

実稼働型構造同定手法におけるセグメント長に対する計算時間と同定精度に関する考察

長崎大学大学院 学生会員 ○三井好古
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
長崎大学大学院 正 会 員 中村聖三

1. はじめに

近年では、集録された応答を現地もしくは遠隔地で即時的に分析・処理する実稼働型の構造同定手法(Operational Modal Analysis)の確立を目指した取り組みがある。実稼働型の確立には、データの読み込みから計算、結果の出力までの時間がセグメント長より計算時間が短いこと、同定精度が良いことが欠かせない。一方で、応答は外力などで時々刻々と変化する。セグメント長を短くすると、その影響は大きくなる。そのため、一般に結果は統計的に処理している。本研究では、対象とするセグメント長の計算時間と同定精度との関係を考察した。具体的には、振動応答シミュレーション、および実測で得た応答のセグメント長を変化させ、構造同定結果の精度や計算時間、同定結果のばらつき、検出率を求めた。構造同定には一般的な手法である ERA, ERA/DC, 部分空間法を用いた。

2. シミュレーションモデルと構造同定の計算条件

シミュレーションで比較し、考察するために写真-1 に示す橋梁を対象とした図-1 に示す解析モデルを用いて、有限要素解析による再現性のある正規乱数を入力した常時微動シミュレーションで応答加速度および応答速度を作成した。同定精度の評価については、構造同定で得られる固有値を、表-1 に示す固有値解析より求めた固有振動数を用いて評価した。計算時間については、各手法において標準的な計算条件(以下、標準ケースと記す)を表-2 のように設定し、評価した。計測点についてはモード形状より図-1 にある節点番号{2,4,6}の3点とした。セグメント長、サンプリングレートについては実計測の場合に一般的な条件を考慮して設定した。

3. シミュレーションでの計算時間と精度に関する考察

構造同定に用いる応答のセグメント長を変化させ、構造同定を行い、計算に要した時間と同定精度を検証した。本稿では、全体系に着目し、低次の振動モードが顕著にあらわれやすい速度応答での結果を示す。セグメント長は標準ケースに加えて 10 秒、20 秒と 60 秒の 4 ケースとした。表-3、表-4 に ERA 法でのセグメント長が 30 秒の場合と 60 秒の場合の同定結果を示す。各セグメントでの固有値の平均、変動係数、検出率である。なお、検出率は全同定計算時間に対する当該モードの固有値が検出された回数の割合で定義した。表-3 より 30 秒の場合の低次では、振動数は固有値解析の値と差異が小さく、適正な同定結果



写真-1 対象とした橋梁

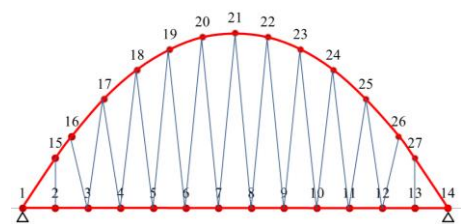


図-1 振動応答解析用の FE はりモデル

表-1 固有値解析による固有振動数

モード次数	1 次	2 次	3 次	4 次
振動数[Hz]	1.34	2.41	3.89	5.28
モード次数	5 次	6 次	7 次	8 次
振動数[Hz]	6.51	7.90	9.55	11.4

表-2 標準的な計算条件

計測点	データ長	時間分解能
2,4,6	30 秒間	100s/s

表-3 セグメント長が 30 秒の場合の同定結果

モード次数	1 次	2 次	3 次	4 次
振動数[Hz]	1.36	2.40	3.89	5.27
変動係数	0.011	0.008	0.042	0.037
検出率[%]	100	100	100	100
モード次数	5 次	6 次	7 次	8 次
振動数[Hz]	6.58	7.82	9.36	11.17
変動係数	0.021	0.014	0.012	0.013
検出率[%]	100	100	96.6	100

表-4 セグメント長が 60 秒の場合の同定結果

モード次数	1 次	2 次	3 次	4 次
振動数[Hz]	1.35	2.40	3.84	5.16
変動係数	0.008	0.005	0.032	0.005
検出率[%]	100	100	100	100
モード次数	5 次	6 次	7 次	8 次
振動数[Hz]	6.61	7.78	9.37	11.15
変動係数	0.025	0.013	0.015	0.003
検出率[%]	100	100	100	100

