

## 木造多層建物への次世代制震構造システムの有効性に関する研究

### Study on the Effectiveness of Next Generation Seismic Response Control System for Multi-Story Wooden Building

○吉原楽<sup>1</sup>, 北嶋圭二<sup>2</sup>

\*Gaku Yoshihara<sup>1</sup>, Keiji Kitajima<sup>2</sup>

Abstract: This study aims to verify the effectiveness of applying a next-generation damping structural system to multi-story wooden buildings. This system uses multi-story seismic walls and damping devices to control building damage. Since there is no need to create rigid joints at the column-beam connections, it is considered to overcome the challenges of wooden buildings. In conclusion, the application of this damping system to multi-story wooden buildings was shown to be effective.

#### 1. はじめに

本研究室では、次世代制震構造システム<sup>1)</sup>(以下、本構造システム)といった建物の背骨となるような連層耐震壁を有し、壁脚部に制震部材を集中配置する構造システムの研究を行っている。本構造システムは、連層耐震壁によって各層の変形を一様化し、脚部に設置した制震部材でエネルギー吸収を行う。そのため、RC造やS造の柱頭柱脚をピン接合としても、無損傷構造建物の損傷制御設計が可能であることが明らかになっている<sup>1)</sup>。一方、木造多層建物は、柱梁接合部を完全な剛接合に出来ないことが課題として挙げられている。そのため、木造多層建物に本構造システムを適用することで、接合部を必ずしも剛接合にする必要がないと考えた。これまでに解析では、その有効性を示すことが出来た。次に実験的に有効性を示すため、試験体を製作し振動台実験を行う。

そこで、本研究では試験体の構造性能を確認するた

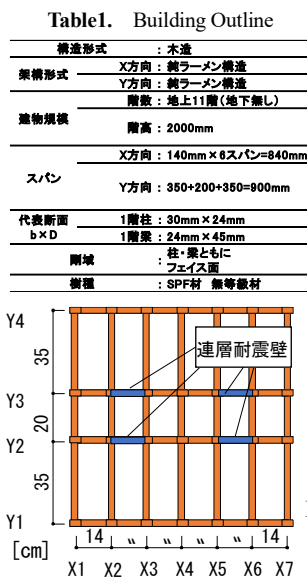


Fig.1 Standard floor plan

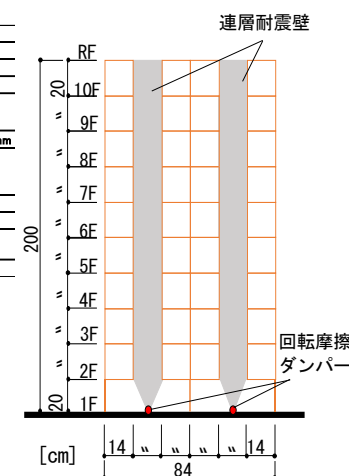


Fig.2 Pure Ramen Structure Abbreviated Axis Diagram

め、静的増分解析と時刻歴応答解析を実施する。

#### 2. 試験体概要

試験体は6×3スパンの階高0.2m、最高高さ2mの10層の木質構造試験体とする。木造多層建物の主架構では、LVL(構造用単板積層材)や構造用集成材等を用いられることが一般的であるが、本研究では接合部で先行して破壊が起きることを想定しているため、SPF材の構造用製材を用いて製作する。試験体概要をtable1に、連層耐震壁、回転摩擦ダンパー配置位置を示した略伏図と略軸組図をFig.1, Fig.2に示す。

X方向 Y方向ともに柱-梁の接合部では外端の柱から外端の柱まで全ねじボルトを通し、両端からナットを締めることで圧着接合としている。試験体は実在する純木造多層建物の概ね1/20スケールである。

