

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月10日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2012

課題番号：22688013

研究課題名（和文） 接着剤の浸透分布を基盤とした合理的な木材接着体の設計指針

研究課題名（英文） The rational design manual of the adhered wood materials based on osmosis distribution of adhesive

研究代表者

堀 成人 (NARUHITO HORI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：80313071

研究成果の概要（和文）：水性高分子一イソシアネート系木材接着剤(API接着剤)でマカバ板二枚を接着した最もシンプルな接着体を作成し、横断面と放射断面との両接着層を走査型レーザー顕微鏡で観察し画像解析して得たヒストグラムから分布様を表現する導関数と代表値の算出し、関数の変数が木部へ浸透を表現できるのが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Makamba was adhered with API adhesive, which was observed by scanning laser microscopy. Observed picture was analyzed and obtained histogram shows that the adhesive penetration into wood was determined qualitatively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2012年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	10,100,000	3,030,000	13,130,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：木材接着、アンカー効果、レーザー顕微鏡、木部浸透、計算機シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

プラスチックや金属の接着と比べて木材接着にはより特徴的な接着機構がある。それはアンカー効果とよばれ接着剤が木部に浸透・固化してアンカーのように接着性能を高めている。この考えは古くからあり、佐伯らが木部へ浸透した接着剤のSEM像を始めて観察し、それに続いて古野らが精力的に研究した。近年に至り顕微鏡や非破壊検査の技術進化に伴って、より詳細に検討されている。このように木部への接着剤浸透は精力的に観察されているが、アンカー効果を接着面からの最大到達距離や浸透の総和量で評価し

ている。しかしこれら評価方法とアンカー効果との間に科学的な隔りがあり、木材接着のアンカー効果について、科学的に妥当な評価方法については確立されていなかったのが現状であった。

2. 研究の目的

走査型レーザー顕微鏡を用いて、木質材料内での接着剤の浸透・分布を評価する技術、研究者は開発しつつある。これをシンプルな接着体で確立した後に、合板とパーティクルボードへ展開する。それらを接着試験に供すとともに、その破断試料も顕微鏡で観察する。

得られた結果を統合し、アンカー効果と呼ばれる接着性能を高める機構と結びつける。これを基に、どのようにしたら信頼性と製品歩留まりが高い木質材料が得られるか、接着剤の特性も含めた接着条件の設計指針を提示する。

木材接着のアンカー効果について、科学的に妥当な評価方法を決定する。その評価を接着特性へ結びつける論理を構築する。ここから生まれた考えを基にして、信頼性と生産性が高い木材接着剤または接着条件の設計指針を提示する。走査型レーザー顕微鏡を用いて、木材接着体断面および破壊試験体の断面から木部と接着剤を鮮明に分離した画像を得る。この像を画像解析して、幅広い情報を統計的または離散数学的に算出する。例えば、接着面からの距離に対する接着剤存在量のヒストグラムや、接着剤の浸透が木の根のようなのか杭のようなのかなど。この情報群からいくつかの仮説を考案し、アンカー効果を科学的で明確な数値として表す。

一方で、上述と同様に作成した接着体のJISまたはJAS規格に沿った性能試験を行う。ここで、温水または沸騰水での促進劣化処理を施すと接着性能が大きく低下するので、その処理後と引っ張り破断後の試料断面を顕微鏡観察する。

以上二系統の実験結果から得られる情報から、アンカー効果と接着性能との関連性を導き出す。そこから、いくつかの説明原理を生ませて、これを基に接着特性の良い木材接着体の設計指針を提示する。

本研究の要は、接着剤の木部浸透と接着特性をつなげる論理の構築にある。これはアンカー効果と表現されて、これまで漠然と捉えられてきた。アンカー効果を接着剤の最大浸透深さで評価するなど既往の研究にある盲点を突き、科学的な解析を試みる本課題は一線を画く成果が得られる。本課題では、得られた結果を利用し、良接着性を有する木質材料の開発指針を構築する。そこから生み出される考えは、木材接着、ひいては木質材料の学術分野を発展させる起点となる。これを活用すると、接着剤を減らしても性能を維持できるなど、木質材料へ高い信頼性と生産性を付与する可能性が生まれ、社会貢献も大きい。

接着に関する理論と成果の多くは、工学的な分野で発展してきた。それに比べて、被着材の木材に固有な特性へ、本課題では多孔性に由来するアンカー効果へ、真っ向に取り組んだ研究成果は非常に少ない。本研究課題から、複雑で不均一な木材における接着現象の解明へ向けて多くの新しい発展が期待できる。

3. 研究の方法

計画は、大きく分けて4つのパーツに分け

てある。まず始めに、最もシンプルな実験対象として板材を接着した試料を用い、本課題の理論構築をする。接着剤と接着条件を因子として、網羅的に接着試験体を作成する。それらの横断面と放射断面を走査型レーザー顕微鏡で観察する。得られた画像から、浸透深さに対する接着剤の存在量を描画したヒストグラムを作成する。このグラフから、浸透の分布様を表現する代表値と導関数を複数個導き出す。一方で、JISまたはJAS規格に沿った接着試験を行う。画像解析と接着性能を組み合わせ、接着性能と関連性が高い代表値を主成分分析で決定する。これを基盤として合理的な接着性能を引き出せる接着剤の浸透分布様を導き出す。こうして確立した手法と理論を順次、合板とパーティクルボードへと適用する。

