

損傷を有する実横断歩道橋の3軸加速度計測による固有振動特性同定

Identification of 3-dimensional dynamic characteristics of the real pedestrian bridge having the damage

北見工業大学	学生員	○綿崎 良祐	北見工業大学	正会員	宮森 保紀
(株)オリエンタルコンサルタンツ	正会員	門田 峰典	北見工業大学	正会員	三上 修一
国土交通省中部地方整備局	正会員	岡本 覚人	北見工業大学	正会員	齊藤 剛彦
北見工業大学	学生員	潘 凱凱			

1. はじめに

我が国では高度経済成長期に多くの橋梁が建造され、それらの老朽化に対する維持管理方法の構築が求められている。そこでスマートセンサーなどの新しいモニタリング技術を用いた構造ヘルスモニタリング (Structural Health Monitoring, SHM) が注目されている。

SHM の実用化に向けて様々な研究が行われているが、本研究では橋梁の損傷による固有振動特性の変化に注目している。そこで損傷を有する歩道橋においてスマートセンサーを用いた振動測定実験を行い、固有振動特性同定を行った¹⁾。本報は損傷を有する橋梁の振動特性を把握するために振動測定から得られた固有振動特性と橋梁諸元から作製した FEM モデルを比較し考察したものである。

2. 対象橋梁

著者らは中・小規模橋梁を主対象として、スマートセンサーを用いた SHM の実用化を目指している。そこで対象橋梁を北海道北見市に位置する横断歩道橋(橋長 20.16m, 支間長 18.48m, 幅員 1.5m)とした。本橋は片側の主桁に最大 160mm 程度の変形および亀裂が生じている。これは車両が衝突したことで発生したものと推測される。近々この損傷に対して補修が行われる予定である。図 1 に本橋の全景と損傷部を示す。

3. スマートセンサーを用いた振動測定実験

本実験では、有線型センサーに比べて迅速に振動測定実験が可能なスマートセンサーを使用した。センサーシステムは MEMSIC 社製の Imote2 システムを使用し、センサーボードは 3 軸加速度計を搭載した SHM-A, SHM-H を使用した。またアプリケーションソフトとして橋梁モニタリングシステム BHELMO を使用した。なお、実験は 2013 年 9 月と 11 月の 2 回行った。

3.1 実験内容

振動実験は、加振者が 1 回跳躍した後に発生する減衰自由振動を測定した。サンプリング周波数を 280Hz, 1 サンプルを 60 秒間とした。図 2 にセンサーの配置と損傷位置を示す。図中の丸数字で示すように、センサーは全部で 14 基設置した。実験に要した時間は全体で約 4 時間 30 分である。



図 1 対象橋梁の全景と損傷部

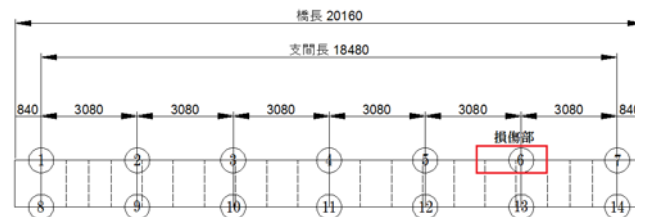


図 2 センサー配置と損傷位置

3.2 振動特性同定結果

振動実験より得られた固有振動数とモード形状を図 3 に示す。左図は測定結果で、丸印がセンサー位置、実線がモード形状を示している。振動データの解析手法はスペクトル法を用いており、ピークピッキングにより固有振動数を求めた。モード形状はスペクトルのピークに対してバンドパスフィルタによるフィルタリング処理によって振動波形を生成し、その波形の最大振幅における時刻の測点ごとの振幅値から算出した。固有振動数は 2 回の実験で得られた値の平均値で示している。モードは 1 次から 7 次まで示している。1 次モードは橋軸方向、3 次モードは橋軸直角方向、2 次、4 次から 7 次モードは鉛直方向に卓越したモードである。1 次モードにおいては鉛直方向にも振動振幅を有する。また 1 次、3 次モードにおいて、奥側の丸印部分(損傷部)の振幅が対称でない。これは変形・亀裂による剛性の低下によるものと思われる。

キーワード 構造ヘルスモニタリング, FEM, 振動測定実験, スマートセンサー

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165 TEL:0157-26-9472

4. FEM モデル作製と実験値との比較

3章で記述した固有振動特性と FEM モデルの固有振動解析との比較を行った。

4.1 FEM モデル

3次元 FEM モデルの作製および固有振動解析は汎用土木構造解析システムである MIDAS/Civil を用いた。舗装はソリッド要素、高欄は梁要素、主桁、横桁などはシェル要素を用いてモデル化した。まず橋梁の図面から健全モデルを作成し、その健全モデルに変形・欠陥を加えることで損傷モデルを作製した。ただし、歩道橋の階段部はモデル化していない。損傷部は、変形は損傷図の値を参考に節点・要素を変形させて再現し、亀裂は最小 1mm のメッシュに細分化した要素を削除して再現した。

