

# 予引張あるいは予圧縮ばねを利用した免震床の研究

## (第3報 振動特性と免震性能—その3—)

An Earthquake Isolation Floor Using Pre-Tensed or Pre-Compressed Springs

(3rd Report: Vibration Characteristics and Performance of Reducing Acceleration—Part 3—)

藤田 隆史\*・服部 忍\*・石田 二郎\*

Takafumi FUJITA, Shinobu HATTORI and Jiro ISHIDA

### 1. ま え が き

前二報<sup>1), 2)</sup>では、本免震床に用いられる免震装置について、一方向加振時の振動特性と免震性能に関する、実験モデルの加振実験、正弦波加振時の調和共振と分数調波共振の解析および地震応答の解析について述べた。

ところで、地震動は三次元的な運動であるから、本免震装置についても一方向加振時の振動特性と免震性能だけを調査したのでは十分とはいえない。特に、地震動の三方向成分の中でも主要な水平二方向成分の加振に対して、本免震装置の作動を確認し、その場合の振動特性と免震性能についての知見を得ることは重要である。本報告では、水平二方向加振としては限定されたものではあるが、免震装置の実験モデルをその主軸に対して斜め方向から加振した場合の実験結果について述べる。なお、次報以降に述べる予定の実大免震床による実験では水平二方向加振が可能な振動台を用いて実験を行っている。

一方、地震の上下動に対しては、本免震装置には特別な対策は講じられていない。本報告では、地震の上下動に対する考察も行っている。

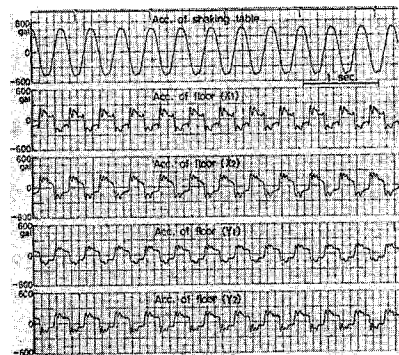


図3 正弦波加振による調和共振の場合の応答波形 (2.5 Hz, 500 gal 入力)

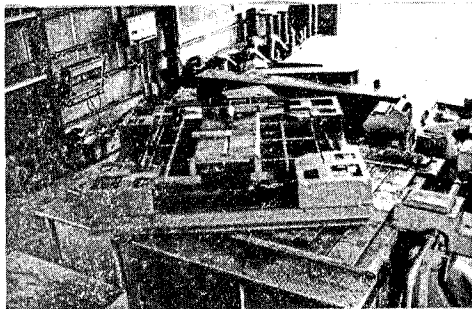


図1 斜め方向加振の場合の免震装置の実験モデル

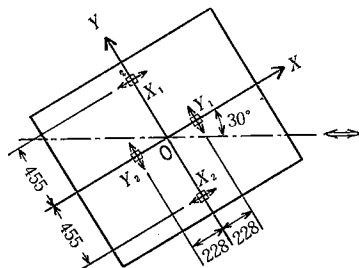


図2 座標系と加速度測定位置

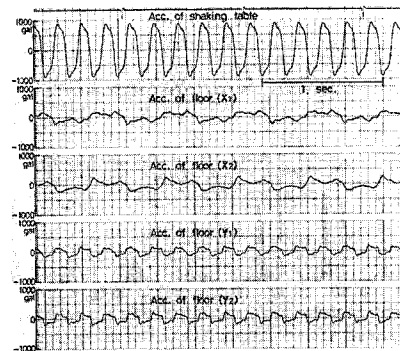


図4 正弦波加振による分数調波共振の場合の応答波形 (5 Hz, 900 gal 入力)

