

# 住宅用免震装置 —ハイブリッドロッキングカラム型免震装置—の開発研究

Development of Hybrid Rocking Column Base Isolation System

川 口 健 一\*・西 田 明 美\*・大 矢 俊 治\*・田 村 淳 一\*\*・  
江 良 嘉 之\*\*\*・阿 部 啓 一\*\*\*・阿 部 純 一 郎\*\*\*・田 口 朝 康\*\*\*

Ken'ich KAWAGUCHI, Akemi NISHIDA, Shunji OHYA, Jun'ichi TAMURA,  
Yoshiyuki ERA, Keiichi ABE, Jun'ichiro ABE and Tomoyasu TAGUCHI

## 1. は じ め に

一般建築用免震装置は積層ゴムを始めとして、様々なタイプのものが提案、実用化されているが、積載荷重が比較的軽量の住宅用免震装置は、主に転がり支承型と滑り支承型の2つのタイプが実用化されている。本報告では、比較的軽量の積載荷重を対象とした新しいタイプの免震装置として、ハイブリッドロッキングカラム型免震装置を提案し、その性能を調査するために行った1/4縮小モデルによる振動台実験の結果について報告する。

また、ハイブリッドロッキングカラムの摺動支承部を簡略化したフラット型の免震装置の性能についても併せて報告する。

## 2. 装 置 の 概 要

図1にハイブリッドロッキングカラム型免震装置の原理を示す。積載荷重を支える支柱がその傾斜に拘わらず、支持対象を初期位置より水平以上のレベルに保つことができれば上部支持体構造が転倒、接地することはない。さらに軌道を適宜設定できれば復元力を与えることもできる。このような動きを支柱部分のロッキング運動と摺動運動により実現しようとするのがハイブリッドロッキングカラム型免震装置である。

図2にハイブリッドロッキングカラム型免震装置モデルの断面図を示す。コマと受け部分は水平面内で軸対称形をしており、平時はコマと受けは全周接触した状態で上部荷重を基礎へ伝える。地震時には軸受け部分を中心とする回転運動と、コマと受け部分で生じる摺動を伴うロッキング

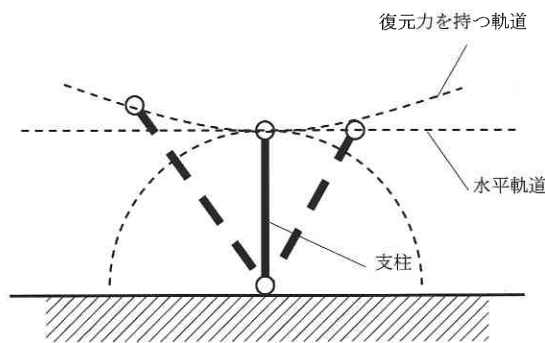


図1 ハイブリッドロッキングカラム型免震装置の原理

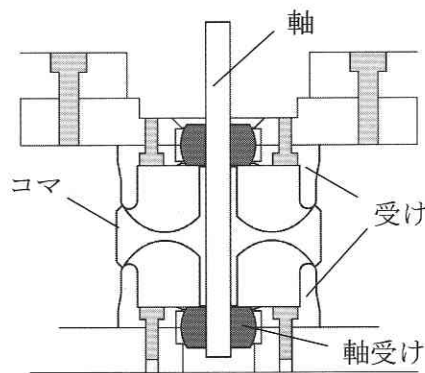


図2 ハイブリッドロッキングカラムモデルの断面図

運動により、上部構造は転倒することなく決められた軌道を描く。後で図4に示すように、コマ部と受け部の接触滑動スケジュールを適宜に設定することにより、上部支持体の水平移動軌道を適宜自由に設定することが可能である。軸はコマの中心部分を貫通し、上方へ抜けているため、上下動時には上部支持体は軸に沿って鉛直方向に移動する。

