

渋谷駅改良工事にストランド場所打ち杭工法を採用

鈴木 健一・堀田 智弘・山野辺 慎一

低空頭・狭隘地における杭の施工性を改善するため、杭の軸方向鋼材にストランド（PC 鋼より線）を用いた伸縮可能な鉄筋かごを開発した。工場で組立てて縮小した鉄筋かごを、孔口から掘削孔内にウインチを用いて伸展することで建込みが完了するため、夜間のみで制約される鉄道工事の施工性を大幅に改善するものである。一方、その施工においては、かごの特性から、かごの製作、かごの建込み、コンクリートの打込み等において、特有の施工方法・施工管理が必要となる。渋谷駅の仮橋脚の基礎杭に初めて採用した本工法の概要について紹介する。

キーワード：場所打ち杭，ストランド場所打ち杭，トレミー工法，ポンプ施工

1. はじめに

駅のリニューアルや連続立体化等の鉄道工事は、施工時間が線路閉鎖・き電停止間合いに限定され、作業空間も既設の高架橋の下などの狭小・低空頭となるため、各種建設工事の中でも、おそらく最も時空間の制約が大きい。そうした条件下での場所打ち杭の施工では、通常、短く分割した鉄筋かごを軸方向鉄筋を接続しながら建て込むため、鉄筋かごの建込みが数日から1週間に及ぶことも珍しくない。また、鉄筋継手に関わるコストの増大だけでなく、作業時間の延長に伴う孔壁崩壊のリスクや、泥水中の鉄筋表面へ泥膜が付着し杭の品質が低下するといった問題もあった。

低空頭に対応した掘削機械はいくつか開発されている^{1)・2)}が、鉄筋かごの改良については、秋葉原駅改良工事に適用されたストランド場所打ち杭工法³⁾のみであった。同工法は、通常の鉄筋かごの軸方向鉄筋に高強度で可撓性のあるストランド鋼材を用いるものであり、掘削した孔口周囲にストランド鋼材のドラムを配置し、ドラムから送り出したストランド鋼材を専用の建込み機械を介して孔内に送り出し、ストランドに帯鉄筋となるスパイラル鉄筋を巻き付けながら建て込むものである。

その後、軸方向鋼材に同様のストランドを用いるが、ストランドの可撓性を利用してストランドを螺旋状にすることにより、写真-1に示すような伸縮可能な鉄筋かごを用いる工法（以下、本工法と呼ぶ）が開発された。本工法では、工場で組み立てて縮小したか



写真-1 伸縮可能な鉄筋かご

ごを極めて短時間で建て込むことから、低空頭下で、しかも夜間のみでの施工が要求される鉄道工事において、建込み時間の劇的な短縮やそれによる品質の向上をもたらすものである。2つのストランド場所打ち杭工法には設計・施工に係る共通点も多いことから、鉄道 ACT 研究会では両者に関する技術資料⁴⁾をまとめ、本工法を「工場組立縮小・現場伸展方式」と呼んでいる。

本文では、渋谷駅改良工事に初めて採用した本工法の概要について紹介する。

2. 工場組立縮小・現場伸展方式の概要⁵⁾

本工法の軸方向鋼材には、可撓性に優れる PC 鋼よ

り線 F50 (SWPR7B 相当, SEEE ストランド。素線構成 $7 \times \phi 8.1$, 公称径 24.3 mm, 断面積 277.1 mm^2 , 引張強度 500 kN) を用いている。円形に加工する帯鉄筋は普通強度の異形鉄筋であるが, フレア溶接や重ね継手ではなく, 突合せ抵抗溶接により溶接閉鎖型に加工したものをを用いる。

