

久米式耐震木骨構造の耐震性能及びその耐震補強に関する実験的研究
(その2) 文化財的価値に配慮した補強方法の提案

正会員	○松田 昂大* ¹	同	木津 直人* ⁴
同	西川 英佑* ²	同	伊藤 央* ⁵
同	榊井 健* ³		

久米権九郎	久米式耐震木骨構造	登録有形文化財
近代建築	木造	耐震補強

1.はじめに

前稿では旧本多家住宅を対象として、久米式耐震木骨構造の架構模型の静的載荷試験を行い、当該構造の耐震性能の評価を行った。また、試験結果を踏まえて別途行われた旧本多家住宅の耐震診断では、現行基準の耐震性能を満たさないことが明らかになった。一方で、旧本多家住宅のような文化財建造物の耐震対策を行う場合、その文化財的価値に配慮して補強を行う必要がある。

以上を踏まえ、本稿では旧本多家住宅の文化財的価値が久米式耐震木骨構造本来の耐震性能やその構造形式に特にあると考えた上で、それらを考慮に入れた複数の補強案を提案する。そして、提案した補強方法を施した架構模型を作成し、静的載荷試験を行うことで補強効果を検証し、適切な補強方法について考察する。

2.実験概要

2.1 試験体概要

【試験体 C : B+柱浮上り防止補強】 (図 1)

久米式耐震木骨構造の主たる耐震要素である筋違入りの架構(試験体 B)に対して、前稿で確認された土台割裂の要因となった柱の浮上りを防止する補強である。架構にホールダウン金物を取り付け、反力台フレームの基礎梁(実建物の布基礎に相当)と緊結する。実建物でホールダウン金物をオリジナルの柱に取り付けると金物が床下に出しまうため、柱に添え柱を取り付け、床下で納まる位置で添え柱にホールダウン金物を取り付けた。また、添え柱を柱下部のみに留め付けた場合、圧縮筋違による突き上げによって柱上端と胴差のボルト接合部にお

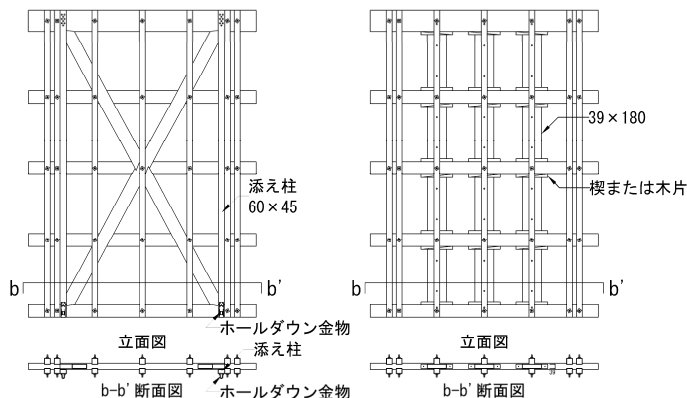


図 1 試験体 C

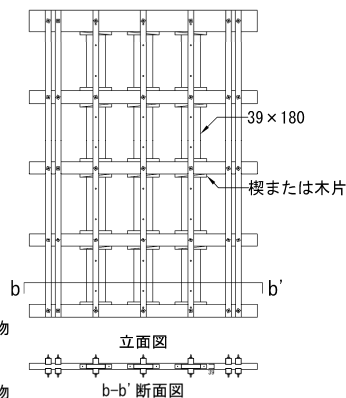


図 2 試験体 F

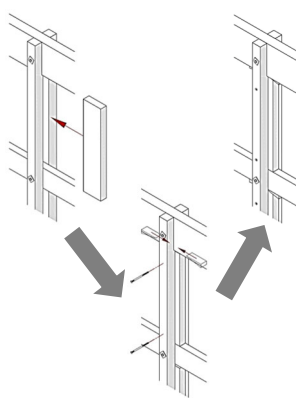


図 3 補強材の挿入方法(試験体 DE)

