

スマートセンサーを用いた人道吊橋の振動特性同定

Structural Vibration Characteristics of a pedestrian suspension bridge by using smart sensor

北見工業大学大学院工学研究科	学生員	○岡本 覚人
北見工業大学社会環境工学科	正会員	宮森 保紀
北見工業大学社会環境工学科	正会員	三上 修一
北見工業大学社会環境工学科	正会員	山崎 智之
国道交通省北海道開発局	正会員	坂 和平

1. はじめに

構造物のモニタリングデータに基づく健全性の監視を行う「構造ヘルスモニタリング(Structural Health Monitoring, SHM)」への関心が高まっている。SHMを行うには従来の有線型のセンサーシステムでは費用や測定時の手間がかかるため、データ処理と無線通信機能を有するスマートセンサーが効率的な測定を可能にすると考えられている¹⁾。スマートセンサーを構造物に用いるには電力の安定した供給や確実な無線通信を行うなどの課題がある。このことから、本研究ではスマートセンサーを用いた人道用吊橋における振動測定実験を繰り返し行い、実験方法の確立を行うとともに、測定した振動データから実橋梁の振動特性同定を行った。

2. スマートセンサー

本研究において使用するセンサーは MEMSIC 社の Imote2 システムである。このシステムはセンサーボード、プロセッサボード、単 4 乾電池 3 本を搭載するバッテリーボードからなり、これらを接続して使用する。センサーボードはイリノイ大学において開発された SHM-A、SHM-H を使用している。また、乾電池以外に図-1 に示す、屋外での長期間の測定を目的として、太陽光発電機能を備え、防水、断熱対策を施した耐低温測定システム²⁾を一部のノードに適用した。スマートセンサーの OS には TinyOS 1.x を、アプリケーションプログラム群としては、ISHMP (Illinois Structural Health Monitoring Project) により提供されている ISHMP Toolsuite 3.0 を Imote2 にインストールして用いる。セン

サーの校正係数はメーカーより個別の値が提供されていないため、標準的な値を用いている。

3. 人道用吊橋における振動測定

3.1 測定対象橋梁と測定時期、測定方法

測定対象は図-2 に示す、1959 年に北見市内に架設された無補剛の人道用吊橋で全長 102.6m、中央支間長 68m、幅員 2.5m である。

測定は 2011 年 2 月²⁾、7 月²⁾、11 月、2012 年 1 月の計 4 回行った。センサーは 2 月、7 月の実験では下流側に 13 基、11 月、1 月は上流、下流に 8 基ずつ、計 16 基を設置した。測定基地局は 11 月、1 月は電波の送受信を考慮して橋の中央径間中央部とした。センサー設置位置は橋梁の主ケーブル上に設置している。

実験では減衰自由振動を測定した。10 秒の測定時間内で加振者が 1 回跳躍を行った後の振動を測定した。加振は曲げモードとねじれモードをそれぞれ励起するよう 2 種類の位置で行った。測定時のデータ点数は 2800 点、サンプリング周波数は 280Hz とし x,y,z 軸の 3 軸



図-1 耐低温測定システム(左:外装、右:内装)

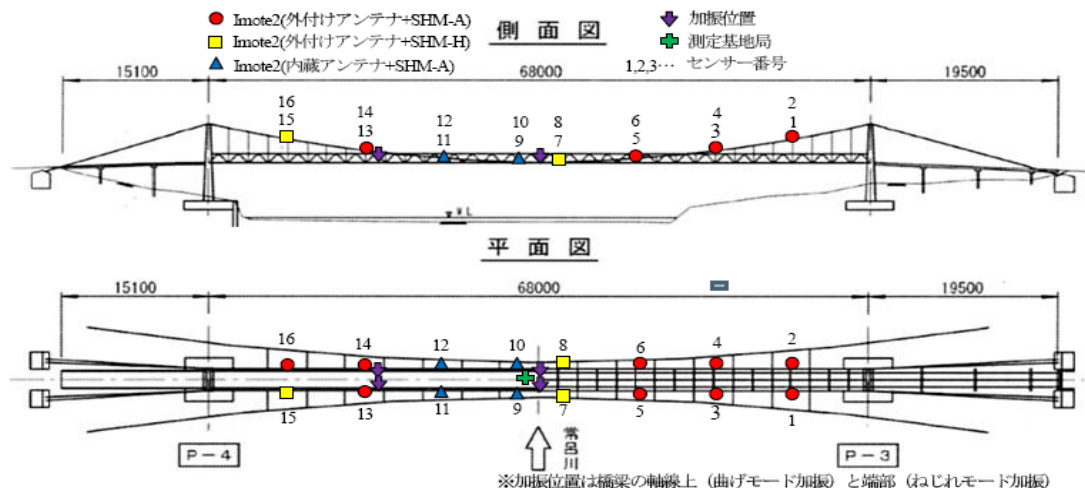


図-2 測定対象橋梁とセンサー配置位置(2011 年 11 月)

キーワード：スマートセンサー、振動特性同定、振動測定実験

連絡先 :090-0857 北見市公園町 165 北見工業大学社会環境工学科 Tel:0157-26-9472 email:miyamoya@mail.kitami-it.ac.jp

表-1 固有振動数と減衰定数

固有振動数(Hz)					
測定月	1次	2次	3次	4次	5次
201102	1.27	1.73	3.44	6.74	8.11
201107	1.32	1.81	3.52	6.76	—
201111	1.30	1.81	3.66	—	—
201201	1.30	1.78	3.62	7.11	8.41

