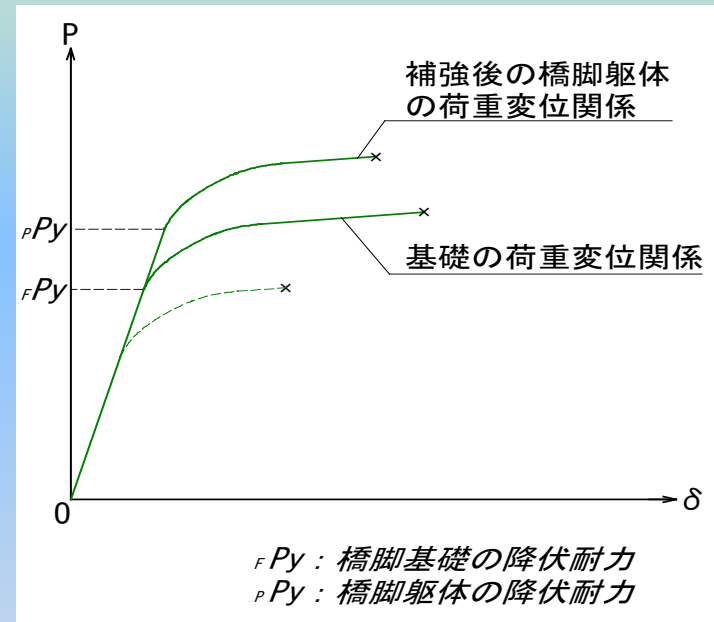
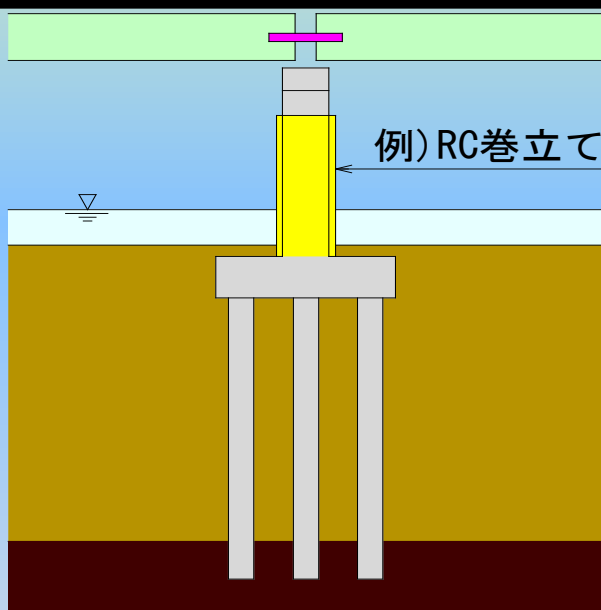
**東北地方太平洋沖地震  
液状化災害**

**東北・関東 9700ヶ所**

# ①既設杭基礎耐震補強の必要性 3

## (上下部補強による基礎への負荷)

会計検査院より指摘あり



下部工躯体補強は既設基礎が耐震性確保前提で成立

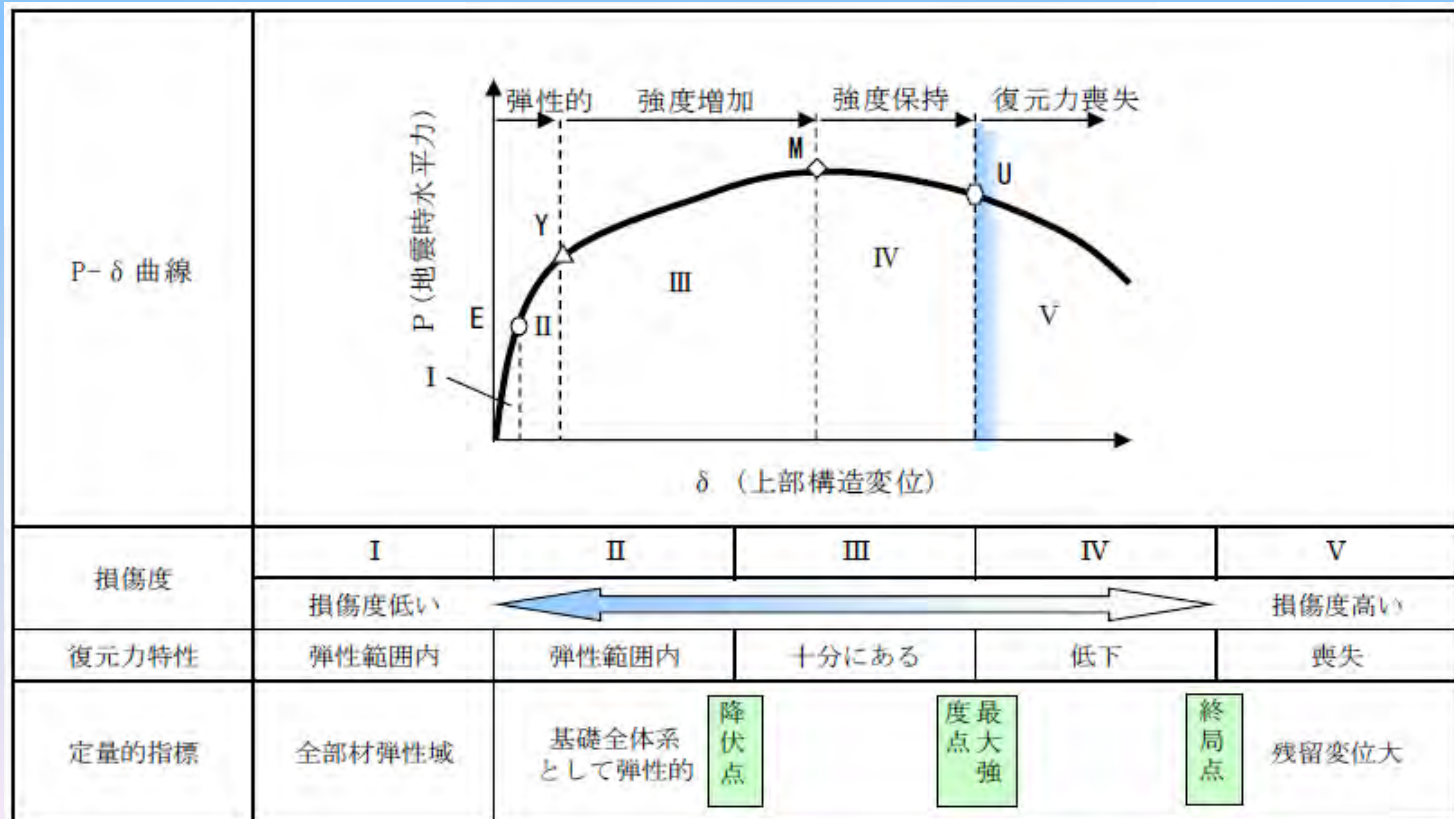
いくら上下部工を補強しても地震エネルギー全体が既設基礎に作用すれば橋梁全体の機能崩壊

