

# 高耐力マイクロパイル工法を用いた 既設橋脚の耐震補強

守田 正一・寺野 芳紀・杉内 茂美

「高耐力マイクロパイル工法」とは、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る削孔技術やグラウトの法入技術を取入れ、補強材として異形鉄筋に加えて鋼管を用いることにより高耐力、高支持力の杭の製造を可能としたものである。

ここでは、この工法が我が国で初めて採用された一般国道9号差海橋のパイルベント式橋脚の耐震補強工事を中心に、高耐力マイクロパイル工法の特徴、設計の考え方および施工状況について報告する。

キーワード：橋梁基礎、耐震補強、高耐力、マイクロパイル、杭頭制限

## 1. はじめに

本工事は、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）以降の耐震設計見直しによる、道路橋示方書（以下、道示と略す）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施設整備の一環として、差海橋のパイルベント式橋脚の耐震補強を行ったものである。

差海橋は、島根県簸川郡湖陵町の神西湖と日本海を結ぶ二級河川差海川に架かる、昭和39年に竣工された橋長40.6m、有効幅員8.0mの道路橋である（写真1参照）。構造形式は、図1に示すとおり、上部工が3径間単純PC橋、下部工がRC杭基礎形式の重力式橋台と河川内2基パイルベント式橋脚（ $\phi=400$ mm、単列9本）である。

差海橋は、現行の耐震設計基準における震度法



写真1 差海橋着工前全景

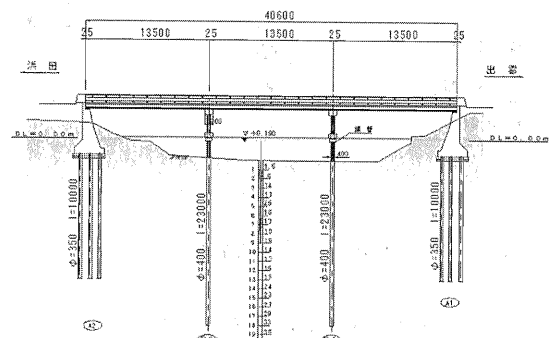


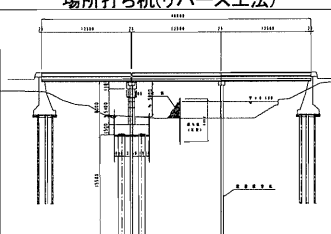
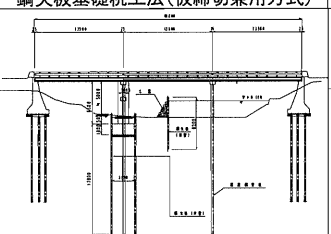
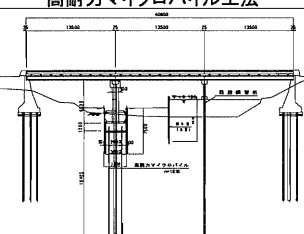
図1 差海橋補強前構造図

レベルの地震を考慮した場合、次に示す問題点を抱えていた。

- ① 設計地盤面においても許容値に近い大きな水平変位が生じ、杭頭部にいたっては35cmを超える水平変位が生じる。
- ② 降伏点を超える応力度が、杭体に発生する。したがって、地震の際に生じる上下部構造間の相対水平変位や、地上部分の杭体の降伏により落橋に至る可能性が懸念された。

現場周辺の地形条件や制約条件を考慮し、その補強対策には、既設鋼管の橋軸方向両側に基礎杭を増設し、新旧基礎杭を一体化するためにフーチングを設け、フーチング上部の既設鋼管はコンクリートで巻立てる工法が採用された。また、増設杭の施工方法は、空頭制限及び狭隘な施工ヤードでの施工性に優れ、道示を満足する優れた耐震性能を有する高耐力マイクロパイル工法が採用された。表1に、増設杭施工方法の比較検討表<sup>1)</sup>を示す。

