

3. SMW 新造成システムの開発（新駆動方式による大深度対応型高精度原位置攪拌工法の開発）

大成建設(株)：○藤谷 俊実、高瀬 義行、鈴木 庫雄

1. はじめに

近年、都市部の地下空間を高度に有効利用するため、大深度の山留止水壁を効率良く高い精度で構築できる技術が求められている。山留止水壁の種類は、壁式（RC連続地中壁）と柱列式（ソイルセメント柱列壁）に大きく分類される。柱列式は、壁式に比べ経済性に優れるが、大深度や構築精度に関し改良すべき点があった。新たに開発したSMW新造成システムは、従来のソイルセメント柱列壁の課題を解決し、大深度山留止水壁を高精度に施工できるものである。

本文では、このシステム（以下UD-HOME T工法と記述する）の概要と、実工事への適用結果について報告する。

2. 開発の目的とシステムの概要

従来のソイル柱列壁工法の大深度・大口径施工での課題として、施工誤差、施工性、環境への影響がある。大深度での施工誤差の原因は、従来の施工機の駆動部がリーダ上部にあり、ここから地中のオーガーヘッドを回転させるため、駆動力を錐先端まで有効に伝達することができず、孔壁が曲がりやすくなること。また、先端錐の変位計測を断続的にしか行えないため、曲がり始めを検出できず、早期の修正制御が行えないことである。施工性については、地盤により先行削孔が必要であることとベースマシンとして三点式杭打機を使用するため、施工場所の制限を受けることである。

これらの課題を解決するため、開発目標を次のように設定した。

- ① 大口径の削孔能力を有する削孔ユニットの開発
- ② 削孔中も計測可能な、削孔精度管理システムの開発
- ③ 汎用クローラクレーンでの施工法の開発



写真-1 三点式杭打機による施工状況

3. 機械関連要素技術の開発と詳細

主な要素技術は、三つある。

- ① 三軸を基本構成とする中空モータを利用した削孔ユニットの開発
 - ② 本削孔システムに組み込む連続計測システムの開発
 - ③ 礫地盤の削孔を可能とし削孔性能を向上する動力制御装置となる油圧ユニットの開発
- 次にそれぞれの項目について詳細に説明する。

3.1. 中空モータと三軸削孔ユニット

中空モータには、中空軸を回転させるインナーモータと、モータを貫通する中空固定軸の周囲をモータ本体が回転するアウターモータの2種類がある。三軸削孔ユニットは、左右のアウターモータ本体と混練用オーガーが同時に回転し、その内側の中空固定軸の内管を、先端にセメントミルクを送る輸送管としている。つまり、二重管構造になっている。

開発当初、単軸削孔ユニットでの中空モータの複数配置、アウターとインナーの組み合わせ、さらに中空モータ取り付け位置を変えて削孔実験を行った。この時の施工データの解析結果より、削孔所要動力、削孔反力、削孔速度などを考慮して、三軸削孔ユニットの中空モータの配置と台数、組み合わせを決定した。

