

## 高耐力マイクロパイルによる既設基礎の耐震補強事例

株式会社フジワ	技術センター	正会員	岸下 崇裕
株式会社フジワ	生産技術部	正会員	畑野 俊久
株式会社フジワ	生産技術部	正会員	江口 孝
株式会社フジワ	広島支店		田坂 友次郎
株式会社フジワ	広島支店		杉内 茂美

### 1. はじめに

ロマリェタ地震以後、アメリカでは高耐力マイクロパイルを橋脚基礎の耐震補強工法の一つとして採用してきた。高耐力マイクロパイルが採用されている理由は、①施工機械に小型のボーリングマシーンを使用しているために、空頭制限のある場所や狭隘な場所での施工が容易に出来る事、②従来のマイクロパイル技術にグランドアンカー工法で用いられている削孔技術とグラウトの加圧注入技術を取り入れ、補強材として高強度鋼管と異形棒鋼を用いることにより高耐力、高支持力の杭の築造が可能になったためである。

本論文は、日本で初めて既設基礎の耐震補強方法として採用された、高耐力マイクロパイル工法の施工事例、特に設計の考え方および施工状況について報告する。

### 2. 工事概要

本工事は、兵庫県南部地震以降の耐震設計の見直しによる、道路橋示方書の改訂（平成8年12月）に伴い、大規模地震に耐えうる緊急輸送道路を確保するための道路整備の一環として、一般国道9号島根県簸川郡湖陵町の神西湖下流差海川に架かる、昭和39年に竣工した差海橋（有効幅員8.0m、橋長40.6m、支間3@13.5m）のパイルベント方式橋脚2基のうち1基（P1橋脚）を耐震補強するものである。（図-1、写真-1）図-2に工事平面図を、図-3に工事断面図を示す。



図-1 位置図



写真-1 橋脚全景写真

キーワード：既設基礎、耐震補強、マイクロパイル

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1

TEL：(046)-250-7095 FAX：(046)-250-7139

〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-6-15

TEL：(03)-3796-2259 FAX：(03)-3796-8530

本工事の中で、とくに杭基礎の耐震補強工事に、新技術である高耐力マイクロパイル工法が採用された。本工法が、差海橋の補強工事に採用された主な要点は、以下に示す通りである。

- ①道路橋示方書を満足する優れた耐震性能を確保し、信頼性があること。
- ②現道交通を維持したまま施工が可能であること。
- ③橋梁下部河川内施工であり、桁下高さ制限(4.0m未滿)、狭隘なヤードで施工可能な工法であること。
- ④河川周辺は、シジミの漁場であり、河川への汚濁がないこと。
- ⑤騒音・振動等に対して好環境を維持できること。
- ⑥濁水期施工であり、工程が厳しいこと。

### 3. 高耐力マイクロパイルの概要

#### 1)高耐力マイクロパイルとは

マイクロパイルは、ボーリングマシンまたは専用機によって地中に小径の削孔を行い、異形鉄筋、鋼管などを補強材として挿入し、周囲にグラウト(セメントミルクあるいはモルタル)を注入して築造する現場打ちまたは埋込による小口径杭(300mm以下)の総称で、1950年代にイタリアで開発された技術である。この技術はマイクロパイル、ルートパイル、ミニパイル、ピンパイル、ニードルパイルなどと呼ばれ、その後、ヨーロッパのみならず全世界に普及した。

高耐力マイクロパイルは、従来のマイクロパイル技術にグラウンドアンカー工法で用いられていた削孔技術とグラウトの加圧注入技術を取り入れ、補強材として高強度鋼管と異形棒鋼を用いることにより高耐力、高支持力の杭の築造を可能にしたものである。米国では、1980年代に高耐力マイクロパイルが開発されて以来、カリフォルニア交通局を中心に、道路橋基礎の耐震補強に適用されるようになった。

#### 2)構造および支持機構

高耐力マイクロパイルの構造は、図-4に示されるように、杭頭定着部、非定着部および定着部からなっている。上部構造から伝達された荷重は、高強度鋼管および芯鉄筋により定着部に圧縮力および引張り力として定着部に伝達される。図-5に支持機構の概念図を示す。高耐力マイクロパイルの支持機

