

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	多質点系モデルを用いた変動風力を受ける超高層建築物の応答評価 その2 多質点系弾塑性風応答を用いたFDD法による振動モード同定
Title(English)	
著者(和文)	鈴木悠也, 岡本有里子, 鈴木悠也, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 岡本有里子, 北村春幸
Authors(English)	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典(和文)	日本風工学会誌, , No. 119, pp. 201-202
Citation(English)	, , No. 119, pp. 201-202
発行日 / Pub. date	2009, 5

多質点系モデルを用いた変動風力を受ける超高層建築物の応答評価

その2 多質点系弾塑性風応答を用いた FDD 法による振動モード同定

Evaluation of Fluctuate Wind Induced Response of High Rise Buildings by Multi-degree of Freedom System

Part2 Study of Model Identification by FDD Technique in elasto-plastic range

○鈴木 悠也¹⁾ 佐藤 大樹²⁾ 吉江 慶祐³⁾ 岡本 有里子⁴⁾ 北村 春幸⁵⁾
 Yuya SUZUKI¹⁾ Daiki SATO²⁾ Keisuke YOSHIE³⁾ Yuriko OKAMOTO⁴⁾ Haruyuki KITAMURA⁵⁾

1. はじめに

本報その1では、風応答解析を行う上で考慮すべきアンサンブル数の確認および、エネルギー入力を始めとした各応答における高次モードの影響を確認した。引き続き、弾塑性範囲における多質点系の風応答評価を目的として、本報その2では、弾性範囲における構造物の動特性の同定手法の検討および、その同定結果を用いた応答解析の精度の評価をし、その手法の弾塑性応答への適用を試みる。動特性の同定手法としては、応答加速度をもとに固有値が近接している場合でも精度良く動特性を推定できる Frequency Domain Decomposition (FDD) 法⁴⁾の有効性を報告する。

2. FDD法を用いたモード分解手法の検討

2.1 解析概要

FDD法とは、応答値を用いて特異値分解を行い、振動モード形、固有振動数、広義減衰を推定する手法である。本報その1より、多質点の風応答評価において、高次モードは3次まで考慮すれば精解と同等の値が得られるという結果が得られたので、3次までの同定精度を確認する。解析モデルは、本報その1の評価で用いた、耐震構造物を想定した E-model、基礎免震構造物を想定した I-1-model、中間層免震構造物を想定した I-5-model を用いる。減衰定数は、Rayleigh 減衰で1,2次共に $h=2, 3, 5\%$ とする。解析に用いた風外力は、本報その1同様に、平均風力を有する風方向および、風直交方向とした。同定に用いる応答加速度波形は、1波につき0.01秒刻みで80,000ステップ(100~900秒)を用い、同定精度の評価は30波のアンサンブル平均を用いた。

2.2 モーダルパラメータの同定方法

図1に風方向入力時の E-model ($h=2, 5\%$) の加速度応答を特異値分解して得られた特異値の周波数分布を示す。特異値曲線には、それぞれの固有振動数に相当するピーク(図中 $f: s$ 次の固有振動数に相当するピーク)がみられ、振動モード形は、その固有振動数に相当するピーク周波数付近の特異値ベクトルから同定する。

次に、図2に示す特異値における各次数のバンドパス

フィルターの範囲を逆フーリエ変換して得られた自己相関関数の波形より、固有振動数および広義減衰を求める。本報では、逆フーリエ変換の際における各次数の範囲は、各次数の固有振動数間の中央値で各次数のバンドパスフィルターの範囲を分割したものとする。この特異値を、逆フーリエ変換して得た自己相関関数と、自由振動曲線が、同定範囲内で誤差が最小となるよう、最小二乗法を用いて、固有振動数及び広義減衰を同定する。最小二乗法により同定を行う自己相関関数の範囲は、波形の1.5サイクル目から4サイクル目とする。図3に風方向入力時の E-model ($h=2\%$) の特異値を逆フーリエ変換した場合の3次モードの自己相関関数と、固有値解析結果から得られた3次モードの自由振動波形の比較を示す。自己相関関数と自由振動波形の重なり具合に注目すると、高い精度で自己相関関数を同定できているといえる。以後の同定においては、本節で検討した手法を用いる。

2.4 モーダルパラメータの同定結果

図4に風方向入力時の E-model, I-1-model ($h=2\%$) における同定結果を示す。モデルごとに多少の誤差はあるが、どちらのモデルも振動モード形、固有振動数、広義減衰ともに同定精度は高いといえる。他のモデルにおいても