# ①既設杭基礎耐震補強の必要性 4

## 国策連動・H26事務連絡

2013. 12. 4 「国土強靱化基本法」 制定し防災・減災は国策

2015. 6 国土交通省事務連絡 既設基礎の耐震性能



# ①既設杭基礎耐震補強の必要性 5

## 倫理的意義

著しく老朽化し明らかに耐震性が過小な既設杭基礎（例えばパイルベント・木杭等）を放置し、地震時の損壊で人命を損なう可能性があるとするれば。



**技術者倫理違反？**  
利用者の安全・安心のため防災対応とし  
技術者議論・行政支援が必須



H28熊本地震 阿蘇大橋 崩落 「地滑り」

H28台風10号北海道 千呂露橋落橋 「洗掘」





**②既往補強の技術的課題  
(1. 2. 3)**

## ②既往補強の技術的課題 1

### 補強技術体系化

#### ■ 既往補強工法

(増杭・マイクロパイル・シートパイル等)

は既設基礎に部材接合を必要

= 異種基礎形式で設計法不明瞭

= フーチング剛性確保が困難な場合有

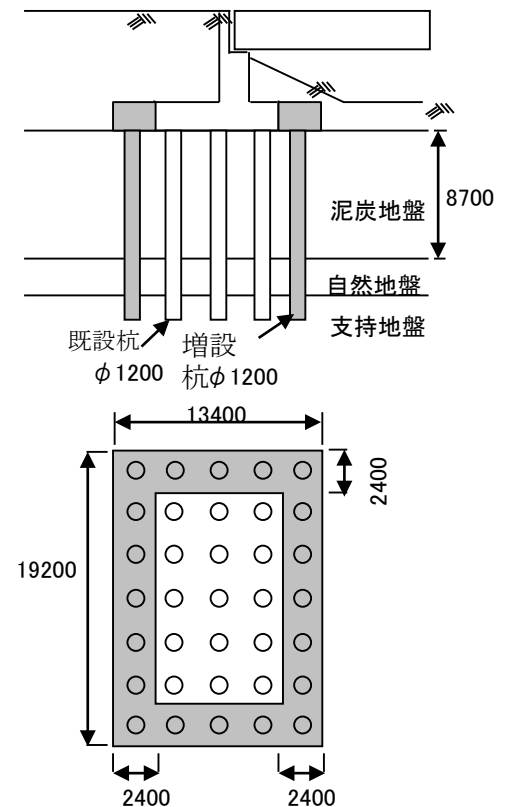
#### ■ 掘削・埋戻し土工必要

交通供用中の施工性問題

#### ■ 施工制約(立体交差橋・桁下空間)

施工コスト大

#### 増杭工法



## ② 既往補強の技術的課題 2

### 要求性能

#### ■ 道路橋示方書は新設杭対応

既設基礎の重要度別等不明確

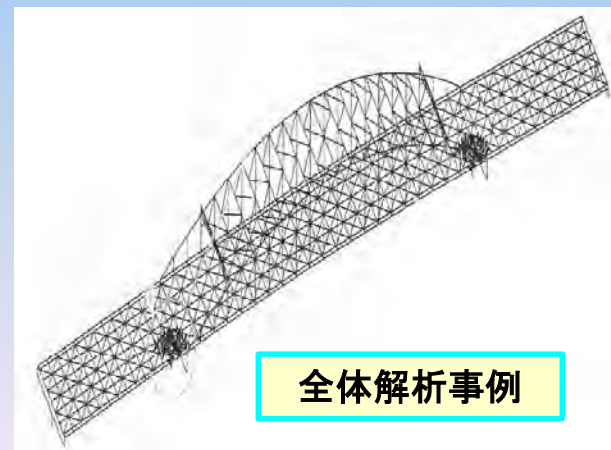
#### ■ 現行の柱補強は降伏耐力

#### ■ 基礎剛性の向上は根本的な軟弱地盤

対策液状化対策とはならない可能性

#### ■ 橋梁全体系の評価＝振動単位系

#### 永代橋の耐震補強照査事例



全体解析事例

## ② 既往補強の技術的課題 3

### 解析手法

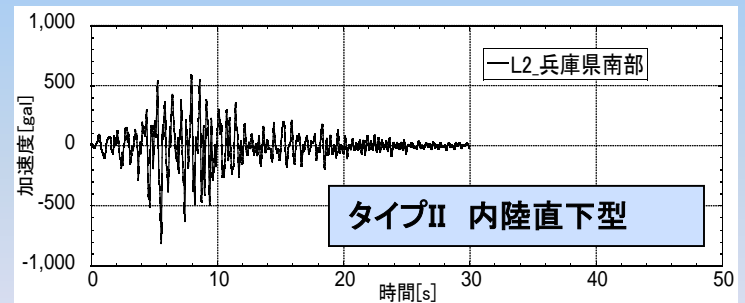
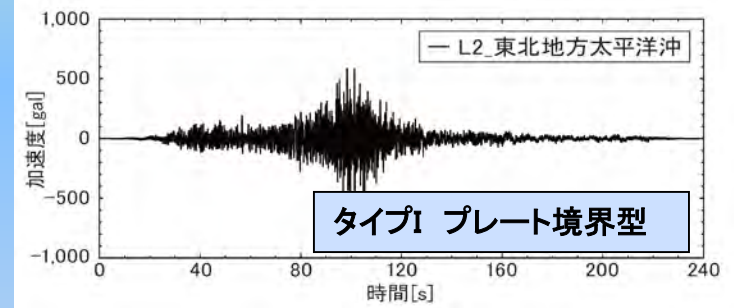
#### ■ 静的解析・動的解析

静的プッシュオーバーの保有水平耐力照査では杭力学挙動の詳細は不明瞭

#### ■ 道路橋設計は地表面波主体

■ 地震力(経験的・理論的)・非線形性・パラメータ精度・確率論

#### 道路橋レベル2地震 地表面波



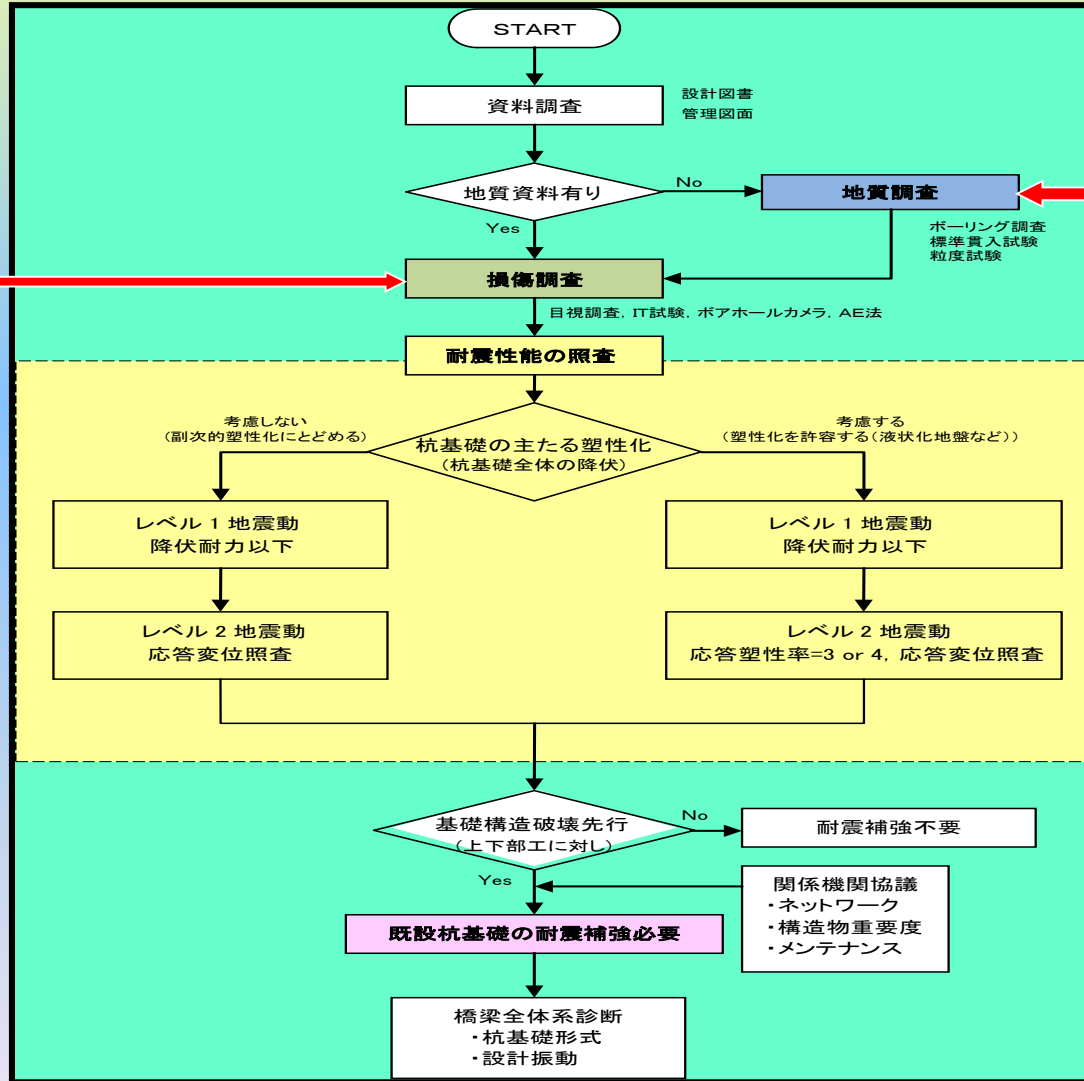
# 命題 = 建造物の既設基礎杭補強は？



- ①補強不要又はしない → 既設基礎耐震性が不要又は補強しないは現行設計基準を否定
- ②増し杭等剛性確保 → 施工的に無理な現場が多数  
設計不成立の場合も有る・ $\beta$   $\lambda$
- ③基礎前面に建造物 → 地震応答は多少回避出来ても  
周辺反力なし、静的設計法無理
- ④コンパクション系 → 既設基礎を移動変状させる懸念

