

確率的部分空間法の設定パラメータが実橋振動特性の推定精度に与える影響

長崎大学大学院 学生会員 ○柴田剛志
長崎大学大学院 正会員 中村聖三

長崎大学大学院 正会員 奥松俊博
長崎大学大学院 正会員 西川貴文

1.はじめに

併用中橋梁における損傷報告件数は年々増加傾向にあるため、構造物の振動計測から構造特性を同定し、その変化から損傷の検出・評価を試みる事が期待されている。現在、構造物の動的応答のみを用いて構造同定手法によって振動特性の推定を行う実稼働モード推定が主流になりつつある。例えば、確率的部分空間法 (SSI: Stochastic Subspace Identification) によって、供用中の常時微動や交通振動から振動特性を推定する方法が挙げられる。その際に、複数の重要な計算パラメータを設定する必要がある。著者らは、これまでに簡易な FE 解析モデルを用いて常時微動シミュレーションを行い、解析応答を用いて計算パラメータの変化に対する同定結果の変化に関して検討を行った¹⁾。本研究では、実応答を用いて計算パラメータと振動数の推定結果に関する考察を行った。

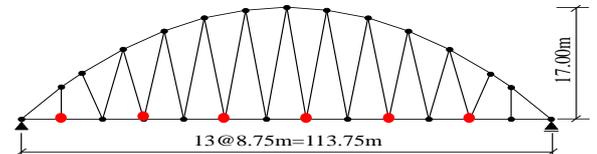


図1 鋼ランガー橋の計測機器設置位置

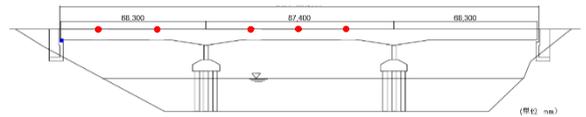


図2 三径間連続箱桁橋の計測機器設置位置

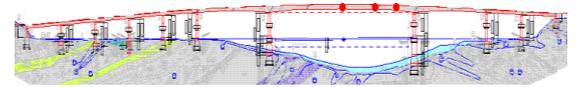


図3 多径間連続箱桁橋の計測機器設置位置

2.SSIにおける検討パラメータ

SSIは、応答として観測される出力データから線形代数の数学的演算によって状態変数 \mathbf{X}_k を推定し、状態空間モデルを推定するものである。時刻ステップ k および $k+1$ における状態変数 \mathbf{X}_k , \mathbf{X}_{k+1} の推定値 $\hat{\mathbf{X}}_k$, $\hat{\mathbf{X}}_{k+1}$ が得られると、下式を構成することで推定状態空間が表される。

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{X}}_{k+1} \\ \mathbf{Y}_{k|k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{C} \end{bmatrix} \hat{\mathbf{X}}_k + \begin{bmatrix} \boldsymbol{\rho}_w \\ \boldsymbol{\rho}_v \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $\hat{\mathbf{X}}_k$ および $\hat{\mathbf{X}}_{k+1}$ は推定状態行列であり、 $\mathbf{Y}_{k|k}$ は観測される応答行列である。

同定結果に影響を及ぼすパラメータはデータの時間分解能と特異ベクトル長と特異値への閾値と初期モデル次数とセグメント長があるが、先行研究の結果から、特に重要な初期モデル次数と特異ベクトル長を本研究の検討対象とした。

2.1初期モデル次数

データブロック行列の行ブロック数は、対象の状態空間モデルのモデル次数に相当するパラメータの一つで、初期モデル次数と呼ばれる。理論的には、同定する対象構造モデルのモデル次数に対して少なくとも2倍にする必要があるが、実際には、ノイズの影響などを考慮して、想定する状態モデル次数の数倍から場合によっては10倍以上とする必要がある。

2.2特異ベクトル長

計算過程において特異値分解を行い、得られる行列の行数は上記の初期モデル次数に相当する。初期モデル次数は同定対象のモデル次数よりも大きめに定めるが、特異値が小さい成分に対してモデルの推定を行うと、不安定な結果が得られるため、特異ベクトル長を定める必要がある。

3.対象橋梁と計測概要

本研究では、先行研究で解析的な検討を行った図1に示す鋼ランガー橋 (橋長: 115.0m) に加えて、構造形式の異なる図2に示す三径間連続箱桁橋 (橋長: 225.0m) 及び、図3に示す多径間連続箱桁橋 (橋長: 876.0m) の3つの橋梁を対象とした。各計測では、赤丸で示す位置に加速度計を設置

し、サンプリングレートを 1000Hz・200Hz・200Hz に設定し、供用環境における鉛直方向の加速度を計測した。各橋梁の大きさ・形式によるパラメータ値への影響を評価する。

4.実橋応答を用いた検証

計測した加速度応答から振動数を推定すると、応答により検出されないものがあつた。これは応答の励起状態が原因であると考え、交通振動と常時微動にわけて考えた。鋼ランガー橋の交通振動と常時微動の加速度波形を図4と5に示す。このような応答を用い、各ケースで適当であると考えられるパラメータ値について検討を行った。

4.1初期モデル次数による影響

初期モデル次数を変えたときの振動数への影響から、交通振動と常時微動について適当であると思われる値を求めた。鋼ランガー橋の交通振動の応答に関して数パターン検証した結果の一例を図6に示す。10Hz以上では、パワースペクトルにピーク値が検出されなかったため、図6では検証対象外とした。初期モデル次数が小さいとパワースペクトルのピーク値付近に検出される振動数が少なく、初期モデル次数が大きくとパワースペクトルがピークを示していない振動数帯にも振動数が検出された。パワースペクトルがピークを示している振動数帯域に推定された振動数におけるパラメータ値を選定し、数パターンの中で最も多くピーク値と一致するパラメータ値を適当であるとした。対象とした3つの橋梁に関して同じように検討を行った。

4.2特異ベクトル長による影響

上記と同様にパラメータ値を変えたときの振動数への影響を評価した。鋼ランガー橋の交通振動の応答に関して数パターン検証した結果の一例を図7に示す。図6と7の適当であると考えられる値を青枠で示し、求めた値を表1に示す。初期モデル次数は特異ベクトル長の2倍以上であつた。

5.まとめ

本研究では実稼働モード推定手法の確立に向けて、実応答を用いた際の計算パラメータが同定結果に与える影響を評価した。橋梁形式による適当であると考えられるパラメータ値に大きな差異がないことを確認した。

本研究は、限定的な対象ながら、実稼働モード推定を実用する際に課題となる計測・計算条件の適切な設定方法に関する試行的な検討結果を示すものであり、構造モニタリングによる自動損傷検知の実現へ向けて、一つの知見が得られたと考える。

参考文献

- 1) 西川ら：実稼働モード推定のための構造同定条件に関する解析的検討，構造工学論文集 Vol.62A，2016。

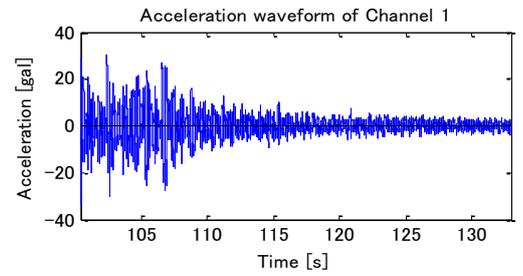


図4 加速度波形(交通振動)

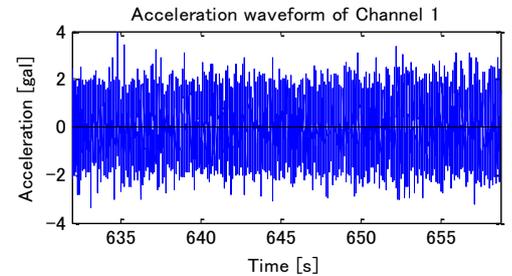


図5 加速度波形(常時微動)

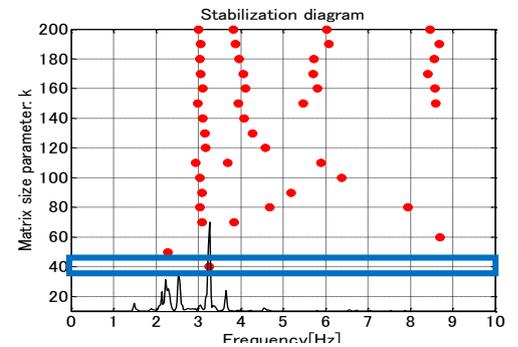


図6 初期モデル次数と振動数の関係

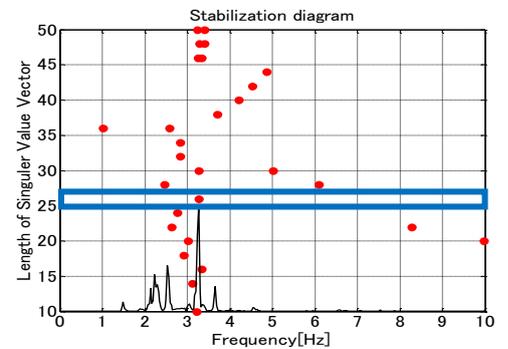


図7 特異ベクトル長と振動数の関係

表1 適当な範囲のまとめ

対象橋梁	振動種別	初期モデル次数	特異ベクトル長
鋼ランガー橋	交通振動	40	26
	常時微動	70	24
三径間連続箱桁橋	交通振動	50	22
	常時微動	70	22
多径間連続箱桁橋	交通振動	70~80	22~24
	台風時	60~80	24