# 光ファイバによるトンネル断面内の連続的な支保応力計測

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

# 1. はじめに

山岳トンネル工事では,掘削中の地山状況に応じて,安 全性・経済性の観点から最適な支保構造を選定することが 重要である.選定された支保の妥当性を確認するため,鋼 製支保工や吹付けコンクリートの応力を計測する支保応力 測定(計測B)が実施される.しかし,現在の支保応力計測 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, 局所的な応力集中を見落とし,結果的に地山の崩壊や過大 な変状に至る可能性がある.そこで,トンネルの支保応力 を高密度に計測することを目標に,分布型光ファイバひず み計測技術の適用性を現場試験により検証した.

## 2. 使用した光ファイバケーブル

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,本計測では,**表**-1に示す温度とひずみの両者に反応する光ファイバケーブル

(以下,光ケーブルと表記)と,温度変化のみに反応する 温度計測用光ケーブルを併用し,温度とひずみを分離する こととした.なお,既報<sup>1)</sup>の室内試験により,**表**-1中の光 ケーブル③と計測対象となるコンクリートとのひずみの追 従性は良好であることが確認されている.

# 3. 光ケーブルの支保への実装

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吹付けコンクリート内部の温度変化,②鋼製支保工応力, ③吹付けコンクリート応力の3項目について計測を行っ た.光ケーブルおよび従来のポイント型計器のレイアウト を図-2 に示す.光ファイバによる計測データと比較すべ く,従来の支保応力の計器である有効応力計・ひずみゲー ジ・熱電対を上半3カ所(左肩・天端・右肩)に設置した.

光ケーブルの敷設方法の内,鋼製支保工への貼付け方法 については,**写真-1**に示すように,建込み前の鋼製支保工 の上下フランジの内側全周に,エポキシ系接着剤を用いて 光ケーブルを貼り付けた.吹付けコンクリート内への敷設



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







写真-2 吹付けコンクリート中の光ケーブル敷設

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,支保応力測定 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 方法については,**写真-2**に示すように,事前に鋼製 支保工に一定間隔でガイダンス治具を設置した.支保 工建込み後,治具の孔に光ケーブルを通し,その上か ら吹付けコンクリートを施工した.坑内に計測器を積 んだ車両を配置し,計測データが収束するまで,1回 /時間の頻度で計測を継続した.

## 4. 計測結果

今回の光ファイバ計測では、計測間隔5cm,空間分 解能10cmとした.従来計器を設置した位置での光フ ァイバ計測結果と従来計器での計測結果を比較した.

(1) 吹付けコンクリート内部の温度変化

温度計測用光ケーブルと熱電対の比較結果を図-3 に示す.初期の温度上昇は、セメントの水和反応によ るもので、その後、温度変化は収束した.両者間では 絶対値で最大3℃程度の差異がみられるものの、変化 の傾向はよく整合しているといえる.

(2) 鋼製支保工と吹付けコンクリートの応力

図-4, 図-5 に光ファイバ計測による鋼製支保工 と吹付けコンクリートの圧縮応力の時間変化を示す. 応力は, ひずみに各材料の弾性係数を乗じることで算 出した.時間経過とともに, 左肩での応力の増大が認 められた.また, 図-6, 図-7において, 11/5, 9:00 時点での応力値を縦軸に,トンネル周長を横軸とし て,応力分布を描画した.同図より,分布型光ファイ バ計測により,従来のポイント型計測では捉えられな かったトンネル全周のトレンドを把握し、ピーク値を 取りこぼすことなく計測できることが示された.

#### 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,高密度に 計測できることから,従来のポイント型計測では捉え られなかったピーク値を取りこぼすことなく計測で きた.ピーク値を確実に取得できることから,支保の 妥当性をより精度良く評価できるといえ,トンネル工 事の安全性・経済性の向上に貢献できると考えられ る.今後は,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.

#### 参考文献

1)黒川紗季, 光ファイバによるトンネル支保の応力計測に関す る室内検討, 第75回年次学術講演会概要集, 2020, 投稿中.