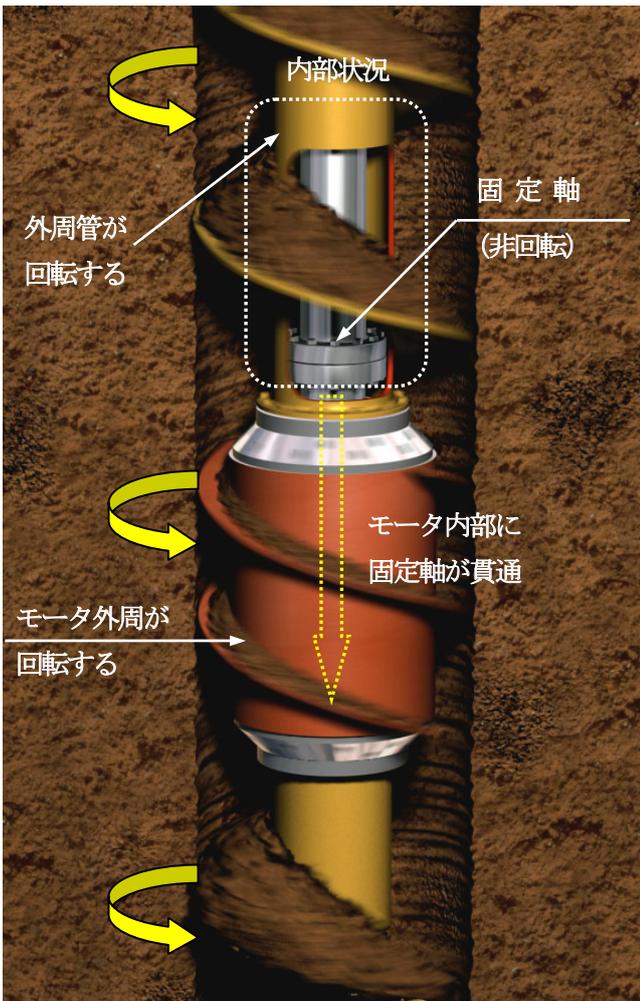


図-1 中空モータの概要

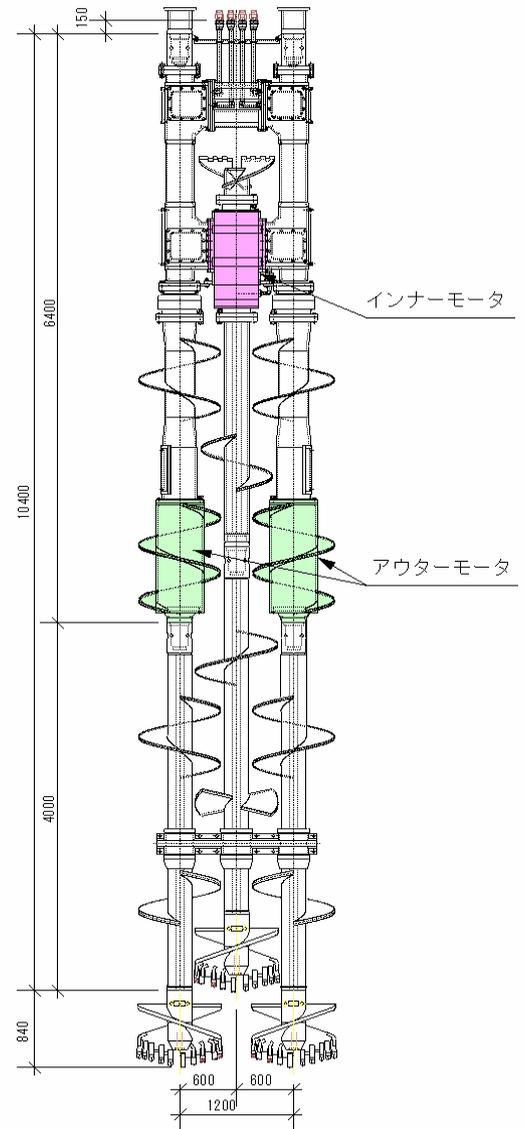


図-2 三軸削孔ユニットの中空モータ構成例

3.2. 連続計測システム

従来型SMWの削孔では、削孔深度に応じて、オーガーロッドを準じ継ぎ足していく。その為、削孔深度が深くなるにつれて、ジョイント数も増え削孔に必要なビット荷重も増加し、錐・ロッド全体に加わる軸応力が増大する。その結果、削孔中の錐・ロッドは、スネークラインと呼ばれる形状となる。このため、地上の固定点からロッド内の空間を利用して計測する光学的方法や、軸が回転するため傾斜計などによる連続計測ができなかった。

