

『厳しい施工条件に対応可能な杭基礎工法』

～マイクロパイ爾技術～

高耐力マイクロパイ爾研究会

稻富芳寿

本日の主な内容

【マイクロパイアル工法】

1. 基礎技術の変遷
2. 開発の背景
3. 工法概要
4. 比較事例
5. 施工実績統計
6. 施工事例紹介

2

1. 基礎技術の変遷

1-1 東日本大震災における道路橋の被災状況とその特徴

—国土技術総合研究所、土木研究所調査報告より—

1-2 道路橋基礎に関する技術および基準の変遷

3

1-1 東日本大震災における道路橋の被災状況とその特徴

—国土技術総合研究所、土木研究所調査報告より—

4

道路橋の被害の分類

津波による被害



地震動による被害



地盤の液状化の影響



5

地震動による道路橋の被害

<S55年道示よりも古い基準で設計された橋の被害>

RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷

軸方向鉄筋段落し部付近における曲げ損傷からせん断ひび割れの進展に至った被害



6

地震動による道路橋の被害

<S55年道示よりも古い基準で設計された橋の被害>

軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚軸体の損傷



7

地震動による道路橋の被害

<S55年道示よりも古い基準で設計された橋の被害>

パイルベント式橋脚を有する橋の落橋

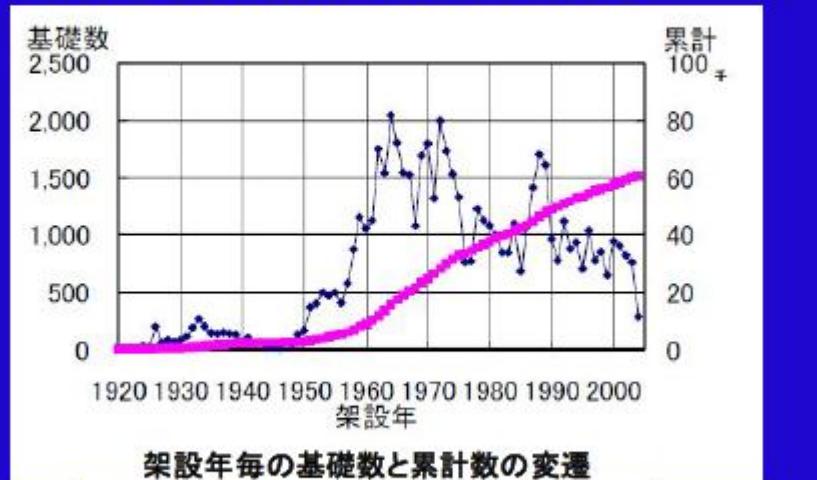


8

2－2 道路橋基礎に関する技術および基準の変遷

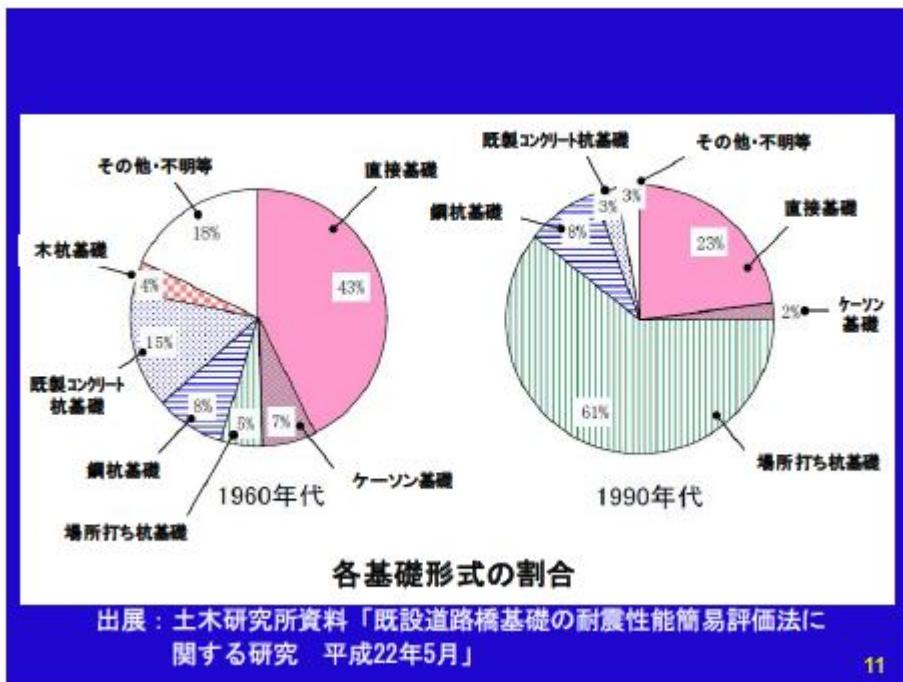
9

1) 橋梁基礎の建設数と基礎形式の変遷



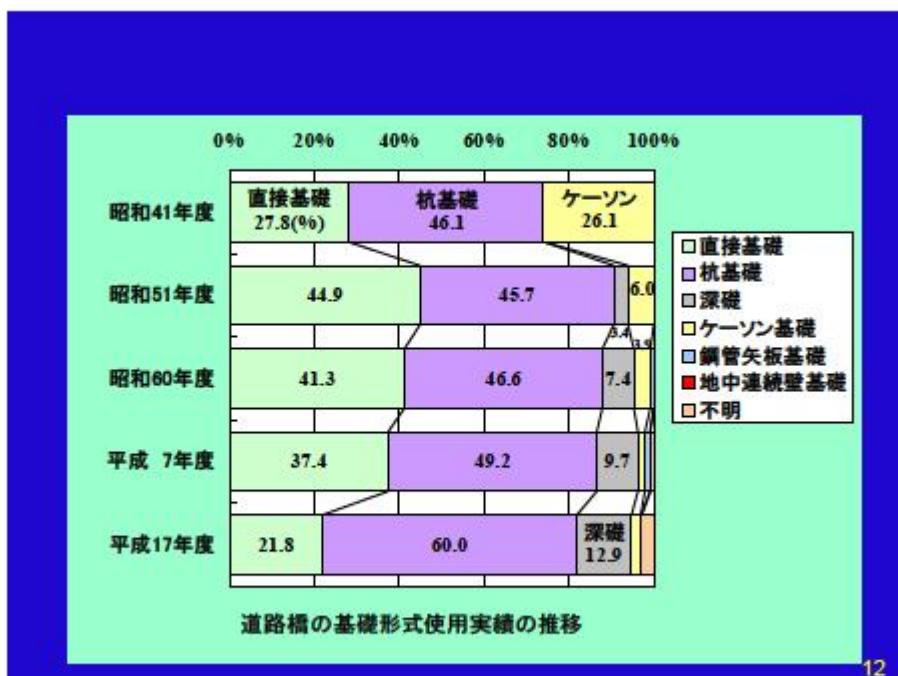
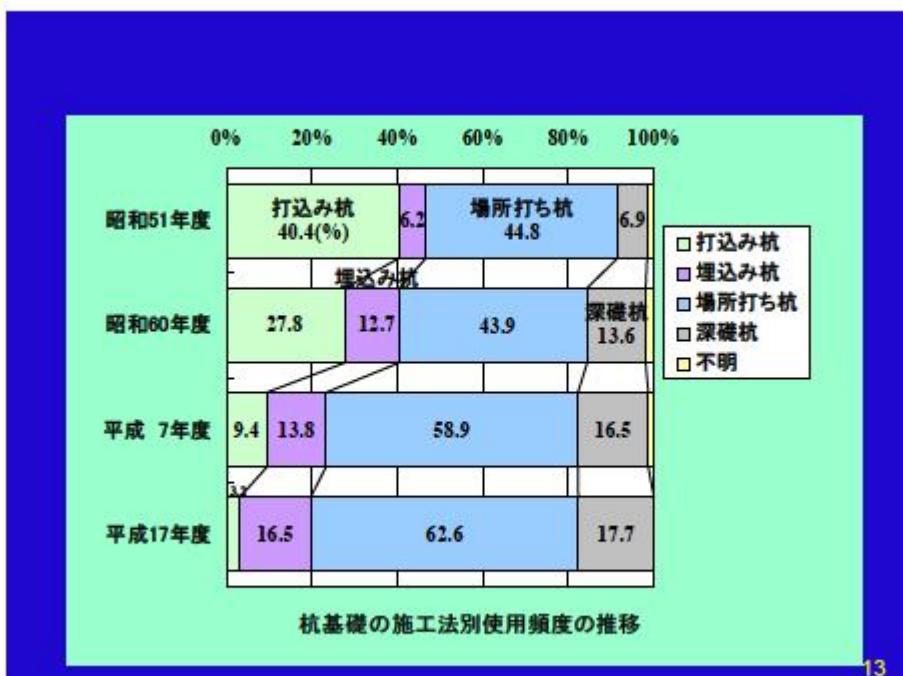
出展：土木研究所資料「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価法に関する研究 平成22年5月」

