

狭隘空間でも施工可能な場所打ち杭工法の概要と 施工事例

超低空頭場所打ち杭工法 C-JET18

竹 田 茂 嗣・加 藤 精 亮

近年、都市部で行われる駅改良事業等で施工される基礎杭は、用途の多様化による施設の大型化により大口径化の傾向にあるが、その作業条件は駅施設を利用されるお客さまの利便性を維持するため、きわめて狭隘な空間であることが多く、既往の場所打ち杭機械掘削工法では施工不能なケースが多く見受けられた。

また、道路高架や建築物の耐震補強のための増し杭等においても、駅改良と同様に既往インフラを使用しながらの工事が多く、利用者への配慮から最小限の施工空間での施工が強いられる。このような条件下においても、大口径の場所打ち杭施工が可能な超低空頭場所打ち杭工法 C-JET18（以下「本工法」という）を開発した。本稿ではその概要と施工事例について報告する。

キーワード：基礎、場所打ち杭工法、狭隘空間、駅改良、耐震補強

1. はじめに

高度成長期に急速に整備された我が国の交通インフラの多くは、その後の長い年月を経て老朽化・劣化が進んでおり、機能や安全性を維持するための補修・補強・更新等の再構築が唱えられて久しいが、たとえば鉄道駅はホーム・コンコース等のスペースの狭さや依然多い段差、エスカレーター・エレベーター設置の制約、ホーム・階段幅の不足による混雑時の滞留や、他交通モードとの乗換えの円滑化、さらには駅を挟んだ地域の分断等が課題として挙げられており、これらを改善するため自由通路の確保やバリアフリー化、さらには周辺地域の活性化を図る目的で、総合的な改善や生活支援機能の集約による駅空間の高度化を図る駅改良事業が進められている。このような事業では、駅機能が高度化され施設は大型化の傾向（図—1）にある

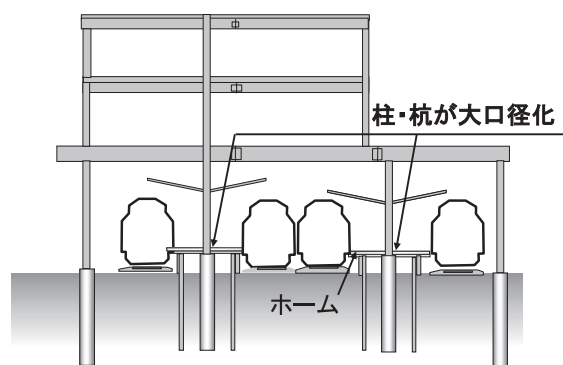
が、その一方で施設を構築する空間は多くの場合ホーム（線路）上空に求めることとなり、その柱・基礎はホーム上に設置することとなるが、ホームの利便性から考えて、多数配置することは困難であり、配置する柱及び基礎杭径は大きくなる傾向にある（図—2）。

一方、同種の工事は多くが狭隘で低空頭の作業条件下であり、施工可能な従来技術は深礎工法のみというような状況が、多く見受けられてきた。深礎工法は止水や地盤強化のための薬液注入を実施した後に人力掘削するため、非効率・高コストである（写真—1）。

また、類似技術のTBH工法（写真—2）では、適用杭径は最大2.0mと小さく、その掘削機は同種の工事に用いるには大きすぎて、駅利用者の利便性を維持するための空間確保の必要性から施工が困難となる。これらの課題を解消するため、本工法を開発した（図—3）。



図—1 駅改良工事完成予想の例



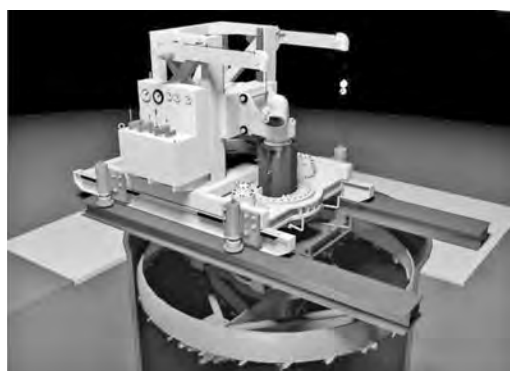
図—2 大口径化する線路上空建物の杭・柱



写真－1 深礎工法



写真－2 類似技術 (TBH 工法)



