

伝統的木造建築における接合部の力学的特性に関する研究

Study on Mechanical Properties of the Joint in Traditional Wooden Building

研究代表者 工学部建築学科*1 准教授 松本 慎也
Shinya Matsumoto

There are various wooden buildings based on the craftsmanship in Japan. The unified structural design method for the traditional wooden buildings has still not been established, because of the variation of the material and the complexity for connection including the details of processing. Therefore, it has been required that the development of seismic design method and seismic reinforcement method for traditional wooden buildings. In this study, we focused on the technology of traditional building construction method in Japan. And, it is intended to build a basic technology to support effective utilization of wood by elucidating experimentally the structural mechanism.

Keywords: Timber joints, Anisotropy, Elasto-plastic analysis, Finite element method

1. はじめに

木材は異方性材料であり、その強度特性や耐候性、耐火性、調湿性などの特性を十分考慮したうえで構造材料として使用しなければならない。本研究は木質構造部材における高精度解析技術を構築するために基礎的な仕口接合部を有する木質建築架構の加力破壊試験を実施し、木質構造部材における解析技術の高度化および木質構造部材の有効活用を検討するものである。

我が国は古くから木造文化が盛んであり、匠の技に基づく様々な木造建築物が存在する。しかしながら、これらの伝統木造建築物では、木材特有の材料特性のばらつきや木組み接合部の複雑さなどから、接合部などの加工部のディテールを含めた総合的、統一的な構造設計法は、いまだ確立されていない。ゆえに木材のもつ利点は理解されているものの、現在、伝統木造建築物の新築や改修などが難しい状況におかれている。また、大地震の発生が予想される状況において伝統構法に適した耐震設計法・耐震補強法の開発が急務となっている。

木材は鉄やアルミニウムなどの材料に比べ、材料の製造・加工に必要なエネルギー量やエネルギー消費ともなう二酸化炭素の発生量が少なく、省エネルギー材料であると言え、今後、その有効利用による環境負荷の軽減が期待されている材料である。

本研究では、我が国の伝統的な建築構法の技術に注目し、木組み仕口・接合部などのめり込みや耐力発現のメカニズムを実験的に解明することで、木材の有効利用を支える基礎技術を構築することを目的としている。

2. 差鴨居接合部の実験

図1に示す典型的な伝統構法木造住宅における意匠性の異なる接合部(差鴨居)を対象に要素実験を行う。

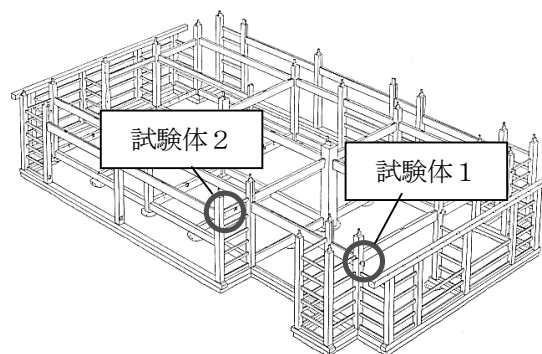


図1. 伝統構法木造住宅

本研究では、図2、図3に示す2種類の仕口接合部試験体を作成し、その曲げ耐力特性を実験により検討を行う。また、性能比較のために、仕口接合部に樹脂接着剤を塗布して接着した際の耐力特性についても試験体をそれぞれ作成し、その耐力特性を検討した。図4、図5に各試験体図面を示す。また、表1に試験体一覧を示す。

*原稿受付 2014年5月12日

*1 〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番

E-Mail matsumoto@hiro.kindai.ac.jp

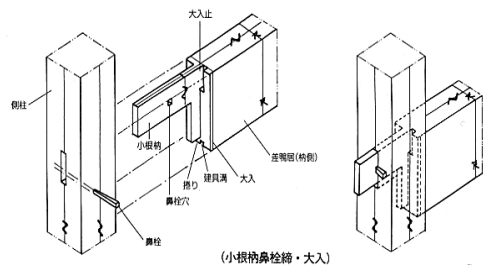


図2. 試験体1 (小根ほぞ鼻栓締・大入仕様)

