

狭隘な駅改良工事等における機械式深礎工法の開発

Shinso-MaN 工法

湊 憲二・金田 淳・木戸 素子

鉄道工事における深礎杭の施工では、空頭制限や掘削機械の持込みまたは設置が困難であるため、人力作業が大半を占めている。特に深礎杭が小径であるほど、坑内での作業性は低下し、作業環境も劣悪となる。加えて営業線近接工事では作業時間が夜間線路閉鎖間合いに限られ施工効率の低下と高コスト化の原因となっている。

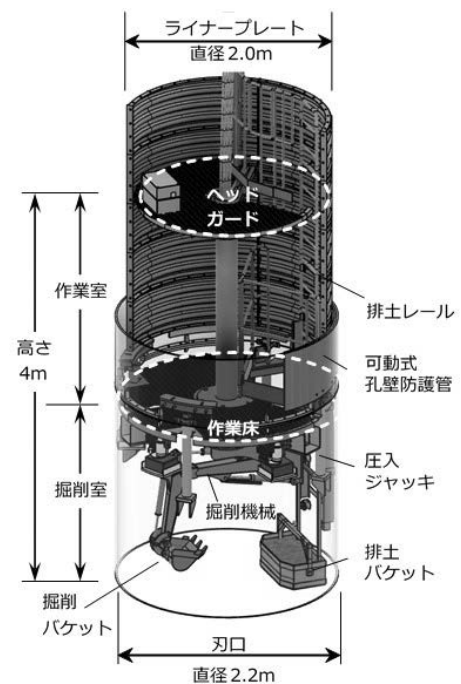
そこで小径深礎杭でも持込み可能な刃口や掘削機械を開発することで、坑内人力作業の減少や省人化を図り、作業の機械化、施工環境の改善、効率化につなげ、生産性向上と低コスト化を目指した。

キーワード：鉄道工事、深礎杭、機械化、作業環境改善、生産性向上

1. はじめに

従来の深礎工法では、立坑内での閉鎖環境で作業が行われ、掘削に伴う粉塵による健康リスクや立坑内作業であるため、地山崩落や落下物による受傷リスクがある。また鉄道工事では空頭制限や機械の持込みが困難な小径深礎杭の施工が多く、人力での作業が大半を占めていた。そのような過酷な施工環境であるため、若年労働者の減少や作業員の高齢化、担い手不足が深刻な課題となっている（写真—1）。

これらの課題を解決するために、従来工法の人力による掘削を機械化し、工法をシステム化させることで施工環境の改善と効率化を図った。またライナープレートの組立や裏込め注入作業を行う作業室と掘削室を分割することにより、作業員が掘削機械と競合することが無くなり、安全性の向上にもつなげた（図—1）。



図—1 機械式深礎工法 内部断面図



写真—1 人力による掘削状況

2. 刃口機構

本工法は土留めとしての役割を持つ刃口を用いた工法であり、この刃口内で掘削・ライナープレート組立作業を行うため、従来工法に比べて孔壁崩壊のリスクに対する安全性が大きく向上した。

従来工法では掘削完了後、ライナープレートの組立作業が完了するまでに孔壁が露出した状態となり、孔壁崩壊のリスクがあった。これに対して本工法は掘削

の進捗に伴い刃口をジャッキにより圧入していくため、孔壁の露出を無くし、常に孔壁を防護することを実現させた（図-2）。

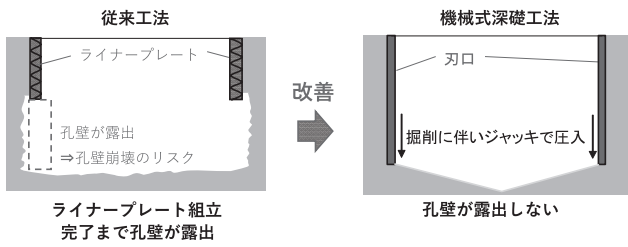


図-2 杭先端部の孔壁状況

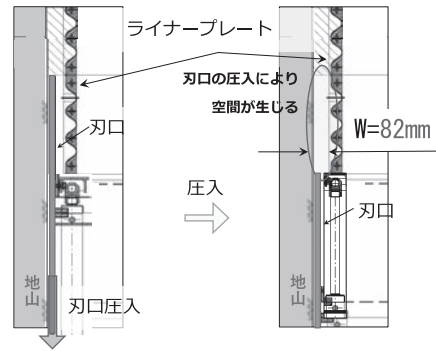
また刃口内上部に可動式孔壁防護管(以下「防護管」)を配置した。防護管は圧入ジャッキと連動させ、裏込め材注入までライナープレート背面に留まった状態となる。