図－3 超低空頭場所打ち杭工法

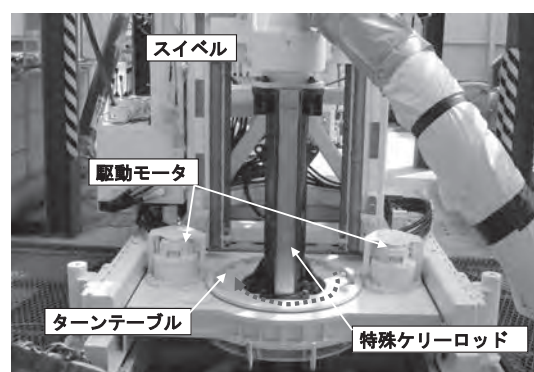
2. 工法の概要

本工法は、従来から鉄道近接工事の場所打ちコンクリート杭に数多く用いられてきた信頼性の高いリバーササーキュレーションドリル工法を採用した。その仕様を表－1に示す。

高さ1.8mと超低空頭仕様となっており、加えて平面的な形状も2.05m×2.95mで本体重量は約4tと類似技術の杭施工機械と比較して、大幅に小型化かつ軽量化を図った。

この施工機械の特徴である超低空頭化を実現するため、駆動方法はターンテーブル方式を採用した。

類似技術の施工機械では、駆動モータをロッド上部に配置するトップドライブ方式が用いられていたが、本工法では図－4、5に示すように、ベースフレーム部にターンテーブルを配置、ターンテーブル側部に配置した2台の小型油圧モータによりターンテーブルとロッドを回転させ、掘削を行う方法とした。これにより機械高さ1.8mの超低空頭仕様であっても、掘削ビットの上下の移動距離であるフィードストロークを1.1m確保でき、また機械を軽量・小型化したにもか



図－4 駆動方法

表－1 仕様一覧

工法名称	超低空頭場所打ち杭工法
機械名称	コンパクトリバーサ JET18 タイプ (略称 C-JET18)
形式	ターンテーブル式リバーササーキュレーションドリル工法
機械本体	寸法：(H) 1,800 × (L) 2,950 × (W) 2,052 (mm), 重量：約 4,000 (kg)
油圧ユニット	原動機：30 kW × 4 P, 200 V 寸法：(H) 1,350 × (L) 1,750 × (W) 900 (mm), 重量：約 1,100 (kg)
掘削性能	適応杭径：0.8 ～ 3.0 (m), 最大掘削深度約 50 (m)
適用ロッド	特殊ケリーロッド (8B, L = 1,000 mm)
その他	スピンドル回転数：LOW 7.5 rpm, HIGH 15 rpm スピンドルトルク：LOW 29.4 kN-m HIGH 14.7 kN-m フィードストローク：1,100 mm フィードロード：MAX.98 kN (上昇, 下降) 掘削管理システム搭載 (孔内水位安定化システム連動)

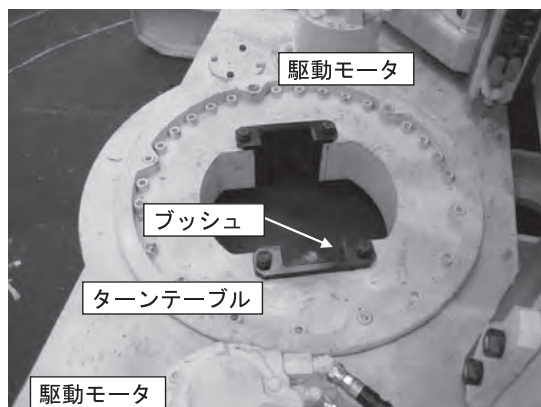


図-5 ターンテーブル詳細

かわらず類似技術の約 1.7 倍である 29.4 kN・m の掘削トルクを装備, 最大杭径 3.0 m まで掘削を可能とした。

また, ロッドはターンテーブルに取り付けたブッシュと呼ばれる凹部に噛み合わせるよう全長にわたって凸部のある特殊ケリーロッドを開発した(図-6)。掘削時にはこのブッシュ部分を介して回転をロッドに伝達し, 下方へ凸部をスライドさせる。ロッドが機械の最下部まで下りると新たなロッドを接続するが, この接続作業では, ターンテーブルと同じ高さでボルト締め込み作業が必要となるため, あらかじめボルトは

