

粘弾性ダンパー付き鉄骨フレームの地震応答性状

藤本 利昭* 八ッ繁 公一**

Earthquake Response Characteristics of Steel Frame with Viscoelastic Damper

by Toshiaki FUJIMOTO and Koichi YATSUSHIGE

Abstract

A shaking table test in a 1/3rd-scale three-story steel moment resisting frames with viscoelastic dampers was conducted to verify the evaluation method for the earthquake response of buildings. The effect of added viscoelastic dampers on the maximum displacement and the story shear of the steel frame were investigated. Test results showed that the viscoelastically-damped structure can achieve a significant reduction of earthquake response as compared to when there are no dampers. Analytical simulations were also conducted. The dynamic response of the steel frame with added viscoelastic damper could be evaluated using the Voigt and the Maxwell type 5-element models.

要 旨

建築物の地震時応答の評価方法を検証するため、1/3 スケールの粘弾性ダンパー付き 3 層鉄骨フレームの振動台実験を実施し、粘弾性ダンパーを組み込むことによる鉄骨フレームの応答性状ならびに応答低減効果を検討した。その結果、ダンパー付きフレームは、ダンパーを付けない場合に比べ明確な地震時応答の低減効果が確認できた。更に数値解析によるシミュレーションを行い、粘弾性ダンパーの力学モデルとして、Voigt モデルおよび Maxwell 型 5 要素モデルを用いることで、ダンパー付きフレームの動的応答性状を、精度よく評価できることがわかった。

キーワード：振動台実験／鉄骨フレーム／粘弾性ダンパー

1. はじめに

近年、建築物にエネルギー吸収機構（以下、ダンパー）を設け、地震時の応答を制御しようとする建築物の実施例が増えてきている。ダンパーを設置した建築物の地震時の安全性を検討するために、地震応答解析が広く行われているが、その際、ダンパーの復元力特性を適切にモデル化し、建築物の応答性状を検討する必要がある。

粘弾性体を用いたダンパーに関する実験研究は、ダンパー単体の性能試験的な研究や、部分架構実験がほとんどであり、ダンパー付き多層フレームとしての応答性状に関する研究は比較的少ない。

本研究は、既報[1]で報告した制震ディバイスを用いた3層鉄骨フレームの振動台実験において実施した、粘弾性ダンパー付き3層鉄骨フレームの実験を基に、鉄骨フレームに粘弾性ダンパーを組み込むことによる地震時の応答性状ならびに応答低減効果を確認するとともに、実験結果を応答解析により検証したものである。特に粘弾性ダンパーの復元力特性モデルに着目し、VoigtモデルおよびMaxwell型5要素モデル[2][3]の2種類を用いて解析を行い、モデルの精度が応答結果に与える影響を検討した。

* 技術研究所振動基礎グループ

** 技術研究所所長

2. 実験計画

2.1 試験体

図1に試験体形状を示す。試験体は1/3スケールの各方向1スパンの3層鉄骨フレームである。

試験体の各階床板上には、周期を調整するため鋼板の錘（約1.5ton）を付加している。試験体の固有周期は、実大3層鉄骨フレームの固有周期（ $T \approx 0.36$ 秒、ここで $T=0.03H$ 、 H ：建築物の高さで、階高4.0m×3層を想定した）にほぼ一致するように設計しており、各層の質量および階高はほぼ等しい。試験体各層の質量を表1に示す。試験体の総質量は、錘を載せた状態で約5tonである。

2.2 相似則

表2に試験体の相似則を示す。本実験では1つの試験体で低層（3層）、および高層（18層）の建物の地震動に対する弾性応答変形を再現することを考えた。

試験体の固有周期を実大3層建物の固有周期に合わせているため、3層建物を想定した実験では、入力地震動の時間軸を1/1倍とし、スケールが1/3であるから、加速度振幅レベルを1/3倍にした。

一方、18層建物を想定した場合には、試験体の固有周期が実大18層建物の固有周期（ $T \approx 2.16$ 秒、 $T=0.03H$ 、 H =階高4.0m×18層）の約1/6となるため時間軸を1/6倍し、18層建物の3層分の変形を試験体に生じさせるために変位を1/18（ $=1/3$ スケール×3層/18層）倍とし、加速度振幅レベルを2倍にした。

2.3 粘弾性ダンパー

図2に実験に使用した粘弾性ダンパーの詳細図を示す。粘弾性ダンパーは、ひずみ依存性が小さく、特性が良く分かっているアクリル系粘弾性体によるせん断型ダンパーを採用した。

粘弾性体の特性は温度依存性および振動数依存性があり、図3および図4に示すように温度が低いほど、また振動数が高いほど、貯蔵せん断弾性率 G' 及び損失係数 $\tan \delta$ が大きくなるという特性がある[4]。表3に実験に使用した粘弾性体の基本材料特性を示す。なお、表3には、標準的な数値として、温度：20℃、振動数：3.0Hzにおける値を示した。

ダンパー量は、フレームの1次振動数における振動に対して、7%程度の減衰を付加することを想定し、図1に示すように、試験体各層のスパン中央部に設けた間柱の中央に各層2体ずつ合計6体を取り付けた。

