

論文の内容の要旨

論文題目

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 －

氏名 佐藤 利昭

永続的な資源供給が可能である木材は、今後の需要拡大が予想され、木材を構造部材とする木質構造の適用範囲はさらに拡充すると言われており、この気運の高まりは、公共建築の木造化などの具体的な形で、我が国の政策にも既に組み込まれている。これに対して、木質構造建物の構造設計は独特の設計体系を成しており、他の構造形式に比して仕様規定の色合いが強く、このためか崩壊メカニズムなど建物全体のバランスを確認しながら設計を進めることは、未だ困難を伴う。もちろん、これらの設計体系は一概に否定すべきものではなく、数十年に渡り積み重ねられてきた知見を踏まえた一つの方法であり、同時に第四号建築物に代表される住宅需要も満足させてきた背景もあるが、いわゆる一般の構造設計者が、新たに木質構造の設計に取り組むには多少の労力を要するの事実である。したがって、先に述べた他構造との併用といった技術的・社会的な進展に併せて、各種の設計方法を見直すことは喫緊の課題であり、その中でも現在普及している標準的な設計手法、例えば増分解析などによって架構全体の特性を把握する方法などは、最低限整備しなければならない環境と考えられ、そのためには材料特性や部材断面といった基本的な情報から積み上げられた、解析モデルの構築が必要不可欠である。

これらの背景を踏まえ、本研究は木材の材料特性に着目し、特に接触状態にある木材の破壊条件の評価を試みたもので、木質構造分野の基礎研究に位置付けられる。木質構造建物を構成する部材間の接合はすべて機械的接合によるため、建物を構成する木材は、必ず接触面を持つことになる。したがって、建物全体の解析モデルを構築する上では、接触状態にある木材の特性が最も基本的な情報となるが、現在でも実験的な評価に頼る以外に、この特性を把握する有効な手立ては殆どない。当然ながら、このままでは設計自体が不可能であるため、現在ではそれらの性質も含めた接合部全体の特性を実験結果に基づいて評価し、それを建物全体のモデルに組み込むことが慣用となっている。しかし、多種多様な木質構造の接合部をすべて実験的に評価することは困難であるばかりか、得られる特性も実験条件に強く依存するため、建物の実挙動と乖離した条件下で実施した試験であれば、有効性に乏しい結果が得られることも考え得る。したがって、今後予想される木質構造建物の適用範囲の拡大に伴って必要となる種々の性能評価や、

既存の枠に収まる建物の応答予測精度の向上という観点からみても、第一義的に解決すべき課題は、解析モデル構築の根幹にある木材の特性を適切に評価することにあると考えられる。

以上を背景と目的として、本研究では、材料試験に基づく実験的な評価と個別要素法による解析的な評価の二つを軸に検討を進めた。以下、これら二つの内容をまとめる。

① 材料試験による実験的評価

天然材料である木材の材料試験では、同一個体から試験体を採取することをはじめ、生育環境によって現れる部材内での差異、すなわち強度特性や年輪配列に代表される種々の性質が試験体の採取位置によって異なる点も考慮しておかなければ、適切な試験結果を得ることは難しい。また、その力学的性質は、木材繊維の方向によって大きく異なることで知られるため、本研究で準備した試験体は、すべて試験条件毎、繊維方向毎に同一年輪内、かつ可能な限り近い位置で採取することを心がけたものであり、可能な限りばらつきの影響を除去した試験結果を得ている。本研究で実施した材料試験には、標準的な樹種としてスギ材を使用し、数種類の圧縮試験で基本的な特性を把握した他、試験条件を限定した引張試験、せん断試験、摩擦試験も併せて実施することで、試験結果の分析を通して次の性質に関する知見が得られた。

- ・ 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

これらの性質は、後述する解析的な検討で考慮すべき内容である他、一つ一つが実験的に得られた重要な知見であると考えられる。

② 個別要素法による解析的評価

個別要素法は、不連続体解析の一つの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的なアイデアとし、連続体解析に使用する場合には、特に拡張個別要素法と呼ぶことがある。しかし、既往研究で示されてきた拡張個別要素法では、連続体の性質を材料物性から導くには至っておらず、解析ケース毎に各種の設定を調整することが必要不可欠であった。本研究では、まずこの点を改善することを一つの目標として解析手法の修正をはじめ、一般に認められている物理法則から基本方程式を導き直した他、解析モデルの構成を工夫することによって、現段階では適用範囲こそ限定されるものの、連続体に対する解析を可能とした。またこの妥当性は、弾性論に従った理論値との比較を通して検証しており、さらには解析的な特徴として、減衰や質量の設定方法なども検討した。

本解析手法の最大の特徴は、解析モデルの構成にあり、軸方向バネ三本を一組として粒子同士を結合することで、粒子の幾何学的な変形によって様々な挙動が再現できることにある。既往研究では、軸方向バネのみでモデルを構成することはなく、せん断バネや回転バネを併用して解析モデルを構築する方針をとっていたが、これらの方法ではバネ要素の特性を定める上で任意性が残されるため、材料特性と結びつけることが困難であった。この点を改善したことが、連

続体の応力解析という観点からみて、新規性のある特徴として挙げられる。また、接触状態にある木材の性質を考慮する上で、もう一つの工夫が施してあり、解析対象とする木材の表面に相当する箇所、解析モデルでは粒子から剛体棒をのばすようにモデルを構成しており、動的な摩擦モデル、例えば Lu-Gre モデルに代表されるブリストルの効果を、古典的な摩擦モデルを剛体棒の先端に設定することで考慮できるようになっている。これら解析モデルの構成を工夫した理由は、木材が不均質性、異方性、非線形性、粘弾性的性質といった複雑な材料特性を持つため、一般にはこれらの複雑な性質をすべて同時に評価することは困難であるが、本解析モデルでは、モデルの構成を最大限に単純化することで、一軸のバネ要素にすべての特性を押しつけることができ、明かに理論構築できるという意図を持つ。

以上で述べたように、本研究では木質構造建物の解析モデルを構築することを目的に、その最も基礎的な検討にあたる、接触状態における木材の性質に着目し、特定の接合部などを設定することはせずに、接触状態にある木材の応答性状とその破壊に寄与する因子の解明を試みたものである。当然ではあるが、天然材料である木材を相手にする上では、その特性に寄与するすべての因子を人間の発想の範疇で拾い上げることはできないが、本研究では、実験と解析の両側面から検討を進めることで、木材の応答性状に関わる可能性を持つ因子を把握すると共に、その因子が応答性状に及ぼす影響を確認し、それぞれの重要性が判断できるように整理したつもりである。これらの検討結果を直接的に構造設計に反映するためには、今後さらなる検証作業が必要であるが、近い将来に想定される新たな技術を含めた木質構造の安全性の評価において、基礎的な検討の段階で利用できることを目的の一つの成果としてまとめた次第である。