4.2 実験値と FEM モデルの比較

解析によって得られた固有振動数とモード形状を図3右側に示す。固有振動数の括弧内は実験値との差を表している。FEM モデルにおいて1次, 2次, 6次, 7次モードは5%前後の差で一致しており, 比較的高いモードまで振動数とモード形状が再現できた。また, 5次, 6次, 7次モードなどでは損傷位置の主桁下フランジのモード振幅が非対称であることが確認できる。実測結果とは固有振動数が若干異なることからモード振幅について定量的な比較は行わないが, 実測結果と解析結果の両方で損傷の影響が確認できたため, 今後センシングデータに基づいた SHM への応用が期待できる。

一方, 4次, 5次モードは固有振動数が実測と解析で10%以上異なる。特にねじれモードである4次モードの再現率が低い。これは階段部のモデル化を行っていないことによるものと思われる。また, 実験で得られた3次モードと同様のモードはFEMモデルでは得られなかった。

5. まとめ

本報では損傷を有する橋梁の振動特性を把握するために, 損傷を有する歩道橋における振動測定実験とFEMモデルによる固有振動解析との比較を行った。

振動実験では, 損傷を有する歩道橋における固有振動数とモード形状を3次元で同定できた。また, 3次元の測定により, 複数の方向で卓越するモードを確認することができた。

FEM モデルの固有振動解析では実験値に近い結果を得られた。今後は損傷部のモード振幅の違いを定量的に把握するため, 階段部のモデル化を含む, より高精度なモデルを作製する予定である。また, 階段部のモード形状については, 階段を含む橋梁全体系で振動測定実験を行う必要がある。

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：25870025）ならびに、鹿島学術振興財団の研究助成による支援を得ました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 岡本覚人, 西山勝隆, 宮森保紀, 齊藤剛彦, 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横断歩道橋の振動特性同定, 土木学会北海道支部平成25年度論文報告集, 第70号, 2014.

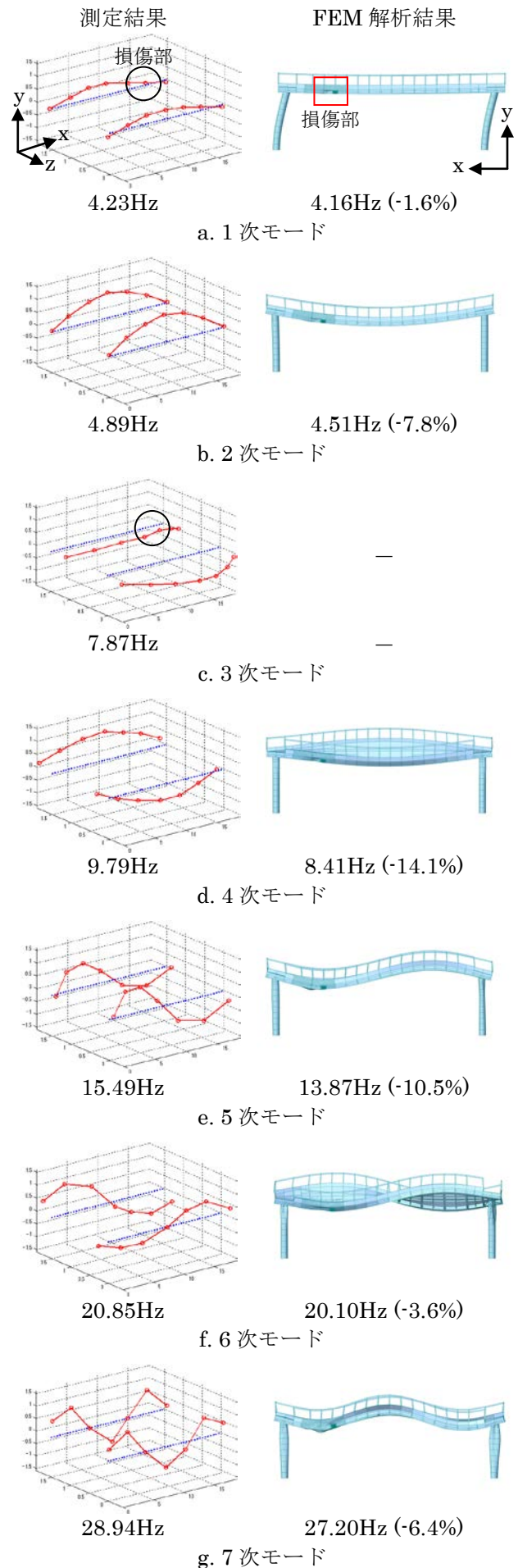


図3 実験値と FEM モデルの比較