

2 種類の車両を用いた SSMA に基づく橋梁健全性評価の可能性検討

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 二出川 真
 筑波大学システム情報系 正会員 山本 亨輔

1. 研究背景

わが国にある橋梁は、特に高度経済成長期に数多く建設され、現在その点検や修理が課題となっている。そこで、従来の目視点検を効率的に行うため、事前に対象橋梁をより分ける橋梁スクリーニング手法に期待されている。本研究では車両応答分析に着目する。橋梁健全度判定の指標として空間特異モード形状角度(SSMA)を用いる。SSMAは橋梁の健全時と損傷時とで異なる傾向を示し、指標として有用性が示唆されている。[1][2]しかし、実橋梁では現状が損傷か健全か不明であり、また比較に用いる健全時のデータの入手が困難である。本研究では、模型車両と橋梁とを作成し、車両応答分析結果を比較することで、車両応答分析の健全時データがない場合の検知拡張を試みる。

2. モード形状推定手法

一般に、モード解析理論で想定される橋梁振動の計測値は固定点で得られるものであるが、車両振動から推定される橋梁振動は車両走行に伴って位置が時間変化する移動計測点での計測値である。そこで、本研究では基底関数を導入し、移動計測点での計測値から、仮想した固定計測点での推定値を求める。

推定された固定計測点での推定値を特異値分解し、モード形状を推定する。求めたモード形状のうち、1次のモード形状に着目し(図1参照)、

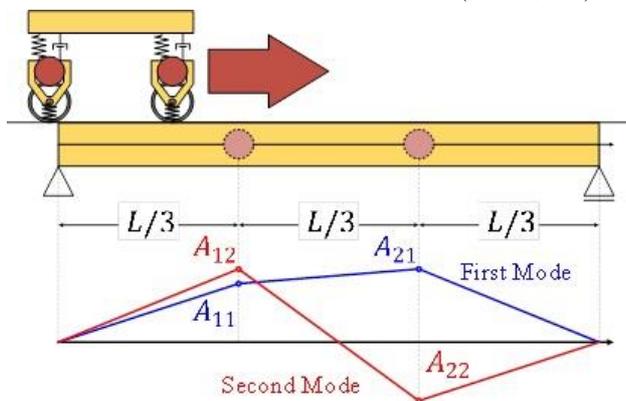


図1 車両と橋梁と推定モード形状

比をとって角度として表したものを空間特異モード角(SSMA)とする。

$$SSMA = \tan^{-1} \left(\frac{A_{21}}{A_{11}} \right) \quad (9)$$

3. 検討方法

健全時データなしで損傷有無を判別するために軽重2種類の車両を用いる。SSMA自体は速度や路面凹凸に影響を受けるが、車重自体の影響は少ないことが分かっている[3]。したがって、車重のみを変化させると損傷時に重量者のみ損傷の影響が卓越し、軽量と重量でSSMAが変化すると予想できる。

実験は橋梁を資料[4]に基づいて紙で縮小模型を製作し、同程度縮尺の車両模型を用いておこなった。車両上の加速度センサは車両の前後車軸上に搭載している。作成した橋梁と車両の概観をそれぞれ図2,3に、橋梁と車両のパラメータを表1,2に示す。

本実験では、損傷は部材を取り外すことで模擬する。損傷ケースとして、走行位置真下の横構を位置により3か所(それぞれ横構1,横構2,横構3とする)取り外した後、重大損傷として分配横桁も取り外して走行する。また、橋梁状態の確認のため最初と最後に健全状態を計測する。

検証は、路面の凹凸などのノイズの影響を考慮し、各損傷ケースで算出したSSMAの諸統計量を比較することで行った。

4. 検討結果と考察

各モデルケースでのSSMAのヒストグラムを図4に示す。ヒストグラムは横軸をSSMA[deg.]としている。実験中、走行位置などのばらつきによって計測速度に誤差が確認された、これはSSMAに影響があると考えられるため、誤差が大きいものを、速度の分散に基づいて除外した。各損傷ケースで105回計測しているが、除外後のデータについてのみ表示している。加えて各損傷パターンの変動を明らかにするため時間変化によるトレ



