

論文の内容の要旨

生物材料科学専攻

平成 24 年度博士課程入学

氏名 : 河原 大

指導教員名 : 稲山 正弘

論文題目

伝統的構法による木造建築物の荷重-変形関係推定に関する研究

本論文は、伝統的な軸組構法による伝統的な木造建築物の耐震設計もしくは耐震性能評価における、建物全体の構造安全性の確保に寄与することを目的とするものである。地震力に対する建物全体の抵抗性能は個々の耐震要素の組み合わせによって発揮されるものであり、特に軸組の接合部の回転抵抗、鉛直構面の面内せん断抵抗がその多くを占める。これらの耐震要素の特徴としては、高剛性では無いが粘り強く大きな変形性能を有することが挙げられる。こういった耐震要素を含んだ伝統的な木造建築物の耐震性能を適切に評価するには、適当な耐震設計法の選択および個々の地震力抵抗性能を大変形領域まで考慮することが必要となる。本論文では、耐震設計（もしくは耐震性能評価）の計算法を受け皿としとして落とし込む、鉛直構面の荷重-変形角曲線の推定について検討を行っている。木-木の嵌合系接合部の回転抵抗性能評価式を提案して実験的に検証するとともに、土塗り壁の面内せん断抵抗性能を実験的に確認している。さらに、通りに単位鉛直構面が連成される場合に予想される柱の曲げなど、地震時に予想される変形挙動を挙げ、それらを考慮した、手計算程度で対応可能な通り鉛直構面の荷重-変形角曲線推定手法を示した。推定手法のケーススタディおよび推定対象の通り鉛直構面に対する弾塑性増分解析の結果との比較・検証よりその有用性を示し、個々の耐震性能評価式を含めて適用条件や留意点、今後の課題を明らかにした。

第 1 章では、木造建築物を取り巻く社会的背景から、伝統的な木造建築物の有する価値に関してを延べ、建物そのもののひいては木組みの技術の継承など、文化的価値残存としての伝統的な木造建築物の必要性を示唆している。これにおいては耐震安全性を示すことが最も重要であるが、コストや難易度の面から耐震性能評価法は広く普及するまでには至っておらず、一般化が急務となっている。本論での目的として、限界耐力計算や保有水平耐力計算などの終局性能までを含めた耐震性能評価法に対する、入力値の耐震要素の荷重-変形角曲線を手計算程度で精度良く推定する手法の確立を挙げ、第 2 章以降で耐震要素個々の性能の明確化およびそれらの組み合わせの方法について検討することを示している。また、下図 1 のような検討対象を示し、これに含まれる耐震要素を明確化することで、次章以降各章の位置づけを明らかにしている。

