

## 45. 木造住宅の動的耐震診断における限界耐力計算法の活用

05168015 瓜生 一志  
指導教員 藤井 大地 教授

動的耐震診断 限界耐力計算法 復元力特性

## 1. はじめに

近年、東海沖地震や東南海沖地震などの巨大地震の発生確率が高まる中、不適格木造住宅の耐震改修が社会的急務となっている。しかし、耐震改修は、一向に進んでいないのが現状である。その要因としては、耐震診断、改修には高額なコストがかかることが挙げられる。

一般的な耐震診断の方法は、専門の耐震診断士による目視、一般耐震診断法が用いられる。また、精密診断法として、保有水平耐力計算や限界耐力計算が用いられる。

最近では、起振機と加速度計を用いた動的耐震診断がしばしば行われている。しかし、起振機と加速度計による加振実験では、微小変形領域の応答を推定することしかできず、大変形領域の応答を推定することができない。

そこで、本研究では、起振機と加速度計を用いた加振実験によって得られた振動性状から大変形領域の応答予測として、精密診断法による限界耐力計算を用いる。そこで、まず、既存木造住宅に限界耐力計算を適用し、耐震性能評価を行う。また、限界耐力計算と加振実験について比較、検討を行う。

## 2. 限界耐力計算による耐震性能評価法

## 2.1 復元力特性

単位フレーム (1820mm×2730mm) での振動実験の結果により、架構の復元力特性を設定する。本研究では、各種の耐震要素の適用方法に応じて、復元力特性を求める。また建物全体の復元力特性は、各種の耐震要素の復元力特性を単純加算する。

## 2.2 変形モードと各階の変形の算出

建物の水平変位が進むにつれ塑性化により変形モードが変化することから、各ステップの変形モードを求める。

1 ステップ目における 1 階の水平変位に対する  $i$  階の水平変位、2 ステップ目以降の  $i$  階の水平変位を次式に示す。

$$\delta_i^1 = \delta_1^1 \times \frac{u_i}{u_1} \quad (1)$$

$$\delta_i^n - \delta_{i-1}^n = (\delta_i^1 - \delta_{i-1}^1) \times \frac{\delta_1^n}{\delta_1^1} \times \frac{Ke_1^n}{Ke_i^n} \quad (2)$$

各階の復元力特性において、何れかの階が耐力低下を起こした場合は、そのステップの固有モードを求め直す。

## 2.3 等価一質点系への置換

多質点系の建築物を等価な一質点系に縮約した際の各ステップにおける有効質量  $Mu$ 、代表変位  $\Delta$ 、等価周期  $Te$ 、減衰定数  $h$ 、代表高さ  $He$  を次式に示す。また、減衰定数は、工学的基盤による加速度応答スペクトルを用いる場合、 $h_0 = 0.05$  を用いる。また観測地震動の加速度応答スペクトルを用いる場合は、等価粘性減衰定数  $heq$  が 0.05 より小さければ、 $h_0 = 0.05 - heq$  または、0.05 以上であれば  $h_0 = 0$  とする。

$$Mu^n = \frac{(\sum m_i \delta_i^n)^2}{\sum m_i (\delta_i^n)^2} \quad (3)$$

$$\Delta^n = \frac{\sum m_i (\delta_i^n)^2}{\sum m_i \delta_i^n} \quad (4)$$

$$Te^n = 2\pi \sqrt{\frac{Mu^n}{Ke_1^n}} \quad (5)$$

$$h^n = heq^n + h_0 \quad (6)$$

$$He^n = \frac{\sum m_i \delta_i^n H_i}{\sum m_i \delta_i^n} \quad (7)$$

## 2.4 必要性能スペクトル

各ステップの一質点系の応答せん断力  $Q$ 、応答変位  $SD$  を次式に示し、復元力特性を必要性能スペクトルと呼ぶ。また、次式の加速度  $SA$  は、解放工学的基盤における加速度応答スペクトルから求めた加速度  $So$  に、地域係数  $Z$ 、加速度低減率  $Fh$ 、調整係数  $p$ 、 $q$ 、減衰定数  $h$ 、地盤種別ごとの簡略計算を用いた加速度増幅率  $Gs$  を乗ることにより得られる。観測地震動の加速度応答スペクトルを用いる場合は、当該の減衰定数における加速度  $SA$  を用いる。

$$Q^n = Mu^n SA^n \quad (8)$$

$$SD^n = \left( \frac{Te^n}{2\pi} \right)^2 SA^n \quad (9)$$

## 2.5 応答値の算出

(8)、(9)式により得られた必要性能スペクトルと一質点

系の復元力特性の交点が真の応答変形角  $SR$  となり、それを代表高さ  $He$  で除することにより真の応答値  $SD$  が求まる。各階の層間変形角が、損傷限界時と安全限界時の地震力において設計クライテリアを満足するかどうかで、建物の安全性を検討する。

