

光ファイバによるトンネル吹付けコンクリート応力計測に向けた室内検討

鹿島建設(株) 正会員 ○相緒春菜 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

現在の山岳トンネルの施工において、吹付けコンクリートの応力計測は掘削作業を中断する必要があるため、十分な頻度で実施されない。さらに従来の計測方法は、有効応力計を複数用いたポイント型計測であり、局所的な応力が発生した場合にその最大値を計測できないことが懸念される。そこで筆者らは、ケーブル沿い全ての箇所ですみと温度の計測が可能な分布型光ファイバ計測技術に着目し、光ファイバを用いた新たな吹付けコンクリート応力計測技術の開発に取り組んでいる(図-1)。本稿では、室内圧縮試験を行い、有効応力計と光ファイバの比較を通じて、本計測技術の適用性について検討したので報告する。

2. 試験概要

図-2 および写真-1 に室内で行った圧縮試験の全体概要を示す。断面 250mm×250mm、長さ 1,000mm のコンクリート試験体片側から突出させた PC 鋼材に引張力を与えることでコンクリートに圧縮力を与えた。試験体には光ファイバケーブルを埋設し、比較用にひずみゲージを試験体側面に 6 点、有効応力計を試験体内に 1 点設置した。なお、今回使用した光ファイバケーブルは被覆表面にエンボス加工が施されたもので、過去に実施した試験でひずみへの追従性が良好であることを確認している¹⁾(写真-2)。

荷重ステップは表-1 に示す通りで、圧縮方向に荷重を増加させるだけでなく、荷重と除荷を繰り返した。これは、実際のトンネルにおいて、下半掘削時に上半支保に発生する圧縮応力が減少する様子などを模擬したもので、光ファイバのコンクリートひずみへの追従性を詳細に確認することを目的としている。ステップごとに油圧ジャッキを用いて所定の荷重力をかけ、その荷重を維持した状態で各種計測を行った。

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た²⁾。また、計測ピッチは 1cm、分解能を 5cm に設定した。



図-1 光ファイバによる応力計測イメージ

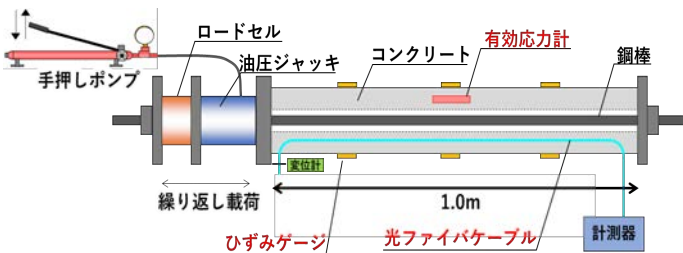


図-2 室内試験全体概要

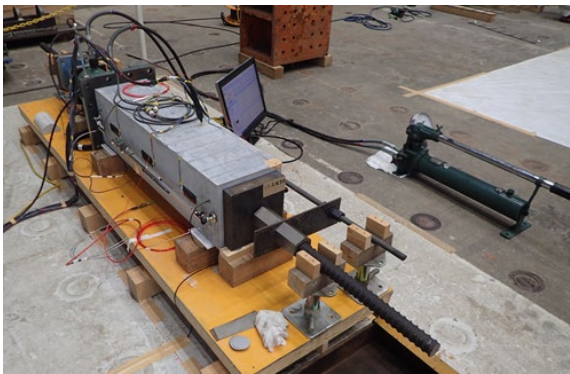


写真-1 試験状況



写真-2 有効応力計および光ファイバケーブル

表-1 試験ケース

ステップ	荷重力 (kN)	荷重モード	ステップ	荷重力 (kN)	荷重モード
1	150	荷重	6	500	荷重
2	120	除荷	7	300	除荷
3	300	荷重	8	570	荷重
4	200	除荷	9	300	除荷
5	10	除荷	10	650	除荷

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

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

3. 試験結果

光ファイバ計測により得られた周波数シフト（単位：GHz）と載荷荷重を図-3に示す。周波数シフトは光ファイバケーブルに発生するひずみ変化を表すが、各ステップの載荷力に応じて周波数シフトの増減が確認された。これより、光ファイバの繰り返し載荷への追従性が良好であることが確認された。また、周波数シフトからひずみへの換算は、光ファイバケーブル固有の換算係数（単位： $\mu\epsilon/\text{GHz}$ ）を事前に求める必要があるが、今回はひずみゲージの値を正としてフィッティングを行い換算係数を0.16に設定し、周波数シフトからひずみに換算した（図-4）。ここで、一様に300kNの載荷力で計測を行ったステップ3、7、9の光ファイバによる圧縮ひずみを図-5に示す。ステップ3に比べステップ7、9では圧縮ひずみが大きいことが確認された。これは繰り返し載荷による残留ひずみの影響と推察される。

