

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	2006 10層フレーム加振試験による履歴減衰型・粘性減衰型制振部材併用時の応答特性に関する研究：その3 シミュレーション解析による検証(構造)
Title	
著者(和文)	石田琢志, 佐藤 大樹, 佐々木和彦, 宮崎充, 北村春幸, 藤田隆史, 吉江慶祐, 石井正人
Authors	Takushi ISHIDA, daiki sato, Kazuhiko Sasaki, Mitsuru MIYAZAKI, Haruyuki Kitamura, Takafumi FUJITA
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 78,
Citation(English)	, , No. 78,
発行日 / Pub. date	2008, 1
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: http://ci.nii.ac.jp/naid/110006941760

10層フレーム加振試験による履歴減衰型・粘性減衰型制振部材併用時の応答特性に関する研究

その3 シミュレーション解析による検証

準会員 ○ 石田琢志^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*1} 同 佐々木和彦^{*2}
 同 宮崎充^{*2} 同 北村春幸^{*1} 同 藤田隆史^{*3}
 同 吉江慶祐^{*4} 同 石井正人^{*4}

構造—制振

履歴減衰型制振部材 粘性減衰型制振部材

併用効果 振動台実験 シミュレーション

1. はじめに

本報(その3)では、前報(その1,2)から得られた実験結果を基にシミュレーション解析を行い、解析モデルの妥当性の検証を行った上で、実験結果の考察を目的とする。

2. 解析概要

シミュレーション解析は、加振試験を行った全7タイプ(前報その1、表4参照)について行う。入力地震波は、実験同様、Hachi, Kobe, Tomakoの3種類で、それぞれ速度応答スペクトルが $S_v=10\text{cm/s}$, 20cm/s , 40cm/s ($\eta=5\%$ 時)の、全9パターンとし、また解析に用いる入力波は、振動台の特性を考慮に入れ、実験で計測された各タイプにおける1階の絶対加速度記録を採用する。また解析時間刻みは0.002秒とし、直接積分法により解析を行う。

3. 解析モデルの設計

3.1 主架構のモデル化

解析モデル図を図1に示す。解析モデルは前報(その1)で記載した試験体と同様、各層に4枚板ばねが配置され、1枚の板ばね寸法は、厚さが1~3層で5mm、4~6層で4.5mm、7~10層で4mmの3段階分布であり、幅は全層205mmである。床スラブは鋼板を用い(図2)、また階高を全層380mm、質量は鋼板と板ばねを含めた値とする。その1の図1に示したように、制振部材は柱、梁中心軸の交点から偏心して取り付けられているが、解析では節点を増やすことを避けるため、制振部材は柱、梁接合部を利用し取り付け。そのため、ダンパー取り付け角度は試験体と異なり、 $\theta=37.2^\circ$ となるが、その影響は小さいと考えられる。各層のパラメータを表1に示す。なお、柱、梁のヤング係数は共に $2.058 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ を用いる。

図3に制振部材を設置していない状態(主架構)での自由振動試験から得られた11階の時刻歴変位波形を示す。振動が1次モードに収束したと思われる点から、対数減衰率を用い求めた主架構の1次の減衰定数は1.1%であった。また、減衰マトリクスは上述と図

