

木造住宅用制震ダンパーの開発

01A3749 中塚 聖光

01A3760 布田 博志

担当教員 鳥野 清

1. 研究の背景

関東大震災では、地震そのものによる直接的被害より、火災等による二次被害によって多大な死傷者を出している。耐火性や構造耐力性が格段に向上した現在でも、兵庫県南部地震において倒壊した住宅から火災が発生し、甚大な被害をもたらしたのは記憶に新しい。

都市部における古い住宅地では、耐震性の良い建物と悪い建物が混在しており、住宅倒壊後の二次被害による危険性が高いことから、古い既設木造住宅の耐震性向上が都市防災の上で重要であるとする。

本研究は、橋梁用に開発したせん断変形する鉛柱ダンパーの技術を基に、地震時における木造家屋の揺れを低減でき、安価で信頼性の高い住宅用の小型減衰ダンパーを開発することを目的としている。昨年度までの実験により得られた結果を基に、昨年発生した新潟県中越地震や福岡県西方沖地震におけるダンパーの制震効果等について検討を行った。

2. 動的試験

図-1 に動的試験装置の概略図を示す。一般的な木造家屋の1階部分を想定し、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、载荷装置に設置した。2階も屋根部分の重量を 6kN と想定し、鋼材を载荷している。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有効であった 45° とした。鉛ダンパーは引張力による剛性と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合わせて1組とした。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。試

