

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 2 : 免震層最大変位およびエネルギー入力の精度検証
Title(English)	An equivalent elastic-plastic SDOF model for wind response analysis of base-isolated tall buildings (Part 2: Accuracy verification of maximum displacement of isolation story and energy input)
著者(和文)	趙桐, 銭曉鑫, 佐藤大樹
Authors(English)	Tong Zhao, Xiaoxin Qian, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 715-716
Citation(English)	, , , pp. 715-716
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2: 免震層最大変位およびエネルギー入力の精度検証

正会員
同
同

○趙桐*
錢曉鑫*
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1では、弾塑性11質点系モデルの1次モードに基づく等価弾塑性1質点系モデルの作成方法を説明した。本報その2では、等価弾塑性1質点系モデルの免震層最大変位およびエネルギー入力の精度検証を行う。

2 縮約モデルの精度検証

2.1 免震層最大変位

弾塑性11質点系モデル(11DOF)、上部構造を剛体とした簡易な弾塑性1質点系モデル(SDOF(st))と、弾塑性2質点系モデル(2DOF)の免震層最大変位 x_{bmax} 、 ${}^{st}x_{max}$ と ${}^{2D}x_{bmax}$ は時刻歴応答解析から直接得られる。一方、等価弾塑性1質点系モデル(SDOF(eq))の最大変位 ${}^{eq}x_{1max}$ を用いて、免震層最大変位 ${}^{eq}x_{bmax}$ は次式で算出できる。

$${}^{eq}x_{bmax} = x_{by} + ({}^{eq}x_{1max} - {}^{eq}x_{1y})p_1\phi_b \quad (1)$$

ここで、 x_{by} : 11DOFにおける免震層の降伏変位、 ${}^{eq}x_{1y}$: SDOF(eq)の降伏変位、 $p_1\phi_b$: 塑性1次モード $\{p_1\phi\}$ における免震層の固有ベクトルを表す。

Fig. 1に風方向の ${}^{eq}x_{b,max}$ 、 ${}^{st}x_{b,max}$ 、 ${}^{2D}x_{b,max}$ (縦軸)と11DOFより得られた x_{bmax} (横軸)の40波でアンサンブル平均した結果を示す。Fig. 1(a)~(d)より、ほとんどの ${}^{eq}x_{b,max}$ の誤差は10%以内となり、精度が高いことが確認できる。また、11DOFにおける上部構造の周期 T_u が ${}^{eq}x_{b,max}$ の精度に与える影響が小さい。 ${}^{2D}x_{b,max}$ の場合でも、同様に精度が高いことが分かる。一方、 ${}^{st}x_{b,max}$ の精度が低いことが確認できる。Fig. 2に風直交方向の ${}^{eq}x_{b,max}$ 、 ${}^{st}x_{b,max}$ 、 ${}^{2D}x_{b,max}$ (縦軸)と x_{bmax} (横軸)の40波でアンサンブル平均した結果を示す。Fig. 2(a)~(d)より、風方向の誤差と比べて、風直交方向で一部の ${}^{eq}x_{b,max}$ の誤差は10%を超えている。これは、風直交方向の場合において免震層平均変位が占める割合がほとんどなく、高次モードの影響が大きくなるためであると考えられる。 ${}^{2D}x_{b,max}$ の場合では、風方向と同じ高い精度であることが確認できる。 ${}^{st}x_{b,max}$ の場合では、その精度は依然として低い。

2.2 エネルギー入力

風力が建物に与えるエネルギーが安定した量であることで、一見複雑な問題を極めて単純なものにすることが可能となり、建物の耐風設計の信頼性が確保できる^{2,3)}。そのため、本節では風力による高層免震建物へのエネルギー入力の精度を検討する必要がある。

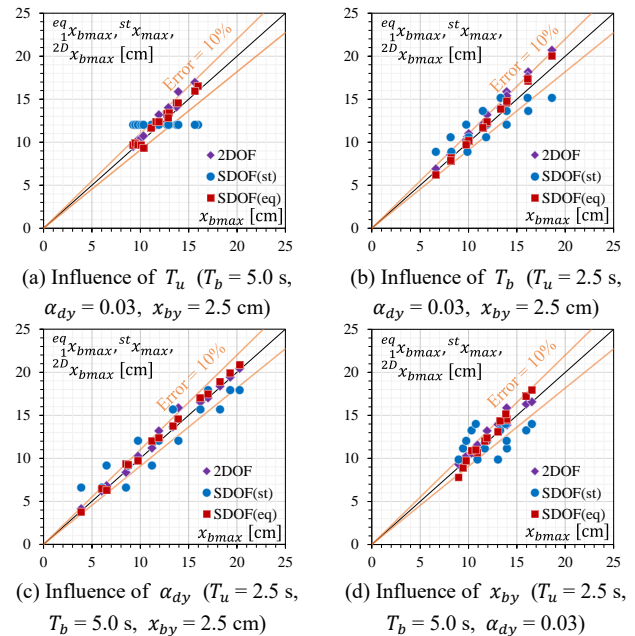


Fig. 1 Maximum displacement accuracy of isolation story (along-wind direction)