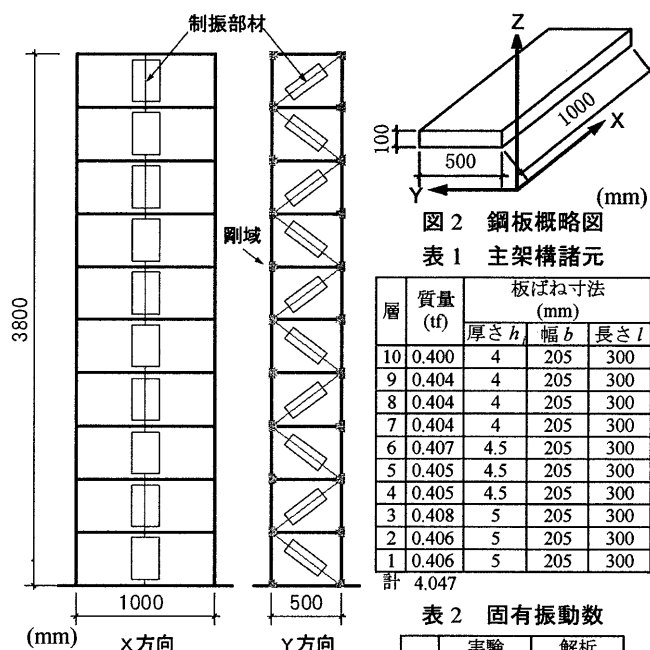


図1 解析モデル図

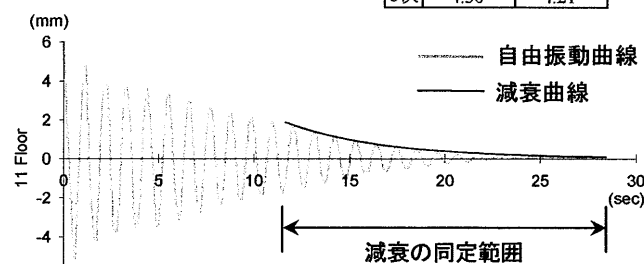


図3 減衰定数

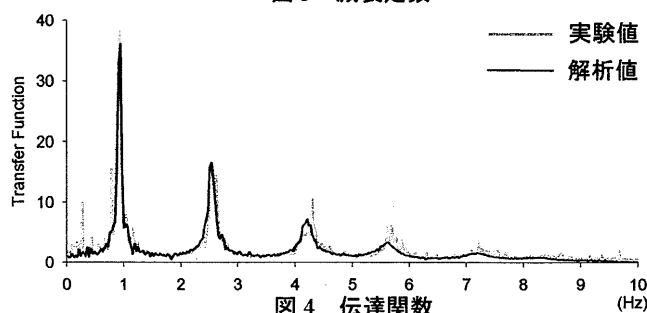


図4 伝達関数

4に示す WhiteNoise 加振試験より得られた1階と11階の伝達関数から、1次の固有振動数に対し、剛性比例減衰0.4%、質量比例減衰0.7%の Rayleigh 減衰型とした。また、剛域は実験で得られた固有振動数に主架構の固有振動数を合わせるために、中心軸から板ばねの上下に400mmと定めた。図4に解析より得られた伝達関数を併記する。また、表2に伝達関数から得られた1~3次の固有振動数と固有値解析より得られた値を示す。これより、解析結果は実験結果を精度良く再現していることが確認できる。

3.2 履歴減衰型制振部材のモデル化

履歴減衰型制振部材は図5に示すようにモデル化をする。 i 層の履歴減衰型制振部材の初期剛性 $K_{b,i}$ は、次式で求められる。

$$K_{b,i} = \frac{\alpha \cdot K_{h,i}}{\cos^2 \theta}, \quad K_{h,i} = \frac{12 \cdot EI}{l^3} = \frac{bh_i^3 \cdot E}{l^3} \quad (1a, b)$$

ここで、 $K_{h,i}$ は主架構の i 層の剛性、 E はヤング係数($E=2.058 \times 10^8$ kN/m²)、 h_i , b , l はそれぞれ板ばね幅、厚さ、長さである。なお、板ばね長さは剛域を除いた値とし、主架構の層剛性は両端固定と仮定し求めている(式(1b))。また、 $\theta=37.2^\circ$ であり、 α は履歴減衰型制振部材の初期剛性が主架構の層剛性の何倍かを決定する値である。この係数 α をパラメトリックに変化させたとこ、 $\alpha=8$ で実験値と良い対応を見せたため、この値を採用する。また復元力特性は2次剛性が0の Bi-linear 型とする(図6)。 i 層の引張及び圧縮側降伏応力度 σ_i , $c\sigma_i$ は、引張及び圧縮側降伏降伏耐力 $tF_{dy,i}$, $cF_{dy,i}$ と制振部材の断面積 A_i を用いて次式の如く表すことができる。

$$\sigma_i = \frac{F_{dy,i}}{A_i} = \frac{F_{dy,i} \cdot E}{K_{b,i} L} \quad (2)$$

ここで、 L は制振部材の長さ($L=0.63$ m)であり、ダンパー降伏耐力 $tF_{dy,i}$, $cF_{dy,i}$ は、実験により得られた引張、圧縮側降伏耐力をそれぞれ採用する。そのため、ダンパー量は各層、各タイプ及び入力により異なる値をとる。例として Tomako20 での HHH における各層の履歴減衰型制振部材のパラメータを表3に示す。

