

半自動ボーリングマシンの開発

応用計測サービス株式会社 比留間 誠之, 和田 昌樹, 〇目黒 敬記

1. はじめに

本装置は、従来型ボーリングマシンに各種センサーと油圧コントロール装置を追加することによって、ボーリング技術者が手動操作していたスピンドル部の油圧操作を自動制御し、外部入力信号によっても操作できる装置である。掘進速度、先端荷重、ロッド回転数、送水量、送水圧、現在の深度の6項目を遠隔でモニタリングすることができ、現場状況を把握できる装置となっている。

2. 開発の背景

従来型ボーリングマシンでは、ボーリング技術者の長年の経験からスピンドル部の油圧コントロール、掘削水の量と圧力掘進速度などを決定していた。ボーリング技術者によって品質の差が発生し調査精度にも影響が及んでいるとともに、品質の良い掘進技術の伝承も進んでいない状況である。また、現状の現場管理は、現地にて状況確認するかボーリング技術者に確認するしかなかった。今回、これらを解決するために掘進技術の数値化とスピンドル部の油圧コントロールを自動化し、さらに、現場状況を遠隔地でリアルタイムに把握し、把握した状況から油圧コントロールを制御することを目指した。

3. 開発の目標設定

開発にあたり、以下の目標を設定した。

- ① 従来型のボーリングマシンに取付けられる装置。
- ② ボーリング技術者が容易に操作できるシステム。
- ③ 掘進状況が現地で確認、記録できること。
- ④ 記録されたデータが遠隔地で確認できること。
- ⑤ 遠隔地から油圧コントロールできること。
- ⑥ 手動操作に切替が可能であること。
- ⑦ 将来的には地点、深度から閾値を演算させること。
- ⑧ これからのボーリング技術者支援ツールとなること。

4. 装置概要



写真-1 半自動ボーリングマシン

本装置は、従来型のボーリングマシンに回転センサー、磁歪センサー、スピンドル上部下部油圧センサー、送水流量計、送水圧力計を加工して取付ける。写真-1は、東邦地下工機社製 D0型に取付けたものである。



写真-2 回転センサーと磁歪センサー

写真-2は、油圧チャック部に回転センサー、油圧シリンダー部に磁歪センサーを設置した状態であり、これによりロッド回転数とスピンドルの移動量を計測する。

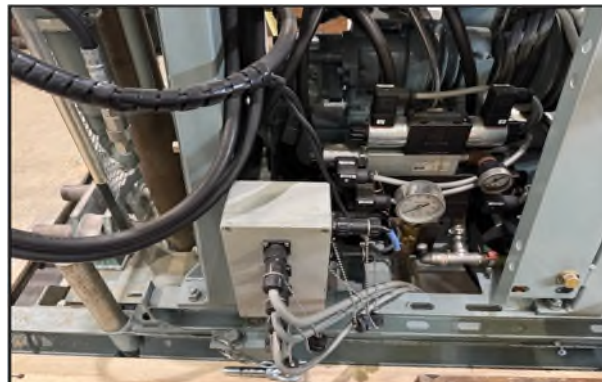


写真-3 油圧計および油圧コントローラ

送水ポンプ搭載位置には、油圧コントローラおよび油圧計を設置している（写真-3参照）。油圧源はボーリングマシンの油圧系統から分岐してコントローラに油圧供給を行う。



写真-4 送水流量計、送水圧力計

写真-4は、電磁流量計と圧力計の設置状況であり、これらは、デリバリーホースに接続している。



写真-5 制御装置

写真-5は、制御装置である。制御装置部は各センサーからの情報を集約し、先端荷重と掘進速度を演算してスピンドル部の油圧を制御する。掘削条件は先端荷重一定、掘削速度一定のモードが選択可能でそれぞれの閾値を超過しないように油圧をコントロールする。現状では閾値をボーリング技術者が入力し、状況によりこれらの入力値の増減を行う。今後の開発として、GPS データと過去の記録から閾値のフィードバックを行う。



