

大規模中層木造建築に用いる制振システムの開発

Development of a Vibration Control System to be used for Large-Scale Medium-Rise Wooden Building

川瀬 晶子^{*1}
Shouko Kawase

久保田 雅春^{*1}
Masaharu Kubota

佐藤 匠^{*1}
Takumi Satou

津之下 睦^{*2}
Atsushi Tsunoshita

鈴木 公平^{*2}
Kohei Suzuki

竹内 章博^{*3}
Akihiro Takeuchi

宮田 雄二郎^{*4}
Yujiro Miyata

【要旨】

2010年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が制定されて以降、建築分野における木材の利用が官民を挙げて推進されている。一方、日本の各地で大地震による被害が発生したことで建築物の耐震性能への関心が高まっており、木造建築物においても高い制振性能を要求されるケースが増加している。しかし、木造建築の制振システムは、戸建て住宅など小規模建築を対象としたものが主であり、今後需要の拡大が期待される大規模中層建築を対象としたものは少ない。そこで、筆者らは大規模中層木造建築を対象として制振システムの開発を進め、性能確認実験により初期剛性および短期許容せん断耐力を評価した。本報では、制振システムと加力実験の概要、初期剛性および短期許容せん断耐力の評価結果について報告する。

【キーワード】 パネルダンパー CLT 片持ち壁型 大規模中層木造建築 面内せん断試験

1. はじめに

近年、脱炭素社会の実現に向けて建築分野における木材の利用が推進されている。2010年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」制定されるなど法整備が進み、民間の取り組みも加速している。2021年には、対象を建築物一般に拡大した「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行された。

一方、日本の各地で大地震による被害が発生したことで建築物の耐震性能への関心が高まっており、木造建築物においても高い制振性能を要求されるケースが増加している。しかし、木造建築の制振システムは、戸建て住宅など小規模建築を対象としたものが主であり、今後需要の拡大が期待される大規模中層建築を対象としたものは少ない。そこで、筆者らは大規模中層木造建築を対象として制振システムの開発を進め、性能確認実験により初期剛性および短期許容せん断耐力を評価した。