3.3 粘性減衰型制振部材のモデル化

粘性減衰型制振部材は、事前解析同様、図7に示すような非線形粘性、線形弾性をもつ Kelvin-Voigt モデルでモデル化をする。

i 層での粘性減衰型制振部材の粘性係数 $D_{C1,i}$, $D_{C2,i}$ 及び減衰抵抗 F_i については前報(その1)を参照されたい。事前解析とは異なり、シミュレーション解析では実験によるせん断面積 S_i の微小な違いも考慮し、粘性係数を定める。せん断面積に対し、せん断隙間 d 及び i 層の粘性体温度 T_i は粘性係数に及ぼす影響は小さいため(その1、式(5))、せん断隙間は事前解析同様0.1cmとし、また、粘性

体温度は(その1)で記載したダンパー単体試験と振動台実験とでほぼ同じ温度であることから単体試験時の値を採用する。 i 層での粘性減衰型制振部材の貯蔵剛性 DK_i もダンパー単体試験から得られた値を用いる。ただし、粘性減衰型制振部材は前述した履歴型と異なり、10cm/s, 20cm/sの入力波を用いる時は、単体試験で正弦波の振幅を変位を2mmに制御した時に得られた貯蔵剛性を用いる。40cm/sの入力波を用いる時は、変位を4mmに制御した時に得られた貯蔵剛性の値をそれぞれ用いる。

以上から、粘性減衰型制振部材においても各層で異なるダンパー量を用いてシミュレーション解析を行う。例として表4に Tomako20 での VVV における各層のパラメータを示す。

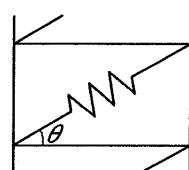


図5 履歴減衰型制振部材

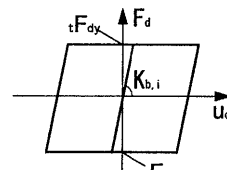


図6 復元力特性

表3 履歴減衰型制振部材諸元 (HHH, Tomako20)

層	$K_{b,i}$ (kN/m)	A_i (m ²)	$tF_{dy,i}$ (kN)	$cF_{dy,i}$ (kN)	σ_i (kN/m ²)	$c\sigma_i$ (kN/m ²)
10	5048	1.54E-05	1.21	-1.25	78549	-81146
9	5048	1.54E-05	0.77	-1.20	50245	-77900
8	5048	1.54E-05	0.91	-0.89	59334	-57971
7	5048	1.54E-05	1.25	-1.27	81146	-82444
6	7188	2.19E-05	1.73	-1.67	78876	-76140
5	7188	2.19E-05	1.59	-1.49	72493	-67934
4	7188	2.19E-05	1.73	-1.70	78876	-77508
3	9859	3.01E-05	1.57	-1.52	52183	-50521
2	9859	3.01E-05	1.53	-1.36	50853	-45203
1	9859	3.01E-05	2.12	-1.89	70463	-62819

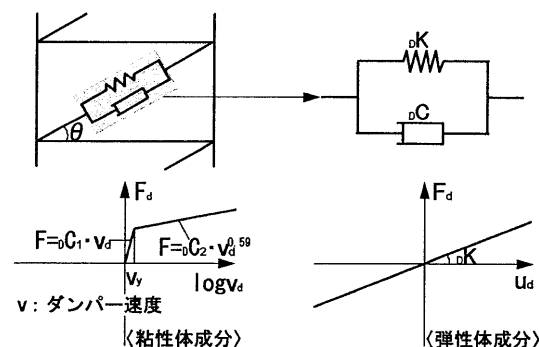


図7 粘性減衰型制振部材

表4 粘性減衰型制振部材諸元 (VVV, Tomako20)

層	S_i (cm ²)	d (cm)	T_i (°C)	$D_{C1,i}$ (kN·sec/cm)	$D_{C2,i}$ (kN·sec/cm)	F_i (kN)	DK_i (kN/mm)
10	95.27	0.1	22.8	147.3	8.671	0.147	0.137
9	95.27	0.1	22.8	147.3	8.671	0.147	0.135
8	103.67	0.1	24.6	148.3	8.733	0.148	0.133
7	105.54	0.1	24.8	149.7	8.814	0.150	0.134
6	131.10	0.1	24	192.4	11.332	0.192	0.179
5	133.69	0.1	23	204.9	12.064	0.205	0.206
4	140.18	0.1	23.2	213.0	12.541	0.213	0.204
3	153.00	0.1	23	234.5	13.806	0.234	0.234
2	166.50	0.1	23.3	251.9	14.832	0.252	0.244
1	171.00	0.1	25.2	238.4	14.038	0.238	0.217

