

交通振動データによる道路橋のヘルスマニタリング

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎
神戸大学大学院 学生員 土井 宏政

京都大学大学院 正会員 金 哲佑
神戸大学大学院 学生員 ○山野 歩今

1. 研究の目的 現存する多くの土木構造物は、長期の供用による劣化・老朽化の進行が危惧されている。それらを迅速に検知する手法として、振動モニタリングによる橋梁の健全度評価は有効である。中小支間道路橋を対象とし、走行車両による橋梁の動的応答を用いて、橋梁の損傷を検知する方法が研究されている¹⁾。本研究では、まず振動データ採取の煩雑さ回避を目的として無線センサノードの実橋梁における適用性検討を行う。また、より迅速で簡易な損傷検知手法を目指し AR(Auto Regressive)モデル²⁾を用いた橋梁の振動特性の変動パターン分析を試みる。さらに、振動特性の推定結果の有意性を統計的に検討するため、仮説検定を行う。

2. 実橋梁における車両走行実験 対象橋梁の 9 径間ゲルバー鋼トラス橋とその計測点を Fig. 1 に示す。有線加速度計 14 点、無線三軸加速度計 8 点、橋梁の損傷位置、車両走行位置を示している。橋梁の損傷は Fig. 1 に示すような位置のトラス斜材を切断することによって与える。斜材の切断状況を Fig. 2 に示す。安全を考慮しボルトで固定した後、斜材を切断することで損傷を模擬している。車両走行実験は健全時、損傷時共に 40 km/h で走行させ計測を行う。車両は切断した斜材の反対車線を走行する。橋梁健全時、測点⑤において無線加速度計で計測された加速度波形および FFT 結果を Fig. 3 に示す。FFT 結果において健全時では 10, 15, 24 Hz 付近に卓越が見られる。振動特性の推定結果を定量的に評価するため、仮説検定を行う。また、損傷時の FFT 結果においても同様な位置に卓越を確認している。これらの振動数に着目し損傷検知について検討する。

3. 無線センサと有線センサとの比較 Fig.4 において、健全時の 20km/h 走行時の鉛直方向の加速度データを有線センサと無線センサの両方について示し、比較している。このように無線センサを用いた分析結果と有線センサの加速度波形と FFT 結果がほとんど一致しており、無線センサの有用性を確認できる。

4. AR モデルによる振動特性 AR モデルを用いて振動特性の推定を行い、損傷前後の変化について検討する。健全時は 5 回、損傷時は 6 回計測している。振動数推定に用いるデータ数は 30 秒間で 3000 個としている。AR 次数 30 から 130 まででそれぞれ推定を行い損傷前後で比較検討する。健全時における鉛直方向の振動数推定結果の一例を Fig. 5 に示す。FFT 結果と同様に 10, 15, 24 Hz 付近においてプロット数が多くっており卓越が見られる。また健全・損傷両ケースにおける 24Hz 付近の拡大図を Fig. 6 に示す。鉛直方向では 23.5Hz 付近の卓越が 22.5Hz 付近に移っており損傷の影響とみられる変化を確認できる。次に橋軸直角方向の振動数の推

