

第 部門

橋梁振動モニタリングのための MEMS 無線センサノードの開発

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 神戸大学大学院 正会員 金 哲佑
 神戸大学大学院 学生会員 藤本 達貴 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 博士後期課程学生 藤田 直生 神戸大学工学部 電気電子工学科学生 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。一方では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言い難い。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を用いて有線・無線センサそれぞれ振動計測を行い、比較・検討することで行う。

2. 模型実験概要

2.1 **デバイス** 本研究で用いる MEMS センサノードは、Fig.1 に示す神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻塚本研究室との共同研究で製作した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。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 **模型橋梁車両走行装置** 本研究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。

2.3 **自由振動実験** MEMS センサの精度検討のため、有線センサ・MEMS センサそれぞれを橋梁支間中央に設置し、自由振動時の加速度応答を測定する。サンプリング周波数は有線センサが 100Hz、MEMS センサが 250Hz である(以下同様)。

2.4 **走行実験** 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。

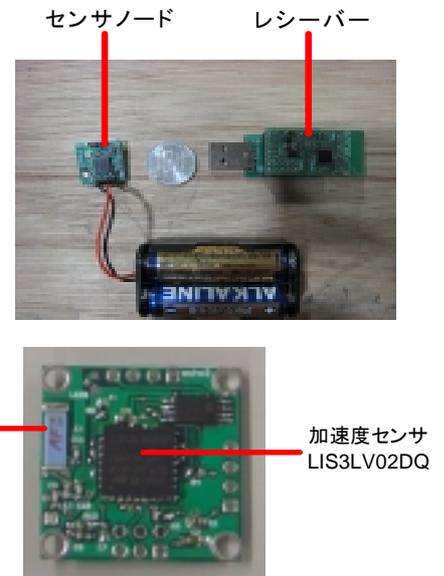


Fig.1 MEMS sensor

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)
マイコン仕様	質量	約1g(電池を含まず)
	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
電源仕様	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
	動作時間	72時間
	最大消費電流	未測定
インターフェース仕様	モード別消費電流	通常: 5mA程度 通信時: 30mA程度 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)

3. 実験結果

3.1 自由振動実験結果 自由振動実験から得られた有線・MEMS センサそれぞれの加速度応答とそのフーリエスペクトルを Fig.3 に示す．結果をみると，加速度応答，卓越振動数ともほぼ一致することから，MEMS センサによる振動計測は有効であると考えられる．

3.2 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，そのフーリエスペクトルを車両後軸について Fig.4 に，橋梁支間中央について Fig.5 にそれぞれ示す．車両応答をみると，加速度応答とフーリエスペクトルはほぼ一致する．しかし，橋梁支間中央において，加速度応答の振幅におおきな誤差が見られる．これは，車両走行により鋼桁から発生するノイズの影響であると考えられる．

4. まとめ

本研究では，橋梁構造物の迅速な点検を可能にする MEMS センサノード試作品の有用性検討を行った．自由振動実験，車両走行時の車両における応答から MEMS センサによる振動計測は可能であると考えられる．しかし，今後の課題として，橋梁支間中央の応答より鋼桁のノイズへの対策が必要と考えられる．その他にも，計測点を増やし，多点同時計測を行うことも必要となる．

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．また，本研究に参加していただいた JIP テクノサイエンス(株)の巻幡憲俊氏には多大なるご協力を賜りました．ここに記して謝意を表します．

参考文献 1) C.W. Kim and M. Kawatani: Damage identification method for bridges from a pseudostatic formulation of bridge-vehicle interaction system, Proc. of the Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, CD-ROM, Porto, Portugal, 16-19 July, 2006.

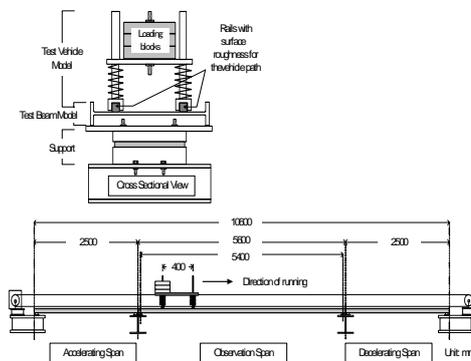


Fig.2 Experimental bridge and vehicle

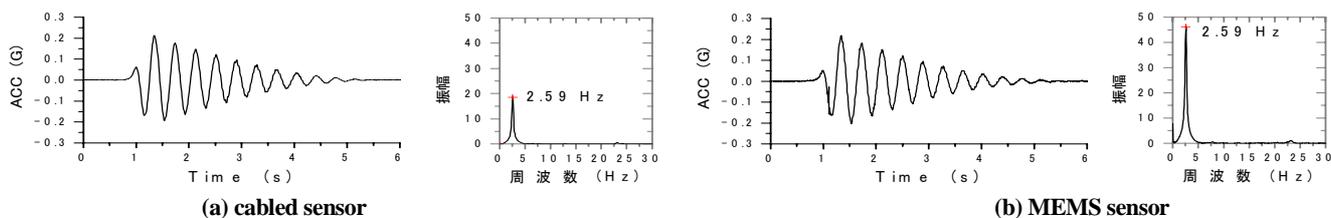


Fig.3 Acceleration and FFT of the girder with free vibration (a) cabled sensor (b) MEMS sensor

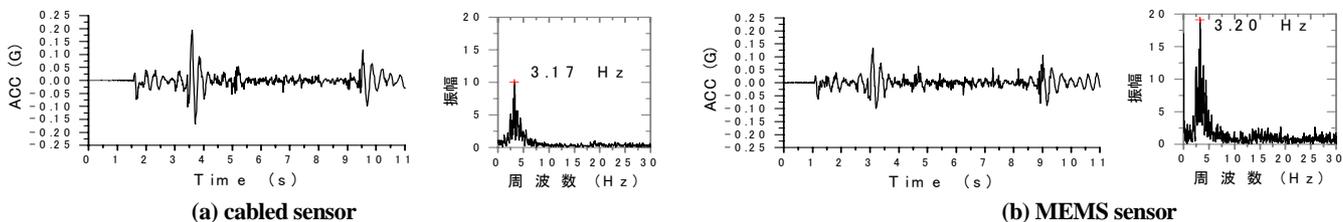


Fig.4 Acceleration and FFT of the moving vehicle (a) cabled sensor (b) MEMS sensor

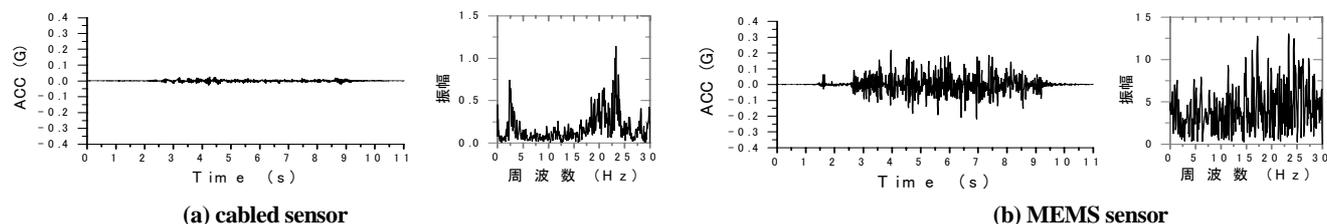


Fig.5 Acceleration and FFT of the girder under the moving vehicle (a) cabled sensor (b) MEMS sensor