

令和 4 年 8 月 30 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13870

研究課題名(和文)次世代の多機能CLTの開発 - 革新的な高耐火・高断熱の構造部材 -

研究課題名(英文)Development of multifunctional CLT: an improvement of fire resistance and thermal insulation

研究代表者

鷹野 敦 (Takano, Atsushi)

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：70778092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：社会の脱炭素化へ向け、建築分野では木材の利用促進が重要な課題となっている。その中で、CLT(直交集成板)に代表される「塊」としての木材の利用が高い関心を集めている。本研究では、CLTが厚手のラミナ(挽板)の積層であることに着目し、異なる樹種や加工・改質を加えたラミナを組み合わせることで「耐火性能」と「断熱性能」を同時に向上させる技術の開発に取り組んだ。主な研究の成果として、断熱材や不燃材等の2次部材を必要とせず、現行の燃え代設計と同等の部材厚さで1時間準耐火性能と規定の断熱性能(熱貫流率0.35または0.53W/m²・K)を満たす純木質の外壁部材の構成を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CLTの性能を高め、単体で複数の機能を担うことで建物の構成が単純化され、1)化石燃料由来の材料(断熱材や石膏ボード等)の使用削減、2)建設/メンテナンス/解体作業の容易化、3)解体建材のリサイクル率の向上など、環境的・経済的な効果が生まれる。このように、付加価値を持ったCLTの開発は、我が国の木質構法の発展と、木材の使用増加を通じた林産業の活性化や地球環境の保全に貢献する。さらに、若い世代へのリーズナブルかつ高品質な住宅や、被災地での仮設住宅への利用といった可能性も持ち、社会的な課題にも貢献する。

研究成果の概要(英文)：For the decarbonization of society, the development of sustainable wood construction has recently become a matter of public interest. Especially, mass timber like CLT (Cross Laminated Timber) has lately attracted considerable attention as a promising construction material due to its unique environmental properties (e.g. carbon storage capacity, etc.). In this research, simultaneous improvement of fire resistance and thermal insulation performance of CLT was aimed by combining processed/modified cedar lamina as well as different kinds of lamina. As a main outcome, the compositions of CLT exterior wall element with one hour semi-fireproof performance and appropriate U-value (0.35 and 0.53W/m²・K) were clarified without using secondary materials such as heat insulation and non-combustible board.

研究分野：木質資源・材料、環境評価、建築設計

キーワード：直交集成板 準耐火 高断熱 外壁

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

世界では持続可能な社会の実現へ向け生物資源(バイオマス)の活用が大きなテーマとなっている。世界有数の豊かな森林資源を有するわが国では、戦後に植林されたスギやヒノキが利用期を迎えている。林業の活性化や地球温暖化の抑制の為、建物への積極的な木材利用が国策として進められている。特に CLT (直交集成板) に代表される「塊」としての木材の利用が高い関心を集めている。木を塊として使うことで、本来、弱点とされてきた湿度に対する動きや耐火性が改善され、同時に強度や断熱性といった木の持つ良さをより活かすことができる。さらに、建物における木材使用量の増加にも繋がり、より高い環境的效果(炭素貯蔵等)と林産業全体の活性が期待できる。

他方、世界的に見ると我が国は CLT 先進の欧米諸国から 20 年の遅れを取っている。また、上述の通り、CLT は木の良さに基づく多才な材料ではあるが、その構法は発展の途上にある。現状では、建物の条件によって CLT パネルに耐火被覆や断熱材などを付加する必要がある。つまり、建物の各部に求められる性能を CLT 単体でまかなえないため、二次部材で補う造り方である。このため、これまで世界中で建設された CLT 建築の 90%超が二次部材で覆われ、木質材料(CLT)の最大の魅力の一つである素材感が感じられない造りとなっている。CLT 造であることを活かしきれていない。また、この不合理な構法が建物の各部で過剰性能を生み、建物の環境負荷や経済性を悪化させる。さらに、この足し算的な構法は施工制度への依存が高く、小さな施工ミスが致命的な問題を引き起こす。このような背景から、近年、シンプルで強靱な木質構法の考案が重要な研究テーマとなっている。これに対し、二次部材を合理化する取り組みは散見されるが、CLT 自体の改善から構法を見直す発想は未だ無い。多機能な CLT の開発は、世界にも例の無い最先端の取り組みとなる(図 1)。

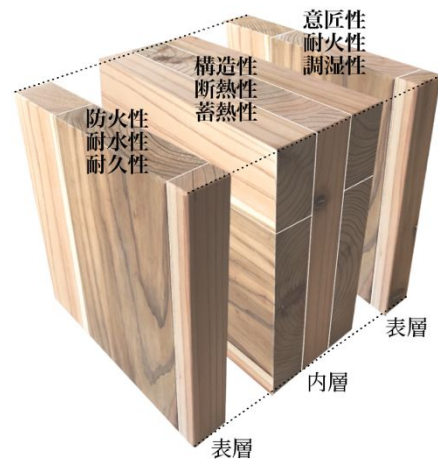


図1 様々な性能を持つラミナを組み合わせた多機能 CLT のイメージ

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、CLT が厚手のラミナ(挽板)の積層であることに着目し、異なる樹種や加工・改質を加えたラミナを組み合わせることで、構造強度に加え耐火・断熱・調湿・防水・美観等の性能を高めた、次世代の多機能 CLT を開発することである。基礎研究の成果をもとに、今回は、木質部材の最大の課題である「防耐火性能」と、利点である「断熱性能」の向上に焦点を当て、二次部材を必要としない、純木質の高耐火・高断熱外壁用 CLT パネルの開発に取り組む。

