

研究種目：基盤研究(C)一般
研究期間：2007～2009
課題番号：19560558
研究課題名（和文）種々の木造軸組における大変形構造性能の解明とその災害対策への応用
研究課題名（英文）Study on behavior of wooden frames in large deformation range and its application to disaster control
研究代表者
津村 浩三 (TSUMURA KOZO)
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：30145669

研究成果の概要（和文）：地震により被災した木造住宅を想定して木造軸組の大変形加力実験を行った。実験では、初めて被災した時の構造性能と、被災後補修または補強を施した後の構造性能を調べ、両者を比較した。得られた特性値を利用して、木造住宅の地震時挙動シミュレーションを行った。その結果、地震により大きな変形を受けても、地震後、補修または補強を行うことにより、住宅を再使用できる可能性のあることが判った。

研究成果の概要（英文）：Behavior of wooden frames in large deformation range was studied experimentally. And effects of repairing and strengthening of severely damaged wooden frames were found on earthquake response analyses based on the experimental results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：構造材料

1. 研究開始当初の背景

地震の被災地では、地震後数度から数十度傾いたまま、立っている木造建物がしばしば見受けられる（写真1）。こうした建物は、解体されることがほとんどのようであるが、傾きをもどして使用することが可能な場合があると思われる。

この問題に答えるには木造軸組の大変形時における構造性能が明らかになっている必要があるが、この領域における研究はほとんどなされていない。



写真1 地震により傾いた木造建物

2. 研究の目的

本研究は、地震被災後の建物の使用可能性について実験およびコンピュータシミュレーションにより調べたものである。木造軸組在来工法の住宅を主な対象とした。

3. 研究の方法

本研究方法の概要を図1に示す。同図に示すように実験では、木造軸組試験体に対し地震による初めての被災(同図a)初被災)を想定した大変形加力実験を行い、その後補修または補強(同図b)を行って、再度加力(同図c)し、前後の性能を比較した。この実験はパラメータを変えて3シリーズ行った。その後、実験から得られた木造軸組の力学特性にもとづいて木造住宅の地震時挙動をコンピュータにより予想するシミュレーションを行った。3シリーズの実験の内訳は、柱と梁の接合部にV字形の(山形VP)金物を用いて、初被災時の最大層間変形角 10° を想定した「 10° VPシリーズ」、 5° を想定した「 5° VPシリーズ」、接合部にかすがいを使用した「 5° かすがいシリーズ」である。まず、最初の実験シリーズについて述べる。

(1) 10° VPシリーズ実験

①試験体、材料、加力方法および測定方法

試験体は図2に例を示すような4本の柱を使用したもので、2列に並んだ門型軸組を土台と梁でつないだ構造で、この試験体上部をチェーンブロックで引っ張り、倒壊させて実験を行った。

試験体は、木造住宅工事共通仕様書(平成15年改訂、住宅金融普及協会発行)に準じ、表1に示すように構造用合板を貼ったもの(No.1)と、軸組のみのもの(No.2)の計2体用意した。

骨組を構成する部材にはスプルー集成材105mm角を使用した。実験終了後の試験体から部材を取り出し、JIS A2101に準拠し、単純梁形式の曲げ試験を行った(スパン1200mm)。曲げ強さ $\sigma b=56.2$ (N/mm)、曲げヤング係数 $Eb=7.9$ (kN/mm)であった。

加力点と(図2に向かって)左右支点間の水平距離は3500mmである。使用する支点を正加力時負加力時で左右入れ替えることにより繰り返し加力を加えた。加力計画は初被災を想定した前半と、被災後の再度被災を想定した後半に分けた。前半では、層間変形角がそれぞれ 0.4° ($1/120$ rad)、 1.4° ($1/40$ rad)、 10° レベル、で2回づつ正負加力を行うという計画とした。その後、残留変形がほぼゼロになるように変形をチェーンブロックにより戻した後、後述する補修等を行った。その後、後半は前半の履歴に加え、 20° レベルの加力を2回繰り返した後、倒壊するまで加力することとした。

