

時系列モード減衰定数の同定法とその検証

日本大学大学院
日本大学

学生会員
正会員
正会員

○大川 雅継, 三留 英之
仲村 成貴, 鈴木 順一
花田 和史

1. 目的

構造物の動的挙動には減衰現象が支配的な役割を持つ。しかし、設計時に算定される固有振動数に比べると、モード減衰定数の推定精度はかなり低い。構造物の減衰定数を正確に予測する理論的方法が存在しないため、実験データよりモード減衰定数を正確に同定し、設計資料を蓄積する必要がある。本研究では、非線形最小二乗法を用いた多自由度系のモード減衰定数の同定法を提案し、数値シミュレーションによって他の代表的な同定法とともにモード減衰定数を同定して、同定された値の精度を比較、検討した。せん断5層モデルの室内実験データによってもその妥当性を検証した。

2. 提案手法(非線形最小二乗法を用いた同定法)

多自由度系の自由振動波形は各固有モード成分に等価な1自由度系の自由振動波形の線形和で表される。 r 次の固有円振動数を Ω_r 、モード減衰定数を h_r 、自由度を n とすると多自由度系の自由振動波形は

$$x(t) = \sum_{r=1}^n e^{-\sigma_r t} (A_r \cos \omega_{dr} t + B_r \sin \omega_{dr} t) \quad \text{ここに、} \omega_{dr} = \Omega_{dr} \sqrt{1 - h_r^2}, \quad \sigma_r = -\Omega_r h_r \quad (1)$$

と表わされる。ここで、計測時や外乱に乱された観測値を $x'(t)$ とし、評価関数 E を次式で定義する。

$$E = \sum \{x'(t) - x(t)\}^2 \quad (2)$$

式(2)の評価関数を最小とするモード特性を同定するために、Marquardt法¹⁾を用いる。振動数領域でバンドパスフィルタ処理を施して各モード成分を抜き取り、それをフーリエ逆変換した時系列波形から初期値とする。

3. 数値モデルによる検討

数値モデルを図1に、その固有振動数を表1に示す。モード別減衰定数を全次2.0%と設定した。1測点の単位衝撃応答、地盤振動応答が得られると仮定して、提案手法、RD法²⁾、Prony法³⁾およびIbrahim法³⁾を用い減衰定数を同定する。なお、ノイズの混入率 NL を次式で定義する。

$$NL = \frac{\text{ノイズのパワースペクトルの面積}}{\text{原波形のパワースペクトルの面積}} \times 100(\%) \quad (3)$$

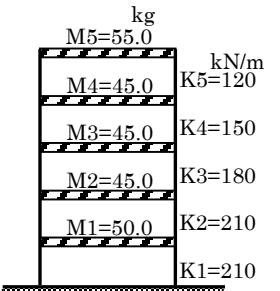


表1 固有振動数	
モード次数	固有振動数 (Hz)
1	2.82
2	7.55
3	11.97
4	15.74
5	19.21

図1 対象数値モデル

1) 単位衝撃応答

単位衝撃応答に各手法を適用して定められる系の各次モード減衰定数を図2に、 $NL=40\%$ の計測ノイズを加えた単位衝撃応答への適用結果を図3に示す。ノイズがない場合には全ての手法で真値に近い値を得たが、ノイズを付加した場合には提案手法だけが真値に近い値を得た。

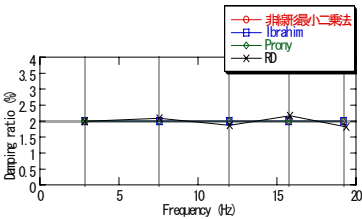


図2 単位衝撃応答同定結果

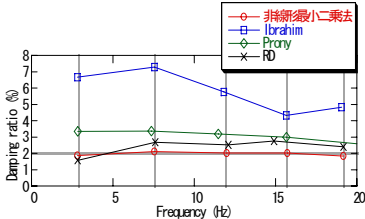


図3 単位衝撃応答 (NL40%)

2) 地盤振動応答

ホワイト波形を地盤振動として入力したときの応答に各手法を適用して定められる系の各次減衰定数を図4に、 $NL=35\%$ の計測ノイズを加えた地盤振動応答への適用結果を図5に示す。ノイズがない場合には全ての手法で真値に近い値を得たが、ノイズを付加した場合には提案手法だけが真値に近い値を得た。

