

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月13日現在

機関番号：82115

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2011

課題番号：19380104

研究課題名（和文） 既存木造住宅の倒壊限界変形量と耐力に関する研究

研究課題名（英文） Studies on Collapse Limit Deformation and Shear Strength of Old Wood Houses

研究代表者

植本 敬大（TSUCHIMOTO TAKAHIRO）

国土技術政策総合研究所・総合技術政策研究センター・評価システム研究室長

研究者番号：00261959

研究成果の概要（和文）：木造軸組構法と枠組壁工法の住宅について、倒壊限界変形量と耐力について検証することを目的に倒壊、又は大変形に及ぶ静的水平加力試験を行った。その結果、1) 木質壁式構造は柱やスタッドの径の大小にかかわらず、最大耐力が約 1/30 rad 程度であり、倒壊限界は 1/3 rad を超える可能性が高い。2) 軸組構法に対する耐震精密診断 1-保有耐力診断法および同 2-保有水平耐力計算による方法は、静的加力試験結果に対して安全側の評価である。特に、後者による包絡線の推定値は 1/50 rad までは非常に正確に推定されていることが判明した。

研究成果の概要（英文）：To verify the safety limit deformation of the Japanese conventional post-and-beam wood residential construction with the mortar exterior wall and the light frame construction which have clarified datum to prove the safety limit deformation, the static lateral load tests were conducted to such old wood houses. As a result, 1) In the shear wall type of timber structures, the maximum loads were under about 1/30 rad shear deformation, and the collapse limit deformations were over 1/3 rad, 2) Maximum lateral capacity of the Japanese conventional post-and-beam wood residential construction with the mortar exterior wall was in the safety side in comparison with the precise seismic evaluation on “The seismic evaluation and reinforcement methods” published by The Japan Building Disaster Prevention Association.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度			
総計	8,600,000	1,830,000	10,430,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学、林産科学・木質工学

キーワード：強度・木質構造

## 1. 研究開始当初の背景

既存木造建築物の構造性能評価の究極の目標は、その構造体が倒壊するか否かを精緻に評価することである。以前は、国内外を問わ

ず、耐力要素の静的加力試験結果に基づいて木質構造の最大耐力などが論じられてきたが、木質構造においては非構造要素の影響が大きく、必ずしも耐力要素の合計値ではないこと

が知られている。これに対して既存木造住宅の耐震性が不足していることが社会問題化している現在、耐震性が劣る建築物を最小のコスト、労力で許容しうる最低限の耐震改修を行う必要がある。このため、既存木造住宅の倒壊限界変形角や最大耐力などの限界性能を把握する必要がある。

研究代表者は、1998年に木造躯体の倒壊挙動の解明に取り組み、定常波では倒壊には至らないこと、静的加力と動的加力における破壊性状の差異、柱脚柱頭の破壊の順序などを明らかにしたが、研究設備の制約から、その加振能力が小さく、倒壊に至らしめることができなかった。

一言で既存木造住宅といっても様々な構法、耐力要素の仕様が有り、構法を類型化してそれぞれについて検討していく必要がある。また、構造躯体が劣化している場合もあり、その評価は難しい。

研究代表者らは、最初に都市部において最も一般的な外壁仕様と思われるモルタル外壁を有する築30年程度の既存の木造住宅の鉛直構面を抽出し、その耐震性能、倒壊挙動を調べた(2002年)。また、これを新しい材料、部材で再現した鉛直構面を作製し、その耐震性能倒壊挙動を調べた(2004年)。その結果、静的加力実験では両者の倒壊限界変形角がいずれも約1/50 rad程度であり、最大耐力は15~35%程度低下することなどが判明し、振動台実験では両者の重量(自重+積載荷重は同一)に入力加速度を乗じて得た耐力には差異がないものの、モルタルの崩落するタイミングが明らかに異なり、変形能力が著しく劣ることがわかった。ただし、この構面を抽出した住宅は海岸付近にあり、モルタルを留め付けるステーブル等が塩害を受けていた。

