

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とデータ可視化システムの開発

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

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、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、地山の崩壊や過大な変状に至ることが懸念される。そこで、トンネルの支保に発生する応力を多点で連続的に計測し、確実に地山状況を把握することを目的に、光ファイバを用いた支保応力計測技術の開発を進めている(図-1)。これまでに、現場適用試験から光ファイバによる計測値と従来計器の計測値がよく整合することを確認している¹⁾。今回、鋼製支保工に発生する応力を、インバートストラットを含む断面全周にわたり光ファイバを用いて計測した。また、得られた計測値を簡易に可視化できるシステムを開発したので報告する。

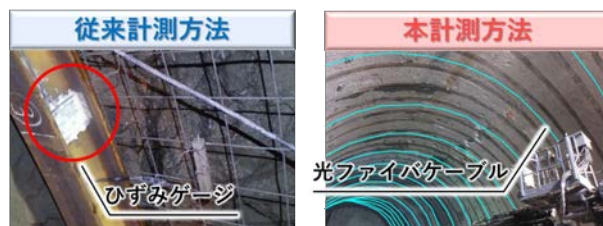


図-1 光ファイバによる応力計測イメージ

2. 試験概要

今回試験適用した断面は、全断面掘削工法による早期閉合断面であり、エポキシ系接着剤を用いて上下半の鋼製支保工およびインバートストラットにφ0.9mmの計測用光ファイバケーブルを貼り付け、スポンジテープを用いて養生した(写真-1)。ここで、光ファイバ計測は、ひずみだけではなく温度変化も捉える性質を持つため、これまでの試験施工と同様に温度専用の光ケーブルを併用して設置し、温度補正を行った¹⁾。

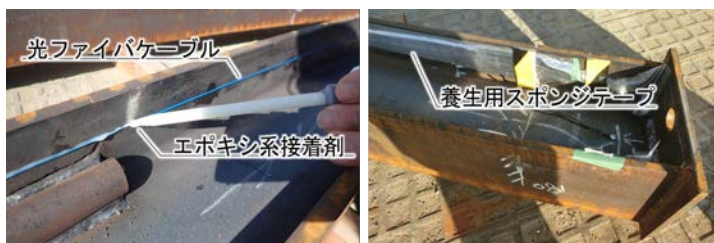


写真-1 光ファイバケーブル設置状況

光ファイバ計測は、従来多用されるブリルアン散乱光を用いた手法と比べ、高精度かつ高密度に計測可能なレイリー散乱光を用いた手法を採用し²⁾、計測データ間隔を5cm、分解能を10cmに設定し、1時間毎の連続計測を行った。また、図-2に示すように、上半に5点、インバートに3点のひずみゲージを設置し、光ファイバ計測との比較を行った。

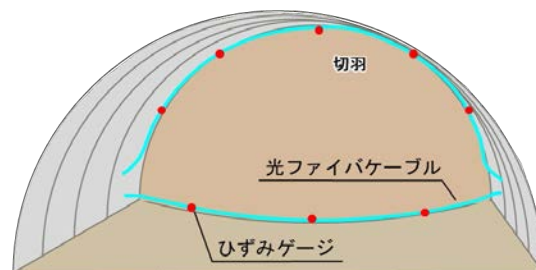


図-2 計測断面レイアウト

3. 試験結果

応力への換算は、ひずみゲージ、光ファイバともに得られたひずみに鋼材の弾性係数を乗じることで算出した。光ファイバの計測値から算出した応力分布を図-3に示す。全体的な応力レベルは小さいが、時間の経過に伴い応力が上昇し、上下半においては左側、インバートにおいては右側で、比較的大きな応力が発生していることが確認された。

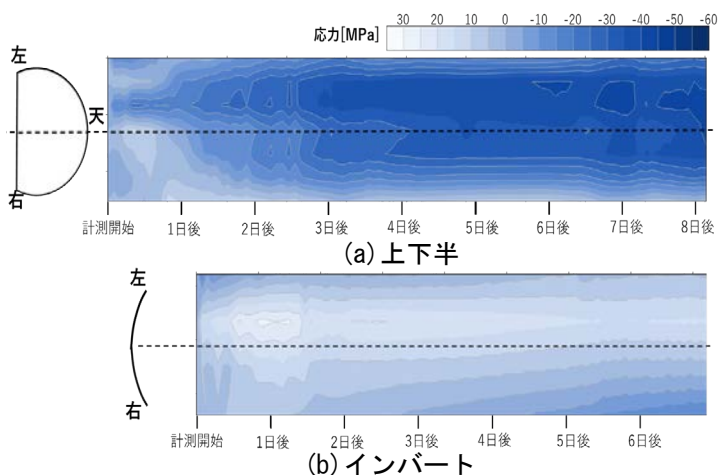


図-3 光ファイバ計測による応力分布

キーワード：分布型光ファイバ計測、支保応力計測、鋼製支保工

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 TEL042-489-8253

次に、掘削進行に伴う応力の増加が収束したと考えられる時点（上下半：約8日後、インバート：約7日後）での断面応力分布を図-4に示す。上下半・インバート両者ともにひずみゲージの値とよく整合し、光ファイバの精度の良さが確認された。特に上下半の結果において、ひずみゲージでは確認できない断面内の応力ピーク値を捉えることができた。なお、鋼材の降伏応力245MPaに対し、光ファイバにより計測された応力値は上下半の左肩部で最大約60MPaと、本断面における鋼製支保工の健全性もあわせて確認できた。

