

せん断変形する構造物用耐震ダンパーの開発

01A3770 福原 正浩

01A3774 藤原 和也

担当教員 烏野 清

1. はじめに

兵庫県南部地震においては、木造家屋が倒壊し、その後の火災によって大きな被害を受けた。平成15年10月23日に発生した新潟県中越地震でも、住宅全壊2864棟、半壊11095棟の被害を受けている。今後、南海・東南海地震が30年以内に発生する確率は、南海がM8.4で40%、東南海がM8.1で50%前後となっており、同時発生した場合にはM8.5の大きな地震となることが予測されている。そこで、地震時に木造家屋の揺れを低減でき、安価で信頼性の高い減衰ダンパーが開発できれば、地震時における被害を大きく軽減出来るものと思われる。

本研究は橋梁用に開発した鉛柱ダンパーの技術を基に、地震時にせん断変形する住宅等の構造物に設置する小型ダンパー開発を目的として、木造骨組に対する静的載荷試験、動的試験を実施し、ダンパーの有無による履歴特性、地震応答特性等について検討を行ったものである。

2. 静的載荷試験

図 - 1 に静的載荷試験装置を示す。木造骨組の柱と土台（断面積 $105 \times 105\text{mm}$ ）・桁（ $150 \times 105\text{mm}$ ）をほぼ構造で結合させ、せん断変形が大きい場合に柱が土台および桁から外れないよう結合部をカスガイで止め、載荷装置に設置した。骨組は S1～S4 の 4 体製作し、斜材の有・無、ダンパーの有・無による 4CASE の試験を実施した。鉛ダンパー（材料・鉛、長さ=1000mm、直径=30mm）の設置角度は、前年度の研究で最も効果

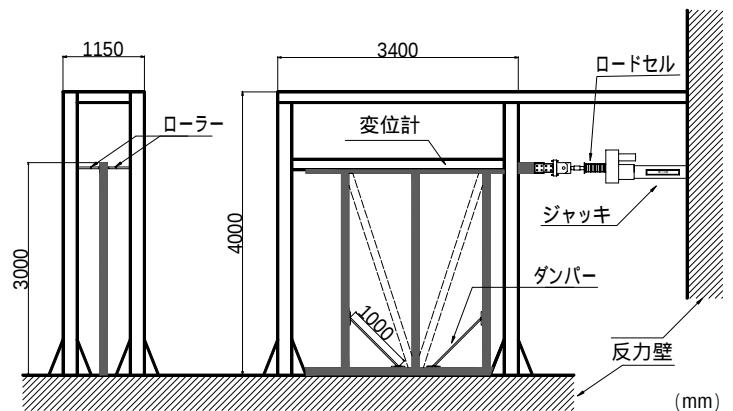


図 - 1 静的載荷装置図

的であった 45 度とした。鉛ダンパーは引張力による履歴エネルギーを利用することから、逆向きに設置したダンパーと組み合わせて 1 対とした。柱とダンパーの接合部は鋼板で挟み、皿ねじで固定している。

桁位置の最大水平変位は斜材無で 200mm、斜材有の場合には水平変位が大きくなると、斜材の破損や接合部における釘の曲がり、カスガイの引き抜けなどが生じたので最大水平変位を 160mm までとした。荷重載荷時に骨組の載荷直角方向の変位を拘束するため桁部にローラーを設置した。

図 - 2 は斜材無の木造骨組（S1）に対して静的載荷試験を連続 2 回行った結果を示す。1 回目と 2 回目を比較すると履歴形状が大きく異なっており、2 回目の試験では骨組にガタが生じ、剛性が低下したものと推測される。両者の履歴曲線の面積から算出した履歴エネルギーを比べると 2 回目は 70%程度まで低下していることが分かった。また、骨組 S2 に対して実施したダンパー有の載荷試験でも 2 回目は 1 回目の 85%程度まで履歴エネルギーが低下していた。このため、各 CASE の試験では、履歴エネルギーが最も大きい 1 回目のデータを用いて検討することとした。

