

30. ボーリング工事における、掘削モニタリングシステムの利用と モニタリングデータの活用

(株)大林組

○鵜山 雅夫
長井 千明
渡辺 和哉

1. はじめに

調査ボーリングを行う目的は、地下のさまざまな情報を得ることであり、ボーリング調査において地下の情報を最初に得るのが掘削である。今回は、その掘削情報を定量的に得ることを目的として、掘削モニタリングシステムを構築し、原位置での計測を行った。

掘削モニタリングデータの利用としては、以下の通り。

- ①既存のオペレータの感覚に頼っていた部分を、数値化しグラフ化にすることによる掘削の品質管理
オペレータによる施工差を解消。
掘削作業の定量化⇒安全かつ高効率の施工。
モニターによる可視化⇒作業イメージの向上
- ②管理基準を設けて警告システムを備える異常時の早期発見
- ③今後の孔内試験計画の立案の資参考資としての利用

さらに、リアルタイムデータや今までの履歴データ（グラフ化した画像）を、PCや携帯端末を利用して遠隔地で監視可能にする情報の共有化も進めた。

今回は、調査ボーリング掘削にて、運用中の掘削モニタリングシステム活用事例と、その利用方法について紹介する。

2. モニタリング項目の選定

本調査ボーリングにて運用する掘削モニタリングシステムでは、掘削条件となる①ビット回転数、②ビット荷重、③送水流量、掘削状況を示す、④送水圧力、⑤掘削深度、⑥掘削速度を逐次計測する。また、泥水管理のために⑦給水・排水タンク等の泥水量、⑧循環泥水のpHおよび電気伝導度、⑨比重を対象項目とした。モニタリング項目は、本システムの適用目的や範囲を勘案し、現場単位で設定、設計することが可能である。

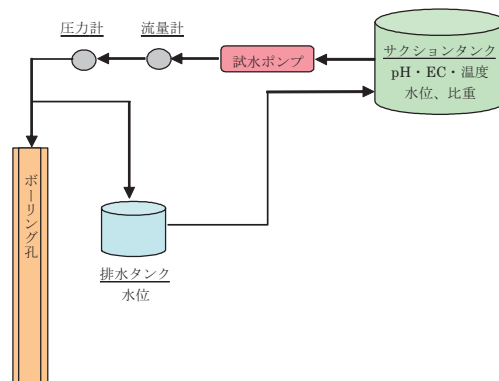


図-1 基本モニタリング項目

3. 測定方法

モニタリング項目とその精度を勘案して各センサを設置する。これらのセンサから計測データを取得し、工事事務所にある制御パソコンで集約する。そして、制御パソコンでは、計測生データを逐次評価、グラフ化して画面表示する。ボーリングオペレータは、試錐機の脇に設置したタッチパネル式のモニター画面にて共通の情報を確認するとともに、掘削編成などの掘削記録を入力する。図-2 に掘削モニタリングシステムのモニター画面を示す。



図-2 掘削モニタリングシステムモニター画面

4. 測定結果・考察

4.1 泥水量のモニタリングデータの活用

掘削中の逸水・湧水量管理は、ボーリング掘削、泥水管理に重要となるだけでなく、水みちとなる地層との遭遇を示唆することもあり、孔内試験（透水試験や地下水採水）の計画立案にも有用な情報となる。今までは、逸水・湧水の確認は、孔口・各タンクでの目視観測で確認であったため、僅かな量の変化を捉えることが出来なかったが、この掘削モニタリングシステムを導入することにより、各データをオペレータの手元で確認でき、初期段階での孔内抑留事故防止や掘削作業の停止ができる。また、他の検層（電磁フローメータ等）結果との比較も出来る。

図-3 のグラフは、ある現場の掘削深度と逸水量（各掘進長での平均値）の関係を示す。ここでの逸水・湧水量の管理は、配管詰まりを考慮し、流入出の配管流量はなく、サクシオンタンク・中継タンク・廃泥タンクの3つのタンクの総泥水量を測定することで管理した。この図より56.3m付近の掘削中に逸水が発生し、56.3mから掘削を中断する100mまでの間については、掘削水が逸水することによるタンク水量の減少が顕著となり、頻繁に掘削水を追加している様子が読み取れた。また、温度・pH・電気伝導度との比較では、55m付近掘削中の合計タンク水量は概ね10.5m³に保たれているが、57m付近に変化が見られ、逸水箇所の特定ができた。なお、温度、PHでは排水側の計測であったが、電気伝導度に関しては、給水側のデータのため57m以深も給水の度に数値が変化している。

