

光ファイバを用いた山岳トンネルにおける先行変位計測技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○小橋敬造 石井雅子 黒川紗季
栗原啓丞 宮嶋保幸 今井道男


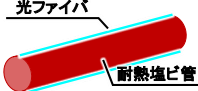
1. はじめに

山岳トンネル工事において、地山が未固結な坑口部や断層部では補助工法によって岩盤を補強するが、先受け工や切羽補強のための鏡ボルト等の配置密度や長さが不足した場合、切羽が崩落する可能性がある。このような場合、掘削に伴って発生する切羽前方の岩盤の変位（先行変位）が通常よりも大きくなることが知られており、掘削管理計測として先行変位計測が実施されることがある。今回、先行変位を高精度に計測する手法として、分布型光ファイバ計測技術¹⁾に着目し、適用性検証試験を実施したので、その結果について報告する。

2. 光ファイバによる先行変位計測

分布型光ファイバはセンサ沿いのひずみを捉えることができるため、光ファイバを塩ビ管の上下に配置することで、上下のひずみ差から鉛直方向のたわみが計算でき、先端からの相対沈下量を知ることができる。従来利用されている MEMS 技術を用いた加速度センサを内蔵する Shape Accel Array（略称 SAA）²⁾は、加速度センサを有する剛なセグメントを柔な節を介して直列に接続したケーブル状の傾斜計である。これを水平に設置した場合、セグメント毎の傾斜角度とセグメント長を掛け合わせた区間鉛直変位を累積することにより、計測器先端からの相対沈下量を知ることができる。光ファイバと SAA に関し、計測ピッチ・精度・価格について比較すると、SAA よりも光ファイバの方が全てにおいてが優位である（表-1）。

表-1 従来計器（SAA）と光ファイバ計測の比較

	SAA	光ファイバ
計測ピッチ	50cm	5cm
精度	±1.5mm	±0.2mm ³⁾
イメージ図		

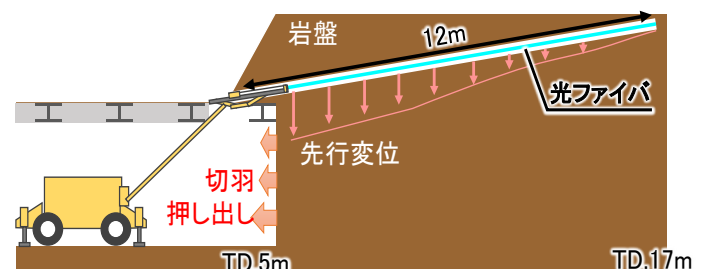


図-1 計測概要

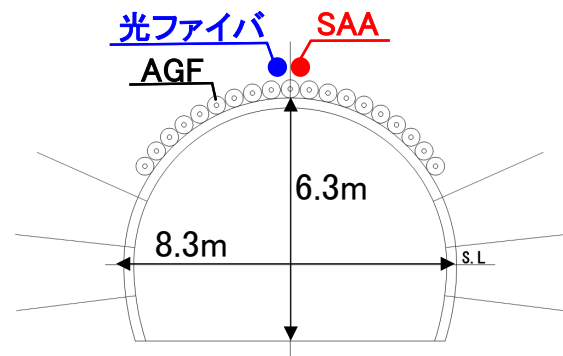


図-2 計器配置（トンネル横断面図）

3. 先行変位計測の検証試験

3.1 試験方法

光ファイバ計測技術がトンネル先行変位計測に適用可能か確認するため、実際のトンネルで検証試験を実施した。試験を実施したトンネル坑口部の地質は崖錐堆積物を占めており、近接構造物も存在するため、坑口部 50m 区間で長尺鋼管先受け工法が採用された。今回、当該区間にて図-1 に示すように切羽位置 TD.5m から前方 12m に打設した長尺先受け鋼管（以下、AGF 鋼管）内に光ファイバを設置し、掘削に伴う鋼管のたわみを計測することで先行変位を計測した。また、光ファイバの精度検証のため、SAA との比較を行った。本試験では、光ファイバ・SAA とともに計測器先端部（TD.17m 地点）を不動点と仮定して鉛直変位

キーワード 分布型光ファイバひずみ計測, 山岳トンネル, 先行変位計測

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

量を算出した。また、光ファイバは表-1に示すように塩ビ管の上下に1本ずつ光ファイバを貼り付けたものを使用した。本試験の光ファイバおよびSAAのレイアウトを図-2に示す。

光ファイバの設置方法を図-3に示す。AGF鋼管打設後、鋼管内に光ファイバを上下に貼り付けた塩ビ管を挿入し、充填材(シリカレジン)で鋼管と一体化させた。一方でSAAは撤去する必要があるため、予め充填材でAGF鋼管と一体化させた計測用ガイド管の中に挿入し、ガイド管内は充填を行わなかった。

