

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04798

研究課題名(和文)木蝶形ブロック耐震壁PRESSシステム

研究課題名(英文)Pre-stressed seismic wooden structural system with Butterfly-shaped wooden wall

研究代表者

石川 裕次 (ISHIKAWA, YUJI)

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号：80421923

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究によって、木蝶形ブロック耐震壁が尾鷲市庁舎の耐震改修工事(2021年)において既存RC造建物の耐震補強として適用された。これまでは、既存RC造建物耐震補強については、鉄骨やコンクリートを用いて耐震補強を行ってきたが、SDG'sの活動を進めたい、地場の木材を活用したい三重県尾鷲市によって、本研究が進めていた木蝶形ブロック工法に着目し、既存RC造建物の耐震補強方法の一つに採用された。加えて、同一試験方法(圧縮、曲げ、蝶形ブロックせん断圧縮)によって、エンジニアリングウッドであるCLT、LVLとコンクリートの材料特性を比較できるようした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでと異なるアプローチによって、直接的にコンクリートとの材料特性の比較を行うことによって、具体的なエンジニアリングウッドの有用性を、これまでに耐震性能に関する研究成果が多く蓄積されている鉄筋コンクリート構造の研究成果と連動させて検討できる基礎データを構築した。また、CLT蝶形ブロック耐震壁による耐震補強ではあるが実用化がなされてことは、今後は、SDG'sを含めた資源循環型材料の利活用について推進したい事業者と共に、提案技術を発展拡大できる可能性があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：This study first reports on the practical application of wooden butterfly-shaped block seismic walls, which were applied to the Owase City council building retrofitted in 2021 by CLT butterfly-shaped blocks as seismic retrofitting of the existing RC building. Because Owase City in Mie, which promoted SDG's activities and utilize local timber. The results of this study were compared with those of CLT and LVL in accordance with the concrete compression test based on JIS A1108, so that the material properties of the two types of engineering wood can be directly compared. The results of the study showed that the usefulness of CLT and LVL can be expressed with concrete values. Furthermore, by utilizing the research results, BLT, CLT and LVL butterfly block element tests were conducted. We will continue our research on a structural system that combines wooden butterfly block seismic walls and wooden displaced control structure as an issue to be considered in the future.

研究分野：建築構造

キーワード：CLT LVL エンジニアリングウッド SDG's 耐震補強 耐震壁 JIS(日本産業規格) せん断圧縮特性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化などの気候変動が確実に進行し、台風による水害被害も過去最高の規模に拡大しており、現在、国連から掲げられている 2030 年までの持続可能開発目標 (SDG's) の実現が、現実的な目標としての認識が高まっている。本研究は、建築構造分野において、自然を単に守るという観点だけでなく、社会が必要とする技術革新を進めながら SDG's を実践したい。一方、我が国では戦前戦後に進められた植林により大量の杉等の国有林が現在も有効活用の方法が定まらず、森林の荒廃を招き 50 数年前に想定した資源循環型のサイクルが十分に成立しない。木材の活用は、資源循環型材料の利活用の拡大と共に、CO2 固定化という環境問題をグ多的に解決する手段として活用できると考えられる。但し、我が国は地震地域であり海外のように容易に木材に利用拡大を進めることが難しい (海外 (ウィーン) では、高さ 84m の高層建築も木材で実現しようとしている。)。一方で、ニュージーランドでは、木質構造でありながら 4 階建ての大学校舎などが、高い耐震性能を有する木質制震構造建物として実用化されている。

2. 研究の目的

本研究では、我が国においても耐震性に優れた新たな木質制震構造システムとして、申請者らが研究を進めてきた木質蝶形ブロックによる耐震補強技術とニュージーランドで進めている木質制震構造を融合させた「木蝶形耐震壁 PRESS システム」の実現を目指して本研究を提案した (図 1 参照)。この研究によって、SDGs の実現から実践へ、かつ国産林の利活用を見出すことにより、2 つの社会的な課題を解決したい。本研究は、その具体的な技術として確立するための学術的な知見を得ることである。そして、実用化への道筋を築くことが最も重要な研究目的である。なお、本研究成果は耐震設計が必要な諸外国に情報発信することが可能である。

