

道路標識振動応答解析のための数値モデルの構築

東京理科大学 学生員 ○辻貴洋

東京理科大学 正会員 佐伯昌之

1. 研究の背景と目的

我が国には道路標識が約 1 千万本設置されており、現地に赴いて直接目視しているのが現状である。そのため、効率的な点検手法が求められている。

そこで著者らは、IoT を用いた道路標識の異常検知システムの開発を試みている。具体的には、風等による道路標識の常時微振動を MEMS 加速度無線センサでモニタリングし、異常を検知するシステムである。ただし、まだ基礎研究の段階であり、異常を検知するために何を指標とすべきか判っていない。本研究では、観測値の様々な変動要因を解明し、当該指標の検討に活用することを目的として、道路標識の周波数伝達関数を説明する数値モデルの構築を試みた。

2. 道路標識の強制加振実験

数値モデルを作成するために、まず本学敷地内に設置した図-1のような実験用の道路標識において精密小型加振機を用いて強制加振実験を行った。精密小型加振機は、偏心錘の回転による遠心力を加振力とする振源である^[1]。加速度センサと精密小型加振機は、ケーブル長の都合上、それぞれ高さ 2.9[m], 2.5[m]に設置した。精密小型加振機の変調周波数は道路標識の 1 次モードの固有振動数付近

の 3.5~6.0[Hz]とし、10 秒周期で変調させた。また、加速度センサとしては、サーボ型の加速度センサを用いて、100Hz で約 1 時間サンプリングした。得られた加速度データは離散フーリエ変換して加速度のフーリエスペクトルとした。そして、 $-\omega^2$ で除すことで変位に変換し、離散逆フーリエ変換して変位の時系列データとした。更に、得られた変位の時系列データから ARX モデルを使用して周波数伝達関数を推定した^[2]。その結果を図-2 に示す。青い線が ARX モデルで推定された周波数伝達関数で、紫の×印が周波数応答関数を震源関数で除して求めた周波数伝達関数である。この 2 つの周波数伝達関数の誤差率は 1.9[%]であった。

3. 数値モデルの構築

数値モデルは、図-1 のような片持ち梁の有限要素モデルに、標識板、精密小型加振機、加速度センサの質量を対応する要素に付加し、さらに基礎部分が動いていることを仮定して回転バネを入れたものを作成した。鋼材部分の曲げ剛性には、鋼材の一般的なヤング係数 $E_s=205 \times 10^3$ [N/mm²]と標識柱の断面二次モーメントから計算した値を一様に入れている。同様にコンクリート基礎部の曲げ剛性にはコンクリートの一般的なヤング係数 $E_c=218.62 \times 10^2$ [N/mm²]と断面二次モーメントから計算した値を一様に入れている。

この数値モデルで解析した周波数伝達関数と、ARX モデルで解析した実験値の周波数伝達関数を比較すると図-3 のようによく一致していることがわかる。その誤差率は 3.5~6.0[Hz]間で約 3.1[%]であった。ただし、数値モデルと

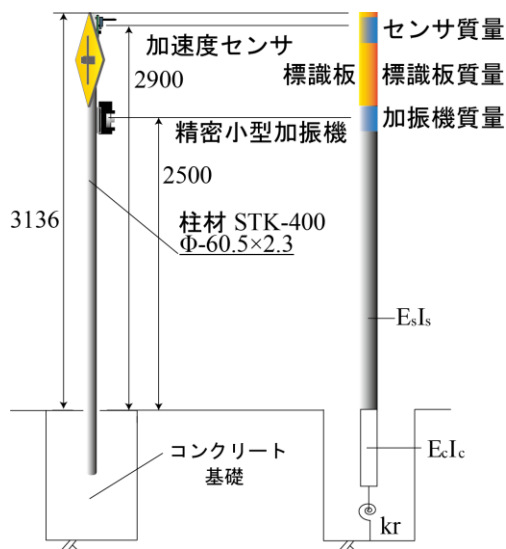


図-1 道路標識の有限要素モデル

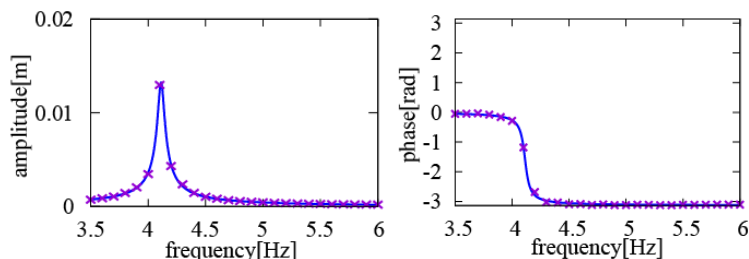


図-2 変位及び位相の周波数伝達関数

キーワード: 道路標識, 精密小型加振機, 有限要素モデル, スウェイロッキングモデル, 基礎部

連絡先: 〒278-8510 千葉県山崎野田市 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL:04-7124-1501

実験値を一致させるような減衰定数 $h=0.009$ 及び基礎部の回転バネ係数 $k_r=4.96 \times 10^5$ [N/m]を代入している. そのため, この誤差率のうち 1.9[%]は ARX モデル推定時によるものであるが, 残りの 1.2[%]は 2 変数の設定値や加速度センサのケーブルの質量及び張力等のモデルに起因するものであると考えられる.

