

過大変位抑制積層ゴムの開発

Development of Excessive Displacement Suppression Rubber Bearing

谷川 友秀
Tomohide TANIKAWA

福田 滋夫
Shigeo FUKUDA

加藤 直樹
Naoki KATO

吉田 聡*
Satoshi YOSHIDA

伊藤 敦*
Atsushi ITO

田代 靖彦*
Yasuhiko TASHIRO

吉澤 幹夫*
Mikio YOSHIZAWA

兵庫県南部地震以降、活断層調査や地震動の観測網と記録の充実、地震動計算手法や計算機の能力の発達などにより、近年ではより精度の高い地震動予測が可能となり、多数の地震動予測が行われている。近年の被害地震の強震観測記録では、周期帯によっては現在の設計レベルを大きく上回るものもみられる。また、地震動予測結果では、現行の建築基準法の規定に従って作成した超高層建築物等用の設計用地震動波形に比べ、その応答結果が大きく上回るものも多数提案されている。提案されている地震動で検討した際、通常の免震構造が想定している変位を上回り、建物が擁壁に衝突したり大変形により免震部材が破損する恐れがあり、免震構造採用の主目的である建物の機能維持に支障が生じる場合がある。このような課題に対応するため免震構造用の「過大変位抑制積層ゴム」の開発を行ったので報告する。

When it was examined by a maximal earthquake reported in late years, the displacement is exceeded that normal seismic isolation structure assumes, and a building collides to a retaining wall or a seismic isolation device might be damaged by large transformation, so a trouble may occur for the function maintenance that is a main purpose of the seismic isolation structure adoption. Therefore, we report it because we performed development of “The Excessive Displacement Suppression Rubber Bearing” for the seismic isolation structure.

1. はじめに

大阪府域においては、「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および耐震設計指針」^{1), 2)} (以下、大震研指針) が示されている。大阪府域を南北に走る上町断層帯が連なって全長 58 km にわたって同時にずれると想定し、35 ケースの地震発生シナリオを設定し 500 m メッシュ点における予測地震動を作成、32 ゾーンに分類された地域毎に 3A, 3B, 3C の 3 つのレベルでの設計用地震動波形が提示されている。

大震研上町断層波 (指針が推奨する 3B レベル) (図 1)、南海トラフを対象として作成した設計用地震動に対する内部粘性減衰 20% 時における変位応答スペクトルを示す (図 2)。いずれも大阪市北区周辺を想定した地震動波形であり、内部粘性減衰 20% は免震構造の免震層最大変位を推定するためである。3B レベルの地震動波形は、断層活動時の予測地震動波全体の 70% 程度を含んだレベルの地震動波形とさ

れている。

南海トラフを対象として作成した設計用地震動は、伊予灘を含まない東海・東南海・南海の 3 連動地震を対象として作成したものである^{3)~6)}。この変位応答スペクトルでは、通常の免震構造が想定している大地震時の固有周期帯の 4~6 秒程度では、図 2 に示す通り免震層の最大応答変位が 60 cm を超え、80 cm を上回ることもあり得ることがわかる。大震研指針では、このような巨大地震に対しては、擁壁への衝突を許容し衝突時の衝撃荷重等を考慮した設計や、積層ゴムアイソレータの破断時のフェイルセーフを考慮した設計法が示されている。しかしそのような設計法では、構造安全性は確保できるものの免震構造採用の主目的である機能維持については支障が生じる。

設計の対処法としては、①免震層の変形性能の向上、②ダンパー量 (ダンパーによる減衰量) の増強 等が考えられるが、①については、大径の積層ゴムアイソレータを使用し、それに応じたアイソレータ軸力となるように軸力を集約する必要が生じ、上部構造の構造計画・躯体費用に大きく影響を与える。②については、ダンパー量の増加に

* 株式会社日建設計

に伴い免震層の水平剛性が上昇し、免震効果が低減、再現期間の短い地震動での応答が悪化する等の問題が生じる。

中小地震から大地震、極大地震が発生した際に水平剛性を増加させ変形を抑制し建物の損傷を防ぐ為の部材が必要と考えた。

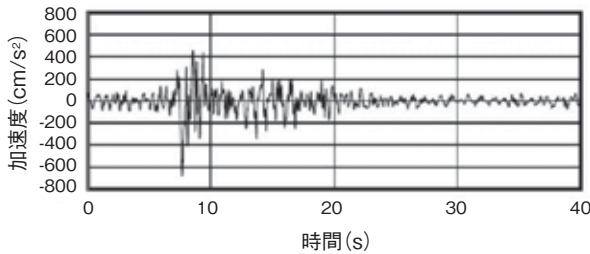
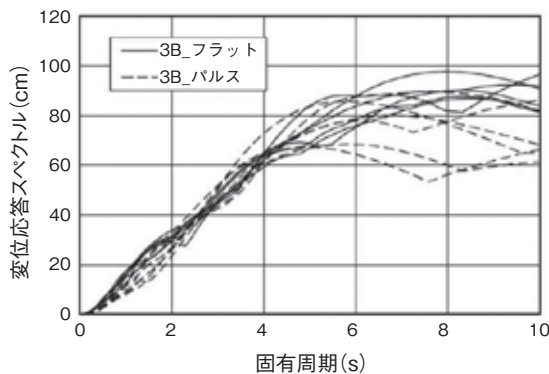
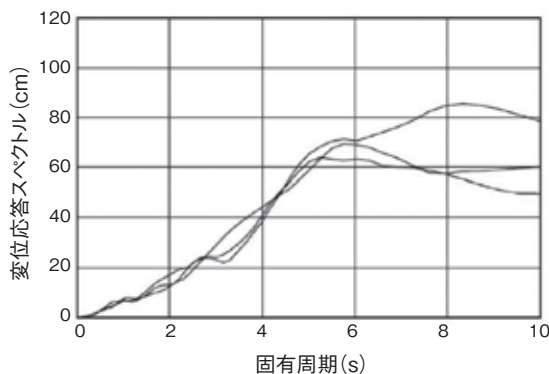


