

論文の内容の要旨

生物材料科学 専攻
平成 21 年度博士課程 進学
氏名 藤田 克則
指導教員名 稲山 正弘

論文題目 伝統的木造における構造要素の力学特性の解明と構造設計法への適用

本論では伝統的な木造建築とは、木と木を組み合わせて外力に抵抗するものと捉える。継手・仕口などの伝統的な構造要素は剛性や耐力は低い、靱性に富むとされる。一方伝統的な木造建築に利用できる構造設計法の中で、簡易法と限界耐力計算は設計の自由度が少ないため、本論では、伝統的な構造要素の特徴や力学特性、あるいは課題や問題点を明らかにし、接合部等の寸法や仕様の変化に追隨できる設計法の提案(許容応力度設計法への適用条件等の明示)を目的とする。

第 1 章では、伝統的な接合部をその基本形と、接合する行為によって分類し、引張・圧縮・曲げ・せん断など、各接合部の 6 自由度における構造評価を行った。また、(本論で対象とする)仕口は T 字型と十字型に分解できるとした。

第 2 章では、通常は上下いずれかにしか期待できない引張抵抗要素を接合部の上下に有する 5 種類の通し柱－横架材十字型接合部を設計し(図 2-1)、接合部試験を行った。各タイプの上下仕口は、引きボルト、長ほぞ差し込栓打ち、雇いほぞ車知栓締め、雇い鎌継の組み合わせで構成した。せん断長さを

確保した場合の引きボルトの靱性、剛性・耐力は低いが高ほぞ差しの終局時までの粘り、堅木栓類の横圧縮やたて圧縮によって軸力を伝達する雇い車知・鎌継の剛性の高さを、また上下仕口各々に抵抗要素を配することで、モーメント抵抗性能の増大と共に、終局時の接合部の崩壊防止にも期待できることなどを明らかにした。中央に柱を介した左右横架材(梁)は、回転に対して独立ではないため、図 2-2 に示すように片側の梁を短い片持ち梁とする「片持ち梁」モデルによって、接合部のモーメント抵抗性能を推定した。弾性域において算定値は各タイプとも試験結果とよく符合したが、各要素の剛性を初期の 1/6 として求めた塑性域における $M-\theta$ 関係の算定値は、接合部挙動の傾向は把握できたが、「めり込みで長く粘る」との仮定に反し脆性破壊したタイプがあり、むしろ接合部の寸法仕様を見直すべきであるとした。すなわち簡便な推定を可能にするためには、脆性破壊を回避する、という前提条件を満足させる設計とすべきである。

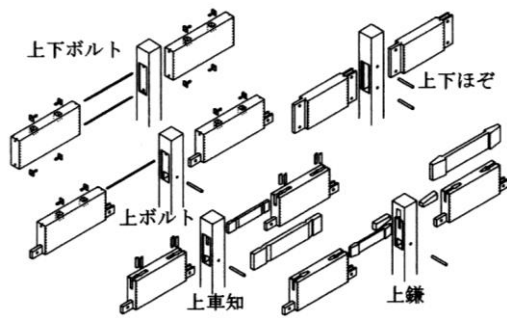


図 2-1 5種類の接合部

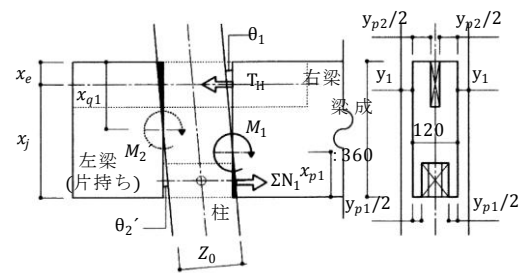


図 2-2 片持ち梁モデル

第 3 章では、柱—横架材等の T 字型接合部に用いられる伝統的な仕口の引張性能を明らかにするため、図 3-1 に示す 4 タイプの引張試験を行った。ほぞ込栓を除く 3 タイプには男木が台形状断面を持つという共通点があるが、接触面における繊維の方向が異なる。ほぞ割楔は女木剛体仮定、男木等変位めり込み仮定に基づく力学モデルから $P-\delta$ 関係を算定し、寄蟻では試験の観察から相対的に女木の損傷が多かったため、女木の早材部のみがめり込むとするモデルによって求めた。兜蟻はめり込み変形だけでは説明がつかないため、男木・女木のせん断変形を考慮に入れたモデルとする必要があるとした。最大耐力は、割楔ではくさび外側の男木ほぞ両端の残りの断面の引張強度で、兜蟻・寄蟻では女木の割裂強度で決定すると判断した。したがって割楔ではくさび打込み位置が、兜蟻・寄蟻では女木の割裂防止対策が重要になる。

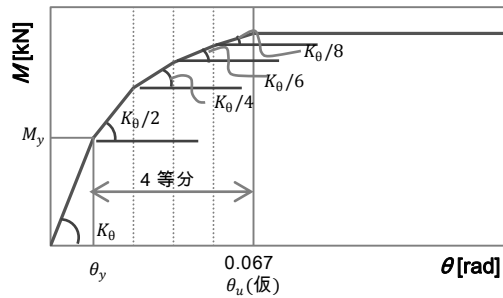
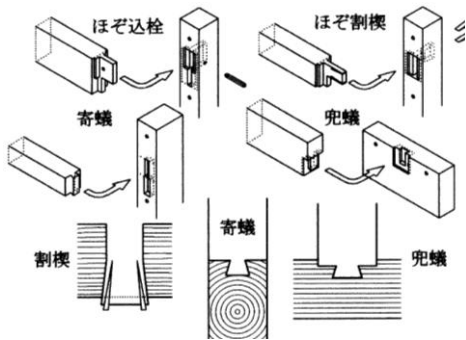