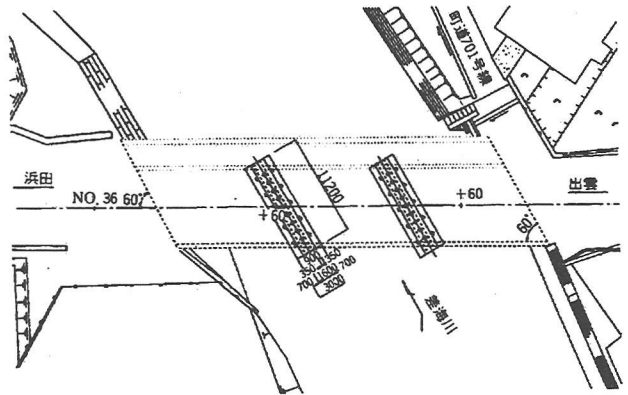


図-2 工事平面図

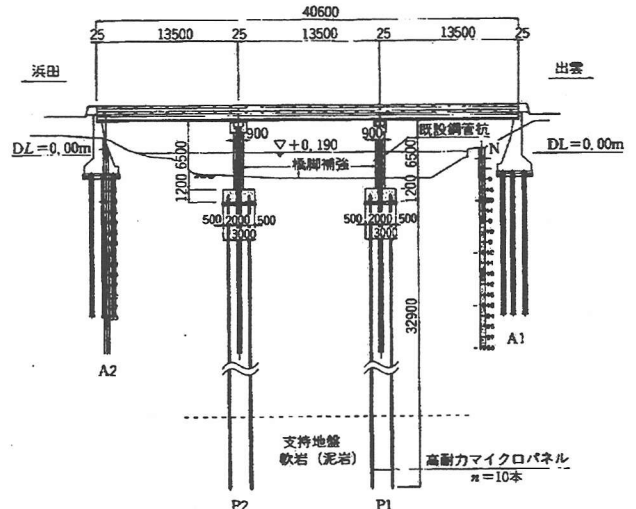


図-3 工事断面図

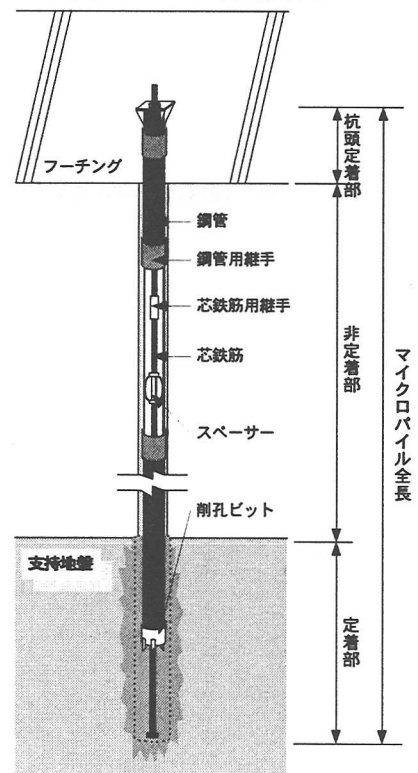


図-4 高耐力マイクロパイルの構造一般図

構は、加圧注入あるいはポストグラウト処理された定着部と支持地盤の摩擦により支持されている<sup>1)~3)</sup>。

### 3) 施工手順

高耐力マイクロパイルの施工手順は、以下に示す通りである。

- ①ボーリングマシンにより杭本体となる高強度鋼管をケーシングとして用い、標準長  $L=1.5\text{m}$  の短尺鋼管をつなぎつつ、ロッド削孔により所定の深さまで削孔する。
- ②削孔完了・検尺後、鋼管内を洗浄しつつ削孔ロッドを引き抜く。
- ③芯鉄筋を挿入する。芯鉄筋には、ネジ節異形棒鋼を使用し、空頭制限により単位長を選定し、機械式継手を繰返し挿入する。
- ④挿入する芯鉄筋にグラウト注入ホースを取り付け、一次グラウトを注入する。
- ⑤一次グラウト注入後、鋼管を徐々に引抜きながら二次加圧注入(0.5~10MPa)を繰返し、定着部全長を加圧注入する。
- ⑥一度定着部上端まで引上げた鋼管を再度定着部の必要長だけ再挿入する。
- ⑦所定養生期間を待って杭頭部を基礎フーチングと結合処理する。

図-6 に一般的な施工工程を示す。今回の施工にあたっては、空頭制限 4m 未満であるため、ボーリングマシンのリーダー長を 3.5m、鋼管および芯鉄筋ともに  $L=1.5\text{m}$  の短尺ものを使用した。

### 4) 工法の特徴

高耐力マイクロパイル工法の主な特徴を以下に示す。

- ・他の杭に比較して小口径であるが、大きな支持力が得られるため、フーチングを小さくできる。
- ・支持力は、押込み力と引抜力の両方を有する。したがって、耐震補強、斜面安定、擁壁補強などに適用する場合には、引抜力を有効に利用できる。
- ・単杭としての支持杭利用と、群杭としての地盤補強の両方に利用できる。
- ・ボーリングマシンによる削孔なので騒音や振動が小さく、市街地にも対応できる。
- ・杭径が  $\phi 300\text{mm}$  以下と小口径のため、地中障害物や既設構造物に対する影響が少ない。
- ・施工機械が小さいため、空頭が 3.5m 程度あれば施工が可能である。
- ・鋼管 1 本あたりの長さが 1.5m と短いため、大きなクレーンはない。
- ・杭径が小口径のため、掘削土量が少ない。

