

変位抑制部材を有する戸建て免震住宅の地震時安全性について

その1 変位抑制部材作動時の応答解析

戸建て免震住宅 変位抑制 想定外地震動
設計法

正会員 中田信治*¹ 同 花井 勉*²
同 飯場正紀*³ 同 小豆畑達哉*⁴
同 梁川幸盛*⁵ 同 東田豊彦*⁶
同 森 俊之*⁷ 同 緑川光正*⁸

1. はじめに

近年観測されている最大で100cm/sを越えるような速度振幅の大きな地震動や長周期地震動が免震建築物に作用すると、免震層の応答変位が大きくなり、免震部材に大きな変形が生じる。戸建て住宅のように免震層に十分なクリアランスが設けにくい建築物では免震層で接触が生じる可能性が高くなる。その場合、免震材料の限界変位到達を防ぎ、免震層での接触における衝撃を緩和できる変位抑制部材を設け、上部構造の地震応答を出来る限り小さくして、上部構造の安全性を確保する必要がある。

筆者らはこれまで、特定の免震層、上部構造ではあるが変位抑制時応答並びに変位抑制設計の可能性に言及してきた^{1,2)}。本報ではこれを包絡する形で、免震建築物に不利な特徴を持つ国内外の地震動を用いて、現状で使われているいくつかの戸建て住宅の免震システムと上部構造構法及び数種類の変位抑制部材の組み合わせで応答解析を行い、これを分析することで戸建て免震住宅の変位抑制設計法を提案していく。

2. 入力地震動

戸建て免震住宅の免震周期を3~4秒とみなし、国内外で観測された最大級の地震動でこの周期帯周辺にパワーを持つ以下の4波を選択した。また、比較用に一般的な設計用入力地震動として5)を加えている。表1に地動最大値、図1には擬似速度応答スペクトルを示す。

免震周期周辺での擬似速度応答スペクトルの形状に着目すると、応答スペクトル一定型(BCJ)、長周期側に向かって下降型(Takatori、Kawaguchi)、上昇型(TCU068、Tomakomai)に分類される。変位抑制部材が作用する場合、免震住宅の応答周期は短周期化されるため、下降型地震動のピークに近づき、上部構造の損傷が大きくなることが予想される。

表1 入力地震動最大値

地震波名称	A (cm/s ²)	V (cm/s)	D (cm)
1)Takatori NS(1995 兵庫県南部地震)	617	136.7	38.9
2)TCU068 EW(1999 台湾集集地震)	502	150.3	111.2
3)Tomakomai NS(2003 十勝沖地震)	72.9	30.3	28.3
4)Kawaguchi EW(2004 新潟県中越地震)	1676	135.6	40.5
5)BCJ L2	355	55.2	39.8

JR、台湾中央気象局、K-NET、日本建築センターの強震記録・作成波を使用させて頂きました。

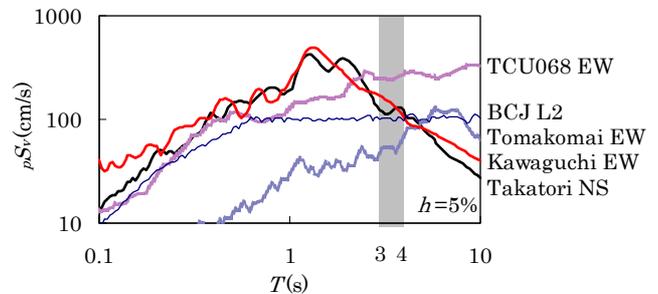


図1 入力地震動擬似速度応答スペクトル

3. 解析モデル

3-1 上部構造モデル

2階建住宅の構造モデルとして代表的なものは鉄骨ブレース構造に代表されるスリップ型、鉄骨ラーメン構造に代表されるトリリニア型、及び在来木造住宅に代表されるバイリニア+スリップ型である。文献^{3,4)}を参考に通常の設計

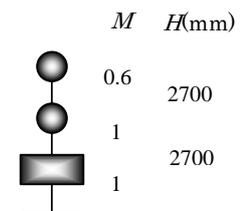


図2 質点系モデル

で用いられる代表モデルを図2、図3のように定める。ここでは安全側の評価として外壁内壁などの非構造壁の効果は減衰の項でしか見込んでいない。尚、各モデル共告示波²⁾での1階の応答層間変形角は共概ね同等である。

3-2 免震層モデル

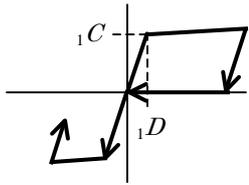
文献³⁾を参考に実用化されている戸建て用免震システムの代表的なモデルを転がり系、すべり系に分けて次のように設定する。尚、支承材、復元材の面圧、速度依存性はなく、偏心のないよう配置されているものとする。

1)転がり系：転がり支承(μ=0.005)+復元ゴム(T_i=3s)+粘性ダンパー(h_v=25%)

2)すべり系：すべり支承(μ=0.05)+復元ゴム(T_i=4s)
μ：摩擦係数、T_i：接線周期、h_v：粘性減衰

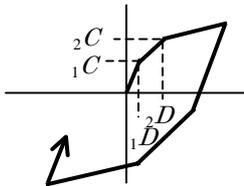
解析用パラメータには免震層の応答変位を抑制するため粘性ダンパー量を各々+25%、50%付加した組み合わせも加えている。

<スリップ型>



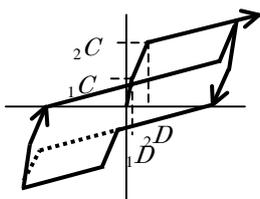
初期剛性 $_1k$
 第2剛性: $_2k = 0.05_1k$
 第1折曲点
 1階: $_1D = H/120, _1C = 0.56$
 2階: $_1D = H/120, _1C = 0.8$
 $h = 5\%$ 初期剛性比例型