2. 制振システムの概要

制振システムの外観を写真-1、概要を図-1に示す。本制振システムは、軸組内部に設置したパネルダンパー、支持部材および接合部材により構成される。



写真-1 制震システムの外観

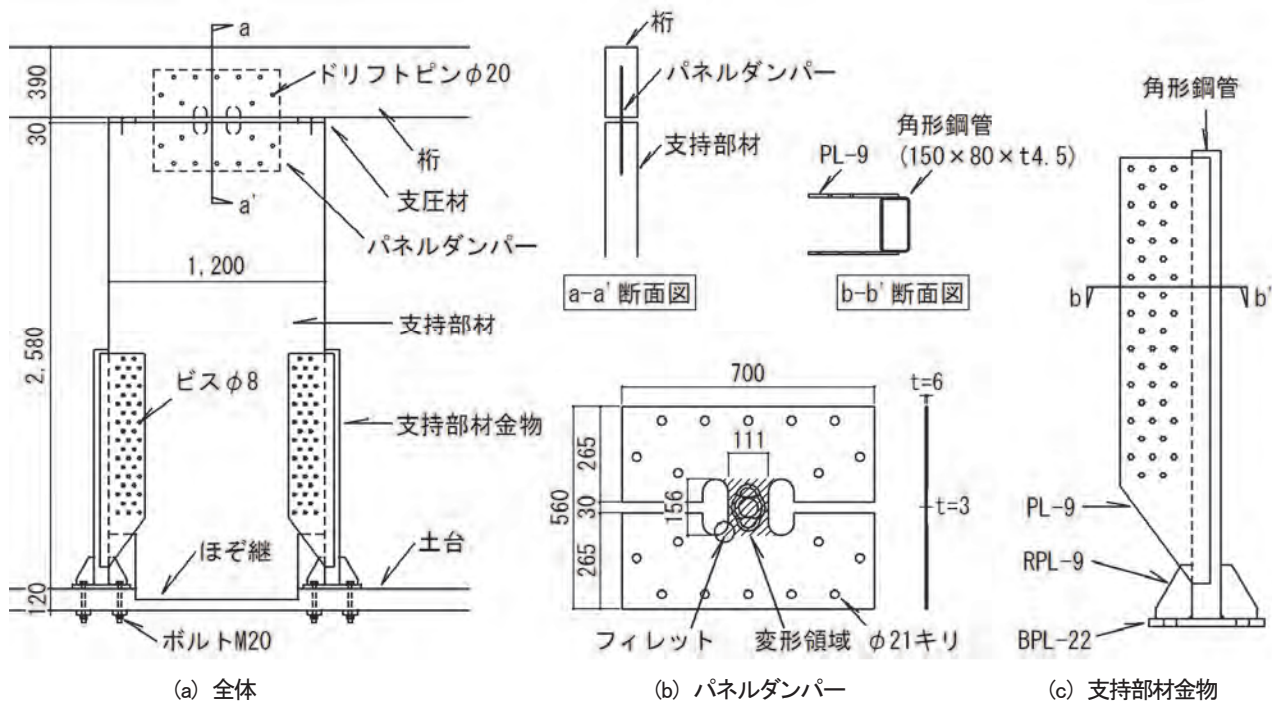


図-1 制震システムの概要

パネルダンパーは、建築構造用低降伏点鋼材LY225を使用した厚さ6mmの一枚板とし、図-1(b)に示すように、変形領域中央の両面に凹面状の切削加工を施すことで、応力およびひずみがフィレット部に集中するのを緩和させる。

支持部材頭部および桁には切り込みを設け、その内部にパネルダンパーを挿入し、ドリフトピンで固定している。支持部材および桁の内部にパネルダンパーを挿入し、パネルダンパーの面外変形や座屈を拘束することで、繰り返し変形に対するパネルダンパーの耐久性の向上を図っている。

支持部材と桁の間には30mmの隙間を設け、圧縮力伝達のために支圧材を挟み、支圧材は支持部材にのみ固定している。桁の水平移動を阻害しないよう、支圧材上面と、加力時に支圧材に接する範囲の桁下面にフッ素樹脂(PTFE)テープを貼っている。

支持部材には耐力・剛性の高いCLTを用いる。支持部材脚部と土台は、ほぞ継ぎおよび図-1(c)に示す支持部材金物によりに接合している。支持部材に生じるせん断力はほぞ継ぎを介して、脚部の曲げモーメントは支持部材金物を介して、それぞれ土台に伝達させる。

一般的な間柱型のダンパーは、上下に分割した支持部材の間にダンパーを設置することが多く、支持部材と上下の横架材の間でそれぞれ接続用の金物が必要となるが、本制震システムでは、パネルダンパーを支持部材と桁の間に設置することで、接続用の金物を減らし、コストの削減と施工性の向上を図っている。

