

コンピュータシステム用免震床における最近の適用と 長周期化への取組み

Recent Application of Seismic Isolation Floor System for Computer System and a Trial for Longer Period System Realization

小池裕二	技術開発本部基盤技術研究所構造研究部 主幹 博士(工学)
風間睦広	株式会社 IHI インフラシステム 技術本部エンジニアリング部 主査
井澤竜生	株式会社 IHI インフラシステム 技術本部エンジニアリング部
早野哲央	株式会社 IHI インフラシステム 技術本部エンジニアリング部 次長 技術士(建設部門)
今関正典	株式会社 IHI インフラシステム 技術本部エンジニアリング部 課長 技術士(電気部門)

銀行などのコンピュータシステムでは、大地震時の揺れを低減し、機能を正常に維持させるために、免震床が適用されている。最近、水平方向における建屋免震の普及に伴い、水平方向は建屋免震を利用して、上下方向のみを免震させる上下免震床へのニーズが急速に高まっている。本稿では、当社における上下免震床の適用状況について述べる。また、想定入力地震動の多様化および高レベル化に対応するために、固有周期の長周期化への取組みについても紹介する。

Seismic isolation floor systems have been applied to protect computer systems that socially important facilities are equipped with, such as the data centers of financial institutions, and such seismic isolation floor systems can highly reduce the vibration response during strong earthquakes, allowing computer systems to continue to function normally. Recently, there has been growing usage of seismic isolation building systems designed for horizontal movements, and there is growing demand for seismic isolation floor systems designed for vertical movements to be also employed in such cases. This paper deals with the recent application of seismic isolation floor systems designed for vertical movements with regard to earthquake protection for computer systems. Additionally, a trial of a system that lowers the natural frequency of an seismic isolation floor system in order to effectively accommodate a variety of conceivable earthquakes is described.

1. 緒 言

IT (Information Technology) を根幹とする現代社会においては、コンピュータシステムの停止あるいは誤動作は、社会的に大きな影響をもたらす。このため、特に、銀行など社会的に重要な機関のコンピュータシステムでは、大地震時の揺れを低減し、機能を正常に維持させることが重要な課題となっている。

1980年代後半に入り、金融業界を中心として、コンピュータ機器を建物の床スラブ(コンクリート床版)上から柔らかいばねで支持することで、地震時の揺れを低減する免震床が導入されるようになった。当初のものは、コイルばねを用いたものが中心であった。しかし、この場合、コンピュータ機器のレイアウトの変更に伴い、床上の質量が変動すると、その都度、多大な床レベル調整作業が必要になることが大きな課題であった。

当社は、このような課題を解決するため、コイルばねに代わって、空気ばねに自動レベリング装置を備えた免震床

システムを開発した。空気ばねは、古くは新幹線の初代0系車両の支持に用いられるなど、この技術は信頼性の高いものである。このシステムは、床上の質量変動に伴い、床レベルが変化するとバルブによってもとの床レベルに戻すように空気ばねの給気・排気を行い、床レベルを自動的に一定に保つものである^{(1)・(2)}。本システムは、1989年の初号機以来、官公庁・金融関連企業のデータセンターなどのほか、高度な信頼性が要求される原子力施設の制御室にも納入されてきた⁽³⁾。

一方で、1995年の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)を契機に、免震技術への関心がいっそう高まると、大荷重を支え、水平方向に変形能力が大きい積層ゴムを用いた建屋免震の普及が進んだ。この場合、上下方向をも免震するためには、多大なコストアップと技術的困難を伴い、三次元建屋免震⁽⁴⁾は今のところ、ごく少数例に限られている。このため、免震床においては、ここ数年は、水平方向は建屋免震を利用して、上下方向のみに免震機能をもたせるようにした上下免震床へのニーズが急速に高まっている。

