

# 免震ビル向け フルード粘性ダンパー

国土交通省大臣認定品

建築物免震材料 認定番号：MVBR-0262

フルード粘性ダンパーは1955年より航空宇宙・軍事マーケットで振動吸収装置メーカーとして製造してきた米国の製品である。冷戦時代において米国政府の要求に応じて核爆発が起こればサイロの中のMXミサイルを守れるショックアブソーバーの製造など、最先端での軍事技術開発における試験を行い実証されている。また、米国内に留まらず日本及び世界の地震国で採用され、地震対策のみならず、風対策やさまざまな外乱に対する対策としても採用されている。フルード粘性ダンパーはメンテナンス不要であり、温度依存性やその他の各種依存性が極めて小さい。周期的な流体交換の必要もない。また地震や強風の際、構造物の応力とたわみの両方を減少させ、速度応答に大変優れている。本製品は既存構造物のレトロフィットから新築の構造物まで容易に設置可能である。

## 基本原理と基本性能

### 1)原理・基本構造

粘性流体を充填したシリンダーとピストン機構で流体をオリフィスから噴流させる。このとき発生する抵抗力によりエネルギー吸収をはかる。そして吸収した外乱エネルギーは、熱エネルギーに変換され流体の温度上昇として現れ、シリンダー表面より大気へ放出する。「図-1」

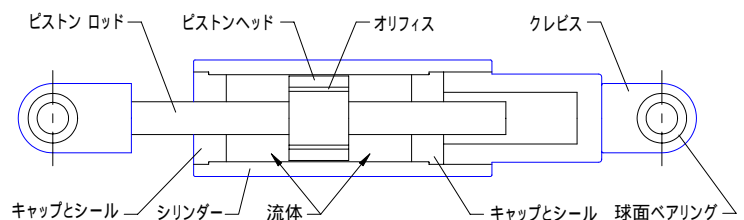


図-1

### 2)基本性能

フルード粘性ダンパーの減衰抵抗機能は以下の等式で表す。

$$F = C V \quad \dots (1)$$

F:減衰力 C:減衰係数 V:速度 = 0.3 ~ 1.0 (現在、大臣認定済品は0.38)

Wで等価減衰係数  $C_{eq}$  を算出。

$$C_{eq} = W / \pi \cdot \omega \cdot a^2 \quad \dots (2)$$

$\omega = 2 \cdot \pi / T$  a:片振幅 T:加振周期



図-2 製品姿絵



明友エアマチック(株)

〒222-0033

横浜市港北区新横浜2-12-2

免制震デバイス課

TEL 045-473-1881

### 3)性能の依存性

温度依存性：殆どなし、通常この依存性は無視できる。

振動数依存性：殆どなし、通常この依存性は無視できる。

繰返し依存性：殆どなし、通常この依存性は無視できる。

#### 温度依存性

フルード粘性ダンパー内で使用しているシリコン流体は、温度において大変に安定している。フルード粘性ダンパー特性として明確な温度依存性はなく、通常この依存性は無視できる。「図-3」