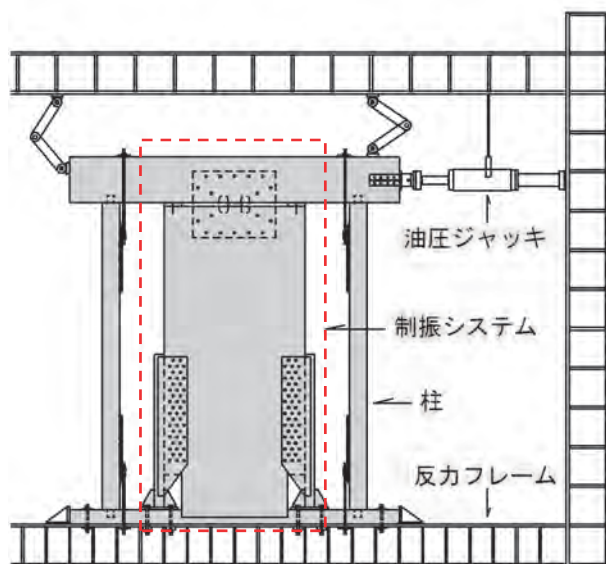


図-2 加力装置の概要

3. 性能確認実験

3.1 実験概要

制振システムの初期剛性および短期許容せん断耐力を評価するために、性能確認実験を行った。加力装置の概要を図-2に示す。実験は、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」¹⁾に示される鉛直構面の試験方法に準じて、無載荷式の面内せん断試験装置により行った。支持部材の左右にある柱は、水平加力時の桁の浮き上がりを抑えるために設置したものである。柱頭および柱脚の接合部は、回転剛性が制振システムの水平剛性と比べて極めて小さくなるよう設計した。

加力方法は、油圧ジャッキによる正負交番繰り返し加力とし、加力治具を介して桁に水平力を与えた。加力の

表-1 各部材の諸元

支持部材	等級	CLT S60-5-5 (異等級構成 A種)		
	樹種	スギ		
	形状	せい (h)=1200mm, 幅 (b)=150mm		
支圧材	等級	同一等級構成集成材 E105-F345		
	樹種	オウシュウアカマツ		
	形状	h=150mm, b=150mm		
柱	等級	同一等級構成集成材 E105-F345		
	樹種	オウシュウアカマツ		
	形状	h=150mm, b=150mm		
桁	等級	対称異等級構成集成材 E105-F300		
	樹種	オウシュウアカマツ		
	形状	h=390mm, b=150mm		
土台	等級	対称異等級構成集成材 E105-F300		
	樹種	オウシュウアカマツ		
	形状	h=120mm, b=150mm		
支持部材金物	角形鋼管	鋼種	STKR400	形状は図-1参照
	BPL	鋼種	SN490B	
	PL, RPL	鋼種	SS400	
	パネルダンパー	鋼種	LY225	

制御は層間変形角で行い、1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50rad.を正負3回ずつ繰り返した。ここで、層間変形角は、桁材の水平変位と土台の水平変位の差を試験体高さで除した値と定義する。

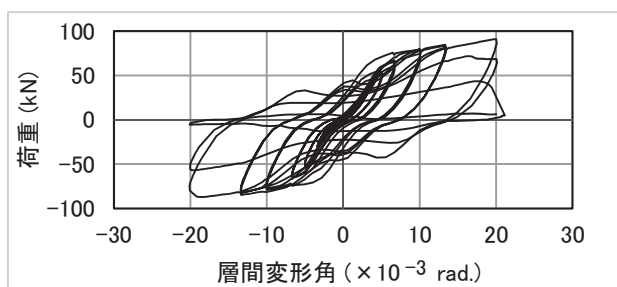
各部材の材種および形状などの諸元を表-1に示す。材料や施工のばらつき等を考慮するために、同じ仕様の試験体を3体作成した。それぞれの試験体をNo.1, No.2, No.3と称す。

3.2 実験結果

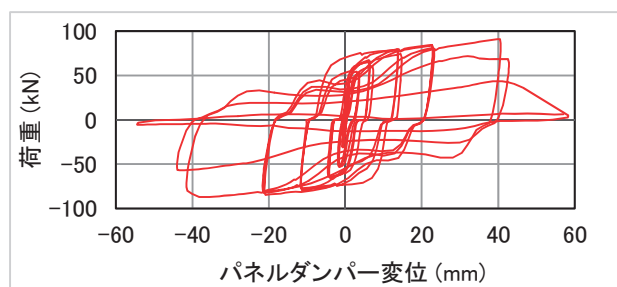
(1) 荷重 - 変形関係

各試験体の荷重 - 層間変形角関係を図-3, 荷重 - パネルダンパー変位関係を図-4に示す。ここで、桁と支持部材の水平方向の相対変位を、パネルダンパー変位と定義する。パネルダンパー変位には、パネルダンパーに生じる変形の他に、桁材および支持部材とパネルダンパーの接合部における変形も含まれる。