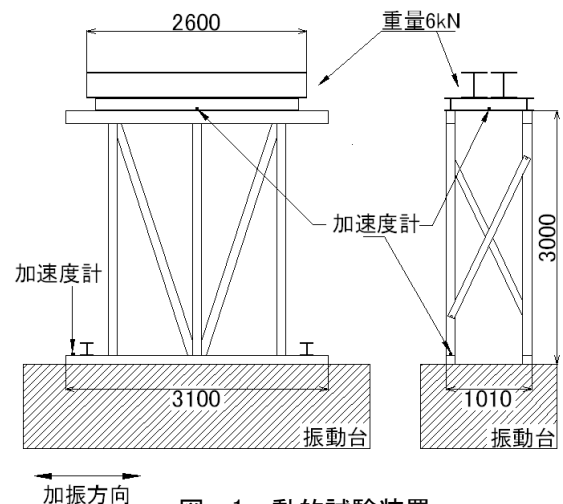


図-1 動的試験装置

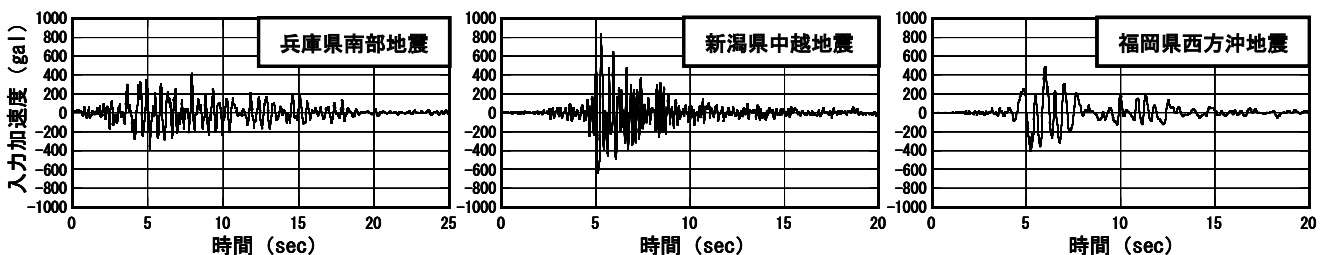


図-2 入力加速度

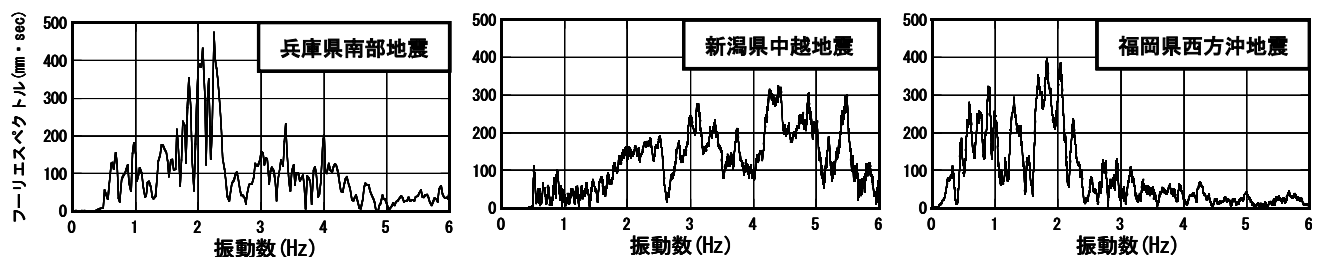


図-3 入力加速度フーリエスペクトル

験に用いている木造骨組は振動履歴回数により剛性が低下するため、総計 13 体製作し、骨組の組み立て直後に必ず、斜材有・無、ダンパー有・無の試験が一回は実施出来るように行った。入力地震波は現道路橋示方書の兵庫県南部地震に対応する大規模地震 TYPE II の 3 種類に加え、図-2 に示す新潟県中越地震（観測点：小千谷）、福岡県西方沖地震（観測点：CTI ビル基礎）の地震波を用いた。図-3 は入力加速度のフーリエスペクトルであり、兵庫県南部地震と福岡県西方沖地震はスペクトル成分が類似している。一方、新潟県中越地震波は 2～6Hz が卓越している。

図-4 は斜材無の骨組に各地震波を入力した時の桁上の絶対加速度を表し、図-5 は骨組の相対加速度を比較したものである。ダンパー有に比べ、ダンパー無の場合の絶対加速度が小さくなっている。ダンパーを設置するとダンパーの剛性により骨組の固有振動数が大きくなり、加速度が大きくなったものと考えられる。相対加速度は絶対加速度から入力加速度を差し引いたものであり、この相対加速度のフーリエスペクトルを図-6 に示す。

ダンパー無における相対加速度は絶対加速度に比べかなり大きくなっている。この原因としては、ダンパーを設置すると相対加速度フーリエスペクトルにおいてダンパーを設置すると 1.5Hz 以下の低振動数成分が減少し、逆に 2～3Hz の振動数成分が増加しているためと思われる。

