

ボーリング掘進条件数値化による掘進技能向上の試み

榎相愛 ○須佐美 俊和, 西村 博幸, 坂本 正幸, 谷崎 優也

1. 背景と目的

若手フォアマンがボーリング掘進技能を向上させる上での課題の一つは、掘進技能が熟練フォアマンの勘・コツ・経験に強く依存していることである。熟練フォアマンは、掘進条件の微細な変化から地質状況や孔内状況の変化を推定し、掘進条件を感覚的に修正することで、高品質なコアを採取している。これら掘進技能は、暗黙知としてフォアマンの中に留められている。

若手フォアマンが、熟練フォアマンが有する暗黙知から学び、掘進技能を向上させるためには、掘進中の各掘進条件を数値化し、熟練フォアマンと数値に基づく対話を繰り返すことや、数値に基づく判断と機械操作を繰り返し、感覚を養うことが有用であると考えた。

掘進条件を数値化する試みは、いくつかなされている¹⁾²⁾が、現場での適用の容易さを特に重視し、小型/省配線/比較的安価なシステム開発を試みた。本稿では、開発した掘進条件数値化システム（以下、システム）について、詳細を述べる。

2. システム詳細

(1) システム構成

図-1に、システム構成を示す。本システムは、各種センサ、制御ユニット、電源ユニット、操作ユニットから構成される。

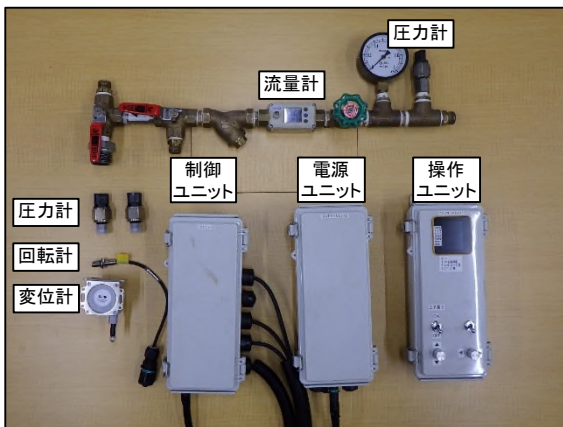


図-1 システム構成

(2) センサ

表-1に、選定したセンサの仕様一覧を示す。流量計に関しては、水の中に砂が混入することを想定し、異物混入に強い電磁式流量計を選定した。ビット先端荷重は、油圧シリンダ圧力を計測し、ピストン部面積を掛けることで算出した。掘進速度は、ピストンロッド部に変位計を設置し算出した。回転数は、ロッドチャック部付近に設置した回転計で、ロッド1周ごとのパルス波を取得し算出した。

表-1 センサ仕様一覧

掘進条件	センサ種類	計測レンジ
送水量	電磁式流量計	0.5-20L/min
送水圧	圧力計	0-1MPa
ビット先端荷重	圧力計	0-10MPa
回転数	回転計	パルス波
掘進速度	変位計	0-635mm

(3) 制御ユニット

各種センサで取得した、時刻/送水量/送水圧/油圧(給圧)/回転数/変位を入力とし、汎用的なマイコンで各掘進条件を算出後、フォアマンの手元に設置される操作ユニットに無線で送信する仕様とした。また、得られた掘進条件を、1秒ごとに csv 形式で microSD カードに保存し、掘進条件の振り返りを可能とした。

(4) 電源ユニット

小型かつ安価なシステムを目指し、汎用的なモバイルバッテリーを採用した。選定したセンサの入力電圧は12-24V であるため、昇圧モジュールを用い、24V まで昇圧させた。また、マイコンの入力電圧は5V であり、モバイルバッテリーから直接5V を得た。本電源ユニットを制御ユニットに有線で接続し、電源を供給した。

(5) 操作ユニット

図-2に、操作ユニットのディスプレイを示す。制御ユニットから無線で送信された各掘進条件を、操作ユニットのマイコン部で受信し、ディスプレイに表示させることで、数値に基づく掘進を可能とした。計測した各掘進条件が、設定したしきい値を超えた場合、赤背景(警告)または黄背景(注意)で表示し、フォアマンの機械操作を促す仕様とした。無線技術の採用に加え、操作ユニット内に配置したモバイルバッテリーで駆動させることで、省配線なシステムを実現した。



図-2 操作ユニットのディスプレイ

3. 現場実証結果

(1) 現場設置状況

本システムを現場適用し、掘進を実施した。図-3に現場設置状況を示す。送水用の流量計と圧力計は、流量調整弁付近に設置した。その他のセンサは、ボーリングマシン背面に設置し、フォアマンの動作の妨げにならぬよう配慮した。制御ユニットで得られた各掘進条件を、フォアマンの手元に配置した操作ユニット（図-4）に無線で送信し、ディスプレイに表示させた。

