

構造同定手法を援用した簡易構造系の有限要素モデル精緻化手法の実験的検討

長崎大学大学院 学生会員 ○田中敦海 長崎大学大学院 正会員 西川貴文
長崎大学大学院 正会員 中村聖三

1. はじめに

有限要素法を用いて実構造物の詳細な応答を解析するためには、実構造物の特性を考慮した精緻なモデルが必要である。しかし、有限要素法による解析と実構造物の応答には、モデリング、計測ノイズ、減衰等の影響により差異が生じる。本研究では、FE モデルパラメータを自動更新し、実測される振動特性を示すように簡易構造系の FE モデルを精緻化する解析ルーチンを構築した(図-1)。また、構造模型を用いて実験を行い手法の妥当性の検証を行った。

2. FE モデルの精緻化手法

本研究では、FE モデルの精緻化を振動特性の解析値と実測値の差を最小化する FE モデルパラメータ $\mathbf{x}$ を決定する最適化問題と定式化した。最小化する目的関数を式(1)に示す。

$$J(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ai} - f_{mi}}{f_{mi}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n (1 - \text{diag}(\text{MAC}(\Phi_{ai}, \Phi_{mi}))) \quad (1)$$

ここに、 f は固有振動数、 Φ は固有モードベクトルであり、添字 i はモード次数、 a は解析値、 m は実測値、 MAC はモード信頼性評価基準²⁾である。式(1)より、モデル精緻化のためには、構造物の特性を示す固有振動数 f_m と固有モード形 Φ_m を得る必要がある。本研究では、これらの振動特性を推定するために、構造同定手法の1つである部分空間法³⁾を用いた。

また、FE モデルパラメータの更新方法には準ニュートン法(BFGS 公式)を用い、パラメータに正の範囲制約を課すためにペナルティ関数を用いた。

3. 解析ルーチンの構築

モデル精緻化の流れを図-2 に示す。まず、設計値を基に初期 FE モデルを作成する。一方で構造同定により加速度応答から振動特性を推定し、それぞれの結果から目的関数を計算する。準ニュートン法により FE モデルパラメータを更新し、目的関数の値が収束するまで繰り返し解析を行う。最適化フローの構築には、数値解析ソフトウェア MATLAB を用いた。

4. 簡易構造 FE モデルの精緻化試行

5層ラーメン模型を用いて、構築した解析ルーチンを試行

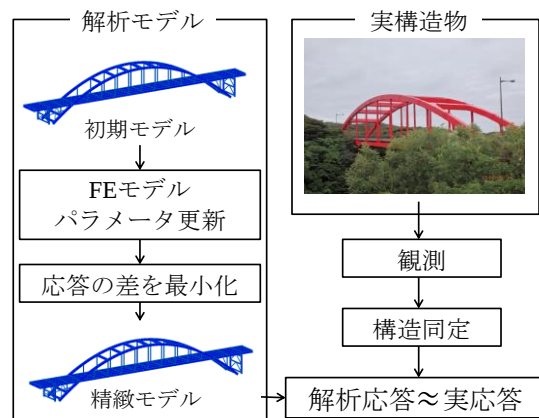


図-1 FE モデルの精緻化イメージ

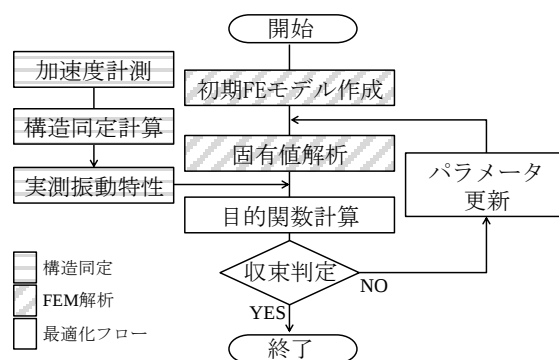
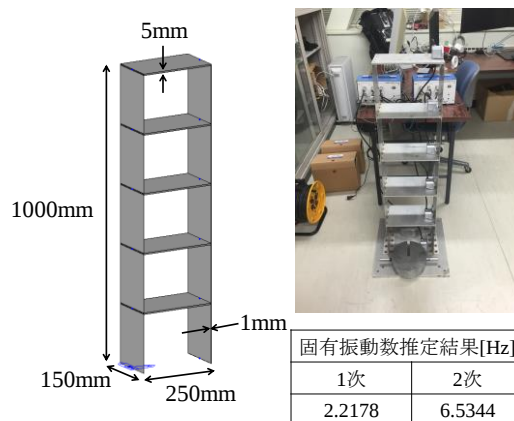


