

FBG センサによる鋼橋の長期歪モニタリング

豊橋技術科学大学 正会員 ○松本 幸大
豊橋技術科学大学 松本 拓也

1. はじめに

高度成長期から 50 年以上を経た我が国の多くの社会基盤構造物において、経年劣化や中小規模の地震によって生じる構造的な低下が社会的課題となっている。こうした背景から、近年、それらを効率的かつ定量的に把握することを目的とした健全性モニタリング技術の研究・開発が進められている。多種のデバイスやシステムが提案されている中でも、筆者らが注目している FBG 型光ファイバセンサを用いた構造ヘルスマニタリングは多点同時計測が容易で、高精度・耐久性に優れる等の利点を有していることから、長期に及ぶ構造ヘルスマニタリングに適していると考えられる。一方、過酷な環境条件にさらされることの多い社会基盤構造物に対して、構造ヘルスマニタリングを実際に長期運用・分析した公表資料は少ない。以上を踏まえ、本研究では、FBG センサの構造ヘルスマニタリングへの適用例として、屋外曝露状況下において動的歪モニタリングシステムを 2004 年 12 月より約 8 年以上運用した結果について述べる。さらに、2013 年 1 月に実施された塗装塗替えに伴いセンサの状況を観察した結果についても報告する。

2. FBG センサの概要

FBG センサは、図 1 に示すように直径 125 μm の光ファイバ中の 10mm の区間に、ブラッグ回折格子と呼ばれる格子が位相格子法によって 20000 個ほど書込まれて形成されており、特定の波長成分（ブラッグ波長）だけを反射する。図 2 に示すように FBG センサに歪が生じると、それに比例してブラッグ波長が変化することから、このブラッグ波長のシフト量を用いて歪値が換算できる。常時通電不要であるとともに、各センサの反射波長を調整することで複数のセンサを同一配線上に配置できること、センサ自体が経年劣化をほとんど生じないこと等から長期の同時モニタリングに適したセンサである。

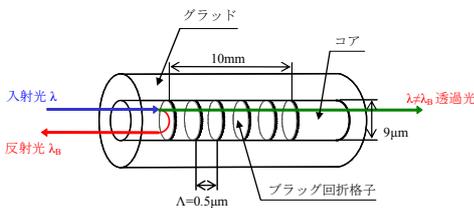


図 1 FBG センサの概要

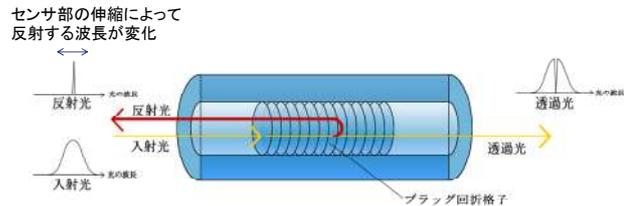


図 2 歪計測の概要

3. 対象構造物の概要とセンサ設置概要

畑ヶ田橋の現況を図 3 に、畑ヶ田橋の概要を表 1 に示す。対象部は中央径間とした。交通量は 1000 台/12h 程度でこの規模の橋としてはやや多いが、大型車は少ない。3 径間の単純桁橋で、完成から約 40 年が経過しており、その間、2005 年に地震対策として落橋防止装置・変位制限装置が設置され、2013 年 1 月には塗装塗り替え工事が行われている。本橋を対象として、図 4 に示すように

表 1 畑ヶ田橋の概要

所在地	豊橋市高師本郷町
路線	市道弥生町・畑ヶ田町 49 号線
交差条件	梅田川
交通量	1000 台/12h
橋長×全幅[m]	62.47×6.8
形式	鋼単純合成版桁橋, 3 径間
活荷重・等級	20t, 1 等橋

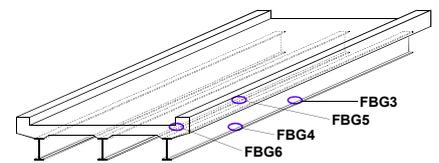


図 4 FBG センサの設置位置



図 3 対象構造物



図 5 センサの貼付状況

キーワード 光ファイバセンシング, FBG センサ, 長期モニタリング, 振動計測, 鋼橋

連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 (Tel)0532-44-6845

桁材の下フランジ上側 4 箇所に FBG センサを図 5 のようにエポキシ接着剤で貼付し、屋外曝露状態において 2004 年 12 月より約 8 年間に亘って FBG センサを用いた長期振動モニタリングシステムを運用して、その適用性を検証した。また、塗装塗り替えに合わせ、FBG センサの貼付状況を観察した。