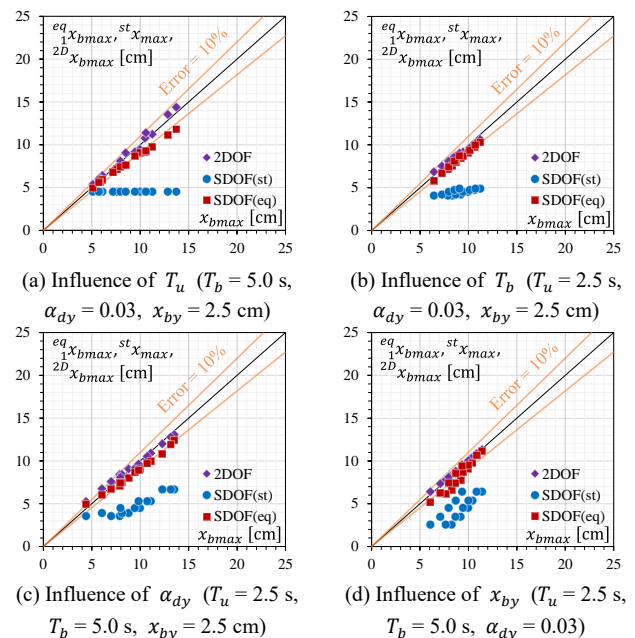


Fig. 2 Maximum displacement accuracy of isolation story (across-wind direction)

An equivalent elastic-plastic SDOF model for wind response analysis of base-isolated tall buildings (Part 2: Accuracy verification of maximum displacement of isolation story and energy input)

Tong Zhao, Xiaoxin Qian, Daiki Sato

11DOF, SDOF(eq), SDOF(st)と2DOFの単位時間当たりのエネルギー入力 \dot{E}_{input} , ${}^{eq}_1\dot{E}_{input}$, ${}^{st}\dot{E}_{input}$ および ${}^{2D}\dot{E}_{input}$ はそれぞれ次式で求められる。

$$\dot{E}_{input} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} F_i(t) \cdot \dot{x}_i(t) dt \quad (2)$$

$${}^{eq}_1\dot{E}_{input} = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} {}^{eq}_1 F(t) \cdot {}^{eq}_1 \dot{x}(t) dt \quad (3)$$

$${}^{st}\dot{E}_{input} = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} {}^{st} F(t) \cdot {}^{st} \dot{x}(t) dt \quad (4)$$

$${}^{2D}\dot{E}_{input} = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} {}^{2D} F_u(t) \cdot {}^{2D} \dot{x}_u(t) dt \quad (5)$$

ここで、 $F_i(t)$: 11DOFにおける i 層の風力, ${}^{eq}_1 F(t)$: SDOF(eq)の風力, ${}^{st} F(t)$: SDOF(st)の風力, ${}^{2D} F_u(t)$: 2DOFにおける上部構造の風力, $\dot{x}_i(t)$: 11DOFにおける i 層の応答速度, ${}^{eq}_1 \dot{x}(t)$: SDOF(eq)の応答速度, ${}^{st} \dot{x}(t)$: SDOF(st)の応答速度, ${}^{2D} \dot{x}_u(t)$: 2DOFにおける上部構造の応答速度を表す。また、積分範囲について $t_0 = 50$ s, $t_1 = 650$ sとする。

Fig. 3に風方向の ${}^{eq}_1\dot{E}_{input}$, ${}^{st}\dot{E}_{input}$, ${}^{2D}\dot{E}_{input}$ (縦軸)と \dot{E}_{input} (横軸)の40波でアンサンブル平均した結果を示す。Fig. 3(a)~(d)より、すべての ${}^{eq}_1\dot{E}_{input}$ の誤差は10%以内となり、精度が高いことが確認できる。 ${}^{2D}\dot{E}_{input}$ の場合では、一部の誤差は10%を超え、 ${}^{eq}_1 x_{b,max}$ の精度と比べて ${}^{2D}\dot{E}_{input}$ の精度は相対的に低いと言える。 ${}^{st}\dot{E}_{input}$ の場合では、精度は全体的に低い。これは、SDOF(st)の上部構造が剛体のため、エネルギーを吸収できないことが原因であると考えられる。Fig. 4に風直交方向の ${}^{eq}_1\dot{E}_{input}$, ${}^{st}\dot{E}_{input}$, ${}^{2D}\dot{E}_{input}$ (縦軸)と \dot{E}_{input} (横軸)の40波でアンサンブル平均した結果を示す。Fig. 4(a)~(d)より、 ${}^{eq}_1\dot{E}_{input}$ も ${}^{2D}\dot{E}_{input}$ も、高い精度であることが確認できる。 ${}^{st}\dot{E}_{input}$ の場合では、Fig. 3と同じ原因でその精度も低い。

