

1. 粘性体ダンパーを組み込んだ制震構造物模型の振動実験に関する研究

Experimental Study on the Vibration Control Structure Model with Viscous Damper

飛田 喜則*

要 旨

制震装置（粘性体ダンパー）を組み込んだ骨組模型の振動台実験をおこなった。骨組模型の柱剛性の鉛直分布は A_i 分布に基づいて決定し、各層に設置する粘性体ダンパーの量は、骨組模型の剛性あるいは1次の変位モードに比例させた。実験の結果、減衰定数の増加とともに加速度および変位応答値が低減されていること、減衰定数と低減率の関係が1層試験体と多層試験体ではほぼ同様の傾向となることなどが明らかとなった。

キーワード：制震構造／振動台実験／粘性体ダンパー／減衰定数／応答低減

1. はじめに

近年、多くの高層建築物では制震構造が採用され、風外乱に対する居住性を改善するだけでなく、耐震性能の向上が図られることが多くなってきた。これら制震構造物の設計では、制震装置の性能を十分に発揮させ、かつその設置コストを低減するために、その配置計画を適切におこなうことが重要となる。制震構造物を設計する際、まず対象とする構造物を等価1質点系に置換し、それに必要となる制振装置の性能（減衰定数、履歴形状など）を加速度または変位の低減率を考慮して算定し、そこで得られた制震装置の性能をその構造物の各層に配分することなどがよくおこなわれている。最近では、これらの設計法については多くの提案がなされている。

本報告は、粘性体ダンパーを組み込んだ骨組模型を振動台を用いて加振実験をおこない、その粘性体ダンパーのせん断面積の総量や各層への配分率の違いが応答におよぼす影響について実験的に検討したものである。

2. 実験概要

実験の概要について以下に示す。

2.1 骨組模型

骨組模型は、層数が1層のものと5層のものの2種類とした（以後、それぞれを1層試験体、5層試験体と称す）。5層試験体の形状を図-1および写真-1に示す。1層試験体は、重量が約124.3kg、階高さが約30cmであり、その周期が約0.60秒である。5層試験体は、各階の重量および階高をほぼ同等とし、その1次固有周期が約0.70秒となるように、また柱剛性が鉛直方向に偏りがないように A_i 分布によって算定した。各階重量および各階

の目標せん断剛性を表-1に示す。

2.2 粘性体ダンパー

2.2.1 粘性体ダンパーの概要

粘性体ダンパーは、当該階の床に固定された箱に粘性体を充填し、上階床に取り付けた抵抗板をその中に挿入したものである。そのせん断隙間は約0.35cmであり、抵抗板のせん断面積は充填する粘性体の量（高さ）により調整することとしている。なお、抵抗板の最大せん断面積は80.0cm²である。

2.2.2 粘性体の配置

1層試験体に用いた粘性体ダンパーのせん断面積は、40cm²から80cm²までの10cm²ごとの5種類である。

5層試験体の種類は、粘性体ダンパーが無い場合と、組み込む粘性体ダンパーの総せん断面積を200cm²、250cm²および300cm²とした場合の合計4種類である。さら

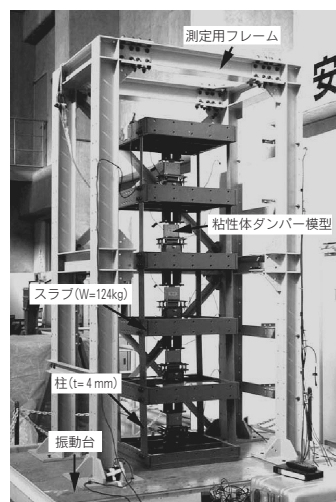


写真-1 試験体全景

*建築構造研究室

に、それらの粘性体ダンパーの各層への配分方法は、各層の剛性に比例させて配分したもの（Case2とする）および各層の層間変位に比例させて配分したもの（Case3とする）の2種類とした。それぞれの骨組模型と実験の種類を表－1に記す。

