

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高層免震建物の風応答解析用等価弾塑性 1 質点系モデルの提案 その 3 : アンサンブル数が精度に与える影響
Title(English)	An equivalent elastic-plastic SDOF model for wind response analysis of base-isolated tall buildings (Part 3: Influence of ensemble number on accuracy)
著者(和文)	柳屋早延, 銭晓鑫, 佐藤大樹
Authors(English)	Sono Yanagiya, Xiaoxin Qian, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 717-718
Citation(English)	, , , pp. 717-718
発行日 / Pub. date	2022, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

高層免震建物の風応答解析用等価弾塑性1質点系モデルの提案 その3: アンサンブル数が精度に与える影響

正会員 ○柳屋早延*
同 錢曉鑫*
同 佐藤大樹**

免震建物 縮約モデル 1質点系モデル
風応答解析 エネルギー入力 アンサンブル

1 はじめに

本報その2では、免震層最大変位とエネルギー入力について、提案した等価弾塑性1質点系モデルは高い精度を示している。しかし、上述の結論は、風力が40波の場合にアンサンブル平均した結果により得られ、多くの時間が必要となった。これに対して、アンサンブル数が多いほど期待値に近づくが、少ない場合は期待値から誤差が大きくなる恐れがあり、適切なアンサンブル数を把握する必要がある。そこで、本報その3では、アンサンブル数が等価弾塑性1質点系モデルの精度に与える影響についての検討を行う。

2 等価弾塑性1質点系モデルの精度の変動係数

等価1質点系モデル(SDOF(eq))における免震層最大変位の精度 $\lambda_{x,b,max}$ は、次式で表される。

$$\lambda_{x,b,max} = \frac{eqx_{bmax}}{x_{bmax}} \quad (1)$$

ここで、 eqx_{bmax} : SDOF(eq)の免震層最大変位、 x_{bmax} : 弾塑性11質点系モデル(11DOF)の免震層最大変位を表す。

Fig. 1にSDOF(eq)におけるMain model ($T_u = 2.5$ s, $T_b = 5.0$ s, $\alpha_{dy} = 0.03$, $\xi_u = 2\%$)の $\lambda_{x,b,max}$ (Wave 01~40)を示す。Fig. 1より、風方向で $\lambda_{x,b,max}$ は0.9~1.2となり、それらの変動係数 Cv は0.05となる。一方、風直交方向で高次モードからの影響のため、ほとんどの $\lambda_{x,b,max}$ は0.7~1.1となり、それらの Cv は0.10となり、風方向と比べて大きい。

SDOF(eq)におけるMain modelのエネルギー入力の精度 $\lambda_{E,input}$ は、次式で表される。

$$\lambda_{E,input} = \frac{eq\dot{E}_{input}}{\dot{E}_{input}} \quad (2)$$

ここで、 $eq\dot{E}_{input}$: SDOF(eq)の単位時間当たりのエネルギー入力、 \dot{E}_{input} : 11DOFの単位時間当たりのエネルギー入力を表す。

Fig. 2にSDOF(eq)におけるMain modelの $\lambda_{E,input}$ (Wave 01~40)を示す。Fig. 2より、風方向も風直交方向も、ほとんどの $\lambda_{E,input}$ は0.9~1.1となり、それらの変動係数 Cv は0.04となる。以上より、 $\lambda_{E,input}$ は $\lambda_{x,b,max}$ より安定していることから、最低限必要なアンサンブル数は $\lambda_{x,b,max}$ の結果に依存すると考えられる。したがって、以降では免震層最大変位のアンサンブル数について詳細に検討する。

3 免震層最大変位のアンサンブル数

Fig. 3にアンサンブル数の検討に用いる風力波形の選び方を示す。風力波形を40波作成し、5波は8ケース、10波は4ケース、20波は2ケース、30波は2ケースとする。

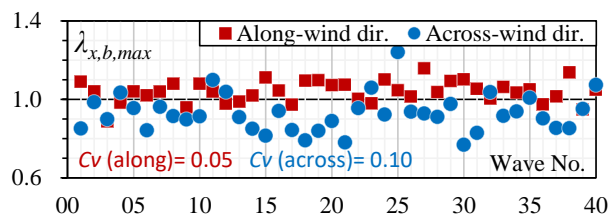


Fig. 1 Maximum displacement accuracy of isolation story of SDOF(eq)
(Main model: $T_u = 2.5$ s, $T_b = 5.0$ s, $\alpha_{dy} = 0.03$, $\xi_u = 2\%$)

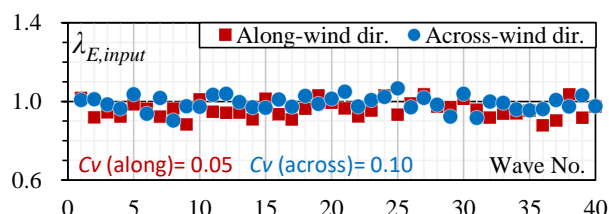


Fig. 2 Energy input accuracy of SDOF(eq)
(Main model: $T_u = 2.5$ s, $T_b = 5.0$ s, $\alpha_{dy} = 0.03$, $\xi_u = 2\%$)

