

# スマートセンサーを用いた PC 高架橋での振動特性同定

## Structural Vibration Characteristics of the PC Viaduct by using Smart Sensors

北見工業大学大学院工学研究科 学生員 ○岡本 覚人  
 北見工業大学大学院工学研究科 学生員 綿崎 良祐  
 北見工業大学大学院工学研究科 学生員 潘 凱凱

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

### 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実時間的な監視を行う「構造ヘルスマニタリング(Structural Health Monitoring, SHM)」への関心が高まっている。SHMを行うにはセンサーを高密度で設置し、測定を行う必要があるため、データ処理機能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<sup>1)</sup>。また、SHMで損傷を発見するためには定期的に振動を測定し、比較する必要がある。著者らはスマートセンサーを用いてこれまでに振動しやすい人道用吊橋において振動測定を行っているが<sup>2)</sup>、一般的な道路橋においては測定を行っていない。このことから、本研究ではスマートセンサーをPC橋に用いて振動測定実験を行うとともに、供用前である2001年11月に行った振動測定実験の結果との比較を行う。

### 2. スマートセンサー (Imote2)

本研究において使用するセンサーは図-1に示すMEMSIC社のImote2スマートセンサーシステムである。このシステムはセンサーボード、プロセッサボード、バッテリーボードからなり、これらを接続して使用する。提供されているバッテリーボードは単4乾電池用であるため、容量が少なく長時間の実験において電池交換が必要となる。そこで、単3乾電池を用いて回路により安定した電圧を供給する定電圧供給システムを製作し<sup>3)</sup>、実験に用いた。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。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JIPテクノサイエンス社の橋梁モニタリングシステムBHELMOをImote2にインストールして用いる。測定基地と測定センサー間の通信には測定センサー間で通信の経路を行うマルチホップを用いている。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. PC 高架橋における振動測定実験

#### 3.1. 実験対象橋梁と実験方法

測定対象は2001年に北見市内に架設された全長120m、中央支間長50m、幅員16.5m、曲線半径150mの3径間連続PC箱桁橋とした。実験は2013年2月に行った。

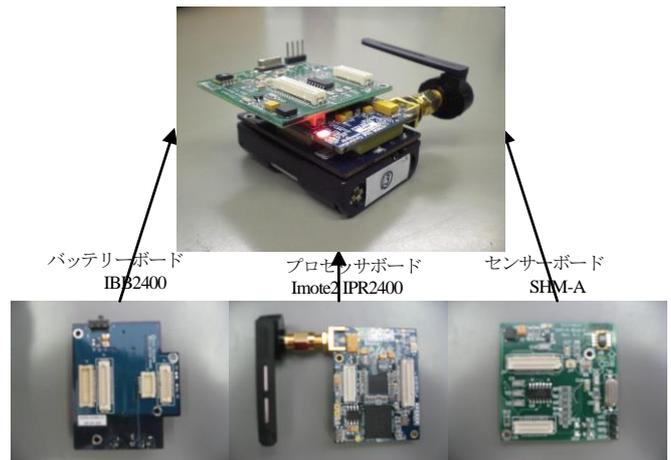


図-1 Imote2 スマートセンサー

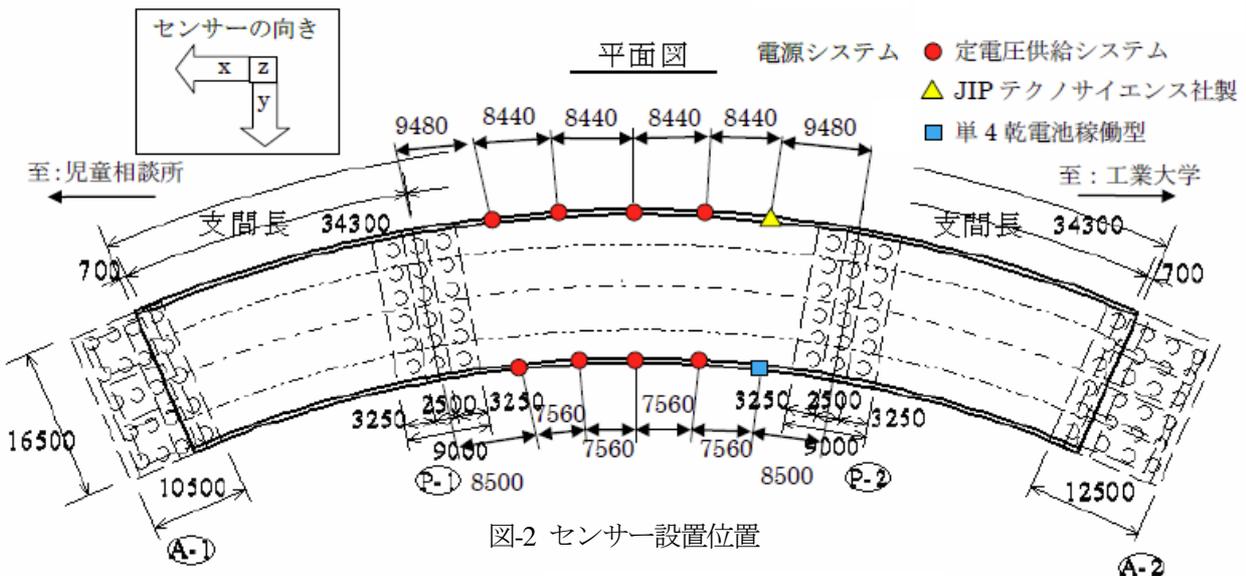


図-2 センサー設置位置

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：090-8507 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 固有振動数とモード形状

