

前進 SSI による固有振動数推定精度向上のための振動帯域の分離推定手法の 鋼鈹桁橋への適用性に関する検討

福岡大学工学部 正会員 ○下妻達也, 渡辺浩

長崎大学大学院 フェロー 岡林隆敏, 正会員 中村聖三, 西川貴文

1. はじめに

令和3年度版国土交通白書によると道路橋で建設後50年以上経過するものの割合は2030年代に約6割に達する見込みであり, 老朽化する道路橋の効率的な維持管理は重要な課題である. 橋梁の損傷を検出する方法について様々な研究がなされているが, 固有振動数や減衰定数等の振動特性の変化に着目した損傷検出に関する研究が国内外で多数報告されている. これらの既往研究では高次の振動領域でノイズの影響により振動特性の推定が難しいという報告が多く, 低次の振動領域でも推定精度が低下する場合がある. これに対し, 著者らは振動特性の推定に使用する振動応答に着目し, フィルタ処理, 時間刻み変更, 振動数推定に使用するデータ長調整の3つの処理からなる振動帯域の分離推定手法(以下, 分離推定手法と記す)について鋼ランガー桁橋を対象とした検討を行い, 低域, 高域の固有振動数に関して有効な推定精度の向上効果が見られた¹⁾. 一方で振動特性の異なる他橋種への同手法の適用性については検証が必要である. 本稿では鋼鈹桁橋を対象とし, 分離推定手法の適用性について検証を行う.

2. 振動帯域の分離推定手法

文献1)で提案する橋梁の振動特性推定手法は図1に示すフィルタ処理, 時間刻み変更, 計算に使うデータ長調整の3つから構成される. 低域の振動モードの推定時には矩形窓のローパスフィルタおよびダウンサンプリングによって高域成分の影響を除去し, 推定処理に用いるデータ長を大きくすることで周期の長い波形を捉えやすくする(図1中の(a)). 高域の振動モードの推定時は矩形窓のハイパスフィルタにより低域成分の影響を除去し, データ長を小さくすることで周期の短い波を捉えやすくする(図1中の(b)). このとき, データ長を小さくすることで振動特性の推定に使うデータ数が少なくなるため, 時間刻みが小さくなるよう内挿処理を行う.

3. 対象橋梁と計算条件

対象橋梁は図2に示す鋼単純鈹桁橋のA橋とする. 全ての鋼部材を梁要素でモデル化し, 床版の剛性・重量はG1~G5主桁に付加した. 入力は常時微動を模した白色雑音から作成した加速度とし, 地盤から支承を介して橋梁に作用する場合を想定して支点近傍の10箇所の節点(図2中の☆部)に異なる加速度を入力した. 常時微動外力の一例とパワースペクトルを図3に示す. 着目する応答は図2中の○部の9箇所の加速度応答とする. 応答の時間は900(秒), 時間刻みは $dt=0.01$ (秒)とし, 振動数推定は確率的部分空間法の一つである前進SSIを用いた. また, 固有値解析で得られた1~9次の固有振動数と振動モードを図4に示す.