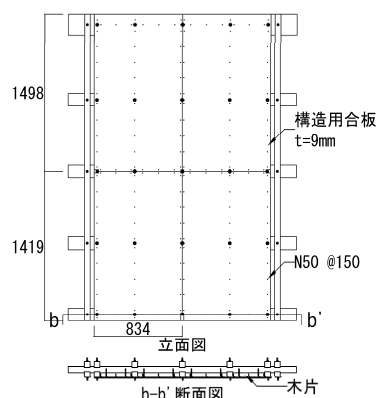


図 4 試験体 G

いて破損が生じることが予想されたため、添え柱を胴差高さまで延ばし、胴差に留め付けることとした。

【試験体 D・E・F : A+伝統的貫型補強】 (図 2)

伝統的貫型補強は図 3 のように 2 本組の柱の間に補強材を挿入し、社寺仏閣の柱貫接合部のようにめり込みを発生させ復元力を向上しようとする方法である。筋違がない架構(試験体 A)への補強案として提案した。柱と貫の接合部数が多いほど補強箇所を確保できるので、柱が密に並べられる久米式耐震木骨構造の構造形式を活かした方法といえる。

補強材は柱とビスで固定し、上端または下端で横架材との間に楔を打っている。補強材の幅が 120mm の試験体 D と 180mm の試験体 E を作成した。

また、補強材幅は 180mm とした状態で、オリジナルの構造材への損傷をより抑えるため、補強材の上下端に楔もしくは木片を入れた試験体 F も作成した。オリジナルの横架材にめり込みが生じないようになるだけでなく、横架材が経年劣化等により角が取れていても楔等によって補強効果が低下せず、大地震後も楔等の交換で耐震性能を回復できるといった効果も期待した。

【試験体 G : A+構造用合板補強】 (図 4)

筋違の有無にかかわらず適用可能な補強案として検証した。構造用合板による補強は久米式耐震木骨構造を持つ日光金谷ホテルの耐震補強でも行われている¹⁾。復元力の大幅な向上と高い剛性の確保が見込めるため、壁仕上げ材等に変形による損傷を与えたくない場合に有効である。一方で、取り付け時に柱に多くの釘留めが必要にな

るなど、オリジナルの構造材への介入が大きいという点が課題として挙げられる。合板を柱の外面で取り付けるため胴差・土台・貫にはスペーサーとなる木片を取り付け、その上から合板を大壁仕様で取り付けた。

なお、試験体 G' は、試験体 G の試験中に土台が割裂したため、試験体 C と同様の柱浮上り防止補強を試験体 G に取り付け、再載荷したものである。

2.2 試験方法・測定項目

試験方法は前稿と同じく柱脚固定式の水平方向正負交番漸増載荷を行ったが、変形性能を確認するため、負側のみ 1/15rad までの載荷を追加した。

3. 試験結果

3.1 荷重変位関係

試験により得られた荷重変位関係を図 5～7 に示す。

試験体 C は、前稿の試験体 B と比較すると復元力・変形性能・剛性が大きく向上している。押しで 1/42rad 時、引きで -1/65rad 時に土台が割裂したが、その後も復元力は伸び続け、押しで 1/34rad 時、引きで -1/42rad 時でホールダウン金物を取り付けた添え柱が端抜けを生じた（図 5 写真）。最大荷重は 22.17kN であり、今回の試験体中で最も剛性の高い試験体であった。

試験体 DEF は -1/15rad までの載荷で大きな破壊は見られず、楔の割れと横架材へのめり込み変形のみを抑えられ（図 6 写真）、変形能力に富んだ補強方法であることが分かった。また、伝統的貫型補強の中では補強材幅の大きい E・F の復元力が大きく、最大荷重は D : 7.92kN、E 11.25kN、F : 11.49kN であった。特に試験体 F では -1/15rad 時でもオリジナルの構造材にほとんど損傷が見られなかった。

試験体 G は小変形時もある程度の復元力が発揮されたが、-1/40rad 時で土台が割裂し、最大荷重は 12.61kN であった。柱浮上り防止補強を取り付けた試験体 G' は 1/33rad 時で土台が割裂したものの、-1/15rad までは金物取付位置で破壊されることはなく、最大荷重は 20.18kN であった。ただし、-1/15rad 時においては合板の留め付け釘が大きくせん断変形し、釘頭が合板に深くめり込んだ。