### 2. 水平二方向加振実験 (斜め方向加振実験)

#### 2.1 実験方法

前二報および本報において述べている免震装置の実験モデルを用いた基礎実験の段階で使用した振動台は、本

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

所・千葉実験所の構造物動的破壊実験棟内の小型振動台(電気油圧式アクチュエータ駆動, 振動台テーブル: 1.5 m × 2.0 m, 最大出力: 4.7 t・g, 最大片振幅: 75 mm)であり, 一方向加振のみが可能な振動台である。そこで図1, 2に示すように, 実験モデルをその主軸(図2のX軸)が加振方向に対して30°の角度を成すように振動台上に固定し, 斜め方向からの加振実験を行った。この

加振方法では, 図2でのX方向入力とY方向入力とが常に比例関係を持ち, 二方向加振としては限定されたものとなるが, 本免震装置の二方向加振に対する作動を確認するためには有効な方法であると考えられる。

測定方法としては, 図2に示すように, 実験モデルの可動部分のX方向加速度を図の二点(X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>)で, Y方向加速度を図の二点(Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>)で測定する方法を取った。

2.2 正弦波加振実験

斜め方向加振の場合にも一方向加振の場合と同様, 正弦波加振によって, 調和共振のほかにも, 入力が大きくなると1/3次分数調波共振が発生する。図3, 4はおのおのの調和共振, 分数調波共振の場合の応答加速度波形を例示したもので, 図のX<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>は上述の測定点を表している。図4に示された応答波形の内, X方向の応答波形は分数調波共振によるものであるが, Y方向の応答波形は調和共振によるものである。本実験の範囲で発生した分数調波共振はすべてこのタイプの応答であり, Y方向の応答波形も分数調波共振のそれになるような応答は発生しなかった。

ところで, 水平二方向加振を受ける本免震装置の可動部分は, 一般に, 運動の自由度として, 重心のX, Y方向の移動と重心まわりの回転の3自由度を持っている。しかし, 実験モデルでは質量分布や構造が重心に対して点対称になっているため, 重心まわりの回転運動はX, Y方向の移動と比較して無視し得る程度のもとなる。このことは, 図3, 4のX<sub>1</sub>とX<sub>2</sub>での応答波形, Y<sub>1</sub>とY<sub>2</sub>での応答波形をそれぞれ比較してもあまり差異のないことから推察される。したがって, 以下では, 重心のX, Y方向の応答加速度(おのおの, X<sub>1</sub>とX<sub>2</sub>, Y<sub>1</sub>とY<sub>2</sub>での応答加速度の平均)について述べることにする。

図5, 図6は, おのおの正弦波入力の変位振幅, 加速度振幅を一

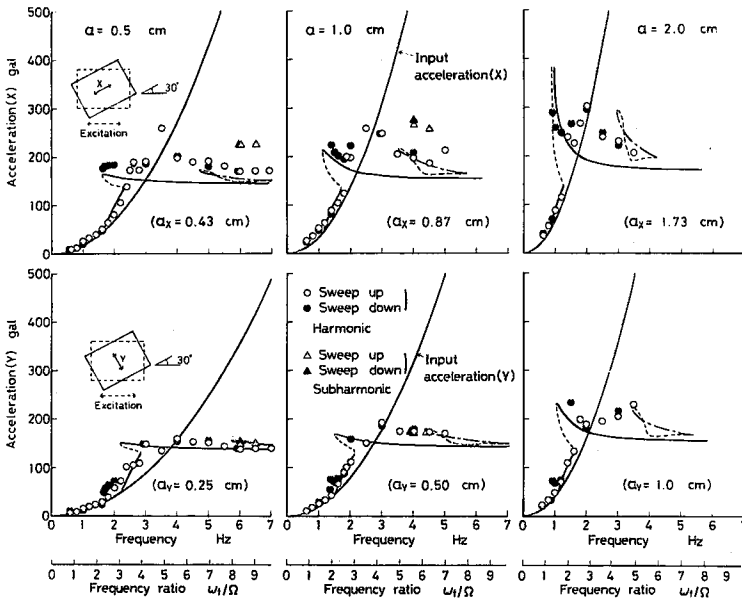


図5 正弦波加振による共振曲線(入力変位振幅が一定の場合)

