

3次元すべり型免震床システムの開発

柏崎 昭宏 技術本部技術研究所機械鉄構開発部 専門課長
 森 祐介 機械鉄構事業本部鉄構事業部開発部
 原 朗芳 機械鉄構事業本部環境施設事業部土木建築プロジェクト部
 徳田 直明 技術本部技術研究所機械要素研究部 担当部長代理 工学博士

Development of Earthquake Isolation Floor System Using Slide Bearing and Air Spring

Akihiro Kashiwazaki, Yusuke Mori
 Akiyoshi Hara, Naoaki Tokuda

An earthquake isolation floor system has been developed for computer systems. The system consists of 3-dimensional isolators, air tanks, restoring springs and leveling controllers which automatically maintain the level of the floor. The 3-dimensional isolator, constructed using a bellows type air spring and a slide bearing mechanism, reduces vertical vibration with the air spring and horizontal vibration with the slide bearing. The horizontal isolation effect is not dependent on the vibration frequency, so that the system can be installed into relatively high buildings of 10 stories. Seismic-shaking tests were conducted to examine the effectiveness of the system. The results were satisfactory and effective earthquake isolation performance was confirmed.

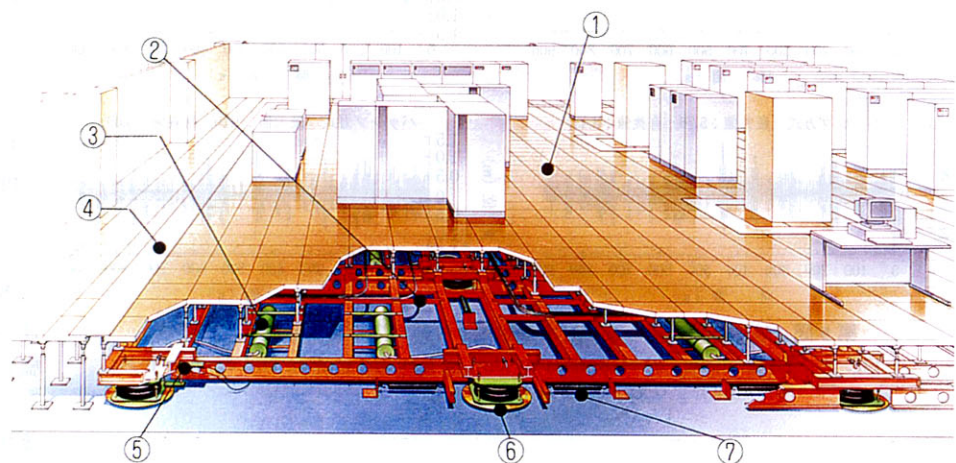
1. 緒 言

通信、物流、金融をはじめ、われわれの社会・経済活動の中核はコンピュータによって担われているといっても過言ではない。これらのコンピュータは、たとえ不測の大地震に際しても、その機能を正常に保つことが望まれる。1995年1月に起った阪神・淡路大震災（兵庫南部地震）では、コンピュータに対する地震対策の必要性が改めて痛感させられた。揺れが大きかった地域のコンピュータには、停電や通信回線の故障によるほか、過大な振動によって機器本体にも滑動、転倒、落下が生じ、とくに記憶装置に故障が多発した。その結果、コンピュータネットワークが寸断され、通信や物流をはじめとする社会・経済活動が麻痺した。

当社は、コンピュータの地震被害に対処するため、1981年から免震床の開発を開始し、積層ゴムと空気ばねを組み合わせたアイソレータを主要装置とする3次元免震床システムを実用化した⁽¹⁾。このシステムは、空気ばねを用いた初めての本格的3次元免震床として、金融機関をはじめ大規模コンピュータセンター、重要施設の中央制御室に

も設置され⁽²⁾、高い評価を得てきた。しかし、アイソレータの水平方向の長周期化には一定の限界があり、固有周期が1秒以上の建築物への設置には課題を残した。

そこで、固有周期が1.5秒程度の中層建築物まで適用できる免震床として、すべり機構と空気ばねを用いた3次元すべり型免震床システムを開発した。本システムでは、すべり機構を採用することにより免震床に作用する水平力をすべり摩擦程度におさえることができ、また、アイソレータの小型化をはかることができる。