これにより刃口の圧入時に支障物等により圧入ができなくなるトラブルが生じた場合でも、その後の対応を終えるまで孔壁は防護された状態であることがメリットとして挙げられる。

さらに深礎径φ2.0mのライナープレートの場合、刃口が圧入により降下すると、ライナープレート背面と孔壁の間に82mmの空隙ができるが、防護管の効果により空隙を32mmまで縮めることができた。この空隙が大きいほど孔壁崩壊時の地表面沈下が大きくなり、軌道に影響を及ぼすことになるが、空隙を小さくすることで孔壁崩壊時の地表面沈下を最小に留めることができる（図-3）。

以上刃口機構の効果により孔壁崩壊のリスクに対する安全性が大きく向上した。さらに孔壁崩壊が発生した場合においても軌道変状量の最小化が図られている。

可動式孔壁防護管なし



可動式孔壁防護管あり（二重管構造）

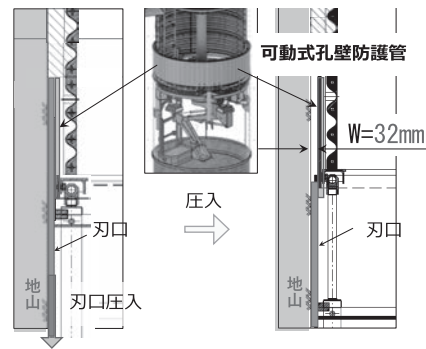


図-3 二重管構造概要図

3. 機械式深礎工法の施工概要

本工法の適用対象は、鉄道工事における駅改良工事等の深礎杭のボリュームゾーンである杭径φ2.0～3.0m程度、作業空頭3.0m程度、杭長30m程度を想定している。

以下に施工フローを示す（図-4）。

1段目のライナープレートを設置し、刃口を圧入する際の反力によりライナープレートが使用できるようになってからを本掘進、それ以前を初期掘進としている。初期掘進時の反力の取り方は施工条件により異なる。

①掘削

掘削機械は0.02 m³級のバックホウをベースとし、旋回輪を中心に刃口内は360度回転し、刃口先端まで

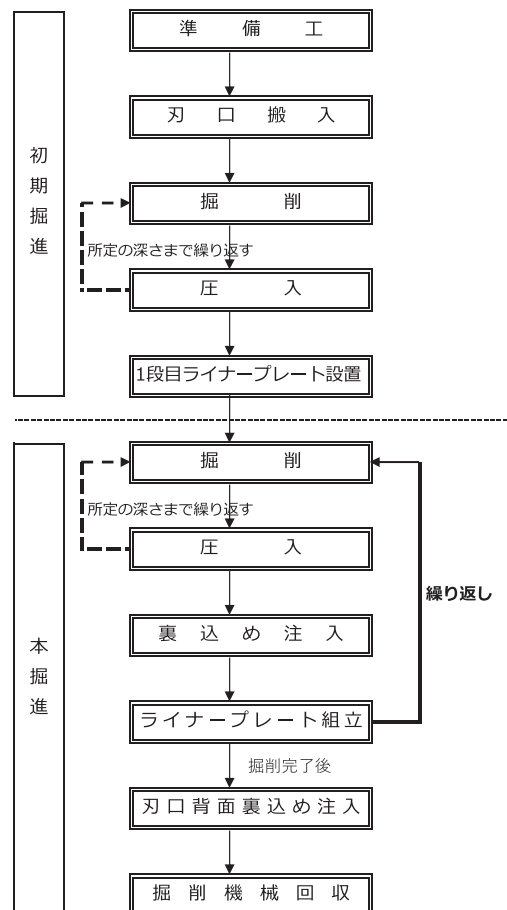


図-4 施工フロー図

バケットが届く機構とした。操作機械は坑外に配置し、掘削室に取付けたカメラの映像を見ながら遠隔操作により掘削・積込作業を行い、掘削室内に人が入る必要を無くした（写真—2）。



