

# 損傷を受けたアーチ橋の実稼動モード解析

日本大学大学院 学生会員 ○小川 高誉  
 矢田工業(株) 正会員 成田 英樹  
 日本大学工学部 正会員 五郎丸 英博

## 1. はじめに

2011 年 7 月 27 日から 30 日にかけて発生した新潟・福島豪雨は、福島県会津地方西部を中心に甚大な水害を惹き起こし、河川堤防の決壊や土砂崩れ、橋梁の落橋など多大な被害をもたらした。本研究ではこの水害によって被災し、補剛桁に局部損傷が生じたアーチ橋を対象に実稼動モード解析(OMA)を行い、被災後の橋梁の振動特性を算出した。また、橋梁が健全な状態の振動特性を FEM による固有値解析で算出し、被災後と健全な状態の振動特性を相関解析により比較して、被災後の振動特性を明らかにした。

## 2. 橋梁の概要

解析対象橋梁は、1973 年 10 月に架設されたアーチ橋で形式はトラスドラングアーチである。本橋は支間長 127.600m、幅員 5.500m を有している。支承条件は、P1 側の G が固定支承で他の 3 つは可動支承である。また、水害により上部工補剛桁の局部損傷、アーチ部材の変形(平面湾曲、断面傾斜)が生じた。

## 3. 実稼動モード解析(OMA)

実稼動実験は、三軸加速度計を補剛桁の上フランジ部に設置し、橋梁に車両を走行させ、その実稼動状態の振動応答を計測した。実稼動モード解析は確率的小空間同定(SSI)法を用いて、分析周波数を 0.3~100Hz として行い、被災後の橋梁の振動特性を算出した。表-1 に OMA の鉛直振動の解析結果を示す。

表-1 OMA の鉛直振動の解析結果

| Mode | Shape      | Frequency (Hz) | Damping Ratio (%) |
|------|------------|----------------|-------------------|
| 1    | Vertical 1 | 1.745          | 1.446             |
| 2    | Vertical 2 | 3.090          | 0.323             |
| 3    | Vertical 3 | 4.452          | 1.469             |
| 4    | Vertical 4 | 4.904          | 2.120             |

## 4. FEM による固有値解析

FEM モデルは有限要素解析ソフト「Patran」を用いて設計図面を基に、新設時の健全な状態として作成した。作成した FEM モデルは床版を Solid 要素、補剛桁、補剛材、縦桁、横桁、下横桁を Shell 要素、アーチリブ、斜材、上横構、上横支材、下横構を Beam 要素で作成した。表-2 に材料条件、図-1 に FEM モデルを示す。固有値解析は解析ソフト「MSC/Nastran」を用いて行い、健全な状態の橋梁の振動特性を算出した。表-3 に FEM による鉛直振動の解析結果を示す。

表-2 材料条件

|        | E (KN/m <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 単位重量 (KN/m <sup>3</sup> ) |
|--------|------------------------|-------|---------------------------|
| 鋼材     | $2.05 \times 10^8$     | 0.3   | 77.0                      |
| コンクリート | $2.2 \times 10^7$      | 0.2   | 24.5                      |
| アスファルト | $1.4 \times 10^7$      | 0.15  | 23.0                      |

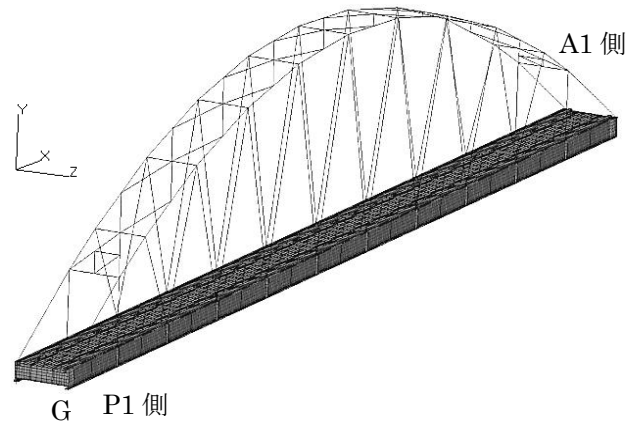


図-1 FEM モデル

表-3 FEM による鉛直振動の解析結果

| Mode | Shape      | Frequency (Hz) |
|------|------------|----------------|
| 1    | Vertical 1 | 1.411          |
| 2    | Vertical 2 | 3.168          |
| 3    | Vertical 3 | 4.592          |
| 4    | Vertical 4 | 4.812          |

キーワード：アーチ橋, 損傷, 実稼動モード解析(OMA), FEM

連絡先 〒963-1168 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 日本大学工学部 橋工学研究室 TEL 024-956-8714

## 5. 相関解析

OMA と FEM の相関解析は式(1)で算出した MAC(モード信頼性評価基準)に基づきモードシェイプ間の相関を評価した。また、固有振動数の差は式(2)で算出した Difference で表した。図-2 に OMA と FEM のモードシェイプペア、表-4 に OMA と FEM による相関解析結果を示す。

$$\text{MAC}(\varphi_a, \varphi_b) = \frac{(\{\varphi_a\}^T \{\varphi_b\})^2}{(\{\varphi_a\}^T \{\varphi_a\})(\{\varphi_b\}^T \{\varphi_b\})} \quad (1)$$

