

水平二次元免震床の部分的な三次元免震床への拡張

Improvement of a Horizontally Two-Dimensional Earthquake Isolation Floor for a Partially Three-Dimensional Earthquake Isolation Floor

藤 田 隆 史*
Takafumi FUJITA

1. ま え が き

筆者の研究室は数年前に某メーカーと共同でコンピュータ・システム用の免震床を開発した^{1)~3)}この免震床は予引張りばねによる非線形復元力特性を利用した水平二次元免震床であり、現在までの間に、主として銀行のコンピュータ・システムなどに実用されており、その実施例は増加している。

ところで、コンピュータ・システム内のディスク装置については、鉛直動も免震する三次元免震の要望がある。しかし、このために床全体を三次元免震床にすることには次のような問題点がある。すなわち、コンピュータ・ルームの場合、広いものになると1000m²程度のものもあり、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ためには特別な構造が必要となり、免震床が非常に高価なものにならざるを得ない。そこで、ディスク装置に対しては、それが設置される床の部分だけに水平維持が確保された鉛直動免震機構を用いて、水平二次元免震床を部分的な三次元免震床に拡張することが考えられる。このようにすれば、ディスク装置のレイアウトには多少の拘束が加わるが、比較的低コストで信頼性の高い三次元免震が可能となる。

2. 部分的な三次元免震床の基本構造

図1に部分的な三次元免震床の基本構造を示す。まず、水平二次元免震床の基本構造は、H型鋼を平面格子状に組んだ可動床を自由方向ボールベアリングで支持して可動床の水平面内の移動を可能にし(ただし、建物の床スラブ側にはベアリングの移動範囲大の鋼板を設置する)、可動床と床スラブの間に予引張りばねを用いた免震装置(可動床にセットアップ・スプリングの非線形復元力特性を持たせるためのもの)およびオイルダンパを取り付け、可動床上面に通常のフリーアクセス・フロアを設置する構造である。ここで、水平用オイルダンパは、図示のとおり、運動方向と直角に装着してあり、これによって免震床特有の大きな水平方向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。ただし、減衰力は振幅依存性のある非線形減衰力となる。

一方、部分的に用いる鉛直動免震機構は、コイルばね、オイルダンパ、摩擦ダンパを用いて、テーブル(その上面には短脚のフリーアクセス・フロアを設置する)が平行リンク機構によって水平を維持しながら鉛直方向に上下する構造である。ここで、摩擦ダンパはエネルギー吸収と作動開始トリガの機能を果たすためのものである。この鉛直動免震機構は、先に開発した、半導体型造設備