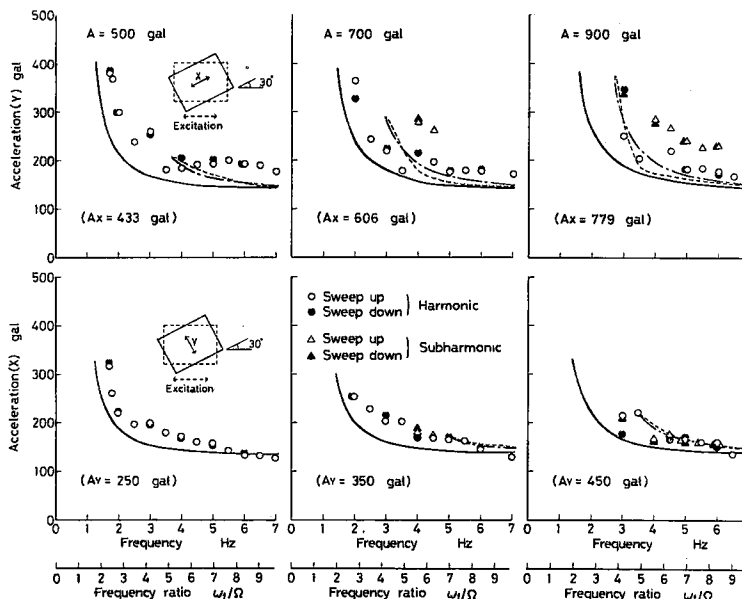


図6 正弦波加振による共振曲線(入力加速度振幅が一定の場合)

研究速報

一定とした場合の、重心のX、Y方向の応答加速度についての共振曲線である。図5(図6)に記されている $a(A)$ は振動台の変位振幅(加速度振幅)であり、括弧内の $a_x(A_x)$ 、 $a_y(A_y)$ はおのおのX、Y方向の入力としての変位振幅(加速度振幅)である。また、両図には解析結果も示されているが、これらは、X、Y方向にそれぞれ独立に、斜め方向加振に対応した入力でもって一方向加振を受けた場合の共振曲線を、前二報に述べた解析方法を用いて計算したものである。これらにより、一方向加振との比較が容易に行える。図5、6のいずれの場合にも、斜め方向加振による結果は、大略的には、X、Y方向に独立に一方向加振を受けた場合の結果と類似したものであるといえるが、免震性能の点では斜め方向加振の方が応答加速度はやや大きくなる傾向にあるといえる。なお、図5、6のY方向の共振曲線に分数調波共振の実験結果が含まれているが、これは、前述のように、そのときのX方向の応答が分数調波共振であることを示すものであって、解析結果が示す分数調波共振の発生とは異なるものである。

図7、図8は、正弦波入力の変位振幅、加速度振幅をおのおの $a = 0.5 \text{ cm}$ 、 $A = 500 \text{ gal}$ で一定とした場合の、重心のX、Y方向の応答加速度が描くリサージュ図形であり、調和共振によるものだけが示されている。加速度によるリサージュ図形であるため相当に複雑な図形となっているが、重心の変位がこのように複雑な軌跡を描いているわけではなく、応答変位によるリサージュ図形であれば、もっと単純な図形になったであろうと思われる。しかし、これからでも、重心の運動についてのいくつかの知見が得られる。図7において、2Hzでは加振振動数を上げてゆく場合と下げてゆく場合のリサージュ図形が示されているが、前者は可動部分が振動台と同じ動きをしていることを、後者は可動部分がX方向にだけ動き、Y方向の動きは予引張ばねによって拘束されていることを表している。また、同図の3HzではX、Y方向に広がった図形となっており、可動部分がわずかに振れ回りを起こしていることがわかる。上述の図5において、3Hz付近にピークがあるのは、おそらく、このためであろうと思われる。一方、入力加速度がこれより大きい図8の3

