

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2 変位抑制部材の効果とその設計法の提案

戸建て免震住宅 変位抑制 想定外地震動
設計法

正会員 花井 勉*¹ 同 飯場正紀*²
同 小豆畑達哉*³ 同 梁川幸盛*⁴
同 緑川光正*⁵

1. はじめに

その2では応答解析結果を考察して、各パラメータの影響を調べるとともに、上部構造の損傷と関係の深い指標を調査し、その要因を分析することで変位抑制部材が作動する場合の設計法を提案する。

2. 解析結果考察

上部構造の応答は地震動、免震層、変位抑制部材の作動ポイント及び上部構造の特性により大きく影響するが、今回設定した変位抑制部材の特性（線形、非線形弾性）ではあまり違いが出ていない。ここでは若干大きめに応答が出る線形の特性で、上記4項目による応答の違いを見ていくこととする。各パラメータの組み合わせで、応答結果として建物倒壊のクライテリアとなる1階の層間変形角に着目してまとめたものが表1である。1階の層間変形角が修復コストが余りかからない1/50未満を、倒壊限界を1/20としてそれ未満なら、以上ならxの記号で、左より上部構造の特性順に並べて表記してある。

転がり系とすべり系はほぼ同様の傾向を示しているが、免震層が限界変形を超えるほどの振幅時には、原点付近はかなり早い速度で応答するので、これに比例する粘性減衰量の多い転がり系のほうが若干応答は小さくでるようである。

地震動による応答の違いは興味深い。Tomakomai は免震層の応答変位が小さく変位抑制部材は作動していない。BCJ L2も20cmで作動させるSTP_1の場合のみ作動しているが、この場合でも倒壊に至る応答は出ていない。上昇型のTCU068は免震層に減衰を付加しないと倒壊の危険がある。上部構造の降伏せん断力の低いトリニア型は他と比べて応答が大きくなる傾向がある。下降型のTakatori、Kawaguchiは、免震層に減衰を付加しない場合は全て倒壊の判定となった。当初の予想通り変位抑制部材が作動し非免震に近い状態となるため、短周期の強い成分を持つ下降型の地震動が厳しい結果となっているが、表の記号はこれらの地震動に対しては変位抑制部材の作動ポイントを遅らせること、免震層の減衰の付加、そして上部構造の降伏せん断力を上げることが有効なことを示唆している。但し、免震層の減衰を大きくしすぎると、BCJ L2レベルの地震動に対しては免震効果が減ずる事もあるので注意が必要である。

3. 倒壊防止指標

変位抑制部材の作動ポイントが上部構造の応答に影響が大きいことから、文献¹⁾と同様に変位抑制部材の作動変位での免震層相対速度の最大値 V_{op} と、変位抑制部

表1 応答判定表

免震層	STP	1)Tak	2)TCU	3)Tom	4)Kaw	5)BCJ
転がり系 hv25	1	x x x	x x		x x x	
	2	x x x	x x		x x x	
	3	x x x	x x		x x x	
転がり系 hv50	1	x x x	x		x x x	
	2				x	
	3				x	
転がり系 hv75	1	x x x	x		x x	
	2					
	3					
すべり系 hv0	1	x x x	x		x x x	
	2	x x x	x		x x x	
	3	x x x	x x x		x x x	
すべり系 hv25	1	x x x	x		x x x	
	2	x x x	x		x x x	
	3	x x x	x		x x x	
すべり系 hv50	1	x x x	x		x x x	
	2		x		x x	
	3		x			

判定配置：左より スリップ、トリニア、パイリニア+スリップ
記号 1階の層間変形角 : <1/50、 : <1/20、x : それ以上は耐震より大きい場合

材がないとした完全免震時の免震層最大変位と変位抑制部材の作動変位との差（抑制変位） D_{con} を指標として算出し、上部構造の応答との関係を調べてみる。

上部構造がスリップ型の場合の各指標と1階の層間変形角との関係を図1に示した。 V_{op} 指標と1階の層間変形角は概ね対応が良いが、 D_{con} 指標ではTCU068のみ傾向が違うようである。一律にどれだけ手前から変位抑制をかければ良いということではないようである。

