

研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	鉄筋コンクリートラーメン造と CLT パネルをせん断壁として用いるハイブリッド構造に関する研究
研究者名※	アルワシャリ ハモード
所属組織※	岡山大学 学術研究院環境生命科学学域(工学部都市環境創成コース) 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2022 年度研究助成実施報告書

所属機関名 岡山大学
 申請者氏名 アルワジャリ ハモード

研究課題	鉄筋コンクリートラーメン造と CLT パネルをせん断壁として用いるハイブリッド構造に関する研究
<p>(概要)</p> <p>本研究の目的は、鉄筋コンクリート (RC) 造建物と木造 CLT 構造壁を組み合わせた構造壁の耐震性能を評価し、実用的な解析モデルを開発することである。具体的には、CLT 壁の圧縮ストラットの破壊モードに着目し、破壊メカニズムと期待耐震強度の評価、小試験体による実験、実用的な解析モデルの開発の 3 段階で研究を進めた。実験の結果、CLT の使用により RC フレームの横耐力が 2.3 倍向上することが示され、圧縮ストラットの破壊メカニズムが詳細に検討された。その結果に基づいて解析モデルを提案し、試験結果を再現する性能を証明した。今後の課題としては、実大試験体を用いたさらなる実証試験と、他の破壊メカニズムを取り入れた解析モデルの精度向上が挙げられる。本研究の成果は、鉄筋コンクリートおよび木質 CLT を用いた持続可能な建築技術の促進に貢献することが期待される。</p>	

1. 研究の目的
<p>2021 年 10 月より、「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推進に関する法律（通称：都市の木造化推進法）」が施行されており、公共建築物だけでなく建築物一般においても国産木材の利用の需要増加のために中大規模建築物に対して木質材料を用いることが求められている。木質材料に目を向けると、近年直交集成材（Cross Laminated Timber：以下 CLT）が有力な候補の一つとなっており、ここ 10 年で木造建築物に対する CLT の研究が大きく進展している。CLT は、木質材料でありながら、せん断剛性やせん断耐力、変形性能が高いという長所を持っている。鉄骨造における CLT 耐震壁の研究が進んでおり、最近では兵庫県林業会館や香南市庁舎のような鉄骨架構+CLT 耐震壁のハイブリッド構造の建築物が建設されている。しかし、鉄筋コンクリート（以下 RC）造の建物と CLT 耐震壁の組み合わせはまだ開発途上にあり、海外でも国連の持続可能な開発目標（SDGs）に貢献する環境配慮型構造として、RC 造と木造のハイブリッド構造が注目されている。この数年間でいくつかの研究や設計が進められているが、RC 架構+CLT 耐震壁のハイブリッド構造は破壊メカニズムが十分に解明されていないため、予期しない破壊メカニズムでの破壊を引き起こす可能性があるという課題がある。そのため、CLT はまだ現実的な普及が可能な代替案とはなっていない。本研究の目的は、RC + CLT 壁構造の耐震性能を評価し、実用的な解析モデルを開発することである。具体的には、RC + CLT 壁構造の破壊メカニズムを解明し、実験に基づいたデータを収集・分析することで、建築設計に役立つ解析モデルを提供することを目指している。</p>

2. 研究の経過

本研究は以下の3つの段階で進行しました：

研究項目(1)：1/3スケールの試験体を用いた実験

研究項目(2)：解析マクロモデルの検討

研究項目(3)：圧縮スラット破壊メカニズムによる耐震性能評価

上記の各項目の成果について、以下に簡単に説明する。

研究項目(1)：1/3スケールの試験体を用いた実験

CLT壁が内蔵されたRC架構は、RC柱曲げ・CLT接合部破壊、パンチングシア破壊、CLT壁の曲げ破壊、CLT壁のせん断破壊やCLT壁のスラット破壊の6種類の破壊モードを想定している。しかし、これらはいずれもRC架構とCLT壁のハイブリッド構造の破壊メカニズムおよびそれに応じる耐震性能評価が十分に行われず、CLT壁の圧縮スラットの形成メカニズムに関する定量的な評価も明確にされていない。そこで、本研究ではRC架構とCLT壁のハイブリッド構造の耐震性能の把握を主目的とし、図1に示すようにCLT耐震壁を内包するRC架構を模擬する1/3スケール縮小試験体の静的載荷実験を行った。また、本試験体は圧縮スラット機構による耐力評価を念頭に、CLT壁の対角方向に水平力に抵抗する圧縮スラットを形成するように設計した。RC架構とCLT壁のハイブリッド構造の破壊メカニズムを考察しつつ、デジタル画像相関法(DIC)やひずみゲージでCLT壁の主歪み分布に基づきその圧縮スラットの等価幅および水平耐力について検討を行った。