3. 研究の方法

建物部位の中でも機能要件が多い外壁を対象に、構造強度を保持しながら、求められる防耐火と断熱の性能を同時に満たす多機能 CLT の開発を行う。耐火性能としては、1 時間準耐火構造の耐力壁、断熱性能としては省エネ基準で定める外壁の熱貫流率の基準値(0.35 又は 0.53 W/m²K)を目標とする(図 2)。当初は耐火構造部材の開発も予定していたが、同技術に関する研究や開発は日進月歩で進んでおり、それらの適用が可能と判断し、準耐火性能と断熱性能の両立に注力する事とした。JAS 規定に準拠した CLT に遅燃層を加える「付加型」と、弱軸層に低比重の樹種や加工を加えたラミナを用いて、厚み全体で構造・断熱・耐火性能を発揮する「一体型」に分け、生産の合理性も考慮した理想的かつ現実的な次世代の CLT の開発を行う。



図2 準耐火 CLT 外壁部材の構成

これまでの研究成果をもとに、求める性能を満たす可能性のあるラミナ構成を想定し、小型電気マuffle炉を用いた加熱試験（試験体 170mm 角）により防耐火性能の検証をすると共に、遅燃・断熱層部分の用いる加工ラミナ（表面加工・有孔加工・スリット加工などを施したスギラミナ）の熱抵抗値を熱伝導率測定装置により測定し（試験体 300mm 角）部材全体の熱貫流率の改善可能性を検証した。研究期間の2年目と最終年には、小型試験体による結果をより高い精度で検証するため、中型（1200mm 角）の試験体を用いた加熱試験を行った。

4. 研究成果

[断熱性能]

一般的なスギ材のラミナに表面加工、極乾燥加工、切削加工を加えることによる、ラミナ単層の熱抵抗値の変化を定量的に把握した。表面加工では、ラミナ表面に微細な空気のポケットを加えることで熱抵抗を高めるという考えのもと、プレーナー処理を加えずラミナ表面に微細な凹凸を持つ荒材のラミナ、剣山を用いてラミナ表面に凹凸をつけた剣山ラミナ、木目の春材の部分を削った浮造りラミナ、表面を炭化させた焼スギラミナの熱伝導率を測定し、一般的なプレーナー材との比較により、表面の状態による熱抵抗値の変化を定量化した。それぞれの改善率は、荒材ラミナが5~17%、剣山ラミナが約3%、浮造りラミナが約5%、焼スギラミナが約5%となり、微小ではあるが効果を確認できた。荒材ラミナは表面の状態が一樣ではないためその効果を定量的に捉えることは難しいが、プレーナー等の加工が不要であるため、加工手間や時間も考慮すると有効な手段だと言える。

極乾燥ラミナは、多孔質化することで内部に気泡を多く含むスギラミナをつくり熱抵抗を高める狙いで、含水率を変えたスギラミナ（30%、50%、100%）を凍結乾燥（フリーズドライ）させた試験体の熱伝導率を測定した。乾燥直後のラミナでは、含水率も極めて低くなるため（約3%）熱抵抗値が15%程度向上した。しかし、その後しばらく放置すると含水率が12%程度まで増加し、熱抵抗値の増加は5%程度となった。この結果から、フリーズドライにより内部に生まれる空隙の効果も多少認められるが、含水率の影響が大きく、実際の使用環境では、乾燥に要する手間に比して有意な効果は得られないと判断される。

切削加工では、ラミナに空気を内包させることで熱抵抗を高める狙いで、有孔加工またはラミナ表面にスリット加工を施した試験体を作成し、熱伝導率を測定した。有孔加工は丸孔とし、孔の深さと直径をパラメーターとし、スリット加工では溝の幅と深さをパラメーターとして、加工による熱抵抗の改善効果を定量的に把握した。それぞれの結果を図3と4に示す。有孔加工の場合、基本的には、孔の縦横比が大きい方が高い効果が得られるが、孔の体積が一定以上（例えば18の場合深さが18mm以上）となると、孔内部の空気が対流し熱抵抗の改善は見込めなくなることがわかった。スリット加工の場合、半密閉の空気層と同様の状態であると推察され、その抵抗値は幅と深さ（空気量）が増すごとに増加する傾向を示した。ただし、深さが10mmを超えると、空気の対流のため熱抵抗値は横ばいになると考えられる。

[耐火性能]

一般的なスギ材のラミナに表面加工、極乾燥加工、切削加工を加えることによる、ラミナ単層の熱抵抗値の変化を定量的に把握した。表面加工では、ラミナ表面に微細な空気のポケットを加えることで熱抵抗を高めるという考えのもと、プレーナー処理を加えずラミナ表面に微細な凹凸を持つ荒材のラミナ、剣山を用いてラミナ表面に凹凸をつけた剣山ラミナ、木目の春材の部分

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 森 太郎, 鷹野 敦, 大島 巨, 植松 武是	4. 巻 24 (58)
2. 論文標題 カラマツCLT 建造物の断熱性能の検証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 1107 - 1112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.24.1107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村 恭子, 鷹野 敦, 池畑 裕貴, 柴田 未来
2. 発表標題 多機能CLTの開発
3. 学会等名 2020年度日本建築学会九州支部研究発表
4. 発表年 2020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
---------	---------