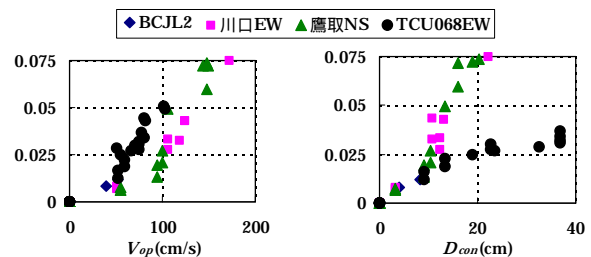


図1 倒壊防止指標と1階の層間変形角（ ）関係

4. 変位抑制部材の設計法

V_{op} 指標が上部構造応答と相関の良い理由としては、変位抑制を開始してから（速度 V_{op} ）止まる（速度 0）までのエネルギー（ E ）がパルス的に上部構造へ与えられたと考えればよく、上部構造のモデルによる応答の違いも1方向載荷でそのエネルギーを吸収する場合、層の降

伏荷重により応答変位が違ったものと説明が付く。

$$E = \frac{1}{2} M_0 V_{op}^2 \quad M_0: \text{免震層より上部の質量}$$

このエネルギーは各層で分担して吸収されることになるが、建物の倒壊防止に着目して、安全側に2階の吸収量及び免震層の変位抑制部材の吸収量を無視して、1階に集中するものとする。1階の1方向載荷時の復元力モデルを図2のように完全バイリニアとし

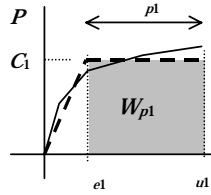


図2 1階の塑性吸収エネルギーモデル

て、パルス的な1方向応答では減衰が出にくいこと、変位抑制までに1階もある程度の弾性応答をしていることから、1階の塑性ひずみエネルギー W_{p1} のみで吸収するものとする、次式のように必要降伏せん断力係数が求まる。

$$E = W_{p1} = \delta_{p1} \cdot C_1 \cdot M_1 \cdot g \quad C_1: \text{1階降伏せん断力係数}$$

$$\delta_{p1}: \text{1階塑性変位}$$

$$M_1: \text{1階より上部の質量}$$

$$g: \text{重力加速度}$$

$$C_1 = \frac{V_{op}^2}{2 \cdot \delta_{p1} \cdot g} \cdot \frac{M_0}{M_1}$$

解析に用いたモデルの質量から $M_0/M_1=2.6/1.6$ 、1階の塑性変位 δ_{p1} として弾性変位 $e_1 = H/100$ ($H=270\text{cm}$) から倒壊限界変位 u_1 までを取ると以下の関係が求まる。

$$\gamma = 0.0307 \cdot V_{op}^2 / C + 0.01 \quad \therefore \gamma = \delta_{u1} / H$$

スリップ型、トリリニア型、バイリニア+スリップ型の C_1 を各々0.6、0.35、0.35 とし、 V_{op} 相関グラフにこの倒壊限界指標曲線を書き込んだものが図3である。スリップ型、バイリニア+スリップ型では概ね傾向は捕らえているといえる。トリリニア型はこの曲線を越える場合があるが、これは降伏せん断力係数が低く、紡錘型の復元力特性のため残留変位が出やすいことがばらつきの要因と思われる。同図右側には上部構造の耐力を1.25倍とした場合も合わせて記載しているが、この特性であれば他の上部構造と同様の傾向といえる。尚、図中で倒壊限界指標曲線を越えているのは TCU068 と STP-1 の組合せである。

実設計で用いるほとんどの組合せがこの倒壊限界指標曲線内に収まるとみて、これを設計に反映するために変位抑制開始点の速度と変位抑制位置の関係を求める。

変位抑制部材と衝突し上部架構を塑性変形させるような挙動は、大きな地動変位により免震層が接線周期において調和振動している途中に起こる現象と捉えると以下のように速度と変位の関係が求まる。

$$D = A \sin \omega t$$

$$V = A \omega \cdot \cos \omega t$$

$$D = A \left[1 - (V/A\omega)^2 \right]^{1/2}$$

$$\omega = 2\pi / T_t$$

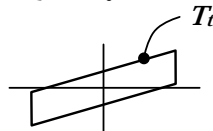


図3 免震層復元力モデル

ここで A : 最大振幅、 T_t : 免震層接線周期

(例えば $A=50\text{cm}$ 、 $T_t=4\text{sec}$ 、 $V=50\text{cm/s}$ の時 $D=38.5\text{cm}$)

