

## 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

鹿島建設(株) 正会員 石橋正祐紀 石神大輔 今井道男 安達正浩 フェロー会員 ○瀬尾昭治  
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 松田公彦 小久保達生

### 1. 背景および目的

筆者らは、ボーリング孔のケーシングパイプに複数の光ファイバケーブルを敷設し、ケーシングパイプの三次元的変形を把握することにより、地中の応力状態を推定すること等を目的とした地質環境モニタリングに関する技術開発を行っている<sup>1)</sup>。本稿では、大深度ボーリング孔のケーシングパイプ外側に敷設した光ファイバケーブルを用い(詳細は別稿<sup>2)</sup>参照)、ケーシングへのセメンチング実施時に、温度とひずみを同時に計測した結果について紹介する。

### 2. 実施内容

光ファイバ計測は、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までの掘削段階で設置された8inケーシングパイプ(290m長、外径 $\phi$ 216.3mm)に敷設した光ファイバケーブルを用いて行った。光ファイバケーブルは、ひずみ計測用ケーブル(4本)をらせん状に、温度計測用ケーブル(1本)を直線状に敷設した<sup>1)</sup>(図-1)。ケーシングの固定や止水等を目的として実施するセメンチング前に計測を開始し、計測開始時に取得した値を初期値(初期状態)として、その後のセメント注入による孔内環境の変化(相対変化)を捉えることとした。光ファイバの計測原理は高精度な計測が実施可能なレイリー方式<sup>3)</sup>を用い、時間間隔で約45秒、上下方向は約5cm間隔で計測を実施した(表-1)。なお、セメンチングは、孔底からのスパーサー水(常温)注入に引き続いて、3回のセメントミルク注入を行う手順で実施した。なお、今回の計測では深度140m以浅に既に設置されている12inケーシングパイプ(内径 $\phi$ 297.9mm)の内側に、光ファイバを敷設した8inケーシングパイプを設置した。したがって、この8inケーシングパイプは下部150m区間がセメンチング材を介して地山と接している。

### 3. 計測結果と考察

本稿では、セメンチングの影響が明瞭な、セメント注入開始から約1.5時間の結果について示す。

#### 3.1 温度計測結果

セメント注入に伴う温度変化を図-2に示す。温度変化の幅は最大で11°C程度であり、セメント注入前のスパーサー水注入開始10分後程度から5°C程度の温度の変化が認められる。この変化位置(変化フロント)は注入開始からの時間経過と共にボーリング孔の深部から浅部に向かって行く。図-2の②の段階からセメント注入を開始し、このセメント注入後に5°C程度の温度変化フロントがさらに浅部に移行しており、このトレン

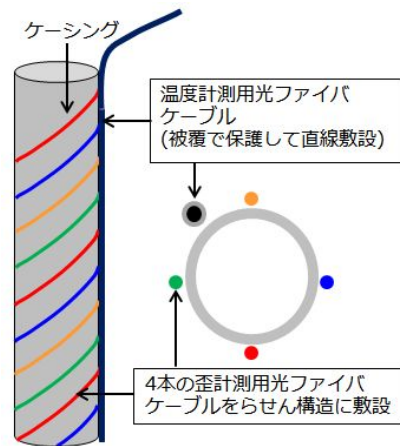


図-1 ケーシングへの光ファイバ敷設イメージ<sup>1)</sup>

表-1 使用した光ファイバの構成とデータ取得の仕様

	ひずみ計測用光ファイバ	温度計測用光ファイバ
内蔵光ファイバ	シングルモード光ファイバ×2本 (Fujikura SR15)	温度計測用光ファイバ (FIMT: Fiber In Metal Tube) ×1本
耐熱温度	80°C	302F (150°C)
寸法	4.3×1.7mm	Φ7.3mm
計測原理	TW-COTDR (レイリー方式)	
計測間隔	約45秒	
空間分解能	5 cm	
周波数掃引	192,000 ~ 192,300GHz	
掃引ステップ	0.3 GHz	

キーワード 光ファイバ, ボーリング調査, セメンチング, 温度計測, ひずみ計測

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6647

ドを線上に孔口付近まで延長すると、④のスペーサー水が孔口で確認された段階と一致する。

次に、セメント注入開始（②）以降の深部の温度変化を見ると、深部では約 10°C程度の温度変化が認められる。この温度変化もスペーサー水同様に、時間の経過（セメント注入量の増加）と共に上昇する傾向があり、セメントが孔口で確認された段階（⑥）の段階では孔口付近まで温度変化が認められている。また、詳細にデータを確認すると、3 回目のセメント注入（⑤）に際しては、その直前に温度変化フロントの上昇が鈍化しており、⑤以降に再び直前の上昇速度に変化している傾向がある。

