

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14893

研究課題名（和文）予測モデルを活用した木質構造材料の長期強度性能評価法の開発

研究課題名（英文）Development of a method for evaluating the long-term strength performance of wood structural materials

研究代表者

高梨 隆也（Takanashi, Ryuya）

北海道大学・農学研究院・助教

研究者番号：80733112

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：カラマツ製材から製材、フィンガージョイント材、集成材、直交集成板試験体を製作し、長期曲げ荷重試験を行った。集成材およびレゾルシノール樹脂接着フィンガージョイント材の荷重継続時間が長くなることが明らかになった。既存データとあわせて、得られた荷重継続時間データから瞬間破壊確率を評価した結果、標準となる材料をベースとした瞬間破壊確率の相対的評価により、対象とする材料の長期強度性能を評価するという手法を開発した。また、材料全体の破壊に寄与するエレメントの荷重継続時間特性から、木質構造材料の荷重継続時間特性を評価できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

接着積層材料を主な対象として、構成要素に応じた長期強度特性のデータが体系的に整備された。また、接着剤の種類による荷重継続時間への影響が明らかとなった。体系化され示された長期材料強度特性および、提案された荷重継続時間の評価手法は、木質構造材料の長期強度性能を評価する際の合理的な試験・評価手法となりうる。これにより、評価対象となる材料の長期強度性能の評価が簡略化され、新規木質構造材料の材料認定で障壁となっていた長期強度データ収集の実施難易度が下がることが期待される。木質構造材料の開発促進が期待される。

研究成果の概要（英文）：Lumber, finger-jointed timber, glulam, and cross laminated timber specimens were made from Japanese larch lumber, and the long-term bending test was conducted. We showed that glulam and resorcinol resin bonded finger-jointed timber specimens exhibited longer duration of load. Based on this study and existing data, an evaluation method for long-term strength performance of a specimen was developed. This method consists of assessing an instantaneous failure probability compared to that of a standard material. In addition, it is shown that the duration of load performance of an element member that contributes to the failure of a whole material represents that of a whole material.

研究分野：木材工学

キーワード：荷重継続時間 Duration of load 木質接着材料 カラマツ 集成材 直交集成板

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国内の森林資源の充実を背景として木材利用の推進が図られており、その主要な利用先である建築構造材料では、地震力や風圧力への耐力（短期強度）に加えて、自重や積載荷重への耐力（長期強度）が求められる。荷重がかかり続ける木材や木質材料はその変形が増大し続け、その荷重があるレベル以上であった場合には変形増大の終局で破壊に至る。このような特性のため、長期破壊が生じない荷重レベルを決定することが求められ、我が国の木質構造の現行設計規準では、短期強度（10分相当）を100%としたとき、長期強度（50年相当）は55%という数値が定められている。また、新規に開発される木質構造材料については、建築基準法に基づく大臣認定の取得が必要であり、このとき実験的に長期強度を算出することが求められる。

現在、木質構造は中大規模建築物へも適応範囲を広げており、これらの建築物では集成材や直交集成板（CLT）などの積層材料が積極的に使われている。これらは製材と異なり、接着材料であること、ラミナの縦継ぎ（フィンガージョイント）があること、CLTでは直交層が存在することなどの要素が存在する。これらの材料では、長期強度特性が製材でのこれまでの知見と異なる可能性があり、積層材料に特有の要素が長期強度性能に影響を与える可能性が考えられた。

長期強度を評価する実験は、実際に長期的に荷重をかけ続けてそれが継続する時間（荷重継続時間）を測定する実験である。得られた荷重継続時間から50年相当の長期強度を予測することになるが、従来の評価方法は片対数グラフでの直線回帰であり、統計的に妥当な検討がなされているとは言い難かった。このため、従来の評価方法では危険側評価や過剰な安全側評価をしている可能性が考えられた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、木質構造材料が有する要素が長期強度性能へ与える影響を明らかにすることおよび、適切なモデルによる長期強度評価・予測法を確立することである。集成材やCLTが有する、積層接着、フィンガージョイント、および直交層といった要素が長期強度性能へ与える影響について、要素ごとに体系的に長期強度特性を整理し、対象とする構造材料の構成要素に応じた長期強度の推定を実現することを目指した。また、適切な統計的検討を踏まえた長期強度予測手法の開発を目指した。これらの試みにより、長期強度試験の省力化が図られ、新規材料開発が促進されることや、木質構造材料の性能評価の精度が向上し、木質構造の安全性向上、設計の効率化につなげることを目指した。

### 3. 研究の方法

本研究は2つの課題を設定した。

#### ・木質構造材料が有する要素が長期材料性能に与える影響の解明

カラマツ製材（幅138×厚さ38×長さ3650mm）から、製材試験体、水性高分子イソシアネート系接着剤（API）およびレゾルシノール・フェノール共縮合樹脂接着剤（PRF）を用いたフィンガージョイント試験体、APIを用いた3プライ集成材試験体、APIを用いた3層3プライCLT試験体の各種試験体（幅50×厚さ30×長さ720mm）を製作した。各種試験体では短期荷重試験および長期荷重試験体をマッチングして用意した。