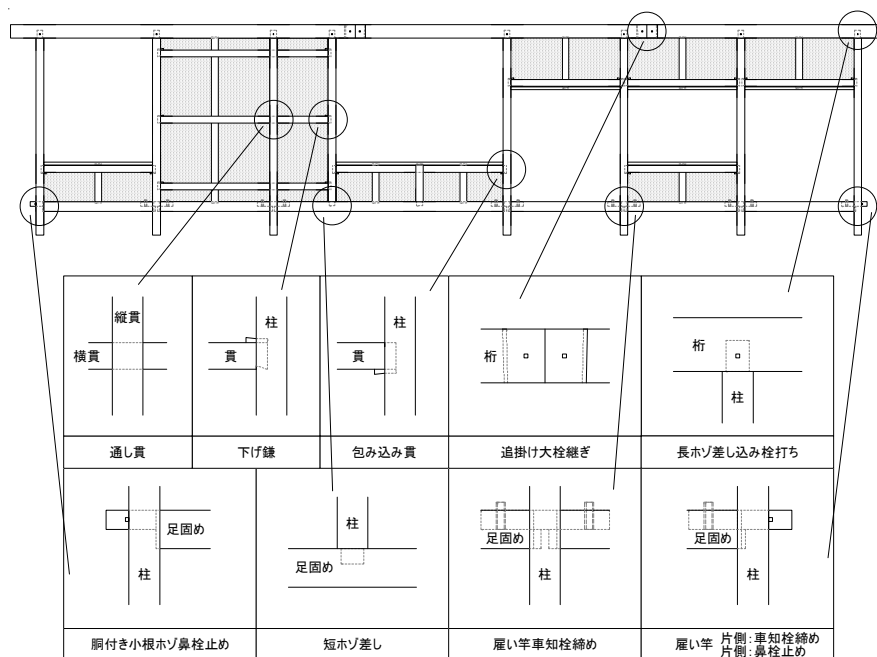


図 1 研究対象となる通り鉛直構面

第 2 章では通し貫、相欠き、渡り腮仕口接合部のモーメント回転角関係に関して、既存のめり込み理論のみを用いた形で、力の釣り合い式から性能評価式を提案し、寸法パラメトリック実験の結果を評価した。通し貫接合部に関しては、柱径が大きくなるにつれ、柱内の貫の曲げ変形を加味する必要があることが確認された。柱内に継ぎ手を持つ通し貫に対しても同様であり、弱点方向への回転抵抗性能も摩擦係数の変更のみで対応可能である。相欠き仕口に関してはいずれの寸法パラメータも精度良く追従できたが、締めに関する構造的工夫が無い場合、嵌合度に関して施工上の留意点とする必要があることを示した。渡り腮仕口では、めり込みによる力の釣り合い式では評価不可であり、材軸同士のずれによる上木のねじれを考慮する必要があることを示唆した。ねじれによる錘型のめり込みを考慮して、簡易的に剛性・降伏モーメントを低減することで、上木の切り欠きが材の半分以上程度あるという適用条件の下評価可能である。また、図 1 の主要軸組の接合部である、長ほぞ差し込み栓打ちおよび雇い竿車知栓締め・鼻栓留め仕口につ

いてフレーム内に当該接合部を含んだ形で、実験を行いモーメント-回転角関係を明らかにした。後述する、鉛直構面の荷重-変形角曲線の推定において必要となるデータの蓄積のためにこのような対応としているが、個の性能としては別途検討を行う必要がある。

第3章では追掛け継ぎ、追掛け大栓継ぎ、金輪継ぎ接合部のモーメント-回転角関係に関して、その性能を実験的に明らかにし、性能評価式の提案を行った。双方の接合部種とも略鎌系の継ぎ手であり、基本的には腮および胴付き部の圧縮で抵抗していると捉え、その他の抵抗要素をそれぞれ加味した形で、力の釣り合いより評価式を導出した。図2に双方の回転剛性算出時の力学モデルを示す（左：追掛け大栓継ぎ、右：金輪継ぎ）。回転剛性はいずれの寸法パラメータの試験体に対しても精度良く追従した。完全弾塑性タイプのM-θ関係評価としているが、降伏・終局現象とも、腮の面圧降伏、腮から目違ひにかけてのせん断破壊および胴付き部のもしくはへそ部分の割裂破壊の最小値を用いることで、耐力・変形性能の面で安全側に評価可能であることを示した。

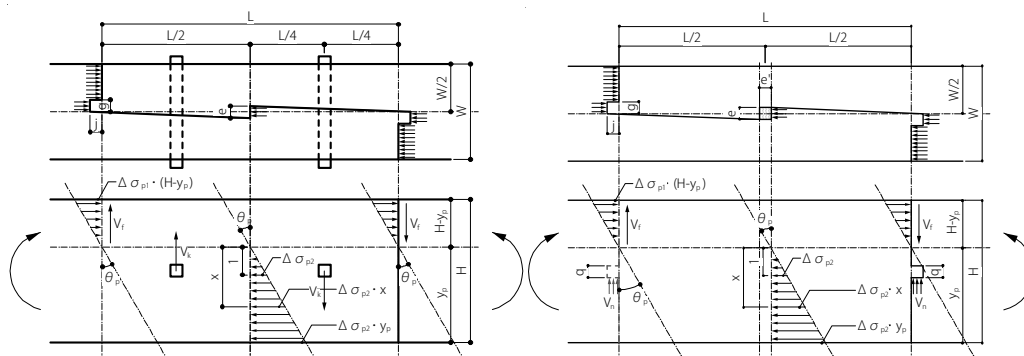


図2 略鎌系継ぎ手の回転剛性算出のための力学モデル

第4章では、図3に示す土塗り壁を含む単位有開口鉛直構面の面内せん断実験を行い、その耐震性能を明らかにするとともに、実験時の変形・損傷観察より柱の曲げ変形および小壁上下の差しものの抜けが顕著であることを確認した。この現象を加味した荷重-変形角曲線の推定手法の提案を行い、MWA1,4,5の実験結果より抽出した垂れ壁・腰壁・袖壁の復元力特性と柱の弾性曲げを組み合わせ、MWA6~12の荷重-変形角曲線を追従できるかを検討した。柱の曲げと差しものの端部の抜けのそれぞれを考慮した場合のケーススタディ（図4）の結果、双方を考慮した推定手法がより安全側に精度良く構面の耐震性能を評価できることがわかった（図5）。

