

大笹生トンネルにおける覆工コンクリートの長期ひずみ計測

Long-term Strain Monitoring of Lining Concrete in the OOZASOU Tunnel Using FBG Fiber Optic Sensors

寺島佳宏^{*1} 熊谷幸樹^{*2} 松元和伸^{*3} 田村琢之^{*4}
Yoshihiro Terashima Koki Kumagai Kazunobu Matsumoto Takuyuki Tamura

【キーワード】 トンネル 覆工コンクリート 光ファイバセンサ FBG ひずみ

1. はじめに

トンネル工事では、通常、掘削・支保工設置の施工サイクルを進める中で、内空変位や応力、地中変位などの計測工を実施し、支保工の安定状況を確認する。そのため、計測工は情報化施工の重要な工種として位置づけられている。これに対し完成後は、管理者により定期的に点検が行われるが、地山の性状の変化により覆工コンクリートにひび割れなどの変状が発生した場合には、変状の進行を観察することを目的として、新規に計測が行なわれることがある。トンネルなどの建設構造物は数十年の長期間にわたって供用されるため、計測に用いるセンサは長期間使用可能な耐久性を持つことが望ましい。さらに、耐久性が高いセンサを用いて、完成後初期から計測を行えば、変状発生時の状況とその経過を適切に把握することができる。

本報では、施工中に地山の変状が発生したトンネル工事において、対策工の有効性と完成後の変状の有無の確認を目的として、光ファイバセンサを用いて実施した覆工コンクリートのひずみ計測結果を報告する。

2. 工事概要・計測概要

2.1 工事概要と計測の目的

大笹生トンネルは、東北中央自動車道（福島JCT～米沢IC間）のうち、福島市郊外に位置する山岳トンネルであり、平成23年3月に竣工している。トンネル工事の概要は表-1の通りである。大笹生トンネルでは、トンネル掘削時に2つの区間で塑性圧を起因とする地山や支保の変状が発生し、覆工コンクリート施工後も、後荷によるひび割れが施工中に複数箇所が発生した。そこで、塑

表-1 工事概要

工事名	東北中央自動車道大笹生トンネル工事
発注者	国土交通省 東北地方整備局
工事場所	福島県福島市大笹生地内
工期	平成19年3月20日～平成23年2月28日
トンネル延長	2,089m (掘削断面積 77m ²)

性圧で覆工内面に生ずる曲げ引張りによる損傷の発生を抑制するため、鋼繊維補強コンクリートで覆工コンクリートを再打設した¹⁾。再打設に際し、最初に打設した覆工コンクリートで、天端付近に亀甲状のひび割れが発生した覆工スパンにおいて、FBG (Fiber Bragg Grating) 光ファイバセンサを円周方向に1断面設置し、長期的な変状発生の有無を確認するための計測を行っている。

2.2 計測概要

計測概要は、以下の通りである。

- 計測期間：平成22年12月～平成25年3月（予定）
- 計測断面位置：No.26+10m（坑口から約700m）
- 計測断面数：1断面
- ひずみ計測箇所：天端、側壁および45°の5箇所
- 使用センサ：ひずみセンサおよび温度センサ

変状発生時に、外圧による曲げモーメントの有無を確認できるように、各計測箇所の内空側と地山側の2点に、センサを設置している。設置位置は、内空側は表面から10cm、地山側は30cmの深さである。計測に用いたFBG光ファイバセンサは、センサ素子と伝送ケーブルがガラス製で耐久性が高いため、長期間の計測が可能である。また、計測に光信号を用いるため、電気式計測のような、浸入した水分の接触による絶縁抵抗値の低下に起因する計測値の異常が発生せず、トンネルでの計測に有利である²⁾。表-2、3にセンサの仕様を示す。

表-2 FBG埋設型ひずみセンサの仕様

測定範囲	±1000μ
分解能	1.0μ
許容動作温度	-30～+70°C
寸法	φ3mm (ロッド状)



外観

表-3 FBG埋設型温度センサの仕様

測定範囲	-20～+70°C
分解能	0.1°C
許容動作温度	-20～+70°C
寸法	200×65×6.25mm



外観

1. 東北支店 郡山浄水場作業所 2. 建設事業本部 企画統括部 トンネルグループ
3. 建設事業本部 技術研究所 第一研究室 4. 建設事業本部 エンジニアリング事業推進部 インフラ・防災グループ

3. 計測結果

コンクリート打設後の工事期間中と、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の後の3月29日の計測結果を図-1に示す。打設後初期の温度変化の影響を避けるため、打設7日後(平成22年12月7日)の計測値を初期値とし、別途供試体試験から求めた弾性係数をひずみに乗じて、応力度を求めた。なお、センサの近傍に、電気式ひずみ計とサーミスタ式温度センサを設置し、計測値の整合性を確認した。コンクリートの温度は、地山側の天端と45°の位置(温度2-Out, 3-Out, 4-Out)ではほとんど変化がないが、内空側の全てと地山側の側壁部(温度1-Outと5-Out)で、10~15°Cの低下が見られる。覆工コンクリートの内空側とトンネルの下部は外気の影響を受けやすいことから、この温度変化は外気温の変化に伴うものと考えられる。また計測値は、ロガー付きサーミスタ式温度センサの計測結果と良く整合している。

