

杭基礎耐震補強工法

**Confining *P*ile *R*einforcement Method**

***CPR* 工法**

技 術 資 料

第 3 版

2014 年 6 月

***CPR* 工法研究会**



## はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、東北から関東にかけての東日本一帯に甚大な被害が発生しました。今後も東海・東南海・南海地震、首都圏直下型地震などの発生が懸念されており、重要構造物に関しても早急な耐震補強が望まれています。しかし、杭基礎構造物の耐震補強に関しては多くの課題があり、経済的で効率的な耐震補強工法の開発が望まれていました。

このような背景のもとに、杭基礎耐震補強工法「CPR（Confining Pile Reinforcement）工法」は、既存の高圧噴射方式による地盤改良工法を用いて、コスト縮減、工期短縮、工事の小規模化をめざして開発された新しい耐震補強工法です。

CPR工法研究会の前身であるハザマ、東興建設(株)、青山機工(株)の3社による共同研究開発では、豊橋技術科学大学 河邑 眞 教授の指導のもと、工法の技術向上と普及を目的に活動を行ってきました。2005年4月からは新たにCPR工法研究会を設立し、本工法のさらなる普及および技術の改良に取り組むとともに、2005年に発行した技術資料を今回改訂することになりました。

本技術資料は、技術編、設計編、施工編、積算編から構成され、これまでの実大実験や実施工において蓄積されたデータをもとに作成しました。また、本技術資料にはMJS工法およびRJP工法のこれまで蓄積された技術内容も含まれており、資料を提供いただいた両工法協会の関係各位に感謝いたします。

本技術資料が、CPR工法を活用する一助となれば幸いです。今後とも、皆様からのご意見、ご指導を賜りたく、御願ひ申し上げます。

2014年6月  
CPR工法研究会



## 目 次

1. 技術編	1
1.1 開発の経緯	1
1.2 工法の概要	2
1.3 基本原理	4
1.4 工法の特徴	5
1.5 工法の用途	7
2. 設計編	8
2.1 設計方針	8
2.2 設計フロー	8
2.3 事前調査	9
2.4 設計地震動の設定	9
2.5 補強体の設定	9
2.6 動的応答解析による基礎の応答値の算定	11
2.7 耐震性能の照査方法	11
2.8 補強体の施工仕様の設定	13
2.8.1 造成径	15
2.8.2 配置および打設順序	17
2.8.3 出来型管理	19
3. 施工編	24
3.1 MJS 工法	24
3.1.1 MJS 工法の概要	24
3.1.2 造成体標準特性	27
3.1.3 配合	28
3.1.4 排泥処理	30
3.1.5 施工手順	32
3.1.6 標準施工仕様	33
3.1.7 機械設備	34
3.1.8 動態観測	36
3.1.9 安全管理	37
3.1.10 施工管理	40
3.2 RJP 工法 (D-RJP、S-RJP)	41
3.2.1 RJP 工法の概要	41
3.2.2 造成体標準特性	43
3.2.3 配合	44
3.2.4 排泥処理	46
3.2.5 施工手順	48
3.2.6 標準施工仕様	50

3.2.7 機械設備	51
3.2.8 動態観測	54
3.2.9 安全管理	55
3.2.10 施工管理	56
4. 積算編	57

#### (参考資料)

- ◆補強体物性の参考値（実大実験結果）
- ◆設計検討例
- ◆振動低減効果の検討
- ◆鉄塔基礎の引抜対策の検討
- ◆動態観測
- ◆はりバネ系モデルによる簡易設計法（案）

## 1. 技術編

### 1.1 開発の経緯

CPR( Confining Pile Reinforcement )工法は、増し杭工法等の従来の補強工法の問題点を解決することを目的に、コスト縮減、工期短縮、工事の小規模化を目指して開発された杭基礎耐震補強工法である。

CPR 工法の開発は豊橋技術科学大学 河邑 眞 教授の指導のもと 2001 年から始まり、振動台模型実験や数値解析によって、その優れた補強効果が確認された。2003 年にはハザマ、東興建設(株)、青山機工(株)の 3 社による共同研究開発を開始し、ハザマ技術研究所屋外実験場において実施した実大実験により施工性ならびに耐震補強効果を確認した。そして、2005 年 4 月からは「CPR 工法研究会」を設立し、本工法のさらなる普及および技術の改良に取り組んでいる。

CPR 工法の初めての適用は、2004 年から 2005 年にかけて施工された東京都水道局発注の綾瀬川水管橋耐震補強工事で、首都高速道路高架橋に近接する厳しい施工条件において杭基礎の耐震補強を実現した。

なお、CPR 工法は 2005 年 2 月に基本特許（特許第 3643571 号）が成立している特許工法であり、国土交通省が運営する「公共工事等における新技術活用システム（NETIS）」に登録済みである（登録 No. : KT-060071）。



写真 1.1-1 CPR 工法の施工状況（東京都水道局綾瀬川水管橋耐震補強工事）

## 1.2 工法の概要

CPR 工法は、図 1.2-1 に示すように、杭を包含するように部分的な補強体を地中に造成することで、耐震性能が高い杭基礎補強構造を構築する工法である。具体的には、杭深さ方向中間付近の地盤をセメント等の恒久性の材料を用いて部分的に固化させ、杭を包含する厚さ 2～6 m 程度のブロック状の補強体を造成する。この補強体によって、複数の杭が拘束され、杭基礎は杭とフーチングと補強体からなる 2 層ラーメン構造を形成して、地震等の水平力に対する抵抗力が大きく向上する。

補強体の造成は、図 1.2-2 および写真 1.2-1 に示すように、地盤改良工法の一つである高圧噴射攪拌工法により行い、複数の地盤改良柱体を組み合わせることでブロック状の補強体を造成する。CPR 工法に適用可能な高圧噴射攪拌工法は、表 1.2-1 に示す大口径の補強体が造成可能である MJS 工法と RJP 工法とする。なお、透水性の高い砂質土地盤等においては、薬液注入工法の適用も考えられるが、現状では、検証が十分でないため本技術資料からは除いた。薬液注入工法を適用する場合は、別途関連資料を参照し、現場条件、地盤条件を十分考慮する必要がある。

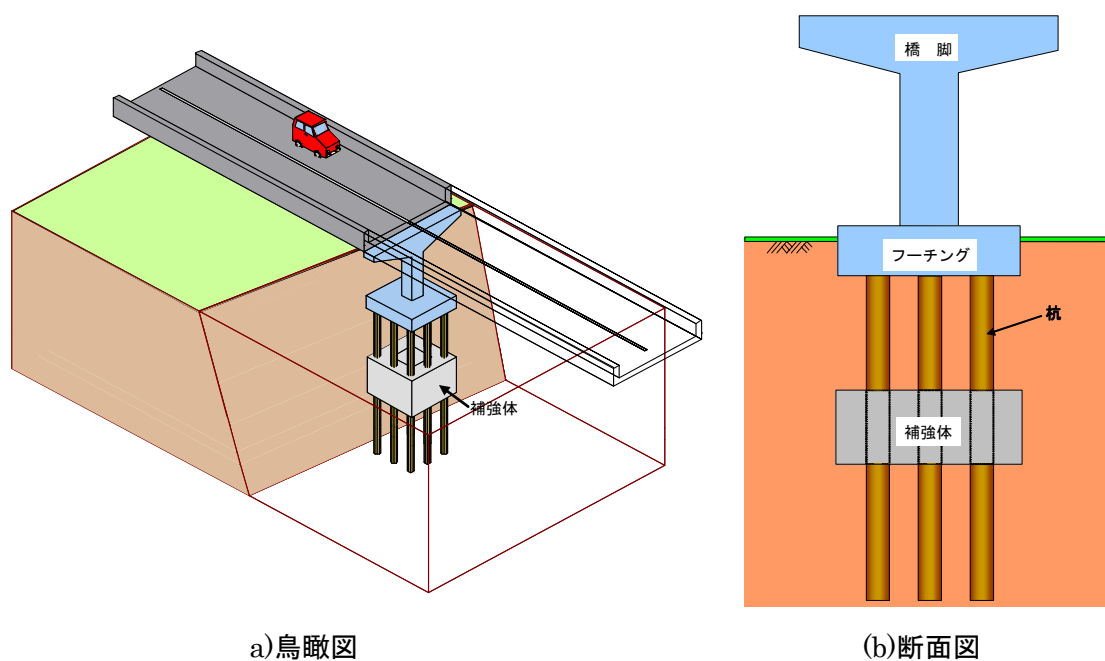


図 1.2-1 CPR 工法概要図



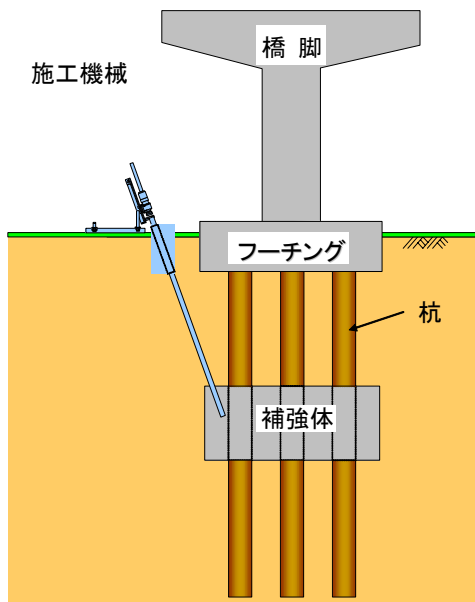


図 1.2-2 CPR 工法の施工概要図

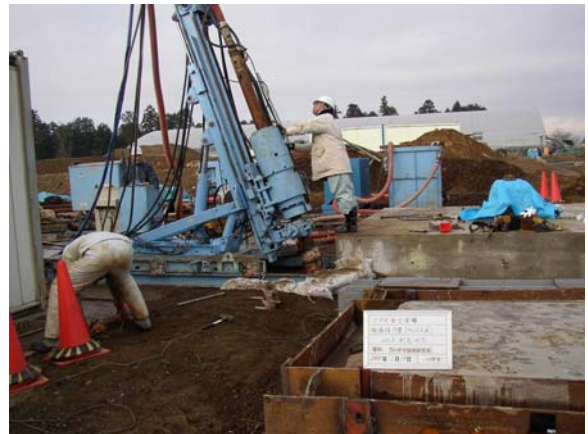
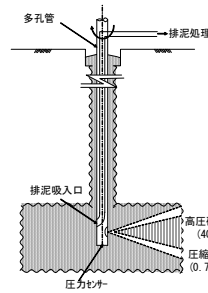
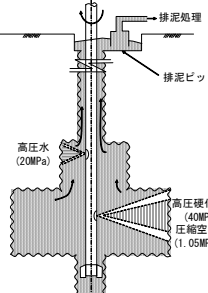
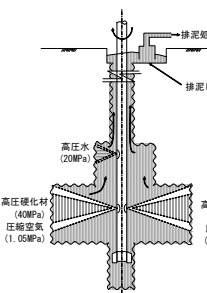


写真 1.2-1 施工状況

表 1.2-1 CPR 工法に適用可能な高圧噴射攪拌工法 (例)

工法名	MJS 工法 (METRO JET SYSTEM 工法)	RJP 工法		
		S-RJP 工法 (Speed-RODIN JET PILE 工法)	D-RJP 工法 (Diameter-RODIN JET PILE 工法)	
切削方法	高压スラリー+圧縮空気	高压水+空気、高压硬化材+空気	高压水+空気、高压硬化材+空気	
使用ロッド	多孔管：φ142mm (標準)	三重管ロッド (φ90mm)	三重管ロッド (φ90mm)	
概要図				
概要	多孔管ロッドを改良深度まで削孔設置後、圧縮空気を伴った高压硬化材を地盤中に揺動回転させながら改良柱体 (円柱状、扇柱状) を造成する。発生するスライムを、専用の排泥管にて吸引する特殊な排泥機構を有している。水平・斜め施工も可能である。	改良深度まで三重管ロッドを削孔設置後、造成装置上段より圧縮空気を伴った高压水、造成装置下段より圧縮空気を伴った高压硬化剤を噴射しながら回転引き上げし、余分なスライムを排出して円柱状の改良体を造成する。	改良深度まで三重管ロッドを削孔設置後、造成装置上段より圧縮空気を伴った高压水、造成装置下段より圧縮空気を伴った高压硬化剤を噴射しながら回転引き上げし、余分なスライムを排出して円柱状の改良体を造成する。	
標準仕様	造成径	(砂) 2.8m (N < 15、30 分/m) (粘) 2.6m (C < 10 kN/m <sup>2</sup> 、30 分/m)	(砂) 2.8m (N ≤ 15、15 分/m) (粘) 2.8m (N ≤ 1、15 分/m)	(砂) 3.5m (N ≤ 15、15 分/m) (粘) 3.5m (N ≤ 1、15 分/m)
	設計強度	(砂) qu=3 MN/m <sup>2</sup> (粘) qu=1 MN/m <sup>2</sup>	(砂) qu=3 MN/m <sup>2</sup> (粘) qu=1 MN/m <sup>2</sup> (腐植土) qu=0.3 MN/m <sup>2</sup>	(砂) qu=3 MN/m <sup>2</sup> (粘) qu=1 MN/m <sup>2</sup> (腐植土) qu=0.3 MN/m <sup>2</sup>
	最大施工深度	50m	30m	30m
	斜め施工	0° (鉛直) ~ 90° (水平)	0° ~ 10°	0° ~ 10°
	スラリー吐出圧力	40MPa	40MPa	40MPa
スラリー吐出量	130 ℓ/min	190 ℓ/min	300 ℓ/min	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉛直から水平までのあらゆる方向に改良体を作る事ができる。</li> <li>地盤内圧力の計測管理にて、排泥を調整吸引することで周辺地盤の隆起・沈下等の変状を抑えることが可能である。</li> <li>多孔管内に排泥専用管を装備して排泥を全量回収できるため、綺麗な環境で施工できる。また、河川内などの水底下での施工にも適する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来工法と比較して造成時間が短く、工期短縮が可能で経済的である。</li> <li>揺動機構により 90~270 度の範囲で扇柱状の改良体を造成することができるため、改良範囲の形状寸法によっては、経済的な配置が可能である。</li> <li>斜め施工は最大 10 度まで可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在来工法よりも大口径の改良体が造成できる。</li> <li>左右二方向より高压硬化材と圧縮空気を併用して噴射することで、改良径 3.5m という大口径の改良体が造成可能である。</li> <li>斜め施工は最大 10 度まで可能である。</li> </ul>	

### 1.3 基本原理

杭基礎は地震時の慣性力や地盤変位などの水平外力が作用した場合、図 1.3-1 (a)に示すように、杭頭部に断面力が集中し、特に巨大地震等の想定外の（設計値を超える）外力を受けると大きな損傷を受ける場合がある。CPR 工法を適用することで、図 1.3-1(b)に示すように、杭とフーチングと補強体からなる 2 層ラーメン構造が構築されるため、変形を抑制するとともに杭頭部に集中していた断面力を分散させることが可能である。このように、水平外力による杭頭部の断面力を低減させ、構造全体の耐震性能を向上させることが CPR 工法の基本原理である。なお、補強効果は補強体仕様（厚さ、位置）により調整可能である。また、補強体の形状はブロック状を基本とするが、補強効果を満足できる壁状の補強体の適用も可能である。壁状の補強体による補強効果はブロック状の補強体と同様に振動台実験などにより確認されており、特に杭のせん断補強には壁状の補強体の方がブロック状より有効である。

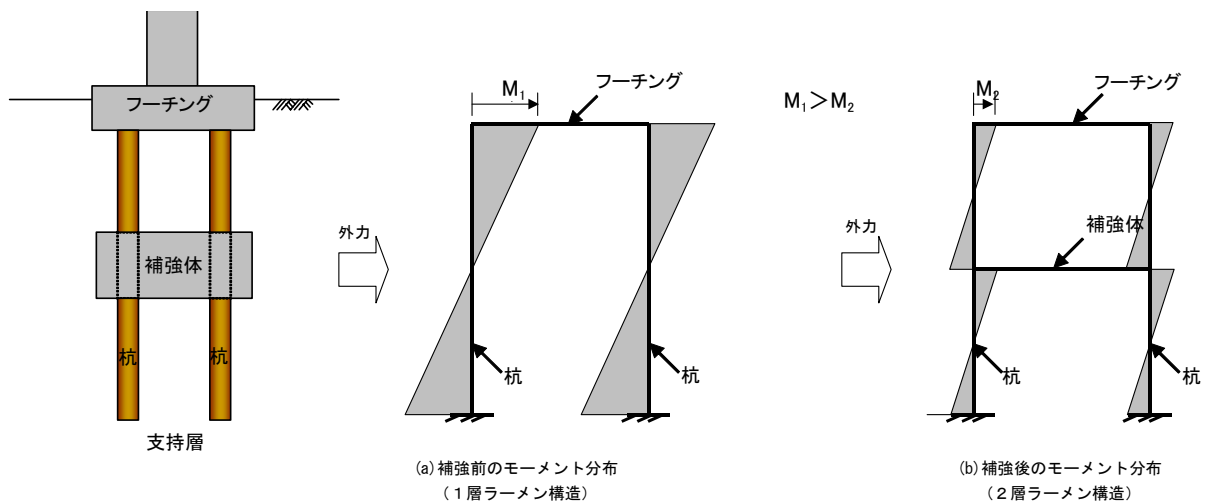


図 1.3-1 補強効果の原理

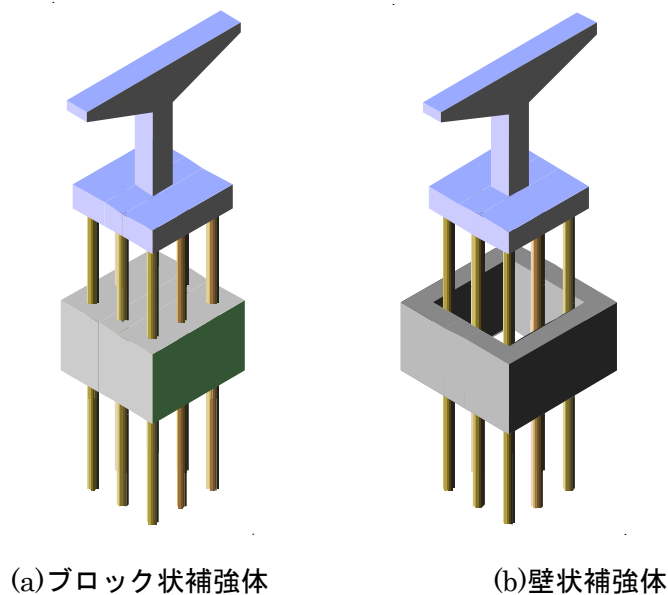


図 1.3-2 ブロック状補強体と壁状補強体

## 1.4 工法の特徴

本工法の特徴は、以下のとおりである。

### ① 確実な補強効果

補強体の位置と厚さを適切に設定することで、確実な補強効果を得ることができる。また、液状化の可能性のある砂質地盤にも適用可能である。

### ② 都市部での施工に最適

小型施工機（ボーリングマシン程度）による地上からの施工のみで、フーチングの幅も伴わないため、従来工法では施工が難しい空頭制限や敷地制限がある場所での補強工事に適している。

### ③ 短工期・低コスト

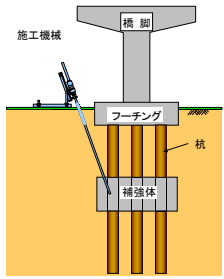
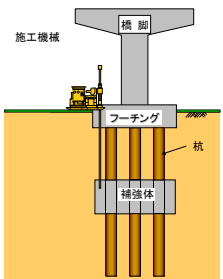
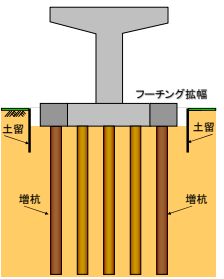
増し杭などによる従来工法で必要となるフーチングの幅や掘削工事を伴わないため、工期短縮やコスト縮減が期待できる。

### ④ 交通振動の低減

自動車や鉄道等による交通振動低減への効果も確認されており、耐震補強と同時に振動抑制効果も期待できる。

表 1.4-1 に従来工法である増し杭工法と CPR 工法の比較を示す。

表 1.4-1 従来工法（増し杭工法）との比較

工法名	CPR工法		増し杭工法（従来工法）
	MJS工法	RJP工法	
概略図			
経済性	一般的な条件において従来工法と同程度である。	一般的な条件において従来工法と比較して2割程度安価である。	桁下施工時等で空頭制限がある場合には工事費の上昇となる。
評価	○	◎	○
工程・工期	フーチングの拡幅等を伴わないため工程の簡略化ができ、工期も短い。	フーチングの拡幅等を伴わないため工程の簡略化ができ、工期も短い。	杭増設とともにフーチングの拡幅が必要となるため、比較的大規模な開削工を要する。
評価	◎	◎	△
品質	実績のある既存の高圧噴射工法を用いて補強体を造成するため、基準品質は確保できる。補強体の出来形等は原則としてボーリング調査によって確認する。	実績のある既存の高圧噴射工法を用いて補強体を造成するため、基準品質は確保できる。補強体の出来形等は原則としてボーリング調査によって確認する。	一般的な施工法の組み合わせであるため、品質は問題ない。
評価	○	○	○
現場条件	空頭制限は3mである。斜め施工が可能(0~90°)。プラント用地は通常200m <sup>2</sup> 程度必要であるが、工事箇所から離れた場所に設置も可能。	空頭制限は3mである。斜め施工に限界がある(原則として10°以内)。プラント用地は通常200m <sup>2</sup> 程度必要であるが、工事箇所から離れた場所に設置も可能。	空頭制限や近接構造物により施工不可能な場合もある。
評価	◎	○	△
安全性	地上からの削孔作業のみであるため、特に危険はない。	地上からの削孔作業のみであるため、特に危険はない。	土留め等を伴う掘削作業時には安全に十分な注意が必要である。
評価	◎	◎	○
総合評価	現場条件による制限がほとんどないため、従来工法の適用が不可能であった基礎への適用も可能。増し杭工法と比べて、コストは同程度、工期短縮が期待できる。	現場条件による制限が少ないため、従来工法の適用が不可能であった基礎への適用も可能。増し杭工法と比べて、コストダウン、工期短縮が期待できる。	敷地や空頭、近接構造物等の制約がなければ標準的で確実な工法である。

### 1.5 工法の用途

本工法は、すべての杭基礎構造物に適用可能であるが、特に図 1.5-1 に示すような作業スペースが狭く、フーチングの拡幅が困難な橋梁や擁壁等には最適な工法である。また、耐震補強以外への用途（交通振動対策、引抜対策）にも適用可能である。

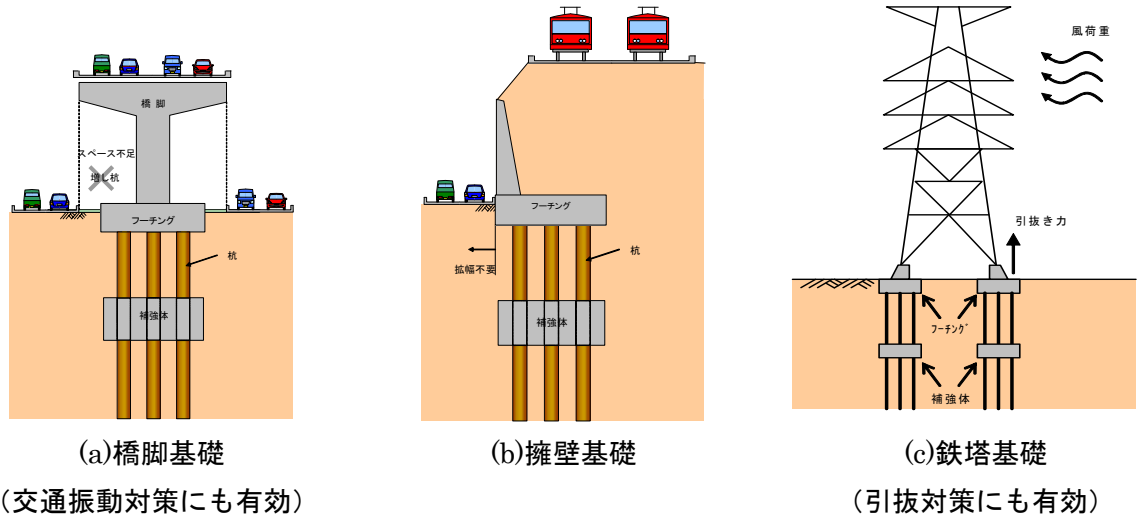


図 1.5-1 道路、鉄道、電力施設への適用例

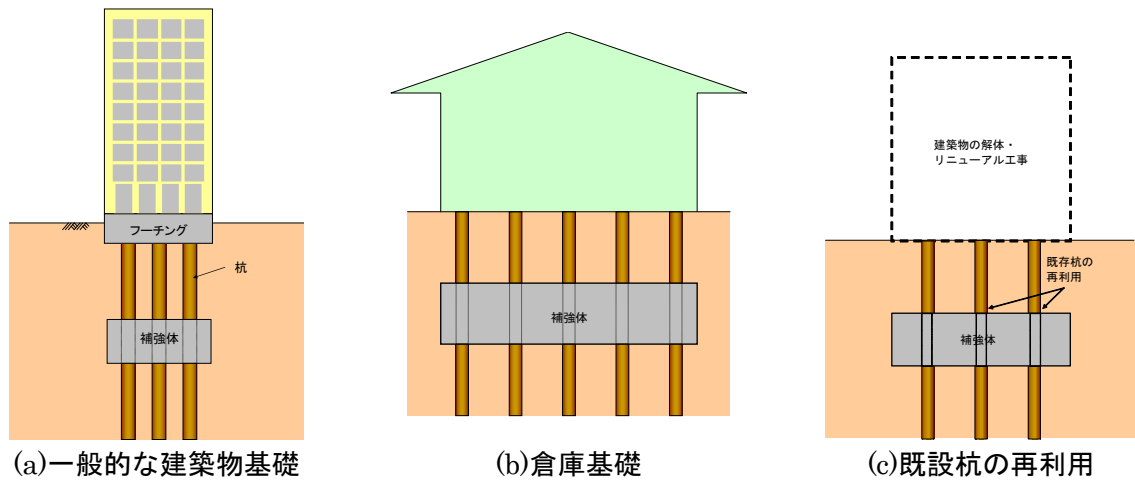


図 1.5-2 建物への適用例

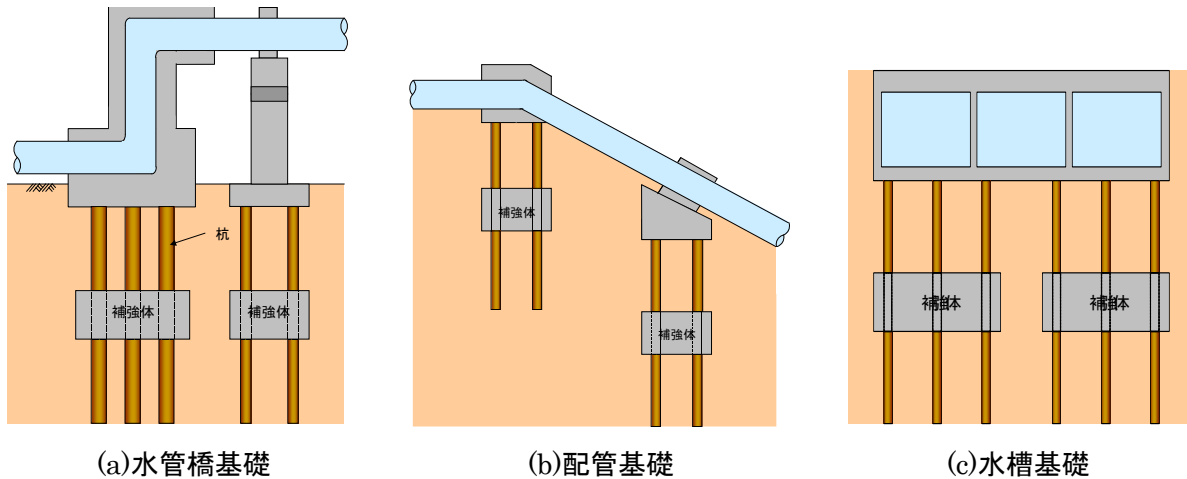


図 1.5-3 上下水道施設等への適用例

## 2. 設計編

### 2.1 設計方針

各構造物の設計地震力に対し、要求される耐震性能を満足するように補強体の仕様を決定する。すなわち、杭に発生する応力および基礎の変形量が所定の値以下となるように補強体の位置、形状を決定する。