## 4. 設計概要

### 1) 設計諸元

高耐力マイクロパイルを既設基礎の補強に用いる場合、既設の杭と杭種・杭径および施工方法等が一般的

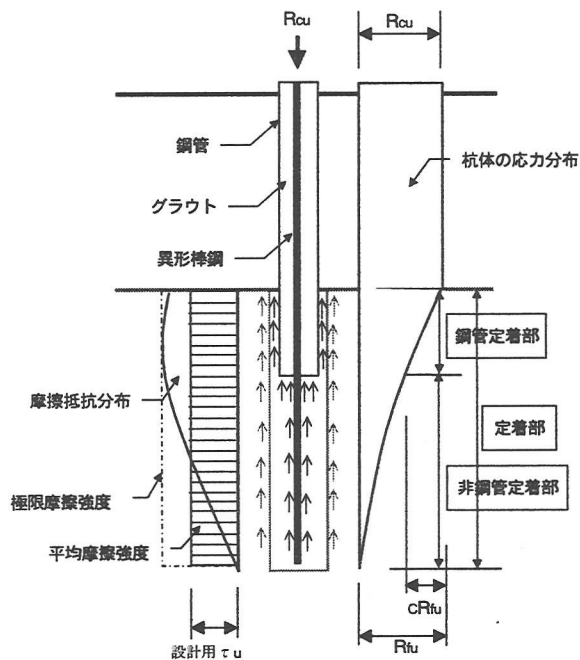


図-5 支持機構概略図

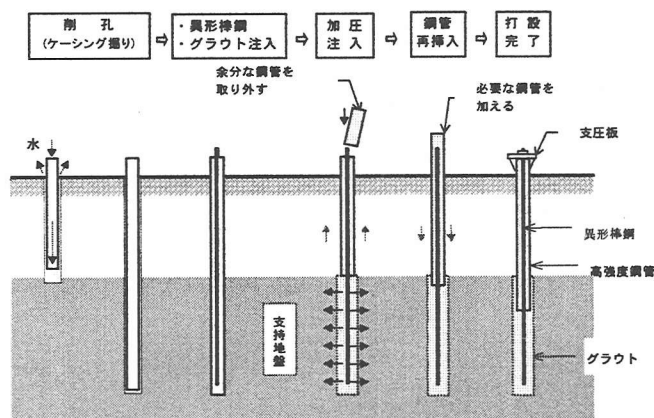


図-6 一般的な施工工程図

に異なる。このように異種杭を用いた杭基礎の設計法は確立されていないのが現状である。そのため以下の条件で差海橋の補強設計を行った。なお、地震時の検討は「震度法」を用いて行った。表-1、2に設計条件を示す。

- ①補強杭の軸方向ばね定数は、中堀り鋼管杭の推定式を用いるものとした。
- ②補強杭の許容支持力は、道路橋示方書によらず別途記述する算出方法により求めた。
- ③補強杭と既設鋼管杭の荷重分担は、常時の鉛直力については上部工死荷重のみ既設杭、その他フーチングなどの死荷重増加分は補強杭で支持する。地震時は、補強杭と既設杭の両方で支持するものとした。

## 2)地盤概要

施工に先立ち、当初設計地盤を確認するため土質ボーリング調査を行った。

表層から-20mまでは、粒度分布が一様なN値が10前後の比較的緩い砂質土層、-20m~-30mがN値8程度の粘性土層、-30m~-32mがN値15程度の砂・粘土互層となっており、それ以深が泥岩（軟岩）となっている。高耐力マイクロパイルの支持層は、通常N値が30程度の砂質土層を対象に確保できるが、今回は、中間部に適当な支持地盤が出現しなかったため、-32m以深の泥岩（軟岩）層を定着層（支持層）とした。

## 3)許容支持力・引抜き力の算定

高耐力マイクロパイルの支持力・引抜き力は、図-5で示されるように定着部の周面摩擦力より求めた。

許容支持力

$$R_a = 1/n \cdot R_u \quad \text{式-1}$$

ここに

$R_a$  : 杭頭における杭の軸方向許容支持力(kN)

$n$  : 安全率 (常時 : 3、地震時 : 2)

高耐力マイクロパイルの安全率は、以下の理由により支持杭の安全率とした。

- ・著しく地盤沈下が、現在進行中でなく、将来とも予想されない。
- ・杭の根入れ長が杭径の25倍程度以上である(0.178×25≒4.5m)。

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力(kN)

$$R_u = U \cdot L_i \cdot f_i \quad \text{式-2}$$

$U$  : 定着部の周長(m)

