

橋梁振動モニタリングのための MEMS 要素技術を利用したセンサノード開発

大日本コンサルタント株式会社
長岡技術科学大学
長岡技術科学大学

正会員 ○石崎 覚史
正会員 宮下 剛
正会員 長井 正嗣

1. はじめに

近年、トラス橋の斜材に、腐食による破断が生じるなど、既設橋梁の維持管理は喫緊の課題となっている。現在、構造物にセンサを設置してモニタリングを行い、健全性を評価する構造ヘルスモニタリング¹⁾が注目されている。この中で、構造物の劣化や損傷により生じる剛性や質量の変化が、動特性の変化に結びつくことから、振動モニタリングに関する研究^{2),3)}が積極的に行われている。

劣化や損傷による動特性の変化を把握するためには、定期的に振動計測を行う必要がある。また、局所的な損傷を検出するためには、空間的に密な計測が求められる。しかし、現在、計測点当たり数十万円程度のコストを要し、また、センサを有線で接続することから、高密度計測が難しい状況にある。

そこで、本研究では、近年の発展が目覚ましい MEMS 要素技術⁴⁾を利用し、空間的に高密度な振動計測を実現する無線センサノードの開発を行う。まずは、橋梁の振動モニタリングに適した MEMS 要素技術を選定し、センサノードの基板化を行う。そして、性能評価のために、有線タイプの高精度加速度計との比較を屋内と実橋で行う。次に、実橋の多点振動計測に適用し、無線通信を利用した同期計測について検討する。最後に、撤去する橋梁に対して損傷を与えながら振動計測を行い、損傷と動特性の関係性を把握する。

2. 開発したセンサノードの概要

橋梁振動モニタリングを容易かつ空間的に高密度で実現するための無線加速度センサノードを開発した。

開発したセンサノードは、安価な MEMS 要素技術から構成されているにも関わらず、200Hz の高サンプリングレート、±1gal 以下の高分解能を有している。また、無線送信時のデータ欠損を防ぐため、MMC/SD カードに長時間記録することが可能である。既存の高精度加速度計と性能検証試験を行った結果、両者は同等の性

能を保持していることを確認した。図 1 に開発したセンサノードを示す。



図 1 開発したセンサノード

3. 多点同期計測

開発したセンサノードを既設橋梁の多点振動計測に適用し、無線通信を利用した同期計測について検討した。本振動計測の対象橋梁は、長岡市内にある既設鋼トラス橋である。対象橋梁を図 2 に示す。センサノードは、下流側の両端を除いた垂直材に 7 点、上流側の 1/4 点、1/2 点、3/4 点の垂直材に 3 点の計 10 点に設置し、振動計測を行った。計測時間は 3 分間、サンプリング周波数は 200Hz とする。常時微動と車両走行振動の計測を行った。鉛直方向の結果について着目する。



図 2 振動計測対象橋梁

キーワード MEMS, 橋梁, 振動, ヘルスモニタリング, 無線センサ

連絡先 〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL

振動計測データから固有振動数を同定し、3.85Hz 付近が対象橋梁の対称一次モードであることが確認された。そこで、時刻歴波形に 3.85Hz 付近の狭帯域バンドパスフィルタ(3.75~3.95Hz, 2 次バターワース)を適用すると、図 3 のような加速度波形が得られる。しかし、時刻同期が完全に実現されていないため、各チャンネルの位相がずれており正確な振動モード形の同定を行うことができていない。そこで、対称一次モードを、各センサにこの周波数の正弦波が共通信号として入力されたものとして考え、時刻同期を行った。ここでは、1ch を基準として時刻補正を行うこととした。

図 4 は、チャンネルごとに時刻補正をしてデータ修正を行った結果である。この時刻補正に基づいて、他の固有振動数に対しても、同様な波形処理を行い、振動モード形の同定を行った。その結果として得られた一例である対称一次モードを図 5 に示す。本手法では、加速度振幅が大きい部分、低次のモードでは、理論的な振動モードと良好な一致が見られた。しかし、加速度振幅が小さく、また高次モードになるほど、ノード間に位相のずれが見られた。

