

走行車両の加速度応答による動的外力同定手法を活用した橋梁異常検知

京都大学大学院 学生会員 ○長谷川 聡一郎
 日鉄エンジニアリング株式会社 非会員 藤士 尚也
 京都大学大学院 正会員 金 哲佑
 京都大学大学院 正会員 張 凱淳

1. 序論

近年、増加する車両重量と交通量によって劣化が進む橋梁が増えており、効率的な橋梁の損傷検知手法が求められている。特に、走行車両に取り付けた加速度センサーから橋梁走行中の車両振動を観測し、橋梁の情報を得る手法は移動車両橋梁点検手法（Drive-by bridge inspection）¹⁾とよばれ、橋梁点検の効率化のために広く研究されている。このような手法では、従来手法と異なり、対象橋梁にセンサーを直接設置する必要がなく、労力の大幅な削減ができる。一方で、走行車両上で計測された加速度応答には、橋梁の振動だけでなく車両の振動や路面による振動成分も含まれており、橋梁の情報を正確に抽出する難易度が高いという課題がある。

本研究では、走行車両の加速度応答から車両に加わる動的外力を逆推定する手法を活用し、橋梁の異常検知をする手法を提案する。推定された動的外力にバンドパスフィルタ処理をした上で、過去に同様の車両・手法で推定された動的外力との差分をとり、差分が大きければ、橋梁の諸元に変化があった可能性があると判断する。過去のデータとの差分をとることにより、車両や路面による振動成分を打ち消すことができ、さらに差分をとる前にフィルタ処理を行うことによって、異常検知精度を下げる恐れのある要素を排除することができる。模型車両走行実験によって提案手法の精度検証を行う。

2. 異常検知手法

走行車両の加速度から動的外力を推定する際には、車両は二自由度ハーフカーモデルとして扱い、バウンス・ピッチ方向の加速度を観測値とした正則化最小二乗法を用いる。本手法の詳細は、参考文献²⁾を参照されたい。事前に計測した車両加速度により推定された動的外力を参照用外力、異常検知を行う際に

新たに推定された動的外力を検討用外力と呼ぶものとする。参照用・検討用外力共に、複数回の計測を行い、平均化することで、ノイズ等不確定要素の影響を低減する。平均化処理の前には検討用外力と参照用外力にはそれぞれバンドパスフィルタをかける。バンドパスフィルタの周波数帯を橋梁の一次固有振動数付近に設定することで、橋梁以外の振動成分によって異常検知精度が下がる可能性を減らすことができる。フィルタ・平均化処理後、参照用外力と検討用外力の差分を時間領域で計算し、得られた外力は差分外力と呼ぶものとする。

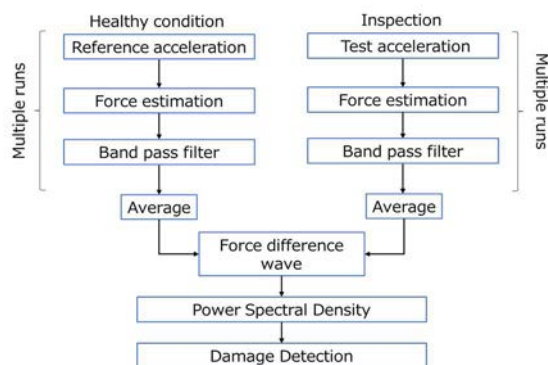


Fig.1 Flowchart of damage detection method



Fig.2 Picture of model vehicle and bridge

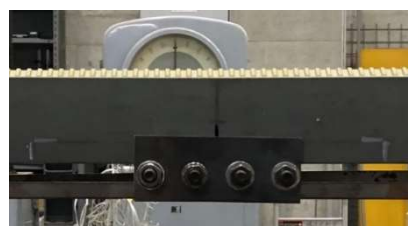


Fig.3 Reinforce plate for bridge slit

キーワード 移動車両橋梁点検手法 模型実験 加速度 路面形状 車両外力

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1-183 社会基盤創造工学分野研究室 TEL 075-383-3421

差分外力の振幅が大きい場合、参照時と検討時で橋梁諸元に変化があった可能性が高い。損傷の可能性を定量的に評価するために、差分外力を Power Spectral Density(PSD)に変換しそのピーク値を利用して損傷有無を判断する。提案手法の大まかな流れを Fig.1 に示す。