4. データ可視化システム

本技術を適用すれば、支保に発生する応力を詳細に把握することができ、より安全かつ合理的な支保パターンを選定など施工管理にフィードバックできることが期待される。しかしながら、そのためにはリアルタイムに計測結果を応力に換算し、結果を表示させる可視化システムが必要不可欠である。そこで、得られたひずみデータの温度補正および応力換算を自動で行う計算処理ソフトを製作した。さらに、支保に発生する応力状態を明確に把握するため、トンネル断面形状にあわせて応力分布を表示させるポスト処理機能も加えた。本システムを使用して、今回の試験施工の結果データを出力した例を図-5に示す。視覚的にわかりやすいコンター図から全体的な経時変化を把握でき、また、任意の日時における断面分布図からは詳細な応力分布を瞬時に把握することができる。さらに、事前に管理レベルなどの閾値を設定すると、閾値を超えた場合に赤色の表示にするアラート機能を加えた。今回、得られた光ファイバ計測データ(csvファイル)をインプットし、結果が出力されるまでに要した時間は約30秒であった。これにより、施工管理へ迅速なフィードバックが可能なりアルタイム性があることも確認された。

5. おわりに

光ファイバを用いた鋼製支保工の応力計測について、断面の連続的な応力分布を確認することができ、またデータ可視化システムを用いることで、リアルタイムに結果表示できることが示された。これにより、局所的な応力集中が発生した場合には、例えば一部にのみ補強ロックボルトを打設するなど、迅速かつ合理的な施工へのフィードバックが期待される。さらに、長期耐久性に優れる利点を活かし、施工時に設置した光ファイバを数十年の長期にわたり計測し続けることで、維持管理に活用できることも期待される。今後は実適用に向け更なるデータを取得するとともに、光ファイバを用いた吹付けコンクリートの応力計測への適用についても、あわせて検証を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 宮石ら, 光ファイバによるトンネル支保の連続的な応力計測および解析的検討, トンネル工学報告集, 第30巻, 1-5, 2020
- 2) 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

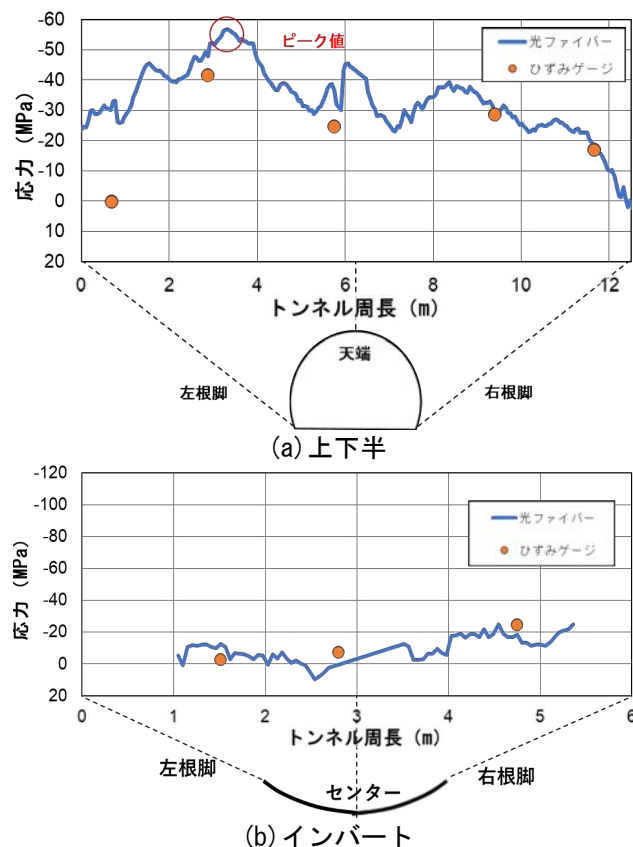


図-4 収束後の断面応力分布図

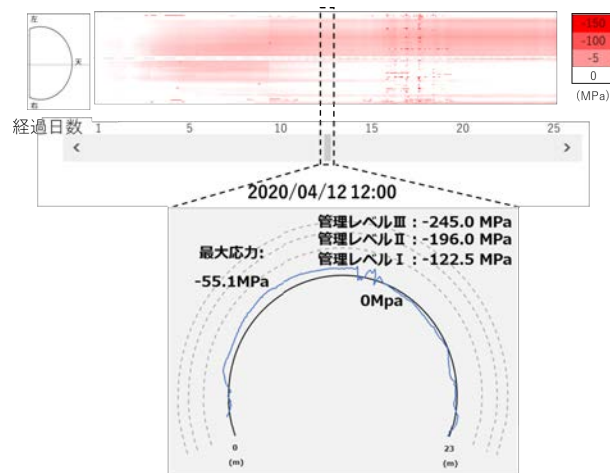


図-5 データ可視化システムの結果出力例