

鉄道営業線近接部などの防護工及び杭の新しい試みと今後の展開

e-コラム工法[®]

長谷川 智 仁・市 村 喜 作・高見澤 麻 子

これまで鉄道営業線近接工事において営業線への影響を避けるために地盤改良や深礎工法が採用されてきた。しかしこれらの工法は施工時に地表面が緩んだり盛り上がりたりする懸念があり慎重な施工が必要である。そのため線路閉鎖間合いでの施工を余儀なくされ工程に大きく影響を及ぼしてきた。そこで、問題を解決するために周辺地盤への影響が少ない機械攪拌式の地盤改良機「e-コラム工法[®]」(以下、「本工法」という)を開発した¹⁾。本稿では、本工法を使った地盤改良及び杭について紹介する。

キーワード：e-コラム工法[®]，孔壁防護，杭，鉄道線近接，柱状改良，遮水壁，低空頭，狹隘

1. はじめに

昨今、鉄道駅においては、交通の結節拠点としての機能を有しているのみならず、地域の活性化を図る上で重要な役割を担うことが期待されている。そのため都市部を中心に、利便性向上、安全性向上を目的とした駅改良事業が計画・実行されている。しかしながら駅改良事業はその性質上、鉄道の営業などの機能を維持しながらの実行を求められ、狹隘かつ空頭制限下での施工も必須となっている。

これらの事業では、直径 3,000 mm までの大径の場所打ち杭や大規模地下掘削が増えており、狹隘敷地で施工ができる孔壁防護や土留め壁が構築できる工法が求められている。

本稿では、これまで採用されてきた薬液注入工や高圧噴射攪拌工法と比較しながら本工法の特長を述べる。また、その代表的な施工事例を示すとともに、本工法の孔壁防護機能以外の基礎工に関する用途を紹介する。

2. 在来工法の問題点

場所打ち杭に多く採用されているリバースサーキュレーション工法は、ケーシングを用いない工法のため、緩い砂層や軟弱粘性土地盤では削孔に伴う地盤変状に起因する近接構造物への影響が重要な問題となる。それを防止するため、場所打ち杭周囲の地盤を強化する目的で薬液注入工や高圧噴射攪拌工法による地盤改良が補助工法として用いられ、口元管の代用

として深礎工法が採用されることとなる。さらに、地下水位が高い場合には遮水目的として薬液注入工が補助工法として採用される。

しかしながら薬液注入工は、施工機械が小型で排泥が出ない工法ではあるものの近接構造物の隆起や側方変位の可能性が高い。一方で、高圧噴射攪拌工法は、排泥が多いため狹隘地ではその排出方法に問題が残る。また両工法とも地中の不純物などの影響により出来形及び強度などの品質確保が困難な状況に陥ることが稀にあり、その品質確認方法が確立されていない。

そこで、場所打ち杭の孔壁防護工として、また薬液注入工や高圧噴射攪拌工法に替わる工法として、周辺地盤への影響が小さく、品質の確保や出来形の確認が確実にできるコンパクト型機械攪拌式地盤改良工法として本工法を開発した。

3. 本工法の特長

(1) 高削孔能力

従来の機械攪拌式地盤改良機では、攪拌翼が水平に突き出しているため、おおむね N 値 20 以上の地盤ではロッドの回転抵抗が高くなり施工不可能であった。そこで、本工法では削孔・攪拌ロッドに微振動(バイブレーション)を与えるという斬新なアイデアを採用することで削孔能力を向上させ、硬質地盤の掘削が可能になった。さらにバイブレーションを併用した削孔により、先行施工した地盤改良体を削り取りながらラップ施工することができ、ソイルセメント柱列壁と同等の遮水性を有する地盤改良体を造成することが可

能となった。そのため、リバース杭の削孔液逸水防止機能を果たすことができ、また遮水性土留め壁の造成も可能である。

(2) 省スペース

機械攪拌工法用施工機械は、小型のものでも高さ約9m×幅約2m×長さ約4mであり、空頭制限のある場所では利用できなかった。そこで本工法ではホーム屋根下でも施工できるよう機械高さを3.2mに制限し、0.1m³クラスのベースマシン(幅約1.5m×長さ約3.5m、平面積が従来機の約65%)の施工機械を開発した。

(3) 環境負荷低減

機械・設備を小型化・電動化することにより、施工中の騒音・振動を抑制している。また、原位置攪拌工法であるため排泥量が高圧噴射攪拌工法に比して1/10~1/4まで削減可能であり、産業廃棄物の低減、環境負荷の低減に寄与する。