図 3-1 試験仕様、女木の繊維の方向と男木 図 4-1 降伏後の $M-\theta$ 関係の簡易算定法

第 4 章では、最も基本的な接合要素である「ほぞ」単体の、一般的なもの(厚さ 30mm)に比して、ほぞを厚く(60,75mm)長くした場合の曲げ性能について検証した。一般的な仕口に比べ 3 倍強の曲げ性能が期待できる一方、ほぞ穴間隔を狭くすると脆性破壊の危険性が生ずる。「掘立モデル」を援用して接合部の三角形変位めり込み抵抗による $M-\theta$ 関係を算定し、塑性域に関しては簡便な推定法を提案した(図 4-1)。提案した方法によって求めた塑性域の $M-\theta$ 関係は試験結果とよく一致したが、 $1/30\text{rad}$ 以降では曲げ抵抗における摩擦の割合が増大することが示唆され、その評価法の確立が課題として残った。

第 5 章では、7 つの伝統要素で構成した耐力壁のせん断性能を確認した。150mm 角のヒノキ柱を含むフレームに、60×180 の 6 段貫(ヒノキ)、その直交方向にたて貫 3 本(タモ)、貫を含む横架材間にダボ(ヒノキ)で補剛した厚さ 30 の板(ヒノキ)を挿入し、さらに回転拘束を図るために貫/たて貫交点をダブル込栓($\phi 24$: カシ)としたものである。要素毎に算定し並列バネとして加算し壁全体の $M-\theta$ 関係を推定した。実施した 3 体の個体差はほとんどなく、短期基準せん断耐力は特定変形角時の耐力で決まり、短期許容せん断耐力は 25.47kN と決定した。伝統要素によりながら、寸法仕様を吟味し節点数を増やすことで、粘り強く剛性・耐力の高い壁が実現できることを示した。

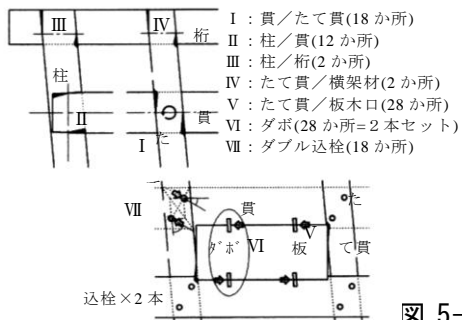


図 5-1 抵抗要素(左)と試験風景(右)

第6章では、伝統的な継手・仕口の接合具材として用いられることの多い、4種の国産広葉樹材のめり込み(全面圧縮・部分圧縮)試験を行った。供試材は、シラカン(放射孔材)、イタヤカエデ(散孔材)、ケヤキ、ナラ(環孔材)である。各樹種とも年輪傾角毎のめり込み性能には $LR > LTR \geq LT$ の明確な傾向が見られ、年輪傾角 LT の場合のめり込み性能を明らかにすることで、各樹種における性能を安全側で簡便に推定できるとした。環孔材とその他ではめり込み性能が異なること、めり込み性能と最も相関の高い物性は密度であり、密度と目視、加えて平均年輪幅を基準とする材料の選別によってばらつきを減らすことができ、現行告示におけるめり込み基準強度を1.5倍程度に引き上げられる可能性があることなどを明らかにした。例えば本論で得られた広葉樹材の密度 ρ と降伏応力 σ_y 関係の下限値は、 $\sigma_y = 25.82\rho - 6.62$ であった。さらに針葉樹が適用範囲の既存のめり込み算定式による計算値と試験結果の比較検討を行い、既存式を広葉樹材に適用するには、めり込みにおける特性値の見直しが必要であり、そのための具体的な既存式中の特性値を示した。

第7章では、前章までに得られた知見を、実際に構造設計法に落とし込む際の方向性や方法についての考察や提案を行い、あわせて適用範囲や適用の際の課題を示した。例えば伝統的な要素を用いた建築物の水平力に対する性能を評価するため、接合部周辺の脆性破壊の防止、大地震時における鉛直荷重支持能力の確保、修繕の容易性を条件に、安全限界変形角を現行の $1/30$ から $1/15\text{rad}$ にすることを提案した。また、接合部の短期基準耐力を求める基本的な方法を、 $\min.\{P_y, P_u 0.2\sqrt{2\mu - 1}\}$ とし、いくつかのケースを想定し具体的な特性値の評価方法を示した。さらに許容応力度設計法への適用の前提条件や課題として、脆性破壊の防止のための木取りや加工、設計における基本的なタブーの周知徹底や、大きな断面の製材における乾燥や材料流通の問題、伝統要素を用いた接合部等の経年変化の問題等を示し、他方最も着手のしやすい課題として、製材に許容応力度を与える方策の試案を提示した。最後に、本論で試験を行い構造性能の推定を行った接合部や要素を用いて構成した、具体的な木造住宅の構造解析を行い、建物に作用する地震力に対し、終局層せん断耐力や許容層せん断耐力が上回っていることを確認し、伝統要素を用いた木造建築物の設計法への適用の現実性を示し、あわせて伝統要素を用いた構造デザインの可能性を明らかにした。