表一 増設杭施工方法比較検討表

|             | 場所打ち杭(リバース工法)  | 鋼矢板基礎杭工法(仮締切兼用方式)  | 高耐力マイクロパイル工法   |   |
|-------------|--|--|--|---|
| 概要図         |   |   |    |   |
| 設計及び解析の考え方  | <ul style="list-style-type: none"> <li>通常の場所打ち杭として、道示に基づいて設計を行う。</li> <li>荷重分担は、既設杭に比べ剛性が高いため、常時・地震時とも全ての荷重を負担するものとする。</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>仮締切り用の鋼矢板を支持層まで達込み基礎杭として用いる工法である。</li> <li>鋼矢板の頂部にフーチングを設け一体化する。一体化の方法は、鋼矢板にせん断鉄筋を溶接しフーチングコンクリートと剛結する。</li> <li>解析は、鋼矢板を棒部材にモデル化し2次元のフレームで行う。</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>HMPの設計は、道示に基づき変位法によって行う</li> <li>HMPは支持杭とし、支持力の算定方法は、HMP特有のものとする。</li> <li>荷重分担は、常時の上部工死荷重は既設杭に負担し他はHMPが支持するものとする。地震時は、既設杭とHMPの両方で支持するものとする。</li> </ul> |   |
| 設計・施工上の長所短所 | <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の継ぎ手がラップするため、継ぎ手方式について詳細な検討が必要。</li> <li>剛性が高いため、杭本数が少ない。</li> <li>スタンドパイプの達込みが杭頭制限のため困難。また、撤去することが出来ないため埋殺しとなる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>仮締切り用の鋼矢板はスクラップになるため、支持杭に用いるのは合理的である。</li> <li>鋼矢板の剛性が低いため、鋼管矢板基礎と同じようには、考えられない。</li> <li>空頭制限があるため、鋼矢板の継ぎ手が多くなり、施工が困難。</li> <li>矢板の継手を現場溶接で全強とするため、工期と費用が多く必要である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>狭大な空間での施工を目的に開発された工法のため、空頭制限を他工法に比べうけない。</li> <li>杭径が小さいため、フーチング幅を小さくすることが出来る。</li> <li>フーチング施工のため、仮締切りが必要となる。</li> </ul>                               |   |
| 評価          | 経済性  | △  | ×  | ○ |
|             | 施工性  | ×  | △  | ○ |
|             | 総合評価   | ×  | △  | ◎ |

## 2. マイクロパイルの特徴

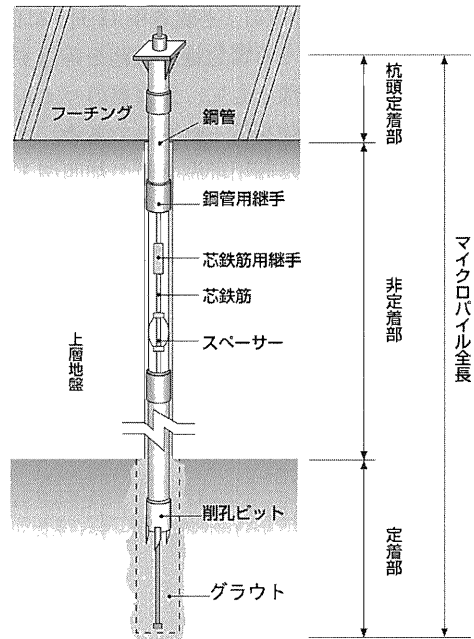
### (1) 高耐力マイクロパイルとは

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みによる小口径杭（300 m 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。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<sup>2)</sup>。

### (2) 高耐力マイクロパイルの構造

図—2 に示す高耐力マイクロパイルの構造を示すように、

- ① 杭頭結合部、非定着部、定着部で構成される。
- ② 上部構造物から伝達された荷重は、高強度鋼管および異形棒鋼により定着部に圧縮力および引張り力として伝達され、さらに定着部



