制振技術を用いた多層木質ラーメン構造に関する研究 -部材断面の縮小化と応答低減効果の検討-

A Study on Multi-story Timber Frame Structure Using Passive Control Technology -Study of Reduction of Member Cross-sections and Response Reduction Effect-

> 〇内藤隼汰¹, 高橋孝二² *Hayata Naito¹, Koji Takahashi²

When multi-story timber frame structure is designed as seismic resistant structure, the member sizes and joint cross-sections become unrealistic. In this study, we designed multi-story timber frame structure as seismic response control structure and verified its effect. As a result, it is confirmed that the member cross-sections are reduced and the seismic response is also reduced.

1. はじめに

近年,木造建築の多層化が進んでいる.多層建築物の用途の一つとして事務所ビルが挙げられ,空間の自由度の高い木質ラーメン構造の需要が高まっている. 筆者らは,既報^[1]で10階建ての事務所ビルを想定した Ds=0.3 及び0.4 となる多層木質ラーメン構造の試設計 を行った.しかし,その際の部材サイズは非現実的な ものとなり,接合部についても,期待する性能を発揮 する前に木材が割裂破壊してしまうことが予想される 断面となった.

そこで本研究では、制振技術による応答低減を前提 として、既報^[1]の建物を再設計し、部材サイズや接合部 断面を現実的なものに近づける.そして、制振ダンパ ーの配置や諸元を検討し、時刻歴応答解析により、制 振による応答低減効果を確認する.

2. 建物および解析モデル概要

解析対象建物は 3×3 スパン, 10 階建て純ラーメン構 造の事務所である. Fig. 1 に建物の軸組図, Fig. 2 に小 梁を含む梁伏図を示す. 使用材料は対称異等級構成集 成材のからまつ E105-F300 とし,床材は CLT パネル (t=150mm)とする.

Fig.3 に解析モデルの概念図を示す. 接合部には LSB 接合を用いる. 柱梁接合部は,梁木口から柱心までを 剛域とし,梁木口部分に接合部と等価な回転バネを配置する. 柱脚接合部も同様にモデル化し,一階柱脚の

みに回転バネを配置している. 柱梁接合部の回転剛性・ 降伏耐力は,木質構造接合部設計マニュアル^[2]を参照 して算出する. 柱脚接合部の回転剛性・降伏耐力は, 田中らの研究^[3]の手法を用いて算出する.

3. 主架構の設計

主架構は、制振ダンパーによる応答低減を見込んで 設計することにより、部材断面の縮小化や接合部の要 求性能の低減を図る.そのため、保有水平耐力計算の 際のDsが0.2程度となるように部材や接合部を設計し た.許容応力度計算においては、検定比は1.0以下だ が、層間変形角が1/200を超える層が存在する.Ds=0.2 とした保有水平耐力計算のQu/Qunの値は、X方向で 1.29、Y方向で1.25となっている.

Fig. 4 に柱梁接合部断面, Fig. 5 に柱脚接合部断面の 既報^{III}における Ds=0.3 のモデルとの比較を示す.部材 サイズに関しては,梁幅が 100mm,柱せいが 150mm 小 さくなった.一般に流通している断面サイズではない ものの,現実的なサイズに近づけることができたと考 えられる.接合部断面に関しては,柱梁接合部・柱脚 接合部ともに LSB の径が 5mm 小さくなり,柱梁接合 部においては LSB の本数も少なくすることができた. これにより,端距離,縁距離,LSB 間隔を LSB 径の 2 倍(70mm)以上取ることができるようになり,木材の割 裂破壊が起きにくい断面になったと推定される.



1:日大理工・院(前)・海建 2:日大理工・教員・海建

4. 制振ダンパーの検討

ダンパーの取り付け方法はブレース型とし、柱梁交 点を狙い点として入力する.ダンパーの種類は、小変 形時から減衰性能を発揮することができるという特徴 があるオイルダンパーを採用する.X 方向加力のみを 検討対象とし、Fig.6に示すように、外部に面しない2 構面の全層にダンパーを均等配置する計画とする.