図1 大震研上町断層波 (A3ゾーン レベル3B)



(1) 上町断層帯地震の変位応答スペクトル (A3ゾーン, レベル3B)



(2) 南海トラフ地震の変位応答スペクトル (日建設計作成 大阪市北区想定)

図2 内部粘性減衰 20%時の変位応答スペクトル

2. 「過大变位抑制積層ゴム」の検討

これらの問題を解決するために、図3に示す「過大变位抑制積層ゴム」の開発を行った。主な特長は、以下のとおりである。

- 1) 大地震までで想定される応答変位を超える変位が生じた際、免震層の水平剛性を増加させ免震層の応答変位を抑制させる。

- 2) 水平全方向に対して等質で力学的特性が安定しているため、設置台数を最少にできる。
- 3) 既存の積層ゴムアイソレータの金型を用いて製作できるため比較的安価である。
- 4) 既存の免震建物にも容易に増設可能である。

この過大变位抑制積層ゴムを検討する際の基本方針は、

- ① 既存の積層ゴムの金型を使用する。
 - ② 建物を支えている柱以外の場所に自由に設置する。
 - ③ 柱以外の場所に設置することを前提としているため、硬いゴムを使用し設置個所を少なくする。
 - ④ 中小地震から大地震では機能せず、巨大地震が発生した時点から 400 mm 程度の変形を可能とした機構とする。
 - ⑤ 新規建物でも既存建物でも利用できる形状とする。
- 検討項目として考えられたのは、これまでの積層ゴムアイソレータの使用法と異なり上面が拘束されていない状態なので、

- ① 大きな傾斜が発生するか。
- ② 安定した水平剛性が発揮できるか。
- ③ 過大变位抑制積層ゴムが建物と衝突した衝撃でゴム部が破損しないか。
- ④ 衝突した時に安定した水平剛性が発揮されるか。
- ⑤ 設置した時の施工誤差で生じる隙間の差が傾斜に影響を与えるか。
- ⑥ 隙間による影響で過大に傾斜が生じて接触部分が外れてしまうようなことはないか。

等の確認を行う必要があると考え性能確認試験等を行った。

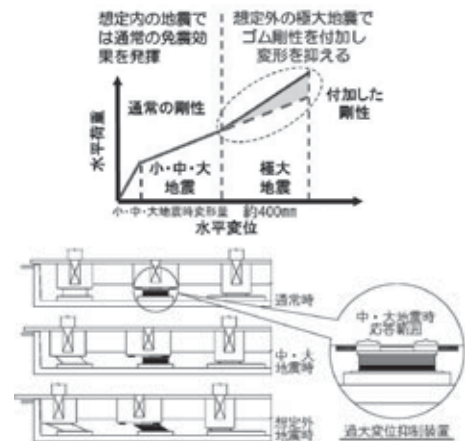


図3 過大变位抑制積層ゴムのイメージ

3. 過大变位抑制積層ゴムの静的試験

本部材は積層ゴム部の上面の回転が拘束されていない影響から、水平剛性の性能変化と曲げ変形に伴う傾斜発生が想定されたため、静的試験で安定した復元力が確保できるか、水平変形によりどの程度傾斜が発生するかの確認を実施した。試験体の形状・仕様を図4および表1に示す。φ100の試験体について図5に示す試験機、治具を用いて

実機を想定した試験条件表 2 の静的加力試験を実施した。片端を自由にした試験は手動で加力し、せん断ひずみ 50%毎にデプスゲージでフランジの傾きを測定した。

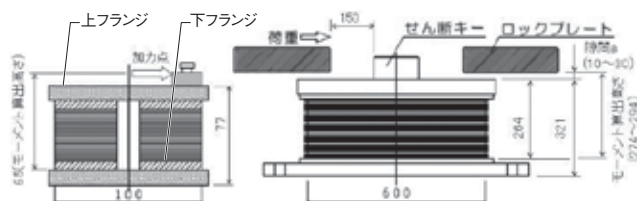


図 4 φ100 および φ600 試験体形状

表 1 φ100 および φ600 試験体仕様

項目	φ100 試験体	φ600 試験体
せん断弾性率 G (N/mm ²)	0.6	0.6
ゴム外径 D/内径 d	φ100/φ10	φ600/φ30
ゴム総高さ ntr	1.4 mm×14 層 = 19.6 mm	4.5 mm×26 層 = 117 mm
形状係数 S ₁ /S ₂	16.1/5.1	31.7/5.1

