

# 全自動ボーリングマシンの開発

## 一 電子制御ボーリングマシンによる改良地盤の掘削動作について 一

(株)ワイビーエム ○矢羽田 祥貴 奈須 徹夫  
 (株)クリステンセン・マイカイ 宮本 哲臣 松熊 晋也  
 川崎地質(株) 近藤 勉 濱田 泰治

### 1. はじめに

地盤調査業界における、熟練オペレーターの退職と担い手の入職減少によるオペレーター不足<sup>1)</sup>が深刻化する中、その対策として、全自動ボーリングマシンの開発を進めている<sup>2)</sup>。全自動運転に必要な自動化プログラムの作成に際して、試作実験機を使用した削孔試験により、作業フローの確認、プログラムの検証を行った。また、発生トラブルの対処動作についても同様に確認した。本報では、その削孔試験での検証結果について報告する。

### 2. 自動制御について

従来のボーリングマシンでは、レバー操作やコックの開閉など全ての操作をオペレーターの手動操作で行い、油圧や送水量の調整をしながら削孔作業を行ってきた。今回、これらの動作を自動化するために、試作実験機には、機械全ての動作を電子制御できるよう、電磁油圧機器とそれを制御するためのコンピュータ(PLC)を搭載し、また、将来の無人化を見据え、コントローラは無線方式とした。さらに、計測センサーの搭載およびモニター付きコンピューターにより、削孔速度や回転数などの削孔に伴う計測データの取得や監視を可能とした。ボーリングマシンの制御機構について従来マシンとの比較表を表-1に示す。

表-1 ボーリングマシンの制御機構の比較表

	従来のボーリングマシン	電子制御ボーリングマシン
運転	手動	自動・電子制御
操作	レバー・コック操作	無線コントローラ
足回り	接地	キャタピラ
運転状態監視	目視	管理装置
削孔記録	写真・日報	管理装置

マシンセットからの削孔フローを図-1に示す。今回は「③削孔」における通常作業および削孔中のトラブル回避のための動作対応の自動化について実証試験を行った。

全自動による通常削孔時の制御フローを図-2に示す。マシン搭載の管理装置に削孔仕様(削孔速度V、回転数R、送水量Q)を入力しておき、削孔開始状態にセット後、無線コントローラから削孔開始操作を指示すると自動制御が始まる。はじめに、送水により孔内土砂を排出し、回転動作を行った後、削孔仕様(V、R、Q)を満たす一定速度制御により削孔を行う。削孔長が1m(ロッド長)に達するとコア切りのためのロッド上昇、続いて孔内土砂を排出するための送水・回転を行う。これら一連の動作を一括して制御することが可能である。

土砂排出動作終了後、セントラライザとスイベルヘッドの動作により、ロッド切り・ロッド脱着まで自動で行う。図-1に示すその後の工程となる④オーバーショット落下～⑧ロッド追加装着の動作は手動で対応しており、⑧の作業終了後、自動運転による削孔を再開する。

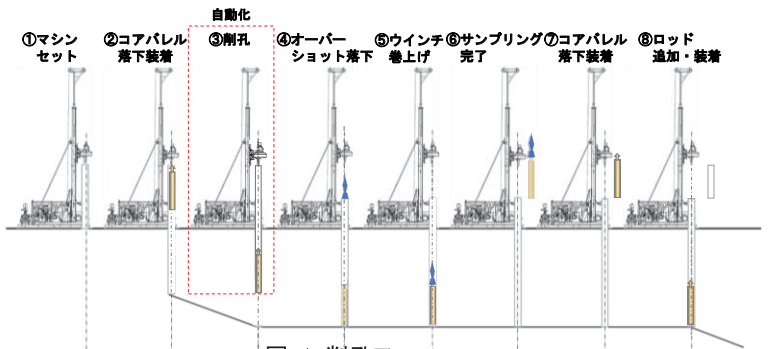


図-1 削孔フロー

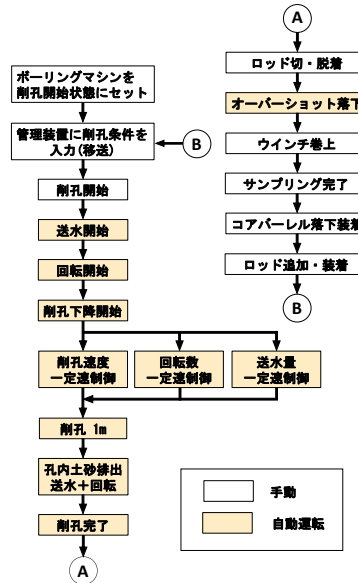


図-2 制御フロー(通常削孔)