10



出展：土木研究所資料「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価法に関する研究 平成22年5月」

11



12

13

2) 基礎の耐震性に関する主な基準の変遷 1

年次	主な地盤	基準・指針		設計震度と計算法	感覚化対策
		耐震	下部構造		
1928(大正17)	1923 関東地震 Q27.9	道路構造に関する耐震指針		・最適化能力を考慮する。ただし、具体的な教科書、計算方法は示されず ・震度法による耐震計算	・規定なし
1939(昭和14)	1945 福井地震 Q27.3	鋼道橋構造設計指針		・水平加速度 0.2g および荷重強度 ・震度法による耐震計算	・規定なし
1959(昭和34)	1953 十勝沖地震 Q28.1	鋼道橋構造設計指針:基礎の設計指針		・本震震度は名1~0.8時 とし、地震強度、地盤強度を種類に分離して規定 ・震度法による耐震計算	・規定なし
1964(昭和39)	1964 黒四地震 Q27.5	鋼道橋下部構造設計指針:基礎の設計指針	・地上		・規定なし
1966(昭和41)		道路橋下部構造設計指針:調査及び設計一般論			
1968(昭和43)		道路橋下部構造設計指針:橋台・橋脚の設計指針			
1969(昭和45)		道路橋下部構造設計指針:直接基礎の設計指針			
1970(昭和46)		道路橋下部構造設計指針:ケーブル基礎の設計指針			
1971(昭和46)	1971 サンフェル サンド地盤(QMED)	道路橋耐震設計指針		・震度法(感度別、地震別、重要度補正係数を考慮)による耐震計算 ・応答を考慮した静止震度法 ・設計水平震度(0.1~0.3)	・感覚化の可能性を現位置等性、土質特性により判定し、感覚化する土層の支持力を算定

14

年次	主な地盤	基準・指針		設計震度と計算法	感覚化対策
		耐震	下部構造		
1973(昭和48)				道路橋下部構造設計指針:橋台打ちつい基礎の設計施工編	
1976(昭和51)	1976 宮城県沖地 震(MT 7.1)			道路橋下部構造設計指針:くい基礎の設計編	
1980(昭和55)	1983 日本海中部 地盤(MT 7.7)	道路橋示方書V 下部構造編	道路橋示方書IV下部 構造編	・震度法(地盤別、地震別、重要度補正係数を考慮)による耐震計算 ・応答を考慮した修正震度法 ・設計水平震度(0.1~0.3) ・地震時安全性能の検査法 ・動的解析の位置づけを行い、設計強度入力を規定	・土の感覚化強度と地盤荷重の比較による合理的な判定方法を規定し、感覚化の程度に応じて土層の土質定数を実減
1990(平成2)	1989 ヨーロッ パ地盤(MT 1)	道路橋示方書V 下部構造編	道路橋示方書IV下部 構造編	・比載的生じる可能性の高い感覚化強度の地震に対する構造物としての健全性が組み合わず、大正12年の関東地震のような易に起こる大きな地震に対して各種などがないことを目標 ・震度法と修正震度法を統合し、新たに震度法(感度別)、地盤別、重要度別、因有因数補正係数を考慮)による耐震計算 ・設計水平震度(0.1~0.3) ・運転時の耐震計算法を規定 ・RC 橋脚に対する地盤時刻有水平抵抗力の限界を規定(0.7~1.0) ・動的解析による安全性の検査方法を規定	・新質土層の感覚化強度の算定方法に地盤分の影響を考慮し、感覚化判定を高度化

15

年次	主な地盤	基準・指針		設計震度と計算法	感覚化対策
		耐震	下部構造		
1983(H25)	1983 鋼道橋地盤 QMT 8.0、北海道南北西 部地盤(MT 7.8)		道路橋示方書V下部 構造編		
1990(H20)	1984 ノースリッ ジ地盤(MB 6.0)、北海 道東・中央・北・地盤 (MB 5.1) 1986 兵庫県南部 地盤(MT 7.3)	兵庫県南部地盤 により被災した 道路橋の復旧に 係る仕様		・同上。さらに以下を追加 ・平成 7 年兵庫県南部地震の上う に発生震度が極めて低いマグニ チュード 7.5 級の山陽直下型地震 による地盤動を考慮 ・地震を感知すると同時に、車 両形走行を高めて橋全断面として 地盤に耐える構造を目指す ・地盤動と橋の重複度に応じて橋 の耐震性能を確保すること目標 (健全性を損なわない、安全的 な被災を受けない、限界された 倒壊にとどめる) ・地盤の半径の大きい橋脚 (RC 構 造、鋼製構造、基礎、土壁等) に対する地盤時刻有水平抵抗力の 限界の実験 (設計震度: 1.5~2.0) ・動的解析による兵庫県南部地震 に対する安全性の検査 ・免震設計の採用 ・ねばり強い構造のための配筋規 則等	・感覚化の判定範囲を拡大 (震度上限)するとともに、 地盤化の適用

16

年次	主な地盤	基準・指針		設計震度と計算法	感覚化対策
		耐震	下部構造		
1990(H20)			道路橋示方書V 耐震設計編	道路橋示方書V 下部構造編	・同上 ・RC 構造、鋼製構造の設計法の高 度化(せんじき能力の寸法効果の 考慮、変形性能評価式、コン クリートを充填しない場合の鋼 製橋脚の設計法)
2002(H14)	2003 三路南地盤 Q27.1、宮城県北部 地盤(MM 6.4)、十勝沖 地盤(MM 6.0) 2004 豊岡集中 地盤(MM 6.8)		道路橋示方書V 耐震設計編	道路橋示方書IV下部 構造編	・同上 ・性能判定基準への改定 ・耐震性能 1~3 (健全性を重ひ ない性能)。橋脚が絶縁的となる べき性能。橋脚が限界的となり、 構造回復に遅やかに行ひ得る性能) の定義、性能の観点、限界 載荷量の設定法 ・鋼製構造の設計法、構合基準の 設計法、上部構造の限界状態評 価法の高度化等 ・動的解析の適用

出展：土木研究所資料「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価法に
関する研究 平成22年5月」

17

2012(H24)道路橋示方書 改訂主旨

- 平成23年東北地方太平洋沖地震の発生
- 東海・東南海・南海地震などの巨大地震による被害想定の見直し、近年の地震被害の分析による知見
- 維持管理の重要性の高まり
- 前回改訂以降進められてきた研究の成果

18

3) 基礎の耐震性に関する主な基準の変遷 2

年次	主な使用材料と許容応力値 鉄筋 コンクリート	RC 部材の設計	杭基礎	ケーソン基礎
1926(大正15)	大正初期に米国から導入された丸鋼が使われたが、開底排水孔は丸鋼のみが使用される。 $\sigma_g = 120N/mm^2$			
1930(昭和5)	黒川修謹(585339,49)が使用され始めるが、丸鋼(58538,49)が主流である。 $\sigma_g = 140N/mm^2$	$\sigma_{gt} = 14\sim30N/mm^2$ $\sigma_s = 21N/mm^2$ $\sigma_a = 7N/mm^2$ $r_{st} = 0.65N/mm^2$		
1949(昭和24)	JIS が統合され、SD30(1号SD4)に、SD339 は SD14 になる。 SD34(235)が主流。 $\sigma_g = 140N/mm^2$	明確な記載なし $\sigma_{gt} = 21N/mm^2$ $\sigma_s = 7N/mm^2$ $r_{st} = 0.65N/mm^2$	・支持柱を原則と規定 ・費用計算による計算 ・水平方向地盤反力係数は、載荷試験により求めめるか、図表を用いて N 値より算出 ・鉛直支持力は、載荷試験による方法の他、4 つ打ち式。Terzaghi の式、Meyerhof の式等から総合的に判断	
1960(昭和35)	1970 年代に入る と、SD30(29)が主流となる。 $\sigma_g = 160N/mm^2$			・鋼体と既定した計算 ・地盤調査および鉛直震度 10.1 を考慮
1971(昭和46)				

19

年次	主な使用材料と許容応力値 鉄筋 コンクリート	RC 部材の設計	杭基礎	ケーソン基礎
1973(昭和48)				
1976(昭和51)			・委嘱函による計算を原則と規定 ・水平方向地盤反力係数の算出法が変更（抗震とひびきの生存性を考慮、當時と地盤特性に応じ） ・打込み杭・権所打立柱の支承力推定式を規定 ・使用実績が少ない木桿の規定を削除	
1980(昭和55)	$\sigma_g = 21N/mm^2$ が主流 $\sigma_s = 7N/mm^2$ $r_{st} = 0.35N/mm^2$ 水中コンクリートの許容応力を規定	・曳げ・軸力・せん断力に対するコンクリートの耐震性能を規定 ・打込み杭・権所打立柱の周面摩擦力を規定 ・生掘り杭の支承力推定式を規定	・地中震度および振面震度が削除 ・周面摩擦力の先端支持力値（終端部）を抜錆 ・許容水平変位を規定（数値は規定せず） ・壁厚を 50cm 以上に規定	
1990(平成2)	・はりの最小 鉄筋量を変更	・換算截荷率を用いた水平方向地盤反力係数の算定法 ・地盤特性的地盤の 2 様と規定 ・許容水平変位量は、杭後の 1% 上 15mm の大きい方の値 ・鋼管杭の初期荷重合意が、鋼管+鉄筋溶接から中詰のコンクリートへ変更	・許容水平変位を基礎幅の 1% から 5cm 以下に規定 ・許容鉛直支持力の上限値を規定	
1993(平成5)				
1996(平成8)				

20

年次	主な使用材料と許容応力値 鉄筋 コンクリート	RC 部材の設計	杭基礎	ケーソン基礎
1999(平成11)	SD345 が主流となる。 $\sigma_g = 200N/mm^2$	$\sigma_{gt} = 243N/mm^2$ が主流となる。 $\sigma_s = 88N/mm^2$ $r_{st} = 0.23N/mm^2$	・場所打立柱の構造間隔を 50cm 以下 → 30cm 以下に変更 ・せん断強度を全変更	・既製コンクリート杭のせん断補強筋の細度を規定 ・中轟り柱の先端支持力値を緩和 ・測定の配筋項目を規定
2002(平成14)				・場所打立柱の先端支持力（芯轟筋）を緩和 ・中轟り柱の周面摩擦力を緩和 ・ブレボーリング・鋼管ソイルセメント杭工法を規定

出展：土木研究所資料「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価法に関する研究 平成22年5月」

21

4) 基礎の耐震性に関する主な基準の変遷2

	改定内容等
S39.3 くい基礎の設計篇	杭基礎に関する初めての設計指針
S41.11 調査および設計一般篇	調査、荷重、材料、許容応力度・支持力を整理
S43.3 橋台・橋脚の設計篇、直接基礎の設計篇	躯体の設計手法、直接基礎の設計指針
S43.10 くい基礎の施工篇	既製杭の施工について記述
S45.3 ケーソン基礎の設計篇	ケーソン基礎に関する初めての設計指針
S48.1 場所打ちぐいの設計施工篇	場所打ち杭の工法、構造細目、施工について記述 設計手法は、くい基礎の設計篇に準拠
S51.8 くい基礎の設計篇	技術の進歩、調査・研究成果を盛り込む 場所打ち杭も規定、木杭が消える
S52.11 ケーソン基礎の施工篇	ケーソン基礎の施工に必要な事項を記述

22

	改定内容等
S55.5 道路橋示方書 下部構造編	各基礎形式の指針を統合、他編(I~V)との整合
S59.2 鋼管矢板基礎設計指針	「S47 矢板式基礎の設計と施工指針」を橋梁基礎に体系付けた設計指針
H2.2 道路橋示方書 下部構造編	鋼管矢板基礎を規定 E鋼杭が消える
H3.7 地中連続壁基礎設計施工指針	S80以降着実に施工実績が増えた地中連続壁基礎の 設計施工指針
H6.2 道路橋示方書 下部構造編	車両の大型化による活荷重の見直し
H8.12 道路橋示方書 下部構造編	地震時保有水平耐力法が導入される PC杭が消える
H14.3 道路橋示方書 下部構造編	鋼管打設杭、SC杭を規定 既製杭の定位緩和を規定 液状化地盤上の橋台基礎に地震時保有水平耐力法

