

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15572

研究課題名（和文）組織構造を基にした広葉樹実大材のめり込み性能発現機構の解明

研究課題名（英文）Study on partial compression performance of hardwood timber perpendicular to the grain based on tissue structural features

研究代表者

未定 拓時（Suesada, Hiroto）

信州大学・学術研究院農学系・助教

研究者番号：20807028

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）：広葉樹の組織構造は複雑であるうえ、樹種によって大きく異なる。特に実建築での利用を想定すると、組織構造および材の寸法が性能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。そこで本研究では、実験によって樹種および試験体寸法が広葉樹のめり込み性能に及ぼす影響を明らかにし、めり込み性能の推定手法の提案と検証を行った。また、組織構造が広葉樹の強度性能に及ぼす影響を把握するため、木口面画像からめり込み性能に関連する特徴量の算出方法と、組織構造のモデル化による数値解析について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広葉樹材は針葉樹材よりも密度が高く、機械的性能に優れた樹種もある。そのため、広葉樹材のめり込み性能が推定可能となることで、木造建築物への利用が容易になれば、木造建築物の構造性能の高度化につながると考えられる。本研究では、広葉樹材のめり込み性能の推定と組織構造がめり込み性能におよぼす影響に関する知見を得た。これらの知見は、木造建築物への広葉樹材の利用と、それを実現するための木質構造に関する研究に資することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：The structure of hardwoods is complex and varies significantly between wood species. In order to use hardwoods in construction, it is necessary to clarify the effects of their structural features and dimensions on their partial compression behaviour perpendicular to the grain.

In this study, the effects of wood species and dimensions on the partial compression performance of hardwoods perpendicular to the grain were experimentally clarified, and a method for estimating the performance was proposed and validated. Furthermore, in order to understand the influence of the structural features of hardwoods on their partial compression performance perpendicular to the grain, a method for calculating performance-related values of the performance from cross-sectional images of hardwoods and a numerical analysis by modelling the structural features of hardwoods were investigated.

研究分野：木質構造

キーワード：広葉樹 めり込み 組織構造 道管配列 端距離 縁距離

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国産広葉樹の大半はチップとして利用されており、用材利用の拡大による資源の有効活用が求められている。日本では古来より力学的性能に優れた広葉樹を楔や栓として応力が集中する建物の接合部に利用してきた。現代でもこのような利用法は有効であるが、接合部設計に必要な広葉樹実大材の研究・データが少なく、現状では広葉樹の建築構造材利用は困難である。

広葉樹を利用した接合部の設計を行うためにはめり込み、せん断といった広葉樹材自体の力学的性能の把握が必要となる。さらに建築構造材料としての利用を想定すると、実際の使用にあった寸法での性能を推定することが求められる。

本研究で対象とするめり込み性能は、繊維直交方向の圧縮（横圧縮）性能の一つである。例えば柱と土台の接合部において、土台の一部に荷重が加わったときに、加圧部に加えてその周囲の余長部の変形による耐力の向上が含まれる性能である。実際の建築では余長のあるめり込み変形の方が、余長のない全面横圧縮変形に比べて多く生じる。

針葉樹に関しては一般的にめり込み性能の推定式であるめり込み基準式により接合部等の設計を行う。しかし、針葉樹に比べて組織構造が複雑な広葉樹にこのめり込み基準式が適用可能かは不明である。そこで、樹種によって多様な組織構造を有する広葉樹に対して普遍的にめり込み性能を推定するためには、最終的には樹種ごとにめり込み性能を把握するのではなく、組織構造の違いなどから理論的にめり込み性能を推定する手法を構築することが求められる。

一方でめり込み変形挙動は、変形発生箇所に関連する寸法によって大きく変化する。そのため、様々な寸法に対応しためり込み性能の推定手法の構築が求められる。さらに、広葉樹に関しては、環孔材などの道管が規則的に配列した樹種では、寸法が大きくなったとしても道管を起点とした破壊が生じ、脆性的な破壊につながる可能性が指摘されているなど、組織構造から無欠点小試験体のめり込み性能を推定する手法をそのまま実大材に適用させることはできない可能性がある。

以上のように、広葉樹の建築構造材料利用のために組織構造から実大材のめり込み性能を推定する手法が必要であるが、性能推定のための基礎的知見を実建築に活かす手法は確立していない。

### 2. 研究の目的

本研究では接合部設計において最も重要な変形の一つであるめり込み性能を対象とし、組織構造が複雑な広葉樹の実大材のめり込み性能発現機構を解明することを目的とする。特に、既知の針葉樹材におけるめり込み性能推定手法を基に、広葉樹実大材のめり込み性能推定手法への拡張手法の実大材への適用可能性を検証する。