### 2.2 設計フロー

CPR 工法における設計フローを図 2.2-1 に示す。ここで、応答値の算定は動的応答解析を用いることを基本とするが、構造が単純な場合や概略検討レベルにおいてははりバネ系モデルを用いた静的解析による簡易設計法が提案されている。簡易設計法の詳細については参考資料に示す。

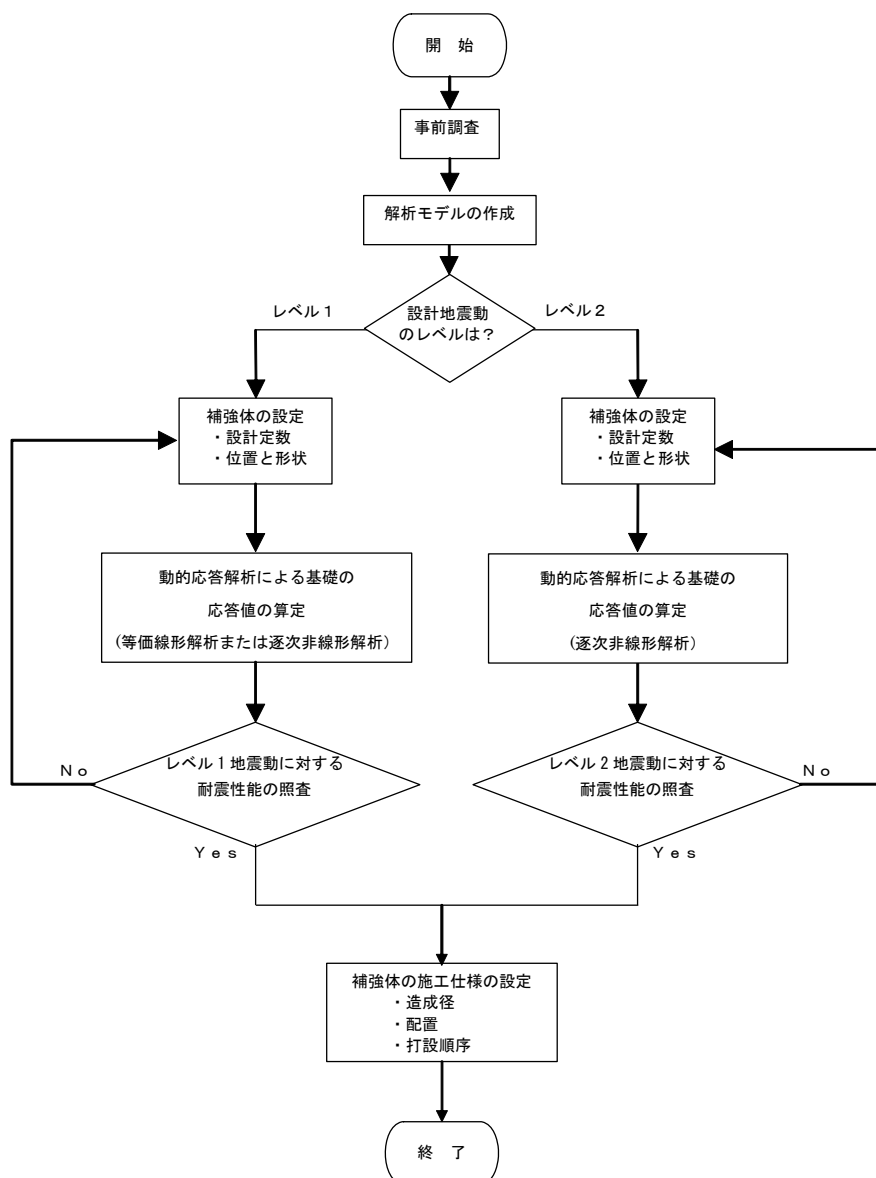


図 2.2-1 CPR 工法による杭基礎の耐震補強設計検討フロー

### 2.3 事前調査

設計に先立ち下記項目を既存資料および地盤調査、試掘等の適切な方法により調査する。

- ①杭基礎形式（杭種、杭長、杭径、杭配置、フーチング形状等）
- ②地盤構成、土質特性等（非線形動的応答解析や施工仕様の設定に必要となる情報）
- ③周辺構造物、埋設物等（補強体造成計画時に必要となる情報）

### 2.4 設計地震動の設定

設計地震動は各指針等で対象構造物ごとに定められた設計地震力を考慮して適切に設定する。

### 2.5 補強体の設定

補強体は、以下に示す設計定数を用いて、杭応力と基礎変位量が所定の値以下になるように位置と形状を設定する。図 2.5-1 に CPR 工法の一般構造図を示す。

#### (1) 補強体の設計定数

補強体は高圧噴射攪拌工法（MJS 工法、RJP 工法）で施工することを標準とし、設計定数は、表 2.5-1 の値を用いる。これらの値は各工法の既往の施工実績データから、ばらつきを考慮して下限値相当の値が採用されている。このため、実際には、表 2.5-1 に示す値以上の強度、弾性係数が得られる可能性は高い。一般に弾性係数が増加すると補強体上下端の杭の断面力が増加する傾向が見られるため、これらの箇所において補強前の断面力に余裕がない場合は、補強体弾性係数を 10 倍程度増加させた場合についても確認しておくことが望ましい。

表 2.5-1 補強体の設計定数

土質	一軸圧縮強度 $q_u$ (MN/m <sup>2</sup> )	弾性係数 E(MN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )
砂質土	3.0	300	0.35	改良対象地盤と同等
粘性土	1.0	100	0.35	〃

#### (2) 補強体の位置と形状

補強体の位置と形状は、下記の手順で設定することを標準とする。

- ①一次元地震応答解析等による地盤変位分布から、地盤変位が卓越する軟弱層厚  $H$  を推定する（図 2.5-2 参照）。
- ②補強体の位置と形状の初期設定は以下を基本とする。
  - (a) 位置：地盤変位が卓越する軟弱層厚  $H$  の中間部に補強体を配置する（図 2.5-2 参照）。
  - (b) 平面寸法（幅  $W$ ）：フーチングと同等とする。
  - (c) 補強体の厚さ  $T$ ：最低 2m 程度とし、補強体の厚さと幅の比  $T/W$  は 0.5~2 の範囲を目安とする。
- ③動的応答解析（次節を参照）を実施する。
- ④杭応力、基礎変位量が所定の基準を満足しない場合、補強体厚さを段階的に厚くし、基準値を満足するような補強体厚さを決定する。また、必要に応じて補強体位置を調整する。

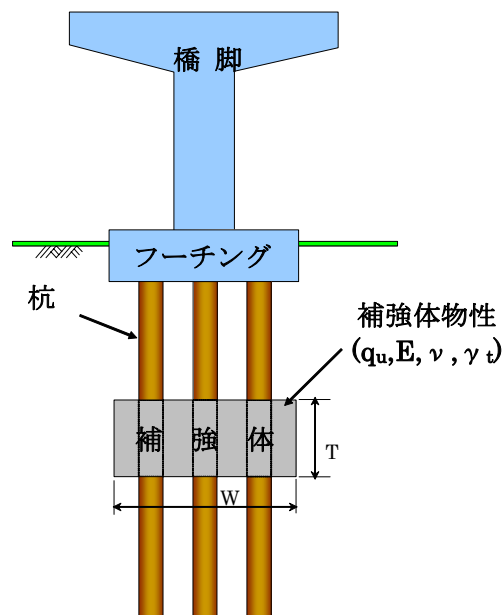


図 2.5-1 CPR 工法一般構造図

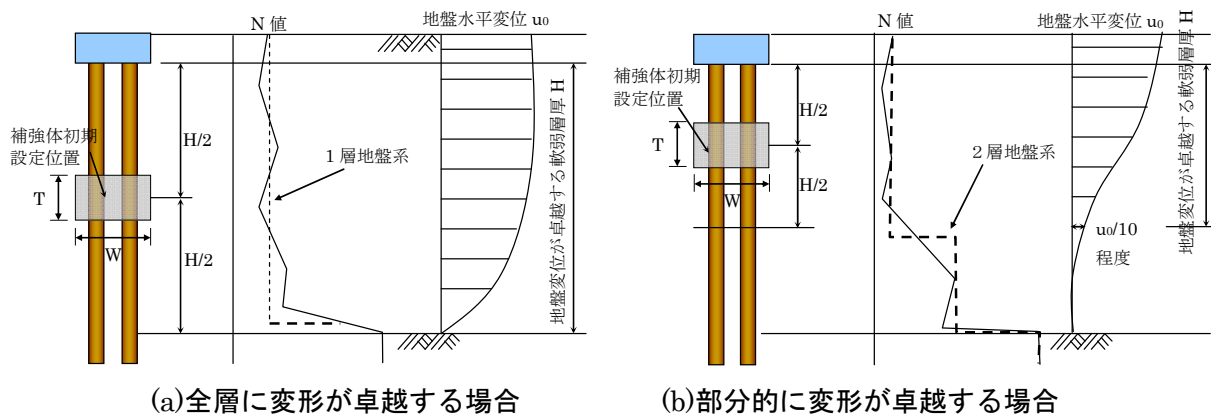


図 2.5-2 地盤変位が卓越する軟弱層の目安と補強体初期設定位置



## 2.6 動的応答解析による基礎の応答値の算定

### (1) 動的応答解析の方法

解析は原則として 2 次元動的有限要素法で実施する。解析には地震時の地盤、構造物の非線形性を考慮できるプログラムを使用する。地盤に液状化の恐れがある場合は、有効応力法などの手法により、地震時の地盤の挙動を適切に評価するものとする。

### (2) 解析モデル

補強体を含む地盤-杭-構造物系を 2 次元構造物として一体解析を実施するため、2 次元有限要素でモデル化する。その際、杭および構造物は梁モデル、地盤および補強体は平面要素でのモデル化を標準とする。杭、構造物、地盤は必要に応じて、材料の非線形性を考慮できるようにモデル化する。地盤に液状化の恐れがある場合は、その影響を適切に評価できるようにモデル化する。補強体は原則として弾性体としてモデル化する。ただし、補強体の形状が偏平な場合等で曲げや引張が生じる場合は、別途これらを考慮する。

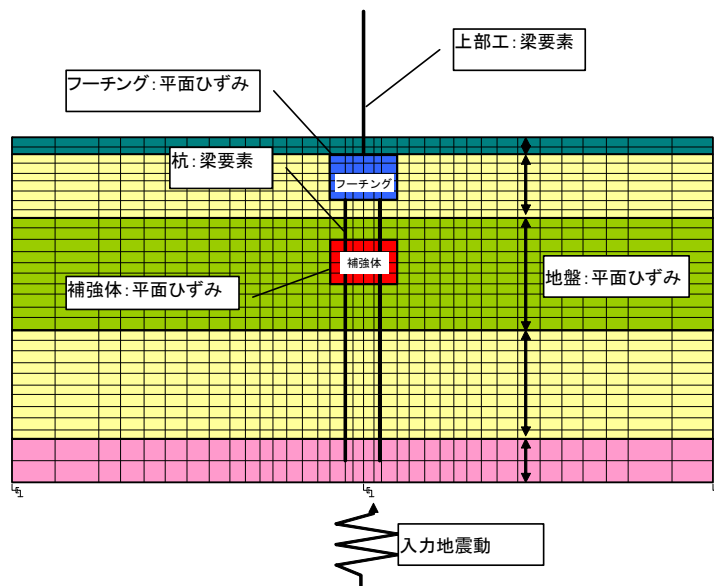


図 2.6-1 有限要素モデルの概要図

## 2.7 耐震性能の照査方法

標準的な照査項目は、杭の応力（軸力、せん断、曲げ）、基礎の変位、回転角である。また、必要に応じて、補強体の安定性、上部工部材の照査を実施する。詳細は各指針等で対象構造物ごとに定められた照査基準に従うものとする。

表 2.7-1 耐震性能照査項目の一例

	レベル 1	レベル 2
照査項目	杭体応力 ≤ 許容応力 基礎の変位、回転角 ≤ 許容値 (補強体応力 ≤ 許容値)	杭体断面力 ≤ 終局耐力 基礎の変位、回転角 ≤ 許容値 (補強体応力 ≤ 許容値)

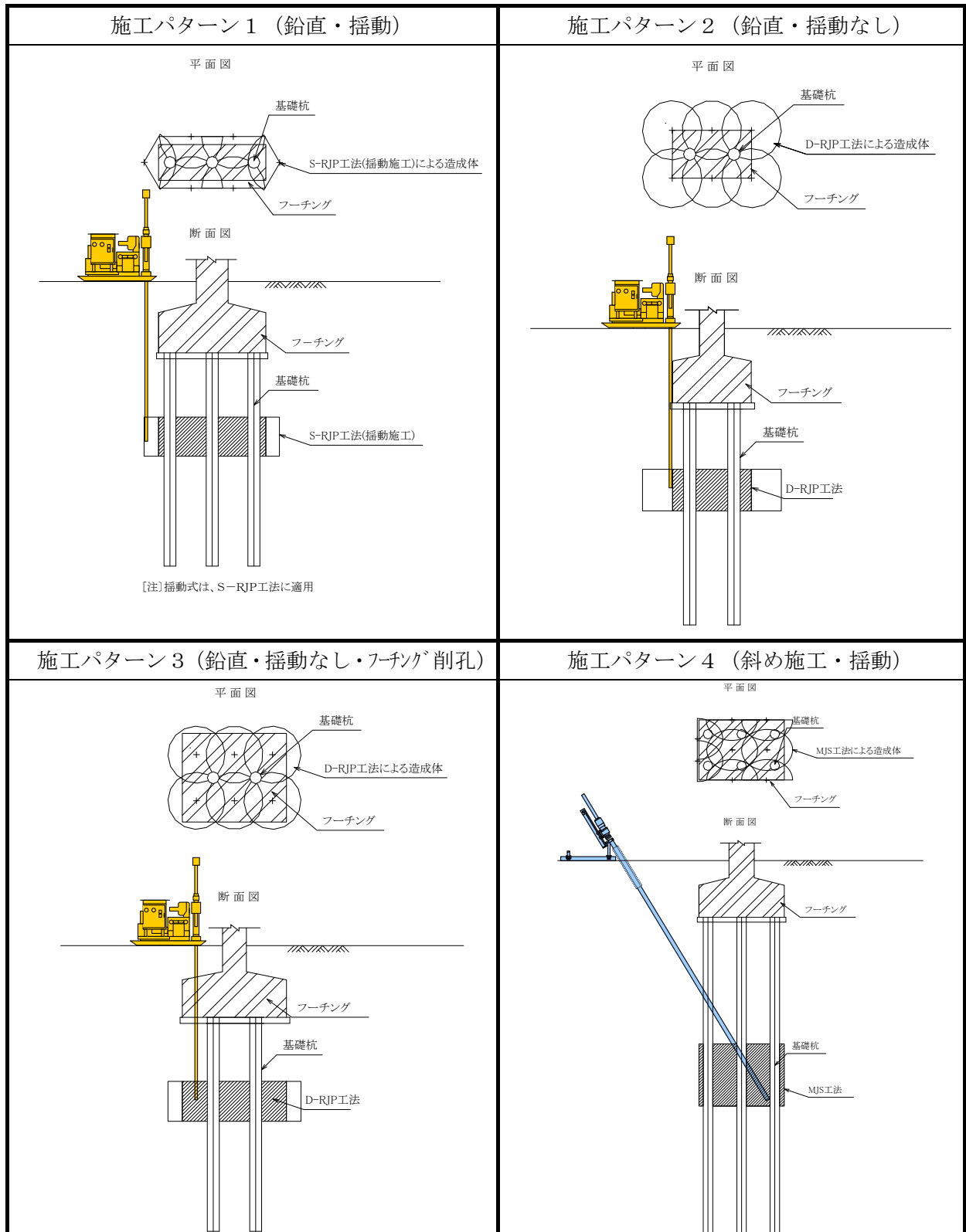
**【参考文献】**

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、平成 14 年 3 月
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、平成 11 年 10 月
- 3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、平成 11 年 4 月
- 4) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針、1997
- 5) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、平成 13 年 10 月
- 6) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説、1997 年版
- 7) 高圧ガス保安協会：高圧ガス設備等耐震設計指針、2000 年 9 月

## 2.8 補強体の施工仕様の設定

CPR 工法は、高圧噴射攪拌工法で施工することを標準とし、補強体の位置・厚さ、杭の配置やフーチングの大きさ、施工スペース、地盤条件等に応じて適切な施工仕様(造成径、配置)を設定するものとする。代表的な施工パターンを表 2.8-1 に示す。

表 2.8-1 補強体施工パターン例



補強体の施工においてフーチングへの削孔が可能な場合は、施工パターン 3 を採用することができる。

また、フーチング削孔が不可能な場合は、一般にフーチング幅により施工パターンを選定する。標準的な選定フローを図 2.8-1 に示す。なお、施工パターンは、フーチング幅以外の条件により決定される場合があるので、総合的な検討が必要である。

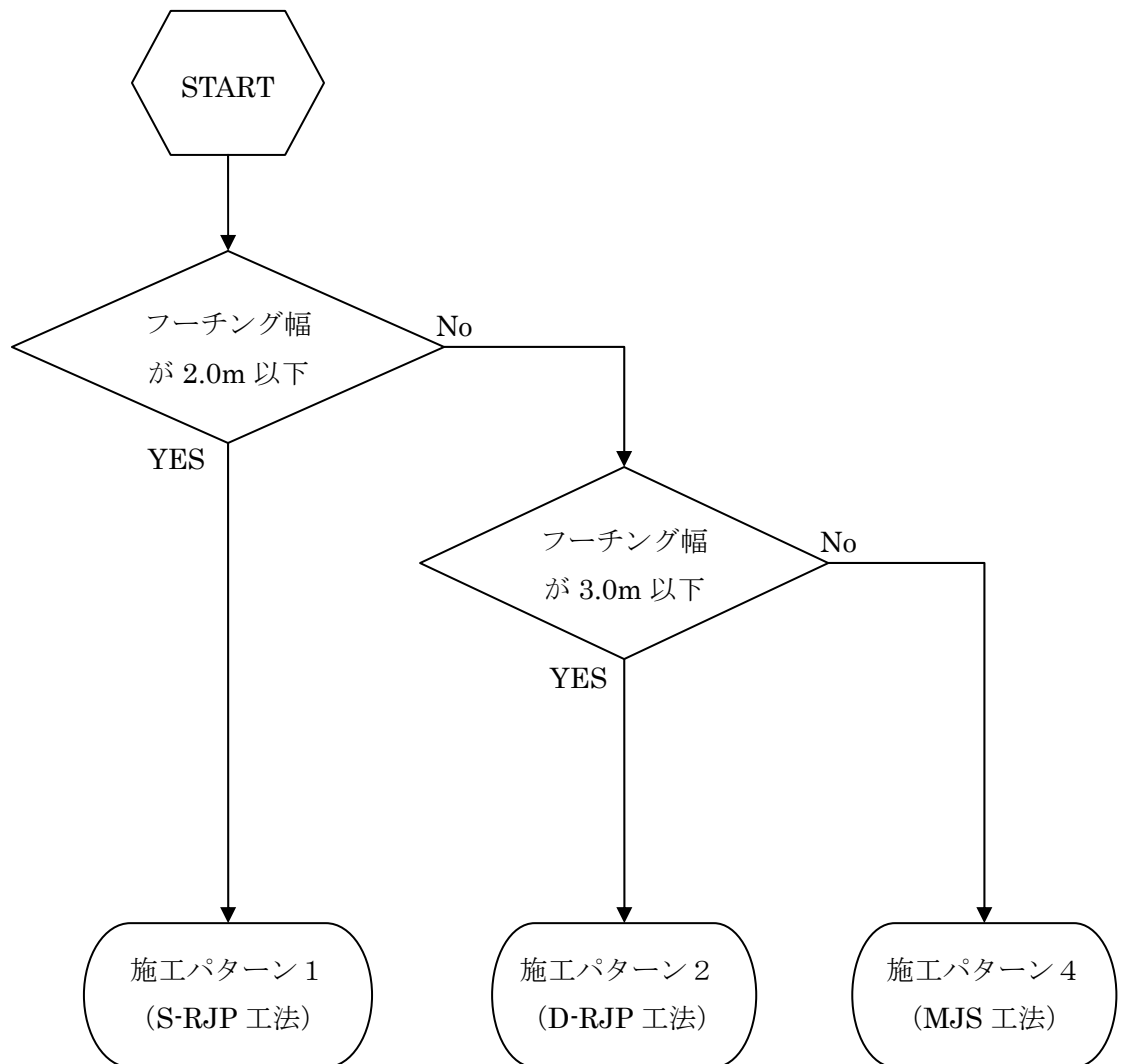


図 2.8-1 フーチング削孔が不可能な場合の選定フロー図

### 2.8.1 造成径

造成径は造成対象の土質性状および施工条件によって決定される。一般的には、対象地盤のN値、粘着力をもとに標準値を定めているが、必要に応じて現地試験施工により確認することが必要である。

標準施工におけるD-RJP工法、S-RJP工法、MJS工法の造成径を表2.8-2に示す。また、削孔角度の区分を図2.8-2に示す。

表 2.8-2 標準施工における造成径

工法	設計 引上速度 (分/m)	造成径(m)		削孔角度 (度)
		土質区分		
		砂質土(N<15)	粘性土(C<10 kN/m <sup>2</sup> )	
D-RJP	15	3.5	3.5	0~10
S-RJP	15	2.8	2.8	
	20	3.0	3.0	
MJS	30	2.8	2.6	0~30
	30	2.6	2.4	30~90

S-RJP工法、MJS工法の設計引上速度は360度施工の場合の値である。揺動角度により、設計引上速度を決定する。例えば、S-RJP工法において設計引上げ速度15分/mで揺動角度180度の場合の設計引速度は、 $v = 15 \times 180 / 360 = 7.5$ 分/mとなる。

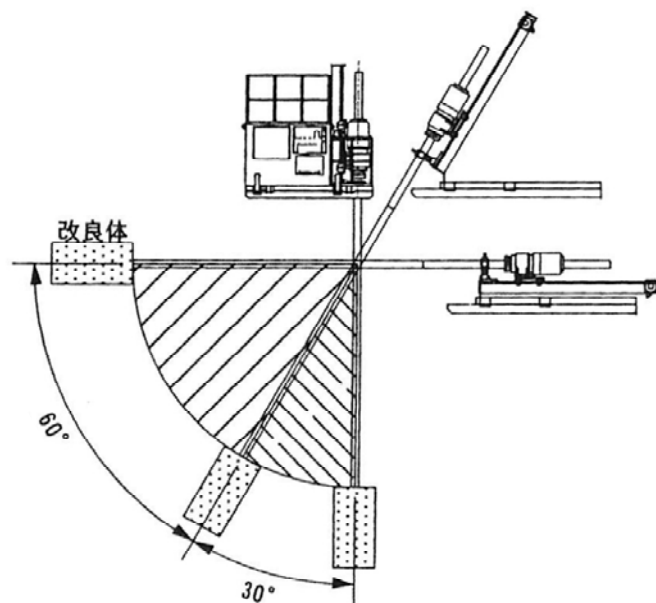


図 2.8-2 削孔角度の区分

RJP 工法、MJS 工法の標準仕様による適用範囲を表 2.8-3 に示す。

表 2.8-3 標準適用範囲

項目	分類	標準適用範囲	
対象地盤	粘性土	粘着力：C=0～50kN/m <sup>2</sup>	
	砂質土	標準貫入試験値：N=0～50	
	砂 礫	標準貫入試験値：N=0～50	
削孔長 (L)	D-RJP、S-RJP	30m以内	
	MJS	50m以内	
揺動角度	S-RJP	削孔角度 0～10 度	90～360 度
	MJS	削孔角度 0～30 度	90～360 度
	MJS	削孔角度 30～90 度	90～180 度

