

ダイナミック・フロア・システムに関する実験的研究 (その2)

—振動台によるコンピュータ機器の実大振動実験—

中川 恭次 島口 正三郎
渡辺 清治

Experimental Study on Dynamic Floor System (Part 2)

—Seismic Response Experiments of Actual-Size Computer by Large Shaking Table—

Kyoji Nakagawa Shosaburo Shimaguchi
Seiji Watanabe

Abstract

The objects of these vibration tests were to investigate the effect of a "Dynamic Floor System" and the fundamental natures of computer apparatus. Seismic responses of each apparatus were investigated by setting up an actual-sized computer on double floors (an aseismic floor, a conventional floor) constructed on a large shaking table and applying floor response waves as input assuming a medium-height to high-rise building as a model. As a result of the experiments, it was clarified that rocking, sliding and overturning of apparatus which could not be avoided with conventional floor construction were eliminated adopting an aseismic floor, and ample earthquake resistance was confirmed against input acceleration of 500 gal in terms of horizontal translation.

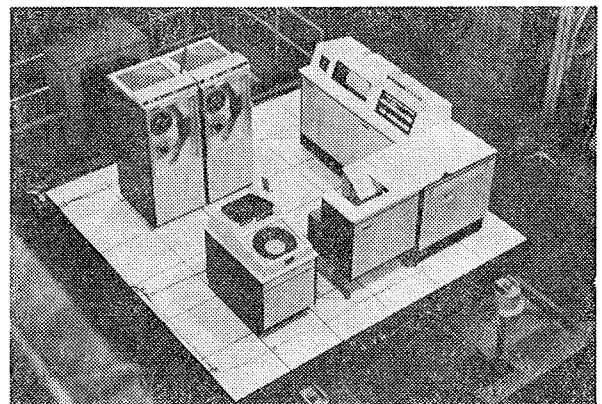
概 要

この報告は、免震床の免震性能を確認することとコンピュータ機器の耐震性に関する資料を得ることを目的として行なった振動実験について述べるものである。実験は、実大コンピュータを振動台上に想定した電算機室の二重床（免震床、一般床）に設置し、中高層建物をモデルとした地震時のフロアレスポンス波を入力として、各機器の応答を調べたものである。実験の結果、免震床工法を採用することによって、従来工法では避けることの出来なかった機器のロッキング、滑動、転倒を防止し、水平方向地動入力加速度 500 gal において十分な耐震性があることが確認された。

1. まえがき

前報¹⁾では、免震床工法（ダイナミック・フロア・システム）の免震原理と正弦波強制振動実験から得られた免震床の効果に関して、理論解析との対応を報告した。本報では、更に同システムに対する地震時の免震性能を確認することを主目的として、免震床上に実大コンピュータ機器を設置し、コンピュータシステムを稼動させた状態で行なった地震波入力による振動実験について報告する。実験内容の特徴としては次のことが挙げられる。(1)過去に記録された地震波をもとに、入力波として中高層建物をモデルとした地震時のフロアレスポンス波を用いたこと、(2)免震床と従来床工法の比較実験から、機器の応答を把握し免震性能を確認すること、(3)コンピュー

タ機器の振動特性とシステム機能上の問題点を把握するための資料を得ることである。



写真—1 振動実験装置と機器の配置

2. 実験概要

2.1. 供試体

実験で対象とした機器は、写真-1、表-1、に示す磁気テープ装置（コントロールスレーブ、マスター、略称 MT）、磁気ディスク装置および中央演算装置（カード読取装置、記憶装置、処理装置）の合計6体である。各機器の据付方式については表-1に併せて示した。なお上記コンピュータシステムは後述される免震床実験では稼動の状態で行ない、システム稼動に対する安全性を確認するものとする。また一般床実験では後続の実験上の都合もあり、システムは停止の状態で行ない、実験の最後にシステムの稼動可能上限に対する実験を行なうこととした。

