

地質不良部での光ファイバによる支保応力計測の適用

鹿島建設(株) 正会員 ○廣恵なつ美 宮石雅子 黒川紗季
宮嶋保幸 今井道男 川端淳一

1. はじめに

山岳トンネル工事における従来の支保応力計測は、図-1に示すような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り、地質が複雑に分布する場合、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、トンネルの支保応力を連続的に計測することを目標に、分解能 $1\mu\epsilon$ の計測が可能なレイリー散乱光を利用した新しい分布型光ファイバひずみ計測技術の適用性検証試験を実施したので、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

今回実施した現場適用試験では、施工中のトンネル内で①鋼製支保工応力、②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。光ファイバケーブル（以下、光ケーブルと称す）および従来のポイント型計器（ひずみゲージ、有効応力計）のレイアウトを図-2に示す。当該箇所は地質不良部であり、掘削するにあたり脚部支持力不足が懸念され、一次インバートへのコンクリート吹付けが提案された。一次インバート吹付けは施工後ただちに埋め戻されるため、その後に変状が発生しても埋め戻した路盤が隆起するなどの不具合が発生するまで検知できない。そこで今回、上下半だけでなくインバート吹付けコンクリート内部にも光ケーブルを敷設し、目視で直接確認することのできないひずみと応力の発生状況監視も試みた。

本計測で使用した光ケーブルを表-1に示す。光ファイバ内を透過する光は、温度とひずみの変化に反応し、その散乱光の中心周波数が変化する。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、事前に表-1中のケーブル②をエポキシ系接着剤で接着し（写真-1）、通常の建込み作業を行っ

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 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6596

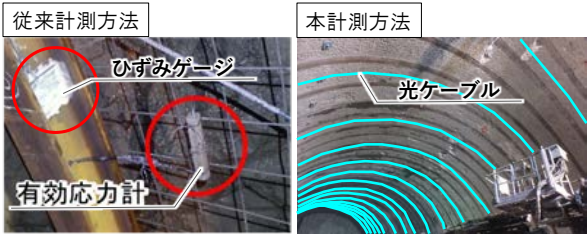


図-1 光ファイバによる応力計測

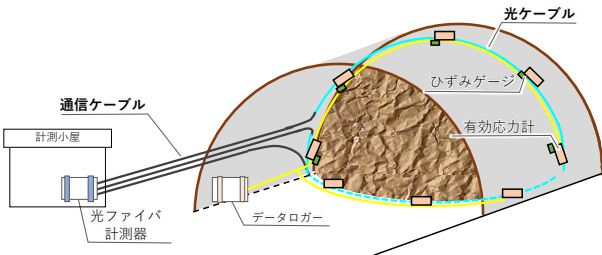


図-2 光ケーブルおよび従来計器のレイアウト

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	PVC	オレフィン系エラストマー
断面寸法	外径φ2mm	外径φ0.9mm	4.3mm(W)×1.7mm(H)
全体写真			

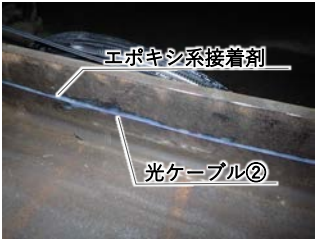


写真-1 鋼製支保工への貼り付け



写真-2
ガイドランス治具

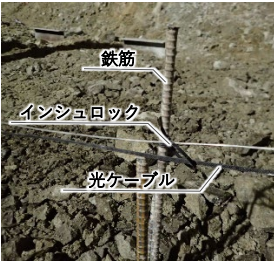


写真-3
光ケーブルの結束状況

た．上下半の吹付けコンクリートは，事前に鋼製支保工にガイダンス治具（写真－2）を設置し，支保工建込み後表－1 中のケーブル①および③を治具孔に通した．一次インバートの吹付けコンクリートは，インバート掘削面に 1m 間隔で鉄筋を設置し，結束バンドで鉄筋に光ケーブルを結束した（写真－3）．計測小屋から計測断面まで通信ケーブルを配線し，計測データが収束するまで，1 回/30 分の頻度で計測を継続した．また，計測間隔 5cm，空間分解能 10cm とした．