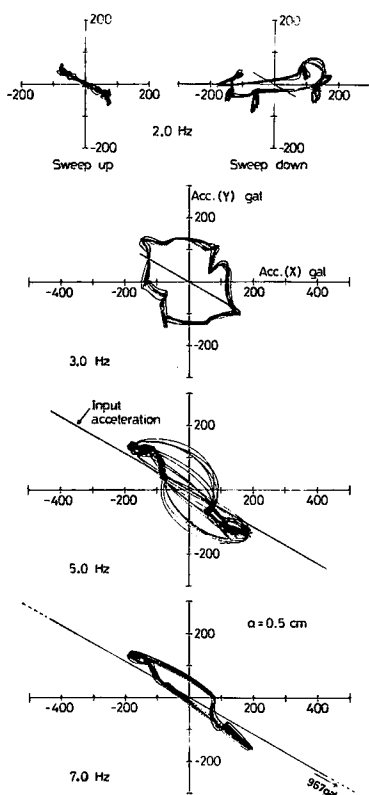


図7 正弦波加振による応答加速度のリサージュ図形  
(入力変位振幅が一定の場合)

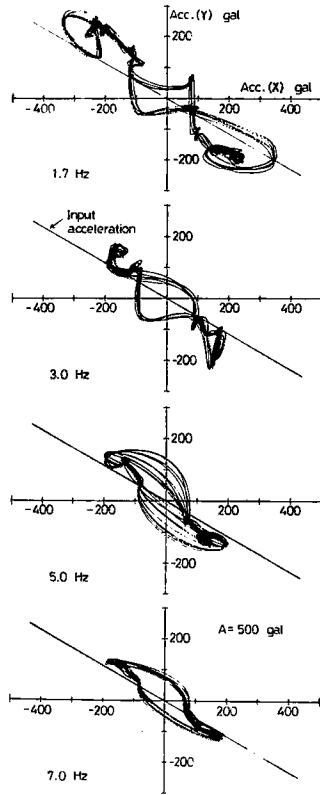


図8 正弦波加振による応答加速度のリサージュ図形  
(入力加速度振幅が一定の場合)

