

費用対効果を考えた木造住宅の耐震補強設計について

その1. 耐震診断判定値毎の時刻歴応答

正会員 花井 勉*¹ 同 福和伸夫*²
同 森 保宏*³ 同 皆川隆之*⁴

木造住宅 耐震補強 ライフサイクルコスト
時刻歴応答

1. はじめに

阪神淡路大震災では死者の 9 割近くが建物の倒壊によるものであったことから、防災事前対策として建物の耐震診断、耐震補強の重要性が叫ばれている。又、国や自治体から最新の知見に基づく震度マップ等も公表され始め、戸建て住宅の持ち主も耐震補強の必要性についての判断がせまられてくる。調査によれば¹⁾昭和 56 年以前に建てられた木造住宅のうち、その半数以上が耐震補強を必要とすると診断されているが、ほとんど実施されていないのが現状であり、数百万円にのぼる補強金額が大きな阻害要因になっている。

そこで本論では補強効果に見合う適正な費用を探るために、数種類の地盤条件に様々な診断判定値レベルの木造住宅を想定してライフサイクルコストの評価を行う。具体的には図 1 のフローに従い、中地震動から、極大地震動時の応答解析を行い、その結果より、建物、家財の損傷度合に応じた修復コストを算出し、地震発生確率で重み付けして年間期待損失コストを求め、耐震補強にかかるコストも加えた建物供用年数中の総期待コストを評価する。

これから先の供用年数を考えた場合、どの程度の耐震補強とすべきかの判断の一助とする。

2. 入力地震動

建築基準法に合わせて極めて稀に起こる地震動を極大地震動、工学的基盤レベルでこれを 1/5 したものを中地震動、この中間として 1/2 したものを大地震動と定義し、日本住宅性能表示基準の「構造の安定に関すること」に従い、定

義した各地震動を 1 倍, 1.25 倍, 1.5 倍 (等級倍率) することで 9 つのレベルの地震動を設定する。

地震波の作成は以下の要領で作成する。極めて稀に起こる地震動として建築基準法施行令第 82 条の 6 で示される解放工学的基盤の加速度応答スペクトルに適合する模擬地震動を、継続時間 60 秒としたランダム位相にて 20 波と実地震位相を用いた 4 波、計 24 波を作成する。ランダム位相における強度関数は主要動を 2.5 ~ 17.5 秒とした Jennings 型²⁾、実地震位相に採用した地震動は、El centro 1940_NS, Taft 1952_EW, Hachinohe 1968_EW, Kobe(JMA)1995_NS である。この振幅に各地震動のレベル倍率を乗じたものを工学的基盤レベルの地震動とする。

建設地は地盤種別により 4 サイト設定する。第 1 種地盤から 0.20 秒、第 2 種地盤から 0.48 秒と 0.75 秒、第 3 種地盤から 1.02 秒の弾性地盤周期を持つサイトの地盤情報^{3,4)}を用いて、逐次積分法全応力解析⁵⁾により表層増幅を考慮した地表面入力地震動を作成する。尚、地盤物性のひずみ依存性は、建築基準法告示第 1457 号別表の値を R-O モデルに置換して用いている。

3. 地震ハザード曲線

極大地震動 (耐震等級) 1 の再現期間を 500 年と考え⁶⁾、再現期間に対する地震動レベルの補正係数⁷⁾として

$$R_a = (r/100)^{0.54} \quad r: \text{再現期間}$$

を採用すると、各レベルの再現期間が算定できる。図 2 は、横軸に地震動レベルを工学的基盤の加速度応答スペクトル $b_s S_a$ の最大値 (周期 0.16 秒から 0.64 秒の加速度一定領域の値) で示し、縦軸に年超過確率 ($1/r$) の値をプロットした地震ハザード曲線である。