設計造成径は、削孔精度等による施工誤差を考慮し、表 2.8-2 に示す造成径を削孔長 L により補正して決定する。設計造成径を表 2.8-4 に示す。

表 2.8-4 削孔長 L による設計造成径

削孔長(m)	$0 < L \leq 10$	$10 < L \leq 20$	$20 < L \leq 30$
設計造成径(m)	標準造成径 - 0.10	標準造成径 - 0.15	標準造成径 - 0.20

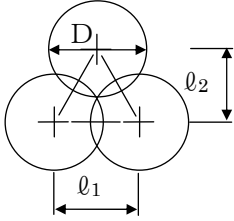
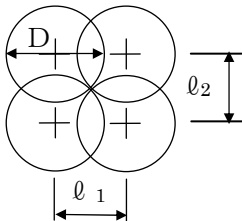
## 2.8.2 配置および打設順序

高圧噴射攪拌工法による造成体の配置と打設順序は、所定の形状（幅と厚さ）を満足するように決める。

### (1) 基本配置

造成体の設計配置は、下記のを原則とする。

造成体の配置例を図 2.8-3 に示すが、造成体は原則としてラップ配置とする。また、既設杭と打設位置の離隔は、削孔精度を考慮し、削孔長の 1/200 以上を確保する。

基本配置	 <p>The diagram shows three overlapping circles representing piles. The diameter of each circle is labeled 'D'. The horizontal distance between the centers of the two bottom piles is labeled 'l1'. The vertical distance between the center of the top pile and the center of the bottom piles is labeled 'l2'.</p>	 <p>The diagram shows three overlapping circles representing piles in a lap configuration. The diameter of each circle is labeled 'D'. The horizontal distance between the centers of the two bottom piles is labeled 'l1'. The vertical distance between the center of the top pile and the center of the bottom piles is labeled 'l2'.</p>
基本間隔	$l_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot D$ $l_2 = \frac{3}{4} \cdot D$	$l_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot D = l_2$

D : 造成径  $l_1$  : 横方向の間隔  $l_2$  : 縦方向の間隔

図 2.8-3 鉛直施工の場合の基本配置

### (2) 施工順序

造成体の施工順序は、基礎杭および先行施工した造成体が壁となって未改良部が生じないように十分に配慮して設定する。

図 2.8-4 に打設順序の一例を示す。

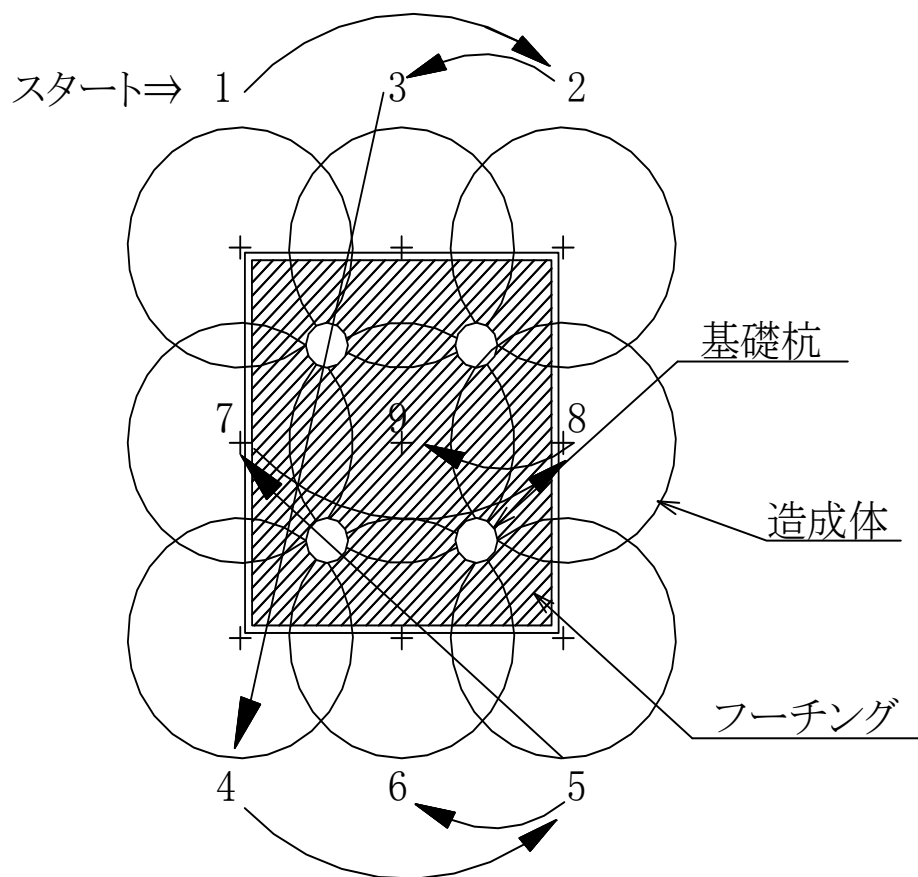


図 2.8-4 施工順序の例



### 2.8.3 出来型管理

出来型管理については、図 2.8-5 に示す出来型管理フローにしたがい施工前および施工後に実施することを基本とする。ここで、出来型管理の方法としては表 2.8-5 に示す 2 方法を基本とするが、測定位置等については現場条件に応じ適切に配置する。また、監督員が必要と判断した場合には、監督員が指定する任意の箇所についても出来型の確認を実施する。

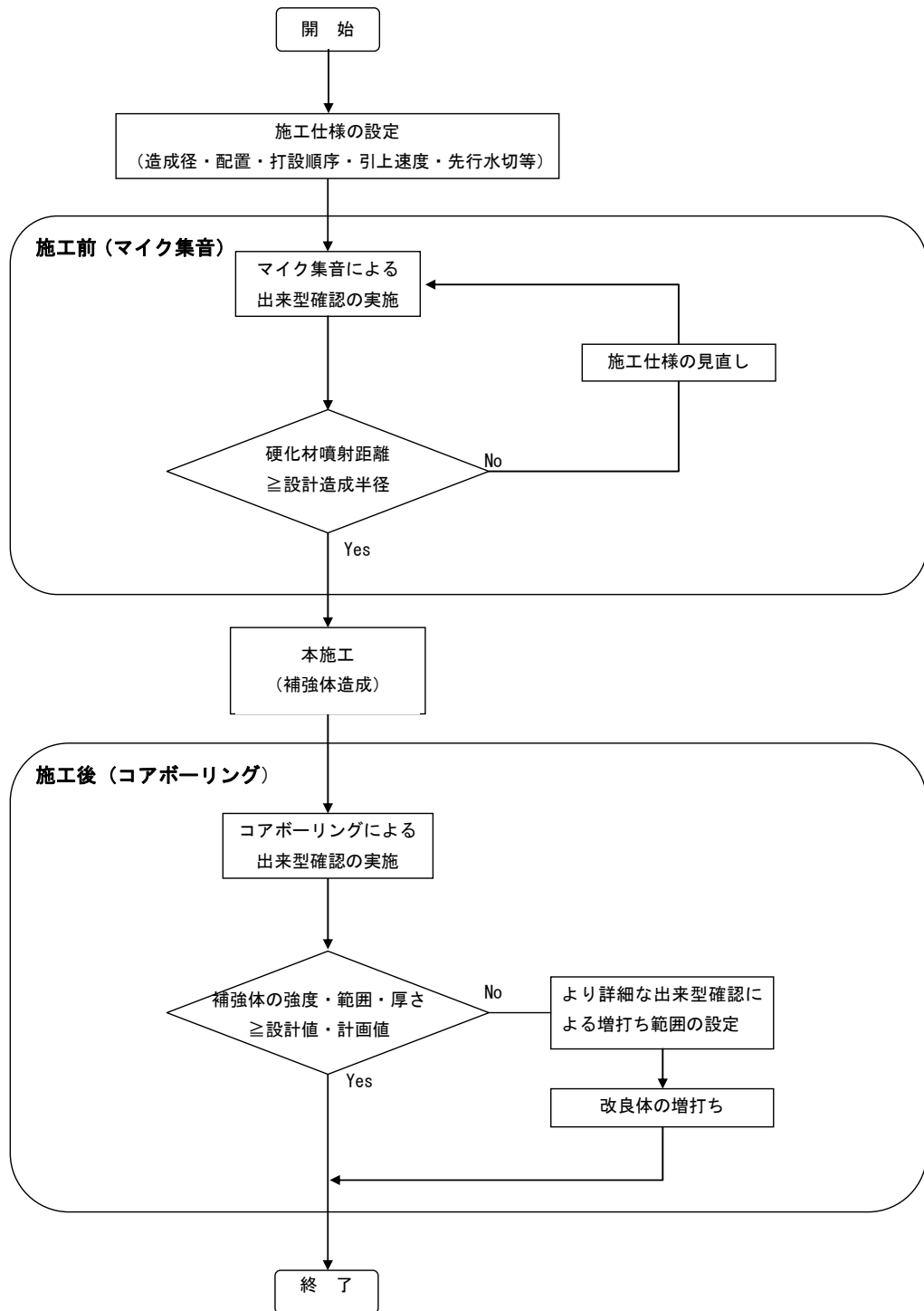


図 2.8-5 出来型管理フロー

表 2.8-5 出来型管理方法

	管理手法	確認項目	出来型目標	測定頻度	測定方法
施工前	マイク集音	硬化材噴射距離	設計造成半径以上	1 箇所以上 (深度 1m 毎/箇所)	ガイド管を設置し、管内にマイクロホンを挿入し、造成時に噴射される硬化材とガイド管の接触音を確認する。
施工後	コアボーリング	補強体強度 範囲 厚さ	強度：設計値以上 範囲：計画範囲以上 厚さ：計画厚さ以上	3 箇所以上 (3 供試体/箇所)	計画改良範囲の対角点と造成体ラップ部についてオールコアサンプリングを実施し、改良範囲の確認を行うとともに、補強体深度方向に対し 3 箇所で一軸圧縮試験を実施し強度の確認を行う。

(1) 施工前の出来型確認 (マイク集音)

基本的には本施工前に試験施工を実施し、造成径を確認する。ここで、試験用の造成は本体の 1 本目を利用しても良い。また、造成半径の確認はマイク集音による方法を基本とするが、重要構造物や特殊な地盤の場合など、必要であればコアボーリングや掘り出しを行い確認する。もし、設計時の造成半径を満たさなかった場合、施工仕様 (引上速度等) の見直しにより対応する。

マイク集音による方法は、図 2.8-6 に示すように、高圧噴射ロッドから設計造成半径位置にガイド管 (鋼管) を設置し、造成時に噴射される硬化材とガイド管の接触音をガイド管内に挿入した水中マイクにより確認する。硬化材とガイド管の接触音が発生するということは噴射された硬化材が設計造成半径位置まで到達しているということであり、設計造成半径の改良体が造成されていると判断することができる。参考までに、水中マイクロホンの形状・仕様を図 2.8-8、表 2.8-6 に示す。

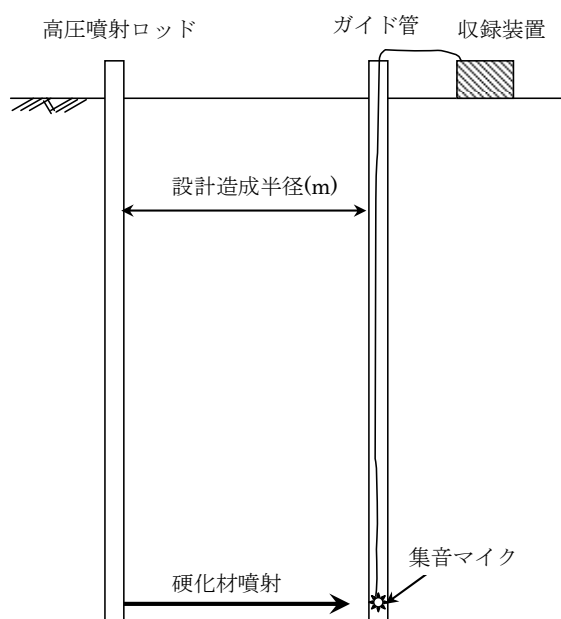


図 2.8-6 マイク集音による計測イメージ図

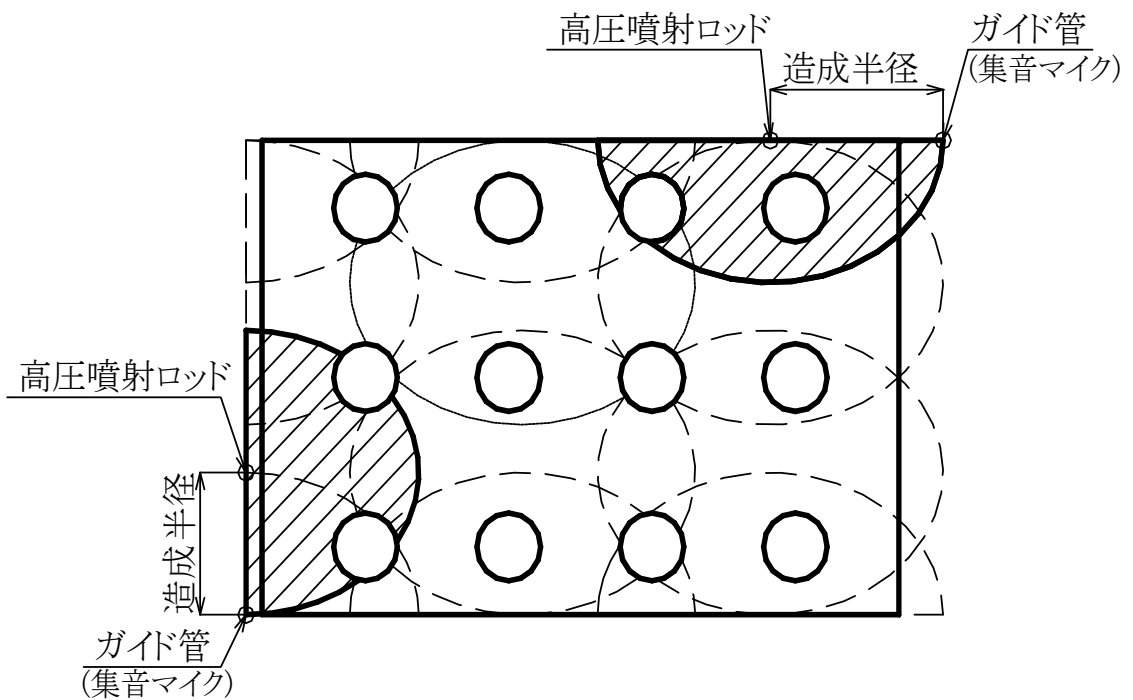


図 2.8-7 マイク集音によるガイド管設置位置の例

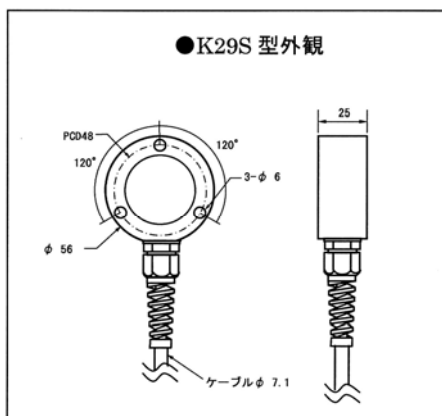


図 2.8-8 水中マイクロホン

表 2.8-6 水中マイクロホン形式

項目	K29S
寸法	φ 48mm、厚さ 10mm
重量	120 g
外形材質	塩ビ
耐水性	0.2MPa
ケーブル長	25m

(2) 施工後の出来型確認 (コアボーリング)

施工後の出来型確認は、コアボーリングによる方法を基本とし、補強体の強度・範囲・厚さを確認する。コアボーリングによる出来型管理の概要を図 2.8-9 に示す。コアボーリング結果より補強体の造成が不十分な場合には、改良体の増打ちで対応する。増打ち範囲については、追加コアボーリングや弾性波探査法などによる詳細な出来型確認結果に基づき設定することとする。ここで、弾性波探査による方法とは、既の実施した複数のコアボーリング孔を利用し孔間弾性波速度を測定することで、孔間の平均的な弾性係数を求め、出来型の確認および不良箇所を特定するものである (図 2.8-10 参照)。

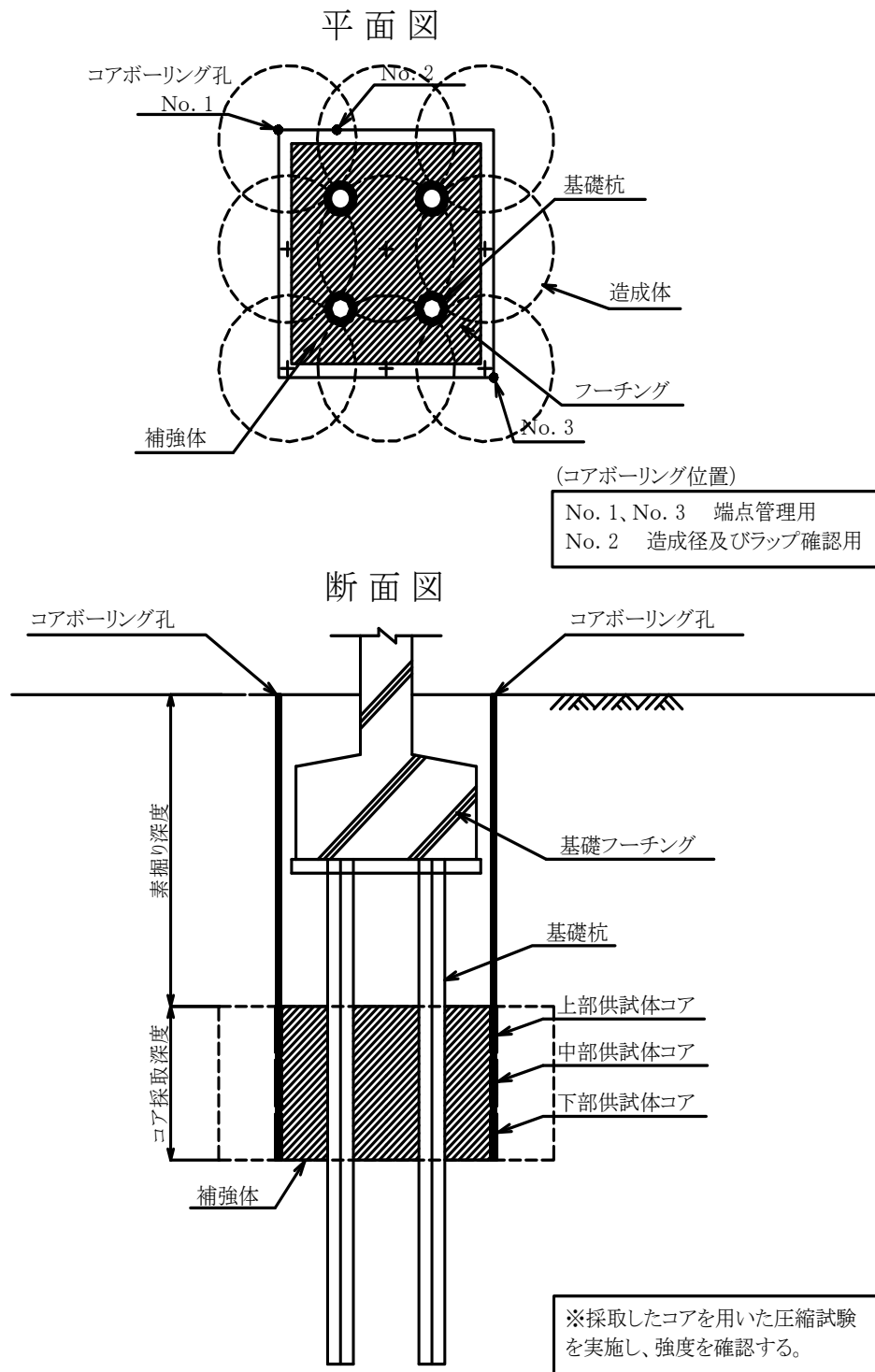
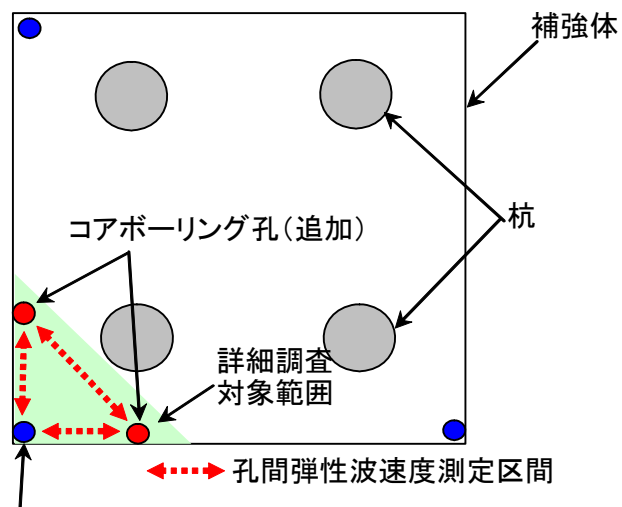


図 2.8-9 コアボーリングによる出来型管理の概要



角部が造成不十分と判断された場合、追加コアボーリング及び弾性波探査により対象範囲の絞込みを行う。

図 2.8-10 弾性波探査による補強体詳細調査

### 3. 施工編

#### 3.1 MJS 工法

##### 3.1.1 MJS 工法の概要

###### (1) 工法の概要

全方位高圧噴射攪拌工法（以下 MJS 工法）は、従来の高圧噴射攪拌工法をさらに改良、発展させたものである。

高圧噴射攪拌工法は、高圧噴流体が有する運動エネルギーを利用して、地盤を切削し、硬化材を混合攪拌する工法である。従来の高圧噴射攪拌工法は、エア－のリフト作用によって、切削した土砂（排泥）を地表に排出する。そのため、深度が深くなるに従って排泥の排出が困難となり、ロッドおよび先端部周辺の地盤内圧力が上昇し、噴射攪拌効率を低下させる。特に大深度（30m 以上）施工となると、改良効果に対する信頼度を極端に減少させる。また水平施工の場合、この地盤内圧力の上昇が周辺地盤に影響を及ぼし、地表面隆起などの現象発生の原因となった。

MJS 工法ではこれらの欠点を解決するために、新たに造成装置および多孔管を開発したものであり、最大の特徴は切削した泥土の排出機構にある。ロッドを回転または揺動させながら、圧縮空気を伴った高圧硬化材を地盤内に噴射・攪拌することで、均質な改良体を造成する。地盤の切削によって発生する余剰な泥土は、地盤内圧力を計測管理しながら、専用の多孔管内の排泥管を用いて排出する。なお、ロッド削孔時（噴射攪拌前）の排泥についても、排泥管を利用して吸引処理することが可能であるため、効率的な施工ができる。このように、MJS 工法では排泥を強制的に排泥管の中に吸引し、地表へ排出することで大深度施工を可能とした。さらに地盤内圧力を計測管理することにより、噴射攪拌に伴う地盤の隆起、沈下などの地盤変状を抑えることを可能にした。

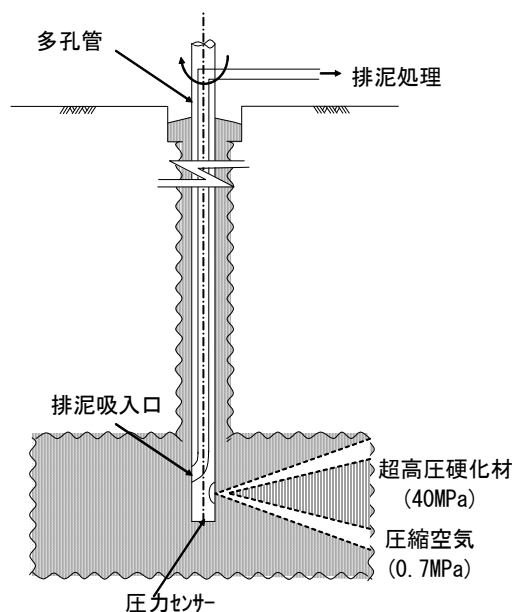


図 3.1-1 MJS 工法概要図

(2) 工法のシステム

MJS 工法システムを図 3.1-2 に示す。また、多孔管断面図を図 3.1-3 に示す。

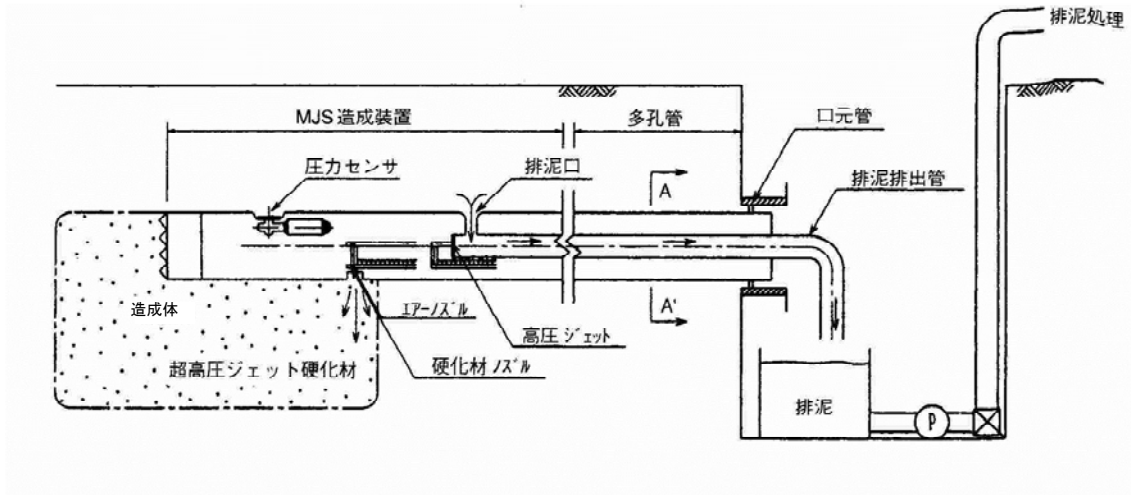


図 3.1-2 MJS 工法システム図（水平施工）

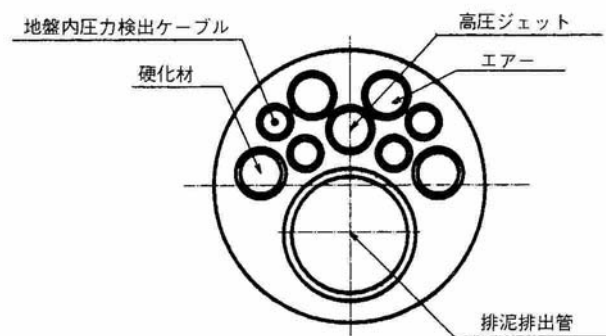


図 3.1-3 φ142mm 多孔管 A-A'断面図

- 高圧ジェット硬化材：高圧(40MPa)にてセメント系硬化材を噴射することにより、地盤を切削・混合することにより造成体を形成する。
- 硬化材ノズル：高圧ジェット硬化材の噴出口。
- エアノズル：高圧ジェット硬化材の周囲に圧縮空気を沿わせジェットのエネルギー拡散を防止することにより、改良径の拡大を図る。
- 高圧ジェット：高圧にて水を噴射することにより、排泥を吸引する負圧力を発生させる。噴射圧力を調整することによって排泥吸引量、地盤内圧力を調整する。
- 排泥口：負圧力にて排泥を吸引する口。
- 排泥排出管：吸引した排泥を立坑等に誘導する。多孔管内に設置されている。
- 口元管：口元からの排泥の排出防止装置。
- 圧力センサー：未固結の造成体内部の圧力(地内圧)を測定するセンサー。地盤変位を抑制する管理指標に使用する。