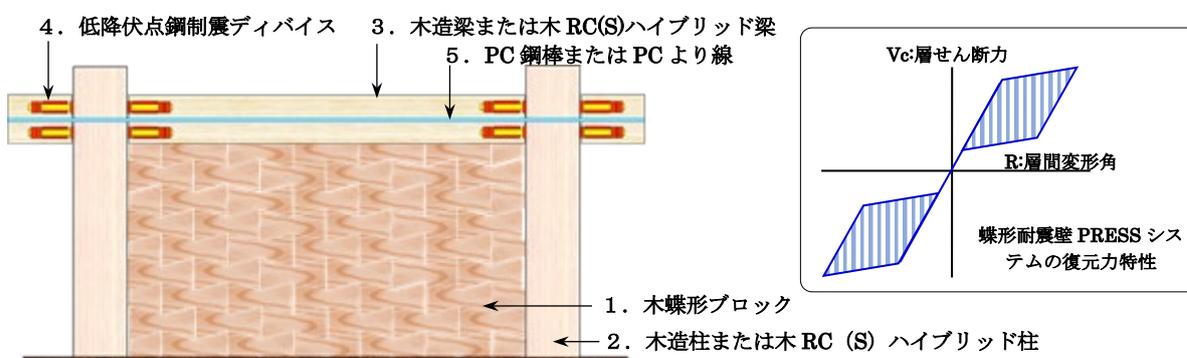


図-1 提案する蝶形耐震壁 PRESS システムの主な構成とおよび復元力特性モデル

3. 研究の方法

本研究の遂行のため、主な研究ステップとして、以下の研究計画を立案していた。しかしながら、研究期間の多くが新型コロナウイルスの影響を受けて研究の実施は、以下のような研究を優先して実施した。

- 1) 日本でまだ十分に活用されていない LVL の材料特性の把握
- 2) CLT 蝶形ブロックの実用化支援
- 3) LVL 蝶形ブロック、集成材蝶形ブロックの実用化の検討

1) LVL 材料特性については、提案しようとする木制震構造システムが、主に柱梁から構成されており、より大きな剛性が必要であることから、エンジニアリングウッドとして最も大きな圧縮強度および剛性を有する LVL の活用が望まれている。これまで、具体的に同一条件での材料試験による性能比較に関する研究が実施されていなかったことから、コンクリート材料試験方法として定められた JIS A1108 に準じて、供試体 (直径 10, 15 cm, 高さ 20, 30 cm) を製作し、コンクリートの材料試験結果を、直接的に比較検討した。併せて、近年実用化が進められている CLT との比較も実施した。

2) CLT 蝶形ブロックは、本研究では木柱および木梁で囲まれる骨組みに組み込む工法を提案していた。しかしながら、これらの工法を新築建物に適用するために、十分に研究が進められていなかった。そこで、RC 造骨組みの耐震補強工法の一つとして提案されていた CLT を用いた蝶形ブロックについて、研究活動を連携している株式会社竹中工務店や北海道林産試験場の方々と共に、その実用化において、1) で示した研究成果の一部を活用し、実建物 (三重県尾鷲市庁舎の耐震改修工事) に適用した。

3) CLT 蝶形ブロックは、2) で実用化されてはいたが、エンジニアリングウッドとし材料特性が最もコンクリートに近い LVL を用いた蝶形ブロックの有用性を確認するために LVL 蝶

形ブロックを製作し、壁要素試験体を製作し、せん断圧縮実験を実施し、せん断力—せん断変形角関係の材料特性を得て、CLT、集成材 (BLT) 蝶形ブロック壁との比較検討を行い、LVL 蝶形ブロック耐震壁の有用性を検討した。

4. 研究成果

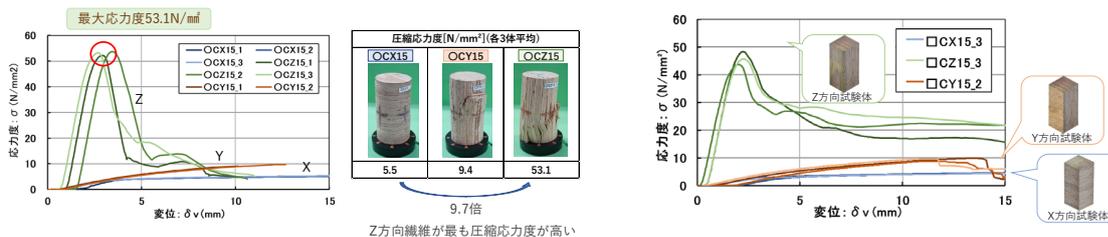
一連の本研究によって、各研究段階において以下に示す研究成果を得た。

1) LVL の材料特性 (コンクリートと同一試験方法による比較)

