

戸建て免震住宅の耐震等級対応について

その1. 耐震等級地震波による免震応答

正会員 花井 勉*
同 皆川隆之**
同 福和伸夫***

戸建て免震住宅 耐震等級 免震応答

1.はじめに

住宅の品質向上を目指して平成 12 年に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(以下、品確法)により多くのハウスメーカーが日本住宅性能表示基準に従った住宅型式認定を取得するに至り¹⁾、耐震性能を耐震等級により明示した戸建て住宅が徐々に増加していくと思われる。

また、地震保険の耐震等級レベルに応じた減額など、建物の損害危険度に合わせた保険面、税制面での優遇制度が充実し、住宅の耐震性の性能設計化が促進されるものと思われる。

免震建物も同一基準での評価が必要となるが、耐震等級に応じて地震動レベルが上がると、十分な免震性能を確保するためには 40,50cm 以上の変形を必要とする場合もでてくる。

敷地に余裕のない戸建て免震住宅では、どこまで変形を許すかは最も重要な問題の1つであり、場合によってはストッパーにて変形を制限する設計も考えられる。

そこで本論では、様々な地盤条件において耐震等級に対応する地震波を作成し、代表的な 2 階建て鉄骨造の上部架構モデルに、戸建て用の免震装置を組み込んだ場合の時刻歴応答解析を行い、耐震等級対応に必要な変形量を調査する。又、ストッパーを用いて強制的に変形を制御した場合の解析も合わせて行い、その制御変形及び制御性能が上部架構の損傷に与える影響について考察する。

2. 耐震等級波の作成

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、建築基準法で定められた地震動を 1 倍, 1.25 倍, 1.5 倍(等級倍率)することで、耐震等級 1,2,3 に対応した地震波(耐震等級波)を以下の要領で作成する。

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

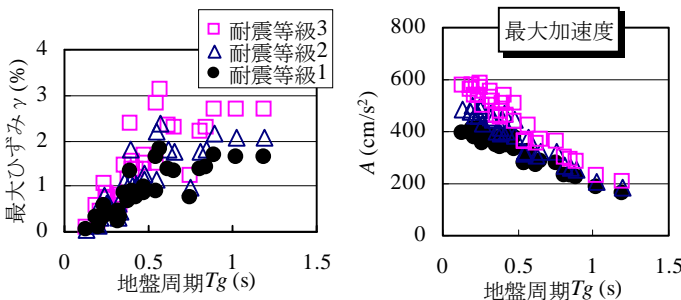


図2 表層地盤最大ひずみ

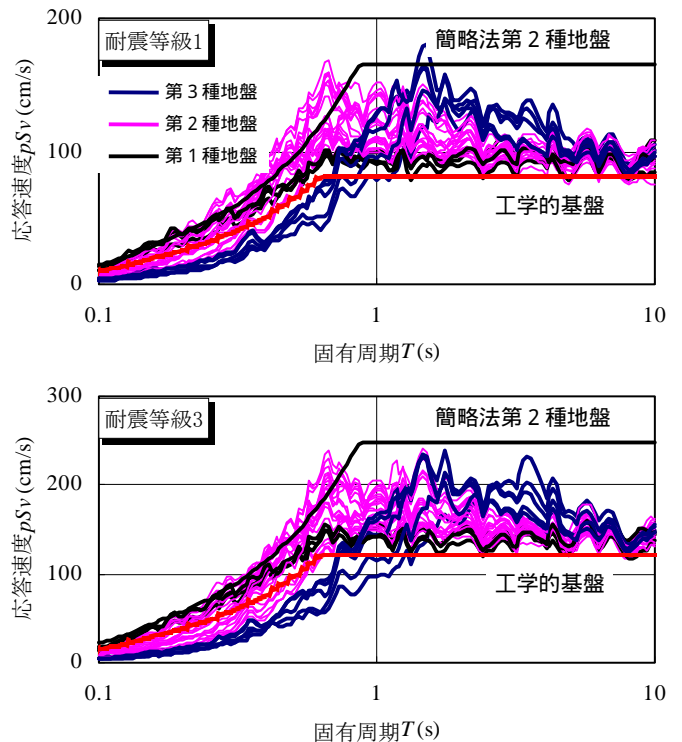


図1 耐震等級波 速度応答スペクトル集計

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。

作成した 24 波を耐震等級 1 波、この加速度振幅を等級倍率倍したものを耐震等級 2,3 波とし、公表されている地盤情報地盤情報^{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する。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。

