

次世代型ダンパーを用いた長周期地震動対応戸建て免震システム その1 性能可変ダンパーの必要性能とその設計

オイルダンパー 性能可変 戸建て免震システム
長周期地震動 やや長周期パルス

正会員 ○飯場正紀*¹ 同 花井 勉*²
同 皆川隆之*³ 同 飯田秀年*³

1. はじめに

戸建て住宅用の免震システムはコストおよび敷地に余裕がないことから、最低限である建築基準法の地震動レベルに対して装置の性能、組み合わせが決まっていることが多い。このような戸建て免震住宅を、発生確率が十分に高い海溝型の長周期地震動が襲った場合、又は近年観測されているやや長周期のパルス成分を含んだ地震動に遭遇した場合、免震層の応答変位が設計時の想定を超える場合がある。免震構造のような単純なメカニズム機構にとって、長周期地震動に対する応答は隣家への衝突など、予期せぬ深刻な災害を招きかねない。

免震建物の長周期地震動対応としては、設計時に減衰を付加して対応するか、想定外地震動として位置付け、免震層の応答が限界変位を超えた場合、擁壁等に衝突させる設計思想がほとんどである。戸建て住宅では、免震層を地盤に埋め込まないため擁壁ではなくワイヤーロープなどのストッパー機構に衝突させる対応となるが、上部架構に大きな衝撃力を与えることになり、条件によっては耐震建物よりも損傷が大きくなること筆者らにより報告されている¹⁾。とはいえ、過度に大きな地震動を想定して大きな減衰機構を組み込むことは、想定内の地震動に対しても上部架構の応答が大きくなることから、免震性能の面からも、コストの面からも望ましい対応とはいえない。そこで、想定内の地震動では減衰性能は通常状態でありながら、免震層の限界変位を超えるような地震動に対し、減衰性能を大きくするダンパーが望まれる。既往の研究ではパッシブ型で変位感知式ダンパー²⁾、荷重感知式ダンパー³⁾、セミアクティブ型で電力切り替え式ダンパー⁴⁾、MRダンパー⁵⁾などがあるが、いずれも機構が複雑で未だ免震用に実用化されていない。本報では長周期地震動の調査を基に、機構が単純なパッシブ型の速度感知式ダンパーを開発したので、ここに報告する。

2. 性能可変ダンパーの必要性能

2.1 開発方針

筆者らは戸建て免震住宅の耐震性能に関して、これまでの研究¹⁾で以下のポイントをつかんでいる。①免震層の性能のうち、粘性減衰の性能を上げることが、免震層変位を抑制しつつ、上部架構の応答も抑えることに最も

有効な手段の1つであること、②通常の免震システムでは、免震層の最大応答変位は免震層の応答速度と関係があること

そこで粘性減衰を有するオイルダンパーを用いて、速度に比例して2種類の抵抗力を発揮する2つの回路を持ち、速度感知の圧力弁によりその回路を切り替えることのできる装置を開発する。この装置を免震層に設置することで、設定した免震層応答速度より免震層の減衰性能が増し、速度が低下すれば元の減衰性能に戻るようになる。

2.2 長周期地震動調査

超高層建物、免震建物など長周期構造物の耐震安全性を検討するための予測地震動の調査収集が日本建築学会地震動小委員会により行なわれ、文献⁶⁾にまとめられている。本検討ではここで入手可能な地震波(予測地震波)のほかに、既往の観測波で長周期成分を多く含んでいる地震波、および免震応答が大きくなる地震波を表1の様に選択した。表中A,V,Dは各地震波の最大加速度、最大速度、最大変位を示す。なお、速度および変位波形への変換は、周波数領域積分(ハイパスフィルター:0.1Hz, コサインテーパー)により算定した。