定着部有効径 20cm

$L_i$  : 周面摩擦力を考慮するi層の層厚(m)

表-1 杭の設計条件

		既設杭	高耐力マイクロパイル
施工条件		打込み鋼管杭	中堀り鋼管杭
杭頭条件		剛結・ヒンジ	剛結・ヒンジ
杭先端条件		自由	自由
杭の種類		支持杭	支持杭
杭許容変位量	常時	15mm	15mm
	地震時	15mm	15mm
杭体ヤング率		$2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$	$2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$
杭の材質		SKK400(推定)	API規格N-80

表-2 杭データ

		既設杭		高耐力マイクロパイル	
杭径(mm)		400		178 (7インチ)	
杭長(m)		15.6		29.4	
肉厚(mm)		8.0		12.7 (1/2インチ)	
腐食代	内側	2.0		1.0	
	外側	0.0		0.0	
断面積(cm <sup>2</sup> )		98.52	73.51*	65.95	60.39*
断面二次モーメント(cm <sup>4</sup> )		18,930	13,980*	2,266	2,048*
杭の軸方向バネ定数(kN/m)		131,000		80,100	

\*印は、腐食代を考慮した値。

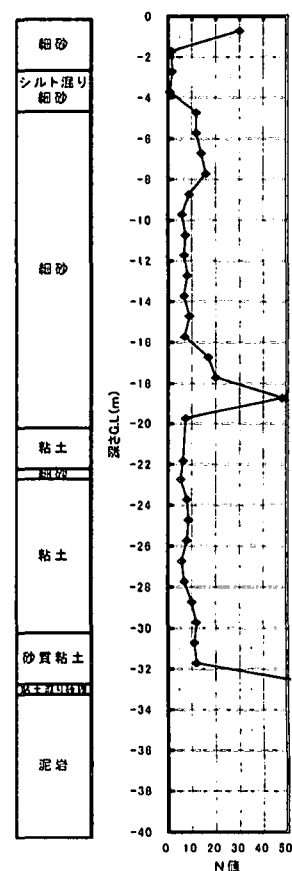


図-7 土質柱状図

$f_i$ : 周面摩擦力を考慮する  $i$  層の最大周面摩擦強度(kN/m<sup>2</sup>)

高耐力マイクロパイルの最大周面摩擦強度は、今までの載荷試験結果より、「グランド・アンカー設計施工基準」の値を用いた。

上記の諸条件により算出された、差海橋における高耐力マイクロパイルの許容値を表-3に示す。

4)高耐力マイクロパイルの補強仕様

上記の設計条件により補強設計を行った高耐力マイクロパイルの諸元を以下に示す。

- 杭 長： 33.50m
- 削孔長： 37.50m
- 定着長： 5.50m
- 鋼管長： 30.00m
- 補強杭本数： 10本

図-8に構造一般図を、表-4に今回施工に用いた高耐力マイクロパイルの仕様を示す。

表-3 杭の許容支持力

	既設杭		高耐力マイクロパイル	
	常時	地震時	常時	地震時
押込み力 (kN)	420	570	480	720
引抜き力 (kN)	8	120	240	480

表-4 高耐力マイクロパイルの仕様

鋼管	高強度鋼管(油井管API規格5CT N-80 単位質量 51.05kg/m)
	外径177.8mm 肉厚 12.7mm
	両端ネジ加工 標準部材長さ 1.5m
芯鉄筋	カップリング継手 外径 194.5mm
	ねじ節異形棒鋼 SD490 D51
グラウト	カップラー継手
	セメントミルク w/c=50%
	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>