図2に示すように、LVL 繊維方向を変数として円柱試験体および矩形試験体の圧縮実験を、コンクリートと同様な試験方法 (JIS A1108, 図2 (b) 参照) を用いて実施し、コンクリートと直接的に性能比較が可能な材料試験を実施した。LVL は、丸太を柱むきにした単板を束ねて製造する。その繊維方向 (図2 (a) Z 方向) 試験体と、他の方向では、著しく圧縮特性が異なることが分かった。これは、コンクリートと同一形状とした供試体および角柱供試体と共に同様な結果が得られた。LVL 繊維方向試験体は、普通コンクリート以上の圧縮強度を有し、弾性係数はコンクリートの約 1/2 であることが分かった (図3 参照)。この結果は、LVL が CLT よりも剛性および圧縮強度が大きく、構造材料として適していることが分かった。本研究では、これまで異なる試験方法による材料特性値の比較を行ってきたが、今後は、同一試験方法によって構造用材料として LVL が改めて有用であることが分かった。

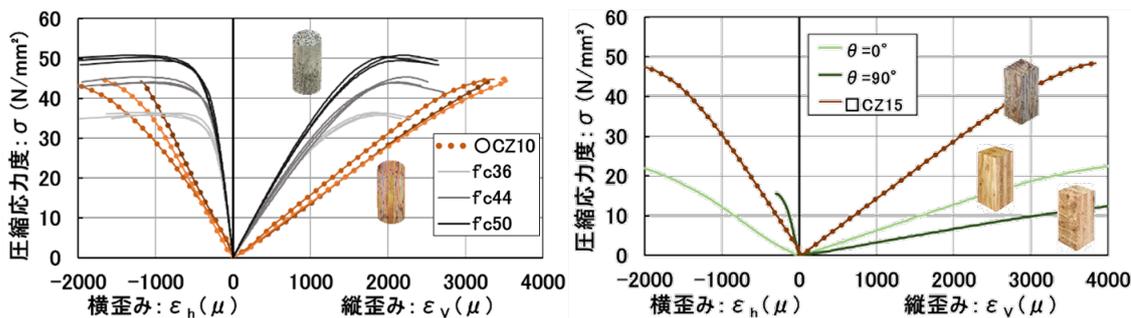


(a) 実験変数: LVL 繊維方向, 角柱と円柱 (b) 国内で初めてコンクリートと同一方法で試験実施



(c) 円柱試験体 LVL 繊維方向の圧縮性能比較 (d) 角柱試験体 LVL 繊維方向の圧縮性能比較

図2 LVL 圧縮試験の概要および主な実験結果



(a) コンクリートとの比較

(d) LVL 繊維方向および CLT との比較

図3 コンクリートや CLT と比較した LVL 圧縮特性

2) CLT 蝶形ブロックの実用化支援

本研究では、LVL を用いた蝶形ブロックについて研究を進めてきたが、継続的に研究を続けていた CLT 蝶形ブロックの実用化を、尾鷲市庁舎耐震改修工事 (2021 年) において既存 RC 建造物の耐震補強として実用化を果たした (写真1 参照)。ここでは、一連の構造設計に必要な材料特性および耐震補強効果についての知見を設計者および施工者である株式会社竹中工務店に情報提供を行った。特に尾鷲市で製材されたヒノキを用いた CLT によって製造されたこの CLT 蝶形ブロック補強工法は、耐震性能の向上と共に地産地消、SDGs に則った資源循環型材料の利活

用として、社会的にも認知され、2022年には、一般財団法人 エンジニアリング協会にてエンジニアリング奨励特別賞を受賞した。また、2022年12月には、三重大学付属中学校に招かれ、SDGsを実践する耐震改修技術として、尾鷲市役所改修工事の紹介を行い、地域貢献も同時に果たした。



(a)CLT エストブロック (b)尾鷲市庁舎玄関口(設計・施工: 榊竹中工務店)

写真1 CLT エストブロックの適用事例(2021年)尾鷲市庁舎耐震補強

3) LVL 蝶形ブロック要素壁実験によるせん断圧縮試験の実施

本研究の提案では、1)の研究成果を生かして2)に示したCLT蝶形ブロック耐震壁を、LVL蝶形ブロック耐震壁にすることで、より高い剛性と耐震性能が得られるのではないかと考え、壁要素実験を実施した。試験体は、表1に示すように、LVL, CLT, BLT(集成材)によって製造した木蝶形ブロックを積層して製作した壁要素試験体である。図4に試験方法を、図5に各種エンジニアリングウッドによる蝶形ブロック壁のせん断圧縮特性の比較を示す。LVL蝶形ブロックは、CLT蝶形ブロックの約2倍のせん断協とせん断剛性を有しており、小さい変形レベルからせん断力を負担することが可能であり、明らかに、BLT(集成材)やCLTよりも構造材料として適しており、蝶形ブロックをLVLで製造することが可能となれば、これまでの約2倍のせん断力を負担し、剛性も著しく向上できることが分かった。なお、これらの研究成果は、2023年日本建築学会年次大会においても発表を行う予定であり、広くこの研究成果を社会に共有することが可能であると考えられる。