表1 対象とした地震波

	地震波の名称	A (cm/s ²)	V (cm/s)	D (cm)
予測地震波 ⁶⁾	KAN-SAT-TOK-NS	244	24	16.2
	KAN-SAT-YKL-NS	499	34	17.9
	TOKTON-CHU-SAN-EW	186	51	20.4
	TOKTON-AIC-NST-EW	117	27	9.8
	TOKTON-AIC-SJB-EW	187	50	19.1
	NAN-KAM-OSA-NS	68	28	16.9
	NAN-KAM-WOS-EW	69	25	19.9
	NAN-SEKI8-FKS-NS	93	28	27.3
	NAN-SEKI8-OSK005-NS	88	13	11.1
	NAN-SEKI8-OSKH02-EW	58	27	24.5
観測波	Takatori-NS ⁷⁾	642	131	46.9
	Fukiai-NS ⁸⁾	802	124	45.6
	Tomakomai-HKD129-EW ⁹⁾	73	35	29.0
	Kawaguchi-EW ¹⁰⁾	1676	148	42.3
	Kashiwazaki-NIG018-NS ⁹⁾	667	109	55.0

2.3 戸建て免震システムからの要求性能

文献¹⁾と同様に、代表的な戸建て住宅の免震システム性能を表2のように設定し、1質点せん断型モデルの地震応答計算を行った。

表2 代表的な戸建て免震システムの性能

システム	摩擦係数	接線剛性	粘性減衰定数
転がり系(r)	$\mu=0.005$	$T_f=3s$	$h_v=25\%^*$
すべり系(s)	$\mu=0.05$	$T_f=4s$	$h_v=0\%$

* $T_f=3s$ 時の剛性 k_f 比例型

図1に最大応答変位Dと最大応答速度Vを示す(応答の小さいNAN波は省略した)。予測地震波ではすべり系、転がり系とも戸建て免震装置の一般的な限界変位35cm(以下、限界変位)を超えていないが、観測波ではすべり系、転がり系ともにTomakomai以外は限界変位を超える応答となっている。限界変位を超える地震波での免震層の最大応答速度は160cm/sから200cm/sにも達しており、入力よりも大きな速度で免震層が応答していることが分かる。

このような地震波に対しても過減衰気味にダンパーを配置すれば免震層変位は限界変位以内に抑制できるが、上部建物に大きな加速度を生じることになる。標準的な免震システムだけで免震層変位が限界変位内に収まる地震波に対しては追加する減衰は小さくて良い。そこで、装置の限界変位に収まっている地震波での応答速度をみると75.9cm/sの速度で31.3cmの変位なので、免震層の応答速度が50~60cm/s位から減衰力が大きくなるようなダンパーを設置することにより、免震層の応答変位を抑制することが必要となる。

3. 性能可変ダンパーの設計

免震層の応答速度に応じて性能が可変するダンパーの設計は、従来の免震層に組み込まれているダンパーとの交換も視野に入れながら設計する(ストローク $\pm 350mm$ 、最大減衰力35kN以下)。設定した速度のとき性能が変化する構造は、ダンパーの作動速度により変わるダンパー内部のオイルの圧力をパイロット圧力として使い、その圧