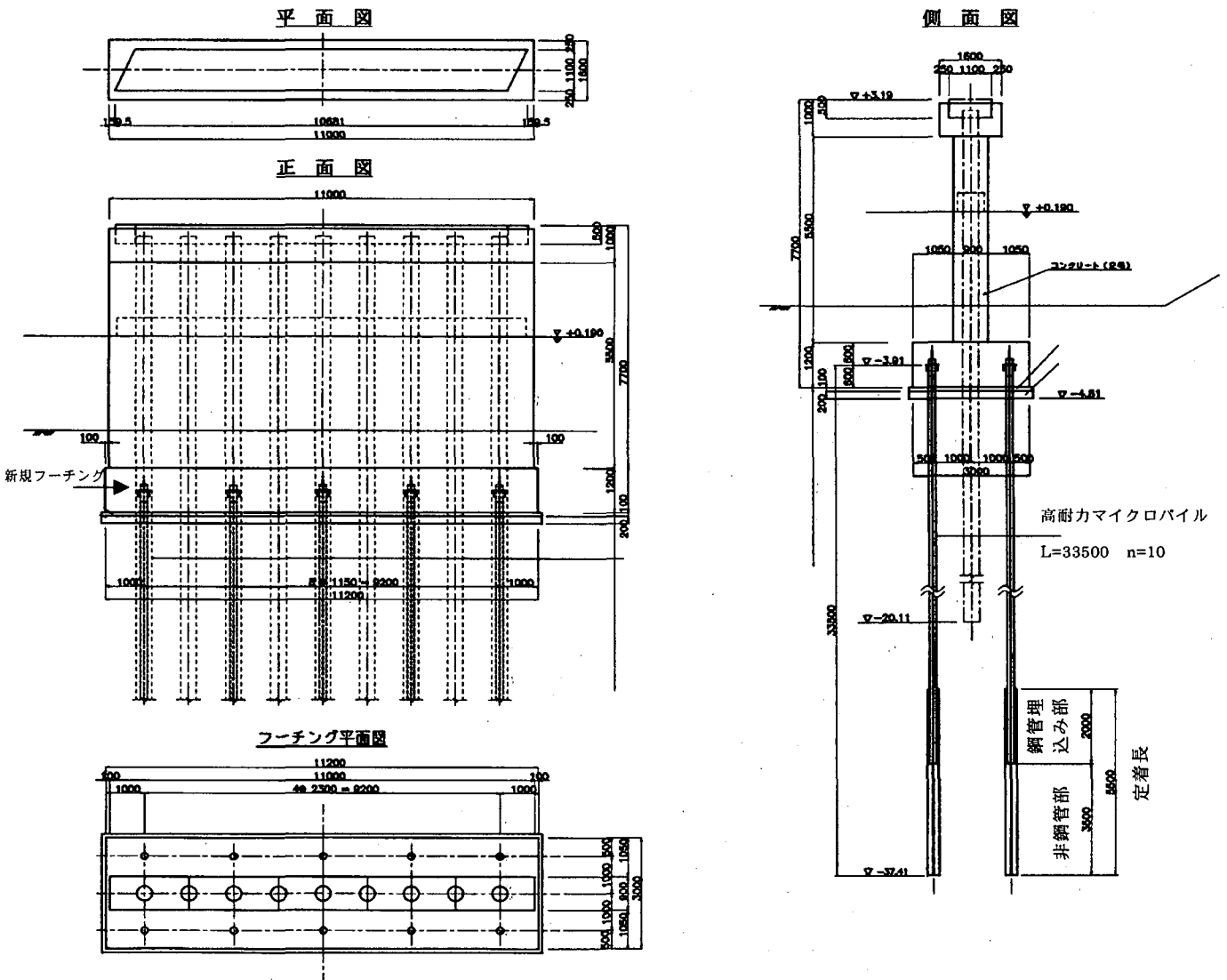


図-8 構造一般図

## 5. 施工状況

高耐力マイクロパイルの施工状況は、以下の通りである。図-8には、施工手順図を示す。

- ①プラントは、高潮等の緊急事態を考慮し堤防の上に設置した（写真-2）。設置面積は、40m<sup>2</sup>程度であった。
- ②あらかじめ測量した杭芯に、削孔水集水用の鋼製ピットおよびガイド管を設置した（写真-3）。
- ③機械基面を敷鉄板等で補強し、削孔角度をスラントルールで二方向により確認した。
- ④削孔は、鋼管先端部に取付けた削孔ビット（写真-4）およびインナーロッドを用いる二重管方式で、インナーロッドの先端から注水しながら行った。削孔機械には、ロータリーパーカッションボーリングマシンを用いた（写真-5）。鋼管およびインナーロッドは、単位長さL=1.5mのものをネジ式に回転させながらつないで行った。写真-6に削孔状況を示す。
- ⑤削孔水は、河川の水を水槽に溜め置きし、循環使用した。削孔深さは、あらかじめ設置した丁張と鋼管位置で確認した。
- ⑥削孔後、鋼管内を清水で洗浄し、スライム処理を行い、排出された泥水が清水に変わったことを目視で確認を行った（写真-7）。
- ⑦インナーロッド引抜き後、検尺テープにより削孔長の確認を行った。
- ⑧芯材であるネジ節異形棒鋼 L=1.5m のものを機械継手で繋ぎながら挿入を行った（写真-8）。芯材には、鋼管の中心に位置するようにスペーサー（写真-9）をあらかじめ設置しておいた。なお、芯材挿入時には、並行して一次グラウト用の注入ホースも挿入させた。
- ⑨鋼管底部より一次グラウトを注入した（写真-10）。鋼管頭部より排出するグラウトのマッドバランス値を確認し注入を終了させた。
- ⑩打設された鋼管を、一度定着部上端まで引上げ、二次加圧注入を行った。二次加圧注入は、鋼管 1.5m 引上げ毎に行った。加圧は、鋼管頭部を閉塞し、加圧ゲージにて加圧を確認しながら行った（写真-11）。