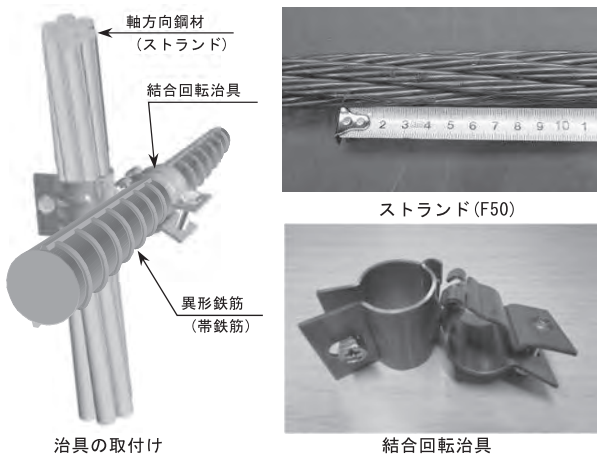
軸方向鋼材と帯鉄筋の交差部には, 互いの交差角度が変化できる結合回転治具を使用する。結合回転治具は, 図一1に示すように, ストランドを把持する部品と帯鉄筋を把持する部品を, 回転可能なようにねじ棒やリベットで結合したものである。

ストランドの可撓性を利用して鉄筋かご全体をねじると, ストランドは螺旋状に変形してかご全体を縮小することができ, 写真一2に示すように, 鉄筋かごは自重だけで容易に伸展する。

3. 工事概要

(1) 渋谷駅改良工事の概要

渋谷駅改良工事は, 国土交通省関東地方整備局が進める国道 246 号拡幅事業および渋谷駅街区土地区画整理事業との共同事業として進める駅施設の大規模改良



図一1 結合回転治具



写真一2 伸展した鉄筋かご

工事であり, 山手線・埼京線のホームの移設・改築, 銀座線橋梁の架替, 駅ビル再開発, 東西自由通路の整備, エレベータ設置等のバリアフリー化などの各種工事を, 段階的に実施するものである。この工事では, JR 線4線と東京メトロ銀座線2線を受け替えながら, 既設の盛土や高架橋を撤去して高架橋を構築するため, 近年でも最も厳しい施工条件となっている。

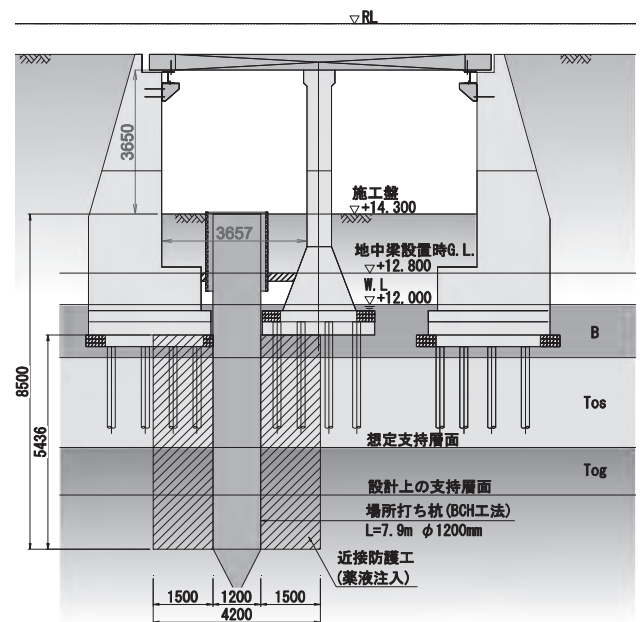
(2) 杭の諸元と施工条件

同工事では各線の高架橋を受け替える仮橋脚の基礎に, 専用の掘削機で施工する鋼管杭を標準的に採用している。しかし, 山手線内回りの仮橋脚は, 図一2に示すように既設高架橋の直下で, 施工空頭は杭孔直上で 3.5 m 程度である上, 施工箇所へのアプローチが山手線内回りの桁下空間のみとなっていた。その空頭が 2.6 m 程度で鋼管杭施工機械や鉄筋かご搬入の制約となったことから, 本工法を採用した。

仮橋脚は 3 本の基礎杭に支持される 2 径間の鋼製門型ラーメン構造である。杭径は 1.2 m で, 杭長は 8.5 m である。なお, 掘削工法は, 掘削機が比較的小型で, 正循環工法でありながら品質のよい杭体の構築が可能な BCH 工法²⁾を採用した。

(3) 杭の設計

仮橋脚の設計は, 工事術工法設計施工マニュアル⁶⁾により行い, 大規模地震に対する検討は, 地震時保有水平耐力法により設計水平震度 0.8 を考慮した。軸方向鋼材が高強度なため, 通常の場合打ち杭と同様のコンクリート強度とした場合, 曲げ圧縮破壊先行となる