### 3. 研究の方法

8 樹種の広葉樹材について小試験体および実大試験体のめり込み試験を実施した。図 1 にめり込み試験の概要を示す。小試験体は JIS Z 2101 の部分圧縮試験を参考に、材厚を 20 mm とし、実大試験体は集成材等に用いられるラミナの断面を想定し、小試験体の 2 倍の寸法となる 40 mm とした。材長および材幅がめり込み性能に及ぼす影響を把握するため、小試験体と実大試験体のいずれにおいても、材長のみを 4 水準とした試験と材長及び材幅をそれぞれ 3 水準とした試験を実施した。広葉樹材の樹種は、選定の指標を道管

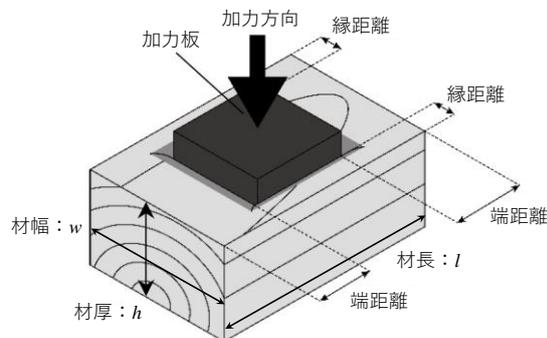


図 1 めり込み試験の概要

配列と密度とし、環孔材のクリ、ケヤキ、ミズナラ、タモ、散孔材のイタヤカエデ、ブナ、カバ、放射孔材のシラカシとした。材のばらつきによる影響を小さくし、寸法によるめり込み性能への影響を明確にすることを意図して、小試験体と実大試験体は可能なかぎり同じ材から採取した。これらの試験により、弾性剛性や降伏応力といっためり込み性能や降伏後の挙動を把握し、これらと試験体寸法との関係を樹種ごとに明らかにした。

めり込み基準式を広葉樹材に適用させる手法について、縦振動ヤング係数と全面横圧縮試験及び部分圧縮試験からめり込み性能の推定に必要な数値を算出し、これらの数値から推定しためり込み性能の特性値や降伏後の挙動について、実験で得られた特性値や応力 - ひずみ関係と比較することで、その適用可能性の検証を行った。

広葉樹材の木口面断面について、スキャナーや実態顕微鏡により画像データを取得した。これらのデータから組織構造の定量化手法について検討したが、実大材における定量化した組織構造の代表値の決定方法や、その検証手法といった課題が残った。また、組織構造をモデル化して有限要素法解析によるめり込み性能の影響を検討したが、組織構造の定量化が進まず数値解析

の検証に課題が残った。そのため、深層学習により画像データから広葉樹材の全面横圧縮性能の特性値の推定手法を検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) りり込み試験による樹種や試験体寸法とりり込み性能との関係の把握

8 樹種の広葉樹材について、材長のみを寸法パラメータとしたりり込み試験の結果、材長とりり込み性能との関係は、小試験体と実大試験体との間でほとんど同じ傾向であることが明らかになった。また、材長と材幅を寸法パラメータとした試験の結果、実大試験体では材幅が増加すると弾性りり込み剛性や降伏耐力といったりり込み性能が増加する傾向があったが、小試験体ではそのような傾向が見られない樹種もあった。小試験体は実大試験体に比較して道管などの組織構造の影響が大きくなることなどが原因と考えられる。実大試験体の応力-ひずみ関係において、降伏後の挙動について道管配列により違いがみられたが、余長の有無によりその程度が異なり、縁距離または端距離といった余長長さの方向によっても異なった。弾性りり込み剛性及び降伏応力は概ね密度と正の相関がみられ、特に余長を有する仕様に強い相関がみられた。一方で、余長による弾性りり込み剛性及び降伏応力の向上率と密度との関係は明らかではなく、道管配列などの密度以外の要因が影響すると考えられる。弾性りり込み剛性と降伏応力の間には強い正の相関関係がみられたが、降伏応力と降伏ひずみとの間には強い相関関係はみられなかった。そこで、降伏応力と降伏ひずみの関係について、樹種ごとに確認すると概ね負の相関がみられた。また、試験体の寸法ごとに確認すると正の相関関係がみられた。

##### (2) りり込み基準式への適用手法の検証

図2に弾性りり込み剛性と降伏応力の計算値と実験値との比較を示す。図2のプロットは、材長と材幅をパラメータとした実大試験の結果を表している。弾性りり込み剛性及び降伏耐力ともに、計算値は実験値と概ね整合したが、降伏耐力については計算値が実験値よりも小さくなる傾向があった。樹種別に見ると、クリの弾性りり込み剛性は計算値が実験値よりも大きく危険側の評価となった。広葉樹実大材のりり込み性能推定手法は実大材への拡張も可能だと考えられるが、樹種によってその適用に注意を要する可能性がある。また、材幅方向に余長(縁距離)のある仕様は材長方向のみに余長(端距離)のある試験体に比べて、計算値と実験値との差が大きくなる傾向があったことから、縁距離を有する場合のりり込み性能の推定手法は、一層の検討が必要であると考えられる。

