

ボーリング試験による地質環境データの取得技術の実証研究(その8)

ー光ファイバ温度検層ー

ニューブレクス(株)正会員○小久保達生 岸田欣増 山内良昭

原子力発電環境整備機構 國丸貴紀

電力中央研究所 正会員 長谷川琢磨

鹿島建設(株) 正会員 瀬尾昭治 安達正浩 今井道男 石橋正祐紀

1. はじめに

ボーリング試験による地質環境データの取得技術の一つとして、光ファイバ分布計測 (DFOS; Distributed Fiber Optic Sensing) を利用した観測技術が挙げられる。DFOS は光ファイバそのものをセンサとして計測対象に設置し、光ファイバ全長において発生する温度やひずみなどの物理現象を、1回の計測で網羅的かつ連続的な分布として計測できる技術である^{1) 2)}。地下水観測技術においては、光ファイバ温度検層の強みとして、既往のプロブを用いて孔内を昇降させる温度検層と比較して、孔内に光ファイバを静置するだけで孔内環境を乱さずに、時間的に連続な計測が可能であること、および既往の多点温度検層のように深度方向に測点が大きく離隔せず、空間的に連続な計測が可能であることが挙げられる。そこで、本稿ではボーリング孔内の水を25~30℃程度の水に置換し、その後の温度変化を光ファイバで計測し地下水の水みち深度の抽出を試みた、光ファイバ温度検層の結果を示す。

2. DFOS 技術および分布型光ファイバセンサ

今回の計測では、DFOS 技術の一つである TW-COTDR³⁾を採用した。TW-COTDR は標準的な計測設定において、ひずみ計測精度 1 $\mu\epsilon$ 以下、温度計測精度 0.1℃以下、空間分解能 (分布解像度) は 10cm 以下で計測可能なレイリー散乱を用いた計測方式である。

分布型光ファイバセンサは、大深度ボーリング孔内などの高水圧や高張力が懸念される環境で、高精度に温度計測できるセンサケーブルとして、FIMT (Fiber in Metal Tube; 図-1) を使用した。FIMT は、外部環境から光ファイバを保護し、さらにひずみ・圧力の影響を排除して温度分布を計測するため、SUS 管に光ファイバを内蔵した構造を有する。

3. 光ファイバ温度検層

深度 200m 程度のボーリング孔 (裸孔区間) において温度検層を実施した。図-2 に温度検層のデータ取得のながれを示す。まず孔内を 25~30℃程度の水に置換して、光ファ

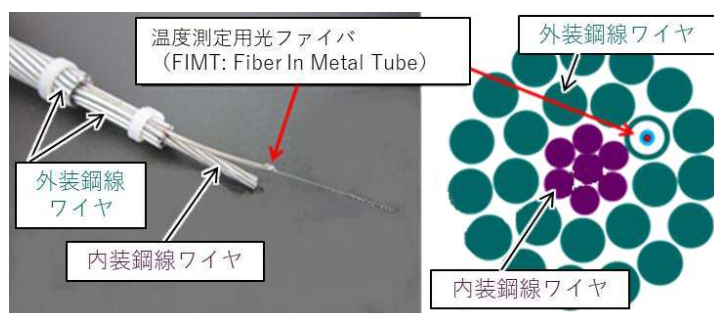


図-1 分布型光ファイバセンサ(FIMT)とワイヤ構造

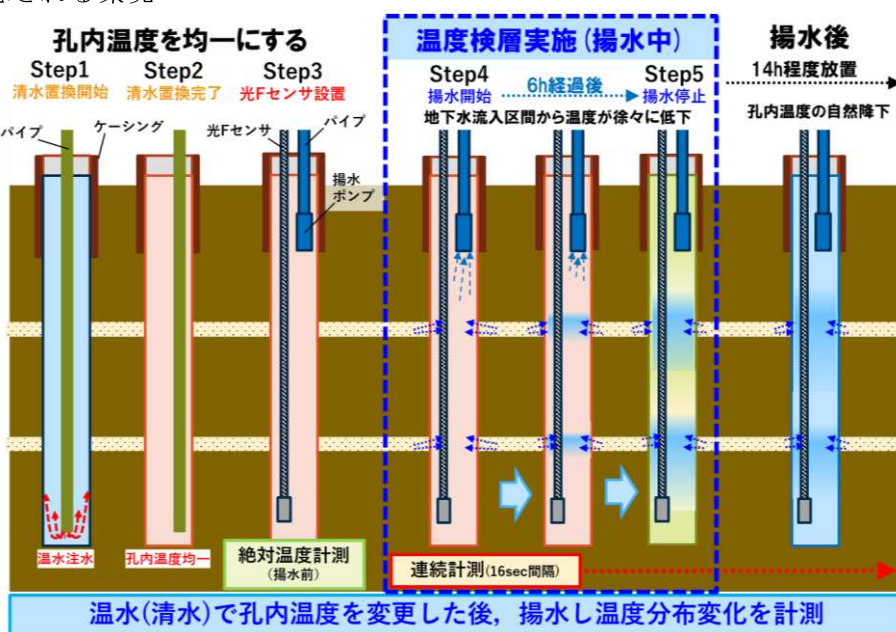


図-2 温度検層におけるデータ取得のながれ

キーワード 光ファイバセンサ, DFOS, 温度検層, 大深度, 水理試験, 水みち

連絡先 〒650-0023 兵庫県神戸市中央区栄町通1丁目1-24 ニューブレクス(株) TEL 078-335-3510

イバを孔口から孔内へ自重で垂架して孔底付近まで設置した。その後に孔内揚水を開始した。揚水は6時間連続で実施し停止した。このとき、揚水開始前から揚水停止後における孔内全体の温度分布変化を DFOS により1分間隔以下・5cm 間隔で連続計測した。今回の温度検層は、揚水量を 5 L/min と 10 L/min に設定して2回実施し、揚水は深度 10.5m で実施した。

