

空頭制限 2.0 m 以下で施工可能な 小口径鋼管杭工法の開発

ST マイクロパイル工法

東 芝 崇・奥 野 倫太郎・橋 本 秀 一

変電所の設備更新では、機器取替作業に伴う停電期間の短縮や充電部との離隔確保の条件があり、空頭制限や稼働中の機器による施工範囲の制限により、狭隘箇所での施工となる。また、硬質な地盤では大型重機による杭打ちが必要となる。これに対し、空頭制限 2.0 m 以下の狭隘箇所かつ硬質な地盤でも杭打ちが可能な ST マイクロパイル工法 (Strong Tubfix Micro Piles, 以下「本工法」という) を開発した。本報では、開発概要、削孔実証試験、変電所機器基礎工事への実施工検証結果、支持層到達確認試験について報告する。

キーワード：基礎工事，鋼管杭，変電所，空頭制限，狭隘施工，ダウンザホールハンマ

1. はじめに

本工法は、施工機械が小さく移動も容易なため、空頭制限下での施工、構造物との近接施工、都市狭隘部・地下空間・傾斜地などの制約条件下における施工が可能である。そして本工法は、ダウンザホールハンマの使用により、削孔性能に優れ、岩砕・転石、層厚の厚い玉石混じり・固結シルト層などを含む硬質な地盤でも施工が可能である。

今回、既設変電所の機器取替に伴う杭基礎工事において、上記のような特徴を持つ本工法の適用を検討した。この杭基礎工事では、充電部との離隔確保による空頭制限および近接する稼働機器による施工範囲の制限により、狭隘箇所での施工が必要となる。ただし、この工事の空頭制限は 2.0 m 以下と非常に厳しく、これまでの本工法の空頭制限である 3.8 m 以下では対応が出来なかった。そこで、空頭制限 2.0 m 以下での施工が可能な本工法を開発することとした。本報では、開発の概要、削孔実証試験、実施工検証結果、支持層到達確認試験について報告する。

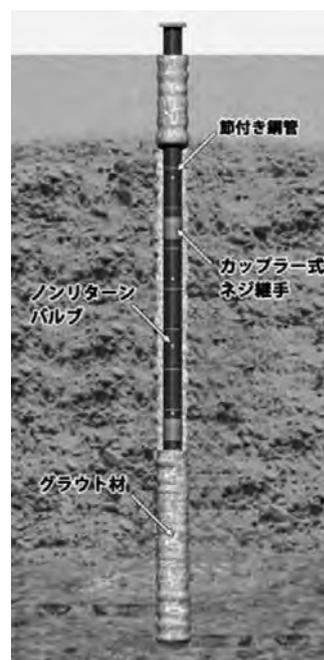
2. 本工法の概要

開発のベースとなった本工法は、都市狭隘地、地下空間、山岳傾斜地などの限られた空間での施工を対象として開発された小口径鋼管杭工法である。

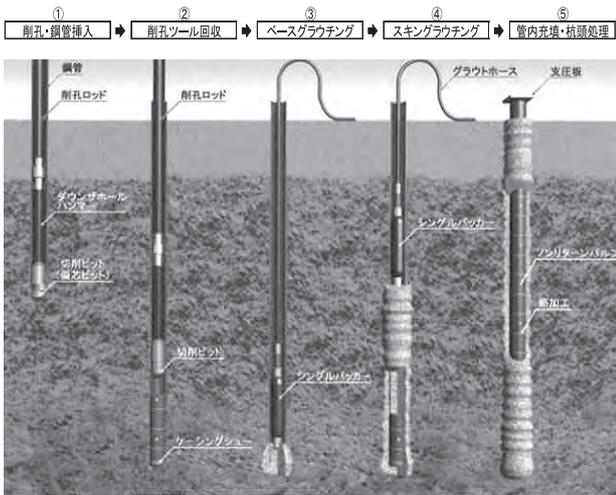
本工法は、グラウトの加圧注入技術や高圧噴射攪拌による地盤改良技術を取り入れるとともに、補強材と

して鋼管杭に節突起を設けることでグラウト材との付着性能を向上させた場所打ち杭でもある。本工法には、グラウトパッカー装置を用いてグラウト材（セメントミルク）を加圧注入するタイプⅠと、高圧噴射式地盤改良工法併用のタイプⅡとがあり、杭基礎設計の条件や地盤条件から選択する。

両タイプとも同じ小型のマイクロパイル施工機による施工が可能である。図一1にタイプⅠの概略図を、図一2にタイプⅠの標準的な施工手順を示す。



図一1 本工法タイプⅠ概略図



図一 2 本工法タイプ I 施工手順

接打撃するとともに、ロータリーヘッドによって回転力を与えて削孔能力を高めた乾式ダウンザホールハンマ方式を採用した。

(2) マスト長の短尺化

マイクロパイル施工機は、量産型のうち最も小型の施工機 (SM103HD) を改造することとした。空頭制限 2.0 m 以下への対応は、施工機の標準マスト長を 53% 短尺化することで実現した。