こうした免震床の設計においては、入力地震動が個別案件ごとに多様化し、それぞれの仕様に応じた対応が必要になってきている。このため、免震床の固有周期は、免震性能とともに、設置空間およびコストを配慮した、最適な値に設定することが重要になっている。

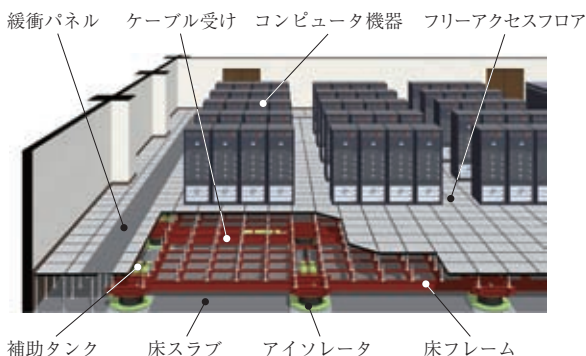
以上のような観点から、本稿では免震床の新しい展開として、上下免震床の適用状況について述べるとともに、今後の方向性に関連して、固有周期を長周期化した免震床の開発への取組み状況についても簡単に紹介する。

2. 上下免震床の構造

第1図に、免震床を備えたコンピュータールームの概観図を示す。アイソレータと呼ばれる免震を行う機構部、床全体を一体構造とする床フレームおよび2重床を形成するフリーアクセスフロアなどによって構成される。アイソレータは、上下方向の揺れを空気ばねによって低減する機構となっている。

上下免震に用いられるアイソレータの外観図の一例を第2図に示す。上下方向の免震には、前述のように空気ばねを用いる。免震床をばねによって柔らかく支持することで、建物床スラブから入力される上下方向の地震の揺れを低減させる。この空気ばねには、ペローズ型と呼ばれる提灯構造のものを用いている。

空気ばねを適用する場合、ペローズ部の本体だけでは免震性能に要求される柔らかいばね特性を実現させるための空気容積が不足するので、通常は補助タンクを組み合わせる。この際、本体と補助タンクを結合する配管内に、絞りを設ける。絞りは、配管径よりも小さい径をもつ円状の穴であり、ここを空気が通過すると抵抗が生じ、減衰を得ることができる。これによって、免震床には適度な減衰が与えられて、良好な免震性能が得られる。

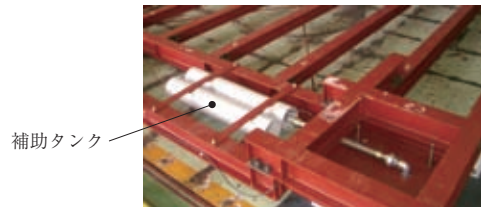


第1図 免震床を備えたコンピュータールームの概観図
Fig. 1 General view of computer room equipped with seismic isolation floor system

(a) 横から見た様子



(b) 上部から見た様子



第2図 アイソレータの外観図
Fig. 2 Exterior view of isolator

水平方向は、建屋免震の効果をそのまま利用する。このため、上下方向の揺れのみを許容する必要がある。上下方向ガイドを空気ばねと並列に配置する。このガイドは、内筒と外筒をもつ入れ子構造になっている。

3. 上下免震床の性能

1章で述べたように、入力地震動が個別案件ごとに多様化し、それぞれの仕様に応じた対応が必要になってきている。一般には、免震床の固有周期を長周期に設定するほど、高い免震性能が得られるが、装置が大型化し、コストアップの要因になる。したがって、免震床の設計では、免震性能と併せて、設置空間とコストを考慮し、適切な固有周期を設定することが重要である。

ここでは、はじめに、免震床の実施例のうち、固有周期を短周期に設計した例を紹介する。次に、長周期に設計した例を紹介する。なお、両例とも、免震床の性能を決める免震床面加速度は、コンピュータシステムに要求される条件から、 200 cm/s^2 以下と設定されている。

