

◆ 特集：橋梁の耐久性を向上させる技術 ◆

既設基礎の耐震補強の施工性に関する検討

梅原 剛* 福井次郎** 竹口昌弘*** 相良昌男**** 青柳 守*****

1. はじめに

兵庫県南部地震後、耐震設計基準の改定により、既設橋梁の耐震性を向上させるための補強が必要な場合がでてきた。補強が必要な部位は主に橋脚柱、基礎である。橋脚柱を補強する場合、コンクリート巻立て工法、鋼板巻立て工法が一般に用いられており、施工上問題になることは少ない。一方、基礎を補強する場合、主に増し杭工法が用いられているが、桁下空間の制約、都市部においては近接構造物による制約などがあり、施工が困難となることがある。そこで、(独)土木研究所、(財)先端建設技術センター、民間12社により、平成11年度から13年度まで共同研究を実施し、厳しい施工条件下での施工が可能な耐震補強技術として5つの工法¹⁾を開発した。その後、これらの工法は、いくつかの現場で適用されている。

ここでは、その5つの工法のうち、施工実績が多い高耐力マイクロパイル (High Capacity Micropile) 工法、Kui Taishin-SSP (Super Strengthening Pile Bents) 工法の2つの工法を取り上げ、これまでの施工事例を基に、施工性に

関して検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 高耐力マイクロパイル工法

2.1 工法概要

高耐力マイクロパイル工法 (以下、HMP工法と略す) は、ボーリングマシンにより地盤を削孔して、異形棒鋼や高強度の鋼管などの補強材を挿入し、定着部分にグラウトを加圧注入することにより、高い周面摩擦力が期待できる小口径杭を用いた工法である。本杭は、軟弱地盤から砂礫地盤、岩盤まで種々の地盤で施工が可能である。また、短尺鋼管を継ぎ足して、施工を行うため、厳しい空頭制限下においても施工可能である。

図-1に標準的なHMP工法の施工工程²⁾を示す。まず、ボーリングマシンにより、鋼管をケーシングとして所定の深さまで削孔する。鋼管は短尺のピースをネジ式機械式継手によって連結しながら削孔する。削孔完了後、インナーロッドを引抜き、芯鉄筋 (異形棒鋼) を挿入する。次に、異形棒鋼に添えて挿入した注入ホースにより、グラウトの初期注入を行う。その後、鋼管ピースを数本引抜くごとに、鋼管頭部に圧力キャップを取り

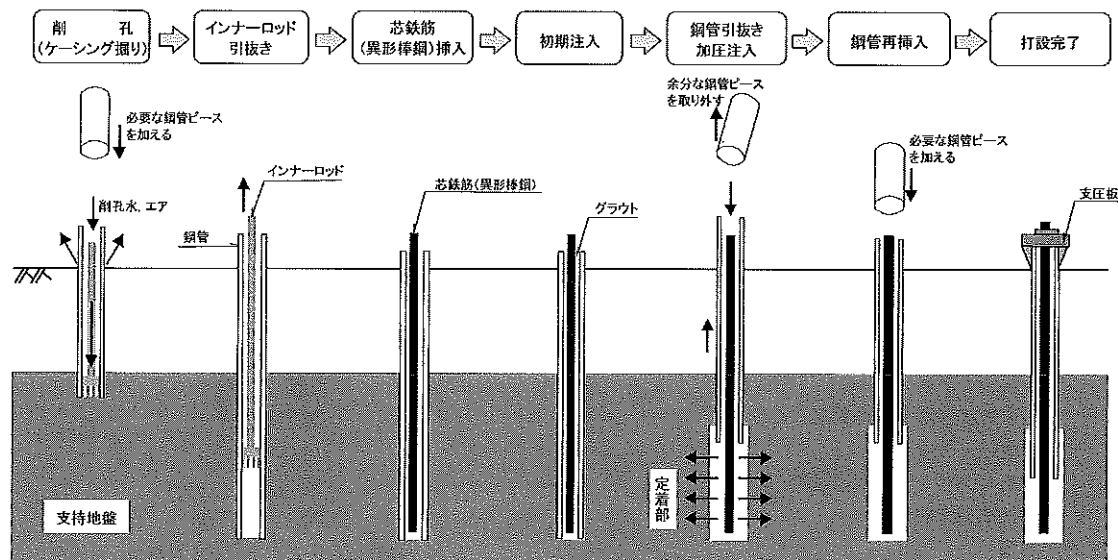


図-1 HMP工法の施工工程

付け、加圧注入（加圧力0.5～1.0MPa程度）を行う。これを繰り返し、定着部全体にグラウトを加圧注入した後、鋼管から定着部への軸力伝達を円滑にするため、必要長さの鋼管を再度定着部に挿入する。養生後、杭頭部に支圧板を取り付け、フーチングと結合する。