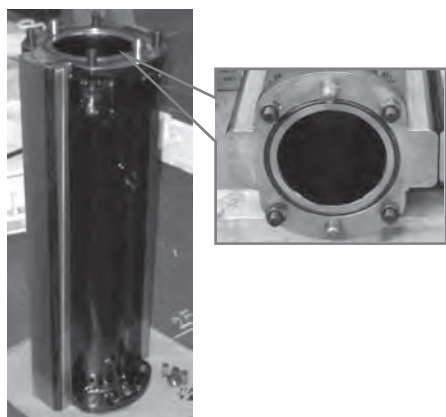


図-6 特殊ケリーロッド

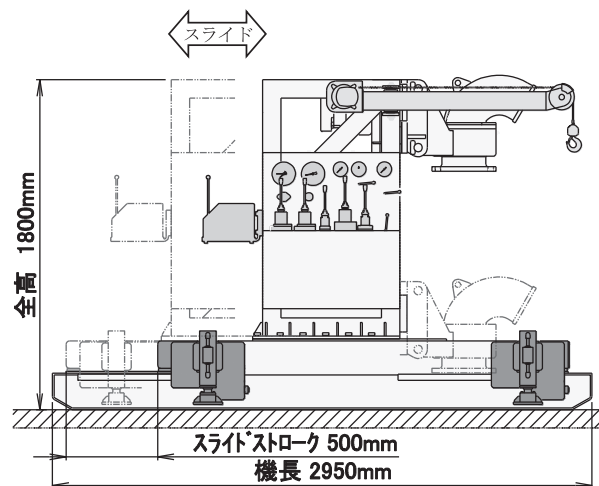


図-7 マストのスライド

先行ロッドに固定しておき, 後続のロッド差込み後, 上部よりナットを締め込む方式とした。

さらに, ロッド接続時には, 図-7に示すように, マストを移動させることで, 接続ロッドをロッド芯に容易にセットすることができ, ストローク余裕のない状態でも良好な作業性を確保した。

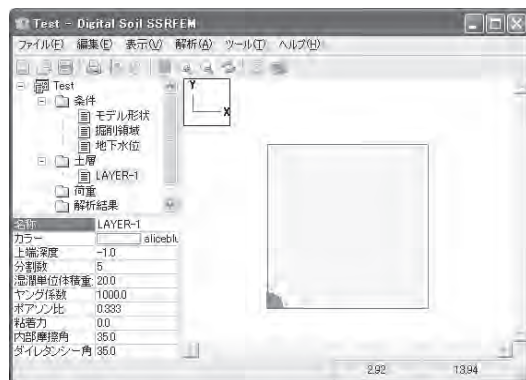
以上のような工夫により, 類似技術(TBH-8, H = 4.4 m)の約 4 割程度の機械高さを実現することを可能とした。

3. 施工管理システム

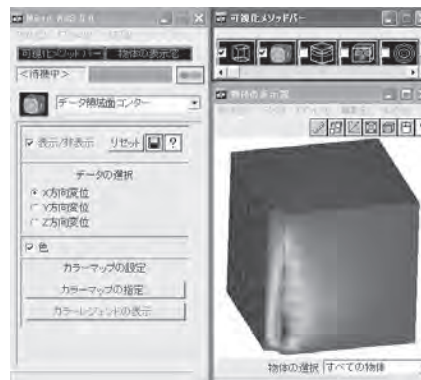
駅改良工事の杭施工箇所の多くは, 鉄道営業線近接工事であり, 杭の孔壁崩壊は即大事故に発展するリスクが潜在している。そのため, 以下のシステムを開発し, 運用・搭載することで安全性の向上に努めている。

(1) 杭孔壁の安定解析ソフトウェア¹⁾(図-8)