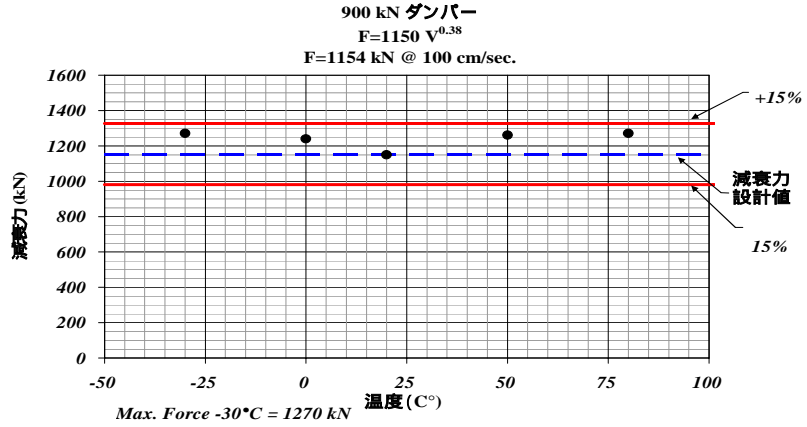


図-3 減衰力-温度の関係

#### 振動数依存性

フルード粘性ダンパーは、免震として使用される領域での振動数における依存性は殆どなく、通常この依存性は無視できる。「図-4」

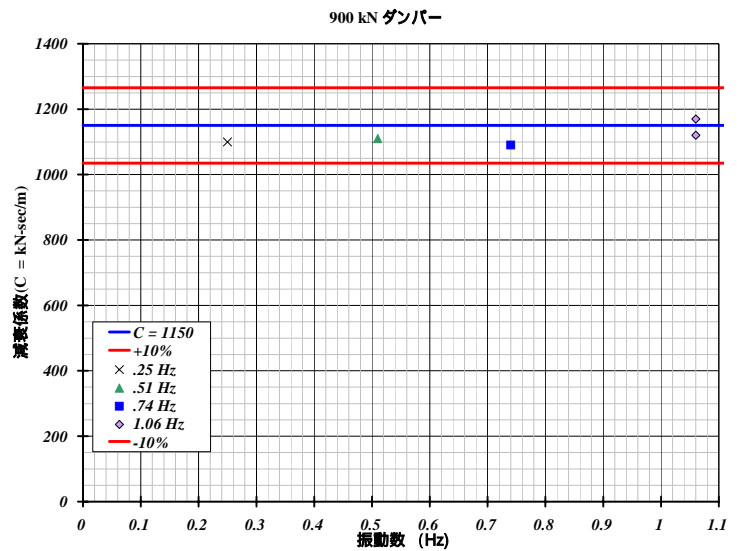


図-4 減衰係数-振動数の関係

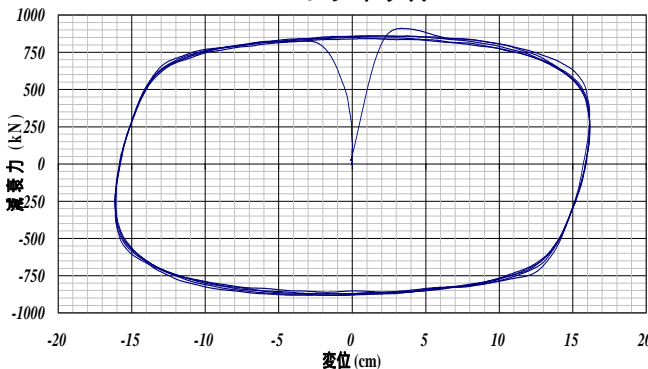
#### 繰返し依存

図-5 は1サイクルから 250 サイクル加振した変位と減衰抵抗力を表したループである。地震動で想定される繰返し回数ではほとんど変化が見られない。全ての繰返しにサイクルにおいて、おおむね安定した減衰抵抗力を発揮する。

#### 900kN ダンパー

振動数 = 0.51Hz 正弦波入力

1 - 6 サイクル



246 - 249 サイクル

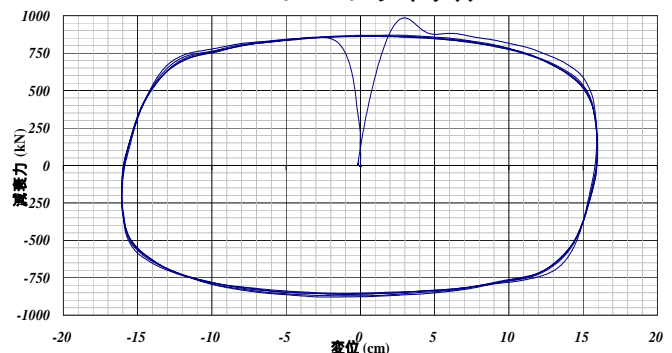


図-5 繰返しサイクルにおける減衰抵抗力限 変位

#### 4) 限界性能

##### (1) 限界性能

###### 限界速度

本結果は油圧アクチュエータの能力限界である、加振速度 2m/秒での加振試験結果である。また、限界速度の参考試験として落下試験を行い5m/秒相当の実験を実施し、異常の無きことを確認している。「図-6」

