

# 限界耐力計算によって伝統木造住宅の耐震性を調べる



所属名：鳥取環境大学  
発表者：中治弘行

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災では特に古い木造建物の被害が甚大であったが、2000年鳥取県西部地震では、古い木造建物の被害割合はそれほど高くなかったという調査結果がある。古い木造建物では、伝統構法と呼ばれる木組みによる接合方法を用いて木造軸組を構築する構造形式が用いられているが、その構造性能はじゅうぶん解明されているとは言い難く、現行の建築基準法の範囲では、既存建物の改修はもとより、新築をすることが非常に困難である。伝統構法を支える大工技術は、数千年に渡って進化を遂げつつ傳承されてきた日本の文化の一部でもあるので、これを未来へ残すためには、今後も実験的あるいは理論的な研究が急がれる。

本報告では、明治期に建てられた木造住宅の加力実験結果と限界耐力計算による当該住宅の耐震性能評価ならびに耐震改修方法の提案を紹介するとともに、2007年能登半島地震での木造住宅の被害事例を限界耐力計算で予測可能か検討した結果を述べる。

## 2. 明治時代に建てられた木造住宅の耐震性能評価

### 2.1. 対象建物の概要

図1に示す愛知県田原市のO邸は明治31(西暦1898)年に建築された伝統構法による木造住宅である。二重入母屋本瓦葺屋根を持つ厨子2階建てとなっている。1944年東南海地震と1946年南海地震を経験している。図1において○で示した通し柱には、175mm×175mmという大断面のヒノキが用いられている。通し柱にはけた行・張り間方向に差鴨居が取り付け、差鴨居の継手には車知栓が用いられている。差鴨居端部には鼻栓が用いられ、柱にしっかりと接合されている。差鴨居の上には、東西方向では欄間あるいは土塗りの小壁がついている。加力実験を行った南北方向では、差鴨居より上部には土塗り小壁のみがついている。小屋組は三重の和小屋となっており、屋根は、土葺き瓦である。

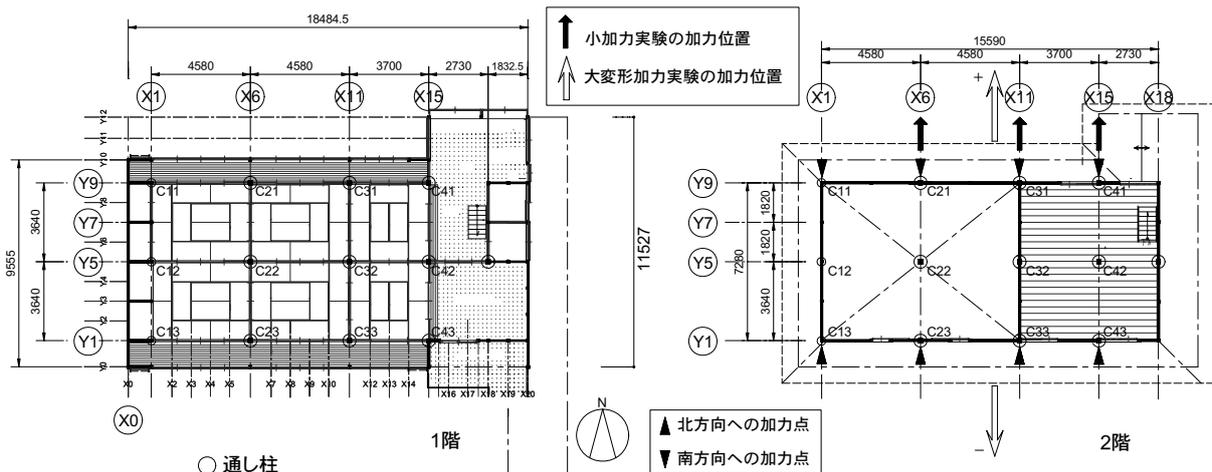


図1 調査実験対象住宅平面図

### 2.2. 静的加力実験の概要

図1に示す調査実験対象住宅の南北方向に正負繰り返し加力を行った。2004年9月18日に、建物が損傷を受けて耐力が低下するまで、大変形加力実験を行った。実験の様子を写真1に、荷重と変形の間係を図2に示す。剛性の小さい西側の構面(X1)の変形がその他の構面に比べて大きくなって、建物全体でねじれ変形を起こしている。