### (3) 工法の特徴

①大深度の地盤改良が可能である。

従来の高圧噴射攪拌工法では困難である大深度(30m 以上)の地盤改良においても、確実に施工することができる。

②水平・斜め方向の施工が可能である。

特殊な個所を除き、自由自在な方向に施工することができる。

③任意の揺動角度で造成体を築造できる。

専用機の揺動機構により、硬化材噴射方向(90～360 度)を調整できる。

④周辺地盤に影響が及ばない。

近接構造物または地中埋設物に対して、隆起、沈下等の影響を抑制できる。



### 3.1.2 造成体標準特性

MJS 工法における造成体の標準特性を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 造成体標準特性

硬化材	土質	一軸圧縮強度 $q_u$ (MN/m <sup>2</sup> )	粘着力 C (MN/m <sup>2</sup> )	曲げ引張強度 $\sigma_t$ (MN/m <sup>2</sup> )	弾性係数 $E_{50}$ (MN/m <sup>2</sup> )
MJ-1 号 (標準型)	砂質土	3.0	0.5	0.3	300
	粘性土	1.0	0.3	0.2	100

### 3.1.3 配合

硬化材の標準配合を表 3.1-2 に示す。

セメント及びセメント系固化材を使用した改良土等から、条件によっては六価クロムが土壤環境基準（0.05mg/ℓ）を超える濃度で溶出するおそれがあるため、平成 12 年 3 月の旧建設省審議官通達において、六価クロム溶出試験の実施が義務付けられている。なお、六価クロムの溶出が確認された場合は、高炉セメント B 種もしくは六価クロム対応セメントを使用する。

また、腐植土については現地にて地盤試料を採取し、特殊セメントによる配合・強度の確認を行った上で材料を決定する。

表 3.1-2 硬化材の標準配合（1m<sup>3</sup> 当り）

種類	セメント	混和剤	水
MJ-1 号 A	普通ポルトランドセメント 760kg	混和剤 A 8kg	752kg
	高炉セメント B 種 760kg	混和剤 A 8kg	743kg
MJ-1 号 B	普通ポルトランドセメント 760kg	混和剤 B 6kg	756kg
	高炉セメント B 種 760kg	混和剤 B 6kg	748kg

- ・硬化材比重（1.51）
- ・セメント：普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種
- ・混和剤：混和剤 A(液状)、混和剤 B(粉末)

超高性能流動化材

特殊オキシ酸誘導体を主成分とする。

性状 外観：黒褐色、比重：1.20±0.01

混和剤の利点は下記の通りである。

- ①セメントミルクの粘度を大幅に低下し、ワーカビリティを改善するとともに、硬化材を混合した土の粘性も低下し、排泥の粘性を抑制できるので、処理作業が簡便にできる。
- ②高い分散効果により、ホース内におけるセメント分の沈降を防止する。
- ③環境への悪影響がない。
- ④標準添加量を用いることによって強度発現への悪影響はない。

硬化材総使用量および噴射量は、次式により算定する。

$$Q = Q_v \times (1 + \beta)$$

$$Q_v = \sum h \times v \times qc$$

ここで、

$Q$ ：硬化材総使用量（ℓ）

$Q_v$ ：硬化材総噴射量（ℓ）

$\sum h$ ：造成延長（m）

$v$  : 設計引上速度 30 分/m×揺動角度/360 度

$qc$  : 硬化材吐出量(130 分/m)

$\beta$  : 補正係数(0.06)

### 3.1.4 排泥処理

#### (1) 排泥処理方法

施工時の排泥は、一度泥水タンクに貯留した後、サンドポンプにより排泥車に投入し、指定の処理場へ搬出する。

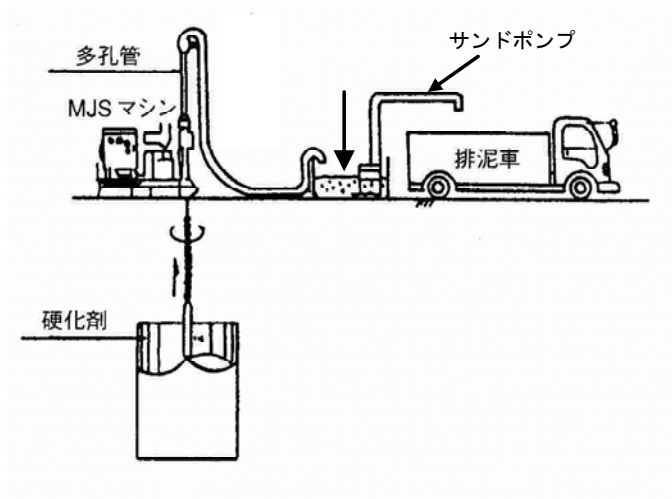


図 3.1-4 排泥処理図

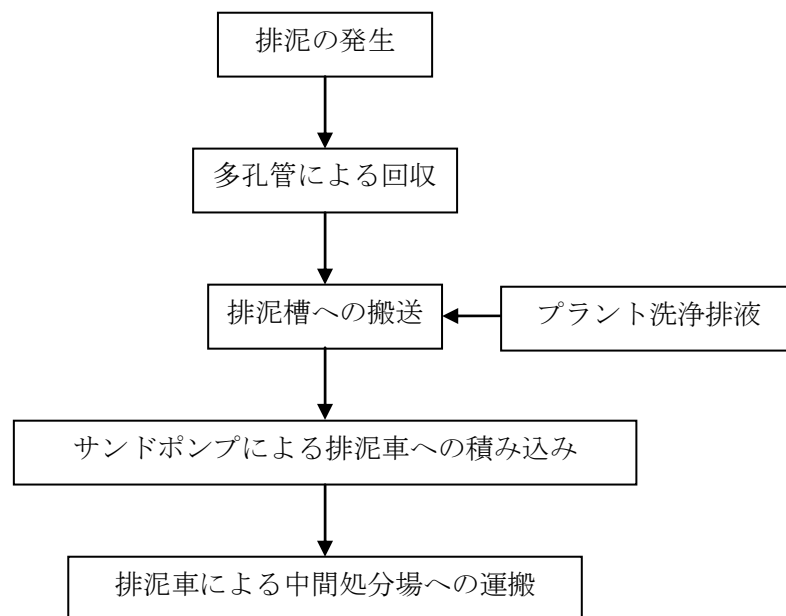


図 3.1-5 排泥処理フロー

(2) 排泥量の計算

排泥量  $V$  の算出方法を下記に示す。

$$V = V_1 (\text{削孔時}) + V_2 (\text{造成時}) + V_3 (\text{プラント洗淨})$$

1) 削孔による排泥量：  $V_1$  (m<sup>3</sup>)

$$V_1 = T_1 \times q_1 \times \alpha$$

$T_1$  : 削孔時間(分)

$q$  : 削孔水量(多孔管削孔 0.08m<sup>3</sup>/分、ケーシング削孔 0.10m<sup>3</sup>/分)

$\alpha$  : 排泥率(多孔管削孔 0.6、ケーシング削孔 0.5)

2) 造成による排泥量：  $V_2$  (m<sup>3</sup>)

$$V_2 = T_2 \times q_2 + q_3 \times (1 + \beta)$$

$T_2$  : 造成時間

$q_2$  : 硬化材噴射量 + 排泥吸引水量(0.19m<sup>3</sup>/分)

$\beta$  : 補正係数(0.2)

3) プラント洗淨排液量：  $V_3$  (m<sup>3</sup>)

$$V_3 = N \times q_3$$

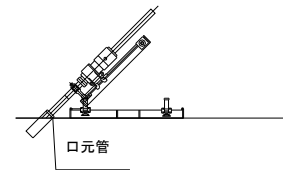
$N$  : 実作業日数(日)

$q_3$  : プラント洗淨水(2.0m<sup>3</sup>/日)

### 3.1.5 施工手順

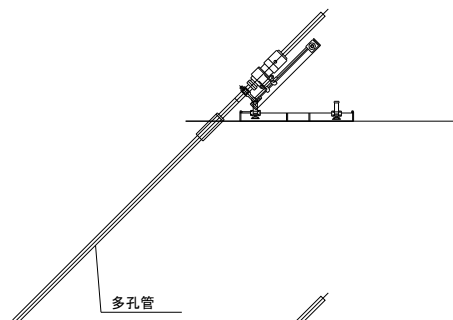
#### ①機械設置、口元管設置

施工機械を所定の位置に設置する。  
削孔角度を角度計等にて確認する。  
口元管(φ216.8mm)を設置する。



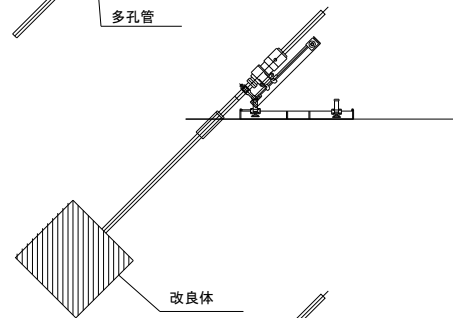
#### ②多孔管削孔

普通地盤の場合は、多孔管(φ142mm)にて  
所定の深度まで削孔する。



#### ③造成

所定の深度より、計画速度にて造成を行う。  
造成時には、既設構造物等の変状観測を行う。



#### ④施工終了

計画長の造成が終了すると、口元管を撤去し  
施工機械を次の施工位置に移動する。

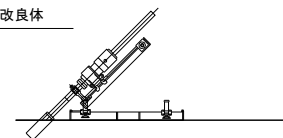


図 3.1-6 施工手順

### 3.1.6 標準施工仕様

MJS 工法の標準施工仕様を表 3.1-3 に示す。

表 3.1-3 MJS 工法標準施工仕様

項目	施工仕様
造成径	φ 2.0～2.8m
硬化材噴射圧力	40MPa
硬化材吐出量	130 ㎥/分
エア－圧力	0.7MPa
エア－風量	1.2Nm <sup>3</sup> /分以下
造成回転数	5rpm
揺動角度	90～360 度
引上速度	30 分/m*

\* : 引上速度は揺動角度が 360 度の場合の値

### 3.1.7 機械設備

機械設備のプラント配置図を図 3.1-7、施工箇所配置図を図 3.1-8 に示す。

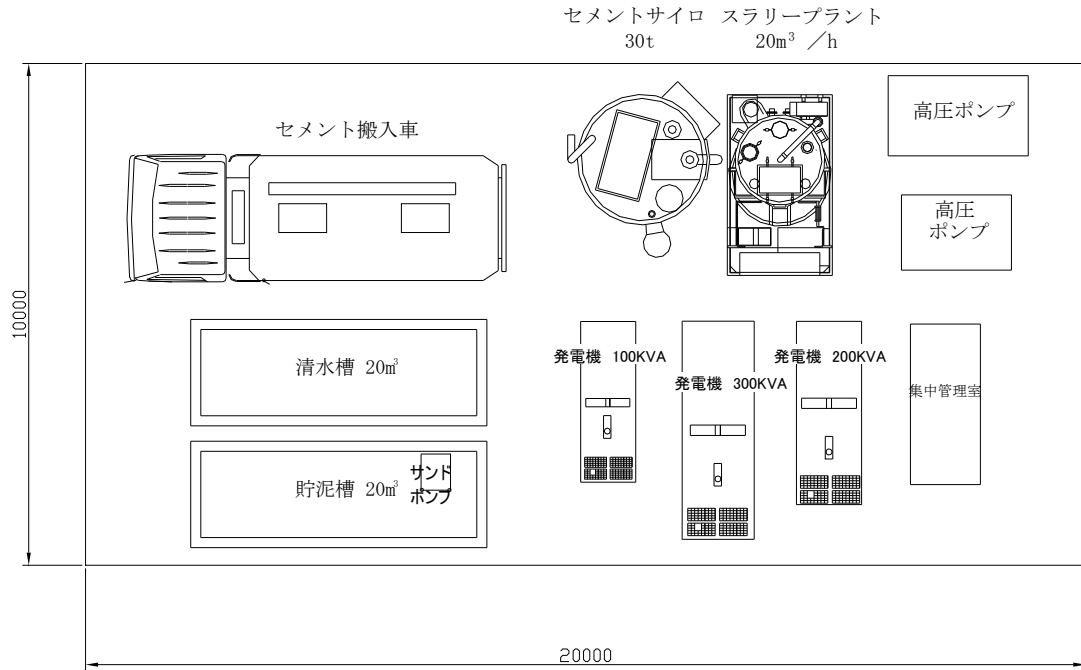


図 3.1-7 プラント配置図(1セット)

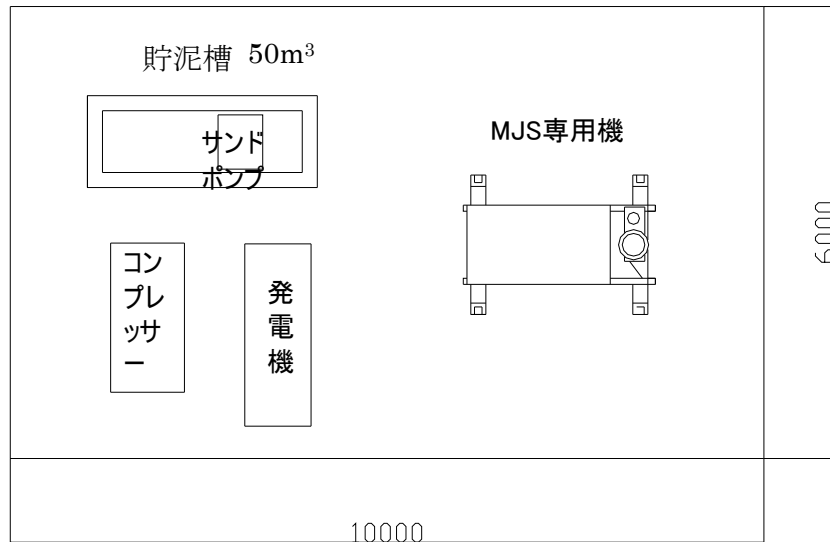


図 3.1-8 施工箇所配置図(1セット)



プラント設備を表 3.1-4、施工箇所設備を表 3.1-5 に示す。

表 3.1-4 プラント設備(1セット)

機 械 名 称	規 格	形状(幅×長×高) (m)	重量 (kg)	動力 (kW)	台 数
高圧ポンプ	P=20MPa,Q=60 $\frac{\text{リットル}}{\text{分}}$	1.35×2.20×1.45	2,500	55	1
高圧ポンプ	P=40MPa,Q=150 $\frac{\text{リットル}}{\text{分}}$	1.75×3.00×1.60	5,100	150	1
スラリープラント	全自動型 24m <sup>3</sup> /h	2.10×3.60×2.45	2,800	14	1
集中管理装置	MJS 専用型	0.60×2.00×1.50	350	—	1
発電機	300kVA	1.40×9.00×1.80	4,860	—	1
発電機	200kVA	1.30×3.70×1.75	4,050	—	1
発電機	100kVA	1.08×3.10×1.50	2,580	—	1
セメントサイロ	30t	2.50×5.00×5.50	4,500	—	1
水中ポンプ	口径 $\phi$ 80m/m	0.21×0.45	110	3.7	2
サンドポンプ	2.0m <sup>3</sup> /min	0.72×0.52×1.09	310	11	1
水 槽	20m <sup>3</sup>	2.0×6.0×2.0	2,600	—	2

表 3.1-5 施工箇所設備(1セット)

機 械 名 称	規 格	形状(幅×長×高) (m)	重量 (kg)	動力 (kW)	台 数
MJS 専用機	$\phi$ 142mm、揺動型	1.85×2.35×2.40	3,100	30	1
コンプレッサー	0.7MPa、7.6Nm <sup>3</sup>	0.98×1.98×1.05	1,480	—	1
排泥タンク	5.0m <sup>3</sup>	1.22×3.05×1.65	800	—	1
サンドポンプ	2.0m <sup>3</sup> /min	0.72×0.52×1.09	310	11	1
トラッククレーン	25 t 吊り	—	—	—	1
発電機	60KVA	0.88×2.42×1.25	1,610	—	1

### 3.1.8 動態観測

周辺地盤や既設構造物の挙動は影響予測で仮定した状況が必ずしも施工時に再現されるとは限らない。このことから、現場で得られたより確かな情報を基に施工を管理し、その後の施工に反映させる情報化施工が必要となる。CPR 工法は構造物直下を施工するため、対象構造物の動態観測が必要である。

#### (1) 計測項目

動態観測における計測項目と使用計測機器の例を表 3.1-6 に示す。

表 3.1-6 計測項目例<sup>1)</sup>

計測対象		計測項目	使用計測機器
既設構造物		鉛直変位	レベル、沈下計(水盛式、アンカー式)、ダイヤルゲージ
		水平変位	トランシット、スチールテープ、光波距離計
		変形	レベル、トランシット、傾斜計(固定式、挿入式)
		応力	応力計、ひずみ計、ひずみゲージ
地盤	地表面	鉛直変位	レベル、沈下計、沈下板、変位計
		水平変位	トランシット、スチールテープ、伸縮計、光波距離計
	地中	変位	変位計、傾斜計
		層別沈下	層別沈下計
		土圧	土圧計、荷重計
		間隙水圧	間隙水圧計

#### (2) 変状時の対策

施工時に一次管理値を上回る変状が発生した場合の対策工を表 3.1-7 に示す。なお、本対策工を実施しても変状を抑制できない場合は、抜本的な対策を検討する。

表 3.1-7 変状時の対策

変状	対策工
沈下	施工を一時中止し、薬液注入工法にて補正注入を行う。補正值は一次管理値の半分程度とする。
隆起	隆起箇所にて、定置にて硬化材噴射・排泥吸引を行う。補正值は一次管理値の半分程度とする。

#### 【参考文献】

- 1) 社団法人日本トンネル技術協会：地中構造物の建設に伴う近接施工指針

### 3.1.9 安全管理

#### (1) 地下水管理

硬化材は、セメントを主体としており「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」（昭和49年7月建設省官技発第160号）による薬液注入材の項目には記載がなく、地下水の水質調査は義務づけられないものである。

#### (2) プラントの洗浄水の処理

機械器具の洗浄水などは一度、排水ピット又は廃液タンクに溜めバキューム車等で産業廃棄物として処理するか、または、中和処理をして pH 値をチェックした後、公共下水道等に放流する。

#### (3) 労働安全衛生管理

施工に際しては、労働安全衛生法、その他の法令に従い、安全教育の徹底、作業保護具の着用など労働災害の発生を防ぐよう努力しなければならない。

#### (4) 硬化材の保管および取扱い

- ① 材料搬入は、交通に支障を与えないよう、すみやかに実施する。
- ② 現場における硬化材の保管に当たっては、飛散に注意する。
- ③ 残材料などではできるだけ滞荷せず、すみやかに回収する。
- ④ 使用する硬化材はアルカリ性を示すので、取扱いにはゴム手袋、保護眼鏡を着用する。

#### (5) 地下埋設物防護

##### 4) 事前の確認

- ① 埋設物の正確な位置を確認するため、必ず試掘調査を行う。
- ② 試掘調査を補完するため、近傍にある埋設物の人孔等がある場合は、必ず蓋を開けて内部を調査し、その記録を明確にする。  
(注意点) ○当該埋設企業者の立会いを求める。  
○人孔内に水がある場合には排水して調査する。  
○酸欠、メタンガス等を予め計測器により調査して入坑する。
- ③ 試掘調査等により明確になった埋設位置は、路上に正確に印をつけ、風雨、車両等により短期間に消えないように注意する。
- ④ ビル、事務所、工場等が付近にある場合には、当該管理人に申し入れ、付帯設備（電気、電話、ガス、水道等）の埋設受入れ口等を調査のうえ、道路上埋設物との整合性をはかり、記録を明確にする。

#### 5) 施工中の確認

- ① 事前調査により記録された埋設物の計画図書は、現場に常に携行し、十分打合せを行いながら施工する。
- ② 削孔はジェットイングによって行い、削孔中異物に当たった場合には削孔を中止し、監督員と協議する。
- ③ 判明している埋設物深度付近以外で異物に当たった場合、極力回転数を落とすか回転を停止する。ただし、先端はブランククラウンもしくはプラスチッククラウンを使用し、削孔時は監督員の立会いとする。なお、ボーリングマシンによる回転の前に、必ずパイプレンチにて様子を見ることとする。

#### 6) その他

万一の事故対策として、事故を最低限にとどめ、二次災害を防止するため、ガス、水道等の停止バルブ位置を明確にしておく。

### (6) MJS 工法の安全性

MJS 工法で取扱う「高圧」は「高圧ガス取締り法」で規制されているような危険性はまったくないとは言うものの、圧力が高いことには違いなく、配管系統に不備などがあると破損による破片や硬化材の飛散、高圧噴流による事故の発生が憂慮される。したがって、安全性について考えておかなければならない。

#### 1) 高圧噴流について

大気中における高速噴流(40MPa)のノズル出口では、20cm 厚のバタ角板を 20 秒程度で貫通するだけの動圧をもっているが、ノズル出口より離れるに従って極度に動圧は低下し、200cm 離れると薄いベニヤ板も貫通出来なくなる。また、ノズルが回転している場合には、上記バタ角を貫通することは不可能である。地中では大気中より動圧の減衰は激しいのでコンクリートや鉄製の埋設物を貫通することは殆どあり得ない。しかし、ガス管、水道管などの埋設管に高圧噴流を当てると、電気防食のための表面塗覆装が剥離して腐食の原因となるので、埋設管近傍での施工に当たっては、埋設管理者と十分協議の上、対策を講ずる必要がある。

噴射テスト時には、ノズルより 5.0m 以内の噴流軸上に身体を入れてはならない。作業中には保護眼鏡、ゴム手袋、安全長靴を使用することが必要である。

噴流を高圧にする場合は、ポンプ作業員とボーリングマシン作業員との連絡を密にすることが大切である。

現在まで高圧噴流で埋設物を切断したことはない。むしろボーリング作業にて埋設物の破損が無いよう施工前に十分な調査を行う必要がある。

#### 2) 硬化材の安全性

硬化材はセメントが主体であるが、被服等に飛散した場合には完全な水洗が必要である。硬化材置場には関係者以外の立ち入りを禁止し、特に子供の立ち入りが出来ないよう安全柵を設けることが必要である。

(7)使用機械器具取扱いに伴う安全管理

MJS 工法は高圧施工であるため使用機械器具の取扱いには特別な注意が必要である。例えば、多孔管、ホース等の接続箇所の精密さ、高圧スイベルジョイントの磨耗、多孔管の品質、硬化材の品質管理が必要である。特に造成装置の正確な作動は重要で施工前には噴射テストにて確認することが必要である。

### 3.1.10 施工管理

#### (1) 六価クロムの施工前試験

国土交通省通達「セメント及びセメント固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」(平成13年5月7日)により、六価クロム溶出試験を行うことが指導されていることから、事前に六価クロム溶出試験を実施する。

#### (2) 施工管理

MJS 工法における施工管理項目例を表 3.1-8 に示す。

表 3.1-8 施工管理項目例

No	項目	管理基準	管理方法	頻度	備考
1	杭 芯	±50mm 以内	スケール	各 孔	
2	傾斜度	所定角度±0.1 度	スラントルール	各 孔	
3	削孔精度	削孔長 30m 以上の場合	計測器	1 回/3 孔	
4	施工長	設計長以上	ロッド検尺	各 孔	
5	硬化材	比 重	1.52±0.05	マッドバランス	1 回/日
		噴射圧力	40MPa 以上	集中管理装置	各 孔
		噴射量	130 ㍈/分以上	集中管理装置	各 孔
6	エアー	圧 力	0.7MPa 以上	集中管理装置	各 孔
		風 量	1.2m <sup>3</sup> /分以下	集中管理装置	各 孔
7	ロッド	回転数	3 回以上/ステップ	ストップウォッチ	各 孔
		引上速度	設計値	ストップウォッチ	各 孔
		揺動角度	設計値	角度計	各 孔
8	地盤内圧力	管理基準値以内	集中管理装置	各 孔	
9	排泥排出量	計画値	マニフェスト	毎 日	

## 3.2 RJP 工法 (D-RJP、S-RJP)

### 3.2.1 RJP 工法の概要

#### (1) D-RJP 工法の概要

D-RJP (Diameter-RODIN JET PILE) 工法は、超高压噴流体が有する運動エネルギーを利用して、地盤の組織構成を破壊し、その破壊された土粒子と硬化材を混合・攪拌させながら、造成体を造成する従来の RJP 工法の持つ特性を最大限に活用し、短時間に改良径 3.5m とさらに大口径の造成体が造成可能な工法である。