写真-6 遠隔操作画面

写真-6は、遠隔操作表示画面である。インターネット経由で行う。通常は携帯回線を使用する。山岳地など電波の届かない地点などでは、スターリンク等衛星回線の使用も可能である。この画面に制御方法、各閾値、各測定値、深度情報、ツールの状況が表示され、泥水量、泥水圧、先端荷重、掘削速度が経過時間によってグラフ化される。遠隔操作画面からマシンの油圧部分が操作可能である。掘進開始、掘進停止、掘削速度、先端荷重の変更も可能である。現在の主流であるディーゼルエンジンの回転数は、外部からの電気信号でコントロールすることができない。同様に、送水ポンプもエンジン仕様では遠隔操作することができない。

5. 記録結果

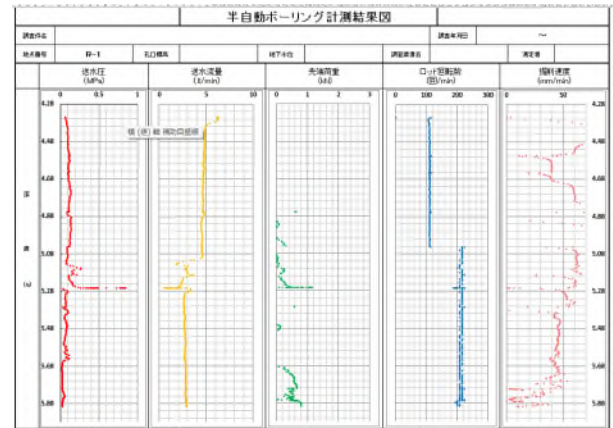


図-1 データ整理シート

図-1は、データ整理シートである。左から送水圧、送水流量、先端荷重、ロッド回転数、掘削速度であり、深度ごとの状況が把握できる。今後は、このデータのほかに使用機材、材料、コアの状況等を合わせて記録することや、これらの情報を蓄積して閾値の自動化を目指したい。

6. 最後に

本装置は、従来型のボーリングマシンで作業を行うものであり、ロッドの昇降、接続、貫入試験は従来工法通りである。半自動装置自体はボーリングマシンに組み込み済みとなっており、簡単に分解してモノレール運搬することが可能である。センサーのケーブル等の処理はしているが破損の可能性は残されているため、今後はケーブルレス化を検討したい。テストでは東邦地下工機社製 D0 型 D2型にて実証済であるが他社製のボーリングマシンでも取付けが可能である。ボーリングマシンと送水ポンプを電動化できれば理論的には遠隔コントロールは可能となるが、調査現場で200v の電源の供給方法が問題として残る。

半自動ボーリングマシンを通じてボーリング技術の伝承と若いボーリング技術者の育成に寄与できること願っている。

《引用・参考文献》

- 1) 谷川正志:「ボーリング機械の計測物理値による掘進技術の自動制御について」全地連技術フォーラム 2016論文集 No. 7 2016. 9
- 2) 谷川正志:「コアボーリング技術の見える化によるサンプリング技術の向上」全地連技術フォーラム2015 論文集 No. 114

全自動ボーリングマシンの開発ー粘性土を含む地盤での調査試験ー

(株)ワイビーエム

○奈須徹夫 山田信仁

川崎地質(株)

星野一永 鵜飼康彦

(株)クリステンセン・マイカイ

宮本哲臣 三枝佳美

1. はじめに

地質調査業界では、熟練オペレータの退職増加と新規入職者の減少が進んでおり、ボーリング技術伝承の問題と将来のオペレータ不足が危惧されている¹⁾。これらの問題解決のため、地質調査にワイヤーライン方式を導入し、自動化や省人化、数値化、データ化を取り込んだ次世代ボーリングマシンの開発を行ってきた。

開発に際しては、最適な削孔仕様の設定や削孔手順などを求めてきたが、これらは、ゆるい砂質土層において実施した試験結果に基づくものであった²⁾。今回は、粘性土を含む地盤においてコア採取および標準貫入試験を実施したので、以下にその結果を報告する。