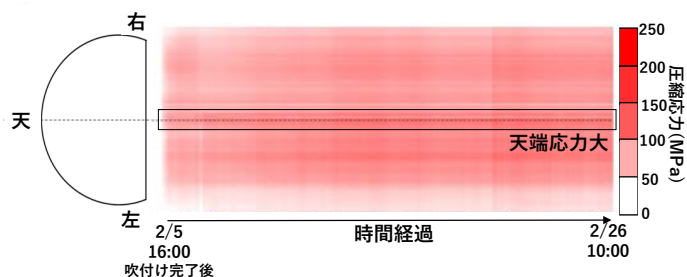
4. 計測結果

各支保に発生する応力は，ひずみに弾性係数を乗じることで算出した．また，温度変化に伴って支保工部材自体に引張ひずみが発生するため，温度変化分に支保工材料の線膨張係数（鋼材： $11.7\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ ，コンクリート： $10\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ ）を乗じた値を用いて補正し，掘進による力学ひずみのみを抽出した．

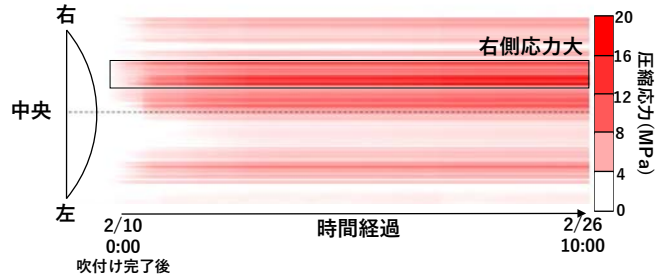
図－3，図－4 に光ファイバ計測によって得られた空間連続的な，鋼製支保工（内空側）とインバート吹付けコンクリートの圧縮応力分布の時間変化を示す．同図より，掘削の進行とともに，天端部とインバート右側での応力の増大が確認できた．次に，図－5，図－6 に発生応力が大きい天端部とインバート右側における光ファイバと従来計器（ひずみゲージ・有効応力計）の圧縮応力の比較結果を示す．同図より，光ファイバとひずみゲージの軸圧縮応力がよく整合することが確認できた．一方で，光ファイバと有効応力計の収束した応力値は整合しているものの，初期の挙動が若干乖離している．乖離が生じる原因として，応力を算出する際，ひずみに弾性係数を乗じているが，若材齢時におけるコンクリート弾性係数が異なる可能性が考えられる．今後，実際の吹付けコンクリートの弾性係数を求めるべく，打球探査²⁾等で評価する必要がある．

5. まとめ

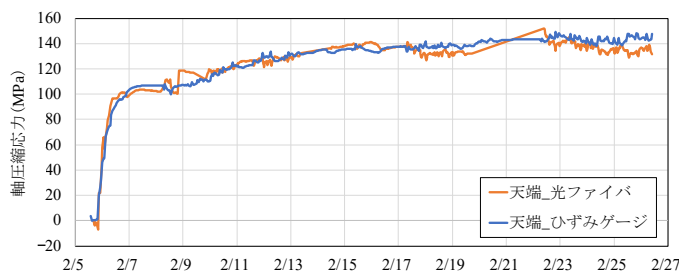
分布型光ファイバひずみ計測技術により，トンネルの支保応力が連続的に計測され，その値は従来の計器による計測値と同等であることが確認できた．また，インバート吹付けコンクリート内部に光ファイバを敷設することで，インバート全体の変形モードを把握できたことから，路盤隆起等の不具合の予兆を早期に検知し，掘削の中断や補強対策工の判断を迅速に行える可能性が示唆された．今後は，本格的な現場導入に向け，光ケーブルの設置方法・光ファイバ計測のデータ処理技術に関して更なる改善を進めていく所存である．



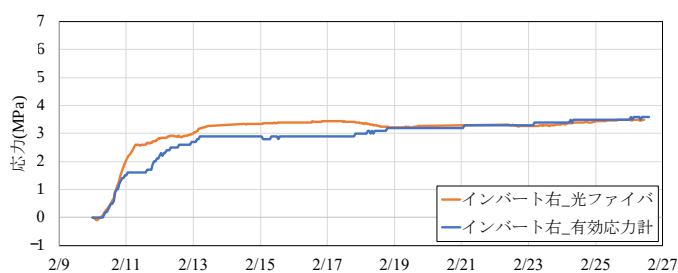
図－3 鋼製支保工の応力分布



図－4 インバート吹付けコンの応力分布



図－5 光ファイバとひずみゲージの比較



図－6 光ファイバと有効応力計の比較

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) 松本ら，打球探査法によるコンクリート若材齢時強度の推定に関する報告，コンクリート工学年次論文集，Vol. 38（2016）．