

光ファイバによる給電・通信機能を有した 地下水の物理・化学パラメータ計測装置の開発（その1）

鹿島建設(株) フェロー会員 ○瀬尾昭治 正会員 三好貴子 栗原啓丞
(株)アサノ大成基礎エンジニアリング 岩田樹哉 竹延千良 後藤和幸

1. はじめに

放射性廃棄物地層処分の分野では、ボーリング孔等を利用した地下水の物理・化学パラメータの長期間にわたる安定したモニタリングが必要となることが想定される。現在、ボーリング孔内等での地下水の物理・化学パラメータの計測は電気式計測装置が主流になっているが、電圧降下による伝送距離の制限、電線の腐食、落雷や電氣的ノイズの影響、防爆性等の長距離伝送・長期間計測に対して様々な課題があることが知られている。そこで光ファイバ通信方式を用いることで長距離伝送が可能で電氣的ノイズの影響が無く、上述した電気式計測装置の通信的課題を克服できる可能性が高い。また、近年光ファイバを用いた給電技術も実用化されている。そこで、光ファイバによる通信と給電の両機能と、従来型の電気式計測センサを組み合わせたハイブリッド型の長距離伝送・長期安定性に優れた地下水の物理・化学パラメータ計測装置を開発したので報告する²⁾。

2. 光ファイバ式多項目水質センサの開発

2.1 光ファイバ計測技術

光ファイバを用いた計測方法は、その特性がひずみや温度計測に優れていることを利用し、圧力や温度計測のセンサ部に利用されており、一般的にセンサ部に給電を必要としない計測方法が利用されている。一方で、電気伝導度（以下、EC）、pH、酸化還元電位（以下、ORP）等の化学パラメータの計測については、電流・電圧による計測手法が主流であり、光ファイバを用いた計測方式は未だ確立されていない。今回開発した光ファイバ式多項目水質センサ（以下、本装置）は、孔内部のセンサ本体には電気式計測センサ（水圧・水温・水質）を使用し、センサ部との通信機能および給電機能を光ファイバ式に改良することで、電気式計測手法と光ファイバ式計測手法の利点を融合した、ハイブリッド型光ファイバ式の計測装置である。

2.2 光ファイバ式多項目装置の概要

本装置は、ボーリング孔内に設置する孔内部、中継ケーブルおよび地上部から構成される（図-1）。本装置の孔内部は既製品のセンサおよび給電、通信ユニットで構成され、SUS製耐圧容器に収納されている。また、本装置の地上部は計測用PC、通信ユニットおよび光源ユニットから構成され、中継用光ファイバケーブルで孔内部と接続されている。本装置にはTROLL9500（In-Situ社製）のセンサ部を使用しており、計測項目は水圧（地下水位）、水温、EC、pH、ORPである。

2.3 光式給電・通信システムの開発

本装置には光給電方式を採用し、孔内部のセンサおよび通信ユニットの作動電源を、地上部の光源ユニットから光ファイバおよび孔内部の給電ユニットを介して供給する。光ファイバ給電は、レーザーで出力する光エネルギーを光ファイバで伝送し、光電池で電気に変換して電力を供給する原理であり、その過程での損失は非常に小さい。そのため、設置可能な深度や通信・給電距離を飛躍的に長くすることが可能となった。本装置の設計

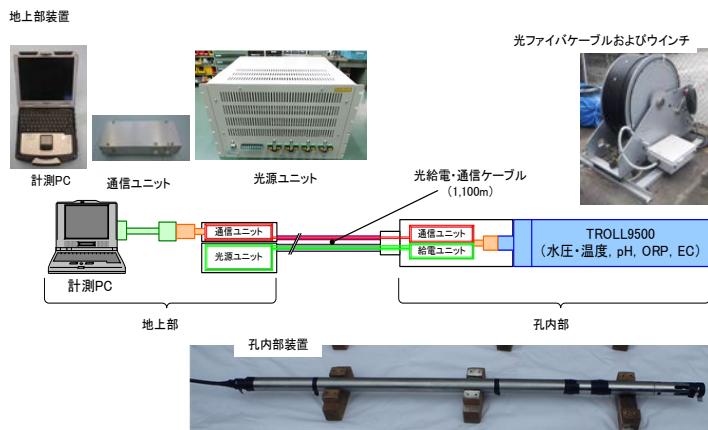


図-1 光ファイバ式多項目水質センサの概略図

キーワード 地下水モニタリング、光ファイバ給電、光ファイバ通信、物理・化学パラメータ

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-1111

上の通信・給電距離は、採用した光ファイバ給電システムの上限である最大2,000mであり、一般的な電気式計測装置では実現できない距離と設定した。また、孔内部装置の内部には交換の必要が生じる電池等の外部バッテリーは使用しないこととした。孔内部センサで取得された計測データは孔内部の通信ユニットから光ファイバ通信を介して地上通信ユニットに送られ、リアルタイムでのデータ取得を可能とした。これらの通信・給電機能により、センサ内部メモリの回収や内部電池の交換等の定期的なセンサ回収、再設置作業を不要とした。