図-7 は相対加速度を 2 回積分（解析プログラム k-wave, ゼロ点補正 Trifunac 法, バンドパスフィルタ

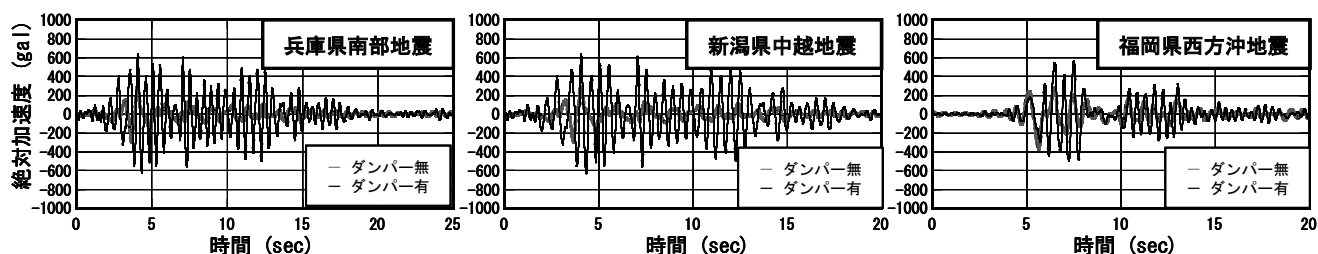


図-4 絶対加速度

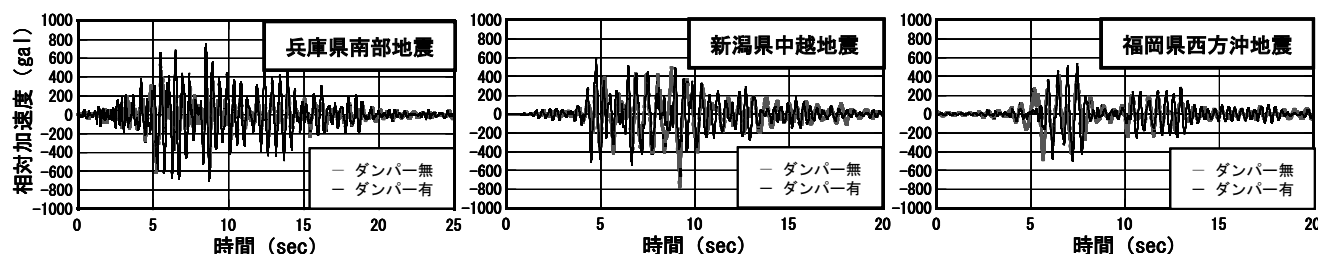


図-5 相対加速度

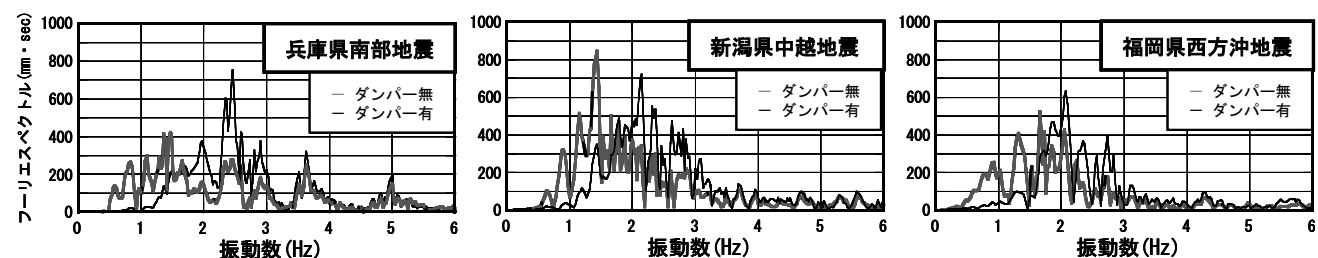


図-6 相対変位フーリエスペクトル

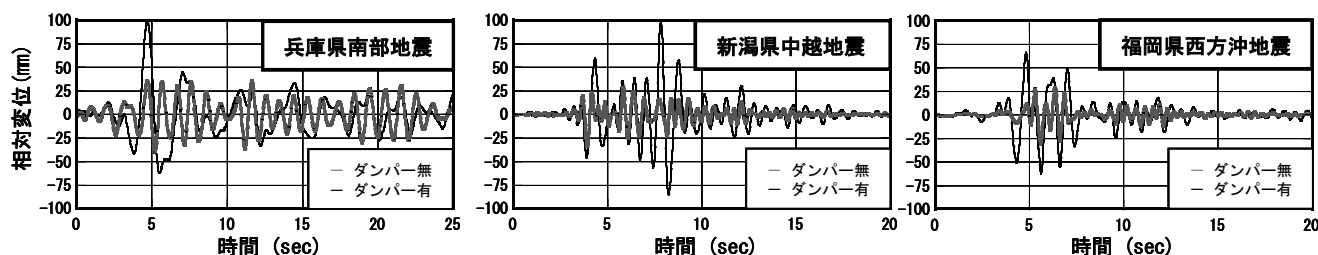


図-7 相対変位

ー0.5～10Hz) によって算出した相対変位をダンパー有無で比較したものである。ダンパーを設置することにより、骨組の振動が高くなると共に、相対変位がかなり小さくなっており制震効果が見られる。

表－1 は各地震波を入力した時の最大相対変位と以下の定義で定めた制震効果を示したものである。この中で本年度実施した骨組は 12 と 13 である。

制震効果＝

ダンパー無の最大相対変位

－

ダンパー有の最大相対変位

ダンパー無の最大相対変位

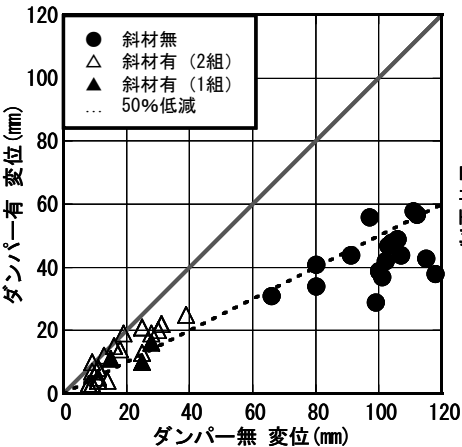
剛性低下していない骨組の斜材有の場合には、斜材がせん断変形を強く拘束したため制震効果がほぼゼロとなっている。斜材無では制震効果が 0.5～0.6 と大きくなっており、変形時におけるダンパーの引張側軸力による効果と思われる。一方、剛性低下した骨組では斜材有で 0.3～0.4、斜材無で 0.5 程度の制震効果がみられる。斜材有の結果から、剛性低下のない骨組ではあまり制震効果はみられないが、繰り返し加振により徐々に制震効果が現れている。このことは、ダンパーが本震後の大きな余震に対しても有効であることを示している。福岡県西方沖地震時における骨組の相対変位は兵庫県南部地震に比べ小さいのに対して、新潟県中越地震では、ほぼ同じ程度になっている。しかし、新潟県中越地震による木造住宅の被害が少なかった。この理由として、雪国のため柱の剛性が他の地域に比べて大きかったためと考えられる。

