

## 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

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  
 株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング 非会員 川又 忠司

## 1. 研究背景と目的

限られた財的・人的資源の中で、社会インフラを適切に維持管理するために、効率的で信頼性の高い点検が求められている。道路情報板もその様なインフラの1つであり、現行の基準では近接目視かつ触診や打音等による詳細点検を1回以上/5年することになっている。さらに、地震や台風に起因する緊急点検は対象区間の全数を実施するため、多大な労力を要している。その際、特に重点的に点検すべき施設を客観的に抽出するシステムがあれば、非常に有益であると考えている。

道路情報板を対象としたモニタリング手法としては、加速度データから応力振幅を推定し、疲労寿命を予測する手法<sup>1)</sup>や、加速度センサから傾斜量や固有振動数の変化を推定する手法などが研究されている<sup>2)</sup>。著者らも、道路情報板の振動特性をモニタリングすることで、異常を検知するシステムの開発を目指している。ところで、構造モニタリングでは、加速度応答から振動特性を自動推定する必要があり、主に橋梁に対してAR (Auto-Regressive)法やERA (Eigensystem Realization Algorithm)法の適用が試みられている<sup>3)</sup>。

本稿では、供用中の道路情報板の加速度応答を計測し、それにERA法を適用することで振動特性を推定した結果を述べる。

## 2. 現地フィールドデータ計測実験および解析結果

2021年4月13日から5月3日にかけて、現地フィールドデータ計測実験を行った。土工部3地点、橋梁部3地点を選定し、加速度応答を一週間連続で計測した。加速度センサを表示部先端(センサA)、支柱上部(センサB)、支柱下部(センサC)の3か所に固定し、それぞれ3成分(x軸:車線直交方向、y軸:道路方向、z軸:鉛直方向)を計測した。サンプリング周波数は200 Hzである。

まず、各センサのPM (Particle Motion)を調べた。加速度データから、適当に約5.5分( $N = 2^{16}$ )を切り出して高速フーリエ変換し、フーリエスペクトルを得た。このスペクトルのピークに該当する周波数を目視で特定し、これを含む狭い周波数帯でBand Pass Filterをかけ、逆高速フーリエ変換することによってPMを得た。

図1はある土工部の1.8-1.9 Hz帯におけるPMである。右上の3つがセンサA、左上がセンサB、左下がセンサCに該当し、ある1つのセンサについては、左上が平面図、左下が正面図、右上が側面図を表している。このモードは、情報板全体が前後に振動するモードであった。ただし支柱より表示部の方が変位は大きく、支柱の曲げと若干の振りが含まれている。この他にも土工部と橋梁部の両者で共通して見られたモードとして、固有振動数の小さい順に、情報板全体が車線直交方向に振動するモード、情報板全体が道路方向に振動するものの表示部と支柱の位相が逆であるモード、情報板の表示部が鉛直方向に振動するモードが存在した。

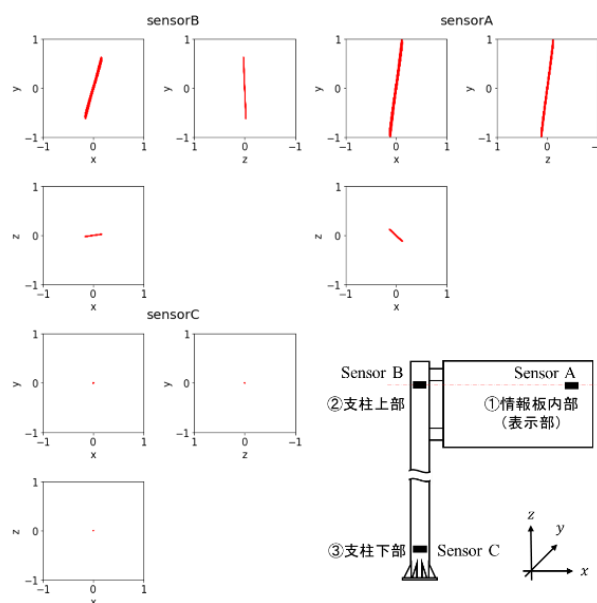


図1 1次モードのPM

キーワード 道路情報板, 加速度, ERA法, 固有振動数  
 連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL 04-7124-1501