3.1 2 Hz 用免震床

固有振動数を約 2 Hz に設定した、2 Hz 用免震床の性能について、性能試験を行っているので紹介する。

この実施例では、免震床が既存建屋に適用されるため、設置高さが制限されていた。このため、免震床の固有振動数は、免震性能を確保することに加えて、アイソレータを許容スペース内に収納することも考慮に入れて決定されている。

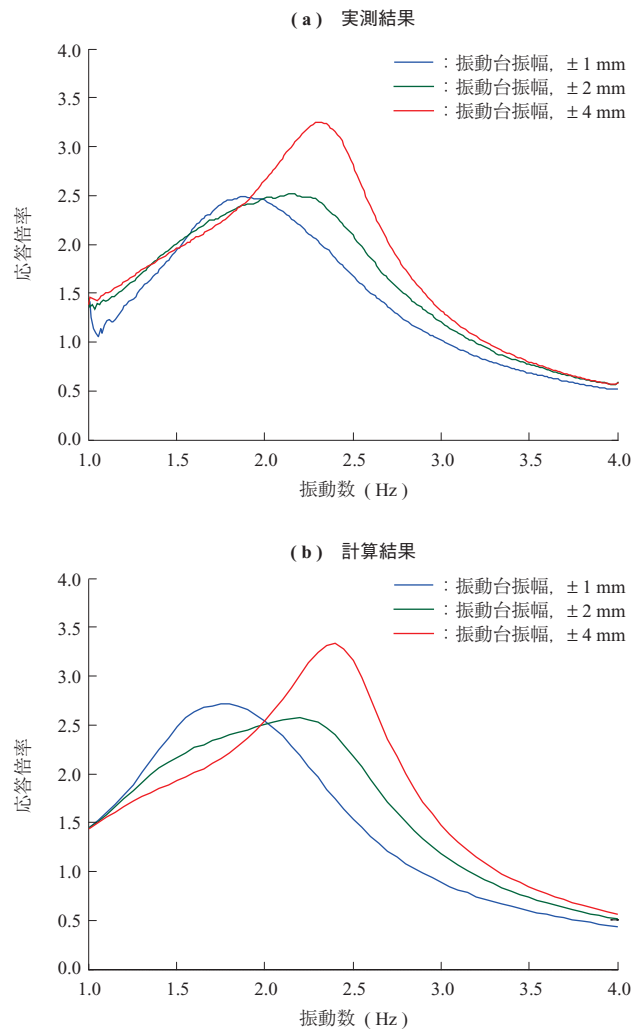
試験には、当社所有の三次元大型振動台を用いた。供試体は、4個のアイソレータによって支持された、免震床の最小単位となる基本構造である。床上には、試験のために

製作したコンクリートスラブを載荷して、実際に使われるときと同じ荷重条件にする。空気ばねは、2段のペローズ型である。この状態に対して、正弦波による免震床の基本性能および地震応答に対する免震性能を実測し、設計手法の妥当性を確認した。

