

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	超高層から中低層の鋼構造建物に関する制振性能評価：その2 建物形状やダンパー配置の違いによる応答評価
Title	
著者(和文)	柳澤 日向子, 戸張涼太, 古谷 慶, 佐藤 大樹, 北村春幸
Authors	Ryota Tobar, daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 82, No. ,
Citation(English)	, Vol. 82, No. ,
発行日 / Pub. date	2012, 3
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110009571496">http://ci.nii.ac.jp/naid/110009571496</a>

超高層から中低層の鋼構造建物に関する制振性能評価  
その2 建物形状やダンパー配置の違いによる応答評価

構造一振動 準会員 柳澤日向子<sup>\*1</sup> 同 ○ 戸張涼太<sup>\*1</sup> 同 古谷慶<sup>\*1</sup>  
正会員 佐藤大樹<sup>\*1</sup> 同 北村春幸<sup>\*1</sup>

中低層建物 超高層建物 制振構造  
履歴ダンパー 部材レベル 時刻歴応答解析

1. はじめに

本報その1において、建物形状の異なる複数の制振建物の応答について、骨組特性値に基づき評価検討を行った。その2ではせん断モデルでの応答を骨組特性値を用いて作成し、建物形状に着目しながら精度の検討を行う。せん断モデルの作成法は文献4,5を参考にを行う。

2. 入力地震波及びせん断モデルの設定

2.1 入力地震動の概要

入力地震動には、その1で用いた ART HACHINOHE (以降, ART HACHI) に加え、速度応答スペクトル  $S_v$  を  $80\text{ cm/s}$  ( $h=5\%$ ) とした模擬波 ART KOBE (位相特性: JMA KOBE 1995 NS), 速度を  $50\text{ cm/s}$  に基準化した El Centro 1940 NS (以降, El Centro), 観測波 TOMAKOMAI 2003 EW (以降, TOMAKOMAI) を使用する。図1に各時刻歴加速度波形を、図2(a), (b)に速度応答スペクトル ( $h=5\%$ ) とエネルギースペクトル ( $h=10\%$ ) を示す。

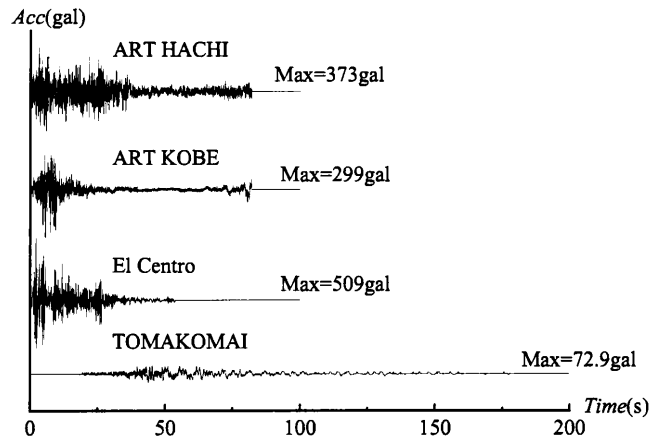


図1 時刻歴加速度波形

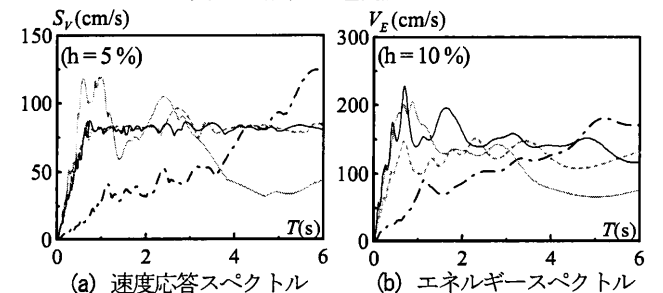


図2 応答スペクトル  
— ART HACHI    - - - ART KOBE  
- · - El Centro    · · · TOMAKOMAI

2.2 せん断モデルの設定方法

主架構に対する静的荷重増分解析より得られた各層の層せん断力一層間変形の関係から、3次剛性を0とするトリリニア型復元力特性を作成する。なお、層のすべての梁端でヒンジができた時の層間変形を終局変形  $\delta_u$  と定義する。終局変形に達しない層はバイリニア型とする。今回用いた建物では、21層建物の1, 19~21F, 35層建物の28~35Fをバイリニア型とし、それ以外の層をトリリニア型とした。図3に、荷重変形曲線と復元力特性を示す。なお、21-F, 35-Fについては代表的な例を示す。