木質構造は接合部の耐力が得られにくいため,設置 できるのは低荷重のダンパーに限られる.そこで,今 回の検討では,リリーフ荷重が 200kN のものを使用す る. Table 1 にダンパー諸元を示す.ダンパー諸元は, パネルディスカッション資料⁽⁴⁾を参照した.配置した ダンパーの減衰力の各層ごとの合計は、増分解析にお ける 1/50rad 時の 1 層部分の層せん断力の 1 割程度と なっている.

5. 時刻歴応答解析概要

ダンパーなしのモデル(非制振モデル)とダンパーあ りのモデル(制振モデル)に対して時刻歴応答解析を行 う.解析プログラムには「SNAP Ver.8」を使用し,振動 系モデルは立体フレームモデルとする.解析手法は直 接積分法の Newmark-β 法(β=0.25)を用い,積分時間間 隔を 1/1000 秒とする.入力地震波は標準 3 波であり, 加振時間を 50 秒とする.各地震波の地動最大速度を 25cm/s(レベル 1),50cm/s(レベル 2)に基準化したもの で,X方向から一方向加振を行う.Fig.7に入力地震波 (レベル 2)の加速度応答スペクトルを示す.点線で Ds=0.2,Ds=0.3のモデルの固有周期を示している.

建物モデルの内部減衰は瞬間剛性比例型,初期減衰 定数は3%とする.部材は弾性とし,接合部の復元力特 性はスリップバイリニア型とする.Table2に接合部の 回転剛性・降伏耐力を示す.オイルダンパーはMaxwell モデルとし,減衰力特性はバイリニア型とする.





Table 1. Performance of the damper

最大 減衰力 (kN)	リリーラ 減衰力 (kN)	最大速度 (mm/s)	リリーフ 速度 (mm/s)
250	200	150	32
ストローク (mm)	 一次減衰 係数 (kN・s/mm) 	二次減衰 係数 (kN・s/mm)	本体剛性 (kN/mm)
160	6.25	0.424	110



rig. 7. Acceleration response speet

Table 2. Rotational stiffness and vield strength

yleid su'eligui				
	LSB本数	回転剛性	降伏耐力	
	(上端/下端)	(kN · m/rad)	(kN • m)	
柱梁(1~4F)	10/10	348,074	577.2	
柱梁(5~8F)	9/9	238,569	451.8	
柱梁(9~RF)	7/7	142,870	314.5	
柱脚(1F)	20	102,478	513.4	

6. 解析結果

解析結果より、制振による応答低減効果を確認する.

Fig. 8 に各モデルの最大層間変形角の分布を示す. Ds=0.3 モデルと非制振モデルを比べると, 主架構の断面を縮小した影響で応答が増大している. 非制振モデルと制振モデルを比べると, ダンパーの付加により応答が低減しており, レベル 2 応答も一般的な制限値の1/100以下に収まっている. また、地震波ごとの応答値のばらつきが少なくなっていることも分かる.

Fig.9にTAFT(レベル2)のエネルギー時刻歴を示す. 非制振モデルではひずみエネルギーと内部減衰エネル ギーで5割程度ずつ入力エネルギーを吸収している. 一方,制振モデルでは入力のほとんどをダンパーの減 衰エネルギーにより吸収しており,ひずみエネルギー の吸収量が小さくなっている.オイルダンパーの減衰 エネルギーが付加されることにより,主架構のエネル ギー負担が軽減されていることが分かる.

7. まとめ

今回の検討により,多層木質ラーメン構造に制振技 術を用いることで,部材断面の縮小化や地震応答低減 の効果があることが確認できた.ダンパー取付剛性が 応答に及ぼす影響や,必要ダンパー量を算定すること による適切なダンパー配置などの検討は今回行えてい ないため、今後の課題とする.

8. 参考文献

 [1] 内藤,高橋:多層木質ラーメン構造の応答性状に関する研究(その 1~2),日本建築学会 大会学術講演梗概集,pp.497-500,2023.7
 [2] 日本建築学会:木質構造接合部設計マニュアル,pp.138-146

[3] 田中, 植月ほか: 中層大規模 木造に用いる住脚後合システムの開発(その 3~4), 日本建 築学会大会学術講演梗概集, pp.411-414, 2018.7

[4] 大原, 寺村:制振技術を用いた高層木質構造の試設計と課題, 日本建築学会大会 構造(木 質構造) パネルディスカッション資料, pp.50-62, 2023.9