表1 せん断圧縮壁要素試験体の一覧

シリーズ	LSシリーズ	CSシリーズ	GSシリーズ
材種	LVL	CLT	GLT
試験体数	1	2	2
試験体名	LS11	CS-1, CS-2	GS-1, GS-2
試験体			

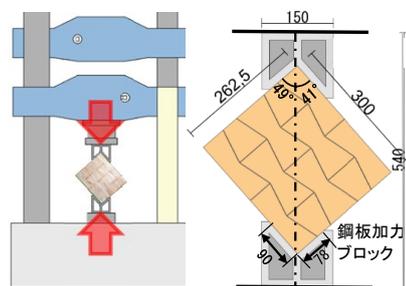


図4 せん断圧縮壁要素実験方法

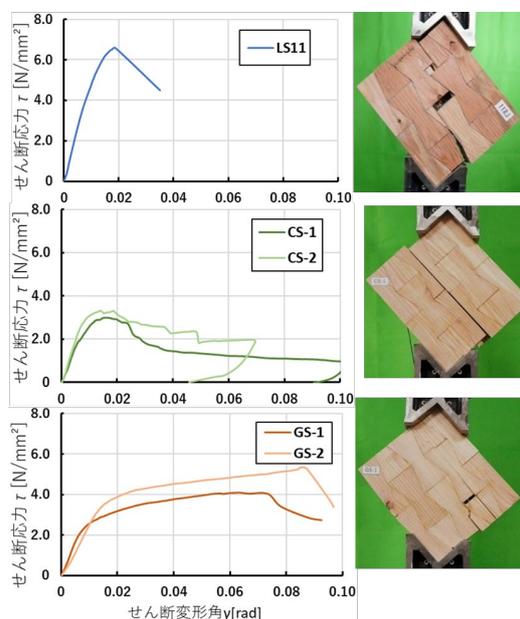


図5 LVL, CLT, BLT(集成材)せん断特性の比較

以上の一連の研究により、これまでよりも、より具体的に耐震性能の向上にも寄与できるエンジニアリングウッドの利活用の拡大が期待できる工法を社会に提示することができた。本研究機関における研究環境が万全ではなく、研究活動が完全に遂行が出来てはいないが、今後も本研究を継続し、本研究で得られた成果を十分に、社会に還元してゆきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石川裕次、中川晴日、堀雪菜、村石麗来
2. 発表標題 LVL圧縮特性に関する基礎研究（その1 実験計画および実験方法）
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集（北海道）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀雪菜、石川裕次、中川晴日、村石麗来
2. 発表標題 LVL圧縮特性に関する基礎研究（その2 実験結果）
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集（北海道）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川晴日、堀雪菜、石川裕次、村石麗来
2. 発表標題 LVL圧縮特性に関する基礎研究（その3 実験データの検討）
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集（北海道）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川裕次、堀雪菜、大橋義徳
2. 発表標題 蝶形木質系ブロック壁の材料特性に関する検討 その1 圧縮特性
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集（近畿）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀 雪菜, 大橋義徳, 石川裕次
2. 発表標題 蝶形木質系ブロック壁の材料特性に関する検討 その2 せん断特性
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集 (近畿)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>芝浦工業大学 システム理工学部 環境システム学科 石川研究室ホームページ https://www.paes.shibaura-it.ac.jp/introduction/lab0/03/?doing_wp_cron=1687254581.3164339065551757812500</p> <p>芝浦工業大学 HEADLINE (2021年) 「SDGs の実現を目指す新たな耐震補強技術が実用化されました」 https://www.shibaura-it.ac.jp/news/nid00001669.html</p> <p>芝浦工業大学 HEADLINE (2023年) 「石川 裕次 教授と芝浦工業大学が一般財団法人 エンジニアリング協会にてエンジニアリング奨励特別賞を受賞」 https://www.shibaura-it.ac.jp/news/nid00002980.html</p>

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
---------	---------