(4) 品質確保

本工法では削孔・攪拌ロッドに微振動を加えて回転させ、ロッド先端からセメントミルクを吐出しながら貫入することにより原位置地盤を削孔しながら攪拌混合して地盤改良体を造成する。改良体先端部では、削孔・攪拌ロッドを上下往復施工(ダブルリング)して品質を確保する。削孔・攪拌ロッド引上げ時には微振動・回転により再攪拌し、均質な改良体を造成する(図-1)。

また、削孔・攪拌ロッドには土砂の共回りを防止する共回り防止翼を配備することにより、改良体の均質性を確保している。後行改良体は、先行造成した地盤改良体を削るようにラップ施工し、遮水性の高い柱列壁を造成する。

4. 施工事例

(1) 孔壁防護への適用

(a) 概要

西日本旅客鉄道(株)が進めた在来線橋上駅新設工事(広島駅)では、橋上駅の基礎となる場所打ち杭を、営業線活線下かつ供用中のプラットホーム上から施工する計画であった。当該地盤は、G.L.0~9mがN値3~15の比較的緩い砂質土層であり、地下水位がG.L.-2m前後と比較的高いため(図-2)、場所打ち杭施工時の孔壁の安定性に懸念があった。そのため、当初計画では薬液注入工を用いた孔壁防護を予定していた。しかし、薬液注入工による孔壁防護では、改良幅が1.5m(e-コラムの2.5倍)必要であり、改良位置が軌道直近であることから軌道への影響が否めない状況であった。

そこで、周辺地盤への影響を低減するため、ホーム上でも施工可能にする本工法を用いたソイルセメント防護壁を採用した²⁾。

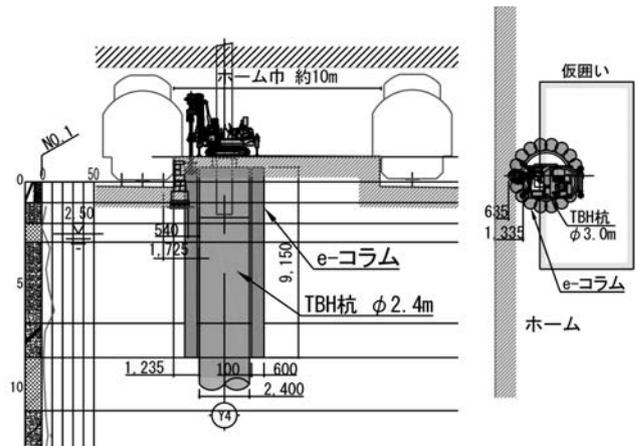


図-2 孔壁防護計画図(広島駅)

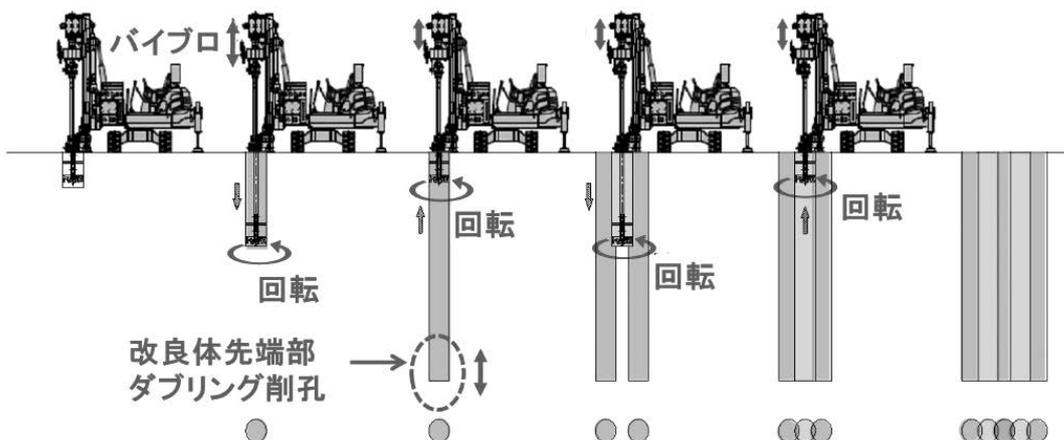


図-1 本工法の施工手順

資料提供 (株) SEET

(b) 事前調査と試験確認 (周辺地盤への影響)

