

CFRP スtrandシートで補強した農業用水路トンネルの機能監視手法 Monitoring method of agricultural water-way tunnel reinforced with CFRP strand sheet

○鈴木宣暁*¹, 小森篤也*¹, 森充広*², 堀越直樹*³, 石井将幸*⁴, 上野和広*⁴,
Nobuaki SUZUKI, Atsuya KOMORI, Mitsuhiro MORI, Naoki HORIKOSHI, Masayuki ISHI,
and Kazuhiro UENO

1. はじめに

硬化した炭素繊維束をすだれ状に加工した CFRP スtrandシート (以下, CFSS という) を補強材に, 耐摩耗性が考慮されたセラミック骨材混合エポキシ樹脂モルタル (以下, エポキシモルタルという) を結合材に用いた補強工法 (以下, 本補強法という) は, 森ら¹⁾の研究によりトンネル模型実験などで評価されてきた。ここで, 補強断面を写真-1 に示す。

本研究は, 東北農政局管内の水路トンネルにて, 本補強法を実施した際, 施工後の機能監視方法の検討として, 光ファイバ型センサ (以下, FBG センサという) を用い, CFSS 補強層の事後モニタリングを目的とした。また, CFSS 補強層に発生するひずみの経時変化から, 本補強法の健全性についても併せて評価した。

2. 評価方法

本トンネルは 2r 標準馬てい形であり, 本補強法は抗口 150m 地点から 15m の範囲で実施した。FBG センサは CFSS にトンネル軸直角方向にあらかじめ設置し, エポキシモルタルで施工断面内に埋設設置した。ここで, FBG センサの設置状況を写真-2 に示す。図-1 に FBG センサによるひずみ測定箇所を示す。FBG センサは, 1 本のゲージ設置で任意の地点のひずみ測定点を設けることができ今回は, 1 本のゲージに 5 点の測定点を設け, トンネル軸方向直角の



写真-1 補強断面
Photo-1 Cross section of reinforced layer



写真-2 FBG センサ設置状況
Photo-2 installation status of FBG sensor

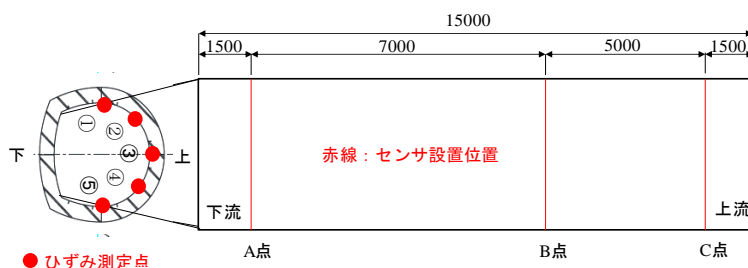


図-1 FBG センサ設置箇所
Figure-1 Location of installations for FBG sensor

1 日鉄ケミカル&マテリアル (株) NIPPON SEEL Chemical and Material Co., LTD. *2 農研機構, Institute for Rural Engineering, NARO *3 オリエンタル白石 (株) Oriental Shiraishi Corporation, *4 島根大学 Shimane University.

キーワード: 炭素繊維, 光ファイバ型センサ, 機能監視

施工範囲に3か所設置し、計15点のひずみ変化を測定した。測定は、施工直後を0日とし、146日後、361日後に実施した。FBGセンサは接着型ひずみゲージに比して長期の測定環境にも対応することも併せて確認する。

3. 試験結果

測定から得られたFBGピーク波長 λ と測定時の温度 T を用いて、以下のFBG素線の温度影響基本式(1)～(2)から、機械ひずみ ε_{mech} を算出した。

$$\varepsilon_{mech} = \frac{1 \times 10^6}{F_G} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} - \varepsilon_{TO} \quad (1) \quad \varepsilon_{TO} = \left(\frac{C_1}{F_G} + CTE_S - C_2 \right) \cdot \Delta T \quad (2)$$

ここで、 F_G :ゲージファクタ ($F_G = 0.796$), $\Delta\lambda$: FBGピーク波長の変化量 ($= \lambda - \lambda_0$) [nm], λ_0 : FBGピーク波長の初期値 [nm], C_1 : 光ファイバ屈折率の温度変化による影響 ($C_1 = 6.156 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$), C_2 : FBGの線膨張係数 ($C_2 = 0.7 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$), ε_{mech} : 機械ひずみ ($\mu\text{m}/\text{m}$), ε_{TO} : 温度変化による全影響 ($\mu\text{m}/\text{m}$), CTE_S : 試験体の線膨張係数 ($\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$), ΔT : 温度変化 ($^\circ\text{C}$)とする。

ここで測定結果の一覧を表-1に示す。初期値と比較して、146日後および361日後のひずみは殆どが圧縮側に測定され、セラミック混合エポキシ樹脂の収縮と考えられる圧縮ひずみとして測定された。また、すべての測定にて、環境温度は外部設置型FBG型温度センサ(環境気温)を用い測定しており、補強部の温度ではないため正確な駆体の温度を測定できていなかったことによるとも考えられる。そのため、FBG型温度センサの設置方法は今後の課題としたい。しかしながら、今回得られたひずみは、実物大供試体を用いた載荷試験²⁾により得られたCFSS剥離時の発生ひずみ $1,500 \sim 2,500 \times 10^{-6}$ に比して非常に小さく、剥離損傷などによるひずみ増大や解放は確認されていない。これらのことから、施工1年後における本補強法の健全性が確認された。そして、打音検査においても、浮き等の変状は確認されなかった。

表-1 測定結果の一覧

Table-1 Measurement results

経過日数	測定箇所	ひずみ測定結果 ($\times 10^{-6}$)				
		①	②	③	④	⑤
0日 (初期値)	A (下流側)	0	0	0	0	0
	B (中心)	0	0	0	0	0
	C (上流側)	0	0	0	0	0
146日	A (下流側)	-97	-55	-81	-61	-70
	B (中心)	-125	-98	-93	-108	-82
	C (上流側)	-86	-85	-103	-82	-81
361日	A (下流側)	-43	14	-20	-5	-14
	B (中心)	-84	-59	-72	-82	-29
	C (上流側)	-60	-81	-110	-73	-65

4. まとめ

FBGセンサを用いたひずみ測定の結果から、実際のトンネルで施工した本工法の1年後の健全性が確認された。初期のひずみ計測を行うタイミングと駆体の温度計測方法を検討することで、測定精度はより向上すると考えられる。今回実施したFBGセンサを用いた本補強における機能監視方法は、水路トンネルという環境下において長期間モニタリングできる有効な手法であることが確認された。今後も継続してデータを蓄積していきたい。

謝辞：本研究は、本研究は官民連携新技術研究開発事業新規研究開発課題「無筋コンクリート水路トンネル覆工に最適化した補強工法の開発」によって実施しました。

参考文献：1)森ら、空洞を考慮したコンクリート水路トンネルの補強検討，H29農業農村工学会大会講演会講演要旨集pp.564-565, 2)堀越ら、ひび割れを生じた水路トンネルに対する補強効果，2019年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集，4-31