

精密小型加振機を用いた鋼製単純梁振動実験のモデル化

元東京理科大学 正生員 ○栗原 幸也

元東京理科大学 学生員 森本美沙樹

東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. はじめに

著者らは、構造物の健全性評価を最終目的として、精密小型加振機と無線センサネットワークを用いた構造センシング手法の開発を試みている。本手法により、Green 関数を高精度に計測し、その Green 関数を説明する有限要素モデルを同定することができれば、構造物の状態を把握できる可能性がある。ただし、最初から実際の構造物を対象とすると、未知なる部分が多く、実験データの解釈が困難になることから、現状では、精密小型加振機の試作機を用いて、2m 程度の鋼製単純梁で検証実験を行っている。

本研究では、鋼製単純梁の曲げ 1 次モードでの振動実験データを数値計算で再現することを目的として、有限要素モデルを検討した。

2. 精密小型加振機を用いた鋼製単純梁振動実験の概要

本実験の様子を図-1 に示す。本実験では、2100[mm]×100[mm]×10[mm]の鋼材 SS400 を、支間長が2000[mm]となるようにローラー支承に設置した。その中央に精密小型加振機を強力磁石で固定し、梁中央と支間長の1/4の位置にレーザー変位計を設置した。Green 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たものを、ARX法で解析することにより、Green関数を推定する。

3. Green 関数を説明する有限要素モデルの構築

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、橋軸直交方向に 10 要素、高さ方向に 1 要素配置し、総節点数を15053 点とする 2100 要素に分割した。減衰は、剛性比例型減衰を仮定しており、減衰定数 h は、実験において ARX 法により同定された値を用いた。境界条件は、単純梁と同じ条件になるように、支点に相当する節点の変位を拘束するように設定した。鋼板は一様とし、密度とポアソン比はそれぞれ

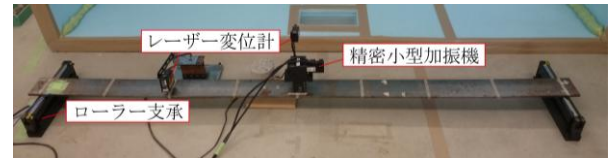


図-1 振動実験の様子

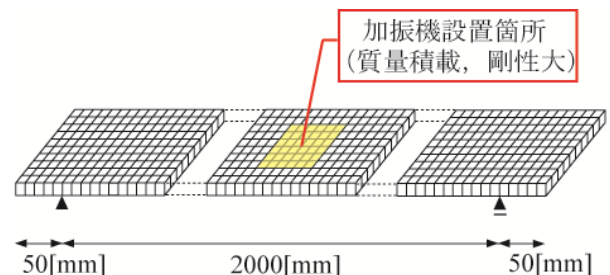


図-2 解析に用いた有限要素モデル

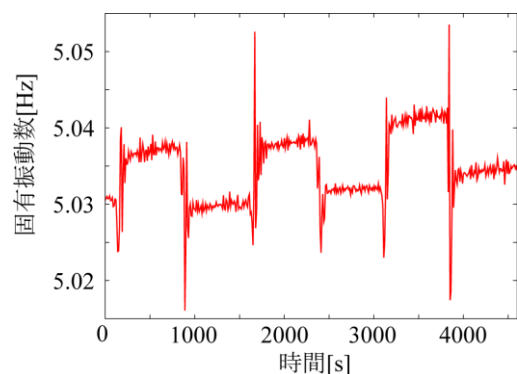


図-3 磁力による影響

$\rho=7.85 \times 10^3 [\text{kg/m}^3]$, $\nu=0.3$ とした。ただし、精密小型加振機の質量は、それが固定される位置の要素に均等に分布させている。

ヤング係数 E は実験で得られた固有振動数を説明するような値を代入した。ただし、精密小型加振機は強力磁石により固定していることから、梁と加振機の間に摩擦力が生じ、これにより曲げ剛性 EI が局所的に上昇する。そのため、加振機と接する要素のヤング係数は他の部分よりも大きな値としている。図-3に、強力磁石のスイッチをon/offで切り替えたときの固有振動数の変化を示す。局所的なヤング係数の補正は、この固有振動数の変化を説明する様に設定している。