図一2 施工箇所の概要

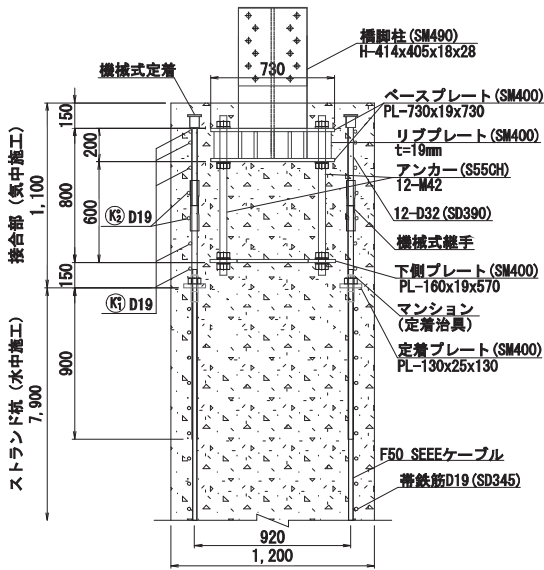


図-3 杭頭接合部

ため、コンクリートの設計基準強度を 40 N/mm^2 とし、施工条件による圧縮強度の低減率は泥水の比重管理を前提として 0.8 とした⁷⁾。杭柱接合部の設計は、図-3 に示すアンカーフレーム方式とし、柱部材 (H-414 × 405 × 18 × 28, SM490) の曲げ耐力の 1.3 倍の設計曲げモーメントに対して降伏しないようアンカーボルト量を決定した⁸⁾。

なお、アンカーフレーム設置の施工性等から、杭頭部の軸方向鋼材は異形鉄筋とし、ストランドと重ね継手により接続した。

(4) 鉄筋かごの諸元

杭長は 8.5 m であるが、前述のアンカーフレームの設置などの制約から、杭頭 0.6 m の範囲の軸方向鋼材は異形鉄筋としたため、ストランド鉄筋かごのかご長は約 7.9 m となる。

用いた鉄筋かごを図-4 に示す。縮小時には 1.25 m となり、縮小率は 1/6.3 程度となっている。ストランドは前述の F50 を用い、コンクリートへの定着のため、端部に圧着したスリーブにねじを切削するマンション加工 (写真-3) したものを 12 本配置した。帯鉄筋は D19 (SD345) を 150 ~ 200 mm 間隔で配置した。鉄筋かごの径は、帯鉄筋のかぶりがある場所打ち杭と同程度となるように 1,004 mm とし、軸方向鋼材のかぶりは結合回転治具の厚みにより 128 mm となった。鉄筋かごは伸展時に杭孔の中で回転するため、スペーサーは孔壁への接触時の影響が小さくなるよう、鋼板を上下と左右それぞれに丸みを持たせた十字型の形状とし、設計杭径からの離隔は 20 mm 程度とした。