4. 計測結果

図 7 に対象構造物の計測開始時から最近までの車両通過による対象構造物の時刻歴歪を示す。約 8 年間、車両走行による桁材の歪値の大きさに有意な変化は無いことがわかる。計測波形に関しては、2012 年から振動のない状態での基線が不安定となっているとともに、FBG6 のように応答値が小さくなっているセンサが生じている。これは、図 9 に示すようにセンサ添付に用いた接着剤とブチルゴム系保護剤の端部より劣化が進み、4 か所のうち 1 か所のセンサでは一部剥離が見られたことによると考えられる。図 9 (b) では端部剥離部分から鋼材の軽微な発錆も生じており、これにより十分な追従性が得られなかったといえる。図 8 は図 7 のフーリエ振幅スペクトルである。1 次固有振動数は 4.3Hz 近傍を、2 次として 6.3Hz 近傍の値を示しておりその変化も確認されていないことから、構造物の劣化・損傷は生じていないと考えられる。

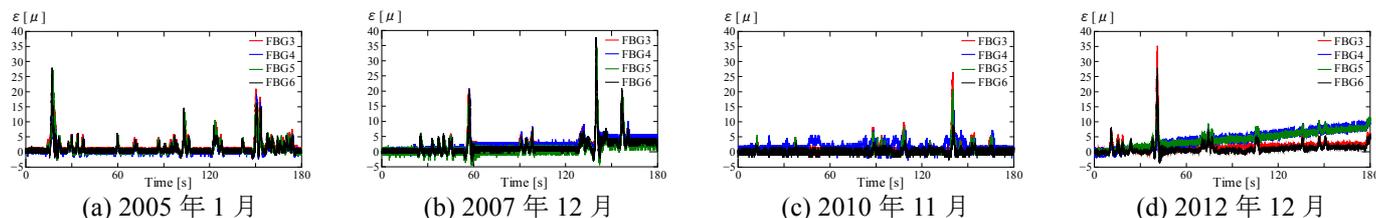


図 7 時刻歴歪波形

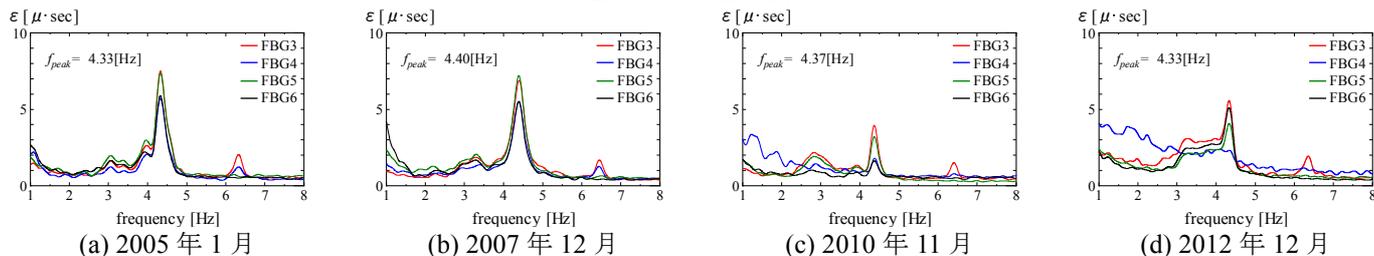


図 8 フーリエ振幅スペクトル

5. まとめと今後の課題

FBG センサを用いた橋梁の長期歪モニタリングを行った結果、8 年を超える構造物の長期動歪計測を実証し、振動特性分析に有効であることを確認できた。ただし、センサの貼付に用いる材料の経年変化によりセンサの寿命が決定されることから、本実証実験より耐久性のある保護剤等を用いることを検討していく必要がある。なお、FBG3, 4, 5 については塗装塗り替えおよび経年観察後に再度樹脂による密封養生を施しており、今後もモニタリングを続けていく予定である。



(a) 8 年経過後も正常な出力が得られたセンサ部 (b) 端部剥離がみられたセンサ (FBG6)

図 9 2013 年 1 月のセンサ添付部の観察結果

謝辞

本研究は山田聖志教授の懇切丁寧なご指導を頂いたものである。計測に際しては NTT アドバンステクノロジー 照屋英雄氏、深谷愛信氏の協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。また、過去 8 年に亘って振動計測を続けて下さった豊橋技術科学大学 構造工学研究室 卒業生諸氏に感謝いたします。

参考文献

1) 山田聖志, 山田聡, 松本幸大, 平本隆: 光ファイバを用いた鋼橋のヘルスマニタリング その 3: FBG センサの実橋への装着と計測結果, 土木学会第 60 回年次学術講演会 第 1 部, pp.851-852, 2005