

京都大学	博士（工学）	氏名	青木 和雄
論文題目	通し柱を有する伝統木造建物における軸組・接合部の破壊モードと耐力の評価に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、京町家に代表されるような通し柱を有する伝統木造建物を対象に、実用的かつ高精度な耐震設計法と合理的な耐震補強法の構築を目標としている。そして、通し柱を有する軸組架構と接合部を対象とした実大静的加力実験の実施や解析モデルの構築を通して、それぞれの力学特性や破壊モードを明らかにしている。また、通し柱を有する軸組架構の耐震性能評価を容易に実施可能とする実用的な方法論の構築を行っており、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景・目的、通し柱を有する軸組架構に関する実験的先行研究、本論文の構成を記載している。</p> <p>第2章では、通し柱を有する2層軸組架構を対象に、各層に任意の変形分布を指定して交番繰り返し加力ができる静的実験システムを新たに開発している。開発した実験システムを用いて、込栓接合部や鼻栓接合部を有する2層軸組架構に、変形分布を実験変数とした静的加力実験を実施している。実験の結果、各層の剛性・変形分布および接合部仕様の違いによって、軸組架構および接合部の破壊モードや復元力特性が大きく変化するという新たな知見を得ている。この知見は、通し柱を有する2層建物の耐震性評価において、層および接合部の復元力特性を設定する際に、各層の変形分布や接合部仕様の違いを考慮することの必要性を示唆している。また、開発した実験システムの適用により、従来の静的実験システムでは確認されていなかった込栓接合部を起点とした通し柱の大きな割裂破壊を確認している。</p> <p>第3章では、通し柱を有する2層軸組架構に対して、柱繊維断裂を防ぐステンレスプレート補強と、梁ほぞの抜け出しを抑制するFMS合金ダンパー補強の2種類の補強方法を新たに提案し、それらを適用した2層軸組架構の静的加力実験を実施し、提案補強方法の効果を実証している。ステンレスプレート補強は、簡易な対策で柱繊維断裂とそれに起因する柱の曲げ割裂破壊を防ぐことが可能である。FMS合金ダンパー補強については、梁ほぞの抜け出しの抑制に加え、柱の剛性増大・エネルギー吸収能力の付加効果を確認している。また、これらの効果に加え、接合部補強を行う際にダンパー取付け部での損傷など注意すべき点を明らかにし、今後京町家の耐震補強を考えるうえでの有用な実験資料を提供している。</p> <p>第4章では、込栓接合部を模した試験体を用いたほぞの引抜き実験と、込栓接合部の破壊メカニズムに対応した新たな試験方法で実施した材料実験により、込栓接合部の破壊性状と降伏耐力の評価法について検討を行っている。ほぞの引抜き実験は、柱から梁ほぞが引抜ける際の破壊モードとその進展過程や復元力特性を確認するための実験で、ほぞの樹種・端あきや栓の樹種など様々なパラメータを設定して実施している。また、実験後に試験体柱を切断して、接合部内部における柱・ほぞ・栓の最終損傷状況を観察することで、込栓接合部の破壊モードの確認精度を向上している。また、ほぞの引抜き実験より得られた降伏耐力値について、既往耐力評価式の評価精度を確認している。その結果、既往の降伏耐力式は、材料強度の設定方法などに起因して耐力を過大評価する場合があることを示している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	青木 和雄
<p>第5章では、通し柱および鼻栓・込栓接合部を有する2層軸組架構と、込栓接合部単体のそれぞれについて、様々なパラメータ下での挙動の変化を簡便に評価可能な実用的な2次元FEMモデルを新たに構築・提案している。まず、2層軸組架構のFEMモデルは、架構を弾性はり要素で、接合部を木材の異方性を考慮した2次元の弾性シェル要素でモデル化している。また、接触要素を柱ほぞ穴と梁ほぞの間に設定することで、梁ほぞのめり込み・抜け出しを表現できるようにしている。そして、2章の軸組架構の静的加力実験を対象に2層軸組架構のFEMモデルを適用し、軸組架構全体と接合部の引抜け挙動を同時に精度よく追跡可能であることを示している。