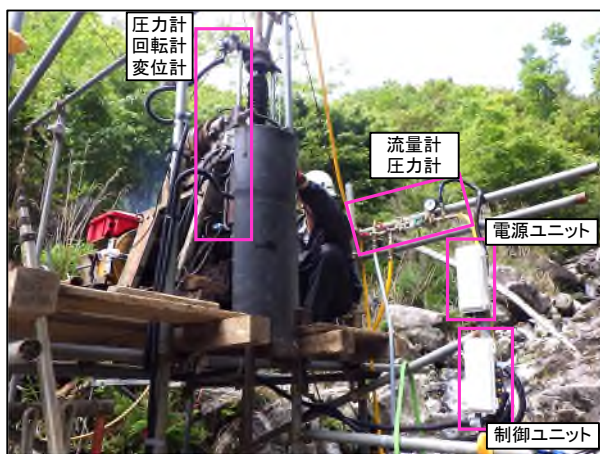


図-3 システムの現場設置状況



図-4 操作ユニットの現場設置状況

(2) 掘進結果

調査概要は、Φ66mm、オールコア、鉛直下向き、掘進深度 L=5m であり、経験年数2年目のフォアマンが掘進した。得られた掘進結果のうち、掘進深度 GL-2.0-3.0m の結果を図-5に示す。縦軸は深度、横軸は先端荷重、回転数、掘進速度である。紙面の都合上、送水量と送水圧のグラフは省略した。単棒状主体の中で、GL-2.2m 付近に着目すると、薄い礫状を挟んでおり、掘進速度が一気に上昇していることがわかる。フォアマンはこの変化に数値および指の感覚で気づき、給圧を下げ、次に回転数を下げる機械操作を行った。GL-2.45m までは部分的な薄い礫状や半壊状コアが続くが、掘進速度等を数値で捉えながら、給圧や回転数を調整し掘り進めることができた。

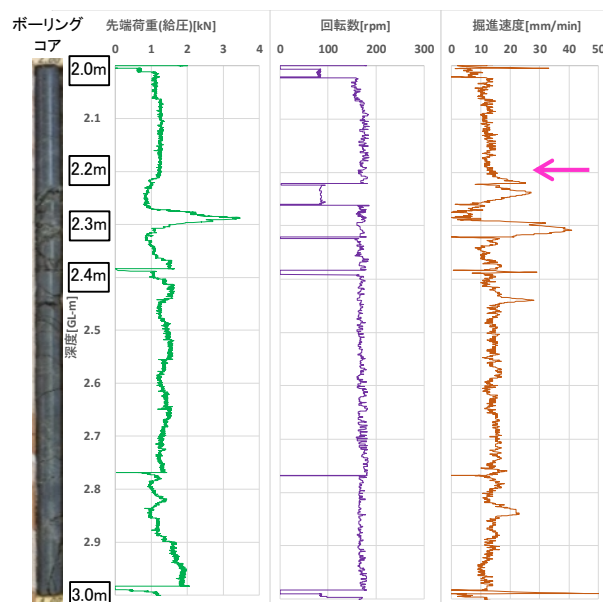


図-5 掘進結果

(3) 若手フォアマンの感想

本システムを利用した若手フォアマンから、以下の感想を得られた。

- ・これまで、各掘進条件が適正かどうか判断できなかったが、数値で把握しながら掘進することができ、感覚が養われ、不安感が低減した
- ・送水量を調整することで、高品質なコアを採取できた
- ・地質状況の変化に即座に気づくことで、トラブルを未然回避できた
- ・熟練フォアマンと数値に基づいた対話ができるようになり、的確なアドバイスを頂けるようになった
- ・数値とコア状態を見ながら、掘進条件を毎回調整できるようになり、持続的な技能向上につながっている

4. まとめと今後の課題

汎用マイコンモジュール、無線技術、汎用モバイルバッテリーを採用し、小型/省配線/比較的安価な数値化システムを構築した。本システムを現場適用した結果、熟練フォアマンとの数値に基づく対話が促進され、掘進条件の振り返りと改善が可能となり、技能向上が図られた。

引き続き、熟練フォアマンと協力しながら、掘進条件変化時の孔内状況と機械操作方法の言語化や、適正な掘進条件を促すマシンガイダンス機能の実装などに取り組み、若手フォアマンの掘進技能向上に寄与したい。

《引用・参考文献》

- 1) 谷川正志, 山根誠, 仙石昭栄, 山田政典(2016): 高品質コア・サンプリングシステム (OYO HQCS-MS: ハークス) の開発ーボーリング掘進状況の数値化と高品質コアによる地質情報の高精度化ー, 応用地質技術年報 No.35 pp.17~25.
- 2) 矢羽田祥貴ほか(2021): 全自動ボーリングマシンの開発ー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ー, 全地連「技術フォーラム2021」大阪.