\*東京大学生産技術研究所 人間・社会部門

\*\*東京大学大学院工学系研究科

\*\*\*岡部ストラクト株式会社

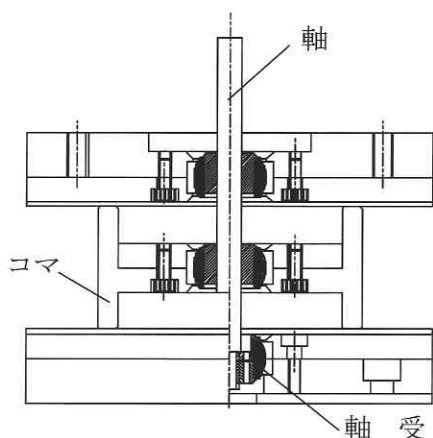


図3 フラット型モデルの断面図

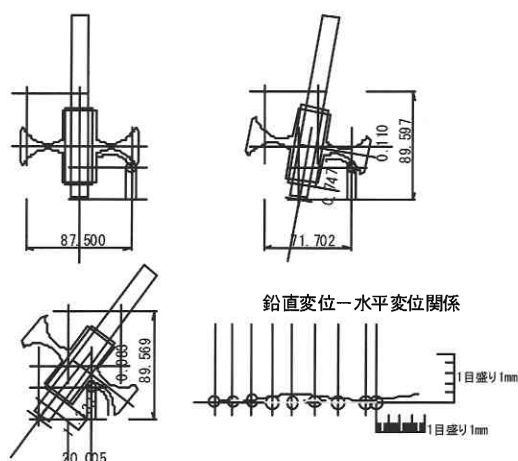


図4 ハイブリッドロックンカラム装置の傾きとそれに伴う軌道の設計 (0°タイプ)

軸とコマ部分の相対移動が現れる部分へダンパー等のアブソーバーを組み込んで上下動の入力を緩和することも可能である。

図3にフラット型免震装置の断面図を示す。フラット型はハイブリッドロックンカラムの軸とコマの関係を角度変化がフリーになるようにユニバーサルジョイントを設置し、曲げモーメントの発生を解消すると同時に受けのレベルを上下平面に一致させ、コマの動きを水平軌道のみに限定した構造となっている。ハイブリッドロックンカラムと同様に軸部に鉛直地震時のダンパ・機能等が付与できる機構が残っている。

### 3. 装置の機構上の特性と予想される挙動

コマと軸部全体が傾斜するに従い、上部荷重の鉛直軸線

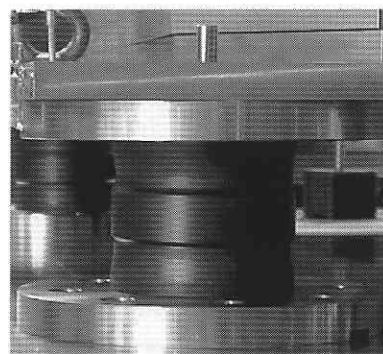


図5 装置概観 (ハイブリッドロックンカラム型)

と支持側の鉛直軸線が一致しなくなるため、受け部、コマ部、軸受けを介して軸に変動曲げモーメントが発生する。この曲げモーメントに耐えながら軌道の動きを実現するために、コマ-受け接点、コマ-軸接点、受け-軸接点各部の接触摺動部分の摩擦が全体の性能に影響を及ぼすことが予想される。また、軸、軸受け、コマと受け部分が軸対称性を有しているため傾斜した状態では受け部に対してコマが車輪のように回転する。この回転運動の発生条件と全体の絶縁挙動への影響についても調査する必要がある。

フラット型では曲げモーメントが発生しないため摩擦部分の荷重の変動は小さく、上記のような現象は生じない。

### 4. 実験項目

ハイブリッドロックンカラム型とフラット型の免震装置の基本的な性能を確認するため、静的横曳き試験と振動台による動的試験を行った (表1)。実際は25種類の装置に対し各種実験を行っているが、本報告では紙面の都合上、表2に示す5体の装置試験体の振動台実験結果についての

表1 モデルと実験項目

	実験項目	確認性能等
静的 横 曳 き 試 験	同左	水平荷重-水平変位関係
		トリガーレベルの把握
		鉛直変位 - 水平変位関係 (設計軌道の確認)
		積載荷重の変化による性能変化
振 動 台 実 験	Sin波スウィープテスト	トリガーレベルの把握
	White Noise 加振	周波数応答性能の把握
	実地震波入力	実地震波に対する免震性能の確認
	全般	回転現象などの問題事項の把握

表2 実験項目と確認性能

試験体名	軌道	接触部材質						静的試験	動的試験
		コマ - 受け		コマ - 軸		受け - 軸			
HR00	0°	鋼	鋼	鋼	鋼	鋼	鋼	○	○
HRbest	0°	Nim	MC	ベアリング		ベアリング		○	○
HRyam	0°	Nim	MC	固定		MC	Nim	○	○
HRn8	8°	Nim	MC	固定		MC	Nim	○	○
FL	0°	Tef	ステンレス	鋼	鋼	鋼	鋼	○	○

