

木造耐震住宅の上部損傷と等価剛性に関する実験考察

名古屋大学工学部社会環境工学科

建築学コース 長江研究室 4年 岩田 久弥

1. 研究の目的と背景

1995年の兵庫県南部地震では木造住宅全体の20%が倒壊しており、このことから2000年には木造住宅の耐震基準をより厳格にするための建築基準法改正、2001年には耐震等級による構造躯体の耐震性能評価を行う住宅の品質確保の促進等に関する法律(品確法)などが制定された。現在の木造住宅では壁量計算が一般的であるが、許容応力度計算では品確法で定められた壁量計算による耐震等級よりもさらに信憑性の高い耐震等級の表示が可能となる。許容応力度計算では耐力壁の長さや壁倍率によって鉛直構面の剛性と許容せん断耐力を算出する。この建築基準法によって定められた仕様規定による各耐力壁のせん断剛性は剛心率や偏心率の計算に用いられる。このせん断剛性は設計時に算出することのできる値(設計用剛性)であり、耐力要素のみを対象とし、層間変形角1/150 rad時におけるせん断剛性を包括する値となっている。したがって、耐力にカウントしない非構造部位も含む建物全体としての実際のせん断剛性と大きく異なる可能性がある。今後、合理的な性能評価、損傷評価のためには、設計段階における余裕度を正確に反映する必要があると考える。本研究では現行基準に従う条件を前提に、「木造建物における等価剛性算出の実験分析」、「非構造材・外装材が等価剛性に及ぼす影響評価」、「提案剛性を用いた建物の線形解析の例題」に取り組んだ。

2. 各振動台実験の概要(図中単位はmm)

2020年11月に現行設計の規定の金物を用いた要素実験が実施された(図1)。試験体中央のたすき筋かい(壁倍率:4.0倍)のみが耐力壁の骨組振動台試験である。

2020年6月には11月と同じ試験体に加えて、構造用合板2枚(壁倍率:2.5×2倍)を耐力壁とした試験も実施された(図2)。この要素実験から耐力壁の種類による剛性推移の検証、同じ試験体による各分析の比較を行う。

2019年には3階建て木造住宅機能試験が実施された(図3)。許容応力度設計において耐震等級3を満たす軸組工法の実建物に対する振動台試験である。

2018年には2019年の3層木造住宅の1次モード等価高さを3階床位置と仮定して、下層2階を取り出した木造軸組工法層間変位追従試験が実施された(図4)。外構面の切り出し試験体に対する、1軸方向の正負交番繰り返し載荷実験である。

3階建て木造住宅機能試験及び木造軸組工法層間変位追従試験を含めた分析で非構造材の影響を考察する。試験体概要については表1に示す。

3. 木造要素実験及び実大木造建物のデータ分析

JMA神戸波、人工地震動であるBSL波の2つの入力波による1階層せん断力と1階変位量のデータから、骨格曲線を算出する(図5)。11月に実施された要素実験では100%加振で筋かいの破壊が生じ、剛性の劣化が見られる。耐力壁が合板の試験体では剛性の劣化が筋かいの試験体と比べて大きいことがわかる。すべての実験において低荷重時に剛性が低くなるスリップ形状を有しており、木造建物の復元力特性がうかがえる。耐力壁の種類による剛性推移、非構造材が与える影響についての考察のため、構面切り出し実験、実大実験においても同様の分析を行う。等価剛性はある変位角における正負の層せん断力と変位の傾きから算出する(図6)。これらの各実験に対して代表変形角の実験

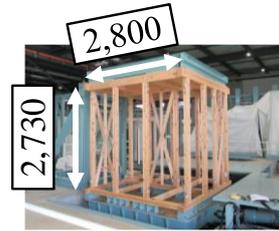


図1 筋かい要素実験 (11月, 6月)

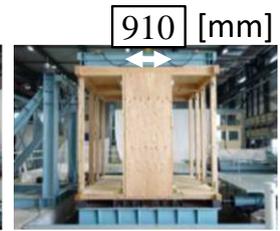


図2 合板要素実験 (6月)



