

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14283

研究課題名（和文）Development of Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Buildings Using Cross-Laminated Timber

研究課題名（英文）Development of Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Buildings Using Cross-Laminated Timber

研究代表者

アルワシャリ ハモードアハメドハモード (Alwashali, Hamood)

岡山大学・環境生命自然科学学域・准教授

研究者番号：90839177

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、木造CLT構造壁と組み合わせた鉄筋コンクリート造（RC造）建物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。本研究は3つのフェーズで行われた：1）破壊メカニズムと期待耐震強度の評価、2）小規模供試体を用いた実験、3）実用的な解析モデルの開発。破壊メカニズムを検討した結果、6つのメカニズムが提案され、実験と比較した結果、予想最大水平耐力の評価方法が提案され、その差は20%程度と良好な推定を行うことができた。特に、CLT壁におけるストラットの角度や等価幅の詳細を検討することで、圧縮ストラット破壊と呼ばれる破壊モードを詳細に明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、国内外の複数の学会で発表され、木質CLT/鉄筋コンクリート（RC）ハイブリッド構造に関する成果が広く共有されています。特に、環境負荷低減に寄与するハイブリッド構造に関する持続可能な建築技術の開発や今後の建築設計基準の策定に貢献することが期待されています。さらに、本研究で得られた実験データは、建築分野における基準・規制の改善に貢献し、耐震性の向上にも寄与するものと考えられます。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to evaluate the seismic performance of structures combining reinforced concrete (RC) buildings and timber CLT structural walls, and to develop practical analytical models. The research had three stages: 1) Evaluating failure mechanisms and expected seismic strength, 2) verification by conducting experimental tests, and 3) developing practical analytical models.

As a result of investigating the failure mechanisms of CLT + RC hybrid structures, six failure mechanisms could be proposed. These mechanisms were compared with past experiments and experiments conducted in this study, and further verification was performed. In particular, detailed investigation was conducted on the failure mode called compression strut failure. Furthermore, a method for evaluating the expected maximum horizontal resistance was proposed, and as a result, it was confirmed that a good estimate with a difference of about 20% from experimental tests is possible.

研究分野：建築構造

キーワード：ハイブリッド構造 木質CLT壁 鉄筋コンクリート構造 耐震壁

1. 研究開始当初の背景

脱炭素社会の実現に向け、2021年10月に施行された「都市木造化推進法」では、公共建築物だけでなく一般建築物にも国産材の利用が奨励されています。特に、中大規模建築物では木質材料の利用拡大が見込まれており、その有力候補として CLT (直交集成板) が注目されています。鉄筋コンクリート造の建物と CLT の木造壁を組み合わせたハイブリッド建築は、コスト、重量、効果の面でいくつかの利点があります。しかし、鉄筋コンクリート (RC) 構造と CLT 構造壁の組み合わせはまだ開発途上であり、破壊メカニズムが十分に解明されていないため、予期せぬ破壊につながる可能性があります。このため、コンクリート建築物内での CLT 壁の普及は現実的ではありません。

2. 研究の目的

本研究の目的は、RC 造建物と木造 CLT 構造壁を組み合わせたハイブリッド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す。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ます。

3. 研究の方法

本研究は以下の3つの段階で進行しました：

(1) 研究項目：1/3 スケールの試験体を用いた実験

本研究の主な目的は、RC 造骨組と CLT 壁のハイブリッド構造の耐震性能を把握することです。図1および図2に示すように、CLT 構造壁を内部に有する RC 造の躯体構造を模擬した 1/3 縮尺の試験体を用いて静的載荷試験を実施しました。この試験体は、CLT 壁の破壊圧縮支柱メカニズムを評価する目的で、CLT 壁の対角線方向の横力荷重に抵抗する圧縮支柱を形成するように設計しました。具体的には、ひずみ分布に基づき、圧縮ストラットの等価幅と水平耐力を検討しました。