2.2 施工実績

HMP工法の施工実績は、平成11年の国道9号差海橋の耐震補強工事をおきりに、新設基礎も含め、これまで46件を数える（平成16年7月現在）。主な施工実績を表-1に示す。

施工実績の内訳は、図-2に示すように、既設橋脚基礎の耐震補強が18件で全体の39%を、鉄塔・歩道橋・建築・配水池等の既設基礎の耐震補強工事が13件で28%を占める。既設基礎の耐震補強工事は、両者をあわせ、31件となり全体の67%を占める。

2.3 施工性の検討

ここでは、特に厳しい現場条件下での施工であった亀戸給水所配水池耐震補強工事における施工性の検討について述べる。

亀戸給水所配水池の基礎は、直径600mmのPC杭が、地下約35mの支持地盤まで、約2mの間隔で千鳥に配置されている。基礎の補強は、長さ38～48mのHMPを打設角度15°で、既設杭の間を縫うように打設するものであった。このような厳しい現場条件下での施工であったので、HMPの接触による既設杭への損傷が最も懸念され、既設杭への損傷回避策が施された。また、斜杭の施工精度の確認および支持地盤の確認手法の検討を行った。以下にその施工性の検討結果を示す。

(1) HMPの接触による既設杭への損傷回避策

当現場では、既設杭の損傷を回避するため、中間層はプラスチックビットを用いて削孔した。これにより、もしHMPと既設杭が接触しても先にプラスチックビットが摩耗し、既設杭の損傷は回避できる。支持層に到達後は、プラスチックビットでは、それ以深の削孔が不可能となることから、プラスチックビットを通常の鋼製ビットへ交換し削孔した。なお、実際の施工では、既設杭との接触は無かった。

以上より、既設杭への接触、損傷が懸念される場合には、地盤にもよるがプラスチックビットの

表-1 HMP工法の主な施工実績

工事名	発注者	補強杭総延長 (m)
国道9号差海橋補強工事 ³⁾	建設省中国地方建設局 松江国道工事事務所	335
東名高速道皆瀬川橋	日本道路公団	344
都城霧島公園線龍泉寺陸橋	宮崎県都城土木事務所	1281
大武川舞鶴橋	国土交通省中部地方整備局 富士川砂防工事事務所	90
市道1062号要橋橋梁基礎	千葉県館山市役所	504
鳥飼大橋架替工事	大阪府枚方土木事務所	1217
飾磨大橋P9補強工事	兵庫県飾磨県民局	42
長生橋喜多町線橋脚基礎	新潟県長岡土木事務所	122
南部山橋橋脚基礎補強	広島県広島地域事務所	76
亀戸給水所配水池耐震補強工事（試験施工）	東京都水道局建設部	230

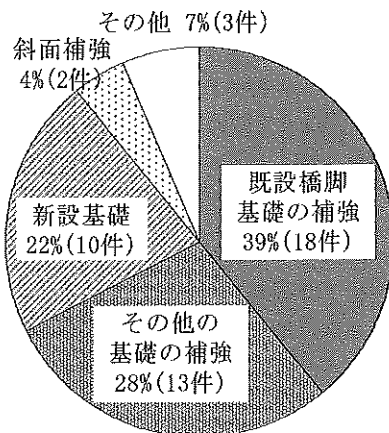


図-2 HMP工法の適用分野別施工実績

採用が効果的であると考えられる。

(2) 斜杭の施工精度

HMPは斜杭として用いることにより、大きな補強効果が期待できる特長がある。しかしながら、斜杭の施工事例が少なく施工管理データも少ないことから、斜杭の施工精度への信頼性が乏しい。また、HMPの杭長が長くなった場合には、杭先端部で垂れ下がり等が生じ施工精度の確保が困難となることが懸念される。そこで、当現場では、斜杭の施工精度を把握するため、通常の杭頭部での杭角度の確認に加えて、施工完了後、傾斜計により斜杭の施工精度を確認した。図-3に施工精度計測結果の一例を示す。図はHMPの断面の打設位置を示している。図-3からも明らかのように、当現場での杭は約38～48mと長いにも関わらず、杭角度は当現場の管理値である±1°以内で