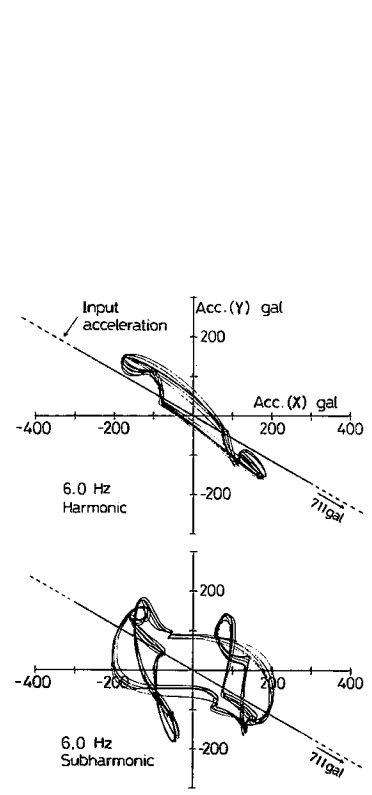


図9 調和共振時と分数調波共振時の応答加速度のリサージュ図形

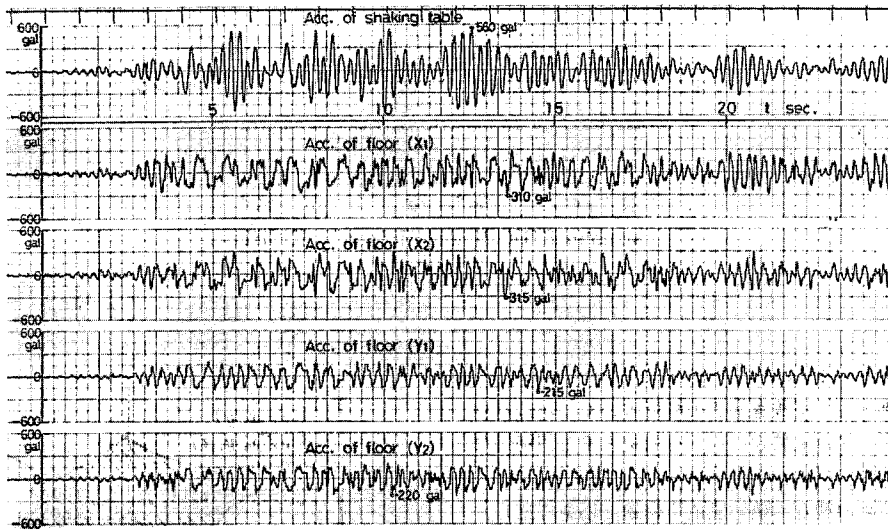


図10 Taft 波のフロアーレスポンス (4 Hz, 5%減衰の一質点系の応答加速度) による応答波形

Hz ではこの傾向は顕著には見られない。図7と図8より入力加速度が大きくなると、また、加振振動数が高くなると、可動部分は入力と同方向に動くようになることがわかる。次に、図9に示した二つのリサージュ図形は、同一条件の入力に対する調和共振時のものと分数調波共振時のものである。後者の図形には、X方向の応答だけが分数調波共振になっている様子が明瞭に現れている。

2.3 地震波加振実験

図10は、一方向加振の場合と同じく、Taft波のフロアーレスポンス (固有振動数4 Hz, 臨界減衰比5%の一質点系の応答加速度波) を入力した場合の結果である。この場合には、振動台の最大加速度560 galはX方向入力として485 gal, Y方向入力として280 galであるから、両方向に一応の免震効果は現れているが十分ではない。しかし、振動台の制限からこれ以上の入力加速度を出すことはできなかったが、入力がこれより大きくなっても、応答はほとんど増えないものと思われる。ただし、応答加速度をこれより下げることは、第1報にも述べたように、本実験モデルでは高い免震性能を得るためのばね定数や予引張力の選定を行っていないために困難であるが、次報に述べる実大免震床の供試体ではより小さな応答加速度が実現されている。

3. 上下動に対する考察

本免震装置、免震床には上下動を吸収するための特別な措置は考えられていないが、それは以下の理由による。

(1) 一般の地震動では、地動の上下方向の最大加速度は水平方向のそれと比べて、ほぼ1/2程度である。また、水平動は建物(中・低層建物)によって3倍程度増幅

されるのに対して、上下動は建物の構造上増幅されにくく、振動数範囲も高いので、その影響力は小さい。

(2) 免震床は、種々の理由から建物のスラブに堅固に固定できない機器の移動、転倒を防止するのに用いられるものであるから、上に置かれた機器のロッキング応答が重要となるが、水平二方向の加速度を十分に低く抑さえおけば、上下動はそのままでも、機器の移動、ロッキングを防止することができる。

(3) 免震床では平常時の固定の状態から地震時の作動の状態への切換えが円滑に、信頼性良く行われることが肝要であるが、上下動吸収のための機能をもちこむと、どうしても機構が複雑になり、その円滑さ、信頼性は低下する。

(4) 電算機室の場合、広いものになると1000 m<sup>2</sup>程度のももあり、これだけの広さの床を配置された機器とともに、剛体のように水平を維持しながら上下動を吸収すべく運動させることには大きな困難が伴う。

4. あとがき

前2報と本報では、本免震床に用いられる免震装置の振動特性と免震性能に関する基礎的な実験と解析について述べてきた。次報以降では、試作された実大規模の免震床による実験とその解析について述べる。

(1980年8月19日受理)

参考文献

1) 藤田, 服部, 石田; 予引張あるいは予圧縮ばねを利用した免震床の研究 (第1報), 生産研究, Vol. 32, No. 8 (1980)  
 2) 藤田; 同(第2報), 生産研究, Vol. 32, No. 10 (1980)