スペーサー水の水温については計測していないものの、夏季にタンク貯留した水を使用していることから、当該区間の掘削時のリターン水から推察される孔内温度 15~20°Cに対する+5°C程度の変化量は、妥当な範囲と推察する。一方、温度変化フロントの上昇については、スペーサー水を孔口で確認したタイミング（④）やセメントを孔口で確認したタイミング（⑥）を考慮すると、①以降の+5°C程度の温度変化はスペーサー水の上昇、③以降の+10°C程度の温度変化はセメント材料の注入に伴う温度変化を捉えた結果と考えられる。加えて、3 回目のセメント注入（⑤）直前の温度変化フロント上昇の鈍化は、セメント注入の一時停止と開始の影響で、迅速に施工結果を把握できる精度を有すると考えられる。

### 3.2 ひずみ計測結果

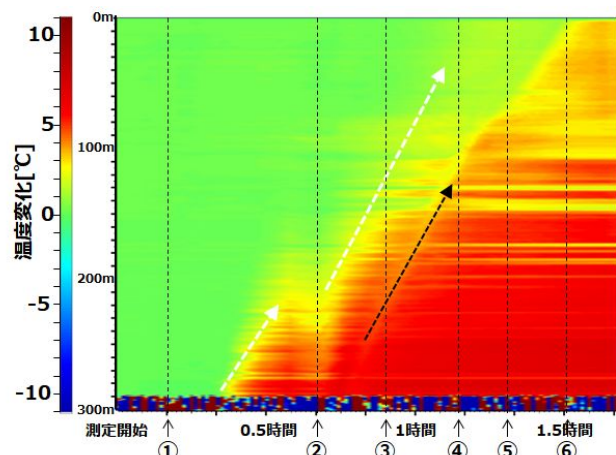
セメント注入に伴うひずみ変化を図-3に示す。ひずみ計測については、深度約 150m 以深で計測していない範囲もあることから、深度 150m 以浅の情報のみを示す。なお、本結果は温度補正前の情報（温度影響は約  $10\mu\epsilon/1^\circ\text{C}$ ）であるが、温度計測から推察できる影響以上の数十  $\mu\epsilon$  程度のひずみ変化が認められることから、本結果はひずみ変化を適切に捉えているものと考えられる。ひずみの変化は引張方向で、同一深度（例えば、深度 150m 付近）の時間変化に着目すると、図-3の③直前に最初の変化が認められ、④直前からより大きなひずみ変化が認められる。このような小さいひずみ変化の後に、大きなひずみ変化が認められる状況は全ての深度で確認される。この現象を 3.1 温度計測結果と合わせて考えると、各深度の大きなひずみ変化（図-3の黒色矢印の位置）はセメント到達の影響によるひずみ変化を捉えたものと考えられる。

## 4. まとめ

大深度ボーリング孔のケーシングパイプに敷設した光ファイバケーブルを活用し、セメンチング時の温度・ひずみ変化について同時計測を実施した。その結果、温度計測、ひずみ計測共にセメントミルクの注入による変化を捕捉でき、特に温度計測については、スペーサー水の注入という細かな変化を含めて計測できることが確認（実証）できた。今後は、ひずみ計測結果の温度補正、データ蓄積や詳細な解析を進め、地下環境のモニタリングへの適用性について検討を進めていく。

### 参考文献

- 1) 瀬尾ほか、令和2年度土木学会全国大会 第75回年次学術講演会、CS12-09、2020。 2) 石神ほか、令和3年度土木学会全国大会 第76回年次学術講演会、2021（投稿中）。 3) Kishida, K. et al., Photonic sensors, vol.4, pp.1-11, 2014.



①スペーサー水の注入開始、②セメント注入（1回目）、③セメント注入（2回目）、④スペーサー水を孔口で確認、⑤セメント注入（3回目）、⑥セメントを孔口で確認、白矢印：スペーサー水注入による変化が開始したと考えられる箇所、黒矢印：セメント注入による変化が開始したと考えられる箇所

図-2 ケーシング内の温度計測結果

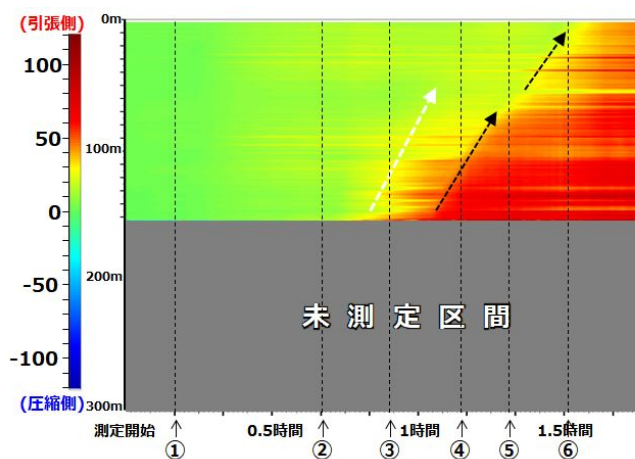


図-3 ケーシング内のひずみ計測結果  
（①～⑥の凡例は図-2 参照）