図—2 構造一般図

のグラウト、地盤へと伝達される。

- ③ 定着部のグラウトは、加圧注入あるいはポストグラウト処理され、定着部と周辺地盤の摩擦強度が増強保持される。
- ④ 杭は定着部のグラウトと支持地盤の摩擦に

よって支持される（図-3参照）。

(3) 高耐力マイクロパイル工法の施工手順

図-4に施工手順を示す。

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 $L=$

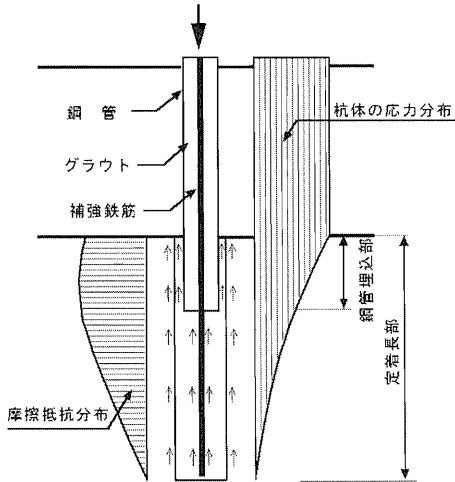


図-3 支持機構概念図

1.5 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抜く。
- ③ 異形棒鋼を挿入する。異形棒鋼は、ねじ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 挿入する異形棒鋼にグラウト注入ホースをセットし、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グラウトの二次加圧注入（0.5～1.0 MPa）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に必要長だけ再挿入し、グラウト内に埋込む。
- 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。

今回の差海橋施工にあたっては、空頭制限が4 m未満であったため、ボーリングマシンのリーダー長を3.5 mに改造し、鋼管および異形棒鋼には $L=1.5$  mの短尺ものを使用した。

3. 杭の設計概略

(1) 設計の考え方

本工事における耐震補強は、下記のような仮定条件を定めて設計がなされた。なお、地震時の設計は「震度法」を用いて行われた。

- ① 本杭と既設鋼管杭の荷重分担は、常時の鉛直力については、現状も上部工荷重（死荷重および活荷重）のみ既設杭で、その他のフーチングなどの増加死荷重は本杭で支持する。地震時は、本杭と既設杭両方で支持するものとする。
- ② 本杭の軸方向ばね定数は、中掘り鋼管杭の推定式を用いるものとする。
- ③ 本杭の許容支持力は、道示によらず別途算出するものとする。

(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。

その結果、表層から-19 mまでは、粒度分布が一様な $N$ 値=10前後の比較的緩い砂質土層、-19 m～-29 mが $N$ 値=8程度の粘性土層、-29 m～-32 m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）であった。本杭の支持層は、-32

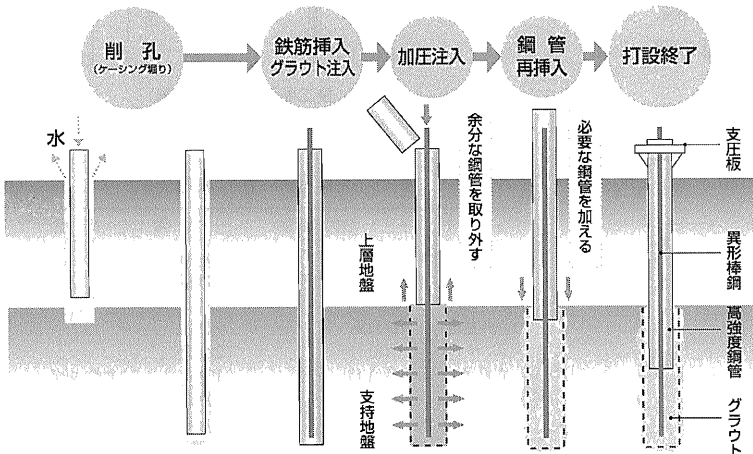


図-4 施工手順

m以深の泥岩（軟岩）層を定着部（支持層）とした。

(3) 杭の許容値

高耐力マイクロパイルの支持力・引抜き力は、定着部(グラウト)の周面摩擦力より求め、上部非定着部及び杭先端部の支持力は、考慮しない。

① 許容支持力

$$R_a = 1/n R_u$$

$R_a$  : 杭頭における杭の軸方向許容押込み支持力 (tf)