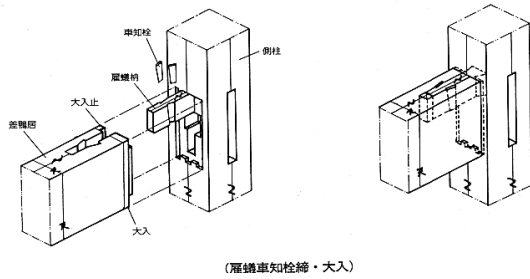


図3. 試験体2 (雇蟻車知栓締・大入仕様)

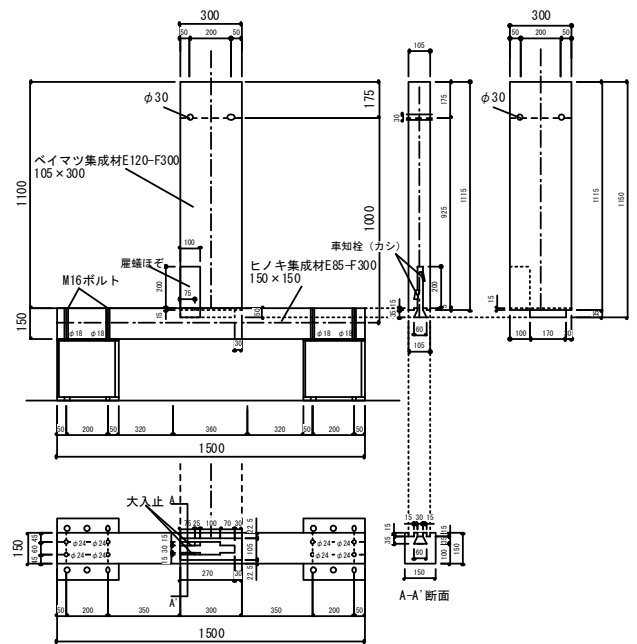


図5. 試験体2 (雇蟻車知栓締・大入仕様)

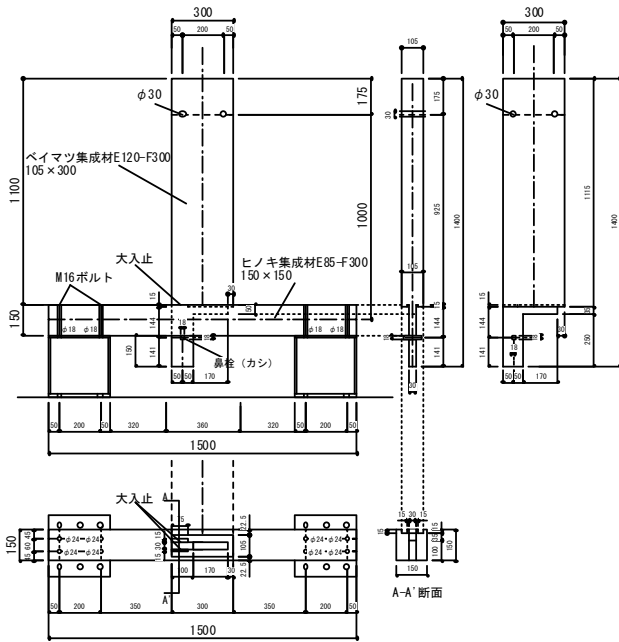


図4. 試験体1 (小根ほぞ鼻栓締・大入仕様)

試験体は、それぞれ各1体作成した(写真1, 写真2参照).