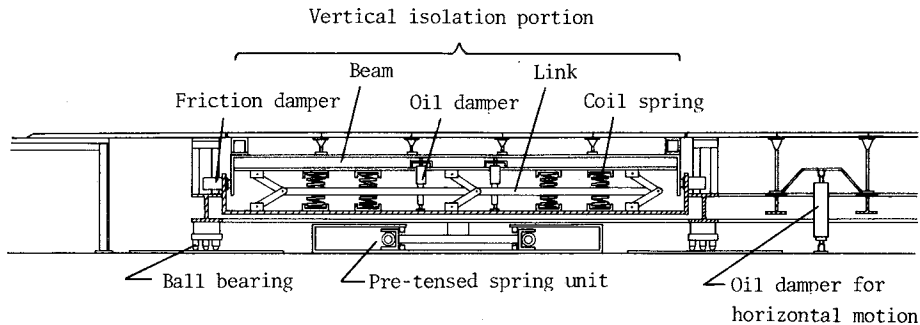


図1 部分的な三次元免震床の基本構造

* 東京大学生産技術研究所 第2部

Tohoku Univ. 1F UD

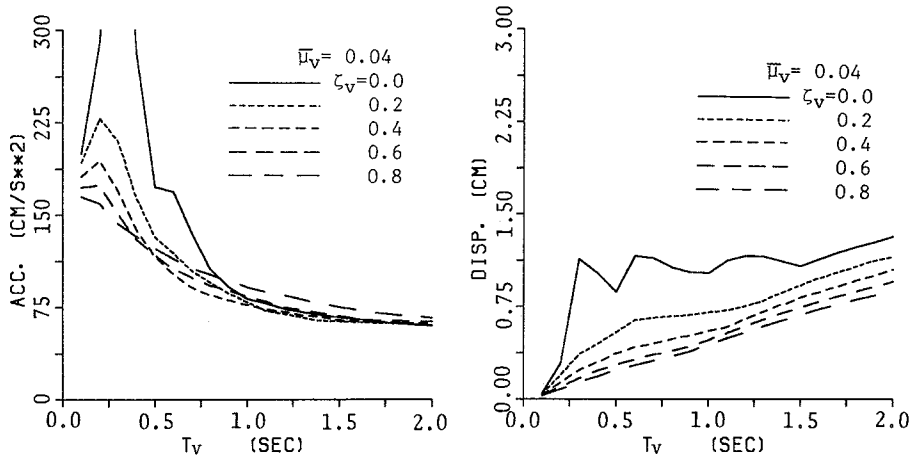


図2 鉛直動免震機構の固有周期, 臨界減衰比が免震性能に及ぼす影響 (東北大1階 UD 入力の場合)

Tohoku Univ. 9F UD

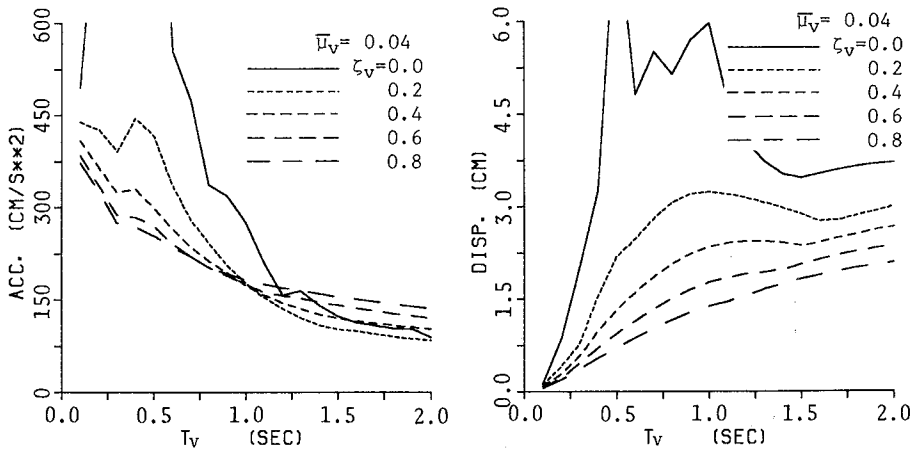


図3 鉛直動免震機構の固有周期, 臨界減衰比が免震性能に及ぼす影響 (東北大9階 UD 入力の場合)

など精密機器用三次元免震装置に使用したものであり, その際の振動実験により免震性能やテーブルの水平維持機能は確認されている.⁴⁾

部分的な三次元免震床では, 部屋の周囲や柱とのすき間の構造に水平二次元免震床と同じ簡単な構造が採用でき, 免震床と周囲の床とのすき間は免震床外周の特別大のパネルが覆い(図1参照), 柱とのすき間は柱に固定されたパネルが覆う構造とすることができる。

3. 解析モデル

予引張りばねを利用した水平二次元免震床の解析モデルについては, 免震床の並進(水平二方向)と回転(水平面内)の運動を記述する三自由度系解析モデルが作成されており, 実大モデル実験結果との比較により, その妥当性が検証されている.³⁾ また, 鉛直動免震の解析モデルについては, その免震機構の構造から, 水平方向のそれとは独立に定式化でき,⁴⁾ ここでは, 次の一自由度系モデルによって免震性能を検討する。

- (i) 摩擦ダンパのすべりがない場合—Phase I
 $z = \text{const.}, \dot{z} = 0 \dots\dots\dots (1)$

研 究 速 報

(ii) 摩擦ダンパのすべりがある場合—Phase II

$$m_v \ddot{z} + c_v \dot{z} + k_v z + F_v \mu_v \operatorname{sgn}(\dot{z}) = -m_v \ddot{z}_v \quad (2)$$