4. 基礎部の仮定の検証

実験値と数値モデルの周波数伝達関数を誤差率約 3.1[%]で一致させることができたが, この数値モデルでは基礎部が動いていることを仮定している. したがって, その仮定の成否及び回転バネ係数の設定値の妥当性を検証するために, 加速度センサを基礎部に設置して強制加振実験を行った. 測定方向は鉛直方向と標識板に対して垂直の水平方向の 2 方向である. 計測した加速度は, 前述の強制加振実験と同様の解析を行い, 変位及び位相の周波数伝達関数を得た.

その結果を図-4 に示す. これを見ると, 水平, 鉛直方向ともに, 周波数応答関数を震源関数で除して求めた周波数伝達関数にピークが立っており, ARX モデルでも妥当な周波数伝達関数を推定することができている. したがって, 基礎部は精密小型加振機によって動いていると考えられる. ただし, 現在の数値モデルにおける基礎部の変位量と比較すると実験値の変位量は 1 桁小さい.

この基礎部の変位量を数値モデルで考慮すると, 回転バネ係数 k_r は $k_r=5.50 \times 10^5$ [N/m]となる. これにより, 前述

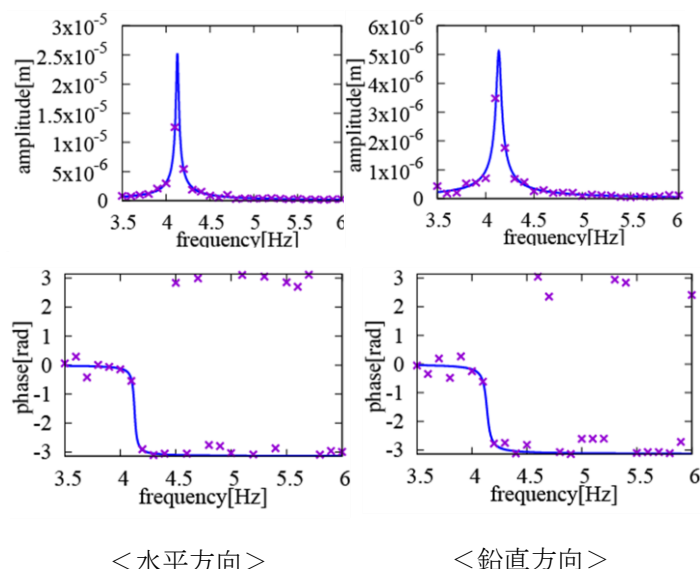


図-4 基礎部の変位及び位相の周波数伝達関数

した標識柱部における実験値と数値モデルとの誤差率は 6.9[%]となる. ただし, 加速度センサや精密小型加振機のケーブルの質量や張力を考慮することにより, その誤差率は 3.8[%]にまで低減させることができる.

5. まとめ

本学敷地内に建てた道路標識において強制加振実験を行い, その実験値から推定した周波数伝達関数を説明する数値モデルの構築を行った. 数値モデルでは基礎部が動いていることを仮定して回転バネを入れたが, 基礎部の変位を計測することによってその妥当性を示した. 今後は, 他の不確定性についても検証する.

謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究(C)(一般)(課題番号:15K06192)を得て行いました. ここに記して謝意を表します.

参考文献

- [1] 日高ちはる, 斎藤拓馬, 渡邊和樹, 佐伯昌之:精密小型加振機と無線センサネットワークを結合した周波数応答関数計測手法の基礎的検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.67, No.2(応用力学論文集 Vol.14), I_875-I_883,, 2011
- [2] 塚原美佳, 奥村昂史, 渡邊和樹, 大谷隆浩, 石井克哉, 佐伯昌之, 藤原鉄朗:精密小型加振機を用いた振動特性同定手法の開発, 土木学会論文集 A2(応用力学) Vol. 70, No.2, p.I_921-I_928, 2014

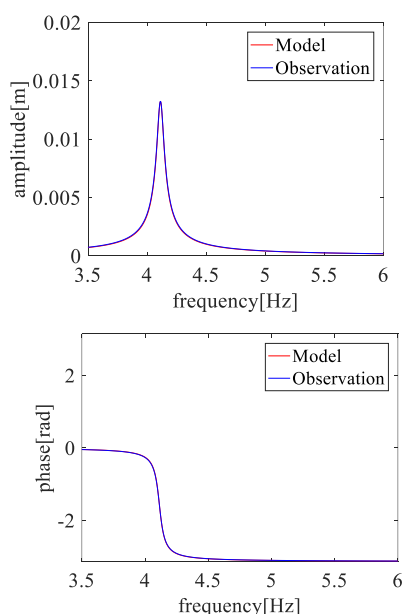


図-3 数値モデルと実験値の周波数伝達関数