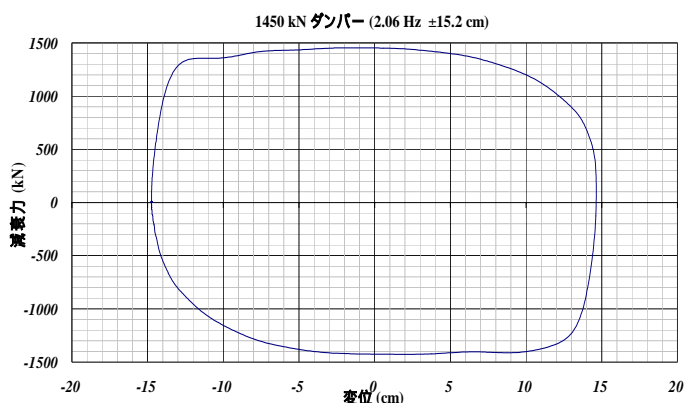
###### 抵抗力 - ストロークの履歴ループ

減衰抵抗力 1450 kN      等価減衰係数：1,120 kN - s/m

指数：0.38

限界速度：2 m/sec

余弦波入力



サイクル	圧縮方向		引長方向	
	速度	抵抗力	速度	抵抗力
	(cm/sec)	(kN)	(cm/sec)	(kN)
1	190.5	1453.9	201.4	1427.3

図-6 限界速度における履歴ループ とデータ

###### 限界変形

フルード粘性ダンパーは構成されているピストンロッドやシリンダー等の部品によって変形量(ストローク)が決まる。認定品ごとに、限界変形量が定められている。「図 5.1.2-7」

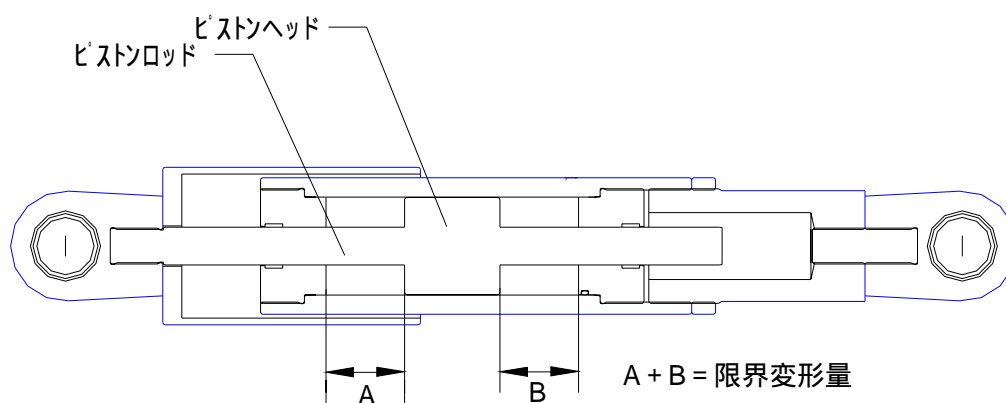


図-7 限界変形量

## 温度変化

初動時はフルード粘性ダンパーの温度が上昇する傾向があるが、発熱と放熱が均衡した際温度上昇は止まり安定する。「図-8」ダンパー温度は約70℃以上にならないように考慮しなければならない。ダンパー温度がその温度以上になればポリマーシールより流体漏れの原因となりうる。

