

第 I 部門

実測データに基づく交通荷重下の橋梁応答の把握

京都大学工学部 学生員 ○平出 ハル 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征

京都大学大学院工学研究科 正会員 五井 良直

1. はじめに

近年、橋梁の老朽化が問題となっており、効率的な点検のための損傷検知が必要である。長期モニタリングや FE モデルの解析を行い、振動特性の変化を解析することによって橋梁の損傷検知をする方法が、一つの有効な方法である¹⁾²⁾。加速度に着目したモニタリングデータの振動特性分析や、FE モデルと実橋梁の振動数を比較し FE モデルのキャリブレーション等を行う研究が進められてきたが、静的な荷重によって発生するたわみについての FE モデルと実橋梁の比較を行った研究はまだ少ない。

そこで本研究では、たわみを中心とした静的な応答についての実験を行い、FE モデルと実橋梁の応答の比較をすることで、FE モデルのキャリブレーションについての予備的検討を行った。また、FE モデルの固有値解析および SSI (Stochastic Subspace Identification) を用いて加速度データから得られる振動数を比較することでモデル整合性を検討した。

2. 対象橋梁概要

対象橋梁は、1960 年に建設された、供用中の全橋長 187m の 4 主桁 7 径間ゲルバー鋼 I 桁橋である。対象橋梁では交通量が多く、また大型車の混入率も高いため、過去に事故や劣化などが多く発生し、様々な補修、補強が行われてきた。今後も疲労亀裂が進展する可能性が高い橋梁である。今回の実験では図 1 に示した P6 橋脚-A2 橋台間を対象とした。

3. 有限要素モデル

本研究で用いた FE モデルは、対象橋梁の上部構造全体をシェル要素でモデル化したものである。Abaqus CAE 6.14-1 で FE モデルを構築した。メッシュは 200mm で分割した。モデルの概略を図 2 に示す。

4. 実験概要

対象橋梁にて、静的応答を計測する実験を行った。各桁の回転角、たわみ、水平変位を測定するために、接触式変位計、レーザー変位計を設置し、中立軸の測定のために 4 つの応力聴診器を鉛直に設置した。重量車には低速で走行してもらった。車両走行による橋梁応答のデータが計 24 回計測された。

5. 解析

測定結果をもとに、各桁の回転角、たわみ、水平変位、中立軸について解析を行った。上下線それぞれで走行した結果で橋梁応答は異なるので、上り線下り



図-1 FE モデル全体図

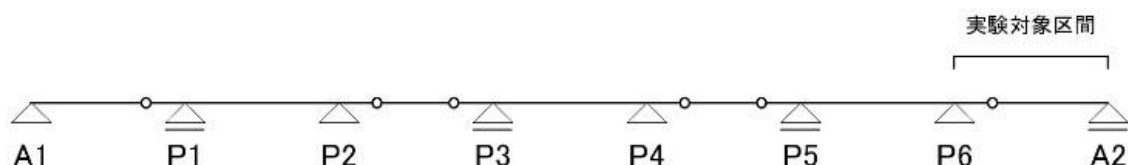


図-2 対象橋梁概形

線それぞれ分けて整理をした。たわみ、水平変位、回転角については重量車が対象区間に進入し退出するまでの区間の応答データを各データで 100 分割し、それぞれの分割点における値を抽出し平均をとった。

有限要素モデルでは、実験との比較を行うため、床板上の車線に相当する位置に2点の集中荷重を加え、さらにその床板上の載荷点を橋軸方向に動かした。重量車の諸元を参考に、前軸後軸の静的な荷重が橋軸方向に動くことを再現することで、実験計測位置の変位や回転角を評価した。さらに振動特性解析について、全橋モデルを固有値解析することで減衰を無視して固有振動数を求めた。

また 2018 年 11 月に対象橋梁で加速度を設置して動的応答を計測した結果をもとに、Stochastic Subspace Identification (SSI) 解析を行った。SSI において得られた Stabilization Diagram の一例を図 3 に示す。上記の結果について有限要素モデルによる固有値解析との比較を行い、低い振動数では曲げモードとねじれモードそれぞれで一致するような振動モード、固有振動数が得られた。

6. 静的応答比較

モデル解析結果と実験解析結果を定量的に比較するため、計測区間への進入から退出までのそれぞれの値の最大値と最小値との差を求め、これをそれぞれの値の「変動値 (range)」とした。

たわみ変位について実験値とモデル解析値の比較をすると、変動値は実験値に対してモデル解析値が 0.8 倍～1.2 倍となり、大きく差が出ることはなかった。しかし、上り線走行パターンの比較において、ピーク値をとる地点がモデルと実験値で異なっていた。今回の実験では対向車や後続車などの影響を排除するように努めたものの、その影響がこの差の一つの原因ではないかと考えられる。実際に個別のデータについて確認したところ、上り線走行時の 12 ケース中 4 ケースだけ他と変動が異なるケースが存在した。

桁端の水平変位、回転角についても実験値とモデル解析の比較も行った。支承部の設定の違いや、ヒンジの抵抗力をモデルで考慮していないことにより、差が生じていると考えられる。

7. まとめ

FE モデルと実験結果の影響線解析結果を比較すると、たわみについて実験値に対するモデル解析値が 0.8～1.2 倍となり、概ね一致している。固有振動数解析の SSI による実験結果解析と有限要素モデルによる固有値解析の比較についても、低い振動数では曲げモードとねじれモードそれぞれで一致するような振動モードが得られた。

モデルと実測値の間にみられる差異は支承やヒンジのモデル化において実挙動が完全に再現されないことに起因する系統誤差と考えられる。ただし、定性的には本検討事例ではモデルと実橋梁で同様の応答をしているため、損傷による曲げ剛性の低下による静的なたわみの変化や振動数の変化も検出できる可能性がある。FE モデルを用いた損傷検知の実現に向け、今後は実挙動の再現を目的としたデータ同化によるモデルキャリブレーションの有効性についての検討が課題となる。

参考文献

- 1) S. Doebling, C. Farrar, M. Prime, D. Shevitz : Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review, United States, 1996
- 2) A. Teughels, G. De. Roeck : Structural damage identification of the highway bridge Z24 by FE model updating, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 278, Issue 3, 2004, pp.589-610

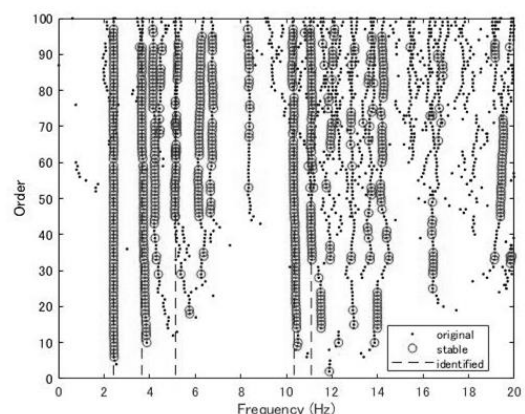


図-3 SSI 解析結果