今回、このような課題を解決するため地上固定部か

ら中空モータまで貫通する中空固定軸に固定された傾斜計と深度の計測データを利用した、連続計測システムを開発した。

3.2.1. 連続計測システムの詳細

システムの開発にあたって、次のように計測時の前提条件を設定した。

- ・ 削孔は先端部の錐のみによって行われる。
- ・ 上部のオーガーでは、削孔後の壁面は新たに削孔されない。
- ・ 上部のオーガー一部および固定ロッド部は必ず、先端の錐が削孔した孔壁の中を通過する。
- ・ 錐の傾斜は、静止状態で実際の孔壁内の傾斜角を示す。

実際の削孔において、これらの条件が満足される場合、錐先端付近の中空モータの直上内部に装着された傾斜計の角度と、その時の深度を連続的に測定・演算し深度方向に順次積分すれば、錐先端のXY軸方向の水平変位量が求まる。システムの構成図を図-3に示す。削孔中には、錐の切削による衝撃加速度や、エアの噴出による傾斜計計測データにおよぼすノイズ

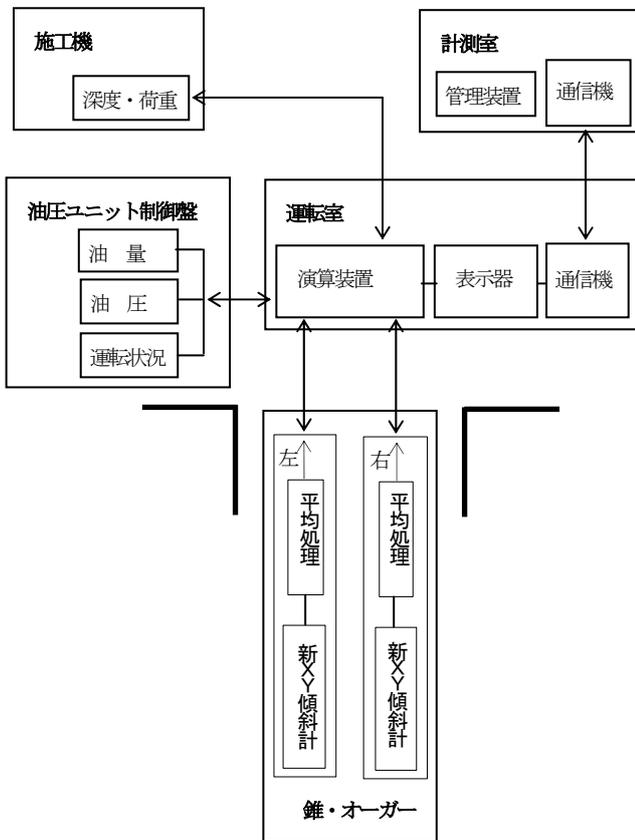


図-3 連続計測システムの構成図

が発生する。これを除去する方法として、移動平均処理と回帰処理の2種類の演算処理方法について実施した。

① 傾斜計データの時間経過による単純20項移動平均処理による方法。

② 傾斜計データをY軸、計測時の深度をX軸として1m区間毎の回帰処理による方法。

3.2.2. 連続計測システムの精度検証

連続計測システムの精度を検証するため、削孔を一時停止して計測する方法③と削孔終了直後に計測する方法④の二つの方法を実施した。

③ 従来のD. A. M. System とほぼ同様に、深度5m毎に削孔を停止し、その時の安定した傾斜角(①と同一の傾斜計)と深度により、深度5m毎における錐のXY軸方向の水平変位量を求める方法。

④ 挿入式傾斜計による測定方法。

削孔終了直後に挿入式傾斜計を削孔ユニットの固定ロッドおよびオーガーに予めセットされたケーシングに挿入して、挿入式傾斜計自体の傾きを検知し、その上端と下端のズレ(変位)を測定する。この測定値を孔底から地上まで50cm毎に変位量を加算することにより、孔口までのボーリング孔の地中変位量を、絶対値で把握する方法(写真-2参照)。この④の方法を正として、他の①~③の計測値を比較した。その結果40mの削孔深度における誤差は、XY軸方向のどちらの水平変位量も±30~50mmであった。¹⁾



写真-2 挿入式傾斜計による削孔精度確認状況

この連続計測システム(移動回帰処理)による施工時の計測画面の状況を写真-3、4に示す。

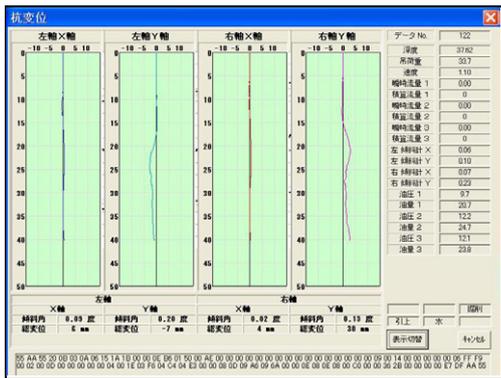


写真-3 深度と変位量の表示

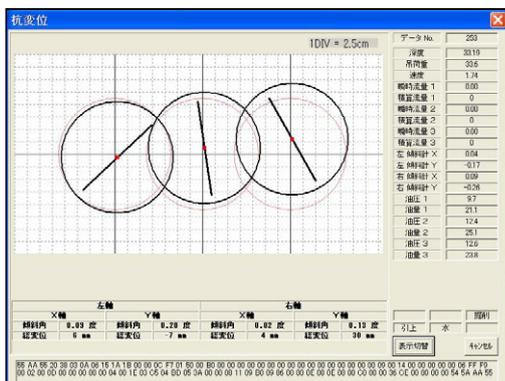


写真-4 オーガー先端断面の位置表示

3.3. 油圧ユニット

本システムでは、新たに削孔ユニットの駆動用に油圧ユニットも開発した。その概略仕様を表-1に示す。この油圧ユニットは、礫地盤掘削用に衝撃揺動回転制御などの各種掘削制御機能を組み込んでいる。また、削孔時の作業効率と機動性を向上させるため三点式杭打機に搭載できる搭載型油圧ユニットも開発し使用している。写真-5に搭載型油圧ユニットの状況を示す。また、油圧回路の概略を図-4に示す。

表-1 油圧ユニットの概略仕様

油圧ユニットの主な仕様	
外形	L5500×W2200×H2500mm
質量	13 ton
エンジン	4サイクル水冷エンジン、470kw
ポンプ	アウターモータ用 30MPa、255L/min、2台
ポンプ	インナーモータ用 30MPa、323L/min
ポンプ	パイロット用 40 MPa、25L/min
冷却能力	ファン：75kw/h、水クーラー：150kw/h
オイルタンク	1600 L