(iii) Phase I と Phase II の切換条件

$$|m_v \ddot{z}_v + k_v z| > F_v \mu_v \text{ のとき,} \\ \text{Phase I} \rightarrow \text{Phase II} \quad (3)$$

$$\dot{z} = 0 \text{ かつ } |m_v(\ddot{z} + \ddot{z}_v) + k_v z| \leq F_v \mu_v \text{ のとき,} \\ \text{Phase II} \rightarrow \text{Phase I} \quad (4)$$

ここで、 m_v は搭載機器と免震機構可動部分の質量、 z はその床スラブに対する鉛直方向相対変位、 k_v はコイルばねのばね定数、 c_v はオイルダンパの減衰定数、 F_v, μ_v は摩擦ダンパの押付力、摩擦係数、 \ddot{z}_v は床スラブの鉛直方向加速度である。さらに、次のパラメータを定義する。

$$T_v = 2\pi\sqrt{m_v/k_v} \quad (5)$$

$$\zeta_v = c_v / (2\sqrt{m_v k_v}) \quad (6)$$

$$\bar{\mu}_v = \mu_v F_v / (m_v g) \quad (7)$$

$T_v, \zeta_v, \bar{\mu}_v$ はおのおの鉛直動免震機構の固有周期、臨界減衰比、みかけの摩擦係数である。

4. 実地震床応答記録による設計パラメータ値の検討と免震性能

図 2, 3 は東北大 (1978 年宮城県沖地震) での 1 階と

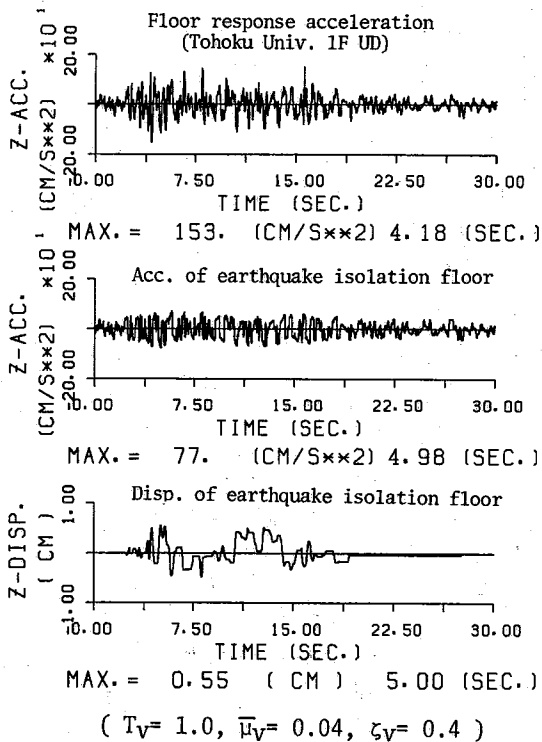


図 4 鉛直動免震の応答波形 (東北大 1 階 UD 入力の場合)

9 階の鉛直動記録を用いて、鉛直動免震機構の固有周期と臨界減衰比を変化させた場合の応答加速度と相対変位を調べたものである。ただし、みかけの摩擦係数はともに 0.04 の値 (作動開始加速度 39.2 cm/s^2) を採用してある。ここで、固有周期は、コイルばねの応力上の制約からさほど長くはできず、実際に可能な周期は 1 秒程度である。そこで、両図より、適切なパラメータ値として、 $T_v = 1.0 \text{ s}, \bar{\mu}_v = 0.04, \zeta_v = 0.4$ を採用する。図 4, 5 は、このパラメータ値を採用した場合の鉛直動免震機構の応答波形である。加速度は約 1/2 に低減され、相対変位は 1 階で 0.6 cm、9 階で 2.3 cm と水平動免震の場合に比べると非常に小さいことがわかる (図 6 参照)。

図 6 は、上で得られた鉛直動免震についての結果とすでに検討済の水平動免震についての結果³⁾を合わせて示したものであり、部分的な三次元免震床の免震性能を表している。