2.4 加振計画

加振ケースの一覧を表4に示す。以下では、フレームにダンパーを取り付けていない場合をFRM、粘弾性ダンパーを取り付けた場合をFRM+VEDとして記述する。

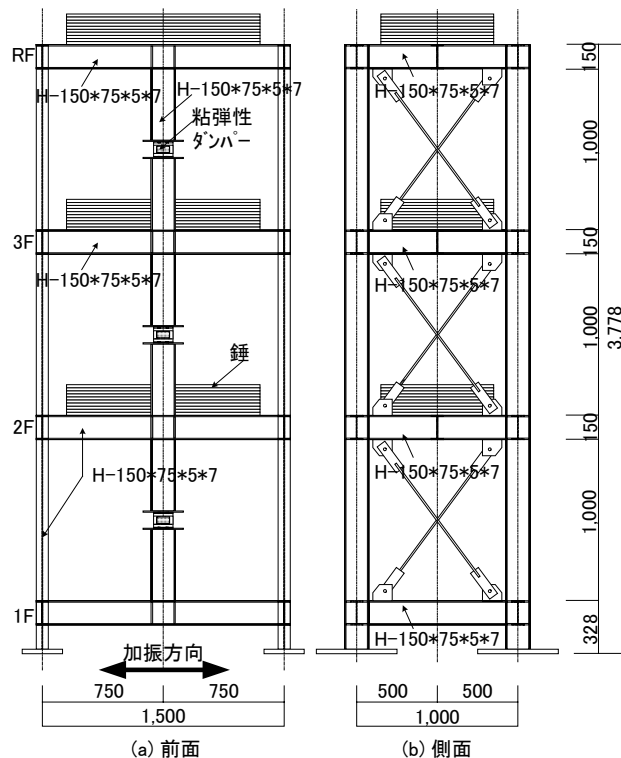


図1 試験体形状

表1 各層の質量

Floor	1F	2F	3F	RF
質量 (kg)	125	1676	1676	1668

表2 相似則

時間軸	1/1-モデル(3層)	1/6-モデル(18層)
時間	1	1/6
変位	1/3	1/18
速度	1/3	1/3
加速度	1/3	2

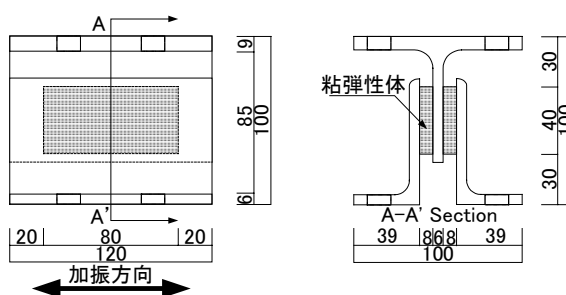


図2 粘弾性ダンパー詳細図

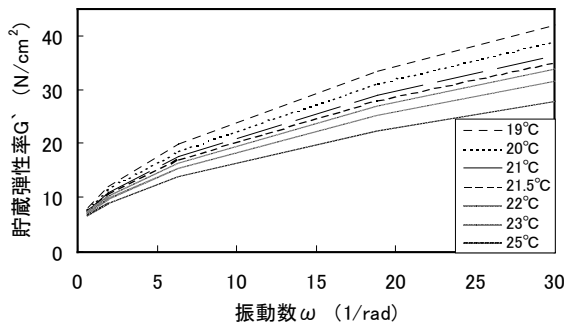
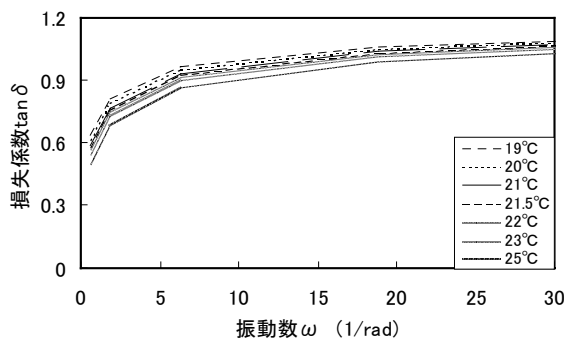
図3 粘弾性体の G' と ω の関係 [4]図4 粘弾性体の $\tan \delta$ と ω の関係 [4]

表3 粘弾性ダンパーの材料特性 [4]

材料	温度 $T(^{\circ}\text{C})$	厚さ $t(\text{mm})$	G' (N/cm^2)	$\tan \delta$
ISD111	20	8.0	30.4	1.09

 G' : 貯蔵せん断弾性率, $\tan \delta$: 損失係数

a) パルス波加振及び自由振動実験

試験体の振動特性を把握するために、振動台を用いてパルス波（最大加速度約 $250\text{cm}/\text{sec}^2$ ）による加振を行った。またFRMについては、振動台を固定した状態で試験体頂部に衝撃力を与えた自由振動実験も行った。

b) 地震動入力実験

入力地震動には、建築基準法の限界耐力計算における「極めて稀に発生する地震動」[5]を想定して作成した模擬地震動を用いた。模擬地震動の加速度応答スペクトルは、地震地域係数を $Z=1.0$ 、地盤種別を第2種地盤とし、表層地盤の増幅率 G_s は告示[6]に示された旧基準の地盤種別による簡易な増幅率を用いて定めた。文献[7]に基づき位相の異なる2種の模擬地震動（Hachinohe EW位相「以下、八戸位相」およびJMA Kobe NS位相「以下、神戸位相」）を作成した。ただし、入力地震動は、振動台の制約から模擬地震動の2秒以上の長周期成分をフィルターを用いて低減している。また、実際の加振では、

試験体に生じる変形を弾性範囲内に留めるため、作成した入力地震動を係数倍して低減して用いている。実験時に計測された振動台上の加速度記録の一例を図5に示す。

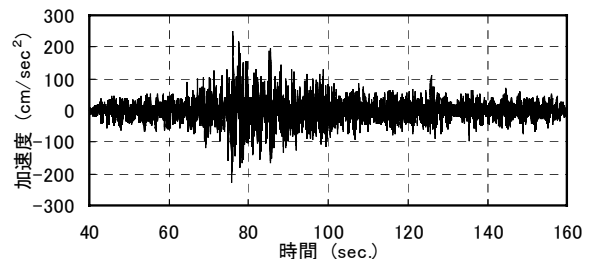
2.5 測定方法

試験体各層の床下および振動台上にサーボ型加速度計を設置し、水平加速度の測定を行った。また、試験体各層の水平変位の測定は、振動台上に別途設置した測定用フレームにインダクタンス型変位計を取付けを行った。なお、測定用フレームが十分な剛性を有していることを確認している。

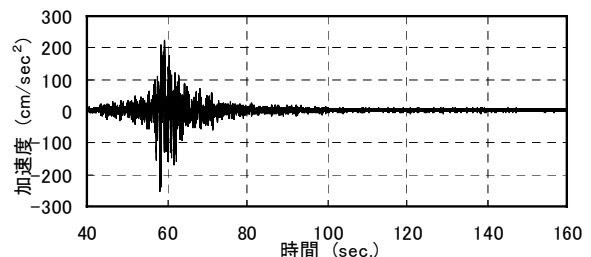
ダンパーについては、インダクタンス型変位計を用いてダンパー部の水平変位を測定するとともに、粘弾性体に埋め込んだ熱電対により、加振前と加振後の温度変化を測定した。なお、測定周波数は

表4 加振ケース一覧

入力波	時間軸	FRM	FRM+VED
パルス	-	○	○
自由振動	-	○	-
八戸位相	1/1	○	○
神戸位相	1/1	○	○
八戸位相	1/6	○	○
神戸位相	1/6	○	○



(a) 八戸位相 (FRM, 時間軸 1/1)

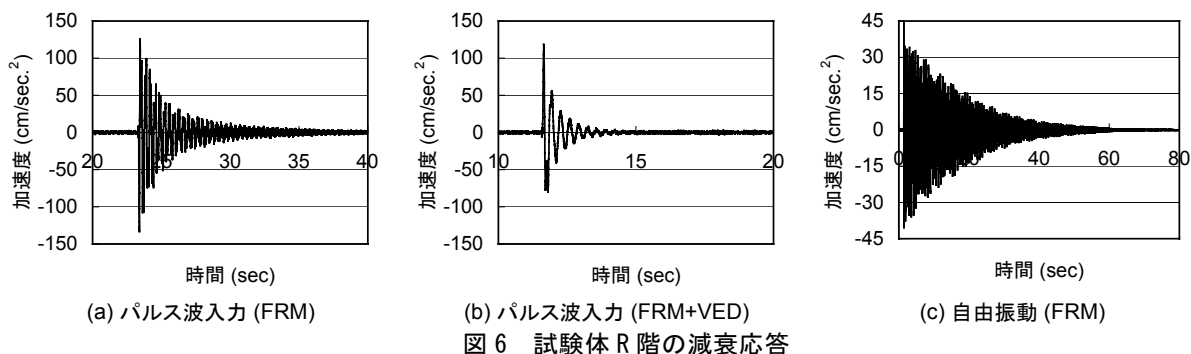


(b) 神戸位相 (FRM, 時間軸 1/1)

