

スマートセンサーを用いた人道用吊橋の振動測定実験

Vibration measurement on pedestrian suspension bridge by smart sensors

北見工業大学大学院工学研究科 学生会員 ○坂 和平
 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 F 会員 大島 俊之

1. はじめに

近年、構造物の実時間的な健全性の監視を目指した「構造ヘルスマニタリング (Structural Health Monitoring, SHM)」に関心が高まっている。SHM は構造物の健全性を常時、モニタリングするものである。SHM の具体的な手法の一つとして、振動計測を利用した損傷同定が挙げられる。しかし、従来のセンサーシステムは費用や測定時の手間がかかることから多点での測定を長期間行うことは困難である。そのため、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期待されている¹⁾。しかし、スマートセンサーを実橋梁において用いるには、厳しい環境下に耐えられる補助システムと良好な電波状態の確保が必要となる。

上記の要求に対処するため、図-1 のような低温環境におけるスマートセンサーの使用を想定した「耐低温環境システム」を製作した。本報告では、橋のスマートセンサーを用いた振動実験の効率化と耐低温環境システムが実橋梁に適用しうるかの検証を目的として、実橋梁での測定実験を行った。

2. スマートセンサー耐低温環境システム

低温環境においてスマートセンサーを使用するためのシステムの製作を行った。スマートセンサーは Crossbow 社の Imote2 センサーシステムを使用した。Imote2 センサーシステムはセンサーボード、プロセッサボードを接続して使用する。プロセッサボードは Crossbow 社の Imote2 を使用し、センサーボードはイリノイ大学で製作された SHM-A、SHM-H を使用した。SHM-A には STMicroelectronics 社の LIS344ALH 加速度計が搭載され、SHM-H には LIS344ALH 加速度計と Silicon Designs 社の SD1221 加速度計が搭載されている。SHM-H は 2 軸を LIS344ALH 加速度計で測定し 1 軸を SD1221 加速度計で測定する。

スマートセンサーには全天候での使用を実現するため、防水、断熱対策を施す必要がある。断熱対策としては、低温環境下での使用を見据え、ケース内の上下、側面に断熱材を貼り付けている。防水対策として蓋にゴムパッキンを取り付けている。また、長期間の使用も見据えて自立型で安定した電力の供給も求められる。この条件を満たすために太陽光発電システムを導入した。発電システムはケース外のソーラーパネルとケーブルで接続されている。ソーラーパネルで発電された電力をスマートセンサー(Imote2)に供給するが、余剰電力がバッテリーに蓄電し、また、太陽光が得られない

場合は、バッテリーの電力をスマートセンサーに供給する。チャージャーコントローラーは、このような電源の切り換えを制御する。スマートセンサーとチャージャーコントローラーの間には変圧器が挿入されている。これは、発電システム全体が 12V で動作するのに対して、Imote2 の定格電圧が 4.5V であるために、Imote2 への入力電圧を調整するためのものである。また、この変圧器によって、Imote2 に安定した電力を供給することができる。図-1 に製作した耐低温環境システムを示す。

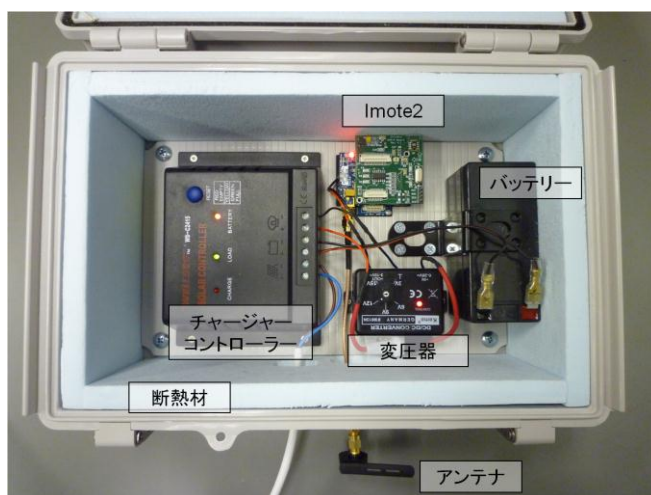


図-1 耐低温環境システム

3. 実験概要

3.1. 測定対象

測定対象は無補剛の人道用吊橋で振動しやすい特性を有する。今回の実験では、電波の受信を考慮して、振動を測定する対象を河川下流側の中央径間主ケーブルのみとした。また、耐低温環境システムを中央主径間、中央の床板上に設置し、耐低温環境システムの実用性を検証するために、冬季の 2 月に実験を行った。図-2 にセンサー設置位置を示す。使用したセンサーはセンサーボード SHM-A と SHM-H を搭載した従来の Imote2 センサーシステムをケーブル上に、製作した耐低温環境システムを床版上に設置した。

3.2. 計測内容

減衰自由振動を測定した。減衰自由振動の測定では、加振者が屈伸を 1 回行ったときの振動を測定した。データ点数は 2800 点、サンプリング周波数は 280Hz として X,Y,Z 軸の 3 軸の加速度を測定した。図-2 に示す各加振位置において 3 回ずつ測定した。

