

直線運動機構を利用した免震装置の研究 —— 第 1 報 免震装置の構造と振動特性 ——

An Earthquake Isolation Device Using Linear Motion Mechanism
(1st Report : Structure and Vibration Characteristics of the Device)

藤 田 隆 史*・余 語 邦 彦*・小 見 俊 夫*
Takafumi FUJITA, Kunihiko YOGO and Toshio OMI

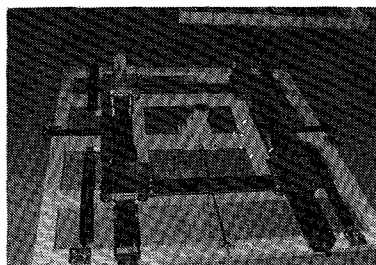
1. ま え が き

近年、電算機システムなどの耐震対策として、それらを収容する部屋の床を免震構造にする方法が普及しつつある。筆者らも先に予引張ばねを利用した免震床を研究・開発し^{1)~3)}、すでに実用され始めている。しかし、免震床の場合にはどうしてもコスト高となること、既存の施設では大規模な改造を要することなどから、単体機器ごとに免震構造を採用したいという要望が高まってきている。

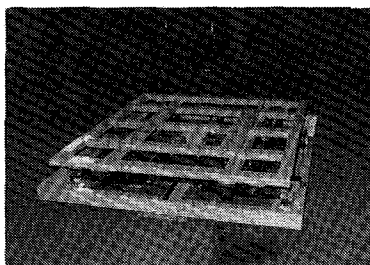
筆者らは、機器単体を免震する場合の最重要点は重心の高い機器でも転倒やロッキングを完全に防止することにあると考え、以下に述べるような、直交する二組の直線運動機構を利用した免震装置を考案した。本報告では、本免震装置の構造と試作実機による正弦波加振実験の結果について述べる。

2. 免 震 装 置 の 構 造

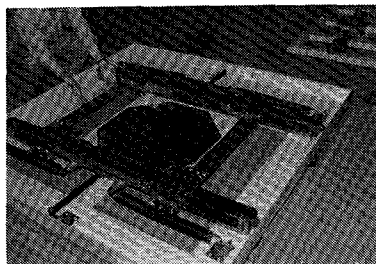
本免震装置の構造を試作した実機をもとに説明する。図 1 の (a), (b) はおのおの免震装置の上側, 下側部分を示したもので、共に 2 本のステンレス製レールと 4 個のローラ部 (ステンレス製の球軸受を使用) を備えている。4 個のローラ部は平板などで相互に結合され 1 体として運動する。この可動部分にコイルばねとオイルダンパが図のように装着されている。オイルダンパを運動方向と直角に装置する方法は免震床の場合にも採用した装着方法であり、これによって免震装置特有の大きな相対変位に対しても汎用のオイルダンパを使用することが可能となっている。ただし、減衰力は振幅依存性のある非線形減衰力となる。また、(a) に示す上側部分の中央にある円筒状の部分には、ばねを介してパンタグラフ機構により上下するピストンがあり、その上面に摩擦材が貼ってある。一方、(b) に示す下側部分の中央には八角形のステンレス板が貼ってあり、(c) のように組み立てた



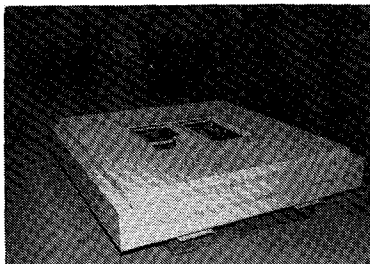
(a)



(c)



(b)



(d)

図 1 免震装置の構造

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

研究速報
 とき、両者が摩擦ダンパとして、また、上側部分と下側部分が相対変位を開始する際のトリガとして機能する。なお、摩擦減衰力と作動開始加速度の調節や地震後の残留変位の除去はパンタグラフ機構でピストンを上下することにより容易に行うことができる。

図1の(c)は、上側部分を(a)の状態から上下を逆にして、上側と下側部分のレールが直交するように、上下のローラ部で結合して組み立てた状態を示している。(d)は床スラブに据え付ける場合のカバーを取り付けた状態を示しており、機器は取り付けボルトなどにより装置の上面に固定される。

ところで、各レールは上下2枚の板から成っており、鉛直荷重を負担するベアリング(図1(a),(b)ではレールに隠れて見えない)は2枚の板の間を転動するようになっており、ベアリングと非接触側の板との隙間は0.5mm以下に調整されている。したがって、大きな転倒モーメントが作用し、ローラ部をレールから持ち上げようとする力が働いた場合にも、この構造によって転倒は完全に防止されている。また、ローラ部にはレールを両側から挟んで転動するベアリングが取り付けられており、これによって水平面内の回転も完全に防止されている。