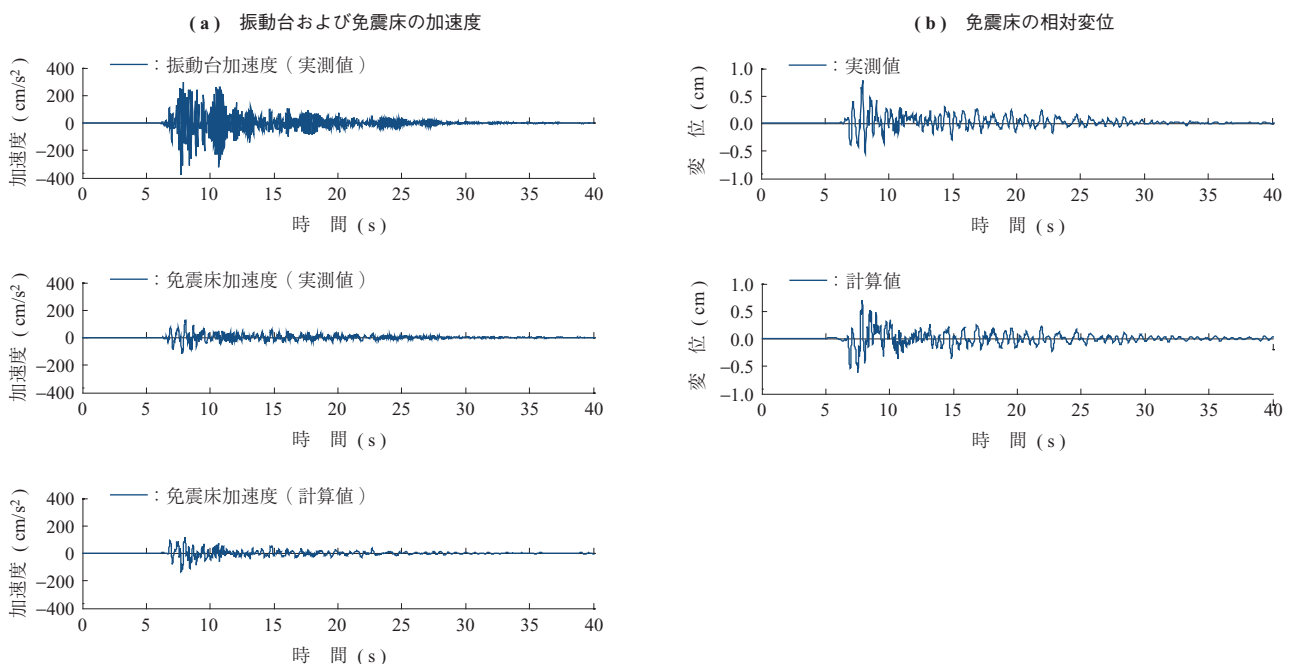
本体と補助タンク間の絞り効果によって得られる減衰は、振幅依存性をもつ。第3図に、この特性を示す。振動台の上下方向に正弦波を入力し、加振周波数を掃引（周波数を一定速度で変化）させたときの振動台加速度に対する免震床中央部の絶対加速度を伝達関数で表した。絞り径を適切な値に設定し、入力振幅を $\pm 1 \text{ mm}$ 、 $\pm 2 \text{ mm}$ および $\pm 4 \text{ mm}$ の3種類に変化させた場合を示す。横軸は振動数、縦軸は応答倍率を表しており、第3図-(a)は実測結果、-(b)は-(a)に対する計算結果である。計算では、絞り効果によって生じる減衰が流速の二乗に比例すること⁽⁵⁾を考慮するため、力学モデルの減衰要素にも速度二乗型の減衰を採用し、実際の振動特性を忠実に再現した。

この結果、計算で得られた免震床の応答倍率は、実測結果と同様に入力振幅に依存して異なった曲線を示すことを再現でき、精度良い解析モデルが構築された。

また、第4図に、地震時の免震性能を時刻歴応答波形で示す。入力波には、地震時の免震床設置階における床スラブの応答波を用いた。ここで対象とした地震波は、建物設置点での断層特性を考慮した模擬地震波であり、床スラブでの最大加速度は、第4図-(a)に示すように、約



第3図 振動台の入力に対する免震床中央部の伝達関数
Fig. 3 Transfer function for the center of the seismic isolation floor with regard to shaking table input



第4図 2 Hz 用免震床における地震時の時刻歴応答波形
Fig. 4 Time history of responses during earthquake when using a 2-Hz type seismic isolation floor system

