

神戸大学大学院	フェロー	川谷 充郎	京都大学大学院	正会員	金 哲佑
神戸大学大学院	学生員	利波 立秋	神戸大学大学院	電気電子工学専攻	塚本 昌彦
神戸大学大学院	学生員	○土井 宏政	神戸大学大学院	電気電子工学専攻	藤田 直生
京都大学大学院	学生員	伊勢本 遼	京都大学大学院	学生員	山本 亨輔

1. はじめに

戦後から高度成長期にかけて整備された多くの土木構造物は、耐用年数を迎える時期に来ており、長期の供用による劣化・老朽化の進行が危惧されている。健全度評価のための様々な方法が提案されているが、通常、構造物においては、部材の損傷や劣化はその質量、減衰や剛性等の材料特性、固有振動数、減衰比や振動モード等の動特性の変動として現れることから、振動モニタリングによる構造物の健全度評価は有効であると報告されている¹⁾。従来の振動計測は有線計測システムを基盤にしているが、特に、橋梁の振動計測において、配線の煩雑さ回避と現地作業時間削減のためワイヤレス化の要望が高まっている。そこで、開発中の無線センサノードの試作品²⁾に対する実橋適用性検討を行うため³⁾、アーチ橋における有線・無線センサそれぞれの計測振動波形およびフーリエ振幅スペクトルを比較・検討する。

2. 無線センサシステム

開発中の無線センサノードのデバイスやシステムの動作概要について記す。本研究で用いるセンサノード²⁾を Fig. 1 に示す。仕様設計から電子回路設計および基板設計を著者らが行い、汎用のマイクロコントローラと MEMS 加速度センサを用いてセンサノードを実装している。本ノードの外形寸法はバッテリーを除き 20×20×4.2mm、質量は約 1g である。モジュールは、3V で稼働可能であり、本実験では単 3 電池 2 本で稼働させている。Table 1 にハードウェアの主な仕様を示す。本研究で開発したノードは、マイクロコントローラと無線通信モジュールを一つの LSI 内に搭載し、低消費電力である通信方式をもつ LSI である Nordic 社製 nRF24E1 を採用する。

MEMS 加速度センサは、ST マイクロ社のデジタル 12bit 出力の LIS3LV02DQ を採用する。LIS3LV02DQ は nRF24E1 と SPI 通信を行い、3 軸の加速度データの出力や機能の設定を行う。本センサノードは約 1 万円で作成可能であり、廉価なセンサノードと言える。

3. 実験概要

Fig. 2 に示す橋長 109.4m、総幅員 9.4m の鋼上路アーチ橋の交通振動を計測する。計測ポイントは、Fig. 2 (b) に示す 2 点とし、Fig. 3 (a) に示すように、地覆上に有線・無線センサを設置する。受信ポイントは、Fig. 3 (b) に示すように、併設された歩道橋で行う。計測は、10 分間の振動計測を 3 回行う。サンプリング周波数は有線・無線センサ共に 100Hz とする。計測は 2 月と 7 月の 2 回行った。

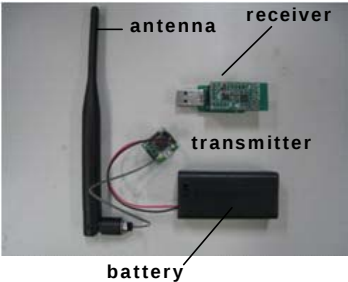


Fig. 1 Prototype wireless sensor node.

Table 1 Properties of wireless sensor node

基本仕様	外形寸法	20(W)×20(D)×4.2(H)mm (突起部を含まず)
	質量	約1g (電池を含む)
マイコン仕様	MPU	Intel 8051 互換マイクロコントローラ
	動作クロック	16MHz
	プログラムメモリ	4KByte
	データメモリ	256Byte
無線仕様	外部EEPROM	4KByte
	通信モジュール	nRF2401
	通信周波数	2404～2479MHz
	通信方式	Shock Burst (Nordic社独自方式)
	通信速度	1MHz / 250kbps
	無線チャンネル数	76チャンネル
	送信出力	0.3mW
	通信距離	15m程度
	アンテナ	内蔵型(チップアンテナ)
	電源電圧	DC 3～9V
電源仕様	動作電圧	DC 2.2～3.6V
	動作時間	72時間
	最大消費電流	未測定
	モード別消費電流	通常: 5mA程度
		通信時: 30mA程度
インタフェース仕様	スリープ時: 5μA程度	
	プログラム用	SPI
	通信用	UART
	その他	Digital I/O 2ポート (PWM出力1ポート)

4. 実験結果

測点 Point 1 における有線・無線センサそれぞれから得られた加速度応答と FFT 結果を Figs. 4 and 5 に示す. Fig. 4 は 2 月, Fig. 5 は 7 月の計測結果である. 無線加速度センサノードの場合, 解像度の制限による微小振動の計測ができないものの, 加速度応答がほぼ一致している. また, 2 月に行った計測より 7 月に行った計測では加速度波形の振幅が小さくなっていることが確認できるが, このことは有線, 無線に関わらず同様であり, 本無線センサの有用性を確認できる. しかし, 無線計測結果に有線加速度計には見られないノイズが含まれており, 無線センサそのものの特性, 他の通信機器によるノイズなどが原因として考えられるが, 更なる検討が必要である. 振動特性に関してもほぼ一致する結果となった. 橋梁 1 次振動数とみられる 3.5Hz 付近の卓越も一致している. また気温等による外的要因の変化に伴う 1 次振動数の変化も有線, 無線共にみられた.