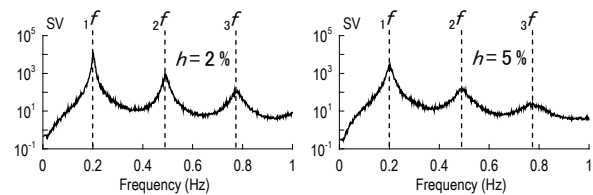
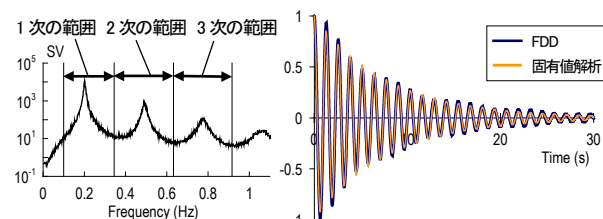
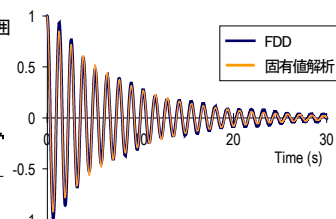
Figure 1 Singular value plot of E-model ($h=2, 5\%$)

Figure 2 Each mode range of inverse FFT

Figure 3 Correlation function of the 1st mode of E-model ($h=2\%$)

1) 東京理科大学理工学部建築学科 大学院生
 Graduate Student, Tokyo University of Science
 3) (株)日建設計 構造設計部門 主管
 Senior Structural Engineer, Nikken Sekkei Ltd.
 5) 東京理科大学理工学部建築学科 教授
 Professor, Tokyo University of Science

2) 東京理科大学理工学部建築学科 助教
 Assistant Professor, Tokyo University of Science
 4) 東京理科大学理工学部建築学科 学部生(研究当時)
 Undergraduate Student, Tokyo University of Science

同等の結果が得られたため、FDD 法によるモーダルパラメータ同定の有効性が確認できた。

3. 弾性構造物へのエネルギー入力の評価精度

解析モデルは2章と同じモデルを用い、減衰はRayleigh減衰とし、減衰定数は、風方向入力時は $h = 2, 5\%$ 、風直交方向入力時は $h = 2\%$ とする。本報その1と同様の手法を用いて、モーダルアナリシスによる応答を評価する。図5に風方向入力時のE-model, I-1-model ($h = 2\%$)における、FDD法および固有値解析から得られたモーダルパラメータを用いて時刻歴応答解析し、1~3次まで足し合わせたエネルギー入力および応答加速度、応答変位の最大値(max)の10質点時刻歴応答解析結果との一致度の比較を示す。どちらのモデルにおいても同定結果から得られたエネルギー入力が、固有値解析から得られたものと誤差が小さく、高い精度で評価できているといえる。応答加速度、変位についても同様の結果が見られ、他のモデル条件においても同等の結果が得られたため、この手法による各応答の評価の精度の高さと有効性が確認できる。また、本報その1と同様に、応答加速度は3次まで足し合わせることで、10質点時刻歴応答解析結果とほぼ同等の結果を得られることがわかる。エネルギー入力、応答変位も高次モードの影響として、本報その1と同じ傾向の結果がみられ、それ以外の応答速度、層間変位の評価においても、同様の結果が得られたことから、この手法が有効であるといえる。

4. 弾塑性構造物へのエネルギー入力の評価精度

4.1 解析概要

解析モデルは、建物平面形状および高さは弾性モデルと同じとした、基礎免震建物を想定した。上部構造をE-modelとし、その下に免震層を設定した11質点せん断型モデルを用いた。免震層は、免震周期 $T_f = 6.0\text{sec}$ 、建物密度 $\rho_B = 2500\text{N/m}^3$ 、ダンパー降伏せん断力係数 $s_{ay} = 0.02$ 、ダンパー降伏耐力当たりの初期剛性 $Dk_1 = 36.0\text{ kN/m/kN}$ 、ダンパー一次・二次剛性比 $Dk_2/Dk_1 = 0.017$ を設定した。上部構造の減衰定数は1次2次共に $h = 2\%$

(Rayleigh減衰)とする。3章と同様の手法を用いて、FDD法の結果を用いたモーダルアナリシスによる応答の精度を評価する。入力する風外力は、平均成分を有しない風方向風力とする。この場合の免震層の最大塑性変形倍率は3程度であった。