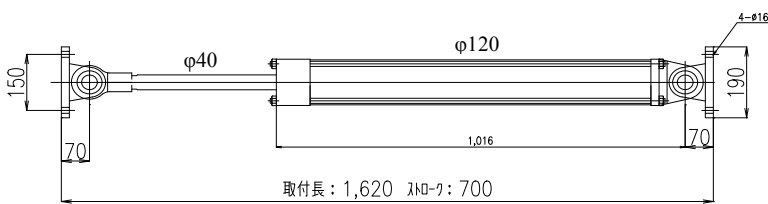


図2 装置図

構造：ユニフロー式
オイル：鉛油系油圧作動油

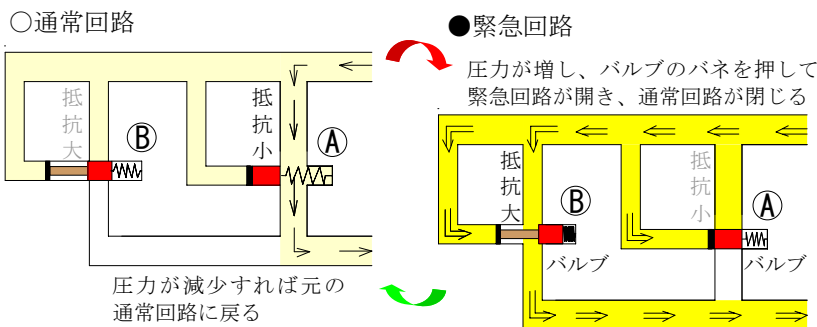


図3 機能概念図

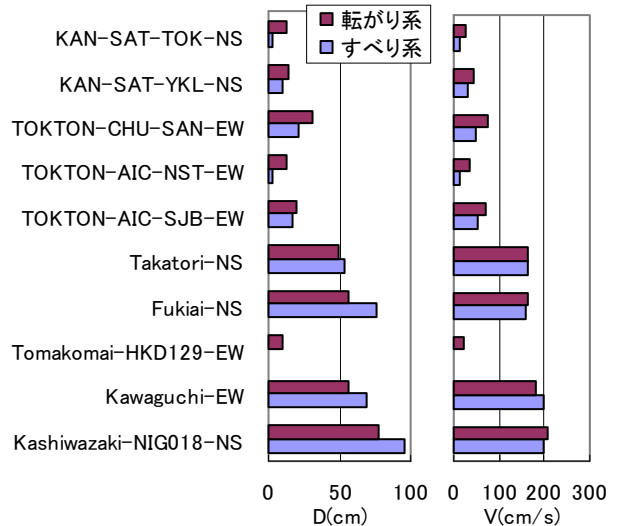


図1 代表的戸建て免震システムの応答

力で2つのバルブのバネを押すことで減衰の低い通常回路と減衰の高い緊急回路を切り替える機構を用いる。図2に装置図を、図3に機能概念図を示す。

図4には本ダンパーの性能設定例を示す。免震層の速度が増しP1からP2で性能が変化した後にはP3~P6の点線上を動く。免震層の応答変位抑制効果を見るため、免震層支持重量300kNのすべり系免震システムの1質点建物に、目標性能の装置を2基設置した場合のTakatori-NS波で応答を図5に示す。最大応答変位はダンパーを設けることで54.0→31.9cmと限界変位以内に収まる。

4. まとめ

その1では長周期地震動等の調査より性能可変ダンパーの必要性能を設定し、戸建て免震住宅用の速度感知式オイルダンパーを設計した。

参考文献はその2に記す。

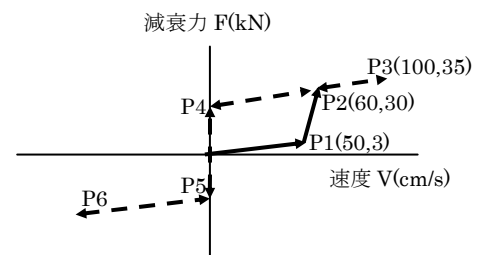


図4 性能可変ダンパー性能設定例

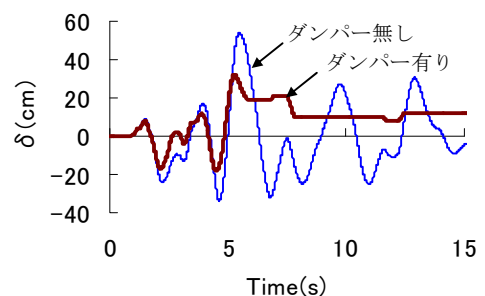


図5 性能可変ダンパーによる応答変位波形

*1 建築研究所 博士(工学)
*2 えびす建築研究所 代表取締役・博士(工学)
*3 えびす建築研究所

*1 Director, Building Research Institute, Dr. Eng.
*2 President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.
*3 Ebisu Building Laboratory Co.,