どう対応すべきか？

# ③耐震診断フロー（案）



ターゲット2  
変状基礎

ターゲット1  
液状化地盤

変状基礎・液状化(L1橋台)等をターゲットに先行して耐震診断

## ④コンポジットパイル工法

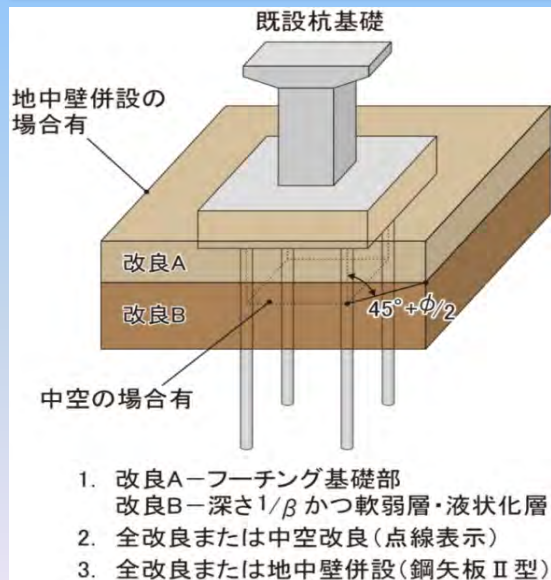
杭周辺に改良体併設補強  
(1. 2. 3. 4)

# ④コンポジットパイル工法 1

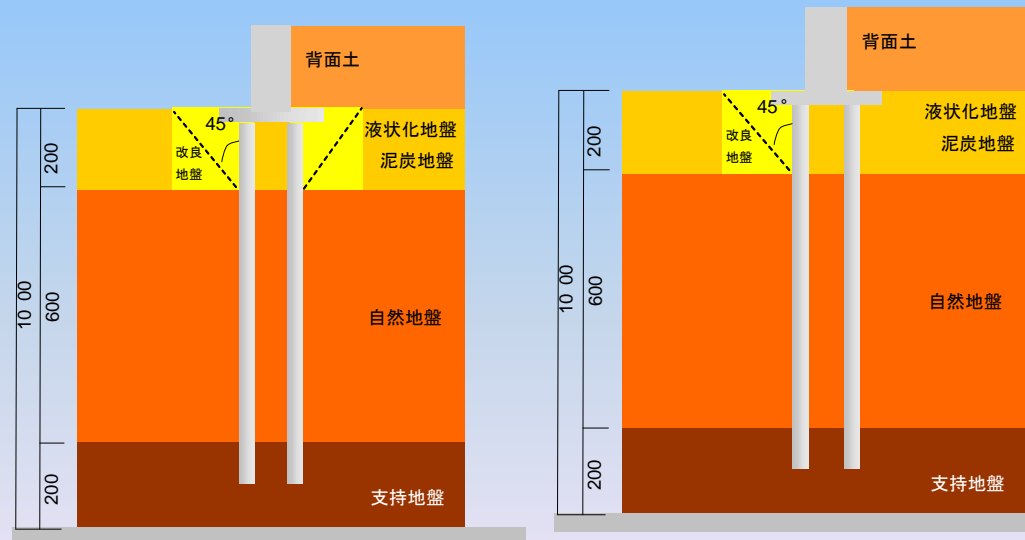
## 工法概要

著しく老朽化し耐震性が過小な超軟弱地盤や液状化地盤における橋脚及び橋台の既設杭基礎に対して、杭周辺の脆弱地盤を地盤改良工で改善し、杭反力・支持力等の増強を図り、大規模地震時の杭応答変形を抑制する既設杭の耐震補強技術