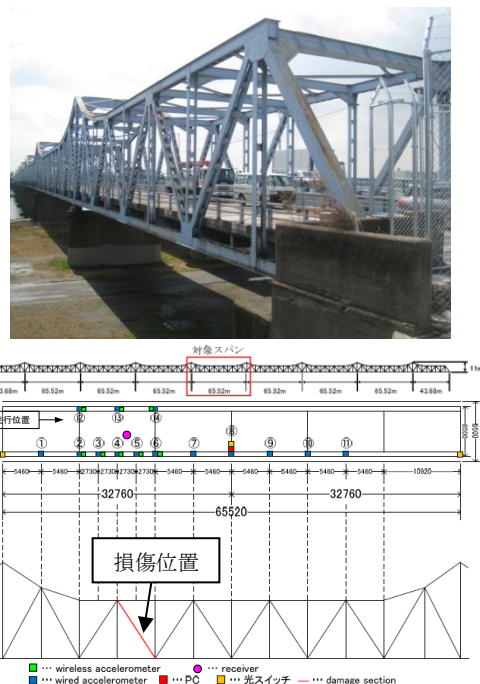


Fig. 1 対象橋梁および計測ポイント

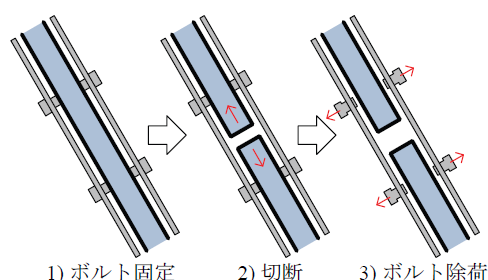


Fig. 2 斜材の切断状況

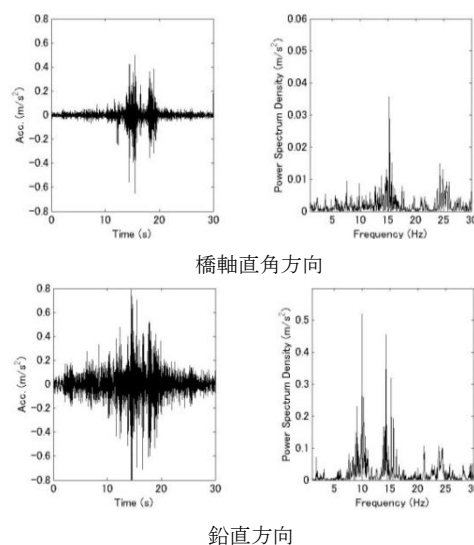


Fig. 3 計測結果 (健全時・測点⑤)

キーワード 橋梁ヘルスマニタリング, AR モデル, 仮説検定, 無線センサノード

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科 市民工学専攻 Phone 078-803-6383

定結果を Fig. 7 に示す．特に卓越の大きかった 15Hz 付近を拡大して示している．健全時に 15.3Hz 前後で卓越しているが，損傷時には 14Hz 前後で卓越していることから損傷による振動数の変化がみてとれる．

5.仮説検定 振動特性の推定結果を評価するため，仮説検定を行う．検定すべく 2 標本を μ_1 , μ_2 とすると，帰無仮説 H_0 と対立仮説 H_1 は以下のように表される．

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (2)$$

本手法は 2 標本を対象とするため帰無仮説 H_0 を「健全と損傷の振動数は等しい」，対立仮説 H_1 を「健全と損傷の振動数は等しくない」とし仮説検定を行う．その際，有意水準 $\alpha=0.05$ とする．本手法をすべての AR 次数で用いる．鉛直方向，橋軸直角方向の検定結果はそれぞれ最大で 0.04 および 0.02 (<有意水準 $\alpha=0.05$) となりすべての AR 次数で帰無仮説 H_0 が棄却される結果となる．すなわち健全時と損傷時の振動数は等しくないという結果となり，統計的に振動数の変化が有意であるといえる．

6. まとめ 本研究では実橋梁に損傷を与え，車両走行実験を行い，得られたデータより AR モデルによる橋梁の損傷検知手法の有用性を検討した．AR モデルによる振動特性推定では損傷による影響と考えられる振動数の低下がみられた．さらに仮説検定を用いることで統計的な判断が可能であることを確認した．また有線センサとの比較により無線センサの有用性も確認できた．

【参考文献】

- 1) C.W. Kim and M. Kawatani: Pseudo-static approach for damage identification of bridges based on coupling vibration with a moving vehicle, Structure and Infrastructure Engineering, Vol.4, No.5, pp.371-379, 2008.
- 2) Yangbo Chen, Maria Q.Feng, Chin-An Tan: Modeling of Traffic Excitation for System Identification of Bridge Structure, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21, 57-66, 2006.
- 3) 山本亨輔, 伊勢本達, 大島義信, 金哲佑, 杉浦邦征: 鋼トラス橋の部材破断が橋梁および走行車両の加速度応答に及ぼす影響, 構造工学論文集 Vol.58A, pp180-193, 2012.3.

