

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 辛 殷美

辛殷美氏から提出された「実験及び有限要素法に基づく柱貫接合部の構造性能評価」は、伝統的木造建築の主要な水平力抵抗要素の一つである柱貫接合部を対象とし、その構造性能を明らかにすることを目的としたものである。伝統的な接合部はその形状・仕様の多様性と木材の力学的な異方性により、定量化が困難であることが知られている。そのため定量的に評価しようとする場合には、構造実験を伴う必要が生じることが多く、これがかなわない場合は、構造計算上はピン接合と仮定されることも少なくない。特に、柱貫接合部は壁の少ない木造建築および、構造的な耐力が低い板壁しか使用されていない木造建築では、主要な水平力抵抗要素であるため、その性能は建物全体の構造性能を大きく左右する。本論文は実在する柱貫接合部の接手形状の調査を踏まえ、代表的な柱貫接合部形状を対象とした接合部実験と構造解析に基づき各部の寸法と構造性能の関係を定量的に分析したものである。本論文は6章で構成されている。

第1章は研究の背景と目的である。

第2章では、材料試験の結果とその考察である。試験体には、スギ材を用い、繊維方向と半径方向及び接線方向に関する圧縮、引張せん断、割れ試験を行っている。圧縮と引張の実験から各方向の弾性係数は圧縮と引張でほぼ同様の値が得られ、降伏応力度は引張の方がやや高い結果が得られた。弾性係数は繊維方向>半径方向>接線方向の順に高く、既往の研究結果と同様であった。せん断実験では加力冶具による変位と歪みゲージから得られた結果が異なり、不均質なせん断変形が認められた。画像解析(PIV解析)による変位測定も併せて行った。PIV解析は試験体の各部の挙動を詳細に把握することが可能である。

第3章では、柱貫接合部の構造性能を評価するために、接合部の曲げ実験を行った。曲げ実験に用いられた接合部は通し貫、略鎌継ぎ、竿車知継ぎの3種類である。更に、最も多く用いられる略鎌継ぎについては、継手の長さで継手根元のせいをパラメータとして、4種類の形状の試験体を作成した。その結果、

破壊に至ったのは略鎌継ぎのみであり、それ以外の試験体は最大変形角 $1/4\text{rad}$ まで耐力が漸増し続けた。破壊の進行は、通し貫では部分圧縮が進行した後、部分圧縮痕を起点とした割裂が発生した。略鎌継ぎでは部分圧縮以外に継手根元のせいによって継手の根元或はアゴからの割裂が発生した。竿車知の場合は、部分圧縮に加えて、車知栓のせん断、ほぞの付根部分の割裂、ほぞの引張り等などの損傷が複合的に発生することが確認され、剛性は低下するものの耐力は漸増し続けた。各継手の初期剛性を通し貫のそれと比較すると、略鎌継ぎは加力方向によって約 1 割異なるものの、通し貫の剛性の約 5 割の値を示した。竿車知の場合は加力方向によって、押し（竿引張）では約 3 割、引き（竿圧縮）では約 5 割であった。略鎌継ぎの形状によっては、押し（縦開）の場合は継手の長さが長くなるほど、継手根元のせいが厚いほど高くなった。引き（横開）の場合は継手の長さが長くなるほど低くなり、継手根元のせいが厚いほどやや高くなる。降伏点は、通し貫は約 $4\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、略鎌継ぎは約 $2\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、竿車知は約 $1.5\sim 2\text{ kN}\cdot\text{m}$ であった。

第 4 章では、木造接合部の有限要素解析を用いた弾塑性解析について述べる。3 種類の継手（通し貫、略鎌継ぎ、竿車知継ぎ）を用いて行った弾塑性解析の結果は、実験値より高い初期剛性を示した。降伏荷重について、通し貫では摩擦係数によって実験より低い値を示す場合があり、略鎌継ぎと竿車知継ぎでは実験より高い降伏荷重が得られた。各部の応力度分布と実験による破壊の進行との比較検討を行った。

第 5 章では、柱貫接合部の曲げ実験及び有限要素解析の結果に基づいて継手の力学モデルを構築した。接合部の性能評価には主に部分圧縮と曲げ変形によって評価を行った。通し貫の場合は、部分圧縮の降伏変形角によって接合部の降伏荷重が求められた。略鎌継ぎは、加力方向別に力学モデルを提案した。縦開（押し）加力の場合、部分圧縮変形と曲げ変形に加えて継手の根元或はアゴからの割裂を評価することから弾性と降伏以後に分けて曲げ変形を求めた。縦開（押し）加力の部分圧縮は、柱幅の半分を部分圧縮長さとして用いた場合通し貫よりも高い耐力を示した。割裂がおき始めるモーメントは実験値と必ずしも一致していないが、根元あるいはアゴのうち先に割裂が始まる位置は評価できた。略鎌継ぎの横開（引き）加力の場合、通し貫と同様に部分圧縮と曲げによって性能が決定される。竿車知継ぎは、非対称の接合部である。実験結果より、竿車知継ぎの男木と女木の間の拘束力は無視しうることを確認されたため、ピン接合と仮定し、差し込み長さが大きい男木を主な構造要素として評価を行った。

第 6 章は、本研究の結論である。継手が柱内部にある場合の柱貫接合部の評価方法とその適用範囲に関する考察が行われている。

本論文は、目的が明確に設定されており研究方法も適切である。解析の際の境界条件の設定方法等、一部不明瞭な部分もあり必ずしも十分実験結果が再現できているとはいえないものの、解析で応力が集中する位置は、実験で損傷が確認されているなど、一定の再現性が示されている。更に、提案した力学モデルを用いた解析結果は、実験結果と比較的良く一致しており、研究の目的に対応した結果が得られている。

以上より、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。