### 橋脚対策工



### 橋台対策工



实用現場を希望 \*\*\* 地盤改良専門3会社 ~ 業務連携



## ④コンポジットパイル工法 2

差別化・制約条件下

既往補強技術との差別化、土工不要・既設基礎と接合不要  
基礎形式変更しない



制約条件下可能 ～

①立体交差の既設橋梁

②桁下が2m低空頭

③交通供用の施工

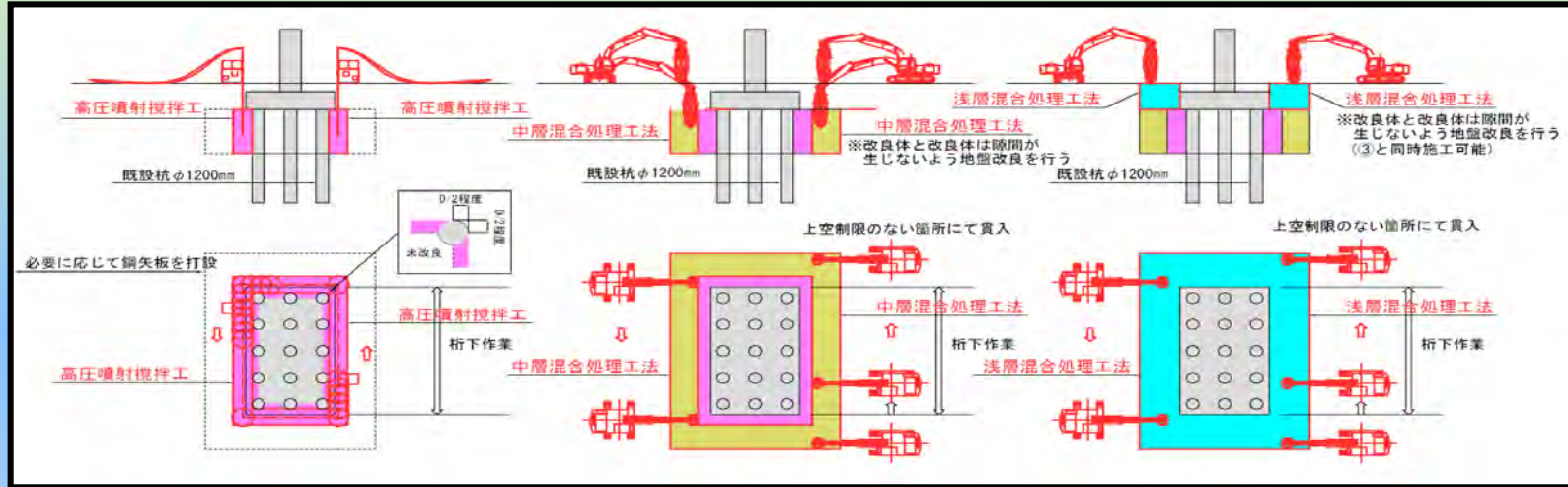
④施工時に既設基礎への影響無

特許取得：特許第5077857号（2012）

NETIS登録：HK-130008-A一般（2013）

# ④コンポジットパイル工法 3

## 施工法



- ① 低変位型フーチング側面改良 SCPでは基礎変状可能性有り
- ② 中層混合 + 浅層混合 (同時施工可能)
- ③ 増杭工法に対して、建設コスト縮4割減・工期5割短縮