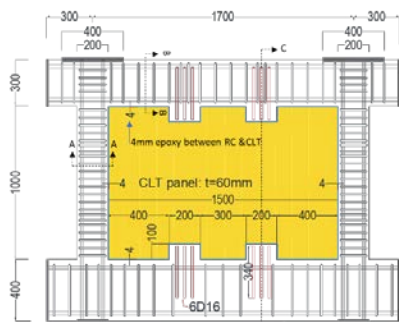


図1. 1/3スケール縮小試験体

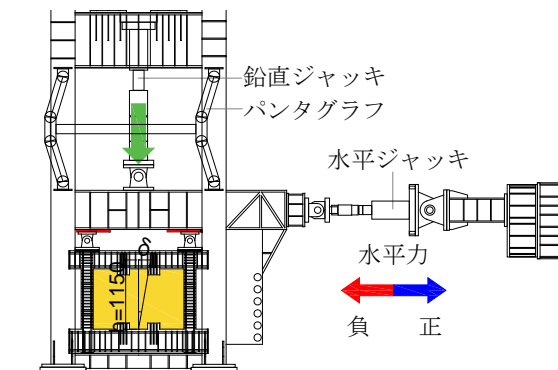


図2. 試験体設置図

(2) 研究項目：解析マクロモデル構築

建築物の設計や提案手法の普及のためには、簡易マクロモデルが重要です。そこで、研究項目(1)の実験結果を再現できる簡易マクロモデルを検討することを目的とします。具体的には、図3に示すように、CLT 壁を表現するマクロモデルとしてワンプ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と適合性を検討しました。

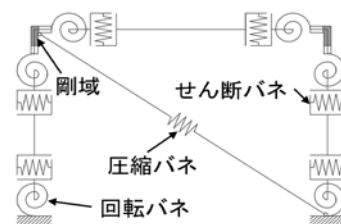


図3. 検討した解析モデル

(3) 研究項目：破壊メカニズムによる耐震性能評価

破壊メカニズムによる耐震性能評価研究を行い、破損メカニズムについて考察し、その破損モードに対する評価手法を提案しました。

4. 研究成果

本研究の主な成果は以下の通りです：

(1) CLT の使用効果：

実験の結果、CLT 壁が RC フレームの横耐力を 2.3 倍に向上させることが確認されました。CLT パネルのせん断強度は 2.94N/mm^2 で、設計マニュアルの推定値 2.7N/mm^2 を上回りました。画像相関法 (DIC) による解析では、CLT 壁面の応力分布と弱点を明らかにしました。特に、対角線上の最小主歪みが大きく、隅部の圧縮が顕著であることが確認されました (図4)。

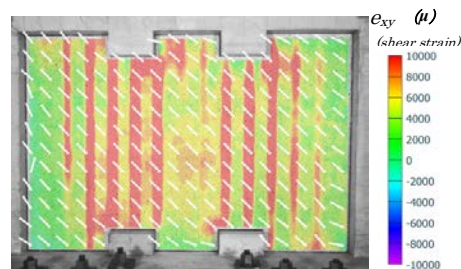


図4. デジタル画像相関法によるひずみ分布測定

(2) 破壊モードの解明：

CLT+RC ハイブリッド構造の破壊メカニズムを検討した結果、図5に示すように、6つの破壊メカニズムを提案することができました。これらの破壊メカニズムは、過去の実験や本研究で実施した実験と比較し、さらなる検証を行いました。特に、圧縮ストラット破壊と呼ばれる破壊モードについて詳細に調査し、CLT 壁の圧縮ストラット機構の形成角度と等価幅を定量化し、破壊メカニズムを評価しました。さらに、想定される最大水平耐力の評価方法を提案し、その結果、実験試験との差異が20%程度と良好な推定が可能であることが確認されました。圧縮ストラットの形成角度や等価幅を定量的に把握し、CLT 壁の水平耐力を評価できることが明らかになりました(図6)。この知見は、今後の解析モデル改良に重要な役割を果たすと考えられます。

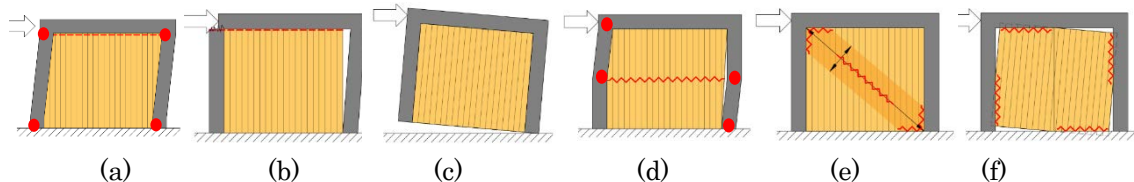


図5. 評価された破壊モードのイメージ図：(a) 柱+接合部破壊、(b) パンチングシア破壊 (c):壁曲げ破壊、(d) CLT せん断破壊、(e) CLT ストラット破損、(f) CLT パネルの回転破壊