4.2 エネルギー入力の精度評価

図6にFDD法から得られたモーダルパラメータを用いて時刻歴応答解析し、1~3次まで足し合わせたエネルギー入力および応答加速度の最大値(max)と標準偏差(rms)の10質点時刻歴応答解析結果との一致度の比較を示す。エネルギー入力は、9割程度の精度であり、応答加速度も上層・中層ではさらに高い精度で応答を評価できることが確認できた。しかし、下層での精度が低く、この部分の改善が今後の課題であるといえる。

5. まとめ

弾塑性範囲における多質点系の風応答評価を目的として、弾性範囲におけるFDD法による動特性の同定精度の高さを確認し、弾塑性応答への適用を試みた。

■ E-model_ALONG_h=2%

□ 固有振動数

mode	1st	2nd	3rd
固有値	0.200	0.490	0.775
FDD	0.199	0.487	0.768
FDD/固有値	0.994	0.993	0.992

□ 広義減衰

mode	1st	2nd	3rd
固有値	0.020	0.020	0.026
FDD	0.022	0.020	0.026
FDD/固有値	1.108	1.010	0.993

■ I-1-model_ALONG_h=2%

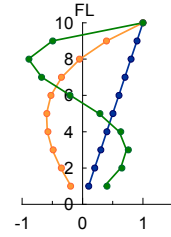
□ 固有振動数

mode	1st	2nd	3rd
固有値	0.200	0.549	0.918
FDD	0.197	0.540	0.899
FDD/固有値	0.983	0.982	0.980

□ 広義減衰

mode	1st	2nd	3rd
固有値	0.020	0.020	0.028
FDD	0.020	0.021	0.030
FDD/固有値	0.980	1.052	1.077

□ 振動モード形



□ 振動モード形

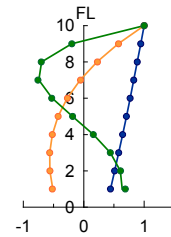


Figure 4 Dynamic characteristics of E-model and I-1-model ($h = 2\%$)

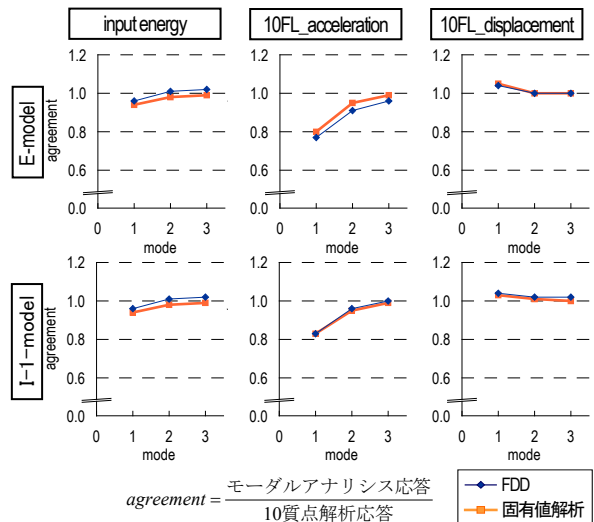


Figure 5 Precision of responses in elastic range

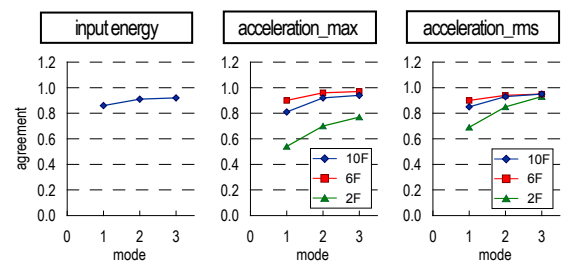


Figure 6 Precision of responses in elasto-plastic range

$$\text{agreement} = \frac{\text{モーダルアナリシス応答}}{10\text{質点解析応答}}$$

参考文献

- 1) 吉江慶祐, 北村春幸, 大熊武司: 変動風力による弾塑性構造物への総エネルギー入力に関する研究, 日本建築学会構造系論文集第 572 号, pp.31-38, 2003. 10
- 2) 日本建築学会・建物荷重指針・同解説(2004), 2004
- 3) 星谷勝: 確率論手法による構造解析, 鹿島出版会, 1973
- 4) 吉田昭二, 田村幸雄: FDD法および2DOF-RD法を用いた構造物の動特性の同定, 日本機械学会第8回「運動と振動の制御」シンポジウム講演論文集, pp.601-604, 2003. 10