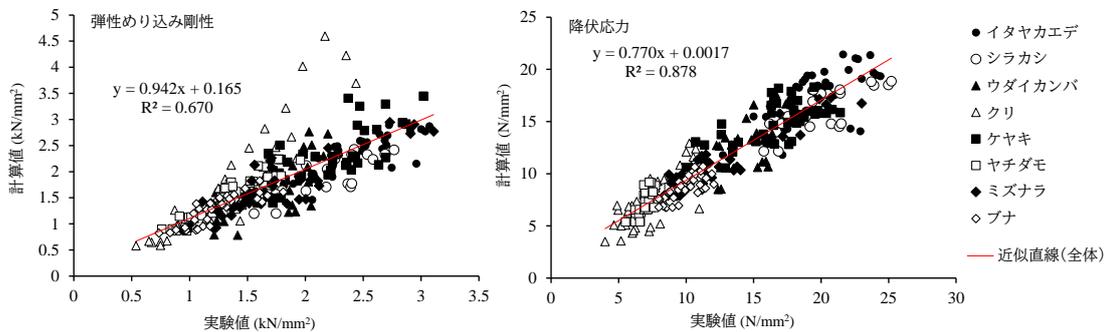


図2 特性値における計算値と実験値の比較

図3に応力-ひずみ曲線の計算値と実験値との比較を示す。図3の(1)と(3)は材幅方向のみに余長(縁距離)がある仕様の結果であるが、降伏点以降の計算値は実験値よりも低くなった。これは、全面横圧縮変形における降伏点以降の荷重増加をゼロとして計算していることが影響したと考えられる。材長及び材幅の両方に余長がある試験体については、降伏点以降の計算値が実験値とよく整合した。これらの結果から、降伏点以降の挙動についても、広葉樹実大材のりり込み性能推定手法は実大材への拡張も可能だと考えられる。

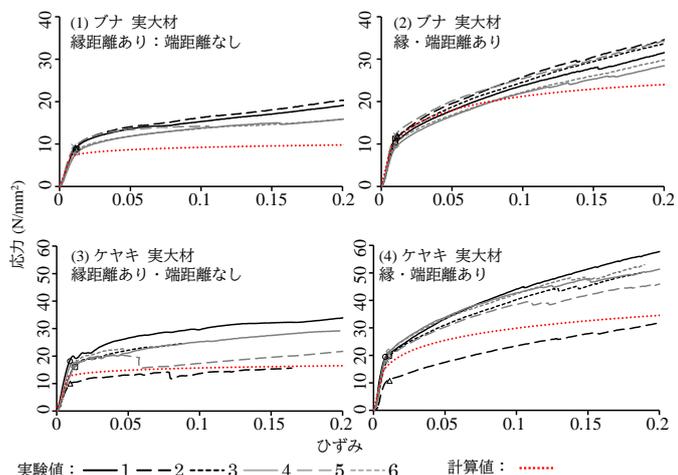


図3 応力-ひずみ関係における計算値と実験値の比較

### (3) 木口面画像による特性値の推定

図4に深層学習による木口面画像と密度による全面横圧縮試験の降伏応力の推定値と実験値との比較の例を示す。推定値と実験値の間には正の相関がみられたが、近似直線の傾きが小さくなった。また、複数のプロットがほぼ同一の位置となった。これは学習用データが不足し、過学習が生じた可能性が考えられる。現状では、木口面画像から全面横圧縮特性値の推定は困難であると考えられるが、学習用データの充実やモデルの最適化、転移学習の利用などにより、精度の向上が図ることが期待できる。

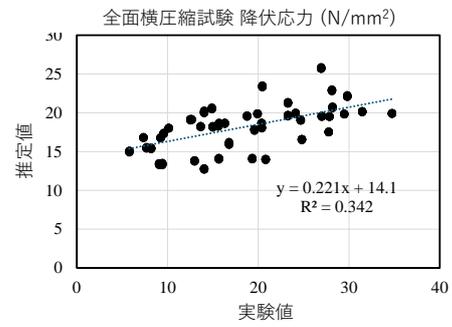


図4 木口面画像による推定値と実験値との比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>未定拓時、宮本康太                     |
| 2. 発表標題<br>縁距離を有する広葉樹のめり込み剛性の推定に関する実験的研究 |
| 3. 学会等名<br>2022年度日本木材学会大会(北海道)           |
| 4. 発表年<br>2022年                          |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>未定拓時、宮本康太                  |
| 2. 発表標題<br>繊維直交方向の余長が広葉樹のめり込み性能に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名<br>日本木材学会大会                   |
| 4. 発表年<br>2022年                       |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>未定拓時                   |
| 2. 発表標題<br>広葉樹8樹種のめり込み性能に関する実験的研究 |
| 3. 学会等名<br>第71回日本木材学会大会           |
| 4. 発表年<br>2021年                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>H. Suesada and K. Miyamoto  |
| 2. 発表標題<br>Experimental study on characteristic values of partial compression perpendicular to the grain of hardwood with edge distance orthogonal to the longitudinal direction |
| 3. 学会等名<br>World Conference on Timber Engineering Oslo 2023  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|