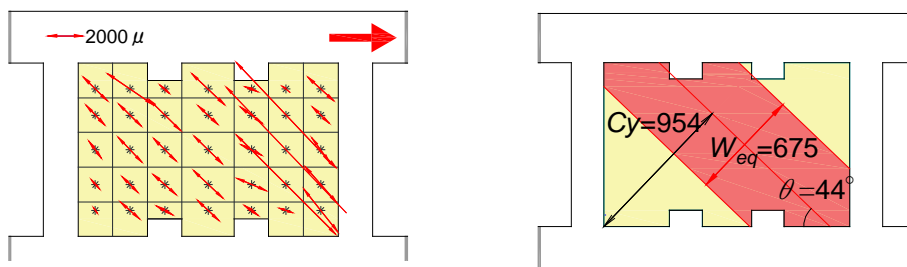


図6. 左図 CLT の圧縮ひずみ分布と角度 θ 、右図；圧縮ストラットの形成角度 θ 、等価幅 W_{eq}

(3) 解析モデルの提案：

実験データに基づく解析モデルを提案し、試験結果を精度よく再現する性能が確認されました(図7参照)。このモデルはRCとCLTの組み合わせ構造の設計において有効です。

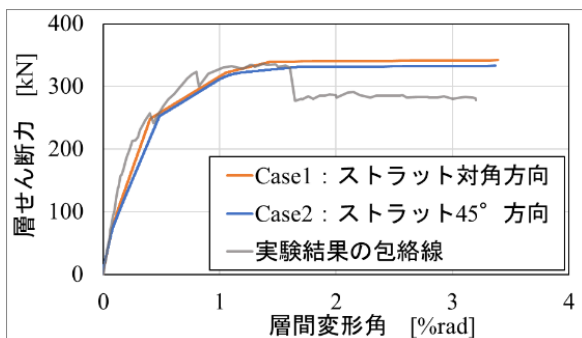


図7 解析モデル結果と実験結果の層せん断力の比較

(4) 今後の展望：

実大試験体を用いたさらなる実証試験が必要であり、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求められます。また、提案されたモデルを用いて実際の建物設計に適用することで、持続可能な建築技術の促進に寄与することが期待されます。

(5) 国内外における位置づけとインパクト：

本研究の成果は、国内外の複数の学会で発表され、木質CLT/鉄筋コンクリート(RC)ハイブリッド構造に関する成果が広く共有されています。特に、環境負荷低減に寄与するハイブリッド構造に関する持続可能な建築技術の開発や今後の建築設計基準の策定に貢献することが期待されています。さらに、本研究で得られた実験データは、建築分野における基準・規制の改善に貢献し、耐震性の向上にも寄与するものと考えられます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hamood Alwashali, Ahmad Ghazi Aljuhmani	4. 巻 069179-0431
2. 論文標題 STUDY ON FAILURE MECHANISMS OF HYBRID STRUCTURE OF REINFORCED CONCRETE FRAME WITH CLT INFIL	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)	6. 最初と最後の頁 3309-3317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.52202/069179-0431	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ghazi ALJUHMANI, Hamood ALWASHALI, Masaki MAEDA, Matsutaro Seki	4. 巻 44
2. 論文標題 STUDY ON THE IN-PLANE FAILURE MECHANISMS AND STRENGTH EVALUATION OF RC FRAMES WITH CLT INFILL	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceeding of Japan Institute of Concrete	6. 最初と最後の頁 241 - 246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 アルワシャリ ハモード, 隈川怜, 福本晃治, 山根雅由, 権淳日, 晉沂雄
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造III
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 隈川怜, アルワシャリ ハモード, 福本晃治, 山根雅由, 権淳日, 晉沂雄
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造III
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 隈川怜、アルワシャリ ハモード、福本晃治、山根雅由、権淳日、晉沂雄
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第16回地震工学シンポジウム (16JEES)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ahmad Ghazi Aljuhmani , Hamood Alwashali , Masaki Maeda , Matsutaro Seki
2. 発表標題 " Study on failure mechanisms and lateral strength evaluation of RC frame with CLT infill "
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兼光来美、権淳日、隈川怜、吉田薫平、アルワシャリ ハモード、晉沂雄
2. 発表標題 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
3. 学会等名 本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 吉田薫平、兼光来美、隈川怜、アルワシャリ ハモード、権淳日、晉沂雄
2. 発表標題 LT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
3. 学会等名 本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 隈川 怜, アルワシャリ ハモード, 権 淳日, 晉 沂雄
2. 発表標題 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
3. 学会等名 本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 H. Alwashali, S. Kumagawa, M. Yamane C. Quan, & K. Jin4
2. 発表標題 EXPLORING THE POTENTIAL OF CLT WOOD WALLS FOR REPAIRING EARTHQUAKE-DAMAGED REINFORCED CONCRETE BUILDINGS: AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION
3. 学会等名 18th World Conference on Earthquake Engineering 2024
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関