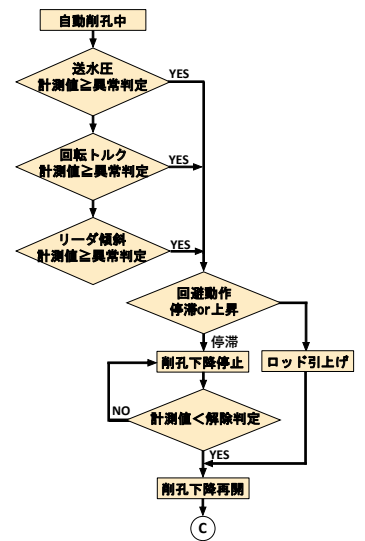


図-3 制御フロー(トラブル時)

削孔中には、回転拘束や掘進不可(機械浮き上がり)、送水圧上昇などのトラブルが想定されるが、これらを回避するための制御フローを図-3に示す。

「回転トルク」「リーダ傾斜角度」「送水圧」の上限値を各々設定し、自動削孔中に上限値を超過した時点で、自動削孔の停止またはロッド引上げによるトラブル回避を制御できるようにした。監視している計測値が上限値から回避動作解除値まで下がると削孔を再開する。

### 3. 削孔試験

試作実験機の削孔試験は佐賀県唐津市原の造成地にあるワイビーエム所有地で実施した。

計測システムを図-4に示す。ボーリングマシンの操作は無線コントローラで行い、ボーリングマシンに搭載された各種センサーをコンピューターに取り込み、管理装置でデータ計測（回転数・回転トルク・削孔速度・給圧力・送水量・送水圧・時間）を行う。計測状況はSIM搭載の遠隔モニターで監視し、自動化プログラムの調整を専用のPCで行った。

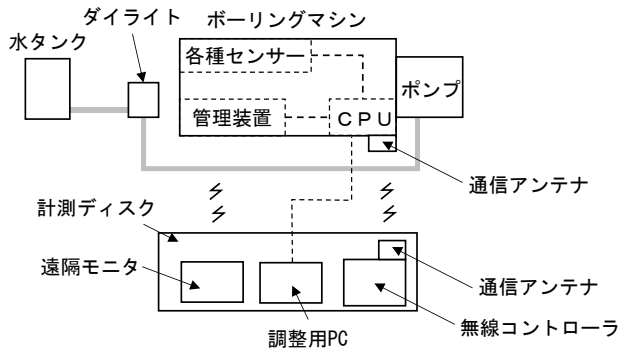


図-4 計測システム

削孔中のトラブルが起きやすい硬質地盤（深層混合処理工改良柱体）に対してメタルビットを使用して削孔試験を行った。ボーリングの3要素（回転・貫入・送水）のいずれかが上限値に達した場合のみをトラブルと判定し、逸水についてはトラブル対処から除外した。

削孔諸元の深度方向の変化を図-5に示す。軟岩相当の強度を有する改良地盤に対して、土砂削孔で得た最適仕様（ $V=15\text{min/m}$ ,  $R=45\text{rpm}$ ,  $Q=200/\text{min}$ ）で、メタルビットを装着し、自動制御による一定速度削孔を行った。コア観察の結果、平均採取率は97%、平均RQD値は84%であった。最適仕様は改良地盤に対しても有効であることが確認できた。

当初、コア切りのためのロッド引上げ動作を5cm、削孔前・削孔後の孔内土砂の排出のための送水動作を $200/\text{min} \times 30\text{秒}$ と設定していたが、削孔開始時の回転トルクと送水圧に上昇が見られる場合があった。土砂の排出不足と見られ、深度・対象土等により、送水動作の時間設定を変えるようプログラム修正する必要がある。