写真-5 ベースマシン搭載型油圧ユニット

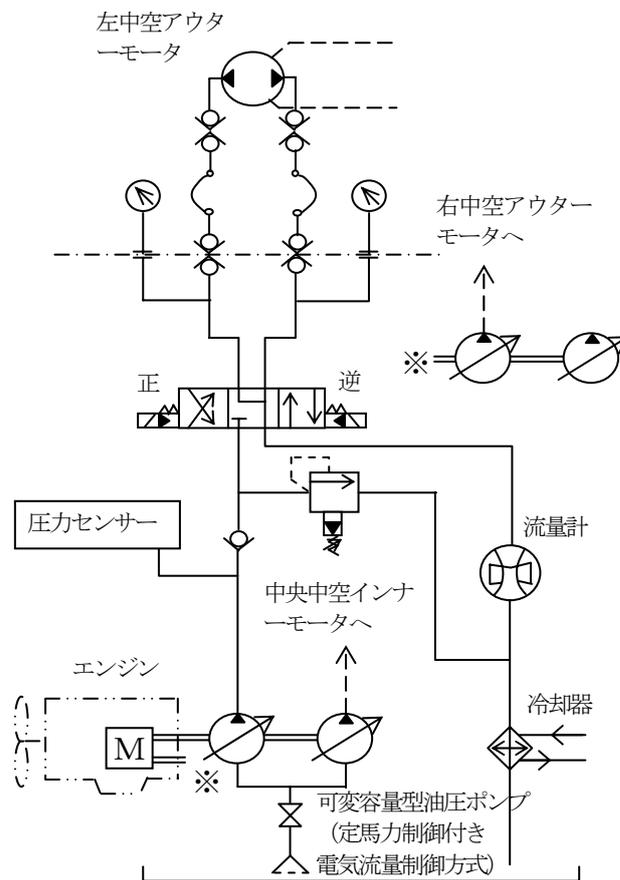


図-4 油圧ユニットの油圧回路

4. 修正削孔と制御方法

従来型SMW機の三点式杭打機による施工の場合、次のような修正削孔と制御をしていた。深度が浅さく

深度 10m程度までは、ある限界を設定して、X方向（オペレータから見て左右方向）には、杭打機本体を左右に走行させて錐とロッドを鉛直に位置させる。また、Y方向（オペレータから見て前後方向）には、支持機のリーダを前後にスライドさせて、錐とロッドを鉛直に位置させる。この修正操作を、削孔中に絶えず行う。更に、鉛直性が保てなくなったら削孔を停止して錐のターニング（錐の上下修正操作）をする。この場合、錐とロッドの傾斜を修正する方向に支持機のガイドを傾斜させる。状況によるが傾斜角は、2°程度である。深度が深くなった時は、杭打機の走行およびリーダのスライドによる修正は、効果がなくなるためリーダの傾斜とターニング操作が主となる。

UD-HOMET工法の削孔ユニットのみで、位置・姿勢制御を行う時は、従来の修正方法に加えて、錐を個別に制御できる利点から、それぞれの錐の回転方向と回転数を変える操作をする。左右回転方向の切削抵抗の合力バランスを変えることで、Y方向の変位量の修正は可能である。そのバランスを変えるポイントは、中央の錐の回転方向と回転数を、Y方向の変位量に応じて変える事である。つまり、変位、振れの状況により、中央の錐の回転方向を任意に変えればよい。しかし、従来の単方向回転ビットでは、逆回転時の削孔効率が低いため、新たに両回転ビットを開発した。実施の結果、従来の単方向回転ビットの正逆回転よりも両回転ビットの正逆回転による削孔は、削孔ユニットのねじれ修正により有効であることを確認した。

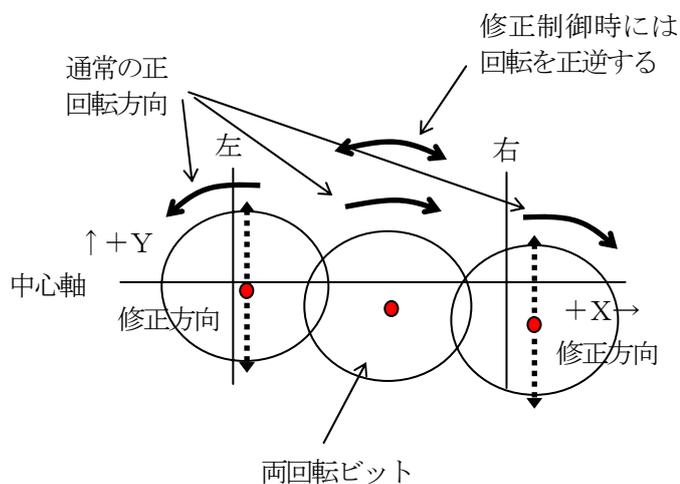


図-5 両回転ビットによる修正制御イメージ

5. 実施工による施工結果

実際の工事において、下記の施工条件で従来型SMW工法とUD-HOMET工法で施工した結果を述べる。

5.1. 施工時間の比較

削孔径 φ900 @600 造成長 40.5m

先行削孔 φ900 L=40.5m（従来型SMWのみ実施）

なお、この施工場所での従来型SMW工法による平均施工時間を100とした場合の比較を表-2に示す。これによると、UD-HOMET工法は、従来型SMW工法に比べて、削孔時間は長いですが、先行削孔が不要なことと削孔精度の向上により応力材建て込み時間が短縮されたために、全施工時間は短縮された。