ダンパー無およびダンパー有の最大相対変位と制震効果を昨年の試験結果と併せて図－8 と図－9 に示す。斜材無ではばらつきがみられるが、これは地震波ごとの特性によるものと考えられる。図内の点線は 50%低減を示している。本年度は斜材 2 本の試験も実施した。当初予想された左右非対称による骨組自体のねじれ振動は発生しなかった。斜材有の場合には、相対変位自体が小さいため、制震効果は小さいが、剛性低下後は斜材無と同等であることが確認出来た。

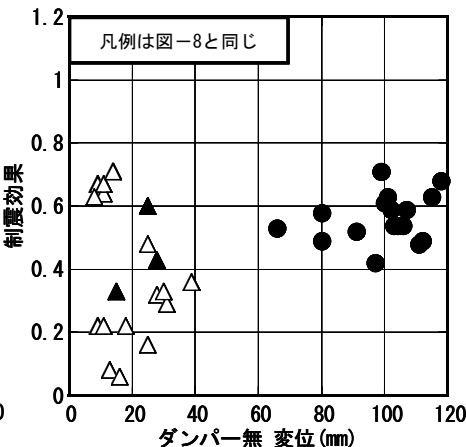
さらに、本試験で使用した柱材（スギ）の曲げ試験(JIS Z 2133)を行った。図－10 は曲げ試験によって得られたたわみー荷重曲線で、これから求めた弾性係数は、 $5.581\times10^6\text{kN/m}^2$ となり、樹種データ資料より引用した標準的な弾性係数 $6.860\times10^6\text{kN/m}^2$ に比べ小さい。これは本試験で用いた木材の含水率が高いためと思われる。

表-1 最大相対変位と制震効果

斜材	剛性低下	骨組番号	ダンパー	兵庫県南部地震	福岡県西方沖地震	新潟県中越地震	
有	有	4	無	28			
			有	19			
			制振効果	0.32			
		7	無	18			
			有	14			
			制振効果	0.22			
	無	9	無	16			
			有	15			
			制振効果	0.06			
		有	13	無		9	13
				有		10	12
				制振効果		-0.11	0.08
	無			9		11	
	有			7		8	
	制振効果			0.22		0.27	
	無			9		11	
	有(2回目)			3		5	
	制振効果			0.67		0.55	
	無			11		14	
	有(3回目)			4		4	
	制振効果	0.64	0.71				
平均制振効果			0.20	0.51	0.51		
無	無	7	無	102			
			有	42			
			制振効果	0.59			
		有	5	無			104
				有			48
				制振効果			0.54
			8	無			106
				有			49
				制振効果			0.54
		10	無	97			
			有	56			
			制振効果	0.42			
		11	無	86			
			有	41			
			制振効果	0.52			
		平均制振効果					0.51
	無	12	無		66	99	
			有		31	29	
			制振効果		0.53	0.71	
			無		80	100	
			有		34	39	
			制振効果		0.58	0.61	
			無		80	101	
			有(2回目)		41	37	
			制振効果		0.49	0.63	
		平均制振効果			0.53	0.62	



図－8 最大相対変位



図－9 制震効果

荷重曲線で、これから求めた弾性係数は、 $5.581\times10^6\text{kN/m}^2$ となり、樹種データ資料より引用した標準的な弾性係数 $6.860\times10^6\text{kN/m}^2$ に比べ小さい。これは本試験で用いた木材の含水率が高いためと思われる。

3. 木造骨組のモデル化

3次元構造解析プログラム TDAPⅢ（㈱アーク情報システム）を用い、木造骨組のモデル化の検討を行った。

図-11 は骨組の解析モデルを示したもので、立体骨組の片面だけを考え平面モデルとした。骨組を 41 個の質点に分割し、桁と柱の結合部に、 K_θ （回転バネ）、 K_V （縦方向バネ）、 K_H （横方向バネ）を設定し、ほぞ部の構造をバネに置換した。ただし、 K_V と K_H には木材本体の剛性を持たせ、回転バネの剛性低下によって骨組がせん断変形するものと仮定した。

図-12 は昨年度実施した木造骨組本体（ダンパー無）の静的載荷試験結果であり、骨組の桁を水平方向に載荷した交番荷重と桁の変位を示したものである。図-11 に示すモデルの桁に荷重を作用させた時の変位が図-12 に一致するようにして求めた回転バネ定数を図-13 に示す。桁変位が増加するにつれて回転バネが低下し、桁と柱の結合にあるほぞの剛性低下を示している。