No	機器名	幅	奥行	高さ	重量	脚数	機器据付方式
1	磁気テープ装置(MT)	610 (530)	727 (647)	1,626	295	4	レベラー支持
2	磁気テープ装置(MT)	610 (530)	727 (647)	1,626	295	4	レベラー支持
3	磁気ディスク	625 (545)	925 (740)	1,067	160	4	レベラー支持
4	カードリーダー	839 (759)	675 (595)	1,040	163	4	レベラー支持 3台連結
5	メモリー	978 (898)	675 (595)	1,130	272	4	
6	中央処理装置(cpu)	1,650 (1,325)	675 (595)	1,430	397	6	

() 内数値は、支持脚間の幅を示す。

表-1 実験対象機器諸元 (単位: 寸法 mm, 重量 kg)

2.2. 実験方法

2.2.1. 実験装置 実験は当社の電気油圧式大型振動台²⁾で行なった。写真-1に実験装置と機器の配置を示す。実験装置は写真-1にみられるとおり、振動台上にコンピュータ室を想定した二重床（免震床、一般床）を設置したものである。

2.2.2. 二重床の据付方法 コンピュータ室を想定した二重床は、床据付工法の相違による機器の応答を比較検討するため、免震床、一般床と呼称する据付工法の異なる2種類で行なった。以下にそれらの取付け方法と仕様を述べる。

(1) 免震床 免震床の取付け図を図-1, 2に示す。免震床は図-1, 2にみられるように、4個の免震装置とこれらを連結する大梁、小梁と梁上に取付けたペダスタルを介するフリーアクセス床から構成されている。また本実験では特に実際に据付けた場合の免震床と構造物との接合部の挙動を確認しようとするため、免震床の端部に構造体を仮想した緩衝部を振動台上に併設している。

本実験で使用した免震装置は、前回実験¹⁾と同一部品である。そのため機器据付け時における免震床の固有周期は、免震床重量 (1,600 kg) + 機器重量 (1,582 kg) = 総重量 (3,182 kg) であることから、 $T_0 = 0.2\sqrt{W/K} =$

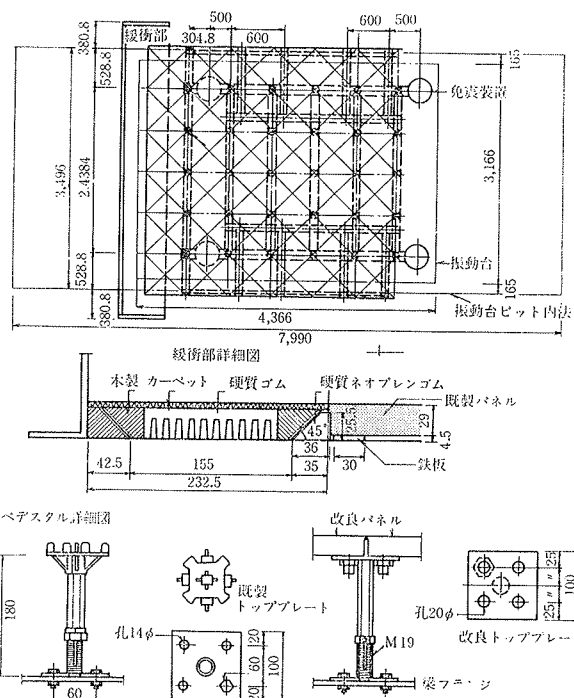


図-1 免震床概要図

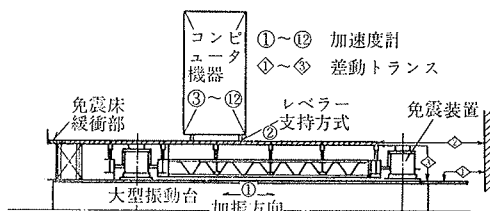


図-2 免震床断面および測点配置図

$0.2\sqrt{3,182/9.9} = 3.58 \text{ sec}$, ($f = 0.28 \text{ Hz}$) となる。

(2) 一般床 ここで述べる一般床とは、コンピュータ室の従来床工法を想定したものであり、前記免震床の免震装置が作動しない状態に固定し、振動台の入力がフリーアクセス床に直接伝達される床据付け法である。免震装置の固定方法は免震床の大梁と振動台の間に鋼材を挿入しボルトで締結した。