図 1 には、地盤周期 1.2 秒以下の 30 サイト(第 1 種地盤 3 サイト、第 2 種地盤 22 サイト、第 3 種地盤 5 サイト)の地

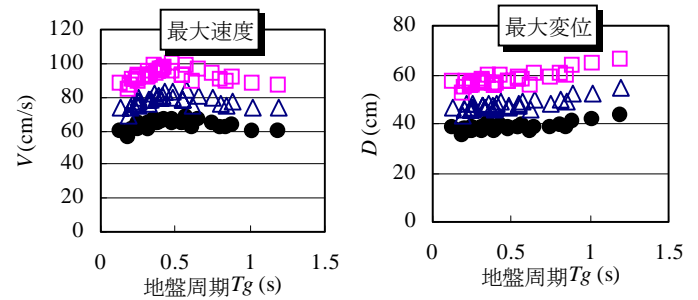


図3 耐震等級波最大値

盤情報を用いた、耐震等級 1, 3 波の地表面速度応答スペクトルを示す。地震動レベルが上がるにつれピークがなだらかになり長周期化している様子が分かる。図中には表層増幅に告示第 1457 号第 7.2 項の簡略法第 2 種地盤増幅率を用いた場合も参考として示しているが、免震建物が応答する長周期域（2 秒以上）では第 3 種地盤も完全に包絡している。

各耐震等級波の表層地盤最大ひずみを図 2 に、地表面各最大値を図 3 にプロットする。縦軸は各 24 波の平均値、横軸の地盤周期は各サイトの地盤初期剛性より 1/4 波長則により求めたものである。耐震等級 1 の最大値をみると、加速度は地盤により 400 ~ 200cm/s²、速度、変位は地盤によらず 60cm/s、40cm 程の値となる。耐震等級 2,3 は耐震等級 1 からの倍率を全サイトの平均でみてみると、耐震等級 2 で加速度、速度、変位の順で 1.18, 1.23, 1.25 倍、耐震等級 3 で 1.36, 1.47, 1.51 倍となり、加速度、速度は等級倍率を若干下回っている。最大ひずみが 2.3% に及ぶ表層地盤の大きな非線形化により地盤減衰が大きくなり、等級倍率ほどは増幅倍率が上がらないようである。

3. 解析モデル

上部架構には 2 階建の鉄骨耐力パネル構造を考える。1,2 階の階高は 270cm とし、質量比は一般的な分布を想定し免震層：1 階：2 階=1：1：0.75 とする。層の復元力モデルは図 4 に示すノーマルトリリア^⑤とし、ベースシア係数 C₀=0.2 時に層間変形角 1/200 としている（図 4）。1,2 階の剛性比は、基礎固定時の上部架構の 1 次モードが直線になるよう 1：0.6 とし、上部架構減衰定数は h=3% とした。

免震層の特性は、戸建て用の装置の組合せとして、すべり支承に線形復元力をを組合せた履歴系モデル（μ=0.05, T_i=4s, h_v=0%）、転がり支承に線形復元力と粘性ダンパーを組合せた粘性系モデル（μ=0.005, T_i=3s, h_v=25%）を想定する（図 5）。ここで、μ：免震装置摩擦係数、M：建物総質量、g：重力加速度、k_t：免震装置復元材剛性、T_i：免震装置復元材周期、h_v：免震層粘性減衰定数

4. 応答解析

第 1 種地盤から 0.20 秒、第 2 種地盤から 0.48, 0.75 秒、第 3 種地盤から 1.02 秒の地盤周期を持つサイトの地表面等級波を選択して、免震層を含めた 3 質点せん断系モデルにて時刻歴応答解析を行う。図 6 に各層の最大応答層間変位及び最大応答加速度を示す。尚、値はサイト毎 24 波の平均値である。