マスト長の短尺化にあたり、付属装置〔ドリフター、セントライザー、排土装置 (可動式スイベル管、サイクロン集塵装置、ジェクター)] を改造もしくは新設した。

写真一 1、図一 4 に開発した超低空頭型本工法施工機の全景および外観図を示す。

3. 開発する工法に求める性能

開発する工法には、空頭制限 2.0 m 以下での施工を可能とすることはもとより、岩砕や玉石、固結シルトなどを含む硬質な地盤でも円滑に施工が可能な性能が必要である。

開発する工法に求める性能を事項に整理する。

- ①空頭制限 2.0 m 以下の狭隘箇所での施工が可能
- ②硬質な地盤への削孔が可能

4. 施工機の改造

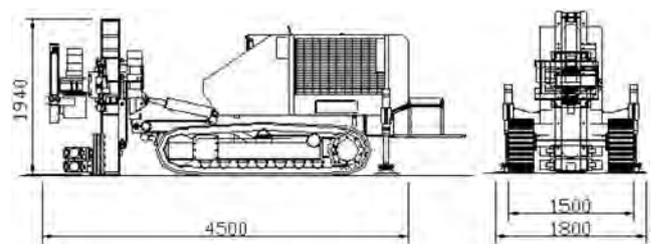
(1) 削孔方式

削孔方式は、削孔速度の速い乾式の直接鋼管打設方式とした。また、継杭一本あたりの鋼管長を空頭制限下において最大とするために、施工機のセントライザー部を延伸する機構を削孔機に搭載し、実施工の際には、G.L 盤から -50 cm 掘り込み、この分に延伸したセントライザーを設置できるようにした (図一 3)。

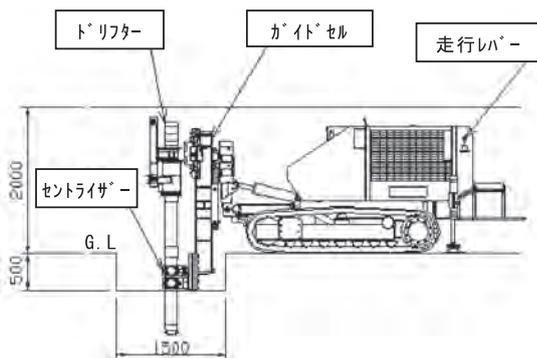
削孔機能は、削孔ロッド内に圧縮空気を送り、先端のハンマピストンを往復運動させ先端削孔ビットを直



写真一 1 超低空頭型本工法施工機全景



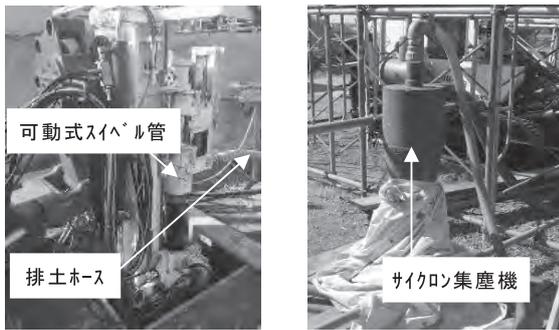
図一 4 超低空頭型本工法施工機外観図



図一 3 改造したマイクロパイル施工機の側面図

(3) 削孔時の排土飛散防止対策の追加

削孔による排土は、ダウンザホールハンマで使用した圧縮空気と共に、ダウンザホールハンマに接続したインナーロッドと鋼管杭の間を通り、地上に排出される (二重管内返し方式)。その際の排土が圧縮空気とともに飛散することを防止するため、排出部分に可動式のスイベル管を介して鋼管アダプターで連結する構造とした。さらに、サイクロン集塵機およびジェクター (強力空気搬送機) を排土ホースに接続することで、排土効率の向上を図った。写真一 2 に排土飛散防止対策とサイクロン集塵機を示す。

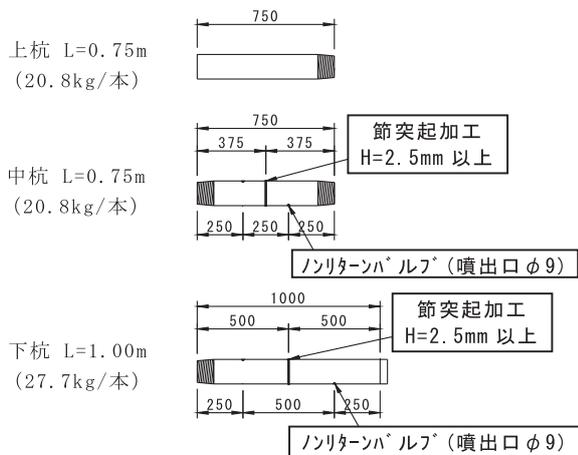


写真一2 排土飛散防止対策

5. 鋼管継杭長の仕様

継杭する一本あたり鋼管杭長は、標準の本工法で用いる鋼管杭仕様をベースに、節突起およびノーリターンバルブの最適な配置を検討した。なお、短尺マストでの施工性を上げるために、図一5に示す鋼管杭の仕様とした。

