

橋梁振動モニタリング用 MEMS 無線センサノードの開発と実橋適用性検討

神戸大学大学院
神戸大学大学院
神戸大学大学院

フェロー
学生会員
博士後期課程学生

川谷 充郎
○藤本 達貴
藤田 直生

神戸大学大学院
神戸大学大学院
神戸大学工学部

正会員
電気電子工学専攻
電気電子工学科学生

金 哲佑
塚本 昌彦
南 靖彦

1. はじめに 戦後の復興期に建設された多くの構造物は耐用年数を迎える時期に来ており、社会基盤施設の劣化・老朽化が進行している。一方でメンテナンスフリーと考えられていた構造物にも環境条件の変化や要求レベルの向上と相まって、何らかの対策を講じる必要があり、土木構造物における振動計測によるヘルスマモニタリングの重要性が高まっている。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、近年、配線の煩雑さ回避と現地作業時間削減のためのワイヤレスセンシングシステムの開発が行われている。しかし、開発されたワイヤレスシステムが、必ずしも橋梁のような土木構造物の振動モニタリングに適するものとはいえない。そこで本研究は、橋梁車両同時振動計測による橋梁健全度評価手法¹⁾を可能にすることを目的として開発中の MEMS 加速度センサを搭載した無線センサノードの試作品に対する有用性検討結果を報告する。本研究におけるセンサノードの有用性検討は、模型橋梁車両走行装置および歩道橋における有線・無線センサそれぞれの振動波形やフーリエ振幅スペクトルを比較・検討することで行う。

2. 実験概要 2.1 デバイス 本研究で用いる MEMS センサノードは、Fig.1 に示す無線センサノードである。センサノードの諸元を Table 1 に示す²⁾。センサノードの特徴として、20mm×20mm の小型でありながら、加速度分解能が 12bit の 3 軸加速度センサ (LIS3LV02DQ;STMicroelectronics 社)を搭載、屋内で 30m の無線計測、複数台の時刻同期が可能、低消費電流などがある。また、応答比較のために用いる有線加速度センサは(株)共和電業の AS-1GB である。2.2 模型橋梁走行実験 走行実験で用いる模型橋梁車両走行装置を Fig. 2 で示す。模型橋梁は、支間長 5.4m の H 型鋼桁である。車両はレールに沿って走行し、レールには路面凹凸を再現する。測点を橋梁支間中央と車両後軸とし、車両走行による 2 点同時振動計測を行う。車両速度は 0.93m/s(支間長 40m 規模の桁橋

において、20km/h に相当)とする。サンプリング周波数は有線センサが 200Hz、MEMS センサが 160Hz とする。

2.3 歩道橋実験 歩道橋実験では、橋長 32.2m、幅員 3.7mの単純支持鋼鉄桁歩道橋を対象橋梁 (Fig.3 参照)とし、橋梁床板上 2 点の常時微動を計測する。サンプリング周波数は有線センサが 500Hz、MEMS センサが 250Hz とする。

3. 実験結果 3.1 走行実験結果 車両走行時の有線・MEMS センサそれぞれから得られた加速度応答を 30Hz ローパスフィルター処理した結果と、そのフーリエ振幅スペクトルを橋梁支間中央について Fig.4 に、車両後軸について Fig.5 にそれぞれ示す。

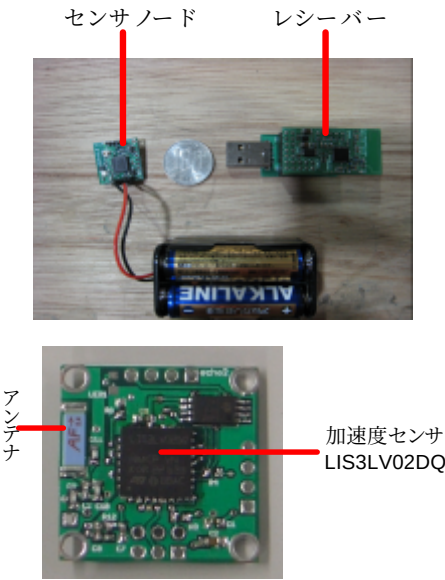


Fig.1 MEMS sensor

Table 1 Properties of MEMS 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 電池を含まず
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
	外部EEPROM	4KByte
無線仕様	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	30m程度
	アンテナ	内蔵型 (チップアンテナ)
	電源電圧	DC 3~9V
	動作電圧	DC 2.2~3.6V
電源仕様	動作時間	連続72時間
	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	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

キーワード：橋梁ヘルスマモニタリング、MEMS、橋梁健全度評価、無線センサノード。

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 Phone:078-803-6383

結果をみると、橋梁に設置した MEMS センサの応答からノイズが見られるが、加速度応答、卓越周波数ともにほぼ一致する。しかし、MEMS センサノードのノイズに関しては改善の余地がある。

3.2 歩道橋実験結果 対象橋梁支間中央の有線・MEMS センサそれぞれから得られた加速度応答と、そのフーリエ振動スペクトルを Fig.6 に示す。加速度応答とフーリエ振幅スペクトルはほぼ一致することから、開発した MEMS センサノードの実橋梁適用性は高いと考えられる。

4. まとめ 本研究では、橋梁構造物の振動モニタリングを可能にする MEMS センサノード試作品の有用性検討を行った。模型実験装置、歩道橋実験の応答から MEMS センサノードによる振動計測は可能であると考えられる。今後の実用化に向けて改良を進めていく予定である。

謝辞 本研究は、(独)日本学術振興会科

学研究費補助金萌芽研究 No.19656112 および(社)近畿建設協会研究助成(平成 19 年度)の補助を受けました。ここに記して謝意を示します。

参考文献 1) C.W. Kim and M. Kawatani: Pseudo-static approach for damage identification of bridges based on coupling vibration with a moving vehicle, Structure and infrastructure Engineering, DOI:10.1080/15732470701270082.