図3 3階建て木造住宅機能試験

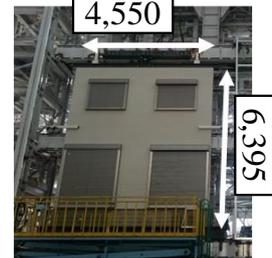
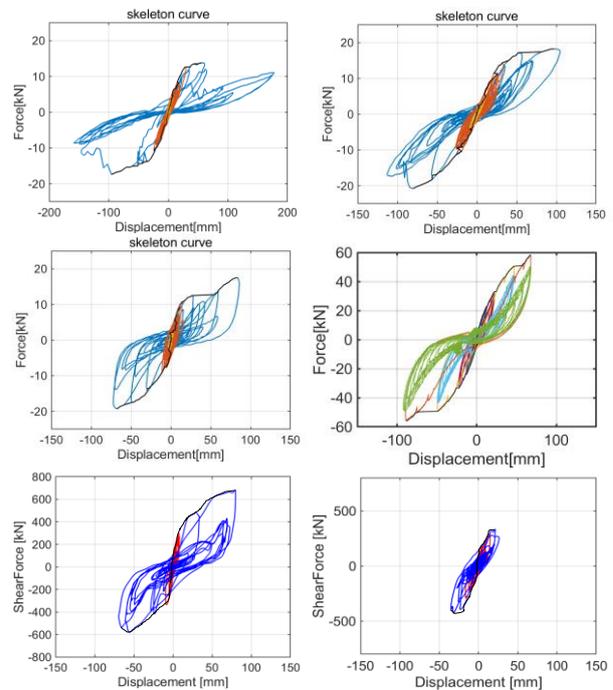


図4 木造軸組工法層間変位追従試験

表1 試験体概要

実験種類 実施年月	耐力壁の種類	非構造材の有無	特徴
要素実験 2020.11	筋かい	無し	試験体中央にたすき筋かいを設置
要素実験 2020.6	筋かい	無し	同上
要素実験 2020.6	構造用合板	無し	試験体側面に構造用合板を各1枚設置
構面切り出し実験 2018	筋かい・構造用合板・石こうボード	有り	実大実験における1次モード等価高さを3階床位置と仮定して下層2階を取り出した
実大実験 2019	筋かい・構造用合板・石こうボード	有り	同一平面・立面構成 品確法の耐震等級3を確保



左上:要素実験 11月
 左中:要素実験 6月合板
 左下:3層住宅試験短辺方向
 右上:要素実験 6月筋かい
 右中:層間変位追従試験
 右下:3層住宅試験長辺方向

図5 履歴曲線

剛性を設計用剛性 1/150 rad で除した剛性比を示す (図 7)．すべての実験において変形角 1/150 rad 時における設計用剛性よりも実験剛性が上回っていることがわかる．要素実験では 1.2~1.3 倍でほぼ整合した．3 階建て木造住宅機能試験長辺方向では 3.5 倍となっている．また，1/500 rad 程度の小変形時の剛性は高く，要素実験では耐力壁が筋かいの場合は 1.4~1.6 倍，合板の場合は**倍であった．3 階建て木造住宅機能試験長辺方向では 8.0 倍であった．単純な要素実験から実建物の試験体になるにつれて余力の上昇が見られ，非構造材の種類や量が等価剛性に影響を与えることについて次節で考察する．

4. 非構造材及び耐力壁が等価剛性に及ぼす影響

3 階建て木造住宅機能試験の 2 階，3 階及び層間変位追従試験の 2 階においても同様の分析を行った．設計段階における図面や構造設計書から耐力壁の筋かいや合板のせん断剛性を算出した．せん断耐力に考慮しない非構造材についても設計時相当のせん断剛性を求め，全体の剛性に対して各部材のせん断剛性割合を算出した．非構造材におけるせん断剛性は準耐力壁と仮定して計算を行った¹⁾(式 1)．

$$M = M' \times 0.6 \times H/L \quad (\text{式 1})$$

M: 準耐力壁の壁倍率， M' : 耐力壁の壁倍率
H: 面材の高さ， 横架材間内法高さ

各試験体の変形角 1/500， 1/300， 1/150 時の剛性比において非構造材， 面材， 非耐力壁部分の剛性分担率との相関を確認する(図 8)．本研究では非構造材の剛性分担率との相関が高いため，この値を用いて剛性比， 剛性分担率， 変形角の 3 軸における近似曲面を表す(図 9)．設計段階において剛性分担率から各変形角時の剛性比が求まり，設計用剛性を乗ずることで剛性推移が推定できる．