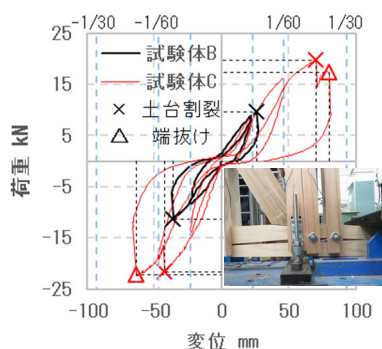


図 5 荷重変位関係（試験体 BC）

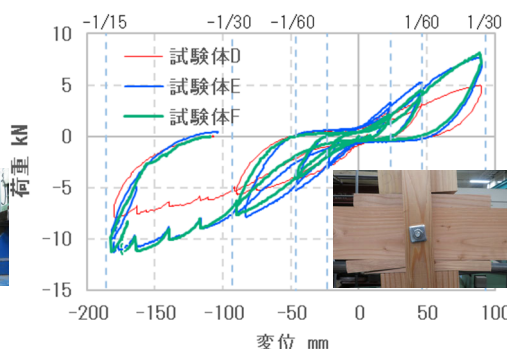


図 6 荷重変位関係（試験体 DEF）

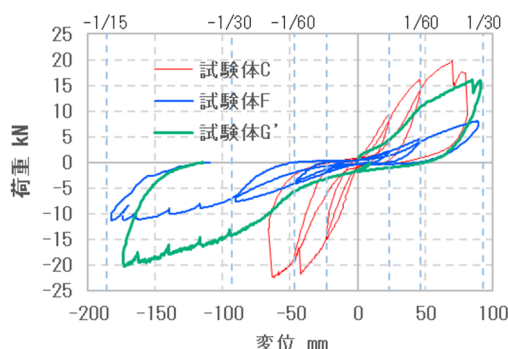


図 7 荷重変位関係（試験体 CFG）

3.2 減衰定数

荷重変位関係をもとに各変形角の復元力ループから履歴消費エネルギー ΔW を求め、以下の式から減衰定数 h を求め、その結果を表 1 に示す。

$$W = \bar{P} \cdot \delta / 2 \quad h = \Delta W / 4\pi W$$

減衰定数はいずれの試験体も 15～18% ほどであり、どの試験体も減衰性能に富んだ架構といえる。

表 1 各変形角における減衰定数（単位：％）

変形角 (rad)	A	B	C	D	E	F	G	G'
1/120	30	13	10	17	14	13	12	
1/60	39	14	13	18	14	11	13	
1/30	38		15	16	14	12	13	16
1/15				18	15	14		17

4. まとめ

久米式耐震木骨構造の補強方法を提案し、その補強効果を架構模型の水平載荷試験を行い検証した。

筋違入りの架構に施した柱浮上り防止補強（試験体 C）は、最小限の補強で復元力・変形能力を大きく向上させることができ、久米式耐震木骨構造の持つ耐震性能を活かした補強方法であるといえる。

筋違なしの架構に施した伝統的貫型補強（試験体 DEF）と構造用合板補強（G）は共に復元力や減衰性能に富んだ補強方法であるが、前者は他の二つの方法と比べ復元力に関する効果は低い、変形性能が高く、想定以上の地震に対しても粘り強く抵抗することが期待でき、かつオリジナルの架構への影響が少ない。後者は復元力に関する効果は高いが、オリジナルの構造材への介入が大きく、想定以上の地震に脆性的な破壊を起こすことが懸念される。

以上より、提案した補強方法の上記の特徴を活かして組み合わせ、補強計画することが望ましいと考える。

[註]

- 1) 森田仁彦, 「多様な木構造形式に対応した耐震補強（日光金谷ホテル）」, 『住宅と木材』, （財）日本住宅・木材技術センター, 第 373 号, pp21-27, 2009 年 1 月

*1 関西大学大学院理工学研究科博士課程前期課程
 *2 関西大学環境都市工学部建築学科助教・博（工）
 *3 関西大学環境都市工学部建築学科教授・博（工）
 *4 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系助教・博（工）
 *5 株式会社久米設計

*1 Graduate student, Master's course, Kansai University
 *2 Assistant Professor, Kansai University, Dr. Eng.
 *3 Professor, Kansai University, Dr. Eng.
 *4 Assistant Professor, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
 *5 KUME SEKKEI Co., Ltd.