表1は、各地点の固有振動数の推定結果であり、土工部と橋梁部で共通して確認されたモードを、固有振動数の小さい順に1次から4次としている。ここから、土工部と橋梁部で各モードの固有振動数に差異があり、また同じ土工部、橋梁部でも固有振動数が微妙に異なることが分かる。

表1 固有振動数の推定結果

次数	固有振動数 Hz					
	土工部			橋梁部		
	1	2	3	1	2	3
1次	1.855	1.785	1.851	1.507	1.522	1.520
2次	1.929	1.831	1.873	1.685	1.683	1.713
3次	5.260	5.132	5.261	4.494	4.531	4.520
4次	8.099	7.707	7.769	6.256	6.234	6.008

### 3. ERA法を用いた固有振動数の推定

土工部、橋梁部の一週間の加速度応答データのうち、センサAの $x$ ,  $y$ ,  $z$ 軸及びセンサBの $x$ ,  $y$ ,  $z$ 軸の合計6成分のデータを用いて相関関数を計算することで、自由振動応答波形を生成した。この自由振動応答波形の最初の256個のデータに対して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。表2は、土工部1と橋梁部1において相関関数を3分のデータ( $N=60,000$ )から生成し、ERA法で固有振動数を推定した場合の標準偏差及び変動係数を示している。土工部は3次を除くとどのモードも安定した精度で推定できているが、橋梁部では次数が上がるほど推定のばらつきが大きくなっている。

ERA法では、固有振動数に加えてモード形の推定も可能である。表3は、1次から4次モードのモード形の一例である。正負の符号がその点の変位の向きを表しており、絶対値が変位の大きさを表している。表3の1次のモード形を見ると、 $y$ 軸方向(道路方向)に大きな振幅をもっており、センサAの振幅はセンサBの振幅よりも大きく、図1に示したPMと同じ揺れ方を表している。このようにERA法で得られたモード形とPMを比較することによって、第2章で推定した土工部と橋梁部で共通して見られたモードとERA法で同定したモード形が一致することが確認できた。

表2 固有振動数の推定精度

次数	標準偏差 (変動係数)	
	土工部 1	橋梁部 1
1次	0.004 Hz (0.2%)	0.003 Hz (0.2%)
2次	0.005 Hz (0.2%)	0.004 Hz (0.3%)
3次	0.024 Hz (0.5%)	0.020 Hz (0.4%)
4次	0.018 Hz (0.2%)	0.034 Hz (0.5%)

表3 ERA法により推定されたモード形の一例

		1次	2次	3次	4次
センサA	$x$ 軸	0.088	0.674	-0.186	0.174
	$y$ 軸	0.835	-0.057	-0.468	0.019
	$z$ 軸	-0.075	-0.355	0.078	0.951
センサB	$x$ 軸	0.122	0.642	0.021	0.250
	$y$ 軸	0.524	-0.062	0.859	0.038
	$z$ 軸	0.020	0.012	-0.032	-0.032

### 4. まとめ

ERA法を用いることによって、道路情報板の固有振動数及びモード形の推定が可能であった。本稿では示していないが、実際にはAR法による固有振動数の推定も試みた。しかし1次と2次のような近接したモードを分解することができず、著者らの解析範囲内においてはERA法の方が固有振動数の推定精度が高かった。

今後は、ERA法での固有振動数の推定に必要なデータ長を検討する必要がある。実現場においては、より短いデータ長から精度よく固有振動数を推定することが求められる。そのため、相関関数を作成するのに用いるデータ長をより短くする、もしくはERA法を適用するデータ長を短くした際に、異常検知に必要とされる精度を満たせるかについて検討する。

### 参考文献

- 1) 山本浩司, 他: ICT技術を活用した道路付帯施設構造検査手法の研究, 土木学会第73回年次学術講演会, 2018, VI-447
- 2) 矢尾博信, 他: 道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発, NEDOインフラ維持管理技術シンポジウム2018, 30am3-PD-5
- 3) 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, 2003.10