事例: 増杭周囲1列⇒鋼管杭800mm・L=20m・20本 + 土工 + フーチング

直接工費～約2000万円

工期～約70日

コンポジットパイル 側面高圧100m<sup>3</sup> + 幅方向改良1/β 5m 500m<sup>3</sup>

直接工費～約1200万円

工期～約35日

# ④コンポジットパイル工法 4

## 実験・設計法

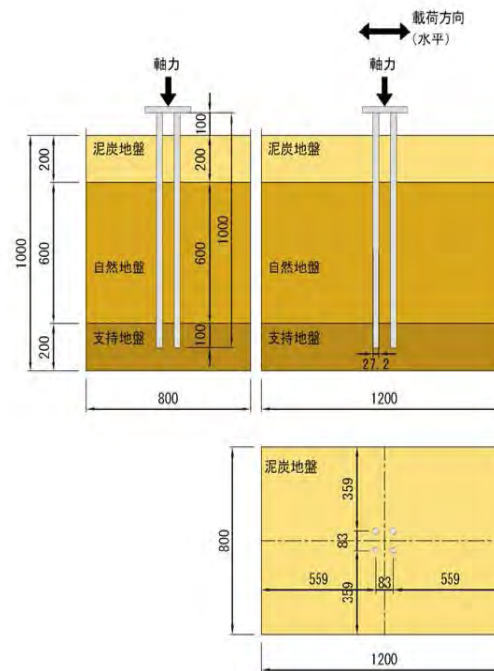


大型振動台実験装置

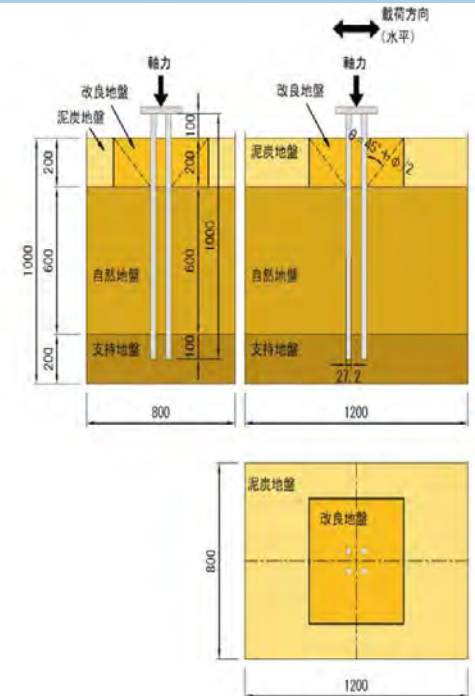
含水比 $w=200\%$

改良体強度 $q_u=300\text{kN/m}^2$

### 軟弱地盤



### コンポジットパイル



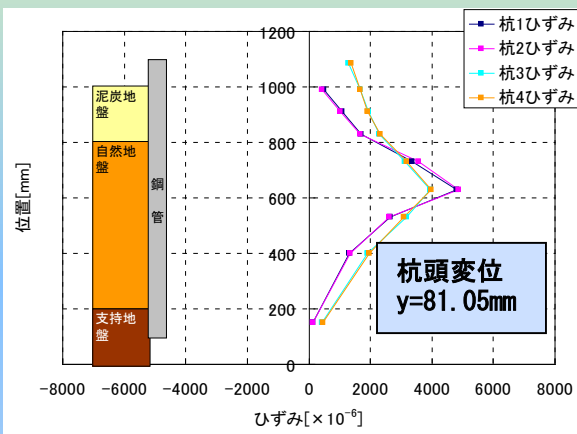
レベル2地震動タイプ I

東北地方太平洋沖地震

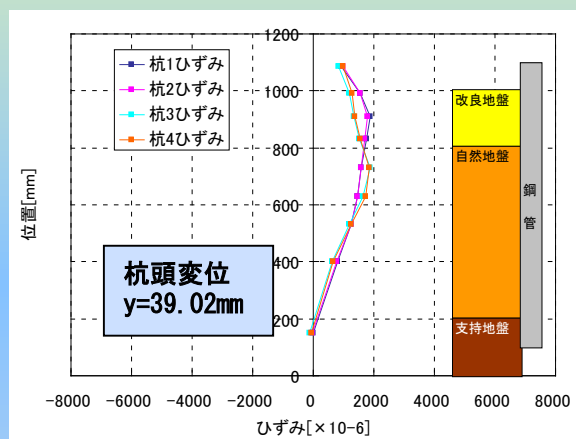
基盤入力地震動 : 692gal 240sec

# 加振実験結果 杭ひずみ・変位(4本組杭)

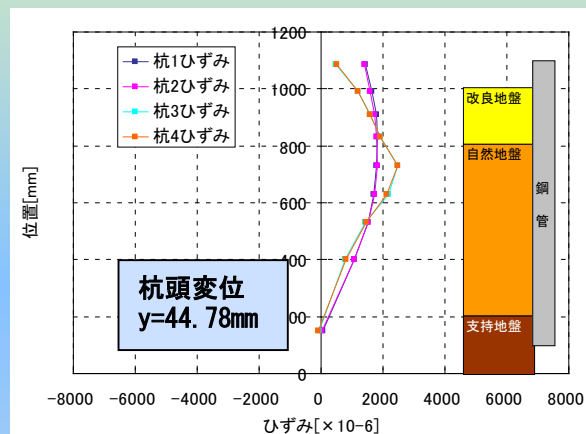
## 未改良地盤



## コンポジットパイル全改良



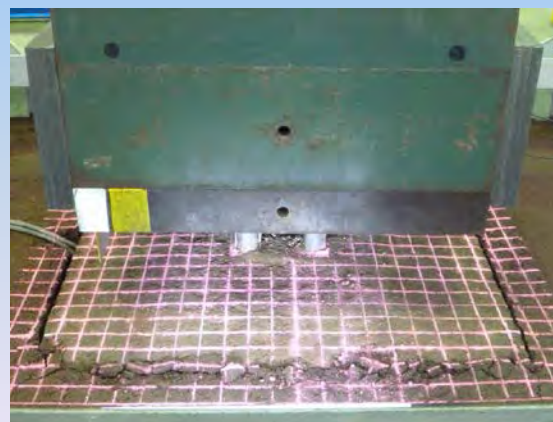
## コンポジットパイル中空改良



## 未改良で杭損傷



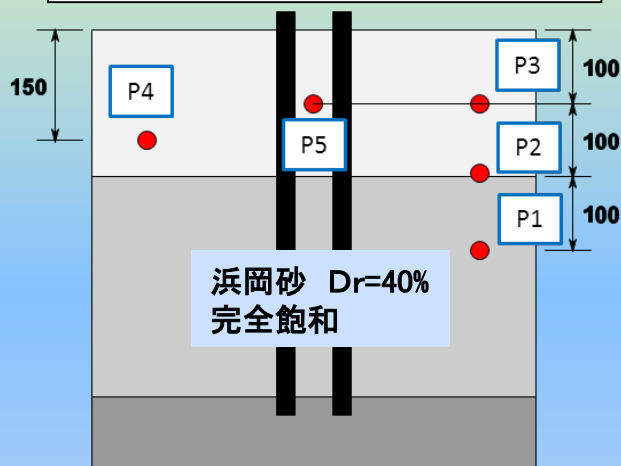
## 杭・改良体は損傷しない



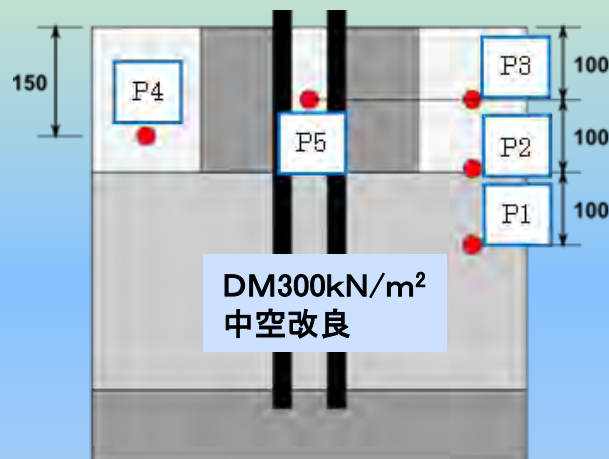
コンポジットパイル (全改良・中空改良) で耐震性向上

# コンポジットパイル工法加振 液状化地盤

## 未改良地盤(上層:浜岡砂)



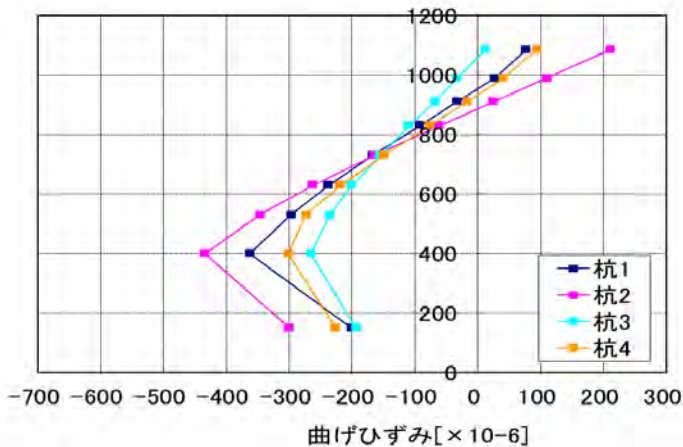
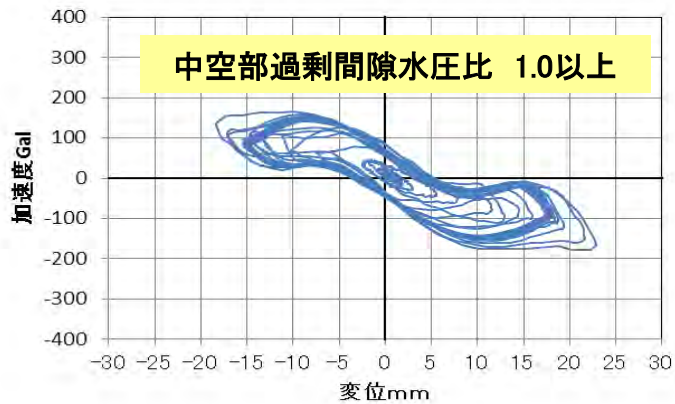
## コンポジットパイル中空改良



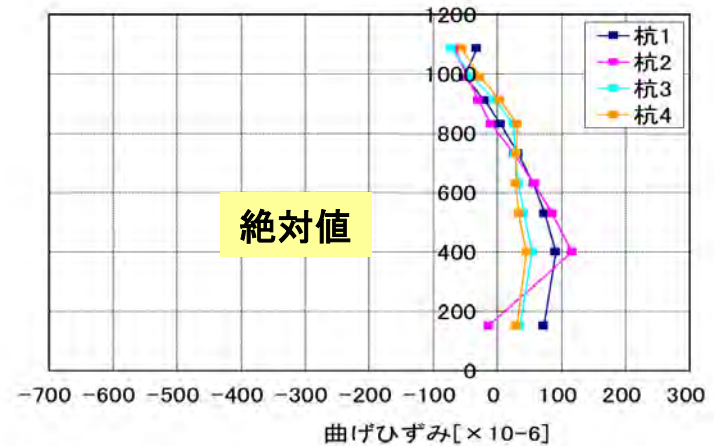
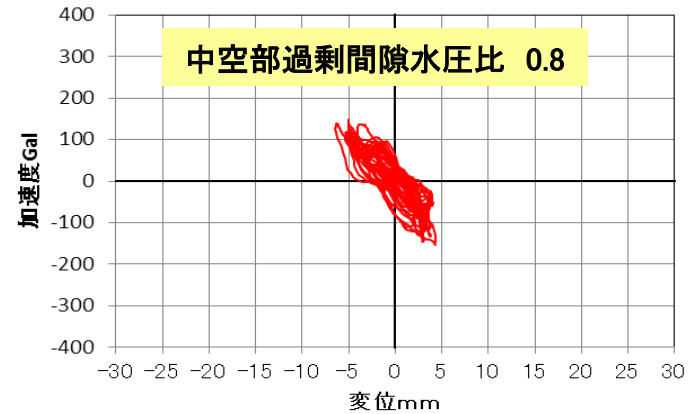
未改良で液状化が顕著

最大500gal Sin波

## 未改良地盤



## コンポジットパイル中空改良



杭応答変位・杭ひずみ（絶対値）は未改良に対し1/4に低下



超軟弱地盤や液状化地盤中の既設杭の応答変位抑制  
コンポジットパイル工法⇒橋梁全体の耐震補強

# 基本設計法

## 動的非線形有限要素法解析 56ケース、基盤波CONC耐震示方書

検討 ケース	改良深さ (m)	改良幅 (m)	改良体 強 度 $q_{up}$ (kN/m <sup>2</sup> )	レベル1地震動					レベル2地震動				
				相対変位(mm)		杭体ひずみ $\epsilon$			相対変位(mm)		杭体ひずみ $\epsilon$		
				max	min	杭 頭			max	min	杭 頭		
						引張	圧縮	せん断			引張	圧縮	せん断
0 - 0	複合地盤無し			21.7	-21.0	4.17E-04	-3.74E-04	5.53E-05	172.9	-147.1	4.80E-03	-2.15E-03	6.39E-04
1 - 1	1/ $\beta$ =7.0	受働域×1.0 =7.0	400	11.1	-16.9	3.59E-04	-2.77E-04	5.81E-05	127.6	-152.6	2.53E-03	-8.94E-04	4.13E-04
1 - 2			200	12.7	-17.1	3.17E-04	-2.55E-04	4.69E-05	136.8	-143.2	2.15E-03	-1.13E-03	3.22E-04
1 - 3			800	9.8	-16.3	3.42E-04	-2.73E-04	4.82E-05	123.2	-155.2	2.72E-03	-1.01E-03	5.24E-04
1 - 4		受働域×0.5 =3.5	400	14.0	-17.9	3.59E-04	-2.69E-04	5.61E-05	138.9	-139.3	1.98E-03	-9.93E-04	3.43E-04
1 - 5			200	16.1	-18.8	3.48E-04	-2.64E-04	4.20E-05	148.3	-153.6	2.11E-03	-1.23E-03	3.59E-04
1 - 6			800	12.8	-17.5	3.63E-04	-2.73E-04	6.78E-05	132.2	-148.2	2.72E-03	-9.98E-04	5.07E-04
1 - 7		受働域×1.5 =10.5	400	10.4	-16.2	3.37E-04	-2.68E-04	5.45E-05	124.0	-159.4	2.38E-03	-8.80E-04	3.79E-04
1 - 8			200	12.6	-16.0	3.22E-04	-2.66E-04	4.90E-05	133.0	-149.5	2.39E-03	-9.28E-04	3.21E-04
1 - 9			800	9.2	-16.2	3.36E-04	-2.80E-04	6.14E-05	119.2	-162.7	2.51E-03	-1.02E-03	5.03E-04
2 - 1	0.5/ $\beta$ =3.5	受働域×1.0 =7.0	400	12.7	-19.9	3.98E-04	-2.86E-04	6.82E-05	149.8	-159.0	2.12E-03	-1.01E-03	4.51E-04
2 - 2			200	13.9	-19.0	3.52E-04	-2.60E-04	5.43E-05	152.6	-144.4	2.76E-03	-1.09E-03	2.89E-04
2 - 3			800	12.2	-20.8	4.27E-04	-3.00E-04	8.34E-05	147.9	-167.6	2.76E-03	-7.40E-03	5.35E-04
2 - 4		受働域×0.5 =3.5	400	14.9	-19.6	4.13E-04	-3.09E-04	6.23E-05	153.2	-145.8	2.23E-03	-9.68E-04	3.89E-04
2 - 5			200	16.3	-19.1	3.78E-04	-2.68E-04	5.53E-05	156.7	-150.8	2.98E-03	-1.13E-03	3.78E-04
2 - 6			800	14.0	-19.7	4.13E-04	-2.88E-04	8.15E-05	150.7	-154.3	2.03E-03	-1.36E-03	4.67E-04
2 - 7		受働域×1.5 =10.5	400	13.1	-19.4	3.86E-04	-2.81E-04	7.06E-05	149.6	-166.2	2.14E-03	-1.01E-03	4.08E-04
2 - 8			200	14.2	-18.6	3.29E-04	-2.56E-04	5.19E-05	151.6	-152.6	2.83E-03	-1.24E-03	2.90E-04
2 - 9			800	12.5	-21.2	4.57E-04	-3.10E-04	8.67E-05	148.2	-176.5	2.35E-03	-9.88E-04	5.02E-04
3 - 1	1.5/ $\beta$ =10.5	受働域×1.0 =7.0	400	9.8	-14.6	2.85E-04	-2.55E-04	4.48E-05	85.7	-142.8	2.99E-03	-1.14E-03	4.36E-04
3 - 2			200	12.8	-19.0	3.75E-04	-2.82E-04	5.06E-05	127.1	-142.8	2.16E-03	-9.96E-04	3.52E-04
3 - 3			800	7.9	-11.5	2.17E-04	-2.30E-04	3.71E-05	57.7	-107.7	2.87E-03	-1.12E-03	3.66E-04
3 - 4		受働域×0.5 =3.5	400	14.0	-16.2	3.26E-04	-2.60E-04	5.03E-05	121.3	-161.4	2.64E-03	-1.19E-03	4.22E-04
3 - 5			200	16.3	-20.4	4.16E-04	-2.78E-04	5.13E-05	150.8	-175.5	2.32E-03	-1.05E-03	3.03E-04
3 - 6			800	11.3	-14.4	2.76E-04	-2.48E-04	5.15E-05	100.4	-143.6	3.16E-03	-1.29E-03	4.15E-04
3 - 7		受働域×1.5 =10.5	400	8.6	-12.5	2.79E-04	-2.23E-04	3.75E-05	66.9	-120.7	2.37E-03	-9.02E-04	2.56E-04
3 - 8			200	12.1	-17.8	3.41E-04	-2.69E-04	4.84E-05	111.5	-140.3	2.18E-03	-9.61E-04	3.19E-04
3 - 9			800	4.9	-7.9	1.79E-04	-2.17E-04	4.77E-05	40.4	-87.0	2.13E-03	-8.93E-04	2.30E-04