2.3 加振の種類

実験は、各ケースの骨組模型に対して以下に示す方法によっておこなった。

(1)正弦波加振実験：骨組模型の共振曲線および1次の振動モードを求めるために、加振周期を0.2秒から1.5秒までの0.1秒ごとに、加速度振幅が20.0Galとなるように正弦波加振をおこなった。さらに、1次固有周期の正弦波により加振し、骨組模型の応答が定常状態になった後に加振を停止させて自由振動実験をおこなった。

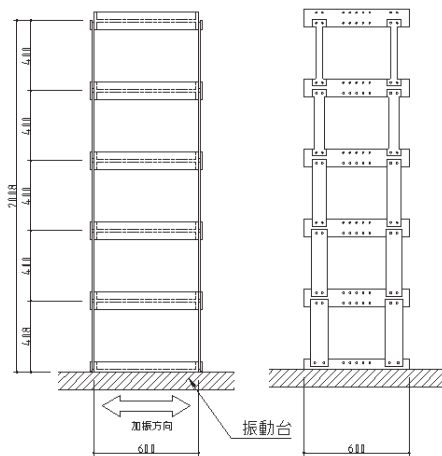
(2)地震波入力実験：地震動をHACHINOHE NS波およびEL CENTRO NS波とし、その最大加速度が50Galとなるように加振をおこなった。

2.4 測定概要

測定は、各層の加速度および変位についておこなっている。変位は振動台上に固定された剛体フレームから非接触型変位計によって測定し、加速度は骨組模型に取り付けているひずみゲージ式加速度変換器（最大加速度：2G）を用いて測定した。なお、測定周波数は200Hzである。

表－1 模型試験体の緒元

層	重量 (kg)	剛性 (N/mm)	せん断面積 (cm ²)						
			Case1	Case2			Case3		
				s=200	s=250	s=300	s=200	s=250	s=300
5	115.6	60.0	0.0	21.0	26.9	32.3	7.7	9.6	11.6
4	124.3	90.0		32.4	40.5	48.6	32.8	41.0	49.2
3		120.0		43.2	54.0	64.8	44.5	55.6	66.8
2		135.0		48.5	60.6	72.8	58.2	72.8	87.3
1		150.0		54.1	67.6	81.2	56.7	70.9	85.1

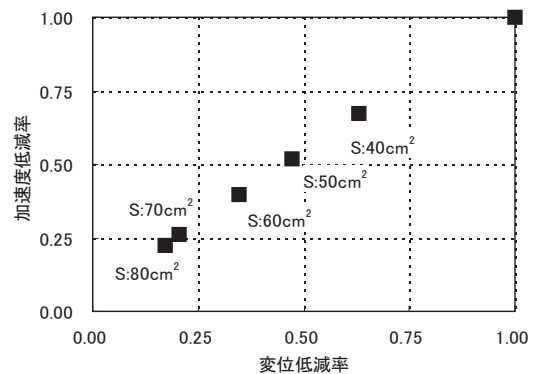


図－1 5層試験体の形状

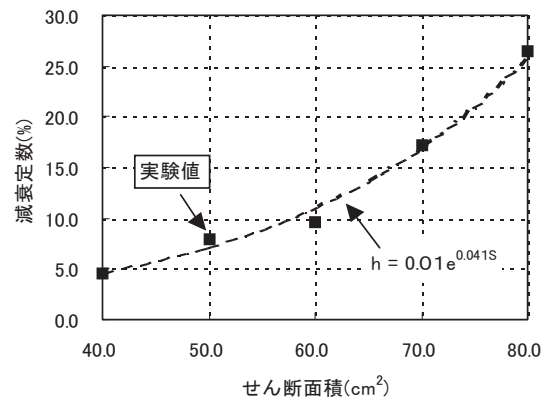
3. 1層試験体の実験結果

実験で用いた粘性体ダンパーが実大のものよりかなり小さいことから、その性能を把握するために、1層試験体を自由振動させることによって減衰定数を算定し、粘性体ダンパーのせん断面積と減衰定数との関係について検討をおこなった。なお、加速度および変位応答について、粘性体ダンパーの無い試験体に対する粘性体ダンパーのある試験体のそれらの比をそれぞれ加速度低減率および変位低減率としている。