図-2 FE モデル精緻化の流れ



材料：アルミニウム

図-3 5層ラーメン概要

キーワード：モデルアップデート 構造同定 有限要素法

連絡先：〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科 Tel:095-819-2615

した．この模型で加速度応答を生成し，構造同定を行い1次と2次の固有振動数，固有モード形を推定した．使用した5層ラーメンの設計値と推定した固有振動数を図-3に示す．構築した解析ルーチンを用いて，設計値を基にした初期FEモデルが，推定された振動特性を再現するように精緻化されるか検証した．精緻化の過程におけるパラメータの更新回数と目的関数の値を図-4に示す．目的関数の値はパラメータの更新とともに減少し，収束判定を満たして計算は終了した．式(2)の誤差率を定義し，モデルと実構造物の固有振動数を比較した結果を図-5に示す．また，MAC²⁾を用いて固有モード形を比較した結果を図-6に示す．

$$\varepsilon_i = \frac{f_{ai} - f_{mi}}{f_{mi}} \times 100 \quad (\%) \tag{2}$$

図-5，図-6より，精緻化後のモデルは，初期モデルに比べ，実構造物に近い振動特性を示しており，モデルが精緻化されていることが確認できる．

5. FEモデルパラメータの比較

本研究では，実構造物において弾性係数，質量密度等の材料特性の変化は微小と仮定し，要素の断面積と断面2次モーメントをFEモデルパラメータとして自動更新することでモデルの精緻化を行った．表-1に精緻化前後のモデルにおける各層の層間部材の断面2次モーメントの和を示す．表より，精緻化後のモデルではこれらの値が初期モデルから低下していることが分かる．これより，5層ラーメン模型においても断断面積，断面2次モーメントの値が設計値から低下していると推定される．

6. まとめ

本研究では，構造同定により得られる振動特性を示すようにFEモデルを自動的に精緻化する解析ルーチンを構築した．本研究で構築した解析ルーチンを用いて，実験による検証を行った結果，実構造物に近い応答を示すようFEモデルが精緻化された．今回の実験では，加速度計の質量の影響により5層ラーメンの固有振動数が実際の値より低く推定されたため，モデルの各要素の断面性能も実際より低い値に精緻化されたと考えられる．また，振動特性は構造部材の結合点の状況によっても変化するため，モデルの境界条件についてもFEモデルパラメータとして検討を行う必要がある．

参考文献

1) Tshilidzi Marwala.: Finite-element-model updating using computational intelligence techniques: Applications to structural dynamics, Springer, London, UK., 2010
2) Allemang RJ, Brown DL.: A Correlation coefficient for modal vector analysis., Proc of the 1st int modal anal conf : 01-08
3) Overschee, P.V., and Moor, B.D.: Subspace identification for linear systems: Theory -Implementation- Applications, Kluwer, Dordrecht, Netherlands., 1996

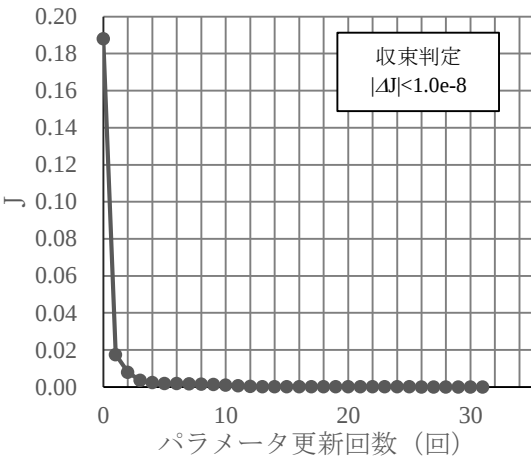


図-4 精緻化に伴う目的関数値の推移

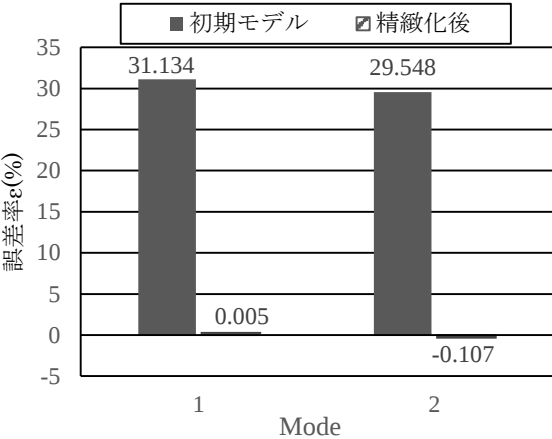


図-5 固有振動数の誤差率

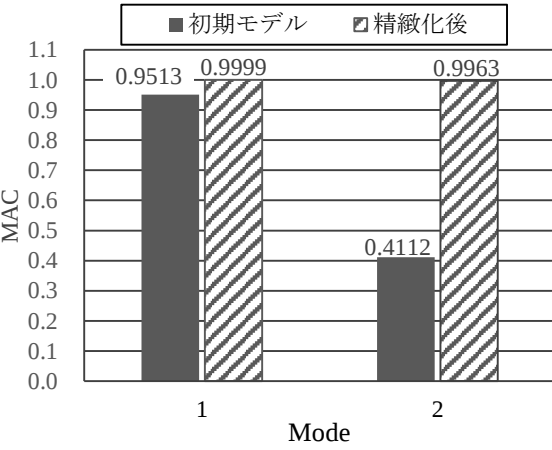


図-6 固有モード形の比較

表-1 層間部材の断面2次モーメントの和
単位: mm⁴

	初期モデル	精緻化後
1層	25.0000	12.9998
2層	25.0000	14.0536
3層	25.0000	13.6468
4層	25.0000	13.6519
5層	25.0000	13.2232