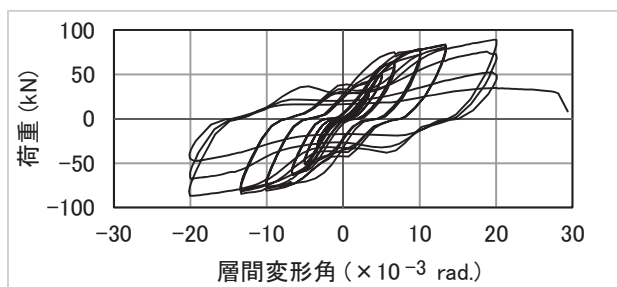
図-3より、架構の履歴特性は層間変形角 1/100rad.までは概ね正負対称な紡錘型となり、一般的な木造耐力壁架構に多く見られるスリップ特性が改善されたことを確



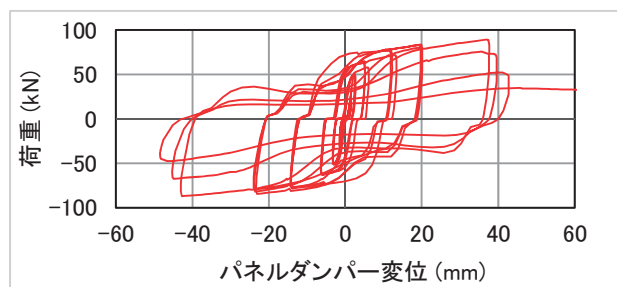
(a) No.1



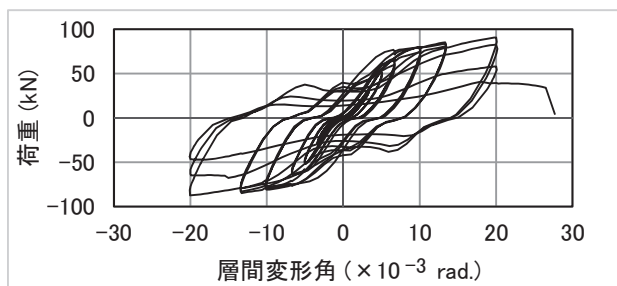
(a) No.1



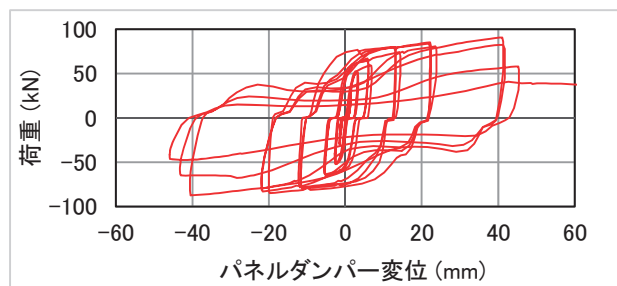
(b) No.2



(b) No.2



(c) No.3



(c) No.3

図-3 荷重 - 層間変形角関係

図-4 荷重 - パネルダンパー変形関係

認した。層間変形角 1/75rad.の負側 1 回目以降の履歴曲線では、荷重が一度低下してから再度上昇する現象が見られた。これは、桁材の鉛直変位を拘束したことで、水平変形により生じたパネルダンパーの伸びが除荷、再載荷時に面外へ逃げたことが要因と考えられる。層間変形角 1/50rad.~1/32rad.において、パネルダンパーのフィレット部に生じた亀裂が進展し、破断に至った。最大荷重は、89.3kN~91.0kN であった。パネルダンパーの破断による荷重低下を除き、全ての試験体において履歴曲線に大きな差異はなかった。

