

1

生産性向上と施工環境の改善を目指した機械化深礎工法 (Shinso-MaN 工法) の開発

湊 憲二*1・中村 征史*2・山本 淳*3

概 要

鉄道工事における深礎杭の施工では、空頭制限の影響や杭径が小口径の場合、掘削機械の持込みが困難であるため、人力作業が大半を占めている。また列車振動による孔壁崩壊リスクの懸念により、作業時間が夜間線路閉鎖間合いに限られ、施工効率が低く高コストとなっている。

そのため空頭制限があり、かつ杭径が小口径の条件でも施工が可能な小型掘削機械を開発し、さらに孔壁崩壊リスクの対策として可動式孔壁防護管を開発した。そこで試験施工を行い、小型掘削機械や可動式孔壁防護管の施工性や有効性などを確認した。その結果施工環境の改善や施工速度の向上効果を得ることができ、生産性向上につながった。

キーワード：深礎工法，作業環境の改善，生産性向上

DEVELOPMENT OF MECHANIZED DEEP FOUNDATION METHOD (SHINSO-MAN METHOD)
TO IMPROVE PRODUCTIVITY AND CONSTRUCTION ENVIRONMENT

Kenji MINATO *1, Seishi NAKAMURA *2, Atsushi YAMAMOTO *3

Abstract

In the construction of deep foundation piles for railroad works, most of the work is done manually due to restricted overhead space and when the pile diameter is small, it is difficult to bring equipment into the site. In addition, in order to avoid the risk of a borehole wall collapse due to train vibration, work time is limited to the night during which the track is closed, making construction inefficient and higher in cost. To cope with these issues, we have developed a small-sized excavation machine that is able to work with small diameter piles and limited overhead space. In the same project, we developed a movable protection ring to reduce the risk of borehole wall collapse which can be moved along the bore wall ring. With test construction on site, we have confirmed an excellent operational performance and effectiveness of both the small excavation machine and the movable type borehole wall protection ring. As a result, we confirmed that such innovations may contribute to the improvement of the construction environment and speeding up of work, leading to productivity increase.

Keywords: deep foundation method, improvement of working environment, productivity improvement

*1 Construction Technology Group, Research & Development Center

*2 Manager, Construction Technology Group, Research & Development Center

*3 General Manager, Underground / Foundation Department, Civil Engineering Division

生産性向上と施工環境の改善を目指した機械化深礎工法 (Shinso-MaN 工法) の開発

湊 憲二*1・中村 征史*2・山本 淳*3

1. はじめに

杭基礎の施工には打込み杭工法、埋込み杭工法および場所打ち杭工法などがあるが、機械による施工が一般的である。しかし、鉄道の駅改良工事等における狭隘箇所での杭基礎の施工では、施工機械の使用や設備の配置が難しく人力による深礎工法が採用されている。同様に支障物が想定されるような場合も人力による深礎工法が採用されることが多い。この深礎工法が駅などの鉄道工事に採用される場合は、列車運行時間帯での工事の制約等により夜間線路閉鎖間合いでの施工が強いられ、工期やコスト増大の一因となっている。さらにまた人力による深礎工法は立坑内という閉鎖された中での作業であるため、粉塵や落下物等によるリスクが懸念される施工環境となる。

本開発は、人力による深礎工法を機械化することにより、施工速度の向上による工期短縮やコスト削減、施工環境の改善を実現させることを目標とし、駅改良工事等への適用を可能とする機械化深礎工法（Shinso-MaN 工法：Shinso with Machine for Narrow site）を確立するものである。本稿では、開発した Shinso-MaN 工法の概要と試験施工について報告する。

なお、本工法は、JR 東日本、鉄建建設、忠武建基、日立建機日本、日鉄建材の 5 社による共同開発である。

2. 工法概要

Shinso-MaN 工法の概要図を図－１に示す。本工法の適用対象は、鉄道工事の深礎杭に比較的採用が多い杭径 $\phi 2.0 \sim 3.0\text{m}$ 程度、作業空頭 3.0m 程度、杭長 30m 程度を想定している。

本工法と従来工法を比較して図-2に示す。従来工法は掘削完了後、ライナープレートの組立作業が完了するまで孔壁が露出した状態となり、孔壁崩壊のリスクがある。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から、従来工法と比較して孔壁崩壊のリスクに対する安全性が大きく向上する。