4. 計測結果

温度検層2回の計測結果として、計測開始時点、30分～1時間半時点（30分間隔）、2～6時間時点（1時間間隔）の温度を図-3に示す。揚水量に関わらず、孔内の温度低下量が深度により異なることが確認できる。特に GL 約-60m と GL 約-80m の深度において、5m 以内程度の狭い区間で大きな温度変化が確認された。

5. 解析結果

温度検層で取得される温度は、地下水の流出入のほか、温度拡散、元々の温度分布（初期温度）、孔内の移流といった種々の影響を受けたものと考えられる。しかし、各種影響を取得データのみから排除することは困難である。そこで、まず取得データ影響を低減できる初期温度分布の影響の除去を試みた。具体的には、自然地下水調査法³⁾に基づき、各深度における温度の復元率を30分間隔で6時間後まで計算した（図-4）。温度復元率は、初期温度との温度差を100%として揚水中の所定時刻の回復率を示す。この結果、温度拡散等の影響は残るものの温度検層結果に比較して地下水の流入と考えられるアノマリが明確になった。FEC 検層に基づく地下水流入点⁴⁾（図-4 赤三角・破線）と比較すると、アノマリと整合する傾向がある。このことから、光ファイバ温度検層により、特異的な流入点を適切に捕捉できる可能性が示されたと考えられる。

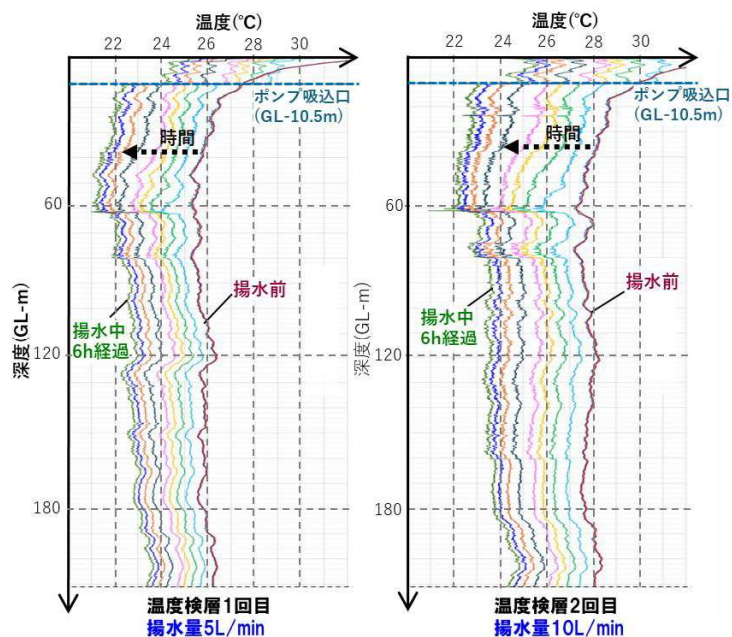


図-3 温度検層結果（揚水量 左：5 L/min, 右：10L/min）

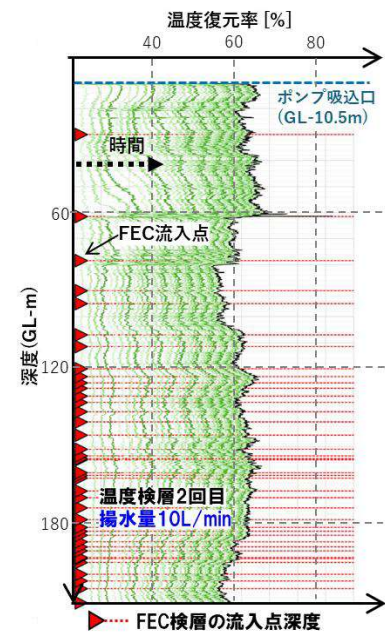


図-4 温度復元率計算結果

6. まとめ

光ファイバ温度検層を実施し、温度復元率と FEC 検層結果を比較した結果、既往の温度計測技術では捕捉困難となり得る局所的な温度変化が検出され、流入点解析結果においても FEC 検層結果との整合性が認められた。以上より、DFOS 技術の適用により、地下水の流入点の把握に資する結果が得られたと考えられる。

参考文献

- 1) 瀬尾昭治ほか：大深度ボーリングのケーシングに敷設した光ファイバケーブルによる地質モニタリング，令和5年度土木学会第78回年次学術講演会，CS12-37，2023.9.
- 2) 岸田欣増ほか：土木分野の現場適用へ向けた光ファイバ分布計測技術の新たな知見，令和5年度土木学会第78回年次学術講演会，CS9-44，2023.9.
- 3) 竹内篤雄：自然地下水調査法，近未来社，p42～82，2017.
- 4) 小島ほか：ボーリング試験による地質環境データの取得技術の実証研究（その7）—流体電気伝導度検層—，令和8年度土木学会第81回年次学術講演会（投稿中）.