なお、図-4 において、荷重 0kN 付近でパネルダンパー変位に 2mm 程度のスリップが見られるが、これはドリフトピンの径に対してパネルダンパーの上部および下部に設けた孔径が 1mm 大きいことが理由である。

(2) 初期剛性および短期許容せん断耐力

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」¹⁾に準拠して、図-3 に示した各試験体の荷重 - 層間変形角曲線の包絡線から初期剛性 (K) および短期許容せん断耐力 (Pa) を評価した。K は包絡線から作成した完全弾塑性モデルの一次剛性の平均値とし、Pa は短期基準せん断耐力 (P_0) に低減係数 (α) を乗じた値とする。 α は制振システムの用途に伴う影響、耐久性の影響、施工性の影響、その他工学的判断を考慮して算出した値とする。

P_0 は下記の①~④の荷重に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち最も小さい値とする。①~④の荷重は、各試験体の平均値を採用する。

- ① 降伏耐力
- ② 終局耐力に 0.2/Ds を乗じた値
- ③ 最大荷重 (P_{max}) の 2/3
- ④ 層間変形角 1/120rad.時の耐力

ここで、降伏耐力は包絡線上の 0.1 P_{max} と 0.4 P_{max} を結ぶ直線と、0.4 P_{max} と 0.9 P_{max} を結ぶ直線を包絡線に接するまで平行移動した直線の交点の荷重とする。終局耐力は完全弾塑性モデルの折れ点荷重とする。

表-2 初期剛性および短期許容せん断耐力の計算値

試験体	初期剛性 K (kN/rad)	荷重			
		① (kN)	② (kN)	③ (kN)	④ (kN)
No.1	11749	52.40	35.20	60.69	67.57
No.2	10107	50.23	31.84	59.51	65.35
No.3	10842	50.20	33.45	60.29	67.18
平均値	10899	50.94	33.49	60.16	66.70
ばらつき係数		0.988	0.976	0.995	0.991
平均値とばらつき係数の積		50.32	32.68	59.85	66.09
P_0		32.68			
α		0.95			
P_a		31.0			

各試験体の K および P_a の計算値を表-2 に示す。荷重②の平均値とばらつき係数の積が最小値となったことから、 P_0 は 32.68kN とした。 α は、施工性の影響による低減を考慮して 0.95 とした。 P_a は 32.68kN に 0.95 を乗じて 31.0kN と評価した。K および P_a を評価したことで、本制震システムの許容応力度設計 (構造計算ルート 2) への適用が可能となった。

4. まとめ

性能確認実験の結果に基づき、本制震システムの K を 10899kN/rad., P_a を 31.0kN とし、(株)コンステック、西松建設(株)と共同で第三者機関による評価を取得した。これにより許容応力度設計への適用が可能となった。今後は、本制震システムの製品化、展開に向けた取り組みを行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計, pp. 565-574, 2017

Summary Since the Law concerning the Promotion of the Utilization of Timber in Public Buildings was enacted in 2010, the utilization of timber in the architecture field is promoted by both the public and private sectors. On the other hand, the interest in earthquake performance of buildings is growing because of the generation of damage by large earthquakes all over Japan, and cases where a high vibration control system is required for even wooden buildings are increasing. However, the target of the vibration control system for wooden buildings is mainly small-scale buildings, such as detached houses, and the system for large-scale medium-rise buildings where demand is expected to be enlarged in the future is rare. Therefore, we proceeded with the development of a vibration control system targeting large-scale medium-rise buildings and evaluated initial rigidity and short-term allowable shear yield strength by conducting performance verification experiments. This paper reports the outline of a vibration control system and pressing experiments, as well as the evaluation results of initial rigidity and short-term allowable shear yield strength.

Key Words : Panel Damper; Cross Laminated Timber; Cantilever Wall Type, Large-scale Medium-rise Wooden Building, In-Plane Shear Test