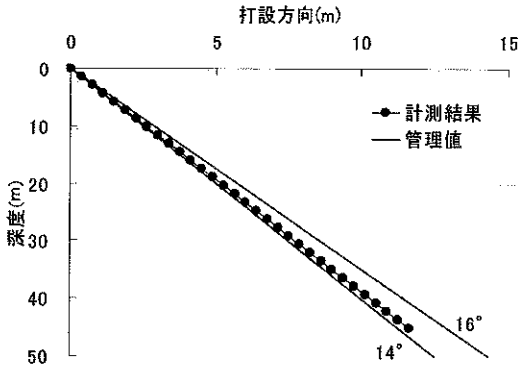


図-3 施工精度計測結果(斜杭15°、杭長48m)

あり、HMPは精度良く施工された。また、杭はほぼ直線的に施工されており、杭先端部での垂れ下がりほとんど無いと判断される。これは、HMPでは一般に高強度の油井鋼管を用いており、継手はネジ式機械式継手であることから、長い斜杭でも直線性が保持されたものと考えられる。なお、当現場では全ての杭において、杭角度は±1°の施工精度が保たれた。

(3) 支持地盤の確認手法の検討

現状の施工管理では、HMP先端の支持地盤への到達の確認は、削孔泥土に支持層の土質が含まれることにより判断している。しかし、ビットにより粉碎された削孔泥では土質の判断が困難な場合が多く、より確実な支持地盤の確認手法が必要であると考えられる。

そこで、当現場では既設杭への接触確認および支持層到達を確認するため、削孔機の回転トルクに着目し測定した。トルクは削孔機に設置されている回転トルクの増減を表す油圧計を読み値とした。その結果、図-4に示すように、削孔中に支持地盤に到達すると回転トルクが著しく増大する傾向があった。したがって、削孔泥土の確認と併せて、回転トルクの計測は支持地盤到達を確認するために有効な施工管理手法の一つであると考えられる。

2.4 今後の課題

今後の課題として、下記の点が挙げられる。

(1) 施工機械の改良・開発

空頭制限が3.5m、削孔機械の設置幅が2m程度、支持地盤が深く補強杭長が40m超となる場合等、施工制約条件が特に厳しい場合には、現存の施工機械の能力では、鋼管の引抜きや定着部へ鋼管を再挿入する作業が困難になることが懸念される。今後は、このような厳しい条件下でも対応で

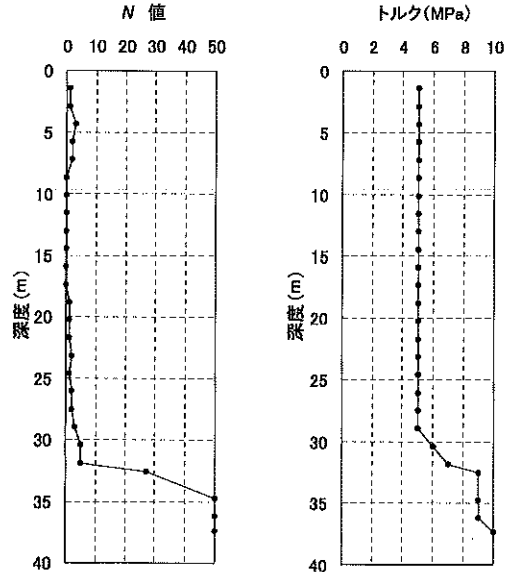


図-4 N値と削孔時の回転トルク

きるように、施工機械のコンパクト化と能力の向上を目指した施工機械の改良・開発が望まれる。

(2) 施工手順の見直し

現状では、グラウト材の加圧注入は鋼管ピース1本毎に実施することを標準としているが、地盤条件を詳細に把握することができれば、その回数を減じることが可能となり、工期短縮が図られる。今後は、このように工期短縮を目的とした、新たな施工手順の確立を図りたい。

