

## 4.4 三次元免震装置の振動実験と自然地震による応答観測

Excitation Tests of a Three-Dimensional Earthquake Isolation Device and Observation  
of its Response to Natural Earthquake Excitations

藤田 隆 史\*・鞍 本 貞 之\*

Takafumi FUJITA and Sadayuki KURAMOTO

### 1. ま え が き

近年、電算機システム用の免震床が普及しつつあるが、コンピュータ機器の場合にも、地震の水平動だけでなく鉛直動をも免震する三次元免震の要求が強くなっている。また、半導体製造設備の中には電子ビーム露光装置をはじめとして平常時の防振のために空気ばね支持された精密機器が多くあり、これらの機器は防振支持の結果、水平方向だけでなく鉛直方向にも地震動に対して応答しやすい固有振動数を持っている。したがって、このような精密機器の免震には三次元免震が必要となる。

本研究では、コンピュータ機器や半導体製造設備など軽量精密機器用の三次元免震装置として、先に研究を行った水平二次元免震装置<sup>1)~3)</sup>に鉛直動免震機構を付加した三次元免震装置を試作し、この試作機に実験用機器モデルを搭載して水平・鉛直二次元振動台による振動実験を行い、本免震装置の免震性能と振動特性を調査する。また、実験終了後は「モデル応答観測塔」の3階床に設置し、自然地震による応答観測を継続することにしていく。ここでは、本免震装置の構造と鉛直動免震に関して予備的に行った解析結果について述べる。

### 2. 三次元免震装置の構造

本免震装置の基本構造は、図1に示すように、機器取付用テーブルが直交する2組の直線運動機構により水平面内を任意方向に並進し、かつ、鉛直ばねとリンク機構により水平を維持しながら鉛直方向に上下し得る構造である。

図2(a)~(d)は試作機の構造を示したものである。

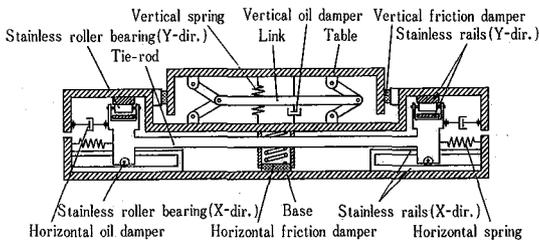


図1 三次元免震装置の基本構造

(a)は免震装置の下側レール(X軸)方向の直線運動機構を示し、(b)はこの上に上側レール(Y軸)方向の直線運動機構を重ねた状態を示す。ここまでの構造は先に研究を行った水平二次元免震装置の構造<sup>1)</sup>と基本的には同じである。すなわち、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は2枚の板の間を転動し、この構造によって機器の浮上がりは完全に防止されている。また、ローラ部にはレールを横側からはさ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拘束されている。4個のローラ部は平板により相互に結合され一体として運動し、この可動部分にコイルばねとオイルダンパが装着されている。ばねは線形ばねであるが、オイルダンパは運動方向と直角に装着されており、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できる。また、上側と下側直線運動部分の間で作用する摩擦ダンパ(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の下面に摩擦材が貼ってあり、これを下側部分のステンレス板に押し付けることで摩擦力を発生させる)が設けられ、上側部分と下側部分が水平方向に相対変位を開始する際のトリガとしても機能する。

図2(c)は水平二次元免震機構の上面に取り付けられた、鉛直動免震のためのコイルばね、オイルダンパ(中央に見える2本の棒状のもの)、リンク機構を示す。このリンク機構は機器取付用テーブルの水平を維持し、搭載機器のロッキングを防止するためのものであり、本免震装置の特徴の一つである。(d)は機器取付用テーブルをセットし、カバーを取り付けた状態を示す。テーブルの各辺には垂直にステンレス板が取り付けられており、これらの板に案内ローラや鉛直方向用の摩擦ダンパが押し付けられている。前者はテーブルに加わるせん断力を受けるため、後者はエネルギー吸収とトリガの機能を果たすためのものである。搭載機器は取付ボルトによりこのテーブル上面に固定される。

なお、図2の試作機の外形寸法は2170×1600×397<sup>mm</sup> (高さは定格質量搭載時)であり、許容相対変位量は片振幅で水平各方向に286mm、鉛直方向に55mmである。