なお、図1の試作機の外形寸法は1500×1500×301mmであり、許容相対変位量は片振幅で275mmである。

3. 加振実験の概要

3.1 供試体 加振実験は上述の免震装置を図2に示すように振動台上に据え付け、機器の代わりにトップ

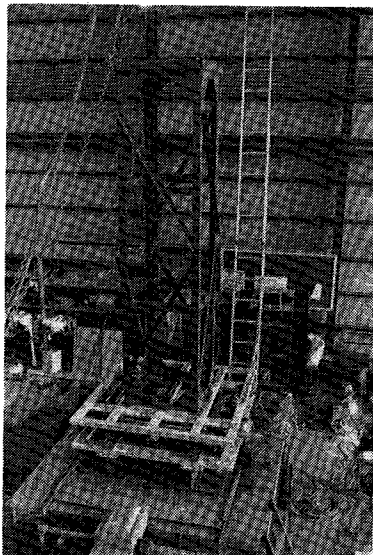


図2 実験用機器モデルを搭載した免震装置

ヘビーな実験用機器モデルを搭載して行った。この機器モデルは免震装置の転倒防止機能を実証するためにトップヘビーな構造にしてあり、高さ3mの架台上に304kgの質量を取り付けたものである。

供試体の諸元を表1に示す。x方向は下側レールの方向を、y方向はそれと直角な上側レールの方向を表している。また、みかけの摩擦係数は摩擦ダンパも含めたすべての摩擦力を等価的な摩擦係数に換算したものである。図3はx方向の復元力特性を示したもので、図の破線がみかけの摩擦係数0.02に対応するものである。同図より最大静止摩擦係数と動摩擦係数を区別する必要はないと考えられる。

3.2 実験方法 加振実験は正弦波加振と地震波加振を行い、おのおの場合について、下側レールと平行方向の加振(平行方向加振と呼ぶ)と装置を45°回転させ

表1 供試体の諸元

機器モデルの質量	484kg
機器モデルの重心高さ	2.47m
搭載状態での機器モデルの固有振動数	4.34Hz(x方向) 4.90Hz(y方向)
免震装置のばね定数(4本の合計値)	25.4N/cm(x方向) 21.4N/cm(y方向)
オイルダンパの減衰定数(2本の合計値)	86.7N/cm/s(x方向) 86.7N/cm/s(y方向)
みかりの摩擦係数	0.02
機器モデルと装置可動部の総質量	776kg(x方向) 678kg(y方向)
機器モデルを剛体としたときの固有周期	3.48s(x方向) 3.53s(y方向)

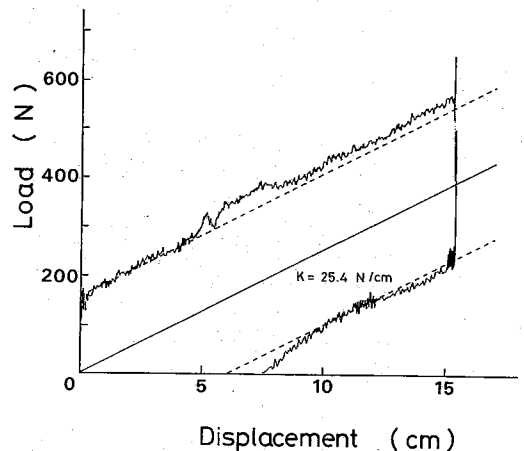


図3 供試体における復元力特性

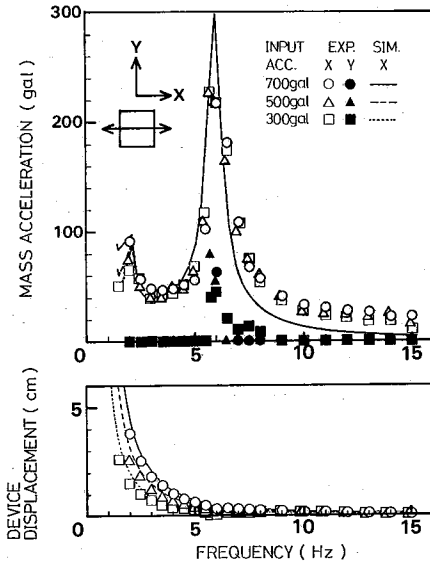


図4 平行方向加振の場合の共振曲線(入力加速度振幅が一定の場合)