トリリニア型復元力特性の作成方法を以下に示す。

(i) 初期剛性  $s_f K_1$

弾性時の層せん断力  $Q_e$ 、層間変形  $\delta_e$  から  $s_f K_1$  を得る。

(ii) 第1折れ点せん断力  $s_f Q_{y1}$

層を構成するすべての部材の中で、初めに全塑性モーメントに達した時の層せん断力を  $s_f Q_{y1}$  とする。

(iii) 第2折れ点せん断力  $s_f Q_{y2}$

終局変形 (前述) に達する層せん断力を  $s_f Q_{y2}$  とする。

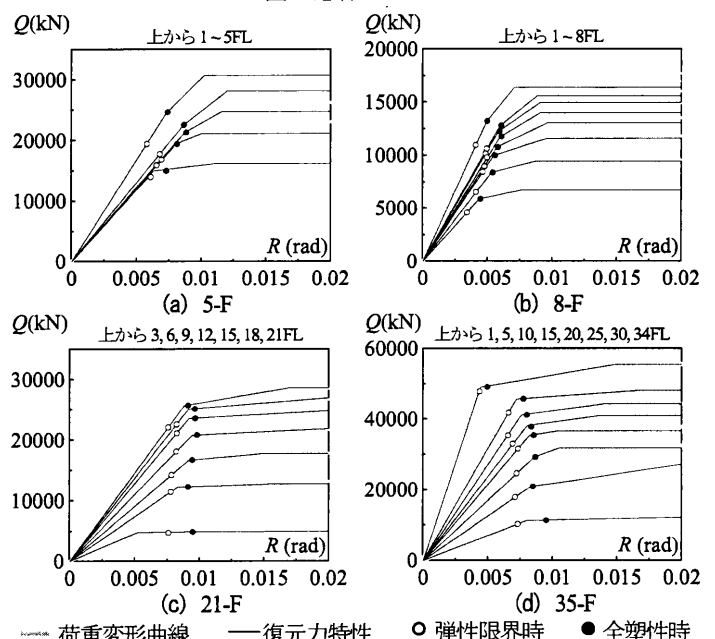


図3 荷重変形曲線と復元力特性

(iv) 第1折れ点変位  $_{sf}\delta_1$

$_{sf}K_1$  と  $_{sf}Q_{y1}$  より  $_{sf}\delta_1$  を求める。

(v) 第2折れ点変位  $_{sf}\delta_2$

増分法から求めた履歴曲線の履歴面積とトリリニア復元力特性の履歴面積が等しくなる  $_{sf}\delta_2$  を求める。

(vi) 第2剛性  $_{sf}K_2$

第1折れ点と第2折れ点より  $_{sf}K_2$  を得る。

次に、バイリニア型復元力特性の作成方法を以下に示す。 $_{sf}K_1, _{sf}Q_{y1}$  および  $_{sf}\delta_1$  ((i)~(iii)) の決定方法はトリリニア型と同様である。

(iv) 第2分枝剛性  $_{sf}K_2$

増分法から求めた履歴曲線の履歴面積と復元力特性の履歴面積が等しくなるように  $_{sf}K_2$  を求める。

$0 < _{sf}K_2 < _{sf}K_1$  の範囲で面積等価が成り立たない場合は、最終ステップでの層せん断力  $_{sf}Q_{end}$  = 終局層せん断力  $Q_{end}$  とする。

3. 非制振建物の評価

3.1 固有周期による評価

部材モデルとせん断モデルの非制振モデルの1次~3次固有周( $T_1 \sim T_3$ )を表1に示す。表1より、建物形状によらず  $T_1$  は一致している。一方、 $T_2$  では1~2割程度、 $T_3$  では2~3割程度の誤差が生じた。いずれもせん断モデルの周期が長く、高次になるにつれて誤差が大きくなっている。

表1 非制振モデルの固有周期

名称	方向	固有周期 (s)		
		部材	せん断	せん断/部材
5-F	X	$T_1$	1.10	1.10
		$T_2$	0.36	0.41
		$T_3$	0.21	0.27
8-F	X	$T_1$	1.54	1.54
		$T_2$	0.52	0.55
		$T_3$	0.30	0.34
21-F	X	$T_1$	2.41	2.42
		$T_2$	0.86	0.91
		$T_3$	0.50	0.55
35-F	X	$T_1$	4.07	4.08
		$T_2$	1.44	1.55
		$T_3$	0.85	0.96