(3) 施工管理手法の改良

現状では、施工機械の設置角度は、角度計を用い、人が目視によって確認している。今後は、各種センサーを施工機械に設置する等、施工管理手法を改良し、精度向上と省力化に努めたい。

3. Kui Taishin-SSP工法

3.1 工法概要

Kui Taishin-SSP工法(以下、SSP工法と略す)は、補強鋼板を既設杭に巻き立て、圧入し、水中不分離型無収縮モルタルにより既設杭と一体化することによって、耐震性能の向上を図る工法である。本工法は、既設杭が地上に立上ったパイルベント橋脚に適用できる工法であり、既設構造物直下等の厳しい条件下において、大規模な仮設備の必要がなく、また、景観、河川の河積阻害率を大きく変えることなく、基礎の耐震性能を向上させることが可能な補強工法である。

図-5にSSP工法の標準的な施工工程⁴⁾を示す。

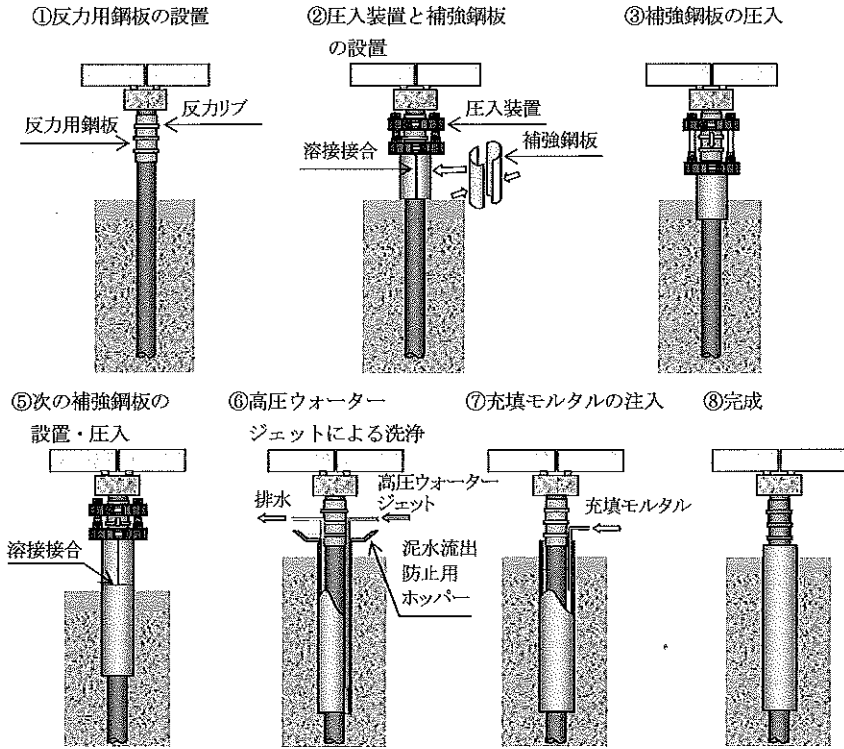


図-5 SSP工法の施工工程

まず、既設杭の地上部に反力用鋼板を接着剤等により固定する。次に、圧入装置を設置し、2分割された補強鋼板を現場溶接により巻き立て、圧入する。補強鋼板は所定の深度に達するまで継ぎ足し、圧入する。最後に、補強鋼板と既設杭との空隙を高圧ウォータージェットにより洗浄して、モルタルを充填し、既設杭と一体化させる。

3.2 施工実績

SSP工法の施工実績(平成16年7月現在)を表-2に示す。本工法は施工中を含め、10件の施工実績があり、道路橋の耐震補強に8件、道路橋の防錆補修に1件、水管橋の耐震補強に1件採用されている。

