

橋梁の損傷検知を目的とした橋梁と車両振動の統計的分析

京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 学生員 ○船水 洋輔
 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 正会員 杉浦 邦征
 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 正会員 大島 義信

1. 研究背景および目的

老朽化する橋梁が急激に増加する事が問題となっており、橋梁の維持管理を中心とした効率的な橋梁管理システムの確立が望まれている。重大損傷検知のためのスクリーニング技術として提案されているのが、橋梁の固有振動数を評価する手法である。また、Yang ら¹⁾は、橋梁振動計測において、車両の加速度応答から橋梁の固有振動数を抽出する手法を提案している。ここで、橋梁の固有振動数に着目した場合、橋梁上の微小な損傷に対しては感度が低く、損傷前後でほとんど変化しない事が確認されている。しかし、橋梁の損傷前後で得られる卓越振動数の頻度に差が出る可能性が見出されており、数多くの測定を実施することで、統計的に何らかの変化を見いだせる可能性があると言える。

本研究では、振動特性を変化させた模型橋梁上を模型車両を十分な回数走行させる実験を行い、得られた橋梁側と、車両側の振動データから卓越振動数の発生頻度を求める。得られた橋梁の損傷前後での卓越振動数の発生頻度の変化について検討を行った。

2. 実験概要および解析概要

実験は、加速度計を搭載した模型車両を各状態の模型橋梁上を 400 回ずつ走行させることで行う。橋梁の状態としては、通常時を健全、橋梁の支承損傷を仮定し、橋梁の支承端部をボルト締めしたケースを損傷①、主桁上の損傷を仮定し、主桁上に重りを載せたケースを損傷②と定義した。各ケースによる自由振動時の FFT の結果は、図 2 に示す通りである。

波形解析に用いたデータは、模型車両が模型橋梁の主桁上を通過した時間帯を用いており、サンプリング周波数は 500Hz に設定してある。また、今回の検討で用いる振動データは、最も橋梁の振動の影響が大きくなると推測される橋梁中央部の振動に着目

するため、Hanning の窓関数を掛け合わせる処理をしたものを用いるものとする。これを図 3 に示す。

この振動データを用いて、橋梁側、車両側の卓越振動数の推定を行う。推定には多次元 ARMA モデル²⁾を用い、400 回走行によるそれぞれの卓越振動数の頻度分布を求めた。今回の検討においては、橋梁側においては、AR 次数を 9、推定する固有値数を 2 とし、車両側においては、AR 次数を 12 推定する固有値数を 3 とし、固有値の発生頻度を算出した。

これにより得られた各固有値ごとの頻度分布に、正規分布のフィッティングを適用し、平均値、分散、尖度の 3 つの指標を算出した。

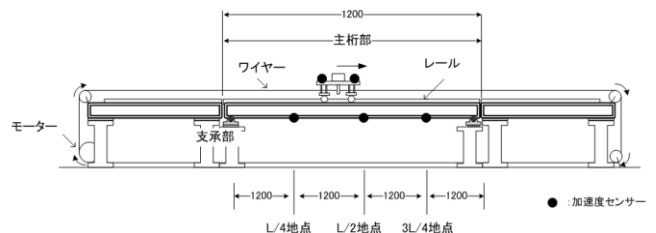


図1 実験装置図

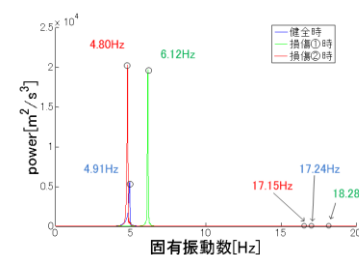
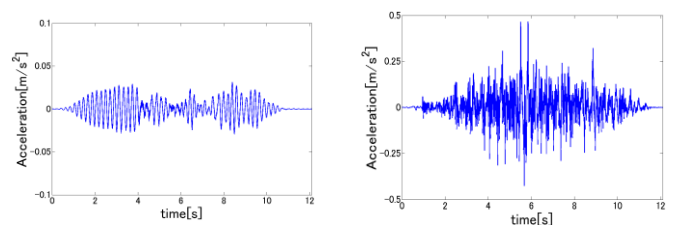


図2 橋梁自由振動時の FFT (L/2 地点)



(a) 橋梁 (L/2 地点)

(b) 車両 (前軸)