写真—2 坑外からの遠隔操作

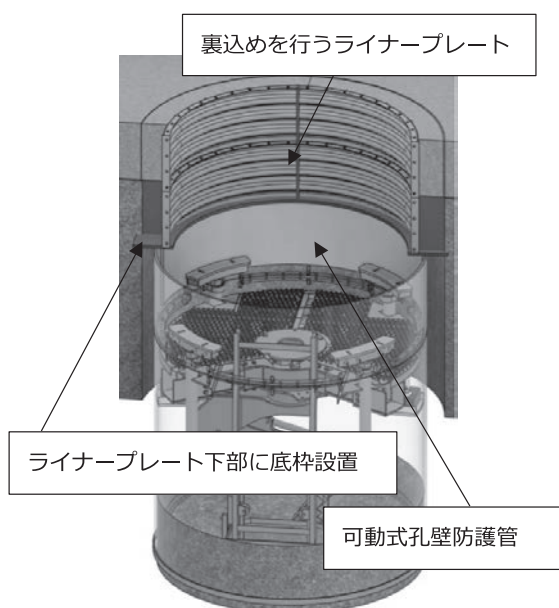
②圧入

圧入はライナープレートを反力とし、200 kN ジャッキ4台で刃口を押し下げる機構とした。ジャッキ操作は坑外に操作盤を配置した。

また刃口に設置した傾斜計のデータとリンクさせて、0.2度以上の傾きが計測された場合、ジャッキストロークの調整を行い、角度の補正を自動制御で行う機構を取り入れた。

③裏込め注入

裏込め注入とライナープレート組立は作業室での作業となる。裏込め注入の対象となるライナープレートは、従来工法と異なり宙に浮いた状態となるため、下部に底枠を設置して注入作業を行う（図—5）。裏込



図—5 裏込め注入を行うライナープレート

め材は本工法に適する新たな裏込め材を開発した。2液混合タイプの可塑性グラウト材であり、ゲルタイムを30秒程度としているため高い流動性を有し、1つの注入孔からの裏込め注入で全周充填することが可能である。急硬性も有するため、裏込め注入作業が終了した時点で底枠が解体でき、次工程へ移行するために裏込め材の硬化を待つ必要が無く、作業時間を大幅に短縮させた。

④ライナープレート組立

裏込め注入作業終了後、底枠の解体を行ってからライナープレートの組立作業を行う。刃口内で行うため孔壁の露出が無く、孔壁崩壊のリスクに対する作業員の安全性が大きく向上した。

また深礎径φ2.0mの場合1段分の4枚のライナープレートを一度に運搬できる台車を製作した。この運搬台車を使用することで、杭長が長くなるほど、ライナープレートの運搬時間を短縮することが可能となり作業時間を短縮させた（写真—3）。



写真—3 ライナープレート運搬台車

⑤刃口背面裏込め注入

掘削完了後、刃口背面を裏込め注入して地山と一体化させる。

⑥掘削機械回収

掘削完了後、刃口・防護管以外のヘッドガードや作業床等の付帯設備と掘削機械は分割回収をおこなう。刃口・防護管については現状残置となる。今後回収方法について検討を進めていく。

4. 機械式深礎工法の特徴

本工法の主な特徴を以下に示す。

(1) 作業の効率化

(a) 排土バケット

従来工法では30ℓバケットを2～3ヶ使用して排土

作業を行っているが、本工法では100ℓの排土バケツを製作した(写真-4)。この後記述する排土システムとの連携により排土バケツの高速移動を実現し、排土作業の効率化につなげた。

(b) 並行作業の実現

従来工法では排土バケツの昇降時は上下作業となるため掘削作業を中断していたが、本工法ではヘッドガードの設置や掘削室の無人化により、排土バケツ稼働時にも掘削作業を継続することが可能となり、排土中は地山の掘削・集積作業を行うことで、排土バケツへの積込みを速やかに行えることになった。また裏込め材注入作業時やライナープレート組立中も掘削作業を行うことが可能となり、作業を並行して行うことで施工速度の向上や作業時間の短縮につながり、作業を効率化させている。



写真-4 排土バケツ (容積: 100ℓ)

(2) 排土システム

従来工法での排土作業はベビーホイストとバケツによる方法が一般的である。操作が容易であり、設置もやぐら等の簡易な設備で使用できるが、吊り上げ能力が低く、巻き上げ速度が遅いため、巻上所要時間を要するなどの問題がある。そこで深礎工法の機械化に伴い掘削能力の向上とともに施工速度を向上させるため、排土バケツの高速化を目指した排土システムを開発した(写真-5, 写真は確認試験時のもの)。

巻上機械にはベビーホイストよりも出力の大きいウインチを使用し、排土能力の向上や巻上所要時間の短縮を図った。ライナープレートの内側に排土レールを設置し、レールに沿って昇降させることで運搬時の排土バケツを安定させた。