木造骨組にダンパーを設置した場合の骨組解析モデルは、ダンパー無の解析モデルに、ダンパー本体の剛性を付加すれば良い。

図-14 はダンパー本体に対して実施した静的載荷試験結果で、軸力と軸方向の伸縮量の関係を示したものである。図から明らかのように、ダンパーは引張力時に剛性が大きくなり、圧縮時には座屈するため剛性がかなり小さくなる。そこで、図-11 において、引張側のみのダンパーが剛性を有し、圧縮側は全く剛性をもたないものとし、図-14 に示す骨格を用いて解析を行った。図-15 はダンパー有における木造骨組の静的載荷試験結果とこの解析より得られた荷重-変位を比較したもので、かなりの精度で一致している。

以上のことから、図-13 に示す回転バネと図-14 に示すダンパーの剛性を用いれば、本試験に用いた木造骨組の解析モデルとなることがわかった。

4. まとめ

昨年度発生した、新潟県中越地震や福岡県西方沖地震においても、ダンパーによる減衰力により、相対変位を低下させることが可能であり、ダンパーの制震効果は十分発揮されることが確認できた。また、静的載荷試験結果と理論解析により、木造骨組の解析モデルを明らかにすることが出来た。

（本研究は平成16年度「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）

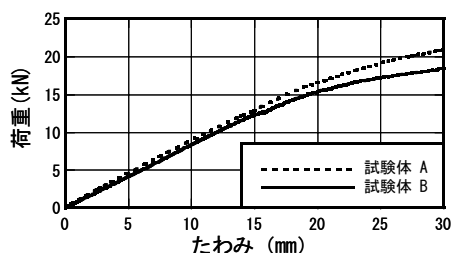


図-10 木材の曲げ試験

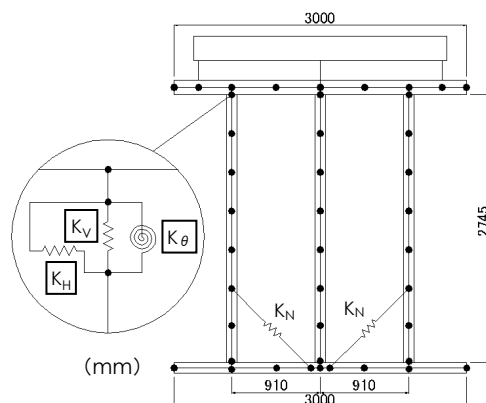
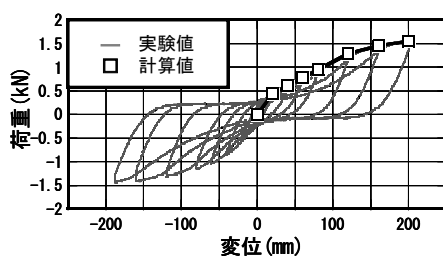


図-11 解析モデル図



斜材無 ダンパー無
図-12 実験値と計算値

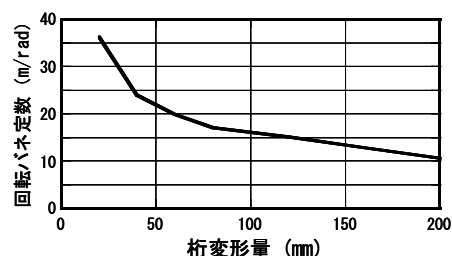


図-13 回転バネ定数

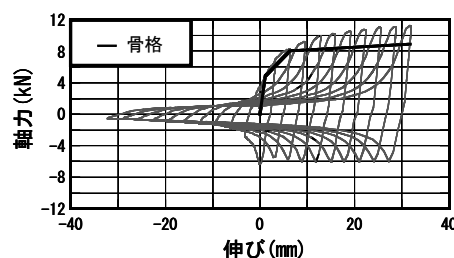
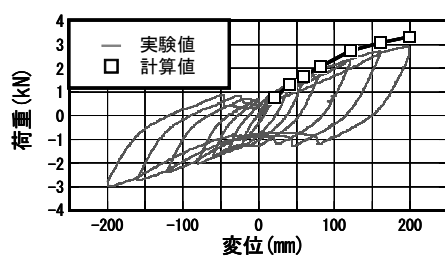


図-14 ダンパーの荷重-変位曲線



斜材無 ダンパー有
図-15 実験値と計算値