

Shinso-MaN W 工法（硬質地盤用機械式深礎工法）の開発

岩川 実郷*1・湊 憲二*2・山本 淳*3

概 要

電力分野では、送電設備整備に伴い山間地における大型鉄塔の建設工事が増加しており、鉄塔基礎を深礎杭で構築する場合の硬質地盤に対応した深礎工法の確立が求められている。過年度に開発した機械式深礎工法（Shinso-MaN 工法）は、鉄道営業線近傍での軟弱地盤における施工を想定した工法であり、硬質地盤での適用に向けては掘削能力の向上等の改良が必要であった。そこで、硬質地盤に対応し、安全性を兼ね備えた新たな機械式深礎工法（Shinso-MaN W 工法）を開発し、施工速度の向上と作業環境の大幅な改善を図ることで人力施工からの置換を目指すこととした。

キーワード：深礎工法，機械化，硬質地盤，生産性向上，省人化，安全性向上，

DEVELOPMENT OF SHINSO-MAN W METHOD (MECHANIZED DEEP FOUNDATION METHOD FOR HARD GROUND)

Misato IWAKAWA*1, Kenji MINATO*2, Atsushi YAMAMOTO*3

Abstract

In the electric power industry, construction of large steel towers in mountainous regions has increased in line with the development of transmission infrastructure, creating a demand for a deep foundation method that can be used in hard ground when constructing steel tower foundations using deep foundation piles. The Shinso-MaN (Mechanized Deep Foundation) method developed in recent years was designed for construction in soft ground near railway lines and needed improvements, including increased excavation capacity, in order to be efficiently applied in hard ground conditions. To address these issues, we developed a new mechanized deep foundation method that combines applicability in hard ground with enhanced safety features, called the Shinso-MaN W (Shinso with Machine for Narrow Site Using Double Arms) method. The aim of this development was to replace the manual construction process, thereby speeding up construction and significantly improving the work environment.

Keywords: Deep foundation method, Mechanization, Hard ground, Productivity improvement, Manpower saving, Safety improvement.

*1 Foundation / Ground / Earthwork Group, Underground / Foundation Department, Civil Engineering Division

*2 Construction Technology Group, Research & Development Center

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

Shinso-MaN W 工法（硬質地盤用機械式深礎工法）の開発

岩川 実郷*1・湊 憲二*2・山本 淳*3

1. はじめに

電力分野では、送電設備整備に伴い山間地における大型鉄塔の建設工事が増加しており、送電鉄塔基礎を深礎杭で構築する場合の硬質地盤に対応した深礎工法の確立と施工速度、作業環境の向上が求められている。

過年度に開発した機械式深礎工法（Shinso-MaN 工法）^{1) 2)}は、鉄道営業線近傍での軟弱地盤における施工を想定しており、周辺地盤変位を抑制するために孔壁を防護できる刃口を有した圧入工法である。本工法を山間地の硬質地盤に適用する場合は、岩盤の効率的な掘削が課題となり、掘削・積込み用のバックホウと破碎用のブレイカーの併用が必要となる条件が想定された。しかし、送電鉄塔基礎の深礎杭では直径2.5～3.0m程度が多く、施工機械が1台しか入らないことから、破碎と掘削・積込みのどちらか一方の機械しか配置できず、もう一方の作業は人力施工となる。また、どちらの作業も機械で行う場合はその都度機械の入替作業もしくはアタッチメントの交換作業が生じるため、いずれの方法でも作業時間が長くなる傾向にある。さらに、機械と人力の併用は狭隘空間であるため、接触事故のリスクがある。

本稿では、硬質地盤に対応し、安全性を兼ね備えた機械式深礎工法（Shinso-MaN W 工法：Shinso with Machine for Narrow site using Double Arms）の概要と基本コンポーネントの動作確認および掘削シミュレーションについて報告する。

