

無線センサシステムを用いた多点同時計測による歩道橋の動的挙動の3次元可視化

愛媛大学大学院 正会員 ○高本龍直, 愛媛大学大学院 学生員 川原正人
愛媛大学大学院 正会員 中畑和之

1. はじめに

我が国では、建設から40年以上が経過した橋梁が増加しており、安全性や機能の確保が重大な課題となっている^{1,2)}。定性的な目視点検に代わって橋梁の状態を定量的に把握するための手法として、各種センサを利用したモニタリング技術がある。近年、信号処理・伝送等の通信技術の進展や計測器の性能向上によって、モニタリングした加速度等の動的データを移動体通信や固定通信を利用して基地局で管理する方法が提案されている³⁻⁵⁾。本研究では、橋梁の検査の効率化を目指して、多点に配置されたセンサから得られる振動データを一元的に収集・制御する無線計測システムを構築した。ここでは、多点で計測されたデータを処理し、橋梁の動的挙動を3次元的に、かつ高速に表示する技術を開発した。その無線計測システムを、歩道橋の振動計測に適用し、本システムの有用性の検証を行った。

2. 波形収集システムの概要

加速度波形収集システムは、無線センサノード、無線ルータ、基地局用のモバイルPCから構成される(図-1)。無線センサノード16基を対象橋梁の床板上に設置し、基地局にあるモバイルPCで波形収集ソフトウェアを制御することにより、加速度の計測を行う。モバイルPCでは、電圧から加速度へ変換、リアルタイムでデータの出力、データの記録が行われる。無線センサノードに組み込まれるMEMS加速度センサの計測精度向上のために、ノイズリダクション処理とキャリブレーション処理を行った。ハイパスフィルタとローパスフィルタを設計することで高周波の電気ノイズとセンサからの直流成分の除去を行った。振動



図-1 無線加速度センサシステムの構成

試験機を用いて、本システムのMEMS加速度センサを高感度有線センサでキャリブレーションし、MEMS加速度センサの精度を補正している。また、3次元可視化において、重要となる時刻同期は、GPSセンサを用いて行っている。GPSセンサを各無線センサノードに1つ設置し、各GPSセンサから基地局PCに同期信号が送信される。基地局PCにすべての信号が届き、時刻を初期化した後、加速度計測をスタートさせる。

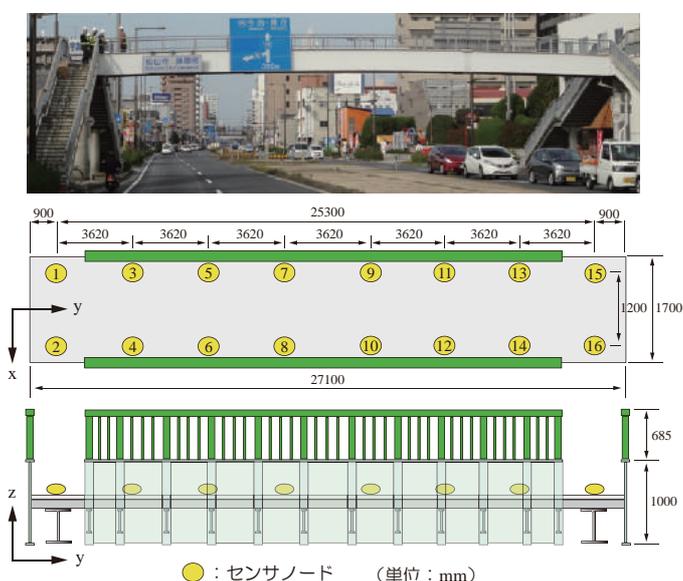


図-2 計測対象の歩道橋(藤原町)とセンサ配置図

3. 歩道橋への適用実験

松山市内の10橋の歩道橋で振動計測実験を行った。3種類の加振パターン(1,中央で跳躍 2,中央からずれて跳躍 3,手すりを1Hzで人力加振)により振動を発生させ、加速度を計測した。藤原町の歩道橋計測の例を図-2に示す。中央で跳躍した時のセンサNo.8で計測されたz方向の加速度とフーリエスペクトルを図-3に示す。着地時刻は0.11秒であり、同時刻に大きな加速度が計測されている。また、卓越周波数である3.513Hz, 21.87Hzに着目し、狭帯域のバンドパスフィルタを変位の時刻歴に作用させ、3次元可視化を行うことにより図-4のように固有振動モードを識別した。この結果、3.513Hzは曲げ1次、21.87Hzは曲げ3次の固有振動数であることがわかる。減衰比については、加速度波形から振動モードごとの時刻歴波形を抽出し、非線形最小二乗法により算出した。

次に、10橋の計測結果を図-5にまとめる。図-5(a)より、スパンが長くなるほど固有振動数が低くなる傾向があることがわかる。そして、図-5(b)より、固有振動数が高いほど、減衰比が高くなる傾向が得られた。また、橋長が27m(湊町)の歩道橋と29.5m(中村)の歩道橋では、曲げ1次の固有振動数とねじり1次の固有振動数が近接しているため、うなりが計測された。