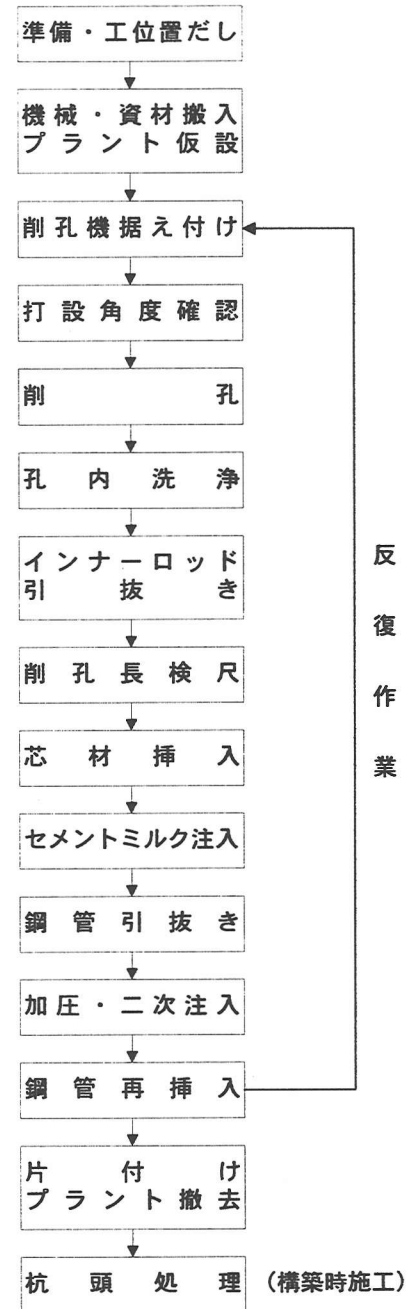


図-9 施工手順図

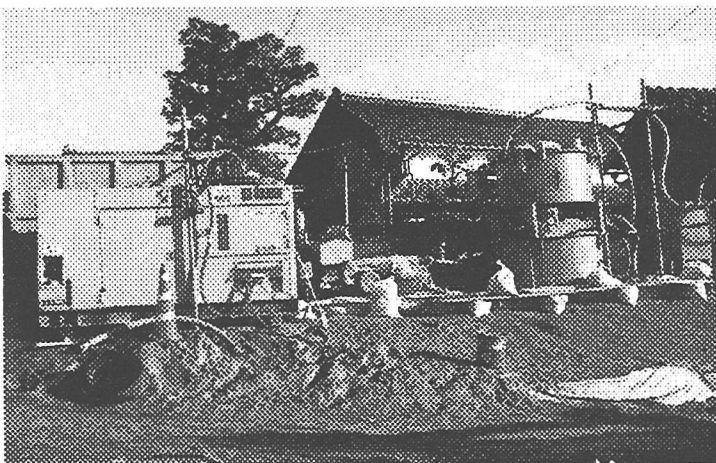


写真-2 プラント全景



写真-3 集水ピット ガイド管



- ①加圧後、鋼管を再度繋ぎながら定着部に L=2.0m 再挿入した。この際、上部鋼管は空打ち部となるため、ヤットコチャックを設置し、設計深さ再挿入後、余長を引抜き可能とした。
- ②杭頭処理は、構造物構築時に行った。処理方法は、鋼管上部に杭頭処理支圧板を取付けて行った（写真-12）。