2) 児玉賢治・藤田直生・義久智樹・塚本昌彦・田川聖治:ルール型動作機能を備えた小型無線モーションセンサノードの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2007)シンポジウム, pp.569-576, 平成 19 年 7 月。

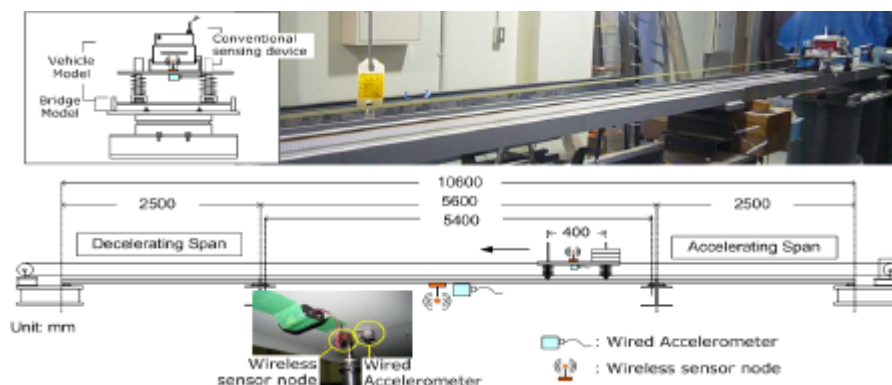


Fig.2 Experimental bridge and vehicle



Fig.3 Pedestrian bridge

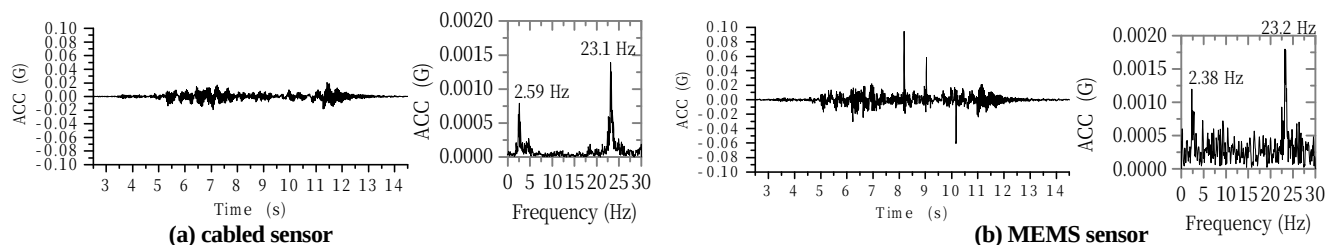


Fig.4 Accelerations and Fourier spectra of the bridge model

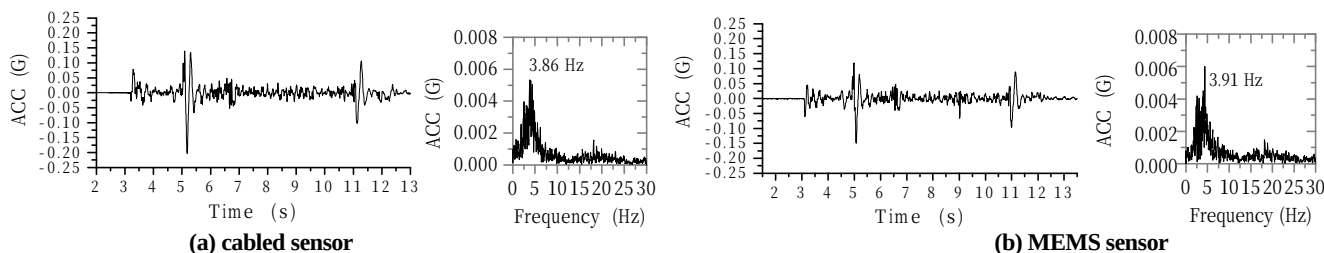


Fig.5 Accelerations and Fourier spectra of the moving vehicle

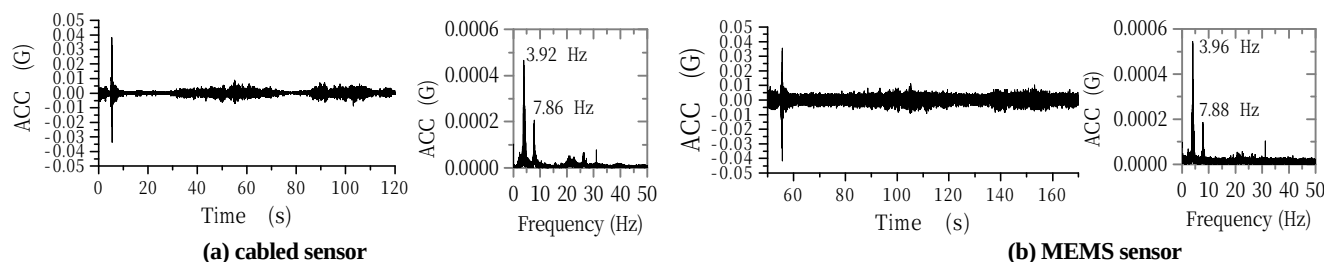


Fig.6 Accelerations and Fourier spectra of a pedestrian bridge