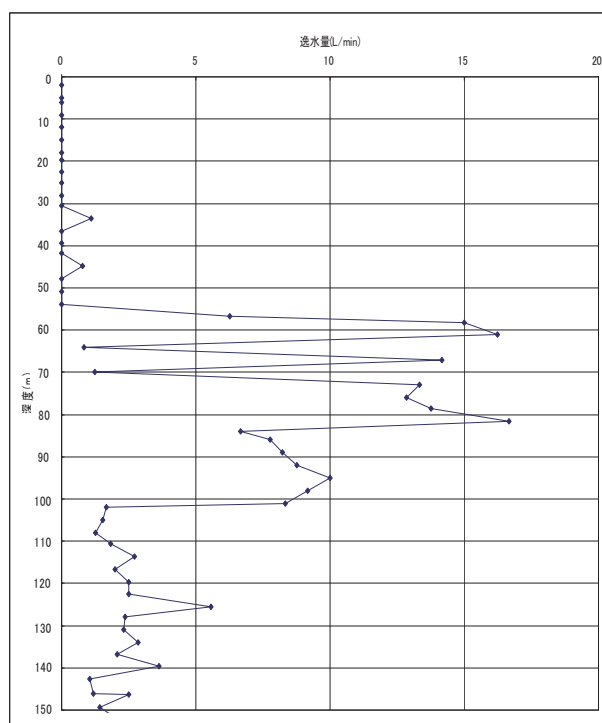


図-3 掘削深度と逸水量の関係

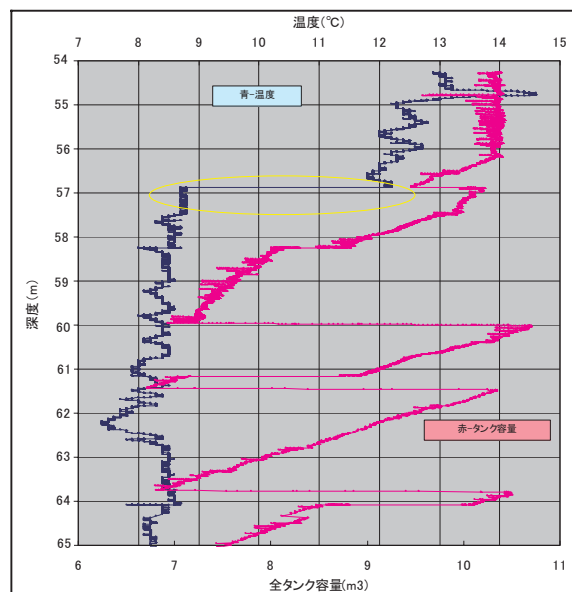


図-4 掘削深度と温度の関係

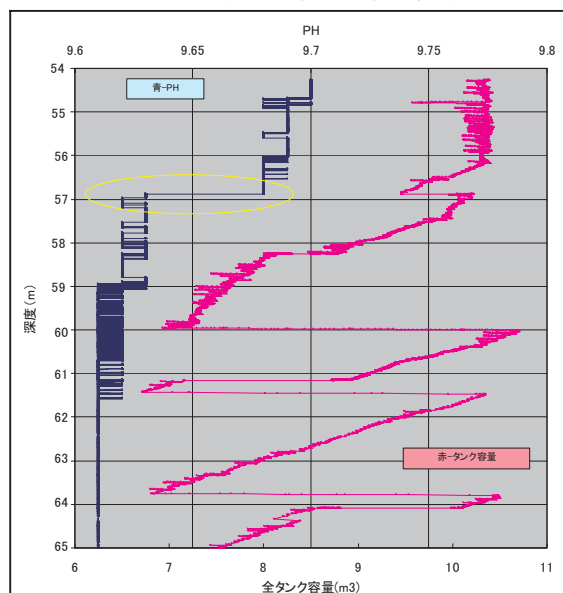


図-5 掘削深度とPHの関係

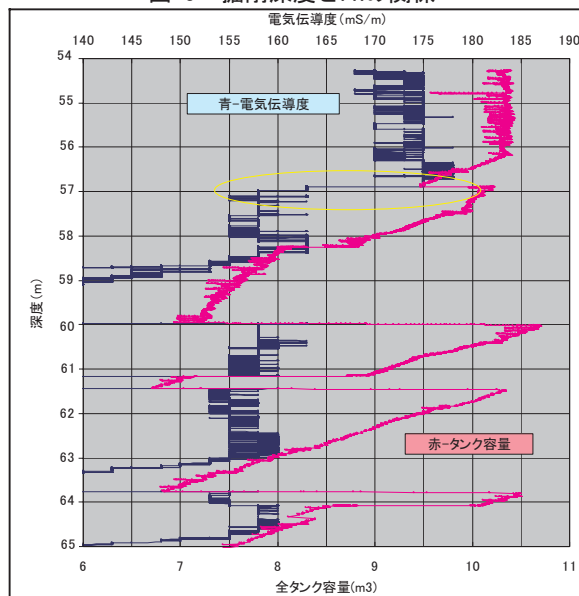


図-6 掘削深度と電気伝導度の関係

4.2 掘進状況のモニタリングデータの活用

掘削最中に、掘削状況の変化を読み取ることは、地質の評価だけでなく、掘削条件の変更（回転数、ビット荷重、送水圧力等）の材料として利用可能であり、孔内での抑留事故防止やビット交換にも利用できる。