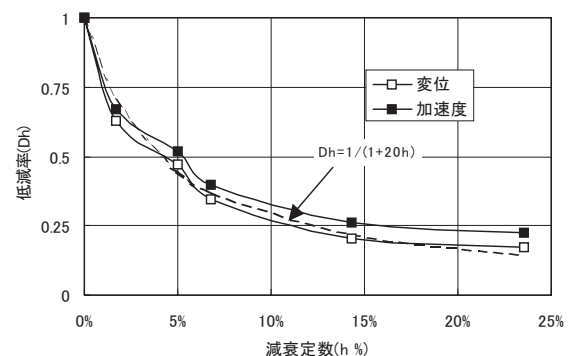
実験の結果、加速度および変位低減率の関係を図－2に、粘性体ダンパーのせん断面積と減衰定数の関係を図－3に、さらに、減衰定数とそれら低減率との関係を図－4に示す。



図－2 1層試験体の低減率



図－3 せん断面積と減衰定数の関係



図－4 加速度および変位低減率と減衰定数の関係

図－２より、粘性体ダンパーのせん断面積の増加にもなって加速度および変位応答値が同じ比率で低減していることが確認できた。また、図－３より、粘性体ダンパーのせん断面積と減衰定数の関係は、(1)式で近似することができ、さらに図－４より、加速度または変位低減率(Dh)と減衰定数(h)との関係は、試験体の減衰定数(h)を用いた場合、一般に知られている(2)式の関係¹⁾があることが確認できた。

$$h = 0.01e^{0.041S} \quad \dots (1)$$

$$D_h = \frac{1}{1+20h} \quad \dots (2)$$

h：減衰定数 S：せん断面積 (cm²) Dh：低減率

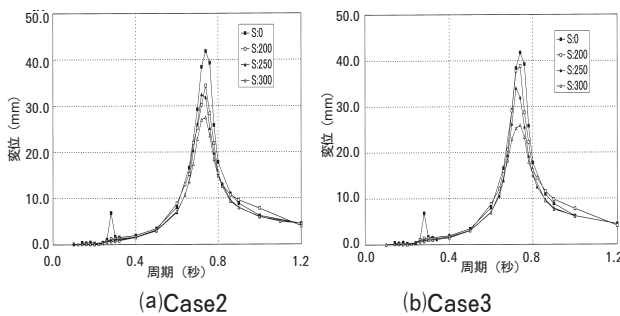
4. 5層試験体の実験結果

4.1 正弦波加振実験

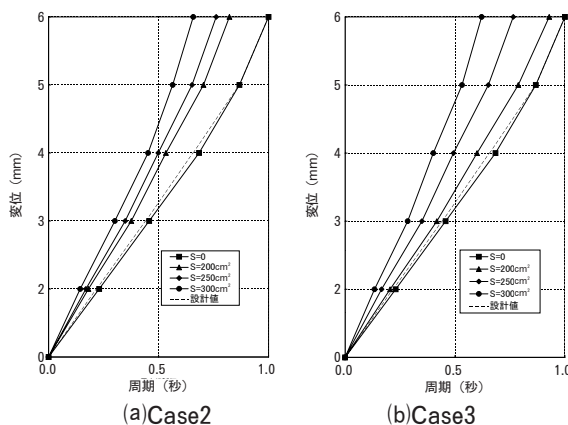
正弦波加振実験の結果について以下に示す。

4.1.1 固有振動数および変位モード

粘性体ダンパーの総せん断面積量を変化させたCase2およびCase3の骨組模型について、実験によって得られた変位の共振曲線を図－５に示す。また、その共振時の変位モード（最大値で基準化）を図－６に示す。これらより、骨組模型の1次固有周期が約0.72秒であること、変位モードがほぼ設計どおりであることが確認できた。また、粘性体ダンパーを組み込むことによって、共振時の応答が低減されていることが確認できた。



図－５ 共振曲線



図－６ 変位モード

4.1.2 減衰定数と低減率

自由振動時の骨組模型頂部の変位時刻歴波形より算定した減衰定数を表－２に示す。また、粘性体ダンパーのせん断面積を増加させた場合について、加速度および変位低減率の関係を図－７に示す。図には、(2)式によるそれらの計算値を、図中の黒印がCase2を、白印がCase3を示している。表－２より、粘性体ダンパーが無い試験体の場合、減衰定数は約2.1%であり、粘性体ダンパーのせん断面積が増加するに伴って減衰定数が大きな値となっている。

図－７より、1層試験体と同様に、粘性体ダンパーのせん断面積が増加するにしたがって加速度および変位が低減されていること、また減衰定数とそれら低減率の関係が、Case3のせん断面積が200cm²の場合を除き、ほぼ(2)式で表せることが確認できた。

4.2 地震波入力実験

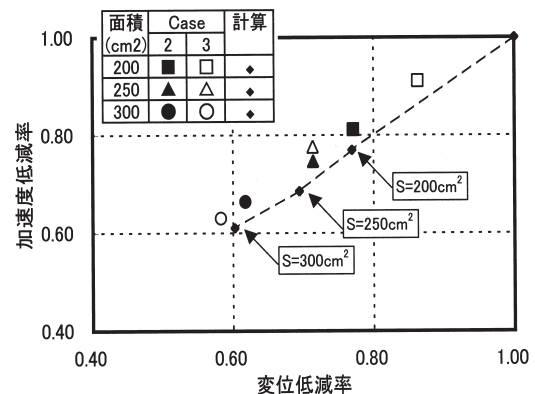
地震波入力実験の結果について以下に示す。

4.2.1 フーリエスペクトル

実験時の骨組模型（粘性体ダンパーの総せん断面積が300cm²の場合）頂部の加速度時刻歴波形から入力地震動に対するフーリエスペクトル比を図－８に示す。図より、1次から4次までの卓越周期が明確にみられ、粘性体ダンパーを組み込むことによって各次の応答が低減しており、特に高次の応答が著しいことがわかる。しかし、Case2とCase3を比較した場合、粘性体ダンパーの配置がフーリエスペクトル比に与える影響に明確な差が見られなかった。

表－２ 総せん断面積と減衰定数

総せん断面積 (cm ²)	減衰定数(%)		
	Case1	Case2	Case3
0.0	2.1		
200.0		3.5	3.5
250.0		4.3	4.2
300.0		5.2	5.3