写真1. 試験体1 (小根ほぞ鼻栓締・大入仕様)



写真2. 試験体2 (雇蟻車知栓締・大入仕様)

表1. 試験体一覧

	仕様	樹脂接着剤
試験体1	小根ほぞ鼻栓締	なし
試験体2	雇蟻車知栓締	なし
試験体3	小根ほぞ鼻栓締	あり
試験体4	雇蟻車知栓締	あり

3. 実験方法

荷重はハイブリッドアクチュエータ（最大加力 300kN、最大ストローク 800mm）により、正負の繰り返し水平力を与えた。加力スケジュールは、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が 1/500, 1/350, 1/250, 1/175, 1/120, 1/85, 1/60, 1/45, 1/30, 1/20rad の正負変形角とし、試験体の破壊性状を観察した。写真 3 に加力装置を示す。

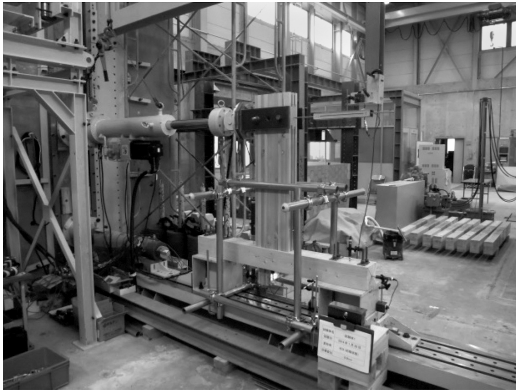


写真 3. 加力装置

4. 実験結果

図 6 に各試験体に加力した際の曲げモーメント-相対回転角関係を示す。図より、正側と負側で接合部の耐力特性が異なることがわかる。これは、接合部ディテールの非対称性に起因するものである。試験体 1 と試験体 2 を比較すると、初期の耐力特性に差があり、試験体 1 は試験体 2 に比べ初期剛性が高いことが確認された。このとき、各試験体の変形角 1/200rad 時の回転剛性を表 2 に示す。また、最大曲げ耐力は試験体 1 が 6.01kNm であり、試験体 2 が 5.33kNm であった。

表 2. 接合部の初期剛性

1/200rad 時 回転剛性 (kNm/rad)	試験体 1	試験体 2
引き側	98.0	28.0
押し側	220.0	126.0

試験体 1 の終局状態を写真 4 に示す。また、試験体解体時の鼻栓の状況（折れ曲がり損傷）を写真 5 に示す。

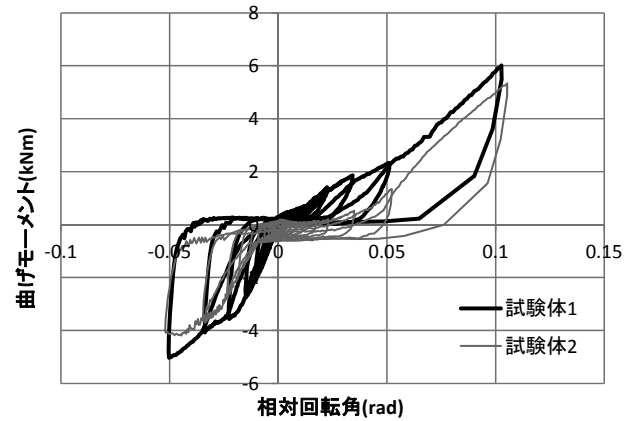


図 6. 曲げモーメント-相対回転角関係



写真 4. 試験体 1 の終局状況



写真 5. 鼻栓の折れ曲がり (試験体 1)

試験体 2 の終局状態を写真 6 に示す。履蟻とほぞ加工溝との間に大きなガタツキが生じていた (写真 7 参照)。



写真6. 試験体2の終局状況

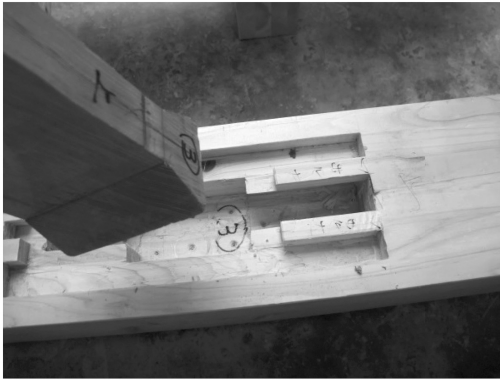


写真7. 履蟻のガタツキ (試験体2)