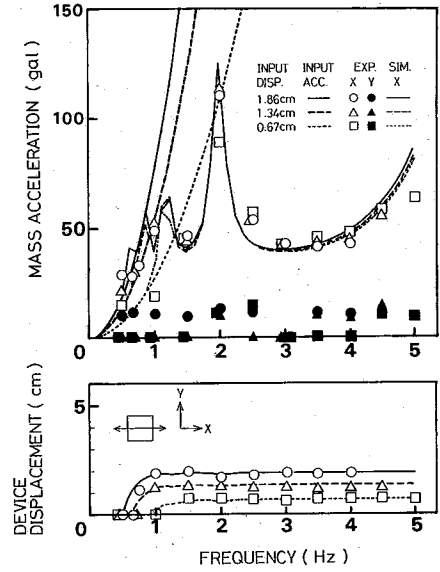


図5 平行方向加振の場合の共振曲線(入力変位振幅が一定の場合)

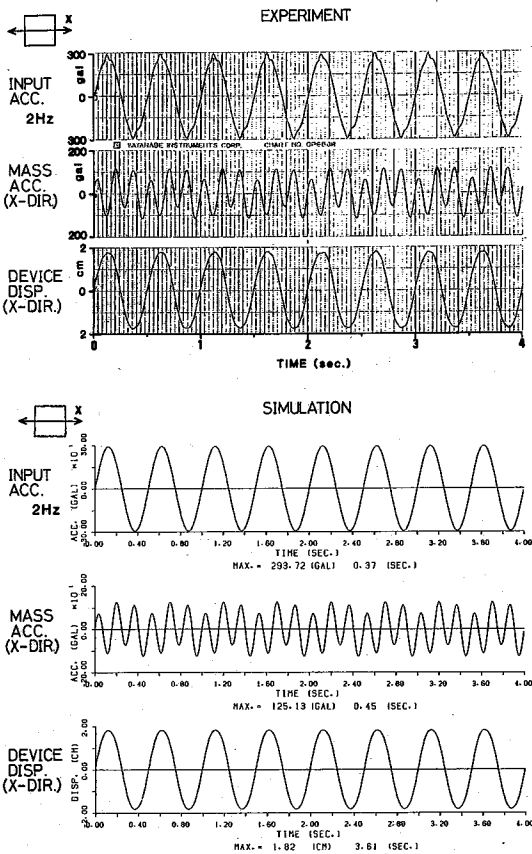


図6 平行方向正弦波加振による高調波共振の応答波形

各レールに対して 45° 方向からの加振(斜め方向加振と呼ぶ)を行った。正弦波加振においては、対象が非線形系であるため、入力加速度振幅が一定の場合と入力変位振幅が一定の場合の応答を測定した。地震波加振の場合には、実地震波として El Centro (1940年 Imperial Valley 地震), 八戸 (1968年十勝沖地震), 東北大 (1978年宮城県沖地震) での NS と EW 方向の記録を用い、振動台からの制約により、おのおのの波について、地動では 350 Gal 程度、床応答の模擬波である床応答 A (固有振動数 2 Hz, 臨界減衰比 3%の一質点系の応答加速度波) では 600~700Gal 程度、床応答 B (固有振動数 3Hz, 臨界減衰比 3%の一質点系の応答加速度波) では 700~900 Gal 程度の入力を用いて免震性能を実証した。

加振実験の計測は、振動台の加振方向加速度、機器モデル質量上面と免震装置上面における加振方向 (X 方向) およびそれと直角方向 (Y 方向) の応答加速度、免震装置の下側レール方向 (x 方向) と上側レール方向 (y 方向) の相対変位を測定した。

4. 正弦波加振実験の結果と考察

4.1 平行方向加振の場合 図4, 5はおのおの正弦波入力の加速度振幅, 変位振幅を一定とした場合の, 機器モデル質量の X 方向, Y 方向の応答加速度および免震装置の X 方向 (x 方向と一致) の相対変位に関する共振曲線である。なお、免震装置の Y 方向の相対変位は実験範囲を通じてほとんど 0 であったため図から省略してある。