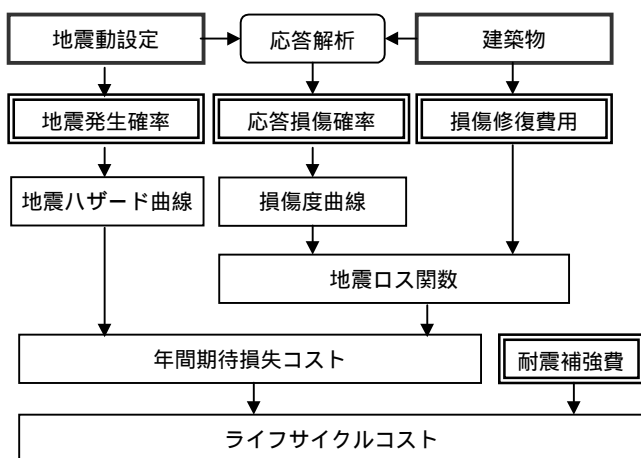


図 1 ライフサイクルコストの算定フロー

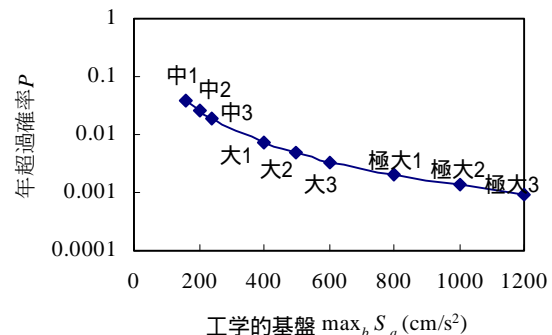


図 2 地震ハザード曲線

4. 木造住宅解析モデル

解析モデルには標準的な2階建の在来木造軸組み構造を想定する。耐震要素は3つ割筋かいとし、耐震診断判定値（以下 JG と記す）を現行建築基準法の必要壁量に対する存在壁量割合とみて、 $JG=0.2\sim 1.0$ の壁量が配置されているものとする。1,2階の階高は270cmとし、質量比は一般的な分布として1階:2階=1:0.75⁸⁾を採用する。層の復元力モデルはパイリニア+スリップモデル⁹⁾とし、建築基準法を満足する $JG=1.0$ では、ベースシア係数 $C_0=0.2$ 時に層間変形角 $1/150$ となるよう初期剛性を設定している（図3）、1,2階の剛性比は1次モードが直線になるよう1:0.6とし、減衰定数は $h=5\%$ とした。

5. 応答解析

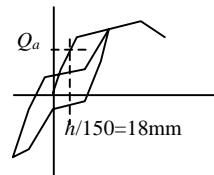
2質点せん断系モデルにて時刻歴応答解析を行う。図4、図5には建築基準法で求められる（等級倍率1）中地震動、極大地震動の最大応答層間変位及び最大応答床震度を示す。床震度とは各層の加速度応答波形を用いて計測震度を算定したものである。尚、値はサイト毎24波の平均値である。

1階の床震度は入力地震動の地表面震度を表しているが、中地震動時で震度4~5弱、極大地震動時で震度5強から6弱レベルである。

建築基準法を満足する $JG=1.0$ の場合、全ての地盤において最大層間変形角は中地震動時 $1/150$ （1.8cm）以下で弾性範囲内、極大地震動時で $1/20$ （13cm）以下で倒壊しない範囲内である

JG 値が0.4以下では中地震動時でも塑性化領域（2.25cm以上）に入る地盤があり、極大地震動時には JG 値が0.4以下ではほとんどの地盤で倒壊レベル（13cm）に達して危険である。

2階の床震度は、極大地震動時においても最大6弱レベ



初期剛性 K_0
<パイリニア>
第1剛性比: $KB_1/K_0=0.55$
第2剛性比: $KB_2/K_0=0.03$
折曲点: $D_1=3.75\text{mm}$
<スリップ>
第1剛性比: $KS_1/K_0=0.45$
第2剛性比: $KS_2/K_0=0.14$
第3剛性比: $KS_3/K_0=0.45$
折曲点: $D_2=22.5\text{mm}$ $D_3=56.3\text{mm}$

図3 在来木造住宅架構モデル

ルとそれほど増幅されていない。 JG 値低下に伴い床震度も低下していることから、応答せん断力（架構モデルの降伏高さ）が影響しているようである。

6. まとめ

本論では弾性地盤周期をパラメーターに耐震診断判定値レベル毎の応答を調べた。耐震補強をここで用いた復元力と同一性状の耐震壁で行う場合、どの程度まで判定値を上げれば良いかを判断することが出来る。