図2 橋梁の外観

図3 車両の外観

ンドを除去している。実験は重量・軽量の順番で行った。

ヒストグラムから各損傷ケース前後で軽量車両の平均値がより大きく変化していることが確認できる。これより軽量時では損傷が振動に卓越し、また重量車両では損傷が振動に現れていないと考えられる。これは予想に反しており、原因として車両特性の違いや、床板の固定状態等により重量時に損傷影響が卓越しなかったと予想した。

次に重量軽量の健全時と損傷時の平均値を比較した。健全時はSSMAが概ね一致し、損傷時は差が出ている。次に重量時と軽量時の健全1と健全2を比較した。重量時では健全1と健全2の平均値はおおむね一致し、実験中の橋梁状態は変化がないことが確認できた。

しかし、軽量時は差があり、これより橋梁状態が変化してしまっていることが示唆された。原因としては度重なる走行による疲労破壊や、部材取り外し時の損傷などが考えられる。

これよりSSMAは感度が非常に高く、模型実験で検証する際、想定以上に厳密に実験環境の厳密調整が求められることが分かった。

5. まとめ

模型実験での結果により以下の知見を得た。

軽量車, 重量車を比較して損傷時SSMAに差が見られた。しかし、軽量健全時のSSMAに差が出ており、橋梁状態が変化していることが示唆された。

また、SSMAは損傷感度が非常に高いことを確認できた

参考文献

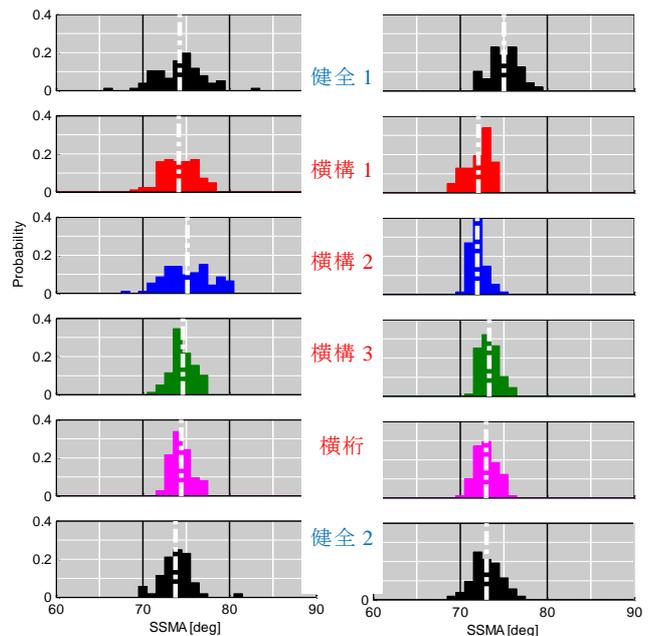
[1] 山本亨輔, 大島義信, 金哲佑, 杉浦邦征: 車両応答データの特異値分解による橋梁損傷検知技術の提案と検討, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.320-331, 2013
 [2] 中釜裕太: 模型桁実験による車両応答を用いたモード形状推定法の桁損傷検知への適用性に関する検討, 2014
 [3] 石川幹生: 車両応答分析を用いた橋梁損傷検知手法における車両特性の影響, 2017
 [4] 原隆, 山口隆司, 北原武嗣, 和多田康男: 鋼構造学, 環境・都市システム系教科書シリーズ 15, コロナ社, pp197-202, 2007

表1 橋梁のパラメータ

全体寸法	長さ	2.12m
	重さ	5.3 kg
床板	厚さ	30mm
	幅	665mm
	ヤング率	0.076GP
	比重	0.02
主要部材	断面二次モーメント	$1.5 \times 10^6 \text{mm}^4$
	全部材厚	2mm
	ヤング率	0.25GP
	比重	0.66
	主桁断面二次モーメント	$2.66 \times 10^5 \text{mm}^4$

表2 車両のパラメータ

全体詳細	長さ	270mm
	幅	280mm
	速度	1.03m/s
質量	軽車両	4.0kg
	重車両	5.3kg



(1) 重量車両 (2) 軽量車両

図4 SSMAのグラフ(白点線は平均値)