

稼働状態のコンピュータ・ユニットを搭載したフリーアクセス床の耐震試験

柴 慶 治
(技術研究所)横 田 治 彦
(技術研究所)

§ 1. はじめに

社会の高度情報化に伴い、幅広い分野でコンピュータが利用されており、企業活動とコンピュータとは切り離せないものとなっている。近年、各種の電子計算機センターやインテリジェントビルなどの建設が相次いでいるが、これらのビル内には大規模なコンピュータルームが計画されている。コンピュータは通常フリーアクセス床と呼ばれる二重床で支えられ、配線類は二重床部分に通される。これらの建物内ではさまざまな情報が集約的に扱われるため、火災、水害、地震などの災害時にコンピュータに異常事態が生じると、被害はその建物のみにとどまらず社会的にも大きな影響を与える。1978年宮城県沖地震の際には、ある電子計算機センターのフリーアクセス床が外れて落下したために、設置されたコンピュータが大きな損傷を被った例が報告されている。こうした被害を避けるためには、これらの建物に十分な耐震性を持たせるだけでなく、コンピュータを支えるフリーアクセス床が建屋の地震時応答に十分追従する耐力と構造を有する必要がある。また、コンピュータ本体にも地震時に正常に稼働する耐震性が要求される。

現状では、通商産業省の「電子計算機システム安全対策基準」に、『フリーアクセス床は地震時に損壊しない構造とする』旨明記されており、安全対策のガイドラインが示されている。コンピュータの耐震性に関する目安としては、地震入力加速度で250 Galを機器の正常稼働の上限値とし、400 Galを機器が転倒したり損傷を起こしやすい下限値の目安として与えている。また、同じく通商産業省では情報処理サービス業を行なう事業所の電子計算機システムの安全対策を促進する目的で、「情報処理サービス業電子計算機システム安全対策事業所認定制度」を制定している。

ところで、電算センターなどの建屋の地震時の応答値は、7階建程度を想定した場合、弾性応答解析によると水平方向250 Galの入力に対して最上階で800~1,000

Galに達することがある。また、平面の柱間が大きな大スパン構造の場合などでは、スラブ中央部で上下動が大きく増幅される場合も考えられる。床上の振動を低減するために、特殊な免震装置を組込んだフリーアクセス床も提案され、一部実用に供されている。フリーアクセス床の設計時には、二重床の高さを低く抑えるのが経済的であるが、現状では機器の交換時にも配線類は撤去されずに新しい配線類が重ねられるため、床高さを高くして余裕をもたせた設計例も増加している。しかしながら、床高さが高いフリーアクセス床に水平・上下の大加速度が作用するといった厳しい条件下でフリーアクセス床の耐震性を試験し、コンピュータの挙動や稼働状況を確認した実験例は非常に少ない。特に、ディスク・ユニットや磁気テープ・ユニットを常時アクセス状態にして、その作動状況を調べた例は極めて少ない。

筆者らは、このたび機会を得、ストリンガーおよび根がらみのない一般的な構造のフリーアクセス床の試験体を原寸で作成して耐震試験を実施した。水平・上下方向の地震動の動きを完全に再現することのできる三次元振動台を用いてフリーアクセス床の耐震性を確認するとともに、実際に稼働状態にある複数のコンピュータ・ユニットの振動試験を行なった。その結果、フリーアクセス床およびコンピュータの地震時の挙動や、コンピュータの地震時の稼働状況に関する貴重な資料を得た。以下に、その概要を報告するものである。

§ 2. 試験概要

2.1 想定建屋および試験体

本試験で対象とした建屋は、地下1階、地上7階建のSRC造で、各階床面積は約3,500㎡である。このうち計算機室は3・4階に計画されているが、本試験では地震時の加速度応答値の最も大きい7階に設置された場合を想定した。表-1に、建屋の地中部分を固定とした場合