5. 3 階建て木造住宅を対象とした解析例題

耐震等級 3 建物の上部損傷評価では初期段階の剛性評価がシビアに効いてくる．近似曲面を用いて各層の等価剛性を設定する．震度 6 弱に相当する JMA 神戸波 50% 時の実験値の最大変形角は下層階から 長辺方向 1/256 1/714 1/3333， 短辺方向 1/172 1/370 1/417 であり，対応の等価剛性を求めた．それらを用いて固有値解析を行い，1 次 の等価周期を計算し，線形加速度法を用いて時刻歴応答解析を行ってみた．このとき減衰定数は実験値による平均等価減衰を用いた．長辺方向 17%， 短辺方向 18% である．履歴曲線と Sa-Sd スペクトルの重ね合わせと時刻歴応答変形波形は良い対応を示した(図 10， 図 11)．

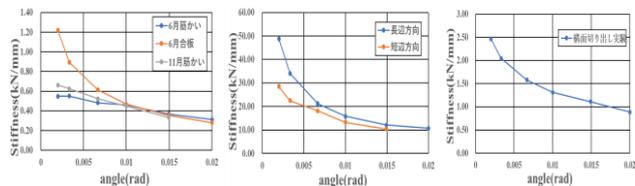


図 6 剛性推移

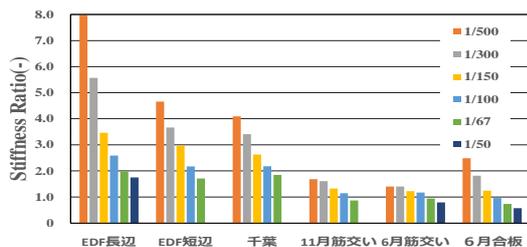


図 7 剛性比比較

6. 今後の展望

近似曲面において非構造材の剛性負担率のみを指標として剛性の推定を行ったが，他の要素についての検討も必要であると考えられる．解析検討では免震建物での上部損傷評価に初期剛性がよりシビアに効いてくる．弾塑性繰返し劣化のイバラ・クラウンカラーモデルへの展開もめざす．

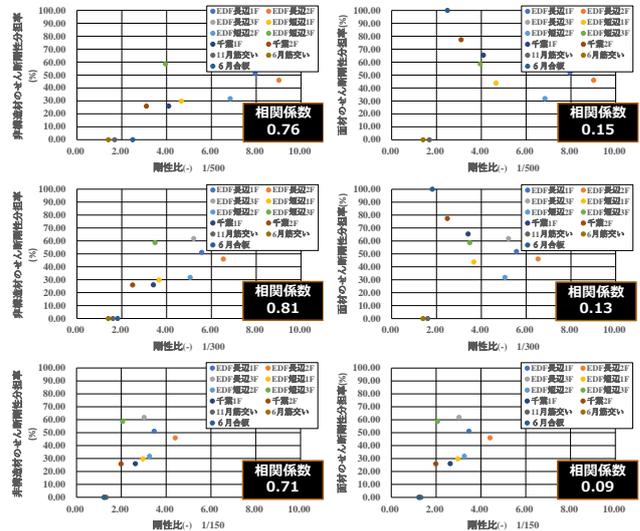


図 8 相関関係

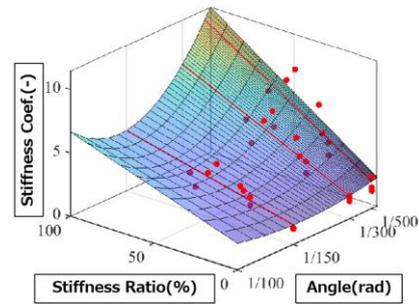


図 9 近似曲面

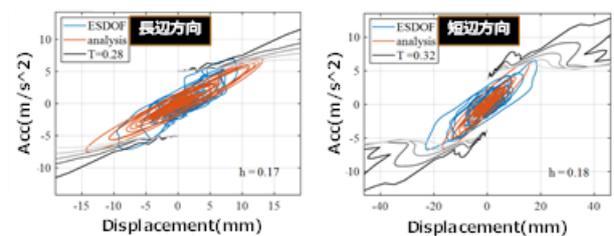


図 10 1 自由度縮約の履歴曲線と Sa-Sd スペクトル

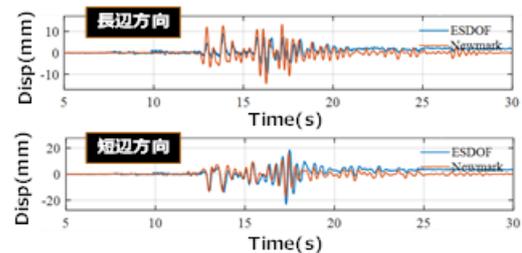


図 11 上部損傷に対応する変位評価

¹⁾ 品確法 評価方法基準告示第 5