一方、土塗り壁を有する建物や筋かい耐力壁のみを主な耐震要素とする平屋建物、(海岸から離れて存在して)比較的健全なモルタル外壁を有する住宅の静的倒壊実験、または大変形加力試験(2003年、2004年)を行い、以下の結果を得た。

- ・土塗り壁を主な耐力要素(筋かいも存在)とする平屋は、約1/30rad変形時に最大耐力に達し、約1/2.5 radあたりで倒壊に至る。筋かいのみ耐力要素とする平屋の最大耐力は約1/20 rad変形時であるが、倒壊限界は不明である。

- ・平屋建て住宅の最大耐力は、土塗り壁の平屋(壁量充足率はベースシア(せん断力係数=建物重量に対する比)0.2に対して1.6倍)でベースシア0.6~0.7、筋かいのみを耐力要素とする平屋(壁量充足率はベースシア0.2に対して2.9倍)でベースシア1.2前後に相当した。

- ・土塗り壁の平屋、筋かいのみを耐力要素とする平屋はいずれにも、構造躯体の一部

に生物劣化が確認されたが、有効壁量に対して著しく大きな耐力が発現し、柱脚等に金物がない構法においては、多少の腐朽や蟻害が土台、大引きにあったとしても、鉛直力支持能力、水平せん断耐力等を低下させない可能性がある。

- ・壁量充足率が極めて低い(ベースシア0.2に対して0.6倍)が、モルタル外壁の劣化が認められない場合、ベースシアが2を超えることがあるが、倒壊限界、最大耐力は不明である。

## 2. 研究の目的

(1) 主たる耐力要素が結果的に外壁モルタルである木造軸組構法住宅、並びに枠組壁工法住宅の倒壊限界変形量と耐力について、実験的に解明することを目的とする。

(2) モルタルを留め付けるステーブルの腐食状況の評価と倒壊限界性能についての関連性を明らかにすることを目的とする。最終的には、構法とその住宅のおかれた環境から耐力要素の劣化度を推定し、強震動下の限界性能を適切に推定する手法を提案することを最終的な目標として研究を実施する。

## 3. 研究の方法

(1) モルタル外壁を有する木造住宅の倒壊実験と限界変形・最大耐力の特定

解体除去予定の木造軸組構法住宅(図1)を検索し、加力試験に供した。建物の保有耐力を「木造住宅の耐震診断と補強方法」に基づいて推定し、重機による静的水平載荷(図2)を行う。このときの各部の変形および水平力を測定し、限界変形量並びに最大耐力を得る。