2. 調査場所

調査は佐賀県唐津市南部の工業団地内で実施した。当該地は炭鉱跡地を1970年代に造成したものである。図-1に当該地の治水地形分類図³⁾と調査位置を示す。

今回は粘性土層での調査を目的としており、治水地形分類図にみられる埋土・盛土部分を試験箇所を選定した。また、事前に動的コーン貫入試験を行い、軟弱粘性土層が連続していることを確認した。図-2に事前調査結果を示す。

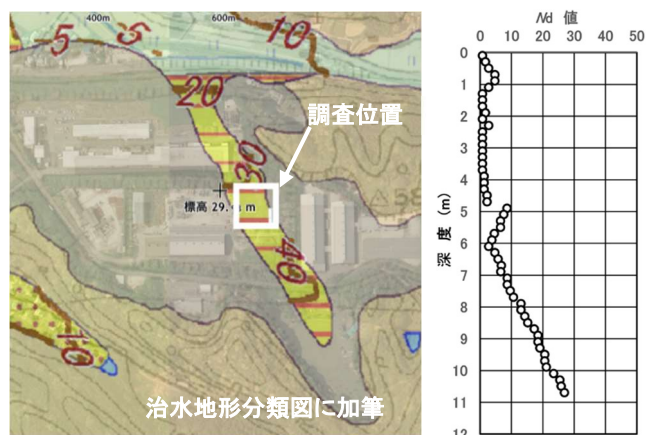


図-1 治水地形分類図と調査位置 図-2 事前調査結果

3. 調査方法

調査孔の配置と数量を図-3に示す。事前に行った動的コーン貫入試験孔に近接して、2孔を配置している。本件はボーリングマシンの自動化に関する研究であり、昨今の研究では、ボーリング調査の新たな展開として、地質確認ボーリングと物性評価ボーリングを別孔で行う方式が提案されている⁴⁾ことから、No.1をオールコアサンプリング、No.2を標準貫入試験（ノンコア・半ペネ）とした。

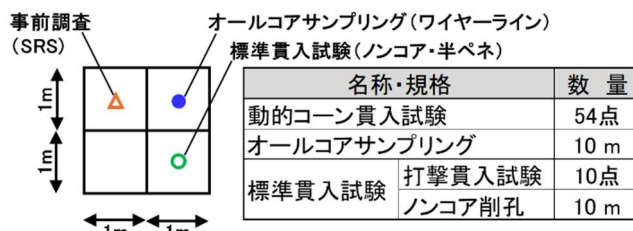


図-3 調査孔の配置と数量

使用したボーリングマシンを図-4に示す。ワイヤーライン方式によるオールコアサンプリングでは、インナーチューブをロッド先端に自由落下装着し、ロッドの回転貫入によりコアを採取する。削孔仕様は、これまでの確認試験から得られた削孔速度15min/m、回転数45rpm、送水量20L/minと設定した²⁾。

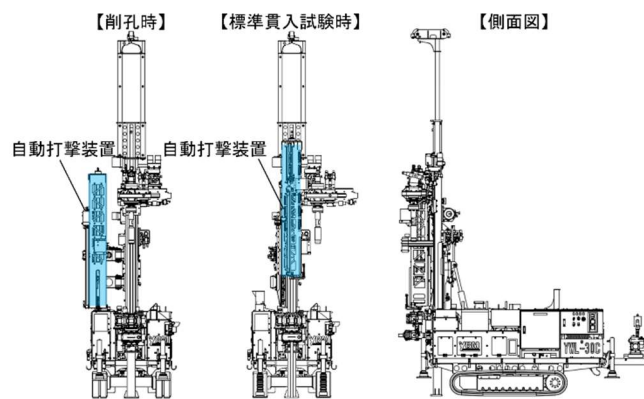


図-4 ボーリングマシン

標準貫入試験時には、内径78.0mmのワイヤーラインロッド内にSPTサンプラーを取り付けた外径φ40.5mmのロッドを挿入した後、ボーリングマシンのリーダーに装着された自動打撃装置をロッドセンターに巡回移動し、JIS A 1219:2023に準じて自動打撃計測を行った。次の試験深度までの削孔は、ロッド内にノンコア削孔ツールを自由落下装着して回転貫入削孔した⁵⁾。