また、継手は本工法の標準規格である機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）とし、無溶接での継手構造とした。



図一5 短尺化鋼管杭仕様

6. 削孔実証試験

(1) 削孔実証試験の概要

改造した施工機の作業性および削孔時の排土飛散状況を確認するため、東日本機械センター（群馬県邑楽郡明和町）において、単管、ビティ足場等で空頭制限2.0mの模擬環境を構築し、削孔実証試験を実施した。

(2) 削孔実証試験の結果

削孔実証試験では、乾式ダウンザホールハンマ方式により、杭長4.75mと10mの2セットの試験削孔を実施した。写真一3に施工機の移動状況、写真一4



写真一3 施工機移動状況



写真一4 乾式削孔試験状況

に乾式削孔試験の状況を示す。

施工機の作業性については、先頭の鋼管は下杭とダウンザホールハンマおよびパイロットビットとを、同時にセットする必要がある。合わせて約90kgの重量物を取り扱うこの作業については、手押し運搬台車で移動を行い、杭打ち機に別途取り付けられた吊りフックとレバブロックを利用することにより、安全性の向上と作業員の負荷軽減を図った。

削孔に伴う排土は、インナーロッド（ダウンザホールハンマ昇降時に接続する鋼管）と鋼管杭の間を通り、可動式スイベル管の排土口から圧縮空気と共に排出される構造としたが、インナーロッドおよび鋼管杭の上下運動により可動式スイベル管と鋼管アダプターとの間に隙間が発生し、少量の排土の飛散が確認されたため、可動式スイベル管と鋼管アダプターの連結方法の改良を行うこととした。

また、排土の詰まり防止のためにジェクター（強力空気搬送器）やサイクロン集塵機を再度改良した。

7. 実施工での検証

(1) 工事概要

愛知県蒲郡市に位置する中部電力(株)西浦変電所において、経年劣化により取り替えとなる2B変圧器の基礎を構築する工事に、今回開発したSTマイクロパイルを適用し、その施工性の確認を行った。写真一5に西浦変電所全景を示す。



写真—5 変電所全景

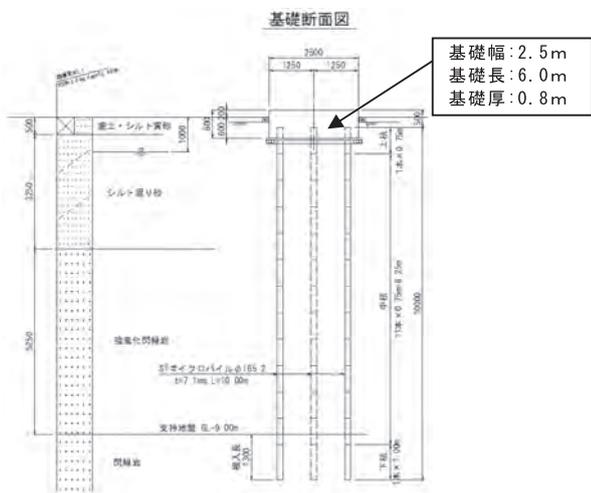
(2) 西浦変電所の地質状況

西浦変電所の杭支持地盤は、2B 変圧器基礎の近接で実施した地質ボーリング調査の結果から、表層から GL-3.75 m まではシルト混じり砂、GL-3.75 m ~ GL-9.0 m が強風化閃緑岩、GL-9.0 m 以深が強固な閃緑岩となっている。また、地下水位は GL-1.0 m 程度である。

(3) 2B 変圧器新設基礎形状と鋼管杭仕様

新設する基礎工事箇所は、狭隘箇所かつ稼働中の変電設備での近接作業であること、また、地盤状況を踏まえた基礎安定計算の結果から小口径鋼管杭工法が採用された。

図—6 に新設する機器基礎形状図と表—1 に鋼管杭仕様を示す。



図—6 機器基礎形状図

表—1 鋼管杭仕様

項目	仕様
使用鋼管	φ 165.2 mm, t=7.1 mm, STKT590
打設数量	杭長 10 m × 5 本 (支持層深度 8.7 m + 杭根入れ長 1.3 m)
継杭長 1 本当り	・ 上杭 杭長 0.75 m × 1 本
	・ 中杭 杭長 0.75 m × 11 本
	・ 下杭 杭長 1.00 m × 1 本