#### 3. 解析概要

解析ソフトは、任意形状立体フレーム弾塑性解析プログラム[SNAP(Ver. 8)]を用いる。解析対象は、耐震壁方向のみとする。梁端部の回転剛性、降伏耐力および復元力特性はト形接合部実験の実験値を用いる。柱脚接合部の諸元は参考文献<sup>2)</sup>の推定式を準用し算出した。接合部モデルおよび各復元力特性をFig.3に示す。付加質量は、接合部の降伏耐力から層せん断力を算出し、層せん断力係数が0.4となるように設定した。結果、付加質量は2.1tと算出した。連層耐震壁は、壁エレメント置換とし、壁脚部は制震化前をピン支持、制震化後は回転摩擦ダンパーとした。

#### 4. 静的増分解析結果

##### 4.1 純ラーメン構造

純ラーメン構造試験体の層せん断力-層間変位関係をFig.4a)に示す。層間変形角が1/50radまで解析を行った結果、梁端部が先行して降伏した崩壊系となった。

### 4.2 制震化前(連層耐震壁のみ配置)

制震化前の層せん断力-層間変位関係を Fig.4b)に示す。主架構のヒンジは、試験体全体の梁端接合部が先行して降伏した後に、1階柱脚と最上階柱頭が降伏した。制震化前の静的増分解析結果を1自由度系に縮約した結果と、設計用応答スペクトルを合わせたものを Fig.5 に青線で示す。

### 5. 制震化の検討(回転摩擦ダンパーの検討)

制震化後の目標変形角を 1/150rad とし、Fig.5 中に橙色破線で示す。等価1自由度系の目標変位が 1.3cm であり、目標変形時等価周期と応答スペクトルの交点(応答値)が 4.2cm である。よって、試験体に必要な減衰量は 31% であり、構造減衰 3% を除くと、ダンパーによる付加減衰量は 28% となる。式(1)の水平力の比( $Q_d/Q_f$ )を、モーメントの比(式(2))に変換し、ダンパー負担モーメント  $M_d$  を算定する<sup>1)</sup>。なお、式(2)中の主架構負担モーメント  $M_f$  は式(3)を用いて算出する。ダンパー塑性率  $\mu$  は 8 と設定した。一箇所あたりのダンパー負担モーメント(降伏モーメント)は 1.96kNm となり、降伏回転角(目標変形時の連層耐震壁回転角/塑性率  $\mu$ )は 1/1200rad となった。また、降伏モーメントと降伏回転角の関係から、必要な回転剛性は 2,330kNm/rad と算出された。ダンパーの復元力特性を Fig.6 に示す。

制震化後の層せん断力-層間変位関係を Fig.4c)に、制震化後の静的増分解析を 1 自由度に縮約した結果を Fig.5 中に赤線で示す。損傷限界時周期は 0.23sec であ

り、安全限界時周期は 0.36sec であった。

### 6. 時刻歴応答解析結果

時刻歴応答解析での減衰は瞬間剛性比例型で 3% とした。入力地震動は最大地動速度 50cm/sec に基準化した観測波 3 波(1940 ELCENTRO-NS, 1952 TAFT-EW, 1968 HACHINOHE-NS)と日本建築センター模擬波(BCJ-L2)の計 4 波とした。なお、時間軸は相似則<sup>3)</sup>により  $1/\sqrt{20}$  倍とした。Fig.7 に時刻歴応答解析結果を示す。

### 7. まとめ

以上、試験体の構造性能を確認するため、解析を行った結果、以下の知見を得た。

試験体に本構造システムを適用し、時刻歴応答解析を行った結果、各層の変形が一樣になり、応答値は目標変形角以内に収まっていることを確認した。

$$h_d = 0.8 \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \frac{Q_d}{Q_f} \quad (1)$$

$$h_d = 0.8 \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \frac{M_d}{M_f} \quad (2)$$

$$M_f = S_a \cdot M_{eq} \cdot H_{eq} \quad (3)$$

$h_d$ :ダンパー減衰定数  
 $Q_d$ :ダンパー負担せん断力  
 $Q_f$ :主架構負担せん断力  $\mu$ :ダンパー塑性率  
 $M_d$ :ダンパー負担モーメント  
 $M_f$ :主架構負担モーメント  
 $H_{eq}$ :等価高さ(2000mm)  
 $S_a$ :目標変形時応答加速度(3.07m/sec<sup>2</sup>)  
 $M_{eq}$ :等価質量(2.1t)

### 8. 参考文献

- 北嶋ほか:「超弾性十要素部材を組み込んだ次世代制震構造システムの研究開発(その17,18)」,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.979-982, 2007-2012
- 井上ほか:「中大規模木造に用いる柱脚接合システム(その3)」,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.411-412, 2018.
- 小野ほか:「多入力地震波を受ける構造物の応答特性について(その18)」,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.675-676, 1987.