2.2 荷重条件

フリーアクセス床の荷重は、無荷重、コンピュータ・ユニット載荷（2種類）、重錘載荷の4種類である。

2.2.1 コンピュータ・ユニット載荷

試験に使用したコンピュータ・ユニットの諸元を表-2に示す。これらの機器は、ディスク・ユニットおよびディスク装置制御ユニットと、磁気テープ・ユニットおよび磁気テープ装置制御ユニットの4台であり、フリーアクセス床試験体上のスペースの都合上、ディスク系のユニット（以下、ユニットA）と、磁気テープ系のユニット（以下、ユニットB）とはそれぞれ別個に載荷した。フリーアクセス床への設置方法はユニットごとに異なり、ユニットAはレベラーを用いて、ユニットBはキャスターにピン（クリップ）をはめて設置し、いずれの場合もフロアへの完全固定を避け、大加振時にユニットが移動することを許容した。各ユニットは、転倒防止のために頂部を弛みをもたせた木綿ロープで縛って天井クレーンと結び、またフリーアクセス床の外周2辺に転落防止ガードを設けた（写真-1参照）。各ユニットの外装の扉は外してある。ユニット載荷時の荷重はユニットAの場合 470 kgf {4,606 N}、ユニットBの場合 772 kgf {7,566 N}である。

2.2.2 重錘載荷

重錘載荷の試験は、フリーアクセス床の設計荷重状態での動特性を把握するために行なうものである。フリーアクセス床の設計荷重は 600 kgf/m² {5,880 Pa}、面積は 9 m² であるが、重錘を載荷した状態ではフリーアクセス床の外周部の荷重が低減されることを考慮し、外周部より 13 cm 内側の正方形部分を荷重負担面積とした (7.5 m²)。したがって、重錘の総重量は 4,500 kgf {44,100 N} であり、1,000 mm × 1,000 mm × 489 mm (1,125 kgf {11,025 N}) の重錘 4 個を載荷した。

2.3 加振種別

2.3.1 動特性把握試験

地震波加振試験に先立ち、各載荷状態でのフリーアクセス床試験体およびコンピュータ・ユニットの動特性を把握するために、正弦波掃引試験とホワイトノイズ加振試験を行なった。正弦波掃引試験は無載荷および重錘載荷時に、加振レベル 50 Gal、加振周波数ピッチ 0.2~2.0 Hz として 1~50 Hz の周波数範囲で行なった。ホワイトノイズ加振は、コンピュータ・ユニット載荷時に行ない、1~50 Hz の周波数成分を均等に含む最大加速度 50 Gal、継続時間 20.48 秒の波を連続 4 波試験体に入力した。

2.3.2 地震波加振試験

本試験で使用した地震波は、建築物の耐震設計でよく用いられている設計用入力地震動のうち、EL CENTRO 1940 と 1968 年十勝沖地震の八戸港湾波の各々水平・上下 3 成分である。フリーアクセス床が建屋の 7 階に設置された場合を想定しているため、これらの地震波を建屋の基礎に入力したときの 7 階の応答波を、水平 2 方向については表-1 のデータを使って 7 次の応答まで考慮したモーダル解析により求めた。上下方向については建屋

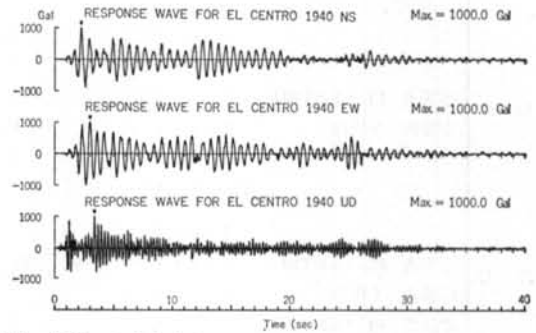


図-3(a) 入力加速度波形 (建屋応答波: EL CENTRO 1940)

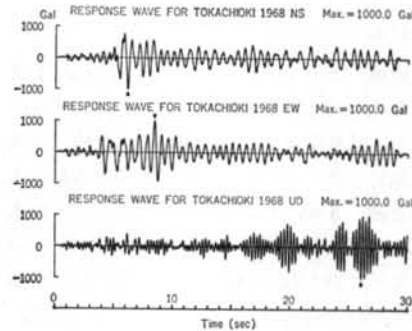


図-3(b) 入力加速度波形 (建屋応答波: 1968年十勝沖八戸港湾)