改良範囲及び深さ1/ $\beta$  妥当・改良強度300kN/m<sup>2</sup>程度基本

## ⑤補強技術の方向性・（他種）事例



# 結 言

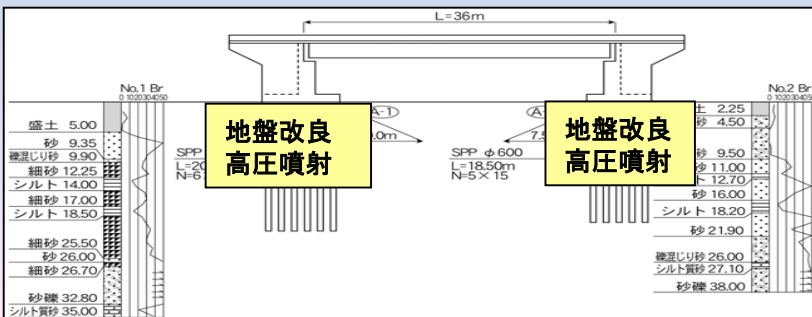
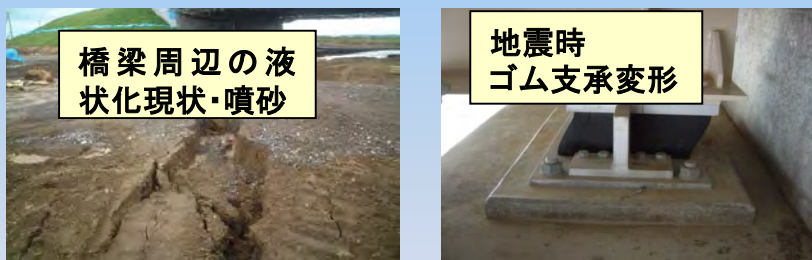
アカデミックな議論は当然必要であるが・・・実務を踏まえ

1. 基礎耐震診断手法の体系化
2. 要求性能に応じた補強技術のリスト策定
3. 一定条件下での活用システム化

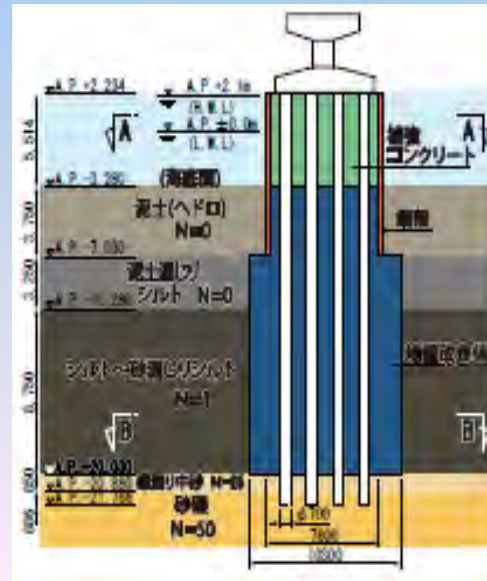
大規模地震を想定し、公共構造物である橋梁全体及び既設杭基礎の耐震補強を必要に応じて早期に取り組むべきである。

その一手法としてコンポジットパイル工法は有用。

2003. 9. 26M8相当 十勝沖地震



東京モノレール杭補強2012～



## コンポジットパイル工法

研究成果情報：新技術情報システム（NETIS参照）

土木研究所寒地土木研究所：<http://www.ceri.go.jp>

## 参考論文

土木学会・日本地震工学会・地盤工学シンポジウム  
(研究発表賞)

## 問合せ先

土木研究所寒地土木研究所

寒地技術推進室 011-590-404



パンドラの箱は  
もう空いているのかも？

ともに議論・認識共有が必要

ご清聴ありがとうございました

END