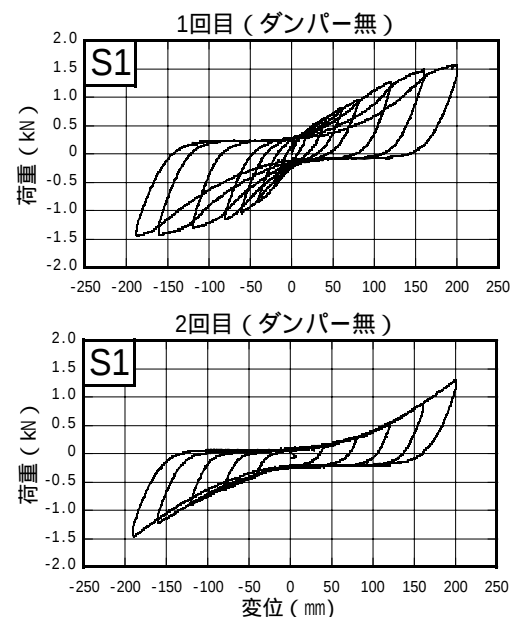


図 - 2 履歴曲線（斜材無）

斜材無におけるダンパーの影響を図 - 2 の 1 回目と図 - 3 で比較すると、ダンパー設置により荷重が約 2 倍に増加しており、履歴エネルギーが大きくなっている。これは引張力の作用するダンパーの抵抗力によるものである。また、図 - 3 を見ると載荷時の水平変位 $\pm 50\text{mm}$ 以内で、圧縮側ダンパーの座屈による急激な荷重低下がみられる。そこで、ダンパー圧縮変形時に座屈を発生させないように、図 - 4 に示す鞘管を用いることにした。鞘管は鉄管（長さ=880mm、直径=43mm、厚み=1.5mm）とし、設置後の鞘管は上下に自由に動く様になっている。

図 - 5 にダンパーに鞘管を取り付けたときの試験結果を示す。 $\pm 50\text{mm}$ 以内の荷重低下が滑らかとなり、履歴曲線が大きくなっている。また、座屈が無くなるため、木造住宅の壁などを損傷させる可能性は少ない。

図 - 6 は斜材有の骨組に対するダンパー有・無の影響を示したものである。ダンパー無の履歴曲線では水平変位 50mm 以上になると荷重が低下している。これはほぼ部分の摩擦力等の低下によるものと考えられる。ダンパー有を用いると履歴曲線が矩形に近づいており、履歴エネルギーが大きくなっていることが判る。しかし、水平変位が大きくなるにつれて、斜材は横にはらみ、取付部の釘の緩みや損傷などで骨組の剛性がかなり低下していた。

図 - 7 は 4CASE に対して実施した静的載荷試験結果である。鉛ダンパーによる履歴エネルギーの増加は斜材有・無とも現れているが、特に斜材無の場合に顕著である。図 - 8 は鞘管の効果を示したものである。骨組 S2,S3 に対して鞘管無で試験を行った後に、鞘管を付けた試験を実施した。両者とも、鞘管無より履歴エネルギーが大きくなっているが、2 回目の試験では骨組本体の剛性が低下していることを考えると、鞘管を付けた場合の履歴エネルギーはさらに大きくなっていると考えられる。

3. 動的試験

図 - 9 に示す木造骨組を振動台に設置し、動的試験を実施した。ひずみ加速度計（最大加速度 2G ）を桁上と土台上に設置した。骨組は計 11 体製作し、屋根および二階の重さに相当する鋼材の重量を 6kN とした。骨組のねじれを防ぐため、柱を山形鋼、土台を H 形鋼で振動直角方向に拘束している。

測定方法としては、入力および桁上加速度をサンプリング間隔 $t = 5\text{ms}$ で AD 変換し、共振曲線測定時にはデータ個数 $N = 1000$ 個、地震応答測定では、 $N = 7000$ 個をノートパソコン

