

山岳トンネル維持管理のための光ファイバによる地中変位計測

鹿島建設(株) 正会員 ○福島大介 黒川紗季 宮嶋保幸 野中隼人 石井雅子 今井道男

1. はじめに

分布型光ファイバ計測技術は、光ファイバケーブルに沿って連続的に温度やひずみ、振動などの物理変化を高精度に捉えることができ、従来の点型センサと比較し革新的な計測技術である。また、長期耐久性に優れているため、施工時のみでなく維持管理にも活用できることが期待される。本報では、山岳トンネル維持管理への光ファイバの適用性を検証するため、トンネル現場にて地中変位計測を試行したのでその結果を報告する。

2. 山岳トンネル維持管理への光ファイバの活用

山岳トンネルにおけるインバートは、建設中のみならず供用中のトンネルの長期的な安定性を確保する重要な役割を担うが、供用中にインバートの隆起や、これに伴う路盤・覆工の損傷など有害な現象が散見される。このような場合、対策工が実施されるが、供用中のトンネルでは実施できる調査に限界があるため、供用中における底盤部の状況を日々の中でモニタリングすることが非常に重要である。従来の電気計測では長期計測が困難であるのに対し、光ファイバを用いることで底盤部の状態を詳細に計測でき、また長期耐久性に優れることから供用後も継続的にモニタリングできることが期待される。山岳トンネル維持管理への光ファイバ計測イメージを図-1に示す。光ファイバ計測器は1台で数10kmの長距離計測が可能であり、さらに現状で最大32chの複数系統を計測することが可能である。そのため、広範囲に多数の計測線を設けることで費用対効果が高くなることも期待される。

3. 光ファイバを用いた地中変位計測

光ファイバの山岳トンネル維持管理への適用性を検討するため、実際のトンネル現場にて光ファイバによる地中変位計測を実施した。試験レイアウトを図-2に示す。深度13mを基点として光ファイバを設置し、比較のため同断面の1.2m離隔位置に電気式地中変位計を設置した。光ファイバ計測用ボーリング孔は地下水で満たされており、軽量の光ファイバケーブル単体では設置が困難であったため約1kgのおもりを用いて孔内に沈降させた。その後、光ファイバケーブルと岩盤を一体化させるため、セメントベントナイトを最下端より地下水と置き換えながら徐々に充填し、光ケーブルの設置を行った¹⁾。また、光ファイバ計測では深度方向に5cmピッチでデータを取得し、1~2か月に1度の頻度で岩盤内部の長期的な挙動を計測した。

