FBG センサによる鋼橋の長期モニタリング結果分析

豊橋技術科学大学　正会員　○松本　幸大
豊橋技術科学大学　織笠　千春，吉岩　明彦
NTT アドバンステクノロジ　深谷　愛信

１．はじめに

近年，社会基盤構造物の経年劣化や，発災後の迅速な構造健全性評価を目的として，構造ヘルスモニタリングに関する研究が進んでいる [1]。筆者らは，多種のデバイスやシステムが提案されている中でも，筆者らは多点同時計測が容易で，高精度・耐久性に優れる FBG 型光ファイバセンサを用いた構造ヘルスモニタリングに注目している。本報では，FBG センサの構造ヘルスモ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 10 年以上運用した結果について述べ，その基礎的分析結果について報告する。

２．対象橋梁と計測の概要

対象橋梁を**図 1** に，概要を**表 1** に示す。市内から郊外のショッピングセンターへ至る位置にあり，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。形式は 3 径間の単純桁橋で，1973 年の完成から約 40 年が経過している。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 2** に示すように桁材の下フランジ上側 4 箇所に FBG センサを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 10 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。

図 1　対象橋梁の概要

表 1　対象橋梁の概要

所在地	愛知県豊橋市 高師本郷町
交差条件	梅田川
交通量	1000 台/12h
橋長×全幅	62.47×6.8m
形式	鋼単純合成版桁橋， 3 径間
活荷重・等級	20t，1 等橋

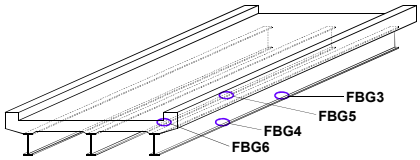
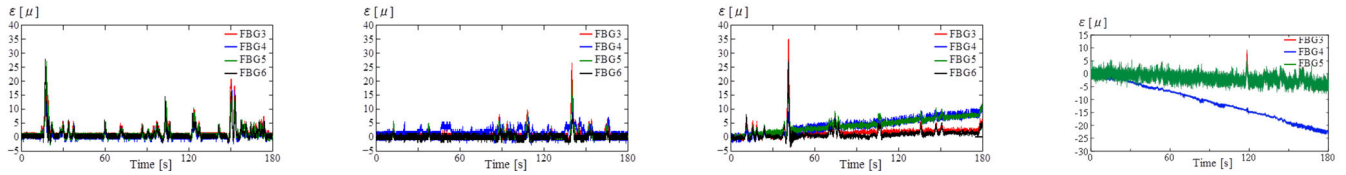


図 2　FBG センサの設置位置

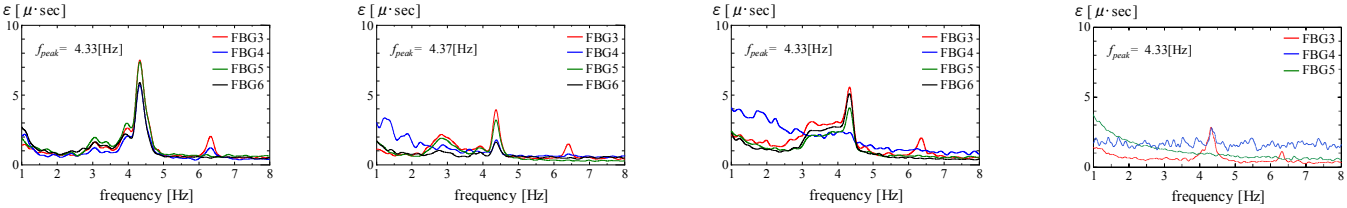
３．計測結果と計測結果

図 3 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。2012 年までの約 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。2013 年 1 月の塗装塗り替え時にセンサの状況を確認した結果，センサ貼付に用いた接着剤と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等によると考えられる。**図 3** は**図 4** 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。



(a) 2005 年 1 月　(b) 2010 年 11 月　(c) 2012 年 12 月　(d) 2015 年 5 月

図 3　時刻歴歪波形



(a) 2005 年 1 月　(b) 2010 年 11 月　(c) 2012 年 12 月　(d) 2015 年 5 月

図 4　フーリエ振幅スペクトル

キーワード　光ファイバセンシング　FBG センサ　鋼橋　固有振動数
連絡先　〒441-8580　愛知県豊橋市天伯町雲雀ケ丘 1-1　(Tel)0532-44-6845

４．経年変化に関する考察

図 5 に，**図 4** より得られる卓越振動数を経過年によりプロットしたものを示す。計測はこれまでに 28 回実施し，各計測において 3 分間の計測周波数 100Hz とした時刻歴歪計測を 3 回実施してきており，各センサより合計 277 回の計測データを得ている。卓越振動数は，計測回毎に±0.05Hz 程度のバラつきが生じていることが分かる。また，2005 年の耐震補強，2013 年の塗装塗り替えに起因すると考えられる変化も見て取ることはできない。**図 6** は，全ての計測結果について，横軸に卓越振動数，縦軸にその頻度をプロットしたものである。固有振動数の変化要因には，温度，計測時の通行車両の重量等が考えられるが，**図 6** より，それらによる卓越振動数のバラつきは概ね正規分布に従っているといえる。ここで，約 10 年の計測期間を，**図 5** に示す A~F の期間に分け，それぞれの期間での卓越振動数を評価する。期間 A は 2004 年 12 月~2006 年 12 月，期間 B は 2007 年 1 月~2008 年 12 月，以降，期間 C, D, E は 2 年間毎の期間とし，期間 F が 2015 年 1 月以降とした。分割した期間のうち隣り合う二つの期間を用いて**図 6** と同様に固有振動数をプロットしたものを**図 7** に示す。分割した期間での固有振動数のバラつきも**図 6** と同様な傾向を示している。**図 7** には，計測データから得られた平均値と標準偏差を基に正規分布曲線も示しているが，その平均値を，各期間での固有振動数と考え，横軸に西暦，縦軸に**図 7** から評価した卓越振動数をプロットしたものが**図 8** である。経年とともに僅から固有振動数の変化が見られるが構造物の剛性に関しては変化が無いと考えられる。