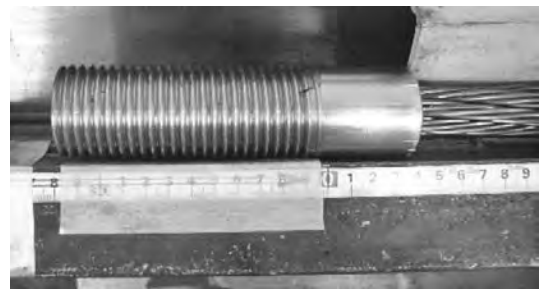


写真-3 マンション加工

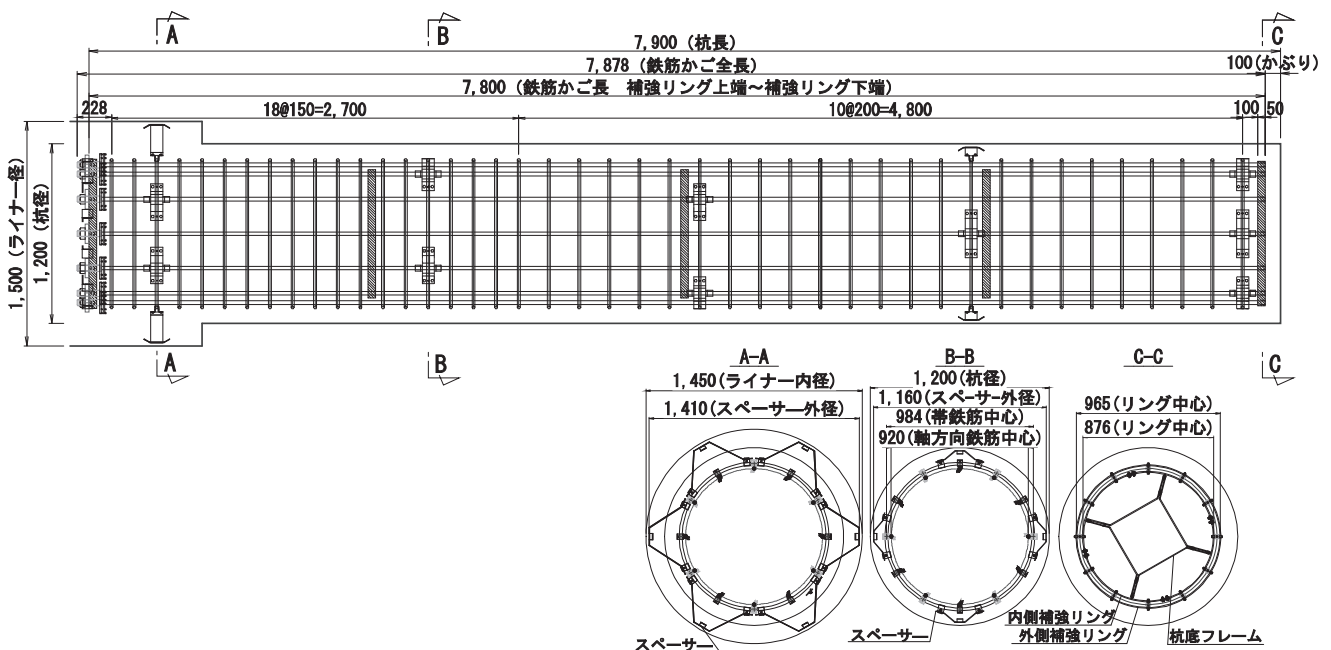


図-4 鉄筋かごの製作図

4. 伸縮式鉄筋かごの製作と建込み

(1) 鉄筋かごの製作と管理

組立ては、結合回転治具のねじを締めながら行うもので、特殊な工具等は不要であるが、通常より精度を要することから、ストランド、帯鉄筋の双方の治具取付け位置にマーキングしてから組み立てた。組立て作業は、写真—4に示すように、鋼管等で吊り下げた帯鉄筋の中に、治具を取り付けたストランドを挿入して順次結合する方法が効率的である。なお、かごの要所には補強リングを配置しているが、ストランドとは同様の結合回転治具で結合している。

縮小作業は、写真—5に示すように人力で縮小可能であり、かごを吊ったまま全体をねじると縮小し始める。縮小途中で反力が最大となるため、必要に応じて荷締め工具を利用した。後述するかご下端の杭底フレームのみ、縮小後に取り付けた。

通常の鉄筋かごの鉄筋組立完了検査に相当する組立精度の確認は、縮小前に行った。また、縮小・伸展が問題なく現場で行えることを確認する目的で、同一ロットに1本の頻度で、写真—1で示したように、工場内でクレーンにより伸展・再縮小を行った。



写真—4 鉄筋かごの組立て



写真—5 鉄筋かごの縮小

(2) 鉄筋かごの建込み

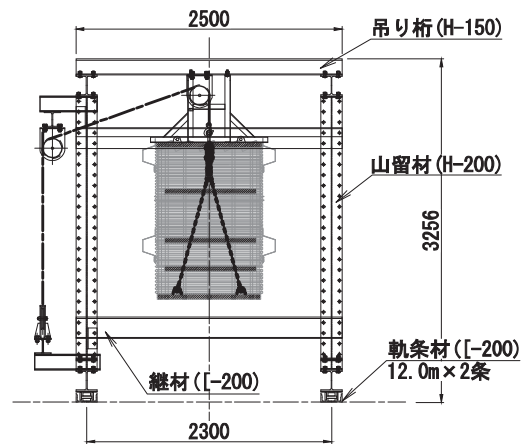
縮小状態の鉄筋かごは、重量が650 kgであったため、写真—6に示すように、台車で場内を運搬し、建込みのための架台に吊り込んだ。