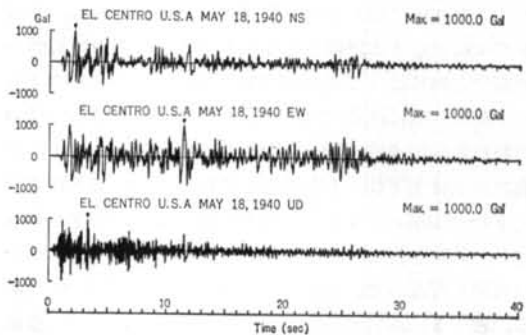


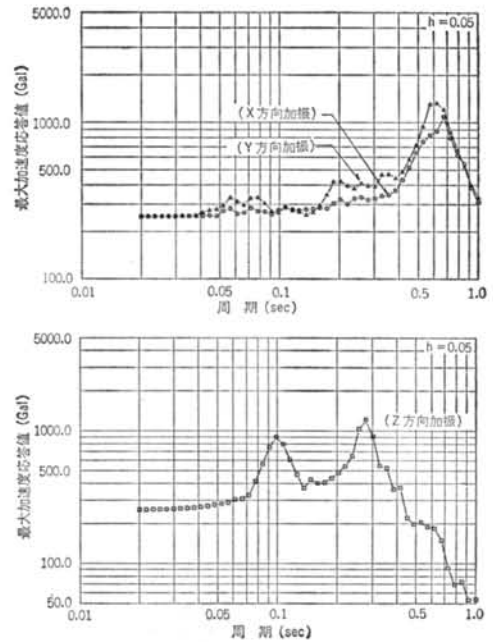
図-3(c) 入力加速度波形 (設計用入力地震波: EL CENTRO 1940)

| 加振ケース | 加振種別 | 入力加速度 (Gal) | 載荷物 |
|-------|---|---|-------|
| 1~3 | 応答波 EL CENTRO 応答波 十勝沖 設計波 EL CENTRO | H1,000・V500 | 無載荷 |
| 4~12 | 応答波 EL CENTRO 応答波 十勝沖 | H250・V125 H400・V200 H750・V375 H1,000 H1,000・V500 | ユニットA |
| 13~22 | 応答波 EL CENTRO 応答波 十勝沖 | H250・V125 H400・V200 H750・V375 H750・V750 H1,000 H1,000・V500 | ユニットB |
| 23~32 | 応答波 EL CENTRO 応答波 十勝沖 設計波 EL CENTRO | H250・V125 H400・V200 H750・V750 H1,000・V500 | 重錘 |

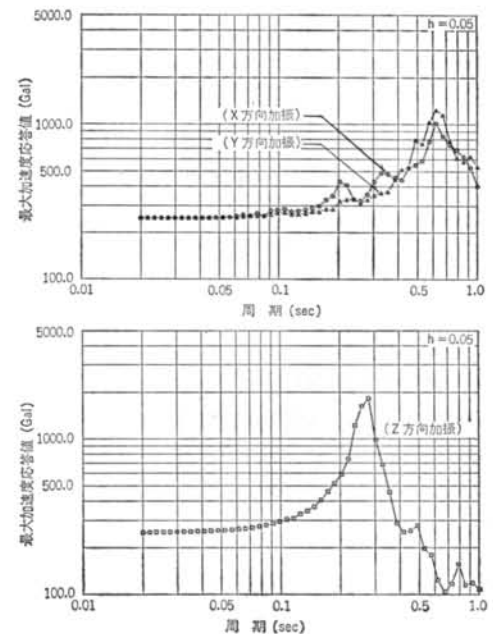
(注) 入力加速度の記号中, Hは水平2方向(X, Y), Vは上下方向(Z)を表わす。