その具体的なメカニズムは、造成装置の上段部から超高压水を、また下段部からは左右二方向より超高压硬化材と空気噴流体を併用して噴射することで、上段の超高压水による造成ガイド切削を行い、ある一定の空間を作ることにより下段の超高压硬化材と空気噴流体による拡大切削エネルギーを十分に発現させ、拡大切削し、地盤の切削効果を有効に活用するものである。また、造成径拡大切削時のエネルギーにより、発生する余剰な泥土をスムーズに上部に誘導することができる。

D-RJP 工法は、大断面の改良杭であるため、従来工法に比べ施工効率が高く、施工本数、施工日数を低減でき、施工性に優れた経済的な施工方式である。

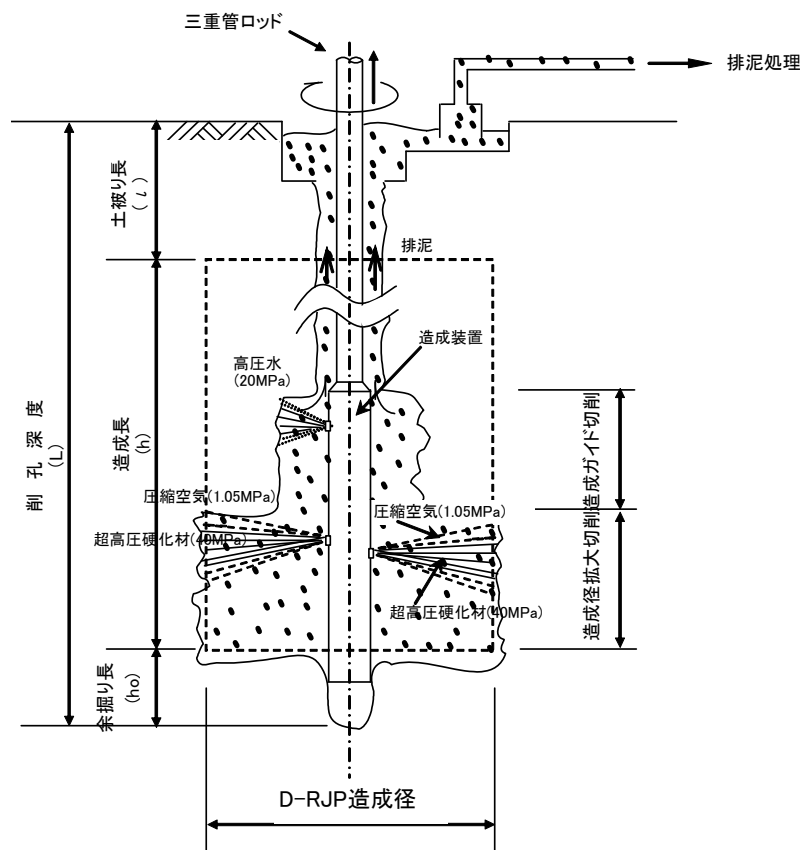


図 3.2-1 D-RJP の概要

## (2) S-RJP 工法の概要

S-RJP (Speed-RODIN JET PILE) 工法は、従来の RJP 工法の下段側の硬化材吐出量を上げることにより、従来の RJP 工法と同等の改良径を短時間のうちに造成可能な工法である。

S-RJP 工法の特徴は、次のとおりである。

- ①短時間に従来の RJP と同等の改良径が造成できる。
- ②施工方式は、円柱状に造成する標準方式および  $90^{\circ}$  ~  $270^{\circ}$  の範囲で扇柱状に造成する揺動方式も同様に施工可能である。
- ③改良品質についても従来の RJP と同等である。

S-RJP 工法は、従来の RJP 工法の特徴を継承しながら、さらに経済性が高く、施工性に優れた工法である。

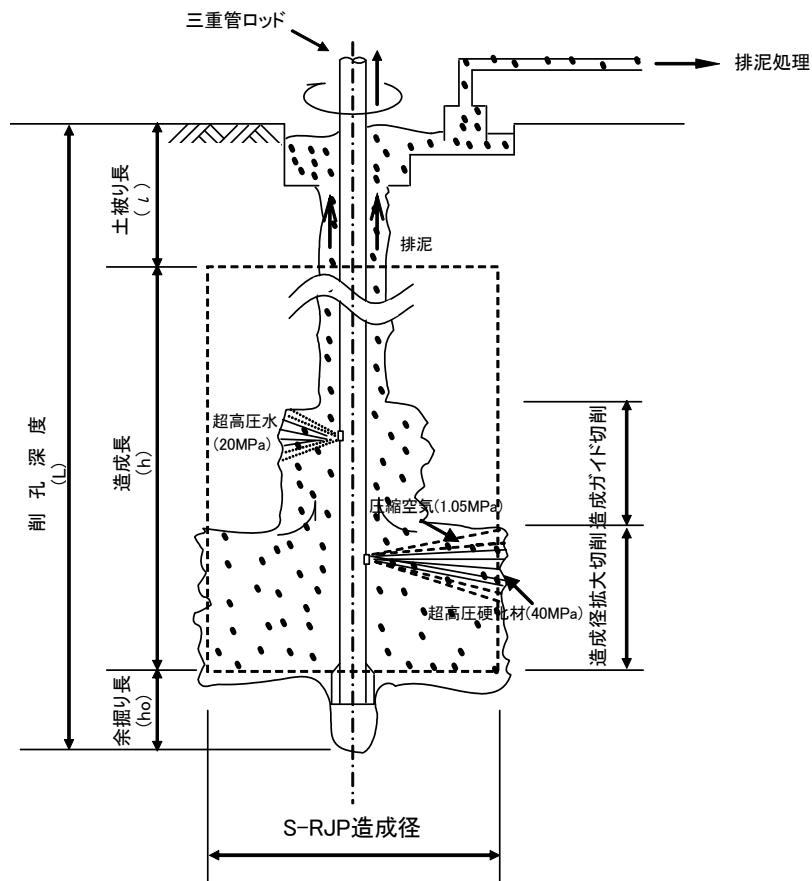


図 3.2-2 S-RJP の概要



### 3.2.2 造成体標準特性

D-RJP 工法、S-RJP 工法における造成体の標準特性を表 3.2-1 示す。

表 3.2-1 造成体の標準特性

工法	硬化材	土質	一軸圧縮強さ $q_u$ (MN/m <sup>2</sup> )	粘着力 C (MN/m <sup>2</sup> )	曲げ引張強さ $\sigma_t$ (MN/m <sup>2</sup> )	弾性係数 E <sub>50</sub> (MN/m <sup>2</sup> )
D-RJP	DR-1 号	砂質土	3	0.5	$\frac{2}{3}C$	300
S-RJP	RG-1 号					
D-RJP	DR-1 号	粘性土	1	0.3		100
S-RJP	RG-1 号					
D-RJP	DR-3 号	腐植土	0.3	0.1		
S-RJP	RG-3 号					

硬化材の特性は次の通りである。

DR-1 号、RG-1 号……強度発現型（標準タイプ）

DR-3 号、RG-3 号……腐植土タイプ

\*DR-2 号、RG-2 号は、強度抑制型の硬化材であり、CPR 工法の用途に適合しないため、ここでは省略した。

### 3.2.3 配合

#### (1) 硬化材の種類

硬化材の種類を下表に示す。

表 3.2-2 硬化材の種類

	名称	分類	主な適用範囲	性状
D-RJP 工法用	DR-1 号	セメント系	強度発現型 通常強度止水	標準タイプ
	DR-3 号	特殊セメント系	腐植土用 地盤強化止水	腐植土タイプ
S-RJP 工法用	RG-1 号	セメント系	強度発現型 通常強度止水	標準タイプ
	RG-3 号	特殊セメント系	腐植土用 地盤強化止水	腐植土タイプ

#### (2) 硬化材の配合

表 3.2-3 硬化材の標準配合 (1m<sup>3</sup> 当り)

種類		セメント	混和剤	水
D-RJP 工法用	DR-1 号	セメント 760 kg	専用混和剤(A) 6 kg	756 kg
	DR-3 号	ロジセメント 760 kg	専用混和剤(A) 6 kg	748 kg
S-RJP 工法用	RG-1 号	セメント 760 kg	専用混和剤(B) 6 kg	756 kg
	RG-3 号	ロジセメント 760 kg	専用混和剤(B) 6 kg	748 kg

なお、表 3.2-3 の硬化材は次のものである。

セメント ……………普通ポルトランドセメント

ロジセメント ……………セメント系土質改良材

専用混和剤(A) ……………アルキルアリルスルホン酸塩を主成分とする高性能流動化材 (商品名：ロジエイド-D)

専用混和剤(B) ……………ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物塩を主成分とする高性能流動化材 (商品名：ロジエイド-P、ポリティ P-2000)

事前の六価クロム溶出試験にて六価クロムの溶出が確認された場合は高炉セメントB種もしくは六価クロム対応セメントを使用する。

(3) 硬化材総使用量の算出

硬化材総使用数量および噴射量は、次式により算定する。

$$Q = Q_v \times (1 + \beta)$$

$$Q_v = \sum h \times v \times qc$$

ここで、

$Q$  : 硬化材総使用量 (kg)

$Q_v$  : 硬化材総噴射量 (kg)

$\sum h$  : 造成延長 (m)

$v$  : 設計引上速度 (分/m)

$qc$  : 硬化材吐出量 (kg/分) D-RJP : 300 kg/分

S-RJP : 190 kg/分

$\beta$  : 損失係数 0.05

(注) S-RJP 工法揺動方式の場合は、次式の引上速度を用いる。

$$v' = \frac{\theta}{360^\circ} \times \text{設計引上速度 (V)}$$

$v'$  : 振動方式を用いる場合の S-RJP 引上速度 (分/m)

$\theta$  : 設計揺動角度 (°)

### 3.2.4 排泥処理

#### (1) 排泥処理方法

施工時の排泥は、造成位置に設けたスライムピット（布掘り）から、直接バキューム車へ投入するか、あるいはバキュームポンプを設置してコンテナ車へ投入し、指定の処理場へ搬出する。

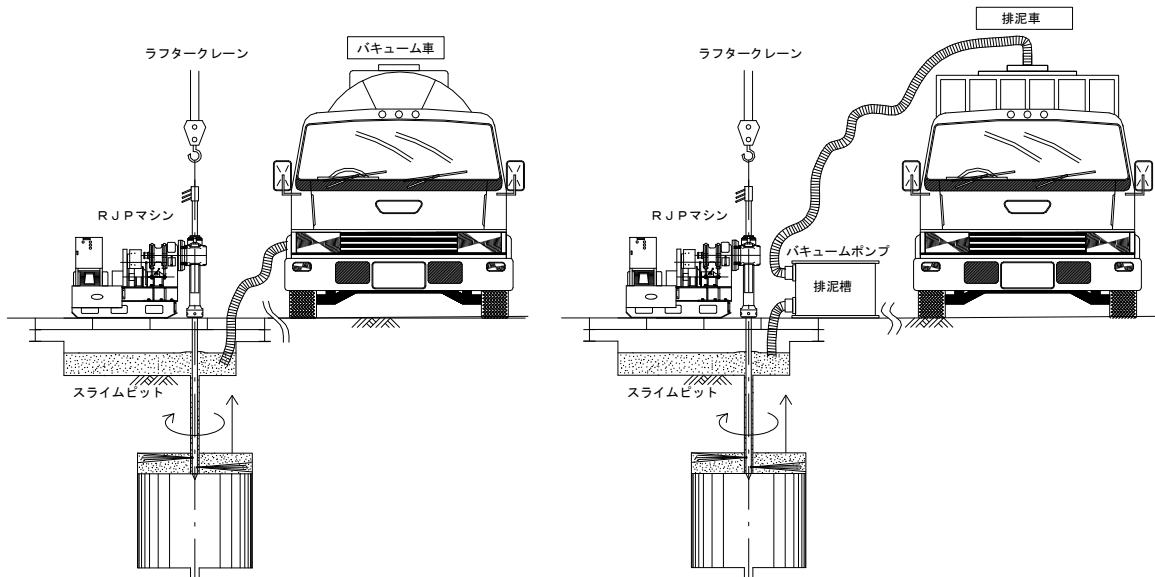


図 3.2-3 バキューム車使用の場合

図 3.2-4 排泥槽使用の場合

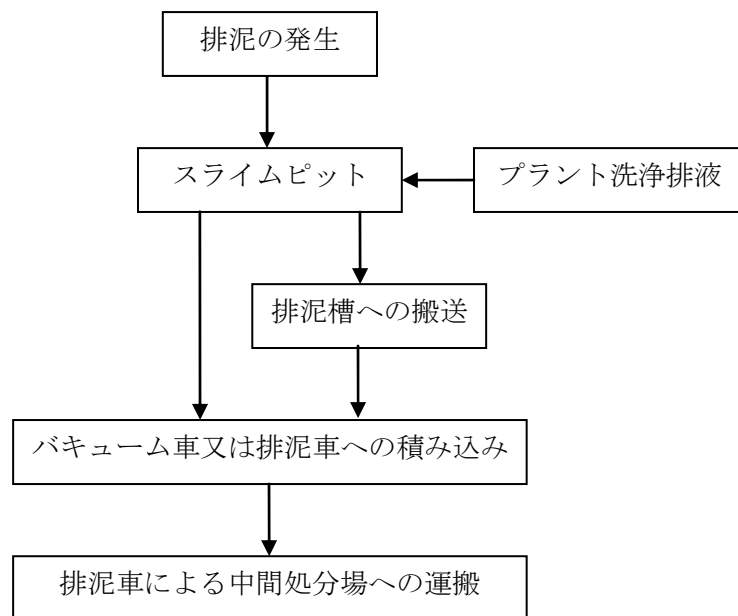


図 3.2-5 排泥処理フロー

(2) 排泥量の計算

排泥量の算出方法を下記に示す。

$$V = V_1 (\text{造成時}) + V_2 (\text{削孔時}) + V_3 (\text{プラント洗浄})$$

1) 造成による排泥量： $V_1$  (m<sup>3</sup>)

$$V_1 = \sum h \times v \times qc \times (1 + \alpha_1)$$

$\sum h$  : RJP 造成延長 (m)

$v$  : RJP 設計引上速度 (分/m)

$qc$  : 吐出量 (切削水+硬化材) (m<sup>3</sup>/分)

$\alpha_1$  : 増加率 砂質土 0.1

粘性土 0.15

(注) 揺動方式を用いる場合の、引上速度は、次式を用いる。

$$v' = \frac{\theta}{360^\circ} \times \text{設計引上速度}(V)$$

$v'$  : 振動方式を用いる場合の S-RJP 引上速度 (分/m)

$\theta$  : 設計揺動角度 (°)

2) 削孔による排泥量： $V_2$  (m<sup>3</sup>)

$$V_2 = \sum t_2 \times q \times \alpha_2$$

$\sum t_2$  : 総削孔延時間 (分)

$q$  : 削孔水吐出量 (m<sup>3</sup>/分)

$\alpha_2$  : 排泥率 (0.5)

(注) ガイドホールが必要な場合の  $\sum t_2$  は、ガイドホール総削孔延時間  $\sum Gt_2$  とし、削孔水吐出量は  $q=0.10\text{m}^3/\text{分}$  とする。

排泥率は  $\alpha_2=0.2$  とする。

3) プラント洗浄排液量： $V_3$  (m<sup>3</sup>)

$$V_3 = RN \times \alpha_3$$

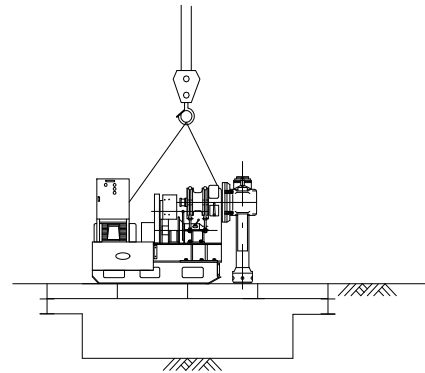
$RN$  : RJP 工造成日数 (日)

$\alpha_3$  : 1 日当たり洗浄排液量 (2.0m<sup>3</sup>/日)

### 3.2.5 施工手順

#### ①据 付 工

スライムピットを掘削し、RJPマシンを所定の施工位置に移動し据え付ける。



#### ②削 孔 工

RJPマシンにより、計画深度まで削孔する。

$$\text{削孔深度}(L) = l + h + h_0$$

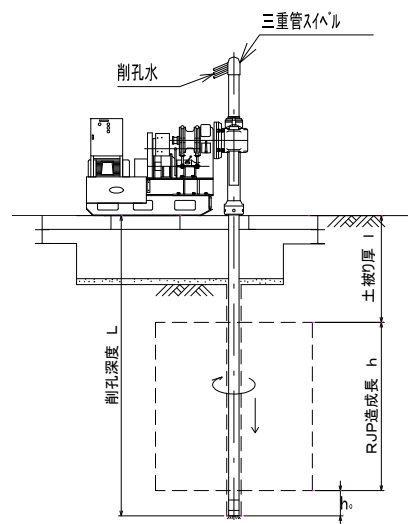
$l$  : 1本当たりの土被り厚

$h$  : 1本当たりのRJP造成長

$h_0$  : 余掘り長 (RJP)

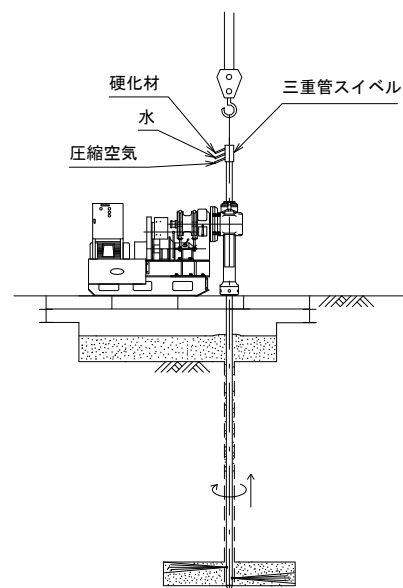
(上・下段ノズル差+ビット長)

※補強体造成にフーチングの削孔が必要な場合は、事前に適切な方法により削孔を行う。



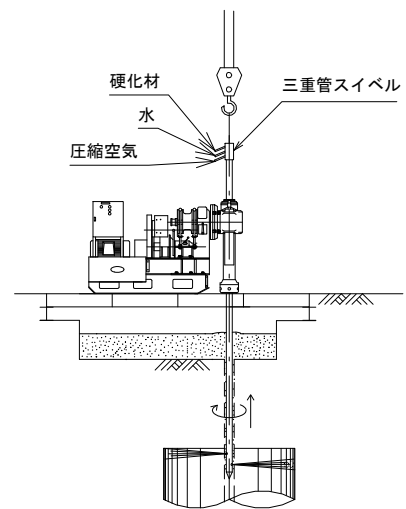
#### ③噴射テスト工

計画深度まで削孔した後、回転速度、引上速度を設定し、噴射テストを行う。



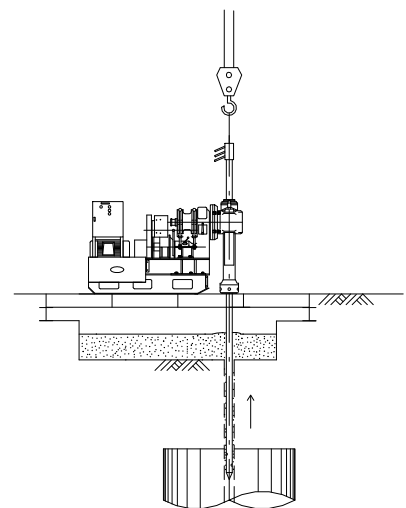
#### ④RJP 造成工

所定の引上速度及び造成装置（ロッド）の回転により造成体を造成する。



#### ⑤RJP 造成工完了（ロッド引抜・器具洗淨工）

造成完了後ロッドを地上まで引抜、孔口を穴埋めし、管内洗淨を行う。



### 3.2.6 標準施工仕様

D-RJP 工法および S-RJP 工法の標準施工仕様を表 3.2-4、表 3.2-5 に示す。

表 3.2-4 D-RJP 工法標準施工仕様

名 称	使用材	標 準 施 工 仕 様	
		上段超高压ジェット	水
吐出量	50 ℓ/min		
下段超高压ジェット	硬化材	吐出圧	40MPa
		吐出量	300 ℓ/min
圧 縮 空 気		吐出圧	1.05MPa
		吐出量	3~7m <sup>3</sup> /min

表 3.2-5 S-RJP 工造成標準施工仕様

名 称	使用材	標 準 施 工 仕 様	
		上段超高压ジェット	水
吐出量	50 ℓ/min		
下段超高压ジェット	硬化材	吐出圧	40MPa
		吐出量	190 ℓ/min
圧 縮 空 気		吐出圧	1.05MPa
		吐出量	3~7m <sup>3</sup> /min



### 3.2.7 機械設備

RJP 工法の機械配置図を図 3.2-6 に示す。

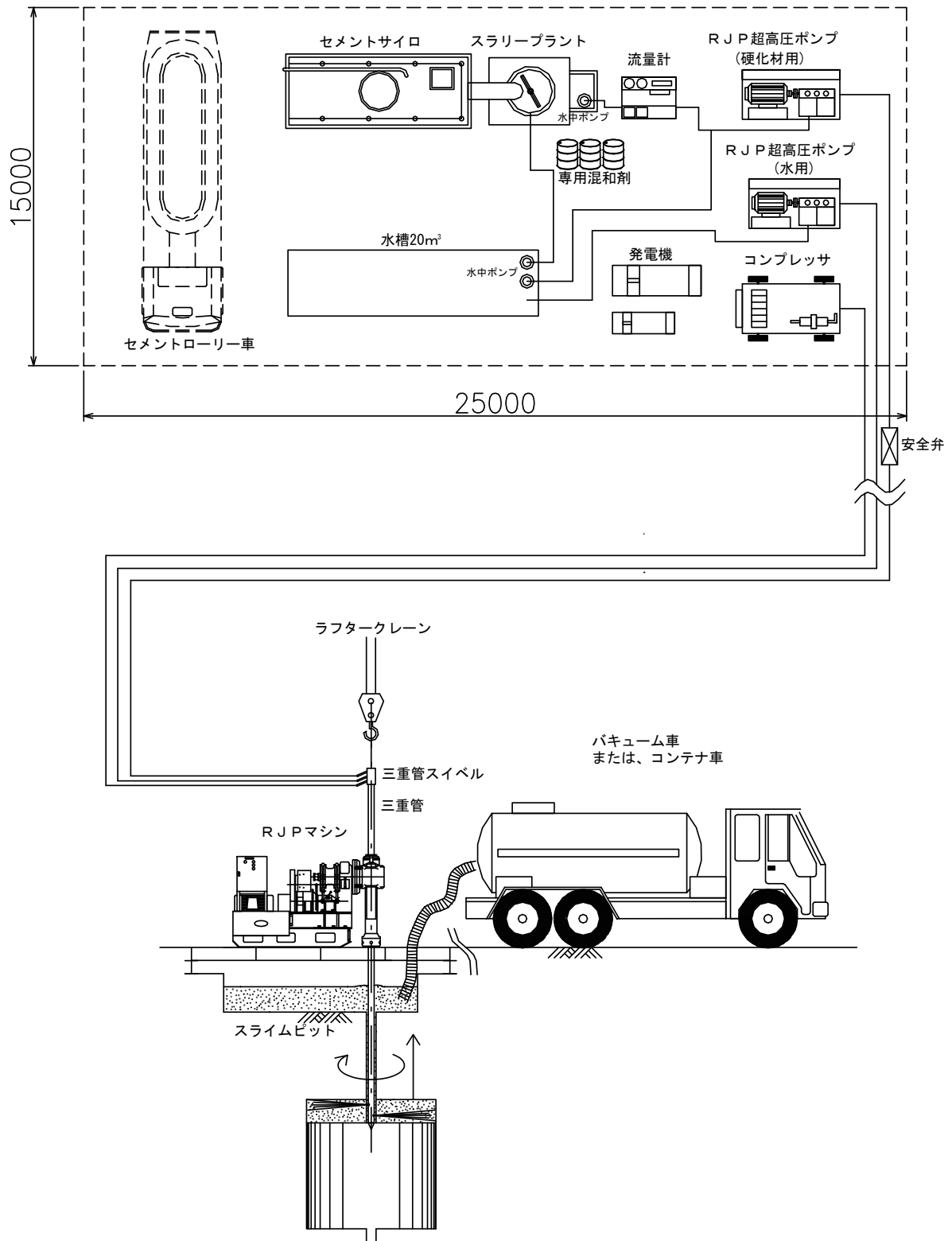


図 3.2-6 RJP 工法機械配置図

D-RJP 工法および S-RJP 工法の機械設備を表 3.2-6、表 3.2-7 に示す。

表 3.2-6 D-RJP 工法機械設備

機 械 名	仕 様、規 格	形 状 幅×長×高(m)	質 量 (kg)	動 力 (kW)	台 数
D-RJP マシン	自動制御油圧式	1.55×2.4×1.7	2,200	30	1
超高圧ポンプ (水用)	20MPa (常用) 50リットル/分	1.35×2.45×1.10	2,100	55	1
超高圧ポンプ (硬化材用)	40MPa (常用) 300リットル/分	2.85×1.7×1.7	6,500	220	1
スラリープラント	24m <sup>3</sup> /h	2.1×3.2×2.4	2,700	21	1
セメントサイロ	30 t	2.5×5.0×5.5	5,000	15	1
水中ポンプ	口径 50 mm (4 台)	0.21×0.45	(30×4) 120	(2.2×4) 8.8	4
水 槽	20m <sup>3</sup>	2.0×6.0×2.0	2,500	—	3
流 量 計	0~600リットル/分	0.5×0.85×1.25	—	—	1
コンプレッサ	1.05MPa、18~19Nm <sup>3</sup> /分	1.6×3.9×2.0	3,400	140	1
発 電 機	60kVA	0.9×2.4×1.3	1,490	57	1
発 電 機	125kVA	1.2×3.35×1.5	2,130	117	1
発 電 機	600kVA	1.65×5.28×2.4	9,000	514	1
ラフタークレーン	25 t 吊	—	—	—	1
バキューム車	10 t 車	—	—	—	所要数

