供用中の鉄道橋橋脚の振動モード同定

京都大学大学院 学生会員 〇河邊 大剛 京都大学大学院 学生会員 五井 良直

京都大学大学院 正会員 金 哲佑 西日本旅客鉄道株式会社 近藤 正弘 西日本旅客鉄道株式会社 岩橋 寛臣

1. はじめに

鉄道事業者は増水後の橋梁における列車運行の意思決定を迅速に行うために、洗掘の発生有無をタイムリーに計測できる手法を模索している。実験室レベルでは、洗掘が生じた際に橋脚の固有振動数が減少することが知られている。通常、衝撃振動試験が行われているが、安全上の観点から増水時には行われていない。そこで本研究では橋梁の常時振動モニタリングに着目し、列車運行による強制加振による振動特性の可能性について検討する。橋梁に加速度計を設置し、振動データから部分空間法(Stochastic Subspace Identification (SSI))¹⁾を用いて、振動特性を推定することで、列車運行の振動特性への影響について評価する。

2. 対象橋梁モニタリング概要

対象橋梁は明治期に建設された鉄道桁橋で、桁重 30.09 トンの鋼桁であり、上下線はつながっている. 対象橋脚は低水護岸の背面に位置する流路外にある個所で、コンクリート構造で上下線が独立している. 橋脚高さは 5.45m、橋脚幅は 3.96m である. 振動計測でのサンプリング周波数は 200Hz とし、橋脚の 6 自由度計測(上流と下流の 2 か所に 3 軸を設置)を行う. 増水時の加速度計の水没を防ぐため橋脚天板での計測となる. 橋桁での計測点は鉛直方向計測を東西の上り桁上流と下流の計 4 点、河川と水平方向計測を東西の上り桁下流の計 2 点に設置した. 加速度計設置概略図を Fig.1 に示す.

3. 対象橋梁振動特性推定

対象橋梁の振動特性推定には SSI によって算出された振動数の Stabilization Diagram (SD) 2 と局所的に安定した振動特性を抽出する Stability Criteria (SC)を用いる. 本研究では,振動数許容差 f_c =0.25Hz,減衰定数許容差 ξ_c =0.1%,モード信頼性基準 (Modal Assurance Criteria (MAC))の下限値を 0.95 とした.下り列車通行時において,橋桁も含めた加速度計 12 個での振動特性の推定結果として,SC 適用後の SD の一例を Fig.2 に示す.横軸は抽出した振動数,縦軸はモデル次数とする.黒点はモデル次数において得られた固有振動数、赤丸は SC を満たした固有振動数,青破線は SC を満たす固有振動数の多い上位 7 つの振動数において算術平均をとり抽出したものである.特に 14.15Hz で同定された次数が多い. 一方,橋脚に設置された加速度計による計 6 個の出力での振動特性の推定を行ったと

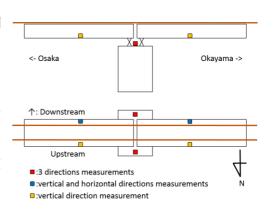


Fig.1 Schematic sensor installment points map

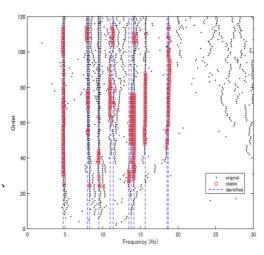


Fig.2 Stabilization Diagram

ころ、14.14Hz に卓越振動数が見られた.それぞれのモード形状を **Fig.3** に示す.ここで示すモード形状はすべて地盤付近0とする.いずれも河川の流れ方向の橋脚の振動モードと推定できる.