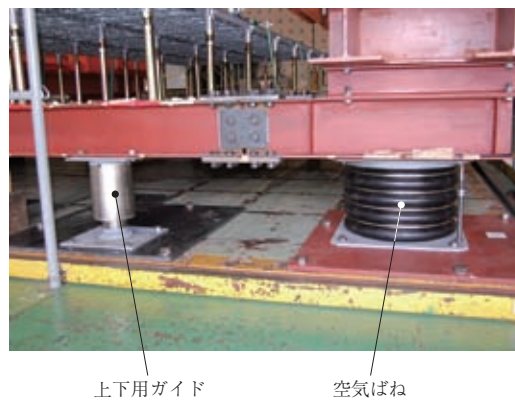
380 cm/s²である。同入力波における性能目標は、前述のように、免震床面加速度は 200 cm/s² 以下に設定されている。第 4 図 - (b) に示すように、免震床面加速度の最大応答値は約 130 cm/s² に低減されており、目標レベルを十分に満足できていることが分かる。また、計算結果は実測結果と良く一致し、解析手法の妥当性が検証された。

3.2 固有周期の長周期化による免震性能の向上

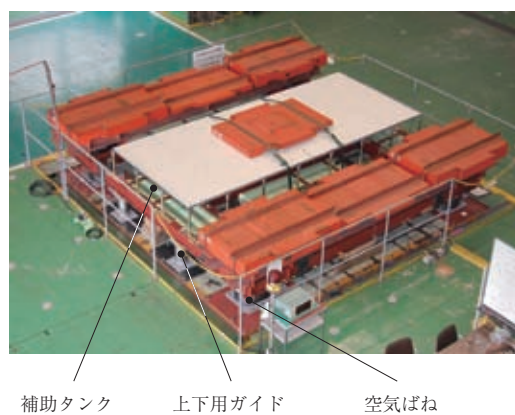
設計に採用される入力地震動が多様化し、水平方向とともに上下方向の入力が大きくなり、上下免震床においても、より大きい入力に対して高い免震効果が求められるようになってきている。したがって、免震床の固有周期を、より長周期に設計することが必要になる場合が生じている。

従来から、空気ばねの場合は周期を長くするために、ばね本体に補助タンクを組み合わせた構成が用いられている。このほど、筆者らは、本体に比して大容量の補助タンクをもった空気ばねを用いて免震床を構成し、要素試験および地震時の免震性能を確認した結果、1 秒を十分に超える固有周期を達成し、高い免震性能を得ることに成功した。空気ばね本体には、第 5 図に示すような 5 段のペローズ型を用いた。

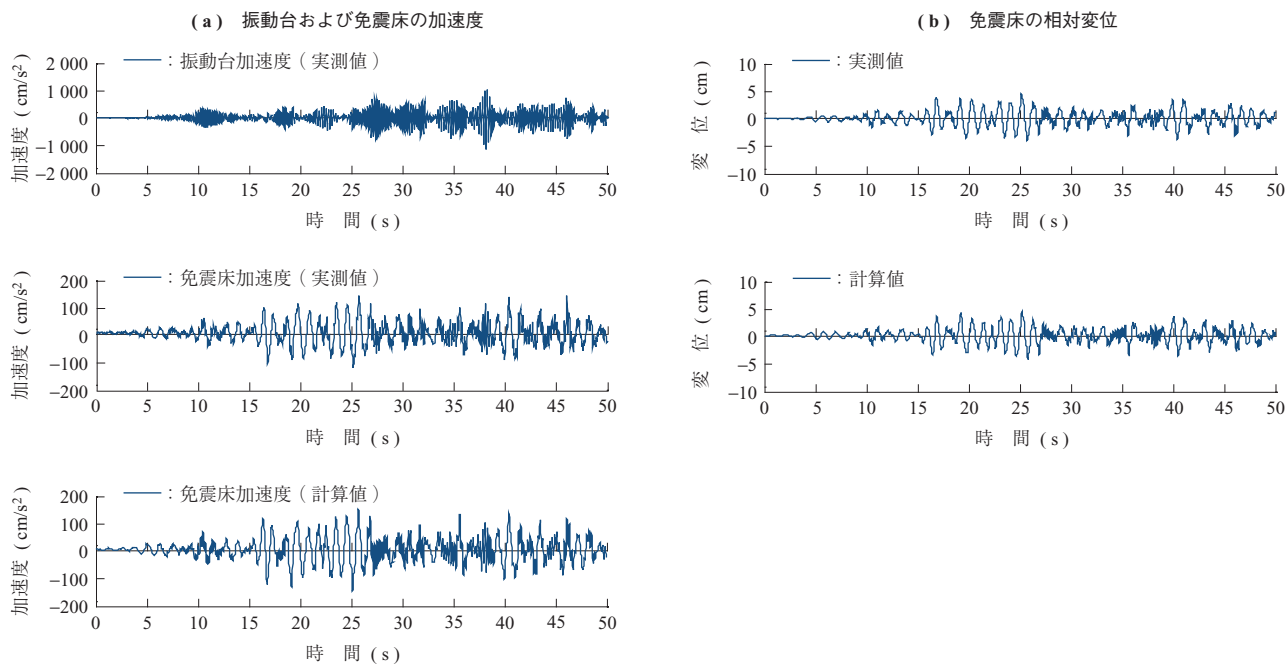
振動台による性能試験の状況を第 6 図に示す。このアイソレータでは、1 個の空気ばね本体に対して、5 本の補助タンクが用いられている。この結果、本システムにおける固有振動数は、約 0.8 Hz (固有周期：約 1.25 秒) を得ることができた。第 7 図に、同システムにおいて、地震時に対する免震性能を確認したときの結果の一例を