4. サンプリング試験結果

図-5に削孔諸元の深度方向の変化を写真-1に採取コアを示した。GL-1.50m, 2.20m, 3.45m, 4.60m, 6.15m, 7.45mにてコア詰まりが発生したため、それ以下の粘土を採取できずにシユを地盤に押し込んだことにより、採取率は全長平均58.5%となった。ただし、採取できたコアは軟弱であるが乱れも少なく、顆粒状の石炭クズや小礫を含む細粒土であることが確認できた。これまでの砂質土層で行った削孔試験から得られた削孔仕様は粘

性土地盤にも適用可能であると考えられる。コア観察結果から、全層にわたり同様な層が連続しているものと推測され、土質名は粒度試験結果より砂混じり礫質粘土と判定された。参考に行った物理試験結果を表-1に示す。

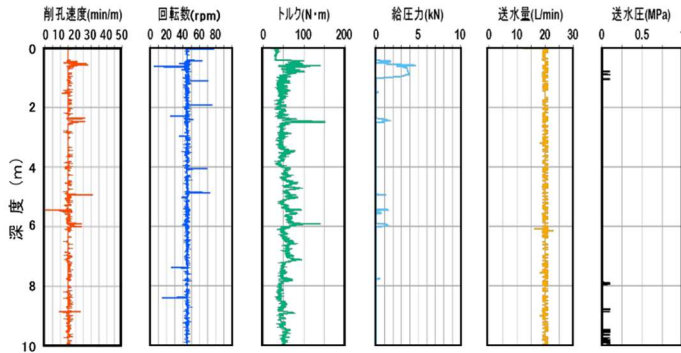


図-5 削孔諸元の深度方向の変化

深 度(m)	コ ア	採取率(%)
0 ~ 1		100
1 ~ 2		50
2 ~ 3		20
3 ~ 4		45
4 ~ 5		60
5 ~ 6		90
6 ~ 7		15
7 ~ 8		45
8 ~ 9		85
9 ~ 10		75
全長平均		58.5

写真-1 採取コア

表-1 物理試験結果

項 目	試験値	項 目	試験値
礫 分 %	19.3	自然含水比 ω %	22.3
砂 分 %	8.0	液性限界 ω_L %	36.4
シルト分 %	38.0	塑性限界 ω_p %	19.1
粘 土 分 %	34.7	塑性指数 I_p %	17.3

削孔データからは、コア詰まりが発生した深度近辺で削孔速度、回転数、トルク、給圧力に数値の変化が見られる。これらの削孔データから、削孔時のコア詰まりを感知できれば、採取率を高める対策を行うことが可能である。今後、種々の地盤で調査を行い、コア詰まりのケースを収集して、解析を進める必要がある。

5. 標準貫入試験結果

図-6に予備打ち時のロッド貫入量を示す。ワイヤーライン工法では切削土はロッドと孔壁の間を通り地表に排出され、ロッド内には切削スライムは介在しにくく、削孔下端面は清浄となる。その下端面から行った予備打ちでは、ロッド自沈は平均21.9mm、ハンマー自沈は平均66.6mmであった。また、軽打撃時のハンマー引上げ高さの設定プログラムを修正したことで、軽打撃貫入を伴った予備打ち長は平均161.6mmと目標の150mmに近い数値を得ることができ、予備打ち長の精度が向上した。