なお本工法は、鉄建建設、忠武建基、日立建機日本、日鉄建材の4社による共同開発である。

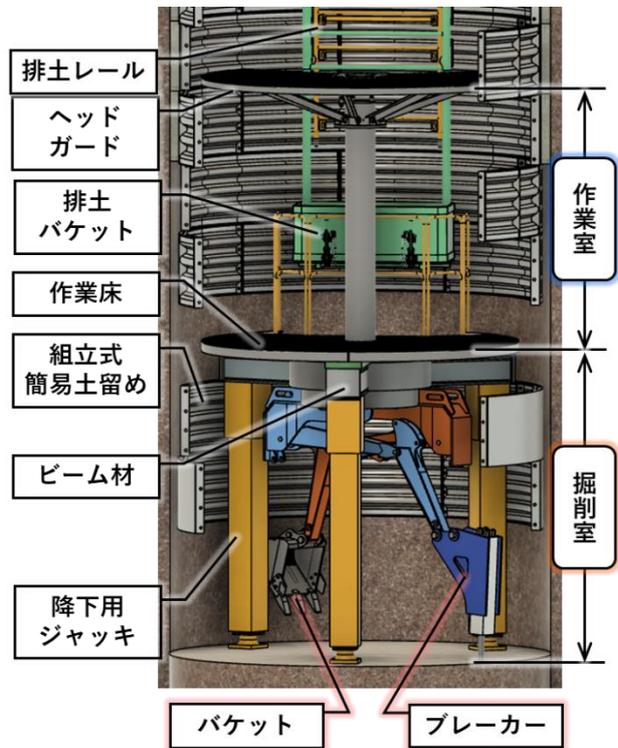


図-1 施工機械概要図

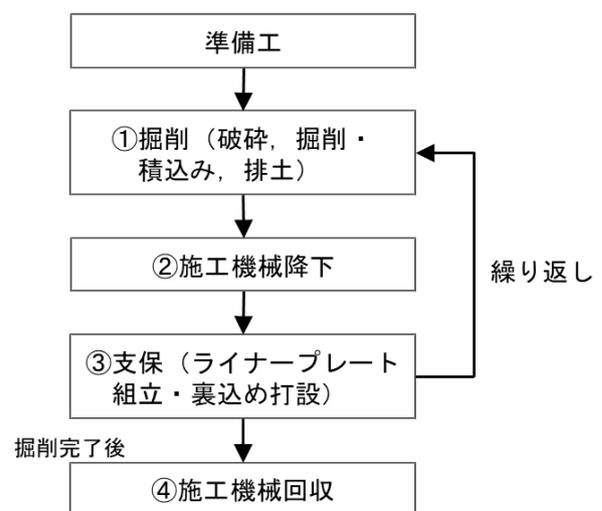


図-2 施工フロー

*1 土木本部 地下・基礎技術部 基礎・地盤・土工グループ

*2 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

*3 土木本部 地下・基礎技術部 部長

2. 工法概要

本工法の施工機械概要図を図-1に、施工フローを図-2に示す。本工法の適用対象は、鉄塔基礎の深礎杭で杭径φ2.5~3.0m程度、地質は軟岩程度を想定した。この様な施工条件で機械掘削を行う場合は、一般に電動バックホウ(TM25, 0.033 m³級、写真-1)が使用されている。しかし前述したように電動バックホウの投入は1台に限られるため、機械の入替えもしくはアタッチメントの交換といった掘削効率の低下が課題となっていた。

そこで本工法の施工機械は、図-1に示すように破砕から掘削・積込みを連続して行えるようにブレイカーとバケットを備えた双腕型構造とした。これらの操作は、地上部に設置している操作部からの遠隔操作とし、ブレイカーとバケットの切替えも遠隔操作部の手元スイッチで行う。孔内にはカメラを取り付け、その映像を操作部のモニターで確認しながら各作業を行う。施工機械は降下用ジャッキにて支持され、掘削の進行に伴い降下用ジャッキを縮めることにより降下する。また、破砕から掘削・積込み作業を作業床から下部の掘削室にて無人で行う。さらに、ライナープレートの組立や裏込め充填作業等を作業床上部のヘッドガードで覆われた作業室にて行う。そのため上下作業を可能とするとともに、土砂搬出作業時における土砂の落下リスクに対しても作業員の安全性を確保できる。

