

道路標識の振動応答解析モデルのパラメータ推定

東京理科大学 学生員 ○金子 丈一郎
東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. 本研究の背景と目的

我が国では高度経済成長期以降に整備された多くの社会資本の老朽化が進んでおり、その長寿命化が求められている。また、維持管理・更新費用の増大、将来の技術職員数の不足等の問題が懸念されているため、構造物の健全性を効率的・定量的に把握する必要がある。そこで著者らは、振動モニタリングによる構造物健全性評価の研究を行っている。現時点では、橋梁等と比べて構造が単純である道路標識をその研究対象としている。ただし、振動特性が日常的に変動する問題や、より損傷に敏感な観測量の特定など、他の構造物と同様な検討すべき課題がある。

本研究は、道路標識の振動特性の変動要因を解明するために、道路標識の振動特性を再現する数値モデルを構築することを試みた。

2. 道路標識の振動応答解析モデル

本研究では、2017 年に実施した道路標識の強制加振実験のデータと、それを基にして構築した有限要素モデルを使用する¹⁾。図-1 に実験の様子と、モデルの概略を示す。道路標識を片持ち梁としてモデル化し、300 要素で等分割、要素には梁要素を用いている。また、道路標識の強制加振実験で使用する精密小型加振機、サーボ型加速度センサ、標識板の質量は対応する要素に付加している。さらに、道路標識のコンクリート基礎部に、水平バネと回転バネの 2 つの地盤バネを用いたスウェイ・ロッキングモデルを導入することで、基礎部の動きを表現できるようにしている。

有限要素モデルのモデルパラメータは、道路標識の柱材に用いられている鋼管 STK-400(一般構造用炭素鋼鋼管)の外径 d と厚さ t 、道路標識の基礎部の動きを表現する水平バネ k_s と回転バネ k_r の計 4 つを設定した。また、この鋼管の外径と厚さは JIS によりそれぞれ、 $d=0.0605 \pm 1\% \text{ [m]}$ 、 $t=0.0023 \pm 0.0003 \text{ [m]}$ と規定されてい

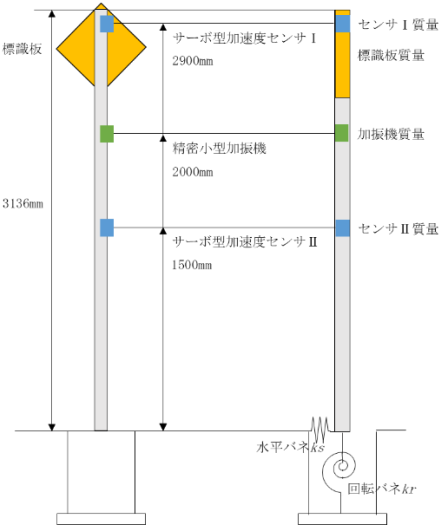


図-1 強制加振実験の様子とモデルの概略

表-1 強制加振実験で推定された平均的な観測量

		2.9m		1.5m	
		Ave.	Std.	Ave.	Std.
1 次モード	ω_1	4.207	0.0044	30.15	0.0035
	A	1.405×10^{-2}	4.8×10^{-4}	5.550×10^{-3}	2.4×10^{-4}
	h_1	0.0044	0.0038	0.0048	0.0038
2 次モード	ω_2	4.203	0.0048	30.15	0.0033
	A	3.280×10^{-2}	6.5×10^{-6}	4.5×10^{-4}	7.8×10^{-6}
	h_2	0.0035	0.0009	0.0033	0.0010

る。

これまでの報告¹⁾では、観測データとして 1 次と 2 次の固有振動数のみを用いていたが、本研究では 2 つの加速度センサにおける振幅も用いることとした。すなわち、2.9m 位置と 1.5m 位置に設置した加速度センサ I、II から得られる 1 次固有振動数 ω_1 と 2 次固有振動数 ω_2 、1 次ピーク振幅 A_{11} と 2 次ピーク振幅 A_{12} 、1 次ピーク振幅 A_{21} と 2 次ピーク振幅 A_{22} である。強制加振実験にて推定されたデータ統計量を表-1 に示す。

この 6 つの観測値 ω_1 、 ω_2 、 A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} を用いて式(1)の目的関数を設定し、その目的関数を最小とす

$$f = \frac{1}{2} \frac{(\omega_1 - \bar{\omega}_1)^2}{\sigma_{\omega_1}^2} + \frac{1}{2} \frac{(\omega_2 - \bar{\omega}_2)^2}{\sigma_{\omega_2}^2} + \frac{1}{2} \frac{(A_{11} - \bar{A}_{11})^2}{\sigma_{A_{11}}^2} + \frac{1}{2} \frac{(A_{12} - \bar{A}_{12})^2}{\sigma_{A_{12}}^2} + \frac{1}{2} \frac{(A_{21} - \bar{A}_{21})^2}{\sigma_{A_{21}}^2} + \frac{1}{2} \frac{(A_{22} - \bar{A}_{22})^2}{\sigma_{A_{22}}^2} \quad (1)$$