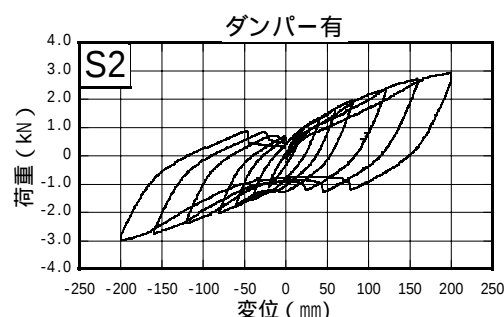


図 - 3 履歴曲線（斜材無）

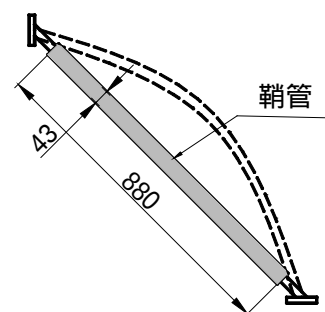


図 - 4 鞘管図 (mm)

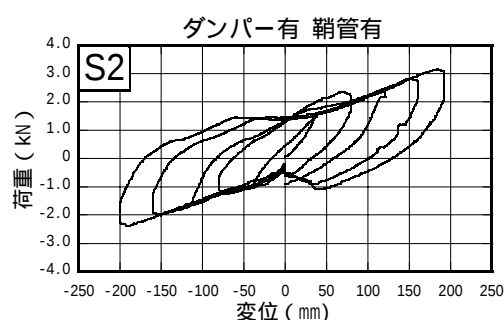


図 - 5 履歴曲線（斜材有）

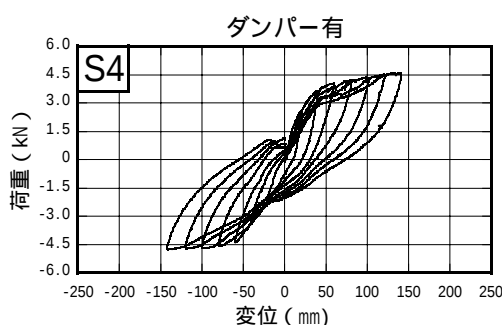
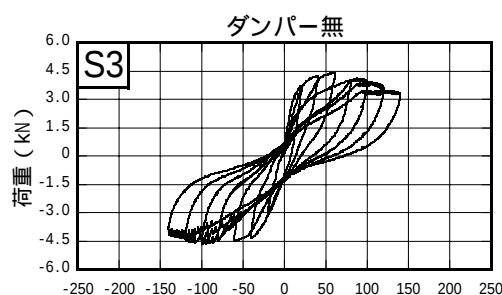


図 - 6 履歴曲線（斜材有）

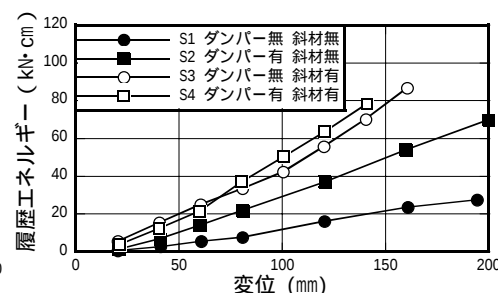


図 - 7 履歴エネルギー

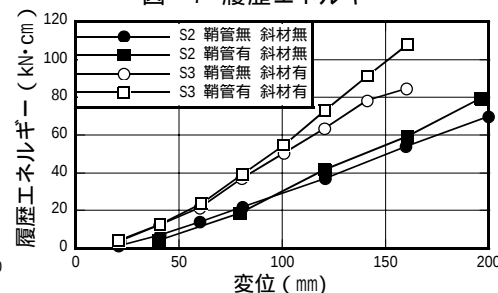


図 - 8 履歴エネルギー

ンに取り込んだ。また、正弦波加振時では、柱と土台および桁の衝突による影響と思われる波形が発生していたことから、データ処理時にバンドパスフィルター0.5～15Hz をかけることにした。

(1)共振曲線

図 - 10 は斜材有、図 - 11 は斜材無の骨組に正弦波を入力して求めた共振曲線で、ダンパーの有・無による違いを示す。

木造骨組の固有振動数は入力加速度の大きさと振動履歴に影響されることから、加振一定加速度を段階的に大きくするとともに、加振振動数間隔は 0.2Hz 刻みとした。図 - 10 と図 - 11 の比較により、斜材の有無に関係なく、ダンパーを設置することにより固有振動数が高くなっている。これはダンパーの剛性が骨組に付加されるためで、特に斜材無の場合にこの傾向が強い。

