

学位論文題名

## 木材接合部の履歴特性解析

### 学位論文内容の要旨

木質構造物の非線形変形特性や履歴特性は、それを構成する木材接合部の変形、履歴特性に大きく支配されることが知られている。このことから、木質構造物の変形特性を把握するためには、接合部の変形特性に対する正しい定量的評価が重要といえる。特に我が国では、地震力に対する構造性能が重要となるため、正負繰り返し負荷を受ける接合部の履歴特性と、それによる減衰性能の把握が重要である。なぜなら、木質構造物は正負繰り返し負荷を受けることによって耐力が低下する現象がみられ、他方、構造物の減衰性はエネルギーを吸収することによって構造物の振動の振幅を制約し、応力振幅を増大せしめない作用をなすためである。構造物の減衰性は、現在の耐震設計における保有水平耐力の算定で考慮されている。しかしながら、繰り返し負荷による構造物の耐力低下については、現在の設計法において十分に考慮されておらず、また減衰性についても、木質構造物は一般的に大きな減衰性能をもつをいわれているが、減衰性能に関するデータが不十分なため、その性能が正しく評価されているとは言えない。このことから、接合部の履歴特性を実験的に検討した研究例が近年多くみられるようになってきた。しかしながら、その結果は対象とする接合部にしか用いることができない。木材接合部には多様な形態が考えられるため、各々の履歴特性を得るためにはその都度実験を行わなければならない。このため、木材接合部の履歴特性に関する統一的、汎用的理論解析の確立が必要であると考えられる。

このような観点から、本研究では接合具を用いた木材接合部に関して、正負繰り返し負荷を加えた場合の変形特性を解析的に解明することを試み、その妥当性について検討を行った。

本研究の構成は以下の4項目に分けることができる。

- 1) 正負繰り返し負荷を受ける木材接合部の変形解析法の誘導。
- 2) 解析を行うために必要な木材及び接合具の材料定数の定量的評価と、正負繰り返し負荷を考慮した数値評価モデルの誘導。
- 3) 正負繰り返し負荷を加える接合部試験を行い、接合部の履歴特性を実験的に検討する。
- 4) この接合部試験の結果を基に、先に誘導した解析法の妥当性を検証する。

次に、上記の4項目の概要について述べる。

1) 本研究における接合部の変形挙動の解析では、図1に示すように木材を弾塑性床、接合具をその弾塑性床上の弾塑性梁と仮定する弾性床上の梁理論を用いた。

これは図のように木材を離散型のバネとし、その上にある接合具はそのたわみに応じて反力を受けると仮定するものである。このとき接合具のたわみに関して図中に示す微分方程式が成り立つ。その第一項は通常の梁のたわみの項であり、第2項は梁がたわむことによって生じる木材からの反力にあたる。

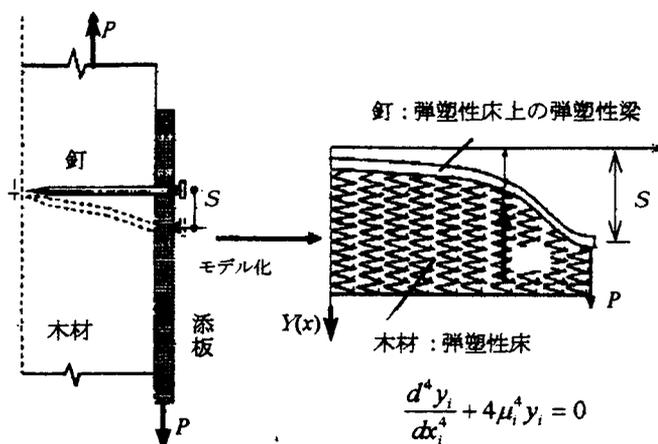


図1 弾性床上の梁としてのモデル化

この理論を基に、接合部が正負繰り返し負荷を受け

る過程で、木材と接合具に生じる様々な変形状態を組み合わせることによって、木材接合部の履歴特性解析法を誘導した。この解析法は基本的には釘やボルト、ドリフトピン、ラグスクリュー等のだぼ型接合部に対して用いることができるが、本研究では、住宅などの軽構造物において主流をなす釘接合部、集成材などを用いた比較的規模の大きな構造物において主要な接合部であるドリフトピン接合部を対象に研究を行った。

2) ドリフトピンと釘に対する木材の接合具面圧性能を得るために、木材に各接合具をめり込ませる面圧試験を行った。この試験では薄い木材に接合具を貫通させ、2面せん断型の負荷を加えるものである。木材を薄くしたのは、負荷を加えることによって接合具が曲がらないようにするためである。ただし、釘はドリフトピンとは異なり木材に先孔を開けず、直接木材に釘を打ち込むため、その際に生じる釘胴部周辺の締め付け力が問題となる。そのためまず、釘の打ち込み条件の違いによる釘面圧性能への影響を調べ、適切な釘面圧試験法について検討した。その結果より、木材に先孔を開けずに直接釘を木材に打ち込んで面圧試験を行う必要があるとの結論を得た。また、それぞれの接合具について繰り返し負荷を加える面圧試験を行い、面圧応力-変位挙動に対する履歴曲線モデルを提案した。

次に、接合具の基礎材質を得るための実験を行った。ドリフトピンについては曲げ試験を行い、釘については、釘に整形する前の線形材料を用いて引張試験を行った。これらの結果より、接合具のヤング係数、降伏点等の基礎データを得た。

