

審査の結果の要旨

氏名 佐藤 利昭

接触問題を考慮した木材の破壊条件の評価 —スギ材を用いた材料試験と個別要素法による数値実験—

本研究は、木質構造の解析環境の構築を目的として、木材の組織構造に立脚した解析モデルを用いた個別要素法に基づく連続体の応力解析手法の提案を行ったものである。本論文は全6章で構成されている。

第1章は序章であり、研究の背景と目的、本論文の構成が述べられている。既往の研究の概要を整理した結果、木材を対象としたシミュレーション解析の環境として必要な条件を、(1)木材の直交異方性を考慮できる三次元解析であること、(2)接触問題を前提とした解析手法であること、(3)木材の組織構造に立脚した特性に基づくこと、(4)粘弾性など木材の未解明の性質を今後組み込み易い構成をもつこと、の4点であるとし、このような解析環境の構築を本研究の目標としている。

第2章は個別要素法による連続体の応力解析について述べられている。まず、個別要素法の概要およびその変遷、更に連続体への適用方法について解説した上で、本研究で提案する個別要素法を用いた解析モデルについて述べられている。個別要素法は不連続体の解析方法として提案されたもので、解析対象を粒子とそれらを結ぶバネ要素に置換することを基本としている。個別要素法を連続体解析に適用する試みは過去から行われてきたが(拡張個別要素法とも呼ばれる)、連続体の性質を材料物性から導くことは困難であることが既往の研究から知られている。本研究では、質量と大きさをもつ球状の剛体(内部粒子)とこれらをつなぐ3本1組の軸方向弾性バネ(間隙バネ)で構成される解析モデルを提案することにより、個別要素法による連続体の応力解析を行っている。軸方向バネを3本1組として内部粒子間を結ぶことで、内部粒子の幾何学的な移動のみで様々な挙動が再現できる点が特徴的である。提案した解析モデルおよび解析方法を用いて、一様な弾性棒の引張および片持ち梁を対象とした解析を行い、弾性論に基づく理論値との比較検討を行い、解析手法の妥当性と基本的な材料特性との関係について確認を行っている。更に、減衰や内

部粒子の半径、接合半径など各種パラメーターが解析結果に与える影響に関する考察を行っている。

第3章では、スギ材を用いた材料試験の結果について述べられている。木材の試験片は木材繊維の方向によって力学的な特性が大きく異なることを考慮し、同一個体から試験条件毎・繊維方向毎に同一年輪間で採取することを基本としている。材料試験は圧縮試験に加えて、試験条件を限定した引張試験、せん断試験、摩擦試験を実施した。その結果、寸法効果による強度特性のばらつきと繊維方向の関係、木材が持つ粘弾性的な性質と強度の関係、年輪半径方向と年輪接線方向の強度特性の関係、木材と鋼材の接触面における摩擦特性と接触条件の関係、等に関する考察を行っている。

第4章は木材の機械的性質とモデル化として、木材繊維の組織構造に立脚し2章で提案した解析モデルを木材に適用する方法を述べている。木材の破壊性状と強度特性に関する既往の研究を整理・考察し、第3章の材料試験結果も踏まえた解析モデルは、(1)内部粒子は晩材に集中して配置、(2)間隙バネはL方向：晩材部の繊維方向、R方向：繊維方向を区別しない早材部、T方向：晩材部の繊維直交方向、それぞれの特性を反映して設定する、(3)間隙バネの引張強度は、L方向：R方向の10倍とする、ことを提案している。R,T方向の間隙バネの引張強度は材料試験結果をもとにし、内部粒子の粒子半径と接合半径の設定および回転運動の評価における慣性モーメントの設定に関しては数値実験をもとに定める必要があることが示されている。更に、木材の粘弾性特性と摩擦特性については十分評価できておらず、今後の課題であることが示されている。

第5章は木材のシミュレーション解析と数値実験である。第2、4章で提案したモデルと解析方法による解析結果と材料試験結果の比較検討を行ったものである。その結果、T方向全面圧縮については最大耐力から降伏後(1/30程度)まで、R方向全面圧縮では最大耐力まで精度良く再現でき、破壊の進行と形状に関しても良く一致することを確認している。最大耐力以降は、解析結果では荷重が急激に低下し試験結果と一致していない。この点に関しては、提案したモデルでは接触問題の解法としてペナルティー法を用いているが、接触した内部粒子を破壊面に固着させる制御を加えることにより荷重低下後の挙動も比較的良く一致させることが可能であることが示されている。更に、既往の研究による部分圧縮試験結果に本解析モデルを適用したところ、最大耐力または降伏後の荷重の推移に関して必ずしも一致しない場合はあるものの、概ね荷重変形関係を再現できることを確認している。

第6章では本論文の結論と課題が述べられている。本研究では、木材の組織構造に立脚した解析モデルを提案すると同時に、これを用いた個別要素法に基づく連続体の応力解析

手法の提案を行っている。提案した解析モデルおよび解析手法を用いた解析結果と、スギ材の全面圧縮試験および部分圧縮試験結果との結果を比較検討しその有効性を示すと同時に、モデルの適用範囲を明らかにしている。

本研究は、内部粒子とこれを繋ぐ弾性バネで構成された解析モデルを、木材の組織構造を反映した形で構築し、木材試験片の荷重変形関係を最大耐力近傍まで精度良く再現すると同時に破壊の進行に関しても比較的精度良く再現することに成功している。限定された数の試験体の再現に留まっており、粘弾性・摩擦等の特性を十分に評価できていないが、木材の微視的な組織構造をもとに構造解析に適用しうる解析モデルを提案した点は高く評価できる。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。