表-2 施工時間の比較表

	先行削孔	削孔・造成	応力材建込み	合計
SMW	35	42 (DAM 計測)	23 (2本)	100
UD-HOMET	—	55 (連続計測)	15 (2本)	70

5.2. 削孔精度の比較

深度 40m付近における掘削変位の分布図を図-6、7に示す。

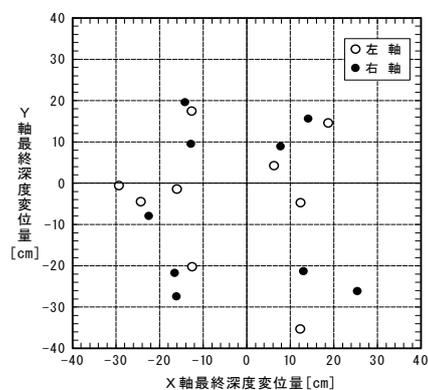


図-6 従来型SMW変位量

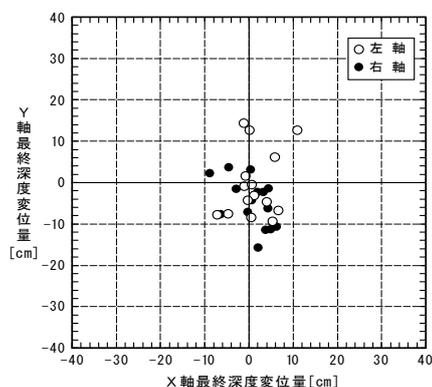


図-7 UD-HOMET変位量

削孔精度について、最大深度での変位量グラフ図-6、7を比較すると、明らかにUD-HOME T工法が、従来型SMW工法より精度がよい。この削孔精度が向上した理由は、削孔部のねじれに対する剛性が増したためと考える。更に、UD-HOME T工法は、駆動部が錐軸先端付近にあり、従来型SMW工法に見られる上からの押さえつけによる、オーガージョイント部の折れ曲がりが少なくなることも削孔精度向上の一因と考える。

当工事では連続計測による変位量を確認しながら、各軸の回転方向・回転数制御と施工機リーダの前後左右の傾斜調整およびターニングにより、変位量の修正を実施した。²⁾

6. クローラクレーン（フライング）による施工

ベースマシンに三点式杭打機を使用する場合、削孔とベースマシンは同一の施工基盤での作業になる。これに対し、本工法は、地上固定部が回転しないため、ベースマシンとしてクローラクレーンが使用でき、異なる施工基盤での作業が可能になった。また、ベースマシンが、削孔位置から離れるので、条件によっては、従来型SMW工法と比較して、狭い作業帯の中での作業も可能である。今回実際に、削孔部が傾斜地においてベースマシンとして、クローラクレーンを使用して施工を行った。この際、オーガの振れ止め用として新たに開発した口元ガイドを、削孔部ガイドウォール上面に設置して施工した。口元ガイドの状況を、写真-6に示す。また、写真-7に施工状況を示す。



写真-6 口元ガイドの設置状況



写真-7 フライング方式の施工状況

7. おわりに

UD-HOME T工法は、2002年8月から開発を開始し、約1年で実施工を行い、大深度の柱列壁を高精度に造成することができた。実際の施工を実施して、当初の開発目的を達成できたことが確認された。さらに、駆動部が地中に入って削孔するために、削孔ユニット周辺が低騒音で環境負荷の低減が可能な工法であることが検証された。今後、多様な施工環境への適用、発展が見込まれる工法と考える。なお、本報文を作成するにあたり、資料の提供をいただいた共同開発先の成幸工業㈱、成和機工㈱をはじめとする関係者の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 藤谷・橋本・林：SMWの新造成システムの削孔精度連続計測システム、土木学会第59回年次学術講演回、6-170、土木学会、平成16年9月
- 2) 秋田・林・伊藤：新連続地中壁造成システムによる土留壁の施工、建設の機械化 '04.3号、(社)日本建設機械化協会、2004年3月