設計クライテリアの設定は、伝統構法建物であれば、損傷限界が  $1/120rad$ 、安全限界が  $1/15rad$  とし、在来構法など筋かいや面材が支配的な建物なら、損傷限界が  $1/120rad$ 、安全限界を  $1/30rad$  とする。

### 3. 応答結果

対象とする建築物は、環境共生型木造実験住宅(以下、実験住宅)である。規模は、桁行方向  $9100mm$ 、張間方向  $5460mm$  で、軒の高さ  $6129mm$  である。質量は、1階  $6.5t$ 、2階  $5.1t$ 、である。また階高は、1階  $2.85m$ 、2階  $2.7m$  である。図 1 は実験住宅の復元力特性を示す。耐震要素は、片筋かい、襷掛け筋かい、構造用合板、短ほぞ、差鴨居である。

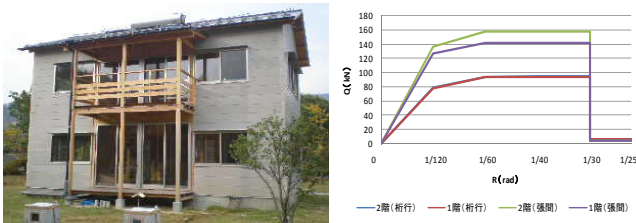


図 1 建物の外観と各階の復元力特性

#### 3.1 工学的基盤の加速度応答スペクトルを用いた場合

計算の条件は、第 2 種地盤で、地域係数  $z$  は  $0.9$  とする。図 2 に、桁行、張間方向の応答を示す。図より、桁行方向と張間方向それぞれ稀に発生する地震に対し、応答変形角は  $1/457rad$  と  $1/745rad$  であった。また、極めて稀に発生する地震に対し、応答変形角は  $1/358rad$  と  $1/148rad$  であった。以上より桁行方向と張間方向の稀に発生する地震と極めて稀に発生する地震の両方の設計クライテリアを十分に満たしている結果となった。

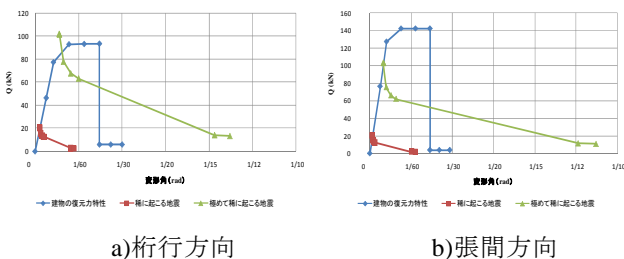


図 2 縮約した一質点系の応答値

#### 3.2 観測地震動の加速度応答スペクトルを用いた場合

用いた観測地震動は、芸予地震と兵庫県南部地震の鷹取駅と JMA 神戸の加速度応答スペクトルである。

図 3 に桁行、張間方向の応答を示す。図 3a) より、桁行方向の応答変形角では、JMA 神戸、鷹取駅はそれぞれ、 $1/14rad$ 、 $1/8rad$  以上で、倒壊の危険性がある。また、芸予地震は、 $1/100rad$  で、設計クライテリアを充たしている。図 3b) より、張間方向の応答変形角では、JMA 神戸、鷹取駅はそれぞれ  $1/35rad$ 、 $1/121rad$  であり、設計クライテリアを充たしているが、JMA 神戸では危険であるという結果になった。また、芸予地震は、 $1/226rad$  で、設計クライテリアを充たしている。

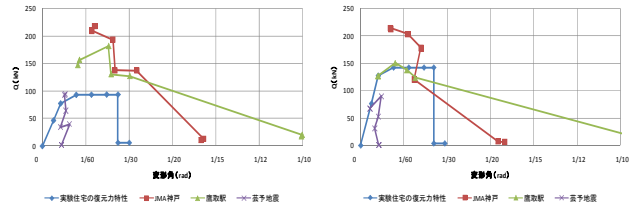


図 3 縮約した一質点系の応答値

### 3.3 加振実験との比較

表 1 に、加振実験と限界耐力計算の初期剛性における固有周期と減衰定数を示す。表より、初期の固有周期と減衰定数は、異なった結果となった。固有周期は外壁など、まだ耐震要素として考慮されるものがあり、異なつたと考えられる。また、減衰定数は、限界耐力計算では、2.3 節に示すように規定されているからであると考えられる。

表 1 固有周期と減衰定数の比較

	固有周期 (s)		減衰定数	
	桁行方向	張間方向	桁行方向	張間方向
加振実験	0.18	0.14	0.03	0.03
限界耐力計算	0.42	0.32	0.05	0.05

### 4. まとめ

本研究では、環境共生型木造実験住宅に限界耐力計算を適用し、大変形領域の応答予測をすることができた。また、限界耐力計算と加振実験の固有周期と減衰定数の比較を行ったが、整合性は見られなかった。

今後の展望は、限界耐力計算による加振実験結果を用いた大変形領域の応答予測と、どの程度の地震に耐えることができるのかの予測方法を確立していくことが必要である。

### 参考文献

1) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル，学芸出版社，2004 年