

単純梁の振動実験における周波数伝達関数の推定

東京理科大学 学生会員 ○栗原 幸也
 東京理科大学 学生会員 塚原 美佳
 東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. はじめに

著者らは精密小型加振機と無線センサネットワークを結合した構造センシング手法の開発を試みている¹⁾。本手法では、周波数伝達関数を高精度に計測し、その周波数伝達関数を説明する有限要素モデルを構築することにより、構造物を同定することを目的としている。本研究では、最も単純な問題である鋼製の単純梁を用いた曲げ 1 次モードの振動実験を実施し、その構造同定を試みた。

2. 実験概要

本実験の概要を図-1 に示す。本実験では、2100[mm]×100[mm]×10[mm]の鋼材 SS400 を用い、支間長が2000[mm]となるようにローラー支承を設置した。その中央に精密小型加振機を設置し、左端から 750[mm]の位置にレーザー変位計を設置した。周波数伝達関数の計測手順は以下の通りである。

- 1) 精密小型加振機を用いて梁を振動させ、それと時刻同期させてレーザー変位計の応答を計測する。
- 2) 精密小型加振機の偏心錘の回転位相情報から加振力の時系列を計算する。
- 3) 変位の時系列応答と、加振力の時系列にバンドパスフィルタを適用し、ARX法で解析することにより、周波数伝達関数を推定する。

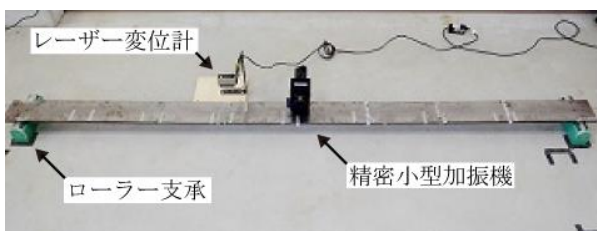


図-1 振動実験の様子

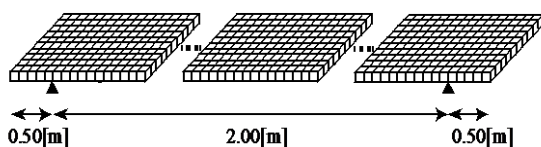


図-2 解析に用いた有限要素モデル

3. FEM モデルについて

解析に用いた有限要素モデルを図-2 に示す。一辺が10[mm]の 2 次ソリッド要素を橋軸方向に 210 要素、橋軸直行方向に 10 要素、高さ方向に 1 要素配置し、合計 2100 要素に分割した。減衰としては、剛性比例型減衰を用いた。減衰定数の値は ARX 法により得られた値をそのまま用いることとした。

境界条件は、左端では x 軸方向と z 軸方向の変位を拘束し、右端では z 軸方向の変位を拘束している。この境界条件の妥当性を検証するため、振動実験の際にレーザー変位計を用いて境界部の鉛直変位を計測したところ 0 であった。

鋼板の材料は一様とし、密度 ρ とポアソン比 ν はそれぞれ $\rho=7.85\times10^3[\text{kg/m}^3]$, $\nu=0.3$ とした。ヤング率 E については次節において述べる。

4. 周波数伝達関数と FEM 解析結果の比較

鋼材のヤング率を決定するため、ヤング率の変化に対して、周波数伝達関数がどのように変化するか調べることとした。これによると、ヤング率の増加に比例して固有振動数は大きくなり、ピーク振幅は小さくなることが分かった。また、減衰定数を大きくすると、ピーク振幅は小さくなるが、固有振動数にはほとんど影響与えないことがわかった。この結果から、ARX 法により推定された固有振動数と一致するようにヤング率を決定してやれば良いことが分かった。このヤング率を用いて有限要素法により解析した周波数伝達関数と、ARX 法により推定された周波数伝達関数の振幅を比較したものを図-3 に示す。

図-3 の縦軸は周波数伝達関数の振幅、横軸は周波数である。赤線は ARX 法により推定された周波数伝達関数であり、緑線は FEM による解析結果である。図を見ると周波数伝達関数の推定結果と FEM による解析結果はおおよそ一致していることが分かる。全体的に約 6%のずれが生じており、ARX 法による推定結果の方が過小評価となっている。この原因は、偏心質量の回転軸が移動することで、偏心質量は回転半径が一定の円運動ではなく、楕円運動することになり、発生する遠心力も異なってくることが考えられる。