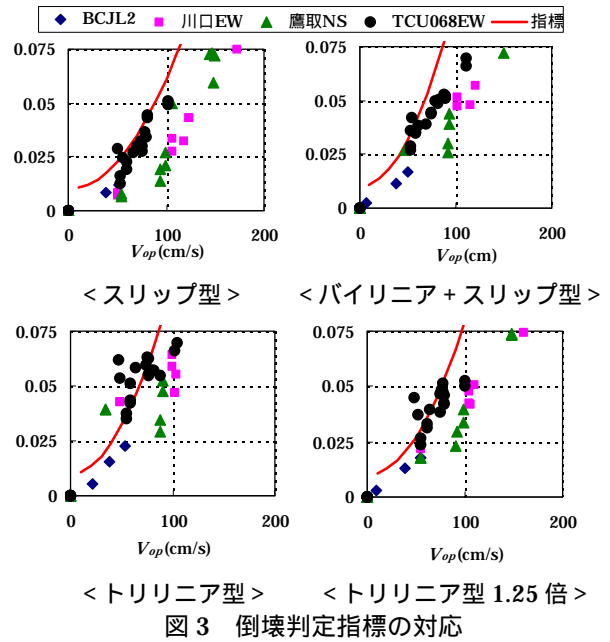


図3 倒壊判定指標の対応

設計では想定地震動による変位抑制しない場合の完全免震時の免震層最大変位を A と置き、上部構造の1階降伏せん断力係数 C_1 から求めた限界変位抑制開始点速度 V_{op} を上式に代入して変位抑制位置を決めることが出来る。また、敷地の関係上変位抑制位置に制限がある場合は、逆に辿って上部構造の必要降伏せん断力係数を求めることが出来る(図4)。尚、この場合上階は1階より先に降伏しないよう設計しておく必要がある。

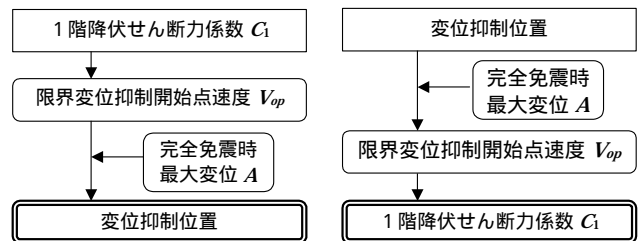


図4 倒壊判定指標の対応

5. まとめ

その2では応答解析結果の分析を行い、想定外の地震動に対して変位抑制部材が作動しても建物を倒壊させないための対策を示した。また、変位抑制部材作動時の速度 V_{op} を指標にして、完全免震時の免震層変位が分かれば、建物を倒壊させないために必要な1階降伏せん断力係数と変位抑制位置の関係式を提案した。今後はこの設計式の精度について検証していく所存である。

尚、本研究は(社)建築研究振興協会内に設置された「戸建て免震住宅の地震時安全性に関する検討会」での成果をまとめたものである。

参考文献

- 1) 飯場正紀, 花井 勉, 他: 変位抑制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

*1 えばす建築研究所 代表取締役・工博
 *2 独立行政法人建築研究所構造研究グループ・工博
 *3 国土交通省国土技術政策総合研究所・工博
 *4 構造計画研究所耐震技術部
 *5 北海道大学大学院教授・工博

*1 President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.
 *2 Building Research Institute, Dr. Eng.
 *3 NILIM, MLIT, Dr. Eng.
 *4 Analytical Eng. Dept. KOZO KEIKAKU Engineering, Inc.
 *5 Professor, Grad. Sch. of Engg., Hokkaido Univ., Dr. Eng.