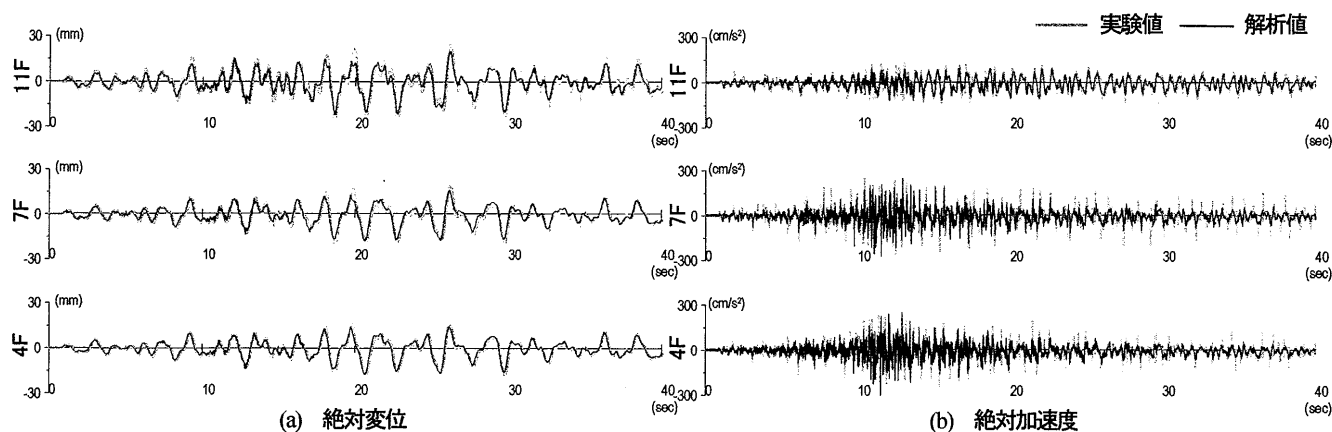


図8 時刻歴応答比較 (HHV, Tomako20)

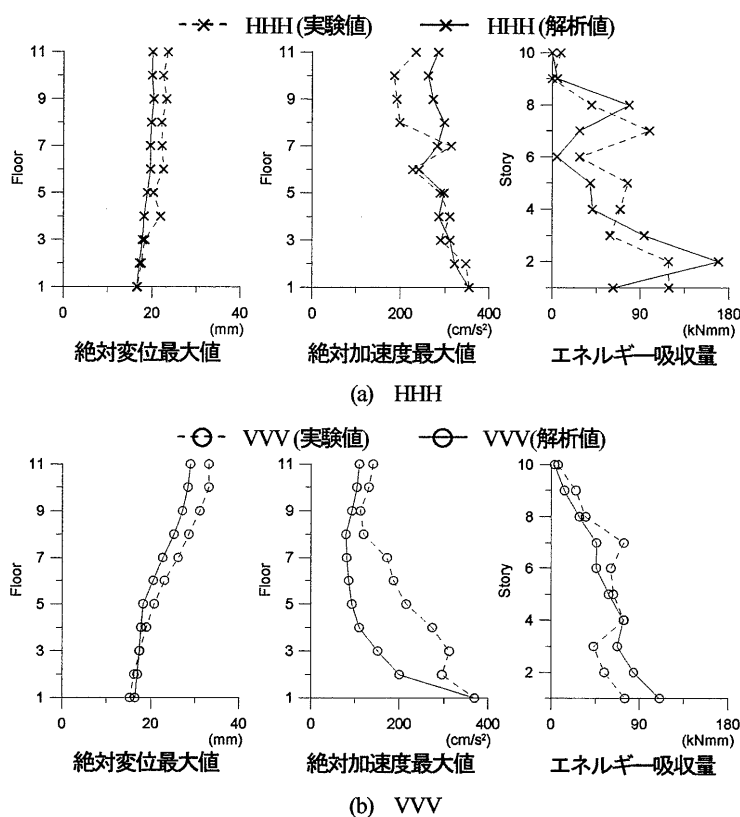


図9 高さ方向における応答比較 (Tomako20)