また、接合部が正負繰り返し負荷を受けると、接合具は正負繰り返し曲げモーメントが加えられることになるが、その際の変形挙動を計算する式を誘導した。ただし、接合具の応力-ひずみ特性は一定ひずみ硬化型とし、その硬化則として移動硬化則を適用した。

3) 鋼板挿入式ドリフトピン接合部と合板添え板式釘接合部を用いて正負繰り返し負荷試験を行った。これらの結果より、各履歴曲線の形状について考察を行い、構造物の耐震性能に重要な意味をなす繰り返し負荷による耐力の低下と、減衰性能について定量的評価を行った。

4) 1) で述べた接合部履歴特性の解析法を、上記の接合部試験と同条件の鋼板挿入式ドリフトピン接合部、合板添え板式釘接合部に適用した。その結果、ドリフトピン接合部では履歴曲線の形状は実験結果と良い一致が得られた。また、解析結果による耐力の低下、減衰性能も実験結果と高い適合性が得られた。釘接合部では初期剛性が実験結果に比べて低めに計算された。履歴曲線の形状、耐力の低下は実験結果と比較的良好一致が得られたが、減衰性能はやや過小評価となった。このことより、釘接合部において定量的な適合性を高めるためにはさらに考慮すべき条件があるものと思われる。

以上のことから、本研究で示した弾性床上の梁理論による、正負繰り返し負荷を受ける接合部の変形挙動の解析法は、概ね妥当なものであるとの結論が得られた。これによって、ボルトやラグスクリュー等その他のだぼ型接合具を用いた接合部の履歴特性を、木材と接合具の基礎常数のみによって理論的、統一的に推定する可能となった。この解析法を構造体要素に拡張することによって、わずかな基礎常数のみで構造物の応答解析を行うことが可能になると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 平 井 卓 郎  
副 査 教 授 大 谷 諄  
副 査 教 授 平 嶋 義 彦 (名古屋大学農学部)  
副 査 助 教 授 上 田 恒 司

学 位 論 文 題 名

## 木材接合部の履歴特性解析

本論文は図78、表13、文献103を含む8章178ページからなる和文論文で、別に4編の参考論文が添えられている。

木質構造物の耐震性能は、それを構成する接合部（釘接合部、ボルト接合部など）の履歴特性に支配されることが知られている。近年、いくつかの大地震被害を契機とし、木質構造物の地震応答研究が盛んに行われるようになって来たが、研究の中心は一定の仕様で作製された構造物や構造耐力要素の性能確認が中心で、様々な仕様に適用可能な汎用的設計資料を提供するには至っていない。木質構造物の実際仕様は、極めて多様な混在状況を呈しており、代表的仕様に従った実験結果から、木質構造物全体の耐震性能を把握することは事実上ほぼ不可能に近い。したがって、木質構造物の設計信頼度を高めようとするなら、部材性能と接合性能を基礎情報とした構造解析手法の確立が必要となる。しかし、接合形式や基礎材料性能、接合具形状などの多様性のため、最も重要な接合性能評価自体が、個別評価に留まっており、これが上記目的の大きな障害となっている。この問題を解決する最も有効な方法の一つが、木材接合部の履歴特性に関する統一的、汎用的理論解析手法の確立である。

本論文は、これまで比較的解析の容易な単調負荷条件に対して適用されて来た、変形解析手法を拡張展開することにより、正負繰り返し負荷を受ける木材接合部の履歴挙動を理論的に推定する方法を提案している。解析法の基本原理は、木材を弾塑性床、釘などの接合具を弾塑性梁と仮定し、弾性床上の梁理論に基づいて、木材の弾塑性面圧性能と接合具の弾塑性曲げ性能を基に、接合部変形の各時点における釣り合い条件から接合部の変形増分を計算し、外力と変形との関係を求めるもので

ある。この解析手法は基本的に釘、ボルト、ドリフトピン、ラグスクリューなど多くの接合具に適用可能であるが、本論文では特に、枠組壁工法住宅の主要接合法である木材-合板釘接合と、大規模木質構造物の主要接合法である鋼板挿入型ドリフトピン接合の2種類の接合法を直接の研究対象とし、その履歴特性解析に成功している。

本論文の主要な研究成果は以下の通りである。1)正負繰返し負荷を受ける木材接合部の変形過程で生じる、接合具および木材の各部分の変形状態と、その時点における変形抵抗の取扱いを、複数の判別条件を組み合わせることによって処理するという数値解析技術を導入し、解析手法上の問題点を解決した。これによって、それまで単調負荷条件に対してのみ適用されていた、弾性床上の梁理論による木材接合部の変形解析法が、より汎用的な手法に改良され、接合部履歴特性解析へのその適用が可能となった。2)初期条件の複雑な釘と木材の面圧試験方法について実験的検討を行い、適切な試験方法についての提案を行った。3)釘、ドリフトピンと木材の面圧履歴挙動について実験的検討を加え、それぞれに対し、解析上必要となる基礎定数の数値評価モデルを提案した。4)合板と木材の釘接合部および鋼板挿入型ドリフトピン接合部の正負繰返し試験を実施し、その履歴曲線形状と履歴減衰性能を上記の数値解析結果と比較することにより、その実用的な妥当性を検証した。

本論文によって、木材の面圧性能と接合具の曲げ性能という、個々の接合部構成に依らない共通の基礎定数のみを必要情報とし、多様な木材接合部の履歴特性を理論的、統一的に推定する道筋が開かれた。この研究成果は、今後の木材工学分野における一つの研究方向を示すものとして、第一線の研究者の注目を集めている。

よって、審査員一同は、最終試験の結果と合わせて、本論文の提出者若島嘉朗は博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。