

アーチ形式木歩道橋の実稼動モード解析と FEM モデルアップデーティング

日本大学大学院 学生員 ○芝原 正 岩手大学工学部 正会員 岩崎 正二
 岩手大学工学部 正会員 出戸 秀明 日本大学工学部 正会員 五郎丸 英博

1. はじめに

現在、橋梁の振動特性を把握する手法の一つとして、加振力（入力）と振動応答（出力）によるモード解析が広く用いられている。しかし、この手法は橋梁のような大型構造物に対しては容易に加振することが困難なため実用的とはいえない。そこで、本研究では加振力を必要としない振動応答のみによる実稼動モード解析を採用した。この手法は、測定時に交通規制をする必要がなく、加振装置も不要でテスト時間が短縮できる。また、測定された応答が実際の稼動状態における振動特性を現わしている。

本研究は、アーチ形式木歩道橋の振動応答のみを計測し実稼動モード解析を行い、その振動特性を明らかにした。さらに、3次元構造解析モデルを作成し MSC/Nastran を用い固有値解析を行い、実稼動モード解析で得られた結果をもとに最適な FEM 解析モデルへのアップデーティングを行った。

2. 橋梁概要

本研究は、思惟大橋コミュニティー公園内に架設された思惟公園 1 号橋を対象として振動実験を行った。Fig.1 に対象橋梁の平面図及び断面図を示す。本橋は、下路式トラストランガー形式の木歩道橋で材料は構造用大断面集成材を主材料としている。支承条件は両端ヒンジ支承である。また、アーチ部と桁部に計 8 箇所の連結部を有している。

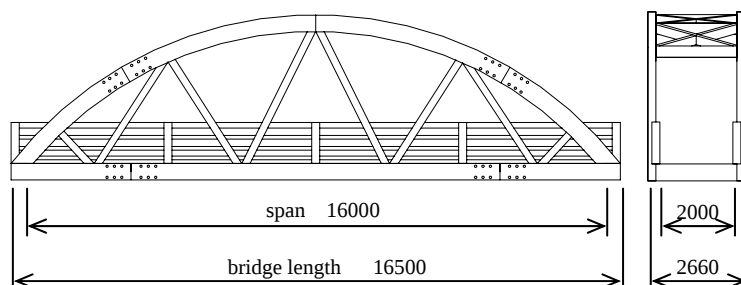


Fig.1 Dimension of measured bridge

[mm]

3. FEMによる固有値解析

実験と同時に、本橋の振動特性を把握するために 3 次元構造解析モデルを作成し MSC/Nastran を用い固有値解析を行った。Fig.2 にその解析モデルを示す。この FEM 解析モデルはアーチリブと桁を Solid 要素、斜材と横構及び支材を Rod 要素、高欄を Beam 要素、連結部をバネ要素で 3 次元モデル化した。物理定数は、先に行った集成材の静的破壊試験の結果を用いた。また、支承条件は両端ヒンジ支承である。この FEM 解析モデルの要素数は 1784 要素、節点数は 2991 点である。

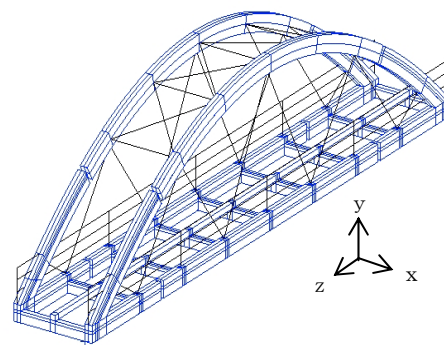


Fig.2 3-D view of FE model

4. 実稼動モード解析 (OMA)

実稼動モード解析に先立って行った実橋実験では、大人 10 人で人力加振（走行・歩行外力）を与えて振動測定を行った。Fig.3 に加速度計配置図を示す。加速度計は 3 軸加速度計（XYZ 方向計測）を 5 個使用した。その内 1 個の加速度計を参照点（Reference）として固定し、残り 4 個の加速度計を順次橋梁全体に移動させ各測定点での振動応答を計測した。

解析は周波数領域分解法を用いて行った。パワースペクトル密度の特異値分解を周波数毎に適用し、得られた特異値のピークにおいて 1 自由度系の同定を行い、モーダルパラメーターを推定した。

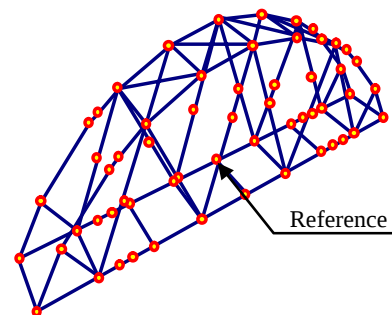


Fig.3 Measurement points

Keywords : モード解析, 固有値解析, 振動測定, 木橋

連絡先 : 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学 橋工学研究室 TEL・FAX 024-956-8714

5. 実稼動モード解析結果

Fig.4 に OMA の固有振動数, モード減衰比及び振動モード図を示す. OMA では, 周波数分解能 0.03125Hz(8192lines)から 0.25Hz(1024lines)の範囲で解析を行った. この結果, 周波数分解能 0.0625Hz(4096lines)において最も多くのモード推定ができ, 各測定点での周波数のばらつきが少なく, 減衰比の値においても妥当な評価ができたため, この解析条件が最も本橋梁の振動特性を表現していると判断した.

Fig.4 に示す OMA の振動モード図より, 連結部の影響を大きく受け, 低次から水平振動が連続して発生し, 水平方向の剛性が低いことがわかる.