免震部材大臣認定品 900 kN ダンパー

振動数 0.25Hz、振幅±27mm 繰り返し回数 10分間 = 150 サイクル

シリンダー表面温度：試験始め 21.1℃ 試験時最大 42.5℃

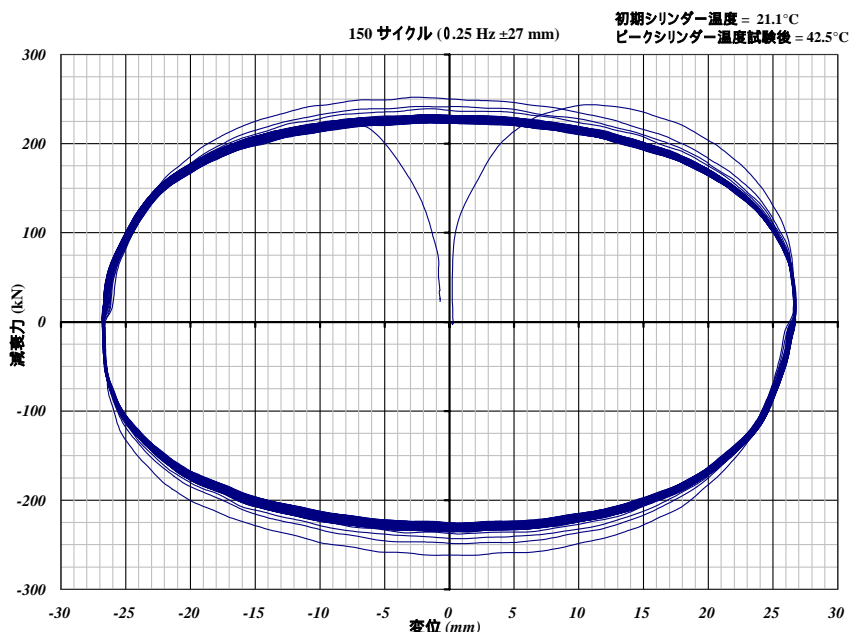


図-8 150 サイクル実験におけるループとピーク温度

## 設計上の取り扱い

減衰力特性は  $F = CV$  の減衰抵抗力と速度の関係式で表し、一般的にフルード粘性の力学モデルは Kelvin モデルや Maxwell モデルを基礎においたものである。フルード粘性ダンパーの力学的モデルはダンパー装置を表すダッシュポット (C : Maxwell モデル) となる。

フルード粘性ダンパーの装置剛性 (K) はモデル化する上で無視できる。「図-9」

フルード粘性ダンパーの剛性は、ダンパーを構造体に接続する鋼製部品の剛性に対して極めて高い。従って、接続側の剛性を適確に決定する事が重要となる。

フルード粘性ダンパーに付加するブレース等がある場合には付加ブレース等の弾性剛性 (K) を考慮する必要がある。「図-10」

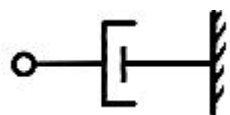


図-9 ダンパー (C)

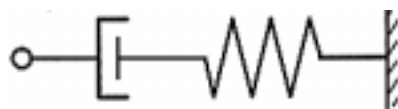


図-10 ダンパー (C) と付加するブレース等 (K)

## 製作管理

### 1) 製品許容性能

動的試験時において引張時と圧縮時における各1サイクル目、2サイクル目、3サイクル目が設計値に対して各々のサイクル共に減衰抵抗力 $\pm 15\%$ 以内が標準。

### 2) 製品形状寸法バラツキ

図面に記載される寸法公差内とする。

### 3) 標準出荷試験項目として

設計減衰力・設計速度で試験： 全数

フルード粘性ダンパー内部に高圧を加えるフルード洩れ耐圧検査： 全数

主寸法の測定検査(製品ピン間長、シリンダー径等)： 全数

製品外観検査(傷、錆び、塗装状態等)： 全数

その他の試験に関しては必要に応じて設計者と協議の上で決定する。

## 施工・維持・管理

### フルード粘性ダンパー設置

フルード粘性ダンパーは設置用タンクプレートないしブラケットにて設置ピンを用いて設置する。

### フルード粘性ダンパー設置後の点検

フルード粘性ダンパー設置後、製品が正常に機能出来るような状態になっているか外観目視点検を行う。目視点検内容は外観損傷、塗装のはがれ、フルード漏れ、設置ピンの状態、ボルトの緩みの点検である。

### フルード粘性ダンパー設置後の養生

フルード粘性ダンパー設置後は外部から損傷等を受けないように養生を施すこと。

### フルード粘性ダンパーの定期点検

ダンパーの寿命の間は完全なメンテナンスフリーとなる設計がされている。フルード粘性ダンパーでは、定期保守や定期点検を依頼、要求、推奨することは一切ない。しかしながら、オーナーの規定する耐震の安全マニュアルで定期点検を必要とする場合には、JSSI 免震建物の維持管理基準 - 2004 - に倣うほか、以下の手順を実施する。

表-1 フルード粘性ダンパー点検手順

1.	フルード粘性ダンパーが容易にアクセスできる場所に取り付けられていない場合には、目視検査が容易にできるように、ダンパーが取り付けられている場所にアクセスパネルを設ける。アクセスパネルは、ダンパー全体の半分以上、あるいは可能であれば全体を目視検査できるように取り付けなければならない。
2.	検査は約2年おき、あるいはかなり大きな地震が発生したあとに実施し、フルード粘性ダンパーの状態（即ち、きれいか、汚れているかなど）を文書に記録しておく。
3.	フルード粘性ダンパー周囲の目視点検を実施して、フルード粘性ダンパーの正常な機能を阻害する、あるいは損なう異物がないかどうかを確認する。
4.	フルード粘性ダンパーの目視点検を実施する。フルード粘性ダンパーがストローク、または力に関して、オーバーロードを起こしていると、以下の現象の何れかを容易に観察することができる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. フルード粘性ダンパーの外側にはっきりとした大量の継続的なフルード漏れが観察される。</li> <li>b. フルード粘性ダンパーの端部に取り付けられているベアリングにはっきりと識別できる緩み、または遊びが認められる。</li> </ul>