表一3 地震波加振ケース一覧

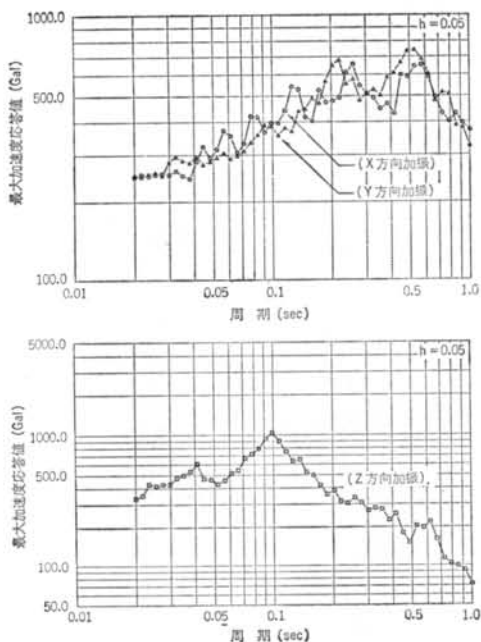
を7質点系に置換した上で, 7階にスラブに等価な1質点系を付加し弾性地震応答解析により求めた。いずれの解析においても, 減衰定数は設計に用いられた値(各次とも0.05)を仮定した。このようにして求めた振動台入力加速度波形を図一3(a), (b)に示した。加振レベルは水平方向に関して250 Gal, 400 Gal, 750 Gal, 1,000 Galの4通りである。このうち, 250 Galは文献2)で機器の正常稼働の上限値の目安として考えられている値, 400 Galは同じく機器が転倒したり損傷を起こしやすい下限値の目安, 1,000 Galは建屋設計時に想定したフリーアクセス床に加わる地震動強さの最大値である。加振レベルに対応する地動加速度の大きさは, 入力地震動の種類や方向によって応答倍率が2.0~4.7の範囲でばらつくため一概に決定できないが, 1,000 Gal加振時でおおむね地動加速度210~500 Galに相当する。建物の耐震設計上は上下動入力を考慮していないが, 本試験では上下動の加振レベルとして水平方向の1/2の大きさを仮定して試験を行ない, 補足的に水平動と同じ加振レベルの試験も行なった。加振ケースは合計で32ケースである。表一3に地震波加振試験の一覧を示す。なお, 無載荷時と重錘載荷時にはEL CENTRO波の原波形(設計用入力地震波)も加振波形に使用した(図一3(c)参照)。



図一4(a) 加速度応答スペクトル(建屋応答波: EL CENTRO 1940)



図一4(b) 加速度応答スペクトル(建屋応答波: 1968年十勝沖八戸港湾)



図一4(c) 加速度応答スペクトル (設計用入力地震波: EL CENTRO 1940)

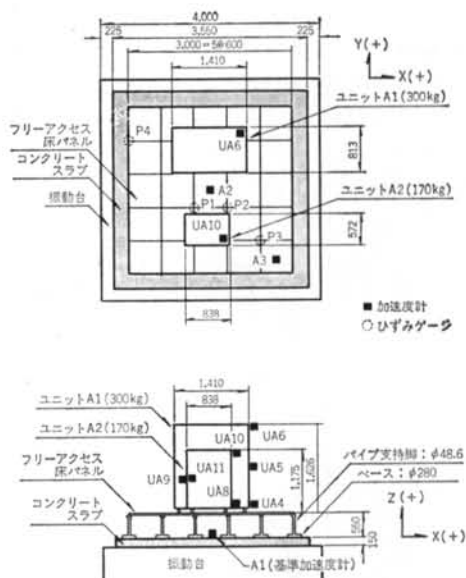
図一4(a)~(c)に、最大入力加速度を250 Galとしたときの3種類の振動台入力加速度波形の速度応答スペクトル(水平方向)を示す。

2.4 計測点配置

本試験の計測項目は、主要点の加速度応答値とフリーアクセス床支持脚のひずみである。図一5に計測機器の配置例を示した。コンクリートスラブ中央に3成分の加速度計を設置し、検出される値を振動台入力加速度および応答倍率を計算する際の基準加速度とした。フリーアクセス床の加速度はパネル中央部と端部に3成分ずつ配置し、また4本の支持脚に4点ずつ合計16点のひずみゲージを貼付した。ひずみゲージの貼付位置は、接合部の剛域および溶接による残留ひずみを考慮して、支持脚ベースとパイプの接合部からパイプの直径分(48.6mm)上方とした。また、コンピュータ・ユニットおよび重錘にも適宜加速度計を取付けた。使用した加速度計は、いずれも共和電業特製のひずみゲージ型10G計(AS-10B)である。

