

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06163

研究課題名（和文）木質材料の破壊過程のX線CT連続透視観察による接着強さの発現メカニズムの解明

研究課題名（英文）Investigating the mechanism of the bonding of wood by means of X-ray micro-CT scanning and the stepwise loading test of wood-based materials

研究代表者

田中 孝（TANAKA, TAKASHI）

静岡大学・農学部・助教

研究者番号：40612700

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：近年、木質資源の有効活用や大規模木造建築の推進のために、木材接着が不可欠な技術になりつつある。各種木材接着製品に最適な木材接着技術を選定してその要求性能を確保するには、接着性能が発揮されるメカニズムを把握しておくことが肝要であるが、木材接着強さの発現メカニズムやその劣化メカニズムにはいまだ不明な点が多々あり、それらを今後解明していくためには、木材接着の形態を観察する技術が欠かせない。本研究では代表的な透視観察技術の一つであるX線CTを用いて、木質材料の内部を非破壊的に観察する手法の確立を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木質材料を引っ張りながらX線CTでスキャンするためのデバイスを開発した。このデバイスは設置した木質材料にどのくらいの引っ張り応力が生じているかをデバイス側面のひずみゲージによりリアルタイムに把握する機構を備えている。これにより、さまざまな木質材料試験片に引っ張り力を加えながらX線CT装置で単板の細胞壁の配置や単板に浸透して硬化した接着剤硬化物のミクロな位置関係が視認できるレベルで透視観察することができるようになった。さらに実際に、ラワン合板とヒノキ合板の小試験片に断続的な変位を与え、引っ張り応力を把握し、それをX線CTに供した。合板の破壊過程における細胞レベルでの形態変化を明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：In recent years, wood adhesion has become an indispensable technology for the effective utilization of wood resources and the promotion of large-scale wood construction. In order to select the most appropriate wood bonding technology for various wood bonding products and ensure the required performance, it is essential to understand the mechanism by which bonding performance is achieved. In order to elucidate these mechanisms, techniques for observing the morphology of wood adhesion are indispensable. In this study, we attempted to establish a method for nondestructive observation of the interior of wood materials using X-ray CT, one of the representative fluoroscopic observation techniques.

研究分野：木材物理学

キーワード：木材接着 接着剤 合板 マイクロX線CT 荷重変位曲線 木質材料 接着メカニズム

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、木材の有効利用や大規模木造建築の推進のために木材接着が不可欠な技術になりつつあるが、その木材接着の発現メカニズムは実はいまだによく分かっていない。例えば接着剤が木材組織の空隙部分に入り込み硬化すると投錨状の接着剤硬化物が形成され、これが機械的接着力を発揮して木材接着の強度発現に寄与するという投錨効果仮説は古くから存在するが、その仮説が本当なのかについてはいまだに議論の余地がある。また木材接着性能の評価方法の一つとして木部破断率が古くから用いられているが、同一の条件で作成した木質材料であっても試験片によって木部破断率が大きくばらつくことがあるのはなぜか、木部破断率という木材接着の良好さの判断基準はどこまで妥当なのか、実はよく分かっていない。さらに木質材料の信頼性の向上のために重要な木材接着の耐久性についても、接着性能の低下過程において木材接着に何が起こっていて、そしていわゆる促進劣化試験は耐久性評価手法としてどこまで妥当なのか、これら多くの学術的な疑問に対して、私たちはいまだ確実な答えを導き出すことができていない。

2. 研究の目的

これら長年の科学的疑問を解決するには、木質材料の破壊や劣化の過程を直接観察することが有効である。しかし、木質材料の破壊や劣化は材料の表面だけではなく内部でも起こっており、そのような破壊挙動を直接観察するためには、破壊過程にある木質材料の表面から内部までを経時的に可視化する必要がある。具体的には、木質材料が破壊または劣化していく様子の表面だけでなく内部までを非破壊で透視観察できるような技術が望ましく(解決すべき課題) しかかも木材接着強さの発現には投錨効果のような μm オーダーの形態が関連しうることから、その透視観察技術は木材の組織構造や空隙部分に入り込んだ接着剤硬化物を μm オーダーで可視化できるような技術であることが望ましい(解決すべき課題)。