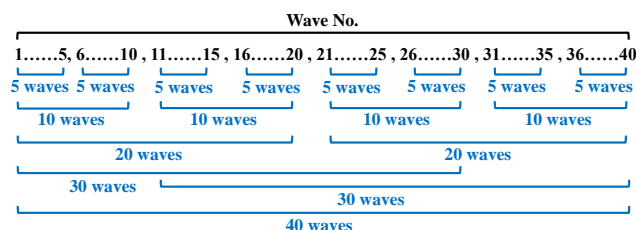


Fig. 3 Selection method of wind force

それから、各ケースのアンサンブル平均を取り、全体の40波のアンサンブル平均を基準として比較し、それらの比 $\alpha_{x,b,max}^n$ は次式で表される。

$$\alpha_{x,b,max}^n = \lambda_{x,b,max}^n / \lambda_{x,b,max}^{40} \quad (3)$$

ここで、 $\lambda_{x,b,max}^n$: 免震層最大変位の n 波でアンサンブル平均した時の精度、 $\lambda_{x,b,max}^{40}$: 免震層最大変位の40波でアンサンブル平均した時の精度を表す。

Fig. 4~7に風方向の $\alpha_{x,b,max}^n$ とアンサンブル数 n の関係を示す。ここでは、最低限必要なアンサンブル数の決定に $0.97 < \alpha_{x,b,max}^n < 1.03$ の基準(即ち $\lambda_{x,b,max}^{40}$ に対する $\lambda_{x,b,max}^n$ の誤差 $< 3\%$)を設定する。Fig. 4(a)に示す11DOFにおける上部構造の固有周期 T_u が短い場合、アンサンブル数 n の増加に伴い、 $\lambda_{x,b,max}^n$ は $\lambda_{x,b,max}^{40}$ に収束しており(即ち1.0に収束する)、10波では $\lambda_{x,b,max}^{40}$ との誤差は3%以内となる。

一方, Fig. 4(b)に示す T_u が長い場合, 同様に10波で $\lambda_{x,b,max}^n$ と $\lambda_{x,b,max}^{40}$ の誤差は3%以内となる。また, Fig. 4より, アンサンブル数 n の増加に伴い, 11DOFの上部構造が高減衰($\xi_u = 5\%$)の場合の $\lambda_{x,b,max}^n$ は $\lambda_{x,b,max}^{40}$ に相対的に収束しにくいことが見られる。11DOFの免震周期 T_b , ダンパー量 α_{dy} および免震層の降伏変位 x_{by} が異なる場合 (Fig. 5~7)では, 風方向で $0.97 < \alpha_{x,b,max}^n < 1.03$ を確保するために, 最低20波のアンサンブル数が必要であることが確認できる。Fig. 8~11に風直交方向の $\alpha_{x,b,max}^n$ とアンサンブル数 n の関係を示す。Fig. 8~11より, 風方向の $\alpha_{x,b,max}^n$ と比べて, 風直交方向の $\alpha_{x,b,max}^n$ はアンサンブル数 n の増加に伴い, 相対的に収束しにくい, 特に10波で $\lambda_{x,b,max}^{10}$ と $\lambda_{x,b,max}^{40}$ の誤差が3%を超えている場合が多い。しかし, 20波で $\lambda_{x,b,max}^{20}$ は速く収束し, $\lambda_{x,b,max}^{40}$ との誤差は3%以内となる。そのため, 風直交方向で $\lambda_{x,b,max}^n$ は相対的に収束しにくい, 風方向の結論と同じく最低20波のアンサンブル数が必要となる。

4 まとめ

本報その3では, アンサンブル数が提案した等価弾塑性1質点系モデル免震層最大変位の精度に与える影響を検討した。風方向では, 40波でアンサンブル平均した時の精度と比べて誤差を3%以内確保する場合, 最低20波のアンサンブル数が必要である。風直交方向の精度については, アンサンブル数の増加に伴い, 風方向の精度と比べて相対的に収束しにくい, 同じく最低20波のアンサンブル数が必要である。

謝辞

本研究の一部は, JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JPMJOP1723) によるものです。