3.2 各応答値の比較検討

図4,5に、入力エネルギー  $E$ 、主架構のエネルギー吸収量  $_{f}W_p$ 、減衰により失われるエネルギー量  $_{f}W_h$ 、最上層の最大相対変位  $U$ 、1層の最大層せん断力  $Q$ 、最上層の最大加速度  $A$ 、最上層の最大速度  $V$  の時刻歴応答解析結果を、部材モデルに対するせん断モデルの割合で示す。 $_{f}W_p, _{f}W_h$  は  $E$  に対する割合で比較し、せん断モデルまたは部材モデルの  $_{f}W_p, _{f}W_h$  の値が  $E$  に対して1割以下のものは検討対象外とする。図の縦線は、左から入力倍率1.0, 1.5, 2.0倍を表す。ここでは、X方向の結果のみを示す。

図4より、ART KOBEの5層、ART HACHIの35層における  $E$

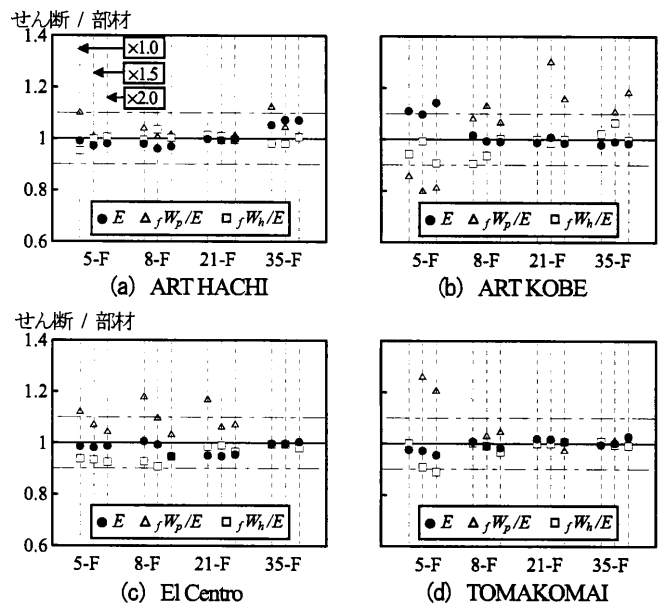


図4 非制振モデルのエネルギーの比較

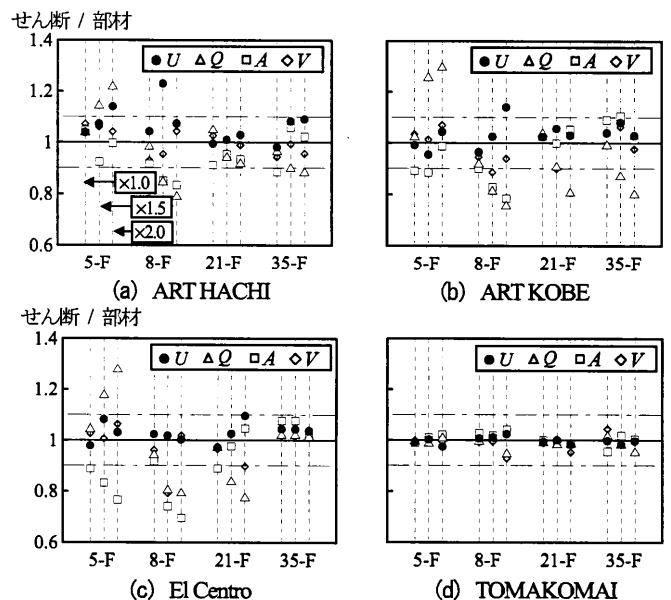


図5 非制振モデルの最大応答値の比較

は他に比べ大きな誤差を生じていたが、その誤差は1割以内であった。 $_{f}W_p$  は、ART HACHIにおいて最も誤差が小さかった。また、ART KOBEの5-Fを除くほとんどの値で、せん断モデルが大きな値を示したので安全側を示すことがわかる。 $_{f}W_h$  はART KOBEにおいて誤差が最も大きかった。アスペクト比に着目すると、 $_{f}W_h$  はアスペクト比が小さいほど危険側を示し、大きいと誤差がほぼ0もしくは若干安全側を示した。

図5より、 $U$  はほとんどの値で誤差1割以内を示し、危険側を示す傾向がみられた。 $Q$  はART HACHIで最も誤差が小さかった。また、入力倍率が少ないほど誤差が小さくなった。5-Fでは安全側を、他の建物モデルでは危険側を示す傾向がみられた。 $A$  はART HACHIで最も誤差が小さくなった。また、35-Fでは危険側を、他のモデルでは