$\varphi_a$ : FEM のモードシェイプ

$\varphi_b$ : OMA のモードシェイプ

$$\text{Difference} = \frac{f_{\text{OMA}} - f_{\text{FEM}}}{f_{\text{FEM}}} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$f_{\text{OMA}}$ : OMA の Frequency

$f_{\text{FEM}}$ : FEM の Frequency

## 6. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) OMA のモードシェイプには水害で損傷した補剛桁部に FEM のモードシェイプには見られない複雑かつ局所的な応答や、支承部に橋軸方向やねじれの応答が確認された。
- (2) Mode 2 の MAC は 0.850 と比較的高い値が算出されたが他のモードでは非常に低い値が算出され、全体的な MAC の平均値は低い値となった。
- (3) Mode 1 の Difference に 23.671% と大きな値が算出されたが、他のモードでは小さな値が算出された。

以上のことにより、被災後の橋梁のモードシェイプは健全な状態のモードシェイプと大きく異なっており、局部損傷が生じた補剛桁の剛性の低下が橋梁全体の振動特性に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。

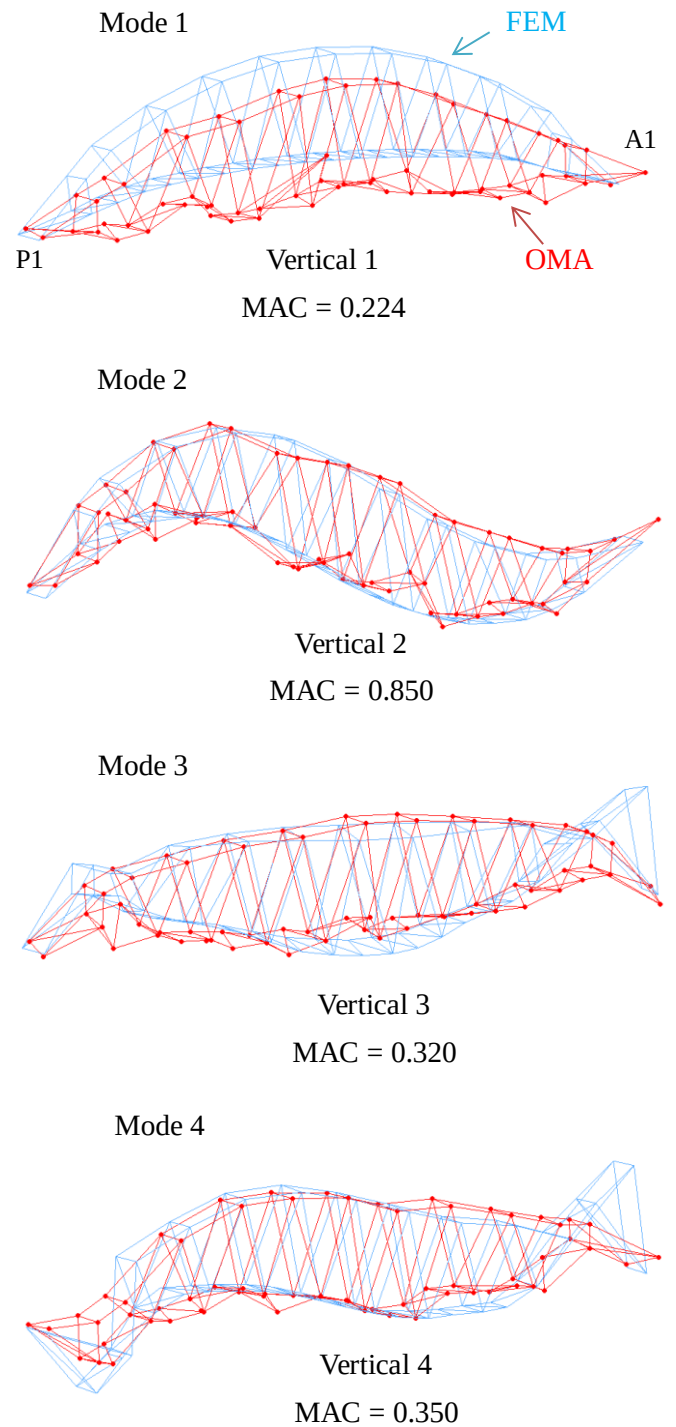


図-2 OMA と FEM のモードシェイプペア

表-4 OMA と FEM による相関解析結果

| Mode    | OMA (Hz) | FEM (Hz) | MAC   | Difference (%) |
|---------|----------|----------|-------|----------------|
| 1       | 1.745    | 1.411    | 0.224 | 23.671         |
| 2       | 3.090    | 3.168    | 0.850 | -2.462         |
| 3       | 4.452    | 4.592    | 0.320 | -3.048         |
| 4       | 4.904    | 4.812    | 0.350 | 1.911          |
| Average |          |          | 0.436 | 5.018          |