

断層部での光ファイバによる支保応力計測の適用

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 福山拓郎 今井啓文 小関敏史
鹿島建設(株) 正会員 ○河本貴史 松下智昭 石井雅子 栗原啓丞 宮嶋保幸 川端淳一

1. はじめに

現状の山岳トンネル工事における支保応力計測は、図-1に示すひずみゲージや有効応力計を用いたポイント型の計測である。しかし地質が複雑に分布する断層部では、応力が最大となる箇所を把握できずに、結果的に支保が破壊に至る可能性がある。そこで、支保応力を連続的に計測することを目的として、分解能 $1\mu\epsilon$ の計測が可能なレイリー散乱光¹⁾を利用した分布型光ファイバひずみ計測技術を開発した。本稿では岐阜県で施工中の中央新幹線中央アルプストンネル(山口)工事の断層部において適用し、本計測技術の有効性を確認したので、その結果について報告する。

2. 光ファイバによる支保応力計測

計測レイアウトを図-2に示す。光ファイバケーブル(以下、光ケーブルと称す)に加え、従来のポイント型計器(ひずみゲージ、有効応力計)を比較のために設置し、鋼製支保工応力、吹付けコンクリート応力の2項目について計測を行った。

本計測で使用した光ケーブルを表-1に示す。光ファイバによる計測では、光ケーブル内を透過する際に発生する後方散乱光の周波数を測定するが、その中心周波数は温度とひずみの変化に反応する。したがって、ひずみを計測するためには、中心周波数の変化から温度変化分を取り除く必要がある。そこで、温度とひずみの両者に反応する光ケーブル(表-1②③)と、温度変化のみに反応する温度計測用光ケーブル(表-1①)を併用し、温度とひずみを分離した。

3. 光ケーブルの実装方法

鋼製支保工には、上下フランジの内側に事前に表-1中のケーブル②を貼付けたものを準備し、通常の建込み作業を行った。建込み後、鋼製支保工にガイダンス治具(写真-1)を設置し、表-1中のケーブル①および③を固定した(写真-2)。その後、吹付けコンクリートを施工することで、コンクリート内部にケーブルを埋設した。

計測器は、切羽から後方300mの設備坑内の車中に設置し、切羽からは通信用の光ケーブルを配線した。計測は1回/30分の頻度で、応力の変化が収束するまで行った。

キーワード 分布型光ファイバひずみ計測、鋼製支保工、吹付けコンクリート、支保応力計測

連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-20-15 広小路クロスタワー 中部支店 TEL 052-307-5111

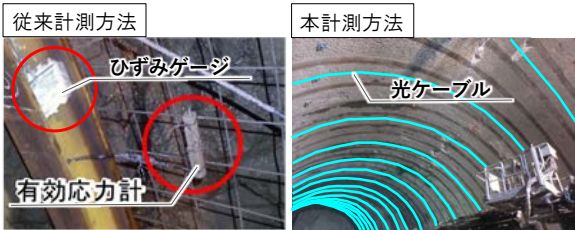


図-1 光ファイバによる応力計測

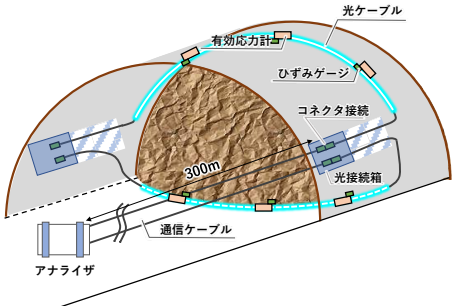


図-2 光ケーブル・従来計器のレイアウト

表-1 使用した計測用光ケーブル

	①	②	③
計測項目	温度のみ	温度、ひずみ	温度、ひずみ
敷設箇所	吹付けコンクリート	鋼製支保工	吹付けコンクリート
被覆材質	ステンレス	テープ	オレフィン系エラストマー
断面寸法	外径φ2mm	幅30mm	4.3mm(W)×1.7mm(H)
全体写真			