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

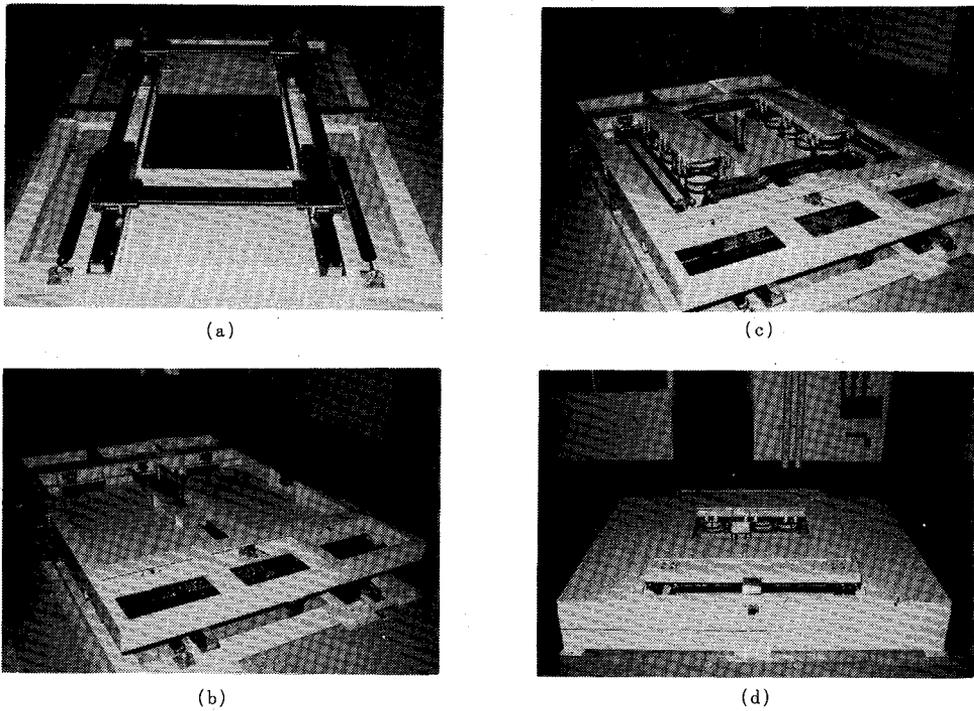


図2 試作した三次元免震装置の構造

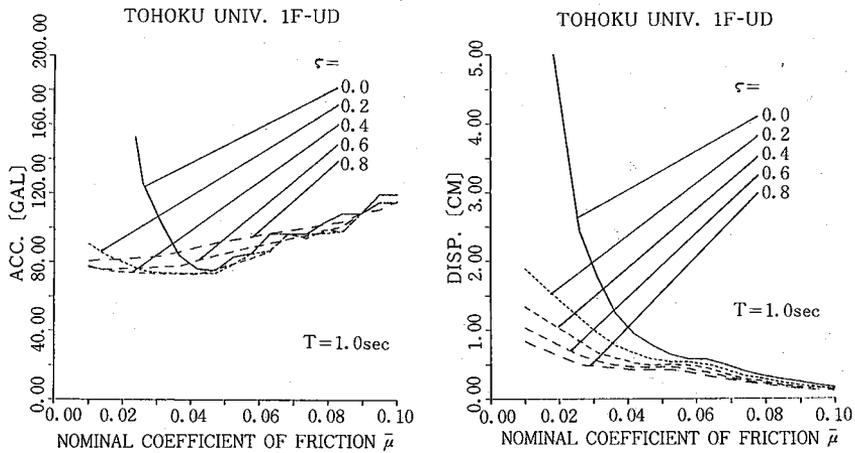


図3 摩擦ダンパとオイルダンパの設計パラメータ値の影響  
(東北大1階UD記録の場合)

### 3. 鉛直動免震の予備解析

本免震装置の水平動に対する免震機構の設計パラメータ値や免震性能については、すでに行った研究から十分に予測可能である。しかし、鉛直動に対しては未経験の問題であるため、設計パラメータ値と免震性能について予備解析を行った。以下に示す結果は、搭載機器は鉛直方向には剛体であるとし、機器と取付用テーブルを含めた質量と免震装置の鉛直動免震機構のばね、オイルダン

パ、摩擦ダンパとから成る一自由度系モデルによって解析したものである。

図3、図4は東北大(1978年宮城県沖地震)での1階と9階の鉛直動記録を用いて、摩擦ダンパのみかけの摩擦係数 $\mu$ (摩擦ダンパの摩擦力を重量でわったもの)とオイルダンパの臨界減衰比 $\zeta$ を変化させた場合の、機器の応答加速度と免震装置の相対変位を調べたものである。ただし、固有周期は、この試作機の面積で1ton程度の搭載質量を考えると、ばねの応力からの制約によりさ