#### その他の点検

取付けの前にフルード粘性ダンパーの目視点検を実施して、輸送時、保管時、または取扱い時に明らかな損傷が起こっていないかどうかを確認することを推奨する。また地震発生後は、上記の内容の点検を行うことを推奨する。



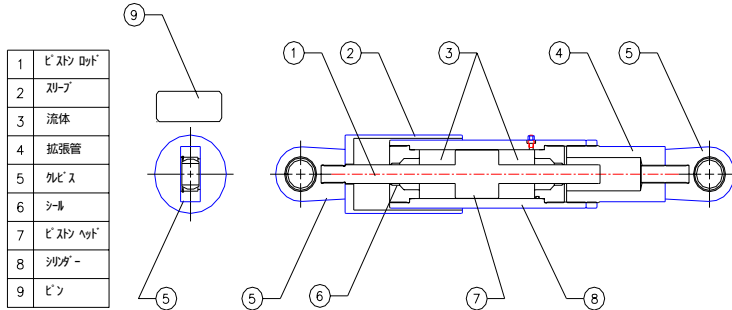
図-11 フルード粘性ダンパー球面ベアリング図と免震設置事例

## 認定形式と試験内容の一覧

免震ビル向け フルード粘性ダンパー

国土交通省大臣認定品 建築物免震材料 認定番号：MVBR-0262

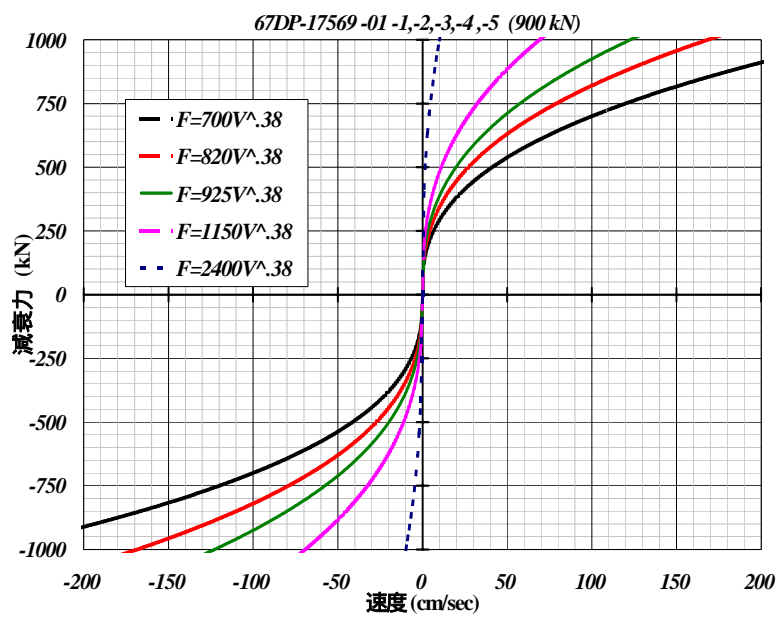
免震材料概要図



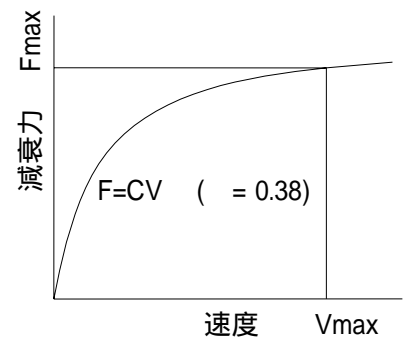
### 1. 性能

テイラーフルード粘性ダンパーの減衰機能は以下の等式で表す。

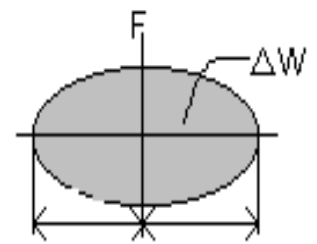
$$F = C V \quad (F: \text{減衰力} \quad C: \text{減衰係数} \quad V: \text{速度} \quad : \text{指数})$$