表 3.2-7 S-RJP 工法機械設備

機 械 名	仕 様、規 格	形 状 幅×長×高(m)	質 量 (kg)	動 力 (kW)	台 数
S-RJP マシン	自動制御油圧式 (揺動機構付)	1.55×2.4×1.7	2,200	11	1
超高压ポンプ (水用)	20MPa(常用) 50 ㎥/分	1.35×2.45×1.10	2,100	55	1
超高压ポンプ (硬化材用)	40MPa(常用) 190 ㎥/分	2.1×3.5×1.8	5,000	150	1
スラリープラント	1,000 ㎥練り	2.1×3.2×2.4	2,700	15	1
セメントサイロ	30 t	2.5×5.0×5.5	5,000	15.4	1
水中ポンプ	口径 50 mm (3 台)	0.21×0.45	(30×3) 90	(2.2×3) 6.6	4
水 槽	20m <sup>3</sup>	2.0×6.0×2.0	2,500	—	2
流 量 計	0~200 ㎥/分	0.5×0.85×1.25	150	—	1
コンプレッサ	1.05MPa、15Nm <sup>3</sup> /分	1.63×3.8×2.07	3,400	140	1
発 電 機	60kVA	0.9×2.4×1.3	1,490	57	1
発 電 機	400kVA	1.4×4.4×2.1	5,800	331	1
ラフタークレーン	25 t 吊	—	—	—	1
バキューム車	10 t 車	—	—	—	所要数

### 3.2.8 動態観測

動態観測は、MJS 工法（3.1.8）に基本的に準拠して行う。

### 3.2.9 安全管理

安全管理は、MJS 工法（3.1.9）と同様に行う。

### 3.2.10 施工管理

#### (1) 六価クロム試験

国土交通省通達「セメント及びセメント固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」(平成13年5月7日)により、六価クロム溶出試験を行うことが指導されていることから、事前に六価クロム溶出試験を実施する。

#### (2) 施工管理

RJP 工法における施工管理項目例を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-8 施工管理項目例

No	項目	管理基準	管理方法	頻度	備考	
1	杭 芯	±50mm 以内	スケール	各 孔		
2	傾斜度	所定角度±0.1 度	スラントルール	各 孔		
3	削孔精度	削孔長 30m 以上の場合	計測器	1 回/3 孔		
4	施工長	設計長以上	ロッド検尺	各 孔		
5	硬化材	比 重	1.52±0.05	マッドバランス	1 回/日	
		噴射圧力	40MPa 以上	集中管理装置	各 孔	
		噴射量	D-RJP 300 ㊦/分以上	集中管理装置	各 孔	記録紙
			S-RJP 190 ㊦/分以上	集中管理装置	各 孔	記録紙
6	水	噴射圧力	20MPa 以上	集中管理装置	各 孔	
		噴射量	50 ㊦/分以上	集中管理装置	各 孔	記録紙
7	エア	圧 力	1.05MPa 以上	集中管理装置	各 孔	
		風 量	3~7m <sup>3</sup> /分以下	集中管理装置	各 孔	
8	ロッド	回転数	6 回/分	ストップウォッチ	各 孔	
		引抜速度	設計値	ストップウォッチ	各 孔	
		揺動角度	設計値(S-RJP)	角度計	各 孔	
9	排泥排出量	計画値	マニフェスト	毎 日		

#### 4. 積算編

CPR 工法の積算価格は、図 4-1 を基準とする。補強体造成に用いる工法の直接工事費の積算については、各工法の積算資料をもとに計上することとする。また、現場管理費・一般管理費等の諸経費については、各企業の設定基準により計上する。

CPR 工法の特許料費は、表 4-1 とする。

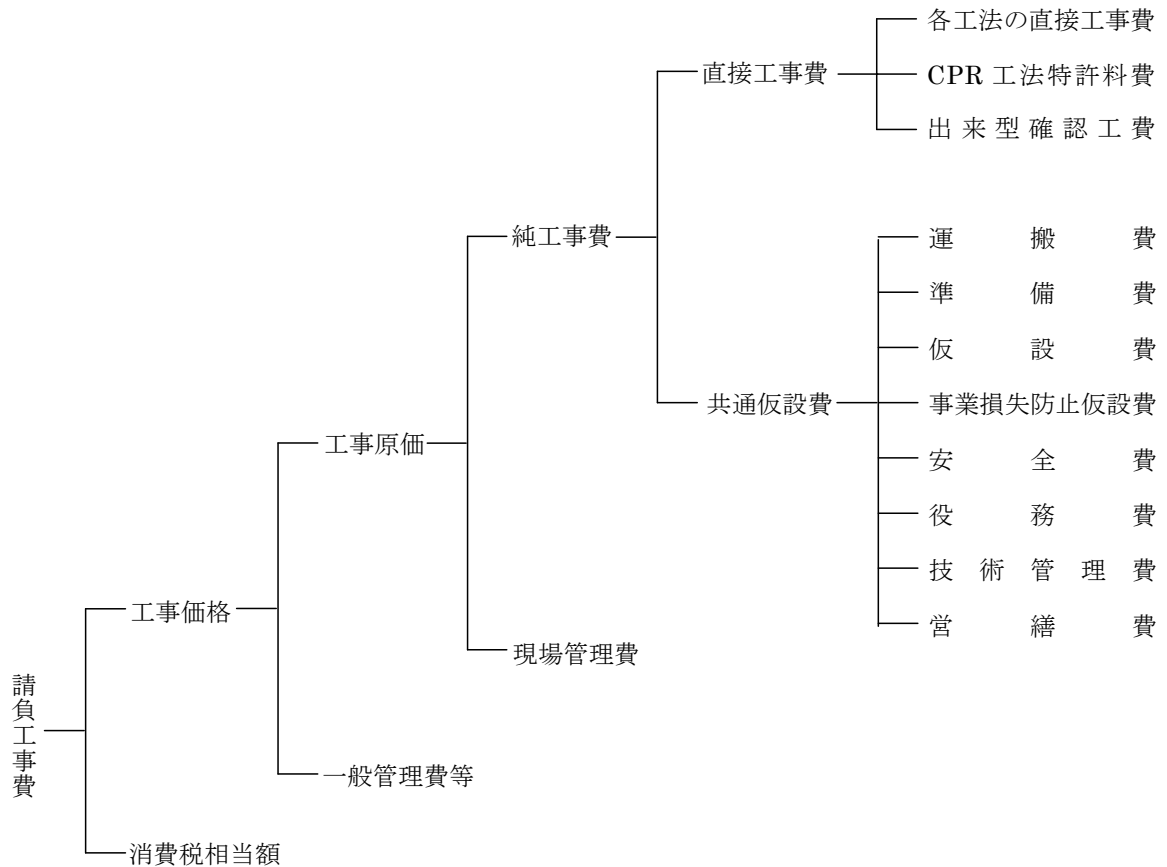


図 4-1 積算価格の構成

表 4-1 CPR 工法特許料費 (円/m<sup>3</sup>)

CPR 工法特許料費	補強体作製に必要な造成体（柱状体）の 総体積(m <sup>3</sup> ) × 3,000 円
------------	--





## 参考資料

- ◆補強体物性の参考値（実大実験結果）
- ◆設計検討例
- ◆振動低減効果の検討
- ◆鉄塔基礎の引抜対策の検討
- ◆動態観測

## ◆ 補強体物性の参考値

実大実験における補強体の物性に関する各試験結果を示す。

実験はハザマ技術研究所屋外実験場で実施した。実験に用いた杭基礎および地盤概要を図-1に示す。杭は外径 406.4mm、肉厚 9.5mm、杭長 10m の鋼管杭を用い、杭間隔は 2.0m とした。杭の打設は中掘り根固め工法(セメントミルク噴出攪拌方式)により行った。杭頭処理は RC 製のフーチング(3.8×3.8×0.6m)に埋め込み長 0.5m とし、杭頭剛結条件とした。地盤は地表から 2m 程度の盛土の下部に N 値が 1 程度の軟弱なローム、粘性土が約 5m 続き、さらに N 値 5~10 の粘土が 1.5m 存在し、それ以深は N 値 40 程度の砂層が存在する。杭先端は N > 40 程度の砂質土層に約 1m 根入れした。

補強体は、MJS 工法を用いた斜め施工により 3.8×3.8×2.0m のブロック状に作製した。補強体の設計強度は 1MN/m<sup>2</sup> である。

各試験結果の平均値を以下に示す。

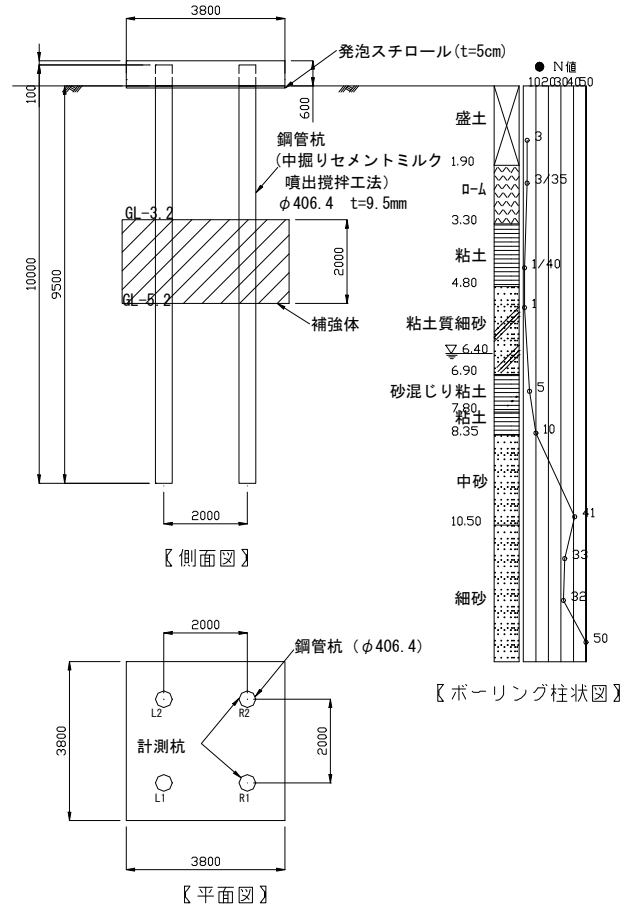


図-1 実大実験模型概要図

表-1 弾性波速度試験

P 波速度 $V_p$	2140 m/sec
S 波速度 $V_s$	950 m/sec
せん断剛性 $G$	1340000 kPa
ヤング率 $E$	3680000 kPa
体積弾性係数 $K$	4950000 kPa
ポアソン比 $\nu$	0.375

表-2 単位体積重量 (図-3 参照)

単位体積重量 $\gamma_t$	14.5 kN/m <sup>3</sup>
-------------------	------------------------

表-3 圧縮試験

圧縮強度 $q_u$	4.4 MN/m <sup>2</sup>
弾性係数 $E_{50}$	1460000 kPa
比例係数 $a$ ( $E_{50}=a \times q_u$ )	339

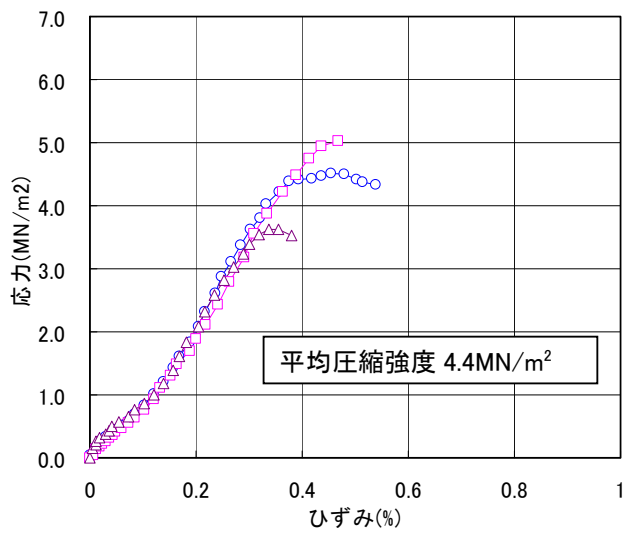


図-2 圧縮試験結果 (材令 4 週)

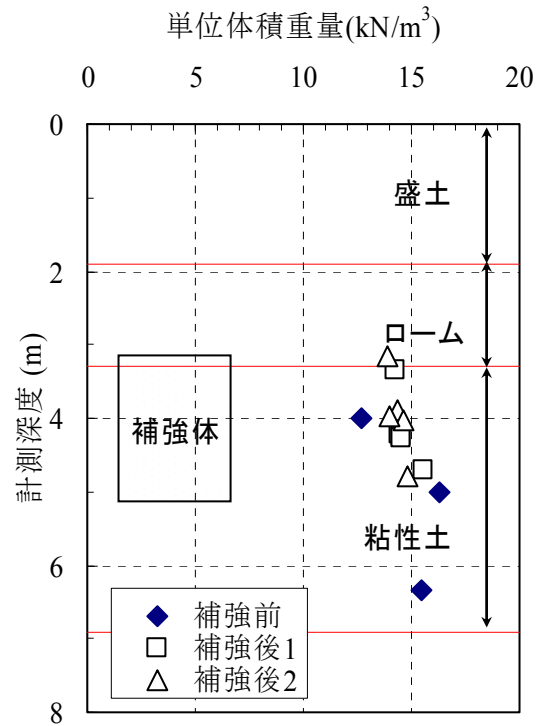


図-3 補強体の単位体積重量

## ◆ 設計検討例

橋脚基礎を対象としたCPR工法の設計検討事例を示す。設計検討は2.設計編 図 2.2-1に示す設計検討フローに従って実施した。

### 1. 事前調査

基礎構造（杭種、杭長、杭径、杭間隔、杭頭接合条件、フーチング形状）、上部構造および地盤条件は、既存資料および地質調査結果から必要な情報が得られている。また、埋設物調査結果から、フーチング下部および基礎周辺に埋設物は存在しないことを確認している。

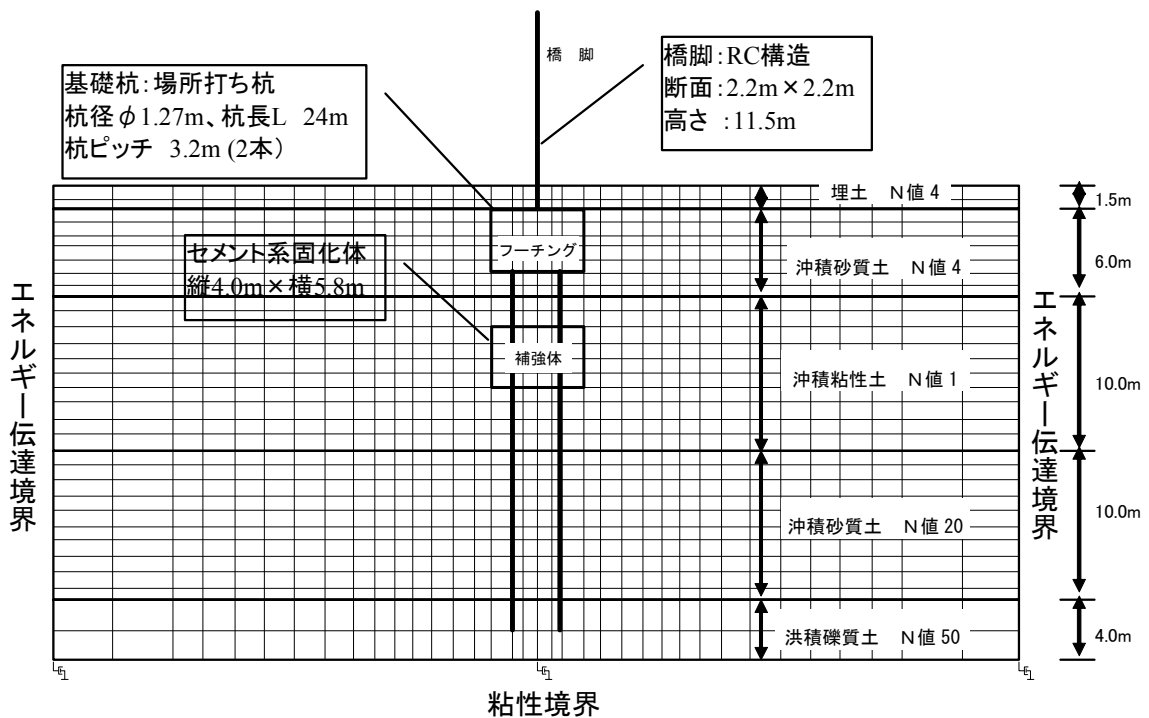


図-1 解析モデル

### 2. 解析モデルの設定

解析モデルを図-1に示す。対象とした基礎構造は道路橋の橋脚基礎で、杭径 $\phi$ 1270mm、杭長 $L=24$ mの場所打ち杭が杭間隔3.2mで橋軸方向に3列、橋軸直角方向に2列の計6本配置されている。杭頭はコンクリート製のフーチングが設置され、さらに高さ11.5mの橋脚を有する。地盤は、沖積低地を想定し地表面から、緩い砂層および軟弱な粘性土が約18m存在し、GL-30m程度から支持層となるN値50の基盤面が存在するものである。FEMのモ

表-1 地盤モデルパラメーター一覧

土層区分	埋土	砂質土	粘性土	砂質土	礫質土
平均N値	4.0	3.8	0.9	20.0	50.0
単位体積重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	16.0	18.5	16.5	19.0	20.0
せん断波速度 $V_s$ ( $\text{m}/\text{s}$ )	127	28	97	217	295
せん断剛性 $G$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	26330	1471	15695	91424	177268
減衰定数 $h$ (%)	2.0	20.0	2.0	2.0	2.0
ポアソン比 $\nu$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
動的変形曲線	岩崎・龍岡・高木による文献2)	線形	岩崎・常田・吉田による文献3)	岩崎・龍岡・高木による文献2)	横田・龍岡による文献4)
備考		液化化層 $D_e=0.05$			

デル化にあたっては、地盤、フーチングおよび補強体は平面ひずみ要素を用い、また、杭および橋脚は梁要素でモデル化した。

解析に用いた地盤および構造物の各パラメータを表-1、表-2、表-3に示す。地盤のパラメータのうち、上部沖積砂質土層(GL-1.5～7.5m)は液状化判定の結果、液状化抵抗率FLが1.0未満となり、液状化する土層と判定されたため、動的解析時のせん断剛性は低減係数 $D_E$ を考慮した一定値とした。その他の土層については、既往の調査にもとづく動的変形特性( $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ )を採用した。また、検討は橋軸直角方向を対象とし、杭、橋脚の断面積および剛性は単位奥行きあたりの値に換算している。なお、橋脚の上端には上部工による奥行き単位長さ当りの付加質量として134.5kNを与えている。

表-2 構造物モデルパラメータ

	杭	フーチング	橋脚躯体	補強体
単位体積重量 $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.5	24.5	24.5	16.5
ヤング係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	$2.50 \times 10^7$	$2.50 \times 10^7$	$2.35 \times 10^7$	$1.00 \times 10^6$
減衰定数 h (%)	5.0	5.0	5.0	5.0
ポアソン比 $\nu$	0.2	0.2	0.2	0.35
備考				粘性土対象

表-3 場所打ち杭の仕様

杭種	杭径 (m)	杭長 (m)	配筋	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
				コンクリート	鉄筋
場所打ち杭	1.27	24	D32-24本	12	270

### 3. 設計地震動の設定

設計はレベル1地震動を対象に実施した。入力地震動は図-2に示すような、1978年宮城県沖地震 (M=7.4) で観測されたレベル1相当の波形を用いた。

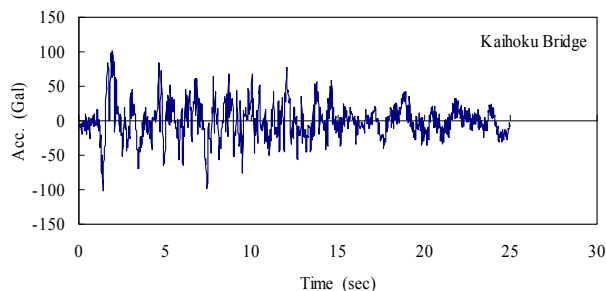


図-2 入力地震動

### 4. 補強体の設定

2.設計編 2.5補強体仕様の設定に準拠し、補強体の設定を行う。

補強体の物性は、補強体作製地盤が粘性土であることから、表-2に示す値を採用した。補強体の位置と形状の初期値は下記のように設定した。

- ① N値の分布形状から地盤変位が卓越する軟弱層厚Hは沖積砂質土層および上部沖積粘性土層とした。
- ② 補強体は地盤変位が卓越する軟弱層厚H (GL-5.5～-17.5m) の中間部GL-11.5mを中心に厚さTは3mに設定した。なお、平面寸法 (幅W) はフーチングと同じ5.8mとした。

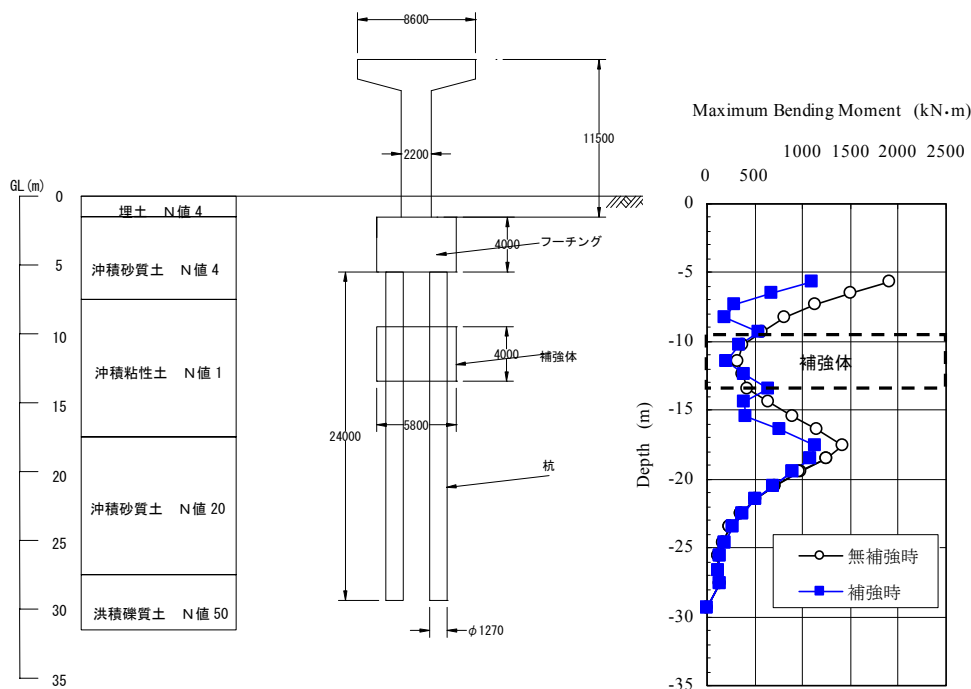


図-3 最大曲げモーメント分布

#### 5. 動的応答解析による基礎の応答値の算定

基礎の応答値の算定は、2次元等価線形動的FEM解析（プログラム名：FLUSH）により実施した。前項で設定した補強体の初期仕様を解析モデルに取り入れ応答値の算定を行った。

表-4 杭1本当りの最大発生断面力（杭頭）

	常時+地震時	
	モーメント(kNm)	軸力(kN)
無補強時	1970	-1420
補強時	1160	-1040

#### 6. 応答値の算定結果および照査

動的FEM解析結果のうち、補強前および補強後の地震時の杭体の最大曲げモーメント分布を図-3に示す。無補強時の曲げモーメント分布は杭頭部で最大値を生じ、さらにGL-18m付近の粘性土層と砂質土層の境界部の地盤剛性の変化点で増加する傾向を示した。無補強時の曲げモーメントと別途算定した常時の軸力を足し合わせた断面力に対し、コンクリートおよび鉄筋の応力照査を行った結果、コンクリート、鉄筋とも許容応力度を満足しない結果となった（表-4、5、6）。そこで、コンクリート、鉄筋の応力度が許容値を満足するように補強体の配置を決定するため、4節で設定した補強体仕様を初期値とし、補強体の厚さおよび位置を変えて応答解析、照査を繰り返し実施した。その結果、最終的に補強体厚4mを上部沖積粘性土層の中間部付近に配置することで杭の許

表-5 応力照査（コンクリート）

	コンクリート応力 (N/mm <sup>2</sup> )		判定
	計算値	許容値	
無補強時	12.9	12	×
補強時	7.5		○

表-6 応力照査（鉄筋）

	鉄筋応力 (N/mm <sup>2</sup> )		判定
	計算値	許容値	
無補強時	420	270	×
補強時	260		○

容応力度を満足する結果となった（表-4、5、6）。

## 7. 補強体の施工仕様の設定

補強体の造成は、周辺用地を侵さないように、S-RJP工法とD-RJP工法を用いて標準タイプと揺動タイプを組み合わせる。

### 7.1 設計造成径

対象地盤が粘性土でN値が1程度、削孔長Lが10～20mであることから、設計造成径および引上速度は表-7に示す値とした。（2. 設計編 2.8.1参照）

表-7 RJP工法の設計造成径および引上速度

	設計造成径 (m)	引上速度
標準タイプ (D-RJP工法)	3.35 (=3.5-0.15)	15分/m
揺動タイプ (S-RJP工法)	2.85 (=3.0-0.15)	20分/m