また掘削作業を行う掘削室とライナープレート
の組立てや裏込め材注入を行う作業室を上下
に分けたことにより、上記作業を同時に行うこと

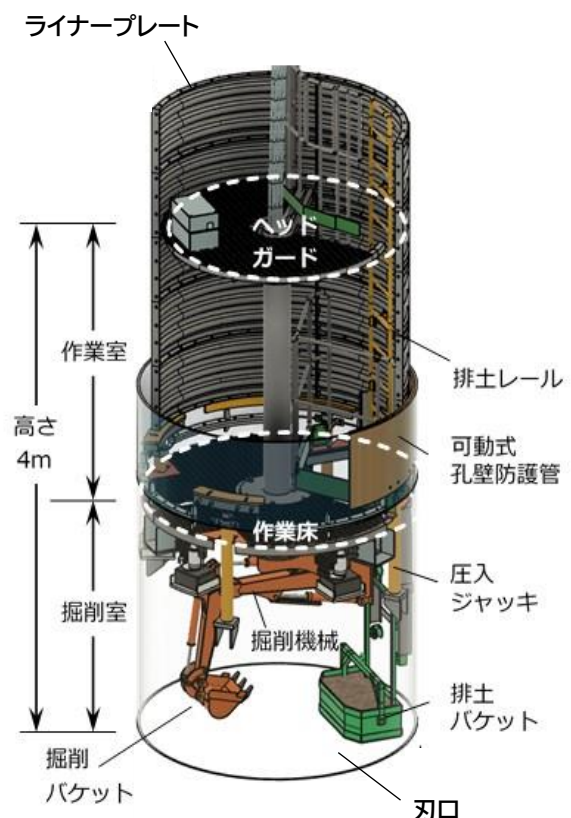


図-1 Shinso-MaN 工法 概要図

*1 研究開発センター 施工技術グループ

*2 研究開発センター 施工技術グループ グループリーダー

*3 土木本部 地下・基礎技術部 部長

を可能とした。

開発した掘削機械（図－3）の特徴を以下に示す。

- 1) 汎用 0.02m³ 級バックホウの基本コンポーネントによる構成。
- 2) 刃口内側に固定する支持金具からの吊り下げ式。
- 3) フレーム中央に配置した巡回輪を中心に 360 度回転する構造。
- 4) 刃口内全面にバケットが届くアーム構成。
- 5) バケットとブレーカの交換が可能。
- 6) 坑外からの遠隔操作。

などである。

坑外からの遠隔操作としたことで、掘削室内が無人人となり、作業員の施工環境の改善と安全性が



図－2 孔壁の露出状況



図－3 開発した掘削機械

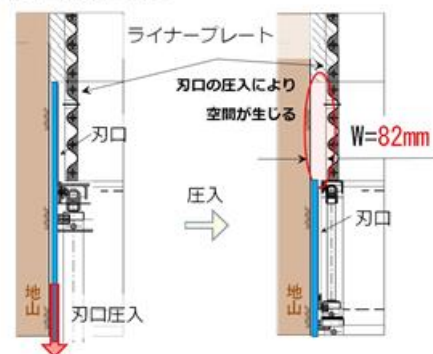
向上した。また、刃口は図－4に示す二重管構造を採用し、刃口上部に可動式孔壁防護管（以下「防護管」）を配置した。掘削完了後刃口を圧入して降下させると、ライナープレート背面と孔壁の間に大きな空隙ができるが、防護管を設けることで空隙を最小限に狭めるようにした。これにより孔壁崩壊時の地表面（軌道）への影響を最小限に留めることができる。

このような対策を行うことで、列車運行時間帯における工事の制約緩和につながる可能性が見いだされることとなった。

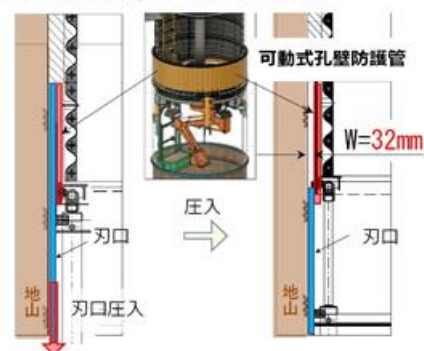
3. 施工フロー

本工法の施工フローを図－5に示す。1 段目ライナープレート設置までの掘進を初期掘進とし、それ以降を本掘進とした。初期掘進時は、施工条件に応じて既設構造物やカウンタウエイトなどを反力として掘削・圧入を行う。本掘進からライナープレートを反力として掘削・圧入を行う。