第 5 図 長周期化した免震床に用いたアイソレータの外観図
Fig. 5 Exterior view of isolator used for seismic isolation floor systems of the long natural period type



第 6 図 振動台による性能試験
Fig. 6 Performance test using shaking table



第 7 図 長周期化した免震床における地震時の時刻歴応答波形
Fig. 7 Time history of responses during earthquakes when using an seismic isolation floor system of the long natural period type

示す。地震波に八戸波（1968年の北海道十勝沖地震で青森県八戸港において記録された地震波）を採用したときのスラブ応答波を振動台に入力した場合である。同アイソレータを適用することによって、 $1\,000\text{ cm/s}^2$ を超える入力は約1/7に低減し、免震床面加速度は、目標値の 200 cm/s^2 以下を満足できることを実証した。

4. 結 言

免震床の新しい展開として、最近のコンピュータシステムの地震対策に関連して、上下免震床の適用例について述べた。また、要求仕様の多様化に対応するため、固有周期の長周期化への取組みについても紹介し、特別な機構を用いずに、空気ばねと補助タンクとの組合せのみで固有周期を約1.25秒まで達成できることを示した。上下免震床で、1秒を超える固有周期を実施した例は過去にないと思われる。

コンピュータシステムにおける上下免震については、三次元建屋免震を利用することも考えられるが、コストおよび実績の両面を勘案すると、免震床を適用することが優れた方法である。その意味で、今後も免震床が果たす役割は大きいと考えており、さらなる安全・安心へ寄与してゆく所存である。

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(C編) 第55巻 第512号 1989年4月 pp. 847 - 852
- (2) 柏崎昭宏, 森 祐介, 原 朗芳, 徳田直明: 3次元すべり型免震床システムの開発 石川島播磨技報 第35巻第6号 1995年11月 pp. 400 - 403
- (3) M. Uriu, M. Yamamoto, K. Shinzawa, Y. Yamazaki, N. Tokuda, A. Kashiwazaki, M. Iwama, S. Matumoto, J. Yokozawa and A. Hara: Transaction of the 12th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology Volume K2 (1993. 8) pp. 363 - 368
- (4) 高橋 治, 會田裕昌, 須原淳二, 露木保男, 藤田隆史: 3次元免震建物の開発 その1 免震装置の概要と共同住宅への適用例 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) B-II 2008年9月 pp. 435 - 436
- (5) 防振ゴム研究会編: 新版 防振ゴム 社団法人日本鉄道車輛工業会 1998年 pp. 192 - 194