安全側を評価する傾向がみられた。Vは,ART HACHI で最も誤差が小さくなった。

以上より,ART HACHI で最も誤差が小さいことがわかった。入力倍率やアスペクト比が誤差に影響を与えていると思われるが、傾向は確認できなかった。

4. 制振建物の応答評価

4.1 固有周期による評価

制振モデルの固有周期について部材モデルとせん断モデルの比較を表2に示す。ここでは例として、 $d\alpha_{y1}=0.02$ の結果を示す。また、5-Fの固有周期について部材モデルとせん断モデルの比較を表3に示す。ダンパー配置は Inside とする。非制振モデルと同様に  $T_1$  は完全に一致し、 $T_2$  では1割程度、 $T_3$  では2~3割の誤差が生じた。いずれもせん断モデルの方が値が大きく、高次になるにつれて誤差が大きくなるという結果となった。また、ダンパー量が増加するほど誤差が大きくなった。

表2 制振モデルの固有周期  $d\alpha_{y1}=0.02$

名称	方向	固有周期 (s)			
		部材	せん断	せん断/部材	
5-F	X	$T_1$	0.95	0.95	1.00
		$T_2$	0.32	0.33	1.06
		$T_3$	0.18	0.21	1.14
8-F	X	$T_1$	1.30	1.30	1.00
		$T_2$	0.44	0.47	1.06
		$T_3$	0.25	0.29	1.15
21-F	X	$T_1$	2.09	2.09	1.00
		$T_2$	0.74	0.79	1.08
		$T_3$	0.42	0.48	1.15
35-F	X	$T_1$	3.47	3.47	1.00
		$T_2$	1.19	1.33	1.11
		$T_3$	0.68	0.83	1.22

表3 5-F 制振モデルの固有周期

$d\alpha_{y1}$	方向	固有周期 (s)			
		部材	せん断	せん断/部材	
0.02	X	$T_1$	0.95	0.95	1.00
		$T_2$	0.32	0.33	1.06
		$T_3$	0.18	0.21	1.14
0.05	X	$T_1$	0.84	0.84	1.00
		$T_2$	0.28	0.30	1.08
		$T_3$	0.16	0.19	1.18
0.08	X	$T_1$	0.77	0.78	1.00
		$T_2$	0.26	0.28	1.11
		$T_3$	0.15	0.18	1.23
0.10	X	$T_1$	0.74	0.74	1.00
		$T_2$	0.25	0.28	1.12
		$T_3$	0.14	0.17	1.26

4.2 各応答値の比較検討

図6,7に、制振モデルにおける時刻歴応答解析結果を、部材モデルに対するせん断モデルの割合で示す。ダンパーのエネルギー吸収量  $dW_p$  は入力エネルギーに対する割合で比較し、その値が1割以下のものは検討対象外とする。地震波 ART HACHI, El Centro について