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－4 二重管構造概要図

(1) 掘削

掘削は、刃口内側に取り付けたカメラによる映像を見ながら、郊外から遠隔操作を行う。カメラは刃口内に3台取付け、掘削面全域の視認性を確保した。また掘削深さは、圧入圧力の上昇を考慮し、中心部を250mm掘り下げるすり鉢状を2回繰り返すことで、ライナープレート1段分500mmの深さを掘削することとした(図-6)。排土は、レールに沿って排土バケットを高速移動させる排土システム^{1),2)}により行う。

(2) 圧入

刃口の圧入は、ライナープレートを反力とし、200kN ジャッキ 4 台で押し下げる機構とし、250mm の掘削に合わせて、1 回の圧入量を250mm とした。

また、刃口圧入の操作はタッチパネル方式を採用し、郊外からの遠隔操作とした。

(3) 裏込め注入

ライナープレート1段分刃口を圧入した後、防護管を格納し、ライナープレート底部に裏込め材の漏出防止用の型枠材(以下「底枠」)を仮設する。その後本工法用に開発した裏込め材^{3),4)}を用いてライナープレート背面の充填を行い、地山と一体化させる。

(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する。

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器具を製作した。排土バケット同様、レールに沿って高速で施工箇所へ運搬できるため、杭長が長くなるほど、従来の手降しによる方法と比較して、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短縮につながる(写真-1)。

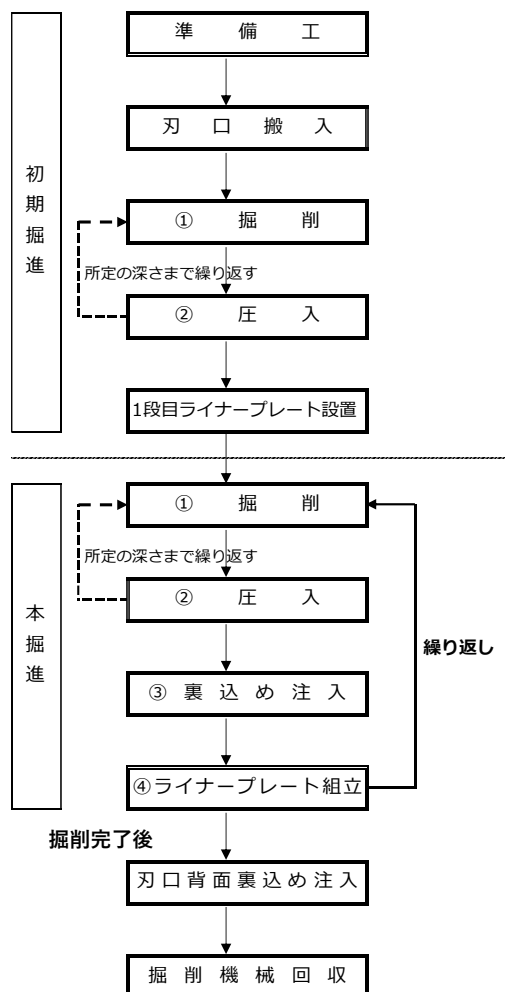


図-5 施工フロー

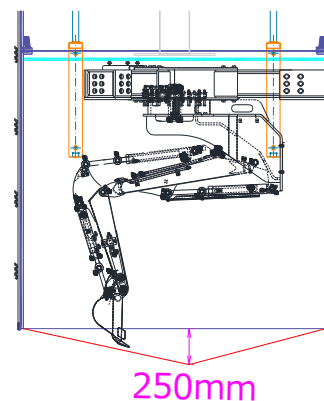


図-6 掘削方法



写真-1 ライナープレート運搬器具

所定の深度まで掘削完了後、刃口背面を裏込め注入し、ライナープレートと同様に地山と一体化させる。続けて、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行う。刃口・防護管については現状残置となる。

4. 試験施工

4. 1 試験施工の方法

Shinso-MaN 工法の刃口機構の動作確認や施工性の検証などを目的として試験施工⁵⁾を実施した。試験施工の概要を図-7に示す。

施工箇所地山のN値は15～20程度の砂質土であり、杭径は直径2.0m、ライナープレートは9段、掘削深さはコンクリート天端より7.0mの掘削を実施した。

4. 2 人力施工との比較

(1) サイクルタイム

各作業のサイクルタイムを取り、本工法と従来工法（人力施工）との比較を行った。図-8にサ

イクルタイム表を記す。

施工条件として、従来工法は作業時間 3～4 時間の夜間線路閉鎖間合いでの作業であるのに対し、本工法は列車運行時間帯での作業が可能であるとして 1 方 8 時間作業とした。