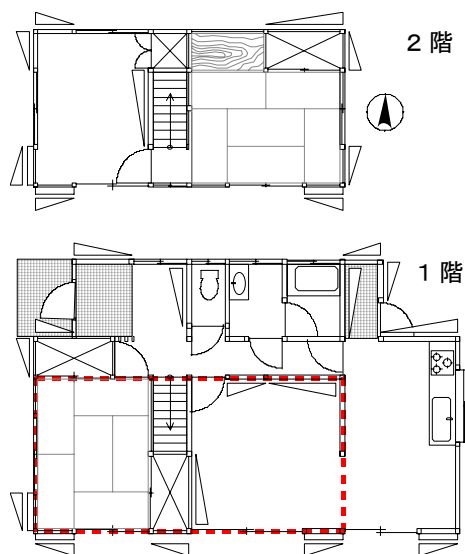


図1 試験対象住宅の平面の概要

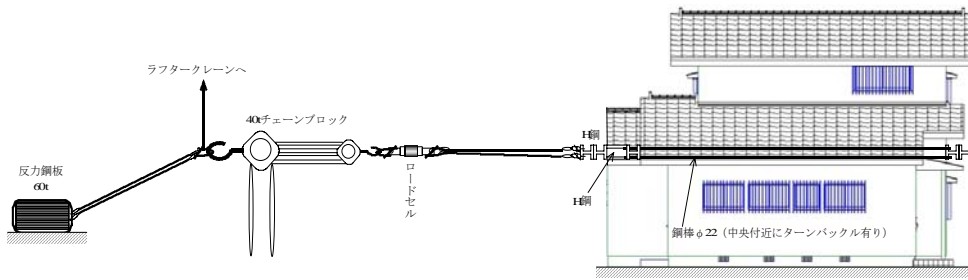


図2 大変形加力実験における水平載荷方法

(2) 枠組壁工法住宅の倒壊限界変形と最大耐力の特定

解体除去予定の枠組壁工法住宅（写真1、図3）を検索し、加力試験に供した。重機による静的水平載荷を行い、このときの各部の変形および水平力を測定し、限界変形量並びに最大耐力を得る。



写真1 供試した枠組壁工法住宅の外観

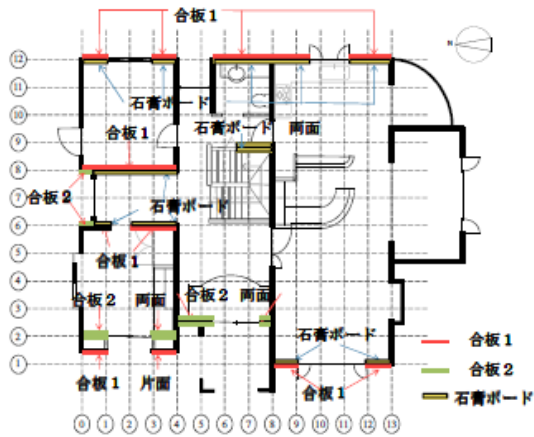


図3 供試した枠組壁工法住宅の平面

(3) 既存木造住宅のモルタル外壁の劣化程度の特

各地に経つ木造住宅のモルタル外壁から、約10 cm四方程度の下地付きモルタル外壁を採取し、下地とモルタル間のせん断試験に供した。ただし、前述の加力試験に供した住宅からは、直交壁等加力試験に影響を及ぼさない部位から採取した。

4. 研究成果

(1) モルタル外壁を有する木造住宅の倒壊実験と限界変形・最大耐力

最も変形が大きかった南側の壁線の荷重－変形関係を図4に示す。最大耐力は最も変形が大きい南側壁線が 21.5 rad、最も変形が小さい北側壁線が 45.8 rad 変形したときに 195.6 kN を記録し、これは層せん断力係数 1.04 に相当する。その後、圧縮筋かいが 105 mm の正角の桁を破壊させたり（写真2）、外壁モルタルが剥落したり、面材や筋かいが面外座屈したりするなどして破壊が進行したものの、南側壁線が 1/2.5 rad に達しても倒壊には至らなかった（写真3）。以上は、土塗り壁を主たる構造要素とする木造住宅に関する既往の研究で得た、木造住宅の最大耐力時の変形は約 1/30 rad、倒壊限界は 1/3 rad を超える可能性があることを再現している。

また、最大耐力 195.6 kN は、推定値 156 kN に対して 25 % 高いが、評価結果は安全側でなければならぬことを勘案すれば、耐震精密診断1－保有耐力診断法（垂れ壁等の評価法を含み、接合部の低減等を含まない）<sup>1)</sup> はある一定の精度があると言える。さらに、精密診断2－保有水平対力計算による方法<sup>1)</sup> を用いて、荷重変形関係を予測した。最大値の関係は精密診断1と同様であるが、下り勾配に若干のズレがあるものの、1/50 rad までは精緻に推定できることが分かる。