図3 窓関数処理を行った一回走行時の振動データ

キーワード 卓越振動数の頻度分布 分布のフィッティング

連絡先 〒606-8172 京都市左京区一乗寺河原田町 46-2-411 TEL 090-5710-7972

3. 400 回走行による卓越振動数の頻度分布図

ARMA モデルの推定による橋梁側，車両側の各固有値ごとの頻度分布は，図 4, 5 に示す通りとなった．

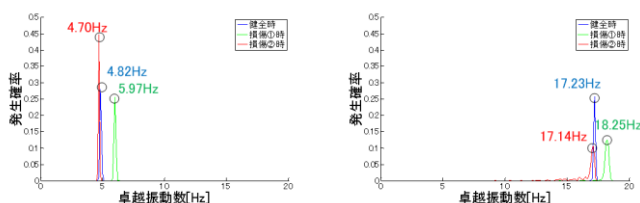
橋梁側においては，橋梁の状態の違いにより，各固有値ごとの分布のピークと形状が変化している事が確認できる．特に，固有振動数に大きな変化が生じた損傷①においては，その傾向が顕著である．よって，橋梁側においては，卓越振動数の発生頻度に着目する事で，橋梁の状態の変化を見出す事が可能であると言える．

一方，車両側においては，橋梁の状態の違いによる各固有値毎の分布のピークと，形状の変化が橋梁側と比較して，微小であった．

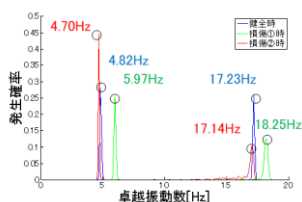
4. 正規分布のフィッティング

橋梁の状態の変化による車両側の卓越振動数の分布の変化を明確にするため，正規分布のフィッティングを行う．最尤法を用いて，平均値，分散，尖度の指標を算出した．また，各指標の健全時と損傷時の違いを明確にするため，健全時との比を求めた．その結果を図 6 に示す．

分布の平均値においては，損傷①と損傷②においても 1 に近い値を取り，健全時との変化はほとんど見られない事が分かる．しかし，分散と尖度においては，どちらの損傷においても 1 から離れた値を取っており，橋梁の状態による指標の変化が平均値と比較して大きくなる傾向が見受けられた．よって，尖度，分散に着目する事で，橋梁の状態の変化を検知できる可能性があると言える．

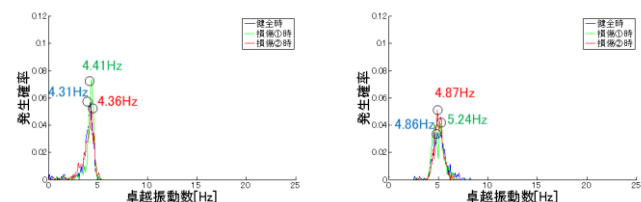


(a)固有値 1 の頻度分布 (b)固有値 2 の頻度分布

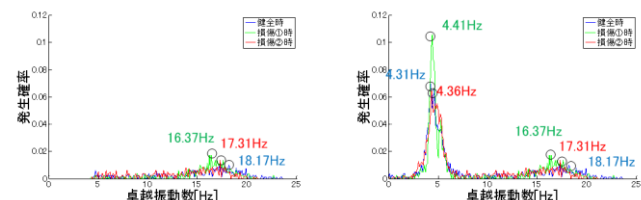


(c)全体の頻度分布

図 4 橋梁の卓越振動数の頻度分布

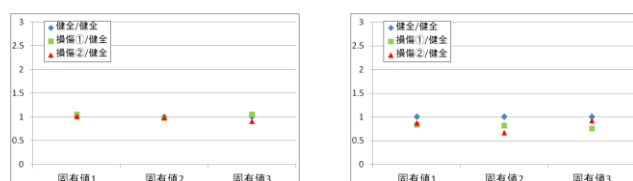


(a)固有値 1 の頻度分布 (b)固有値 2 の頻度分布

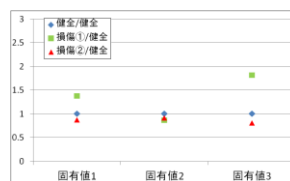


(c)固有値 3 の頻度分布 (d)全体の頻度分布

図 5 車両の卓越振動数の頻度分布



(a)平均値 (b)分散



(c)尖度

図 6 車両バネ上における各指標の健全時との比

5. 結論

橋梁の状態の変化による卓越振動数の発生頻度は，橋梁側においては，分布に大きな変化が見られた．一方，車両側においては，発生頻度の変化は，橋梁側と比較して微小であった．しかし，得られた分布の分散と，尖度に着目する事で，橋梁の状態の変化を検知できる可能性を見いだせた．

参考文献

- 1) Yang, Y.B., Lin, C.W. and Yau, J.D.: Extracting bridge frequency from the dynamic response of a passing vehicle, Journal of Sound and Vibration, Vol.272, pp.471-493, 2004.
- 2) 岡林隆敏, 中忠資, 奥松俊博: 多次元 AR モデルを用いた常時微動による橋梁振動特性推定法と推定精度の検討, 土木学会論文集 A, Vol.64 No.2, pp.474-487, 2008.6