キーワード：スマートセンサー、耐低温環境システム

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

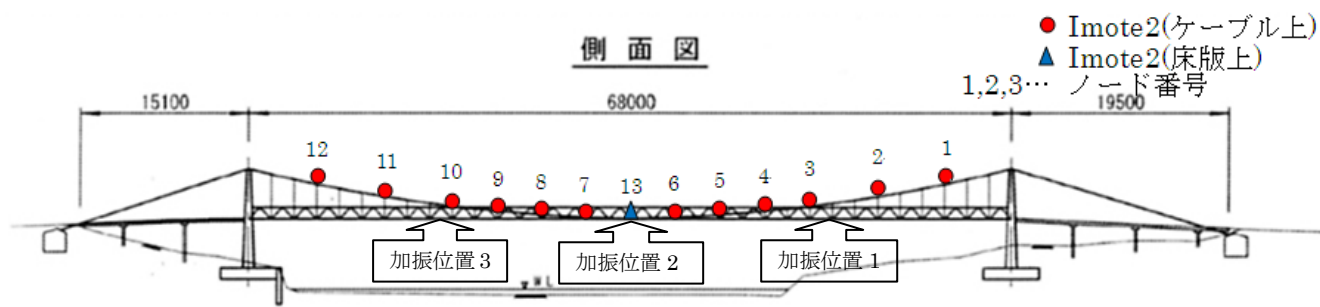


図-2 センサー設置位置

※加振位置の橋軸直角方向は中央部のみ

4. 実験結果

4.1. 耐低温環境システムの有効性

実験を行うにあたって、主ケーブル全体の振動特性を把握するためにすべてのノードから振動データを取得する必要がある。今回は合計 29 サンプルの振動データを測定したが、そのうち 11 サンプルで、いずれかのノードのバッテリー電圧の低下により、振動データが取得できなかった。この問題は低温環境においてバッテリー電圧の低下が大きかったためと推測される。しかし、耐低温環境システムは測定終了まで十分な電圧を保てた。このことから、耐低温環境システムは低温環境の測定において有効であると考えられる。

4.2. 減衰自由振動の振動特性解析

測定した減衰自由振動のフーリエスペクトルから表-1 に示すように、橋の固有振動数と減衰定数を求めた。固有振動数は振動データのスペクトル値のピークから導き出した。減衰定数は測定した減衰自由振動データからバンドパスフィルタによるフィルタリング処理を施し、固有振動成分を抽出する。抽出した自由減衰振動波形から対数減衰率を算出し、減衰定数を求めた。

図-3 に示すモード形状の決定には、減衰定数の算出時と同じフィルタリング処理後の減衰自由振動波形を用いた。振幅が極大に達する時刻の測点ごとの加速度応答値を最大値で無次元化することで、対象となる振動モード毎に測点の振幅比を求めることでモード形状とした。今回の実験では橋梁の片側のみにセンサーを設置したためねじれのモード形状を検出することができず、モード形状は曲げのみを検出した。

検出したモード形状は、一般的な単一ケーブルの動的挙動に近いことから²⁾、Imote2 センサーシステムを使用して、橋の振動特性同定を行うことが可能である。

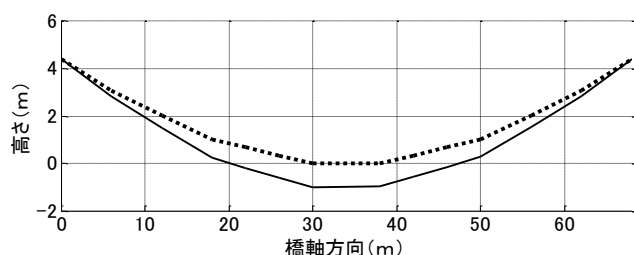
5. まとめと今後の課題

実験結果から、製作した耐低温環境システムが低温環境での使用に有効であり、また、スマートセンサーが SHM の為の効率的なモニタリングと有効な振動データの取得が可能であることから、スマートセンサーと耐低温環境システムを組み合わせることによって、実橋梁の長期的なモニタリングの実現が期待できる。

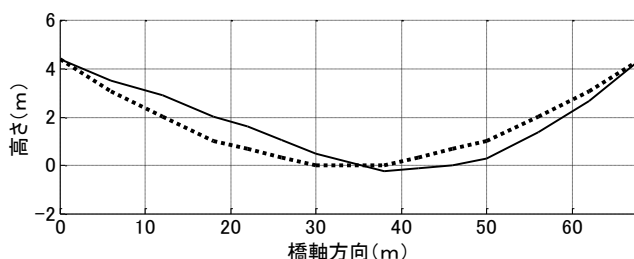
今後の課題として、今回の実験では電波状態の問題から橋梁の 1 部しか振動データの取得ができなかったが、SHM を行うに当たって構造物全体の構造特性を知るために、Imote2 センサーを橋梁全体に取り付ける必要がある。そのために、より確実に電波送受信を出来る環境を Imote2 センサーに備え付ける。

表-1 固有振動数と減衰定数

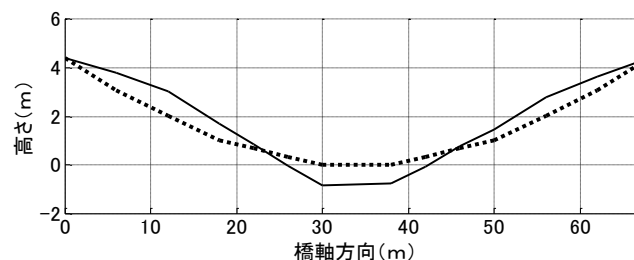
モード	固有振動数(Hz)	減衰定数
1次	1.23	0.028
2次	1.71	0.019
3次	3.42	0.035



a) 1次モード



b) 2次モード



c) 3次モード

図-3 モード形状

【参考文献】

- 1) Tomonori Nagayama: Structural Health Monitoring using Smart Sensors, Ph. D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2007.
- 2) Niels J. Gimsing、伊藤學、藤野陽三、長井正嗣、杉山俊幸、中村俊一：吊形式橋梁、建設図書、1990.

【謝辞】

本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B)、課題番号: 21710166)ならびに、科学技術振興機構の戦略的国際科学技術協力事業の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。