3.2 試験結果

切羽がTD.9m, TD.14mまで掘削した時点の変位分布図を図-4に示す。光ファイバとSAAの挙動は概ね整合していることを確認できた。光ファイバによる先行変位は比較的安定的な挙動が確認できるが、SAAは局所的に屈曲するような挙動が見られる。これは、光ファイバはシリカレジンによって鋼管と一体化しているのに対し、SAAは鋼管と一体化していないため、掘削による振動などで部分的に計器のセグメントが動いた可能性などが考えられる。したがって、SAAよりも光ファイバの方がより安定した計測が可能であり、地山の挙動を正確に捉えられることを確認できた。

課題として、今回は先端を不動点として変位を算出したが、一般的に切羽前方2D(D:トンネル直径)から先行変位は発生すると言われており、今後、光ファイバ先行変位計測を長尺化する必要があると考えている。

4. 先行変位計測の利用方法

今回の光ファイバ計測により各切羽位置(TD11m, TD12m, TD13m)における変位特性曲線が得られ(図-5)、本現場での先行変位率は50~60%であることが確認でき、先行変位率を把握すれば、先行変位量から最終変位量を予測できると考える。また、切羽崩落の予兆として、先行変位率が大きく逸脱する挙動として検知し、予め補強のランクアップの判断に活用されることが期待できる。

5. まとめ

今回、現場試験を通じて先行変位計測への光ファイバ計測の適用性を確認した。また、光ファイバは耐久性に優れているため、先行変位計測後に、例えば坑口部の斜面安定性評価として長期モニタリングすることも可能である。今後、技術を確立するべく現場計測の実績を重ねていく予定である。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 坂井一雄，谷卓也，文村賢一，原靖浩，後藤真之助，原稔之：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回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，講演番号17，2016。
- 3) 今井ら：高精度光ファイバセンサを用いたひずみ・変位計測の検証実験，第75回年次学術講演会，CS9-28，2020。

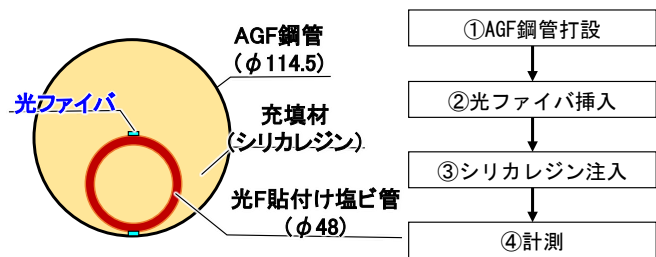
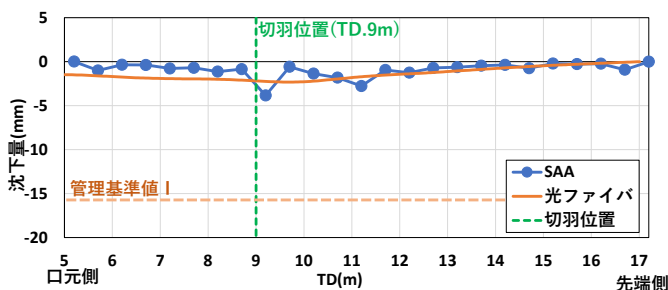
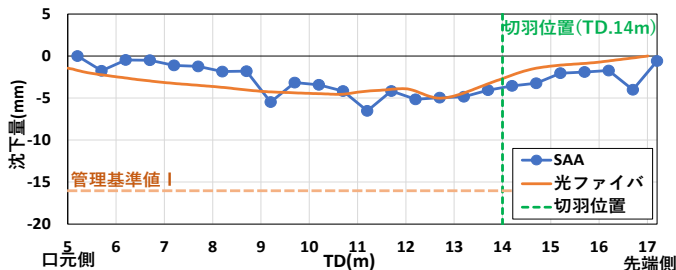


図-3 光ファイバの設置方法



(a) 切羽位置 TD. 9m 時点



(b) 切羽位置 TD. 14m 時点

図-4 変位分布図

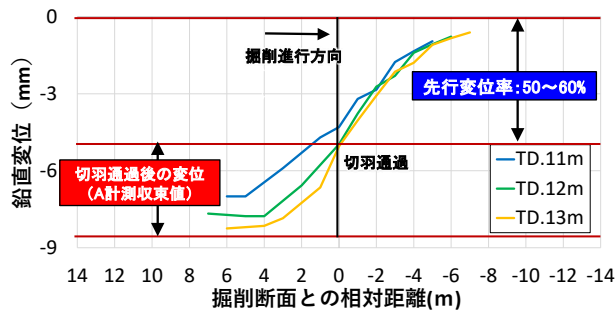


図-5 本計測で得られた変位特性曲線