常時微動モニタリングによる鉄道橋の洗掘評価に関する検討

京都大学大学院	学生会員	○吉留	一博	京都大学大学院	正会員	金	哲佑
京都大学大学院	正会員	五井	良直	JR 西日本		濱田	吉貞
富士電機(株)		北川	慎治	富士電機(株)		篠田	正紀

1. 序論

河川に架かる鉄道橋梁では洪水によって橋脚基礎部を支える周辺地盤が洗掘されることで基礎の安定性が 低下し,最悪の場合,橋脚が傾斜したり倒壊したりする恐れがある.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,洗掘の発生有無を速やかに判別する手法を模索している.室内での模型 実験では,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^D.橋脚の固有振動数推定にお いては,通常ハンマーを用いた衝撃振動試験が行われるが,増水時には安全上の観点から上記試験は実施でき ない.そこで本研究では橋梁に加速度計を設置したうえで常時微動のモニタリングを行う.得られた常時微動 データから橋脚の振動特性を行い,河川の増水による洗掘の発生有無を評価する.

2. ベイズ推定に基づいたシステム同定の概要

推定された振動特性の不確かさを直接的に評価することができるベイズ実動モード同定法2(以下,ベイズ

同定)を適用する.式(1)に示すように観測加速度は,一般化加 速度(モード応答加速度)とモードベクトルの重ね合わせで 表現できる.モード応答加速度を含む一般化座標による運動 方程式は式(2)になる.

$$\ddot{x}_j = \sum_{i=1}^m \phi_i \, \ddot{\eta}_i(t_j) + \epsilon_j \tag{1}$$

$$\ddot{\eta}_i(t) + 2\zeta_i \omega_i \dot{\eta}_i(t) + \omega_i^2 \eta_i(t) = p_i(t)$$
(2)

ここに、 \ddot{x}_j :加速度、 ϕ_i :モード形状、 $\ddot{\eta}_i$:モード応答加速度、 ϵ_j :観測誤差、 ζ_i :モード減衰定数、 ω_i :固有角振動数、 p_i :モード外力、D:観測データ

次に観測された加速度の FFT から尤度*p*(*D*|*θ*)を得る.事前 分布を一様とみなし、ベイズの定理から事後分布*p*(*θ*|*D*)を得 る.本研究では得られた振動数の最確値を推定値として用い ている.

3. 長期振動モニタリングの概要

本研究の対象橋梁は単線鉄道桁橋である.対象橋脚は橋脚 高さが11m・橋脚幅は2.5mであり,基礎は杭基礎である.対 象橋脚の概観を図1に示す.対象橋脚の正面図と平面図を図 2に示す.図に示している通り,橋脚天端に無線によるデータ 送受信が可能な三軸加速度センサーが上流側と下流側に計2 基設置されており,増水時の遠隔振動モニタリングに用いる. サンプリング周波数は200Hzである.本橋梁は平成18年度 に衝撃振動試験が行われており,その結果を表1にまとめる.

キーワード 洗掘評価,振動モニタリング,鉄道橋

Бі і фартиран

図1 対象橋脚概観



図2 対象橋脚の正面図と平面図

表1 卓越振動数のモード形状

固有振動数	モード形状		
4.9Hz	主桁		
9.0Hz	橋脚直角方向		
16Hz	電化柱		
23Hz	橋側歩道		

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

I-122

4. 振動特性の推定

本研究では、橋脚の振動特性について考察を行うため に事前検討を行った.対象橋梁の橋桁および橋脚に合計8 箇所の三軸加速度センサーを設置し、衝撃振動試験を行 った.衝撃振動試験を行って同定された振動特性のうち、 9Hz 近傍の関連振動モードを図3に示す.左上から順に 橋脚鳥瞰図、橋脚正面図、橋脚平面図、右上から順に橋梁 鳥瞰図、橋梁側面図、橋梁平面図である.図3の同定モー ド形状から橋脚の橋軸直角方向の振動モードであると考 えられる.本論文では、平成18年度の衝撃振動試験の結 果も踏まえて、洗掘が生じた際に最も振動特性に影響を 受けると推測される橋軸直角方向の振動モードの9Hz 近 傍の振動数帯域に着目して検討を行う.

5. 増水時のシステム同定

ベイズ同定を増水が生じた 2018 年 9 月 30 日, 10 月 1 日の常時微動データに適用し, その結果を図 4 に示す. 横 軸が時間を表し, 上から同定振動数, 風速, 桁下水位の経 時変化を表している. 図 4 より高水位の期間ほど同定さ れた振動数のばらつきが低減していることがわかる.

増水時に同定された振動数のヒストグラムを図5に示 す.青破線は同定結果の分布を正規分布と仮定したとき, 破線を超える確率が約2%となるように設定されており, 青実線は同定振動数の分布の近似曲線である.次に,増水 時の洗掘評価を行うために健全度判定区分³⁾を用いての 評価を行う.上記判定区分においては,健全時の固有振動 数の85%以下の固有振動数の場合,点検の必要があると 判断される.そのため,本研究では健全時の固有振動数の 85%の振動数を洗掘発生有無の基準値として用いる.赤実 線は健全時の固有振動数の85%の振動数を示している. この赤実線を超える確率は,増水時に同定された固有振 動数が正規分布に従うとすると0.001%より低い.よって, 今回の増水では洗掘が生じていないと判断できる.

6. 結論

本研究では、橋脚の振動特性の同定を行うために、衝撃 振動試験を行った.得られた振動データから振動特性を 推定した.次に、橋脚直角方向の振動モードである 9Hz 近 傍の振動数帯域に着目し、増水時の常時微動データを用







図5 増水時における同定された振動数のヒストグラム

いてベイズ同定を行った.高水位時において同定された振動数はばらつきが小さく,平常時の固有振動数を用 いることで基準値を設定し比較することで洗掘評価を行うことができる可能性を示した.

【参考文献】1) 佐溝昌彦, 輿水聡, 森泰樹, 渡邉諭: 洗掘災害発生要因の分析と洗堀要注意橋りょう抽出手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, 2009. 2) Au, S.K., Zhang, F.L. and Ni, Y.C.: Bayesian operational modal analysis: theory, computation, practice. Computers & Structures, Vol.126, pp. 3-14, 2013. 3) 国土交通省鉄道局監修: 鉄道構造物等 維持管理標準・同解説(構造物編), 2007.