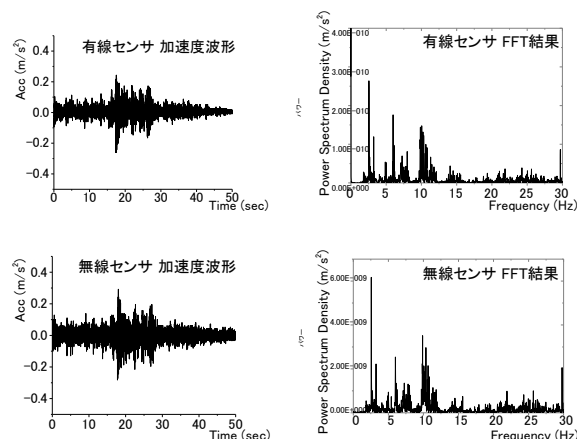


Fig.4 20km/h 走行時 健全時加速度データ(鉛直方向)

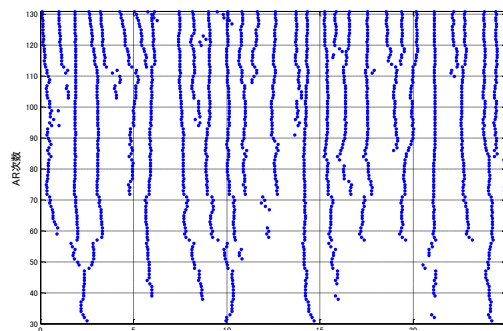


Fig. 5 振動数推定結果 (鉛直方向)

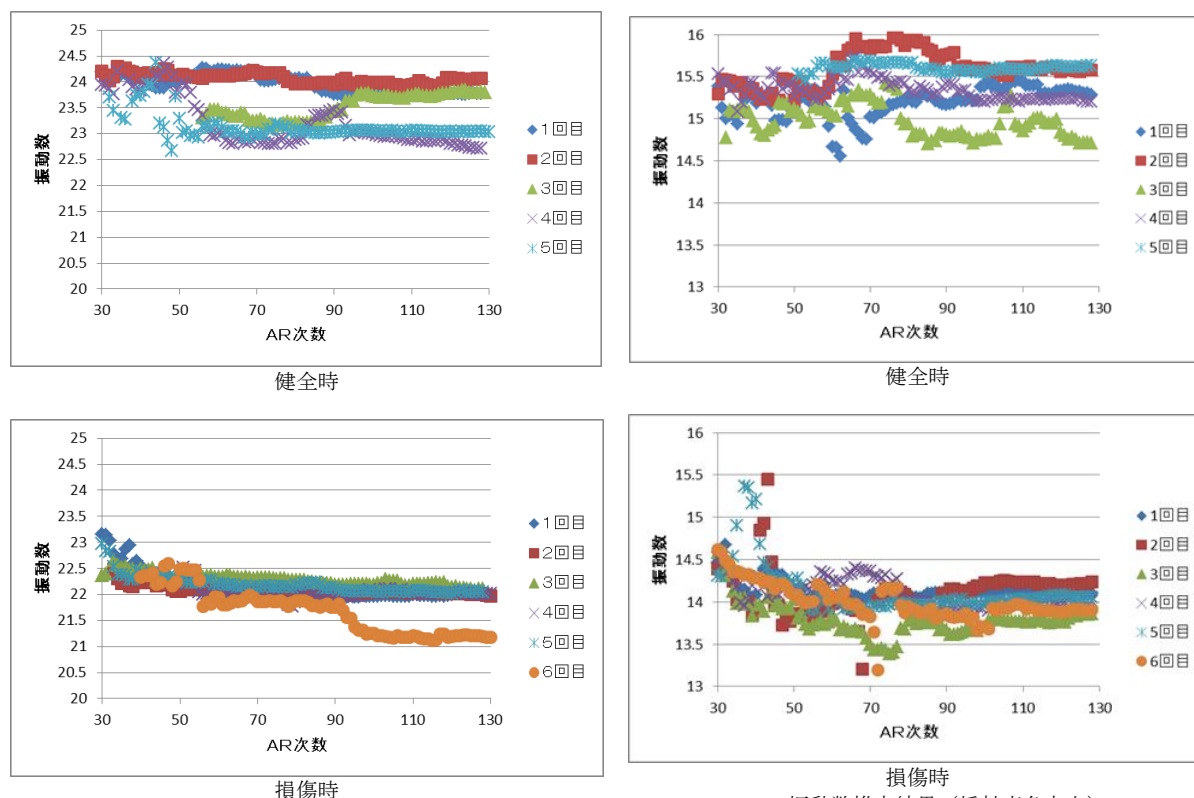


Fig.6 振動数推定結果 (鉛直方向)

Fig. 7 振動数推定結果 (橋軸直角方向)