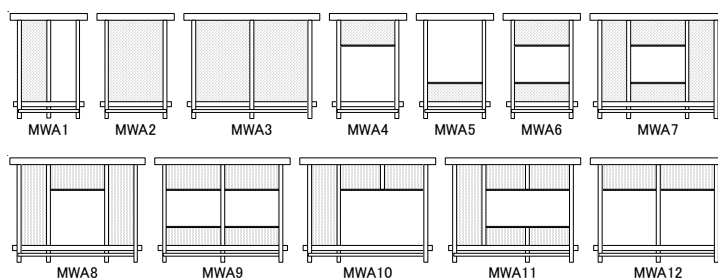


図3 実験対象とした土塗り壁を含む有開口鉛直構面（MWA試験体一覧）

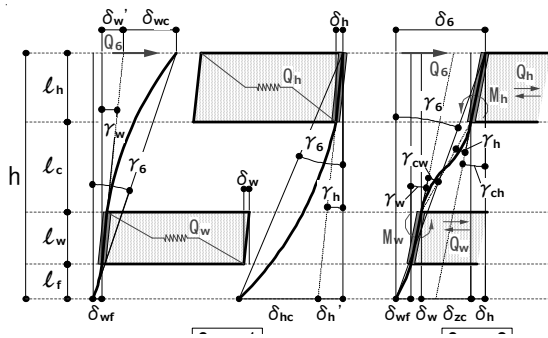


図4 MWA6の荷重-変形角曲線推定モデル

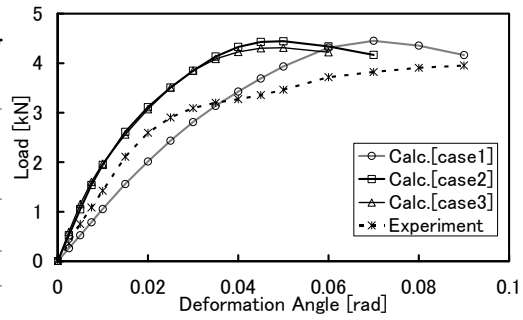


図5 実験結果との比較 (MWA6)

特に袖壁を持たない構面に対しては、柱の曲げ変形が複雑に起こりうることから、推定手法を拡充するためには仕様による変形モードを列挙し、一般化しておく必要がある。

第5章では、第4章で提案し検証した荷重-変形角曲線の推定手法を基に、図1の通り鉛直構面に対する推定手順を列記し、その荷重-変形角曲線を示した。また、汎用解析ソフトによって図6のような、各耐震要素をバネ置換した解析モデルに対して、弾塑性増分解析を行った。これらの結果の比較よりおよそ 1/50rad までは精度高く一致することがわかったが、その後の変形では荷重-変形角関係を過小評価する結果となった。この部分においては低減等を考慮することでより精度良く追従できる可能性があるが、基本的には安全側の評価として適応可能である。ただし、大変形領域における柱の許容曲げ応力度の検討から折損に対しては検討の必要がある。

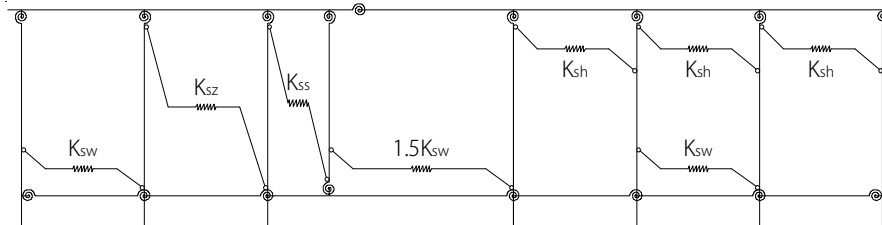


図6 解析対象の二次元フレームモデル

本論では当初の問題提起に対して、大変形領域までを精度良く、尚且つ手計算程度で評価可能である評価手法の確立を目的とした。これに対し、危険側の評価となり得る部分を変形形状および適応範囲として示し、これに即した評価手法を個々の耐震要素およびこれらを含んだ単位構面が連成された通り鉛直構面を対象に提案・検証した。一部精度向上が望まれる箇所が挙げられたが、全体として安全側に評価可能な手法を示したことで、現時点での目的を達成したと考えられる。