$S_1 = (D-d) / (4 \cdot ntr)$ $S_2 = D/ntr$

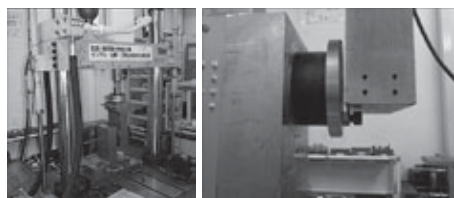
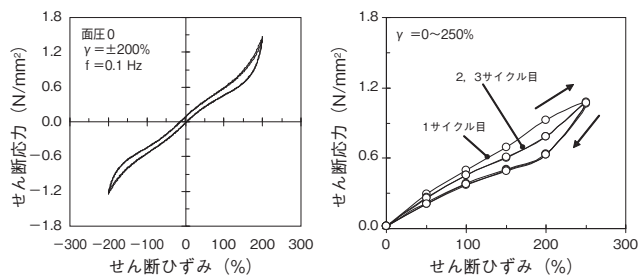


図 5 試験機及び試験体 (φ100 静的試験)

表 2 加力条件 (φ100 静的試験)

項目	試験条件
面圧 (N/mm ²)	0
せん断ひずみ γ (%)	50, 100, 150, 200, 250
繰返し回数	3 サイクル

積層ゴム上下フランジを試験機に固定して測定したせん断ひずみ $\gamma=200\%$ までのせん断応力-せん断ひずみ変位関係を図 6 a) に示す。図 5 のように片端を自由にして衝突ストッパーで加力した際のせん断応力-せん断ひずみ関係を図 6 b) に示す。片端フランジを自由にする事で発生した 1/50 を大きく超える回転により、せん断ひずみ 200% 時のハードニングが低下しているものと考えられる。同様にモーメント-回転角関係を図 7 に、回転角-せん断ひずみ関係を図 8 に示す。なお回転角とは自由端側のフランジ面の傾斜角 (rad) を示す。図 7, 図 8 は、1 サイクル目は大きな回転剛性を示すが 2 サイクル目以降の回転剛性は低下していることを示している。これより、回転角は 1/50 ~ 1/100 程度以下の領域での使用が安定的であることがわかる。



a) 上下フランジ固定 b) 上フランジ自由
図 6 せん断応力-せん断ひずみ関係

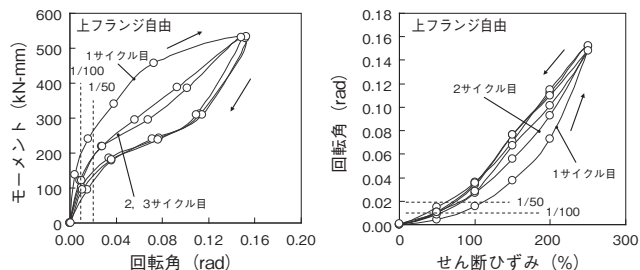


図 7 モーメント-一回転角関係 図 8 回転角-せん断ひずみ関係

φ100 試験体の静的試験結果をもとに、実機を想定した φ600 試験体を用いて静的試験を実施した。

試験は図 9 に示す試験機、治具を用いて 5 mm/s で加力した。せん断キーとロックプレートが接触するまでの隙間は 150 mm とし、自由端側フランジ面の回転角は接触式変位計によるフランジ 4 点高さ測定値から算出した。施工誤差や免震層の沈み込みクリープによる鉛直変位変化の影響を確認するため、ロックプレート高さを調節してロックプレート下面と積層ゴム上フランジ面との距離 (隙間 a) を変化した。加力条件を表 3 に示す。モーメントは図 4 に示す高さ (274 ~ 294 mm) から算出した。

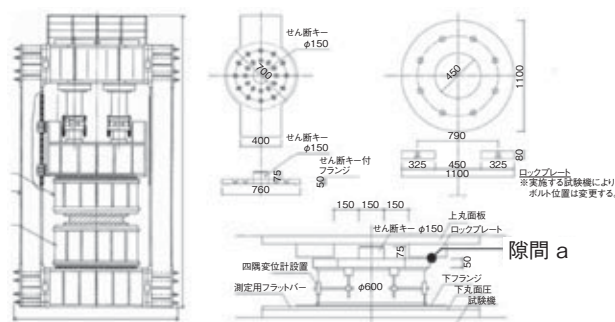
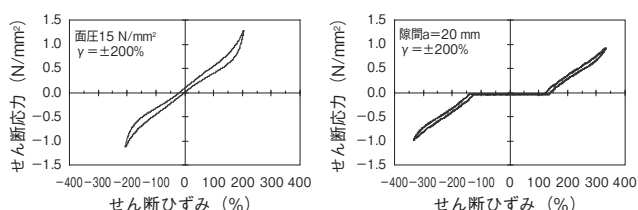


図 9 試験機と治具 (φ600 静的試験)

表3 加力条件 (φ600 静的試験)

ゴム部せん断ひずみ γ (%)	±100	±125	±150	±175	±200	
ゴム部せん断変形量 (mm)	±117	±146	±176	±205	±234	
試験機水平変形量 (mm)	±267	±296	±326	±355	±384	
隙間 a (mm)	10	①	②	③	④	⑤
	12	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
	15	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
	20	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
	25	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕
	30	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚

図10にせん断応力-せん断ひずみ関係を、図11、図12に回転角、モーメント、せん断ひずみの関係を示す。隙間20 mmせん断ひずみ200%時の最大回転角は0.027 radであった。



a) 上下フランジ固定 b) 上フランジ自由

図10 せん断応力-せん断ひずみ関係

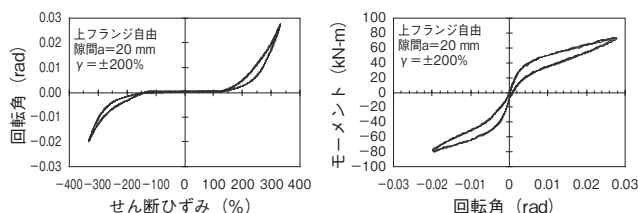


図11 回転角-せん断ひずみ関係

図12 モーメント-せん断ひずみ関係

今後の動的試験およびサイズ拡大に備えてFEM解析を行った。積層ゴム部は線形モデルおよびゴム材料の非圧縮性を考慮した超弾性モデル (Ogden-Model) を用いた。FEM結果と実測結果の比較を図13に示す。超弾性モデルを用いることで傾斜角の非線形を再現しており概ね良い対応を示している (図14、図15)。図16に部材上下金具とゴム部の境界面の応力を示す。鉛直方向応力の大半は端部に集中してバランスしていることがわかる。

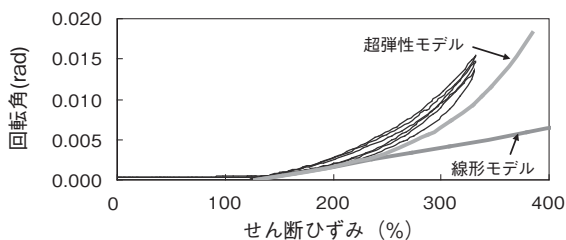


図13 実測値とFEM解析結果の比較

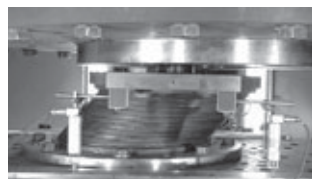
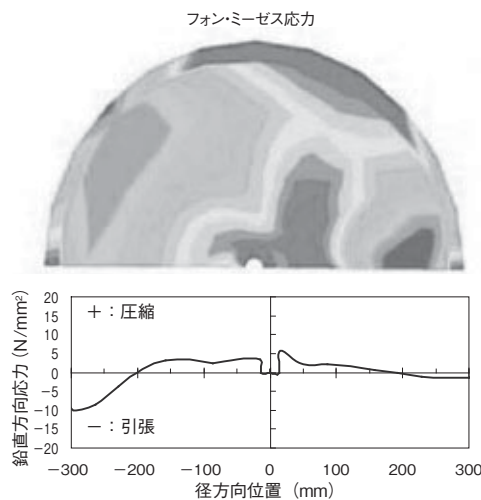


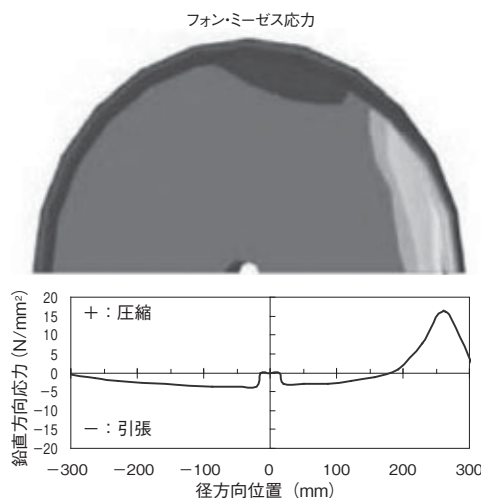
図14 実験写真



図15 応力分布



a) 上部鋼板下面



b) 下部鋼板上表面

図16 鋼板面の応力分布

4. 実大試験体の動的試験

試験体は静的試験を行ったφ600と同じものとした。試験機および取付け状況を図17に示す。試験機加振能力の制約から、せん断キーがロックプレートに接触した状態を加振変位中心とし片側のみ载荷する設定としたことにより、実機とは異なり加振時の最大速度でせん断キーとロックプレートが衝突する構成となった。積層ゴム上面の傾斜 (回転角) は静的試験と同様に4点の鉛直変位から算出した。表4に試験条件を示す。

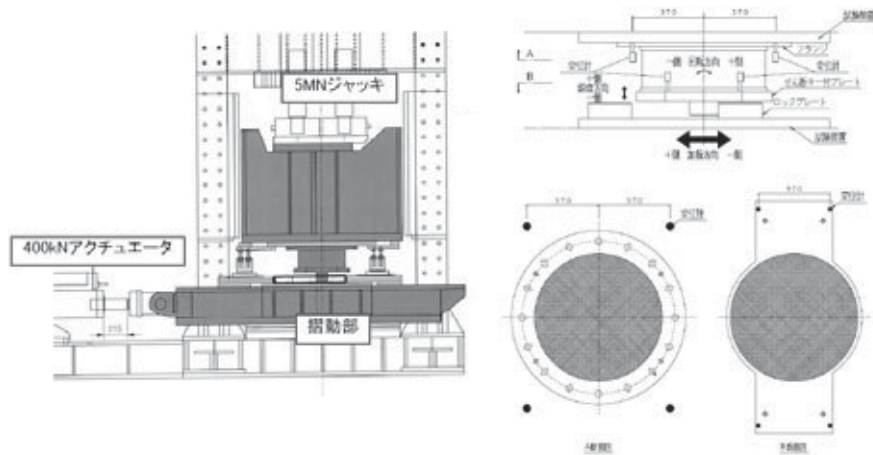


図 17 実大動的試験機と取付け状況

表 4 実大動的試験条件

隙間	せん断ひずみ (水平変形)			
	±50% (±58 mm)	±100% (117 mm)	±150% (±176 mm)	±200% (±234 mm)
10 mm		5 ①		
		10 ②		
		20 ③		
		50 ④		
		100 ⑤		
		200 ⑥		
		400 ⑦		
		600 ⑧		
		1000 ⑨		
20 mm	5 ⑭	5 ⑮	5 ⑰	5 ⑱
	400 ⑩	400 ⑫	400 ⑲	400 ⑳
	1000 ⑪	1000 ⑬	1000 ⑳	1000 ㉑
30 mm		5 ⑯		5 ㉒
		400 ⑰		400 ㉓
		1000 ⑱		1000 ㉔