ような4つのモデルパラメータ d , t , ks , kr を、最急降下法で推定した。

3. 最急降下法によるモデルパラメータ推定

まず、有限要素モデルを用いて誤差が含まれない理想的な擬似観測データを計算し、これを用いて最急降下法によりモデルパラメータが正しく推定できるのかを確認した。モデルパラメータの初期値として、外径 d , 厚さ t , がそれぞれ規定値の1.01倍と1.1倍、水平バネ ks , 回転バネ kr が設定値の1.1倍として最急降下法を適用し、パラメータの推定を試みた。推定結果を図-2に示す。図-2より、外径 d , 厚さ t , 回転バネ kr の3つのパラメータは試行回数10000回以内で設定値付近に正しく収束している。一方で水平バネ ks は収束速度が遅く、観測値に対する感度は低いと考えられる。

4. 実観測データによるモデルパラメータ推定

次に、道路標識の強制加振実験による観測データを用いてモデルパラメータを推定した。モデルパラメータの初期値には、先のシミュレーションと同じ値を設定した。推定結果を図-3に示す。図-3より、いくつかのパラメータは収束しているように見える。ただし、 f の値は50程度までしか低下しておらず、観測データを説明するようなモデルは同定できていない。本研究では目的関数を式(1)としているので、観測データの平均値 ω_1 に含まれる観測ノイズが標準偏差 σ よりも小さい場合には、 $|\omega_1 - \bar{\omega}_1|/\sigma < 1$ となることが期待される。そのため、全ての観測データの平均値が真値の $\pm 1\sigma$ よりも小さければ、 $f < 3$ となるはずである。現時点ではこの原因は分かっていないが、観測データにバイアスが含まれている可能性や、道路標識の数値モデルに、特にスウェイ・ロッキングモデルの入れ方にそもそもの問題があったために、モデルパラメータの推定に失敗したということが考えられる。

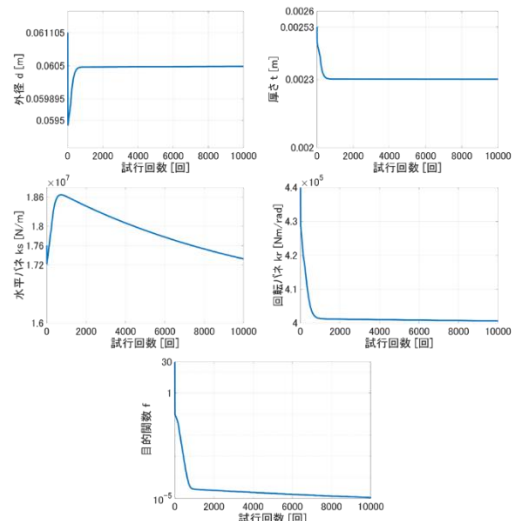


図-2 収束計算の試行回数とモデルパラメータ・目的関数の関係（擬似データ）

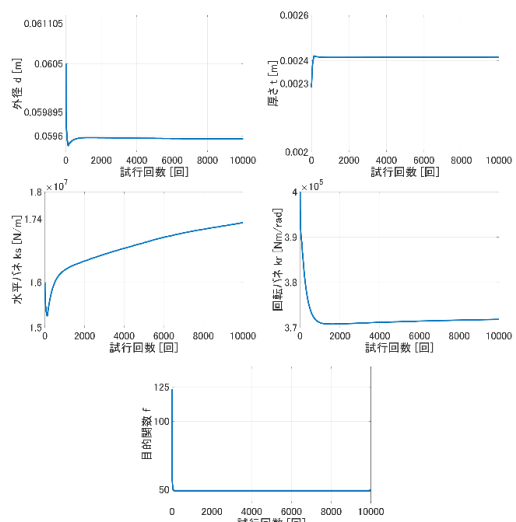


図-3 収束計算の試行回数とモデルパラメータ・目的関数の関係（実観測データ）

5. まとめ

擬似観測データを用いた場合、モデルパラメータを推定することができた。一方で、実観測データを用いた場合には、正しく推定されなかった。今後は、有限要素モデル及び強制加振実験データを再検討し、引き続き妥当なモデルの構築を試みる。

参考文献

- 1) 北林和良, 辻貴洋, 籬はるか, 佐伯昌之: 道路標識の振動応答解析モデルの構築, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.74, No.2, I_561-I_570, 2018