

スマートセンサによる橋梁振動の多点計測と詳細分析～耐震補強前後の比較を通して～

東京大学大学院 学生会員 ○漆島亮彦 正会員 長山智則 フェロー 藤野陽三
 長岡技術科学大学 正会員 宮下剛
 大日本コンサルタント 正会員 吉岡勉
 JIP テクノサイエンス 正会員 家入正隆

1. 背景

スマートセンサは、構造物の合理的な維持管理に不可欠な現況把握に有効と期待されている。センサは安価で、また無線通信機能を有するため配線の必要もない。多点同期振動計測が安価で簡易に実現する。牛田ら¹⁾²⁾は高速マルチホップデータ通信アルゴリズムを提案・実装し、長大橋の交通振動を簡易にかつ詳細に把握できることを示した。しかし、実橋梁計測にあたっては桁片側のみを一時的に計測しているに過ぎず、橋梁全体の振動特性の把握や、多点計測に基づいたモデルアップデートには至っていない。本研究では、無線同期振動計測システムを用いて耐震補強前後の橋梁を密に計測し、構造特性を分析する事を目的とした。

2. 同期振動計測システムの概要

本研究で用いるスマートセンサは imote2(図 1)で、起動時作動周波数を 13MHz から 416MHz まで設定可能な CPU と 32MB の SDRAM を搭載している。無線通信には IEEE802.15.4 規格の CC2420 を、加速度計測には STMicroelectronics 社 LIS344(0.2mg 程度のノイズレベル) を利用している。これらハードウェア上にマルチホップ同期、通信、計測などソフトウェアを実装した。経路作成には AODV プロトコル、同期には FTSP プロトコルをそれぞれカスタマイズしている。3 成分加速度を計測後、基地局に高速マルチホップ転送する。

3. 対象橋梁と計測

岩手県内国道 45 号線に架かる逆ランガー橋の槇木沢橋において耐震補強として、アーチリブや垂直材、下横構に当て板補強がなされた。本耐震補強の前後において、路面とアーチリブ上に計 48 個の imote2 を設置し、交通振動を詳細に計測し(図 2)、モード振動数、モード形など動特性の観点から耐震

補強前後の変化を調べた。サンプリング周波数は 50Hz、1 回あたり計測時間は 6 分である。補強前の計測は 2010 年 3 月 14 日、15 日、補強後は同年 9 月 5 日、6 日に行なった。計測日にはそれぞれセンサ設置に 1 時間余り、計測に 4 時間程、撤去に 1 時間弱を要している。

4. 計測振動特性

まず、計測精度を分解能の観点から有線加速度計(東京測振 CV373)と比較し評価した。振動レベルが小さい場合は計測信号がノイズに埋もれるが、車両走行時の 5mg 程度の加速度応答は有線センサと無線センサの計測値がほぼ一致する事が確認された。図 3 に示すようにパワースペクトルを比較すると卓越周波数の近傍では有線・無線加速度計の値が互いに一致している事がわかる。鉛直方向は 6 次モードまで、橋軸直角方向では 5 次モードまでの振動モードが推定できた。有線加速度計は imote2 設置位置に合わせて計 6 台設置しているが、これら 6 点の計測結果から求めたモード形は、無線計測のモード形に一致している。

実計測による補強前後での比較では、橋軸直角方向の固有振動数の増加、鉛直方向では固有振動数の減少が確認出来た(表 1)。前者は耐震補強による剛性の増加、後者は、重量増化に起因していると推測される。また、橋軸直角方向・鉛直方向それぞれでモード形状を比較したところ、推定誤差もあるものの有意な変化を確認出来た(図 4)。

5. FEM と計測データの比較

設計図面を元に対象橋梁を耐震補強前後で有限要素解析し、モード特性の観点から計測値と比較した。橋軸直角方向は振動数とモード形状およびそれらの変化が実測データとほぼ整合的である事を確認した。一方で、鉛直方向では重量増加により実測同様、FE

キーワード スマートセンサ, 時刻同期, マルチホップ

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6097

Mにおいても固有振動数が低下したが、FEMにおいて振動数低下がより顕著であった(表1)。また、モード形の変化では実測とFEMで定量的に一致する変化と一致しないものが確認できた。例えば、鉛直1次モードは、左端(宮古側)からの距離70-100m付近のモード形が耐震補強後に右側(久慈側)に移動しているが、FEMでもこの移動が確認された。一方で、130-170m付近のモード形の移動はFEMでのみ確認された。