4. せん断5層模型の室内実験データへの適用

表2に記す質量と剛性を有した模型(図6)を対象とした。模型の各層にサーボ型加速度計を設置し、増幅器、分解能16bitのAD変換器を介して5msec刻みで計測を行なった。試験体の最上部に水平荷重を作用させ、それを瞬時に切り離れた後の自由振動応答を計測した。フーリエスペクトルのピークから得られた固有振動数を表3に記す。参考までに表2より得られる数値モデルの固有振動数を表3に併せて記す。

提案する手法を1層、3層、5層のデータを独立に適用(単点参照)しモード減衰定数を同定した。1例として1層における観測値と同定値のフーリエスペクトルを図7に、各層の同定結果の平均値と標準偏差を表4に示す。同表に示す標準偏差は非常に小さく、計測位置によらず安定した値を得たことが確認できる。

5. まとめ

数値モデルの応答に提案手法、RD法、Ibrahim法およびProny法を適用してモード減衰定数を同定した結果、計測ノイズの混入がない場合には全ての手法で真値を得ることができたが、ノイズの混入がある場合に提案手法だけで真値を同定できた。また実際の室内実験データに提案手法を適用した結果、ばらつきの少ないモード減衰定数が得られた。

以上より、本手法の有効性が検証された。

謝辞

本研究の一部は、(社)日本鉄鋼連盟の研究奨励寄付金によるものである。

参考文献

1) G.J.Borse 著, 臼田昭司 他 訳: MATLAB 数値解析, オーム社, 1998.
2) 田村幸雄, 佐々木淳, 塚越治夫: RD 法による構造物のランダム振動時の減衰評価, 日本建築学会構造系論文集, 454, 1993.12
3) 長松昭男: モード解析, 培風館, 1985

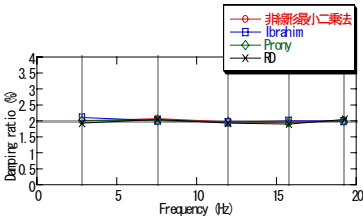


図4 ホワイト波形応答同定結果

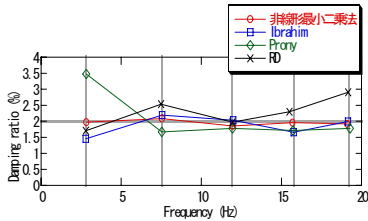


図5 ホワイト波形応答 (NL35%)

表2 質量と剛性

	質量 (kg)	剛性 (kN/m)
第5層	11.43	86.76
第4層	26.26	86.76
第3層	26.26	86.76
第2層	26.26	86.76
第1層	26.26	86.76



図6 対象模型

表3 固有振動数

モード	実測	固有値解析
	固有振動数 (Hz)	固有振動数 (Hz)
1次	2.88	2.90
2次	8.42	8.42
3次	13.26	13.11
4次	16.87	16.52
5次	18.97	18.38

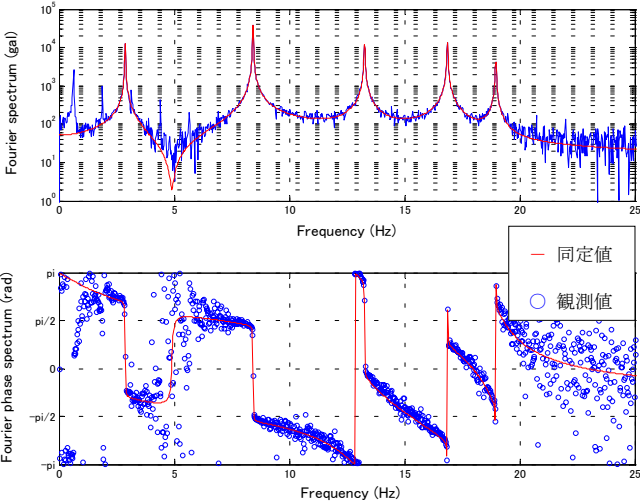


図7 同定値と観測値のフーリエスペクトル (1層)

表4 せん断5層モデル同定結果

固有振動数(Hz)	2.88	8.42	13.27	16.87	18.96
標準偏差(Hz)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
減衰定数(%)	0.2274	0.0708	0.0523	0.0621	0.0476
標準偏差(%)	0.0018	0.0003	0.0003	0.0005	0.0002