(注) ①：フリーアクセスフロア ⑤：自動レベリング装置
 ②：ケーブル受 ⑥：アイソレータ
 ③：補助タンク ⑦：復元ばね
 ④：緩衝パネル

第1図 3次元すべり型免震床システム

Fig. 1 General view of earthquake isolation floor system using slide bearing and air spring

本稿では、本システムの概要を述べ、振動台を用いた免震性能確認試験結果をとりまとめて報告する。

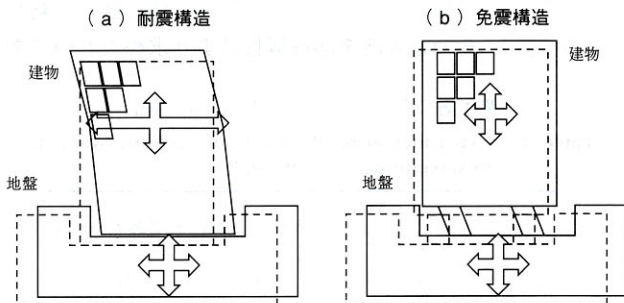
2. コンピュータの耐震性能と免震床の必要性⁽³⁾

耐震構造と免震構造を比較したものを第2図に示す。構造物を剛にして地震に耐えるという従来の耐震構造に対し、免震構造は構造物の支持部に柔らかいばねなど特殊な機構を設けることによって、揺れを上部構造へ伝えにくくするものである。免震構造には、建築物全体を免震する建物免震のほか、対象物に応じて部分的に免震するものがある。このうち、コンピュータなどの重要装置を設置するフロアだけ免震するのが免震床システムである。

コンピュータの耐震性能はメーカーや機種によって異なり、また、地震動や建築物の特性によっても影響を受ける。しかし、代表的なメーカーが公表している地震対策マニュアルなどによると、「コンピュータがシステムエラーすることなく、安定して稼働できる地震動は200～250 galである」とされている。

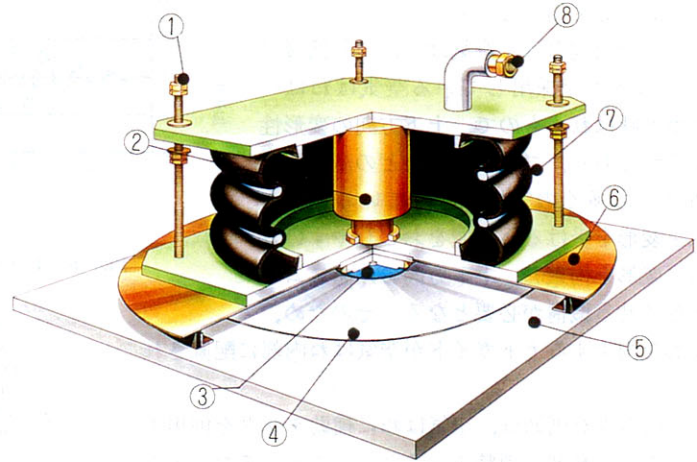
従来の耐震構造では地震動を低減する効果がなく増幅が避けられないことを考えると、たとえ転倒や落下によるコンピュータ本体の損傷を免れたとしても、コンピュータの機能停止やデータの喪失まで防ぐことはできない。これに対し、免震構造はコンピュータの機能やデータまで守ることができるレベルまで、地震動を低減することができる。この意味で、コンピュータを大地震から守るには、免震床をはじめとする免震技術に頼らざるを得ない。

さらに、コンピュータなどの精密装置は、構造上、上下動に対して応答しやすいものが多いとされているので、水平動のみならずこれまで見すごされてきた上下動に対する地震対策が必要である。兵庫県南部地震のような直下型地震においては、これまで考えられてきた加速度の数倍の記録も観測されている。したがって、コンピュータの地震対策には、地震の水平動のみならず上下動にも有効な3次元



第2図 耐震構造と免震構造の比較

Fig. 2 Comparison of earthquake resistance structure and isolation structure



- (注) ①：上限ストップ ⑤：レベルモルタル
 ②：内部ガイド ⑥：防じんカバー
 ③：スライドベアリング ⑦：空気ばね
 ④：すべり板 (SUS製) ⑧：給気口 (オリフィス)