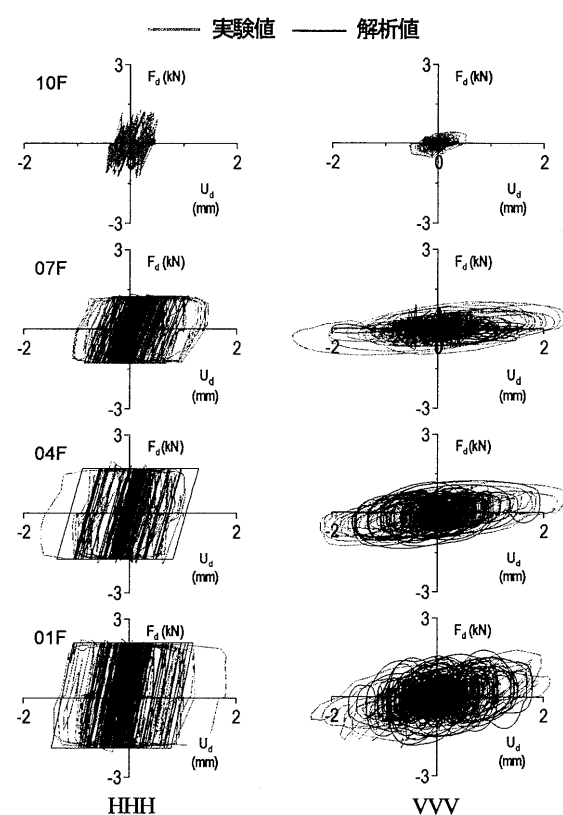


図10 履歴曲線 (Tomako20)

4. 解析結果

4.1 実験結果との比較

Tomako20 における実験結果と解析結果の応答を比較することで解析モデルの精度を検証する。

図8(a), (b) はHHV における 4, 7, 11 階の絶対変位と絶対加速度の時刻歴を比較したものである。微小な違いは見られるものの、履歴減衰型制振部材を用いた 4, 7 階、粘性減衰型制振部材を用いた 11 階共に応答結果は概ね一致している。

図9 に高さ方向における絶対変位、絶対加速度の最大値、及び制振部材の履歴面積より求めたエネルギー吸収量を、図10 に1, 4, 7,

10 層の制振部材が描いた履歴曲線の実験と解析結果の比較を、HHH, VVV の2 タイプについて示す。まず、図9 から全体的に解析値が実験値よりも応答が小さいことが確認できる。絶対変位では実験値と解析値は近い値を示しているものの、絶対加速度では若干の違いが読み取れる。また、図9, 10 よりエネルギー吸収量に関しても、微小な違いが見られる。しかし、VVV での上層部での加速度低減や、板ばね厚さの変わり目である 4, 7 層でエネルギー吸収量が増えている点など、履歴型、粘性減衰型共に全体の傾向を概ね捉えていると判断できる。

4.2 シミュレーション解析による併用効果の検証

本節ではシミュレーション解析から、実験結果では不明確な事象を明らかにし、併用の効果を検証する。

図 11 に Tomako20 での高さ方向における解析応答結果を示す。上段左から、絶対加速度最大値、実効変形比、層せん断力最大値、下段左から、層間変形最大値、等価繰返し数¹⁾、制振部材の負担率であり、比較対象は下層部に履歴減衰型制振部材を配置している HHH, HHV, HVV とする。ここで、制振部材の負担率とは、制振部材が吸収するエネルギーの総和に対する、各層で吸収するエネルギーの割合を表した値である。

前報 (その 2) で述べたように、HHV, HVV では、粘性減衰型制振部材を配置することで HHH に対し、上層部での加速度低減が見られ、実効変形比、層せん断力も改善される (a)~(c))。加えて、下層部での層間変形の応答低減も確認できる (d))。また HHV, HVV では HHH に比べ、高次応答が卓越するため、上層部での等価繰返し数が増加する (e))。粘性型は小振幅時においてもエネルギー吸収を行うため、制振部材の負担率は上層部で高い値を示している (f))。一方で、全層履歴減衰型制振部材を配置した場合は、上層部でのエネルギー吸収が少なく、下層部に集中することが確認できる (f))。

