

二台の無線 LAN 加速度計による橋梁の振動モード形同定

長岡技術科学大学	正会員	○宮下剛
東京大学	正会員	久保田慶太
東京大学	フェロー	藤野陽三
(株)計測リサーチコンサルタント	正会員	宮本則幸 梅本秀二

1. はじめに

一般に、橋梁は空間スケールが大きく、振動計測から振動モード形を同定するためには、多数のセンサを配置する必要がある。センサの個数が増加するにつれて、配線作業は非常に煩雑なものとなり、多大なる労力と費用が必要となる。

この問題を解決する方法の一つとして、レーザードップラー速度計(以下、LDV)を用いた非接触かつ遠距離、多点の振動計測が行われている¹⁾。ただし、LDVは計測機器の価格が非常に高価であり、そもそも機器の導入が容易ではないという問題点がある。

近年、MEMS技術の進展により、安価で小型のセンサが供給されている。その中には無線LANを内蔵したタイプもあり、配線作業に煩わされることなく、容易に振動計測を行うことが可能である。

振動計測から振動モード形を同定するためには、固有振動数における基準点に対する計測点の振幅比と位相差がわかれば良い。また、センサ数に制約があり、橋梁全体で同時に時刻暦波形が得られない場合は、部分的な振動モード形の同定を複数回行い、重複する計測点での相対ベクトルで正規化することで、橋梁全体の固有振動モード形を求めることができる²⁾。ここから、二台のセンサのみを利用して、計測点を重複させながら、橋梁全体を計測することで、振動モード形を同定できる可能性が示唆される。

以上より、本研究では、従来の振動計測による振動モード形同定方法の問題点を解決する方法の一つとして、二台のみの無線LAN加速度計を利用した橋梁の振動モード形同定手法を提案し、実橋により検証実験を行う。

2. 振動モード形の同定方法

二台の加速度計を用いて振動モード形を同定するための計測方法を図1に示す。まず、図中のUnit1で、二台の加速度計により常時微動の同期計測を行い、計測された時刻暦波形からクロススペクトルを求める。クロススペクトルでは、両者に無相関なノイズ成分は低

減され、両者に共通な成分のみが強調されることになる。クロススペクトルの振幅におけるピーク値から、固有振動数の同定を行う。次に、固有振動数におけるフーリエ振幅スペクトルを求め、Unit1における二点のどちらかを基準点として、計測点のフーリエ振幅スペクトル比を求める。このとき、クロススペクトルの位相から、基準点に対して計測点が同位相か逆位相かを知ることができる。つまり、クロススペクトルの位相が、 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ の範囲にあるときは同位相であり、それ以外の場合は、逆位相となる。

Unit1での計測が終了した後は、一台の加速度計を残し、もう一台の加速度計を移動させることでUnit2を形成する。Unit2でもUnit1と同様にして、符号付きのフーリエ振幅スペクトルの振幅から部分的な振動モード形を求める。

図2に、Unit1とUnit2で得られた部分的な振動モード形を結合する方法を示す。まず、Unit1とUnit2で共通する点で、フーリエ振幅スペクトルの平均値を求める。次に、この平均値と元のフーリエ振幅スペクトルから各計測点に対して重みを求め、フーリエ振幅スペクトルの修正を行う。以後、加速度計を移動させることで形成される各Unitに対して、上記の処理を行い、部分的な振動モード形から全体振動モード形の同定を行う。高次の振動モード形を同定する場合は、加速度計の移動距離を短くし、Unit数を多くすれば良い。

3. 計測対象橋梁

計測対象とした橋梁は、図3に示す広島市東区に位置する工兵橋(被爆吊橋)である。橋梁形式は吊橋であり、支間長さ約80mの歩道橋である。

4. 無線LAN加速度計

使用した無線LAN加速度計は、図4に示す白山工業株式会社のDATAMARK SU100である。振動モード形を同定するために二台で同期計測を行った。本加速度計のスペックを表1に示す。本加速度計の大きな特徴として、三軸成分の無線計測が可能であることが挙げられる。

キーワード MEMS, 無線LAN, 加速度計, 吊橋, 振動モード形, 三次元

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 環境・建設系 TEL: 0258-47-9641

5. 計測条件

本計測では、主に、計測対象橋梁の1次および2次の固有振動モード形を同定することを目的とした。そのため、計測点を支間に対して等間隔に5点設置し、Unit数を4とした。サンプリング周波数は、機器の仕様から100Hzと固定されており、また各Unitにおける計測時間は、15分～20分とした。