第3図 3次元アイソレータの構造

Fig. 3 Arrangement of 3-dimensional isolator

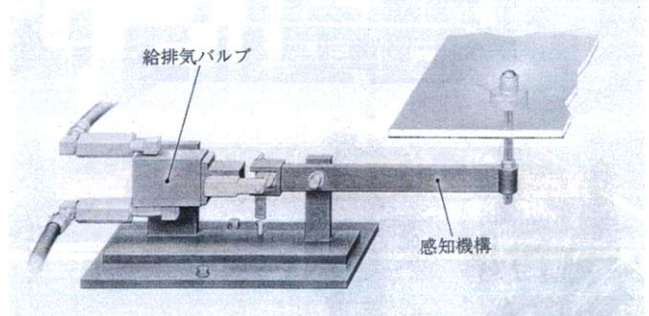
免震構造が必要となる。現状の技術では建築物全体の3次元免震構造はまだ開発段階といてよく、3次元免震が実現できるのは免震床システムのみである。

3. システムの構成および機能

本システムは、アイソレータを中心とする免震機構、床全体を一体構造にする床フレーム、2重床を形成するフリーアクセスフロアなどから構成されている(第1図)。

3次元アイソレータの構造を第3図に示す。水平方向の地震力は、免震床に摩擦力以上の力が作用するとすべりが生じることによって低減する。すべり機構は、特殊なコーティングを施したスライドベアリングとSUS製すべり板の組合せである。摩擦抵抗が小さくかつ安定した特性が得られるように、開発段階において実物大の振動試験が積み重ねられ、信頼性と耐久性が確保されている。

免震効果を損なうことなく地震時の水平方向の過大な移動量を減少させ、かつ地震後の原位置復帰機能をもたせるため、ごく弱い復元力をもつ復元ばね(コイルばね)が配置されている。すべり機構の採用により摩擦によってエネルギーが消費され、それ自体が減衰装置としても機能する



第4図 自動レベリング装置

Fig. 4 Leveling controller

ため、ダンパを併用する必要はない。

上下方向の地震力は、空気ばねにより低減する。本システムで採用している空気ばねはベロース型と呼ばれるもので、上下方向の変形性能にすぐれており、プレス機械などの産業用防振装置として多くの実績をもっている。しかし、水平変形を受けると座屈をおこしやすいため、水平変形を拘束し、上下方向のみをスムーズに変形させる機構が必要となる。そのため、水平変形を拘束する上下ガイドが空気ばね内部に配置されている。

上下方向の固有周期は、空気ばねに補助タンクを併用することにより広範囲に調整することができる。また、上下方向のダンパとして空気ダンパを採用している。これは、空気ばねと補助タンクとの連結部に設けたオリフィスによって減衰力を得る機構である。

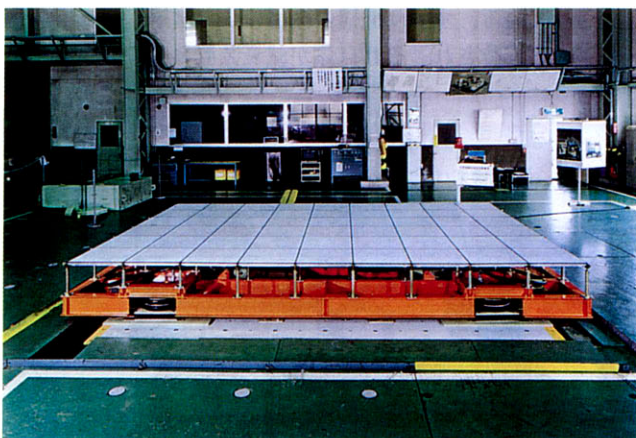
空気ばねを用いるもうひとつの特長として、床レベル調整機能がある。自動レベリング装置を第4図に示す。本装置は、床レベルが変動すると、バルブによって元の床レベルへもどすように空気ばねに給・排気を行ない、床レベルおよび水平度を一定に保つ働きをもっている。

コンピューターームでは、機器のレイアウトの変更にもなって床上の重量が絶えず変動する。コイルばね方式で必要とされた人手による高さ調整が、本装置によって不要となった。

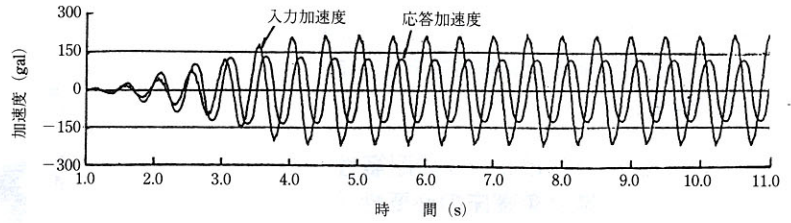
4. 性能確認試験

本システムの免震効果を確認するため、当社技術研究所（横浜）に設置されている3次元6自由度大型振動台を用い、性能確認試験を実施した。試験に用いた実大の免震床モデルを第5図に示す。5.4（横）×3.6（縦）mの床構造で、総質量は約10tに調整されている。床構造の4隅に配置されているアイソレータの空気ばねには、有効径：400mmの3段山のベローズが用いられている。