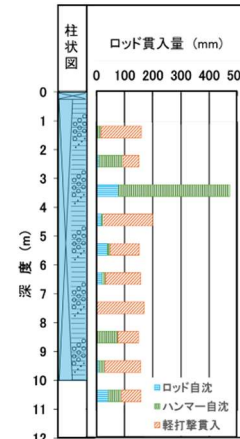


図-6 ロッド貫入量

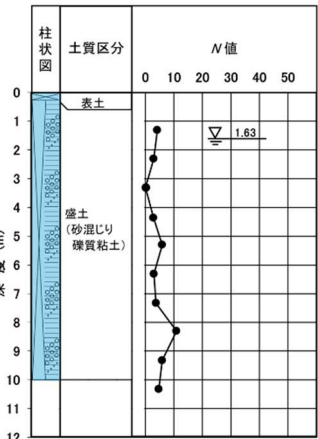


図-7 標準貫入試験結果

図-7に標準貫入試験結果を示した。当該地盤は $N=0 \sim 10.9$ 、平均 $N=4.4$ と強度にばらつきがある軟らかい粘性土であり、図-2に示す N_d 値のようなGL-6m以深から深度に沿った N 値の増大はなかった。先端にSPTサンプラーを装着したロッドをワイヤーラインロッド内に挿入することで、周辺地盤との摩擦の影響を受けないことによるものと考えられる。コアの肉眼観察結果を含め、当該地盤は転圧が不十分な埋土であると推定された。

6. まとめ

粘性土からなる軟弱な地盤に対して、1調査2孔方式でコアサンプリングと標準貫入試験を実施した。ゆるい砂質土地盤で得た削孔仕様で粘性土に対してもサンプリングが可能であることが確認できた。軟らかい粘性土地盤中で硬質な粘土や礫などがシュー先端を閉塞した場合の検知方法の検討が課題として残された。自動打撃装置を用いた標準貫入試験については粘性土地盤でも適用でき、予備打ち長の精度向上も図ることができた。

土木建設業界ではICT施工が多くの場面で適用されるようになっており、ボーリングにおいても自動化を進めていくことが必要である。

《引用・参考文献》

- 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. 3
- 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―，全地連「技術フォーラム2020」Web，2020. 11
- 杉本智彦：治水地形分類図，スーパー地形（最終閲覧日2025年4月30日）
- 全地連 現場環境改善委員会 標準貫入試験の在り方WG：標準貫入試験の在り方WG WG活動取り纏め，p. 68，2023. 8.
- 宮本哲臣：全自動ボーリングマシンの開発 ―ワイヤーライン用ノンコア削孔ツールの開発について―，全地連「技術フォーラム2022」（那覇），2022. 11

斜面点検におけるウェアラブルデバイスの活用事例

(株)ドーコン ○丸山 哲弥, 中山 貴仁

1. はじめに

遠隔臨場システムは建設工事の現場に広く普及しており、地質調査業務においても、ボーリングの検尺に活用されている。また、近年では作業の安全性の観点からハンズフリー（両手を自由にした状態）での遠隔臨場が望まれ、地質調査業務の特記仕様書にてハンズフリー型のシステムを指定されるケースもみられる。本発表ではハンズフリーとなるウェアラブルデバイスによる遠隔臨場システムの利点に着目し、道路点検業務における傾斜地の現地調査にて試行したウェアラブルデバイスの活用方法を、具体的な事例や従来の点検手法との比較結果とともに報告する。



写真-1 ウェアラブルデバイスを用いた
ボーリング現場でのオンライン検尺状況・会議画面

2. 使用したウェアラブルデバイスについて

本発表では、ヘルメットに装着する「スマートグラス」を使用した事例を紹介する。デバイスは、RealWear 社製「Navigator 500」を使用した。本デバイスは写真や動画の撮影・共有のほか、保存したファイルの閲覧や、ビデオ会議等の活用ができ、その全ての操作を音声（使用者の声）で行うことができるため、使用者は完全にハンズフリー状態となる。本機は4800万画素のカメラやサーモカメラ、64GB の内蔵ストレージと最大512GB 対応のMicroSD カードスロットを備えており、写真や動画のほかPDF ファイル等の資料を保存できることに加え、これらを確認するモニターとしても使用可能である。モニターの画面は屋外視認性で、解像度は854×480（概ね2010年頃のスマートフォンと同程度）と、資料を確認するには十分な性能を有する¹⁾。ページ移動と拡大機能は音声操作で、ページ内の画面移動は首を上下左右に振ることで、容易に資料の閲覧箇所の移動と確認が可能である。通話機能としては、ノイズキャンセリング機能を備えたデジタルマイクと91dbA ラウドスピーカーを備え、Wi-Fi を用いてインターネットに接続することでビデオ会議（遠