5. まとめ

橋梁振動モニタリングを可能にする無線センサノードの実橋梁適用性検討を行った. 冬期と夏期の計測より無線センサノードによる振動計測は外気温等に関わらず有効である. しかし無線計測にはノイズやデータ欠損が含まれており, 検討が必要である. また, 無線の通信条件によってはノイズが増える結果も見られたため, これらの検討も必要である.

【参考文献】

- 1) W. Doebling, et.al.: Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review, Los Alamos National Laboratory report LA-13070-MS, 1996.
- 2) Kim, C.W., Kawatani, M., Tsukamoto, M. and Fujita N.: Wireless sensor node development for bridge condition assessment, Advances in Science and Technology, Trans Tech publications, Vol.56, pp.573-578, 2008.
- 3) 川谷 他: 試作無線センサノードの実橋振動モニタリングへの適用性検討, 土木学会第65回年次学術講演会概要集, I-518, pp.1035-1036, 2010.9.

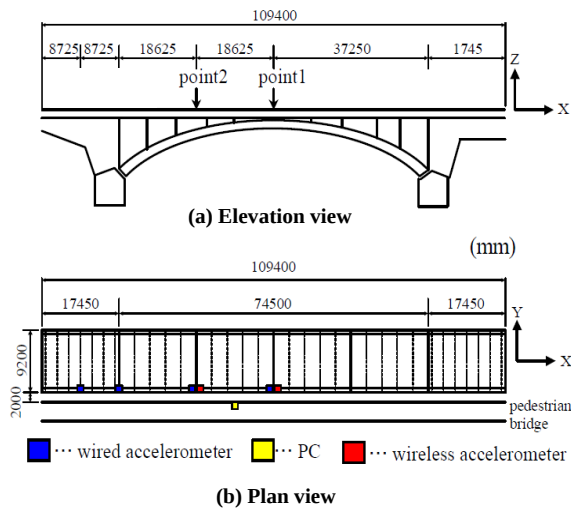


Fig.2 Observation bridge and observation point.

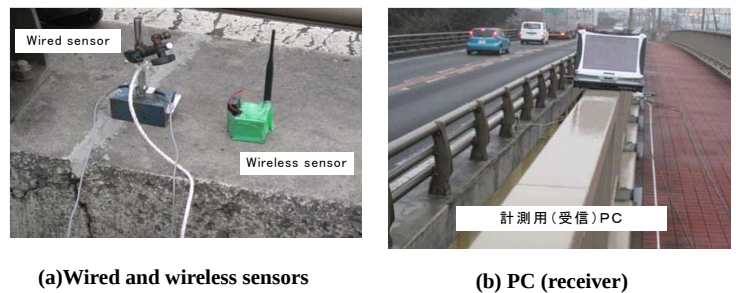


Fig.3 MEMS sensor and PC (receiver)

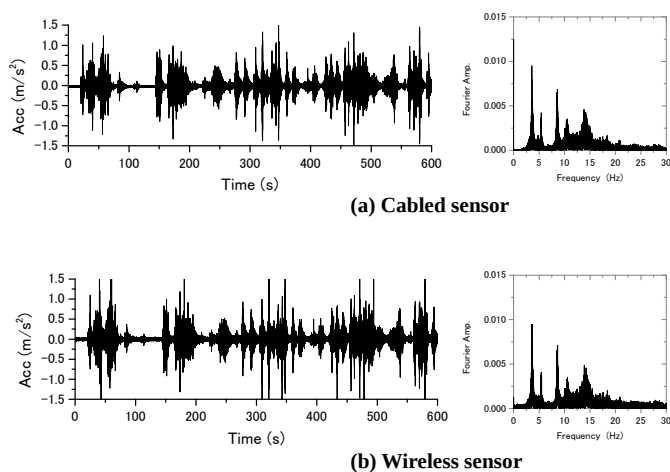


Fig.4 Acceleration and Fourier spectra. (February)

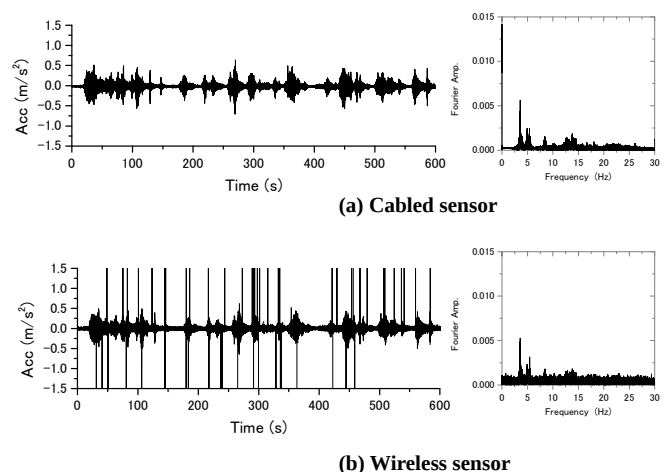


Fig.5 Acceleration and Fourier spectra. (July)