

光ファイバケーブルセンサによる切羽先行変位計測の現場実験

大成建設株式会社 正会員 ○坂井 一雄 赤木 俊文 石橋 勇紀
東亜エルメス株式会社 非会員 堀留 知徳 入佐 康平

1. はじめに

筆者らは、山岳トンネル施工時に切羽直近から設置できる計測器械で切羽先行変位を計測する手法を開発してきた¹⁾。この手法は、多点連続式傾斜計により切羽先行沈下を計測し、多点挿入式変位計により切羽前方地山の押出し変位を測定するものである。都市部山岳トンネルにおいて、トンネル周辺構造物や地上交通などの要因で、地表面から計測器械の設置が困難な状況でも、トンネル進行方向に連続的な計測が可能であるという特徴を有する。一方で、計測対象は地山中の鉛直方向変位とトンネル進行方向変位に限定され、横断面方向の水平変位は評価できない課題があった。そこで、多点でケーブル延長方向のひずみを計測することが可能な光ファイバケーブルセンサを複数本組み合わせる事により、鉛直変位と水平変位を同時に計測できる計測システムを開発した。本論文では、開発技術の概要と施工性検証を目的とした現場計測実験について報告する。

2. 光ファイバ測定方式と計測器械の構成

光ファイバケーブルセンサは、高いひずみ追従性と精度が得られる FBG (Fiber Bragg Grating) がケーブル全長に施された AGF (All Grating Fiber) を用い、測定方式は 1mm 以下という高い空間分解能を期待できる OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry)²⁾を採用した。光ファイバケーブルセンサは、既往の切羽先行沈下計測手法¹⁾と同様に切羽近傍から打設した長尺鋼管内に設置することを想定した(図-1)。AGF はグレーティング加工が施されるため、BOTDR などの分布型計測に用いられる光ファイバケーブルよりも高価となる。そこで計測完了後には回収し別区間の計測に供することができる設置形態を考案した。図-2 に計測器械の断面図を示す。AGF を貼り付けた PVC 平板を 4 組準備し、それらを角パイプの内側からパッカシステムと一緒に挿入する。計測時にはパッカを窒素ガスにて加圧拡張することで角パイプ内側に固定する。鋼管から充填材を介して伝わる地山の変形量を角パイプの鉛直および水平方向の変形量として、上下、左右の AGF のひずみ差から計算することができる。計測完了後にはパッカシステムを減圧することで、パッカシステムと平板を回収できる。この計測手法による精度を確認する目的で鋼管を除く 9m の試作機を製作し室内曲げ試験を実施したところ、両端の変位量が既知であるという条件下で 50mm の変位量に対し最大で 5mm (10%) の誤差であった³⁾。

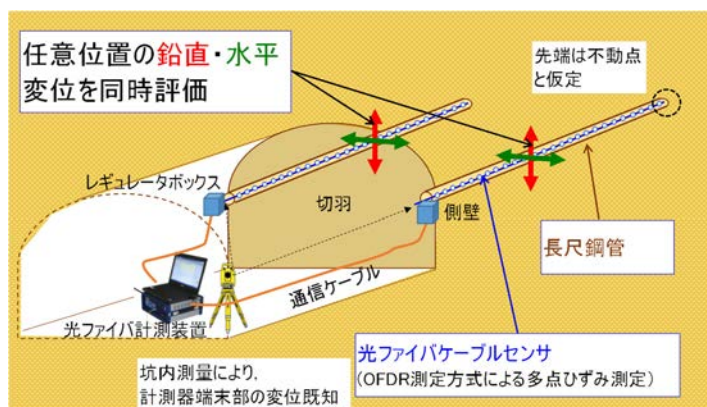


図-1 光ファイバケーブルセンサによる切羽先行変位計測手法概念図(滝室坂トンネル 実験レイアウト)