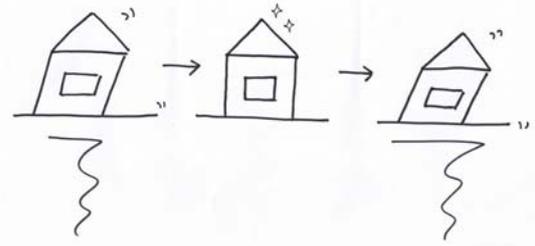


図1 研究方法の概要

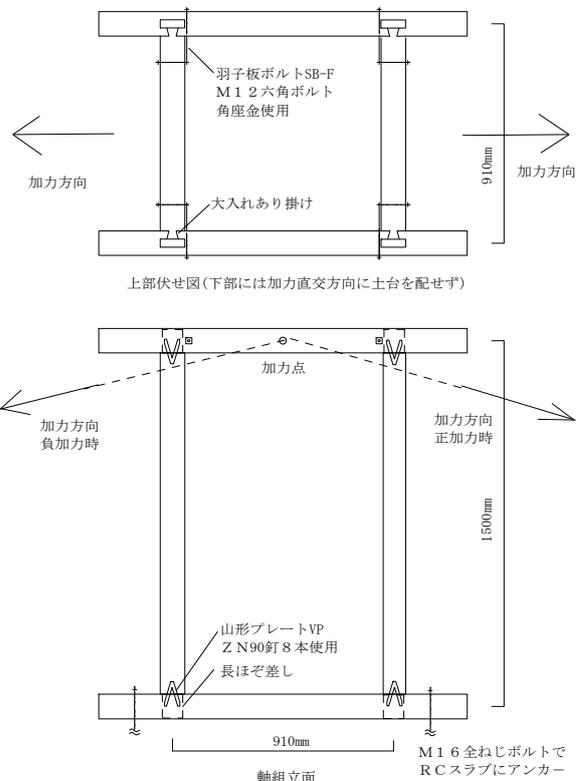


図2 10° VPシリーズNo.2前半試験体

表1 10° VPシリーズ実験一覧

実験名	試験体の状態		加力が想定している場
	接合部	軸組内	
No.1前半	山形VP金物	構造用合板12mm厚	初被災
No.1後半	No.1前半の金物を半回転させて使用	No.1前半の合板を貼り直し	被災後補修後再度被災
No.2前半	山形VP金物	無(軸組のみ)	初被災
No.2後半	No.2前半の金物を半回転させて使用	構造用合板12mm厚で補強	被災後補強後再度被災



a) 前半加力(初被災)



b) 前半(初被災)終了後傾いたまま立っている状態



c) 剥がれかかった構造用合板を取り去る



d) VP金物をたたいてのばす



e) 構造用合板の貼り直し



f) 後半完全に倒壊するまで加力(補修後再度被災)

写真2 実験(補修の場合)の流れ



写真3 補修用試験体における実験前半(左)と実験後半(右)における接合部の状況、前半と後半で金物の向きを変えている

写真2に実験の流れを示す。前半と後半の間に行った作業は、次の通りである。残留変位をほぼゼロに戻した後、金物等を取り外し、梁をたたいてほぞを入れ直し、羽子板ボルトを締め直した。はずしたV字形の金物は、曲がったところをたたいて平らにし、当初の釘穴を避けるため、当初の取り付け状態と上下を変えて、新しい釘を使って柱、梁に取り付けた(写真3)。No.1で使用した構造用合板は、前半加力中に一部を残して剥離した状態になったため剥がしておいたものを再度貼り付けた。釘は新しいものを使い、当初の釘位置とずらして打ち付けた。No.2も同様の作業を行ったが、補強を意識して、新品の構造用合板を貼り付けた。