本工法は周辺地盤への影響が小さいこと³⁾及び改良体が必要十分な強度を発現すること⁴⁾が示されていたが、当現場は特に軌道に近くホームの石積擁壁にも近接した施工のため、軌道や擁壁等の周辺構造物への影響が強く懸念された。そのため、3次元有限要素法 (FEM) による安定性確認を目的とした事前解析と、近接構造物のない位置での原位置試験施工により安全性・施工性を検証した。

FEM 解析では、場所打ち杭の孔壁防護として必要な改良範囲と改良強度を算出し、軌道の変位量を予測した。

①改良体の設計強度は 0.5 N/mm^2 (SMW と同等) で、改良深さは 9.15 m とする。

②軌道の予測沈下量は 2.6 mm で、軌道整備基準値 15 mm (10 m 弦) の 17% に抑えられる。

試験施工では、ソイルセメント防護壁施工中の地表面変位をソイルセメント防護壁から 1 m 2 点と 4 m 1 点で計測した。

いずれの測点においても、地表面変位は $\pm 1 \text{ mm}$ の



写真一 1 ソイルセメント防護壁掘り出し状況

変動であり、ソイルセメント防護壁の進捗に伴って変位が累積する傾向も確認されなかったことから、施工による影響はないと考えられた。

さらに、原位置施工試験で構築された防護壁の内側を掘り出して目視確認した結果、計画どおりの出来形が確保されていることが確認できた (写真一 1)。

また、営業線活線下 (純離隔 1.5 m 以内は線路閉鎖間合いにて) かつホーム上という狭い環境での場所打ち杭の孔壁防護工として本工法を採用したが、施工に必要な資機材等の配置と施工方法を工夫することにより、ホーム上店舗相当の大きさで施工可能であることを確認できた (写真一 2)。

(c) 施工と結果

ホーム上での本施工は、軌道や石積擁壁の変位計測、仮囲い等の仮設計画、軌道や旅客に対する安全などを十分に事前検討し、対策工を施した上で実施した。本工法による地盤変状は生じないことが試験施工で確かめられたため、夜間 (20 時~5 時) における仮囲い内 (ホーム端からの離隔 0.6 m) での施工は、旅客列車の運行時間帯にも実施することができた (写真一 3)。

また、低空頭のコンパクト型施工機械であるため、運転士へ圧迫感を与えないことや転倒の可能性が極めて低いこともあり、営業線の活線下でも列車運行に支障することなく安全に施工できた。

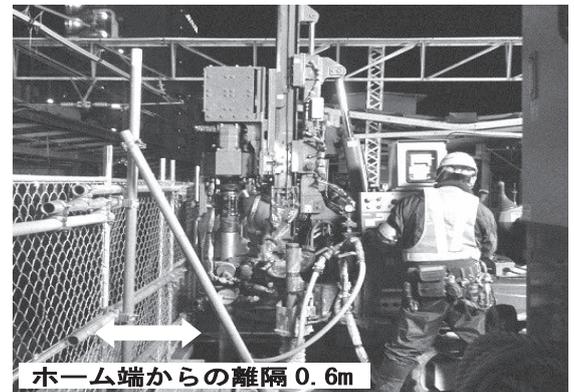
(2) ホーム支持杭への適用

(a) 概要

東日本旅客鉄道株の品川駅構内において計画中の地下施設の構築では、開削工法にてボックスカルバートを施工する。施工にあたっては、事前に既設ホームを受け替えるため、場所打ち杭によるホーム支持杭の構築が予定されていた。しかし、ホーム支持杭は営業線



写真一 2 狭い環境下での施工状況



写真一 3 営業線の活線下での施工状況

撮影協力：JR 西日本

撮影協力：JR 西日本

に近接した狭隘な箇所では施工することとなるため、周辺地盤への影響の少ない本工法を用いて造成した地盤改良体にH形鋼を建て込んだ「ソイルセメントH形鋼杭」がホーム支持杭に採用された⁵⁾。