免震層の変位は、地盤が柔らかくなるに従って大きくなる

<ノーマルトリリア>

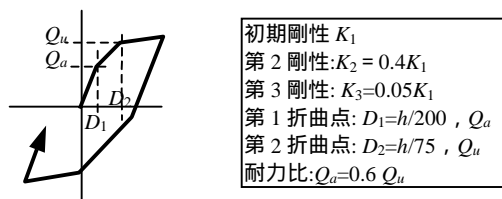


図 4 上部架構モデル

が耐震等級 3 の方が顕著である。また、1 階の層間変位は粘性系が 2 階で履歴系がやや大きい、粘性系で免震層応答せん断力の大きい第 3 種地盤、耐震等級 3 を除くと、変形角は 2 次部材が追従可能な 1/120 以内である。加速度については、特に固い地盤で履歴系が大きくなる傾向がある。すべり摩擦の高い立ち上がりには大きな入力加速度が反映されるようだが、免震層応答波形（図 7）で見ると高い振動数の成分であり、家具什器の損傷も少ないレベルといえる⁷⁾。

5. まとめ

まとめ及び参考文献はその 2 に記す。

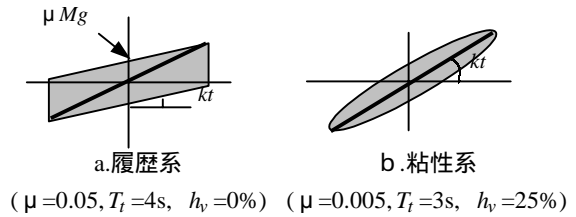


図 5 免震層復元力モデル

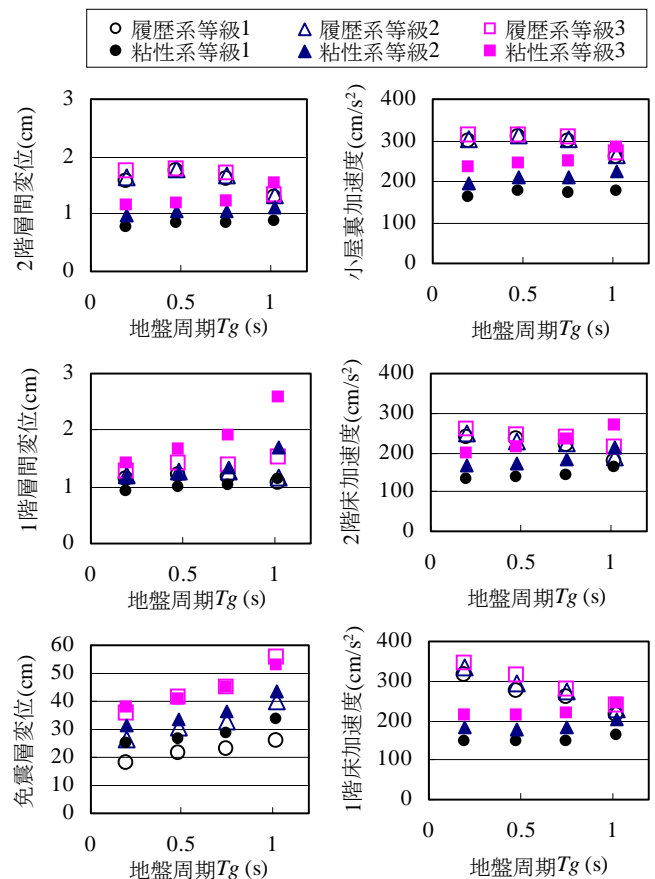


図 6 耐震等級波応答最大値

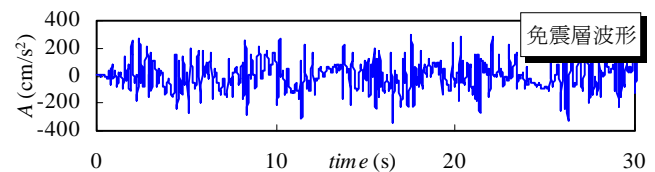


図 7 履歴系免震層応答波形（耐震等級 3、T_g=0.2）

*名古屋大学大学院環境学研究所 大学院生（日本システム設計）
 **日本システム設計 開発設計室
 ***名古屋大学大学院環境学研究所 教授・工博

*Graduate Student, Nagoya Univ.
 **Nihon System Sekkei
 ***Prof., Nagoya Univ., Dr. Eng