$n$  : 安全率 (常時 : 3 地震時 : 2)

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力 (tf)

$$R_u = U L_i f_i$$

$U$  : グラウト部の周長。定着部有効径 20 cm

$L_i$  : 周面摩擦力を考慮する層厚 (m)

$f_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (tf/m<sup>2</sup>)

表一2 に許容支持力を示す。なお、高耐力マイクロパイルについては載荷試験を実施し、設計支持力以上であることを確認した。

表一2 杭の許容支持力

|           | 高耐力マイクロパイル |     | 既設鋼管杭 |     |
|-----------|------------|-----|-------|-----|
|           | 常時         | 地震時 | 常時    | 地震時 |
| 押込み力 (kN) | 480        | 720 | 420   | 570 |
| 引抜き力 (kN) | 240        | 480 | 80    | 120 |

4. 杭の施工

(1) 杭の仕様

今回施工の高耐力マイクロパイルの仕様、数量を表一3、表一4に、補強工事の断面図を図一5に示す。

表一3 杭の仕様

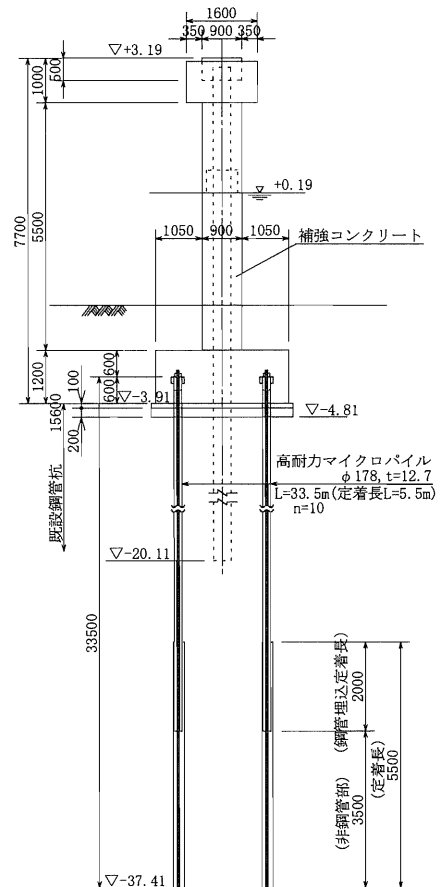
|      |  |
|------|--|
| 鋼管   | 高強度鋼管 (油井管 API 規格 5 CT N-80)                   |
|      | 単位重量 (51.06 kg/m <sup>2</sup> )                |
|      | 外径 177.8 mm, 肉厚 12.7 mm                        |
| 芯鉄筋  | 両端ねじ加工 標準部材長さ 1.5 m                            |
|      | カップリング継手 外径 194.5 mm                           |
| グラウト | セメントミルク W/C=50%<br>設計基準強度 30 N/mm <sup>2</sup> |

(2) 主要資材

主要資材を、表一5に示す。

表一4 施工数量 (1橋脚当り)

| 項目   | 規格             | 数量      | 総数量      |
|------|----------------|---------|----------|
| 杭本数  |                |         | 10本      |
| 杭長   |                | 33.5 m  | 335.00 m |
| 定着長  |                | 5.50 m  |          |
| 非定着長 |                | 28.00 m |          |
| 削孔長  | +0.09~-37.41 m | 37.50 m | 375.00 m |
| 鋼管長  | L=1.5 m, 20本   | 30.00 m | 300.00 m |
| 芯材長  | L=1.5 m, 23本   | 34.50 m | 345.00 m |
| 空打ち長 |                | 4.00 m  |          |