図 - 12 は図 - 10,および 11 に示した各共振点における実入力加速度と応答特性の関係を示したものである。固有振動数は斜材およびダンパーの有無を問わず、入力加速度が大きくなるにつれ、ほぼ直線的に低下している。また、斜材有の方が斜材無に比べ低減の割合が大きい。これは入力加速度の大きさと共に柱の取付部に比べ、斜材取付部の剛性の方が急激に低下しているためと考えられる。一方、相対変位は入力加速度が大きくなるにつれ増加している。特にダンパー無において、200gal 以上で変位が大きくなる傾向が見られる。斜材無の骨組においても、ダンパー無の時の変位が急激に増加している。骨組に斜材とダンパーを設置した場合、入力加速度 200gal 以上では、変位が 10mm～20mm 程度も低減しており、制振効果がみられる。また、斜材無では同じ入力加速度で変位が約 30mm 低減し、ダンパー設置により大きな制振効果を得ることがわかる。

最大桁変位である 70mm は、ダンパー設置位置での水平変位に換算すると約 16mm 程度で鉛本体の伸縮量は小さい。このため、試験では設定入力加速度を変える度に、プラチックハンマーで鉛の変形を元に戻し、何度も同じダンパーを用いている。

(2)地震応答

図 - 13 は TYPE 、第 種の地震波 1～3 を斜材有、斜材無の骨組に 70% レン

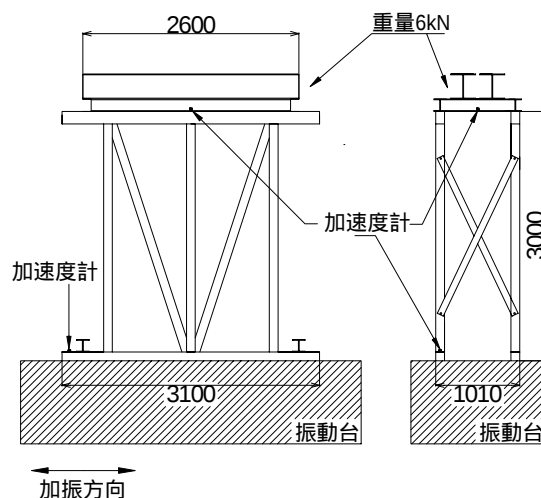


図 - 9 木造骨組

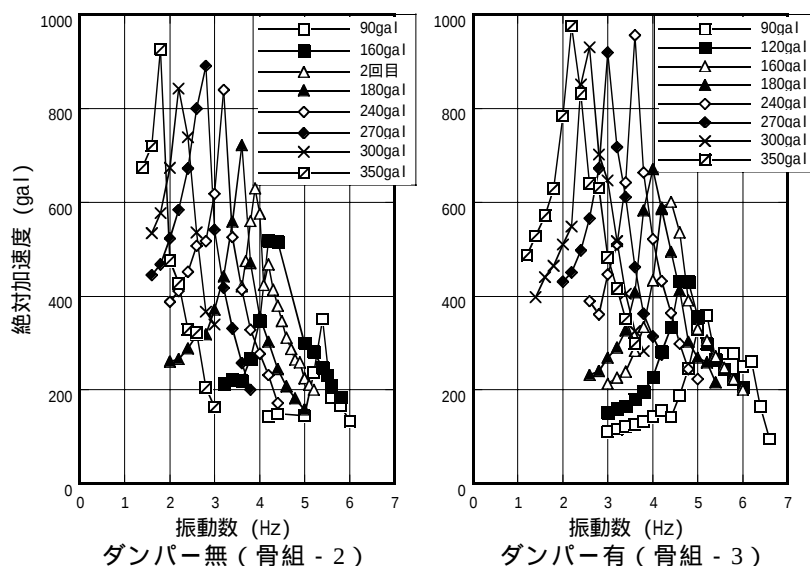


図 - 10 斜材有 共振曲線

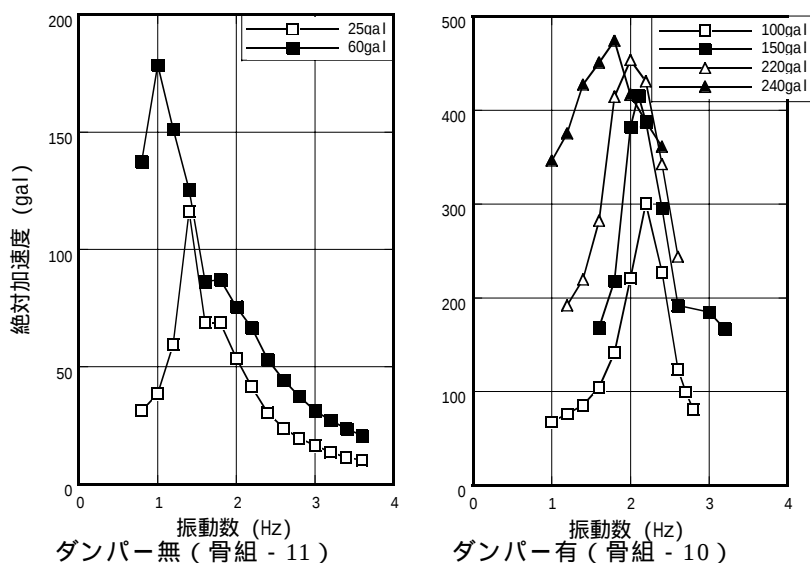


図 - 11 斜材無 共振曲線

ジで入力した時の相対変位を比較したものである。斜材無の場合には、明らかにダンパーによる制振効果がみられる。一方、斜材有では、ダンパー有・無による差はほとんどみられなかった。