Nimは四フツ化樹脂含有ニッケルめつき、  
MCはポリアミド樹脂、Tefは四フツ化樹脂

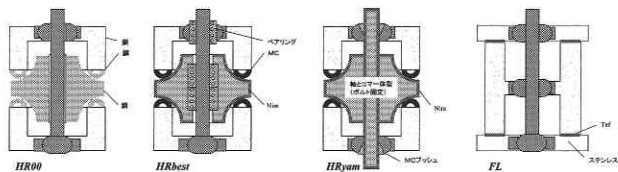


図6 試験体概要 (イメージ図)

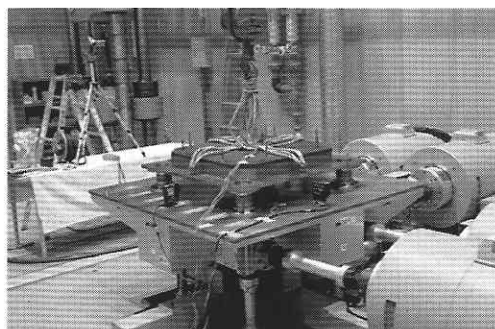


図7 振動台実験セットアップ

み報告する。HR 00 は主要箇所が鋼材のみで構成され水平軌道を動くように設計された装置モデルであり、他の各装置モデルは HR 00 を基本とし、各接触摺動部の摩擦性能を改善するための工夫がなされている。HRn8 ではさらに原点復帰の復元力を与えるため軌道が水平面に対し 8° の角度で上昇するようにコマ形状が設計されている。FL はフラット型の装置モデルである。各装置モデルは実大に対し約 1/4 のスケールという設定で製作している。

各実験項目と確認する性能を表1に示す。以下で振動台実験結果と考察について報告する。

## 5. 小型モデルによる動的実験の結果

静的横曳き試験に次いで、ハイブリッドロッキングカム型免震装置の 1/4 小型モデルに対し、振動台実験を行った。表2に対応する各免震装置のイメージ図を図6に示す。

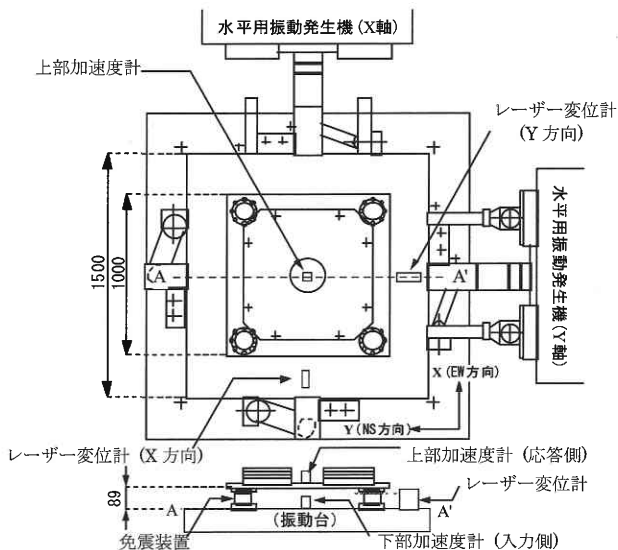


図8 計測機器の配置

表3 振動台の性能諸元

駆動方式	リニアモーター方式(6自由度)
テーブル寸法	1.5m × 1.5m
最大積載重量	2.0ton
加振方向	水平:X,Y 上下:Z 回転X,Y,Z軸
最大振幅	X,Y: ±10.0cm Z: ±7.5cm

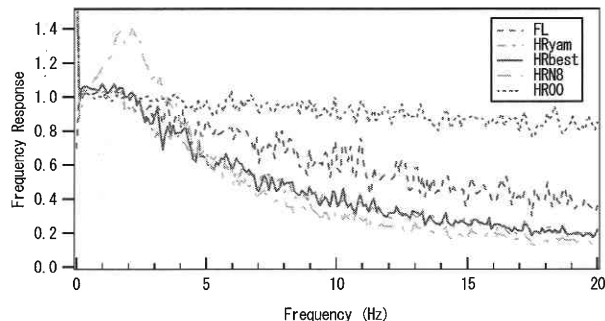


図9 各モデルの周波数応答倍率曲線

### 5.1 実験セットアップ

振動台実験のセットアップの概観を図7に示す。また、計測機器の取り付け状況を図8に、振動台の性能諸元を表3に示す。実験の対象としたモデルは HRbest, HR 00, HRyam, HRn8, FL の5種類である。変位、加速度のサンプリング周波数は 200 Hz である。