次に、込栓接合部単体のFEMモデルは、梁要素で表現した栓を、柱およびほぞのめり込みバネで支持したモデルとし、柱の割裂およびほぞの端抜けを表現するバネと直列で連結することにより構成するモデルである。そして、第4章のほぞ引抜け実験結果を対象に提案FEMモデルを適用し、ほぞの端抜けや柱の割裂といった接合部の破壊モードと、ほぞ引抜け時の降伏時変形や復元力特性を精度よく再現可能であることを示している。</p> <p>第6章では、通し柱を有する伝統木造軸組架構の耐震性評価法の構築を目指した研究を行っている。まず、第2章の軸組架構の静的加力実験結果と第4章のほぞ引抜き実験結果を再整理するとともに、第5章で提案した2層軸組架構のFEMモデルを用いた解析的検討を行って、軸組架構の込栓接合部ほぞの引抜け破壊発生状況について、詳細な分析を行っている。その結果、接合部のほぞ引抜け量は加力前方の柱で大きくなることや、ほぞ引抜け量が接合部の回転角や1層の層間変形角とほぼ比例することを指摘している。次に、込栓接合部単体のFEMモデルを用いて推定される込栓接合部でのほぞ引抜き降伏時変形を基にして、ほぞ引抜き降伏時の層間変形角や層せん断力を推定する方法を提示している。さらに、その結果を用いて任意の変形分布に対する軸組架構の復元力特性の推定、および、柱の曲げ折れ破壊や割裂破壊、梁の脱落破壊といった軸組が崩壊に至る破壊モードの推定方法を提案している。中でも、各層の復元力特性の推定法は、変形分布の違いに起因する架構各層の復元力特性の変化を容易に評価することができ、実務設計で用いられている限界耐力計算等による地震時最大応答値の推定に容易に反映することを可能としている。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、通し柱を有する伝統木造建物の実用的かつ高精度な耐震設計法と合理的な耐震補強法の構築を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 通し柱を有する 2 層軸組架構を対象に、各層に任意の変位分布を与えて加力できる静的加力実験システムを開発し、込栓接合部や鼻栓接合部を有する 2 層軸組架構に対して実験を行っている。その結果、既往の実験システムでは確認されてこなかった柱の割裂破壊などを確認するとともに、各層の変形分布によって架構・接合部の応力や復元力特性が大きく変化することを新たに示している。本結果は、伝統木造建物の慣用的な設計法では、通し柱の効果を無視して各層の変形分布に関係なく独立に復元力特性を設定しているが、改善の余地があることを示している。
2. 通し柱を有する 2 層軸組架構に対し、柱断裂を防ぐステンレスプレート補強と、梁の抜け出しを抑制する FMS 合金ダンパー補強を新たに提案し、静的加力実験を行って効果を実証するとともに、補強を行う上での注意点を明らかとしている。
3. 込栓接合部のほぞの引抜き実験と新たな試験方法で材料実験を行い、既往の込栓接合部の耐力評価や破壊モードを推定する方法の問題点を明らかとするとともに、精度向上を行うための方向性を示している。
4. 通し柱を有する軸組架構について簡便な FEM 解析モデルを提案し、架構全体と接合部の詳細な挙動の両方を精度よく評価可能としている。また、接合部についても FEM 解析モデルを構築し、接合部における梁ほぞの引抜き挙動を精度よく評価可能としている。
5. 軸組架構の挙動と接合部単体の挙動の関係について実験結果とともに提案 FEM 解析モデルを用いた詳細な検討を行い、通し柱を構成する部材の剛性・強度特性と部材形状を基にして、i) 込栓接合部降伏時の層間変形角や層せん断力、ii) 任意の変形分布に対する架構の各層の復元力特性、および iii) 破壊モード、を推定する方法を新たに提案している。提案法を活用することで、通し柱を有する伝統木造架構の耐震性を簡便かつ高精度に評価できると考えられる。

以上により、本論文は、通し柱を有する伝統木造建物の耐震性評価や耐震補強に関して、学術上、實際上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。

また、令和 5 年 1 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。