表中の数字は試験最大速度 (mm/s) を示す。
○内の数字は試験順序を示す。
加力は正弦波とした。

隙間 20 mm 最大速度 400 mm/s 時のせん断応力-せん断ひずみ関係を試験結果代表例として図 18 に示す。

せん断キー接触後の応力-ひずみ関係はほぼ線形な特性を示している。せん断キーとロックプレートが最大速度で衝突する変位 0 mm 付近では、静的試験には見られなかった荷重の立ち上りがプラスマイナスの方向で認められた。

図 18 と同じ試験で計測された回転角-せん断ひずみ関係を図 19 に示す。せん断ひずみ 150% を超えると非線形性が強くなり、履歴曲線の往路と復路に差が生じている。最大回転角は約 0.02 rad であった。

表 4 に示す条件のうち最大せん断ひずみ 200% 試験のモーメント-回転角関係を図 20 に示す。図 20 で非線形性が現れる約 0.005 rad (せん断ひずみ約 150%) からモーメントの増加傾向が低下していることが読み取れる。図 21 には今回実施した試験全条件の最大モーメント-最大回転角関係を示す。微小回転角範囲にばらつきはあるものの、一定の回転角を越えると非線形性が現れる傾向を示している。

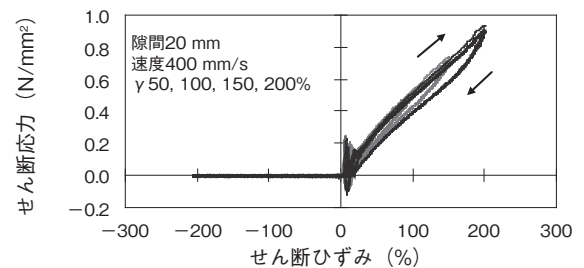


図 18 水平荷重-水平変位関係

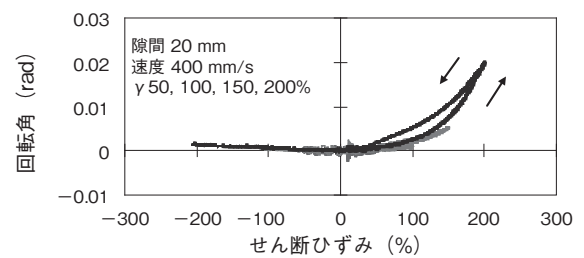


図 19 回転角-せん断ひずみ関係

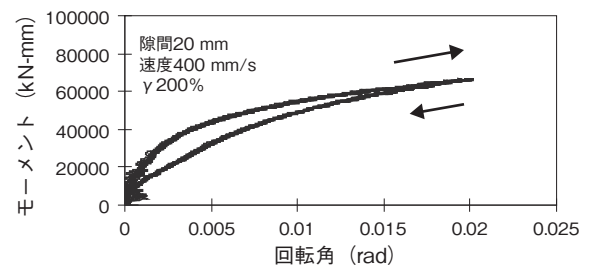


図 20 モーメント-回転角関係

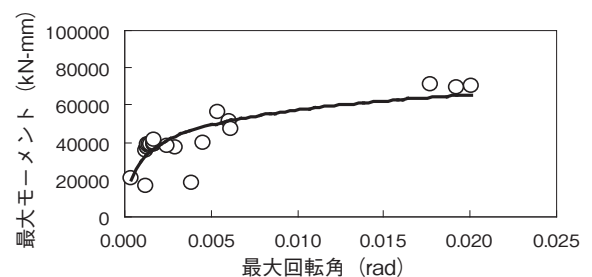


図 21 最大モーメント-最大回転角関係 (全試験)

ロックプレートと積層ゴムの鉛直方向の隙間は部材が機能するために重要な要素であり、免震建物の施工精度や鉛直クリープ現象、積層ゴム変形などの影響を受けることから、**図 22** の通り最大回転角 - 隙間関係を調査した。

隙間が大きくなると荷重作用点が上昇してモーメントも増加するが、回転角への影響はせん断ひずみの変化による影響が支配的であると考えられる。また最大回転角および水平剛性についても**図 22**、**図 23** に示す通り速度変化により大きな影響は受けないものと考えられる。