すべての加速度計 12 個を用いた同定では 4.77Hz に卓越が見られる. 一方, 橋脚に設置された 6 個の加速度計のみによる振動特性の推定を行ったところ, 4.90Hz に卓越振動数が見られた. それぞれのモード形状を Fig.4

キーワード 鉄道橋,洗掘,部分空間法,振動モード,振動モニタリング

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3421

に示す.加速度計 12 個で推定されたモード形状は橋脚 3 軸方向,橋桁鉛直方向に変化がなく,河川と水平方向の橋桁の振動モードと推定される.一方,橋脚に設置された加速度計 6 個で推定されたモード形状は橋脚のねじれモードと推定され,異なる結果となった.橋桁に設置された 6 個の加速度計での振動特性の推定では,4.69Hzに河川水平方向の橋桁モードが推定された.これにより推定された振動数は橋桁に由来するものと考えられるが,橋脚のみの推定結果にも卓越した振動特性として同定され,モード形状にも影響を与えることが考えられる.橋脚の卓越振動数の推定には橋桁も含めた推定を行う必要がある.

4. 上下通行列車による振動特性の変化

上り桁列車通行時の加速度計 12 個と 6 個での振動特性及びモード形状の推定を行い, 24.96Hz, 24.15Hz でそれぞれ橋桁水平方向の橋脚モードが推定された. モード形状を Fig.5 に示す. 下り桁列車通行時に推定された14.14Hz 付近の橋脚卓越振動数は上り桁通行時には推定されなかった. SSI では卓越した振動数を優先的に同定できることから上り列車通行時と, 下り列車通行時で異なる橋脚由来の卓越振動数が同定されると考えられる. モニタリングによる解析評価を行う場合には列車通行による場合分けによって効果的にモニタリングできるかもしれない.

また通行する列車の両数や種類によって卓越振動数が変化する可能性も留意するべきである.貨物の牽引車は通勤列車とは異なる複雑な車両構造を有するため、卓越振動数に違いが出てくる可能性が考えられる.橋脚由来の卓越振動数を評価できるのに最も適した列車通行についても検討する必要がある.

5. 結論と課題

列車通行の強制加振によって橋脚固有振動数の推定を行い、橋桁を含めたモード解析によって推定される可能性を示した。また列車の進行方向によって卓越する橋脚由来の振動数が異なることから、列車通行や両数で場合分けした振動特性の推定を検討していく。また対象橋脚の固有値解析を用いて、同定された卓越振動数について評価する方法を今後検討していく予定である。

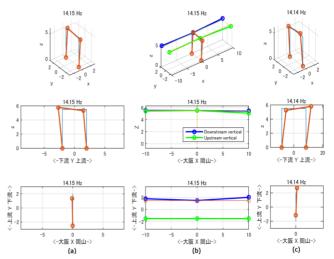
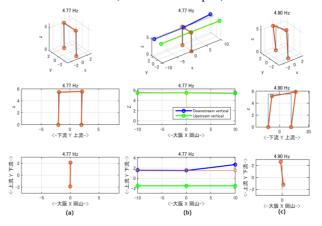


Fig.3 Identified mode when passing train to the west(∇ !): (a)Pier mode of 14.15Hz(vibration data of pier and beams), (b) Beam mode of 14.15Hz(vibration data of pier and beams), (c) Pier mode of 14.14Hz(vibration data of pier)



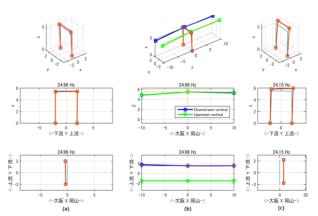


Fig.5 Identified mode when passing train to the East(± 9): Pier mode of 24.96Hz(vibration data of pier and beams), (b) Beam mode of 24.96Hz(vibration data of pier and beams), (c) Pier mode of 24.15Hz(vibration data of pier)

【参考文献】 1) Van Overschee and De Moor: Subspace Algorithms for the Stochastic Identification Problem, Automatica 29(3):649-660, 1993 2) K.C.Chang, C.W.Kim, and S.Kitauchi: Stability Diagram Aided Multivariate AR Analysis for Identifying the Model Parameters of a Steel Truss Bridge Subjected to Artificial Damage, Proc. Of the 13th East Asia-Pacific conf. on Structural Eng. And Constr. (EASEC-13), September 11-13, 2013 Sapporo, Japan