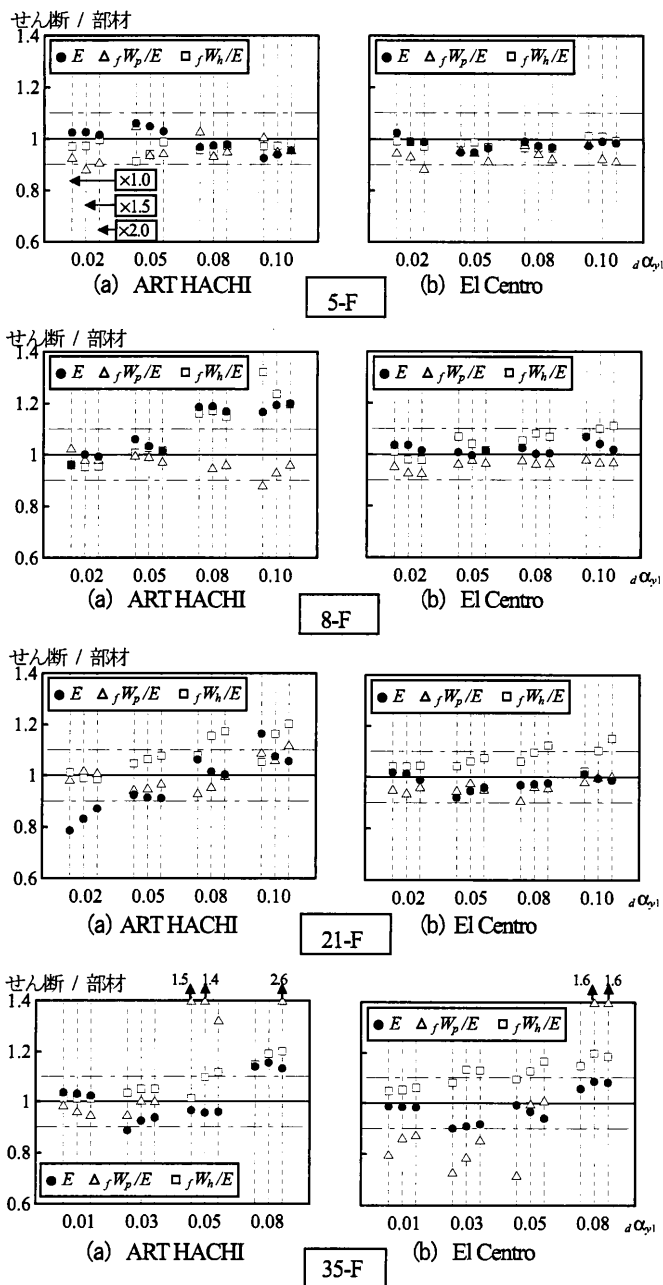


図6 制振モデルのエネルギーの比較

X方向で検討を行う。図の縦線は、左から入力倍率1.0,1.5,2.0倍を表す。ダンパー配置は Inside とする。

図6より、Eは地震波 El Centro でアスペクト比が小さいと誤差が小さくなることがわかった。ART HACHI でダンパー量が多いときに他に比べて大きな誤差が生じた。 $dW_p$ は、35-Fにおいて入力倍率が大きくなるほど誤差が小さくなり、ダンパー量が多いほど大きな誤差を生じた。他の建物モデルに関してはあまり誤差を生じなかった。 $fW_h$ は、5-F以外の建物においてダンパー量が多いほど大きな誤差を生じた。アスペクト比が大きくなるほど、また、アスペクト比が大きいうちに入力倍率が大きくなるほど誤差も大きくなった。アスペクト比が小さいとあまり誤差を生じなかった。

図4.2に着目すると TOMAKOMAI のみほとんど誤差を生じてい

ないが、地震波の加速度が小さく主架構が弾性範囲におさまっているためと考えられる。 $U$ はアスペクト比が大きくダンパー量が多いほど誤差が大きくなったが、ほぼ1割以内におさまった。 $Q$ は、アスペクト比が小さく入力倍率が大きいときに誤差も大きくなり、危険側の評価となった。 $A$ は地震波 El Centro において、アスペクト比が小さく入力倍率が大きいほど誤差も大きくなった。他のモデル、地震波においてはアスペクト比が小さく入力倍率が大きいほど誤差が大きくなる傾向はみられなかった。また、地震波 El Centro のとき、アスペクト比が大きくダンパー量が多いほど、安全側の評価となった。ART HACHI は、El Centro に比べ誤差が小さかった。 $V$ は、誤差がほとんどの値で1割以内におさまったが、35-F で大きな誤差を生じた。

全体的に、アスペクト比が小さいと誤差も小さくなるという傾向が見られた。また、入力倍率が小さい時も誤差は小さくなった。

5. まとめ

本報では、せん断モデルでの応答を骨組特性値を用いて作成し、建物形状に着目しながら精度の検討を行うことで、以下の知見を得た。

- (1) 非制振、制振モデルにおいて1次固有周期は完全に一致し、高次になるほど、また、ダンパー量が増加するほどせん断モデルが大きくなる傾向を示した。
- (2) 非制振モデルの入力エネルギー $E$ 、主架構のエネルギー吸収量 $f_p W_p$ 、減衰により失われるエネルギー量 $f_h W_h$ は、ART HACHI で最も誤差が小さかった。アスペクト比や地震波、入力倍率は誤差の大きさに影響を与えたが、傾向を確認することはできなかった。
- (3) 非制振モデルの最上層の最大相対変位 $U$ 、1層の最大層せん断力 $Q$ 、最上層の最大加速度 $A$ 、最上層の最大速度 $V$ は、ART HACHI で最も誤差が小さかった。アスペクト比や地震波、入力倍率は誤差の大きさに影響を与えたが、傾向を確認することはできなかった。
- (4) 制振モデルの $E, f_p W_p, f_h W_h$ はアスペクト比が小さいと誤差も小さくなった。アスペクト比が大きいとき、ダンパー量が多くなるほどせん断モデルが大きくなる傾向を示した。
- (5) 制振モデルの $U, Q, A, V$ は、アスペクト比や地震波、ダンパー量、入力倍率は誤差の大きさに影響を与えたが、傾向を確認することはできなかった。 $U, V$ においては、ほとんどの値で誤差が1割以内におさまった。