3. 性能確認試験

3.1 給電システムの性能確認試験

製作した本装置に対して、光ファイバ式の給電システムの性能確認試験を実施した。試験時は中継部の光ファイバを約1,100mとして実施した。試験は光源ユニットの雰囲気温度を28℃、30℃、35℃、40℃として実施し、給電ユニットから孔内部センサへの供給電圧、孔内部通信ユニットへの供給電圧を電圧計で確認した。雰囲気温度30℃の試験結果例を図-2に示す。試験の結果、センサへの供給電圧は3.54~3.94V（許容電圧範囲：3.3~4.0V）、通信ユニットへの供給電圧は3.11~3.28V（許容電圧範囲：2.95~3.35V）となり、センサおよび通信ユニットに十分な電圧が安定して供給されていることが確認された。また、試験中に電源や通信の遮断は確認されなかった。なお、30℃以外の雰囲気温度でも同様の試験結果が得られた。

3.2 総合性能確認試験

本装置で正常にデータ取得ができていることを確認するために、光ファイバを用いていない通常の電気式計測装置（TROLL9500）による計測データとの比較を行った。本試験では、前述の試験と同様に中継用光ファイバ長を約1,100mとし、水道水を用いて34日間の連続計測を行った。本試験の計測結果を図-3に示す。なお、本試験では試験容器が加圧できないため、水圧は計測対象外とした。計測データのうち水温、ECは両者の間で値や変動傾向はほぼ一致していた。また、ORPは両者に100mV程度の差が認められるが変動傾向は一致していた。さらに、pHは初期と終盤の変動傾向に若干の違いがあるものの、値はどちらも8.0~8.5の範囲であった。以上の結果から、約1ヶ月の連続計測について、本装置は正常に作動していることが確認された。

4. おわりに

光ファイバによる通信・給電の両機能と、従来型の電気式計測センサを組み合わせ、長距離伝送および長期安定性に優れた地下水の物理・化学パラメータ計測装置を開発した。開発した装置について性能確認試験を実施した結果、本装置の光ファイバ式給電・通信機能は通信距離1,100m程度、地上部装置は40℃以下で正常に動作すること、約1ヶ月の連続計測が可能であること等が確認された。この後に実施した現位置での長期動作確認試験の結果については別途報告する³⁾。

参考文献

- 1) 小松満, 西垣誠, 瀬尾昭治, 平田洋一, 竹延千良, 田岸宏孝, 國丸貴紀, 前川恵輔, 山本陽一, 戸井田克, 中野勝志: 土中水分観測手法としての光ファイバ計測技術の開発, JAEA-Research 2012-001, pp.75-76, 2012.
- 2) 三好貴子, 瀬尾昭治, 栗原啓丞, 岩田樹哉, 竹延千良, 後藤和幸: 光ファイバによる給電・通信機能を実現した計測技術の開発—地下水の物理・化学パラメータ計測装置例—, 日本地下水学会2021年秋季講演会, pp.175-180, 2021.
- 3) 三好貴子, 瀬尾昭治, 栗原啓丞, 岩田樹哉, 竹延千良, 後藤和幸: 光ファイバによる給電・通信機能を有した地下水の物理・化学パラメータ計測装置の開発 (その2), 土木学会第77回年次学術講演会, 2022 (投稿中).

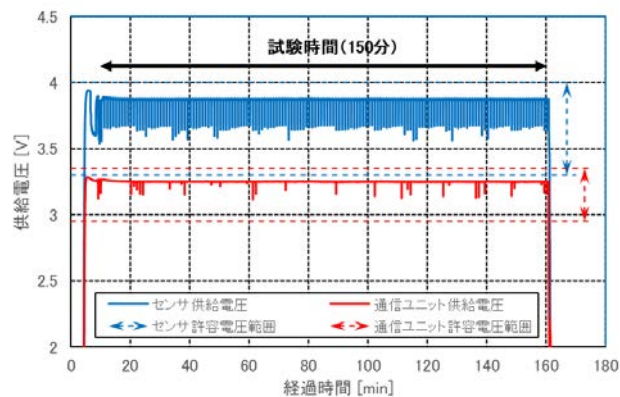


図-2 光ファイバ式給電システムの性能確認試験結果（雰囲気温度 30℃）

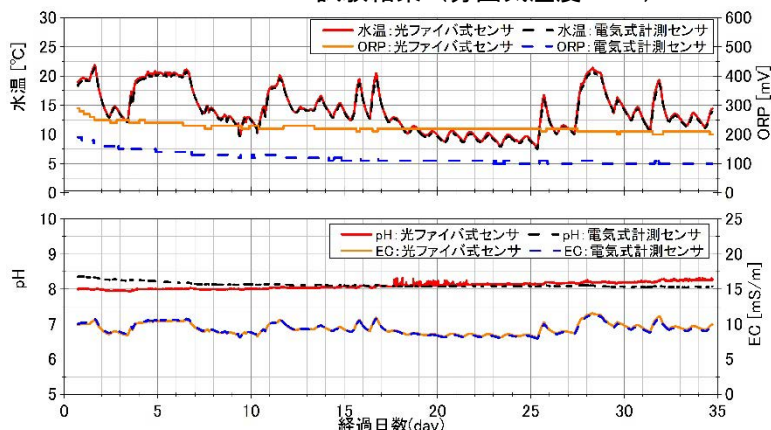


図-3 性能確認試験結果（電気式計測センサとの比較）