図5 入力地震動の加速度時刻歴

表5 固有振動数、周期、減衰定数

	入力	振動数 (Hz)			周期 (sec.)	減衰定数 h
		1次	2次	3次		
FRM	パルス	2.927	8.676	12.924	0.342	0.0323
FRM+VED	パルス	3.052	9.552	17.950	0.328	0.1095
FRM	自由振動	2.972	8.649	12.891	0.336	0.0021



200Hzとした。

3. 実験結果

3.1 パルス波加振及び自由振動実験

FRMおよびFRM+VEDについて、パルス波加振及び自由振動実験を行った結果を図6に示す。図6は試験体R階（最上階）の加速度応答を示したものである。これらの結果から求めた試験体の固有周期と減衰定数の値を表5に示す。

FRMの1次固有周期は約0.336～0.342秒であった。FRM+VEDの固有周期は0.328秒で、粘弾性ダンパーを取り付けたことでFRMと比べ2.4～4.3%固有周期が小さくなっている。パルス加振による1次モードの減衰定数は、FRMの3.23%に対して、FRM+VEDは10.95%であり、粘弾性ダンパーを取り付けたことによりフレーム全体の減衰が約7%増加している。なお、振動台を固定した状態で実施した自由振動実験におけるFRMの減衰定数は0.21%であり、極めて小さな値であった。

3.2 地震動入力実験

各加振ケースで入力した地震動の最大速度の値を表6に示す。また、振動台上で得られた加速度波形の加速度応答スペクトル（減衰定数 $h=0.05$ ）を図7に示す。なお、同図には、2.4節で記述した告示で規定される地震動の応答スペクトルを、相似則を考慮して併記してある。

図7(a)に示すように、3層建物を想定した時間軸1/1のケースでは、FRM+VEDに入力された地震動の大きさは、試験体周期に一致する領域で相互作用による入力低減が生じているが、加速度一定領域全体では告示で規定されたレベル程度になっている。また、FRMに入力された地震動の大きさは、その0.6倍程度である。

一方、図7(b)に示すように、18層建物を想定した

時間軸1/6のケースでは、FRM+VEDに入力された地震動の大きさは、速度一定領域において告示で規定されたレベルのほぼ0.6倍、FRMに入力された地震動の大きさは0.25倍程度である。

各加振ケースにおいて計測されたR階の振動台からの相対水平変位時刻歴をFRMについては図8(a)～(d)に、FRM+VEDについては図9(a)～(d)に示す。

表6 入力地震動の速度振幅レベル

入力波	時間軸	入力速度レベル(cm/s)	
		FRM	FRM+VED
八戸位相	1/1	17.8	28.4
神戸位相		20.4	35.0
八戸位相	1/6	4.8	12.0
神戸位相		7.1	13.7

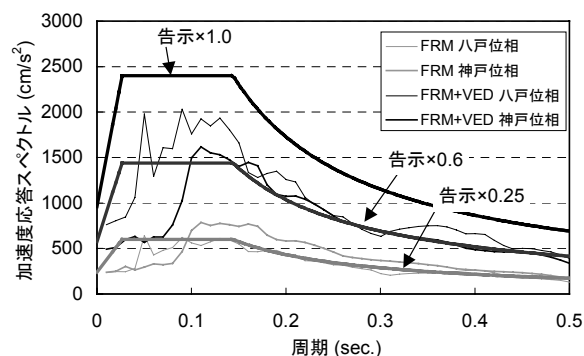
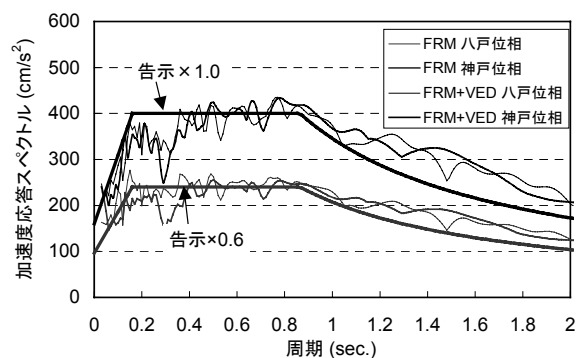


図 7 試験体の入力地震動の加速度スペクトル

なお、地震動入力実験における伝達関数から求まるFRMの固有周期は0.336～0.339秒、FRM+VEDの固有周期は0.313～0.317秒であった。

3.3 粘弾性ダンパーの変形と温度変化

表7に実験時の粘弾性体の最大せん断ひずみと加振前後の粘弾性体の温度変化を示す。粘弾性体のひずみは、各加振ケースにおいて1階が最も大きく、最大せん断ひずみは、パルス波加振では10.2%、地

震動入力実験では、時間軸1/1のケースで49.2～56.7%、時間軸1/6のケースで111.7～120.4%であった。

粘弾性体の温度上昇は、ひずみの大きい下層ほど大きくなる傾向が認められた。各加振ケースにおける温度上昇は、パルス波加振では0～0.1℃、地震動入力実験では、時間軸1/1のケースで0.1～0.5℃、時間軸1/6のケースで0.2～1.2℃であり、わずかな温度上昇であった。

表7 粘弾性体の最大せん断ひずみと温度変化

入力波	時間軸	速度レベル (cm/s)	気温 (℃)	1F		2F		3F	
				Δt (℃)	γ_{max} (%)	Δt (℃)	γ_{max} (%)	Δt (℃)	γ_{max} (%)
パルス波	-	-	21.2	0.00	10.2	0.00	6.3	0.10	2.6
八戸位相	1/1	28.4	21.5	0.50	56.7	0.30	39.6	0.10	20.8
神戸位相		35.0	21.6	0.20	49.2	0.10	35.8	0.10	18.5
八戸位相	1/6	12.0	21.7	1.20	120.4	0.70	85.3	0.30	46.3
神戸位相		13.7	21.7	0.50	111.7	0.30	84.2	0.20	46.7