このモデルを用いて解析した Green 関数と、実験により得

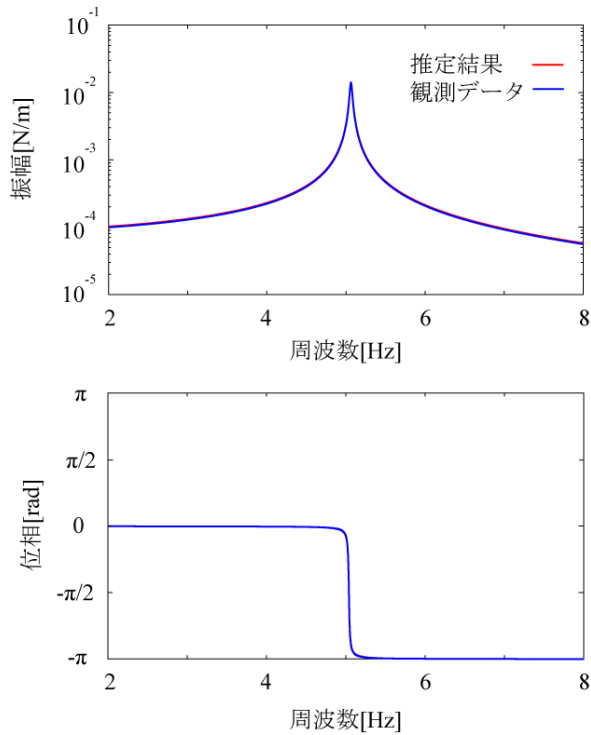


図-4 同定結果

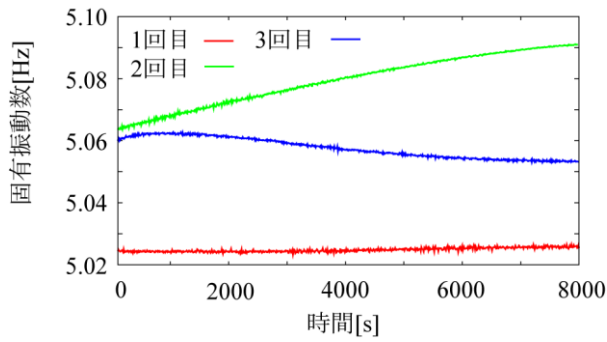


図-5 境界による影響

表-1 誤差一覧

損傷種類	計測誤差	固有振動数	ピーク振幅
加振機の設置	1.00[mm]	0.002[%]	0.016[%]
スパンの設置	1.00[mm]	0.093[%]	1.083[%]
鋼板の厚さ	0.05[mm]	0.749[%]	2.281[%]
鋼板の幅	0.05[mm]	0.0001[%]	0.0001[%]
計測位置	0.05[mm]	0.003[%]	0.001[%]
加振機の重さ	0.03[kg]	0.122[%]	-0.122[%]

られた Green 関数を比較したものを図-4 に示す。図を見ると、両者はよく一致しているように見える。振幅は全体的に約 2.8%程度、数値計算による Green 関数の方が大きかった。位相は 10[Hz]で -4.40×10^{-5} [rad]の誤差が生じていることから、 $\Delta t = 7.003\times 10^{-6}$ [s]の時刻同期誤差があることが分かった。

4. 境界における梁の接触条件の影響

境界条件が梁の振動にどの程度影響を及ぼすかを確認するために、梁を持ち上げ静かに設置し直した後に、加振実験を行った。その結果を図-5 に示す。図の1回目は、既に十分に加振実験を行った後に、再び加振実験を行ったものであるが、この場合、固有振動数は殆ど変化しない。しかし、鋼板を一度持ち上げると固有振動数が変化し、その後徐々に収束することが分かる。これは、設置し直すことで鋼板とローラー支承の微妙な凹凸のかみ合わせが変化するためだと考えている。

さらに、上記の実験とは別に、十分に加振実験を行った後に、精密小型加振機の加振力を徐々に小さくする実験を行った。この実験では、加振力を小さくするほど固有振動数が上昇することが分かった。加振力が小さくなると、梁のたわみが小さくなり、境界部での水平方向の変位が小さくなる。これが、水平方向の拘束力を強め、固有振動数を上昇させたと考えている。

5. 有限要素モデルのモデル化誤差の影響

実験と数値シミュレーションで Green 関数が一致しない原

因の一つに、モデル化誤差があるため、その影響を検証した。その結果を表-1 に示す。

表-1 の計測誤差は、実際に数値シミュレーションで変化させた値で、計測に用いた器具(ノギス、メジャー)の分解能を用いた。ただし、加振機の質量の計測誤差は、加振機に接続している電源ケーブルの設置状況にも依存するため、計測誤差を 30[g]とした。表-1 より、最も影響を与えるのは鋼板の厚さであることが分かる。ところで、鋼板の熱膨張による影響は、鋼板温度が 10℃変化した場合、 1.21×10^{-5} [mm]しか変化せず計測誤差と比べて十分に小さい。そのため、熱膨張が Green 関数に与える影響は小さいことが分かる。また、すべての計測誤差を過大評価した場合には、ピーク振幅の推定誤差は 3.5%となることから、図-4 で示した Green 関数の精度は、妥当であると言える。

6. まとめ

本手法により実験で推定した Green 関数を有限要素解析によりほぼ表現することができた。境界条件の影響を調べた結果、支承部分で固有振動数に影響を与える拘束力が発生している可能性が高いことが分かった。また、モデル化誤差の影響を調べたところ、振幅誤差を過大評価した場合 3.5%の影響があることがわかった。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C): 24560586)を得て行いました。ここに記して謝意を表します。