減衰定数					
測定月	1次	2次	3次	4次	5次
201102	0.025	0.046	0.032	0.014	0.011
201107	0.033	0.053	0.032	0.021	—
201111	0.03	0.02	0.046	—	—
201201	0.034	0.06	0.035	0.005	0.05

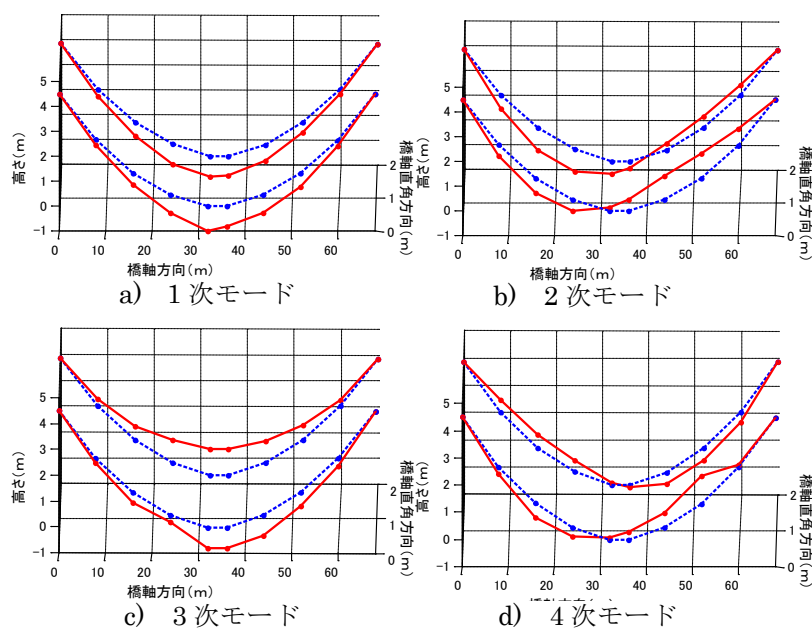


図-3 モード形状(2012年1月)

を測定した。対象橋梁は 2012 年 12 月より撤去作業が行われており、1 月の実験では側径間の床板の一部が撤去された状態で測定を行った。

3.2 データ処理手法

解析対象は z 軸のみとし、センサーボードの z 軸方向を全体系の鉛直方向とみなしてパワースペクトルのピーク値を固有振動数として抽出した。減衰定数は測定した減衰自由振動波形に対してピーク振動数周辺の帯域を通過させるような楕円 IIR 型バンドパスフィルタによるフィルタリング処理を施し、抽出した波形から対数減衰率を算出し減衰定数を求めた。表-1 は以上のデータ処理によって得られた各振動モードの固有振動数と減衰定数である。表-1 では各測定より得られた固有振動数と減衰定数を、図-3 では 1 月の測定で得られたモード形状を示す。

3.3 固有振動特性と考察

表-1 の 1 次モードは、すべての加振位置でパワースペクトルのピーク値が最も大きく、このことから、対象橋梁で最も検出されやすいモードであるといえる。表-1 より 1 次モード、2 次モードの固有振動数はどの実験でもおおむね同じ値をとっているが、4 次モード以降では固有振動数にばらつきが出たり、検出できない場合がある。また、3 次以降では c)、d) のようなねじれモードが確認された。図-3 において、上流側と下流側の対応する測点で振幅が異なり、右岸側が左岸側に比べ振幅が大きくなっていることが判る。この傾向は有線センサーを用いて測定した際にも現れている。したがって、無線センサーの測定精度の問題ではなく、測定対象橋梁が供用年数の経過により、吊材の軸力にばらつきが生じたり、両側のケーブルの張力が、異なったためだと考えられる。なお、側径間の床板の一部が撤去された状態で測定を行った 1 月についてもそれまでの実験結果と比べ、明確な差がないため、特に対象橋梁の主径間では振動特性に影響はほとんどないと

考えられる。年間を通じた変化もほとんど見られない。

4. まとめと今後の課題

本研究ではスマートセンサーを用いて、実橋梁振動測定実験を行ってきた。実橋梁で繰り返しスマートセンサーの多点計測を行った結果からは、人道吊橋における低次の固有振動数と振動モードを同定することができた。また、繰り返し実験を行うことでスマートセンサーの運用方法についても経験を蓄積した。

今後の課題として、継続的に測定を行うために屋外において長期的に測定を行う必要がある。そのためにはセンサーの防護機器の製作、センサーノードへの供給電圧や無線通信状況の確認を容易にするなどがある。防護機器と電圧に関しては 2 章で述べた耐低温測定システムが高い電圧を安定して供給できるため、今後は乾電池に代わり活用できると考えている。また、マルチホップ計測を利用してより確実に電波送受信を出来る環境を構成する必要がある。

【参考文献】

- 1) Tomonori Nagayama and Billie F. Spencer, Jr.: Structural Health Monitoring using Smart Sensors, NSEL Report #1, <https://www.ideals.illinois.edu/>, 2007.
- 2) 宮森保紀、坂和平、大島俊之、三上修一、山崎智之：人道吊橋の振動計測におけるスマートセンサーの適用と耐低温測定システムの開発、土木学会構造工学論文 Vol.58A, pp.216-225, 2012.

【謝辞】

本研究は吊橋での測定実験に関しては、北見市役所と地震防災工学研究室（北見工業大学）、(株) 豊水設計の皆様の協力を得ました。また、イリノイ大学アーバナ・シャンペイン校の B. F. Spencer, Jr. 教授、東京大学の長山智則講師には Imote2 の運用について貴重なアドバイスと支援をいただきました。ここに記して感謝いたします。