

木造軸組の耐震性能評価法に関する研究

京都大学工学研究科建築学専攻
鈴木研究室 山田真澄

1. 研究の背景と目的

現在、木造住宅は、一般的に筋かいや合板など高い剛性と耐力を有する耐力壁や金物補強を用いて設計されることが多い。一方、伝統的な構法で建てられた住宅は、木と木の組み合わせによる複雑な木組で接合されており、木材の持つ粘りや柔軟な変形性能を有している。このように、木造住宅は、構法の多様性に加えてスリップやハードニングなどの強い非線形履歴特性を有しており、構造解析が非常に困難になっている。

本研究では、各地に存在する様々な構法の木造建物の耐震性能評価法を確立するために、各種の耐震要素を組み込んだ単位木造軸組の振動台加振実験と静的水平加力実験を行い、各要素の動力学的特性と耐震性能を明らかにする。

2. 木造軸組の耐震性能評価実験

木造住宅の耐震要素を抽出し、柱と桁と土台からなる単純な単位構面にそれらを組み込んで、振動台加振実験と静的水平加力実験を行った。図1に試験体の立面図を示す。試験体は、地域の伝統的な構法という点も考慮して、大断面の柱や長ほどこみ栓打ち接合をしたもの、土壁や貫のみのものなどを行った。また、耐震補強を想定して、ダンパーや制振壁、簡易土壁の荒壁パネルという新しい耐震要素についても実験を行った。加振波にはBCJ-L2を使用した。



写真1 実験風景

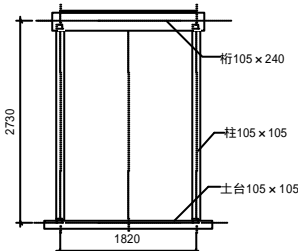


図1 試験体立面図

2.1 実験結果

図2に代表的な試験体について、動的实验の結果と静的实验の復元力特性を合わせて示す。復元力特性の包絡線で比較する限りは、動的と静的に大きな違いは見られない。各サイクルにおいては、載荷時の剛性はほぼ一致しているが、除荷時の剛性は静的実験の方が多少高くなる。

(c)、(d)を見ると、耐震要素を組み込むことによりループの形状が変化している。土壁試験体では約1/50rad変形時に最大耐力を経験し、その後は緩やかに減少する。(d)は(a)に粘弾性ダンパーを取り付けたものであるが、履歴吸収面積が増加し、等価剛性も上昇している。