図4において、入力加速度が増加しても X 方向の応答

研究速報

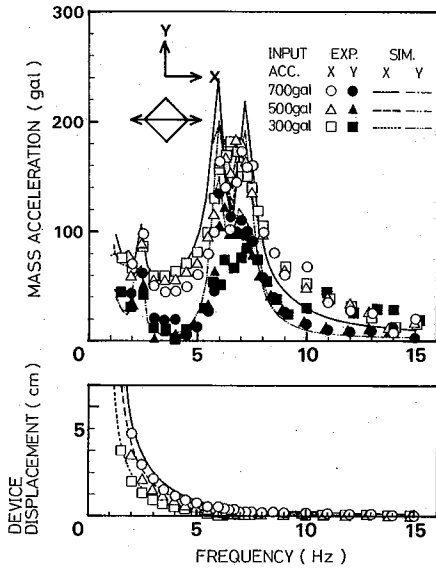


図7 斜め方向加振の場合の共振曲線(入力加速度振幅が一定の場合)

加速度はほとんど変化しておらず、入力加速度が大きくなるほど免震効果は顕著になっている。また、X方向の応答加速度には2 Hzと6 Hzにピークが見られる。6 Hzのピークは線形系としての2次モードの共振点に対応するものであり、2 Hzのピークは後にも述べる非線形特有の高調波共振によるものである。なお、6 Hz近傍ではY方向にも応答が認められる。

図5において、入力加速度は加振振動数の2乗で増加するが、入力加速度が摩擦ダンパによって設定された作動開始加速度(この場合は約20 Gal)を上回ると免震装置の相対変位が出はじめ、加振振動数が高くなるにつれて免震効果が顕著になっている。この場合にも2 Hzにピークが見られるが、これは6 Hzの調和共振に対する3次の高調波共振であることが図6の応答波形から明らかとなる。図6の応答加速度波形には入力の振動数2 Hzのほかにその3倍の6 Hzの成分が卓越している。また、図5に示されたX方向応答加速度の解析結果には2 Hzのほかに1.2 Hzにも明瞭なピークが認められるが、これは5次の高調波共振によるものであることが解析での応答波形から確認されている。

以上の図4~6には解析結果も示されており、いずれも良好な一致が得られているが、解析については次報で述べることにする。

4.2 斜め方向加振の場合 図7, 8はおのおの正弦波入力の加速度振幅、変位振幅を一定とした場合の、機器モデル質量のX方向、Y方向の応答加速度および免震装置のX方向の相対変位(x, y方向の相対変位より

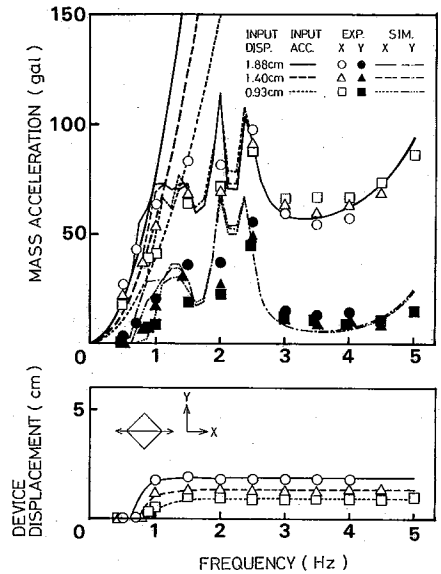


図8 斜め方向加振の場合の共振曲線(入力変位振幅が一定の場合)

合成)に関する共振曲線である。この場合もY方向の相対変位はほとんど0であったため図から省略してある。

図7, 8をそれぞれ図4, 5と比較すると、X方向の応答加速度と相対変位の大きさや全体の傾向は同じであるが、斜め方向加振の場合にはY方向応答加速度が大きくなっており、6 Hzと2 Hz近傍のピークが2つに分かれている点に相違が見られる(ただし、2 Hz近傍のことは実験では明瞭ではない)。この理由は、表1に示してあるように、機器モデル、免震装置ともにx, y方向の固有振動数に若干の違いがあるため、x, y方向の応答の位相ずれによって合成されたY方向応答は大きくなり、x, y方向それぞれの調和共振と高調波共振が6 Hzと2 Hz近傍に発生しピークが2つに分かれると考えられる。

図7, 8にも解析結果が示されているが、ほぼ満足し得る一致が得られている。

5. あとがき

本免震装置の地震波加振実験結果および応答解析については次報で述べる。

最後に、振動実験およびデータ処理に協力された服部忍技官に感謝の意を表す。(1983年1月31日受理)

参考文献

- 1) 藤田, 服部, 石田, 予引張ばねを利用した免震床の研究(第1報, 免震装置についての基礎研究), 日本機械学会論文集, 49巻, 441号, C編(1983-5)
- 2) 藤田, 服部, 石田, 予引張ばねを利用した免震床の研究(第2報, 実大モデルについての実験), 同上
- 3) 藤田, 服部, 予引張ばねを利用した免震床の研究(第3報, 実大免震床についての解析), 同上