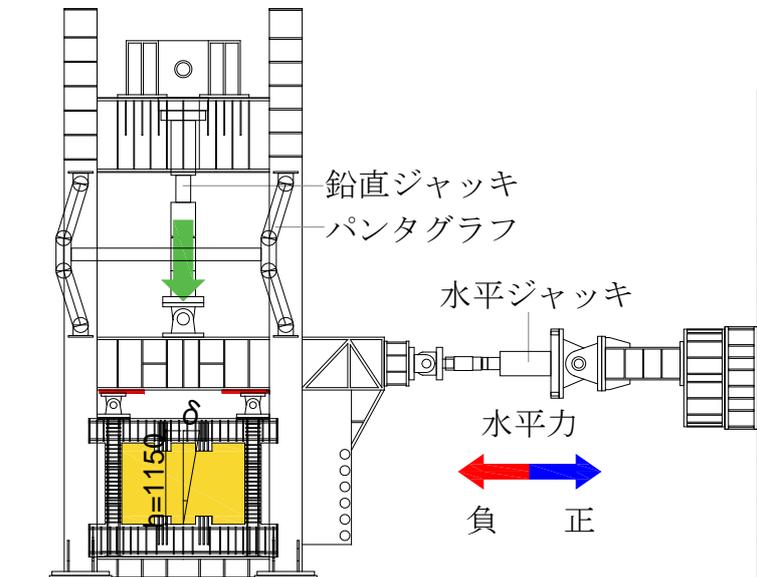


図1 試験体設置図

研究項目(2)：解析マクロモデルの検討

建築物の設計や提案手法の普及のためには、簡略化されたマクロモデルが重要である。そこで、項目(2)の目的は、項目1の実験結果を再現できる簡単なマクロモデルを検討することである。具体的には、図2に示すように、CLT壁を表現するマクロモデルとして、1ブレースモデルを適用し、CLTとのハイブリッド構造マクロモデルの設定や適合性を検討した。

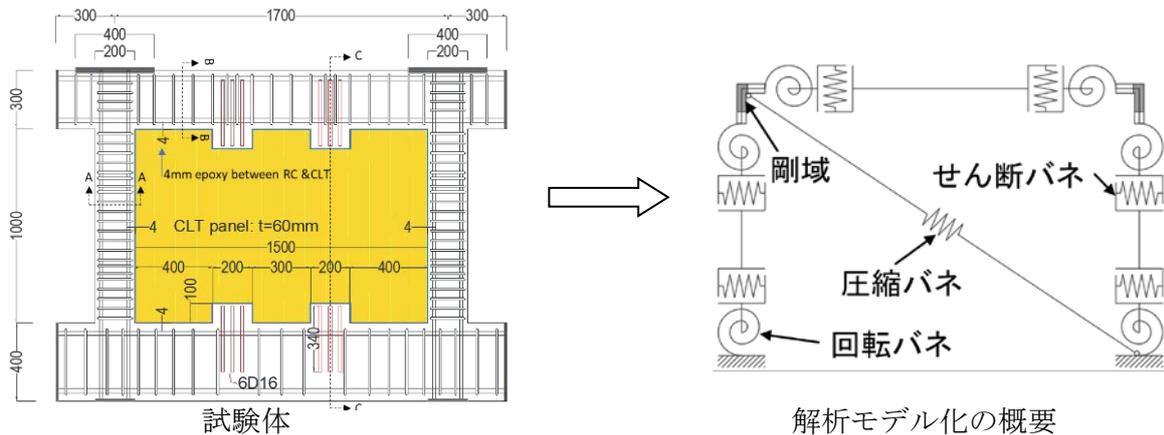


図2 本研究で検討した解析モデル

研究項目 (3) : 圧縮スラット破壊メカニズムによる耐震性能評価

本研究では、圧縮支柱の破損メカニズムについて検討し、この破損モードに対する評価手法を確立した。具体的には、ストラットの幅と角度を詳細に検討し、耐力評価法を提案した。