本ソフトウェアは, 「せん断強度低減法」を用いた場所打ち杭の孔壁挙動解析手法であり, モデル形状・



メイン画面

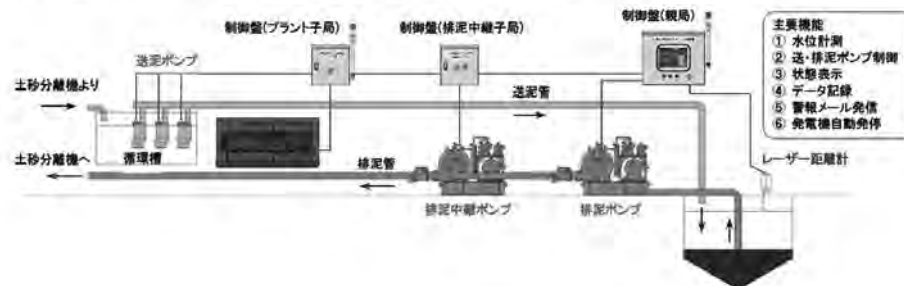


結果表示例

図-8 杭孔壁の安定解析ソフトウェア

孔内水位安定化システム 掘削時の安全性向上

- 水位管理の品質向上
 - ・ 水位を標高値で表示するため現在値の良否が明確です。
 - ・ 水位計測データを制御に使用。従来の電極による水位検知に比べ、きめ細やかな制御が可能です。
 - ・ 水位変化の速さ、設定水位との差の大きさに応じて送泥ポンプの運転台数を制御するため、水位変動を小さく抑えることができます。
- 安全性の向上
 - ・ 水位に応じて送・排泥ポンプを統括制御するため、人為的過誤による水位低下を防止できます。
 - ・ 水位低下時は、状態表示灯と警報メール発信で速やかに工事関係者に通知します。



図一 9 孔内水位安定化システム

削孔径・削孔長・口元管有無および設置長・土層構成・各層土質定数・地下水面高・比重・安定液水位・比重・地表面荷重を入力することで、全体安全率・安全率コンター図等が出力され、必要な補助工法の範囲や孔内水位の管理値などを決定することができます。

(2) 孔内水位安定化システム²⁾ (図一 9)

杭工事における孔内水位の管理は施工中の孔壁の安全性を左右するものであり、非常に重要である。上記(1)の解析で決定した孔内水位の管理値を、細やかにコントロールでき、かつ異常水位が発生した場合は緊急通報ができる孔内水位管理システムを開発した。これにより、孔内水位の変動余裕が非常に小さい超低空頭の施工条件においても、孔内水位を厳密に管理することで安全を確保している。

(3) 掘削管理システム³⁾ (図一 10)

類似技術のTBH工法等には、施工時のデータを記録するシステムを装備されていなかったが、本工法では各種掘削データを自動計測し記録、また可視化する掘削管理システムを搭載。これにより、孔壁測定データ等と照合することで、次の杭掘削にフィードバックが可能となった。