Table 1に2.1節と本節の精度評価のまとめを示す。ここでは、各縮約モデルの平均誤差 \overline{Err} により、3段階(A~C Rank)に分け精度を評価する。Table 1より、免震層最大変位の精度について、SDOF(eq)と2DOFは優劣の差がなく、高い精度を示している。一方、エネルギー入力の精度について、SDOF(eq)の場合は全部A Rankとなった。以上より、本報で提案するSDOF(eq)の優位性を示すことができたと考えられる。

3 まとめ

本報その2では、提案した等価弾塑性1質点系モデルの免震層最大変位およびエネルギー入力の精度検証を行った。免震層最大変位についての平均誤差は10%以内となり、エネルギー入力についての平均誤差は5%以内となることから、本報で提案した等価弾塑性1質点系モデルは高い精度を有することが確認できた。

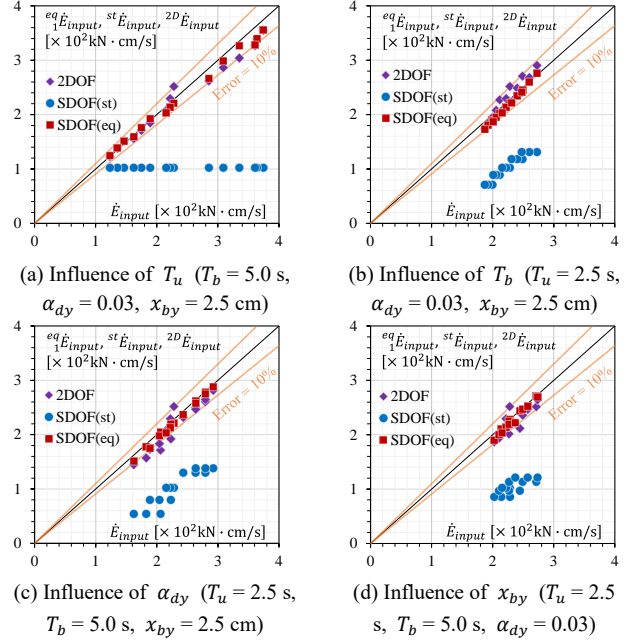


Fig. 3 Accuracy of energy input (along-wind direction)

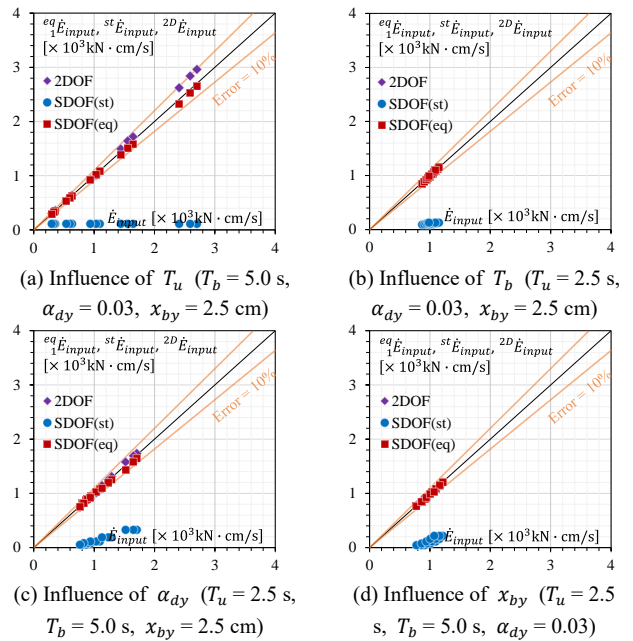


Fig. 4 Accuracy of energy input (across-wind direction)

Table 1 Accuracy summary of three reduced models

	Along-wind direction				Across-wind direction					
	Model	Influence of parameters				Model	Influence of parameters			
$x_{b,max}$	SDOF(eq)	A	A	A	B	SDOF(eq)	B	B	B	B
	SDOF(st)	C	C	C	C	SDOF(st)	×	×	×	×
	2DOF	B	B	A	A	2DOF	B	A	B	A
\dot{E}_{input}	Model	Influence of parameters				Model	Influence of parameters			
		T_u	T_b	α_{dy}	x_{by}		T_u	T_b	α_{dy}	x_{by}
	SDOF(eq)	A	A	A	A	SDOF(eq)	A	A	A	A
SDOF(st)	×	×	×	×	SDOF(st)	×	×	×	×	
2DOF	B	B	B	B	2DOF	B	A	A	A	

A Rank : Excellent accuracy (Err. $\leq 5\%$) B Rank : Good accuracy (Err. $\leq 10\%$)
 C Rank : Fair accuracy (Err. $\leq 20\%$) × : Poor accuracy (Err. $> 20\%$)

* 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.