

令和 6 年度 【 学園研究費助成金＜ A ＞ 】 研究成果報告書

学部名 生活科学部

フリガナ シス ヒデマル
氏 名 清水 秀丸

研究期間 令和 6 年度

研究課題名 木質材料を用いたサステナブルな中層木造ビルの開発に関する研究

研究組織

	氏 名	学 部	職 位
研究代表者	清水 秀丸	生活科学部	講師
研究分担者			
研究分担者			
研究分担者			
研究分担者			

研究要旨

本研究は、建設業界において地球環境保護と持続的成長の両立が可能と着目されている木質材料を用いた中層ビル用の耐力壁開発を目的として実験および解析を実施した。

木材とは、再生産可能な循環型の建築材料として注目が集まっており、海外では高さ 80m を超える超高層ビルが建設されるなど、その建設棟数は増える一方である。我が国では、地震などの自然災害にも耐えられる、安全・安心な木造ビルとする機構が必要であり、建設棟数はまだ多くない。本研究では主に、都市部に多い中層ビルに着目し、主要構造部に木材を用いた場合の耐震安全性を確保できる耐力壁 3 種類（GIR 試験体、タイロッド試験体、ハイブリッド試験体）の実験と解析を行った。

実験的研究より、3 種類の耐力壁は高い耐震性能を持つことが確認され、GIR 試験体では初期剛性が高いこと、タイロッド試験体では靱性能が高いこと、ハイブリッド試験体では既存のドリフトピン接合と同程度の剛性・耐力が得られることが確認された。一方、GIR 試験体は柱-CLT 接合部、タイロッド試験体では初期剛性、ハイブリッド試験体では接合部の仕様を改良する必要があるなど新たな課題も判明した。

解析的研究では、各耐力壁の耐力発現機構のモデル化を行った。GIR 試験体では、数値解析ソフトを用いた耐力壁のモデル化を行った。タイロッド試験体では、既往文献より耐力壁の数値解析モデルを提案し、実験結果と初期剛性、降伏耐力がほぼ一致することを確認した。また、既存木造ビルに本耐力壁を用いた場合の建物の応答を数値解析ソフトより確認した。ハイブリッド試験体では、既往文献を応用することで接合部に用いた釘の初期剛性を面圧試験結果より求めた。

1. 本研究開始の背景や目的等 (600～800 字程度で記述)

世界的な気候変動である気温および気象パターンの長期的な変化は、もはや無視できないものとなり毎年、日本国内だけでなく世界中で暴風、豪雨、豪雪、洪水、高潮、その他の異常な自然現象によって生ずる災害が報道されている。これら気候変動は人間活動が引き起こしたといわれ、その主な原因は、化石燃料（石炭、石油、ガスなど）の燃焼による温室効果ガスの排出である。建築業界でも、地球温暖化に及ぼす影響がもっとも大きい温室効果ガスである二酸化炭素の排出削減が重要な取り組みの一つとなり、循環型資源である木材を多く用いることでこの問題を解決する取り組みが進められている。

国土面積に占める森林面積の割合（森林率）は約 67%と、先進国（OECD 諸国）の中ではフィンランド、スウェーデンについて世界 3 位と高い。木材は、森林を「伐って、使って、植えて、育てる」という計画的なサイクルとすることで二酸化炭素の排出削減に繋がることから、建築業界における木材利用が着実に進んでいる。しかしながら、低層の住宅における木造率は高いものの、非住宅分野や中高層建築物の木造率が、まだまだ低い。

本研究の目的は、木材による中高層建築物を建設するため現在研究を進めている 3 種類の CLT を用いた耐力壁の実験と解析を行い、実験より耐震性能の確認を、解析より耐力発現機構の解明することである。CLT とは、1990 年代に欧州で発展し、我が国でも 2016 年 4 月に CLT 関連の建築基準法告示が公布・施行された。CLT を用いた建築物は、その多くが低層もしくは高層であり、都市部に最も多い中層建物は少ない。

我が国でも、CLT を用いた木造建築物も建設され始めてはいるが、それらは建設費用が高いため補助金などによる財源に頼っているのが現状であり、この点が普及の妨げとなっている。また、建設方法もあまり提案されていないなど選択肢が少ないこともコスト上昇の背景にある。そこで本研究では、建築現場での施工性を重視した耐力壁（GIR 試験体）、タイロッドを用いて靱性能を重視した耐力壁（タイロッド試験体）、鉄骨フレームに CLT を挿入し、鋼板貫通釘で結合する耐力壁（ハイブリット試験体）の 3 種類の CLT を用いた耐力壁の提案・実験・解析を行う。

2. 研究の推進方策 (400 字程度で記述)

木質材料を用いた中層建築物での使用を想定した耐力壁 3 種類の実験・解析を実施する。本研究では、軽いため高い施工性が確保できる 36～72mm 厚の CLT（以下、薄型 CLT）を活用し、具体的には以下の 2 課題を対象とした研究を実施する。

・事前事後解析

実大実験の実施に先立ち解析モデルを作成し、数値解析プログラムなどを用いた構造解析を実施する。解析より、部材の断面寸法や接合部の必要耐力を明らかとし、試験体の設計に活用する。また、実験後には解析モデルの再構築を行い、実験結果をより高精度に追従できるように改良する。

・静的載荷実験

事前解析を用いて設計した試験体が想定通りの耐震性能となるのか検証するため、県外の実験施設による静的載荷実験を各試験体で実施する。3 種類の耐力壁の実験を行うことで、各仕様の構造的な特徴や施工手間の確認、事前解析だけでは判明しない耐力壁の破壊性状の把握などを行い、実験後には解析モデルの修正を行う。