2.2.3. 建物モデルとフロアレスポンス波 建物モデルとしては、厳密には建物毎に地震時の振動性状が異なるため、一概には結論が導き難いが、ここでは中高層建物の一例として鉄骨鉄筋コンクリート造、9階建の東京大林ビル別館スパン方向（固有周期、 $T_1 = 0.558 \text{ sec}$, $T_2 = 0.214 \text{ sec}$, $T_3 = 0.132 \text{ sec}$ ）の動きを対象とした。

フロアレスポンス波は、上記建物の振動解析結果から求めた中間層（4階）、最高層（9階）の応答波形を使用した。この場合の建物基部への入力地震波は、

- (1) 1940年カルフォルニア州エルセントロ地震波
- (2) 1968年十勝沖地震における八戸港湾波

の2波である。

振動台の入力地震波として作成したフロアレスポンス

波形を図-3を示す。図-3はエルセントロ波および八戸波を最大100 galとして入力した場合の応答波形である。また振動台の入力加速度は、表-2に示されるように気象庁震度階に対応させて、地震波別に各階の最大加速度値を用いて実験を行なった。

(単位: gal)

気象庁震度階	エルセントロ波			八戸波		
	地動	4階	9階	地動	4階	9階
IV	100	159.4	424.2	100	156.2	215
V	200	318.8	848.4	200	312.4	430
VI	300	478.2	1272.6	300	468.6	645
VII	400	637.6	1696.8	400	624.8	860
※	500	797.0	2121.0	500	781.0	1,075
※	600	956.4	2545.2	600	937.2	1,290
※	700	1,115.8	2,969.4	700	1,098.0	1,505

□ は、振動台性能上実験不可 ■ は、一般床実験の範囲を示す

表-2 入力地震波最大加速度一覧表

2.2.4. 測定方法 振動測定は図-2に示すように測点を配して、加速度および変位の同時測定をした。また上記測定とは別に各実験段階毎にコンピュータを実際に稼働させて、コンピュータシステムの機能的な動作チェックを行なった。

3. 実験結果と考察

3.1. コンピュータ機器の振動特性

自由振動実験および正弦波加振実験から得られた、各機器の固有周期と減衰定数を表-3に示す。表-3より機器単体としての固有周期、減衰定数は、機器の種別および設置方向により多少異なるが大略 $T_0=0.2\sim 0.08$ sec ($f=5.0\sim 12.5$ Hz), $h=1.5\sim 8.5\%$ である。

3.2. 免震床の効果

当システムの免震性能は、すべり面を構成するSUS板と免震装置底部にセットした摩擦材(アセタル樹脂製の面摩擦材)との摩擦係数によって支配されることを前報で述べた。そこで今回は摩擦面の面圧の相異による免震性能を検討する目的で、同システム上にコンピュータ

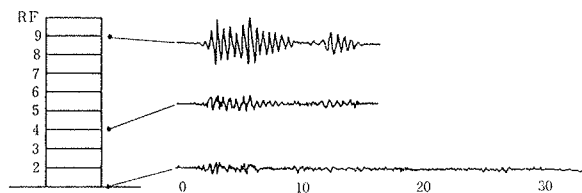


図-3(a) エルセントロ波によるフロアレスポンス

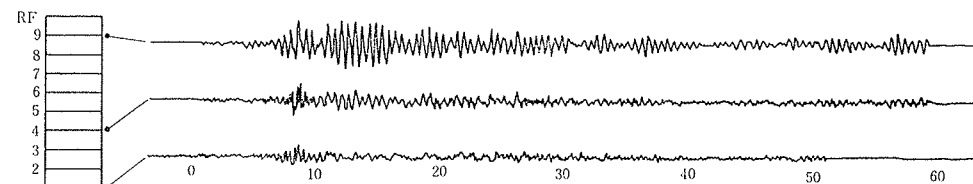


図-3(b) 八戸波によるフロアレスポンス

No.	機器名	短辺方向(X)		長辺方向(Y)	
		周期(sec)	減衰定数(%)	周期(sec)	減衰定数(%)
1	MT 100	0.156	—	0.204	7.88
2	MT 101	0.178	1.64	0.200	6.03
3	ディスク	0.168	8.54	0.143	—
4	カードリーダー	0.143	1.53	—	—
5	メモリー	0.091	—	—	—
6	CPU	—	—	0.087	—