写真-4 削孔ビット

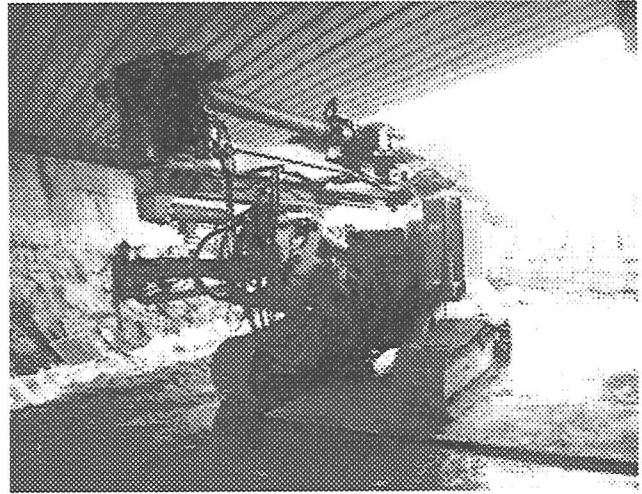


写真-5 削孔機械

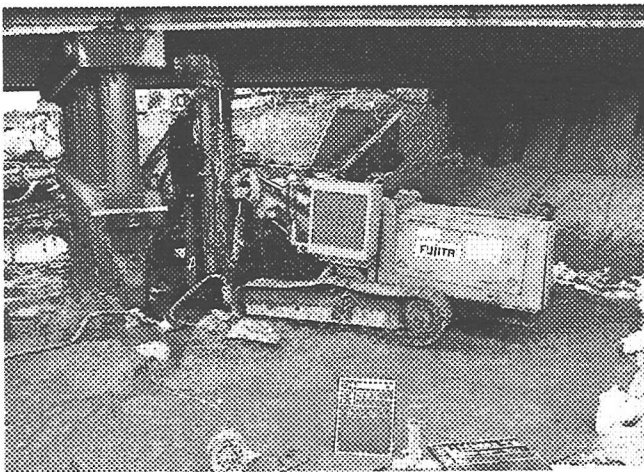


写真-6 削孔状況

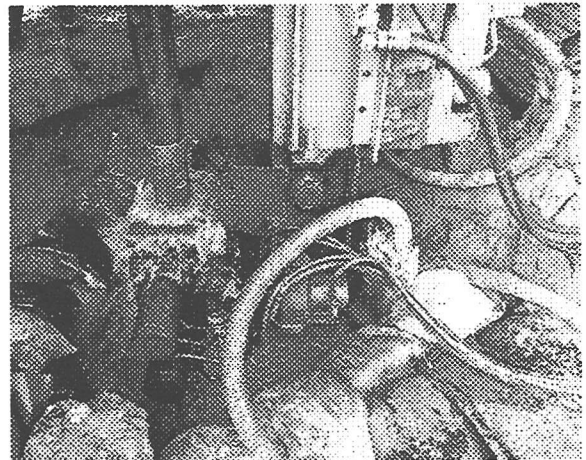


写真-7 孔内洗浄

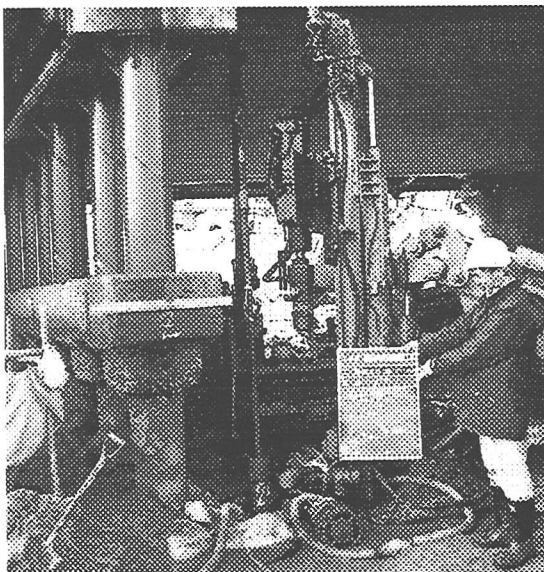


写真-8 芯材挿入

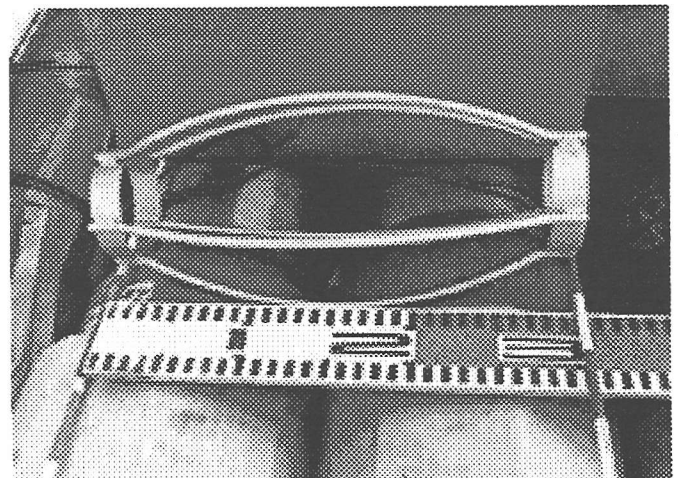


写真-9 スパースー

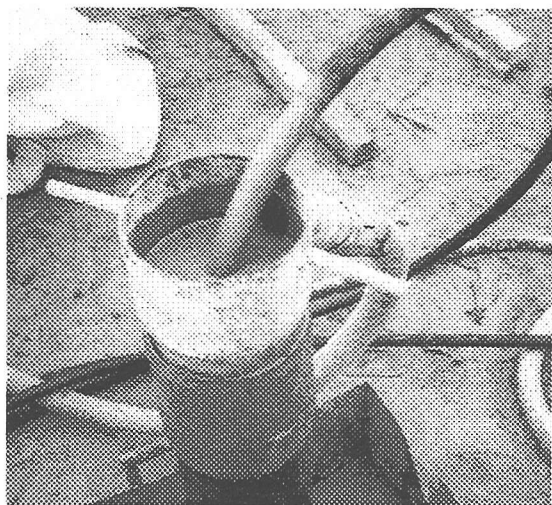


写真-10 一次注入

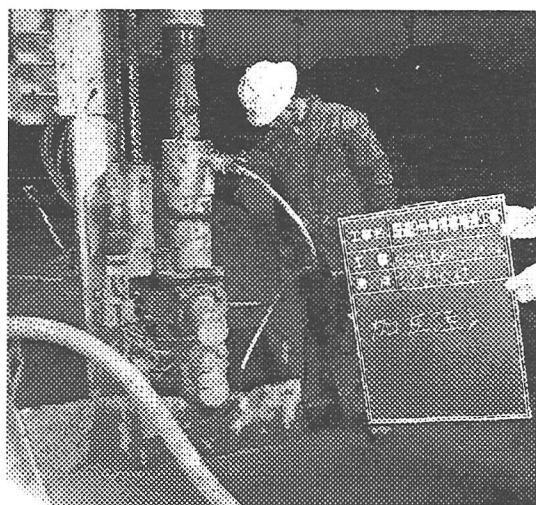


写真-11 二次加圧注入

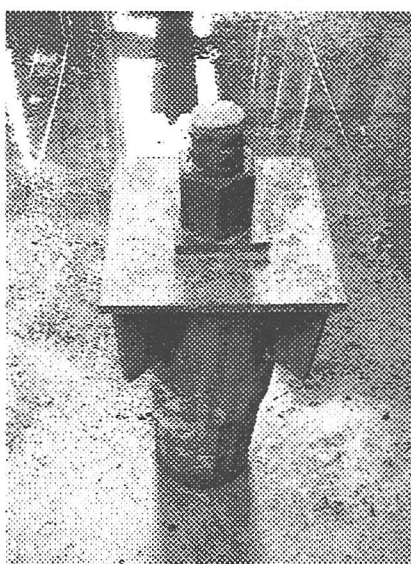


写真-12 杭頭処理

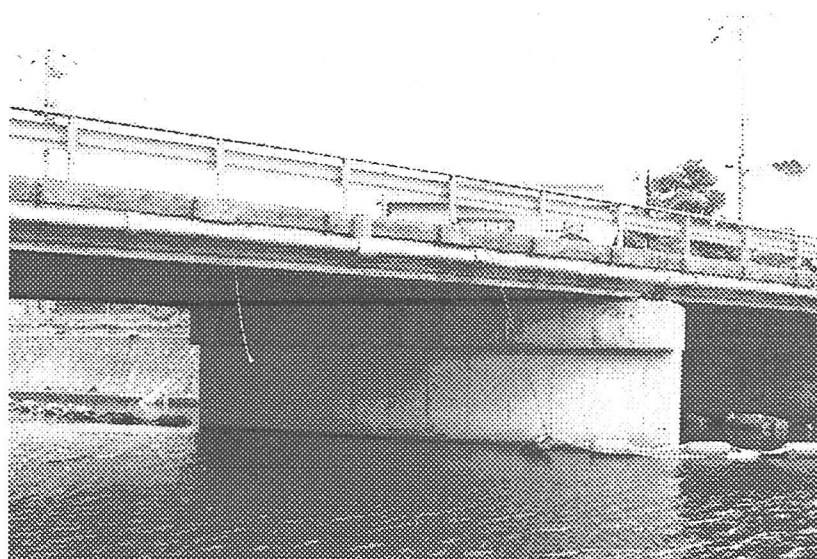


写真-13 施工後全景

## 6. おわりに

差海橋耐震補強工事における施工上の難易点を以下に示す。

- ・ 施工条件が、低空頭、現道施工、施工エリアが狭隘および既設杭の直近施工であった。
- ・ 海外においてもあまり事例の無い、小口径の長尺杭で、日本において初めての施工であった。

このように著しく施工難易度が高い工事であったが、高耐力マイクロパイルで補強することにより、既設構造物への沈下等の影響も無く、通行車両の安全を確保しつつ耐震補強工事を完了することができた。

### 【参考文献】

- 1)大谷、岸下、松原、浜塚：鋼管を用いたマイクロパイルの支持力特性に関する研究（その1），土木学会第54回年次学術講演会概要集，pp.886～887，1999.9
- 2)小野寺、斉藤、横田、岡田：鋼管を用いたマイクロパイルの支持力特性に関する研究（その2），土木学会第54回年次学術講演会概要集，pp.886～887，1999.9
- 3)中田、新坂、村田、小野寺：鋼管を用いたマイクロパイルの支持力特性に関する研究（その3），土木学会第54回年次学術講演会概要集，pp.886～887，1999.9