水平および上下の同時加振の地震波により免震性能を確

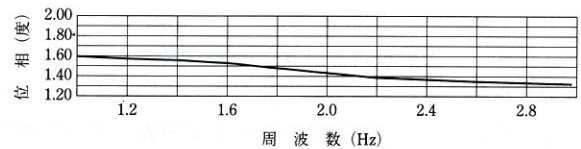
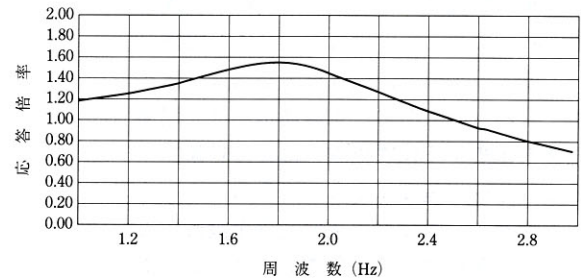


第5図 試験モデル
Fig. 5 Test model



第6図 水平正弦波加振結果

Fig. 6 Experimental result for horizontal sinusoidal wave



第7図 正弦波掃引加振による上下伝達関数

Fig. 7 Vertical transfer function on sinusoidal sweep

認するとともに、水平正弦波および上下正弦波の掃引加振により免震床の基本的振動特性を調べた。

4.1 基本振動特性

2 Hz, 200 gal の水平正弦波加振結果を第6図に示す。免震床の応答加速度が100 galを超えたあたりからすべりが発生しており、応答加速度は頭打ちになっている。同図から、すべり機構の摩擦係数は0.13程度であることがわかる。

振動台入力加速度に対する免震床応答加速度の比を表わす上下方向の伝達関数を第7図に示す。上下振動台の入力振幅は、5 mm で一定とした正弦波の掃引加振によるものである。このケースでは、免震床の上下の共振振動数は1.8 Hz、応答倍率は1.5程度で、空気ダンパにより30%以上の減衰比が得られる。