本研究は、上記 2 つの課題を解決することを目指した研究であった。最新の X 線 CT 透視技術を駆使し、木質材料内部の木材細胞群 - 接着剤硬化物ネットワークの三次元形態を可視化するとともに、静的な観察に加えて破壊過程や劣化過程における形態変化を動的に明らかにすることを目指した。これにより投錨効果仮説の真偽や、微視的な破壊形態が巨視的な破壊形態にどのように影響するのか、木材接着の耐久性の要因等、木材接着にまつわる長年の疑問に回答を与えるための手助けとなるような、汎用的かつパワフルな X 線 CT 透視観察技術の確立を目指した。

3. 研究の方法

一般的なフェノール樹脂接着剤を用いて、針葉樹合板(ヒノキ)および広葉樹合板(ラワン)を作成した。それらを概ね直径 30 mm または直径 7 mm の円筒状の空間(視野範囲)に収まる大きさに切断し、以降の試験体とした。

これを X 線 CT 装置 6 機種に供し、の断層像をいくつかの撮影条件で取得した。一部の装置については、木材接着強さの発現には投錨効果のような μm オーダーの形態が関連しうることから、その透視観察技術は木材の組織構造や空隙部分に入り込んだ接着剤硬化物を μm オーダーで可視化できることが実証された。

次に、図 1 および図 2 のような治具を作製した。この治具の試験体取り付け部分に 500 g ~ 3000 g おもりを取り付け、その力が取り付けた 4 つのひずみゲージの読みと線形の関係があることを確認し、その比例定数を導出することができた(図 3)。この比例定数により、ひずみゲージの読みから治具に取り付けた試験体にかかっている引っ張り力を推定することができる。

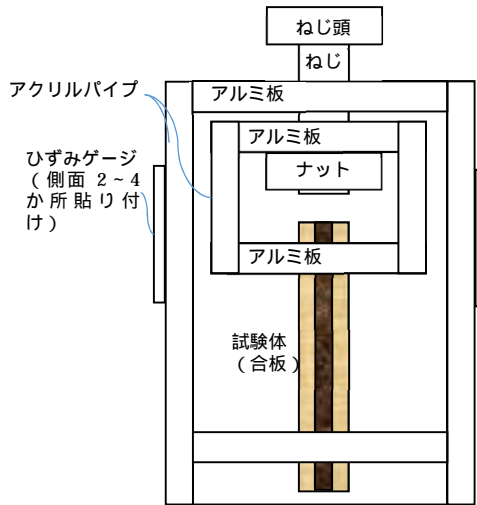


図1 簡易デバイスの模式図



図2 簡易デバイスの写真

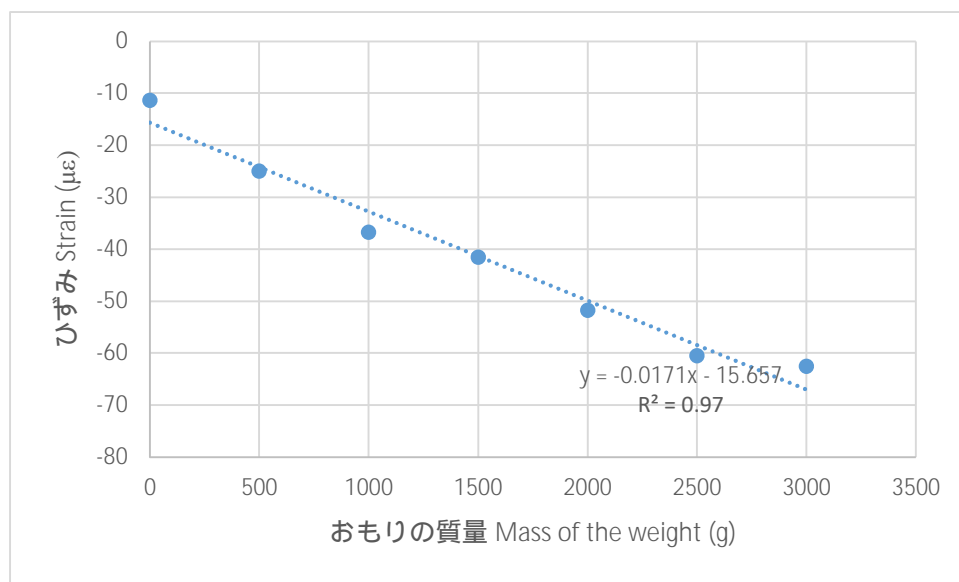


図3 簡易デバイスの試験体装着部に吊るしたおもりの質量とひずみゲージの読みの関係

最後に、この治具に装着した試験体の内部形態を、治具に装着したままで適切に透視観察できるかどうかを確認した。また、図4に示すように、簡易デバイスに装着した状態でも、つまり試験体がアクリルパイプに囲われた状態でも、細胞壁が視認できるレベルのX線CT像を得ることができた。