次にトラブル対処への上限値として、回転拘束の判定は発生トルク  $T \geq 300\text{N}\cdot\text{m}$ 、貫入不可（機械浮き上がり）の判定をリーダ傾斜角度  $\phi \geq 0.5^\circ$ 、送水圧上昇の判定を送水圧  $P \geq 0.5\text{MPa}$  とした。異常判定後の回避動作を図-6に示した。GL-15.2m～-15.4mにて、トルク上昇が2回、機械の浮き上がりが2回発生した。この間の異常判定から異常解除判定までに、合計8分程度の時間を費やした。今後、削孔時間を予測する場合、土質や地盤強度等により、作業効率を設定するなどの対応が必要である。

当該削孔試験で採取したコアの一軸圧縮試験結果から、当該仕様では  $q_u \leq 5,000\text{kN/m}^2$  までは、削孔可能であることが判明した。地盤強度が高くなる場合、ダイヤモンドビットへの変更も必要と考える。

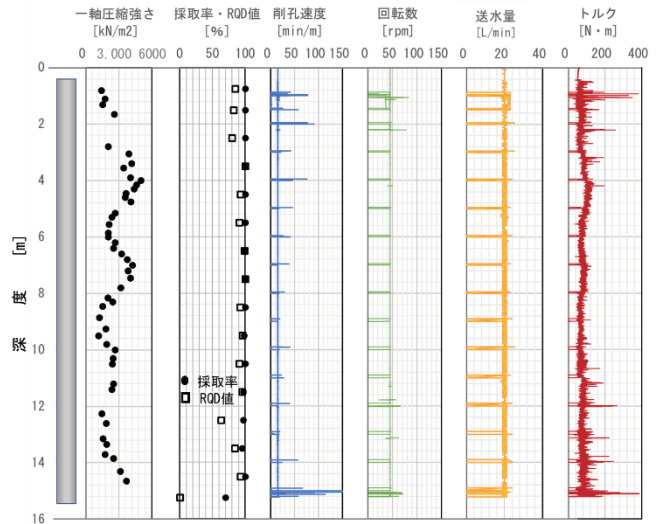


図-5 削孔諸元の深度方向の変化

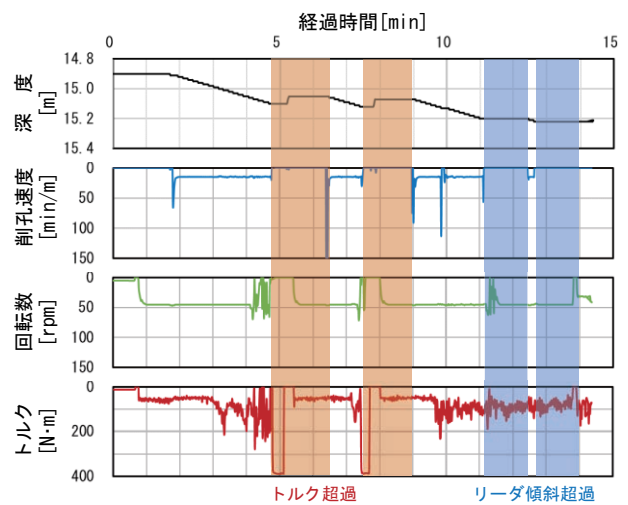


図-6 異常判定後の回避動作（15m～15.2m）

#### 4. まとめ

試作実験機で削孔試験を実施した結果、土砂地盤の最適仕様（メタルビット、削孔速度  $V=15\text{min/m}$ 、回転数  $R=45\text{rpm}$ 、送水量  $200/\text{min}$ ）の場合、改良強度  $q_u \leq 5,000\text{kN/m}^2$  の範囲で削孔できた。削孔時の制御としてコア切り動作、土砂排出のための送水動作が必要であることが確認できた。また削孔負荷に対して、トルク、リーダ角度、送水圧を監視し、設定した上限値を超えた場合に停滞、ロッド上昇動作が有効であることが分かった。

オーバーショットの挿入やロッド追加等も含めた全自動化に向けて、今後も引き続き開発を進めていく所存であり、特に削孔負荷が高い時の適切な対処、泥水や逸水管理等の自動化については地質調査専門家の知見収集と応用が必要と考える。

《引用・参考文献》

- 1) 岩崎公俊：技術伝承に関わる全地連の取り組み，地盤工学会誌,65-3,2017.5
- 2) 奈須徹夫・他：全自動ボーリングマシンの開発 ―ワイヤーラインを用いた軟弱地盤の削孔について― その2ー，全地連「技術フォーラム2021」大阪，2021.9