

長大構造物の健全性監視のための FBG-BOTDR 計測システムの開発

飛島建設 技術研究所 正会員 ○熊谷 幸樹
 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 上明戸 昇
 アドバンテスト 群馬 R&D センタ 松村 尊

1. はじめに

新規の建設投資が縮小し、橋梁、トンネル、護岸・堤防、ライフライン施設などの社会基盤施設の老朽化が顕在化する中で、既設の構造物を適切に維持管理して延命化させることが重要となってきた。また、我が国は豪雨や地震などによる災害が多いことから、社会基盤施設の的確な維持管理を行うためには、施設の健全性を迅速にかつ正確に把握する必要がある。本稿では、トンネルや護岸・堤防などの長大構造物の維持管理を効率的に行うための計測監視技術として、耐久性、長距離伝送性および電磁場における無誘導性に優れた光ファイバセンシング技術に着目し、高精度で多点計測が可能な TDM(Time Division Multiplexing)方式 FBG¹⁾ と連続的にひずみ分布の計測が可能な BOTDR²⁾を融合させた光ファイバ計測システム（以下、FBG-BOTDR 計測システムと記す。）の開発に向けた基礎実験の概要とその結果について述べる。

2. FBG-BOTDR 計測システムの概要

表 1 に示すように、TDM 方式 FBG では最大 9km の範囲で 1 本の光ファイバ上に書き込まれた最大 100 箇所の FBG において、 $\pm 5 \mu$ 以内の測定精度でひずみ計測ができる。一方、BOTDR では測定精度は $\pm 100 \mu$ 以内と FBG よりも劣るが、最大 80km の範囲で、光パルスの伝達を目的として使用される通常の光ファイバ全線のひずみ分布を計測することができる。本研究では、精度よく多点計測ができる TDM 方式 FBG の光ファイバ計測システムに BOTDR を融合させることによって、BOTDR のみでは実現不可能であった FBG と同等精度でのひずみ分布計測を可能とする、FBG-BOTDR 計測システムを開発することを目的としている。図 1 には、FBG が書き込まれた 1 本の光ファイバに対して FBG 光測定器と BOTDR 光測定器の両方を接続し、光スイッチにより操作を切り替えるタイプの FBG-BOTDR 計測システムの概念図を示す。

表 1 TDM 方式 FBG と BOTDR の特徴

項目	TDM方式FBG	BOTDR
測定原理	FBGに生じるひずみを反射波長の変化で計測する	ブリルアン散乱光の波長の変化でひずみを計測する
測定精度	$\pm 5 \mu$ 未満 ○	$\pm 100 \mu$ 未満 △
伝送距離	最大9km △	最大80km ○
測定ポイント	最大100点:ポイント計測 △	最大100,000点:連続計測 ○
計測頻度	最大500Hz(1点の場合) ○	数分 △
計測対象	ひずみ, 温度, その他の物理量	ひずみ, 変位

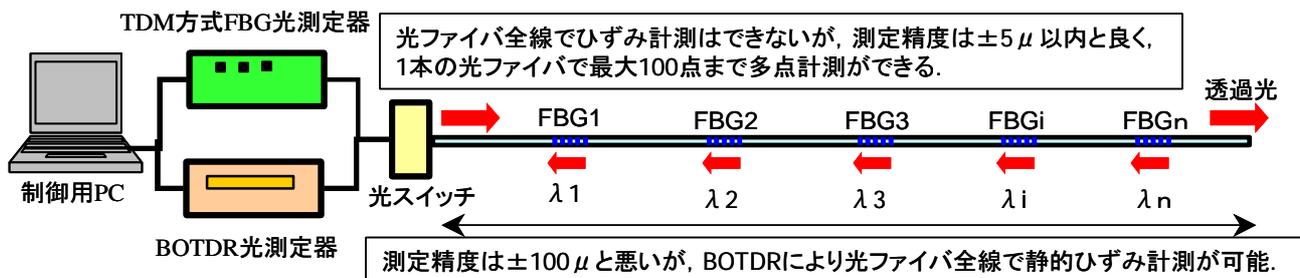


図 1 FBG-BOTDR 計測システムの概念図

キーワード FBG, BOTDR, 維持管理, 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

3. 基礎実験の概要と実験結果

3.1 基礎実験の概要

図2に基礎実験の計測システムを示す。実験は、光ファイバ上のFBGの存在がBOTDRによるひずみ測定の精度に及ぼす影響の有無を把握するために実施した。計測システムは、BOTDR光測定器にFBGが1個配置された長さ10mの光ファイバを接続し、その末端に通信用光ファイバ(4芯)を接続して構成した。基礎実験は、測定距離約31mから32mの1m区間で光ファイバに一定のひずみを付与して行った。実験ケースは、FBGが配置された光ファイバがない場合(Case1)とある場合(Case2)である。使用したBOTDR光測定器は、アドバンテスト社製N8510である。