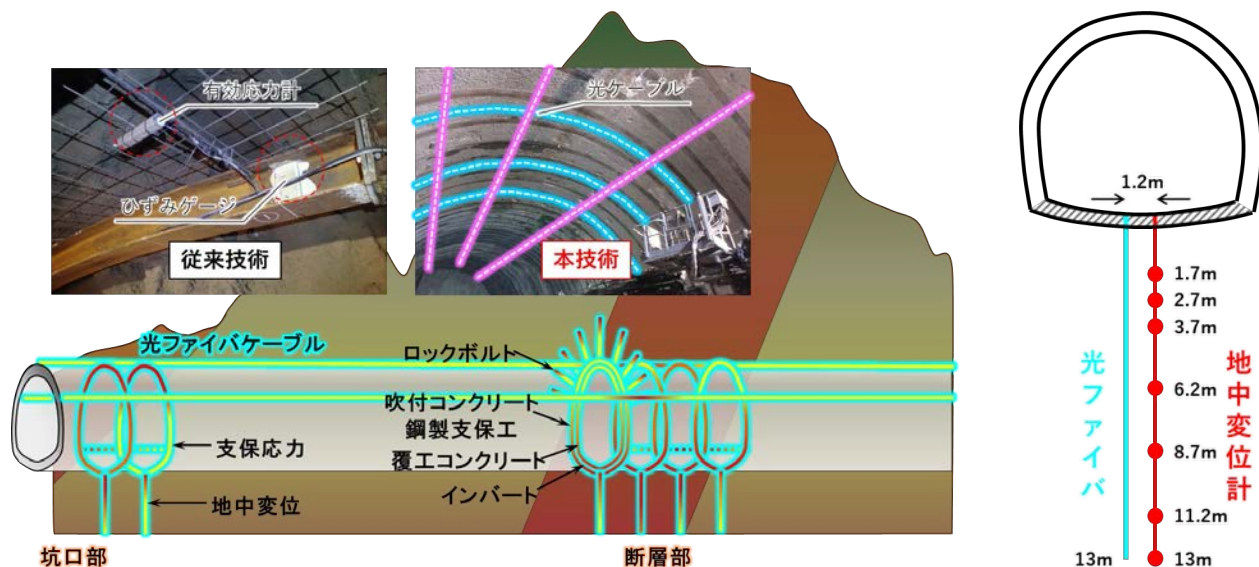


図-1 山岳トンネルへの光ファイバ計測技術の適用全体イメージ

図-2 試験レイアウト

キーワード：山岳トンネル、維持管理、インバート、盤ぶくれ、地中変位計測、光ファイバ

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 TEL042-485-1111

4. 試験結果

設置時の状態を初期値として計測した，2 か月後，3 か月後，5 か月後，7 か月後のひずみ分布結果を図-3に示す．深度3m付近で比較的大きな引張ひずみが発生していることが確認され，また5 か月後以降では深度5～6m付近においても引張ひずみが発生していることが確認された．続いて，3 か月後，5 か月後および7 か月後の計測結果について，光ファイバにより得られたひずみを距離方向に積分して変位に換算 ($\epsilon = \Delta L/L$) し，深度13mを基点とした変位グラフを電気式地中変位計のデータとあわせて図-4に示す．全体を通して非常に微小な変位量であり，0.1～0.2mmの計測誤差が含まれる電気式地中変位計について，特に3 か月後までのデータはばらつきが大きく，光ファイバとの比較は困難であった．一方で，5 か月後以降の結果においては，深度2～3m付近で比較的大きな変位（隆起方向）が発生している傾向が，光ファイバと電気式地中変位計の両者でよく整合した．光ファイバの計測精度については，既往の研究²⁾からひずみ計測誤差が数 $\mu\epsilon$ 程度 ($=0.0002\text{mm}$) であることが確認されている．設置時の軸ずれなど人的誤差が含まれたとしても，光ファイバの計測精度が非常に高いこと，電気式地中変位計の傾向とよく整合していることから，今回の光ファイバによる計測結果は妥当であると考えられる．

5. おわりに

今回の試験施工から，約7 か月間の長期にわたり光ファイバ計測が可能であることが確認された．また，従来のポイント型の地中変位計と比較し，光ファイバは深度方向にデータを高密度に取得できることから，岩盤内の挙動をより正確に把握できることが確認された．これにより，早期に路盤隆起等の不具合の予兆を検知し，合理的な対策工の設計が実現できる可能性も示唆されたと考える．今後は，引き続きデータを蓄積し，光ファイバの長期計測における計測精度の検証を進める所存である．さらに，トンネル縦断方向の計測など異なる計測項目についても試験施工を重ね，山岳トンネル維持管理への光ファイバ適用性について検証を進めていく．

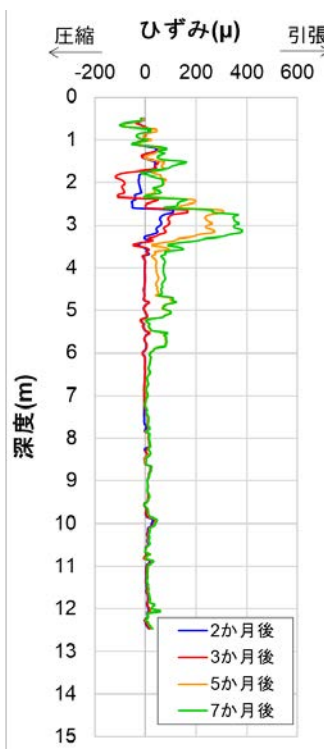


図-3 ひずみ分布結果

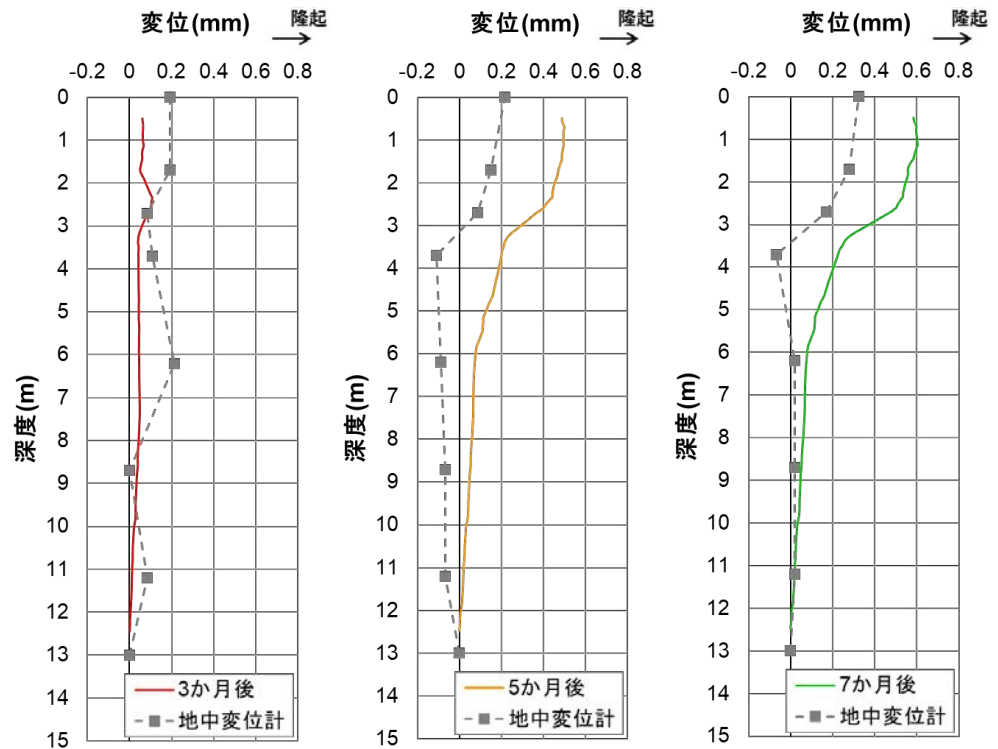


図-4 光ファイバと地中変位計の比較

参考文献

- 1) 黒川他，光ファイバを用いたらライフサイクル性能評価のうちダム基礎処理工における岩盤挙動計測技術の開発，第15回岩の力学国内シンポジウム，2020
- 2) 今井他，レイリー散乱光を用いた分布型光ファイバセンサの基礎検討，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会，2021