

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環境モニタリング

鹿島建設(株) フェロー会員 ○瀬尾昭治 正会員 今井道男 石橋正祐紀 安達正浩
(一財)電力中央研究所 正会員 長谷川琢磨 岡本駿一
原子力発電環境整備機構 國丸貴紀
ニューブレクス(株) 岸田欣増 山内良昭 小久保達生

1. はじめに

ボーリング孔のケーシングパイプへ光ファイバケーブルを複数設置し、深度ごとの温度状態だけでなく、パイプの三次元的変形を把握して地中の応力状態も推定できる地質環境モニタリング技術の開発を行っている。既報では、孔内へケーシングパイプを設置しながら複数の光ファイバケーブルをらせん状に巻き付ける技術¹⁾とともに、孔内セメンチング時の計測結果を紹介した²⁾。本報では、パイプ施工後に実施した温度検層ならびに強制的に応力を付与した際のひずみ計測試験の結果について報告する。

2. 光ファイバによる地質環境モニタリング技術

(1)分布型光ファイバセンサ

光ファイバ内に光を入射すると、そのうちの一部は後方散乱光として、入射端に帰還する。散乱光はすべての箇所が発生し、光ファイバに沿ったすべての箇所での温度やひずみに関する情報が得られる。そのため、ボーリング孔内へ光ファイバを設置すれば、深度ごとに温度やひずみ変化を把握できる(図-1)。これまでのポイント型でのセンサと比較して、圧倒的に密度の高い情報が得られるため、様々な分野での適用検討が盛んに取り組まれている³⁾。本試験で用いた分布型光ファイバセンサの仕様を表-1に示す。

(2)光ファイバケーブル付きケーシングパイプの施工

本取組みでは、新第三紀の葉山層群(泥岩)中を720mまで掘削したボーリング孔のうち、310mまでに設置されたケーシングパイプ(290m長、外径φ216.3mm)に光ファイバケーブルを固定した。光ファイバケーブルは、ケーシングパイプ沈降時に温度用ケーブル(1本)を直線状に、ひずみ用ケーブル(4本)をらせん状に敷設した¹⁾。

3. 温度検層試験

(1)試験方法

まず、光ファイバケーブルを用いた温度検層を実施した。深度100mまで設置したロッド編成の送水管から、次に示す①～④の手順でケーシングパイプ内に注水し、その間、約30秒間隔で温度分布計測を行った。①45℃温水を1m³、②35℃温水を1m³、③45℃温水を1m³、最後に配管中の温水を押し出すために④常温水を1m³注水した。なお、1m³はケーシングパイプの約10m区間分に相当し、それぞれ約5分かけて注水した。図-2に温度検層試験のイメージを示す。

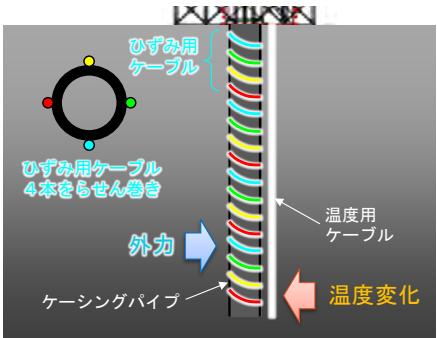


図-1 地質環境モニタリングイメージ

表-1 光ファイバセンサの仕様

項目	仕様
測定間隔	5cm
空間分解能 ³⁾	5cm(ひずみ)／50cm(温度)

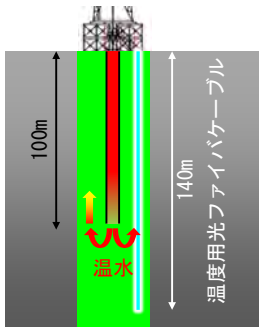


図-2 温度検層試験の概要

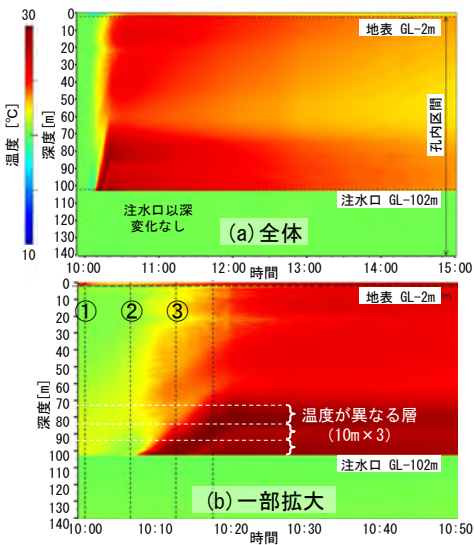


図-3 温度検層時の温度分布計測結果

キーワード 光ファイバセンサ, ボーリング調査, レイリー散乱, ひずみ測定

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 TEL03-5544-1111

(2) 温度検層試験結果

温度検層時の深度ごとの温度分布計測結果を図-3に示す。注水した30m分温度が上昇したことが確認された。また、①～③で温度の異なる温水を注入したことにより、温度が上昇した30mの区間内でも温度の異なる区間があることが観察された。同区間以内の浅い場所に見られる温度上昇は、前日に実施した温水注水の影響が残っていたためと推察する。