本課題の学術的特色は以下にある、1. 木部へ浸透した接着剤の鮮明な画像を取得、2. 画像解析による接着剤分布のグラフ化、3. 計算機を使用した統計的または離散数学的な解析（一例の概略を下に示す）。1. は既往の研究にもあるが、2. と3. は木材接着の新境地を開き先駆的である。これは、応募者が画像処理、プログラミング、最適導関数の導出など電子計算機による情報処理を得意とするところが大きい。これら解析手法群は、接着剤の浸透度合いを科学的に根拠がある評価に向けて威力を発揮する。

既往の研究と異なり、アンカー効果を発揮する接着剤の浸透・分布の度合いに焦点を絞り、多角的に評価する点に独創性を求める。木材接着性能の高低すべてをアンカー効果に理由づける事はできないが、アンカー効果は接着性能に必ず寄与している。この寄与している部分を切りだして、その解析方法を論理的に構築し、得られた結果をアンカー効果さらには接着性能に結びつける。

4. 研究成果

本課題は、木材の接着において接着剤の浸透度合いと種々の接着性能の関連性を明らかにし、これを基にどのようにしたら信頼性と製品歩留まりが高い木質材料が得られるか、接着剤の特性も含めた接着条件の設計指針を提示する。

様々な粘度に調整された水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤(API 接着剤)でマカバ板二枚を接着した最もシンプルな接着体を作成し、1. 横断面と放射断面との両接着層を走査型レーザー顕微鏡で観察、2. 顕微像を画像解析して得たヒストグラムから分布様を表現する導関数と代表値の算出、3. 常態および促進劣化処理後の接着性能試験、4. 2. と3. とを結びつける接着理論を導出、5. 接着剤の粘度と浸透深さに関する研究の以上を行った。

既存の報告から予想されるのと同様な観察像が得られた。それはAPI接着剤は接着界面付近での軸方向の木部繊維および放射方向の柔細胞、接着界面から離れた道管と道管壁孔およびその周辺の柔細胞、これら組織内腔への浸透が見られた。なお、接着層中心から1mm離れた点でも観察された。

約40試験体の顕微鏡像を画像解析して、接着剤量と接着層中心からの距離とを関連づけたヒストグラムを作成した(標点数約8万)。接着層中心から約0.05mまでに約70%の接着剤が存在し、これは接着層とその付近の木材細胞の内腔の浸透を示している。0.05mより遠い方向へ向かうと、徐々に接着剤の存在が少なくなる。これは接着剤が木材の放射組織および道管内腔への浸透を示している。以上二つの傾向が見られたので、ヒストグラムを二項の正規関数へあてはまるよう回帰計算をした。その結果、関数の変数が木部へ浸透を表現できるのが明らかになった。この解析方法を今後の発展的研究に使用することが可能である。ある材料の特性について一つの法則式があったとして、新たな傾向が実験で見いだされたときは式へ修正や備考、例外が加えられる。結果として、式が複雑になるか、一般性を失って、適用が難しくなる(例えば、ガラス転移温度を計算するFox式に対して、多数ある拡張式など)。これが特に顕著なものの一つが木材接着である。木材自体が複雑系の上に、その接着特性へ至るまで、非常に多くの因子が関与する。従って、なんらかの法則性を見いだすのは困難である。

この現況を打破する一つの手法として、基礎的な原理から複雑な機構へ順に組み上げていく演繹的なシミュレーションの導入を試みた。これは、最小限の規則で構成した計算格子を大規模に連結して、接着体のモデルを計算機上で構築し、たとえば破壊といった現象を仮想的に観察する。この際、前述したように、既存なり新規なりの実験結果に沿うようなモデルへ絞り込んでいき、組み合わせ爆発へ至らないよう制御する(この点は帰納的でもある)。

最も単純なモデルを用いて木材接着の破壊をシミュレートした。二次元平面に展開した格子一つを四辺形として、その原点から四つの辺にそれぞれ粘弾性モデルの力線を繋いでいる。また、格子の変数一つ一つに、設定値よりわずかに異なるゆらぎを組み込んだ。力線の伸びが規定値を超えたときを格子辺の破壊と定義し、この破壊が連続したら裂け目と見なせる。これが広がるにつれて先端のひずみも徐々に大きくなっていき、加速度的に裂け目が成長する。やがて、最も大きな裂け目が、対象の接着破断へ至る。この仮定を基に、格子数1000x1000個とした二次元モ

デルでシミュレートしたところ、凝集破壊を再現できた。

また粘度と浸透深さに関してはえたときを格子辺の破壊と定義し、この破壊が連続したら裂け目と見なせる。これが広がるにつある程度の相関が見られるが、サンプル数を増やす等により定量化できると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. 接着剤の木材への浸透の評価
堀 成人、木材工業、**65(2)**, 100-105 (2010) 査読あり

2. 走査型レーザー顕微鏡観察と統計解析を組み合わせた方法による接着剤浸透の評価
藤井祐樹、堀 成人、竹村彰夫、加茂誠貫、深沢文雅、木材工業、**66(2)**, 54-57 (2011) 査読あり

[学会発表] (計3件)

1. 堀 成人、木材接着の破壊を計算機上でシミュレートするための思考実験 日本木材学会第50回年次大会 2012.3.16 北海道大学

2. 堀 成人、木部へ浸透した接着剤のレーザー顕微鏡観察とその定量評価 第61回日本木材学会 2011.3.18 京都大学

3. 藤井祐樹、堀 成人、他4名、接着剤浸透、接着強度に及ぼす木材含水率の影響 第61回日本木材学会 2011.3.18 京都大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

<http://jglobal/jst.go.jp/public/20090422/200901087753208913>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀 成人 (NARUHITO HORI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：80313071

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし