

戸建て免震住宅の耐震等級対応について

その2. ストッパーによる変位制御設計

正会員

皆川隆之*

同

花井 勉**

同

福和伸夫***

戸建て免震住宅

耐震等級

変位制御

1.はじめに

その1に引き続き、ストッパーにより強制的に変形を制御した場合の解析を行い、ストッパー設定条件が上部架構の損傷に与える影響について考察する。又、同様の条件で免震層を固定した状態（非免震）での応答と比較することで、耐震等級に対する戸建て免震住宅の変位制御設計の可能性を探る。

2.ストッパー設定

ストッパー材としてワイヤーなどのロープ又はゴムの接岸材等を想定し、応答範囲は減衰のない弾性域とする。低い剛性でストッパー変形も大きいほうが衝撃力は緩和されるが、敷地の余裕制限から上部架構 1G の水平力を $a:2\text{cm}$, $b:5\text{cm}$ で制御できるモデルとする(図1)。ストッパー作動開始変位 s は耐震等級1での免震層変位 s_1 とした。

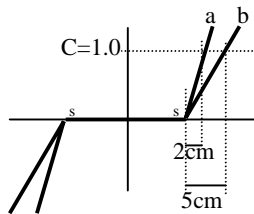


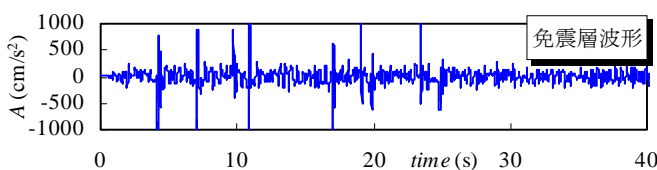
図1 ストッパーモデル

3.ストッパー応答

図2に耐震等級3ストッパー剛性aモデルでの免震層波形例を示す。主要動に入り免震周期で衝突し、遅れながら数回の衝突を繰り返している。衝突時の加速度成分はフーリエ解析よりストッパーaモデル剛性から求まる振動数 3.5Hz 付近が卓越しているのを確認した。図3には各階の最大応答層間変形、最大応答加速度を示す。値は24波の内、半数以上ストッパーに衝突した場合のみ有効として衝突波の平均値を用いる。図中の折れ線は免震層を完全固定した非免震時の応答である。

耐震等級2,3ではストッパーによる変位制御が働き上部架構の応答が大きくなる。応答加速度はほとんど非免震応答より大きく、1階床では顕著である。上部架構層間変位も第3種地盤では非免震を上回る応答となっている。

ストッパーモデルの剛性による比較では、剛性を下げることで1,2階の加速度を軽減する効果が見られるが、層間変形への影響は小さく、この程度の剛性の違いでは上部架構の

図2 免震層応答波形例(耐震等級3、 $T_g=0.48\text{s}$ 、剛性a)

損傷を軽減するには至らないことを示している。但し、免震層の層せん断力係数は最大の第3種地盤で耐震等級2:0.93 0.64, 耐震等級3:1.28 0.87と軽減され、ストッパー自身の設計にはストッパー剛性を下げることが有効である。

設計のクライテリアとして上部架構の倒壊限界層間変形を $h/30=9\text{cm}$ とすると、耐震等級2 応答は収まっているが、耐震等級3では第1種地盤以外で越えてしまっている。非免震時は耐震等級2から第2種地盤で越えてしまうが、逆に第3種地盤は応答が小さく耐震等級3でも補強の必要がない程である。

3.耐震等級対応シミュレーション

耐震等級3において1階の層間変形クライテリアを満足する為のパラメータスタディーを行う。まず、ストッパー作動開始変位に余裕を持たせ、 $s=s_1 \times 1.1 \sim 1.3$ とした場合の応答を調べる。ストッパー剛性bモデルで1.3倍まで衝突を遅らせると(図4)、第2種地盤までがほぼクライテリア内となるが、第3種地盤は依然倒壊レベルである。1階床の加速度についても耐震等級3ではそれほどの低減効果はなく、すれすれで当たる耐震等級2でも 500cm/s^2 以上の応答となる。

次に上部架構を耐震等級倍率に応じて、耐力剛性ともにUPさせた場合の解析を行う。図5には $s=1.1s_1$ 、ストッパー剛性bモデルでの応答を載せる。補強効果で非免震応答は等級による差がなくほぼクライテリア内となり、ストッパー応答でも第2種地盤まではクライテリア内となる。但し補強に応じて各階の応答加速度が大きくなること覚悟しなければならない。尚、第3種地盤は $s=s_1 \times 1.2$ とすればクライテリア内となるが、非免震の方が十分に応答が小さく、第3種地盤でストッパーにより応答を制御する設計は得策でないようである。

最後に上部架構は補強せずストッパーに減衰を持たせた場合の解析を行う。粘性減衰 $h_s=30\%$ ($C_s = 2h_s \sqrt{m_s k_s}$ m_s : 免震層質量、 k_s : ストッパー剛性) $s=s_1 \times 1.2$ とした場合の応答を図6に示す。第2種地盤まではほぼクライテリア内となるが、このストッパーモデルでは衝撃力の吸収までには至らないようである。

6.まとめ

品確法性能表示基準に従って様々な地盤で耐震等級波を作成し、代表的な鉄骨2階建て免震構造の応答を求めた。又、敷地に余裕がない場合を想定し、ストッパーにより変形を制

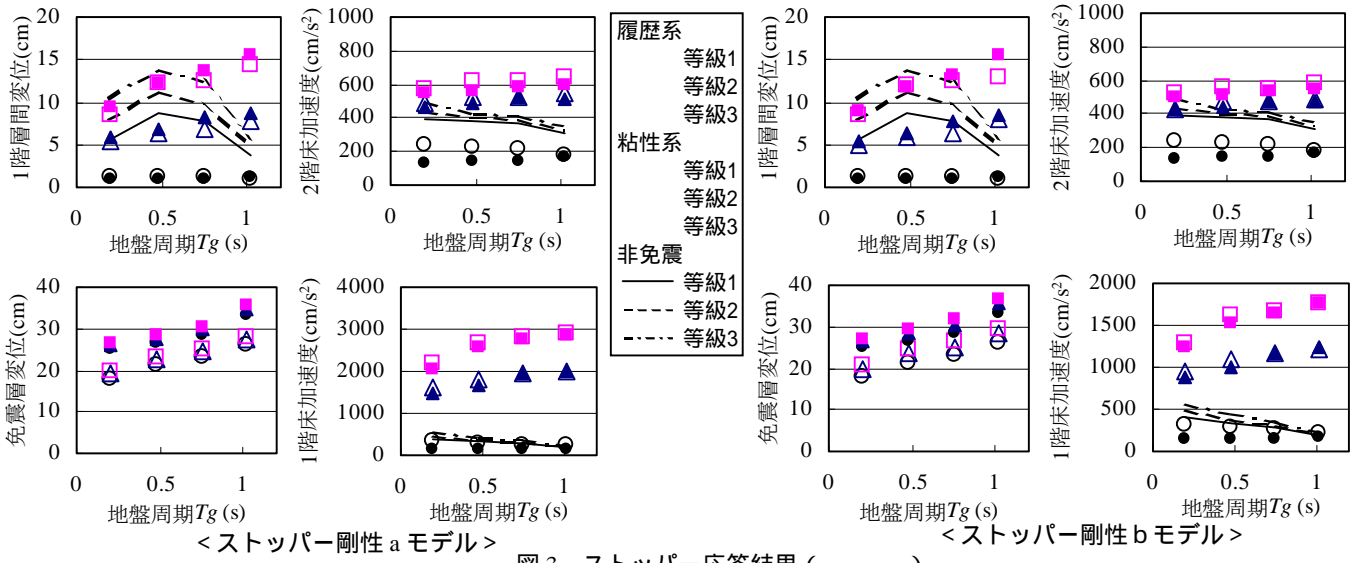


図3 ストッパー応答結果 ($s=1.0$)

御した場合の応答を調べ、耐震等級対応について次のような考察を得た。

- ・耐震等級による地表面最大値比較において、加速度は等級倍率ほどは上がらないが、免震応答に影響する速度、変位は等級倍率以上に増幅され、第3種地盤耐震等級3で最大速度100cm/s、最大変位60cm以上に達する。

- ・免震応答は耐震等級3で40cmを超えるが、履歴系、粘性系の免震装置とも上部架構の変形角1/120以内、応答加速度も家具什器損傷のほとんどないレベルである。(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)

- ・ストッパーにより変位制御した場合、応答は非免震時を越えることがある。

- ・ストッパー剛性は高くしない方が応答加速度低減効果があるが、5cm程で止める設計では上部損傷への差異はない。

- ・耐震等級1の免震層変位よりストッパーを作動させる設定でも耐震等級2までは倒壊レベルに達しない。

- ・耐震等級3には余裕を持って作動させる(等級1応答の1.3倍) ストッパーに減衰を付加する、又は上部架構を補強することで対応可能となる。

- ・但し、第3種地盤の等級対応ではかなりの余裕が必要となるため、応答も十分に小さい非免震で対応するのが望ましい。

尚、本検討はあくまでも戸建て免震住宅における耐震等級対応の方向性を示したものであり、本検討で用いた地震波の実現性、応答の安全性評価などは別途判断が必要である。

参考文献

- 1) 日本建築センター：ビルディングレター
- 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

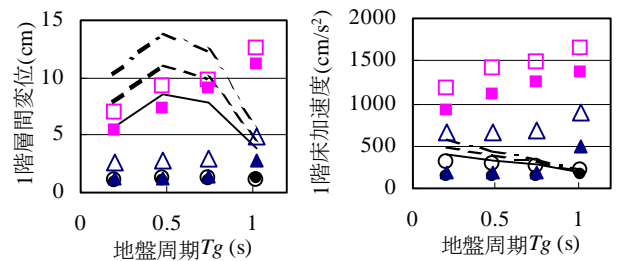


図4 ストッパー余裕設置応答 ($s=1.3$, s_0 , 剛性 b)

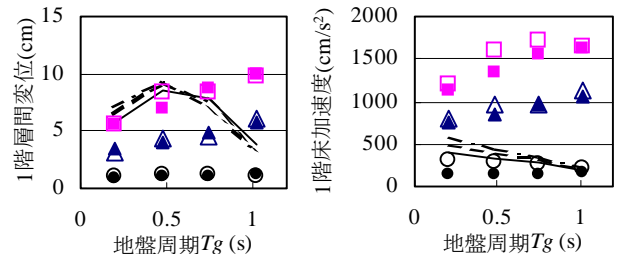


図5 上部補強した場合のストッパー応答 ($s=1.1$, s_0 , 剛性 b)

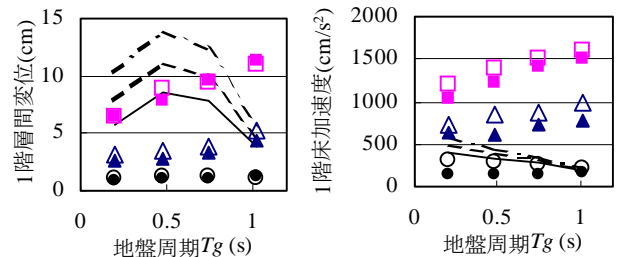


図6 ストッパー減衰 $h_s=30\%$ 考慮応答 ($s=1.2$, s_0 , 剛性 b)

- 6) 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
- 7) 金子美香，林 康裕：剛体の転倒率曲線の提案，日本建築学会構造系論文集，No.536，pp.56-62，2000.10

*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科 大学院生（日本システム設計）

***名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

* Nihon System Sekkei

** Graduate Student, Nagoya Univ.

***Prof.,Nagoya Univ.,Dr.Eng