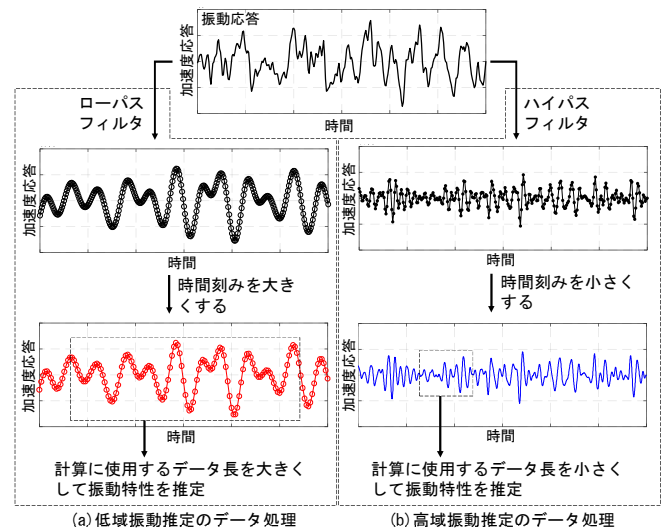


図1 振動帯域の分離推定手法の流れ

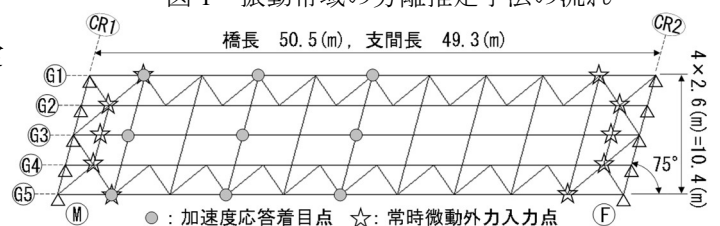


図2 対象橋梁と加速度入力・応答着目位置

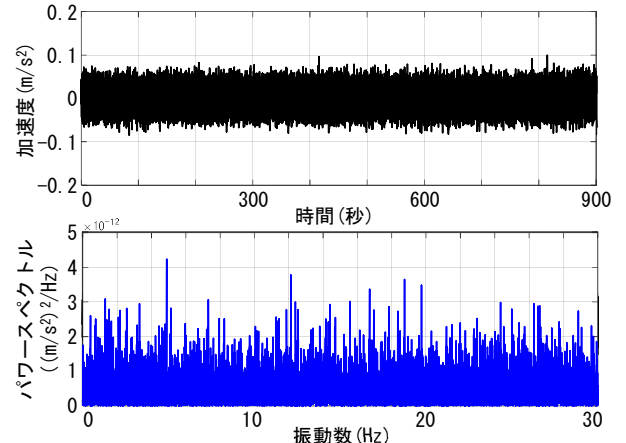


図3 入力した常時微動外力の一例

4. 振動数推定結果

(1) 分離推定手法適用前の結果

分離推定手法適用前の振動数推定結果を図5(a)に示す。推定に使用したパラメータを表1上段に示すが、既往研究¹⁾と同じ値としている。図中の●が推定された振動数であり、黒破線は固有値解析による固有振動数を示している。図5左側に動的応答データのパワースペクトルを示しているが、9節点分を足し合わせ、対数表示している。

図より、3、4、5、6次モードと思われる振動数を推定できており、固有値解析結果とも概ね近い値が得られている。一方、1、2、7次モードは推定が行えておらず、8、9次モードは明確な推定値が得られていない。また、※部に示すように推定値が欠損している箇所も見られる。表2に統計値を示すが、変動係数は大きな値ではないものの欠損率は5次モードにおいて3割程度と大きな値となった。

(2) 分離推定手法適用後の結果

分離推定手法適用後の振動数推定結果を図5(b)に示す。適用前の図5(a)の8.0(Hz)以上の帯域で異常な推定値となっているため低域と高域の閾値は8.0(Hz)とし、●が低域、△が高域の推定結果である。推定パラメータは既往研究¹⁾と同じとし、表1下段に値を示している。

低域は適用前に推定値が得られていなかった2、7次モードの結果が得られ、欠損率と変動係数も改善が見られた。高域の推定結果は低域と比較して変動係数が大きいものの、固有値解析に近い推定値が得られている。1次モードの結果が得られていない問題は改善されていないが、2次モードと固有振動数が近接しているためと考えられる。また、7次モード以上で変動係数が大きく、改善が必要である。

5. まとめ

本研究では固有振動数推定精度向上のための振動帯域の分離推定手法の鋼鉄桁橋への適用性について検証した。結果、推定値の欠損や変動係数に改善が見られた。今後、振動特性の異なる他橋種への適用性のさらなる検証を行う予定である。

参考文献：1) 下妻達也他：確率的部分空間法による固有振動数推定精度向上のための応答データ処理手法の基礎的検討，土木学会 構造工学論文集，Vol.68A，2022年3月