4. 応力ひずみ計測試験

(1) 試験方法

今回、ケーシングパイプ全体の変形だけでなく、パイプ断面の変形についても捉えられるように、光ファイバケーブルをらせん状（巻付け角度45度）に設置した（写真-1）。そこで、パイプの断面変形から地中の応力状態を推定できるかどうかを確認するために、ケーシング内に水理試験用パッカーを拡張して圧力（2～5MPa）をかけながら、光ファイバによるひずみ分布計測を実施した。試験の概要を図-4に示す。

らせん状に設置した4本の光ケーブルによれば、パイプ軸方向だけでなく、周方向ひずみが得られる。本試験で得られた周方向ひずみから、試験環境を考慮（パイプねじれは無く、パッカー拡張によるパイプの曲げ変形は生じずパイプが膨脹する変形が支配的と仮定）して、パイプ断面変形の算出を試みた。

(2) 試験結果

パッカー近傍のひずみ分布計測結果と中心付近（GL-143m）のひずみの経時変化を図-5に示す。最大 25×10^{-6} 程度の僅かな量ではあるが、加圧に応じて変化するひずみを捉えることができた。

周方向ひずみデータは断面上の4点に過ぎず、また軸方向位置も異なるため、パイプ同一断面で細分化された補間ひずみデータを生成した。その結果をもとに、パイプ断面変形を算出した結果を図-6に示す。パッカー位置で断面変形が $6\mu\text{m}$ と僅かに変化したこと、それ以外では断面変形がないことを確認できた。

5. おわりに

ケーシングパイプに光ファイバケーブルを設置し、大深度での地質環境モニタリングへの分布型光ファイバセンサの適用性を検証した。温水注入時の孔内温度検層により、注入した水温に応じて変化する温度変化を光ファイバセンサで捉えられた。また、孔内からのパッカー拡張において、加圧量に応じて変化するひずみ変化を捉え、パイプ断面変形（3～ $6\mu\text{m}$ ）を算出することができた。

参考文献

- 1) 石神大輔ほか：大深度ボーリングケーシングへの光ファイバケーブル自動巻付け装置の実適用，土木学会第76回年次学術講演会，CS12-15，2021.
- 2) 石橋正祐紀ほか：大深度ボーリングケーシングに敷設した光ファイバケーブルによる温度・ひずみ計測，土木学会第76回年次学術講演会，CS12-16，2021.
- 3) 保立和夫，村山英晶：光ファイバセンサ入門，光防災センシング振興協会，2012.

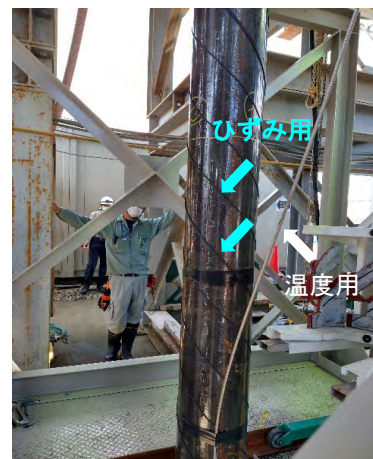


写真-1 光ファイバケーブル固定時の状況

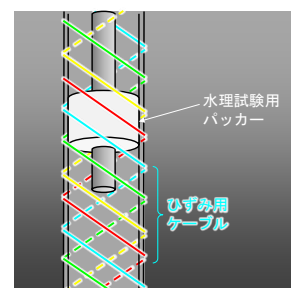


図-4 応力ひずみ計測試験の概要

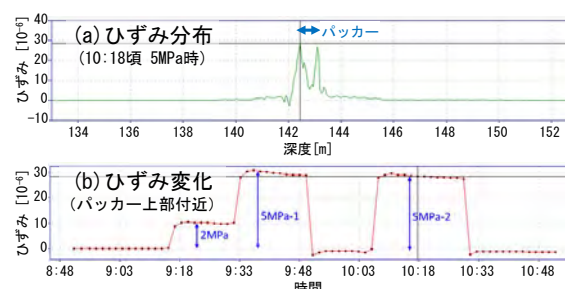
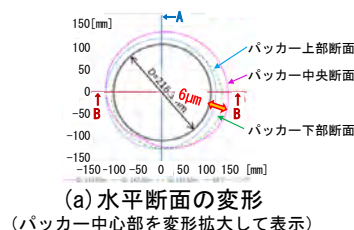
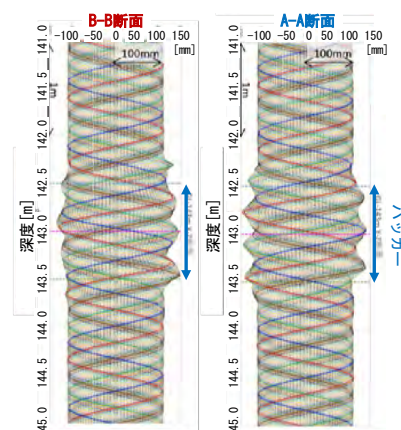


図-5 パッカー拡張に伴うひずみ変化



(a) 水平断面の変形

(パッカー中心部を拡大して表示)



(b) 深度ごとの変形

(パッカー中心部付近を拡大して表示)

図-6 断面変形の算出結果