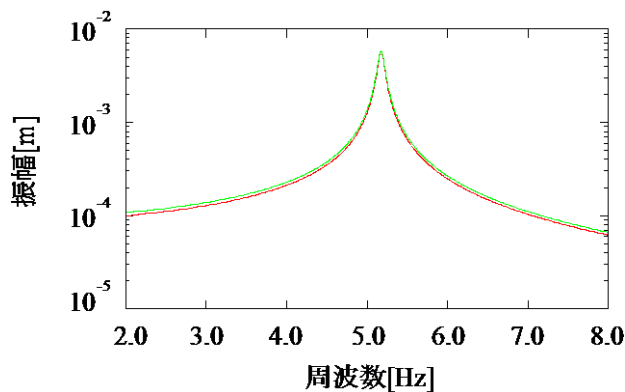


図-3 ARX 法を用いて推定された周波数伝達関数と有限要素法による解析結果の比較

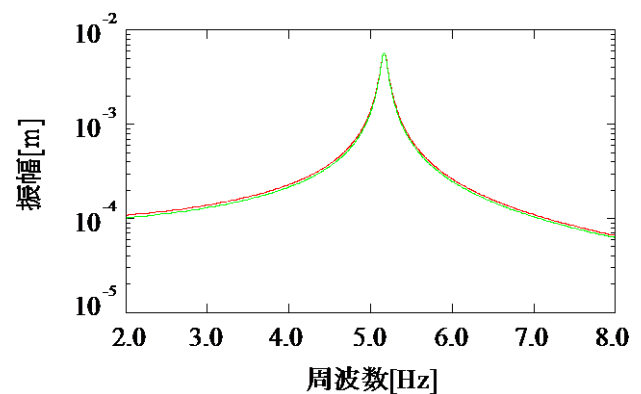


図-5 錘をのせたものに対して

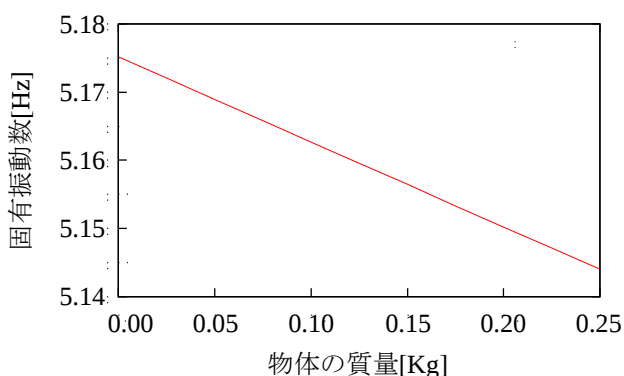


図-4 物体の質量と固有振動数の関係

5. 梁に載せた物体の質量の推定

次に、構造物に物理的変化があった場合に、その変化を検出できるかどうかを検討した。本来であれば、梁に損傷を与えた場合を扱うべきであるが、本研究では、より正解が明確な問題として、単純梁のある位置に物体を固定し、その物体の質量が未知である問題を考えることとした。このとき、物体の質量を固有振動数から推定することを試みた。

実験では、左端から 500[mm]の位置に質量 0.080[kg]の物体を固定し、2 節で述べた実験手順で周波数伝達関数を推定した。物体を固定した状態で推定された固有振動数は 5.166[Hz]で、物体が固定されていない状態での固有振動数は 5.175[Hz]であった。この 2 つの固有振動数を比較すると、質量を持った物体を固定したことで固有振動数が 8.87×10^{-3} [Hz]減少したことがわかった。

次に、物体の質量を推定する前段階として、有限要素解析により、物体の質量が固有振動数にどのような影響を与えるかを検証した。解析では、上記の実験とほぼ同じ条件で、左端から 500[mm]の位置に物体を置き、質量を 0.000[kg]から 0.250[kg]まで 0.005[kg]ずつ増加させ、それぞれの周波数

伝達関数を計算した。このとき、ARX 法により推定された固有振動数の変化を図-4に示す。図の縦軸を固有振動数、横軸を物体の質量とした。図より、質量の増加に比例して線形的に固有振動数が小さくなるのがわかる。また、固有振動数を説明する物体の質量をこのグラフから求めた結果、物体の質量は 0.071[kg]であった。このとき、推定された周波数伝達関数を図-5に示す。

図-5 の縦軸は周波数伝達関数の振幅、横軸は周波数である。緑線は ARX 法により推定された周波数伝達関数であり、赤線は FEM による解析結果である。このときの振幅のずれは全体的に約 6%生じており、物体を固定する前とほとんど同精度であり、FEM による解析結果はおおよそ一致していることが分かった。また、物体の質量の推定結果と実際の質量を比較すると約 11%の誤差が生じた。現在のところ、この程度の誤差が生じているが、観測誤差やモデル化誤差を検討することで、精度向上を考えています。

6. まとめ

本手法により ARX 法により推定された周波数伝達関数を有限要素解析によりほぼ表現することができた。また、梁に物体を載せることで物理的変化を検出し、その変化を有限要素解析により検証できる可能性を示した。

謝辞 本研究は科学研究費補助金（基盤研究(C)：24560586）の助成を受けたものである。

参考文献 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構造センシング手法の精度検証, 土木学会論文集 A2, Vol.68, No.2, I_761-I_769, 2012