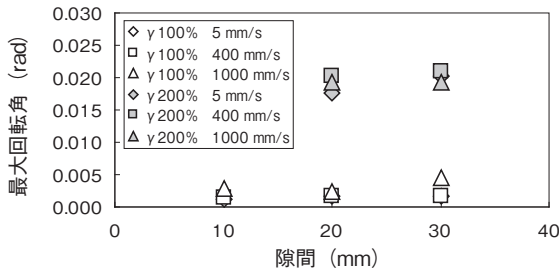


図 22 最大回転角－隙間関係

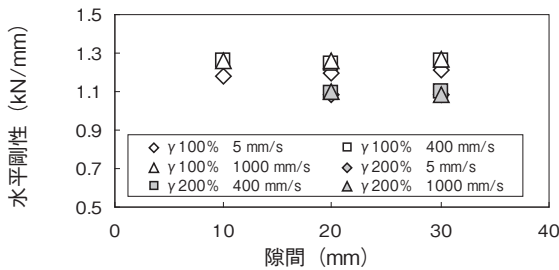


図 23 水平剛性－隙間関係

過大变位抑制積層ゴムは地震時にせん断キーとロックプレートが衝突を繰り返して機能する。このとき**図 24** のように水平荷重－せん断ひずみ関係に衝突荷重による立上りが計測された。今回の全試験条件で発生した衝突荷重の最大値と速度の関係を図 25 に示す。衝突荷重は速度と共に増加する傾向を示しているが、1000 mm/s で衝突した場合でも、積層ゴム部のせん断ひずみ 100% 程度時の水平荷重と同等であった。本部材の躯体取付け部の検討にあたる際は、使用範囲と想定されるせん断ひずみ時（200% 程度）に静的に生じる荷重をもとに検証することで特に問題ないものと判断される。

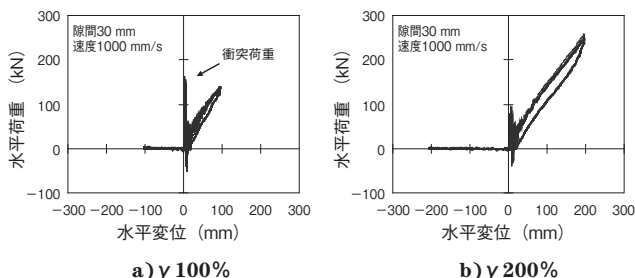


図 24 衝突時の水平荷重－せん断ひずみ関係

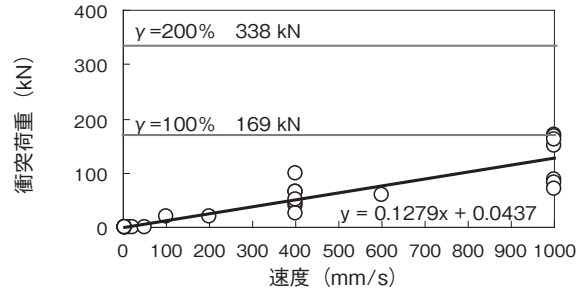


図 25 衝突荷重－速度関係

5. 変位抑制効果の検証

解析モデルは、免震構造設計指針¹⁾ 第三版の p.315 に示される基礎免震の 6 階建て建物とする。振動解析に用いる解析モデルは 1 層を 1 質点とした串団子モデルとする。各層質量および剛性を**図 26** に示す。上部構造の各階は弾性とする。

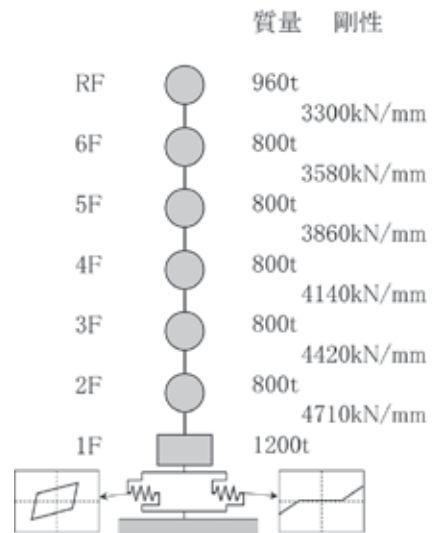


図 26 解析モデル

本モデルの基礎固定時の固有周期は $T_0 = 0.37$ 秒となる。免震層の特性は、一般的な免震建物を想定し、**表 5** に示す積層ゴムのみによる固有周期 T_i を 4 秒と 5 秒の 2 種類、ダンパー耐力の上部重量に対する比は 4% の 1 種類とする。過大变位抑制積層ゴムは、**表 6** に示す特性とする。パラメータとしては、積層ゴムが効きはじめるオフセット変位と設置基数とする。

表 5 免震層の特性

アイソレータ	剛性	$T_i = 4.0$ s	15.2 kN/mm
		$T_i = 5.0$ s	9.73 kN/mm
ダンパー ($\alpha_y = 4.0\%$)	一次剛性	87.5 kN/mm	
	二次剛性	15.1 kN/mm	
	降伏せん断力	2415 kN	

表 6 過大変位抑制積層ゴムの特性

過大変位抑制積層ゴム	外径	1500 mm
	せん断弾性率	G6
	ゴム総高さ	203.4 mm
	水平剛性	5.2 kN/mm
	オフセット変位 (効きははじめ変位)	300 mm
		400 mm
		500 mm
設置基数	1, 2, 4 基	

検討用地震動としては、大震研指針で示される上町断層波とし、入力レベルは指針が推奨する 3B レベル (予測地震波全体の 70% 程度を包含するレベル)、地域としては大阪市北区・中央区西側を想定した A3 ゾーンとする。