図一5 施工断面図 (P1橋脚)

表一5 主要資材一覧 (1橋脚当り)

| 品名     | 形状・規格            | 数量         | 摘要                                     |
|--------|------------------|------------|--|
| 油井用鋼管  | L=1.50 m         | 200本       | 鉄筋先端<br>鋼管先端部<br>杭頭部<br>グラウト材<br>グラウト材 |
| 鋼管用継手  | 外径 φ=194.5 mm    | 200個       |  |
| 芯鉄筋    | SD 490 D51       | 5,485.5 kg |  |
| 芯鉄筋用継手 | D51用             | 220組       |  |
| スベーサ   | D51用             | 220組       |  |
| 先端プレート | D51用             | 10枚        |  |
| 削孔ビット  | φ178 mm          | 10個        |  |
| 頭部鋼管   | φ178 mm, L=30 cm | 10個        |  |
| セメント   | 早強セメント           | 1,775.4 kg |  |
| 混和剤    | レオビルト NL 4000    | 266.4 L    |  |

## (3) 主要使用機械

主要機械を、表一6に示す。

表一6 主要機械一覧

| 機械名称     | 性能           | 規格・出力   | 数量 | 使用工程    |
|----------|--------------|---------|----|---------|
| ボーリングマシン | 420~840 kg-m | 119 PS  | 1台 | 全工程     |
| グラウトミキサ  | 250 L        | 5.5 kW  | 1台 | グラウト注入工 |
| グラウトポンプ  | 5.5~6.0 m³/h | 5.5 kW  | 1台 | グラウト注入工 |
| コンプレッサ   | 2 m³/分       | 20 PS   | 1台 | 削孔時     |
| 発電機      | 125 kVA      | 80 kW   | 1台 | 全工程     |
|          | 45 kVA       | 29.6 kW | 1台 | 全工程     |
| 水中ポンプ    | 0.5 m³/分     | 3.7 kW  | 3台 | 全工程     |
| サンドポンプ   | 0.5 m³/分     | 3.0 kW  | 3台 | 全工程     |
| 送水ポンプ    | 217 L/分      | 15 kW   | 1台 | 全工程     |
| 清水タンク    |              | 10 m³   | 1台 | 全工程     |
| 泥水タンク    |              | 10 m³   | 2台 | 全工程     |
| バキューム車   |              |         | 1台 | 灰泥処分時   |
| 補助クレーン   |              |         | 1台 | 全工程     |
| バックホウ    |              |         | 1台 | 基盤整備等   |

## (4) 施工状況

① プラント(40 m²程度)は、高潮等の緊急事態を考慮し堤防上に設置した(写真一2参照)。



写真一2 プラント設置状況

- ② 施工基盤が河川水位より低いため、浸透水等による足場の崩壊が危惧された、簡易の架台足場を設置した。
- ③ 杭芯位置に、削孔集水用の鋼製ピットおよびガイド管を設置(写真一3参照)。
- ④ 削孔角度をスランtrルールで二方向より確認する。
- ⑤ 掘削は、鋼管先端部に取付けた削孔ビットおよびインナロッドで、二重管方式でロータリパーカッションボーリングマシンにて注水削孔を行う。