(b) 場所打ち杭の工法選定及び試験施工

当該施工箇所は営業線に近接した箇所であり、当該地盤はFL-14 m程度まではN値10未満の軟弱な砂層とシルト層の互層である。そのため、ホーム支持杭に従来工法であるTBH杭やBH杭を採用する場合、孔壁防護工として薬液注入工などの補助工法が必要であった。しかしながら、薬液注入工は周辺地盤や近接軌道を隆起させるリスクがあるため、薬液注入工が不要であるソイルセメントH形鋼杭の採用を検討した。ソイルセメントH形鋼杭は、既往の報文にて十分な支持力を有することは確認されていたが、本設ホーム支持杭へ採用が初めてであった。そのため、施工箇所近傍において載荷試験を実施し、十分な支持力が確保できることを確認した。また、ソイルセメントH形鋼杭の打設による地盤変状が確認されなかったため、ソイルセメントH形鋼杭は本設ホーム支持杭として採用された。

(c) 施工上の工夫

① 事前掘削

当現場は昼夜施工のため、ホーム下で施工する計画とした。本工法の施工機械は移動時の施工機械高さが2.4 mであるため、ホーム下の移動空間を確保するため地下水位を考慮した深さ2.5 mの盤下げ掘削を実施した。

② 芯材建込時の工夫

空頭制限下における芯材（H形鋼）建て込みにおいては、施工性向上のため、専用建込機（写真—4）を開発した。ミニクレーン使用時に比べて芯材の1



撮影協力・画像提供：JR 東日本
写真—4 ソイルセメントH形鋼杭 芯材建込機

ロット長さを長尺化することができ、芯材の継手数を削減できた。

上記2点の工夫をすることで昼夜施工を可能とし、工期短縮を図ることができた。

(d) 施工と結果

ホーム下での本施工は、軌道変位計測、仮囲い等の仮設計画、軌道や旅客に対する安全など十分に事前検討した上で実施した。本工法の施工による地盤変状はほとんど生じないことが試験施工で確かめられたが、営業線に非常に近接した箇所での施工であるため、軌道変位計測することを条件に、列車運行時間帯にも仮囲い内で施工することとした。計測は施工前後に実施し、最大変位量は±2 mmと非常に小さく、列車運行に影響なく施工できた。

当現場は、本設構造物であるホーム支持杭として本工法を用いたソイルセメントH形鋼杭を初めて採用したが、営業線近接の状況下においても軌道への影響もなく無事に施工することができた（写真—5）。



撮影協力・画像提供：JR 東日本
写真—5 施工完了状況

5. おわりに

当初は、狭隘地や空頭制限下での場所打ち杭の孔壁防護工として、コンパクトでかつ削孔能力の高い機械攪拌式地盤改良工法「e-コラム工法[®]」を開発した。

その後、当技術の幅広い展開を期待し、改良や実験、検討を繰り返した。その結果、支持地盤に相当するN値50以上の地盤でも削孔し、ソイルセメント杭を造成できる工法となり、場所打ち杭の防護工のみならず、ソイルセメントコラム（柱状改良）やソイルセメントH形鋼杭のような、改良体そのものを支持杭として利用可能な工法となった。

また、施工機械は、リーダーを鉛直に対して0～75度まで傾斜させて構築できるため、基礎工の水平抵抗

性向上を目的とした斜杭や埋設物直下の遮水壁の構築も可能である。

今後、大径杭の補助工法や小径杭、斜杭等々、用途の幅広い工法として、新設構造物のみならず、供用中の既設構造物の耐震補強等々に利用していただけるものと考えている。

これからの本工法の将来性を注視していただきたい。



《参考文献》

- 1) 山本, 須藤ほか, 鉄道営業線近接狭隘条件下における場所打ち杭施工事例, 基礎工 2016.7
- 2) 山本, 久保ほか, 鉄道営業線近接下における場所打ち杭孔壁防護工へのe-コラム工法の適用事例, 土木学会第68回年次学術講演会 2013
- 3) 山本, 坂入ほか, 新幹線高架橋に近接した切土補強土壁へのe-コラム工法の適用事例, 土木学会第67回年次学術講演会 2012
- 4) 北出, 渡邊ほか, 低空頭地盤改良工法による地盤改良体の改良効果の検証, 土木学会第67回年次学術講演会 2012
- 5) 深川, 木下, 鉄道営業線近接箇所におけるホーム支持杭をe-コラム工法により施工した事例, 土木学会関東支部技術研究発表会 2019

[筆者紹介]

長谷川 智仁 (はせがわ ともひと)
株特研メカトロニクス
工事第一部
部長



市村 喜作 (いちむら きさく)
株特研メカトロニクス
工事第二部
副部長



高見澤 麻子 (たかみざわ あさこ)
株特研メカトロニクス
工事第二部
主任

