

京都大学	博士 (建築学)	氏名	李 東潤
論文題目	木材のめり込み及び摩擦特性に基づく伝統木造柱脚及び柱一貫接合部の復元力特性のモデル化に関する実験的研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、伝統的木造建築物では半剛接合部の力学的特性が建築物全体の地震応答に対して支配的であることと、接合部の挙動が木材のめり込み及び摩擦特性に大きく依存することに着目し、柱一貫接合部および柱脚の復元力特性を予測する手法を提案したものである。本論文は第1章から第5章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。</p> <p>第1章では、まず、研究の背景として伝統木造建築物の置かれている現状について述べ、本研究で解明する課題と関連する既往の研究について述べている。またその上で、本研究の目的と本研究の位置づけを説明している。</p> <p>第2章では、柱一貫接合部のモーメント-回転角関係の骨格曲線を予測する手法について検討を行っている。まず、楔や仕口での切欠きを考慮した上で、柱と貫の相対回転角に応じためり込み特性に関する実験データを収集し、これらの実験データからめり込み構成則を得ている。次に、得られためり込み構成則から柱一貫接合部のモーメント-回転角関係の骨格曲線を予測する手法を定式化している。その上で、提案手法による予測結果と部分架構実験結果との比較を通じて、推定の精度を検証している。また、仕口での切欠きが骨格曲線に及ぼす影響についても検討を行っている。以上の検討より得られた成果は以下の通りである。(1)楔や仕口での切欠きを考慮した上で、めり込み形状、めり込みにより生じる境界反力、それらの関係の数値モデルを作成した。(2)めり込み接触の生じる部分要素のみを取り出した実験を行い、めり込み形状と境界反力を関係付けるめり込み構成則を得た。荷重が60kN程度までの範囲では、荷重-めり込み関係、重心位置-めり込み関係ともに、その骨格曲線は直線近似もしくは区分直線近似が可能であることを明らかにした。(3)上記のめり込み構成則を用いて、柱一貫接合部のモーメント-回転角関係の骨格曲線を予測する手法を定式化した。(4)回転角が0.1rad以下の範囲では、提案手法により部分架構実験の結果を良好な精度で予測できた。なお、回転角が0.09rad以上でモーメントがわずかに減少していく結果を得た。この原因としては、この範囲ではめり込み反力がめり込み実験から得られる近似の範囲を超えていることと、反力の接線方向成分を無視していることの二点が挙げられる。しかし原因は必ずしも明確ではないため、更なる検討が必要である。(5)接線方向反力、寸法効果、繰返し載荷時の履歴特性、木材同士の接触、楔の形状、接合部内における貫の継手などについて、今後、有限要素解析などを用いた詳細な検討が必要である。本研究で得られためり込み実験データは、できるだけ少ない材料実験の下で接合部の復元力特性を有限要素解析などにより予測するための基礎データとしても有用である。</p>			

氏 名	李 東潤
-----	------

第 3 章では、木材のめり込み実験から柱脚のモーメント一回転角関係を予測する手法を提示している。めり込み実験では材料試験機を用いて、固定角度を実験パラメータとして、1/3 スケールの円柱及び角柱の試験体を礎石にめり込ませる。本実験を通じて、鉛直荷重の大きさが、柱脚に作用する反力の大きさと作用位置に及ぼす影響を明らかにしている。この実験結果を基に、柱脚のモーメント一回転角関係を予測する手法を定式化している。また実寸大の柱脚要素の頂部に一定鉛直力と繰返し強制水平変位を与える実験結果と提案手法の予測結果との比較を通じて、提案手法の妥当性を検証している。さらに、これらの比較を通じて寸法効果についても検討を行っている。以上の検討より得られた成果は以下の通りである。(1) 縮小試験体のめり込み実験から、伝統木造柱脚におけるモーメント一回転角関係を予測する手法を提案した。(2) 本手法では、まず、角度を固定した柱脚要素を礎石にめり込ませるめり込み実験を複数の固定角度で実施する。これらの結果から、礎石から柱脚要素に作用する鉛直方向の等価集中反力の作用位置を、回転角と軸力の関数としてめり込み構成則を得る。めり込み構成則が得られれば、等価集中反力の大きさと作用位置の積として柱脚に作用するモーメントの値が得られる。(3) 円柱と角柱の 1/3 スケールのヒノキ縮小試験体に対してめり込み実験を実施し、無次元化しためり込み構成則を得た。本構成則は、平均軸方向応力(=軸力/断面積)が $0\sim 5\text{N/mm}^2$ の範囲内であり、かつ、応力分布相似の仮定が成り立つ範囲内では、寸法に依存せず適用が可能である。(4) 実寸規模の円柱の実大柱脚試験体に対して一定鉛直荷重と試験体頂部に繰返し水平強制変位を与える静的載荷実験を実施し、提案手法により 1/3 スケールの試験体から得られためり込み構成則から、実大実験結果を精度良く予測できることを例証した。