参考文献

- 1) 静岡県広報誌県民だより, No.533, 2002.7
- 2) 建設省建築研究所, 日本建築センター: 設計用入力地震動作成手法技術指針(案)本文解説編, pp.59~62, 1992.4
- 3) 防災科学技術研究所: K-NET
- 4) 佐竹次男, 北中将博: 地質と場所打ち杭の設計, 建築技術, 1990
- 5) 吉田望: YUSAYUSA-2: 1次元有効応力地震応答解析プログラム, 佐藤工業(株)中央技術研究所, 1995.10
- 6) 五條渉: 限界耐力計算法の理解と活用, 建築技術, p103, 2001.4
- 7) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, p415, 1993
- 8) 坂本功, 大橋好光: 木造住宅の地震応答解析 標準的な在来構法住宅のモデルに関して, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B, pp.2651~2652, 1984.10
- 9) 国土交通省建築研究所: 改正建築基準法の構造関連規定の技術的背景, ぎょうせい, p.43, 2001.3

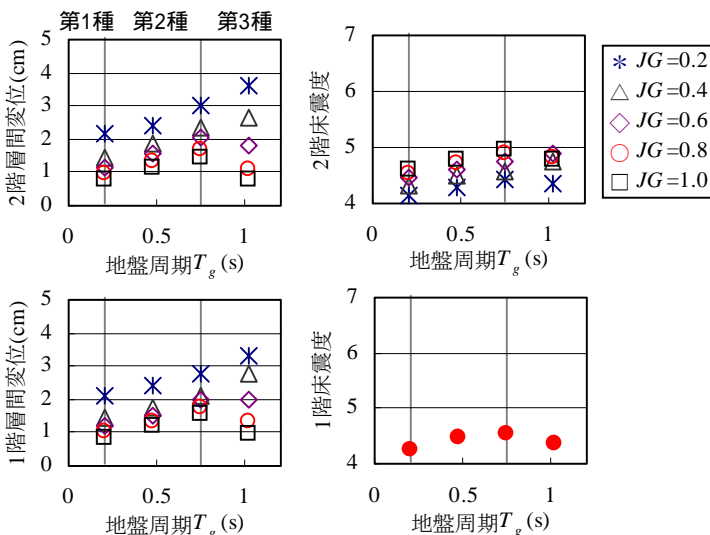


図4 中地震動等級倍率1時 応答最大値

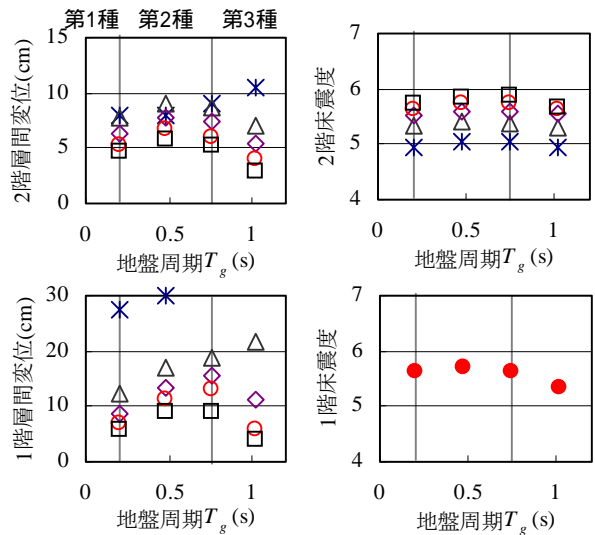


図5 極大地震動等級倍率1時 応答最大値

*1 名古屋大学大学院環境学研究科 (日本システム設計)
 *2 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博
 *3 名古屋大学大学院環境学研究科 助教授・Ph.D
 *4 日本システム設計 開発設計室

*1 Graduate Student, Nagoya Univ.
 *2 Prof., Nagoya Univ., Dr. Eng
 *3 Assoc. Prof., Nagoya Univ., Ph.D.
 *4 Nihon System Sekkei