

氏 名	むら た こう じ 村 田 功 二
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	論 農 博 第 2584 号
学位授与の日付	平 成 18 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	画像相関法を用いた木材の変形挙動解析

論文調査委員	(主 査) 教 授 藤 田 稔	教 授 川 井 秀 一	講 師 仲 村 匡 司
--------	--------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

近年の半導体技術の進歩にともない、デジタル画像を用いた材料のひずみ解析法が考案されている。その一つに画像相関法があり、様々な材料で応用が試みられている。本論文では、木材のひずみ測定への画像相関法の応用、特に測定精度の向上と検証を行い、その有効性を検討している。また生物材料である木材は複雑な組織構造を持つが、それらが変形挙動に与える影響を画像相関法を用いた解析結果から考察している。論文は以下の6章からなっている。

第1章では、木材の組織構造と変形挙動に関係する既往の研究について述べ、本研究の目的を明確にしている。

第2章では、本研究において最も重要な解析ツールとなる画像相関法の基本原理を説明し、精度向上と高速化についての改良点を述べている。画像解析における高精度化として画素の内挿が試みられているが、本研究では内挿関数として双一次関数や、2次元の3次Bスプライン関数の導入を試みている。さらに高精度化にともなう計算負荷の増大を回避するため、二分法の開発や離散化ニュートン・ラフソン法を導入し、処理速度の高速化を実現している。また試験体の面外方向への変位は見かけ上のひずみ量の増減をもたらすため、2台のデジタルカメラを用いたステレオ画像法によって3次元的な変位解析を行い、面外変位の補正を行っている。これらの改良を加えた画像相関法によるひずみ分布の測定精度の検証を行い、木材の変形挙動の解析には十分に使用に耐えることを確認している。

第3章では、木材に外力を加えることによって生じる力学的変形挙動を考察している。まず有節材の4点曲げ試験を行い、画像相関法を使った有節材のひずみ分布の解析を試みている。ステレオ画像法による面外変位の補正を行うことにより、節ばかまの複雑なひずみ分布の解析に成功している。続いて早材と晩材の積層構造の影響を強く受けられていると考えられる横方向(繊維直交方向)の変形挙動を観察し、針葉樹材(スプルース、ペイマツ)では圧縮方向にかかわらず早材部に生じるせん断ひずみが圧縮破壊と深く関係することを明らかにしている。

第4章では、木材の横方向の膨潤異方性に関する観察結果を述べている。木材の横方向の膨潤・収縮異方性にはいくつかの原因が考えられているが、主たる要因として異なる組織構造の相互作用が挙げられる。アカマツ・早材部の年輪境界付近に生じているせん断ひずみを観察し、早材部が晩材部の膨潤挙動に強く引っ張られていることを示す変形挙動の可視化に成功している。また試験体中央部でも、晩材が波打っている個所で早材部の年輪境界付近に生じているせん断ひずみを観察し、晩材部の不規則な挙動を早材部が緩和している可能性を述べている。

第5章では、共焦点レーザー顕微鏡を用いて、木材の細胞および細胞壁の膨潤挙動の観察し、細胞壁の微細構造や組織構造と膨潤挙動との関係を述べている。本研究では、表面形状の観察に優れた共焦点レーザー顕微鏡を使用し、さらにスパッタエッチング処理を施して切断面にミクロクレター構造を生成することで、細胞壁横断面のひずみ分布の解析に成功している。さらに同方法を用いてペイマツ晩材仮道管の膨潤挙動を解析し、ゆっくりと吸湿し平衡状態に達した場合には晩材部は等方的に膨潤するが、スチームによって急速に加湿した場合の晩材は放射方向(半径方向)にのみ膨潤することを観察している。また急速に加湿した晩材の接線壁は、吸湿にも関わらず接線方向に収縮することを観察している。これらの現象は、含水率変化の少ない試験体内部が接線方向にのみ膨潤を拘束することによって起こることを考え、早材と晩材の積層構造の影響

によるモデルを提案している。

第6章では、ラバーウッド／ファルカータ交互積層 LVL の膨潤挙動を解析している。ラバーウッド／ファルカータ交互積層 LVL は狂いの少ない単板積層材（LVL）であり、その狂いを抑えるメカニズムを画像相関法を用いた解析から考察している。そして吸湿試験により交互積層 LVL のファルカータ層で大きなひずみが生じやすいことを明らかにしている。針葉樹材における早材と晩材の相互作用のように、ラバーウッド／ファルカータ交互積層 LVL ではラバーウッド層の膨潤による変形を柔らかいファルカータ層が吸収することで、膨潤による縦反りが緩和されていると結論づけている。

論文審査の結果の要旨

木材の破壊条件や膨潤収縮特性の研究には、ひずみ分布解析は不可欠である。従来の方法に比べて画像を使った解析方法は適応範囲も広く、注目されている技術の一つである。本論文は、画像相関法に独自の改良を加え、木材および木質材料の変形挙動を解析したものであり、評価すべき点は以下の通りである。

- 1) 従来の画像相関法の測定精度不足という欠点に対して、独自の改良を加えて測定精度を向上させ、木材のひずみ解析を十分に行えることを示した。具体的には、擬似的な高解像度を得るために一般的な双一次補間だけでなく、独自に2次元の3次スプライン関数による補間を試みた。また処理を高速化するために二分法を考案し、さらに離散化ニュートン・ラフソン法を導入した。これらの改良により、画像相関法が木材のひずみ測定に対して十分な測定精度を持つことを示した。
- 2) 木材は異方性材料であり、剛性・強度が高い繊維方向だけでなく、弾性に富む繊維直交方向の特性も重要である。本研究では、その繊維直交方向の変形挙動と組織構造の関係について検討を行った。そして針葉樹の繊維直交方向の圧縮破壊には、早材と晩材の積層構造が影響していることを明らかにした。
- 3) 木材の繊維直交方向の膨潤異方性と組織構造の関係を調べ、画像相関法を用いて早材と晩材の積層構造が膨潤異方性に与える影響の可視化に成功し、また柔らかい早材が晩材の不規則な変形を吸収している可能性を示唆した。
- 4) 共焦点レーザー顕微鏡から得たデジタル画像を画像相関法によって解析することにより、細胞壁断面上の微細な領域のひずみ分布の解析を可能にした。そして相対湿度と平衡状態に達した試験体と急速な加湿を施した過渡的状态の試験体の観察を行い、含水率勾配による内部応力が存在する状態では、晩材仮道管の膨潤挙動は早材と晩材の積層構造の影響を強く受けていることを明らかにした。
- 5) ラバーウッド／ファルカータ交互積層 LVL は、吸放湿によって起こる狂いの小さい木質材料である。本研究では画像相関法による膨潤挙動解析により、密度の小さいファルカータ層で大きなひずみが生じやすいことを観察し、早材と晩材からなる年輪構造を模した構造が、狂いに対する性能を向上させていること明らかにした。

以上のように本論文は、画像相関法を木材のひずみ分布測定に十分なものとすると同時に、木材の組織構造や木質材料の構成と変形挙動の関係を明確にしたものであり、破壊条件や膨潤収縮特性の研究において学術的な貢献が大きいだけでなく、新規木質材料の開発にも大きく寄与するものである。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成17年11月21日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。