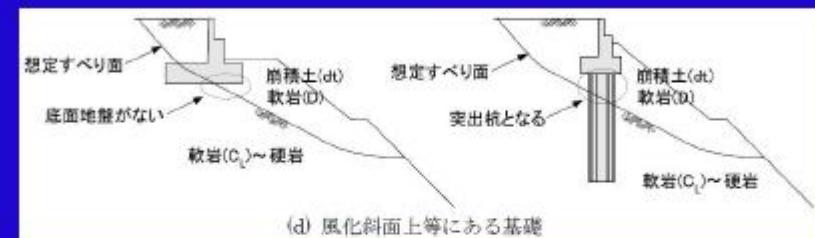
出展：土木研究所資料「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価法に関する研究 平成22年5月」

23

5) 補強の優先度が高い構造および条件



24



出展：土木研究所資料「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価法に関する研究 平成22年5月」

25

2. 開発の背景

1995年 兵庫県南部地震



共同研究パンフレットより

橋脚の倒壊や落橋など、道路橋に対する大きな被害が生じた。

1996年、2002年
道路橋示方書の
改訂

26

『既設基礎の耐震補強技術の開発』

(独) 土木研究所、(財) 先端建設技術センター、民間12社による共同研究
(開発期間 H11~H13)



目的

- 桁下空間や狭隘地での施工
- 近接構造物、交通規制への影響など、きびしい現場制約条件に対応できる
“既設基礎の補強技術の開発”

28

基礎を含めた構造系全体の耐震性向上

既設基礎補強の必要性が高まる一方で、
大きな課題も・・・

- 桁下での作業は、施工が困難でコストも高額。
- 作業空間確保のため、現道の規制が必要。



桁下空間や近接構造物の影響が少ない
効率的な基礎補強技術が必要

27

共同研究により開発された技術

- 1) 高耐力マイクロパイル工法 (HMP工法)
- 2) STマイクロパイル工法 (STMP工法)
- 3) ねじ込み式マイクロパイル工法
- 4) 小径ドレーン工法 (液状化対策)
- 5) SSP工法 (パイアルベント橋補強)



開発の成果

共同研究報告書
「各工法設計・施工マニュアル」
平成14年9月

29

マイクロパイルとは

マイクロパイル工法とは、杭径300mm以下の小口径鋼管を用いた杭の総称。

小型の施工機械（3t～15t程度）で短尺（1～3m程度）の鋼管を継足しながら施工するため、従来の杭打ち機では施工が困難であった桁下や狭隘地において、標準的な施工が可能。

30

マイクロパイル工法の特長



- 仮設備を含めた施工設備が小さい
- 周辺影響が小さい
- 地盤条件への適用性が高い



橋台・道路拡幅工などの新設構造物や斜面補強工などへも
“適用が拡大”

31

マイクロパイル工法の種類と概要

3種類のマイクロパイル工法

1) 高耐力マイクロパイル工法 (HMP工法)

(NETIS No. CG-000014-A)

2) STマイクロパイル工法 (STMP工法)

(NETIS No. HR-030012-V)

3) ねじ込み式マイクロパイル工法

(NETIS No. CB-030009-A)

NETIS (国土交通省：新技術情報提供システム)

32

3. 工法概要

33

1) 工法概要

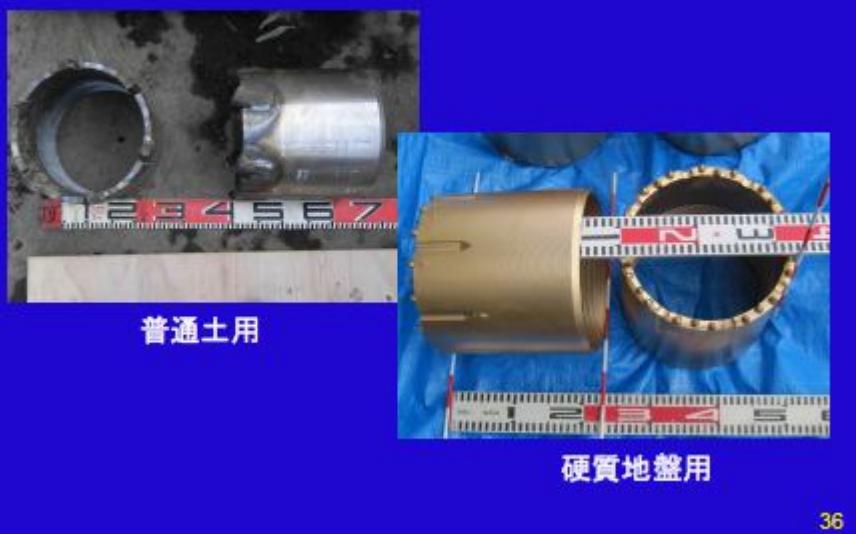
概要	概念図	構造細部
<p>杭体となる鋼管をケーシングとして孔壁を保護しながら地盤を削孔し、定着部補強用の異形棒鋼を挿入した後、钢管内部および良好な支持層内にグラウトを加圧注入することにより、摩擦抵抗の大きい圧グラウト体をする</p> <p>摩擦強度 アンカー</p> <p>先端無視</p>		