入力地震動の最大加速度・最大速度を表 7 に示す。変位応答スペクトルは図 1 に示している。地震波名の B1 はフラットタイプを、B2 はパルスタイプを示す。

応答解析に用いる減衰定数は上部構造に対して 3%、免震層に 0% の剛性比例型減衰とする。

表 7 入力地震動の最大加速度

地震波名称	時間 (s)	最大加速度 (mm/s ²)	最大速度 (mm/s)
UMTA3_B1NS1	40.95	5940	1016
UMTA3_B1NS2	40.95	5150	1364
UMTA3_B1NS3	40.95	6060	1421
UMTA3_B1EW1	40.95	6650	1581
UMTA3_B1EW2	40.95	6780	1134
UMTA3_B1EW3	40.95	5260	1499
UMTA3_B2NS1	40.95	3350	779
UMTA3_B2NS2	40.95	4070	900
UMTA3_B2NS3	40.95	3690	784
UMTA3_B2EW1	40.95	3070	1046
UMTA3_B2EW2	40.95	3100	876
UMTA3_B2EW3	40.95	3170	1183

応答解析結果を表 8、表 9 にまとめて示す。表 8 は免震層周期 T_f が 4 秒の結果を、表 9 は 5 秒の結果を示す。過大変位抑制積層ゴムを用いない場合に対して、基数を増やすと最大変位は小さくなり、最大加速度および免震層せん断力が増大していることがわかる。変位抑制効果はオフセット変形が小さいほど大きく、最大で 12% の抑制効果が得られた。

表 8 応答結果 ($T_f = 4.0$ s)

オフセット (mm)	基数	最大変位 (mm)	最大加速度 (mm/s ²)	最大せん断力 (kN)
抑制装置なし		791	2570	15616
300	1	742 (0.94)	2824	17085
	2	708 (0.90)	3132	18472
	4	708 (0.90)	3759	22712
400	1	761 (0.96)	2824	16986
	2	729 (0.92)	3022	18003
	4	714 (0.90)	3643	20850
500	1	775 (0.98)	2743	16783
	2	759 (0.96)	2915	17768
	4	729 (0.92)	3242	19303

() 内は過大変位抑制積層ゴムなしに対する応答低減率を示す

表 9 応答結果 ($T_f = 5.0$ s)

オフセット (mm)	基数	最大変位 (mm)	最大加速度 (mm/s ²)	最大せん断力 (kN)
抑制装置なし		842	1946	11853
300	1	798 (0.95)	2347	13949
	2	794 (0.94)	2768	16451
	4	741 (0.88)	3449	19896
400	1	812 (0.96)	2264	13668
	2	803 (0.95)	2601	15611
	4	780 (0.93)	3259	19049
500	1	828 (0.98)	2202	13412
	2	811 (0.96)	2448	14739
	4	803 (0.95)	3019	17714

() 内は過大変位抑制積層ゴムなしに対する応答低減率を示す

図 27 には、一例としてオフセット変形 300 mm、基数 2 基の場合の免震層の履歴曲線を装置なしの場合と比較して示す。地震波は表 7 の UMTA3_B2NS1 である。300 mm より装置が働き、剛性が急増しているのがわかる。

図 28 は、オフセット変形 300 mm の場合の基数の違いによる応答加速度とせん断力の最大値包絡線を示す。基数が増えるほど、加速度・せん断力ともに大きくなるのがわかる。

本装置を使用しない条件で、オフセット 300 mm・基数 2 と同等の応答変位とするためには、ダンパー量 αy は現状より 2 割増の $\alpha y = 4.8\%$ とする必要がある。極大地震対応のためにダンパー量を増やすことは、大地震まででの応答を悪化させることに繋がるため、大地震まででの応答に影響がない本装置の優位性が認められる。

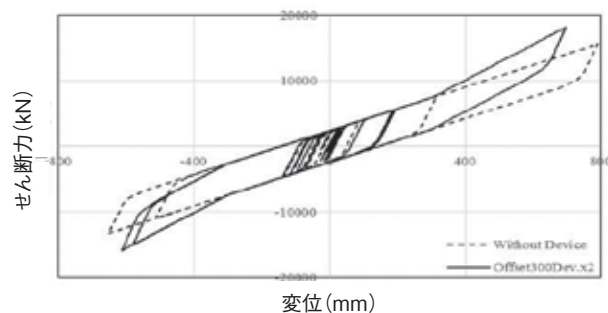
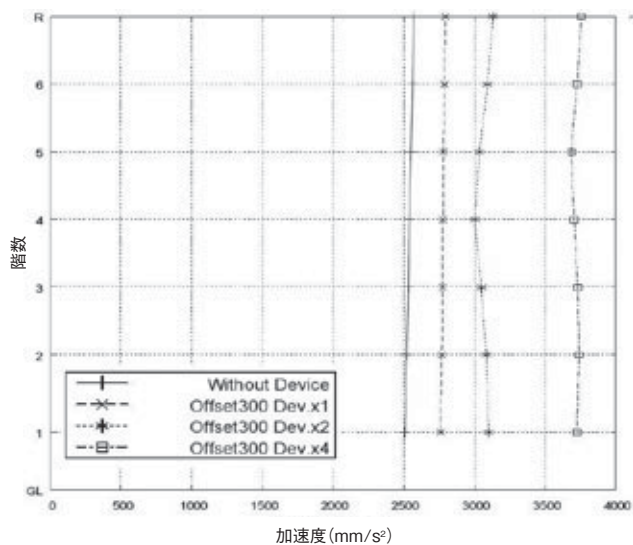
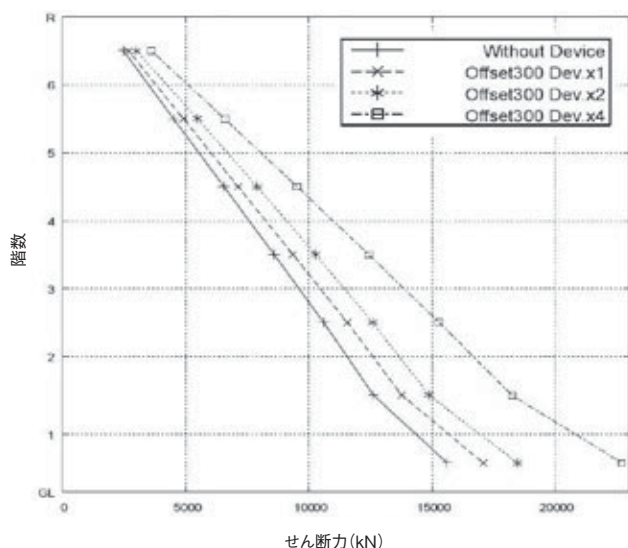