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

研究項目 (1) : 1/3 スケールの試験体を用いた実験

実験の結果、CLT 壁が RC フレームの横耐力を 2.3 倍向上させることができた。これにより、鉄筋コンクリート造のせん断壁として CLT 壁を使用することのメリットが実証された。CLT パネルのせん断強度は 2.94N/mm^2 で、CLT 設計マニュアルの推定値 2.7N/mm^2 より若干高いとわかった。

さらに、図 3 に示すように、特殊なカメラを用いて壁面のひずみ分布を解析するデジタル画像相関法 (DIC) という新しい技術を使って、試験から貴重なデータを収集した。この手法により、CLT 壁面の応力分布が大きい場所や弱点 (図 3 の赤色) を把握することができた。図-3 の DIC 計測結果より、CLT 壁の対角線上の最小主歪みが大きくなっている傾向を示しており、隅部の最小主歪みが特に大きく圧縮を受けることが確認できた。

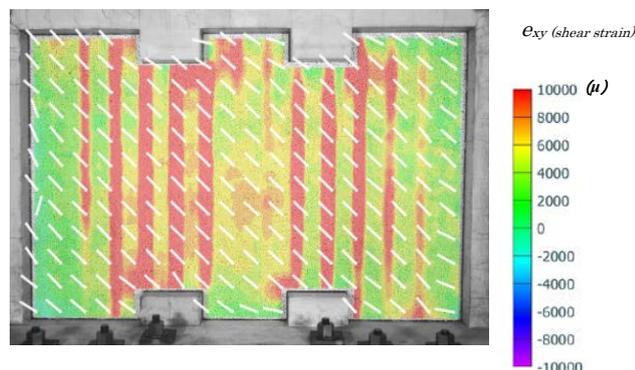


図 3. デジタル画像相関法を用いて測定した、階高+0.8%時のせん断ひずみと主応力方向

また、実験により、図 4 示すように、CLT 壁の圧縮主歪み分布を分析して、本実験結果において圧縮ストラット機構により CLT 壁の負担せん断力を定量的に評価することが可能であるとわかった。具体的に 3 軸歪みゲージおよび DIC の計測結果に基づき算定した CLT 壁の圧縮主歪み分布よ

り、壁体の圧縮主歪みは対角方向に最も卓越することが分かった。図4示すように、CLT 壁の圧縮主ひずみの分布に基づき、その圧縮ストラットの形成角度や等価幅などを定量的に把握し、圧縮ストラット機構により CLT 壁の水平耐力を評価することができた。

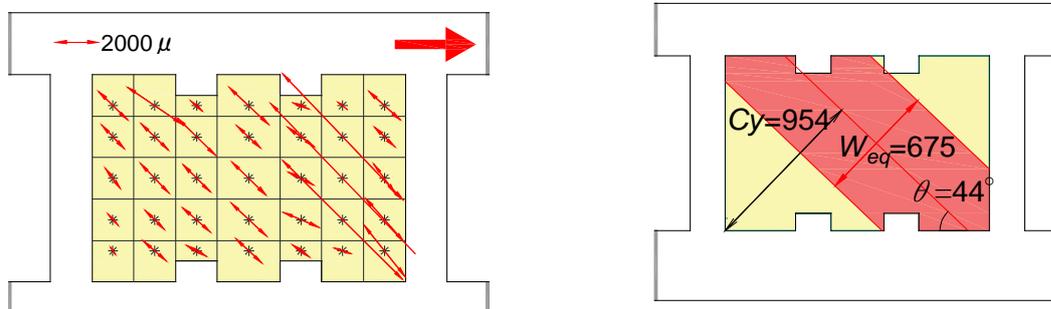


図-4 左図 CLT の圧縮ひずみ分布と角度 θ 、右図；圧縮ストラットの形成角度 θ 、等価幅 W_{eq}

研究項目 (2) : 解析マクロモデルの検討

本報では、CLT 壁を耐震壁として用いた RC 架構に関して、CLT 壁をブレースに置換したモデル化方法を提案し、解析結果と実験結果を再現した。図4に示すように、提案したモデルを用いた増分解析の結果、初期剛性、最大耐力は精度よく示すことができ、剛性も実験結果の傾向を概ね示すことを確認した。この結果から、実験の再現を想定したモデルを用いることで、十分に圧縮ストラット破壊メカニズムの構造性能を表すことができた。しかし、この解析モデルは圧縮支柱の破壊モードを考慮したものであるため、パンチングせん断やロッキング破壊など、他の破壊モードについても検討する必要がある点が課題として残っており、これが今後の研究の目的となる。