摩擦強度：場所打ち杭の2倍以上 34

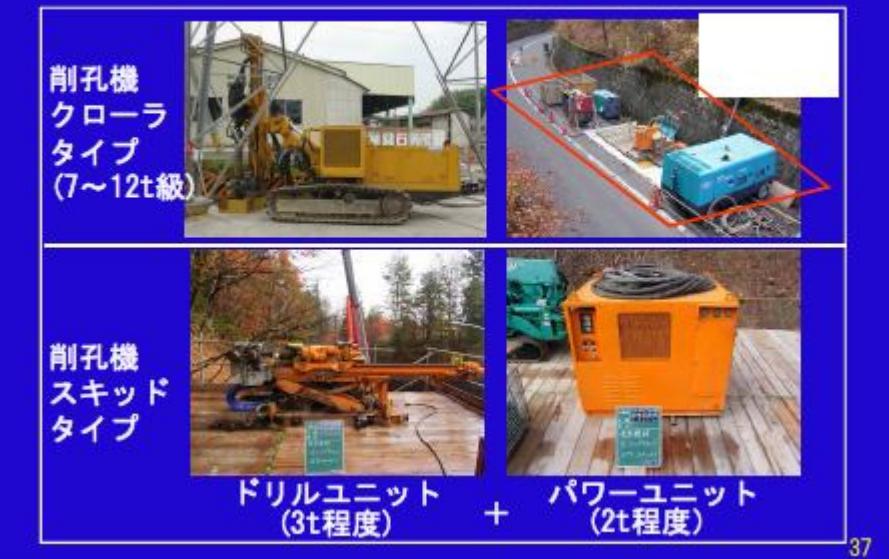
2) 使用材料



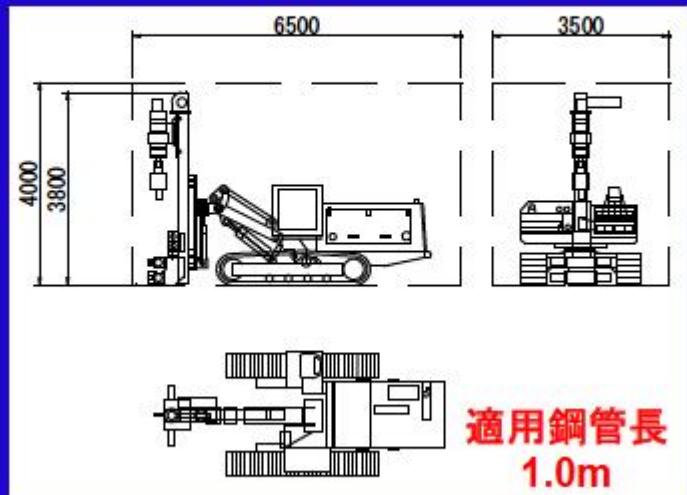
3) 削孔用ビットの種類



4) 施工設備



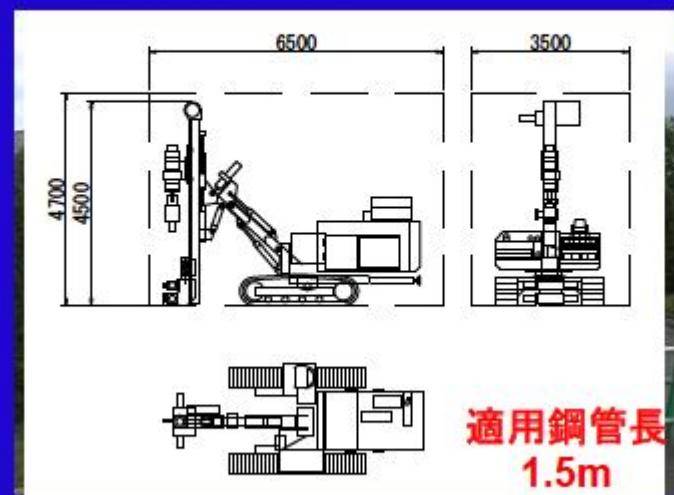
5) 削孔機の種類①



施工機械：クローラH3.8（約12t）

38

6) 削孔機の種類②



施工機械：クローラH4.5（約12t）

39

7) 削孔機の種類③



施工機械：クローラH6.5（約12t）

40

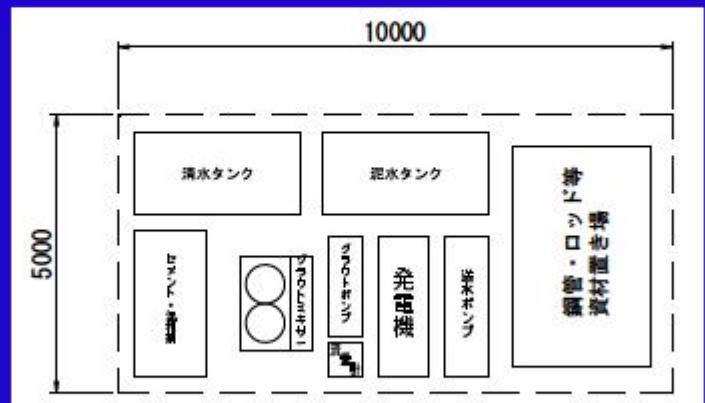
8) 削孔機の種類④



施工機械：スキッド（約3.5t）

41

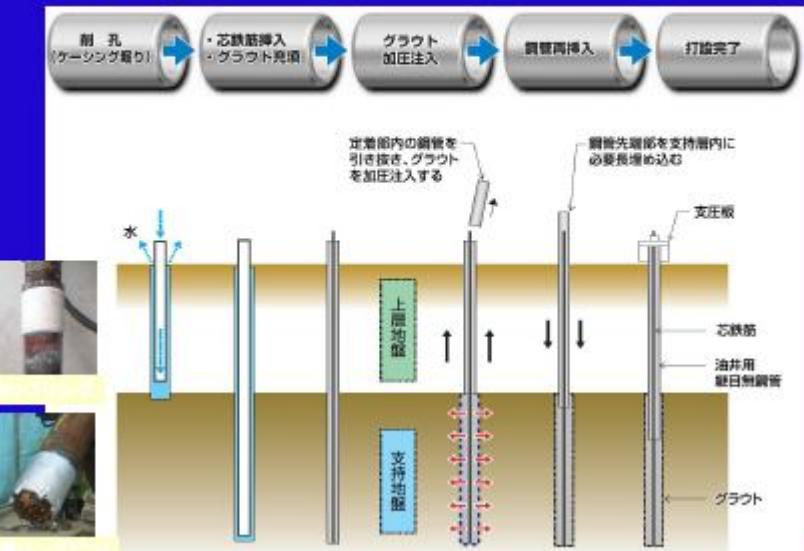
9) プラント設備



プラント設備

42

10) 施工フロー



43

11) 高耐力マイクロパイル工法選定の目安

○従来工法が困難あるいは施工費がかかる場合

施工条件：上空制限、狭隘地施工、地中障害

桁下、架空線影響、屋内
狭隘地

既設構造物への近接影響
埋設物への影響

地盤条件：玉石・岩盤への対応

運搬条件：運搬路が狭い

マイクロパイルが有効

44

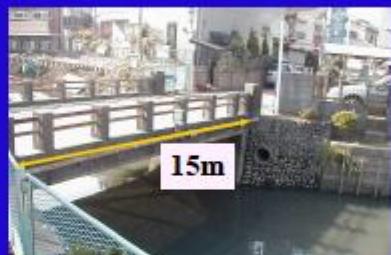
4. 比較事例

45

参考事例：新設橋台

POINT:

狭隘スペース
周辺影響縮小



施工制約条件:

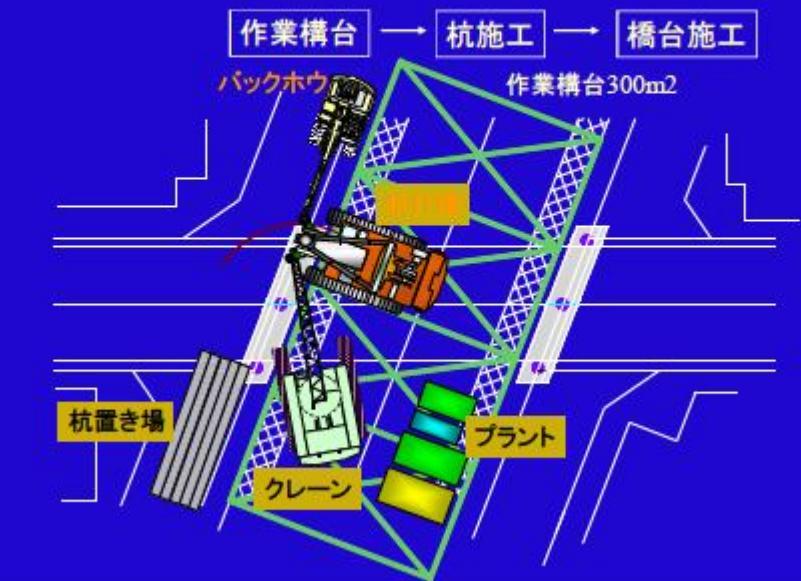
狭隘地施工

- ・主道路幅員7.0m
- ・交差道路4.0m
- ・道路脇に民家



46

一般工法(PHC杭+SC杭) 施工イメージ



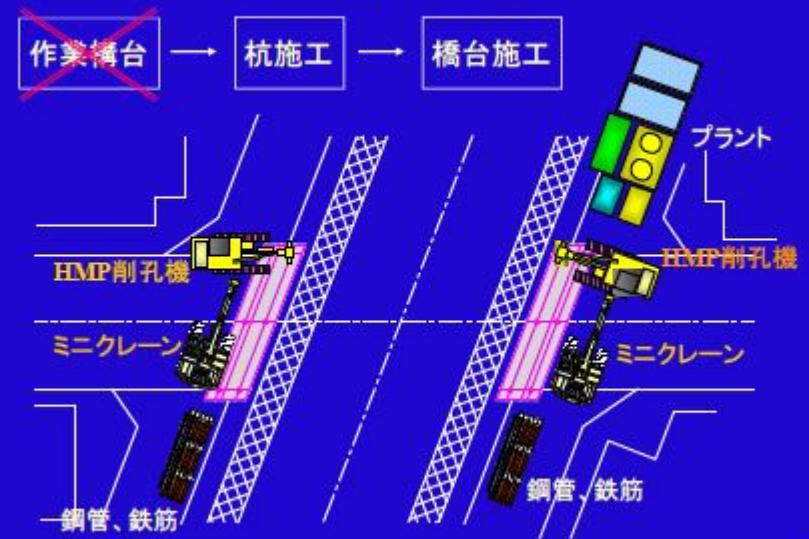
47

一般工法(PHC杭+SC杭) 計画上の問題点



48

HMP工法による解決策 施工イメージ



49

経済比較 (下部工・基礎工)

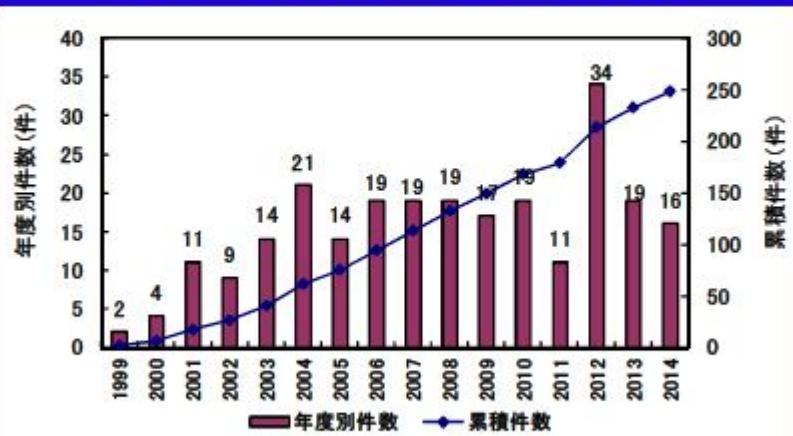
	従来工法	マイクロパイレ 工法
本体工 (躯体・基礎)	40%	90%
仮設工 (作業構台)	60%	0%
合計	100%	90%

50

5. 施工実績統計

1) 施工件数

【H26年度末時点累計 248件】



52

2) 施工杭長

【H26年度末時点累計 82,724m】



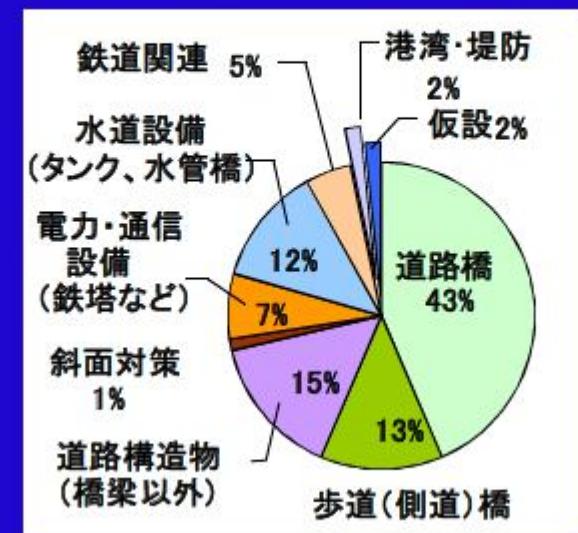
53

2) 施工実績分布



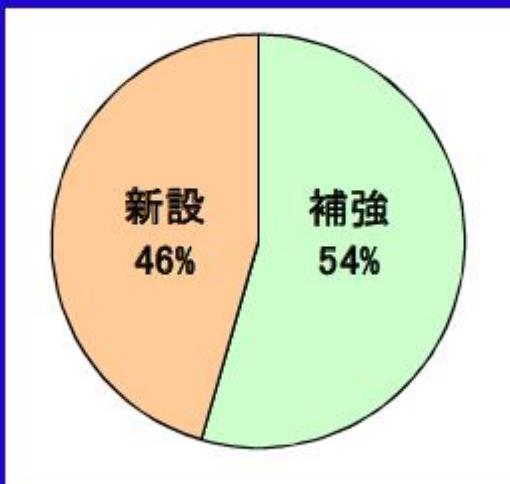
54

3) 施工実績分布



55

4) 新設・補強別分布



56

6. 施工事例

- 6-1 補強事例
- 6-2 災害対策適用事例
- 6-3 新設事例
- 6-4 現場対応（変更）事例

57

6-1 補強事例

58

1) パイルベント橋脚耐震補強

発注者：国土交通省
場所：三重県鈴鹿市
工事概要：
○パイルベント橋脚
○耐震補強
○壁式橋脚への形式変更



59

1) パイルベント橋脚耐震補強



60

2) 水中橋脚耐震補強

発注者：国土交通省
場所：広島県三原市
工事概要：
○河口付近の水中橋脚
○耐震補強
○鋼矢板締切
○クレーン吊込による
機械搬入



現況

61

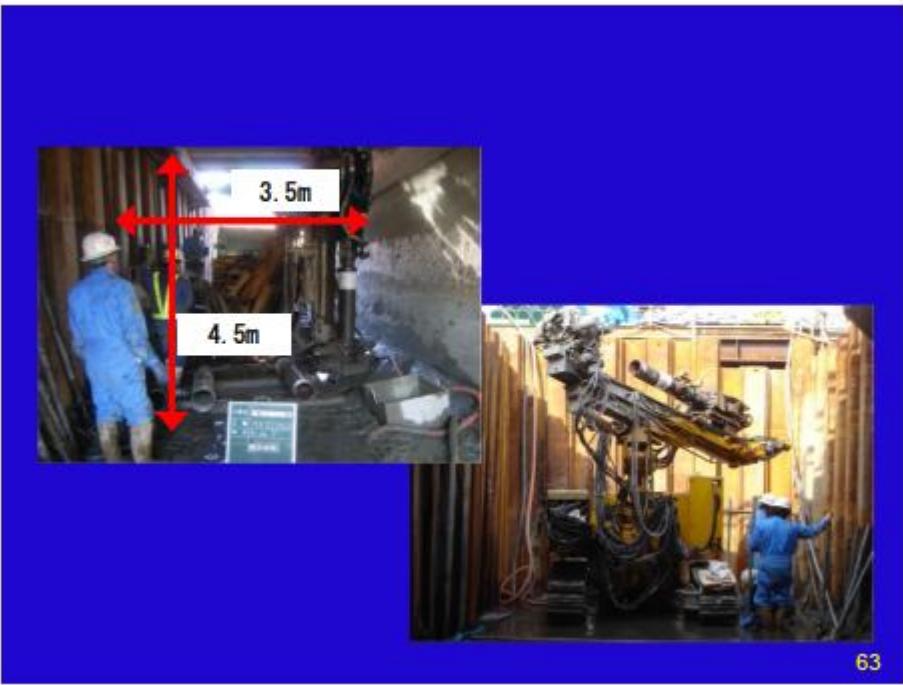


資材吊込状況（4.9tクレーン）



削孔機吊込状況（45tクレーン）

62



63

3) 線路近接橋脚耐震補強

発注者：小田急電鉄
(川崎市委託)