図3に各試験体の復元力特性の包絡線を示す。土壁や荒壁パネルは、筋かいなどの在来工法の耐震要素と比較しても、強い復元力を有していることがわかる。

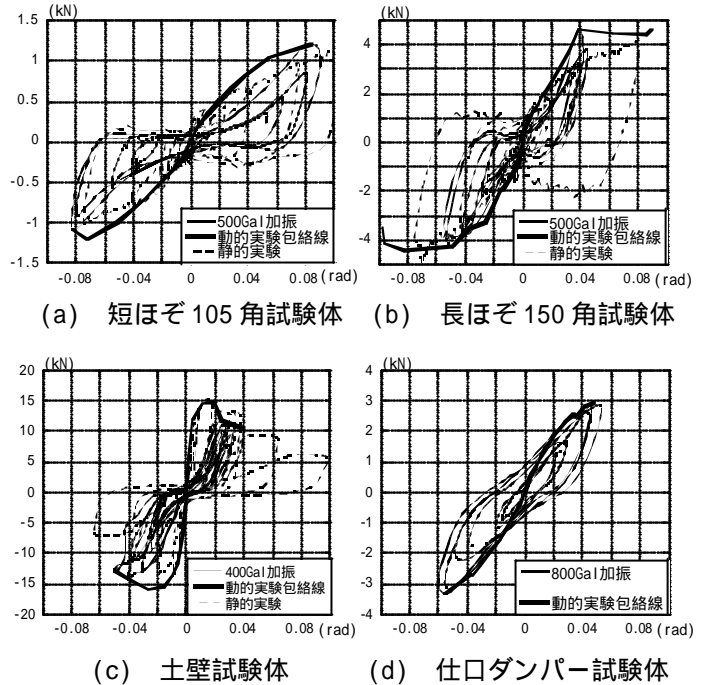


図2 試験体の復元力特性

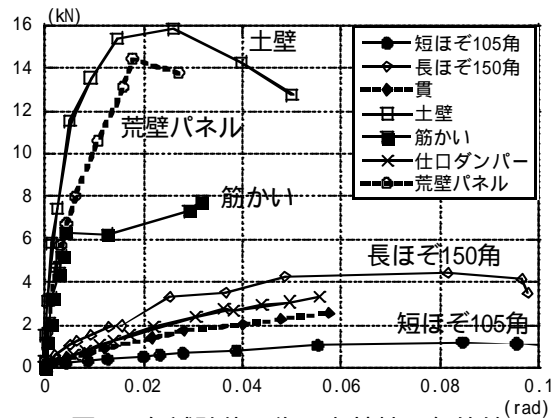


図3 各試験体の復元力特性の包絡線

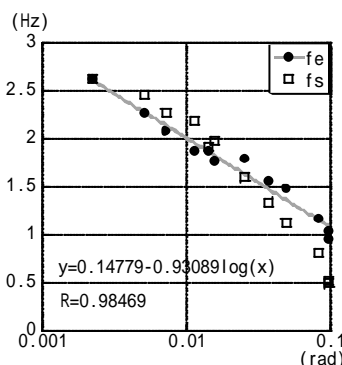


図4 固有振動数の変化

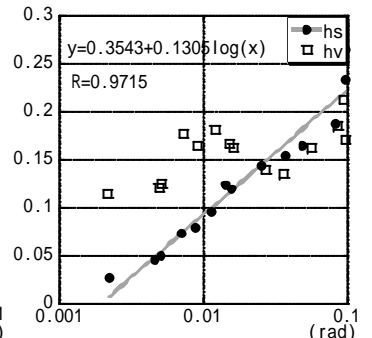


図5 減衰定数の変化

3. 木造軸組のモデル化

得られた実験結果を基に、耐震要素のない木造軸組のモデル化を行った。対象としたのは150角の柱を長ほぞこみ柱打ち接合をした長ほぞ150角試験体である。

3.1 固有振動数の算出

加振の進行に伴う固有振動数の変化を図4に示す。縦軸は固有振動数、横軸は最大応答を示した点での変形角を示す。

f_e = 最大応答を示した点での等価固有振動数

f_s = 伝達関数スペクトルの最大点における振動数

どちらの振動数も変形角に対してほぼ対数関数的に減少している。ただし、 f_e と f_s は小変形領域では比較的良好に対応しているが、大変形領域ではスリップ特性が入るために、 f_s は f_e よりも小さくなる。

3.2 減衰定数の算出

図5は減衰定数を変形角と対応させてプロットしたものである。

h_v = 履歴ループの面積から算出した減衰定数

h_s = 消費エネルギーから算出した平均等価減衰定数

h_s は、変形角に対して対数関数的に増大している。 h_v はばらつきが大きく、変形角にかかわらずほぼ一定の値となる傾向が見られる。

3.3 復元力 - 変形角関係の包絡線のモデル化

f_e が変形角とほぼ対数的に比例していることから、復元力 - 変形角関係の包絡線の定式化を行う。図6の f_e と変形角関係の近似曲線は、最小変形角のデータを通り、 $x=1$ 、 $y=0$ を通ると仮定する。復元力 - 変形角には以下の関係が導かれる。

$$f_e = \frac{1}{2p} \sqrt{\frac{P}{mx}} = a \log_{10} x \quad a = \frac{f_0}{\log_{10} x_0}$$

$$P = 4p^2 mx (a \log_{10} x)^2$$

この復元力と変形角の関係と、実験結果を合わせて図7に示す。定式化された近似曲線は、実際の復元力とあわせても良い近似となっていることが分かる。

3.4 非線形モデルの構築

次に、履歴復元力特性のモデル化を行う。実験データより得られた履歴復元力特性は、図8(左)のようになっている。木造軸組の履歴復元力特性の特徴は、最大変形角を経験すると剛性が一定量低下し、再び最大変形角を経験するまでその剛性を保持し続ける。戻り剛性はほぼ一定で、 x 軸に到達すると剛性は0となり、 x 軸上を移動する。