### 7.2 配置

造成体の配置は、杭の位置を考慮し、揺動角度を適切に組み合わせ未改良部が生じないように各造成体を配置する。図-4に配置例を示す。

### 7.3 打設順序

造成体の打設順序は、先行して打設した造成体が障害となり未改良部が生じないように設定する。図-4に打設順序を示す。

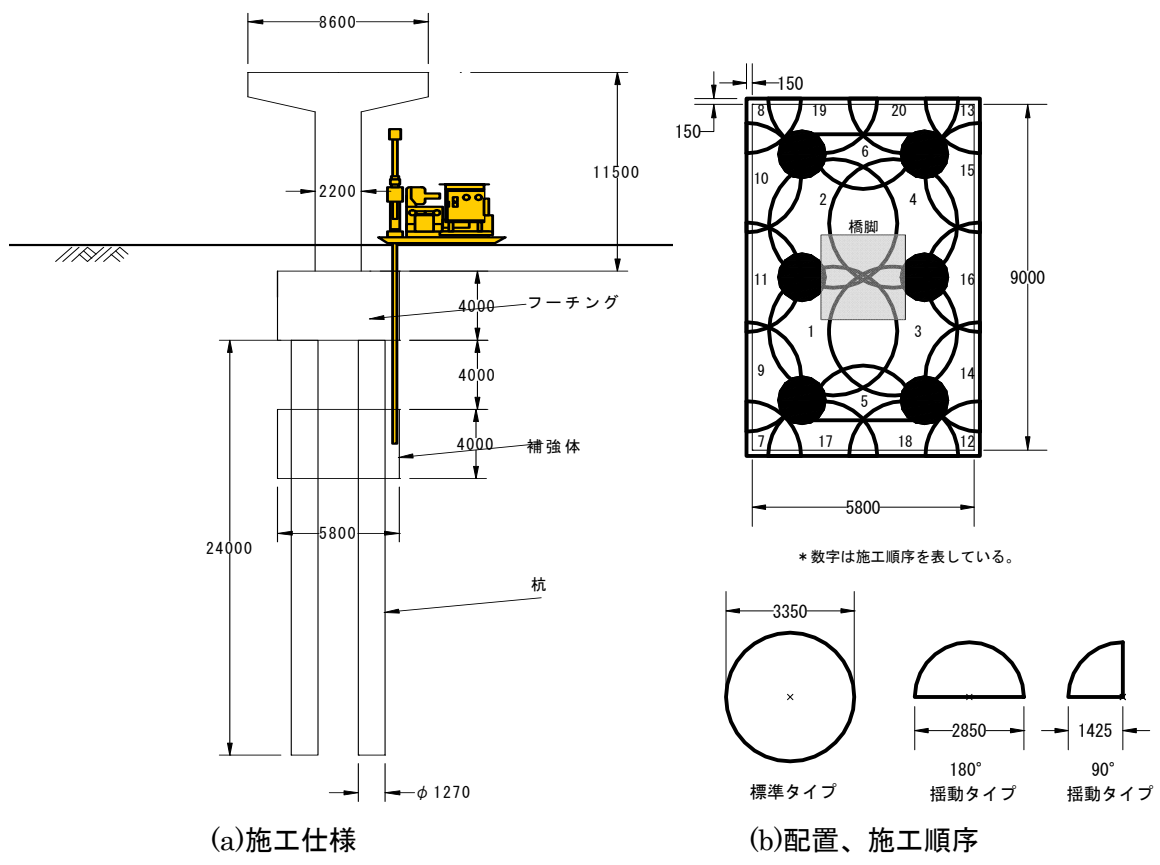


図-4 補強体施工仕様、配置、順序の設定例

- 1) 社) 日本道路協会(2002) : 道路橋示方書・同解説V耐震設計編
- 2) 岩崎、龍岡、高木(1980) : 地盤の動的変形特性に関する実験的研究 (II) ,土木研究所報告153号の2
- 3) 岩崎、常田、吉田(1980) : 沖積粘性土の動的変形、強度特性について、第15回土質工学研究発表会、pp.625-628
- 4) 横田、龍岡(1982) : 不攪乱洪積粘土のせん断変形係数について、土木学会第32回年次学術講演概要集、第3部、pp.257-258



## ◆ 振動低減効果の検討

### ◆ 概要

CPR 工法の振動低減効果を検討するため、実大の杭基礎模型を用いた起振機試験を実施した。起振機試験は CPR 補強前後において実施し、杭基礎の振動特性（変位振幅、固有振動数）を把握することを目的として実施した。試験は図-1 に示す実大杭模型のフーチング上面中央に最大加振力 40 kN の起振機を設置し、1~15Hz の周波数の正弦波で段階的に加振した。加振は水平、鉛直に対して実施した。表-1 に加振方法を示す。計測はフーチング上面に微小変位計、加速度計を図-2 に示すように配置して行った。

### ◆ 試験結果

図-3 に加振周波数と起振力で正規化変位振幅の関係をプロットした。事前検討の結果、杭-フーチング系（地盤なし）の固有振動数は、無補強で 1.6Hz、補強時で 2.1Hz、また、地盤の固有振動数は常時微動測定の結果、約 3.1Hz であった。図-3 より、加振周波数 1~15Hz の全周波数帯において補強前に比べ補強後の変位振幅が減少していることがわかる。これは、補強体により、杭基礎構造の剛性が増加したためと考えられる。図-4 に補強前後での変位振幅の低減率を示す。この図から、水平加振時で 2~3 割、鉛直加振時で 3~4 割の変位低減効果があることが明らかとなった。したがって、交通振動等が問題となる橋脚基礎等に適用すれば、周辺への振動低減効果も期待できる。

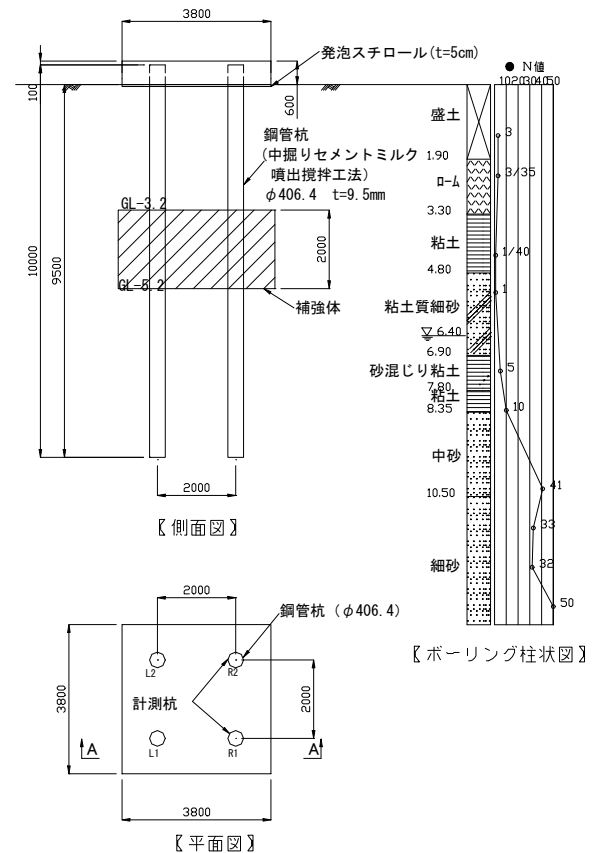


図-1 実大実験模型概要図

表-1 起振機試験加振方法

加振周波数	1~15Hz
周波数ピッチ	水平加振 0.2~0.4Hz
	鉛直加振 2.5Hz
加振モーメント	水平加振 40N・m (1.0~10.0Hz)
	20N・m (10.0~12.2Hz)
	5N・m (10.0~12.2Hz)
	鉛直加振 20N・m (2.5~15.0Hz)

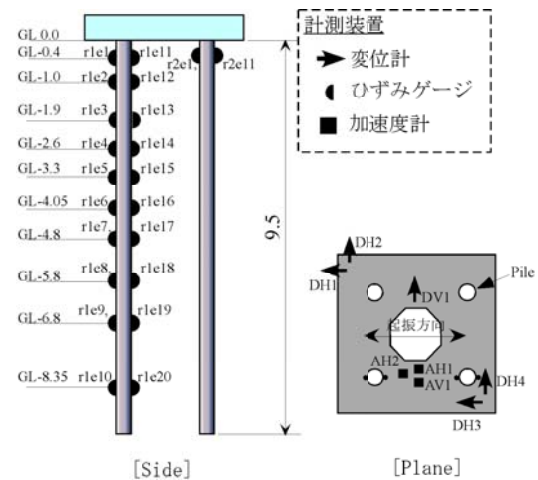
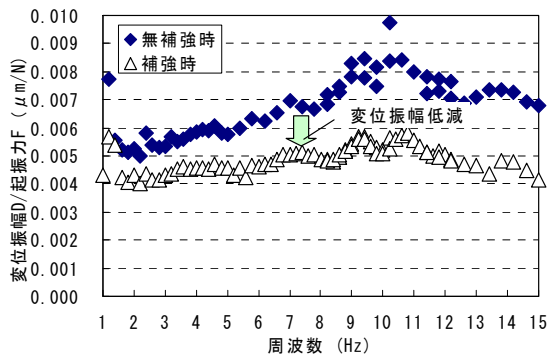
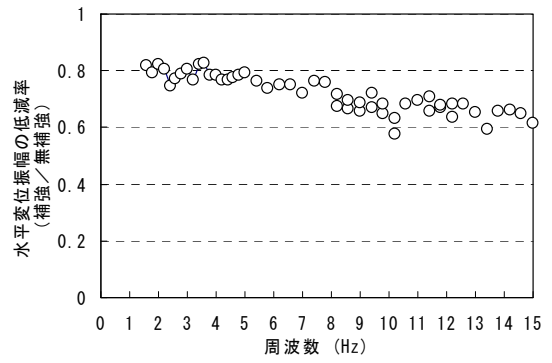


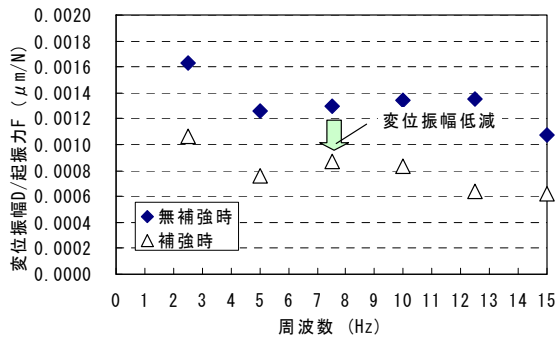
図-2 計測装置（起振機試験）



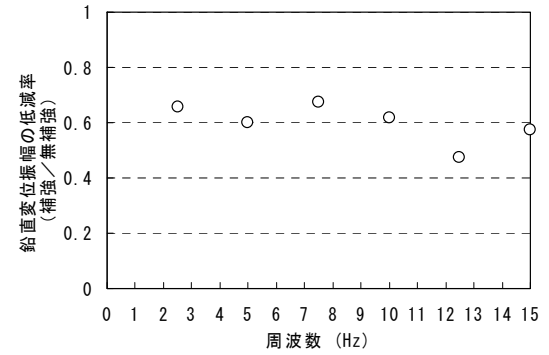
(a)水平加振



(a)水平加振



(b)鉛直加振



(b)鉛直加振

図-3 変位振幅スペクトル

図-4 変位振幅低減率

## ◆ 鉄塔基礎の引抜対策への適用検討例

CPR 工法の鉄塔基礎の引抜対策への適用性を検討するため、図-1 に示す標準的な杭基礎形式の鉄塔基礎に風荷重による引抜力（フーチング毎 1,000kN）が作用した場合の適用検討例を以下に示す。ここで、CPR 工法による補強後の引抜に対する抵抗力  $P$  は図-2 に示す  $P1 \sim P4$  とし、補強前の引抜に対する抵抗力  $P$  は  $P4$  の杭のせん断抵抗のみとした。

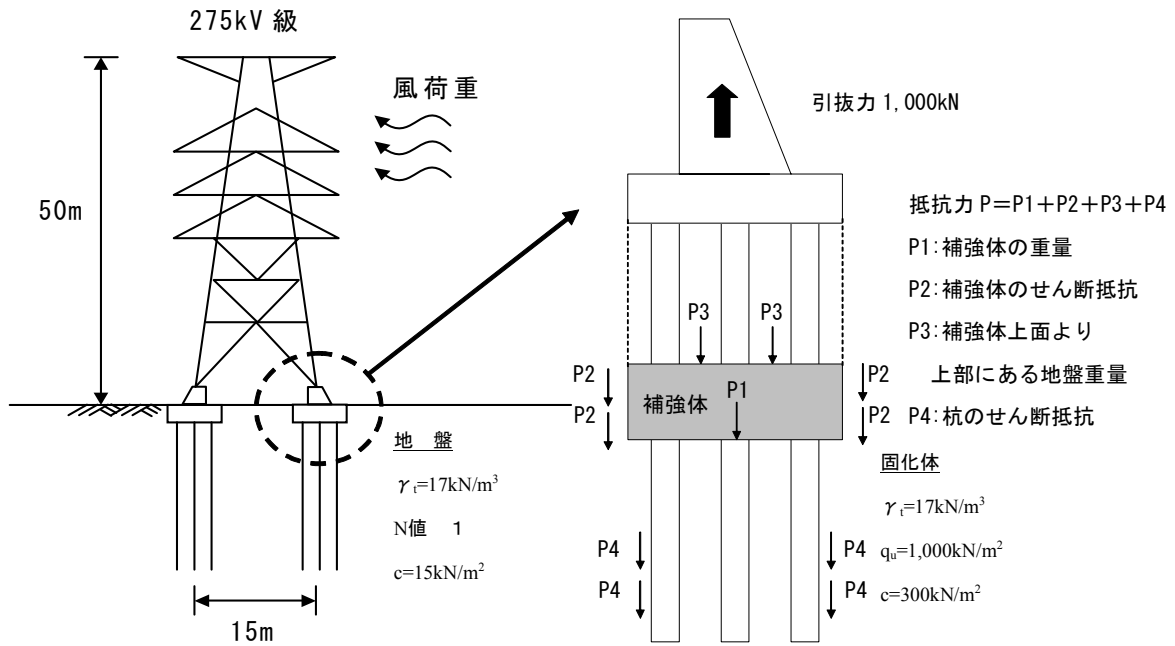


図-1 検討対象鉄塔の概要

図-2 補強後に考慮する引抜に対する抵抗力

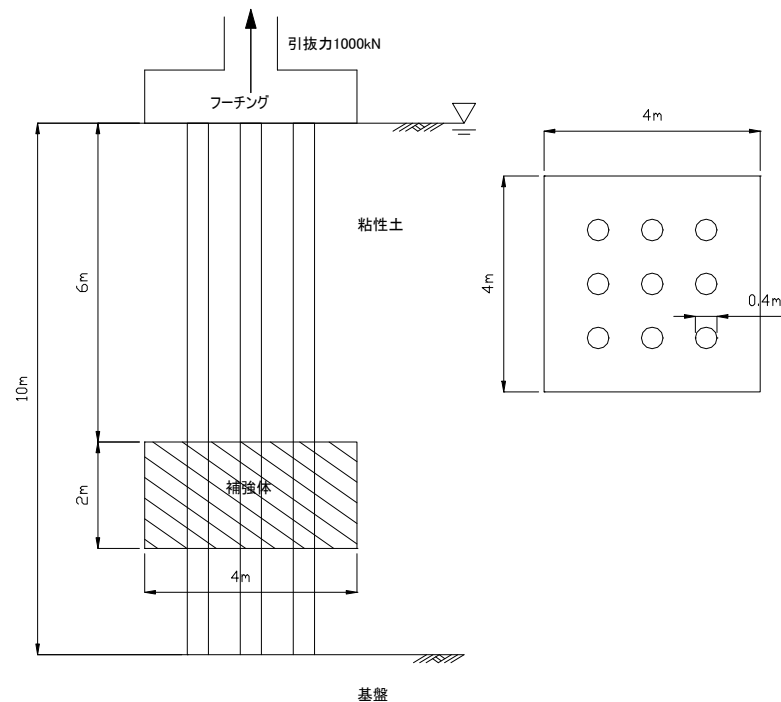


図-3 検討杭基礎モデル (PC杭)

## 検討条件

### ①PC 杭の仕様：

杭径  $\phi$  400mm (B種)、杭長  $l=10\text{m}$ 、杭の周長  $U=1.256\text{m}$

コンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}=50\text{MN/m}^2$

有効プレストレス  $\sigma_{ce}=7,700\text{kN/m}^2$

等価換算断面積  $A_e=0.0805\text{m}^2$

### ②粘性土の物性値：

単位体積重量  $\gamma_t=17\text{kN/m}^3$

N値 1、粘着力  $c=15\text{kN/m}^2$

### ③補強体の物性値：

単位体積重量  $\gamma_t=17\text{kN/m}^3$

一軸圧縮強さ  $q_u=1,000\text{kN/m}^2$

粘着力  $c'=100\text{kN/m}^2$

厚さ  $T=2\text{m}$  (GL-6m~8m)、補強体の周長  $U'=16\text{m}$

## 検討結果

### (1)杭の引抜に関する安全性

#### ①補強前

杭の極限引抜力  $P_u=U \cdot l \cdot c$

$$=1.256 \times 10 \times 15 = 188.4\text{kN}$$

杭の許容引抜力  $P_a=P_u/n+W$

$$=188.4/3+0 = 62.8\text{kN}$$

ここで、 $n$ ：安全率（暴風時は3）、 $W$ ：杭の有効重量（今回は無視）

杭1本当たりの許容引抜力  $P_a=62.8\text{kN}$  であるため、杭全体（9本）のせん断抵抗  $P_4$  は  $P_4=62.8 \times 9 = 565.2\text{kN}$  となる。

したがって、補強前の抵抗力  $P=P_4 = 565.2\text{kN} <$  作用引抜力  $1,000\text{kN}$  となるため、補強前の引抜に関して OUT となる。

#### ②補強後

補強体の平面積  $A=4 \times 4 - (0.2^2 \times \pi \times 9) = 14.87\text{m}^2$  であるため、引抜時に抵抗する補強体の重量  $P_1$  と補強体上面より上部にある地盤重量  $P_3$  の和  $P_1+P_3$  は、 $P_1+P_3=14.87 \times (6+2) \times (17 \cdot 10) = 832.7\text{kN}$  となる。

また、補強体のせん断抵抗  $P_2$  は、 $P_2=U' \cdot T \cdot c/n = 16 \times 2 \times 15/3 = 160.0\text{kN}$ 、補強後の杭全体（9本）のせん断抵抗  $P_4$  は、 $P_4 = (U \cdot l \cdot c/n) \times 9 = (1.256 \times 10 \times 15/3) \times 9 = 113.0\text{kN}$  となる。ここで、補

強後の杭のせん断抵抗に寄与する杭長  $l$  は補強体下面以深の  $2\text{m}$  とした。

したがって、補強後の抵抗力  $P=P_1+P_2+P_3+P_4=1,105.7\text{kN}$  > 作用引拔力  $1,000\text{kN}$  となるため、補強後の引抜に関して安全性が確認された。

### (2) 杭本体の安全性

引拔力  $1,000\text{kN}$  が作用した場合の杭 1 本当たりの分担引拔力  $N$  は  $N=1,000/9=111.1\text{kN}$  であり、杭のコンクリート応力  $\sigma_c$  は

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \sigma_{ce} + N/Ae \quad (\pm M/Ze) \\ &= 7,700 + (-111.1)/0.0805 = 6,320 \text{ kN/m}^2 > 0.0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

となり、杭体の安全性が確認された。

### (3) 杭と補強体の付着の安全性

引拔時に杭 1 本当たりに作用する分担引拔力  $N$  は  $N=111.1\text{kN}$  であり、杭と補強体の付着面に作用するせん断応力  $\tau$  は、

$$\tau = 111.1 / (0.4 \times 3.14 \times 2) = 44.2 \text{ kN/m}^2 < \text{付着力 } f = \text{粘着力 } c'/3 = 100\text{kN/m}^2$$

となり、杭と補強体の付着に安全性が確認された。

## ◆ 動態観測

動態観測を行う場合、事前に既設構造物の近接程度の判定や近接施工における管理値を確認しなければならない。下記にその参考資料を示す。

### (1) 近接程度の判定

「近接工事設計施工マニュアル：東日本旅客鉄道株式会社」より、高圧噴射攪拌工法（二重管工法、三重管工法）施工時における近接程度の判定を図-1、近接程度の区分と対策の内容を表-1に示す。

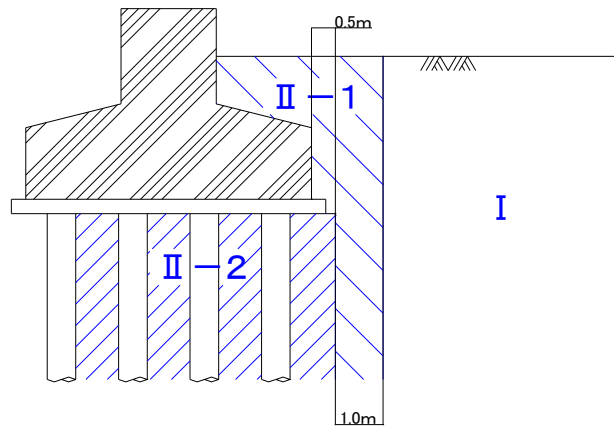


図-1 近接程度の範囲

表-1 近接程度の区分<sup>1)</sup>

近接程度の区分		対策内容
区分	内容	
無条件範囲 (I)	新設構造物の施工により既設構造物に対し、変位や変形等の影響が及ばないと考えられる範囲。	一般に特別の対策を必要としない。
要注意範囲 (II-1)	新設構造物が補助工法の場合で、その施工により既設構造物に対し、通常は変位や変形等の有害な影響はないとして良いが、まれに影響があると考えられる範囲。	補助工法の施工条件、施工法等の検討を原則として実施する。また、補助工法を安全に進めるため、対象となる既設構造物および周辺地盤や新設構造物の挙動を計測して管理する。
要注意範囲 (II-2)	新設構造物が補助工法の場合で、その施工により既設構造物に対し、通常の施工法によれば変位や変形等の影響が及ぶと考えられる範囲。	II-1に加え十分な検討を加えた施工法、綿密な施工管理および注意深い計測のもとで施工する。

MJS工法の場合、変位の発生原因である地盤内の圧力の増減を常時観測しながら、排泥吸引量を調整することにより、地盤内の圧力の調整が可能であるため、二重管工法・三重管工法と比較

すると構造物に与える変位や変形は少ないが、近接程度の判定としては、図-1 を採用する。

(2)近接施工における管理値

「計測結果の解釈と計測管理：社団法人地盤工学会」より、既設構造物への影響に関する許容値・管理値に対する文章を下記に示す。

既設構造物に近接して施工される山留め掘削・トンネル建設などの地中構造物を建設する場合に既設構造物に有害な影響を与えないように許容値・管理値が決められている。それには構造上の安全に関する許容値に加えて、各構造物ごとに期待される機能上の許容値の両者を考慮しなければならない。そのため、許容値・管理値についても当然各企業体ごとに考え方が紹介されている。具体的な許容値・基準値を決定する際に参考になるのが過去の事例であるが、1972年～1982年までの関連文献調査から情報整理をし、用途、企業者、既設構造物形式ごとに許容量と管理基準値の実例を一覧としてもものがある。更に1984年～1995年までの関連文献調査にもとづき最近の知見を取り入れ、情報が表に示されている。ここでは鉄道施設、道路施設および建築施設について実例のみを紹介しておく。なお、これらの表中の数値は普遍的な意味を持つものではなく、検討対象としている構造物の安全性・機能性および地盤条件・施工条件によって変化するものであり、具体的な適用に当たっては当該の参考文献に戻って検討が必要なのは言うまでもない。

表-2 近接工事における管理値の実績<sup>2)</sup>

既設構造物		項目	管理値
用途	構造物		
鉄道施設	高架橋(杭基礎)	軌道沈下	1次 2.0mm
			2次 3.5mm
3次 5.0mm			
4次 7.0mm			
	高架橋(杭基礎)	相体沈下 傾斜	12mm 3' 25"
道路施設	杭基礎	変形	10mm
	高架橋(杭基礎)	ピア傾斜	1次 3分
			2次 6分
	橋脚(杭基礎)	ピア沈下	1次 3mm
2次 6mm			
		水平変位 鉛直変位	7mm 5mm
建築物	杭基礎	地表面沈下	25mm

また、「道路示方書・同解説 IV下部構造編：社団法人日本道路協会」<sup>3)</sup>より、常時の許容変位量に対する文章を下記に示す。

常時・暴風時及びレベル1地震時における基礎の許容変位としては、条文に示のように、橋の健全性を保持するように、上部構造及び下部構造から決まる変位を考慮して定めるものとしたが、次に示す変位を考慮する必要がある。



#### ④上部構造から決まる許容変位

上部構造に有害な影響を及ぼさないように基礎の変位を制限する値であり、橋脚天端や支承位置での変位が与えられた場合の値に相当する。

#### ⑤下部構造から決まる許容変位

弾性体基礎の場合、過大な基礎の水平変位は有害な残留変位の原因となる。このため、基礎の安定性を確保する意味から、一般的な弾性体基礎においては基礎の残留変位が大きくなる範囲に基礎の水平変位を抑えるのが望ましい。すなわち、基礎の水平変位を、残留変位が大きくなり工学的に弾性挙動として評価できる範囲におさえる意味で規定するのが下部構造から決まる許容変位である。許容水平変位量は、多数の載荷試験結果に基づき、原則として基礎幅の1%とする。ただし、基礎幅が5mを越える大型の弾性体基礎の許容変位に関しては載荷試験データが少ないこと等から50mmとし、杭径1.5m以下の杭基礎においては過去の実績を考量して15mmとする。なお、許容変位は、設計上の地盤面で照査することを原則とする。

#### 参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社：近接工事設計施工マニュアル、2004年
- 2) 社団法人地盤工学会：計測結果の解釈と計測管理、1999年
- 3) 社団法人日本道路協会：道路示方書・同解説 IV下部構造編、平成14年

## ◆ はりバネ系モデルによる簡易設計法（案）

### 1. 概要

ここでは、はりバネモデルを基本とした簡易設計法について示す。図-1 に設計フローを示す。従来の動的解析を使用した設計フローでは、杭の応答値の算定を動的解析により実施していたのに対し、簡易設計法では、はりバネ系モデルを用いた静的解析によるものとした。