鋼管およびロッドとも単位長さ  $L=1.5$  m



写真一3 鋼製ピットおよびガイド管



写真一4 削孔状況

のものをねじ式に回転させながら繋いで行く(写真一4参照)。

削孔水は、河川水を水槽に溜め置きし、循環使用し、削孔深さを、あらかじめ設置した丁張と鋼管位置で確認する。

- ⑥ 削孔後、鋼管内を清水で洗浄し、スライム処理する。排出される泥水が清水に変わったことを確認する。インナロッド引抜き後、検尺テープにより削孔長の確認を行う。
- ⑦ 設計に基づき、芯材であるねじ節異形棒鋼  $L=1.5$  mものを機械継手で繋ぎながら挿入する。異形棒鋼は鋼管の中心部になるよう、スペーサをあらかじめ設置しておく(写真一5参照)。
- ⑧ 異形棒鋼挿入に並行し挿入された注入ホースより一次グラウトを注入した。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



写真一五 鉄筋挿入状況

認し注入を終了した。グラウトは、清水を用い所定のミキサで行った(表一七参照)。

表一七 グラウト配合表

|                    | 早強ポルトランドセメント<br>(kg) | 水<br>(kg) | 混和剤<br>レオビルドNL4000<br>(kg) | 設計強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|----------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 1m <sup>3</sup> 当り | 1,213                | 606.5     | 18.2                       | 30                           |

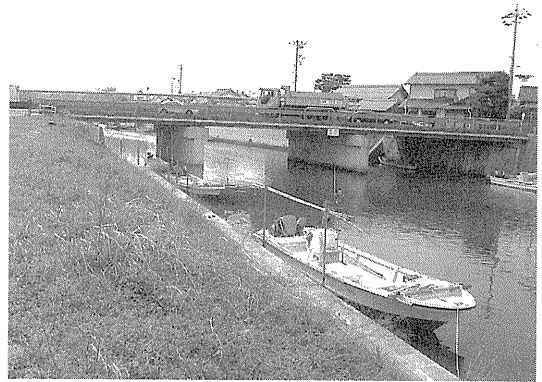
- ⑨ 打設された鋼管を、一度定着部上端まで引上げる。引上げ長はおよそ6.0mとし、鋼管1.5m毎に4段階に分け、段階ごとにグラウトの二次加圧注入を行った。加圧は、鋼管頭部を閉塞し、圧力ゲージにて加圧を確認しながらパッカー式で行った。
- ⑩ 加圧後、鋼管を再度繋ぎながら定着部にL=2.0m再挿入した。この際、上部鋼管は、空打ち部となるため、やっこチャックを設置し、設計深さ再挿入後、余長を引抜き可能とした。
- ⑪ 廃泥処理は廃泥水槽を設置し、随時バキューム車にて、法令に基づき運搬処理した。

## 5. おわりに

差海橋の2基の橋脚耐震補強工事は、P1橋脚(出雲市側)を平成11年度に、P2橋脚(浜田市側)を平成12年度のそれぞれ渇水時期に施工を行った。

低空頭、狭隘な施工ヤードに加え、現道を供用しながらの工事であったため、非常に神経を使いながらの施工となったが、河川の増水により施工を

中断した以外は、既設橋梁、周辺構造物の沈下等も無く無事に施工を完了した(写真一六参照)。



写真一六 施工完了

最後に、本報文をまとめるに当たり、貴重な資料を提供して頂いた関係各位に感謝いたします。

J C M A

### 《参考文献》

- 1) 西村孝雄・狩野浩資・新枝秀樹：平成13年度国土交通省国土技術研究発表会「高耐力マイクロバイル工法を用いた差海橋脚の耐震補強」, pp.207-210, 平成13年11月。
- 2) 岡 邦彦・若槻幹穂・畑野俊久：「橋脚基礎の耐震補強—高耐力マイクロバイル工法—」, 土木技術, Vol. 55, No. 5(1999)。

### 【筆者紹介】

守田 正一(もりた しょういち)  
株式会社フジタ  
国道9号差海橋補強工事  
現場代理人



寄野 芳紀(さきの よしのり)  
株式会社フジタ  
国道9号差海橋補強工事  
監理技術者



杉内 茂美(すぎうち しげみ)  
株式会社フジタ  
広島支店  
土木部