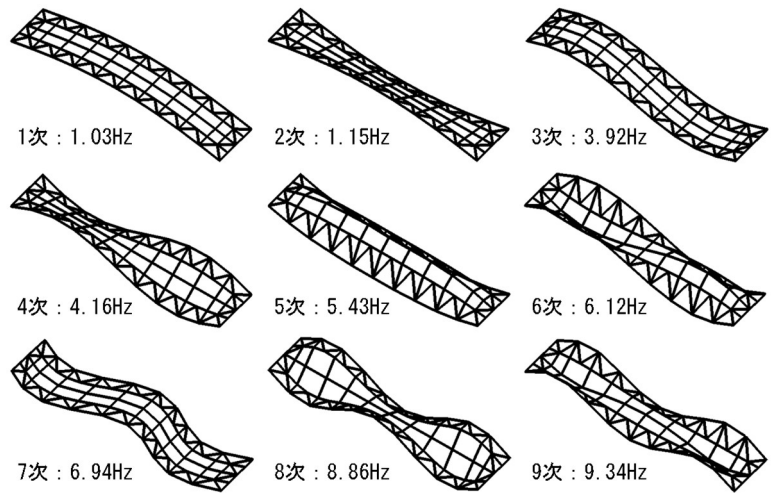


図4 固有振動数と振動モード

表1 前進 SSI の推定パラメータ

		時刻間隔(秒)	初期モデル次数	特異ベクトル長	データ長(秒)	計算回数
適用前		0.01	100	50	25	30
適用後	低域	0.02	40	16	50	10
	高域	0.005	100	10	10	75

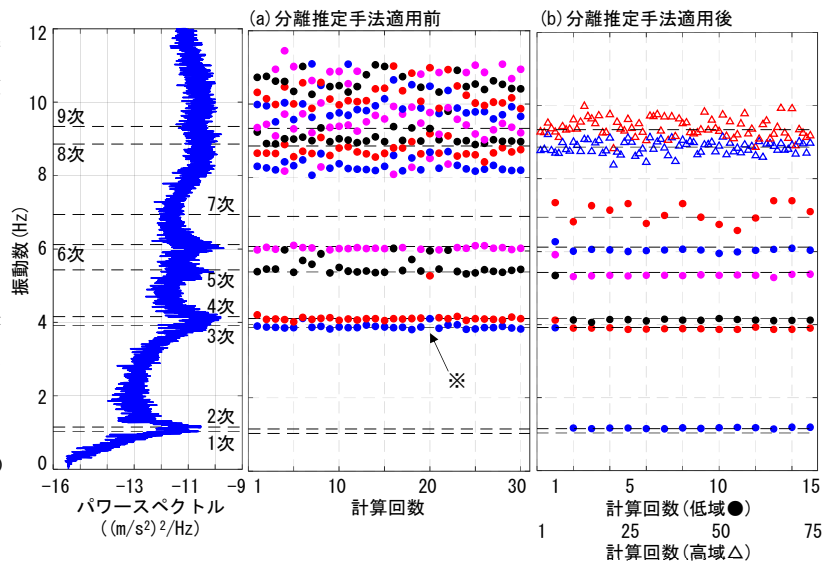


図5 分離推定手法適用前後の振動数推定結果

表2 振動数推定結果の統計値

	固有値解析 (Hz)	(a) 分離推定手法適用前				(b) 分離推定手法適用後				
		平均値 (Hz)	標準偏差 (Hz)	変動係数 (%)	欠損率※ (%)	平均値 (Hz)	標準偏差 (Hz)	変動係数 (%)	欠損率※ (%)	
低域	1	1.03	—	—	—	—	—	—	—	
	2	1.15	—	—	—	1.17	0.02	1.3	6.7	
	3	3.92	3.92	0.03	0.8	13.3	3.89	0.02	0.5	0.0
	4	4.16	4.15	0.03	0.8	0.0	4.12	0.02	0.5	0.0
	5	5.43	5.47	0.08	1.5	33.3	5.35	0.02	0.4	0.0
	6	6.12	6.06	0.07	1.2	0.0	6.03	0.04	0.7	0.0
	7	6.94	—	—	—	—	7.07	0.26	3.6	0.0
高域	8	8.86	—	—	—	—	8.85	0.17	2.0	0.0
	9	9.34	—	—	—	—	9.40	0.25	2.7	0.0

※欠損率=推定値が得られなかった回数/全計算回数×100