5. あとがき

鉛直動免震は水平動免震ほど免震効果を上げることは困難である。これは鉛直動免震機構の固有周期をあまり長くできないことによる。鉛直動免震機構の固有周期

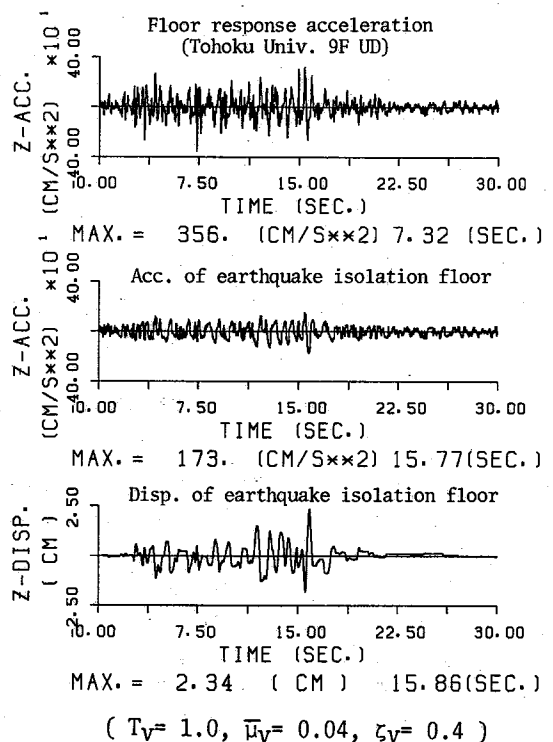


図 5 鉛直動免震の応答波形 (東北大 9 階 UD 入力の場合)

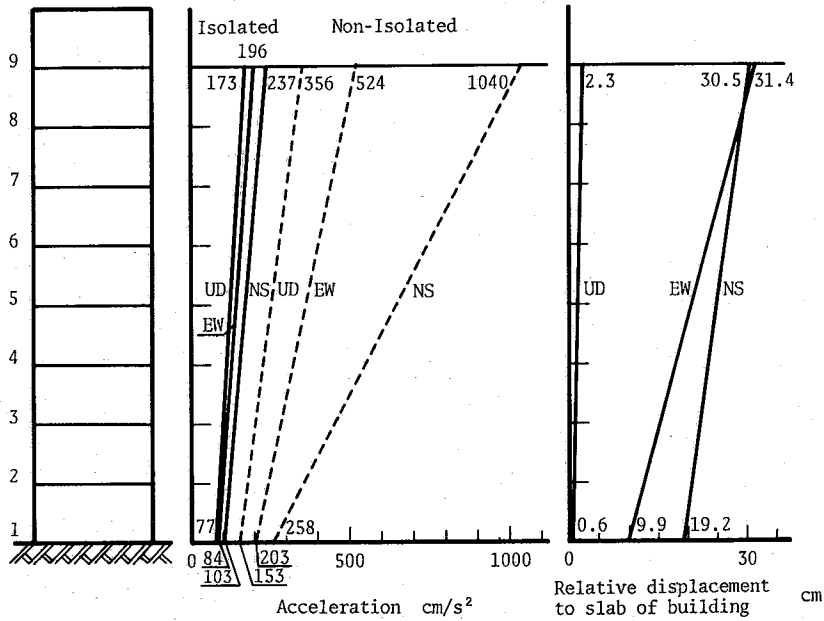


図 6 部分的な三次元免震床の免震性能

T_v (s)とコイルばねの静たわみ δ_v (cm)の間には常に $\delta_v = 24.8 T_v^2$ の関係があり、 T_v を大きくすると δ_v は急激に大きくなる ($T_v = 2$ s とすると $\delta_v = 99.2$ cm)。したがって、自重支持によるコイルばねの応力を許容値内に収め、免震床の全高を低く押えるためには、1秒程度の固有周期が限度となる。また、鉛直動免震のためには水平維持機構が不可欠のものとなり (これがないと鉛直動免震機構が大きなロッキングを起こし、かえって危険)、装置がやや複雑なものとならざるを得ない。

以上から、筆者は、費用対効果を考えて、鉛直動免震は必要最小限にとどめるのが適切と考えており、ここに述べた部分的な三次元免震床はその考えに沿ったもので

ある。

(1984年10月30日受理)

参 考 文 献

- 1) 藤田・服部・石田, 予引張り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), 機論, 49巻, 441号, C編 (1983-5)
- 2) 藤田・服部・石田, 予引張り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, 予引張り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。
- 4) 藤田・鞍本・小見, 三次元免震装置の研究, 機講論, No. 840 -11 (1984-10)

