

氏名	井上 祥子 いのうえ さきこ
学位(専攻分野)	博士 (学術)
学位記番号	博甲第 1090 号
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 建築学専攻
学位論文題目	木材の繊維直交方向めり込みの特性を評価した平面梁-柱有限要素法による木造軸組の解析
審査委員	(主査)准教授 村本 真 教授 金尾 伊織 教授 満田 衛資

論文内容の要旨

本論文は、伝統木造建築のための軸組解析法において平面梁-柱有限要素法のファイバー要素で木材のめり込み特性を考慮するための手法を検討したものである。この数値解析法の性能を実験との比較によって検証しつつ、木材のめり込み特性を考慮するため、木材の横圧縮特性を画像計測によって評価し、通し貫接合部における貫のめり込み性状についても画像計測によって評価している。こうした画像計測結果の詳細な分析に基づいて、木材の部分圧縮試験のめり込み荷重および通し貫接合部の荷重-変形角関係を予測する方法が検討されている。

論文は木造軸組解析法の基礎を述べる第 1 部（第 2 章と第 3 章）と画像計測によって木材のめり込み特性を直接評価し、それを軸組解析法に適用した第 2 部（第 4 章から第 6 章）からなり、全 7 章で構成されている。

第 1 章では、研究の目的と背景、論文の構成が記されている。木造軸組解析の現状と課題を述べ、本論文の基礎となる FERTs-PW と呼ばれる軸組解析法を開発する意義が述べられている。

第 2 章では、提案する木造軸組解析法の概要と平面梁-柱有限要素法の材軸直交方向の構成則で木材のめり込み特性を評価する方法が述べられている。また、木材の圧縮・引張のそれぞれの弾性係数が異なる場合にも適用可能な区分線形化された材料構成則のモデルが示されている。

第 3 章では、提案した解析法を用いて、軸組の寸法が異なる長ほぞ込み栓打ち接合部の実験を解析し、接合部近傍の要素で木材のめり込み特性を考慮するモデル化手法の妥当性が確認されている。

第 4 章では、木材にめり込みが生じる部分横圧縮試験の表面変位を画像計測によって直接計測し、これが既往の評価式とは異なることが示されている。また、画像計測を用いた全面横圧縮応力ひずみ関係の作成方法が示されている。部分横圧縮試験で計測した表面変位形状と全面横圧縮試験による応力ひずみ関係を使用することで、めり込み荷重を予測可能であることが示されている。

第 5 章では、楔なし通し貫接合部実験を実施し、実大接合部においてめり込み変形を直接評価した結果が示され、貫内部に生じるひずみ分布の実際が示されている。ここでも既往の評価式は

直接計測結果と異なることが示されている。さらに、計測されたひずみ分布と接合部耐力を対応させた分析によって、接合部耐力の評価に重要な因子が整理されている。

第6章では、第4章と第5章の実験の分析結果を軸組解析法に適用するための諸問題が整理され、平面梁-柱有限要素のファイバー要素でめり込み特性を考慮して通し貫接合部をモデル化する方法が述べられている。また、めり込みひずみ分布の決定方法についても示されている。提案された木造軸組解析法を用いて通し貫接合部の実験が解析され、解析結果の降伏点は実験結果と対応しており、接合部の挙動を概ね予測し得る結果が示されている。

第7章は、本論文で得た結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

申請者は、木構造の構造解析で、鋼構造や鉄筋コンクリート構造の解析法と同じように材料構成則のモデル化のみによって骨組全体の挙動予測を試みている。申請論文で提案された軸組解析法は、棒材理論による梁-柱有限要素法でせん断変形を考慮しつつ、さらに木構造の骨組解析のために、めり込み特性を考慮する。この解析法では、材軸方向と材軸直交方向の2方向の材料構成則を必要に応じてモデル化を独立に制御する。これによって、木造軸組の接合部近傍では接合部のめり込み特性を考慮し、軸部材部分ではせん断変形を考慮することが可能となり、材料構成則のモデル化を基礎とした木構造の骨組解析を実現している。

木造接合部の耐力は木材のめり込みの評価手法の良否による。申請論文で示された方法は、要素実験によって木材の横圧縮特性を把握し、その結果を用いて、接合部のひずみ分布に基づいた数値解析モデルを構築する。申請論文では、通し貫接合部の実験の解析を通してその有効性が示されている。同様の方法によって、今後さまざまな接合部の性能評価も期待される。

申請論文は、木質構造の骨組解析では通常考慮できないめり込み特性を平面の梁-柱有限要素法において評価可能としたことに大きな意義がある。申請論文では伝統的木造を対象とした数値解析結果が示されているが、集成材やCLTのような積層された木質部材の特性を反映した骨組解析法への展開も期待できる。加えて、申請論文は、提案された解析法で木材のめり込み特性を考慮するために、要素試験および実大実験で木材のめり込み変形とひずみ分布を画像計測により「直接計測」することが、材料構成則モデルを作成する上で有効であることを示している。提案された数値解析法の可能性のみならず、これまで見過ごされてきた実験におけるめりこみ変形とそのひずみ分布の直接計測結果によって、数値解析モデルを構築するための手法が示されていることも大変意義深い。

本論文は、審査を経た以下の3編の論文にその内容が発表されている。

- [1] 井上祥子, 村本 真: 木造軸組解析のための梁-柱有限要素モデルの提案, 日本建築学会構造工学論文集, Vol. 65B, pp. 247-255, 2019.3
- [2] 井上祥子, 村本 真: 楪なし通し貫接合部の質に生じるひずみ分布の画像計測, 歴史都市防災論文集, Vol. 16, pp. 17-24, 2022.6
- [3] 井上祥子, 村本 真: 木材のめりこみ試験時の弾塑性表面変位形状の計測と全面横圧縮応力ひずみ関係を用いためりこみ荷重の予測, 日本建築学会構造系論文集, 第88巻, 第805号, pp.