表 - 1 は 3 種類の地震波を入力した時の最大相対変位と制振効果を示したものである。骨組の相対変位は桁の絶対加速度から入力加速度を差し引き、Trifunac 法を用いて解析プログラム K - WAVE により 2 回積分を行って算出した。表中の骨組 - 7,9 はなるべく骨組の剛性低下が制振効果に影響を及ぼさないよう、組み立て直後の骨組に対してダンパー有,ダンパー無の順に試験を実施した。また、骨組 - 11 では共振点での加速度が小さかったため、共振曲線を求めた後、ダンパーの制振効果確認の試験を行っている。一方、骨組 - 4 と 6 は剛性低下後に実施したものである。

表の結果より、剛性低下していない骨組ほど制振効果が悪く、斜材有で 0.9、斜材無で 0.5 程度である。一方、剛性低下した骨組の試験では斜材有で 0.7、斜材無で 0.35～0.5 となっている。一般木造住宅の剛性は本試験に用いた斜材有より小さく、カスガイで補強した斜材無に近いことが昨年度の振動試験より明らかとなっている。したがって、本鉛ダンパーを用いることにより、一般木造住宅の耐震性向上を図ることが可能であると考えられる。

骨組 - 11 に対してはダンパーに鞘管を取り付けて試験を実施したが、鞘管による制振効果は、ほとんど見られなかった。静的載荷試験では変位 120mm 以上において履歴エネルギーが大きくなる結果が出ており、この試験においては最大変位が 50mm 以下であったため、制振効果が現れなかったものと思われる。

4.まとめ

本研究では木造住宅を対象として耐震ダンパー試験を実施したが、一般に、他のせん断変形する構造物系に対しても、柱剛性の大きさに対応した断面のダンパーを用いれば、木造住宅と同様に应用できるものと考えられる。本研究は「九州建設弘済会研究助成」を受けて実施されたものである。