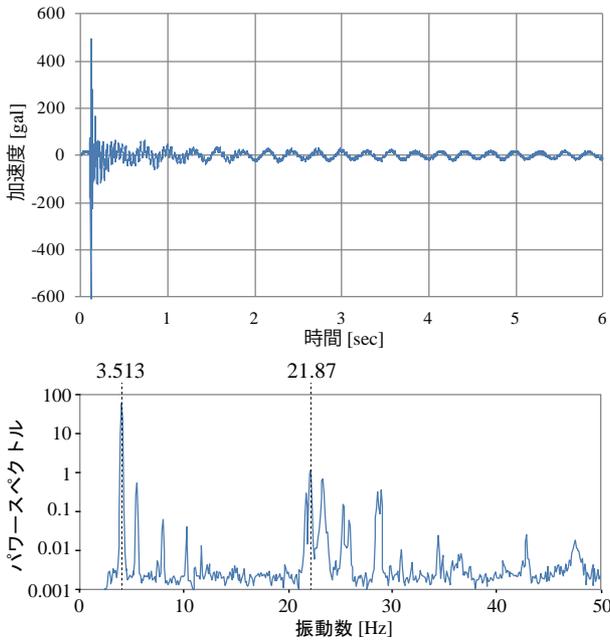


図-3 ノード No.8 の z 軸加速度波形，フーリエ変換結果

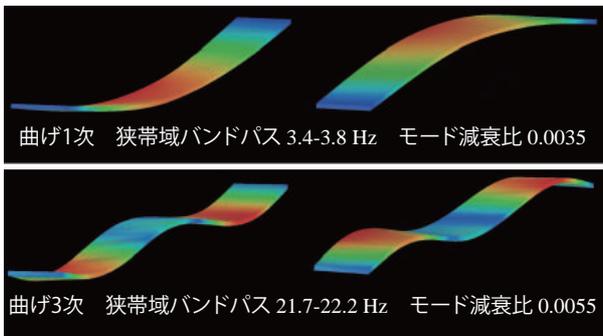


図-4 狭帯域バンドパスフィルタを作用させた3次元可視化とモード減衰比

4. 歩道橋の数値モデル

汎用有限要素解析プログラム NX Nastran を用いて固有値解析を行った。ここでは、藤原町の歩道橋について固有値解析を行い、周波数領域で計測値と解析値の比較を行う。設計時の図面を元に、藤原町の歩道橋の解析モデルを作成し、固有値解析を行った。解析の結果は、曲げ1次・2次・3次、ねじり1次・2次すべての振動モードにおいて、表-1のように4%以内の誤差で計測結果と解析結果が一致した。この結果か

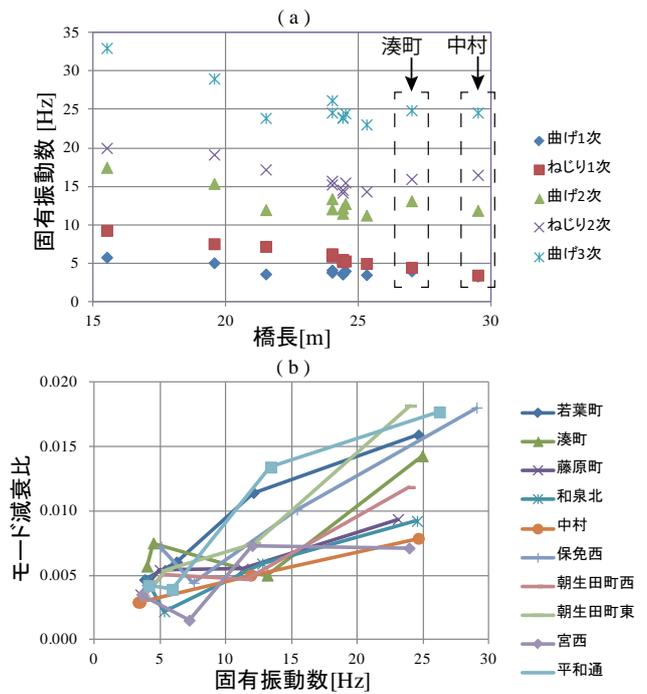


図-5 (a) 橋長と固有振動数，(b) 固有振動数と減衰比の関係

ら、本計測の妥当性を示した。

表 1 藤原町歩道橋の計測と解析の固有振動数の比較

振動モード	計測結果[Hz]	解析結果[Hz]	相対誤差[%]
曲げ1次	3.513	3.385	3.64
ねじり1次	4.980	4.783	3.96
曲げ2次	11.26	11.63	3.29
ねじり2次	14.35	13.78	3.97
曲げ3次	21.87	21.28	2.70

5. おわりに

多点に配置されたセンサを用いて、振動波形を効率よく収集・制御する無線計測システムの開発を行った。歩道橋を対象とした計測実験結果を行い、計測結果より固有振動数・振動モード・減衰比を得ることができた。歩道橋における本システムの有用性を示した。

今後は、固有振動数や減衰比などの動的パラメータをもとに、損傷同定方法の確立を行っていきたい。

謝辞： 本研究は、平成25年度日本建設情報総合センター研究助成を受けて行われました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西川和廣，土木学会論文集，No.501/I-29，pp.1-10，1994.
- 2) 土木学会メンテナンス工学連合小委員会，社会基盤メンテナンス工学，東京大学出版会，2004.
- 3) 奥松俊博ら，長崎大学工学部研究報告，第36巻，第67号，pp.45-49，2006.
- 4) 豊田晋也ら，生産研究，60巻，3号，pp.66-68，2008.
- 5) 三上隆男，IHI 技報，Vol.47，No.4，2007.