施工機械の各コンポーネントの詳細を以下に示す。

(1) 双腕型掘削機械

双腕型掘削機械の仕様を以下に示す。

- ・0.034 m³級バックホウの基本コンポーネントによる構成
- ・ブレイカーチゼル径φ45mm
- ・掘削半径1600mm
(杭径φ3000mmまで対応可能)
- ・掘削可能深さ0~500mm(最外縁部)

(2) 降下用ジャッキ

本施工機械は、3本の降下用ジャッキ(ジャッ

キストローク1000mm)により支持する構造である。図-3に示すように、降下用ジャッキの採用により、掘削作業中に玉石などの支障物が出た場合、支障物以外の部分を先行して掘り下げることによって、支障物を撤去しやすい構造とした。

(3) ビーム材(水平ジャッキ)

本施工機械には、掘削・破砕時の機械ズレを抑制するために、図-3に示すような水平ジャッキを内蔵したビーム材を3本装備している。図-4に示すように、降下用ジャッキ直下を掘削する際



写真-1 従来工法による深礎掘削作業
(電動バックホウによる集積・排土作業状況)

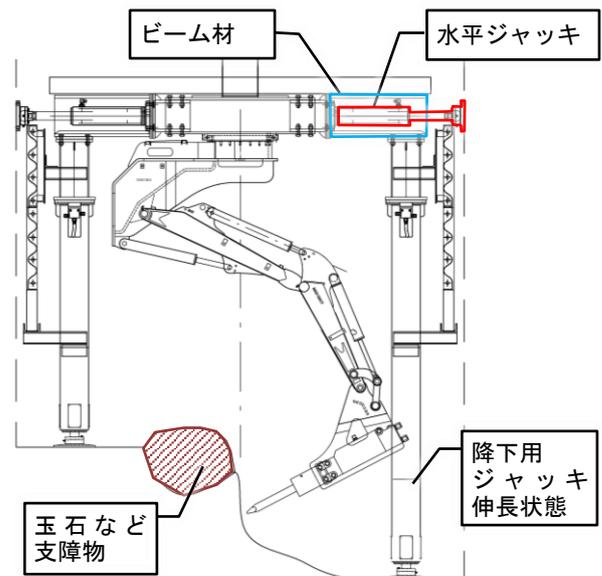


図-3 支障物撤去状況図

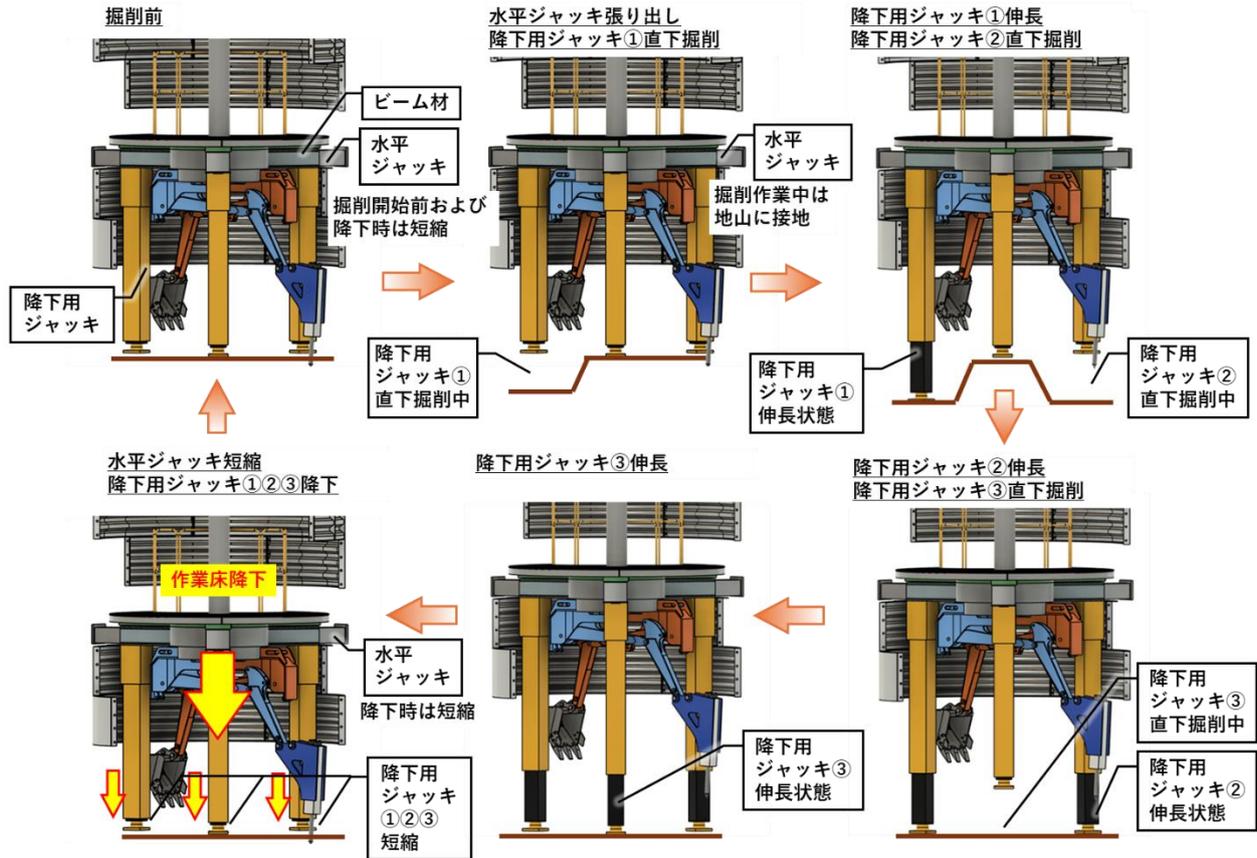


図-4 水平ジャッキの使用方法

は、この水平ジャッキを地山に張り出すことで機械の傾きを抑制しながら2本の降下用ジャッキで施工機械を支持し掘削作業を行うことができる。

(4) 排土システム

従来工法における土砂搬出作業は、フレキシブルコンテナバッグ等を集積し、クレーンやホイストにて搬出するものであり、搬出作業時には他の作業が止まるため作業効率が上がらない課題があった。そこで本工法では、Shinso-MaN 工法で開発した排土レールと排土バケットを用いる排土システム³⁾を適用した。本排土システムでは、ライナープレートに設置した排土レールに沿って昇降する排土バケット（容量：200ℓ）を速度調整が可能なウインチにより高速（巻上げ速度最大36m/秒）で昇降させることが可能である。また、排土レールを用いることで、排土バケットの荷振れが抑制されて安全性が向上する。

