

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	永 井 博 昭
論文題目	画像相関法による有節材の欠点検出および非線形破壊挙動解析		
(論文内容の要旨) 構造材料の点から考えるならば節は木材固有の欠点である。節は強度低下の主要因のひとつであり、木材の目視等級区分法においても重要な評価因子とされている。したがって、節の非破壊検出と破壊挙動の解明は工学的設計において重要な課題である。これまで、木材欠点検出は光学情報、電磁気、放射線、熱特性、弾性波などの様々な手法でのアプローチが試みられてきた。本研究では、オンラインでの実用的評価が可能な非破壊検査手法の開発および節の存在が木材の破壊挙動に及ぼす影響を解析することを目的として、画像相関法を用いて木材の曲げたわみ曲線の形状評価を試みるとともに、破壊過程の節検出およびその破壊機構解明を検討した。得られた結果の概略は以下のとおりである。 応力に対する部材の応答であり強度に直接関係する特性を評価できる曲げたわみを用いて節の検出を試みた。画像相関法による変位ベクトル計測から得た曲げたわみ情報を基に、無欠点部位の回帰曲線と有節部位の実測曲げたわみ曲線と比較した。さらに、有限要素法に基づくシミュレーションにより同様のプロファイルを算出し、実測値と比較した。その結果、有節材では正常材とは異なる節周辺移行部の曲げたわみのプロファイルが観察されること、その要因が繊維結合していないことによる断面欠損（死節）、局所的な繊維走向（流れ節）であることを明らかにした。さらに、たわみから得られるプロファイルによって破壊に至る節の位置や形態（死節、流れ節など）の検出が可能であることを見出した。上記結果をもとに、本研究の検出方法を適用しレーザー変位計を用いた曲げたわみ曲線の実測を試み、その精度を確認し実用化を検証した。 上記の実験結果を踏まえ、節における有節材の破壊機構解明を目的に、画像相関法によって有節材の破壊直前までの過程のひずみ分布を観察した。その結果、有節材においても破壊直前では非線形挙動が観察されること、節周辺の繊維走向によってき裂は繊維直交方向に進展することを確認した。得られた結果は、き裂が繊維直交方向へ進展する場合の非線形破壊挙動を評価することの重要性を明らかにするものであった。そこで、非線形挙動を評価するために、損傷理論に基づく不連続体モデルにおけるfracture process zone（以下FPZ）の幅および長さを見積もり、木材におけるFPZの幅が約0.4～0.6 mmであること、年輪間隔が広いほど、FPZの幅は大きくなる傾向があること、を見出した。FPZの長さは1.8～2.2 mmであった。これらの結果は、破壊直前におけるひずみ分布領域の長さから妥当であると結論づけられた。			

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

木材は生物材料であり不均一であり個体差が大きな材料である。したがって、材料としての木材では、それらが大きな問題となる。このために、様々な欠点検出方法が提案されてきたが、最も大きな影響を与える節の検出および評価に関する試みは少ない。構造用部材としての木材の利用を考えた場合、強度特性において節の存在は大きな不均一因子となる。こうしたことから、木材の利用において有節材の欠点検出と評価方法の確立が強く求められている。

本研究は、実用的評価が可能な非破壊検査手法の開発および節の存在が木材の破壊挙動に及ぼす影響を解析することを目的として、画像相関法を用いて木材の曲げたわみ曲線の形状を評価することによって、破壊過程における節の検出およびその解析を行なったものである。本研究において評価できる点は以下のとおりである。

1. 画像相関法による変位ベクトル計測から、節周辺の移行部では正常材とは異なるたわみが観察され、曲げたわみ曲線から得られるプロファイルによって破壊に至る節の位置や形態（死節、流れ節など）を検出することができ、通常検出困難な節の存在も確認できた。
2. 節の存在による上記プロファイルの差異が、死節では繊維が結合していないことによる断面欠損、流れ節では局所的な繊維走向による曲げたわみ分布曲線の変化によるものであることを明らかにした。
3. レーザー変位計を木材の下に配して無欠点材と有節材のたわみ曲線を測定し、ヤング係数を求めた結果、無欠点材ではほぼ一様にヤング係数は分布していたが、有節材では材縁に死節が有る場合はヤング係数が低下した。この差異は節の存在形態が関与していることを明らかにした。
4. 画像相関法を用いて節周辺のひずみ分布を観察し、破壊直前のひずみ分布の観察に成功した。一般には脆性的に破壊するとされる有節材においても破壊直前では非線形挙動が観察されること、節周辺の3次元的な繊維走向によってき裂は繊維直交方向に進展することが確認された。その結果、き裂が接線方向もしくは半径方向へ進展する場合の非線形破壊挙動を評価することの重要性が明らかになった。
5. 応力-ひずみ関係の非線形性の著しい領域fracture process zone（以下FPZ）に着目し、損傷理論に基づく不連続体モデルを用いて、FPZの幅および長さを見積もった。

以上のように、本論文は木材の破壊挙動に最も大きな影響を与える節の検出方法を確立するとともに、画像解析により有節材の破壊機構を解明したものであり、生物材料設計学、林産加工学、生活圏構造機能学の各分野の発展に寄与するところが大きい。

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23年2月16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。

注) Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降