

ERA 法による道路情報板の振動特性推定における解析パラメータの影響

東京理科大学	学生員	○三浦 陸
東京理科大学	学生員	諏訪園 真理
東京理科大学	正会員	佐伯 昌之
星和電機株式会社	非会員	松井 真吾
ネクスコ東日本エンジニアリング	非会員	川又 忠司

1. 研究の背景と目的

著者らは、振動特性をモニタリングすることで道路情報板の異常を検知するシステムの開発を試みている。これにより、点検項目や点検頻度の将来的な削減に繋げることを目指している。

振動特性の推定には ERA(Eigensystem Realization Algorithm)法¹⁾を用いているが、解析に用いるセンサ数や計測時間長といった解析パラメータの設定には任意性がある。本研究の目的は道路情報板の固有振動数やモード形の推定結果に、パラメータ設定が与える影響を調べることであり、そのために、供用中の道路情報板で取得された加速度データを用いて、様々なパラメータ設定で振動特性を推定し、その結果を比較した。

2. 現地フィールドデータ計測実験の概要

本研究では2021年に現地で計測された加速度データを用いる。土工部と橋梁部でそれぞれ3地点が選定され、加速度応答が1週間連続で計測された。図-1に示すように、加速度センサは表示部先端(A)、支柱上部(B)、支柱下部(C)の計3箇所に設置され、各センサでそれぞれ3成分(x軸=横断方向, y軸=縦断方向, z軸=鉛直方向)がサンプリング間隔0.005秒で計測された。

3. ERA 法による推定

ERA 法を用いた推定の手順について説明する。時系列データの計測開始時点と5分毎に指定し、そこから予め設定された時間長分のデータを切り出して相関関数を計算することで、自由減衰振動波形を作成する。この波形に対して ERA 法を適用することで固有振動数とモード形を推定した。

図-2は解析対象となった時間帯を横軸とし、縦軸に固有振動数の推定結果をプロットしたものである。

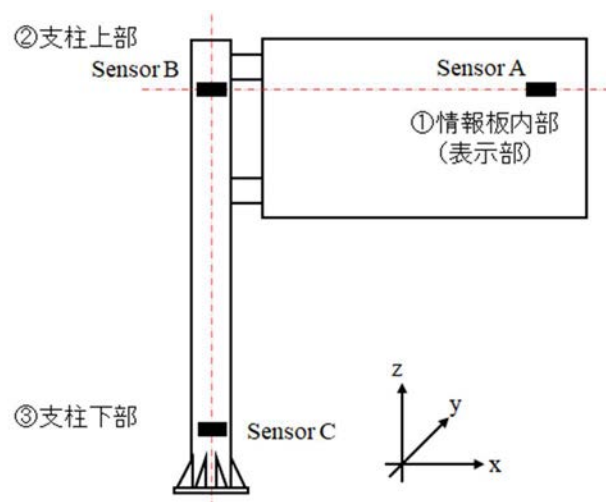


図-1 道路情報板とセンサ取り付け位置

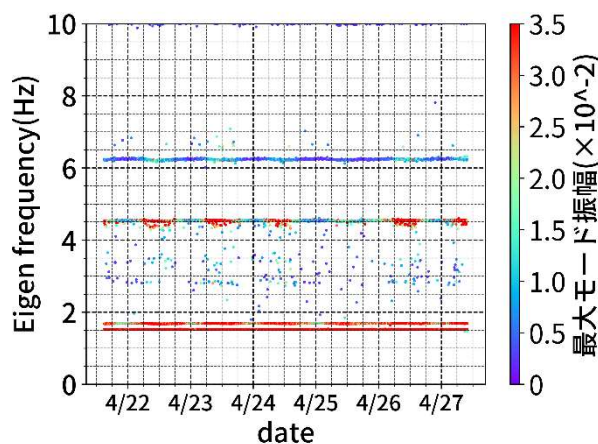


図-2 橋梁部における振動特性の推定結果

図-2 から1.5Hz付近と1.7Hz付近に近接する2つのモードが存在し、4.5Hz付近と6.2Hz付近でも安定して観測されるモードが存在することが分かる。また、プロットの色は最大モード振幅を示し、低次のモードほど、振幅が大きいことも確認出来る。

本研究では、上記4つの振動モードについて、平均値と標準偏差を算出し、平均から $\pm 3\sigma$ の範囲内の

キーワード 道路情報表示板, 加速度, ERA 法, 固有振動数

連絡先 〒277-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 創域理工学部 社会基盤工学科 TEL04-7124-1501