ただし、本工法では掘削室内にライナープレートがなく排土レールが設置できないため、排土バ

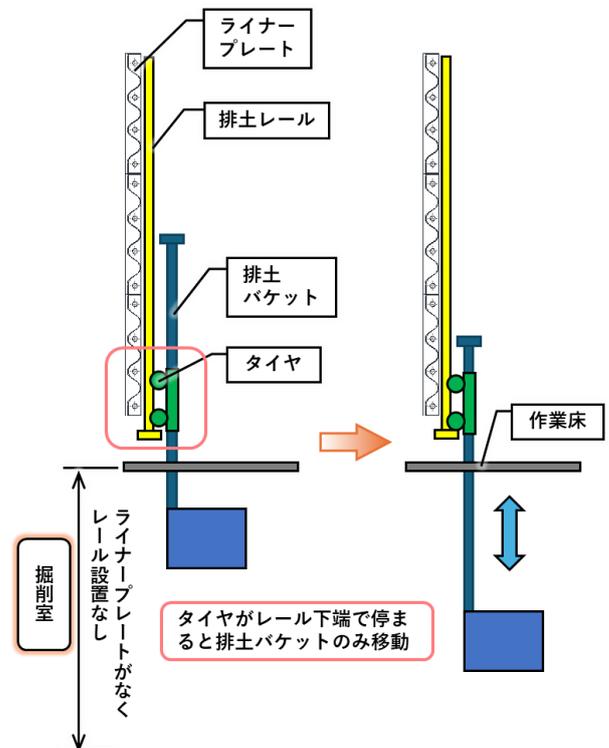


図-5 排土システムスライド機構

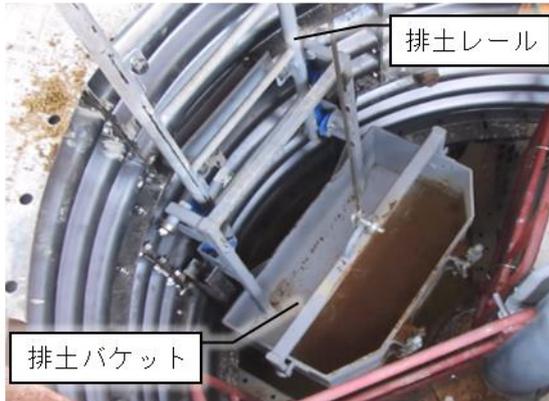


写真-2 排土システム



写真-3 各種ジャッキ動作確認状況

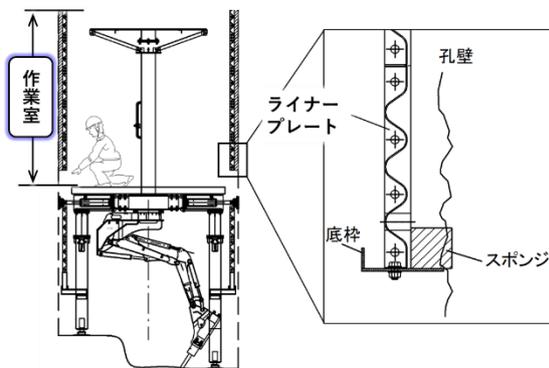


図-6 底枠概要図

ケットにスライド機構を追加し、最深部まで排土バケットを降ろせる仕組みとしている(図-5, 写真-2)。

(5) 裏込め打設方法

本工法におけるライナープレートの裏込め打設は図-6のように作業室での施工となる。ライナープレート下端からの漏洩を防止するため、先端部にスポンジ付きの鋼製型枠を取り付け、孔壁の凹凸に追従させている。

3. 基本コンポーネントの動作確認

本工法で用いる施工機械の双腕型機構以外の基本コンポーネントである降下用ジャッキとビーム材(水平ジャッキ)の施工性の検証を目的に各ジャッキの伸縮速度や同調性などの動作確認を行った(写真-3)。

実際の施工では孔壁および地盤面に凹凸が存在するため、動作確認では栈木にて凹凸を模擬し、ジャッキ先端に取り付けた球座の追従性の確認



写真-4 球座追従効果確認

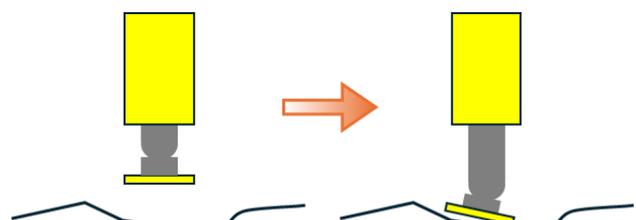


図-7 球座追従効果

を行った(写真-4, 図-7)。また、3本の降下用ジャッキによる降下動作と伸縮バランスによる作業床の水平制御の確認も行った。さらに、降下用ジャッキ直下を掘削するシミュレーションとして、水平ジャッキを張出した状態で、掘削箇所

の降下用ジャッキを縮めた時に、残りの2本の降

下用ジャッキのみで姿勢制御が可能であることを確認した。

以上から降下用ジャッキと水平ジャッキのストロークの圧力を適宜調整することにより、静止時・掘削時・降下用ジャッキ直下掘削時・降下時の本施工機械の姿勢制御が可能であることが確認された。

4. 掘削シミュレーション

本工法で用いる施工機械による掘削作業のシミュレーションを目的に、単腕型ブレイカーを装着した基本コンポーネントを、試験フィールドに設置した孔内（杭径 ϕ 2.5m）に投入して、各種動作確認を行うとともに、地山の破碎作業を行った。なお、施工箇所の地山は、N値が30～50程度の軟岩である。

(1) 孔内カメラによる遠隔操作性

作業室内に複数台取り付けカメラの映像により地上部に設置している操作部で遠隔操作を行い、掘削作業に必要なカメラの台数や画角、作業室内の照度、オペレーターの操作性等の確認を行った（写真-5）。