### 5.2 振動台実験

#### 5.2.1 トリガー試験

免震装置では、絶縁開始時の入力加速度(トリガーレベル)を適切に設定することが肝要である。これを把握する

## 研究速報

ため、加速度振幅一定の正弦波によるスイープテストを行った。入力方向はY方向のみである。振動台実験で得られた各モデルのトリガーレベルを表4に示す。

## 5.2.2 White Noise 試験

各モデルの周波数応答特性を検証するため、表4に示すトリガーレベルを平均加速度とした、White Noiseを入力波として振動台実験を行った。入力波は0.25～20 Hz、Y方向のみである。各モデルの周波数応答倍率曲線を図9に示す。HR 00以外のモデルは、高周波数の入力に対して、より応答倍率が小さくなる傾向が見られる。

## 5.2.3 実地震波を用いた試験

図10-1～10-10に、各モデルに対しEl Centro波(NS, EWの2方向, HR 00のみ80%, その他のモデルに対しては100%)を入力波とした、図11-1～11-10にはJMA Kobe波(NS, EW, UDの3方向, HR 00は30%, HRn8は35%, その他のモデルに対しては25%)を入力波とした、振動台実験での応答加速度波形をNS, EWの2方向について示す。入力の低減率(25～35%)は、振動台及び免震装置の可動ストロークから決まっている。各モデルの寸法は1/4スケールだが、地震入力時間のスケールリングは行っていない。

## 6. 小型モデルによる動的実験のまとめ

- (1) 各モデルともトリガー値を超える入力加速度に対して免震効果を発揮することを確認した。モデル中のベストタイプであるHRbestは100 gal免震程度の性能を発揮している。HRシリーズの機構をより単純化したFLタイプについても、 $120 \text{ cm/s}^2$ 以上の加速度入力に対して、免震効果を発揮することを確認した。また、紙面の都合で上下動の応答結果の掲載は割愛するが、本実験の範囲では特段の免震効果は見られなかった。
- (2) White Noise試験より、各モデルの周波数応答倍率は、5 Hzよりも高周波数の入力に関して低減の様子が顕著なものとして得られた(図9)。本結果は入力の平均加速度がトリガーレベル程度の場合の結果である。本装置は摺動を伴うロッキングを利用したものであり、試験結果は入力加速度の大きさに依存することが考えられる。従って、より加速度の大きな試験での周波数応答倍率は、5 Hzよりも低周波数の入力に対しても低減されたものとして得られることが予想される。
- (3) 本実験で使用した免震装置は1/4スケールであり、最大変位は85 mm程度である。装置がこの最大変位に達した場合は、軸が受け部に衝突し、応答加速