2.5 加振装置およびデータ収録・解析システム

本試験に用いた加振装置は、当社技術研究所の三次元6自由度振動台である。振動台の主要諸元を表一4に、



図一5 計測機器取り付け位置図(ディスク・ユニット載荷状態)

| 項目 | 仕様 |
|----------------|---|
| 振動台寸法 | 4 m × 4 m |
| 積載重量 | 20 ton |
| 加振軸 | 水平2軸(X, Y), 上下(Z), 回転($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)の単独およびすべての組み合わせの連成 |
| 最大振幅 | X ±200mm |
| | Y ±200mm |
| | Z ±100mm |
| | $\theta_x \pm 1^\circ$ (単独加振時) |
| | $\theta_y \pm 1^\circ$ (単独加振時) |
| 速度 (単独加振) | X ±100cm/s (連続) |
| | Y ±100cm/s (連続) |
| | Z ±50cm/s (連続) |
| 速度 (三軸同時加振) | X ±35cm/s (連続) ±45cm/s (20 sec) |
| | Y ±35cm/s (連続) ±45cm/s (20 sec) |
| | Z ±17.5cm/s (連続) ±22.5cm/s (20 sec) |
| 加速度 | X ±0.8G (20 ton時) ±1G (10 ton時) |
| | Y ±0.8G (20 ton時) ±1G (10 ton時) |
| | Z ±0.8G (20 ton時) ±1G (10 ton時) |
| | X, Y, Z ±1.5G (無負荷時) |
| 加振周波数 | DC-50 Hz |
| 駆動方式 | 電気油圧サーボ方式 |
| 制御方式 | X, Y, Z 加速度制御, 変位制御切替方式 |
| | $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 加速度制御, 変位制御切替方式 |
| 加振波形 | X, Y, Z 規則波, 不規則波 |
| | $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 規則波, 不規則波 |
| 転倒モーメント | 50 t-m, 150 t-m (着座時) |
| ヨーイングモーメント | 50 t-m |

表一4 三次元6自由度振動台の主要諸元

加振限界線図を図-6(a), (b)に示す。また、図-7に振動台付属のデータ収録・解析システムを示した。本システムは96チャンネルの同時計測・処理が可能であり、収録データの解析も行なえるが、本試験ではデータを磁気テープにも出力し、大型計算機(IBM 3081)によるデータ処理・解析も併用した。

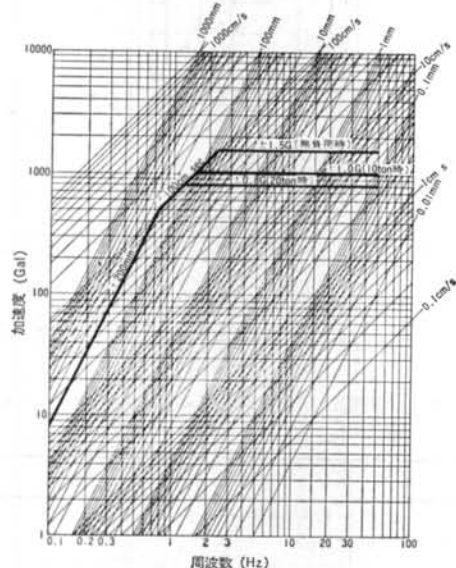


図-6(a) 振動台の加振限界線図(水平方向)

2.6 コンピュータ稼動状態のチェック

地震波加振時におけるフリーアクセス床に搭載したコンピュータの稼動状態は、以下の要領で確認した。

(a) ユニットA (ディスク系ユニット)

250 Gal 加振時には、ディスクにとって最も過酷な状態であるシーク状態(ディスクのヘッドがアドレスをサ

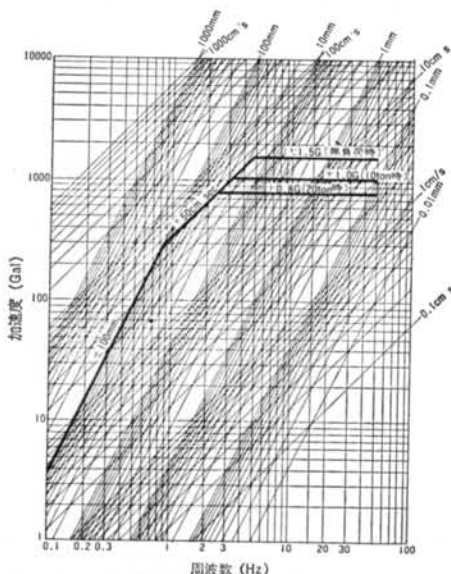


図-6(b) 振動台の加振限界線図(上下方向)