Δt : 実験前後の粘弾性体の温度変化, γ_{max} : 粘弾性体の最大せん断ひずみ

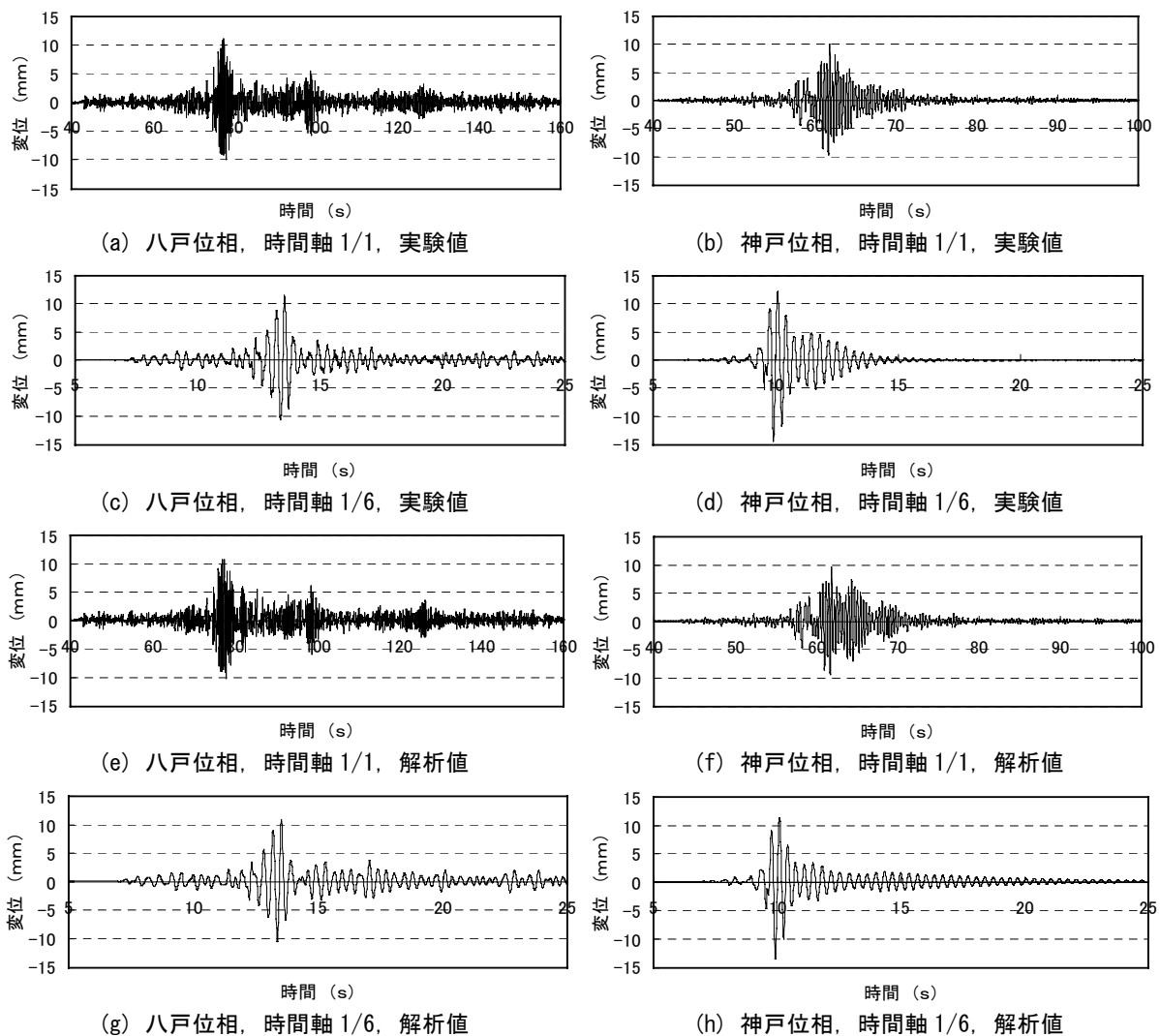


図8 FRMのR階（最上階）の水平変位時刻歴

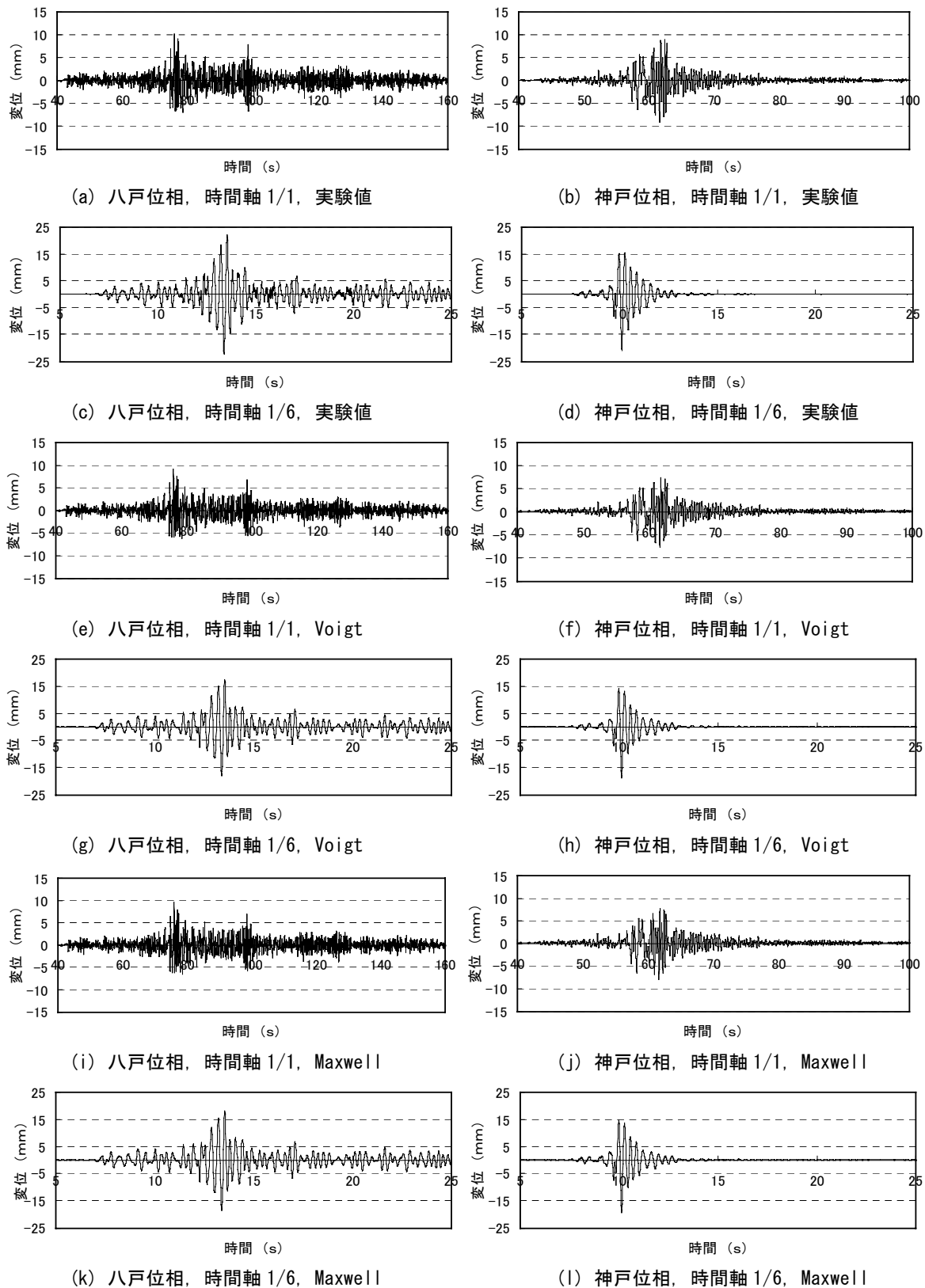


図 9 FRM+VEM の R 階 (最上階) の水平変位時刻歴

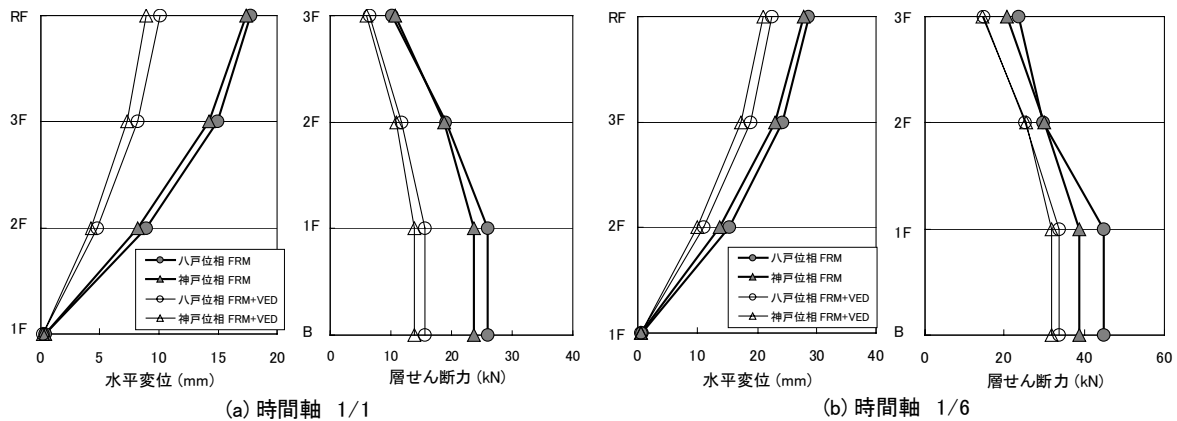


図10 基準化した最大応答水平変位と最大応答層せん断力の比較

3.4 応答低減効果

前述のように、本実験のFRMとFRM+VEDでは、入力地震動のレベルが異なるため、ダンパーによる地震時の応答低減効果を直接的に比較することはできない。そこで、表6に示した入力速度レベル値の比を用いて、FRMの応答結果をFRM+VEDの入力速度レベルに基準化して、FRMとFRM+VEDの応答結果を比較する。

図10は、3層建物を想定した時間軸1/1と18層建物を想定した時間軸1/6の各ケースにおいて、基準化したFRMの各階の最大応答水平変位と最大応答層せん断力を、FRM+VEDのものと比較したものである。層せん断力は測定した水平加速度の値に質量を乗じて求めた。また、FRM+VEDではダンパーの負担せん断力を含む値である。最大応答変位は、時間軸1/1のケースでは52%~57%まで、時間軸1/6のケースでは72%~78%まで低減されている。また、最大応答層せん断力は、時間軸1/1のケースでは57%~64%まで、時間軸1/6のケースでは62%~85%まで低減されており、顕著な応答低減効果がみられた。

4. 解析モデル

4.1 試験体フレーム

図11に試験体フレームの解析モデルを示す。解析モデルは、接合部に剛域を設けた平面フレームモデルである。フレームの柱は曲げ剛性、せん断剛性、軸方向剛性を考慮した弾性部材モデル、間柱および梁部材は曲げ剛性とせん断剛性を考慮した弾性部材モデル、粘弾性ダンパーはせん断型モデルとしている。また、各層の床位置での節点の水平変位は同一とし、水平慣性のみを考慮して各床位置に質量を集中させた。

4.2 粘弾性ダンパー

粘弾性ダンパーは、図12のVoigtモデルおよび図13のMaxwell型5要素モデルを用いてモデル化した。なお、3.3節に示したとおり、加振実験前後において粘弾性体の温度変化は0.1~1.2℃と僅かであったため、実験時の気温21.5℃における仕様値を用いてモデル化を行った。