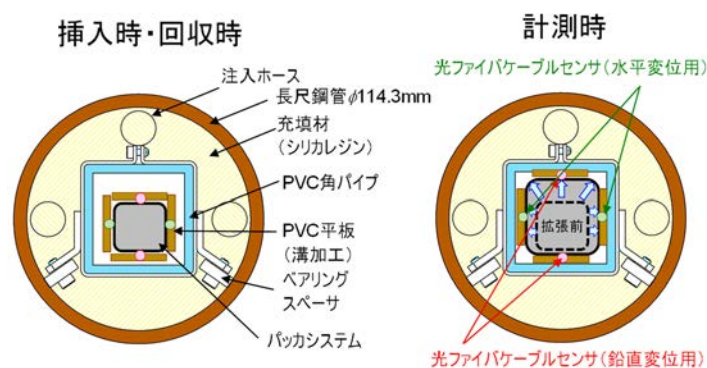


図-2 計測器械断面図

キーワード 山岳トンネル, 切羽先行変位計測, 光ファイバケーブルセンサ, FBG, OFDR

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1

大成建設株式会社 技術センター TEL045-814-7221

3. 現場計測実験

現場計測実験は熊本 57 号滝室坂トンネル東新設（二期）工事において実施した。計測器械の回収および再設置の施工性を確認するため、計測器設置断面は 1889 基（TD1936.7m）および 1905 基（TD1946.2m）の 2 断面とした。上半盤より 1.3m 上方の左右側壁に打設した長尺鋼管の中に計測器械を設置した。長尺鋼管の管口は計測器械を挿入または回収するため、計測期間中は坑内に露出させる必要性があり、計測器設置断面を片側 600mm ずつ拡幅した。また、長尺鋼管は断面拡幅形状と削岩機械の側壁への干渉を考慮して、トンネル外側に向かって 6° の角度で打設した（図-3）。光ファイバケーブルセンサは有効計測長を 12m とし、角パイプとパッカシステムを含む全長を切羽後方で組み立てたのち、切羽まで運搬し鋼管内へ挿入した。光ファイバ計測装置に接続するための通信ケーブル（図-1）は、パッカ圧力を一定に制御するレギュレータ装置と共に管口のレギュレータボックス内に収納し、切羽進行毎の計測時に引き出して計測装置と接続した。図-4 は、第 1 回目の計測で初期値取得後（切羽 1890 基）、4m 切羽が進行した時点（切羽 1894 基）での両側壁の変位計測結果である。先端部を変位量 0、管口部をトータルステーションの変位計測結果とすることで、光ファイバケーブルセンサによって得られた角パイプの初期値取得時点からの形状変化を変位量として評価した。計測区間では塊状かつ中硬質な凝灰角礫岩が分布していたため、沈下量と水平変位量は切羽前方で 4mm 以下であつた。

4. まとめ

光ファイバケーブルセンサによる切羽先行変位計測手法を開発し、現場計測実験により実測データを取得するとともに、計測器械の特徴である回収、転用が可能であることを確認した。本手法を過去に開発した挿入式多点変位計による切羽押し変位計測¹⁾と組み合わせれば、切羽前方の三次元的な地山挙動を把握することが可能である。本手法の活用により切羽前方の脆弱層の把握や地山物性の同定等に役立てたいと考えている。

- 参考文献** 1) 坂井他：都市部山岳トンネルにおける切羽先行変位を用いた計測管理手法,第 44 回岩盤工学,pp.92-97,2016.
2) 田中他：OFDR 方式を用いた FBG センサによる高位置分解能計測の適用性の検討,第 65 回年講,pp.363-364,2010.
3) 坂井他：光ファイバケーブルセンサによる切羽先行変位計測の基礎実験,第 77 回年講,III-151,2022.

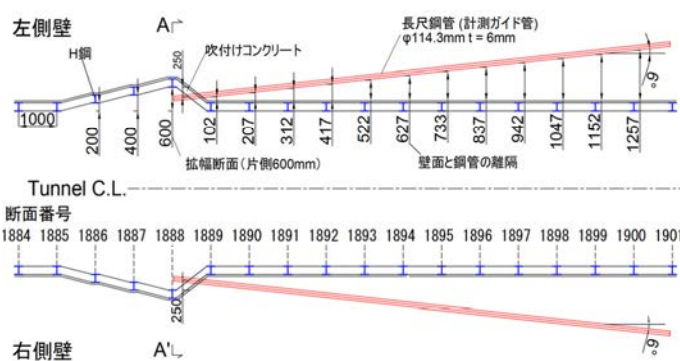


図-3 計測区間平面図(第1回計測時)

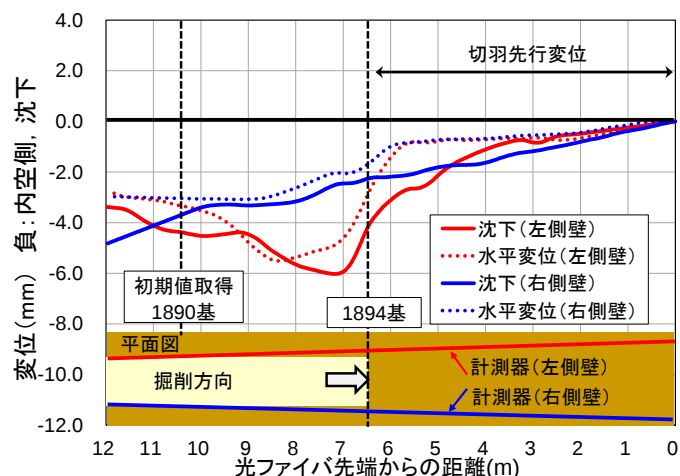


図-4 計測結果例(初期値取得後4m掘削時点)



図-5 計測器械の設置、回収状況