隔臨場）が可能である。



写真-2 スマートグラスと
モニター画面をカメラで撮影したもの

3 斜面点検における活用事例と効果

(1) 傾斜地における点検

傾斜地における点検調査では、足元が不安定となる場合やロープを使用する場合が多く、安全を確保するため作業者の手元は可能な限り自由にするのが求められる。写真-3は従来の手法による点検作業例である。調査やカメラの出し入れや撮影・記録に両手を使わざるを得ず、傾斜地では作業性が悪化するだけでなくバランスを崩した際などに安定した姿勢をとりにくくなる場合がある。このような現場において、防災カルテ等における着目箇所の点検にスマートグラスを用いた（写真-4）。



写真-3従来の斜面点検状況



写真-4 スマートグラスによる斜面点検状況

写真-5は、スマートグラスに映し出した点検調書である。事前に読み込ませた調書と比較しながら前回点検時からの変化の有無をモニターで確認することで、紙の調書を携帯することなく点検を行うことができた。また、着目箇所の定点写真もスマートグラスのカメラを用いて撮影（写真-6）することで、確認・記録作業の一式をハンズフリーで行うことができ、斜面上での作業の安全性が向上した。

現道など平坦な箇所で行う点検においても、同様にウェアラブルデバイスを適用することは可能であるが、足元の安全性が十分に確保されている条件下では、本手法のメリットは相対的には薄く、従来の紙調書と手持ちのデジタルカメラを用いて点検を行うほうがメモの取りやすさや写真の画角調整のしやすさの観点から作業性がよい。現地状況に応じて適切な手法を選択することが重要である。



写真-5 点検調書を映したモニター
（画面をカメラで撮影）



写真-6 スマートグラスで撮影した写真

(2) 遠隔臨場

点検時に変状等が確認された場合は、遠隔臨場システムが有効である。具体的には、発注者への迅速な状況報告のほか、対応の必要性や緊急性の判断に迷う場合に社内の熟練技術者や対策工設計技術者と情報共有を行える。遠隔臨場はハンズフリーで行えることから、事務所からの指示箇所に対してロープ等を用いた近接撮影が行いやすく、緊急性の判断や対策の検討を的確かつ迅速に行うことができる（写真-7）。これらにより、異常発生時の円滑な対応への寄与が期待できる。



写真-7 遠隔臨場による事務所との情報共有状況

(3) 点検補助での活用

一般的な点検作業は、主点検者と補助者の2人1組で行う。従来の方法では、補助者の手はスタッフ等でふさがっているため、調書上での着目箇所（撮影箇所）は主点検者のみが確認し指示する形となり非効率であった。これに対し、補助者がスマートグラスを装着することによって、調書を確認しながら主点検者と共に点検作業を行うことが可能となった（写真-8）。これにより、点検箇所を2人の目で確認することができ、変状箇所の見落としのリスクを低減できる。また、着目箇所の写真撮影の際もスタッフをスムーズに定位置で用意することができ、



写真-8 点検補助での使用状況

4. まとめ

スマートグラスの導入により、現場作業をハンズフリー化することが可能である。この利点を生かし、ボーリング現場のオンライン検尺以外にも、十分な安全確保が求められる傾斜地の点検に活用できた。また、現場で変状等があった場合、熟練技術者や設計技術者との速やかな情報共有にも役立つツールである。加えて、道路防災点検の点検補助員が使用することによって、点検補助員も現場の調書を確認しながら点検作業を行えるため、作業の効率化と正確性の向上に役立つ。今後も現場作業で積極的にスマートグラスを使用しながら、新たな活用方法を探していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) RealWear 社ウェブサイト（最終閲覧日2024年6月10日）. <https://www.realwear.com/jp/>.