a) Voigtモデル

図12に示すVoigtモデルの剛性および減衰係数は、図14に示す粘弾性体の1次振動数での値を用いて算出した。なお、Voigtモデルの剛性は振動数によらず一定であるが、減衰定数は振動数に比例することになる。

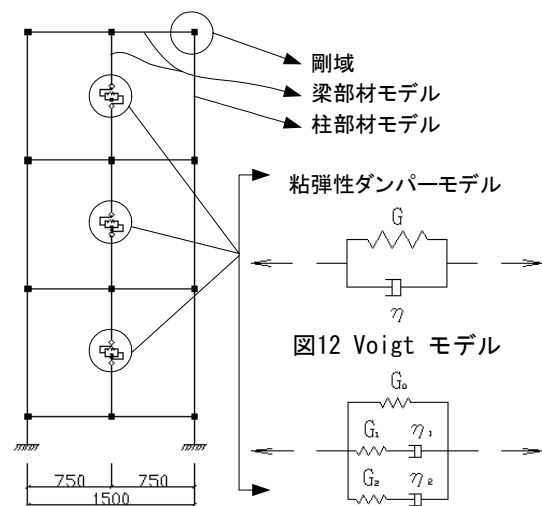


図11 解析モデル

図13 Maxwell型5要素モデル

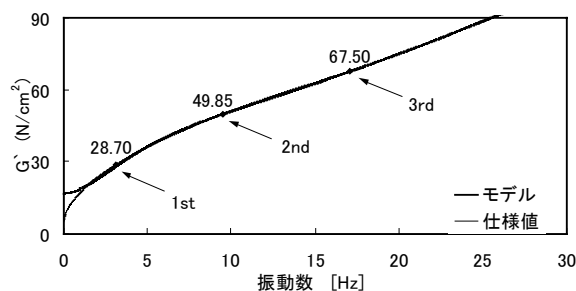
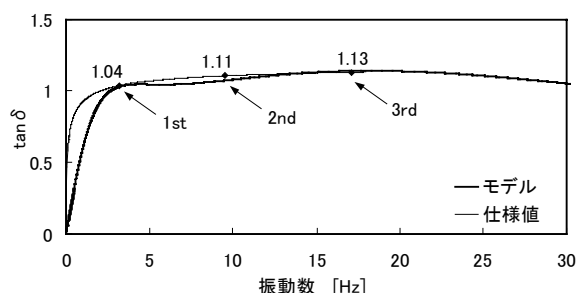

(a) 振動数と貯蔵弾性剛性 G' との関係

(b) 振動数と損失係数 $\tan \delta$ との関係

図 14 Maxwell 型 5 要素モデルの振動数特性

b) Maxwell型5要素モデル

一方、図13に示すMaxwell型5要素モデルでは G_0 , G_1 , G_2 , η_1 , η_2 の値を適切に設定することにより、振動数に応じた特性を与えることができる[2][3]。

図14に、設定したMaxwell型5要素モデル ($G_0=17$ N/mm², $G_1=32$ N/mm², $G_2=250$ N/mm², $\eta_1=1.1$ Nsec/mm², $\eta_2=0.7$ Nsec/mm²) の貯蔵弾性率 G' 及び損失係数 $\tan \delta$ と振動数の関係を、粘弾性体の仕様値[4]と比較して示す。なお、図中の数字は、試験体の各次の固有振動数における値である。

4.3 固有値解析

固有値解析より求まるFRMおよびFRM+VEDの固有振動数をパルス加振による実験結果と比較して表8に示す。また、振動モード形を図15に示す。なお、FRM+VEDの固有値解析は、ダンパーの剛性として1次振動数での値を用いた非減衰系モデルを用いて行った。

FRMでは1次から3次振動数まで解析値は実験値にほぼ一致している。一方、FRM+VEDでは、1次の振動数は一致するものの、2次および3次の振動数が実験値よりも小さくなっている。これは、粘弾性体の剛性が振動数が大きくなる程大きくなるためと考えられる。ダンパーが取り付くことにより、1次固有周期は4.1%短くなる。一方、図15および表9に示すように振動モード形及び各次の有効質量はほとんど変化していない。ダンパーの減衰のみを考慮し、

