

トンネル一次支保工応力計測における FBG 光ファイバセンサの有効性検証

飛島建設 技術研究所 正会員 ○田村 琢之
 飛島建設 技術研究所 正会員 熊谷 幸樹
 飛島建設 西日本土木支社 正会員 筒井 隆規

1. 目的

近年建設分野で適用されつつある FBG (Fiber Bragg Grating) 光ファイバセンサは、耐久性が高く高精度であることから、構造物の維持管理のための健全性モニタリングに適した計測技術である。しかしながらコンクリート構造物の内部にセンサを設置し応力を計測した事例はまだ少ない。そこで FBG 光ファイバセンサによるコンクリート内部応力計測の有効性を検証するため、県道山口宇部線道路改良(小郡トンネル) 工事において、工事期間中の約 15 ヶ月間にわたり一次支保工の応力計測を行った。本稿では計測概要と結果を報告する。

2. 計測方法

計測システム概要図を図 1 に、計測概要を表 1 に示す。計測システムは、一次支保工の計測断面に設置した FBG 光ファイバセンサと、トンネル坑外の現地計測室に設置した FSI ユニット(光測定器)、PC および伝送用光ファイバケーブルで構成した。センサのうち吹付けコンクリート計測に使用した FBG 埋設型ひずみ計(表 2 左欄)は、鋼製支保工(H-125x125x6.5x9)間に設置された溶接金網を利用し、コンクリート施工前に固定し設置した。また鋼製支保工の応力は、ウェブに接着したゲージ型の FBG ポイントセンサ(表 2 右欄)により計測した。計測開始から 47 日間は計測値の変化を詳細に把握するため 1 時間間隔で連続計測を行い、それ以降は 5 ヶ月程度の間隔で計測を行った。なお連続計測期間中は、計測値の評価のため、併せて設置した汎用の電気式埋設型ひずみ計(東横エルメス製 GS-10)とひずみゲージによる計測も行った。

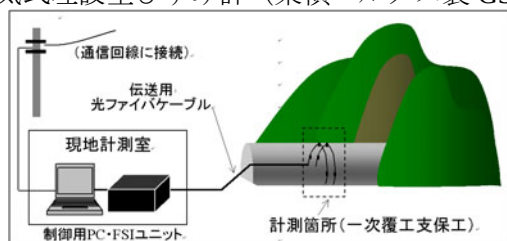


図 1 計測システム概要図

表 1 計測概要

計測期間	平成 19 年 5 月 12 日～平成 21 年 4 月現在継続中
計測位置	No.405+15.2m (終点側坑口より 62.1m) 1 断面
センサ位置	天端及び左右 SL 付近 計 3 箇所
使用センサ	吹付けコンクリート: FBG 埋設型ひずみ計 鋼製支保工: FBG ポイントセンサ(ゲージ型) (温度補正に FBG 温度センサを使用)

表 2 FBG 光ファイバセンサ仕様

FBG 埋設型ひずみ計(鋼製)		FBG ポイントセンサ(FRP 製)	
測定範囲	5000 μ	測定範囲	3000 μ
分解能	1 μ	分解能	1 μ
精度	10 μ	精度	5 μ
寸法	$\phi 17 \times 70\text{mm}$	寸法	25 x 250 x 0.5mm

3. 計測結果

連続計測 47 日間の応力の経時変化を図 2、図 3 に示す。応力はトンネル断面接線方向のひずみ計測値と弾性係数($E_c=3400\text{MPa}$ 、 $E_s=200\text{GPa}^1$)により求め、計測開始日の応力を初期値 0 MPa とした。経時変化からは、切羽の進行やインバートの掘削による明確な応力の変化は見られず、吹付けコンクリートが 0.5MPa、鋼製支保工応力が 35MPa の比較的小さな圧縮応力しか確認されなかったが、電気式計測値と光ファイバ計測値の差は計測誤差程度であり、傾向と大きさが概ね一致している。同一断面で実施した内空変位計測の 47 日目の変位が 4mm と小さくほぼ安定していることから、FBG 光ファイバセンサの計測値は適正であると考えられる。

次に、平成 20 年 8 月 21 日までの 15 ヶ月間の光ファイバ計測値の変化を図 4、5 に示す。応力計測値は吹付けコンクリート・鋼製支保工とも許容値に対し十分小さい値で収束している。一方 8 月 21 日は電気式計測器のデータも取得したが、図中の○印に示す複数の計測箇所では光ファイバ計測値と乖離した値が計測された。計測器設置箇所付近は図 6 のように湧水による湿潤状態が見られ、電気式計測器や信号ケーブルは長期間湧水に

キーワード 光ファイバセンサ、FBG、コンクリート、計測、健全性モニタリング

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社技術研究所 TEL 04-7198-7572

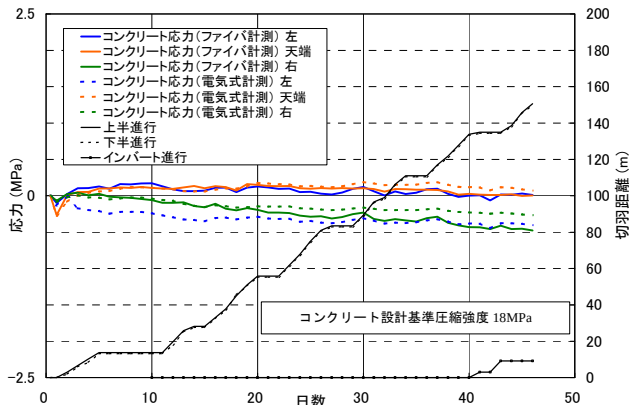


図2 吹付けコンクリート応力の経時変化 (H19.5.12~6.27)