位置検出センサーを排土レール各所に設置し、全体を3つの区間に分け、地上と掘削箇所のそれぞれ2mを低速区間とし、中間部を高速区間とした。またセンサーの監視により排土バケツの運転状況がリアルタイムで把握できるようにタッチパネル上に位置を表示させ作業の可視化を図った。排土バケツの自動運転

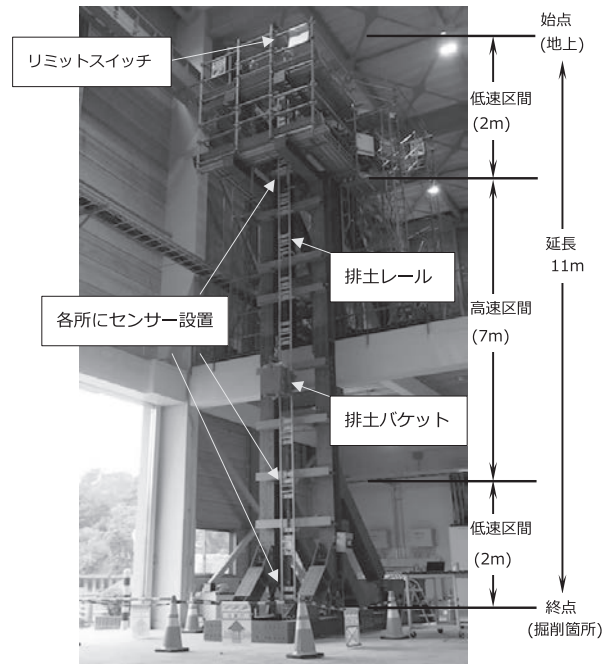


写真-5 排土システム

と自動加減速は操作盤にPLC制御を取り入れることにより実現させた(写真-6)。

安全性に関しては、過巻を防止するためのリミットスイッチの設置、急加減速を防止するためにインバータを取付けた。

以上の開発により従来の排土方法と比較すると、高低差11mの巻上所要時間で従来工法の50秒に対して、排土システムは17秒であり、約1/3に短縮することができた。

また前述の通り、従来工法では排土バケツが昇降している際は作業員は退避し、掘削作業を中断する必要があったが、本工法ではヘッドガードの設置、掘削室の無人化により排土バケツ昇降中も掘削作業を継続することができるため、作業時間の短縮、作業員の安全性の向上、作業の効率化につながっている。

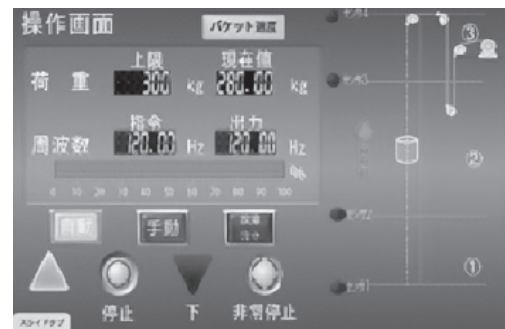


写真-6 操作盤 (タッチパネル)

5. おわりに

今回開発した機械式深礎工法と従来の人力施工を比較すると、本工法のメリットとして以下の5点が挙げられる。

- ・ 施工環境の改善
- ・ 作業の安全性向上
- ・ 孔壁崩壊リスクの大幅な低減
- ・ 軌道変状リスクの大幅な低減
- ・ 施工速度の向上

また本工法の導入による効果としては、

- ・ 杭長が長くなるほど施工時間短縮効果が得られるなどがある。

目標としていた低コスト化については、刃口・防護管は現状残置となるが、今後回収方法を検討し、実現させることで大幅な改善が可能である。生産性向上については従来工法と比較して孔壁崩壊リスクや軌道変状リスクの大幅な低減などの成果が得られた。

最後に本工法はJR東日本・鉄建建設・日立建機日本・日鉄建材・忠武建基の5社により狭隘な駅改良工事等

への適用を目的に共同開発した。

工法名：Shinso-MaN (Shinso (深礎) with Machine (機械) for Narrow site (狭い箇所)) 工法

JCMA

[筆者紹介]

湊 憲二 (みなと けんじ)
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
主席研究員



金田 淳 (かねだ じゅん)
東日本旅客鉄道(株)
東京建設プロジェクトマネジメントオフィス
プロジェクト支援ユニット 構造計画 (構造Ⅱ)
副長チーフ



木戸 素子 (きど もとこ)
東日本旅客鉄道(株)
東京建設プロジェクトマネジメントオフィス
プロジェクト支援ユニット 構造計画 (構造Ⅱ)
副長