続いて図-6に光ファイバのひずみから圧縮応力を算出した値と有効応力計の比較を示す。ここで、ひずみから応力の換算については一軸圧縮試験から求めたヤング率を用いて算出した。有効応力計では、ステップ3、7、9で一定の応力値を示していることが確認されたが、理論値（載荷力を断面積で除したもの）と比較して小さい値を示しており、載荷力が高いほど理論値との差は大きくなった。これは、有効応力計設置時の軸曲がりや繰り返し載荷による有効応力計とコンクリート界面の縁切れなどが原因と考えられる。一方、光ファイバはステップ6までは理論値と良く整合したが、ステップ7以降は前述した通り残留ひずみが影響し、載荷ステップが進むにつれ理論値よりも大きな値を示す結果となった。

4. おわりに

今回の試験から、圧縮および除荷方向の双方に対する光ファイバの追従性が非常に良好であることが確認された。一方、現場における応力評価の観点からは、有効応力計は載荷力が高いほど理論値との誤差が生じることに留意が必要であることが確認された。また、光ファイバにおいても残留ひずみの影響を考慮する必要があることが確認されたことにあわせ、実際のトンネルで計測する際には、吹付けコンクリートのヤング率の経時変化を考慮する必要もある。今後、現場試験を通してデータを取得し、さらなる検討を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 黒川ら、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
- 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

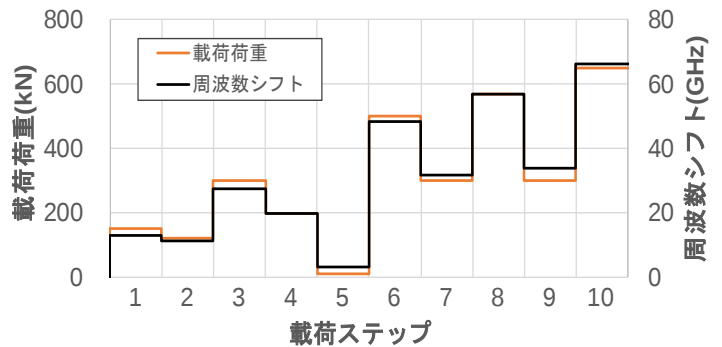


図-3 光ファイバ計測による周波数シフト

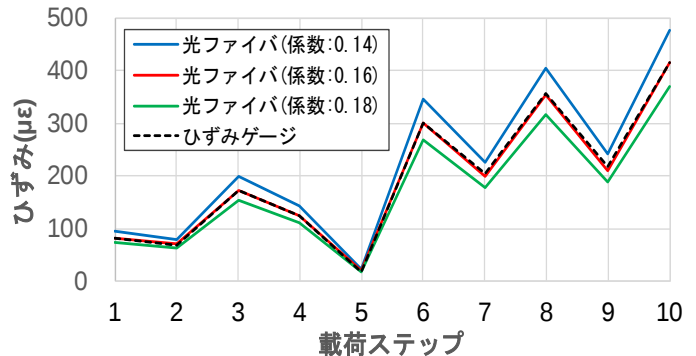


図-4 光ファイバ係数のフィッティング

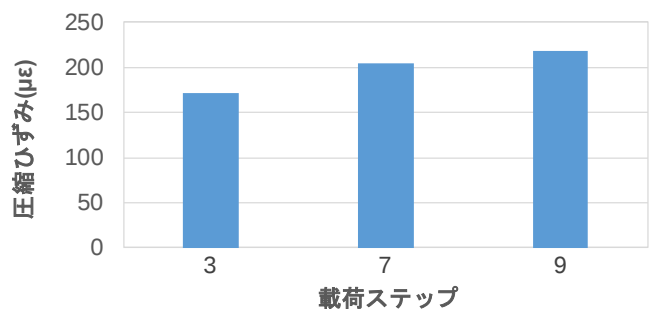


図-5 300kN 載荷におけるひずみの比較

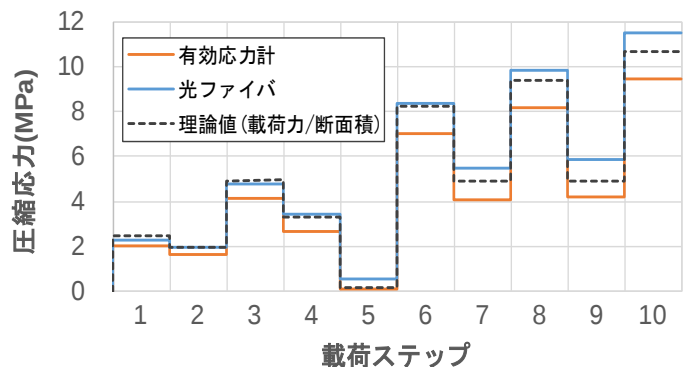


図-6 光ファイバと有効応力計の圧縮応力の比較