これらの特性を考慮して、図8(右)のようにモデル化を行う。

3.5 等価線形応答解析

3.1、3.2において算出したそれぞれ2種類の振動数と減衰定数を用いて、4パターンの等価線形応答解析を行った。図9に実験結果と解析結果を示す。

f_e 、 f_s 共に小変形時には比較的良好に実験結果に対応しているが、変形が大きくなり非線形性が強くなると f_e を用いた解析は実験結果との開きが大きくなる。これは、 f_e は最大応答を記録した瞬間的な振動数を算出しているため、振動数を過小評価していると考えられる。

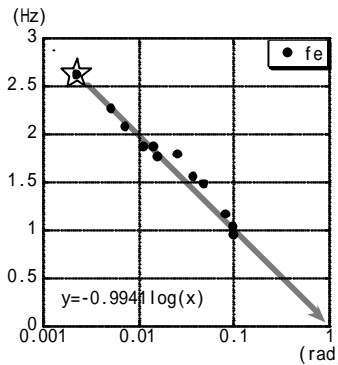


図6 f_e と変形角関係の定式化

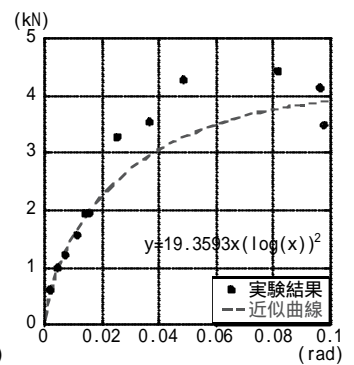


図7 復元力 - 変形角関係

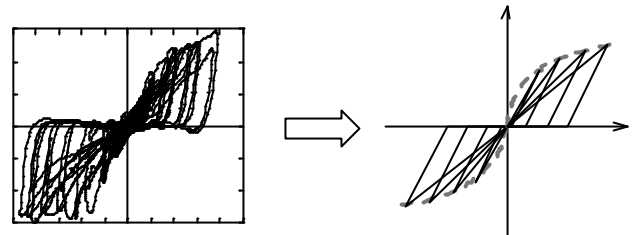


図8 履歴復元力特性のモデル化

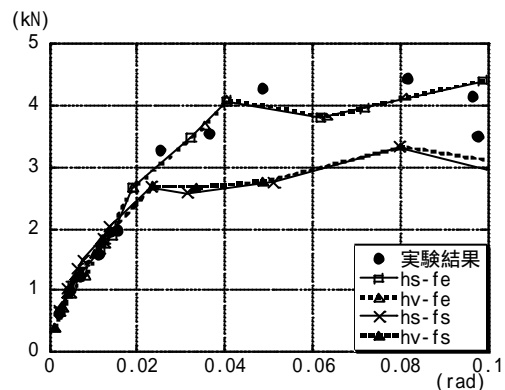


図9 等価線形応答解析結果

減衰定数の違いに対しては、 h_s を用いたほうが h_v よりも多少変形が小さくなるが、明確な差は見られなかった。

4. 今後の課題

- ・貫や土壁など他の試験体の復元力特性のモデル化
- ・変形性能や減衰性能などの簡易評価
- ・復元力 - 変形角曲線の簡易な設計用評価式の提案
- ・静的加力実験結果と振動台加振実験結果の比較
- ・構築したモデルを用いた非線形応答解析
- ・非線形モデルのパラメータの同定

[発表論文]

- ・2001年芸予地震木造瓦屋根被害の分析：林 康裕，山田真澄，地域安全学会梗概集，pp.101-104，2001.11
- ・単位木造フレームを用いた振動台実験による木造軸組の耐震性能評価：鈴木祥之，後藤正美，山田真澄，第11回日本地震工学シンポジウム(投稿中)，2002.
- ・木造軸組の動的・静的実験による耐震性能評価：後藤正美，山田真澄，鈴木祥之，第11回日本地震工学シンポジウム(投稿中)，2002.