

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 学生会員 二出川 真

筑波大学 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)、

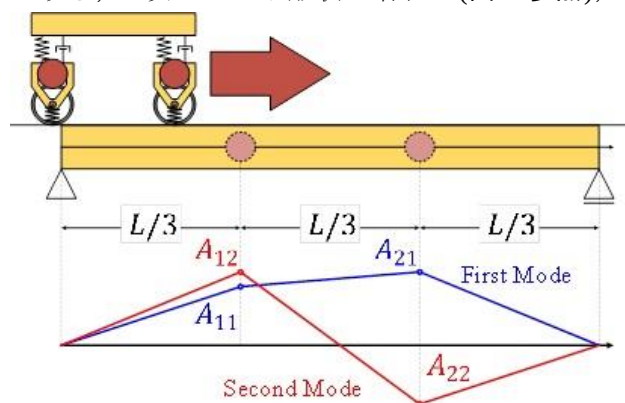


図1 車両と橋梁と推定モード形状

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、同程度の縮小()をおこなった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。

損傷は部材を取り外すことによって表現する。損傷ケースとして、健全時と、図2のように横構をひとつずつ順に3か所(それぞれ横構1, 横構2, 横構3)、取り外す。最後に、重大損傷として分配横桁も取り外して実験する。

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。



図2 橋梁の外観



図3 車両の外観

4. 検討結果と考察

各モデルケースでの SSMA を図 4, 比較に用いる平均や偏差などの統計量を表 3 に示す. グラフは縦軸が SSMA[deg.]横軸を計測回数とし, 経過時間を右方向に取っている. 実験中, 走行位置などのばらつきによって計測速度にばらつきが出ものについては, SSMA に大きく影響を与えてしまうと考えられるため, ばらつきが大きいものを, 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. また重量時の横桁抜きの最初の 21 回の計測の加速度波形が異常値を出していたため除外した. 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ンドを除去している. 実験は重量・軽量の順番で行い, 結果は計測順に左から表示した.

全体傾向として, 重量車両は軽量車両に対し, 各損傷ケースで中央値と平均値を除く, SSMA の諸統計量において, おおむね大きい結果となった. また軽量重量の各損傷の偏差と分散を比較すると, 揺れが大きくなると考えられた横構 3 および分配横桁を除去した場合を除いて, 重量時のほうが大きい値を示した. このことから, 重量車両がより大きく橋梁を振動させることで, SSMA の分布は橋梁の損傷状態に対応するが, 揺れがある程度以上大きくなる場合, それまでとは異なる傾向を示すことが示唆される.

5. まとめ

模型実験での結果により以下の知見を得られた.

- ・重量の違いで SSMA の傾向変化が捉えられた.
- ・模型の状態が安定するまで SSMA の分布は試行回数によって変化する.

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 3 実験結果

	健全 1		横構 1		横構 2	
	軽量	重量	軽量	重量	軽量	重量
中央値	74.99	74.05	72.49	74.98	71.84	74.46
平均	75.01	74.15	72.08	75.13	71.96	74.61
偏差	1.64	1.99	1.41	2.71	0.91	1.35
分散	2.70	3.95	1.98	7.33	0.82	1.83
歪度	0.04	-0.08	-0.52	0.03	0.84	-0.03
尖度	2.39	2.27	2.23	2.33	4.72	2.65

	横構 3		分配横桁		健全 2	
	軽量	重量	軽量	重量	軽量	重量
中央値	73.18	73.69	72.91	74.26	72.71	73.94
平均	73.33	73.54	72.96	74.41	73.02	73.76
偏差	1.10	1.04	1.20	1.19	1.64	1.86
分散	1.22	1.08	1.44	1.42	2.69	3.45
歪度	0.33	0.004	0.09	0.73	0.14	0.54
尖度	2.49	1.67	2.45	3.09	2.26	5.55

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

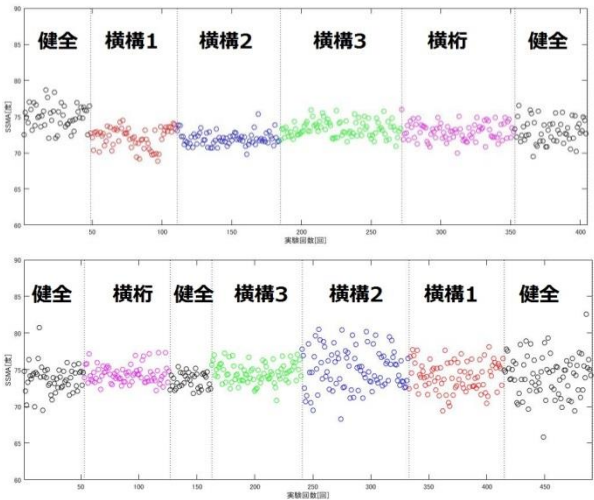


図 4 SSMA のグラフ(上. 軽量時 下. 重量時)