その結果、本工法はライナープレートの組立と掘削作業を同時に行うことができる並行作業を実現したため、従来工法の1方1リングの進捗に対して、1方2リングの進捗を実現した。

さらに列車運行時間帯での作業が可能となれば、昼間作業・夜間作業の2方で4リングの進捗が見込めることとなる。

以上より、従来工法と比較すると最大で4倍の進捗が見込まれる。

(2) コスト

労務費、材料費、機械損料を合計したトータルコストで人力施工と Shinso-MaN 工法を比較したところ、杭径 $\phi 2.0\text{m}$ の深礎杭（土質は考慮しない）では杭長 17.0m で人力施工と機械施工のトータルコストがほぼ等しく、 17.0m より長い場合は機械施工の方がコストが低くなる。

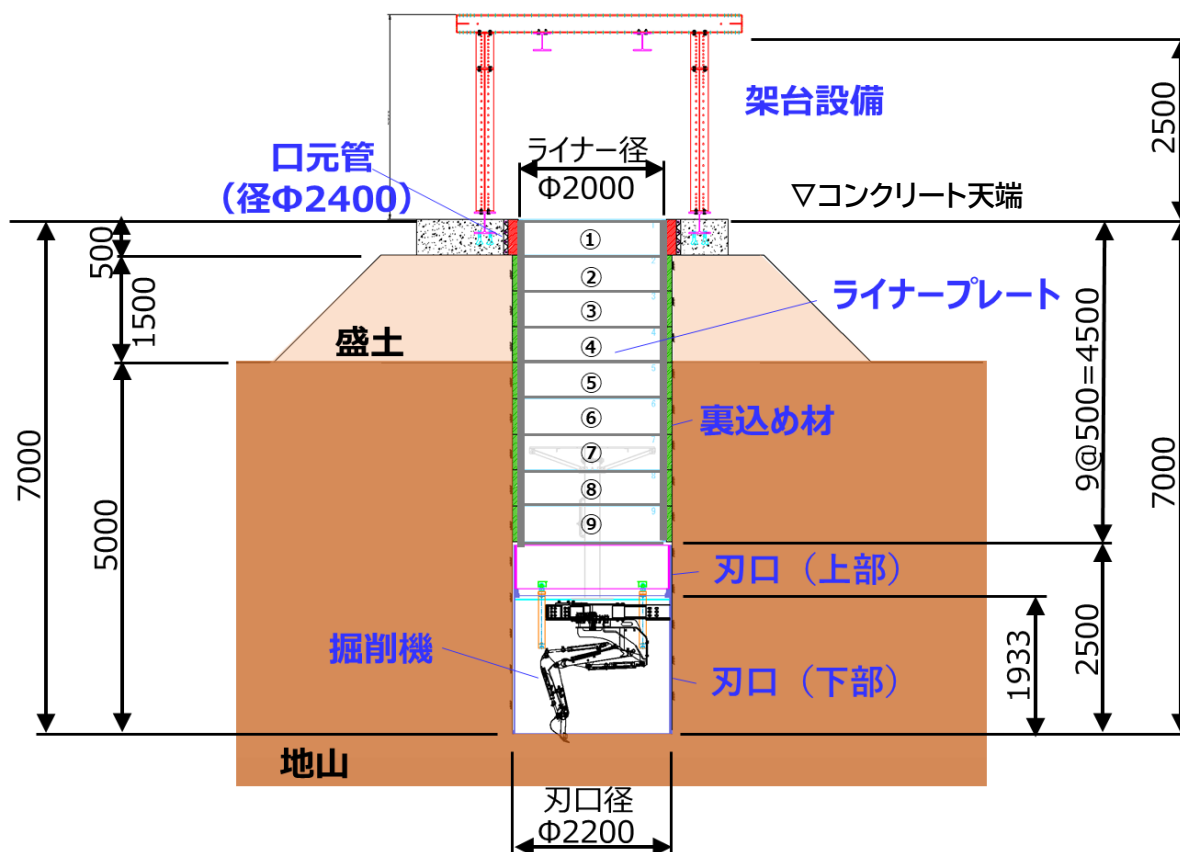


図-7 試験施工概要図

タルコストがほぼ同一となり、それより杭長が長くなると機械施工のトータルコストの方が安くなるという結果となった。

今後コスト増の原因となっている、刃口や防護管の分割回収や汎用ライナープレートの使用を実現させることで、損益分岐点である杭長 17.0m をさらに短くすることを目指していく。