第 4 章では柱脚底面と礎石間で生じる滑り挙動を調べ、静摩擦特性のモデル化について検討している。固定角度を実験パラメータとして 1/3 スケールの円柱及び角柱の試験体を用いて、それぞれの静摩擦係数を求めている。また、回転角による柱底面の接触面積、鉛直力の違い、載荷の繰返し数などが静摩擦係数に及ぼす影響について検討を行っている。本章で得られた成果は以下のようにまとめられる。(1) 摩擦実験結果より、柱脚に下面の平均垂直応力が $0.4\sim 0.7\text{N/mm}^2$ の範囲の最大摩擦係数として、おおよそ 0.6 から 0.9 の間に分布する静摩擦係数の筋次式を提示した。(2) 円柱のみならず角柱についても実験を行った結果、柱断面の形状が静摩擦係数に及ぼす影響は小さいことを明らかにした。

第 5 章では、本研究で得られた結果と今後の課題について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、伝統的木造での半剛接合部の力学特性が建築物全体の地震応答に対して支配的であることと、接合部の挙動が木材のめり込み及び摩擦特性に大きく依存することに着目し、木材のめり込み及び摩擦特性に基づき柱脚部と柱一貫接合部における復元力特性を予測する方法に関して、主として実験に基づく検討を行ったものである。第2章及び第3章では、柱脚と柱一貫接合部の幾何学的関係を基礎としてめり込み構成則のモデル化を行い、めり込み実験結果に基づき柱一貫接合部と柱脚のモーメント一回転角の骨格曲線を予測する手法を定式化している。第4章では柱脚底面と礎石間に生じる摩擦性状に関する静的実験を行っている。

本論文の各章で得られた主な成果は以下の通りである。

第2章では、楔や仕口での切欠きを考慮した上で、めり込み形状、めり込みにより生じる境界反力、それらの関係をモデル化した。めり込み接触の生じる部分要素のみを取り出した実験を行い、めり込み形状と境界反力を関係付けるめり込み構成則を得た。荷重が60kN程度までの範囲では、荷重-めり込み関係、重心位置-めり込み関係ともに、その骨格曲線は直線近似もしくは区分直線近似が可能であることを明らかにした。さらに上記のめり込み構成則を用いて、柱一貫接合部のモーメント一回転角関係骨格曲線を予測する手法を定式化し、部分架構造実験との比較により提案手法の妥当性を例証した。

第3章では、縮小試験体のめり込み実験から、伝統木造柱脚におけるモーメント一回転角関係を予測する手法を提案した。本手法では、まず、角度を固定した柱脚要素を礎石にめり込ませるめり込み実験を複数の固定角度で実施する。これらの結果から、礎石から柱脚要素に作用する鉛直方向の等価集中反力の作用位置を、回転角と軸力の関数としてめり込み構成則を得る。めり込み構成則が得られれば、等価集中反力の大きさと作用位置の積として柱脚に作用するモーメントの値が得られる。円柱と角柱の1/3スケールのヒノキ縮小試験体に対してめり込み実験を実施し、無次元化しためり込み構成則を得た。実寸規模の円柱の実大柱脚試験体に対して一定鉛直荷重と試験体頂部に繰返し水平強制変位を与える静的載荷実験を実施し、提案手法により1/3スケールの縮小試験体から得られためり込み構成則から、実大実験の結果を精度良く予測できることを例証した。

第4章では伝統木造柱脚と礎石の間の摩擦性情を実験により検討した。柱脚試験体として、前章までと同様に1/3スケールのヒノキ材を用いた。また、びしょん打ちを施した礎石を用いて実験を行った。その結果より、おおよそ0.6から0.9の間に分布する静摩擦係数の近似式を提示した。

以上の成果から、本論文は我国のみならず東アジア諸国の伝統木造建築物の耐震性評価のための基礎研究として、学術上、実際上の両面から寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。