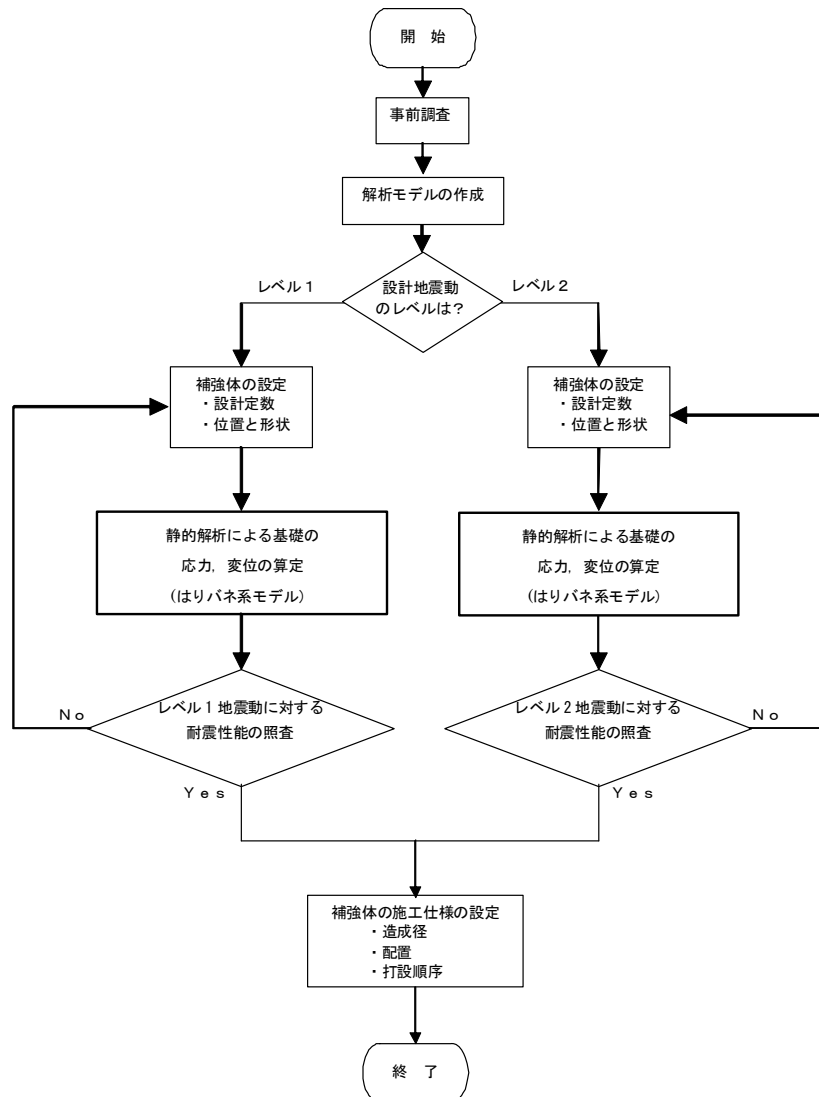
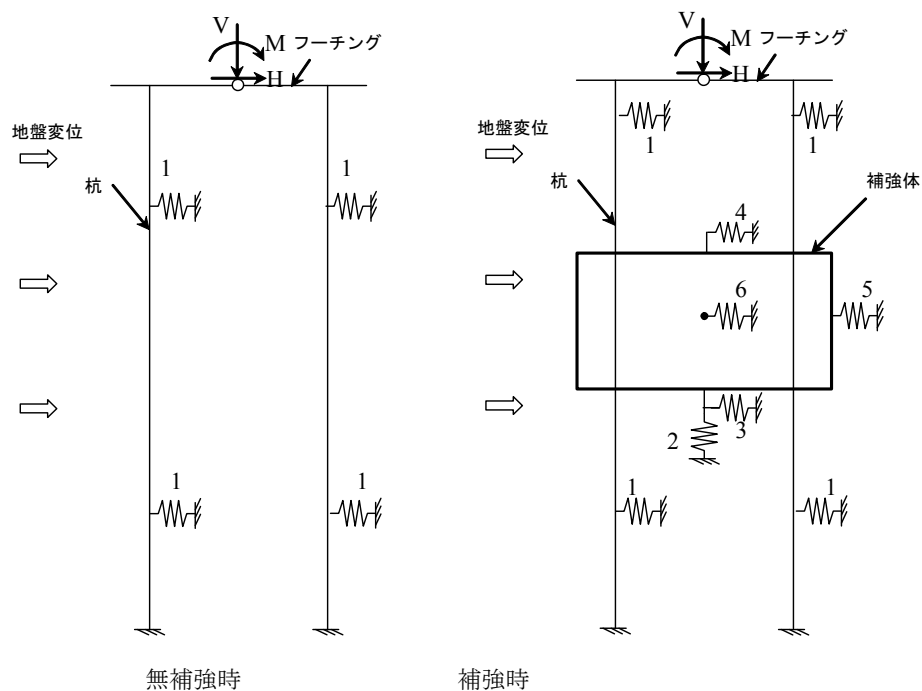


図-1 CPR 工法の簡易設計フロー

◆構造モデル

基礎構造のモデル化を図-2 に示す。ここでは、杭、フーチングをはり要素で、地盤を Winkler の地盤ばねを用いてモデル化している。はり要素およびバネ要素は、材料の非線形性等 ( $M \sim \phi$  関係、 $p \sim y$  関係) の特性を適切に表現できるものとする (図-3 参照)。補強体は、その形状を直接的に評価できるよう平面ひずみ要素を用いる。ここでは便宜上、補強体水平方向および鉛直方向の直方向ばね (ばね 2 と 5) は、载荷方向前面および底面の各節点に面積に比例して設置し、補強体上下面と側面 (面外方向) のせん断ばね (ばね 3、4、6) は、それぞれの面の中心位置 1 箇所とする。また、杭に設置した水平方向ばねの設置間隔は最大で杭径と同程度となるよう配置する。なお、水平地盤ばね値への群杭効果の影響は、必要に応じて考慮するものとする。



- 1 : 杭の水平方向ばね、2 : 補強体底面の鉛直方向ばね、  
 3 : 補強体底面のせん断ばね、4 : 補強体上面のせん断ばね、  
 5 : 補強体前面の水平方向ばね、6 : 補強体側面のせん断ばね

図-2 構造のモデル化

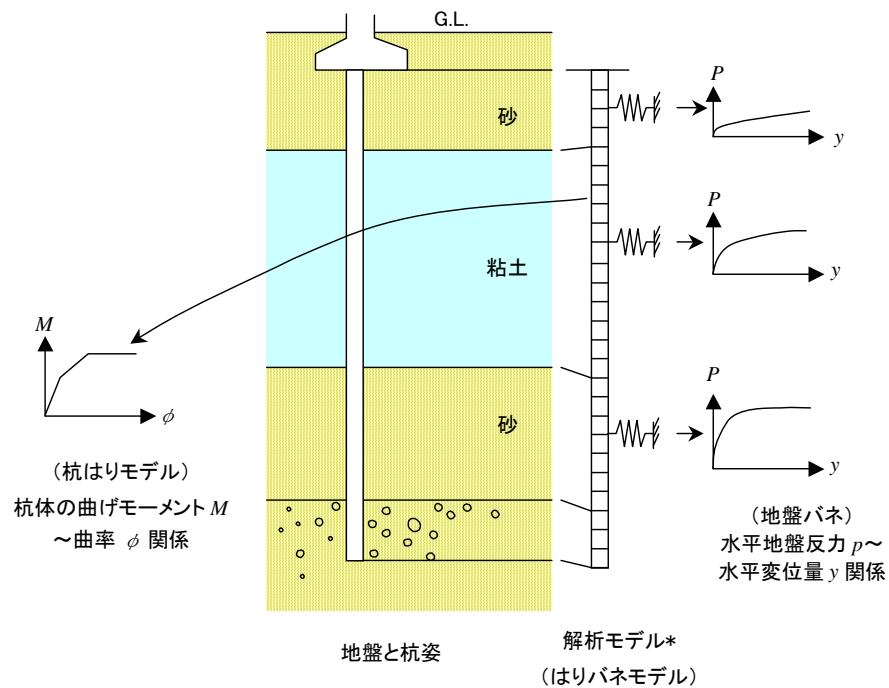


図-3 設計実杭と解析モデル<sup>文献1)</sup>に加筆

(\*分割は各要素長が杭径以下になるのが理想)

◆計算方法および外力

応力および変形の算定は、上記で設定した構造モデルに対し、別途算定した杭頭慣性力および地盤変位を外力とした静的解析法を用いる。なお、杭頭慣性力と地盤変位の両方を考慮する場合は、地盤ばねの取り扱いや応力の重ね合わせ等、構造物の特性を十分考慮し決定する必要がある(たとえば文献1))。

◆照査項目

解析結果を用いて耐震性能を照査するものとする。標準的な照査項目は、表-1 に示すように杭の応力(軸力、せん断、曲げ)、基礎の変位、回転角である。

また、必要に応じて、補強体の安定性、上部工部材の照査を実施する。詳細は各指針等で対象構造物ごとに定められた照査基準に従うものとする。

表-1 耐震性能照査項目の一例

	レベル1	レベル2
照査項目	杭体応力 ≤ 許容応力 基礎の変位、回転角 ≤ 許容値 (補強体応力 ≤ 許容値)	杭体断面力 ≤ 終局耐力 基礎の変位、回転角 ≤ 許容値 (補強体応力 ≤ 許容値)

2. 設計例

■構造形式（鋼管杭  $\phi 406.4\text{mm}$ ,  $t=9.5\text{mm}$ ,  $L=10\text{m}$ ）

検討対象は、道路橋の橋脚基礎である。図-1 に構造図および地盤柱状図を示す。

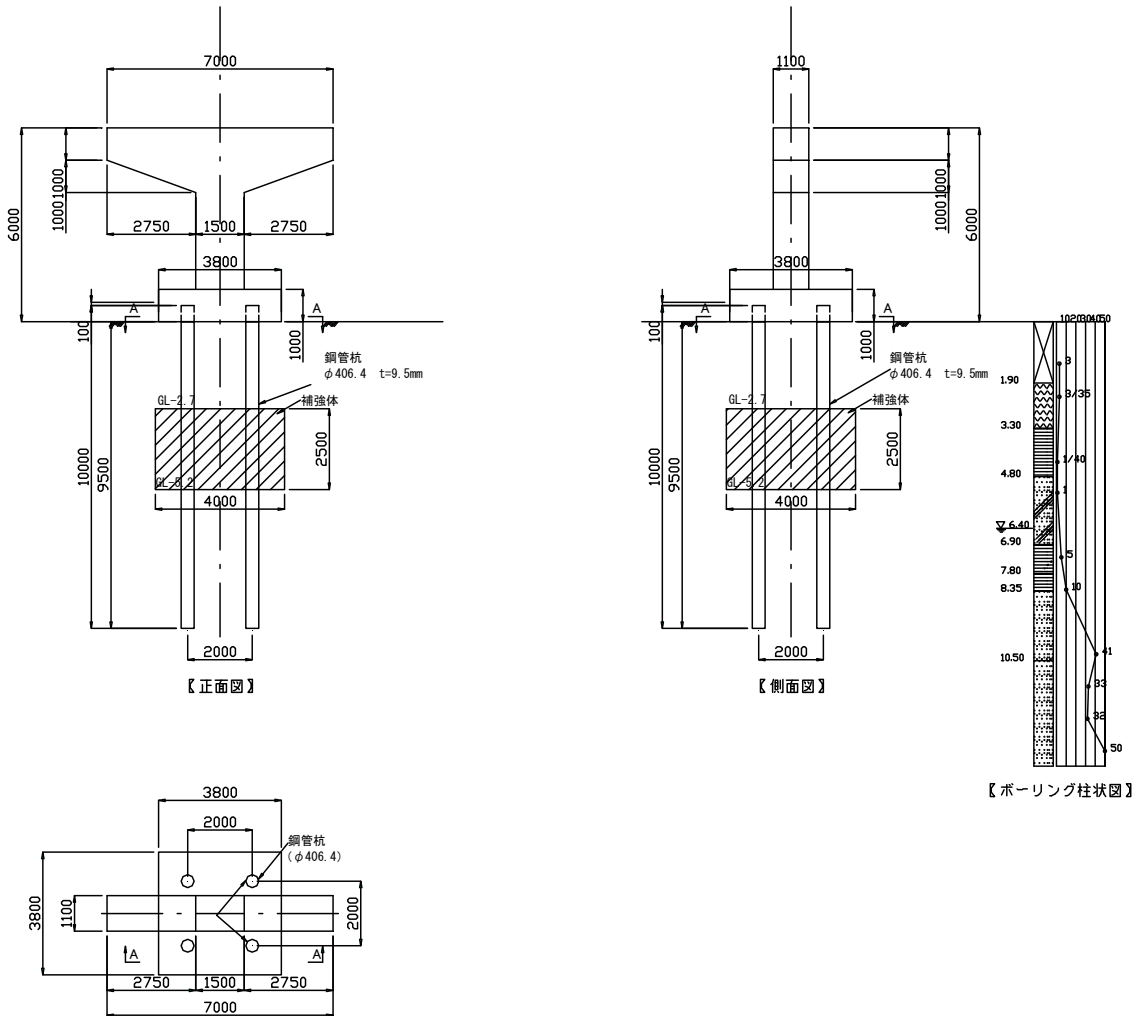


図-1 設計対象とする既設橋脚基礎

■外力条件（レベル1地震動、 $K_h=0.25$ ）

ここでは、杭頭慣性力に対して検討する。

杭頭慣性力を算定する際、考慮する質量として以下のものを想定した。

- ・ 上部構造
- ・ 橋脚躯体
- ・ フーチング

これらの合計重量に設計水平震度  $K_h$  を乗じたものを杭頭慣性力  $H$  としてフーチング中心位置に作用させることとした。杭頭慣性力  $H$  は下記のように算出される。

合計重量： $W=2400\text{kN}$

設計水平震度： $K_h=0.25$

杭頭慣性力： $H=W \times K_h=600\text{kN}$

■断面力、変位の算定

(1)解析条件

解析モデルを図-2 に示す。また、鋼管杭および地盤の物性値を表-2 および表-3 に示す。

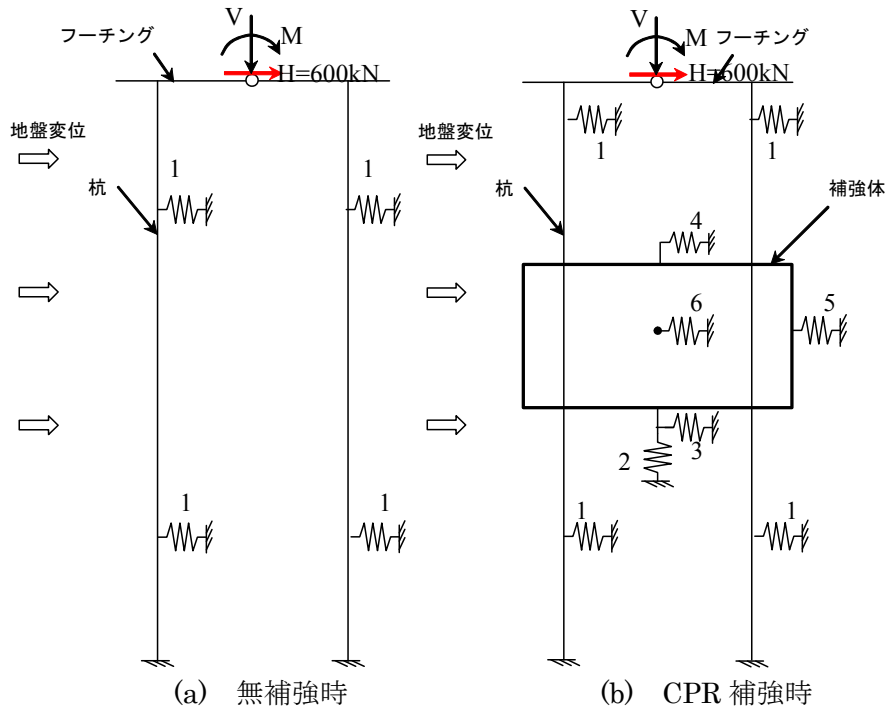


図-2 解析モデル

ここで、杭およびフーチングは弾性梁要素を用いている。フーチングは剛梁を想定し、鋼管杭の100倍の剛性とした。次に地盤ばねは図-2に示す①～⑥の6種類のばねを考慮した。①水平方向ばね値は、実大杭の水平載荷試験結果から $y^{-\frac{1}{2}}$ 則を用いた式(1)で表現できる<sup>1)</sup>ことが知られており、これらの関係がCPR工法の実大水平載荷試験結果の挙動を比較的良く再現できた<sup>2)</sup>。従って、簡易設計法においても式(1)の関係をもとに図-3に示す水平地盤反力～水平変位量関係を採用することとした。

$$0.0 \leq y \leq 0.1 \quad : \quad K_h = 3.16 \cdot K_{h0}$$

$$0.1 < y \quad : \quad K_h = K_{h0} \cdot y^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここに、 $K_h$  : 水平地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$K_{h0}$  : 基準水平地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$y$  : 無次元化水平変位量

また、 $K_{h0}$  はN値をもとに文献<sup>1)</sup>の方法により算定した。解析に用いた基準水平地盤反力係数を表-4に示す。

杭に設置した水平方向ばねの設置間隔は杭径(約0.4m)と同程度となるよう配慮した。また、水平地盤ばね値への群杭効果の影響については、対象基礎の杭間隔が5Dとある程度広いため、

今回は考慮していない。なお、外力は杭頭水平荷重  $H (=600\text{kN})$  のみを想定している。

表-2 鋼管杭物性値 (はり要素)

鋼管杭 $\phi 406.4$ $t=9.5$ $L=10.0\text{m}$		
断面積	$A (\text{m}^2)$	0.011846
断面2次モーメント	$I (\text{m}^4)$	0.000233
断面係数	$Z (\text{m}^3)$	0.001149
ヤング率	$E (\text{kN}/\text{m}^2)$	$2.1 \times 10^8$
曲げ剛性	$EI (\text{kN}\cdot\text{m}^2)$	4901.1

表-3 地盤物性

No.	土層名	N値	単位体積重量 $\gamma (\text{kN}/\text{m}^3)$	ヤング係数 $E (\text{kN}/\text{m}^2)$
1	盛土	3	17.6	2100
2	ローム	3	12.5	2100
3	粘土	1	15.1	700
4	粘土質細砂	1	17.6	700
5	砂混じり粘土	7	15.7	4900
6	粘土	7	15.7	4900
7	中砂	24	17.6	16800

ここで,  $E=700\text{N}$

$N$  :  $N$ 値

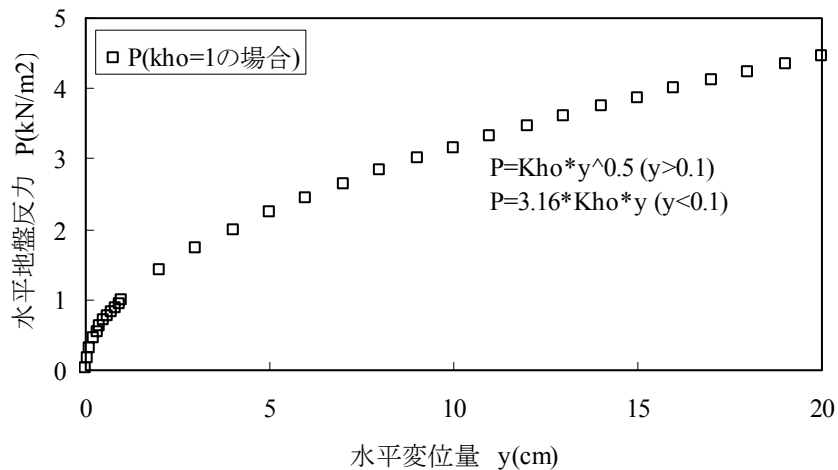


図-3 水平地盤反力～水平変位量の関係



表-4 基準水平地盤反力係数

土層名	杭要素番号 (杭1本当り)	層厚(m)	層厚	平均N値	変形係数Eo 700N	$\alpha$	$\xi$	B(cm) 無次元	Kho (kN/m3)
盛土	1	0.6	1.9	3	2100	80	1	40.64	10437
	2	0.65		3	2100	80	1	40.64	10437
	3	0.65		3	2100	80	1	40.64	10437
ローム	4	0.4	1.4	3	2100	60	1	40.64	7828
	5	0.4		3	2100	60	1	40.64	7828
	6	0.6		3	2100	60	1	40.64	7828
粘土	7	0.45	1.5	1	700	60	1	40.64	2609
	8	0.45		1	700	60	1	40.64	2609
	9	0.6		1	700	80	1	40.64	3479
粘土質細砂	10	0.4	2.1	1	700	80	1	40.64	3479
	11	0.95		1	700	80	1	40.64	3479
	12	0.75		1	700	60	1	40.64	2609
砂混じり粘土	13	0.9	0.9	6.9	4830	60	1	40.64	18005
粘土	14	0.55	0.55	6.9	4830	80	1	40.64	24006
中砂	15	0.65	1.15	35	24500	80	1	40.64	121770
	16	0.5		35	24500	80	1	40.64	121770

建築基礎構造設計指針  
 $kho = \alpha \cdot \xi \cdot E_o \cdot B^{-3/4}$  (kN/m3) 基準水平地盤反力係数  
 $\alpha$ : 評価法によって決まる定数(m-1)  
 $\xi$ : 群杭の係数(単杭:  $\xi=1$ )  
 $E_o$ : 変形係数  $E_o=700N$   
 $B$ : 無次元化杭径 (cm)

補強体は平面ひずみ要素を用いた弾性材料とした(表-5)。平面ひずみ要素の奥行きはフーチング幅と同等とした。

表-5 補強体物性値 (平面ひずみ)

補強体(セメント系固化改良体)		備考
単位体積重量	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.1 粘土の値を参照
ヤング率	E (kN/m <sup>2</sup> )	$1.0 \times 10^5$ 第2章表2.5-1 粘性土地盤参照
ポアソン比	$\nu$	0.35 //

補強体水平方向および鉛直方向の直方向ばね(ばね 2 と 5)は、载荷方向前面および底面の各節点に面積に比例して設置し、補強体上下面と側面(面外方向)のせん断ばね(ばね 3、4、6)は、それぞれの面の中心位置 1 箇所に集中させている。補強体に設置する地盤ばねは補強体の性状を考慮し、文献 3) の直接基礎における水平地盤反力係数の算定方法に従った。ここで、せん断ばね定数  $K_s$  は水平ばね定数の 1/3 に設定した。

## (2) 許容値

本検討例では、基礎の安定性照査において杭の曲げモーメントおよび杭頭変位量を対象とした。

許容曲げモーメント：160kNm

許容杭頭変位量：15mm

## (3) 照査結果、対策範囲の設定

図-4 に無補強時および補強時の水平変位および曲げモーメント分布を示す。

無補強時の曲げモーメントが杭頭部で許容値（160kNm）を上回っている。この杭頭曲げモーメントを許容値以下に抑えるため、試行錯誤的に補強体の厚さおよび位置を変化させ、図に示す位置に設置することとした。なお、補強体仕様の目安は 2.設計編 2.5(2)を参考に定めた。

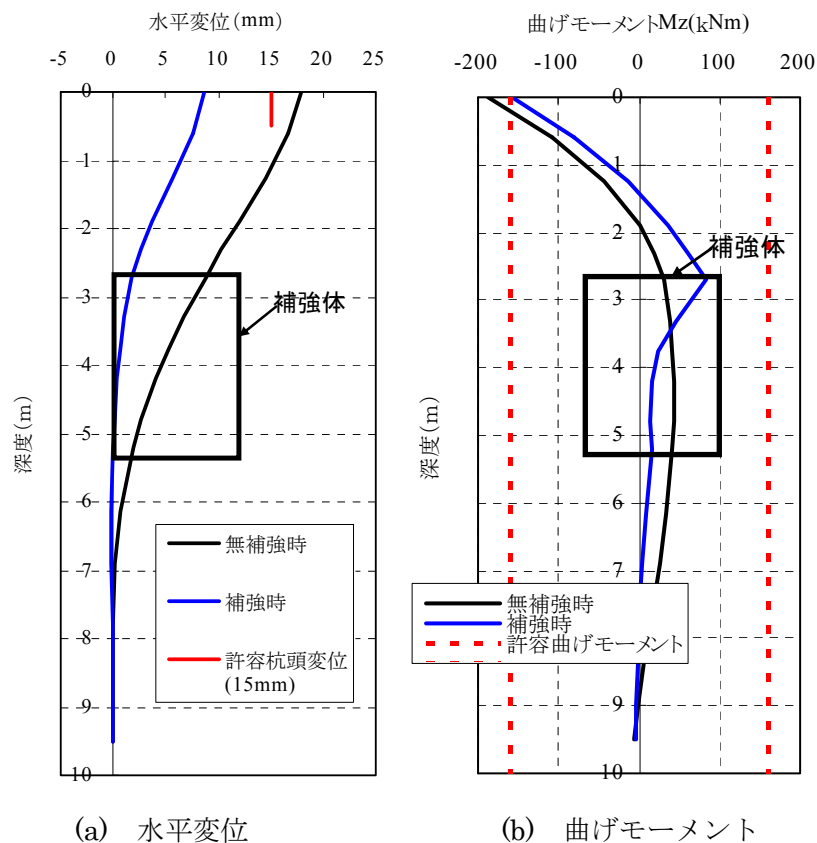


図-4 杭の水平変位および曲げモーメント分布

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2001.
- 2) 浦野, 足立, 竹之下, 丹澤, 河邑: 地盤固化工法を用いた杭基礎補強工法の実大実験、土木学会論文集 C Vol.63, No.3, pp. 752-762, 2007.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、下部構造編、2002.

杭基礎耐震補強工法  
Confining *Pile Reinforcement Method*  
*CPR*工法 技術資料

- 2005年 7月 4日 第1版発行
- 2008年 7月 4日 第2版発行
- 2014年 6月 4日 第3版発行

●編集・発行：CPR工法研究会  
事務局 安藤ハザマ技術研究所内  
〒305-0822 茨城県つくば市菟間515-1  
電話/FAX :029-856-0283

印刷・製本：(有) 三和光学

■ お問い合わせ先

CPR工法研究会 事務局

〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ技術研究所内 Tel. 029(856)0283

■ CPR 工法研究会会員

株式会社安藤・間

〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 Tel. 03(6234)3672

東興ジオテック株式会社

〒108-0014 東京都港区芝 4-8-2 Tel. 03(6436)4290

青山機工株式会社

〒364-0004 埼玉県北本市山中 2-45 Tel. 048(591)9770

株式会社エステック

〒551-0021 大阪府大阪市大正区南恩加島 7-1-55 Tel. 06(6556)2058

株式会社K S K

〒302-0024 茨城県取手市新町 1-2-35 Tel. 0297(70)5961