3.3 施工性の検討

これまでの施工実績を基に、主なポイントであ

表-2 SSP工法の施工実績

工事名	発注者	補強材総延長 (m)
鷗橋改良工事 ⁵⁾	横浜市道路局	34.5
平成13年度弁天大橋橋脚補強工事(村櫛橋)	静岡県道路公社	30.0
小松新橋補修工事	国土交通省北陸地方整備局 金沢工事事務所	49.0
下佐橋橋梁補修工事	石川県土木部	14.0
福山港港湾局部改良工事(釜屋橋)	広島県福山地域事務所	171.5
上今泉跨道橋外耐震補強工事	国土交通省関東地方整備局 横浜国道工事事務所	44.0
高島臨港道路補強工事(大川橋)	岡山県倉敷地方振興局	119.0
平成15年度袋井大須賀線緊急輸送路等安全確保特別対策事業(馬伏橋その2)工事	静岡県袋井土木事務所	16.0
水管橋耐震補強工事(2次II期・石津川水管橋)	大阪府水道部	46.0
下糟屋跨道橋耐震補強他補修工事	国土交通省関東地方整備局 横浜国道工事事務所	52.0

る施工地盤、圧入力および施工空間に関して施工性の検討を行った。以下にその施工性の検討結果を示す。

(1) 施工地盤

本工法の適用地盤は有機質土、粘性土、シルト、砂質土、および最大礫径が既設杭と補強鋼板の離隔より小さい礫質土であり、基本的に岩盤・玉石を除くあらゆる地盤に適用可能である。現在までの施工実績は、粘性土はN値50(土丹層)、砂質土はN値50、礫質土はN値37、最大礫径φ50mmまでの地盤である。この中でも一番の留意事項は、礫質土における礫径であり、実施工では事前調査における地盤条件と整合性がとれていたため、問題なく圧入することができた。施工地盤が礫質土である場合は、事前調査をより入念に行うと共に、今後、SSP工法の適用範囲を拡大するために大きな礫径に対しても対応可能な施工法を検討する必要がある。

(2) 圧入力

本工法は既設杭を反力とすることを特徴としており、計画段階で周面摩擦力などから算出される必要圧入力が既設杭の許容引抜き力から算出される圧入力の管理値を上回らないように定めている。

表-3に示す釜屋橋での圧入力をみると、実施工時の圧入力は、管理値以内となっているものの設計時に推定した必要圧入力以上の値を示している。基本的には推定値以下の圧入力で圧入させるのが望ましいが、周辺地盤を乱さないように、既設杭と補強鋼板間の土砂をある程度残しながら、管理値以内の圧入力で、圧入沈下させることが必要である。

今後は、施工実績から底面の掘削状況に関するデータを集積し、必要圧入力の推定精度をより実施工に近づけられるように先端抵抗力や周面摩擦力の算出方法などを検討する必要がある。

(3) 施工空間

本工法では、補強鋼板を現場に設置し、溶接するための施工空間として、標準ロット長である1mの補強鋼板を用いた場合、現在の圧入装置では約3.3mの梁下空間で十分である。

しかし、それでも施工が困難な場合がある。例えば、釜屋橋では満潮時水位がほぼ梁下端位置(水深5.0m)で、干満差最大約4mという条件であった。満潮時水位に対応した仮締切り構造では、仮締切り上端が梁下端位置となり、資材投入時に仮締切りの上部を撤去しなければならず、施工性の低下が懸念された。そこで、当現場では仮締切り高さを梁下端から0.8m下げた位置とし、資材投入スペースを確保した。また、水位が仮締切り高さを超える時間帯は施工を見合わせると共に、

圧入装置を耐塩水タイプに改良して施工を行った。

石津川水管橋では近接構造物が補強対象杭から約50cmという条件下での施工であった。当現場では簡易仮締切りを外径φ5500mm(8分割)として、図-6に示すように近接構造物と一緒に締切り、圧入装置は50cm程度の間隔でも施工できるようコンパクトに改良して施工した(写真-1)。今後、施工条件によっては圧入装置の更なる小型化を検討する必要がある。

3.4 今後の課題

今後の課題として、様々な環境条件に対応した施工技術の改良・改善とコストダウンが挙げられる。コストダウンについては低コスト充填材の施工性載荷試験を行い、使用用途をつけているとこ

表-3 釜屋橋での圧入力値 (kN)