Biggsの方法[8]に基づき算出したFRM+VEDの1次モードの減衰定数は6.75%であり、前述のパルス加振の結果とほぼ一致している。

表 8 固有振動数および固有周期

	試験体	振動数 (Hz)			周期 (sec.)
		1 次	2 次	3 次	
実験	FRM	2.927	8.676	12.924	0.342
	FRM+VED	3.052	9.552	17.95	0.328
解析	FRM	2.959	8.568	12.923	0.338
	FRM+VED	3.087	8.910	13.389	0.324

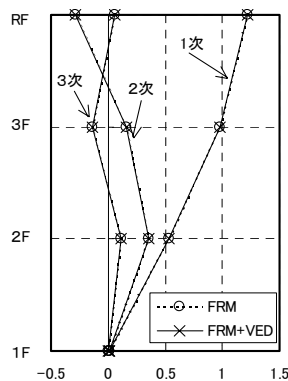


図 15 振動モード系

表 9 有効質量

次数	FRM	FRM+VED
	Mj (ton)	Mj (ton)
1	4.555	4.559
2	0.391	0.387
3	0.058	0.057

5. 地震応答解析

解析ケースは、振動台実験に対応して、FRM, FRM+VEDとも入力地震動の異なる4ケースである。応答解析での入力地震動は、各加振ケースにおいて振動台上で測定された加速度記録を用いた。数値積分は、Newmarkの β 法 ($\beta=1/4$) により行い、積分時間刻みは0.001secとしている。解析時の減衰は、1次モードに対し減衰定数 $h=1\%$ とする剛性比例型減衰を鉄骨部材のみに与えている。なお、FRMに対するパルス加振の結果から $h=3.23\%$ 、自由振動実験の結果から $h=0.21\%$ の減衰定数が得られているが、これらの値を用いたFRMの解析結果は実験結果との適合が良くなかった。 $h=1\%$ の値はFRMの解析結果が実験結果にほぼ適合するように定めた数値である。

5.1 FRMの解析結果

図8(e)～(f)に応答解析より得られたFRMのR階の振動台からの相対水平変位の時刻歴を実験結果(図8(a)～(d))と比較して示す。両者は良く対応している。また、表10にR階水平変位と1階層せん断力の最大応答値の比較を示す。R階水平変位は、(解析値/実験値)の値が0.93～0.95、1階層せん断力は、(解析値/実験値)の値が0.76～0.87であ

る。水平変位の対応は良好であるが、解析における層せん断力が小さい。これは、後出の図19に示すように、解析で用いた減衰が剛性比例型であるため、高次の振動モードにより生じるせん断力を十分評価できていないためと考えられる。

5.2 FRM+VEDの解析結果

FRM+VEDのR階の振動台からの相対水平変位の時刻歴を応答解析結果と実験結果を比較して図9に示す。(a)～(d)が実験結果、(e)～(h)がVoigtモデルを用いた場合の解析結果、(i)～(l)がMaxwell型5要素モデルを用いた場合の解析結果である。また、図16に1階層せん断力－層間変形関係の比較を、表11にR階水平変位と1階層せん断力の最大応答値の比較を示す。

図9に示すように、解析値の水平変位は実験値よりわずかに小さいが、波形の形状は良く一致している。図16に示す層せん断力－層間変形関係に見られるように、解析での復元力の膨らみが実験値よりも幾分大きいことから、解析で設定した減衰が実験よ

り若干大きかったものと考えられる。

表 10 最大応答値の比較 (FRM)

入力地震動		実験値	解析値
時間軸 1/1	八戸位相	11.07 (16.30)	10.50 (14.20)
	神戸位相	10.11 (13.80)	9.42 (12.04)
時間軸 1/6	八戸位相	11.48 (17.92)	10.72 (13.65)
	神戸位相	14.38 (20.14)	13.54 (17.59)

実験値・解析値とも上段の数値は R 階水平変位 (mm)、
下段の () 内の数値は 1 階層せん断力 (kN) を表わす。

表 11 最大応答値の比較 (FRM+VED)

入力地震動		実験値	解析値	
			Maxwell	Voigt
時間軸 1/1	八戸位相	10.08 (15.52)	9.64 (14.75)	9.21 (14.54)
	神戸位相	8.96 (13.88)	8.05 (12.18)	7.76 (11.83)
時間軸 1/6	八戸位相	22.46 (33.73)	18.58 (30.01)	18.02 (28.66)
	神戸位相	21.00 (31.88)	19.59 (29.41)	18.91 (28.00)