4. 施工例

本工法は、すでに300本を超える施工を行っているが、その中でも本工法の特徴が特に有効であった2つの施工事例について報告する。

掘削管理システム 施工情報の視覚化

掘削機の運転データを、リアルタイムでグラフ化し、現在の掘削状況を分かりやすく表示します。

オペレータには簡潔な専用表示器により運転操作の指標を提供し、施工品質の向上に貢献します。



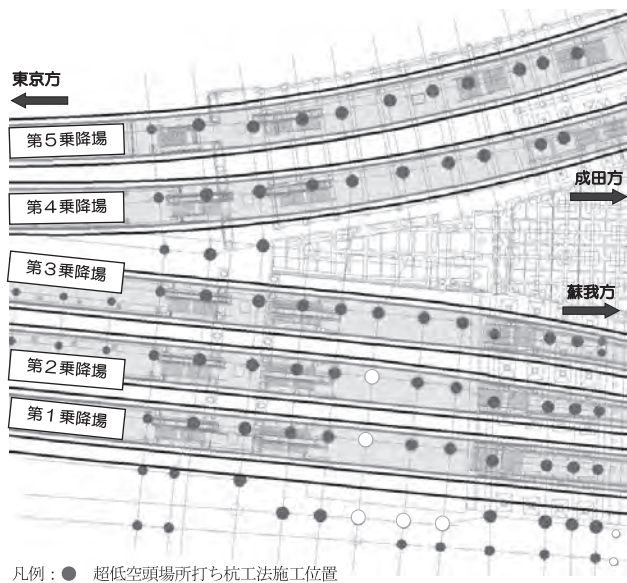
図一 10 掘削管理システム

(1) 千葉駅改良・建替工事における基礎杭の高架下施工

本工事は既存の5面のホーム直上に人工地盤を構築して橋上駅施設・商業施設を新築し、合わせて既存駅ビルの建替を行うものであり、その人工地盤、橋上駅施設等の基礎杭はφ1.5～φ3.0m、杭長22.0～38.0mの場所打ち杭で、本数は以下に示すとおりである(図一11)。

φ 3.0 m	46 本	φ 2.8 m	8 本	
φ 2.5 m	3 本	φ 2.3 m	13 本	
φ 1.8 m	10 本	φ 1.5 m	6 本	合計 86 本

ほとんどの杭施工箇所は初電から終電までお客さまが利用される駅構内であり、その中でも高架上設備の移設が困難な箇所においては、開口を設けて掘削機や



図—11 千葉駅基礎杭配置図

鉄筋かごなどの資機材を上空より大型クレーンで投入することができない条件であり、お客さまがいない夜の時間帯に高架下のコンコースを利用し、資機材の搬入を行った。

掘削機は、運搬可能な範囲はフォークリフトを用い（写真—3）、空頭が低くフォークリフトでは運搬できない箇所においては、油圧ユニットに電源ケーブルを接続し、ベースフレームのスライドジャッキを用いて自走し（写真—4）、所定の箇所に設置した（写真—5）。

掘削ビット・スタビライザーや短尺の鉄筋かごの杭孔への投入は、予め杭孔上に設置しておいた吊り込み架台を使用した（写真—6, 7）。

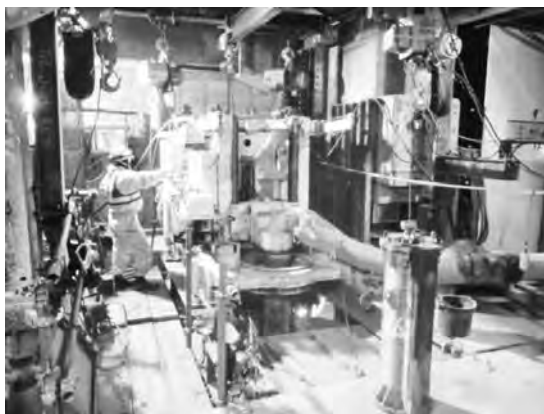
なお、資機材搬入の容易性と、掘削時の孔壁安定性を確保するため孔内水位を地下水位 + 2m 以上を維持するため、作業床はコンコース階レベルとし、地下階からコンコース階レベルまでは口元管をかさ上げ、さらに作業床補強のための地下階より仮設構台を設置した（図—12）。