写真1 水平加力実験の様子

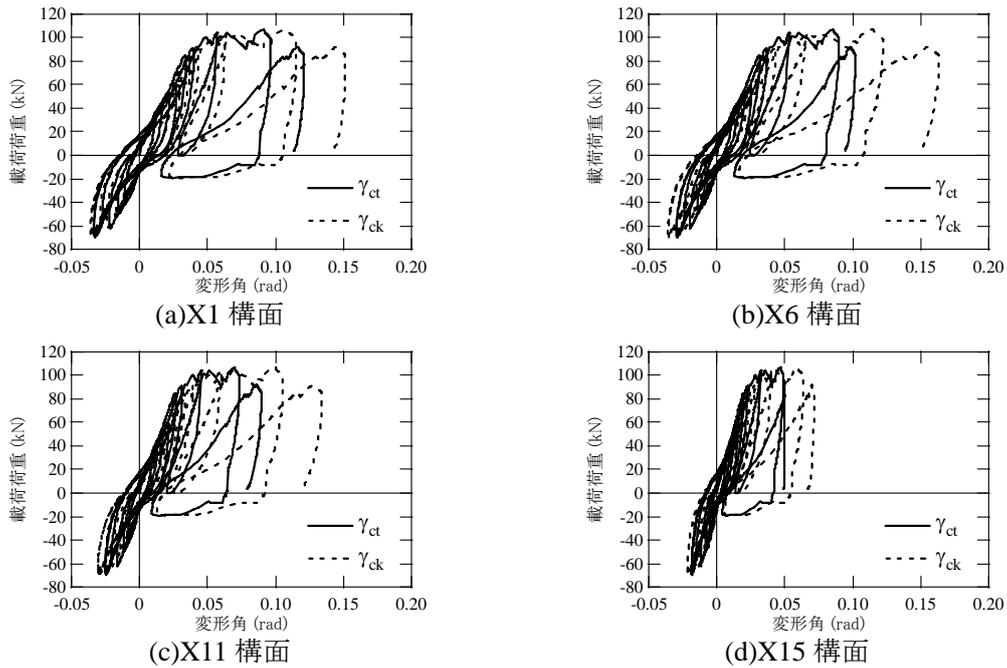


図2 載荷荷重と変形角の関係

途中の顕著な損傷状況は、以下の通りである。1/300rad までは目立った損傷は見られない。見かけの変形が 1/100rad を超えるころから、土塗り壁の隅角部での壁土の損傷が見られ、1/60~1/50rad では、X0 構面の土塗り壁にせん断変形による壁土のひび割れが観察された。写真2 に、実験終了後に撮影した X0 構面の土塗り壁の損傷状況を示す。1/30rad で、X1 構面南側にある床の間の鴨居が外れる、X6 構面の北側の差鴨居と柱仕口で鼻栓の曲げ変形が見られる、といった損傷が目立ち始める。X1 構面が 1/10rad を超える変形になると、すべての柱で、写真3 に示すような柱の曲げによる割れが柱と差鴨居との接合部で発生した。



写真2 土塗り壁の損傷



写真3 柱の損傷

## 2.3. 限界耐力計算による耐震性能評価

簡便のため小屋組を剛体的に扱い、対象建物を1質点としてモデル化し、応答計算を行った。対象建物の階高を通し柱高さの平均値である4.62mとし、その階高の上半分の質量を地震時設計用固定荷重として重量計測結果より算出した。この結果、固定荷重は552.6kNとなった。さらに厨子2階の積載荷重を建築基準法施行令第85条に基づいて算出した結果、28.0kNとなった。この積載荷重と固定荷重を合計した580.6kNが地震時設計用建物荷重となる。