図 27 免震層の履歴曲線の例 ($T_f = 4.0$ s, B2NS1)



a) 最大応答加速度



b) 最大応答せん断力

図 28 装置数の違いによる最大応答値包絡線 ($T_r = 4.0$ s)

- ①変位抑制効果は最大で 12%程度得られた。
- ②レベル 2 応答に影響のない範囲のできるだけ小さい変形から効かせることで大きな応答低減効果が得られる。
- ③変位抑制装置の基数増による系の剛性増大により、抑制効果よりも加速度およびせん断力応答の増が問題となる場合があり、適正量の見極めが必要である。

今回開発した過大变位抑制積層ゴムは以下の特長を有しており建築基準法の規定を上回る巨大地震に対応する免震デバイスのひとつとして今後の使用拡大を期待している。

- 1) 大地震時の応答変位を超える変位が生じた際、免震層の水平剛性を増加させ免震層の応答変位を抑制させる。
- 2) 水平全方向に対して等質で力学的特性が安定しているため、設置台数が最小とできる。
- 3) 既存の積層ゴムアイソレータの金型を用いて製作できるため比較的安価である。
- 4) 既存の免震建物にも容易に増設可能である。

6. ま と め

過大变位抑制積層ゴムの開発を行って 2 種類の静的な加力試験を行い、想定どおりの動作を確認した。上端を固定していない状態でも安定した復元力が認められた。また今後のサイズ拡大に備えて FEM 解析も行い、性能を再現できるモデルであることを確認した。

動的試験の結果から速度の違い (5 ~ 1000 mm/s) による自由端フランジの回転角の変動幅はせん断ひずみ 200% 時で 10% 程度、水平剛性の変動幅は 5% 程度とわずかである。

速度 1000 mm/s 時の衝撃荷重はせん断ひずみ 100% 程度の静的荷重値程度以下であり、使用上特に問題にならないものとする。以上から免震建物の過大变位抑制積層ゴムとして使用する上で問題のないことを確認した。

応答解析の結果、以下のことが得られた。

参考文献

- 1) 大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動及び設計法に関する研究会
 - 2) 多賀謙蔵, 亀井功, 角彰, 近藤一雄, 林康裕, 宮本裕司, 井上一朗他: 上町断層帯地震に対する設計用地震動ならびに設計法に関する研究 その1~その7
 - 3) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その1 位相差分分布と地震動経時特性の関係に関する理論的背景, 日本建築学会構造系論文集, 第553号 pp.49-56, 2002.3
 - 4) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その2 位相差分分布と震源・伝播・地盤特性の関係に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第559号, pp.55-62, 2002.9
 - 5) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その3 ω^2 モデルに基づいた地震動評価手法, 日本建築学会構造系論文集, 第572号, pp.55-64, 2003.10
 - 6) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その4 ω^2 そのモデルで規定したフーリエ振幅と位相差分の標準偏差を基準として選択したフーリエ位相を用いた模擬地震動作成手法, 日本建築学会構造系論文集, 第590号, pp.45-53, 2005.4
 - 7) 日本建築学会編: 免震構造設計指針 第3版(第IV編 設計資料編, 第4項 4.2), 2001年
 - 8) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その1) 開発の背景と装置の概要, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
 - 9) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その2) 縮小体および実大試験体の静的試験, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
 - 10) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その3) 実大試験体の動的試験, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
 - 11) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その4) 変位抑制効果の検証, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
- 昭和電線デバイステクノロジー(株)
谷川 友秀 (たにかわ ともひで)
営業部 免制震営業課 営業技術グループ長
- 昭和電線デバイステクノロジー(株)
福田 滋夫 (ふくだ しげお)
免制震制音事業部 免制震部 技術課長
- 昭和電線デバイステクノロジー(株)
加藤 直樹 (かとう なおき)
取締役 免制震制音事業部長
- 株式会社日建設計
吉田 聡 (よしだ さとし)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
主管
- 株式会社日建設計
伊藤 敦 (いとう あつし)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
主管
- 株式会社日建設計
田代 靖彦 (たしろ やすひこ)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
構造設計部長
- 株式会社日建設計
吉澤 幹夫 (よしざわ みきお)
博士(工学)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
構造設計部長