本研究により、同一の試験片に対して少しずつ荷重を増しながら透視観察を実施することが可能となった。今後さまざまな研究が進むことが期待される。

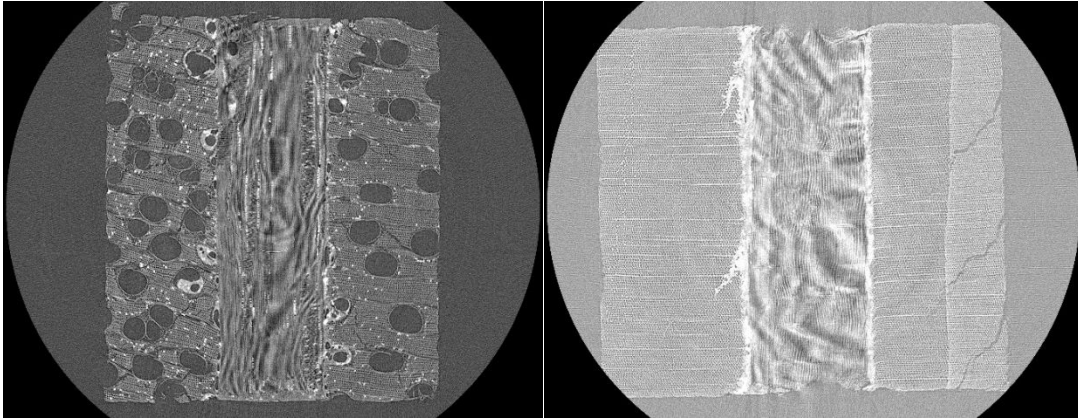


図4 得られたX線CT像の例（左：ラワン試験体、右：スギ試験体）

4. 研究成果

本研究で得られた主要な研究成果は以下のとおりである。

- 合板等の木質材料の内部形態（木部の組織構造や木材組織への接着剤の浸透状況）を数ミリメートルのFOV下で細胞レベルで透視観察するための方法を確立することができた。
- 上述の透視観察のために必要となってくる試験体の寸法、必要な装置の仕様・性能について明らかにした。
- 合板等の木質材料に引っ張り力または圧縮力を加えながら上述の透視観察に供するための、アクリルおよびステンレスからなる治具を開発した。
- これにより、合板等の木質材料に引っ張り力または圧縮力を少しずつ加えながら、その内部形態を断続的に数ミリメートルのFOV下で細胞レベルで透視観察するための手法を部分的に確立した。

これら研究成果を一言で言うなら、木質材料の内部形態やその変化を μm オーダーで“丸裸”にする技術を確立したと言えよう。木質材料のいろいろな環境下での破壊過程や劣化過程を可視化することに有用であり、将来的には木材接着メカニズムの解明にとどまらず、例えば画像相関法等を用いて木質材料の応力分布や膨潤収縮応力を導出して強度性能を予測したり、熱伝導率や透湿性能等を三次元構造から理論的に予測したりなど、さらにはそれらを考慮した新たな機能性木質材料の設計や開発など、さまざまな応用展開が可能になるだろう。木材科学のさまざまな研究を発展させることができる。

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 0件）

1. 著者名 大石蒼、田中孝	4. 巻 57
2. 論文標題 X線マイクロCTによる木質材料接着層の形態学的特徴の透視観察手法の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本接着学会誌	6. 最初と最後の頁 145-151
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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tyana Solichah Ekaputri, Ayuni Nur Apsari, Takashi Tanaka
2. 発表標題 Quantitative assessment of the Japanese commercial coating in Fagus crenata Blume wood using X-ray microtomography
3. 学会等名 The 14th International Symposium of IWoRS（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 孝
2. 発表標題 木質材料の引っ張りX線CT観察のための簡易デバイスの開発
3. 学会等名 日本木材学会大会
4. 発表年 2023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
---------	---------