|       |         |          |
|-------|---------|----------|
| 実験年   | 2013年2月 | 2001年11月 |
| 固有振動数 | 3.068Hz | 3.063Hz  |
| 減衰定数  | 0.014   | 0.013    |
| モード形状 |         |          |

実験において、センサーは対象橋梁の中央径間に図-2に示すように上・下流各5基ずつ、計10基設置した。本橋はコンクリート系橋梁で振動振幅が小さいため、z軸方向の感度が高いSHM-Hセンサーを用いた。センサーは鋼板上に両面テープで固定し、地覆上に設置した。

実験では簡易に測定を行うため、車両通行を解放した状態でを行い、車両通行により生じる交通振動を加振源として路線バス等の大型車の通行に合わせて測定を行った。サンプリング周波数は280Hz、データ点数は16800点とし、3軸の加速度を測定した。

3.2. データ処理手法

測定した加速度データのうち、全体系の鉛直方向となるセンサーボードのz軸のみを解析し、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。実験では10サンプルの測定データを取得したため、ピークを得た振動数の平均を橋の固有振動数とした。減衰定数は測定した波形のうち、車両通過後の減衰自由振動となっている部分に対して求めた。この際、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。

3.3. 実験における振動特性同定

表-1には今回の実験と供用開始前である2001年11月の実験より得られた1次の固有振動数と減衰定数、モード形状を示す。モード形状の振幅は最大値で無次元化している。本計測において、上流側の1基のセンサーでデータが取得できなかったため、推測して点線で示してある。モード形状は対称曲げ振動であり、すべての測点でパワースペクトルが最大となるため、最も振動しやすいモードであるといえる。また、モード形状の振幅において上流側が下流側に比べ大きくなっている。本橋は曲線橋であるため、上流側が下流側に比べて支間長が長くなり、上流側の振幅が大きくなる。上流側と下流側の支間長の比とモード振幅の比を比較した結果、上流と下流の支間長比は0.896、モード振幅比は0.782であり、一定の相関があると考えられる。

本橋は供用開始前である2001年11月に振動測定実験を行っている。この実験ではセンサーを各径間の中央部の上流側、下流側の地覆、道路の中央線に1基ずつ、計9基の

有線のひずみゲージ型加速度計を設置し、ダンプトラックが段差を乗り越えた後の減衰自由振動を測定している。データ処理には今回の実験と同様の処理を施している。今回実験を行った中央径間について着目すると、モード形状は対称曲げ振動で同じ形状であり、固有振動数、減衰定数もほぼ同じ値を示している。これにより、振動特性の観点からは橋梁全体やゴム支承に大きな変化はないと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究はスマートセンサーの実橋梁振動測定への適用を目的として、一般的な道路橋においてスマートセンサーでの多点計測および過去の計測結果との比較を行った。その結果から、本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、振動特性の観点からは橋梁自体に大きな変化はないと考えられる。

今後の課題として、このようなスマートセンサーによる振動特性の同定結果を構造ヘルスマonitoringにどのように活用するかが挙げられる。本研究では、供用前の計測結果との比較を行ったが、両実験とも冬季に行った実験のため、季節変化による変化を取得していない。季節による振動モードの変化を明確にすることはSHMの前提となるため、今後夏季においても同様の実験を行う。

【謝辞】

本研究の一部は、平成24年度ノーステック財団「研究開発助成事業 (talent 補助金)」ならびに北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会の研究支援を受けて行われました。ここに記して感謝いたします。

【参考文献】

- 1) T. Nagayama and B.F. Spencer, Jr.: Structural Health Monitoring using Smart Sensors, NSEL Report #1, <https://www.ideals.illinois.edu/>, 2007.
- 2) 岡本覚人、綿崎良祐、宮森保紀、加地善則、三上修一、山崎智之：スマートセンサーを用いた3次元加速度計測による人道用吊橋の振動特性同定、土木学会北海道支部平成24年度論文報告集 第69号 A-57、2013.
- 3) 綿崎良祐、岡本覚人、潘凱凱、宮森保紀、三上修一、山崎智之：橋梁振動測定のためのImote2スマートセンサーにおける電源システムの改良、平成25年度全国大会第68回年次学術講演会、2013(投稿中).