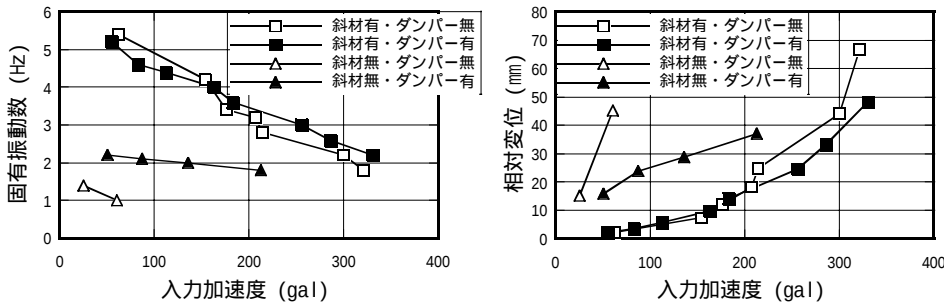


図 - 12 共進点における入力加速度と応答特性の関係

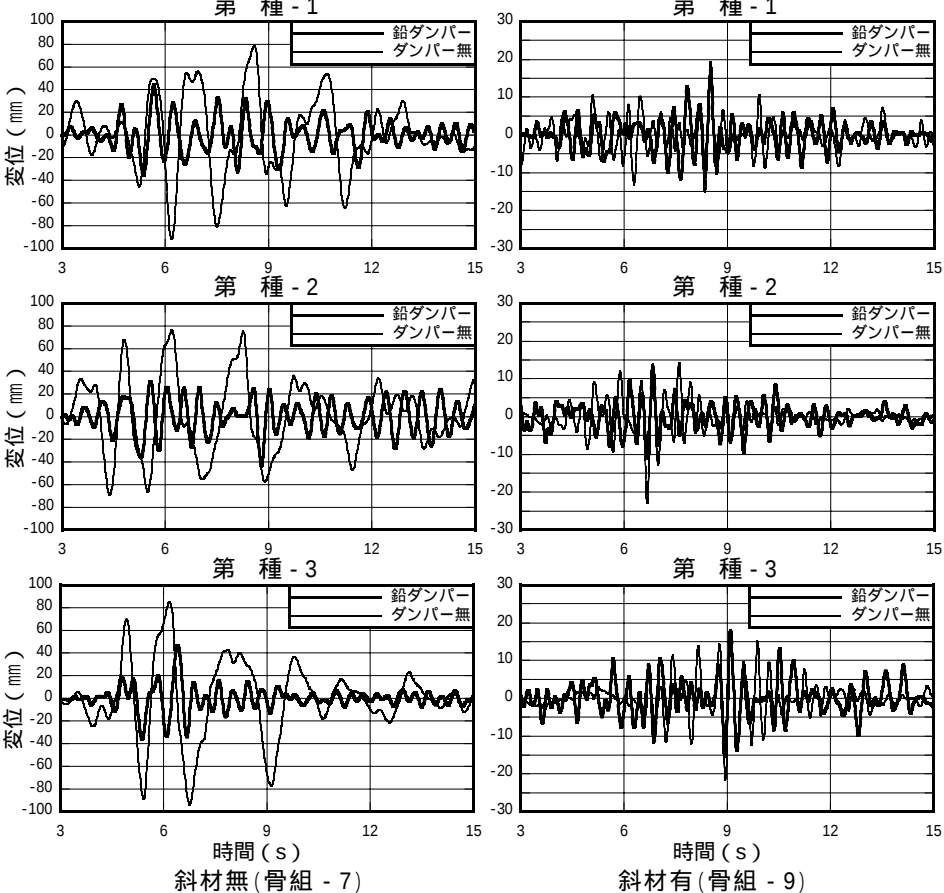


図 - 13 相対変位

表 - 1 最大相対変位と制震効果

斜材	骨組番号	ダンパー	第 種地震波		
			1	2	3
有	4	無	28	31	39
		有	19	22	25
		低減率	0.68	0.71	0.64
	9	無	19	14	18
		有	17	13	18
		低減率	0.89	0.93	1.00
無	6	無	104	118	115
		有	48	38	43
		低減率	0.46	0.32	0.37
	7	無	92	76	94
		有	44	44	47
		低減率	0.48	0.58	0.50
	11	無	86	100	95
		有	41	40	45
		鞘管	41	41	47
		低減率	0.48	0.41	0.48
	平均低減率		0.47	0.44	0.45