本報で検討した建物では、部材モデルとせん断モデルの値は固有周期、入力エネルギーは概ね一致した。他の応答値に関しては誤差が生じたが、その誤差から建物形状における傾向をつかむことはできなかった。

謝辞

本研究は、(株)日建設計、オイレス工業(株)、東京理科大学北村研究室による共同研究の成果の一部を用いたものです。

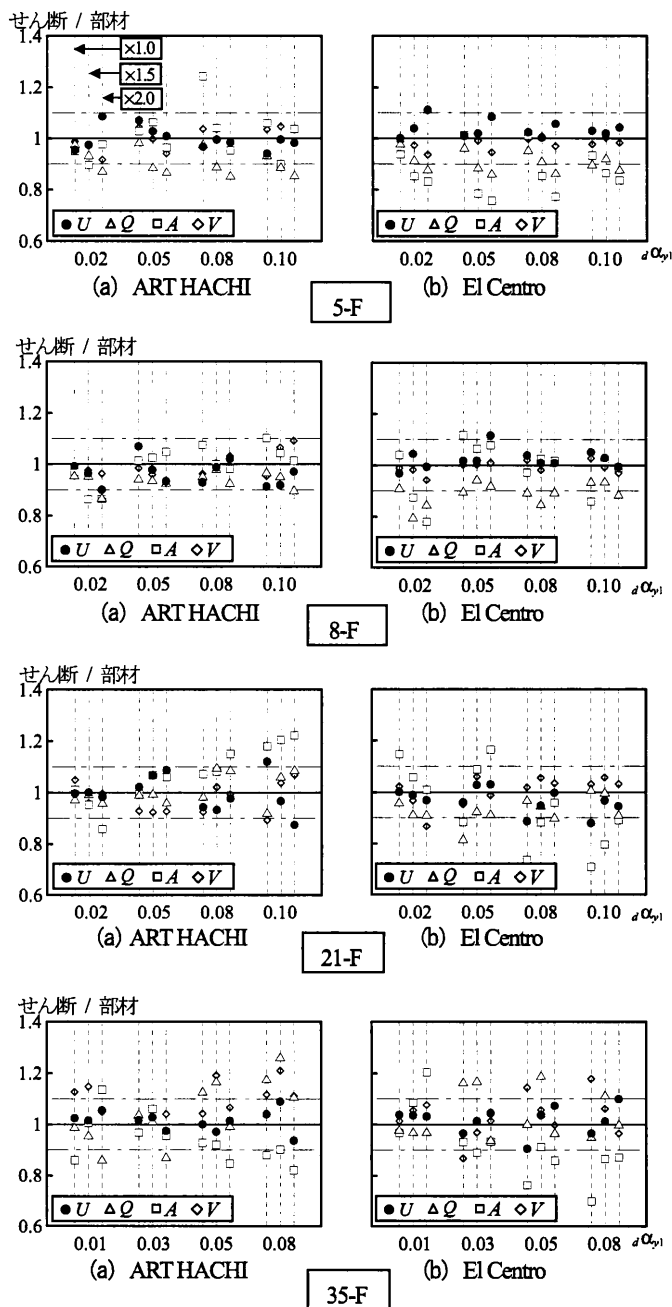


図7 制振モデルの最大応答値の比較

参考文献

- 1) 笠井和彦, 岩崎啓介: 様々な形式の制振構造における自由度縮約法と水平バネ系への変換法, 日本建築学会構造系論文集, 第605号, pp.37-46, 2006.7
- 2) 石井正人, 笠井和彦: 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案, 日本建築学会構造系論文集, 第647号, pp.103-112, 2010.1
- 3) 古谷慶, 添田幸平, 佐藤大樹, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 実効変形比に着目した履歴ダンパーを有する超高層建物の制振性能評価, 構造工学論文集 Vol.58B(2012年3月)
- 4) 北村春幸: 性能設計のための建築振動解析入門, 彰国社, 2002.9
- 5) 株式会社 日建設計東京オフィス構造設計室: 建築物の性能設計と検証法, オーム社, 2003.9

\*1 東京理科大学