6. FEM アップデート

実測に比べ補強後FEMの鉛直振動数が低いことから実構造物の剛性が高いと考えられる。ここではFEMと実橋梁の違いを、支承における境界条件の違いに起因するものと考え、様々な境界条件のもとで再解析した。その結果、宮古側脚下部の支承の回転のみ固定として場合に、固有振動数は計測値に近づく(表2)、モード形状の詳細変化も一部再現できた(図4)。

7. まとめ

スマートセンサを利用して、実橋梁を耐震補強前後で密に振動計測し、振動挙動を詳細に把握した。さらに、計測値とFEMと比較することで違いを明

らかにし、振動数に加えて詳細モード形も基準としてモデルアップデートを試みた。FEMのより詳細な検討と計測誤差の分析が必要であるものの、密な計測を利用することで、構造物のより精緻なモデル化ができることを示した。

謝辞 本計測は、東北地方整備局・三陸国道事務所のご厚意により実施することができました。また、鋼橋技術研究会最新センシング技術の適用に関する研究部会の活動の一環として実施しました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 牛田満士: スマートセンサを用いた多点同期振動計測のためのマルチホップ通信システムの開発と橋梁での実測, 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻修士論文, (2009.3)
- 2) Nagayama, T. and Spencer, Jr., B. F.: Structural health monitoring using smart sensors. Newmark Structural Engineering Laboratory Report Series 001 <http://hdl.handle.net/2142/3521>, 2007.



図1 imote2

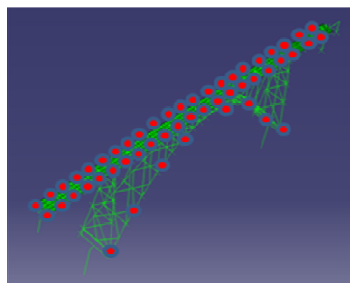


図2 センサ配置図概略

表1 FEMと計測から推定された固有振動数(Hz)

	FEM			実測		
	補強前	補強後	変化(%)	補強前	補強後	変化(%)
鉛直1次	1.459	1.385	-5.07	1.44	1.44	0
鉛直2次	1.566	1.448	-7.53	1.57	1.51	-3.82
橋直1次	0.923	1.026	11.2	0.93	1.03	10.8
橋直2次	1.616	1.669	3.3	1.58	1.66	5.1

表2 アップデート後のFEM振動数

補強後	FEM改良前	FEM改良後	実測
鉛直1次	1.385	1.402	1.44
鉛直2次	1.448	1.5326	1.51

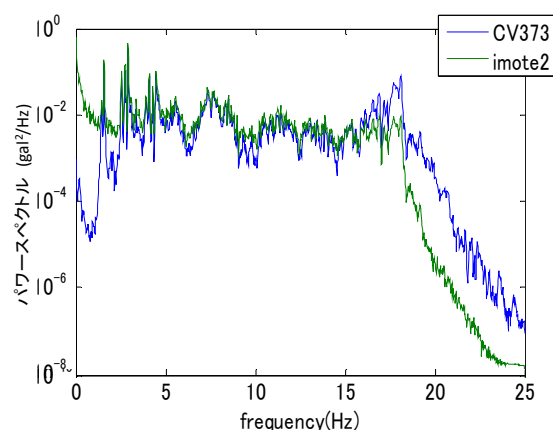


図3 桁鉛直加速度パワースペクトル

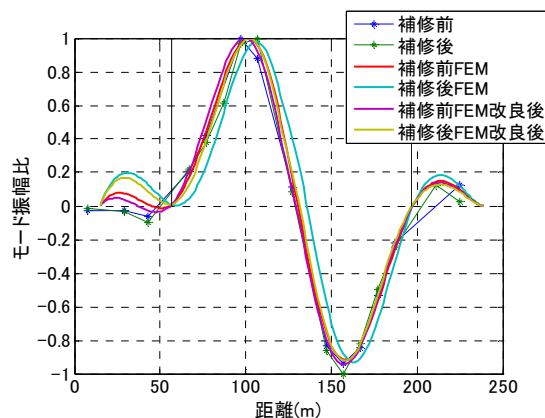


図4 鉛直1次モード形