が得られている。変動係数は最大で 0.042 である。検出率は 100% となっており、安定して得られている。表-4 より 60 秒の場合は、低次における振動数と固有値解析の値との差異は小さい。変動係数は最大で 0.032 と 30 秒の場合より小さい。検出率は 100% で安定して得られている。セグメント長が短い場合の 20 秒と 10 秒の場合は、低次における振動数と固有値解析の値との差異は小さい。変動係数は最大で 0.046 で 30 秒の場合と比べて大きい。ERA 法でセグメント長を変化させた場合の計算時間を図-2 に示す。計算時間はセグメント長が 30 秒の場合が最も短く、セグメント長が 10 秒の場合が最も長い。ERA 法において、振動数と固有値解析の値との差異は 4 ケースいずれも小さく、同定結果は安定して得られているが、セグメント長が短くなると、変動係数が大きくなる。

4. 実構造物データを用いた構造同定精度の比較

写真-1 に示す対象橋梁で、表-2 に示す標準的な計算条件と同様の条件で計測を行った。一般的に実計測には加速度計を用いるため、実構造物の加速度応答を用いている。実構造物においてモデル化誤差の影響を排除するために、図-3 に示すスペクトルのピーク値を採用し、精度を検証した。表-6 に ERA 法でのセグメント長 30 秒の場合の結果を示す。低次における振動数とピーク値との差異は小さい。変動係数は最大で 0.033 である。検出率はいずれも 80%以上となっており、安定して得られている。セグメント長 60 秒の場合の結果を表-7 に示す。低次における振動数とピーク値との差異は小さい。変動係数は最大で 0.027 である。検出率はいずれも 85%以上であり、セグメント長 30 秒の場合に比べて安定して得られている。セグメント長が短い 20 秒の場合では、振動数とピーク値との差異は小さい。変動係数は 30 秒の場合に比べてわずかながら大きく、検出率は低い。10 秒の場合でも同じような傾向が確認でき、セグメント長を短くするにつれて変動係数が大きく、検出率も低くなる。シミュレーションの場合と同様の傾向に加えて、実構造物データの場合は、セグメント長が短くなると、検出率が低くなる傾向がある。

5. まとめ

本研究では、実稼働型の確立に向けた基礎的研究と位置付けて各手法におけるセグメント長の計算時間と同定精度との関係を考察した。常時微動シミュレーションでの速度応答を用いて構造同定を行った。ERA 法において、低次の振動モードでは振動数は適正な結果を得られた。セグメント長が短くなると変動係数が大きくなる傾向があった。実構造物の加速度応答を用いた場合においても同様の傾向が確認された。加えて、実構造物データの場合では、セグメント長が短くなるにつれて、検出率が低くなり、安定して得られなかった。

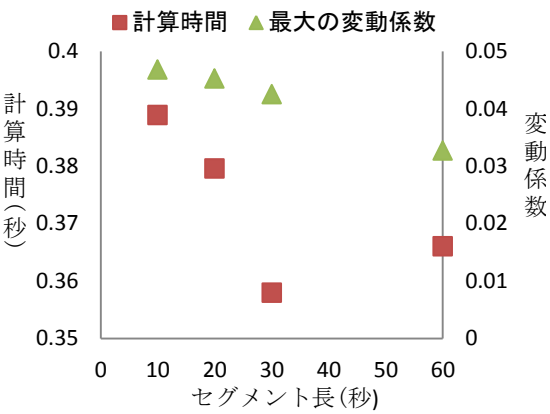


図-2 ERA 法での変動係数と計算時間

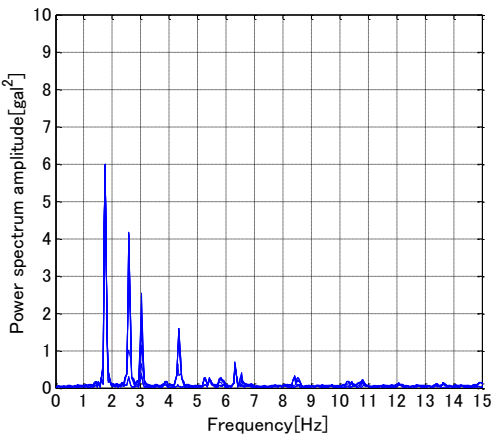


図-3 実構造物の加速度応答のパワースペクトル

表-6 セグメント長が 30 秒の場合の同定結果

モード次数	1 次	2 次	3 次
振動数[Hz]	1.76	2.59	2.95
変動係数	0.033	0.026	0.024
検出率	100	80	83.3
モード次数	4 次	5 次	6 次
振動数[Hz]	4.28	6.36	8.42
変動係数	0.019	0.010	0.012
検出率	86.6	83.3	63.3

表-7 セグメント長が 60 秒の場合の同定結果

モード次数	1 次	2 次	3 次
振動数[Hz]	1.75	2.62	2.94
変動係数	0.016	0.027	0.021
検出率	100	100	86.6
モード次数	4 次	5 次	6 次
振動数[Hz]	4.36	6.36	8.43
変動係数	0.012	0.009	0.007
検出率	86.6	86.6	86.6