短期荷重試験は3等分点4点曲げ方式で行い、曲げ強度を収集した。得られた曲げ強度の平均値を基準応力として、その90%、80%、70%の3レベルでモーメントアーム式荷重装置を用いた長期曲げ試験を行い、載荷開始から破壊までの荷重継続時間を収集した（写真1）。



写真1 長期曲げ試験の様子

・長期材料強度予測モデルの開発

前課題で収集した荷重継続時間データに加え、カラマツ7層7プライおよび、フランジがカラマツLVL、ウェブがOSBで構成される木質Iビームでの荷重継続時間の既存データを用いて解析を行った。回帰計算の精度改善および、生存時間分析によるハザード関数(瞬間破壊確率)の評価を行った。

4. 研究成果

・木質構造材料が有する要素が長期材料性能に与える影響の解明

すべての荷重レベルで、集成材試験体の荷重継続時間が長くなる傾向が観察された。また、応力レベル80%および70%の試験では、PRF接着のフィンガージョイント試験体は、API接着のフィンガージョイント試験体よりも荷重継続時間が長くなる傾向がみられた(図1)<sup>1, 2)</sup>。

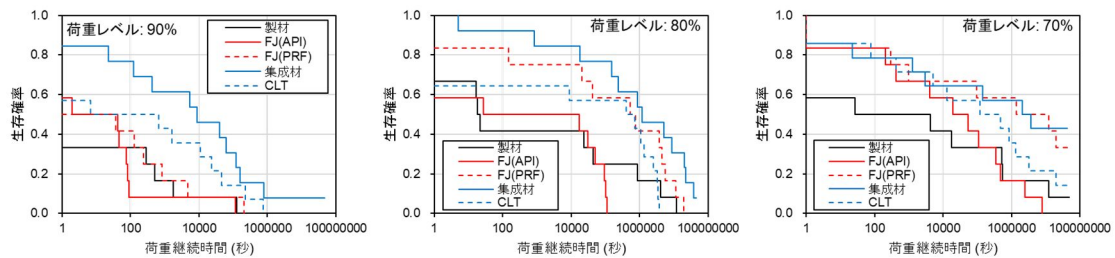


図1 カラマツ各種試験体の荷重継続時間

・長期材料強度予測モデルの開発

カラマツ7層7プライCLTの長期曲げ試験データで収集された荷重継続時間(図2)を評価したところ、荷重レベル90%、80%、70%では載荷初期にほとんどが破壊に至る傾向であったのに対して、荷重レベル60%では時間経過とともに破壊確率が上昇していき、順に破壊していくという挙動となることが明らかとなった<sup>3)</sup>

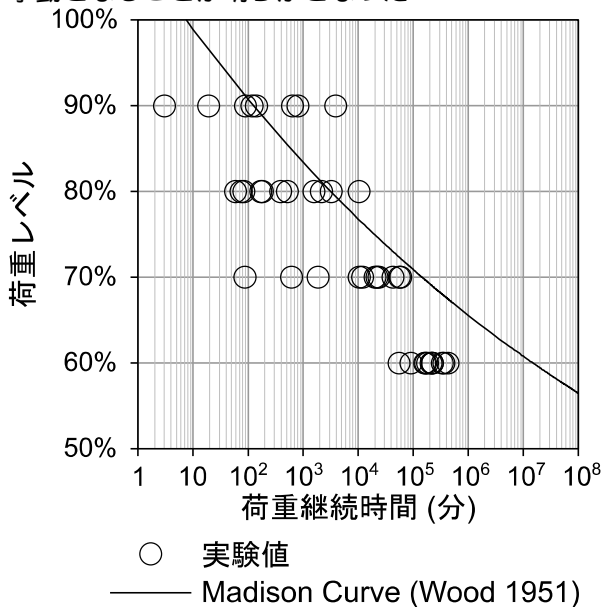


図2 カラマツ7層7プライCLTの荷重継続時間

また、フランジがカラマツLVL、ウェブがOSBで構成される木質Iビームでの荷重継続時間データを解析した。長期試験体に対応する短期試験体全体の破壊荷重の平均値を分母としたときの荷重レベルを用いることで、既存の製材小試験体データから導出されている実験式<sup>4)</sup>への当てはまりが良くなる結果がみられた(図3)。さらに、瞬間破壊確率の評価を行ったところ、フランジ部材のLVLと部材全体のIビーム試験体の間には、瞬間破壊確率の有意差はみられず、材料全体の破壊要素となるエレメント(ここではLVLフランジ)の長期強度性能を評価することで、接着部材の長期強度性能を評価できる可能性が示された<sup>5)</sup>。