3. 研究成果 (1000 字以上で記述)

・ GIR 試験体

接着剤による GIR 接合を用いた CLT 耐力壁の静的載荷実験と解析を実施した。試験体数は、設計で用いる際のなるばらつきを考慮した構造特性値が得られるよう 3 体とした。実験は柱脚固定式で実施し、積荷履歴は $1/50\text{rad}$ まで正負交番 3 回繰り返し、 $1/30\text{rad}$ は正負交番 1 回繰り返し加力の後、引ききるとした。実験より、試験体は $1/100\text{rad}$ を超えるまで弾力的な挙動を示し、特定変形時耐力($1/120\text{rad}$ 時)で 40kN を超える高い耐震性能を示した。しかしながら、 $1/50\text{rad}$ 付近で柱・CLT 接合部の木材割裂、GIR 接合部の木材割裂が発生するなど、木材の損傷によって実験を終了した。実験よりばらつきを考慮した短期基準せん断耐力は 19.43kN (壁倍率 10.89)であることを確認した。

数値解析ソフトを用いた GIR 試験体の解析では、木材のめり込みを適切に考慮することで初期剛性が実験値とよく一致することを確認した。

・ タイロッド試験体

タイロッドを用いた CLT 耐力壁の静的載荷実験と解析モデルの構築、数値解析ソフトによる実建物の解析を実施した。試験体数は 3 体とした。試験体の損傷はまずタイロッドの伸びが見られ、次に耐力壁全体の剛体回転に伴う柱梁接合部のめり込み変形が顕著であった。最大変形時には柱脚接合部の土台へのめり込み、柱頭部では梁の損傷、タイロッドの座屈が見られた。3 体の試験体はばらつきが小さく、ばらつきを考慮した短期基準せん断耐力は 26.42kN (壁倍率 14.81)であった。

次に耐力壁の解析モデルを構築した。弾性領域では、①耐力壁の剛体回転、②耐力壁の曲げ変形、③耐力壁のせん断変形の足し合わせにより荷重変位関係が決まるとし、軸力から求まる中立位置に作用するモーメントより荷重変位関係を求めた。塑性化後は、中立軸位置は変化せず、剛体回転が進むと仮定した解析モデルを構築した。解析モデルと実験値は初期剛性、降伏耐力で良く一致し、最大耐力は安全側の評価となった。最後に、3 階建て木質構造ビルの解析モデルより、タイロッドを用いた CLT 耐力壁の有用性を確認するプッシュオーバー解析を実施した。タイロッドを用いた CLT 耐力壁は初期剛性、最大耐力が低い、各層各方向とも高い靱性能を有していることを確認した。

・ ハイブリッド試験体

CLT 耐力壁を S フレームに鋼板貫通釘で固定した構面の耐震性能を確認するため、静的載荷実験を $1/2$ スケールで実施した。実験パラメータは CLT パネルの接合方法とした。1 体はドリフトピン接合、もう 1 体は鋼板貫通釘(片面打ち)の 1 体ずつ、ドリフトピン試験体の CLT パネルは 72mm 厚 1 枚、鋼板貫通釘試験体は 36mm 厚 CLT を 2 枚重ねて用いる。接合部は CLT パネル上下 2 箇所、パネル端部 4 箇所の引張抵抗部である。載荷は大型の装置を用いた一定軸力を加えた状態で実施し、変位制御の正負交番 3 回繰り返し加力とした。実験はドリフトピン試験体で $1/50\text{rad}$ まで、鋼板貫通釘試験体は $1/66\text{rad}$ で終了した。鋼板貫通釘の損傷は引張抵抗部で見られ、要素実験と同様に釘が 2 面せん断となっていない。また、挿入鋼板($t2.3\text{mm}$)に座屈が生じる結果であった。鋼板貫通釘試験体の耐震性能は、ドリフトピン試験体と大きな違いがないことを確認した。

数値解析ソフトを用いたハイブリッド試験体の解析では、接合部の挙動を釘の面圧試験結果より求めた。

4. キーワード（本研究のキーワードを1項目以上8項目以内で記載）

①木質材料	②木造ビル	③耐力壁	④GIR
⑤タイロッド	⑥混構造	⑦耐震	⑧サステナブル

5. 主な発表論文等（公開した研究成果、今後の研究成果公開予定・方法等について記載すること。既に公開したものについては次の通り記載すること。著書は、著者名、書名、頁数、発行年月日、出版社名を記載。論文は、著書名、題名、掲載誌名、発行年、巻・号・頁を記載。学会発表は発表者名、発表標題、学会名、発表年月日を記載。著者名、発表者名が多い場合には主な者を記載し、他〇名等で省略可。発表数が多い場合には代表的なもののみ数件を記載。）

公開した研究成果

- ・水田 美波：タイロッドを用いた CLT 耐力壁の耐震性能評価に関する研究、椋山女学園大学生活科学部生活環境デザイン学科，卒業研究発表梗概集， pp.204-205, 2025.1.
- ・千賀友菜：CLT による鋼構造建築物の耐力壁開発に関する研究、椋山女学園大学生活科学部生活環境デザイン学科，卒業研究発表梗概集， pp.208-209, 2025.1.

今後の研究成果公開予定

- ・2025 年 9 月に開催が予定されている日本建築学会大会（九州）にて、ハイブリッド試験体の研究成果をまとめ、投稿を予定する。