②実験結果とまとめ

図3に実験から得られた層間変形角(建物の傾きに相当)と転倒モーメント(高いほど耐力が高い)の関係を示す。図の左段がNo.1、右段がNo.2の結果で、上段が前半(初被災を想定)、下段が後半(被災後補修または補強後再度被災を想定)である。なお、No.1後半は変位計不具合から最終サイクル時の表示を途中までで省略している。

No.1は前半後半とも合板が剥離するとともに徐々に耐力(転倒モーメント)が低下し、軸組部は平行四辺形状に変形した。最大転倒モーメントは正側で見ると、補修前後で変わらず22.2kNmであった(1/40rad初回サイクルピーク時)。しかし、全く同じ性能とは行かず、10°レベル繰り返し時に前半ではほとんど耐力低下しなかったものが、後半ではピーク値が24%低下した。

No.2後半は構造用合板で補強しているので当然の事ながら、前半に比べて耐力は大幅に上昇し、最大転倒モーメントは27.3kNmと、前半の同じ変形レベルの1/40rad時の転倒モーメントと比較して4倍程度となった。しかし、粘りはなく、その後急激に耐力低下を起こした。図3の下段で左右のグラフと見比べてみても、補強をおこなった方が耐力低下が

著しいことがわかる。この違いについて検討するため、前半加力終了後、金物を除いたあとの柱土台接合部の写真を検討した。それによると、No.1の方は比較的傷みが少なく、土台の釘穴から釘の引き抜けに伴って1cmほどの長さの割れが残っていた。これに対しNo.2では割れが10cmから断続的に20cm程度までの長さとなった。No.2後半加力時には、この部分が割れて柱が引き抜け、軸組全体が剛体的な回転を起こし、これに伴って、急激な耐力低下を起こしたものである。したがって、この差は材料の不均質性によると思われる。

(2) その他の実験

①次の実験は(1)で述べた10° VPシリーズ実験と加力履歴のみが異なる。初被災に相当する前半実験時の最大層間変形角を10°ではなく5°とした。シリーズ名は5° VPシリーズである。その結果、補修または補強を施した試験体の性能は回復したが、構造用合板を貼り付けて初被災に相当する加力を受けた試験体の性能に比べると多少劣る結果となった。