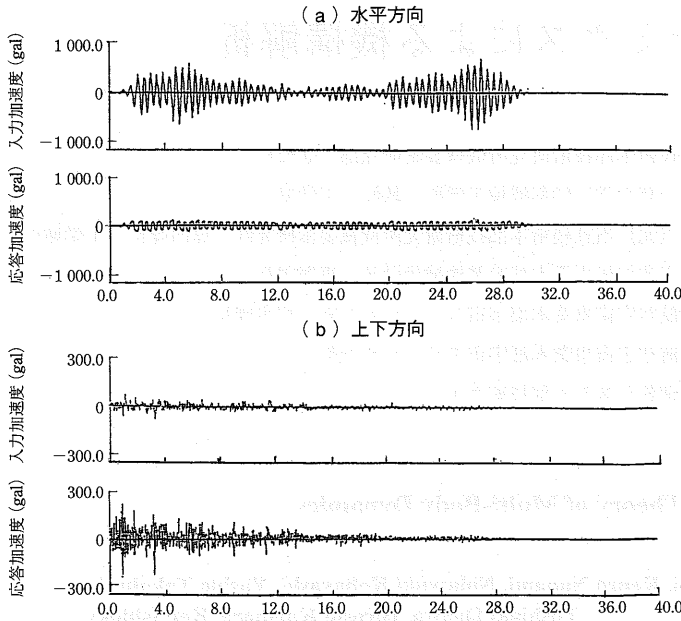
4.2 性能確認試験結果

地震波加振は、8階建て建築物の8階に免震床がある場合を想定して実施した。加振波は典型的な建築物の振動特性を仮定し、その応答波を応答解析により求めたものであ

第1表 免震性能試験結果（単位：gal）

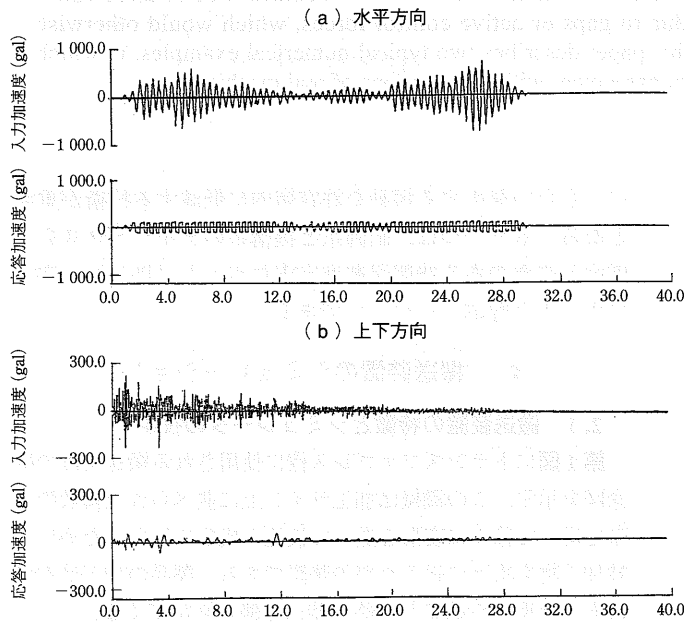
Table 1 Experimental results for floor response wave due to seismic wave (unit : gal)

種別	項目	入力最大加速度	応答最大加速度
	加振方向		
EL Centoro	水平 (NS)	750	170
	上下 (UD)	230	80
Taft	水平 (EW)	950	150
	上下 (UD)	120	110



第8図 El Centro 8階床応答波に対する応答試験結果

Fig. 8 Experimental results for 8th floor response wave due to El Centro seismic wave



第9図 El Centro 8階床応答波に対する解析結果

Fig. 9 Analytical results for 8th floor response wave due to El Centro seismic wave

る。解析に用いた建築物の固有周期は0.43秒、減衰比は2.5%である。また、入力波は耐震設計にひろく用いられているEl Centro (1940年)とTaft (1952年)であり、入力加速度は地表面加速度で建築物の耐震設計のレベル1にほぼ相当する水平250 gal, 上下125 galとした。

各床の応答波に対する免震効果を第1表に示す。また、El Centro 8階床応答波に対する入力速度および応答加速度

を第8図に示す。

以上の試験結果から、免震効果の程度は地震波によって異なるが、いずれの地震波に対してもすぐれた免震効果が確認された。

4.3 シミュレーション解析

水平方向は、摩擦を考慮した1質点系非線形解析モデルによりモデル化することができる。すなわち、免震床に作用する水平力が摩擦力に達した時すべりが生じると仮定する。摩擦については、静摩擦係数と動摩擦係数が等しく、摩擦係数の大きさが速度に依存しないCoulomb摩擦とする。

上下方向については、通常の線形モデルでモデル化することができる。El Centro 8階床応答波に対する解析結果を第9図に示す。第8図との比較からあきらかなように両者はよく一致しており、本解析モデルにより免震床の応答をシミュレートできることがわかる。

5. 結 言

わが国における免震床システムの導入は1977年ころから始まり、現在、施工実績は150件を超え、延床面積は200 000 m²に達している。その導入は、今後、ますます進むものと予想される。

中層建築物への設置とアイソレータの小型化を目標に本システムの開発を進めたが、空気ばねとすべり機構を組み合わせることにより、すぐれた免震性能をもつ3次元免震床システムを実用化することができた。設置条件によって、すでに実用化されている積層ゴムと空気ばねを組み合わせたシステムとを使い分けることにより、コンピュータをはじめ重要機器を守るシステムとしてひろく対応できると確信している。

参 考 文 献

- (1) 柏崎昭宏, 田中元章, 徳田直明, 榎本孝雄: 空気ばねと積層ゴムを組合せた免震・除振床システムの開発 日本機械学会論文集 第512号C編 1989年4月 pp. 847-852
- (2) M. Uriu, M. Yamamoto, K. Shinzawa, Y. Yamazaki, N. Tokuda, A. Kashiwazaki, M. Iwama, S. Matsumoto, J. Yokozawa and A. Hara: Three-dimensional Seismic Isolation Floor System Using Air Spring and its Installation into Nuclear Facility Transactions of the 12th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology Division K pp. 363-368
- (3) 柏崎昭宏, 森 祐介: コンピュータの地震対策 (3次元免震床システム) 月刊無人化技術 1995年5月 pp. 49-53