表-3 機器の固有周期と減衰定数

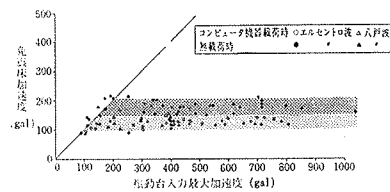


図-4 免震床の効果

機度を載せた場合 ($P=18$ kg/cm²), と無載荷の場合 (9 kg/cm²) の実験を行なった。その結果を図-4に示す。図-4は入力地震波の最大加速度に対する免震床上の応答加速度の関係を示している。同図から免震床重量(面圧P)の相違による免震効果をみると、機器載荷時には入力加速度の増加にかかわらず免震床上の加速度は免震され、機器への入力加速度は80~150 gal程度に低減されることがわかる。一方、無載荷の場合は載荷時に比べて若干その効果は低下している。このことは、前述のように面圧と摩擦係数との関係に起因すると考えられる。なお摩擦係数と面圧の相関性については別途実験から図-5の如き関係が知られている。

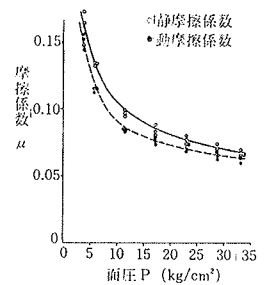
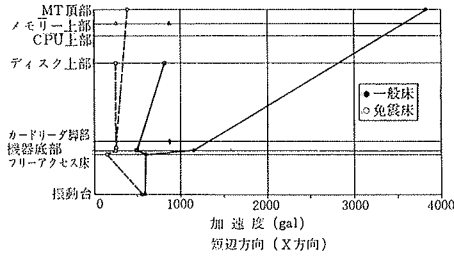


図-5 摩擦係数と面圧の関係

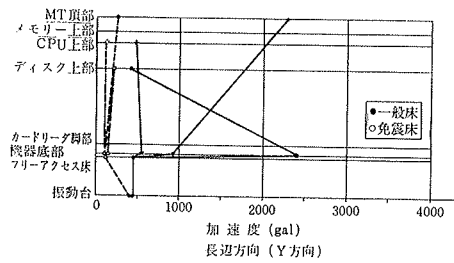
3.3. 床据付工法の相異による機器の挙動について

一般床実験は表-2に示される■の範囲、すなわち、機器破損の危険のない範囲で、エルセントロ波で637 gal, 八戸波で624 galを最大入力として行ない、免震床実験は振動台の性能最大限の入力で行なった。

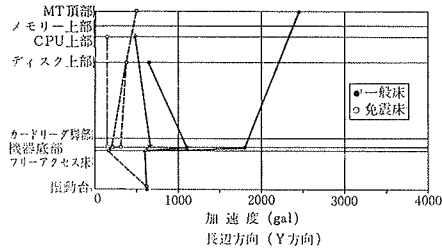
床据付工法の相異による機器各部の応答最大加速度分布を図-6(a)~(d)に示す。図-6は八戸波(中間層、最