図－７ 変位低減率と加速度低減率の関係

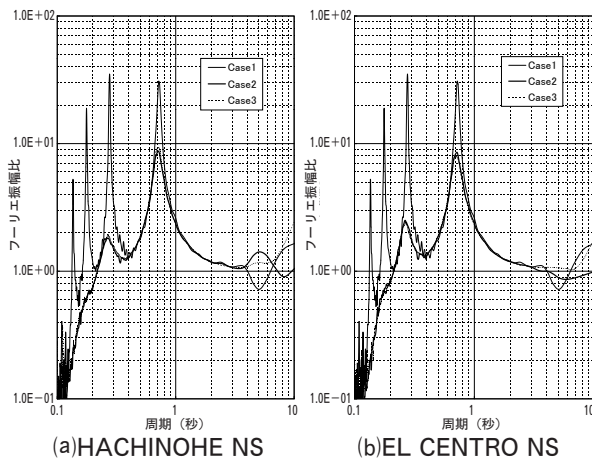


図-8 フーリエスペクトル

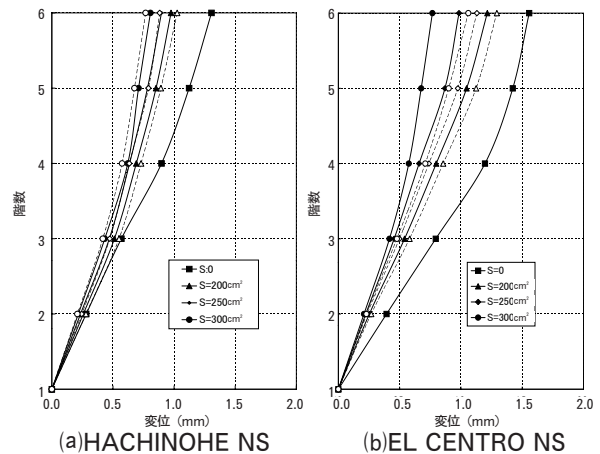


図-9 最大変位分布

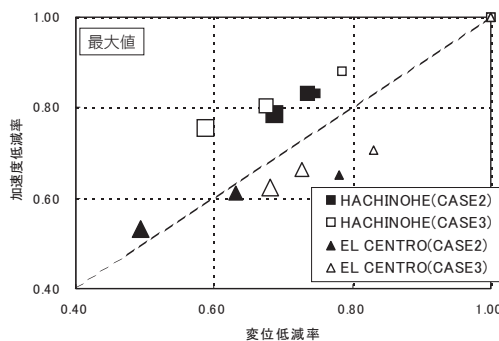


図-10 低減率（最大値）

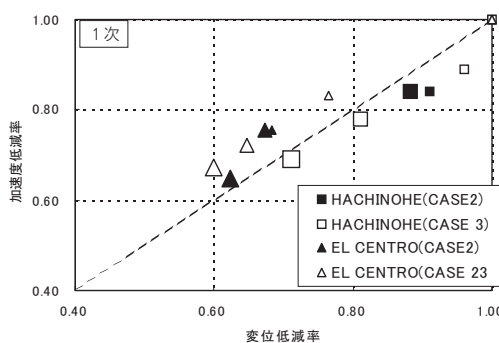


図-11 低減率（バンドパス処理後）

実験時の最大変位分布を図-9に示す。図中の黒印は、Case2を、白印はCase3を示している。図より、粘性体ダンパーの総せん断面積が増加するにしたがって各層の変位応答が低減していることがみられるが、この場合も粘性体ダンパーの配置による明確な差が見られなかった。

4.2.3 低減率

加速度低減率と変位低減率の関係を図-10に示す。また、観測された各時刻歴に1次固有周期付近(0.4から2.0秒)のバンドパスフィルター処理を施したものについて、加速度低減率と変位低減率の関係を図-11に示す。なお、図中の記号の大きいものから順に、粘性体の総せん断面積が300cm²、250cm²および200cm²であることを示してい

る。

図-10より、粘性体ダンパーのせん断面積の総量が増加するにしたがって加速度および変位が低減されているが、その値には大きなばらつきが見られた。しかし、図-11に示すように1次振動だけに着目した場合、その応答は1質点系の場合または正弦波加振時と同様に、加速度および変位が同じ比率で低減していることがわかる。よって、地震時のようなランダム振動が入力された場合、構造物の1次振動の加速度または変位低減率は、その等価減衰定数により算定できると考えられる。しかし、今回の実験では、粘性体ダンパーの分布による効果の差は明確に現れなかった。

5. まとめ

今回の実験では、粘性体ダンパーを組み込んだ多層構造物の加速度および変位応答値は、1質点系と同様に粘性体ダンパーの総せん断面積が増加するにしたがって低減されること、1次振動に関して減衰定数と明確な関係があることが明らかとなった。しかし、粘性体の配置による影響に明確な差はなく、また入力される地震動によっても低減率には若干のばらつきが生じる結果となった。

今後、これらのことを詳細に検討し、さらに構造物の剛性分布を変化させた場合についても同様の実験をおこない、その影響について検討する所存である。

[謝辞]

本研究は、大阪工業大学工学部建築学科大場研究室との共同研究によるものであり、実験等に多大なる助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) 最新耐震構造解析 柴田明徳 森北出版