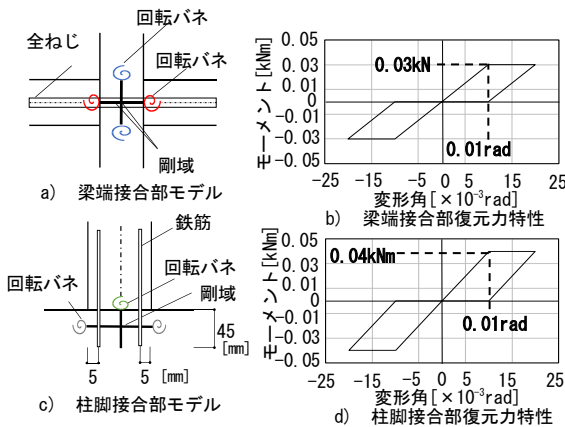


Fig.3 Junction Model

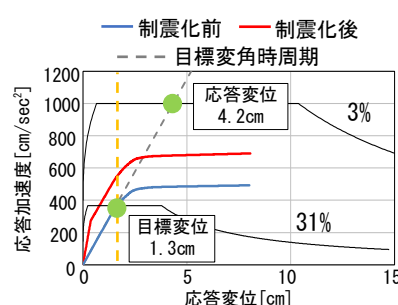


Fig.5 Structural characteristic curves for equivalent 1-DOF systems

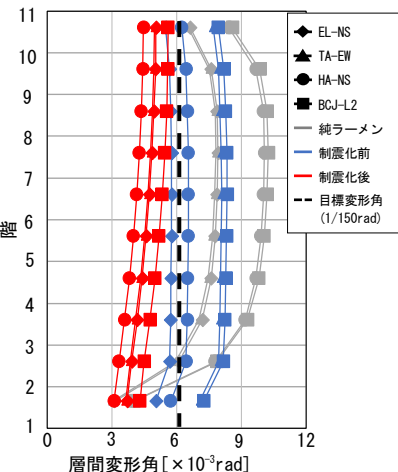


Fig.7 Time history response analysis results

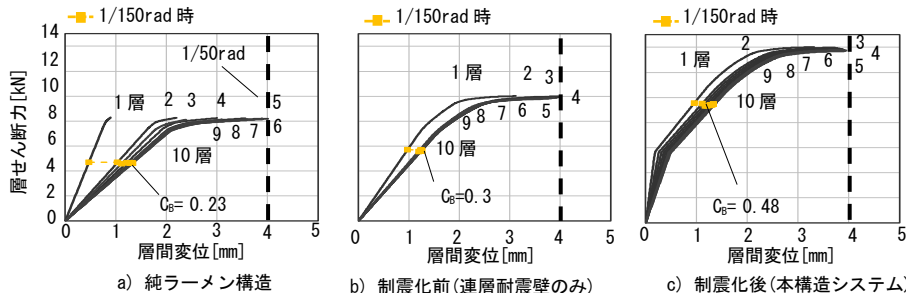


Fig.4 Layer shear force - Interlaminar displacement relationship

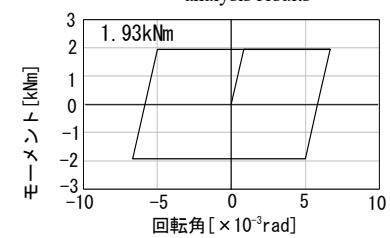


Fig.6 Damper resilience characteristics