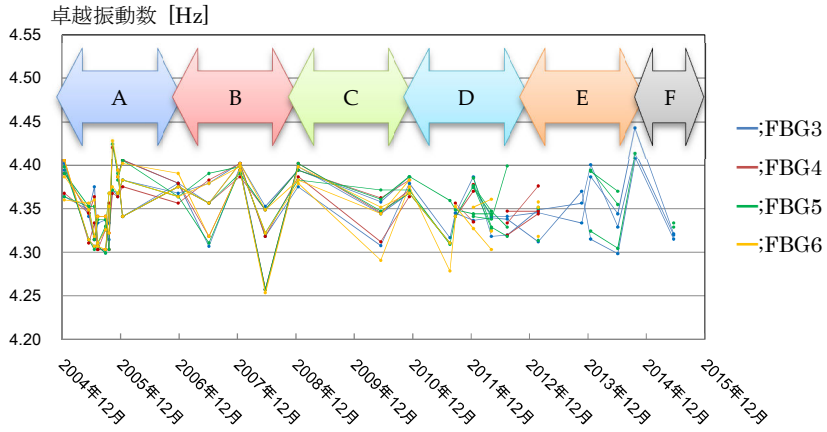


図 5　卓越振動数の経年変化

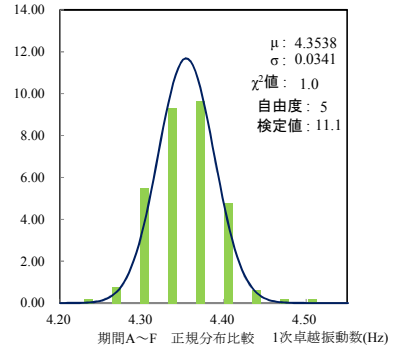


図 6　卓越振動数の分布（約 10 年）

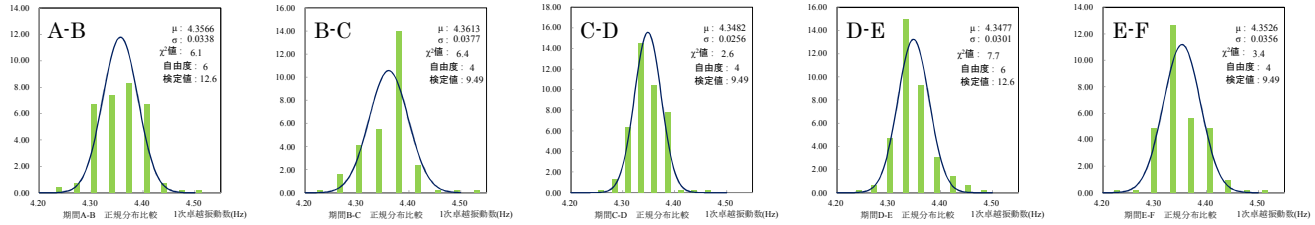


図 7　計測期間を約 4 年間毎に分割して評価した卓越振動数の分布

５．まとめ

本研究では，鋼橋を対象に FBG センサによる約 10 年間の動的歪計測結果を示すとともに，そのデータに基づく卓越振動数分析結果を示した。結果として，卓越振動数は正規分布であらわせること，また，その平均値から評価した固有振動数は経年によってほとんど変化が見られないことが分かった。

本センシング法の耐久性は，その貼付に用いた材料および養生条件に依存すると考えられ，より長期間の評価が可能なシステムについても検討を進める予定である。

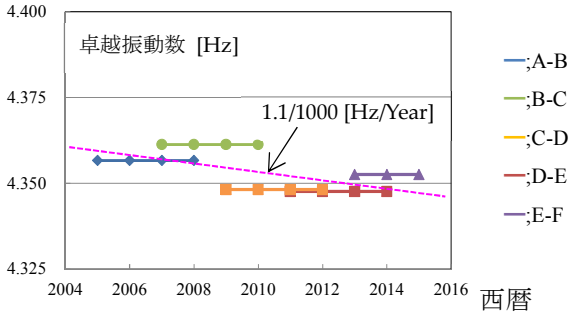


図 8 評価した卓越振動数の経年変化

謝辞　本研究は，豊橋技術科学大学　山田聖志教授より引用を頂いたものであり，ここに記して深く感謝の意を表します。東三河地域防災研究協議会（センサ設置当時），豊橋技術科学大学 21 世紀 COE プログラム「未来社会の生態恒常性工学」（センサ設置当時）から協力を戴くとともに，豊橋市役所には，多くの有益な助言を戴き，感謝いたします。

参考文献　1)　土木学会：構造工学シリーズ 24　センシング情報社会基盤，2015.3
2)　山田聖志，山田聡，松本幸大，平本隆：光ファイバセンサを用いた鋼橋のヘルスモニタリング（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 回年次学術講演梗概集，2005.9
3)　松本幸大，松本拓也：FBG センサによる鋼橋の長期歪モニタリング，土木学会第 67 回年次学術講演梗概集，2013.9