写真-1 ガイダンス治具設置



写真-2 光ケーブル設置

4. 計測結果

各支保に発生する応力は、周波数変化をひずみに変換した後、弾性係数を乗じることで算出した。吹付けコンクリートの弾性係数は時々刻々と変化するため、室内圧縮試験結果²⁾に基づいた値を採用している。

図-3、図-4 に計測開始から 1 か月後の上半鋼製支保工（内空側）と上半吹付けコンクリートの応力分布を示す。この結果、光ファイバ計測により従来計器の設置位置では概ね同等の計測値を示し、かつ支保全周の応力を計測できることを確認した。一方、吹付けコンクリートの応力において、右肩の有効応力計が約 0MPa を示しているのに対し、同じ位置で光ファイバでは圧縮側に数 10MPa の応力が計測された（図-4）。鋼製支保工応力結果や変位計測結果（図-5）から判断すると、右肩で吹付けコンクリート応力が 0MPa を示すとは考えにくく、有効応力計は局所的な値を示したものと考えられる。光ファイバ計測では、応力分布が連続データとして可視化されることから、計測結果の局所的な異常値に留意しながら判断を行うことが可能になる。

また、本計測ではリアルタイム可視化システムを導入しており、得られた周波数データから応力、曲げモーメント、軸力が自動計算され、図-6 に示すようなトンネル周上の応力分布図をリアルタイムに確認できる。さらに、任意の点をクリックすると、その点の経時変化グラフが表示される仕様となっており、収束確認も可能である。リアルタイムに可視化することで計測結果を基にした的確な支保パターンの変更に活用し、補強を迅速に行うことが可能となる。

5. まとめ

分布型光ファイバひずみ計測技術により、トンネルの支保応力が連続的に計測され、その値は従来の計器による計測値と概ね同等であることが確認できた。また、連続データとして可視化されることで、計測結果の局所的な異常値に留意しながら判断できることがわかった。今後、断層などの影響で大きな支保応力の発生が懸念されるトンネル工事現場に光ファイバを常備し活用することで、建設工事の安全性のさらなる向上を実現していく。なお、この光ファイバを残置することにより、竣工後の長期的な変状モニタリングも可能となる。



図-3 上半鋼製支保工の応力分布

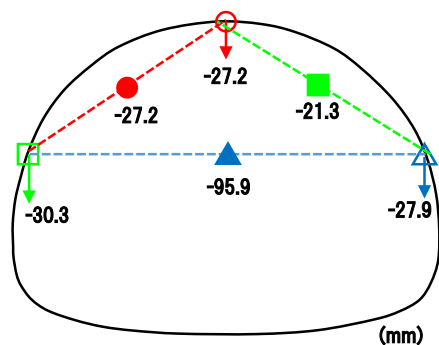


図-5 変位計測結果



図-4 上半吹付けコンクリートの応力分布

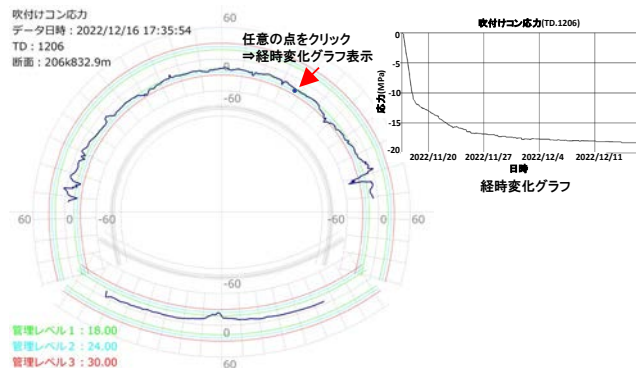


図-6 リアルタイム可視化システム

参考文献

- 1) 岸田ら, SMF におけるひずみと温度が識別できるハイブリッド分布測定システムの開発, 信学技報, OFT2012-59 (2013) .
- 2) 谷ら: 弱材齢トンネル吹付けコンクリートの粘弾性特性に関する研究, 大成建設技術センター報, Vo.40, 2007, pp.15-1~8.