②最後のシリーズでは接合部にかすがいを用いた。シリーズ名は5° かすがいシリーズである。

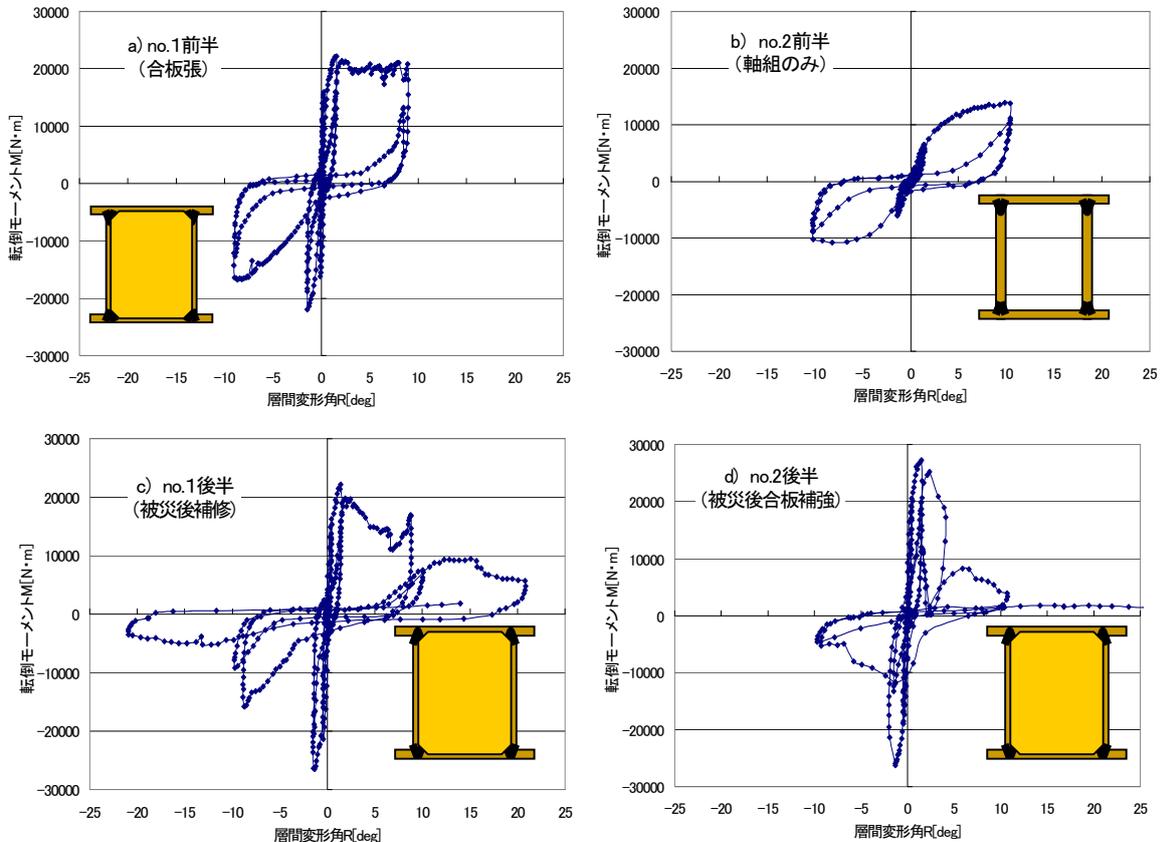


図3 10° VP シリーズ性能グラフ

ここでは、初被災を想定する前半実験には2体の試験体を用いた。2体とも構造用合板を貼らない軸組のみの試験体とし、最大層間変形角 5° まで加力した。後半実験では、2体とも構造用合板を貼り付けた。接合部金物をかすがい(No.1)とした試験体は早期に加力により軸方向に引っ張り力が働く側のかすがいが伸びきり、柱が土台から引き抜けて軸組全体が剛体回転をおこすように破壊したため、最大耐力(転倒モーメント)は前回シリーズのV字形の金物を用いた場合の前半実験の約半分程度しかなかった。このため、もう一方の試験体では接合部をV字形の金物に代えて構造用合板を貼り付け実験を行った。その結果、最大耐力はV字形の金物を用いた構造用合板付き試験体の初被災相当実験と同じレベルまで増した。しかしねばり強さが劣り、最大耐力記録時から徐々に復元力が低下した。

(3) 地震時挙動シミュレーション

本研究では、地震を経験していない建物を想定して、最初(初被災)の地震時挙動シミュレーションを行い、被災後その建物を補修したものについて2度目(再被災)の地震時挙動シミュレーションを行った。これら2度の解析結果を比較することにより、地震で被災した建物の復旧可能性について考察することとした。シミュレーションは倒壊にいたるまでの大変形の応答に対応できる拡張個別要素法に基づくプログラムを用いて行った。

補修前後の建物の復元力特性については、これまで行った実験結果を利用した。復元力特性の骨格は、3本の直線からなるものとし、倒壊に対応して復元力がゼロとなる状況も表した。また、既に経験した変形レベル間での繰り返し則は、木造の復元力特性を表すため、スリップ性状に適切なエネルギー吸収能力を持たせたものとした。

対象建物は弘前市内の存在した木造平屋建て住宅を参考にした(写真4)。質量はこの住宅の値をそのまま用いた。壁については、壁の水平断面長さ半間分を壁1枚と数えることにより、性質の異なる建物の耐震性能を概観できると考えた。柱の復元力についても実験結果にもとづいて、解析上考慮した。入力地震動は1995年兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で記録された加速度記録を用いた。

シミュレーションの結果の例を図4に示す。初被災で 5° ほどの最大層間変形角(傾き)があったものについて補修を行ったものは、再被災時、最大層間変形角は約1割増大したものの、倒壊は免れた(図5)。なお、最大変形が 5° 以下のケースでは、残留変形(地震後の建物の傾き)が最大層間変形角に