実験値・解析値とも上段の数値は R 階水平変位 (mm)、
下段の () 内の数値は 1 階層せん断力 (kN) を表わす。

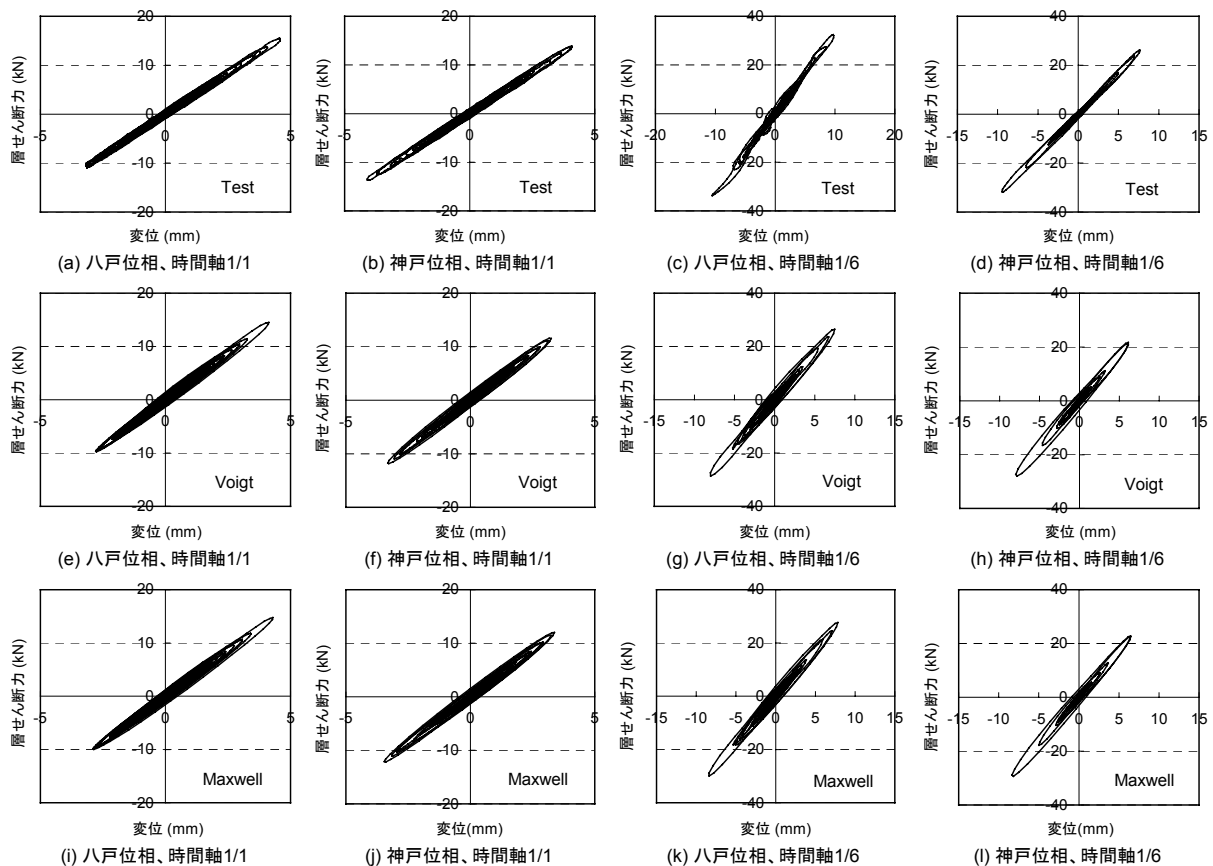


図 16 1 階の層せん断力と層間変形の関係 (FRM+VED)

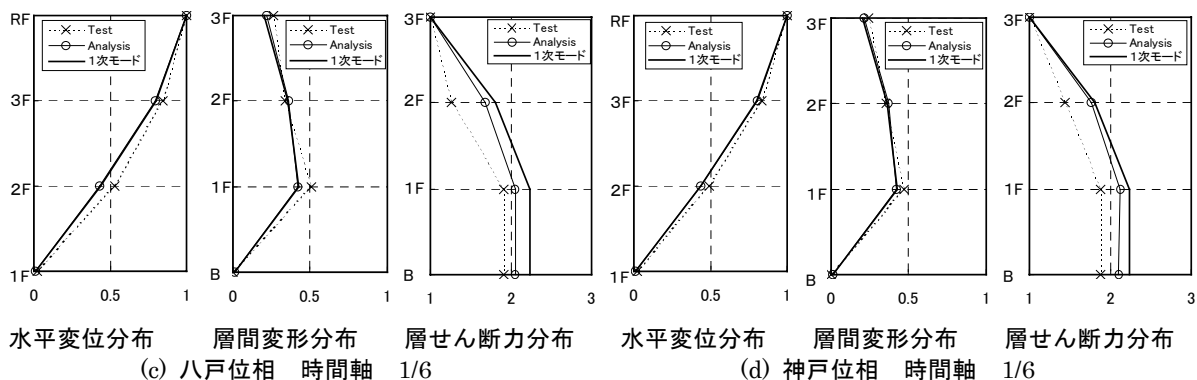
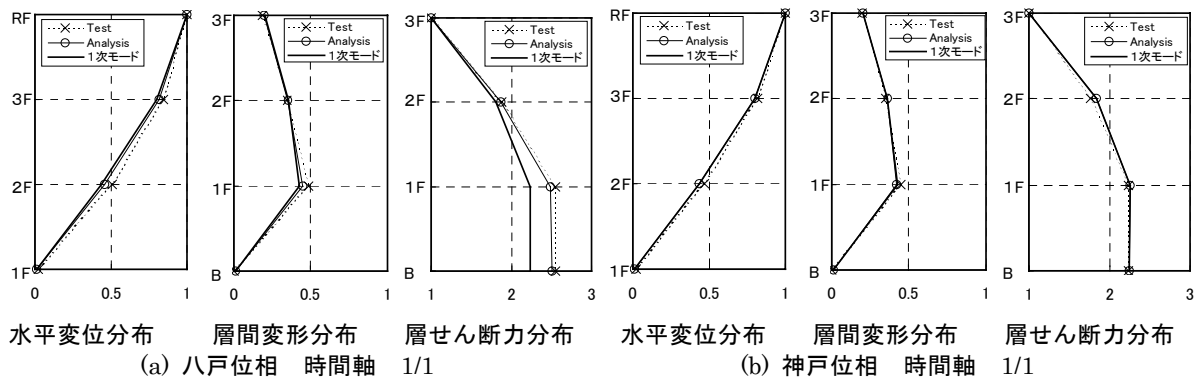


図 17 最大応答値の各階の分布形状 (FRM)

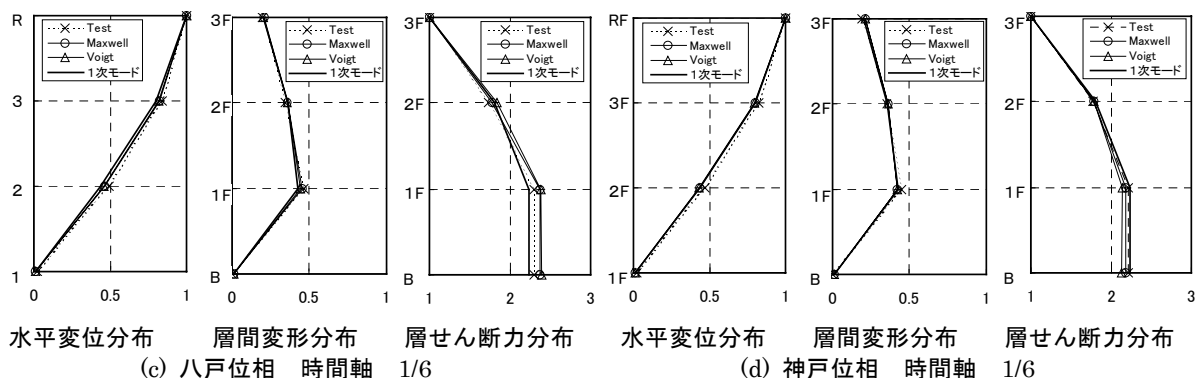
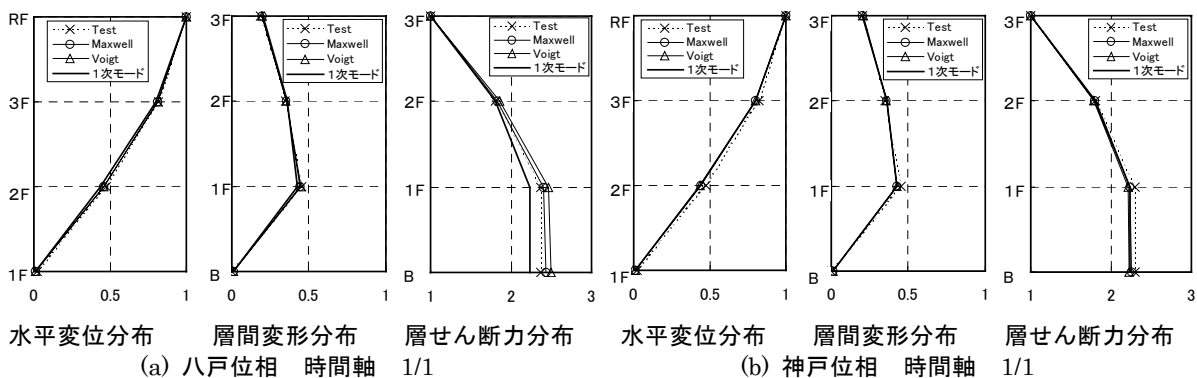


図 18 最大応答値の各階の分布形状 (FRM+VED)