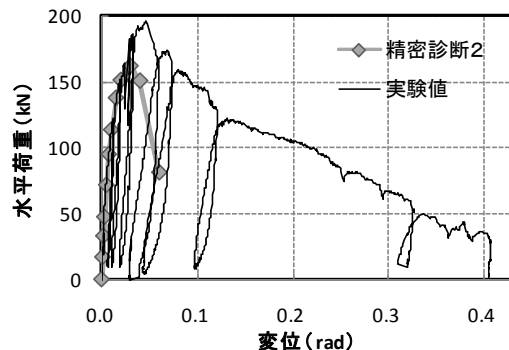


図4 供試住宅の荷重－変形関係



写真2 梁を折損した圧縮筋か



写真3 1/2.5 rad を超える大変形

(2) 枠組壁工法住宅の倒壊限界変形と最大耐力の特定

① 損傷状況

1階層間変形角が1/120rad. (25mm) に至るまでに、加力方向のモルタル下地外壁の開口隅角部において、外装仕上げ材(砂岩調装飾仕上げ塗材)に亀裂およびしわが発生した。また、せっこうボード下地内壁の開口隅角部においても、内装仕上げ材(珪藻土系仕上げ塗材)に亀裂が発生した。

1/60rad. (50mm) 時には、内外装仕上げ材の亀裂およびしわが伸展したほか、内壁のせっこうボード継ぎ手の目地部分にあたる内装材にしわが発生した。また、内部および外部の開口部まわりの造作材の取り付け部分において、すき間が目立つようになった。

1/30rad. (100mm) 時には、1階の加力方向の壁構面にあるほとんどの開口部において、隅角部からの亀裂が天井付近あるいは床付近まで伸展している状況が観察された。また、加力方向に直交する壁構面にも亀裂が目立つようになった。1/15rad. (200mm) 時には、内外壁ともに亀裂の幅がさらに拡大して(写真4, 5)、モルタル下地およびせっこうボード下地の面外方向への浮きや脱離が部分的に観察された。また、加力方向の耐力壁および非耐力壁の端部において、脚部の浮き上がりによる損傷(壁と床のすき間、外装材の持ち上がりによる土台の露出など)および沈み込みによる損傷(1階床面の不陸(写真6)、床仕上げ材の圧壊など)が観察された。

最終的に1階層間変形角が約1/2.1 rad. (1420 mm) の段階で、1階部分における上

階の鉛直荷重の支持能力が限界に到達して、建物が西側に傾きながら倒壊に至った(写真7)。



写真5 外装材の大亀裂 写真7 真内装材の大亀拡大



写真6 間仕切り壁の沈み 写真7 建物の倒壊

② 荷重変形関係

2台の各荷重計とそれに対応する2台の巻込型変位計の平均による荷重変形関係、および2台の荷重計の和と4台の巻込型変位計の平均による荷重変形関係を図5に示す。

表1に特定層間変形角時における荷重、荷重を建物重量で除した値(層せん断力係数)、層の剛性、剛性比率を示す。剛性比率については、層間変形角1/120 rad.までの剛性を第一剛性として、各特定層間変形角時の剛性を第一剛性で除して算出した。加力開始後の荷重は、層間変形角が1/120 rad.時に530kN、1/60 rad.時に730 kNと増加して、1/33 rad.時に最大荷重の895 kNを記録した。以降、荷重は緩やかな低下をたどり、1/15 rad.時に730 kN、1/10 rad.時に490 kNとなり、最終的に層間変形角1/2.1 rad.で倒壊に至った。

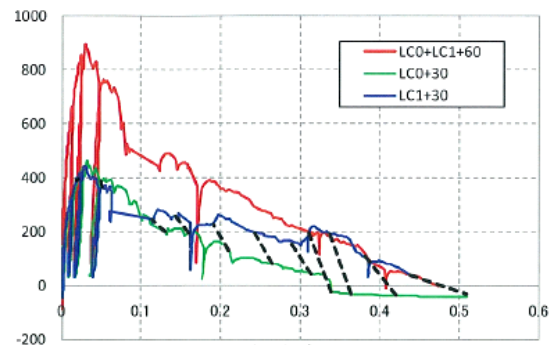


図4 枠組壁工法住宅の荷重変形関係

表1 特定層間変形角と荷重の関係

層間変形角(rad.)	1/120	1/60	1/30	1/15	1/10
荷重(kN)	530	730	895	730	490
荷重/建物重量	1.06	1.46	1.79	1.46	0.98
層の剛性(kN/mm)	66250	25000	10313	-5156	-7500
剛性比率	1.00	0.38	0.16	-0.08	-0.11