また、打設杭ごとの杭先端の支持層到達確認評価手法は、2B 変圧器基礎の近接で実施した地質ボーリング調査結果をもとに、杭先端深度と削孔で排土される土質の目視確認とした。

(4) 実施工検証結果

西浦変電所における実施工検証の結果、空頭制限 2.0 m において、施工性に問題がないことが確認できた。また、施工精度、施工品質に関しても設定した基準を満足することができた。

写真—6 に実施工検証試験の状況、写真—7 に鋼管杭削孔状況、写真—8 に鋼管杭打設完了状況を示す。



写真—6 実施工検証試験の状況



写真—7 鋼管杭削孔状況



写真—8 鋼管杭打設完了状況

8. 支持層到達確認手法の開発

(1) 支持層到達確認の課題と対応策

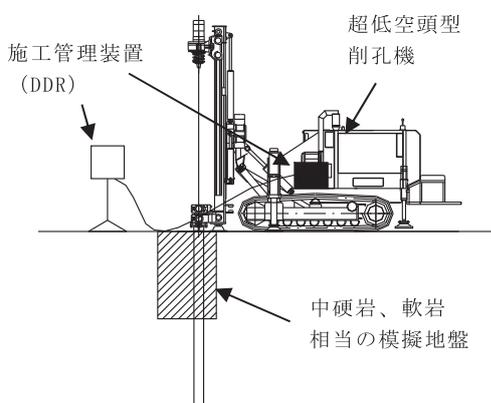
本工法は、回転と打撃の併用により硬質地盤でも切削・破碎して削孔を行うため、杭打ち時のトルク値や電流値の変化を顕著に確認できない。このため、西浦変電所で実施したように、支持層到達確認は地質ボーリング調査をもとにした杭先端深度と削孔で排土される土質を目視で確認している。しかし、土地造成箇所では、盛土部の支持層深度は一様とは限らず、従来方法では多くの地質調査が前提となるなどのデメリットがある。

そこで新たに、打設杭ごとの支持層到達確認方法の確立が必要である。改善策として、「削孔速度」、「回転トルク」、「給進力（押込み力）」、「回転数」などの削孔データを記録する施工記録装置（DDR）をマイクロパイル施工機に搭載し、削孔データと対象地盤の硬さを比較し、その相関関係から、杭先端の支持層到達確認の評価方法を確立することとした。

(2) 支持層到達確認試験の概要

地盤の硬軟の削孔データを得るため、東日本機械センター（群馬県邑楽郡明和町）において、超低空頭型本工法施工機（SM103HD）に施工管理装置（DDR）を取り付け、削孔データを収集した。なお、この試験では支持層相当の地盤と上部沖積層相当の地盤との削孔データの明確な違いを確認するため、中硬岩（40 N/mm²）、軟岩（18 N/mm²）相当の模擬地盤をレディミクストコンクリートにより造成した。

支持層確認試験の計画図を図一七に示す。



図一七 支持層確認試験の計画図

(3) 支持層到達確認試験の結果

試験の結果、給進力および回転数の設定を一定にした状態で、「削孔速度」、「回転トルク」、「回転数」の値が支持層相当の模擬地盤と沖積層相当の現地盤で大きく変化していることが確認できた（特許出願中 特願 2017-34672）。

結果については、現在分析中であるが、今後、これらの値の変化を捉えれば、削孔している地質の硬軟を判定できる可能性があることが分かった。

9. おわりに

本稿では、空頭制限 2.0 m の狭隘箇所かつ硬質地盤において、小口径鋼管杭の施工を可能にした本工法超低空頭型 ST マイクロパイル工法を開発し、当該工法の開発概要、削孔実証試験および実施工検証結果について報告した。

今後は、杭の支持層到達確認の評価方法の確立に向け、多くの施工記録を収集・蓄積し、地質データとの相関性を評価していきたいと考えている。

謝辞

最後に、今回の開発にあたり、様々なご指導ご協力を賜りました中部電力株式会社の関係者の方々に厚くお礼申し上げます。

JICMA

《参考文献》

- 1) NIJ 研究会:ST マイクロパイル工法 タイプ I 設計・施工マニュアル、(2015 年 8 月六訂版)

【筆者紹介】

東芝 崇（とうしば たかし）
日本基礎技術(株)
技術本部技術部 地盤補強グループ
課長



奥野 倫太郎（おくの りんたろう）
日本基礎技術(株)
社長室事業企画室
課長



橋本 秀一（はしもと ひでかず）
中部電力(株)
電力ネットワークカンパニー
工務技術センター 土木建築課
副長