建込み架台は図—5、写真—7に示すように、H形鋼を主部材とした立体フレームで、移動のためのローラを装備している。孔口周囲で組立てたのち、みぞ型鋼のレール上を孔口まで移動した。

鉄筋かごは自重で伸展するため、かごの伸展は、か



写真—6 鉄筋かごの施工ヤード内運搬

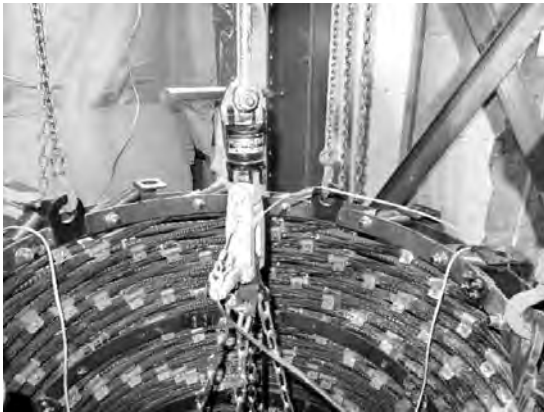


図—5 建込み架台



写真—7 建込み架台へのかごの吊り込み

この上端を架台に固定し、かご下端に取り付けたウインチを巻下げることで行った。架台に固定するのは、伸展中の鉄筋かごの横ブレ防止と伸展後の鉛直性の確保のためである。伸展のためのウインチワイヤは、滑車を介して建込み架台の周辺に設置したウインチから、写真—8に示すような遠隔操作で玉掛け外しが可能な治具を用いて、杭底フレームに玉掛けした。



写真—8 鉄筋かごの玉掛け装置

ワイヤの巻下げ速度に制限はないが、これまでにクレーンを用いて空中で伸展・縮小した実績を参考に、2.6 m/分程度とした。ウインチによる伸展後は、かご上端をチェーンブロックで受け替え、所定の深度まで降下し、杭頭部の補強鉄筋を介して孔口から吊った状態で固定して、建込みを完了した。

鉄筋かごの架台へのセットは20分程度、伸展作業は5分程度であった。伸展そのものに要する時間が極めて短いことから、き電停止間合いで杭1本の建込みを完了することができることが確認された。通常の鉄筋かごによる施工では、短尺かごの鉄筋継手1段の接続作業だけで40分程度を要し、資機材の搬入の制約などから建込みが数日に及ぶことも多いことから、大幅に施工が効率化されたといえる。

5. コンクリートの打込み

仮受け橋脚は杭3本からなるが、現時点で2本の施工が完了した。鉄筋かごの製作から建込みは2本で同様であるが、コンクリートは、1本目はトレミーによる打込み、2本目はポンプによる打込みとした。

(1) 打込み方法について

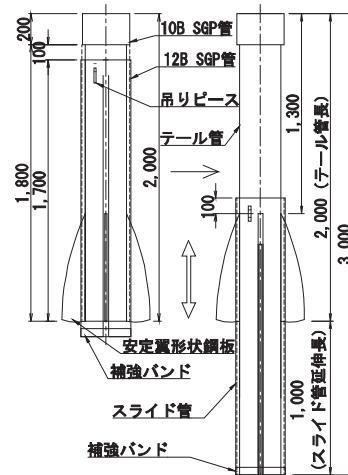
場所打ち杭のコンクリートの打込みは、泥水中への打込みとなることから、トレミー管を用いて行っている。コンクリートはトレミー管下端から排出された

後、孔の底部から上方に流動し、その際、かご底部の鉄筋がコンクリートの流動を障害するため、打込み初期にコンクリートがかごを持ち上げ、いわゆる鉄筋かごの浮上りが生じてしまうことがある。

