

橋梁の健全評価手法としての短時間 SVD 法の適用性に関する数値的検討

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 ○浅川 一樹
 筑波大学システム情報系 正会員 山本 亨輔
 筑波大学理工学群 非会員 森川 みどり

1. 研究背景

近年、交通振動に基づく橋梁の健全性評価手法に関する研究が多く報告されている。交通振動は過渡応答であるから、推定された固有振動数やモード形状は、あくまで、卓越モードであって、必ずしも正解値とは一致しない。

卓越振動数から固有振動数を推定する場合、その卓越モードが時間的に変化する可能性がある。そのような場合は、時間周波数分析として、ウェーブレット変換や短時間フーリエ変換を用いることが一般的である。短時間フーリエ変換とは、計測データを幾つかに分割し、その各データ群にフーリエ変換を行う手法である。時間変化による卓越振動数の変化を把握することができる。一方、空間分解について、このような短時間での変化を追う手法は、これまであまり着目されてこなかった。しかし、固有モードには、近接するものも多く、卓越モードが時間とともに変化する可能性が考えられる。

そこで、本研究では、短時間 SVD (Singular Value Decomposition : 特異値分解) 法を考案し、数値計算により再現された交通振動を用いて、その適用性を検討した。

2. 短時間 SVD 法

構造物の多点計測で得られた振動応答のデータ行列 $\mathbf{Y}(t)$ は、次式で表される。

$$\mathbf{Y}(t) = [\mathbf{y}(t_0) \mathbf{y}(t_1) \cdots \mathbf{y}(t_N)] \quad (1)$$

データ行列 $\mathbf{Y}(t)$ に SVD を適用すると、次式のようにモード形状 \mathbf{A} と基準座標データ行列 \mathbf{Q} の推定値が得られる。

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{USV}^T = \mathbf{AQ} \quad (2)$$

ただし、ここで \mathbf{U} と \mathbf{V} は直交行列となり、 \mathbf{S} は対角行列となる。SVD 法では、基準座標である $\mathbf{Q} (= \mathbf{SV}^T)$ の無相関性が成り立つとき、SVD 法は正確にモード分解が可能である。

短時間 SVD 法では、計測データを分割し、そのそれぞれについて SVD を適用する。

$$\mathbf{Y}_i(t) = [\mathbf{y}(t_i) \mathbf{y}(t_{i+1}) \cdots \mathbf{y}(t_{i+n})] = \mathbf{A}_i \mathbf{Q}_i \quad (3)$$

これにより、短時間 SVD 法を用いて、時間変化する卓越モード形状を推定することができると考えられる。

2.1 VBI 法に基づく数値シミュレーション

本研究では、交通振動への短時間 SVD 法の適用性を検討するため、VBI (Vehicle-Bridge Interaction : 車両-橋梁相互作用) システムモデルを用いた数値シミュレーションを実施した。車両は橋梁振動と路面凹凸を合わせた強制変位入力により振動する。一方、橋梁は車両の接地力を外力として、振動を生じる。車両には Half-Car モデルを、橋梁には一次元有限要素梁モデルを用いた。VBI システムモデルを図-1に示す。梁には合計10台のHalf-Carモデルが速さ10m/sで6mごとに連続して進入する。表-1には、車両と橋梁の

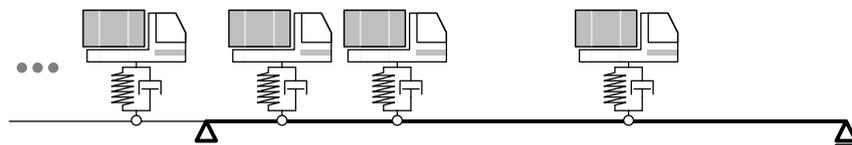


図-1 VBI システム・モデルの概要図

表-1 数値計算のパラメータ

(a) 車両										(b) 橋梁		
質量 (ton)	4.0	1.9	7.9	6.6	5.8	2.4	5.0	8.7	6.4	4.9	1次固有振動数 (Hz)	3.96
剛性 (ton/m)	157	195	116	136	193	50	219	164	34	334	スパン長 (m)	30.0
減衰 (ton/ms ⁻¹)	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	曲げ剛性 EI (Nm)	1.56×10 ¹⁰
1次固有振動数 (Hz)	0.99	1.59	0.61	0.72	0.92	0.73	1.06	0.69	0.37	1.31	単位長さあたり質量 ρ (kg/m)	3000
											要素数	300