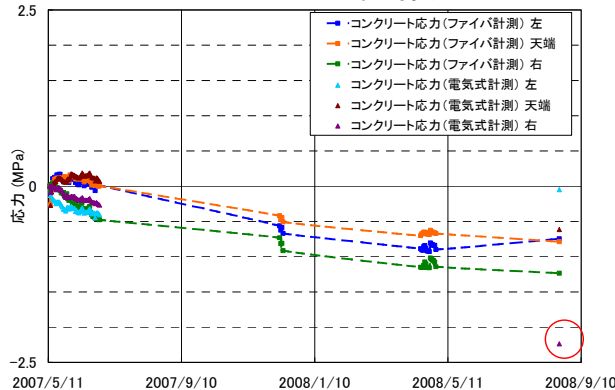


図4 吹付けコンクリート応力の経時変化 (H19.5~H20.8)

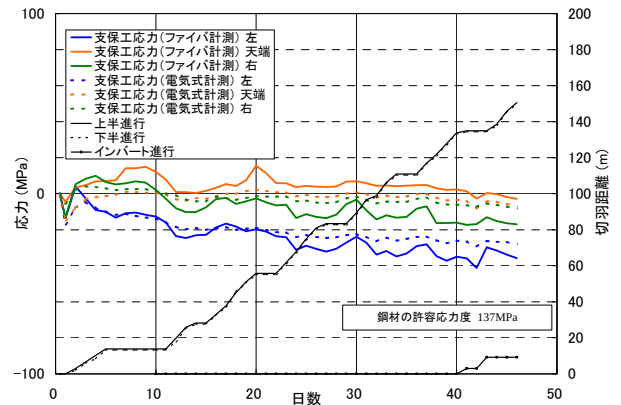


図3 鋼製支保工応力の経時変化 (H19.5.12~6.27)

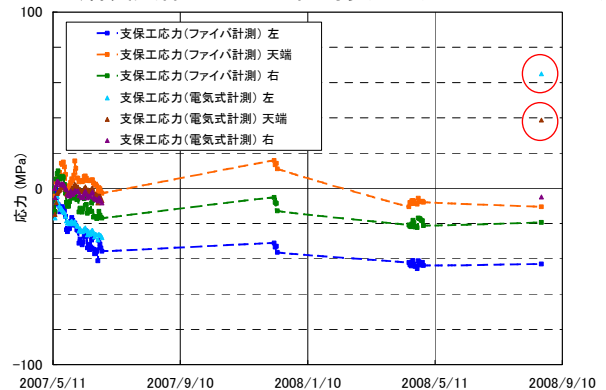


図5 鋼製支保工応力の経時変化 (H19.5~H20.8)

接触した結果、絶縁不良により抵抗値が変化し、計測値が不適正な値を示したと考えられる。これに対しFBG光ファイバセンサはセンサ本体であるFBG、信号ケーブルともガラス製の光ファイバであり、計測データはFSIユニットから光信号により送受信されるため、絶縁不良によるデータの乱れが発生する可能性はない。以上の計測結果より、FBG光ファイバセンサは既存の電気式計測と同様にコンクリート内部の応力を計測することが可能であり、また湧水の存在等、計測器にとって厳しい環境でも1年間以上にわたりその機能を維持することが明らかとなった。

4. おわりに

本稿では、FBG光ファイバセンサが、計測環境が厳しいトンネルの一次支保工応力計測に有効であることを示した。また本技術は多点計測および長距離信号伝送が可能であるといった特長²⁾により、大規模構造物や点在する構造物群でも一つのシステムで計測することができるため、さまざまな構造物の計測に対し適用可能である。例えばトンネルの場合でも、二次覆工コンクリート施工時に多数のFBG埋設型ひずみ計を埋設しておき、センサ設置箇所から離れたトンネル外まで伝送ケーブルを敷設し、トンネル完成後定期的に応力を計測することにより、長期の供用期間における地山の変化や近接施工による応力変化に対し、構造物の残存許容応力を健全性の指標の一つとして正確に捉えることができる。またその結果は対策工や近接施工の設計・施工管理に適切に反映させることができると考えられる。

謝辞：現地適用にあたり、山口県山口土木建築事務所より適用場所をご提供いただきました。この場を借りまして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，pp.323-325，2008。
- 2) 田村琢之・熊谷幸樹・蛭牟田修・平田嘉之・峯尾卓光・塩谷智基：TDM方式FBG光ファイバ傾斜計の開発・検証と土留め計測への現地適用結果について，地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2008，pp.137-142，2008。

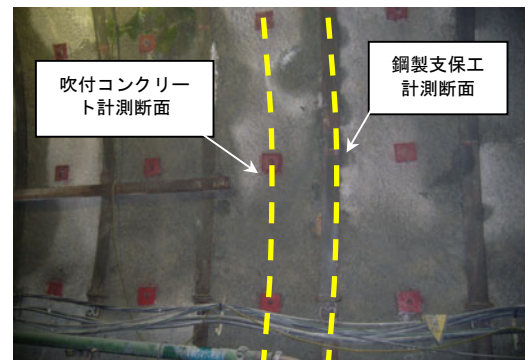


図6 計測断面の状況 (断面左側)