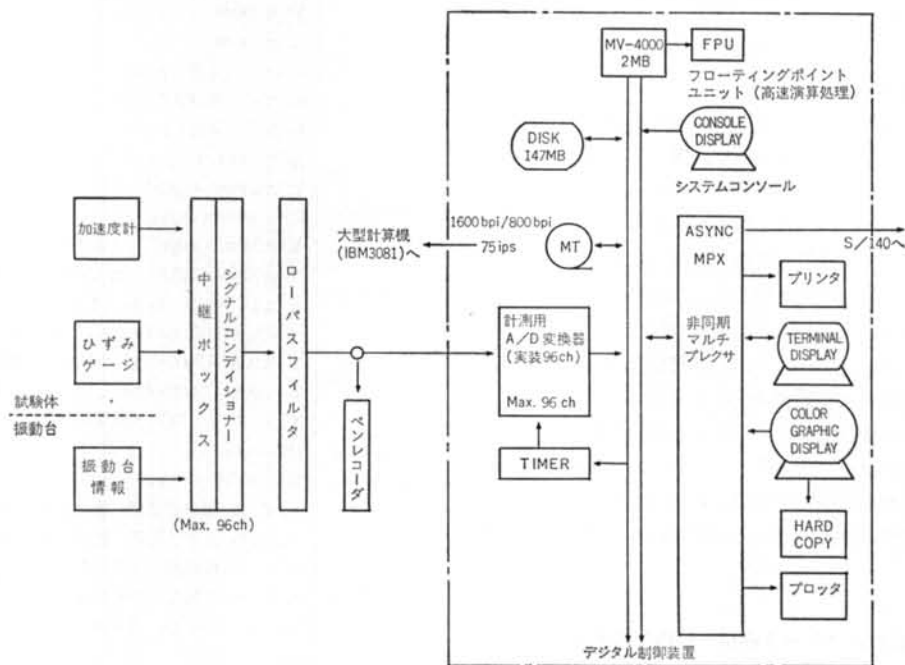


図-7 データ収録・解析システム

一ちしている状態)で稼働させ、異常の有無を確認した。400~1,000 Gal 加振時には機器に内蔵されてるハードウェア用のテストプログラムを利用して、ユニットをリード・ライトの状態稼働させ、エラーが発生するか否かを確認した。

(b)ユニットB (磁気テープ系ユニット)

ユニットをリード・ライトの状態稼働させ、250~1,000 Gal 加振時にエラーが発生するか否かを確認した。

なお、ユニットA, Bいずれの加振時においても、エラーが発生した時点で制御装置自身で停止するように設定し、エラーの種類を確認した。また、加振中にエラーが発生した場合には加振停止後再度テストを行ない、そのエラーが加振後も発生するか否かを確認した。

§ 3. 試験結果

3.1 動特性把握試験結果

3.1.1 フリーアクセス床の動特性

正弦波掃引試験によって得られた無載荷時と重錘載荷時の加速度共振曲線の例を、図-8~図-9(a), (b)に示した。コンピュータ・ユニット載荷時の例として、ホワイトノイズ加振試験で得られた加速度波形から伝達関数を計算し、図-10に示した。これらの図より、固有振動数、減衰定数、加速度応答倍率を求め表-5に示した。表-5で、正弦波掃引試験による値(無載荷時、重錘載荷時)は、共振曲線を重回帰分析して求めた。また、コンピュータ・ユニット載荷時の値は伝達関数から読み取り、減衰定数は $1/\sqrt{2}$ 法によった。これらの図表より以下のことが分かる。

(1)無載荷時の水平方向の固有振動数はX方向29.8 Hz、Y方向30.8 Hzであり、方向による差はほとんどない。

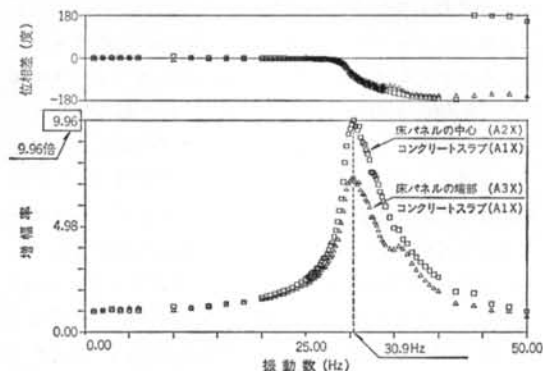


図-8 フリーアクセス床の加速度共振曲線(無載荷, X方向加振時)