5. まとめ

従来工法と比較した場合の Shinso-MaN 工法の優位性を以下に挙げる。

- ・施工速度の向上による生産性の向上
- ・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
- ・施工環境の改善
- ・作業の安全性向上
- ・杭長が一定長さを超えると低コスト化が見込める

などがある。

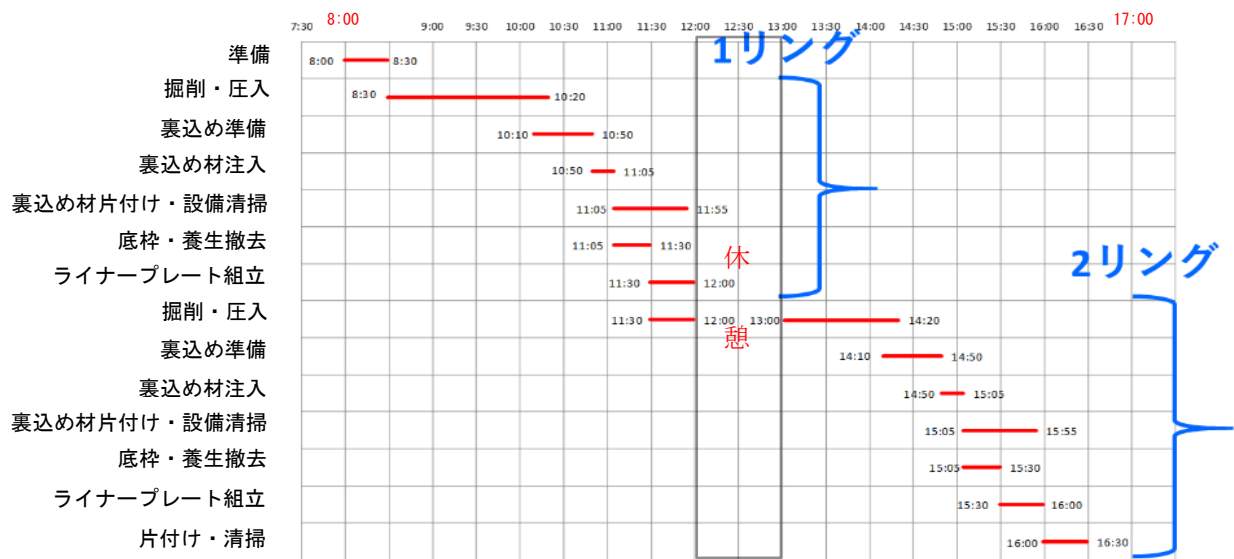
今後は、刃口や防護管の分割回収や汎用ライナープレートの使用を実現させるなどの課題を解決することで、コスト削減やさらなる生産性の向上につなげていく。

また、鉄道関連の狭隘箇所での杭工事に限らず、幅広く活用できることを目指して、本工法のブラ

ッシュアップを図っていく。

参考文献

- 1) 盧海洋ほか：小径深礎工法の機械化に伴う高効率排土方法の開発，鉄建技術報告集，No.35，2021.3，(<https://www.tekken.co.jp/media/2a392d847040d9b0f09a4a08761b5667090546cb.pdf>)
- 2) 盧海洋ほか：小径深礎工法の機械化に伴う高効率排土方法の開発，土木学会，第 78 回年次学術講演会，VI-233，2023.9
- 3) 湊憲二ほか：小径深礎工法の機械化に伴う可塑性裏込め材料の開発，鉄建技術報告集，No.35，2021.3，(<https://www.tekken.co.jp/media/6f7fc9b22cbffc619e4aa94656be3c550819bc94.pdf>)
- 4) 湊憲二ほか：小径深礎工法の機械化に伴う急硬性裏込め材料の開発，土木学会，第 77 回年次学術講演会，VI-161，2022.9
- 5) 湊憲二ほか：小径深礎工法の機械化に伴う試験施工について，土木学会，第 78 回年次学術講演会，VI-232，2023.9
- 6) 中村美月ほか：Shinso-MaN 工法の開発（施工サイクルタイムについて），第 50 回土木学会関東支部技術研究発表会，VI-31，2023.3



図－8 サイクルタイム表⁶⁾