減衰抵抗力(F) - 速度(V)と減衰係数(C)の関係

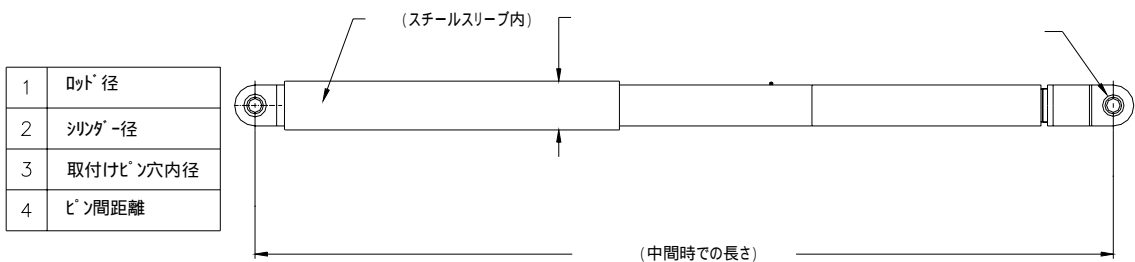


減衰抵抗力と速度の関係



変位 - 減衰力のループ線図

### 2. 限界変形と表示寸法



国土交通省 大臣認定品 建築物免震材料 認定番号：MVBR-0262

項目	(単位) モデル	FVD900-800-038		FVD1450-610-038	
		_**** (****は減衰係数C値)		_**** (****は減衰係数C値)	
材料の構成	ピストンヘッド	スチール ASTM 規格			
	ピストンロッド	ステンレス スチール AMS又はASTM 規格			
	両端ピン	ステンレス スチール AMS又はASTM 規格			
	シリンダ	スチール ASTM 規格			
	作動油	シリコン流体			
各部の形状・寸法	ロッド径 (mm)	75.7		75.7	
	最大外径 (mm)	280		337	
	取付けピン穴内径 (mm)	69.85		76.20	
	ピン間距離 (mm)	4,800		3,753	
限界性能	限界変形 (mm)	~ ± 800		~ ± 610	
	荷重履歴 F=抵抗力、V=速度、 C=減衰係数、 = 指数	$F = C V$			
	限界速度 (m/sec)	2.0		2.0	
	最大抵抗力 (kN)	900		1,450	
水平性能 (抵抗力-速度の関 係)	性能種別	非線形			
	指数	0.38		0.38	
	等価粘性減衰係数C (kN-s/m)	700 ~ 2,400 (ユーザー指定で製作)		1,120 ~ 3,700 (ユーザー指定で製作)	
製造ばらつき	Cのばらつき	± 15 %			
水平性能変化率	温度依存性	明確な温度依存性はなく無視できる。			
	繰り返し耐久	250サイクル試験で明確な変化はなく繰り返し耐久は問題ない。			
防錆	外周塗装 (mm)	0.06			