写真4 地震時シミュレーションにおいて参考とした木造平屋建て住宅

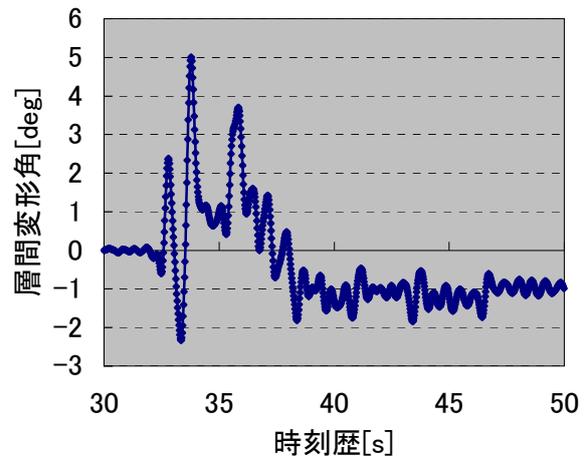


図4 地震時における建物の層間変形角時刻歴の例

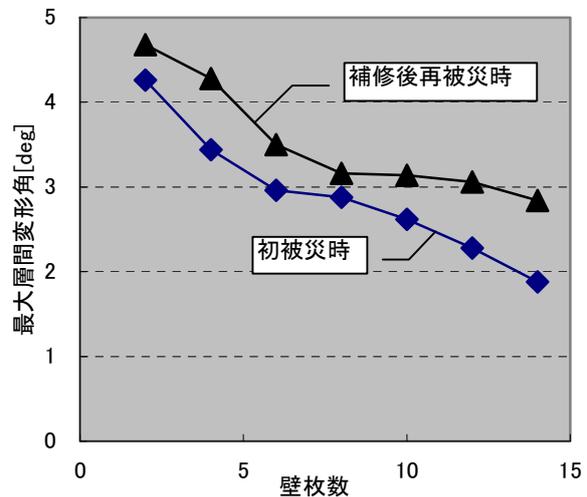


図5 壁枚数ごとの補修前後の性能比較

比べて2割程度以下となった。このことは、残留変形のみから最大変形を推定することが難しいことを意味しており、被災後の復旧可能性判定について課題を残した。

4. 研究成果

軸組内部の地震力抵抗要素としては構造用合板、柱と梁の接合部はV字形の金物を基本的な仕様として木造軸組の実験を行い、その結果に基づいて木造住宅の地震時挙動シミュレーションを行った。その結果、判明した主な点は以下の通りである。

(1)V字形の金物を接合部に使用したもので構造用合板を貼り付けたものでは、最大耐力は補修によりほぼ戻ったが、新品（当初つまり初被災時から構造用合板を使用したもの）に比べて粘り強さが多少劣った。被災後、補強したものも新品と比べて同様の傾向が見られた。

(2)接合部にかすがいを使用した軸組を初被災後に構造用合板で補強する場合には接合部をV字形の金物に代えた方がよい。

(3)ある平屋建て木造住宅を参考にして地震時挙動シミュレーションを行った。その結果、最大層間変形角が初被災時に5°程度以下であれば、補修後、同じ地震動にみまわれても倒壊することはなかった。ただし、被災後の建物の傾きは地震動を受けている最中に生じる最大層間変形角とは必ずしも一致しないので、実用上の課題が残った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計2件)

①津村浩三、木造軸組の地震被災後の使用可能性に関する大変形加力実験、日本建築学会大会、2009年8月26日、仙台

②津村浩三、各種木造軸組の大変形構造性能に関する実験、日本建築学会大会、2008年9月20日、広島

6. 研究組織

(1)研究代表者

津村 浩三 (TSUMURA KOZO)

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：30145669

(2)研究分担者：なし

(3)連携研究者：なし