3. 模型車両走行実験

使用した模型車両、模型橋梁の写真を Fig.2 に示す。また、模型車両、模型橋梁の諸元を Table 1, Table 2 に示す。模型橋梁には三か所切り込みが存在し、補強プレートをボルトではさみこむ形で Fig.3 のように補強している。この補強を取り外すことによって橋梁の曲げ剛性低下を再現し、損傷を模擬する。スリット三か所のうち、全スリットを補強した場合を No damage, 2カ所のみ補強した場合を Damage1, 1カ所のみ補強した場合を Damage2, 全スリットを補強しなかった場合を Damage3 として、検討用ケースを4段階分設定する。参照用ケースでは、No damage と同様に全スリットを補強する。参照用・検討用走行は各ケースで10回ずつ行い、走行速度は1.26m/sとする。

検討に使用するバンドパスフィルタの周波数帯は、橋梁の一次固有振動数を考慮し、2.3~3.3Hzとする。実験によって得られた差分外力の波形を Fig.4 に示す。Fig.4 では、損傷度合いが大きくなるほど振幅が大きくなっている。さらに差分外力を PSD に変換したグラフを Fig.5 に示し PSD ピーク値を Table 3 にまとめる。Fig.5, Table 3 により、損傷度合いが大きくなるほど PSD ピーク値が大きくなっていることが明確である。

4. 結論

本研究では、走行車両の動的外力について参照時と検討時の差分をとり、PSD ピーク値を確認することによって橋梁の異常検知を行う手法を提案した。模型車両走行実験結果から、PSD ピーク値は損傷度合いに従って大きくなり、橋梁の異常を精度よく検知できることが確認された。

今後の課題としては、異常有無の判断基準値の設定方法が挙げられる。橋梁が健全の場合でも、PSD ピーク値は0にはならないため、より走行ケースを増やした実験結果から、閾値を設定する必要がある。また、路面形状が劣化した場合にも差分外力の PSD 値は大きくなると考えられる。これに対しては、損傷検

知の前に路面形状を同定し、路面に劣化が少ないことを確認した上で損傷検知を行うことで対処できる。ただし、路面形状の劣化具合がどの程度本損傷検知手法に影響を及ぼすかをシミュレーション・実験によって把握した上で本手法の実現可否を判断する必要がある。

Table 1 Bridge properties in experiment

Property	Value	
Span length	5.4 m	
1 st natural frequency	No damage	2.81 Hz
	Damage1	2.71 Hz
	Damage2	2.59 Hz
	Damage3	2.59 Hz

Table 2 Properties of 2DOF-HC model

Property	Value	
Body mass	22.9 kg	
Suspension stiffness	front	3480 N/m
	rear	3531 N/m
Axle distance	0.4 m	
Bounce frequency	2.83 Hz	

Table 3 Ratio of PSD peaks of force differences

No damage	Damage1	Damage2	Damage3
	5.8	10.5	25.5

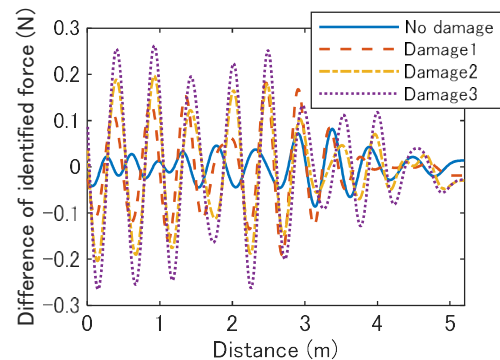


Fig.4 Difference of reference and test forces

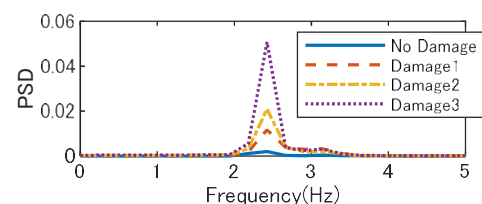


Fig.5. PSD of force differences

参考文献

- 1) Kim, C.W., and Kawatani, M.: Challenge for a drive-by bridge inspection. Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems 758-765. (2009).
- 2) McGetrick, P.J., Kim, C.W., Gonzalez, A., and O'Brien, E.J.: Dynamic Axle Force and Road Profile Identification Using a Moving Vehicle. International Journal of Architecture, Engineering and Construction 2(1), 1-16 (2013).