写真—3 フォークリフトによる超低空頭機運搬



写真—4 スライドジャッキを利用した自走



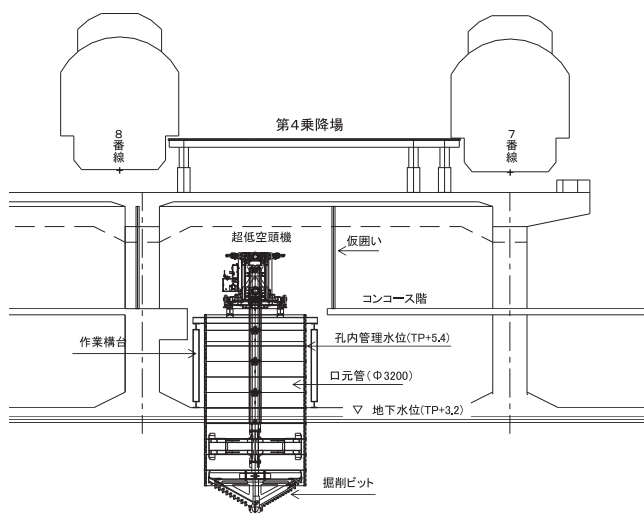
写真—5 高架下での設置、掘削の状況



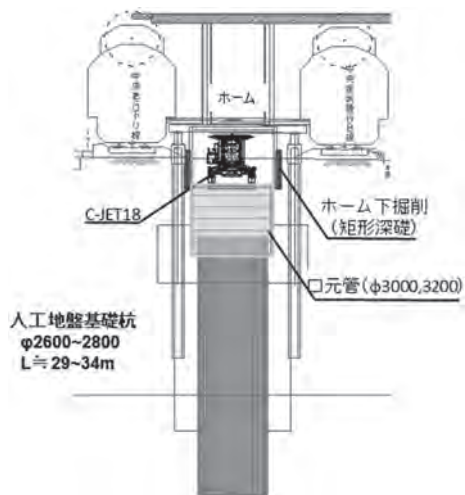
写真—6 吊り込み架台



写真—7 鉄筋かごの吊り込み状況



図—12 高架下施工状況図

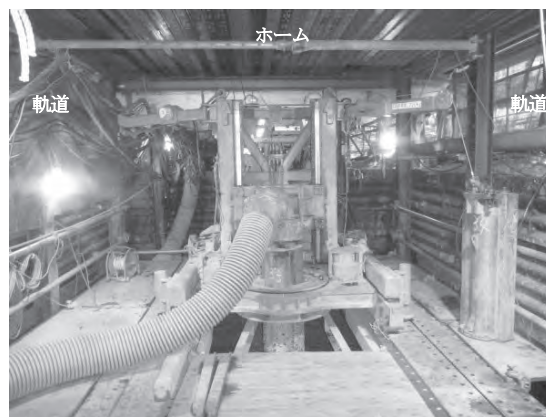


図—14 掘削機配置図

(2) 御茶ノ水駅改良工事のホーム下施工

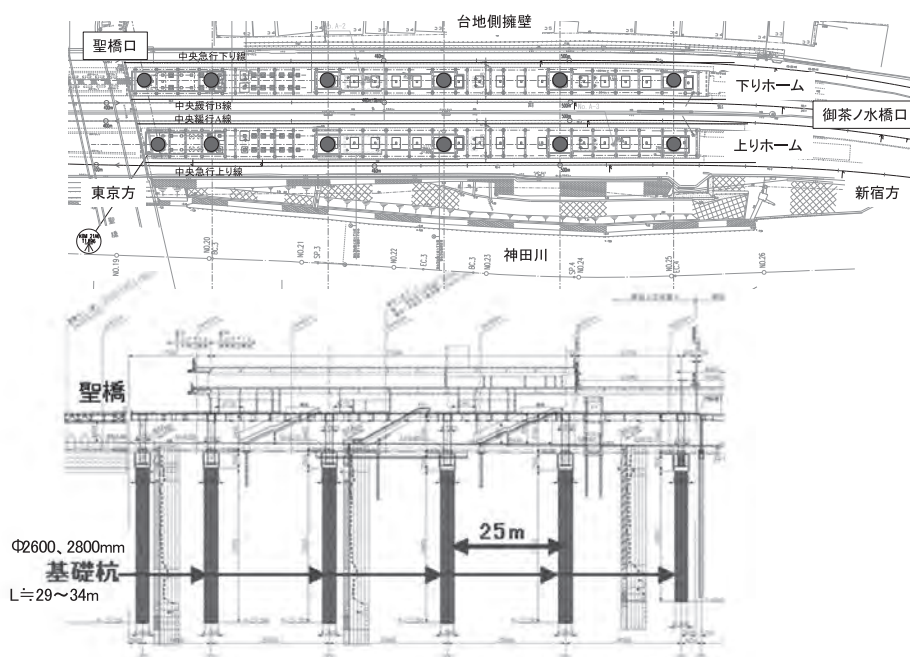
本工事は、2面島式ホームの線路上空に聖橋口と御茶ノ水橋口を結ぶ人工地盤を構築し、エレベーターとエスカレーターを設置することにより、バリアフリールートを整備する工事である。人工地盤の面積は約2,900 m^2 、その基礎杭は ϕ 2.6mが4本、 ϕ 2.8mが8本の12本であり、杭長は約29m～34mである（図—13）。