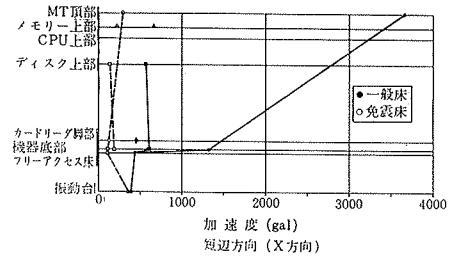
(a) 中間層入力 560 gal 短辺方向



(c) 最高層入力 450 gal 短辺方向



(b) 中間層入力 630 gal 長辺方向



(d) 最高層入力 392 gal 長辺方向

図-6 八戸フロレスポンス波入力による機器各部の応答最大加速度分布

高層)の代表例であり、同一入力レベルに対する一般床および免震床での各機器の応答加速度を比較したものである。同図から床据付け法の相違による機器への入力加速度(応答加速度)の違いが良くわかる。また一般に機器の応答加速度は上部にいくにしたがって増大されることが予想されるが、機器によっては上部より下部の方が大きくなっているものもある。これは実験時に床面に一定値以上の加速度が入力された場合、機器はロッキング、滑動をおこなっていることから、これらの影響によるものと思われる。

図-7, 8は、一般床および免震床実験における各機器の同時記録波形の代表例である。実測波形から、一般床と免震床の場合では床面の加速度波形が大きく異なることがわかる。免震床の場合、免震装置の作動によって前述されたように、入力波に対しある一定レベル以上には増幅されないことがこの波形からも明らかである。

3.4. コンピュータ機器の移動限界

コンピュータシステム稼動に対する安全性を確認する目的で、免震床実験では最大入力加速度 860 gal までの加振実験を試みた。その結果、システム稼動に対して何ら異常は認められず十分な免震性能が確認された。これに対し、一般床実験では表-2に示される最高層フロアレスポンス波 430 gal 入力時にディスク装置に誤動作が発生した。なお他の機器については、今回の実験範囲内(表-2参照)では機能的エラーは認められなかった。しかしながら、MT装置に関しては機器のロッキング移動が大きく転倒が懸念された。実験対象とした各機器の静的ロッキング加速度の計算値を表-4に、機器の目視観察記録を表-5に示す。

(単位: gal)

No.	機器名	(X) 短辺方向	(Y) 長辺方向
1, 2	磁気テープ装置(MT)	392	323
3	磁気ディスク	676	500
4	カードリーダー	559	715
5	メモリー	412	617
6	中央処理装置(CPU)	612	911

表-4 ロッキング開始加速度 (単位: gal)

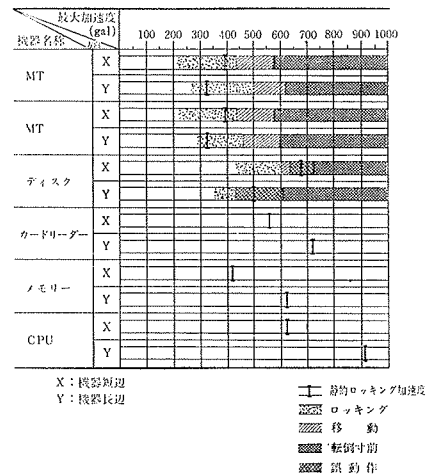


表-5 目視観察記録

3.5. 免震床緩衝部の挙動について

図-9(A)~(D)から免震床緩衝部の挙動を説明する。

- 緩衝部の変位が小さいときは(A)の状態となり、緩衝材はほぼ平行に上に持ち上がる。
- (A)以上の変位が生じると(B)の状態となり、ほぼ平行に持ち上がる。
- (B)以上の変位が生じると、緩衝材は(C)の状態となる。
- (A), (B)程度の変位では、振動終了後には(D)の状態にも