本工法においては、ストランドに可撓性があること、また通常の鉄筋かごに比べ軽量になること、さらにかごが容易に伸縮することから、コンクリート打込み時にかごが浮き上がったり、ねじれて変形する懸念があり、その対策が必要であった。

そこで、孔口から吊った鉄筋かごの杭底フレームをトレミー管で押さえながらコンクリートを打込む方法を開発し、施工性試験⁹⁾を経て実施工に適用した。さらに、狭隘な作業ヤードでの作業性等を考慮し、トレミー管を用いたポンプ施工についても試験を行い、効果を確認している。

本工法に用いるトレミー管は、鉄筋かごの底部を押さえ付けるための機能と、杭底のスライムを吸引できる機能を有している。図—6にトレミー管の構造を、写真—9に6 mに接合したトレミー管の全体を、写真—10にトレミー管が鉄筋かごの杭底フレームを押さ



図—6 トレミー管の構造



写真—9 接続状態のトレミー管



写真一10 杭底フレーム

え付けている状態を示す。

最下端のトレミー管は、長さ2mの口径10インチ管（径250mm）を改造したもので、鋼管周囲に杭底フレームに当接する安定翼形状の鋼板4枚を溶接したテール管と、その外側にかぶせた12インチの鋼管（スライド管と呼ぶ）から構成される。安定翼を覆う部分のスライド管はスリット加工してあり、スライド管はテール管に対し、1m延伸できる構造としている。

杭底フレームは、曲げ加工した平鋼板を、杭下端部の補強リングにボルト接合したもので、写真一11に示すように、中心部分が正方形に開口し、テール管の安定翼が確実に当接するような寸法とした。



写真一11 場内のポンプ配管からトレミー管への接続

通常のトレミー工法でのトレミー管下端は、孔底から0.2～0.3m程度引き上げ、プランジャが抜けるようにしている。本工法においても、鉄筋かごの下端は、コンクリートの排出が行えるようにスライド管先端が孔底工から200mm程度上方となる位置とするが、実際の施工では、そこから1m余掘りしても、スライド管が孔底まで延伸し、2次スライム処理が確実に行える。スライド管重量は約90kgであり、スライド管に付けたワイヤーにより上下することができる。

(2) トレミーを用いた打込み

トレミー管は建込み前にあらかじめ仮組みして長さをマーキングし、トレミー管を建て込んだ状態でも鉄筋かごが伸展していることを再度確認したが、建込み時の検尺テープによる検測結果との差は10mm以内であった。

コンクリートの打込み手順は、トレミー管で杭底を押さえしている以外は通常の場所打ち杭と同様である。まず、先端から3m程度打ち込んだのちトレミー管を1m引上げ、杭底フレームの抑えを終了した。その後はコンクリート1m程度の打込みとトレミー管1mの引き上げを交互に行った。

打込み中、杭天端のストランドや吊り鉄筋の変位は見られず、検尺テープによる伸展長さの測定値にも変動は生じなかったことから、鉄筋かごの縮小、浮上り等の問題が生じなかったことが確認できた。約12m³の打込みをおよそ80分で完了し、通常の場所打ち杭と大差ない打上り速度で施工できた。

(3) ポンプを用いた打込み

トレミー工法において、コンクリートの排出が滞ることは、通常の杭施工においても度々発生するが、特にトレミー管が短く管内のコンクリート水頭が小さいほど生じやすい。本工法においては、初回のトレミー管の切離し後であれば、トレミー管の上下揺動によって排出を促すことができるが、初回切離しまでは、かごを押さえ付ける必要から、上下揺動は行えない。

実施工では、スランプの低下等ある程度のコンクリートの品質変動は避けられず、コンクリートが計画通りに供給されないなどのトラブルも予想されることから、作業時間が夜間だけに制限されることの多い鉄道工事においては、上述のトレミー工法ではリスクが残ると考えられた。この施工リスクを回避・低減する方法としては、トレミー管にポンプ配管を直結し、圧送しながら打込む方法が考えられる。トレミー管を利用したポンプ施工は、水中コンクリートでは一般に行われており、そのコンクリートの性状は、トレミー工法の場合と基本的には同様と考えられている¹⁰⁾。鉄道工事では、孔口までトラックアジテータが進入することは少なく、場内運搬にポンプ圧送を用いることがむしろ通常であることから、トレミー管を利用したポンプによる打込みは合理的と考えられる。