図 12 に Tomako20 での高さ方向における解析応答結果を示す。比較対象は下層部に履歴減衰型制振部材を配置している VVV, VVH, VHH とする。図 11 の上層部に粘性型を配置したものとは異なり、上層部に履歴減衰型制振部材を配置した場合、VVH, VHH 共に実効変形比の改善は見られず、加速度、層せん断力に対しても応答が大きい (a)~(c))。また、制振部材の負担率においては、上層部でのエネルギー吸収はほとんど無く、下層部に集中していることが確認できる (f))。これは上層部に履歴型を、下層部に粘性減衰型制振部材を配置することで、剛性は上が硬く、下が柔らかくなるため、エネルギーが下層部に集中すると考えられる。

5. 結論

シミュレーション解析による実験結果の検証を行った結果、解析から得られた応答値は実験値と同様の傾向を示し、その妥当性が証明された。また、下層部に履歴型、上層部に粘性減衰型制振部材を配置した際の併用効果を確認することができた。一方で、下層部に粘性型、上層部に履歴減衰型制振部材を配置した際の併用の効果は低いと考えられる。

両制振部材併用による効果は実験、シミュレーション解析共に確認できたが、併用のメカニズムに関しては明らかになっていない。

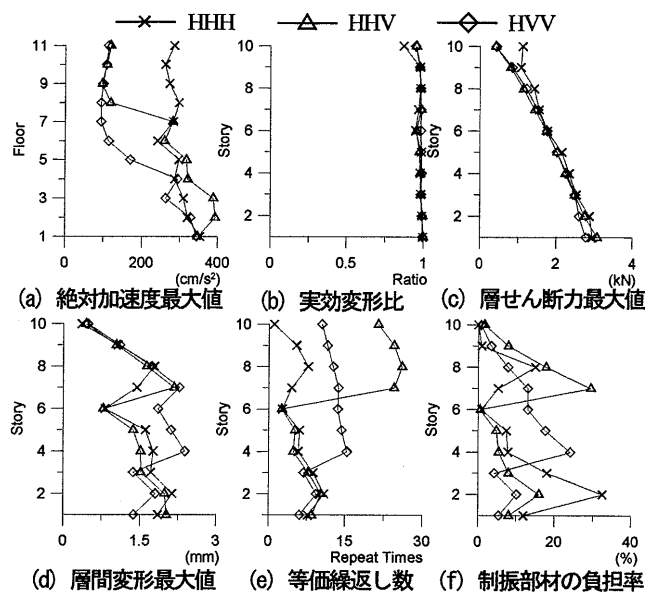


図 11 下層履歴型配置時の応答比較 (Tomako20)

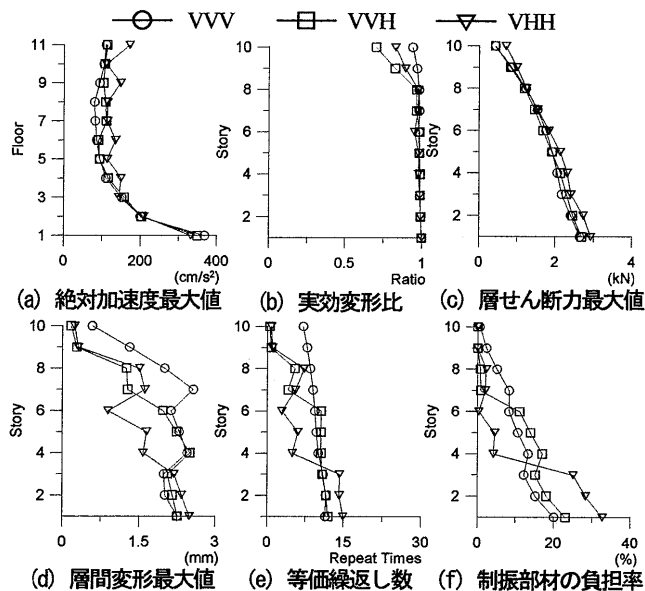


図 12 下層粘性型配置時の応答比較 (Tomako20)

そのメカニズムを解明することが今後の課題といえる。

謝辞

本研究は東京大学生産技術研究所藤田研究室、㈱日建設計、オイレス工業㈱、東京理科大学北村研究室による共同研究の一部を用いたものです。本実験は東京大学生産技術研究所、オイレス工業(株)の実験所を使用させて頂きました。また、東京大学生産技術研究所の嶋崎守氏には多大な協力をいただきました。東京理科大学北村研究室の堀美孝純氏・小川薫氏・江口隼吾氏にはおしみなない協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計
- *1 東京理科大学 *2 オイレス工業㈱
- *3 東京大学生産技術研究所 *4 ㈱日建設計