図2 基礎実験における計測システムの概要

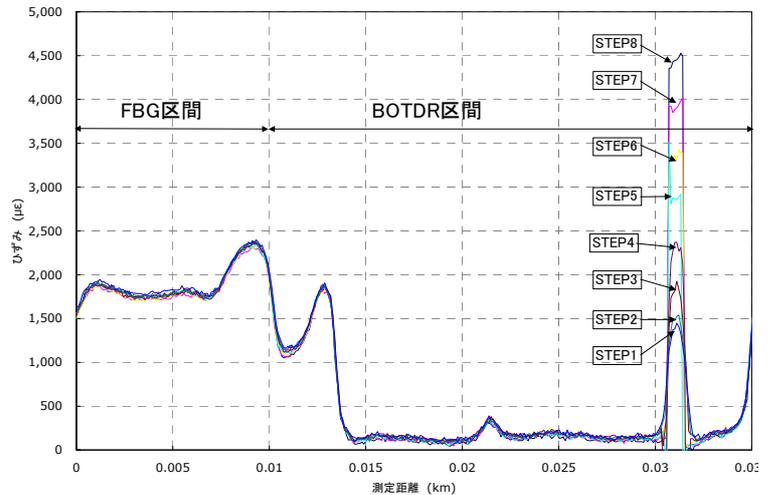


図3 BOTDR光測定器によるひずみ分布測定結果(Case2)

3.2 実験結果

図3に、Case2におけるBOTDRひずみ測定結果を示す。また、図4に、Case1とCase2のひずみ測定結果と両ケース間のひずみ測定値の差を示す。図3より、FBGがある場合でも、ひずみを付与した区間のみでひずみが増加しており、FBGが書き込まれた光ファイバに対してもBOTDRによりひずみ計測が可能であることがわかった。図4より、FBGの有無によるひずみ測定値の差は60μ以下とBOTDRの測定精度±100μ以内であることから、FBGの有無に関係なく、BOTDRによりひずみ測定が可能であることが確認できた。

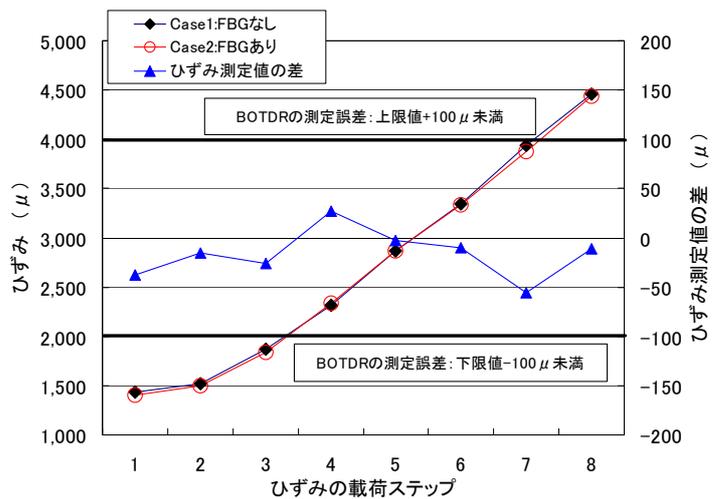


図4 BOTDRひずみ測定におけるFBGの有無の影響

4. おわりに

本稿では、長大構造物の維持管理を長期間効率的に行うためのFBG-BOTDR計測システムの開発を目的として基礎実験を行い、高精度で多点計測が可能なTDM方式FBGとひずみ分布計測が可能なBOTDRのそれぞれの特長を活かす計測システムの実現可能性を示した。今後は、トンネル、橋梁、堤防護岸および地下ライフラインなどの社会基盤施設の健全性を効率的に監視するため、多数のFBGが配置された光ファイバを土中もしくはコンクリート構造物に埋設した実験を行うことにより、局所的なひずみの変化を高精度に、かつ、構造物全体の変状を広域的に監視できるモニタリング技術の開発を進めていきたい。

謝辞：本論文を作成するに際して、山口大学イノベーション推進機構の近久博志先生に貴重なご助言・ご指導を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) 熊谷幸樹, 塩谷智基, 田村琢之: 時間分割多重化によるFBG光ファイバ計測システム, 電力土木, pp.88-90, 2006.5.
- 2) 倉嶋利雄, 佐藤昌志: 光ファイバを用いた構造物のひずみ計測, 土木学会誌, Vol.82, pp.18-20, 1997.12.