ここでは、掘削状況のモニタリングデータの一つである掘削速度を指標に地質状況の変化を評価してみた。

通常、オペレータはロッドの降下速度を試錐機に設置されたメジャーにより認識するが、ここではエンコンダーにより、深度情報をデータ化させ、さらにグラフ化し、瞬時の掘削速度の変化を掘削全深度で可視化した。

図-7、図-8 は深度 350.0～400.0m の掘進中の掘削のモニタリングデータの例である。なお、PQ コア掘削は最大 2m の掘削長で実施しており、その範囲見たグラフであり、赤線で示すデータの傾きが掘削速度を表している。

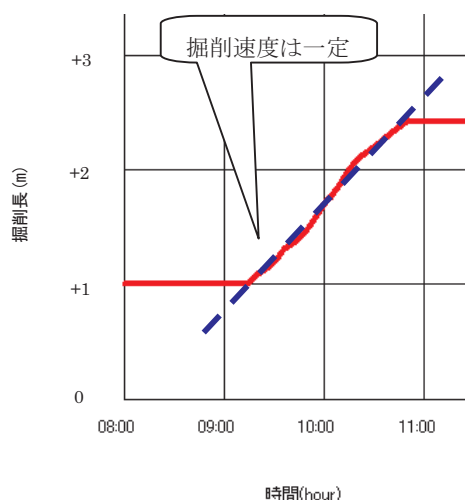


図-7 掘削速度の計測結果例①

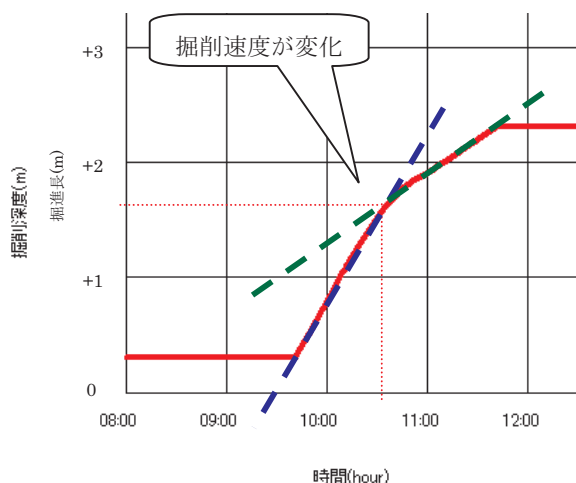


図-8 掘削速度の計測結果例②

図-7 では多少の揺らぎはあるものの一定の速度で掘削が行われ、図-8 では約 2m の掘進中に掘削速度が変化（低下）していることが分かる。掘削速度は、ビットの種別・孔径、ビット回転数、ビット荷重、送水量等の掘削条件と、対象地層の硬さによって変化する。実際、掘削にて採取したコアの観察結果より、掘削速度の変化深度近傍にて、凝灰質砂岩より泥岩へ地質が変化することが確認された。本掘進中は掘削条件の変更はなく、掘削速度の変化が対象地層の硬さ、つまり地層の変化を示唆することが確認できる。

上記の結果に基づき、モニタリングデータから深度 380.0～400.0m の掘進時のビット荷重と掘進率を岩種と共に整理した（図-9）。図-9 より、凝灰質砂岩部と破碎状泥岩で異なるグループを示し、岩種の分類と両モニタリングデータが整合することが確認できる。

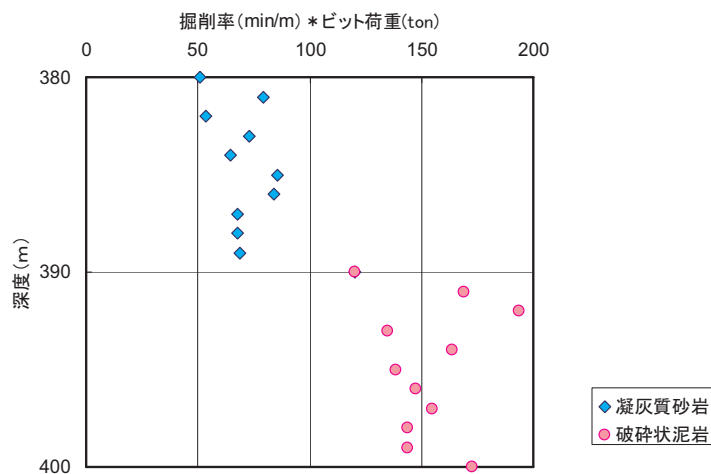


図-9 掘進率とビット荷重の関係

以上より、掘削条件が一定の際に掘削速度が変化した場合には地層に変化が起こった指標として判断することが可能である。一般的に、物性の異なる地層境界や不整合面等ではコアロスを生じることがある。掘削モニタリングシステムを稼働させることで、掘進速度が変化した深度の情報により地層が変化する深度を推察することができる。