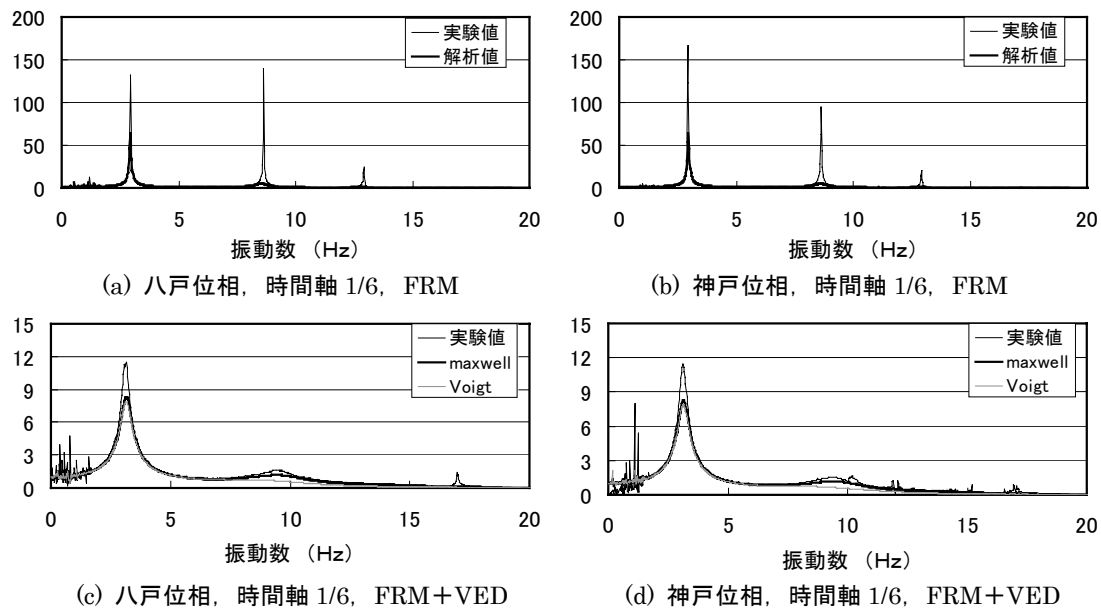


図 19 伝達関数の比較

表11に示すR階水平変位の（解析値／実験値）の値は、Maxwell型5要素モデルで0.83～0.96、Voigtモデルで0.80～0.91である。1階層せん断力の（解析値／実験値）の値は、Maxwell型5要素モデルで0.88～0.95、Voigtモデルで0.85～0.94である。Maxwell型5要素モデルの方が幾分実験値との対応が良いが、両モデルとも、実験結果を良好に表していると言える。

6. FRMとFRM+VEDの振動特性の比較

FRMとFRM+VEDの振動特性を比較検討するため、最大応答水平変位、最大応答層間変形および最大応答層せん断力の各階の分布を調べた。図17にFRMの結果を、図18にFRM+VEDの結果を示す。各階の最大応答水平変位と最大応答層間変形はR階の最大応答水平変位の値で基準化している。また、最大応答層せん断力は3階の最大応答層せん断力の値で基準化している。図中には、実験値および解析値とともに、固有値解析から得られる1次モードに基づく分布を併記した。

水平変位および層間変形の実験値を比較した場合、FRM+VEDの方が1次モードの分布に近い。また、層せん断力の分布も、FRM、FRM+VEDとも、高次の振動モードの影響がみられるが、FRM+VEDの方が1次モードの分布に近い結果となっている。

FRMの場合には、時間軸1/6のケースで、層せん断力分布の実験値と解析値との差異が大きい。これは、時間軸1/6のケースの入力地震動が、時間軸1/1

のケースのものに比べ、2次振動数近傍で卓越しているため、剛性比例型減衰を用いた解析結果との差異が大きくなったものと考えられる。

一方、FRM+VEDの場合には、時間軸1/6のケースでも、実験値は解析値にほぼ一致している。これは、ダンパーの減衰により高次の振動成分が抑制されたためと考えられる。なお、Maxwell型5要素モデルとVoigtモデルには大きな差異はないが、Maxwell型5要素モデルの方が幾分実験値との対応が良い。

図19に、時間軸1/6のケースの地震動入力実験におけるFRMおよびFRM+VEDのR階の絶対加速度と入力加速度の間の伝達関数を、解析によるものと比較して示す。FRM+VEDの場合、高次の振動数領域まで伝達関数の絶対値が大きく低減されている。また、1次振動数近傍ではVoigtモデルとMaxwell型5要素モデルに差異はないが、2次振動数の領域では、Voigtモデルではピークが現れておらず、Maxwell型5要素モデルの方がVoigtモデルより実験結果に近い結果となっている。

本実験結果では、Maxwell型5要素モデルとVoigtモデルの結果に大きな差異はみられなかったが、特に高次モードの影響が大きな建築物の応答解析を行う場合には、Maxwell型5要素モデルの方が適していると言えよう。

7. 結論

粘弾性ダンパーを設置した鉄骨3層フレームの振動台実験の結果を報告した。本実験結果から、粘弾

性ダンパーを設置することにより、建築物の地震時応答を大きく低減できることが確認された。粘弾性ダンパーは、1次モードの応答だけではなく、高次モードの応答も抑制する効果がある。

また、振動台実験の結果を、ダンパーのモデルとしてVoigtモデルとMaxwell型5要素モデルを用いた解析により検証した。その結果、両者のモデルによる結果に大きな差異はなく、両者とも良好に実験結果を模擬できた。ただし、2次モードに関しては、Maxwell型5要素モデルの方が、試験体の振動特性を良好に表している。特に高次の振動モードの影響が大きい建築物では、Maxwell型5要素モデル等、粘弾性ダンパーの振動数依存特性を良好に表わせるモデルを用いる必要があろう。

謝辞

本研究は、山口大学工学部感性デザイン工学科稲井研究室との共同研究によるものであり、実験の実施ならびに本報告の取り纏めに当たり、山口大学工学部感性デザイン工学科 稲井栄一助教授を始め、同研究室大学院生 楊氏、富田氏の多大なるご助力をいただきました。また、本実験に用いた粘弾性ダンパーは住友スリーエム(株)よりご提供いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 藤本利昭，ハッ繁公一：制震デバイスを用いた3層鉄骨フレームの振動台実験，安藤建設技術研究所報，Vol.9，2003
- [2] 喜連川昭夫，他：粘弾性体を利用した制震構法に関する研究 その1 粘弾性体の材料試験とその力学特性のモデル化，日本建築学会大会梗概集，pp929-930，1990.10
- [3] 伊藤嘉朗：粘弾性特性を有するエネルギー吸収材料を用いた建築耐震構造の地震応答特性に関する研究，東北大学学位論文，2000年4月
- [4] 粘弾性体メーカー配布資料
- [5] 建築基準法施行令第82条の6，および建設省告示第1461号（平成12年5月31日）
- [6] 建設省告示第1457号（平成12年5月31日）
- [7] 日本建築センター：設計用入力地震動作成手法技術指針案，1992年3月
- [8] 柴田明徳：最新耐震構造解析，森北出版，1981年