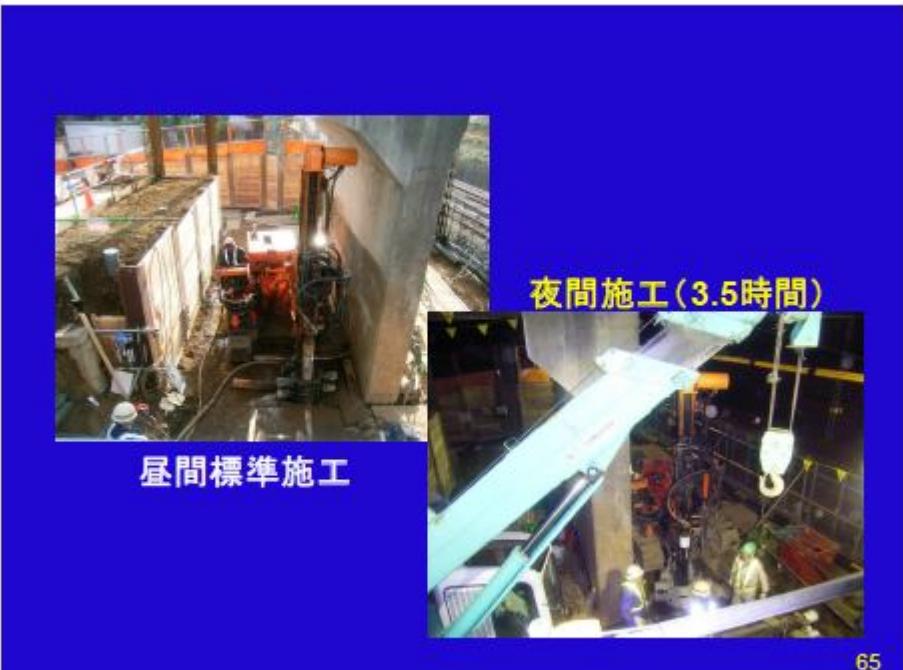
場所：神奈川県
川崎市

工事概要：

- 線路近接橋脚
- 耐震補強
- 夜間施工（線路側）



64



昼間標準施工

夜間施工(3.5時間)

65

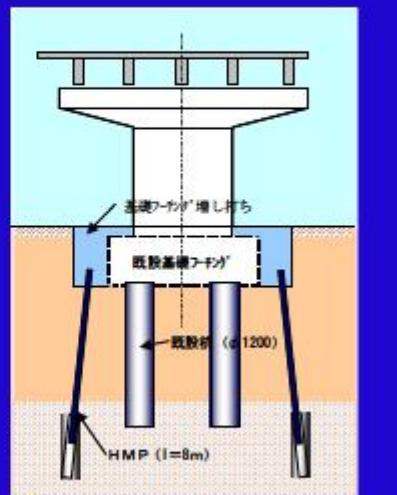
4) 線路近接橋脚耐震補強

発注者：福島県

場所：福島県
二本松市

工事概要：

- 線路近接橋脚
- 耐震補強



66



列車通行状況



昼間標準作業

67

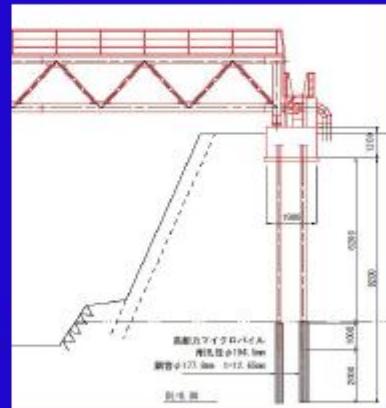
5) 水管橋橋台補強

発注者：志摩市
(三重県)

場所：三重県
志摩市

工事概要：

- 水管橋橋台
- 耐震補強
- 既設護岸への影響縮小
- 支持層岩盤



68



69

6) PCタンク補強

発注者：湖西市
(静岡県)

場所：静岡県湖西市

工事概要：

- PCタンク
- 耐震補強
- 丘陵地
- 削孔機自走搬入



70

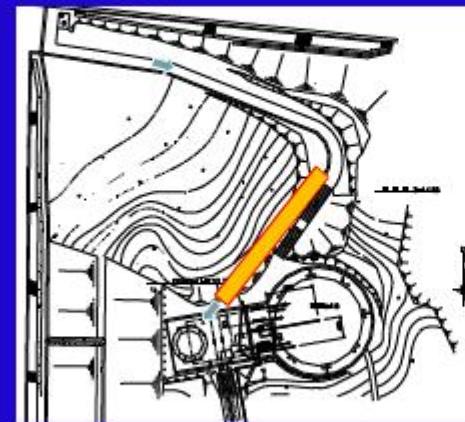


施工状況



完成

72



削孔機自走搬入状況

71

6-2 災害対策適用事例

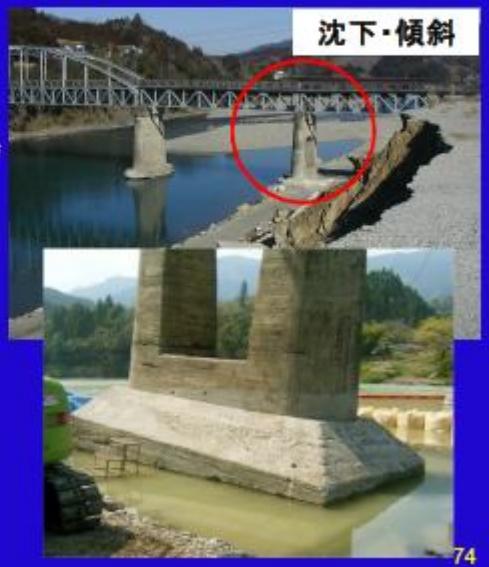
73

1) 台風災害対策としての橋脚補強

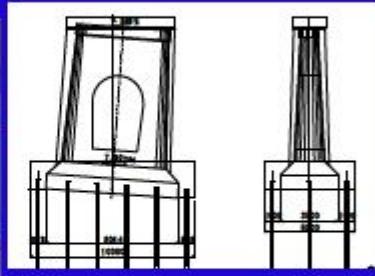
発注者：宮崎県
東郷町役場
場所：宮崎県
日向市

工事概要：

- 橋脚台風災害復旧
- 橋脚沈下・傾斜
- 耐震補強兼用
- 直接基礎→杭基礎
- 築堤河川切替



杭施工状況



完了

- 築堤土壟締切
- 玉石を多く含む地盤に対応



75

2) 河床洗掘による沈下橋脚の更新

発注者：下関市

場所：山口県
下関市

工事概要：

- 河床洗掘災害復旧
- 橋脚沈下・傾斜
- 橋脚撤去・更新
- 直接基礎→杭基礎
- 鋼矢板締切
- 上部工板支持



沈下

76



上部工板支持橋脚撤去



杭施工状況



2009.6.29出水(6.3入梅)