推定結果の標準偏差を再計算した。また、標準偏差を平均で除して変動係数 CV を算出した。CV が小さい値を示すほど、高い精度で推定が出来ていると考えられる。

先行研究では、3 つのセンサで計測されたデータの内、A と B の 2 つの加速度応答に着目し、5 分強 ($0.005 \times 2^{16} = 327.68 \text{sec}$) のデータ長で ERA 法を利用した解析を行った²⁾。この解析では、縦断方向に支柱上部と表示部が同位相で振動する面外 1 次モードの変動係数は 0.20% 程度で推定された。また、横断方向に表示部がお辞儀をするように振動する面内 1 次モードでは 0.21% 程度で推定された。

一般に、同じ精度が確保できる場合、解析に使用するセンサ数が少ないと計測コストが、計測時間長が少ないと通信負荷が、それぞれ軽減できると考えられる。そこで、本研究はセンサ数や計測時間長を短くした場合でも、先行研究と同等の精度が確保できるようなパラメータ設定について検討した。

4. 解析に用いるセンサ数による推定精度の比較

センサ A とセンサ B の 2 個を用いて解析した場合とセンサ A のみで解析した場合の推定精度を比較した。データ長は先の解析条件に合わせて 5 分強に設定した。

6 つのサイトにおいて、センサ数を減らした際に最も変動係数が悪化したのは橋梁部の面外 1 次を推定した場合であった。しかしながら、その場合においても変動係数の悪化は 0.01% 程度にとどまった。この結果から、使用するセンサ数は精度にほとんど影響しないと言える。そのため、以降はセンサ数を 1 個 (3 成分) に固定してパラメータの影響を検討した。

5. 時系列データの長さによる推定精度の比較

観測する時系列データの長さを 5 分強、その 1/2 である 3 分弱 ($0.005 \times 2^{15} = 163.84 \text{sec}$)、1/4 である 90 秒弱 ($0.005 \times 2^{14} = 81.92 \text{sec}$) に変化させた際の推定精度を検証した。

データ長を 3 分弱にしても、面外 1 次と面内 1 次の変動係数は最大でも 0.22% 程度となり、5 分強と同程度の精度となった。また、縦断方向に支柱上部と表示部が逆位相で振動する面外 2 次の変動係数は 0.25% 程度であった。

6. 推定するモード数による推定精度の比較

ERA 法では、特異値分解を用いており、一般的に

特異値の数はその減少傾向から決める。一方で、本研究では「推定したいモード数」の倍数を特異値の数とする。これを 4 個、6 個、12 個、14 個、16 個、18 個と変化させた際の結果を比較した。

面内 1 次の変動係数は推定モード数を増やしてもほとんど変化しなかった。一方、面外 1 次の変動係数は 12 個を超えると 0.20% 以下まで改善した。また、面外 2 次では 12 個以上にした場合に、0.24% 以下まで改善した。しかし、12 個以上の場合では変動係数はほとんど変化しなかった。

7. 相関関数のデータ長による推定精度の比較

Hankel 行列を構成する相関関数の時間方向のデータ数を 50 個、100 個、200 個と変化させて推定結果を比較した。

面外 1 次と面内 1 次の変動係数は、データ数を増やしてもほとんど変化しなかった。面外 2 次の変動係数は、データ数が 100 個を超えると 0.25% 程度まで改善した。

8. まとめ

本研究とは別に、著者らは実物模型を用いて、アンカーボルトの軸力を弱める異常再現実験も行っている。この実験結果から、引張側のアンカーボルトを 1 本抜いた状態では面内 1 次の固有振動数が 0.03Hz 程度低下することが分かっている。今回の研究で用いたパラメータ設定では、変動係数は最大でも 0.22% である。面内 1 次の固有振動数が 1.8Hz 程度なので、標準偏差は 0.0045Hz 程度になる。そのため、0.03Hz の異常は検知出来る精度が確保されている。

本研究で得られた結果から、センサ数 1 個、推定するモード数 12 個、時系列データのデータ長 3 分弱、Hankel 行列を構成する相関関数の時間方向のデータ数 100 個の解析条件でも、面内 1 次で変動係数 0.22% 程度の推定精度を確保できることが確認された。

参考文献

- 1) 長山 智則, 阿部 雅人, 藤野 陽三, 池田 憲二, “常時微動計測に基づく非比例減衰系の非反復構造逆解析と長大吊橋の動特性の理解”, 土木学会論文集, No.745, I-65, 155-169, 2003.
- 2) 諏訪園 真理, 佐伯 昌之, 松井 真吾, 川又 忠司, “異常検知を目的とした道路情報板の振動特性推定手法の検討”, 土木学会第 77 回年次学術講演会, CS9-21, 2022, 京都.