(3) 既存木造住宅のモルタル外壁の劣化程度

既存木造住宅から採取したモルタル外壁のラスを留め付けるステーブル接合部（一部、又釘を含む）のせん断試験を行った。134 の有効なデータが得られた。また、ステーブルの仕様を整理した結果、ステーブルは 1010J、1013J、1019J に分類されることが分かった。また、又釘は 16 mm と 18 mm のものが使用されていることが分かった。採取された接合部の劣化の程度を特定することを目的として、これらの接合具を用いて、約 10 cm 四方のモルタルラス下地接合部試験体を、新規に 21 体製作した。

既存建物から採取した試験体、及びこれを再現して新規に製作した試験体をせん断試験に供し、接合具の断面積あたりの最大せん断耐力 (N)、並びに荷重変形関係の傾きから初期剛性 (N/mm) を求めた。各接合具の種類によって顕著な差異がなく、全体と比較すると、新規に再現したものより、既存建物から採取した試験体の方が耐力、剛性ともに低い値を示した (図 5, 図 6)。また、それぞれの個体差は、既存採取試験体の方が大きかった。

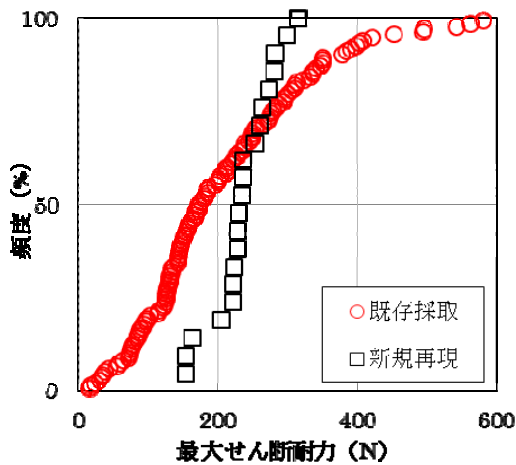


図 5 モルタル接合部試験体のせん断耐力

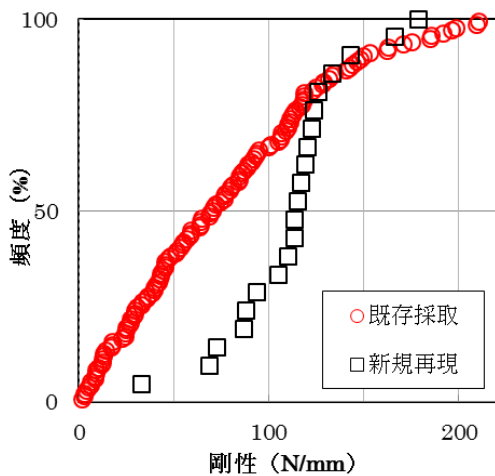


図 6 モルタル接合部試験体のせん断剛性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 12 件)