<トリリニア型>



初期剛性 $_1k$
 第2剛性: $_2k = 0.4_1k$
 第3剛性: $_3k = 0.05_1k$
 第1折曲点
 1階: $_1D = H/200, _1C = 0.2$
 2階: $_1D = H/200, _1C = 0.3$
 第2折曲点
 1階: $_2D = H/75, _2C = 0.333$
 2階: $_2D = H/75, _2C = 0.5$
 $h = 5\%$ 初期剛性比例型

<バイリニア+スリップ型>



初期剛性 $_1k$
 第2剛性: $_2k = 0.5_1k$
 第3剛性: $_3k = 0.0625_1k$
 第1折曲点
 1階: $_1D = H/720, _1C = 0.12$
 2階: $_1D = H/720, _1C = 0.18$
 第2折曲点
 1階: $_2D = H/180, _2C = 0.3$
 2階: $_2D = H/180, _2C = 0.45$
 $h = 5\%$ 第2折れ点等価剛性比例型

図3 上部架構復元力モデル

3-3 変位抑制部材モデル

文献⁵⁾⁶⁾を参考に A:線形型と B:非線形弾性型(2次曲線)のモデルを図4のように設定する。変位抑制部材の作動ポイント及びその剛性は実状の免震層の限界変形を考慮して表2のように定めた。

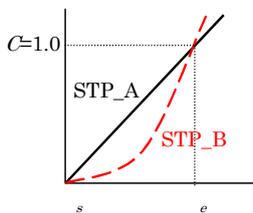
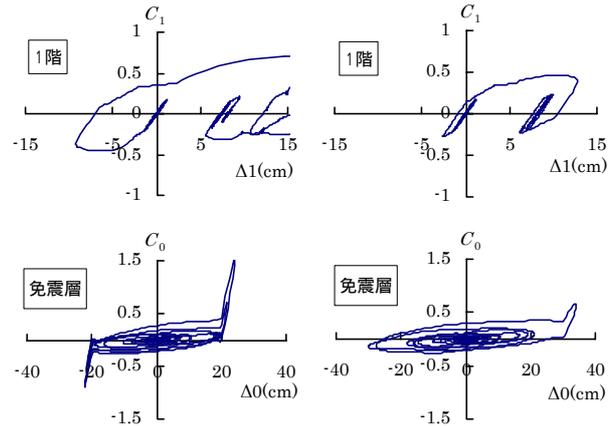


表2 変位抑制部材作動ポイント

ポイント種類	作動開始 s	$C=1.0$ 時変位 e
STP_1	20cm	23cm
STP_2	30cm	35cm
STP_3	30cm	40cm

図4 変位抑制部材モデル



(a) STP_1 (b) STP_3
 図5 応答結果例(TCU068)

4. 応答解析

図2に示すせん断形モデルにて時刻歴応答解析を行った。変位抑制部材が作用した場合の典型的な応答の様子を図5に示す。図は上部架構:トリリニア型、免震層:転がり系粘性付加+25%、応答抑制部材:A線形型STP_1とSTP_3のモデルにTakatoriの地震動を入力した場合の免震層、1階での応答層間変位-応答層せん断力係数Cとの関係を示している。STP_3のように変位抑制部材の作動ポイントを遅らせ、その剛性をあまり高くないとすれば上部構造の損傷を抑えられることが分かる。

5. まとめ

その1では現状で考えられる地震動と戸建て免震住宅の免震層、上部構造を網羅してモデル化し、応答解析結果の例を示した。結果集計、考察はその2に示す。

参考文献

- 1)花井勉、他:免震層変位を制限した戸建て免震住宅の耐震等級対応法とライフサイクルコスト評価、日本建築学会構造系論文報告集、No.572、pp.89-96、2003.10
- 2)飯場正紀、花井勉、他:変位制御部材を用いた免震層衝突時における免震住宅の地震時応答 その1-2、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.425-428、2004.8
- 3)桐山伸一、中田信治、花井勉、福和伸夫:実大振動実験による戸建て免震住宅の装置別応答性状比較、日本建築学会構造工学論文集、Vol.50B、pp.561-574、2004.3
- 4)建築研究所、免震住宅研究委員会、建築研究振興協会:住宅を対象とした免震構法技術の開発、最終報告書、付録2、p2、1999.8
- 5)高橋武宏、他:水平変位制御によって免震建物に発生する衝撃力に関する実大実験と応答解析、日本建築学会構造系論文集、No573、pp223-230、2003.11
- 6)M.Liba、M.Midorikawa、H.Hamada、Y.Yasui、T.Hanai:Seismic Safety Evaluation of Base-Isolated Houses with Rubber Bearing、13th World Conference of Earthquake Engineering、Paper No.1174、12p、2004.8

*1 旭化成ホームズ 工博
 *2 えびす建築研究所 代表取締役・工博
 *3 独立行政法人建築研究所構造研究グループ・工博
 *4 国土交通省国土技術政策総合研究所・工博
 *5 構造計画研究所耐震技術部
 *6 積水ハウス
 *7 大和ハウス工業
 *8 北海道大学大学院教授・工博

*1 Asahi Kasei Homes Co.,Dr. Eng.
 *2 President, Ebisu Building Laboratory Co.,Dr. Eng.
 *3 Building Research Institute, Dr. Eng.
 *4 NILIM, MLIT, Dr. Eng.
 *5 Analytical Eng. Dept. KOZO KEIKAKU Engineering, Inc.
 *6 Sekisui House Co.
 *7 DAIWA HOUSE INDUSTRY CO.
 *8 Professor, Grad. Sch. of Engg., Hokkaido Univ., Dr. Eng.