今後は、掘削による微小変化（振動等）を取得し、地質の変化やビット磨耗の指標として発展させて行きたい。また、掘削速度に加えて、ビット荷重等の掘削条件のパラメータと地層のデータを蓄積し、岩盤性状や変化を判断させていく。

4. 掘削データの閲覧機能

2章, 3章で取得した, 掘削泥水の情報や, 掘削状態からのデータを, 今まででは各種計器の針の動きや, ハンドルレバーの動き, そして機械からのショック音等で, オペレータが評価しボーリング掘削を行っていたが, 掘削モニタリングのデータを利用することにより, 感覚的なものからより具体的な評価が出来る。

ここでは, さらにLANの構築やインターネット回線の利用することにより, 情報水平転換の向上を試みた。下記がその概要図である。今までは, 現場内だけの独立したシステムであったが, 現場内のモニタリング用PCを使用し, インターネット上へ各種データの閲覧を可能にさせた。

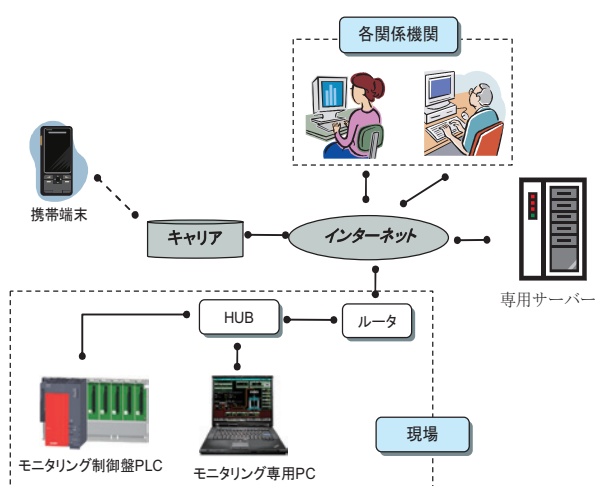


図-10 LANやインターネットの利用による掘削モニタリングデータの開示

今回閲覧可能な情報は以下の通り。

- ①各モニタリングデータのリアルタイム情報
 - ②過去のデータ（約1hr程度）の閲覧
- であり, 下記の利点が得られた。
- ①各関係機関への進行状況開示
 - ②異常時, 迅速な対応が可能
(履歴データも閲覧可能にすることにより不具合の早期発見が可能)
 - ③掘削評価研究機関へのデータ早期供給
(今後の検層方法の再検討, 解析評価機関への情報提供)

さらに, このネットワークシステムを利用することにより, 遠隔でソフト等システムを操作できるようにし(パスワード等による管理), システム異常時や, 計測項目追加時に利用も可能した。

また, 携帯端末での接続も可能にするためのソフトを開発し, 移動中でも閲覧や, 異常時の警報

等の機能も追加した。(実験中)

図-11に, 携帯端末(PDA)で表示された掘削モニタリンググラフを表示する。



図-11 携帯端末(PDA)を利用した掘削モニタリングデータの閲覧

5. おわりに

現在運用中の掘削モニタリングで得たデータの活用を通して, 掘削中の連続データの取得が重要であることを示した。その中で, 総泥水量の計測による逸水・湧水管理の方法や, 掘削速度が地層の変化と関連性があることを示した。今後の展望としては, トルク, 掘削振動等, 他の情報とを取り込むことや, 掘削条件や掘削状況の連続データと孔内検層結果との関連性を検討・評価し, コアロス部やノンコア掘削時の岩盤性状の推定を試行するなど, 本システムの更なる活用方法について検討していく。最後に, このシステムを導入にご協力いただいた, 原子力発電環境整備機構, 電力中央研究所の皆様へ感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人 全国地質調査業協会連合会 ボーリングポケットブック第4版
- 2) 長井千明・鶴山雅夫・田中達也: 概要調査に向けた地質環境の調査技術・評価手法の実証(その4) - ボーリング掘削モニタリングシステムの運用とデータの活用 -, 平成21年度土木学会論文発表
- 3) 門田直恵・上田正・瀬戸彩子・鶴山雅夫・田中達也・下嶋隆史・安藤賢一: 調査・解析・評価業務におけるWeb管理システムの開発と試行, 平成21年度土木学会論文発表