

## 車重が SSMA ベースの車両応答分析結果に与える影響

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 ○阿部 智成  
 学生会員 高橋 悠太  
 筑波大学システム情報系 正会員 山本 亨輔

### 1. 研究背景

わが国にある橋梁の多くは高齢化が進んでいるため、今後、点検技術者の不足が懸念される。そこで限られたリソースを効率良く分配し、点検サイクルを最適化するための手法として、橋梁スクリーニング手法が期待されている。本研究ではその1つである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は損傷検知に関して有用性が示されているが<sup>[1][2]</sup>、同定に用いることはできていない。本研究では、車両重量を変化させることで、損傷同定の可能性を検証する。

### 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)、

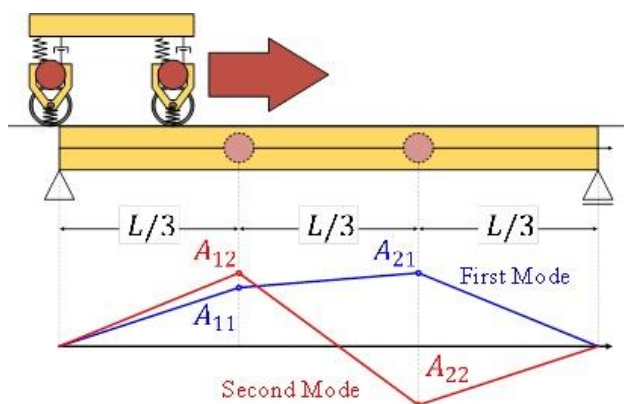


図1 車両と橋梁と推定モード形状

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。

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

### 3. 検討方法

SSMAは車重の軽重における値を比較することで損傷検知が可能であることが石川らの数値シミュレーションによる研究からわかっている<sup>[3]</sup>。そこで、本研究では車両重量を段階的に変化させていくことで、SSMAが損傷規模に応じた特性を示すか検討する。

検討は二出川らが行った実験を参考に模型実験によって行う<sup>[4]</sup>。模型橋梁および模型車両を製作し、走行試験を行ってSSMAを算出する。但し、本研究ではより相似則に基づいたパラメータを用いて実験を行う。加速度を測定するために車両の前後車軸上に加速度センサシステムを搭載している。作成した車両と橋梁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。

また、車両におもりを載せることで車重の段階的変化を行う。載荷重量を0kg, 0.5kg, 1.0kg, 1.5kg, 2.0kgの5パターンで実験を行う。各パターンを重量0, 重量1, 重量2, 重量3, 重量4とする。

本実験では、橋梁状態は健全ケースと損傷ケースがあり、部材を取り外すことで損傷を模擬する。損傷は、軽度損傷として任意の横構2か所と、重度損傷として分配横桁を1か所それぞれ取り外して計3ケース行う。部材を取り外す位置はすべて車両走行位置真下に行っている。これらの各損傷ケースで計測し終えた後、橋梁再現性を評価するため損傷修復後に車重4の状態での計測する。

車両の入退出にはレーザーセンサを用いた。1つのケースに対する1つの重量パターンを1モデルとし、1モデル50回走行を行った。

### 4. 検討結果と考察

図4に実験から得られたSSMAの結果を示す。縦軸に各モデルにおけるSSMAの平均値[deg]を

プロットし、さらに標準偏差をエラーバーで示している。横軸は時系列順に走行モデルを並べており、ケース0~3の各重量0~4を左から順に並べている。既往の研究において、SSMAは通常1つのモデルにおいて一定値に集まることが確認されている。しかし、図4のグラフでは標準偏差が大きいモデルが多い。これは車両の入退出を記録するレーザーセンサのずれによる影響である可能性が高いと考えられた。そのため各加速度波形を同期する処理を行った。同期処理後の結果を図5に示す。図4と比べて標準偏差が小さくなったため、図5の結果について考察を行う。まず、ケース0の健全時においては車重段階によるSSMAの変化が見られなかった。軽度損傷であるケース1の横構1については、重量0と4の差が大きく、特に重量4での反応が大きい。ケース2の横構2については、重量1のときに反応が大きく、しかし重量0と4で差は見られなかった。そして重度損傷であるケース3においては、重量0での反応が大きく、また、重量0と4の差も大きい。これらの結果から、損傷に応じてよく反応する重量段階が存在しており、反応する重量段階から損傷規模が特定できる可能性が示唆される。

5. まとめ

本研究において得た結果を以下にまとめる。

- 1) 本実験においても、損傷時における重量によるSSMAの変化が確認できた。
- 2) 各損傷によって、SSMAがよく反応する重量が存在し、損傷規模特定の可能性が示唆された。

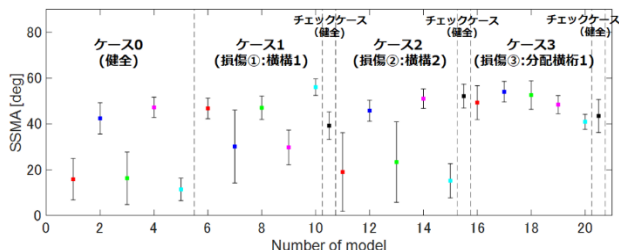


図4 実験から得られたSSMA(同期前)

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] 二出川真: 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, 筑波大学理工学群工学システム学類卒業論文, 2017.

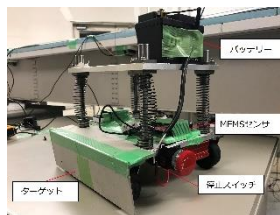


図2 模型車両全体図 図3 模型橋梁全体図

表1 模型橋梁のパラメータ

全体	橋長	4.24m
	固有振動数	5.30Hz
床板	厚さ	52mm
主要部材	紙厚	1mm
	フランジ幅	70mm
	ウェブ長さ	260mm

表2 模型車両のパラメータ

全体	長さ	270mm
	幅	280mm
	速度	1.34m/s
	質量	6.92kg
	固有振動数	2.55Hz

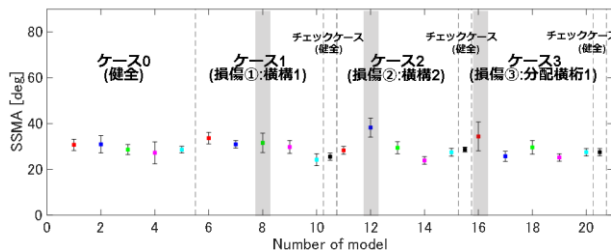


図5 実験から得られたSSMA(同期後)