地震力として、平12建告第1461号の解放工学的基盤での加速度応答スペクトルを用い、表層地盤での増幅率を平12建告第1457号の第7に示された簡略計算によって算定した。地盤種別については、対象建物の立地していた状況から第2種地盤とした。

建物全体の設計用復元力特性と、静的載荷実験によって得られた結果を比較したものを図3に示す。図3には限界耐力計算結果も併せて示している。稀に発生する地震動に対する応答変形角が1/93rad、極稀に発生する地震動に対する応答変形角が1/14radとなり、これらは伝統木造建物の損傷限界変形角とされている1/120rad、安全限界変形角とされている1/15radをとともに超えており、耐震性能が不足していると考えられる。したがって、耐震補強案を考えた。

劣化状況から保有耐力を考慮しなかったX0構面の土壁の補修を行う場合について検討した。この補修により建物全体の保有水平耐力が143.3kNとなり、ベースシア係数も0.18から0.24へ大幅に改善される。この結果に対して限界耐力計算を行った結果をFig.7に示す。同図より、稀に発生する地震動に対する応答変形角が1/125rad、極稀に発生する地震動に対する応答変形角が1/21radとなり、損傷限界変形角、安全限界変形角をとともに満足し、X0構面の補修により十分な耐震性能を確保できることがわかった。また、その後行った解析的検討において、屋根を土葺き瓦から棧瓦に葺き替えると、屋根重量が約40%低減し、耐震性能が改善されることもわかった。

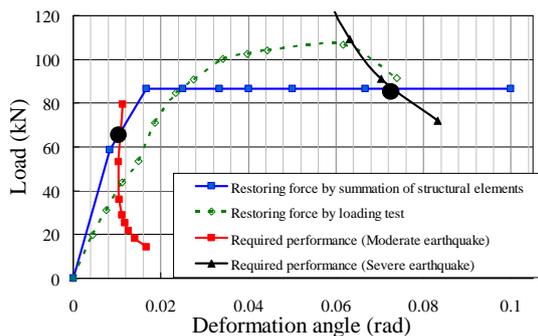


図3 限界耐力計算結果

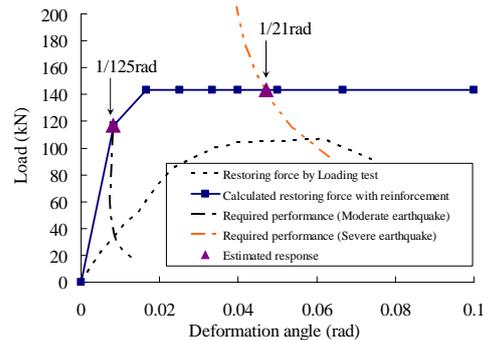


図4 耐震補強後の限界耐力計算結果

## 3. 2007年能登半島地震で被災した木造住宅への限界耐力計算の適用

### 3.1. 木造住宅の被害調査

被害調査を担当した住宅は、石川県門前町道下で2棟(IY邸, YS邸)、門前町黒島で2棟(YH邸, AY邸)であった。

IY邸には最近行われた増築部分があり、増築部分での石膏ボード壁の脱落や筋かいの破断といった被害が見られた。古い母屋では土塗り壁の損傷、壁土の脱落が見られるが、軸組には目立った損傷はなく、建て起こして土塗り壁を塗り直せば、元通りに近い程度に復旧できるのではないかと印象を受けた。

YS邸は、一部がRC造であるため、木造部分のみの調査を行った。土塗り壁あるいはボード壁に左官仕上げの小壁が多く見られ、全面壁は少ない。左官仕上げ壁の損傷は見られたが主体構造に大きな被害は見られなかったため、IY邸同様、壁の補修により耐震性能を回復できると思われる。