- ① 榎本敬大、杉本健一、青木謙治、五十田博、中川貴文、福本有希、既存木造住宅の最大耐力と倒壊限界に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2008、103-104、
- ② 篠澤朋宏、五十田博、榎本敬大、中川学・和田幸子、篠原昌寿、積雪地域に建つ2階建て木造住宅の静的引き倒し実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2008、101-102、
- ③ 榎本敬大、木造家屋などの建築物の耐震性、(社)日本木材保存協会第25回年次大会研究発表要旨集、査読有、2009、90-96、
- ④ 榎本敬大、三宅辰哉、構造性能検証法に応じた木造軸組構法建築物の耐震性能余裕度に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2009、203-204、
- ⑤ 板橋清子、榎本敬大、五十田博、佐久間順三、中川貴文、実在する木造住宅のモルタル壁劣化調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2011、159-160、
- ⑥ 小松弘昭、沖浦博、竹内優、荒木康弘、榎本敬大、高田和将、枠組壁工法住宅の引き倒し実験 その1 建物概要および加力計画、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2011、213-214、
- ⑦ 沖浦博、榎本敬大、荒木康弘、小松弘昭、竹内優、青木謙治、枠組壁工法住宅の引き倒し実験 その2 加力履歴および実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2011、215-216、
- ⑧ 竹内優、沖浦博、小松弘昭、坂部芳平、荒木康弘、榎本敬大、枠組壁工法住宅の引き倒し実験 その3 実験結果考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2011、217-218、
- ⑨ 高田和将、五十田博、榎本敬大、河合直人、中川貴文、杉本健一、青木謙治、津田千尋、木造軸組構法住宅の引き倒し実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2011、219-220、
- ⑩ 長岡修、五十田博、河合直人、榎本敬大、清水秀丸、積載荷重と接合部仕様の異なる木造耐力壁のせん断性能と倒壊限界、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C-1、2011、151-152、
- ⑪ 中川貴文、榎本敬大、三宅辰哉、河合直人、太田正光、Numerical Analysis for Evaluation of the Effect of Exterior Walls on Seismic Performance of Wooden Post-and-Beam Houses、

Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering, 査読有、2010、ID:673,

- ⑫ 三宅辰哉、中川貴文、榎本敬大、五十田博、河合直人、Dependence of Ultimate Seismic Performance on Specifications of Column-End Joints in 3-Story Wood Houses、Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering, 査読有、2010、ID:620,

[学会発表] (計3件)

- ① 榎本敬大、杉本健一、青木謙治、五十田博、中川貴文、福本有希、既存木造住宅の倒壊限界と最大耐力に関する検討、第58回日本木材学会大会(つくば)、査読無、CD、2008、
- ② 榎本敬大、木造住宅の設計法・評価法の現状と課題 軸組構法—許容応力度設計、日本建築学会大会パネルディスカッション、2009、
- ③ 榎本敬大、河合直人、五十田博、三宅辰哉、中川貴文、稲山正弘、藤田香織、清水秀丸、Effect of Horizontal Diaphragm and Column-End Joints on Ultimate Seismic Performance of Full-Sized 3-Story Wood Houses on Shaking Table、Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering, 査読有、2010、ID:797,

[図書] (計2件)

- ① 榎本敬大、青木謙治、中川貴文、腰原幹雄、五十田博、河合直人、他、(財)日本建築防災協会、木造住宅の耐震精密診断と補強方法、2012、364
- ② 榎本敬大、他、井上書院、新・木質構造建築読本、2012、280

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榎本 敬大 (TSUCHIMOTO TAKAHIRO)  
国土技術政策総合研究所・総合技術政策研究センター・評価システム研究室長  
研究者番号：00261959

### (2) 研究分担者

五十田 博 (ISODA HIROSHI)  
信州大学・工学部・教授  
研究者番号：40242664

### (3) 研究分担者

杉本 健一 (SUGIMOTO KEN-ICHI)  
独立行政法人森林総合研究所・構造利用研究領域・木質構造居住環境研究室長  
研究者番号：10370280

### (4) 研究分担者

青木 謙治 (AOKI KENJI)  
独立行政法人森林総合研究所・構造利用研究領域・主任研究員  
研究者番号：90313072

### (5) 研究分担者

腰原 幹雄 (KOSHIHARA MIKIO)  
東京大学・生産技術研究所・准教授  
研究者番号：50334321

### (6) 連携研究者

河合 直人 (KAWAI NAOHITO)  
工学院大学・建築学部・教授  
研究者番号：70186047

### (7) 連携研究者

中川 貴文 (NAKAGAWA TAKAFUMI)  
独立行政法人建築研究所・材料研究グループ・主任研究員  
研究者番号：60414968

### (8) 研究協力者

荒木 康弘 (ARAKI YASUHIRO)  
独立行政法人建築研究所・構造研究グループ・研究員  
研究者番号：40435582