そこで、2本目は、このポンプ施工により打込んだ。トレミー管は、狭隘な作業ヤードでの人力での作業性を考慮し、前述の10インチから8インチ（径200mm）に変更して軽量化した。また管の接続は、ねじ式接合

からフランジボルト接合に変更し、安定翼の向きの管理を容易にした。

ポンプ車からの配管（径 100 mm）は実延長 59 m、水平換算距離 112 m である。配管とトレミー管は、写真-11 に示すように、テーパ管およびエルボ管により接続した。打込み初期の材料分離対策のスポンジボールをトレミー管天端に仕込んだのち、トレミー管との接続を行った。

鉄筋かごの杭底フレームをトレミー管の安定翼により抑えた状態で打込みを開始し、杭底から 4 m 程度まで打ち上げたのち、エルボ管を取り外してトレミー管を 1 m 引き揚げ、以後、通常のトレミー管による打込みとした。

エルボ管の取り外しは 5 分程度で完了し、サイクルタイムへの影響は僅かであった。圧送時とトレミー管による打込み時で、ポンプ車からの圧送圧力に大きな差が生じることはなく、トレミーによる打込みと同様に、鉄筋かごの縮小、浮上り等の問題も生じなかった。

6. おわりに

鉄道工事は「低空頭狭隘」と括られることが多いが、その条件は多様であり、ストランド場所打ち杭工法も万能ではない。しかし、今回紹介したような施工条件では、工期の短縮と品質の確保の面から考えて、十分に寄与する工法であると考えられる。ここで得た知見をもとに、さらなる改良と適用拡大に努め、鉄道を中心とした都市のリニューアルに貢献していきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 竹田茂嗣, 加藤精亮: 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, 建設機械施工, Vol.69, No.7, pp.19-25, 2017.7
- 2) 神田政幸, 日吉洋一郎, 野川達也, 吉川正, 齋藤茂, 小滝 裕: BCH (Bottom Circulation Hole) 工法の開発と施工例, 基礎工, Vol.33, No.2, pp.36-41, 2005.2
- 3) 高崎秀明, 野澤伸一郎, 築嶋大輔, 近藤昭二: ストランド場所打ち杭工法の開発と施工事例, 基礎工, Vol.33, No.2, pp.72-75, 2005.2
- 4) 鉄道 ACT 研究会: ストランド場所打ち杭工法技術資料 (第 2 版), 2016.3
- 5) 山野辺慎一, 河野哲也, 中井督介: ストランドを軸方向鋼材に用いた場所打ち杭における伸縮式鉄筋かごの機構とその特性, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol. 74, No. 3, pp.207-217, 2018
- 6) 東日本旅客鉄道: 設計マニュアルⅦ 仮構造物編工事術法設計マニュアル, pp.15-19, 2008.4
- 7) 鉄道総合技術研究所編: 平成 24 年 1 月版 鉄道構造物等設計標準・同解説, 丸善, pp.89-91, 2012.1
- 8) 鉄道総合技術研究所編: SI 単位版 鉄道構造物等 設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造, 丸善, pp.377-380, 2002.12
- 9) 岩本拓也, 本田智昭, 島村淳, 小河宗之, 堀田智弘, 鈴木健一: ストランド場所打ち杭工法における鉄筋かごの縮小・浮上り防止方法, 土木学会第 73 回年次学術講演会Ⅵ-1022, pp.2043-2044, 2018.8
- 10) 中原康, 大友忠典: 水中コンクリートの歴史, 土木学会論文集, 466 号/V-19, pp.9-15, 1993.5

【筆者紹介】



鈴木 健一 (すずき けんいち)
東日本旅客鉄道㈱
東京工事事務所 工事管理室
主席



堀田 智弘 (ほりた ともひろ)
東日本旅客鉄道㈱
東京工事事務所 渋谷プロジェクトセンター
補佐



山野辺 慎一 (やまのべ しんいち)
鹿島建設㈱
技術研究所 土木構造グループ
担当部長