77

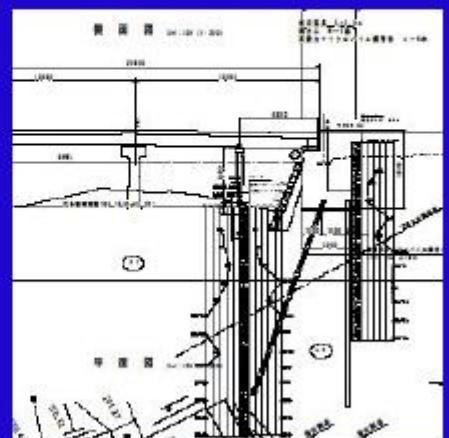
3) 台風災害による変状橋台の更新

発注者：静岡県

場所：静岡県
富士宮市

工事概要：

- 台風災害復旧
- 護岸兼用橋台変状
- 橋台撤去・更新
- 直接基礎→杭基礎
- 上部工仮支持



78



79

6-3 新設事例

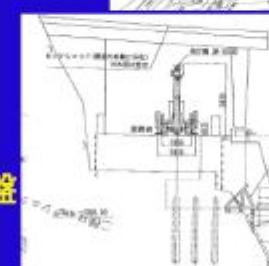
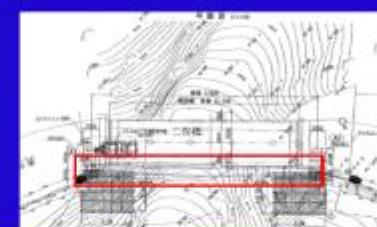
1) 道路拡幅橋橋台

発注者：群馬県

場所：群馬県
沼田市

工事概要：

- 新設橋台
- 道路拡幅
- 夜間施工
- 覆工施工
- 支持層岩盤



81



床掘先行により、
施工性確保

82



歩道幅内での施工

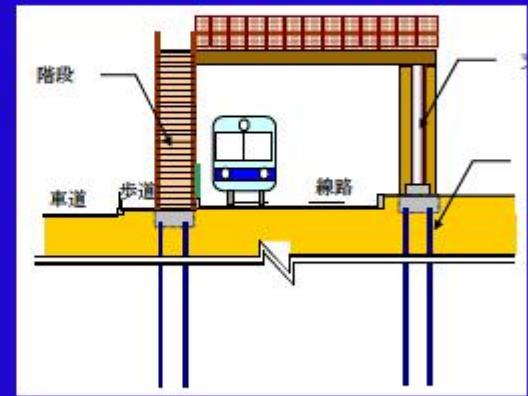
84

2) 歩道橋橋脚

発注者：JR四国
場所：高知県
高知市

工事概要：

- 新設歩道橋
- 橋脚
- 線路近接
- 車道近接



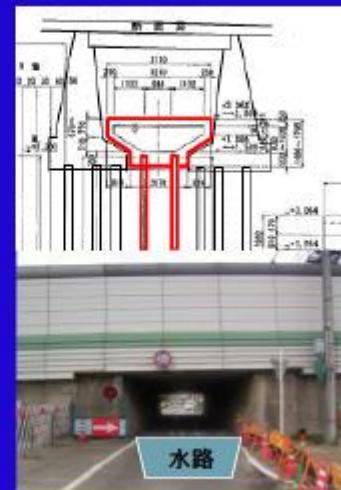
83

3) 水路ボックスカルバート

発注者：愛知県
清須市
場所：愛知県
清須市

工事概要：

- 新設水路
- ボックスカルバート
- 上空、幅制限
- 橋梁管理：国



85



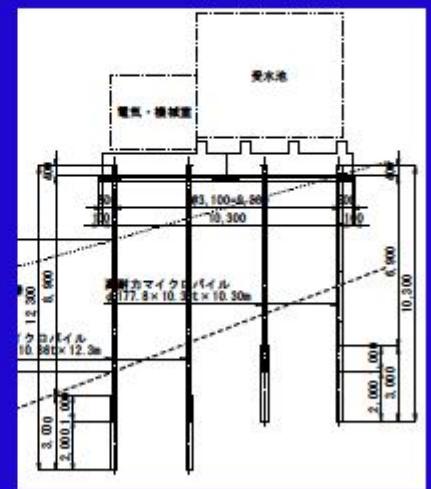
4) 小規模受水池新設

発注者： 峠東地域広域
水道企業団
(山梨県)

場所： 山梨県
山梨市

工事概要：

- 受水池
- 新設
- 狭小用地
- 岩盤削孔



6-4 現場対応（変更）事例

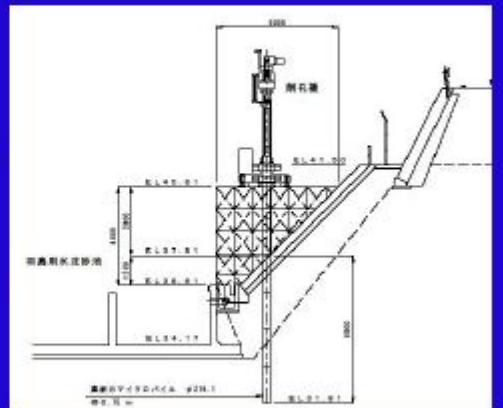
1) 仮設土留め工（親杭）

発注者：岐阜県

場所：岐阜県
各務原市

工事概要：

- 親杭土留め用杭
- 玉石・巨石地盤
- 斜面足場上施工



90

変更経緯

- ・親杭 H 250mm@1.5m
11本施工予定
- ・B H 工法 ($\phi 500\text{mm}$)
にて施工
- ・1本削孔に7日かかり
工期内完了が困難に
(施工日数3ヶ月)

足場設置状況



91

MP工法選定理由

- ・巨石・玉石地盤
(ダウンザホールハンマ)
- ・斜面足場上施工
(設置済み足場使用)



92

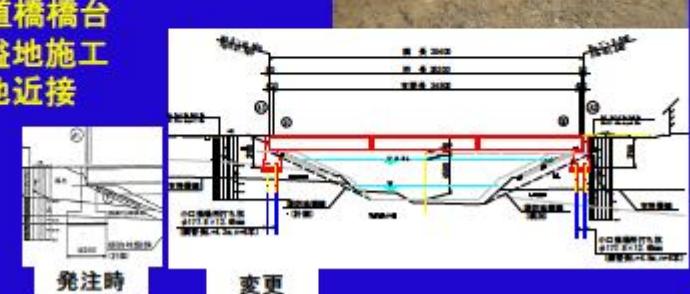
2) 側道橋橋台

発注者：東広島市

場所：城島県
東広島市

工事概要：

- 側道橋橋台
- 狭隘地施工
- 民地近接



93

変更経緯

- ・A1橋台直接基礎
- ・A2橋台MPにて発注
- ・隣接民地地権者より、
乗入道確保の要望
- ・杭基礎に変更
(掘削影響を抑える)



94

MP工法選定理由

- ・施工ヤード縮小
- ・岩盤削孔



プラント



マイクロパイル打設(A1)



マイクロパイル打設(A2)

95

END

ご静聴有難うございました。

96