ホーム上はラッシュ時に混雑することから、杭施工に必要な仮囲いをホーム上に設置するとお客さまの流動を阻害する恐れがあったため、盛土ホームを桁式ホーム化するとともに、ホーム下に仮土留めと掘削を行うことで、掘削機械を設置するスペースを確保した



写真—8 掘削機配置状況

（図—14、写真—8）。また、ホーム面に開閉可能なハッチを設置することで、ホーム下の施工スペースへの出



図—13 御茶ノ水駅 基礎杭配置図



写真—9 開閉可能なハッチの状況



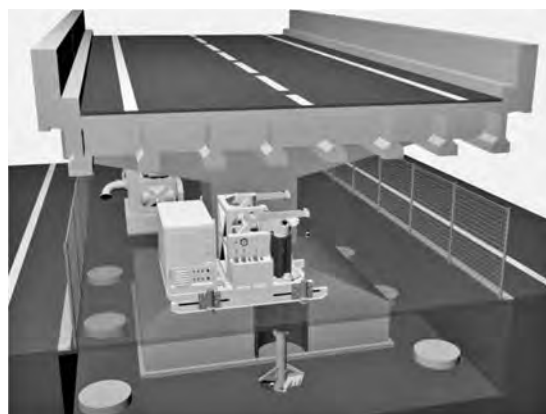
写真—10 鉄筋かごの吊り込み状況

入りを可能とした(写真—9)。

当該箇所は、神田川と台地側擁壁に囲まれた場所であり、施工ヤードが設置できないことから、神田川上空に仮設栈橋を設置し、栈橋を作業ヤードとして施工した。掘削機や鉄筋かごの杭孔への投入は、ホーム覆工及び上家に開口を設け、作業ヤード上に120tクローラークレーンを用いて、き電停止間合いにて設置した(写真—10)。

5. おわりに

以上のように、従来は非効率な深礎工法以外に選択肢がなかった狭隘な施工条件であっても、超低空頭場所打ち杭工法の適用により、効率的な場所打ち杭施工が可能である。本工法がさらなる社会インフラ整備の充実に貢献できれば幸いである。なお、本工法C-JET18はJR東日本・鉄建建設・東亜利根ボーリングの3社が駅改良工事等を対象に共同開発したが、本稿で紹介



図—15 道路高架の増杭施工例

した事例の他にも道路高架や建築物の耐震補強のための増杭(図—15)など、インフラを維持しながらの改良や補強工事等に適しており、そのニーズは多いと考えている。より多くの工事で採用していただけるよう鉄道ACT研究会⁴⁾PR対象工法に登録、同研究会の会員会社に工法を公開している。

JCMMA

《参考文献》

- 1) 太田正彦, 渡邊康夫, 山本淳, 孔壁崩壊試験による場所打ち杭の孔壁挙動解析手法の検証 土木学会第65回年次学術講演会, III-321, p641-642
- 2) 岩瀬隆, 栗栖基彰, 和田旭, 場所打ち杭の孔内水位管理システムの開発 土木学会第67回年次学術講演会, VI-282, p563-564
- 3) 鈴木啓晋, 池本宏文, 今野博史, 山本淳, 古澤晋司, 列車運行時間帯における大口径場所打ち杭の施工 土木施工, 2013.8, Vol54, No.8, p60-63

《補足説明》

- 4) 鉄道ACT研究会 (<http://www.rail-act.org/index.html>)
鉄道建設技術の向上と普及の推進, その健全な発展を目的に発足。主な事業は、会員各社様が開発・保有する優良な鉄道建設・改良に係る技術の向上と普及のための広報活動、技術支援、改善に向けた研究、技術資料の整備及び刊行など。正会員は鉄道事業者・ゼネコン中心に81社、特別会員は設計会社を中心に54社、合計135社。

〔筆者紹介〕

竹田 茂嗣(たけだ しげつぐ)
鉄建建設(株)
建設技術総合センター 研究開発センター
施工技術グループ
グループリーダー



加藤 精亮(かとう せいすけ)
東日本旅客鉄道(株)
東京工事事務所 工事管理室
基礎・土構造グループ
グループリーダー