参考文献

- 1) 片桐純治, 大熊武司, 安井八紀, 丸川比佐夫, 鶴見俊雄: 高層免震建築物の風応答解析のための縮約モデルに関する検討, 日本建築学会技術報告集, Vol. 17, No. 36, pp. 461-466, 2011.6
- 2) 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, Vol. 68, No. 572, pp. 31-38, 2003.10
- 3) 吉江慶祐, 北村春幸, 大熊武司: エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける弾塑性構造物の応答予測手法, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 70, No. 589, pp. 59-66, 2005.10
- 4) 鈴木悠也, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 平井宏幸, 北村春幸: エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける超高層免震建築物の応答予測手法(構造), 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 80, pp. 265-268, 2010.2
- 5) 大宮幸, 北村春幸: 長周期地震動対策に備えた直近の免震建築物の構造特性に関する調査・分析, 日本建築学会技術報告集, Vol. 25, No. 59, pp. 61-66, 2019.2
- 6) 佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎: 粘弾性ダンパーの振幅依存性が風応答に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 第635号, pp. 75-82, 2009.1
- 7) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2015
- 8) 柴田明徳: 最新耐震構造解析 (第3版), 森北出版株式会社, 2014.12

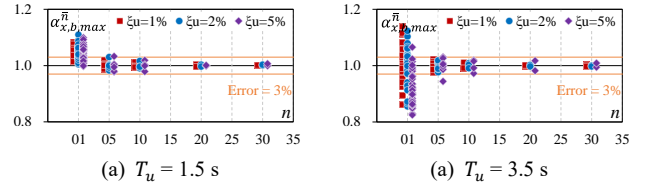


Fig. 4 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different T_u (along-wind dir.)

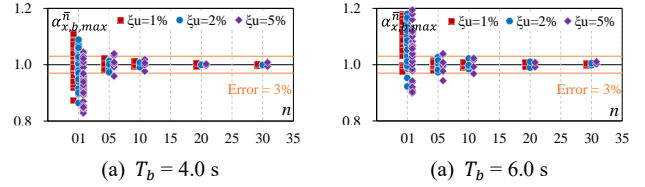


Fig. 5 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different T_b (along-wind dir.)

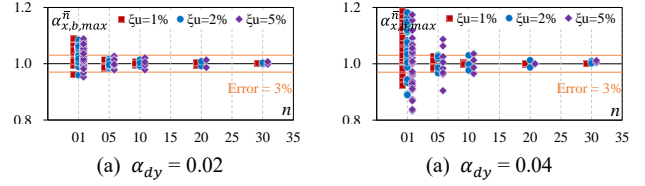


Fig. 6 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different α_{dy} (along-wind dir.)

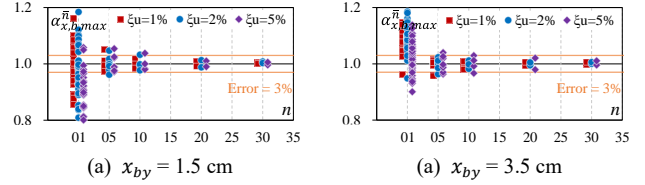


Fig. 7 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different x_{by} (along-wind dir.)

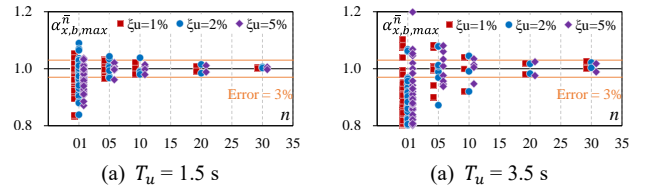


Fig. 8 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different T_u (across-wind dir.)

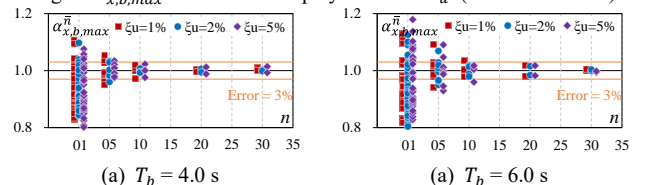


Fig. 9 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different T_b (across-wind dir.)

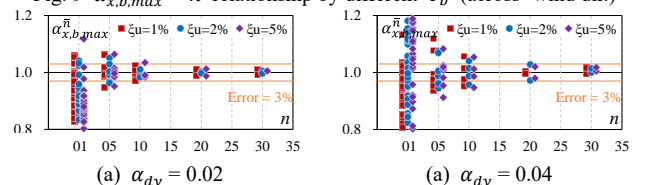


Fig. 10 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different α_{dy} (across-wind dir.)

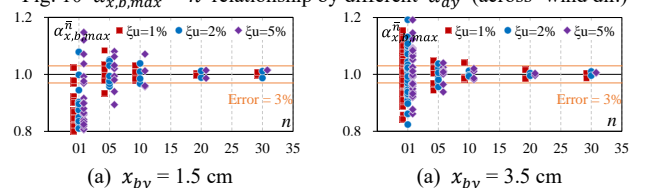


Fig. 11 $\alpha_{x,b,max}^n - n$ relationship by different x_{by} (across-wind dir.)

* 東京工業大学 大学院生

**東京工業大学 准教授・博士 (工学)

* Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

** Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.