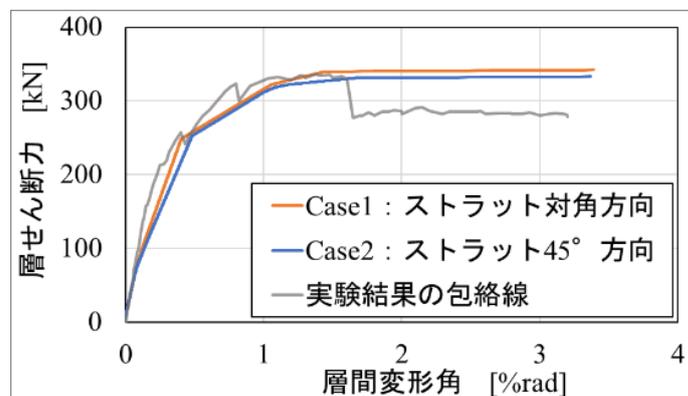


図4 解析モデル結果と実験結果の層せん断力の比較

研究項目 (3) : 圧縮ストラット破壊メカニズムによる耐震性能評価

CLT 壁の圧縮主ひずみの分布に基づき、その圧縮ストラットの形成角度や等価幅などを定量的に把握し、圧縮ストラット機構により CLT 壁の水平耐力を評価することができた。RC 架構と CLT 壁のハイブリッド構造の水平耐力の算定値は実験結果をやや過小評価し評価精度向上の余地があるもの、20%以内で安全側の評価となり、実験結果を概ね捉えることができた。今度は、RC コッターを設けてない試験体の載荷実験を加え、それが CLT 壁の破壊メカニズムに及ぼす影響について検討する予定である。

本研究課題による研究発表は以下の通りである。

- ① 隈川怜, アルワシャリ ハモード, 福本晃治, 山根雅由, 権淳日, 晋沂雄: CLT 耐震壁を有する RC ハイブリッド架構の耐震性能評価に関する研究第、16 回地震工学シンポジウム (16JEES) 2023 年 11 月
- ② アルワシャリ ハモード, 隈川怜, 福本晃治, 山根雅由, 権淳日, 晋沂雄: CLT と鉄筋コンクリートのハイブリッド構造システムに関する研究 その 1 : 実験計画・結果の概要、日本建築学会大会 学術講演梗概集、2023 年 9 月
- ③ 隈川怜, アルワシャリ ハモード, 福本晃治, 山根雅由, 権淳日, 晋沂雄: CLT と鉄筋コンクリートのハイブリッド構造システムに関する研究、その 2 実験結果と破壊メカニズムに関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、2023 年 9 月
- ④ 兼光来美, アルワシャリ ハモード, 権淳日, 晋沂雄: CLT 耐力壁を内蔵した RC 架構の耐震性能に関する実験的研究 2024 年 9 月コンクリート工学年次論文集 2022 年 6 月 (発表予定)
- ⑤ 兼光来美, 権淳日, 隈川怜, 吉田薫平, アルワシャリ ハモード, 晋沂雄: CLT と鉄筋コンクリートのハイブリッド構造システムに関する研究: その 3 水平耐力評価、本建築学会大会学術講演梗概集、2024 年 9 月 (発表予定)
- ⑥ 吉田薫平, 兼光来美, 隈川怜, アルワシャリ ハモード, 権淳日, 晋沂雄: CLT と鉄筋コンクリートのハイブリッド構造システムに関する研究: その 4 DIC 解析による耐力の評価、本建築学会大会学術講演梗概集、2024 年 9 月 (発表予定)
- ⑦ 隈川怜, アルワシャリ ハモード, 権淳日, 晋沂雄: CLT と鉄筋コンクリートのハイブリッド構造システムに関する研究 その 5: 解析モデルの提案、2024 年 9 月 (発表予定)

4. 今後の課題

今後の研究の方向性:

① さらなる実験検証:

今度は、RC コッターを設けてない試験体の載荷実験を加え、それが CLT 壁の破壊メカニズムに及ぼす影響について検討する予定である。

また、実物大の試験体を用いた実験により、解析モデルの精度向上と破壊メカニズムの詳細な検証を行うことが求められている。

② 解析モデルの改良:

提案したモデルを用いて、最大耐力は精度よく示すことができ、十分に圧縮ストラット破壊メカニズムの構造性能を表すことができたが、解析モデルは圧縮支柱の破壊モードを考慮したものであるため、パンチングせん断やロッキング破壊など、他の破壊モードについても検討する必要があると考えられる。