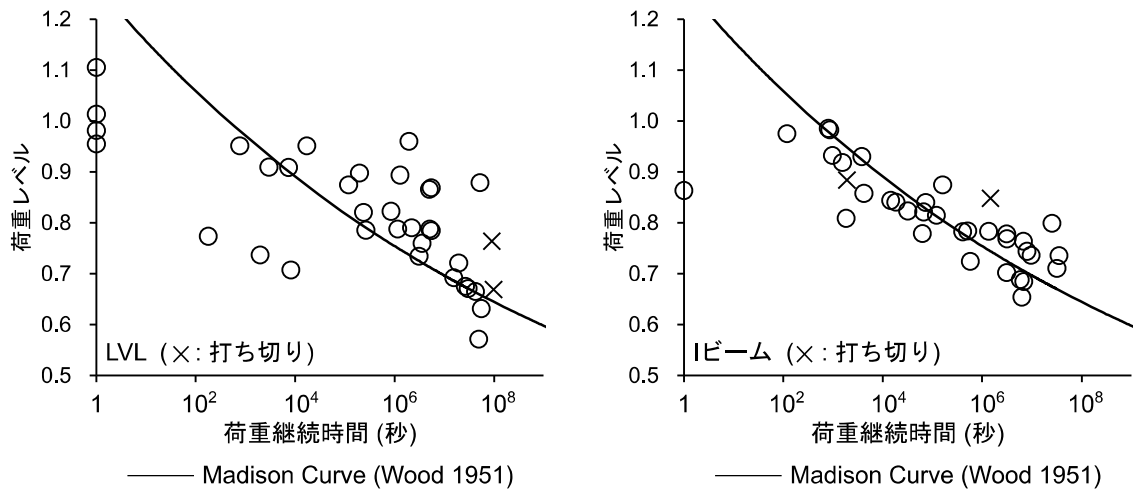


図3 カラマツLVLおよびそれをフランジ部材とした木質Iビームの荷重継続時間

これらの検討結果をふまえて、前課題で収集した荷重継続時間データで同様に瞬間破壊確率を評価した。試験体種別を共変量としたモデルを設定し、製材試験体の瞬間破壊確率を基準とした各試験体の評価を行ったところ、PRF接着フィンガージョイント試験体および、集成材試験体の瞬間破壊確率が小さくなる傾向が観察された。すなわち、製材試験体の荷重継続時間に比べて、API接着フィンガージョイント試験体およびCLT試験体の荷重継続時間は同等に、PRF接着フィンガージョイント試験体および集成材試験体の荷重継続時間は長くなる傾向が得られた<sup>2)</sup>。

以上の検討から得られた結果をまとめると、本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- ・本研究の範囲においては、積層接着要素は荷重継続時間を短くする要素とはならず、目切れや節といった製材としての欠点、特定の接着剤によるフィンガージョイント部が荷重継続時間を決定する要素となりうる。
- ・対象とする木質建築材料の長期強度性能は、破壊要素となるエレメントの長期強度性能により評価が可能である。
- ・標準となる材料を基準として瞬間破壊確率を評価することで、評価対象の材料の相対的な長期強度性能を求めることができる。
- ・したがって、実際の長期強度性能評価においては、破壊に寄与するエレメントを特定し、その長期強度性能を標準試験体での試験と合わせて評価することで、木質建築材料の長期強度性能を評価できる。

#### 文献

- (1) 高梨隆也, 大橋義徳, 石原亘, 宮崎淳子: カラマツ木質構造材料の応力レベル90%および80%での荷重継続時間. 第73回日本木材学会大会(福岡大会), 2023年3月, 福岡大学
- (2) 高梨隆也, 大橋義徳, 石原亘, 宮崎淳子, 渡辺憲: カラマツ木質構造材料の荷重継続時間の比較. 第74回日本木材学会大会(京都大会), 2024年3月, 京都大学
- (3) Ryuya Takanashi, Yoshinori Ohashi, Wataru Ishihara, Kazushige Matsumoto: Long-term bending properties of cross-laminated timber made from Japanese larch under constant environment. *Journal of Wood Science*, 67: 65 (2021)
- (4) Lyman Wood: Relation of strength of wood to duration of load. USDA Forest Service Forest Products Laboratory Report No R1916 (1951)
- (5) Ryuya Takanashi, Takahiro Tsuchimoto, Yoshinori Ohashi, Wataru Ishihara: Duration of load under long-term bending load of laminated veneer lumber and wooden I-beam. World Conference on Timber Engineering (WCTE2023), Jun. 2023, Norway

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 Takanashi Ryuya, Ohashi Yoshinori, Ishihara Wataru, Matsumoto Kazushige	4. 巻 67
2. 論文標題 Long-term bending properties of cross-laminated timber made from Japanese larch under constant environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s10086-021-01997-1	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高梨隆也, 大橋義徳, 石原亘, 宮崎淳子
2. 発表標題 カラマツ木質構造材料の応力レベル90%および80%での荷重継続時間
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会（福岡大会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryuya Takanashi, Takahiro Tsuchimoto, Yoshinori Ohashi, Wataru Ishihara
2. 発表標題 Duration of load under long-term bending load of laminated veneer lumber and wooden I-beam
3. 学会等名 World Conference on Timber Engineering (WCTE2023)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高梨隆也, 大橋義徳, 石原亘, 宮崎淳子, 渡辺憲
2. 発表標題 カラマツ木質構造材料の荷重継続時間の比較
3. 学会等名 第74回日本木材学会大会（京都大会）
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
---------	---------