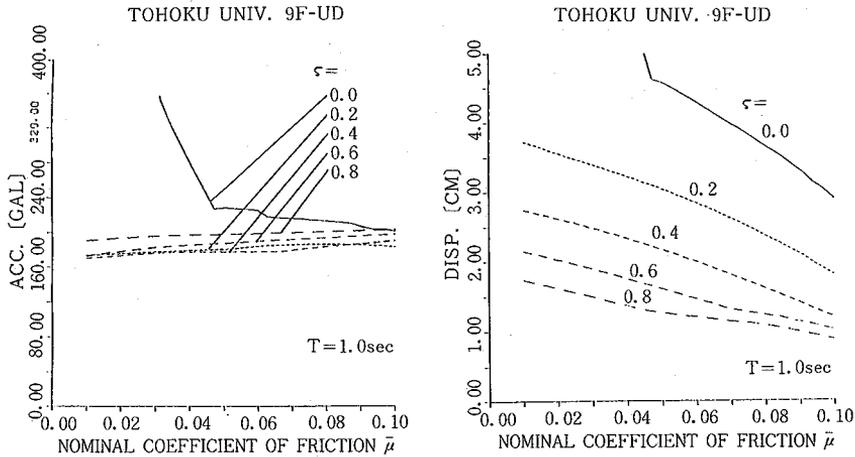


図4 摩擦ダンパとオイルダンパの設計パラメータ値の影響  
(東北大9階UD記録の場合)

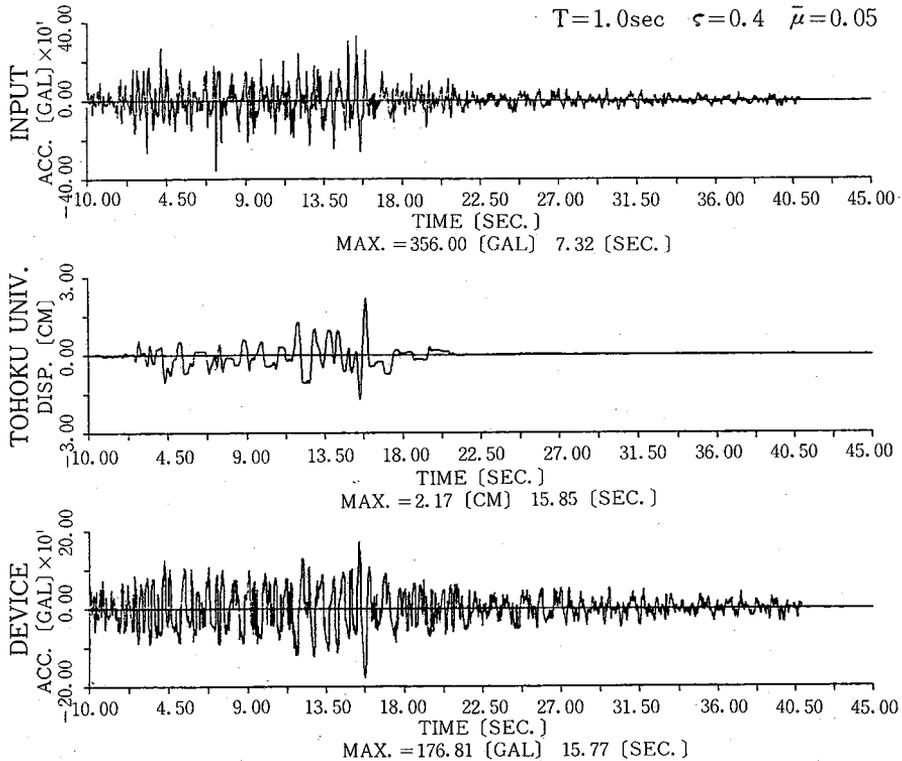


図5 鉛直動に対する免震効果

ほど長くはできず、実際に可能な固有周期1秒で固定してある。両図より、適切なパラメータ値として、 $\zeta = 0.4$ 、 $\bar{\mu} = 0.05$ が採用されよう。図5はこのパラメータ値を採用した場合の、9階床応答記録に対する応答波形を示したものである。加速度は約1/2に低減され、相対変位は約2cmと水平動の場合に比べると非常に小さいことがわかる。

#### 4. あとがき

最後に、本免震装置の試作機の設計に協力された三菱製鋼(株)の小見俊夫氏に感謝の意を表する。

(1983年7月6日受理)

#### 参考文献

- 1) 藤田, 余語, 小見, 直線運動機構を利用した免震装置の研究 (第1報), 生産研究, 35巻, 4号 (1983-4)