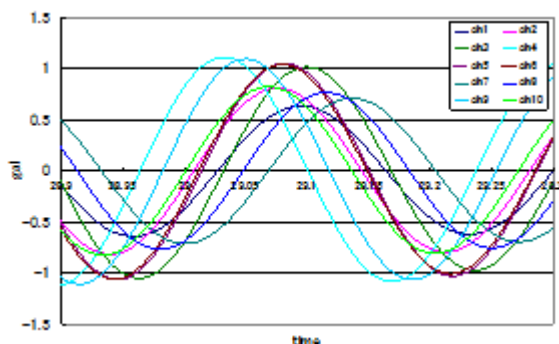


図 3 フィルタリング後の加速度波形（補正前 3.8Hz）

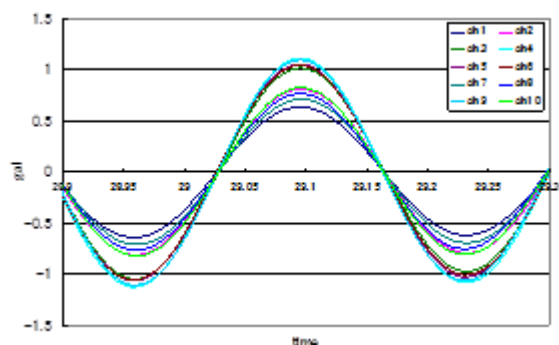


図 4 フィルタリング後の加速度波形（補正後 3.8Hz）

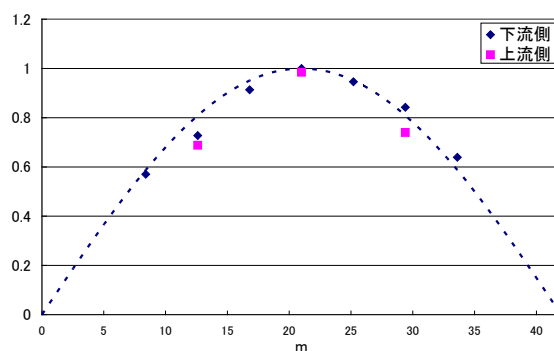


図 5 対称一次モードの振動モード形

4. まとめ

本研究では、橋梁振動モニタリングを容易かつ空間的に高密度で実現するための無線加速度センサノードの開発を行った。開発したセンサノードを実橋の多点振動計測に適用し、無線通信を利用した同期計測について検討した。得られた知見を以下に示す。

開発した無線センサノードは、安価な MEMS 要素技術を用いたものであるにも関わらず、三軸加速度計のデータを 200Hz でサンプリングし、±1gal 以下の加速度データを MMC/SD カードに長時間記録することが可能である。

開発したセンサノードを実橋梁の多点同期計測に適用した。ここでは、ノード間の時刻同期が問題となったが、対称一次モードの周波数の正弦波を共通信号として時刻同期を行う方法を開発した。しかし、加速度振幅が小さく、また高次モードになるほど、ノード間に位相のずれがみられており、この修正に関しては、GPS の搭載、定期的なタイムスタンプの送信などのセンサノードの改良が必要と考えている。

参考文献

- 1) 飛田潤, 福和伸夫, 西沢崇雄: 光ファイバーセンサによる鋼構造試験体の静的・動的柱軸変形の計測, 構造工学論文集 B vol.55 pp577-582
- 2) 吉岡勉, 山口宏樹, 伊藤信, 原田政彦: 鋼トラス橋の振動特性の同定と斜材損傷が及ぼす減衰性能への影響, 構造工学論文集 A vol.55 pp295-208
- 3) 白田幸忠: 既設鋼橋の振動モニタリング手法に関する研究, 長岡技術科学大学修士論文, 2010.3
- 4) 後閑哲也: 基礎入門センサ活用の素②, 株式会社技術評論社, 2009