6. FEMモデルアップデーティング

Fig.5 に FEA のモデルアップデーティング前後の固有振動数及び振動モード図を示す. また, Fig.6 には OMA と FEA の固有振動数の相関図, Fig.7 には各モードの相関解析結果の MAC 値を示す. 相関解析はモード信頼性評価基準(MAC)に基づき評価した.

今回, さまざまな条件下で物理定数の変化が大きい集成材を主材料とする橋梁をアップデーティングするため, ヤング係数を-30%, 密度を+30%と比較的広い適用範囲で最適解に収束させた. その結果, ヤング係数-23%, 密度+25%で最も OMA 結果に周波数が近似し相関性の高い結果が得られた. 次に, より精度の高いモデルを作成するために, 軸方向のバネ定数の変更を行った. これはアップデーティング前に得られた固有値解析の振動モード図と OMA の振動モード図を比較すると, 連結部のバネ定数が過大に評価されていると判断できたためである. ここでは, 3軸方向のバネ定数を5倍から1/5倍の適用範囲で最適解に収束させた. その結果, Y(鉛直)方向とZ(橋軸)方向の軸方向のバネ定数をともに1/3倍したモデルが周波数特性及びモード形状の相関性が高かったため, このモデルを最適な FEM 解析モデルと決定した.

7. まとめ

実稼動解析により, アーチ形式木歩道橋の実稼動状態の振動特性を明らかにし, 最適な FEM 解析モデルを作成することができた. この FEM 解析モデルは, 本橋梁の健全度診断を行う上で重要なモデルと考えられる.

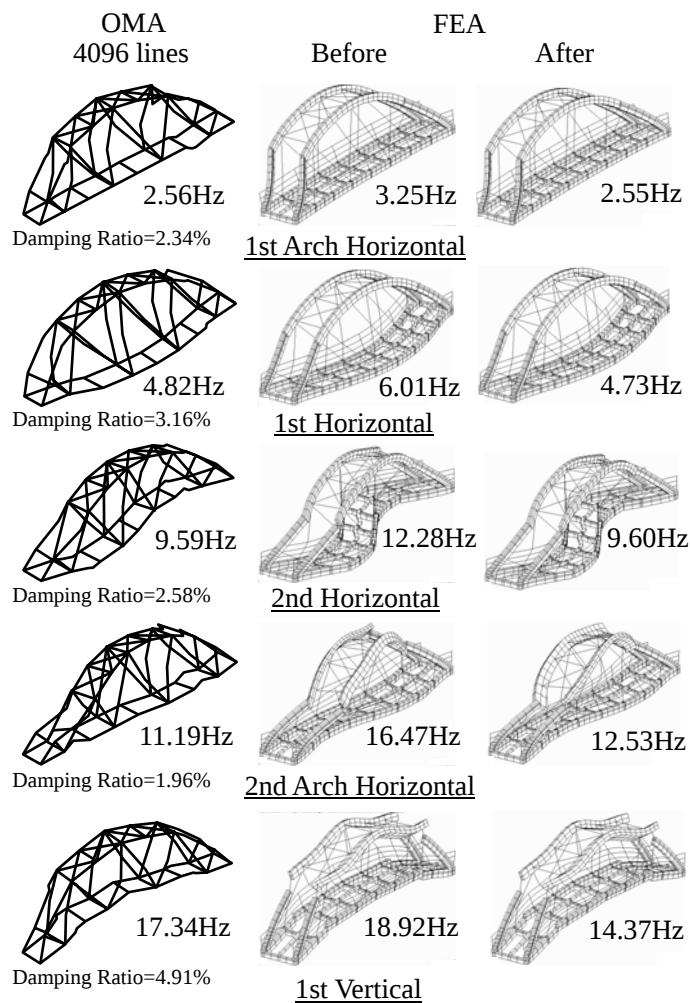


Fig.4 Identified mode shapes by OMA

Fig.5 Identified mode shapes by FEA

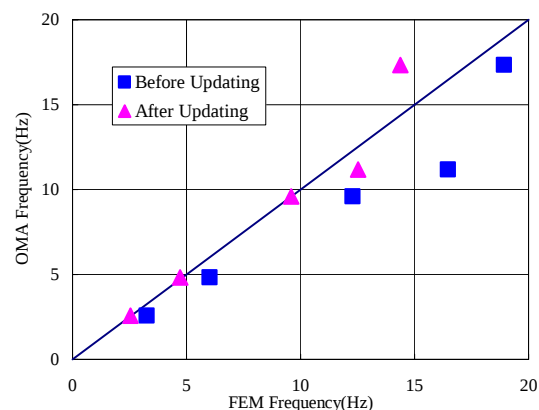


Fig.6 Correlation of OMA with FEA before updating and after updating

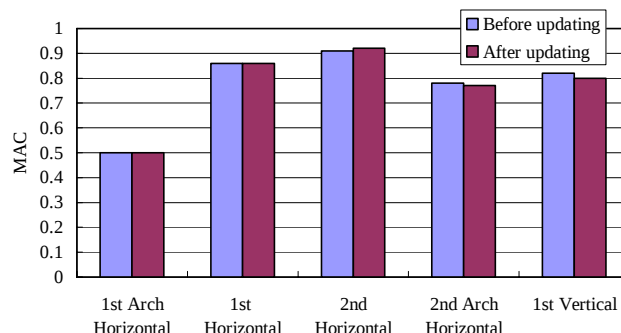


Fig.7 MAC values