# 合理的な維持管理を目的とした Model Updating 法の実橋梁への適用

埼玉大学　学生員○伊藤　信、正会員　山口宏樹、鈴木彬大
埼玉大学　正会員　吉岡　勉　正会員　松本泰尚

## １．背景と目的

現在、日本では、土木構造物の老朽化が大きな問題となっている。米ミネアポリスでの落橋事故や日本国内での鋼トラス橋における破断事故が相次いで発生したことからも、客観的・定量的判断に基づいた合理的な維持管理手法の確立が急務であると言える。人員不足や目視が困難な部分の損傷の検知等から、目視検査のみでは限界があると言われている。そこで、多大な労力と経験的技術を要する目視検査を補う手法として、本研究では、振動により健全度評価を行う一手法である Model Updating に着目し、研究目的を、損傷を有する実橋梁に対し Model Updating を適用することにより、橋梁の状態を把握できるか検討することとした。

## ２．対象構造物の常時微動計測

対象構造物は、腐食や損傷を有する単径間鋼アーチ橋(L=102.4m、以下「A 橋」)とした。A 橋に対し、供用時の振動計測を行って Model Updating を適用し、構造物の状態を把握できるかの検討を行った。計測振動はサーボ型速度計と圧電式ピックアップを用い、加速度成分を主溝上では鉛直、吊材では水平方向について計測した。サンプリング周波数は 200Hz で、多点同期計測を行った。3 種類の計測器の配置で計測を行ったが、本研究の目的に沿って、橋梁全体の振動モードの把握を目的として行った、図-1 の計測器配置でのデータを用い、Model Updating の適用を試みた。時系列波形とフーリエスペクトルの一例を図-2 に示す。

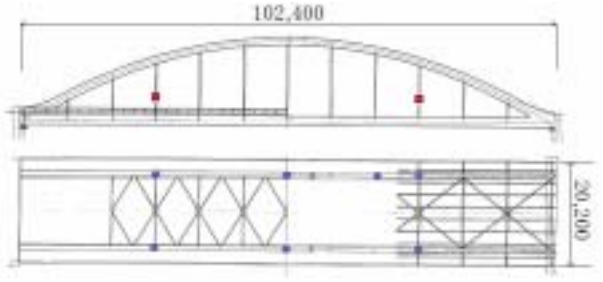


図-1　A 橋平面図と計測位置　■: 鉛直 ●: 橋軸直角

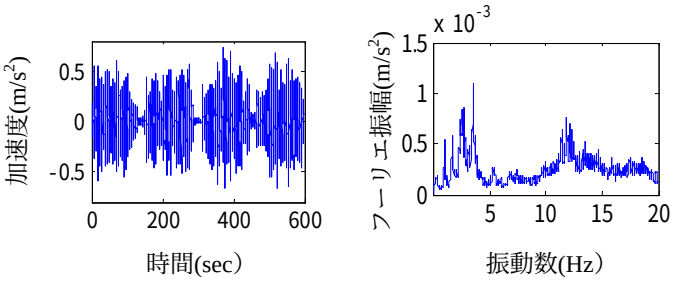


図-2　時系列波形とスペクトル図

## ３．A 橋の振動特性把握

得られた振動データを解析し、A 橋の振動特性把握を行った。解析方法は、まず常時微動波形から RD 法を用いて自由振動波形を抽出し、ERA (Eigensystem Realization Algorithm) 解析を用いてモード同定を行う。また、構造解析ソフトである Multiframe を用いて、図-3(a)に示した A 橋の 3 次元骨組モデルを作成し固有振動解析を行い、理論的な振動特性値の把握を行った。図-3(b)にモード形状の一例を、表-1 に各解析結果を示す。解析結果の精度の指標として、理論値と実験値のモード形状の相関性を表す Modal Assurance Criteria (MAC)と振動数における誤差を併せて示した。

(a)　解析モデル　　(b)　モード形状

図-3　3 次元骨組モデルによる固有振動解析

表-1　解析結果比較表

| モード形状 | 固有振動数(Hz) | | | MAC |
|---|---|---|---|---|
| | 理論値 | 実験値 | 誤差 | |
| ねじれ逆対称1次 | 1.75 | 1.68 | 4% | 63% |
| 鉛直逆対称1次 | 1.87 | 1.01 | 85% | 86% |
| 鉛直対称2次 | 3.80 | 2.39 | 59% | 47% |
| ねじれ対称2次 | 4.58 | 3.54 | 29% | 69% |