必要圧入力		管理値
推定値	実施工値	
470	730	750

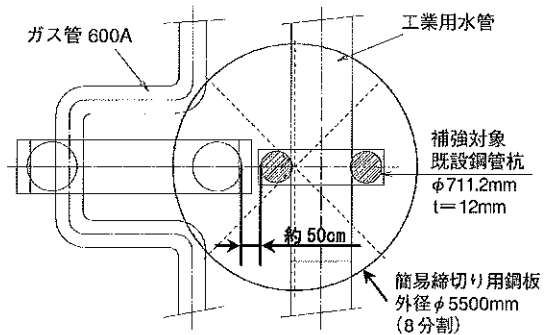


図-6 石津川水管橋仮設平面図

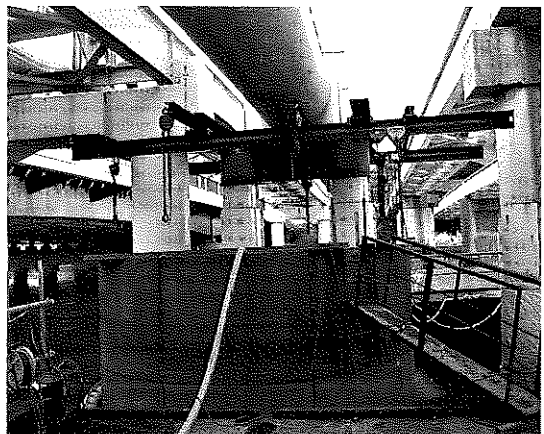


写真-1 石津川水管橋仮設状況

ろであるが、ここでは施工性について述べる。

(1) 簡易仮締切りの改良・改善

当初の簡易仮締切りは杭1本当たり1基(φ2.5m)で、水深も1~2m程度の浅いものを想定して開発したものである。しかし、実施工において、前述のように水深5m程度、また干満差のある場所や近接施工など厳しい環境条件に対応する仮締切りが要求された。今後は、更なる厳しい条件下においても適用可能な簡易仮締切りの開発が望まれる。

(2) 斜杭への対応

現在までの施工実績はないが、斜杭のパイルベント基礎補強に関するSSP工法の施工性の問合せが増えてきている。

共同研究報告書¹⁾には、斜杭における補強鋼板の沈設精度を確保するために、スパーサにローラを取り付けることにより、斜杭への対応が可能であることを説明しているが、今後、斜杭に対しても施工性の検討を行っていくことが望まれる。

4. おわりに

今回は、過去の共同研究で開発された耐震補強技術の施工性に関して、現場における施工事例を基に検討した。その結果、HMP工法では、既設杭の間を縫って補強杭を斜杭として打設する現場、SSP工法では、近くに近接構造物が存在する現場であっても問題なく施工可能であることが確認でき、これらの工法の有効性が実証された。今後は、さらに研究開発を進めていき、よりコスト縮減可能な技術となるよう努力していく所存である。

最後に、本論文をまとめるに当たり、東京都水道局など多くの方々に貴重な情報およびデータを提供して頂いた。この場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書(その3)6分冊の1, 2002.9
- 2) 独立行政法人土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書(その3)6分冊の2—高耐力マイクロパイル工法設計・施工マニュアル—, 2002.9
- 3) 畑野、相良：耐震性能の向上をめざす高耐力マイクロパイル工法—工法概要と施工事例—, 土木施工, Vol.45, No.4, pp.69-73, 2004.4
- 4) 独立行政法人土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書(その3)6分冊の6—Kui Taishin-SSP工法設計・施工マニュアル—, 2002.9
- 5) 福井、志藤、天野、目黒：Kui Taishin-SSP工法によるパイルベント橋脚の耐震補強—横浜市・鷗橋改良工事—, 土木施工, Vol.43, No.2, pp.23-28, 2002.2

梅原 剛*



独立行政法人土木研究所
構造物研究グループ基礎
チーム研究員
Takeshi UMEBARA

福井次郎**



独立行政法人土木研究所
構造物研究グループ基礎
チーム上席研究員
Jiro FUKUI

竹口昌弘***



独立行政法人土木研究所構造物
研究グループ基礎チーム主任研
究員
Masahiro TAKEGUCHI

相良昌男****



(株)フジタ 技術センター土木研
究部主任研究員
Masao SAGARA

青柳 守*****



(株)白石 技術本土木技術部設
計一課課長
Mamoru AOYAGI