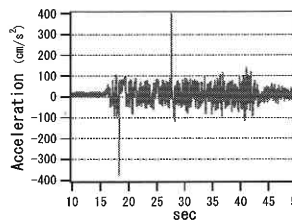


図10-1 HRbest,EW方向

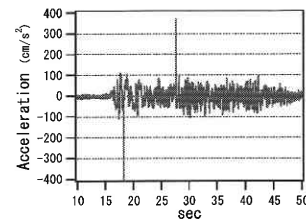


図10-2 HRbest,NS方向

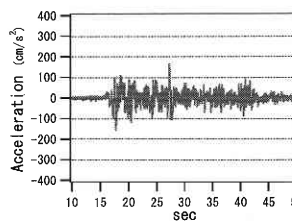


図10-3 HR00,EW方向

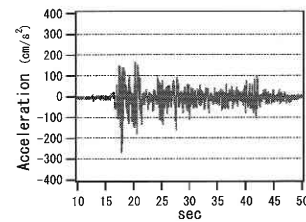


図10-4 HR00,NS方向

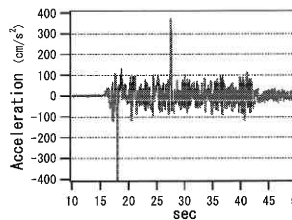


図10-5 HRyam,EW方向

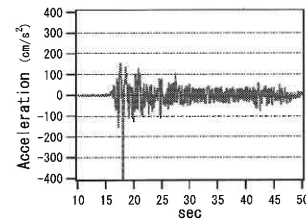


図10-6 HRyam,NS方向

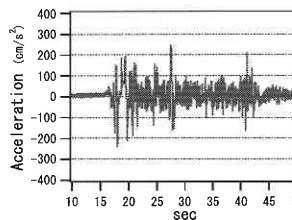


図10-7 HRn8,EW方向

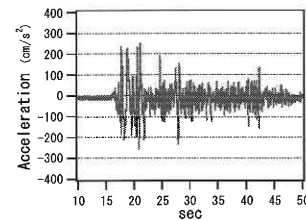


図10-8 HRn8,NS方向

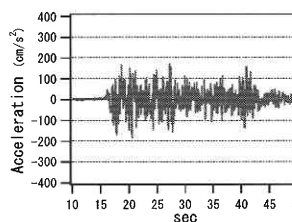


図10-9 FL, EW方向

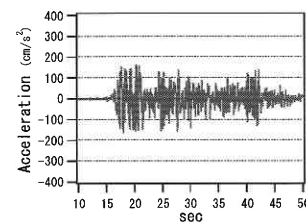


図10-10 FL, NS方向

図10 El Centro波に対する応答加速度

度が瞬間的に非常に大きくなる。図10-1, 2, 5, 6, 11-2においてパルス的にトリガーレベルを大きく超える応答加速度が見られるのは、この為である。更に、図11-4, 6に見られる、トリガーレベルを大

表4 トリガー値

試験体名	静的試験による予測値			動的試験の結果 [cm/sec <sup>2</sup> ]
	引張荷重 [N]	積載荷重 [kg]	予想加速度 [cm/sec <sup>2</sup> ]	
HR00	4000	783	511	220
HRbest	900		115	110
HRyam	1100		140	130
HRn8	1900		243	200
FL	900		115	100