6. 計測結果

図5に、ある計測点における計測結果を時刻暦波形とフーリエ振幅スペクトルについて示す。図中上から下に向けて、橋軸直角方向、橋軸方向、鉛直方向である。各Unitにおける計測結果から、固有振動数が、橋軸直角方向1次0.71Hz、橋軸直角方向2次1.36Hz、鉛直方向1次1.05Hz、鉛直方向2次1.86Hzと同定された。

図6に、本研究で提案した手法を用いて同定した固有振動モード形を橋軸直角方向および鉛直方向について示す。本手法は、簡易かつ安価に振動モード形の同定を可能にする。そのため、解析モデルの検証およびアップデートに非常に有効なものとなる。

謝辞

計測実験を実施するにあたり、広島市東区役所建設部管理の方々から多大なるご協力を賜りました。また、本研究は先端建設技術センター研究開発助成により遂行しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宮下剛：社会基盤施設モニタリングのためのレーザードップラー速度計による高度モニタリング，東京大学学位論文，2005
- 2) 土木学会：橋梁振動モニタリングのガイドライン，2000

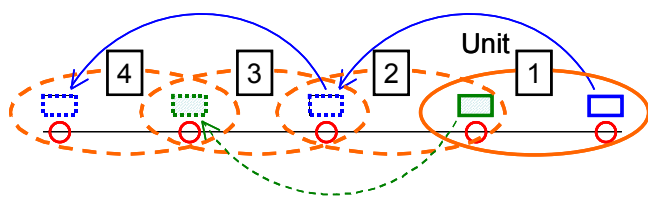


図1 計測方法

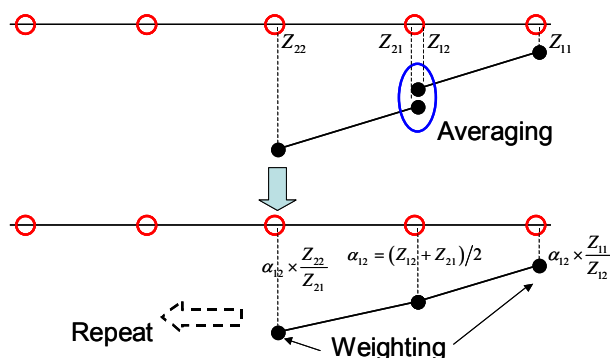


図2 振動モード形の結合方法



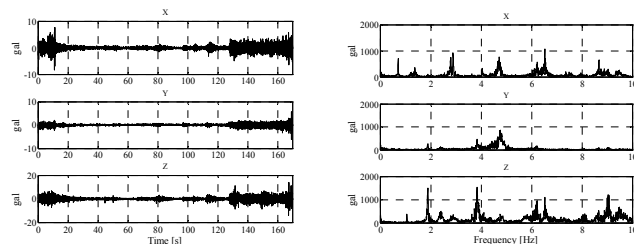
図3 計測橋梁(工兵橋，広島市)



図4 無線LAN加速度計

表1 無線LAN加速度計スペック(白山工業, SU100)

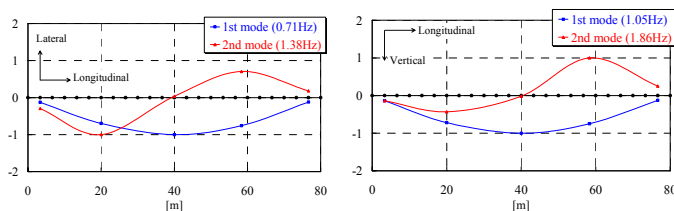
項目	仕様
加速度計	静電容量式
周波数範囲	0.1～50Hz
チャンネル数	3 (水平2成分, 鉛直1成分)
測定レンジ	±1.5G
AD変換	実効18bit, サンプリング100Hz
無線LAN規格	IEEE802.11b
無線LAN伝送距離	約100m (屋外, 見通し) 約60m (屋内, 障害物少ない)
電源	単2アルカリ乾電池4本 (10時間)
寸法	147 × 125 × 75mm
重量	約850g (乾電池内蔵時)



(a) 時刻暦波形

(b) フーリエ振幅スペクトル

図5 計測結果例



(a) 橋軸直角方向

(b) 鉛直方向

図6 同定された振動モード形