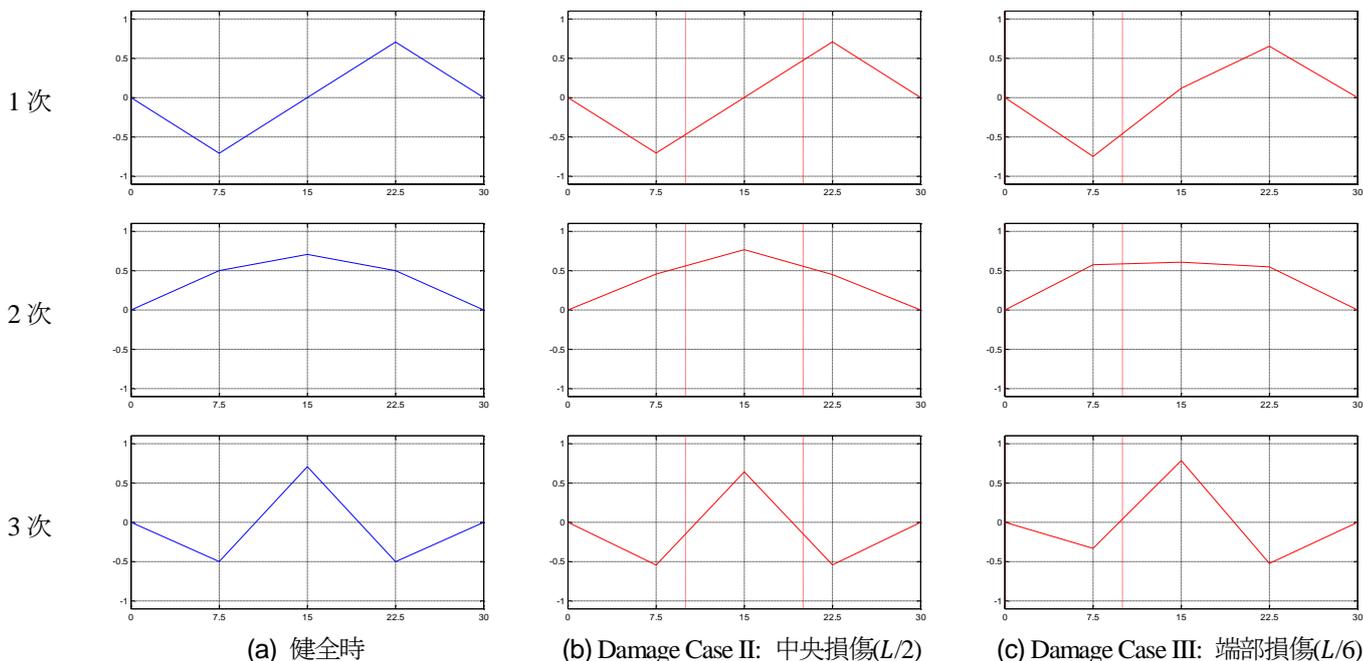


図-2 SVD法によるモード形状の推定結果

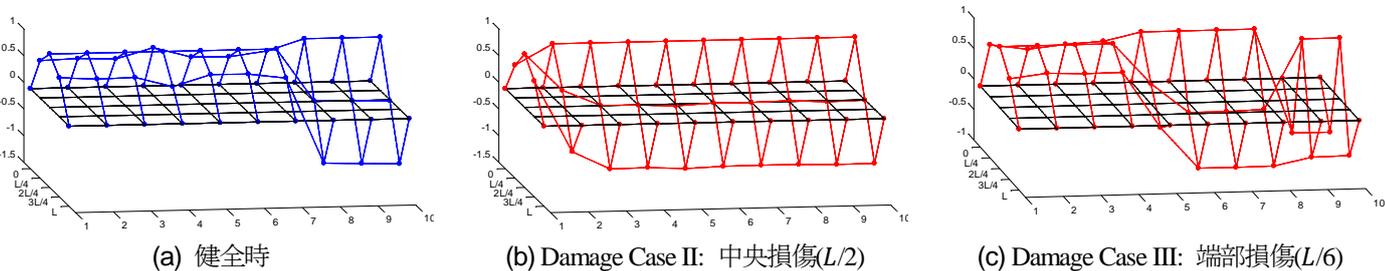


図-3 短時間SVD法によるモード形状推定結果

パラメータを示す。これらのパラメータは既往の研究[1]を参考に設定した。

また、橋梁の損傷を再現するために、橋梁の剛性を変化させた。Damage Case 1 では橋梁 10m から 20m, Damage Case2では橋梁0mから10mの間の剛性を50%低下させた。

3. 検討方法

本研究では、振動計測点として橋梁の $L/4$ と $2L/4$, $3L/4$ に設定した。得られた振動応答はSVD法と短時間SVD法によりそれぞれ分析する。

図-2は通常のSVD法による推定モード形状を表している。結果より、損傷によるモード形状の変化を精度良く、推定できていることが確認できる。しかし、そのケースでも推定1次モードが、正解の2次モードに相当するモード形状を推定している。これは、交通振動において卓越しやすいモードは2次の固有モードであることを示している。各損傷ケースと比較しても、2次の固有モードの卓越を確認できる。

次に、図-3に、短時間SVD法による推定モード形状を示

す。2次モードが卓越するまで、いずれのケースでも1次モードが卓越していることが確認できる。また、損傷により、2次・3次モードの卓越が早くなることも確認できる。

4. 検討結果とまとめ

本研究では、短時間フーリエ変換と同じアイデアに基づき、短時間SVD法を考案し、数値計算によりその適用性を検証した。結果より、短時間SVD法が、卓越モード形状をよく推定できること、卓越モード形状が発生する割合は損傷により大きく変化することが分かった。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金（若手研究(B), 課題番号 25820200）によって実施した。ここに記し謝意を表す。

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