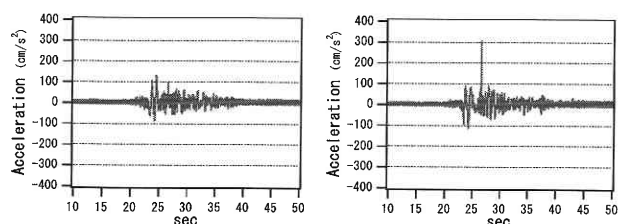


図 11-1 HRbest, EW方向

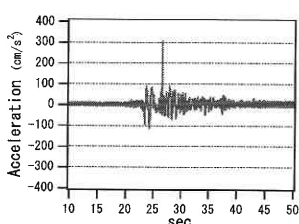


図 11-2 HRbest, NS方向

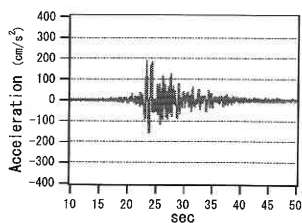


図 11-3 HR00, EW方向

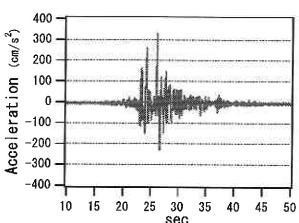


図 11-4 HR00, NS方向

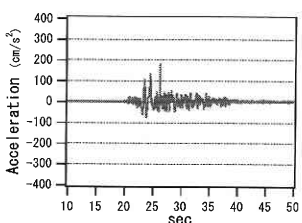


図 11-5 HRyam, EW方向

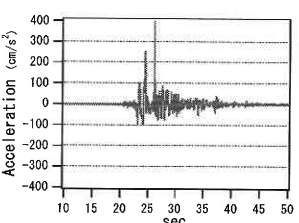


図 11-6 HRyam, NS方向

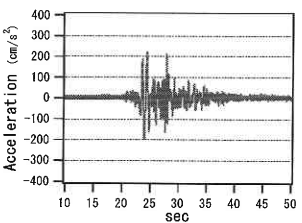


図 11-7 HRn8, EW方向

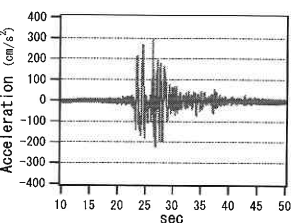


図 11-8 HRn8, NS方向

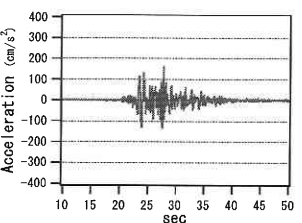


図 11-9 FL, EW方向

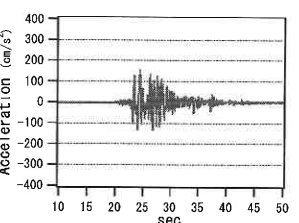


図 11-10 FL, NS方向

図 11 JMAKobe 波に対する応答加速度

きく超える応答加速度は、装置の回転運動によるものである。回転運動については、後述する。

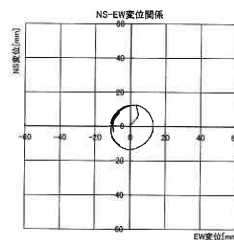


図 12-1 HR00

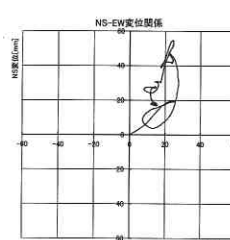


図 12-2 HRbest

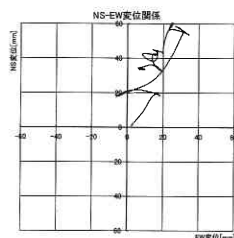


図 12-3 HRyam

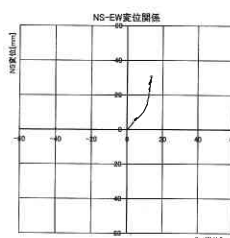


図 12-4 FL

図 12 XY 平面内軌跡 (JMA Kobe)

## 7. 実験結果の考察

表4に静的試験から予想されるトリガー値と動的試験の結果を示す。静的試験の予想値は $F=ma$ ( $F$ :力,  $m$ :質量,  $a$ :加速度)より求めた。比較の結果、静的試験より求めたトリガー値と実際のトリガー値がほぼ一致することがわかる。

振動台試験においてJMAKobe(X, Y, Z方向)を入力中、HR00に原点を中心とする回転運動(以降、回転運動と呼ぶ)が発生した。図12-1にXY面内の移動曲線を示す。回転運動は図11-4で明かなように免震性能に悪影響を与えている。円運動によって付加的な加速度を発生させる。回転の原因は図13に示すように、水平方向の運動は2つの摺動運動が主体であるのに対し、回転方向はコマの転がり運動が主体であり、摩擦力が小さいことに起因していると考えられる。これを解決するため、HRbestでは各部摺動摩擦を小さくすると同時に、溝付のベアリングを

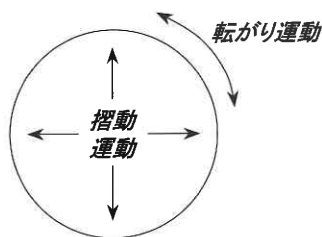


図 13 摩擦力

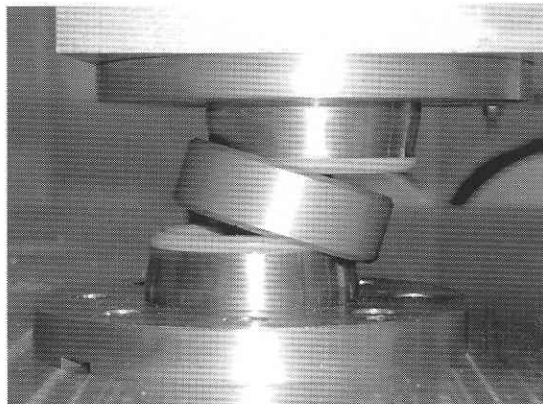


図 14 回転状況

用いることによってコマの軸周りの回転を防止した。その結果図 12-2 にあるように、回転運動がほとんど見られなくなった。また、HRyam のように各部摺動摩擦を小さくすることで、回転運動を少なくする効果があることを確認した。FL (図 12-4) は転がり運動を起こさない構造のため、非常に安定した移動曲線を描いている。

## 8. 結 論

- ・静的試験の結果より、トリガー加速度レベルの予測ができることが分かった。
- ・各部摺動摩擦を小さくすることによって、有害な回転運動を抑えることができることが分かった。
- ・FL は曲げモーメントが発生しないため、HR 型と比較して安定した挙動を示すことが分かった。

以上より、ハイブリッドロッキングカラム型およびフラット型免震装置の基本的な挙動が把握できた。今後は製作コストの側面から検討していく予定である。

(2003 年 11 月 11 日受理)

## 参 考 文 献

「免震装置」特願 2002-247021, (出願中)