キーワード　Model Updating，実橋梁，RD・ERA 法
連絡先　〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 Tel 048-858-3552

## 4．Model Updating 法の適用

**(1) Model Updating 概要** Model Updating とは、振動試験から得られた振動特性の同定値と、構造モデルを解析して得られた振動特性の理論値を、モデルを様々な方法で更新することによって近づけるものである。本研究は、その過程における変化から損傷等を捉えようとするものである。表-1 の結果より、理論値と振動試験から得られた同定値に大きな相違があることが分かった。そこで、解析モデルの更新を行い、これらの値が近づくか否かの検討を行った。モデル更新の内容は、床版に目地のような溝が入っていたことから床版剛性を低下させる更新と、錆などにより可動支承が固定となっている可能性があるため支承条件を変化させる更新を行った(図-4(a), (b))。また、A 橋は多くの箇所で腐食や小さな亀裂が発生している。そこで、腐食や小さな亀裂を断面欠損として表すことを仮定し、それらを捉えることが可能か検討を行った (図-4(c))。

(a) 床版の目地

(b) 支障部分

(c) 腐食・亀裂部分

図-4 更新に関連する要因

**(2) Model Updating 結果** 更新前後のモデルと振動試験から得られた固有振動数、モード形状を比較した結果を表-2 に示す。床版剛性が無い場合は有る場合に比べ、振動試験により得られた固有振動数に大きく近づいている。また、MAC の値も床版剛性をなくすことによって大きくなっており、モード形状も振動試験から得られたものに近づいていると言える。したがって、床版の桁としての剛性が効いていない可能性があるのではないかと言える。次に、表-2 の理論値において、解析モデルの支承条件を変化させた場合を見ると、初期モデルと比べ、固有振動数の誤差は若干ではあるが大きくなっている。また、MAC を見てもほとんど変化が無いことから、支承は固定となってはおらず、可動支承として機能しているのではないかと言える。さらに、表-2 の結果から床版剛性が無いモデルが実橋梁により近いと考え、断面欠損による影響の検討にはこのモデルを用いた。断面欠損は、主溝と横桁の面積と質量において約 20%の欠損を与えた。結果を表-3 に示す。実験値に近づいている傾向は見られるものの、変化はわずかである。したがって、この結果から腐食や小さな亀裂等の有無の判断における本研究の方法の有用性を明確に示すには至らなかった。

表-2 理論解析値と振動試験から得られた同定値の比較

| モード形状 | 理論値 | | | | | | | | | 実験値 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 床版剛性あり(初期モデル) | | | 床版剛性なし | | | 支承条件(Fix-Fix) | | | |
| | 振動数(Hz) | 誤差 | MAC | 振動数(Hz) | 誤差 | MAC | 振動数(Hz) | 誤差 | MAC | |
| 鉛直逆対称1次 | 1.87 | 85% | 86% | 1.12 | 11% | 98% | 1.87 | 86% | 86% | 1.01 |
| ねじり逆対称1次 | 1.75 | 4% | 63% | 1.71 | 2% | 60% | 1.75 | 4% | 63% | 1.68 |
| 鉛直対称2次 | 3.80 | 59% | 47% | 2.50 | 5% | 69% | 3.85 | 61% | 47% | 2.39 |
| 逆対称2次 | 4.58 | 29% | 69% | 3.69 | 4% | - | 5.41 | 53% | - | 3.54 |

## 5．結論

腐食・損傷を有する実橋梁において、モード同定を行った後、Model Updating を適用して橋梁の状態の把握を試みた。その結果、A 橋において床版の桁としての剛性が効いていない可能性がある事が分かった。また、支承の状態を議論する事ができた。現時点では、損傷の詳細な位置や腐食の状態を把握する事は難しかったが、床版という大きな部位で異常がある可能性を導いた。つまり、維持管理のための健全度評価において、構造物全体における異常の有無の判断という初期段階には用いる事ができる可能性があると思われる。

表-3 断面欠損による影響

| モード形状 | 理論値 | | |
|---|---|---|---|
| | 断面欠損考慮 | | |
| | 振動数(Hz) | 誤差 | MAC |
| 鉛直逆対称1次 | 1.11 | 10% | 96% |
| ねじり逆対称1次 | 1.70 | 1% | 63% |
| 鉛直対称2次 | 2.49 | 4% | 69% |
| 逆対称2次 | 3.68 | 4% | - |