一方応力は、若干のデータの欠損を除き、継続的にデータが得られている。計測開始当初の10日間は、圧縮側の応力を示すデータが多いが、その後大きな変化はなく、若干の変動を伴いながら、一定の値に収束している。また、測点4-Outと4-Inでは、電気式ひずみ計の計測値とおおよそ整合している。計測値は、管理値として定めた注意レベルの許容値(引張側0.5N/mm², 圧縮側4.0N/mm²)の範囲内にほぼ収まっており、外力の発生による応力の変化や、大きな増加・減少傾向も見られない。

また、東北地方太平洋沖地震の発生を受けて実施した3月29日の計測結果では、コンクリート温度には変化が

なく、応力に乾燥収縮の影響と思われるわずかな変化が確認されるが、地震等の外力の影響による急激な応力の変化は見られない。計測時の目視確認でも、計測断面付近の覆工表面には、ひび割れ等の異常は観察されなかったことから、地震の影響はなかったと考えられる。

4. おわりに

FBG光ファイバセンサを用いた覆工コンクリートの計測により、工事期間中から竣工後の東北地方太平洋沖地震後にわたって、大きな応力は発生していないことを確認した。目視でもひび割れは観察されなかったことから、対策工は有効であり、また地震の影響等による変状も発生していないと考えられる。今後、6ヶ月毎の定期計測で応力の変化を計測し、対策工の有効性と変状の有無を確認していく所存である。

謝辞: 覆工の長期ひずみ計測の実施にあたっては、国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所のご指導・ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 吉田良勝, 植岡民幸, 寺島佳宏, 熊谷幸樹: 強変質地山における支保の変状対策と覆工補強, トンネルと地下 Vol.42, No.2, pp.7-18, 2011.
- 2) 田村琢之, 熊谷幸樹, 筒井隆規: 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, 土木学会第64回年次学術講演会概要集VI-152, pp.303-304, 2009.

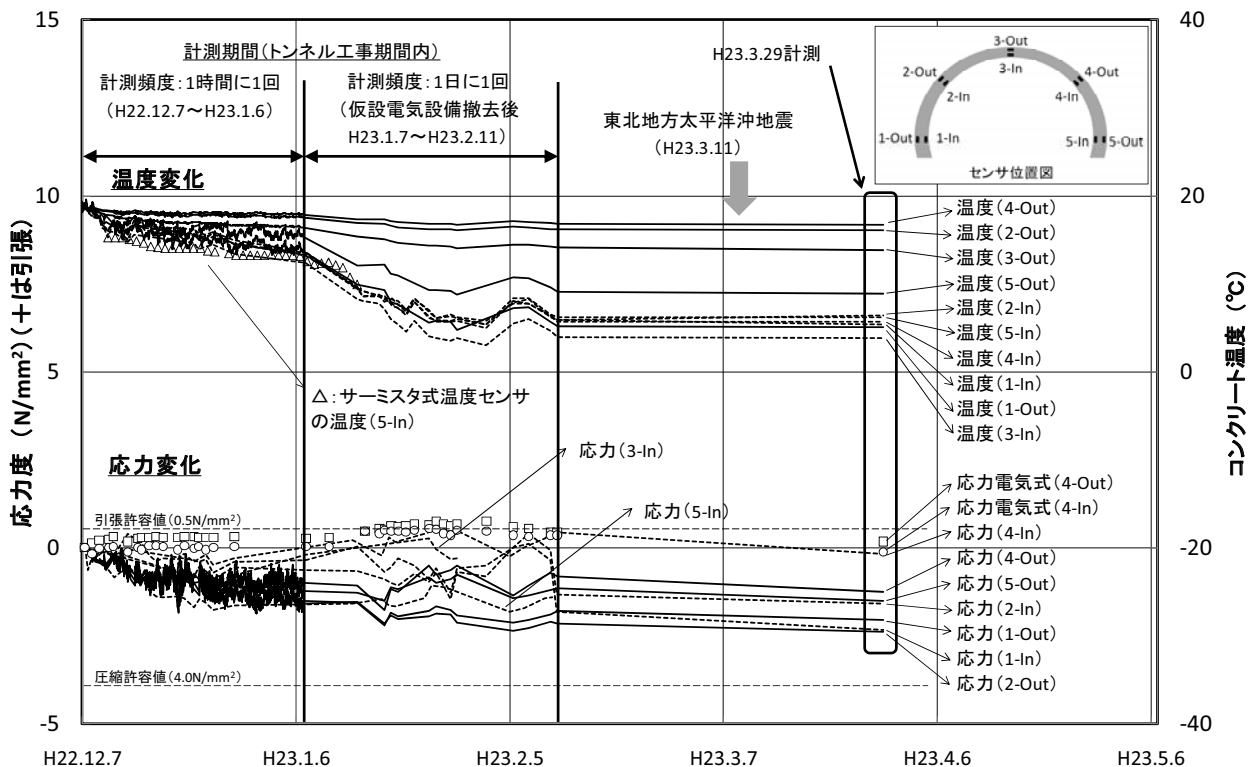


図-1 覆工コンクリートの応力・温度計測値の推移(平成22年12月7日~平成23年3月29日)