## 試験実施項目

		試験体数	シリアルNo#	振動数(Hz)	ストローク(± cm)	最大速度(cm/sec)	最小速度(cm/sec)	サイクル数	試験温度( )			
900 kN S/N001&002 =0.38 C = 1150 (kN-sec/m)	動的荷重試験	2基.	001	0.25	16.50	25.60	25.10	5	22			
				0.51	16.50	54.90	44.50	5	23			
				0.74	16.50	103.40	68.60	3	20			
				1.06	16.50	107.30	105.50	1	21			
				1.06	22.86	130.60	129.00	1	22			
				0.25	16.50	26.10	25.60	5	-2			
				0.51	16.50	62.10	47.30	5	-6			
				0.74	16.50	89.20	69.50	3	-8			
				1.06	16.50	102.30	101.30	1	-12			
			1.06	22.86	118.70	115.00	1	-4				
			0.25	16.50	27.00	25.30	5	53				
			0.51	16.50	60.00	43.80	5	53				
			0.74	16.50	87.30	65.40	3	52				
			1.06	16.50	103.70	102.80	1	51				
			1.06	22.86	116.20	116.00	1	52				
			0.25	16.50	26.40	25.10	5	21				
			0.51	16.50	66.70	50.90	5	21				
			0.74	16.50	91.00	69.00	3	21				
	1.06	16.50	106.10	99.30	1	21						
	1.06	22.86	131.30	127.30	1	21						
	大ストローク試験	2基.	001	0.18	46.00	49.30	48.80	1	21			
			002	0.18	46.00	49.90	49.40	1	22			
	耐久試験	1基.	001	0.51	16.50	60.30	44.50	250	22-23			
	全ストローク試験	2基.	001	0.00013	80.00	0.05	0.03	1	21			
			002	0.00013	80.00	0.05	0.03	1	21			
	静的耐圧試験	2基.	001, 002	最低3分間、ダンパーに103,500kPaの圧力をかける。								
900 kN C = (kN*s/m) S/N1 = 700 S/N2 = 820 S/N3 = 925 S/N4 = 1150 S/N5 = 2400  =0.38	動的荷重試験	5基.	1	0.80	12.70	66.40	59.40	3	常温			
				1.60	12.70	124.60	110.10	3	常温			
				2.04	15.20	191.90	183.20	1	常温			
				0.53	12.70	47.80	39.70	3	常温			
				1.05	12.70	96.10	71.60	3	常温			
				1.34	15.20	125.30	120.20	1	常温			
			3	0.38	12.70	30.40	29.50	3	常温			
				0.77	12.70	74.80	54.40	3	常温			
				0.97	15.20	89.00	87.80	1	常温			
				0.22	12.70	18.00	16.90	3	常温			
			4	0.44	12.70	38.40	33.00	3	常温			
				0.56	15.20	51.90	51.70	1	常温			
				0.03	12.70	2.50	2.40	3	常温			
				0.06	12.70	4.90	4.80	3	常温			
			5	0.08	15.20	7.50	7.50	1	常温			
			1450 kN S/N001&002 =0.38 C = 1461 (kN-sec/m)	動的荷重試験	2基.	001	0.25	16.30	25.90	24.40	5	22
							0.51	16.30	56.40	43.80	5	22
							0.74	16.30	98.10	66.30	3	20
							1.06	16.30	104.40	102.90	1	22
1.06	22.80	130.70					130.10	1	22			
0.12	16.30	12.40					11.80	5	19			
0.25	16.30	25.90					24.70	5	0			
0.51	16.30	54.80					44.90	5	-2			
0.74	16.30	97.80					67.20	3	0			
1.06	16.30	104.60				103.40	1	1				
1.06	22.80	121.80				119.60	1	-3				
0.12	16.30	12.40				11.80	5	1				
0.25	16.30	25.90				24.40	5	50				
0.51	16.30	56.30				42.90	5	49				
0.74	16.30	91.60				62.30	3	50				
1.06	16.30	103.00				100.40	1	49				
1.06	22.70	114.70				111.40	1	51				
0.12	16.30	12.20				11.80	5	50				
0.25	16.30	26.30		25.30	5	21						
0.51	16.30	67.00		50.80	5	21						
0.74	16.50	89.80	68.20	3	23							
1.06	16.50	103.80	102.30	1	21							
1.06	22.80	130.90	130.20	1	23							
	大ストローク試験	2基.	001	0.17	35.50	37.40	37.00	1	22			
			002	0.17	35.50	37.20	37.10	1	23			
	耐久試験	1基.	001	0.51	16.30	56.40	43.80	250	21-22			
	全ストローク試験	2基.	001	0.000001	61.00	0.03	0.01	1	21			
			002	0.000001	61.00	0.03	0.01	1	21			
	静的耐圧試験	2基.	001, 002	最低3分間、ダンパーに103,500kPaの圧力をかける。								
1450 kN C = (kN*s/m) S/N1 = 1120 S/N2 = 3700 =0.38	動的荷重試験	2基.	1	0.82	12.70	71.90	60.70	3	常温			
				1.64	12.70	134.20	120.20	3	常温			
				2.06	15.20	201.40	190.50	1	常温			
			2	0.035	12.70	2.80	2.70	3	常温			
				0.07	12.70	5.70	5.40	3	常温			
				0.09	15.20	8.50	8.50	1	常温			

参考として本申請に対して実施した落下試験機を使用した試験内容

	落下試験	試験体数	シリアルNo#	最大速度(cm/sec)	サイクル数	試験温度( )
1450 kN		1基	001	234.00	1/2	常温
				344.00	1/2	常温
				490.00	1/2	常温