5. 樹脂接着剤

本研究で使用した接着剤の主成分はエポキシアクリレート（ビニルエステル）樹脂であり、粘性及びチクソ性を調整することで主剤を調合した。表3に本研究で使用した樹脂接着剤の調合成分を示す。このとき、粘性の低いプライマ仕様と粘性の高いパテ仕様の2種類を調合し、充填性を考慮して、接合部の隙間に塗布することとした。写真8、写真9に樹脂接着剤の主剤を示す。また、写真10、写真11に試験体3、試験体4の施工風景を示す。

図7、図8に各試験体に加力した際の曲げモーメント-相対回転角関係を示す。図より、樹脂接着剤の有無によって、接合部の初期剛性が大幅に改善されていることがわかる。しかしながら、曲げ抵抗に対する最大耐力の向上は見られなかった。このとき、各試験体の変形角1/200rad時の回転剛性を表4に示す。また、図9に接合部の回転剛性の比較をグラフで示す。

写真12、写真13に試験体3、試験体4の終局状況を示す。

表3. 樹脂接着剤の成分

品名	成分	状態	標準調合(部)	
			プライマ仕様	パテ仕様
樹脂 (主成分)	スチレン	液体	100部	100部
硬化促進剤 (耐熱性能向上)	キシレン, エチルベンゼン	液体	0.7部	0.7部
プライマ 添加剤 (粘性減少)	ジエチレン グルコール ジメタクリ レート	液体	5部	
接着チク ソ剤 (タレ防止)	撥水性微粉 末(シリカ)	紛体		6部
接着増粘 剤	ガラス粉	紛体		50部
硬化剤	ハイドロパ ーオキサイ ド	液体	適正量 0.5~3部 (35~5°C)	適正量 0.5~3部 (35~5°C)

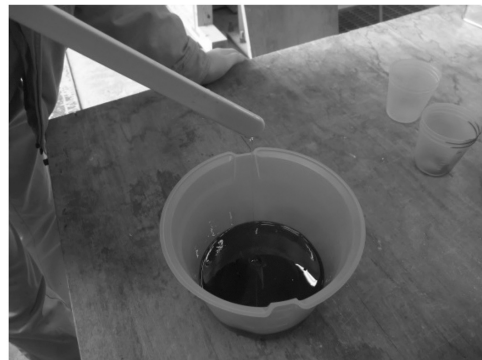


写真8. プライマ仕様の主剤



写真9. パテ仕様の主剤



写真 10. 試験体 3 施工風景

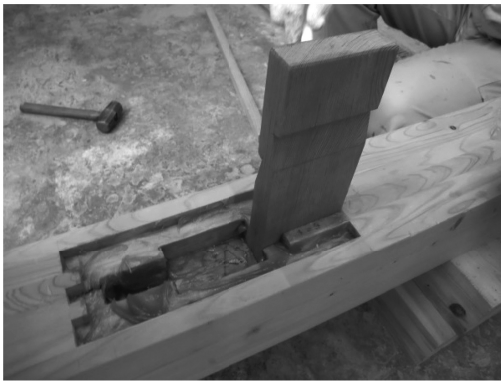


写真 11. 試験体 4 施工風景

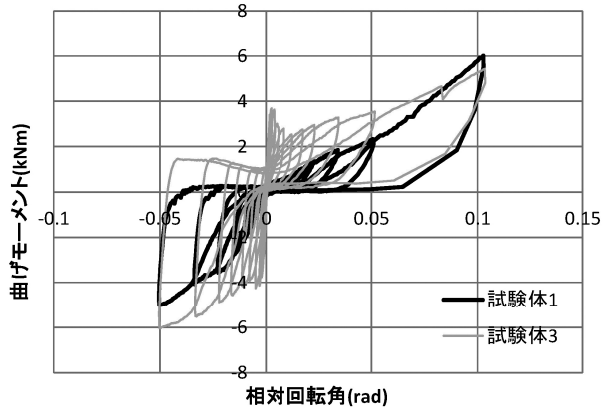


図 7. 曲げモーメント-相対回転角関係 (試験体 1, 3)