その結果、掘削室内の照度が100～450ルクス程度であれば、オペレーター掘削状況確認モニターで画角、視認性とも良好であることが確認された。しかし、ブレイカーの動きについては、オペレーターの操作とモニター画面とでタイムラグが生じたため、カメラの性能について検討することとした。

(2) マシンガイダンスシステムの効果

掘削後の出来形管理を目的に、2D マシンガイダンスシステム（写真-6）を導入した。ブレイカーのアームに3つのセンサーを取り付けて、リアルタイムにアーム先端位置を測定し、地上操作部に設置した確認モニターの距離ナビに沿って操作しながら掘削することで、掘削径および掘削深度をモニターで確認することができる。掘削シミュレーションでは、施工機械の傾きによる掘削精度への影響についても確認を行った。

その結果、施工機械の傾きが 1.0° 以下の場合



写真-5 オペレーター掘削状況確認モニター

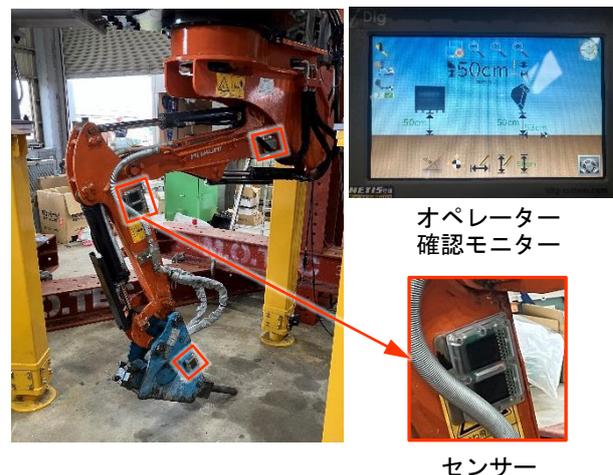


写真-6 2D マシンガイダンスシステム

には、杭芯から孔壁面に対する掘削距離の誤差が、掘削範囲の設定許容誤差30mm以内に収まり、掘削精度に関して問題がないことを確認した。

(3) 掘削坑内での姿勢制御

前述した降下用ジャッキとビーム材（水平ジャッキ）による姿勢制御とジャッキ先端に取り付けた球座の追従性の確認を掘削坑内でも行った。さらに、降下用ジャッキ直下を掘削するシミュレーションとして、2本の降下用ジャッキで支持した状態で水平ジャッキを張出した場合の姿勢制御についても確認を行った。

その結果、降下用ジャッキと水平ジャッキの圧力を適宜調整することにより、静止時・掘削時・

降下用ジャッキ直下掘削時・降下時の本施工機械の姿勢制御が掘削坑内でも可能であることが確認された。

5. まとめ

Shinso-MaN W 工法の従来工法に対する優位性は以下の通りである。

- ・ 双腕型構造による機械の入替えやアタッチメントの交換作業が省略化され、掘削効率の向上が図れる。
- ・ 作業室と掘削室を上下で分けしたことによりライナープレート組立作業と掘削作業の同時施工が実現し、作業時間短縮による施工速度の向上が図れる。さらにヘッドガード常設により安全性も向上する。
- ・ 掘削作業を地上部からの遠隔操作としたことにより坑内粉塵作業を省略化し、施工環境の改善や掘削作業人員の省人化につながる。
- ・ 降下用ジャッキ機構により支障物への対応が簡略化される。
- ・ 排土システム採用により土砂搬出作業時間が短縮し、さらに荷振れが抑制され安全性が向上する。

また、基本コンポーネントの動作確認および掘削シミュレーションにより確認できた事柄は以下の通りである。

- ・ 降下用ジャッキおよび水平ジャッキにより施工機械の姿勢制御が可能である。
- ・ 遠隔操作時のカメラの視認性は確認できたが、仕様については再検討が必要である。
- ・ 施工機械の傾きとマシンガイダンスの精度との関係性について確認することができた。

今後は本機構と双腕型掘削機械の組合せで総合運転試験を行い、サイクルタイム・施工性などについて確認を行う予定である。

参考文献

- 1) 湊憲二ほか：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，鉄建技術報告集，No.37，2023.3
- 2) 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
- 3) LU HAIYANG 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