YH邸は、古い伝統構法木造住宅である。1階の居間部分で柱の傾きが大きく、一部に曲げによる柱のひび割れもみられた。伝統構法木造住宅では、在来構法木造住宅での耐力壁と同様に、柱は主要な構造要素であるため、復旧はIY邸やYS邸に比べると難しいのではないかと考えられる。

AY邸は、昭和52年に建築された。伝統構法木造住宅と呼ぶには比較的新しいが、最近の木造住宅に比べれば、建物外周を除いて全面壁が少なく、掃き出し窓や腰窓による開口の多い造りとなっている。地震による被害は軽微だが、残留変形があるため、建て付けが悪くなっている。

### 3.2. 限界耐力計算による耐震性能評価

大きな被害を受けなかった AY 邸と、他地区で被害が大きかった MS 邸を対象に実施した限界耐力計算による耐震性能評価について述べる。

AY 邸と MS 邸の外観を写真 4, 5 に示す。写真からもわかるように、AY 邸はほとんど被害を受けていないと言っても過言ではない。一方、MS 邸は、外観からも相当の被害を受けたことがわかる。



写真 4 AY 邸外観



写真 5 MS 邸外観

#### 3.2.1. AY 邸の限界耐力計算結果

AY 邸の平面図を図 5 に示す。座敷の「田の字」は開放的であるが、耐力壁がじゅうぶん設けられていると言える。けた行方向と張り間方向の限界耐力計算結果をそれぞれ図 6, 7 に示す。



図 5 AY 邸平面図

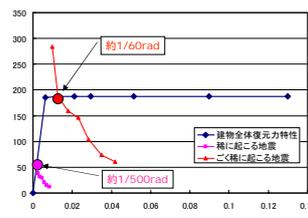


図 6 AY 邸けた行方向

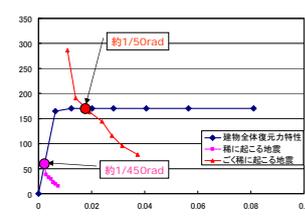


図 7 AY 邸張り間方向

#### 3.2.2. MS 邸の限界耐力計算結果

MS 邸の平面図を図 8 に示す。AY 邸に比べると特にけた行方向に耐力壁が少なく、耐震的に不利であることが窺え、実際に、けた行方向の被害が大きかった。けた行方向と張り間方向の限界耐力計算結果をそれぞれ図 9, 10 に示す。

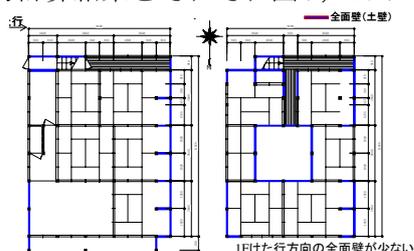


図 8 MS 邸平面図

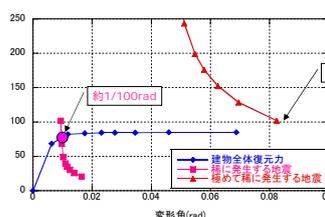


図 9 MS 邸けた行方向

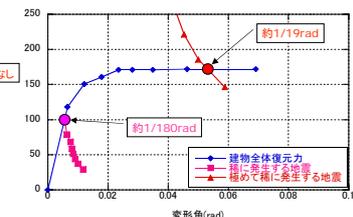


図 10 MS 邸張り間方向

## 4. まとめ

明治時代に建てられた伝統構法木造住宅の耐震性能評価実験と限界耐力計算による耐震性能評価と耐震補強法の提案および検証結果を示した。また、2007 年能登半島地震での被災木造住宅について、その被災程度を限界耐力計算により予測できる可能性を示した。

伝統構法木造建物を設計するには限界耐力計算による構造性能評価をする方法が簡便であるが、現行法では、確認申請を受けることが非常に困難であるため、設計や着工の事例はまだ少ない。日本文化の一部でもある伝統構法のよいところを将来へ残すためにも、学術的な裏付けを早急に進めるとともに、制度の面からも、限界耐力計算による設計確認がスムーズに行われるようになる必要があると思われる。