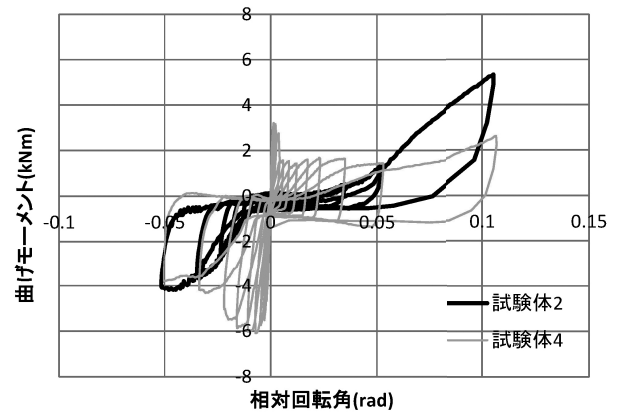


図 8. 曲げモーメント-相対回転角関係 (試験体 2, 4)

表 4. 接合部の初期剛性

1/200rad 時 回転剛性 (kNm/rad)	試験体 1	試験体 2	試験体 3	試験体 4
引き側	98.0	28.0	600	300
押し側	220	126	840	1120

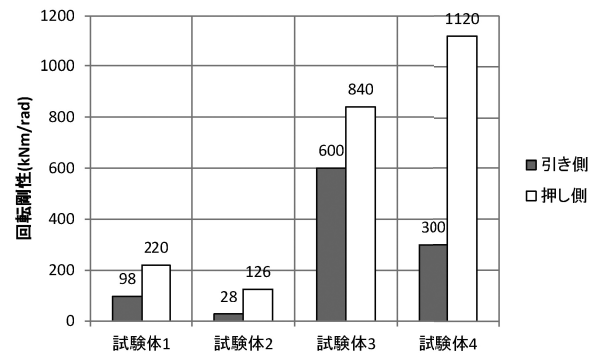


図 9. 接合部の回転剛性 (1/200rad 時)



写真 12. 試験体 3 の終局状況



写真 13. 試験体 4 の終局状況

- (4) 松本慎也, 鈴木祥之, “立体架構モデルを用いた伝統構法木造建物の地震応答解析に関する研究”, 第 5 回日本地震工学会大会, (2007-11), pp.292-293

6. まとめ

伝統木造建築における接合部の意匠性と耐力特性の関係についての実験の成果を述べた。伝統構法仕口では加工部のめり込みによる変形により, 大きな変形性能を示すことが示された一方で, 初期剛性が低くなることが確認された。また仕口加工形状の非対称性によって, 押し側と引き側で特に初期変形時における剛性の特性が異なることが確認された。また, 樹脂接着剤を接合部に充填することで, 比較的小さな変形レベル (回転角 $1/200\text{rad}$ 以下) における接合部の回転剛性の向上が確認されが, 曲げ抵抗に対する最大耐力の向上は見られなかった。

謝辞

本研究は平成 25 年度古川技術振興財団研究助成によって実施しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) Shinya Matsumoto, Yoshiyuki Suzuki, “Numerical Examples of Traditional Timber Building Using Frame Analysis with Semi-Rigid Spring Elements”, International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation 2011 (DS'11), SESSION B2: Wooden Structure, (2011-9), pp.89-92
- (2) Shinya Matsumoto, Yoshinobu Fujitani, Yoshiyuki Suzuki, “Study on the numerical analysis for structural detail of timber frame based on partial compressive strain behavior of the joints”, WCTE World Conference on Timber Engineering 2010, Vol. IV, (2010-6), pp.1001-1002
- (3) 松本慎也, 光井周平, 近藤一夫, 鈴木祥之, 藤谷義信, “伝統木造建築物の仕口ディテールのめり込み挙動を考慮したモデル化による解析手法”, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, (2010-11), pp.2096-2100