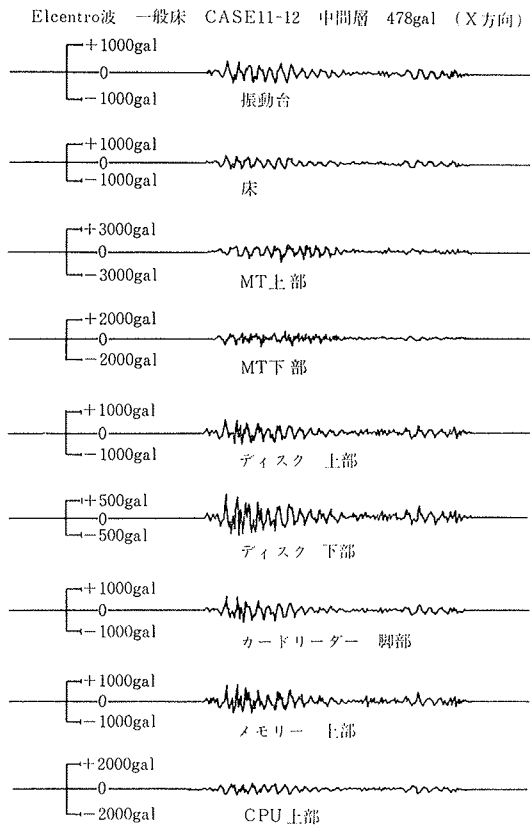


図-7 一般床X方向実験 (エルセントロ中間層 478 gal)

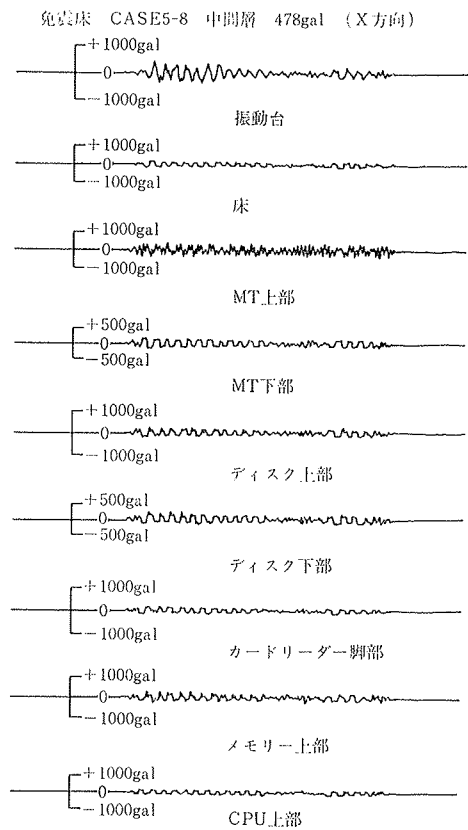


図-8 免震床X方向実験 (エルセントロ中間層 478 gal)

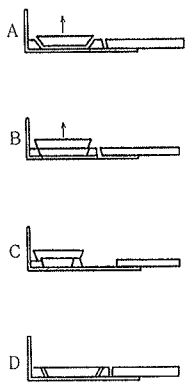


図-9

どる場合が多い。
 ●また(C)の状態を振動終了後に(D)の状態にもどすのは比較的容易である。
 実験の結果、緩衝部の挙動は予想どおりの追従性を示し、免震性能に悪影響を及ぼすことがないことが明らかにされた。

4. あとがき

今回の床据付け工法の相違による比較実験の結果、設置床面(振動台)からの入力を低減させる免震床工法(ダイナミック・フロア・システム)を使用することによって、一般床(従来床)工法では避けることの出来ない機度のロッキング、滑動、転倒等を防止し、気象庁震度階Ⅶ以上の水平方向地動入力加速度500 galにおいて十分な耐震性があることが確認できた。

今後は本システムの経済化は勿論のこと、免震性能を支配する摩擦面の改良等によって、床面での入力加速度

をより低くおさえることを課題としたい。また一方では、機器メーカーが現状公表している機器の振動に対する限度が、コンピュータのエラーの発生レベル等を考慮したより厳密な形で提示されることが、コンピュータの耐震(防振)対策に大きな前進を与えることになると思われる。

最後に、本研究を進めるにあたり、供試体を提供して下さった、コンピュータメーカーの関係者の方々、ならびに東京本社設計第三部 木田幸夫部長、山下信夫課長、伊庭力職員、神永憲一職員、東京本社機械計算部、佐藤実職員に御協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中川, 渡辺, 島口, 山下, 安井, 伊庭: ダイナミック・フロア・システムに関する実験的研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 16, (1978)
- 2) 角田, 島口, 此上: 大型振動台について, 大林組技術研究所報, No. 11, (1975)