また、建屋応答波の主な周波数成分が10 Hz以下であり(図-4参照)、フリーアクセス床の固有振動数に比べて十分低い領域であることから、無載荷時のフリーアクセス床は地震時に共振状態とはならないと考えられる。

図-8で、床端部の曲線は共振点を越えた35 Hz付近に小さなピークがあり、端部で局所的なモードが刺激され

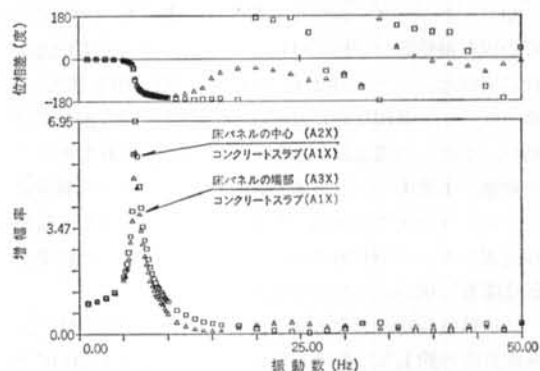


図-9(a) フリーアクセス床の加速度共振曲線(重錘載荷, X方向加振時)

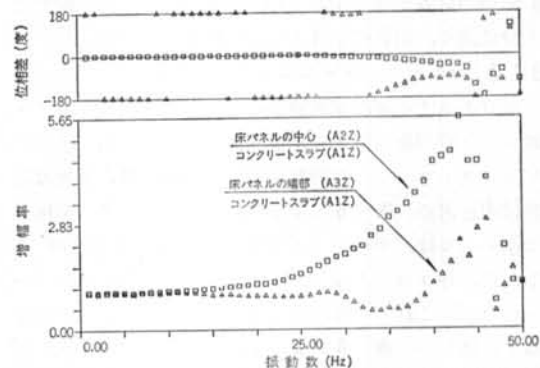


図-9(b) フリーアクセス床の加速度共振曲線(重錘載荷, Z方向加振時)

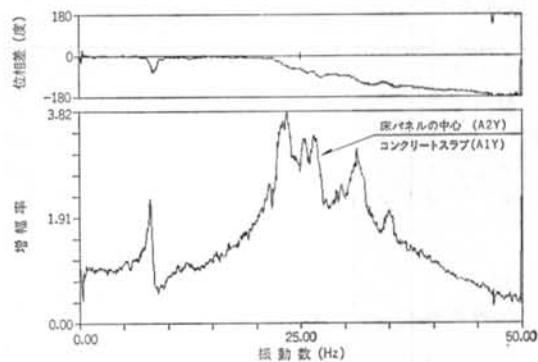


図-10 フリーアクセス床の伝達関数(ユニットA載荷, Y方向加振時)

たとえられる。また、共振点での応答倍率は床端部に比べ床中心部が大きく、中央部の面内変形が大きい。上下方向については 50 Hz までの周波数範囲で明瞭な共振点は現われなかった。

| 載荷物 | X方向 | | | Y方向 | | | Z方向 | | |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | f(Hz) | h | 倍率 | f(Hz) | h | 倍率 | f(Hz) | h | 倍率 |
| 無 載 荷 | 30.90 | 0.06 | 9.96 | 29.8 | 0.07 | 7.9 | — | — | 1~2 |
| ユニットA | 27.4 | 0.041 | 6.2 | 20~30 | — | 3~4 | | | |
| ユニットB | 30~35 | — | 7 | 34.5 | 0.052 | 7.0 | | | |
| 重 錘 | 6.47 | 0.069 | 6.95 | 6.44 | 0.067 | 6.67 | 43.6 | 0.053 | 5.65 |

(2)コンピュータ・ユニット載荷 表一5 フリーアクセス床の固有値

時の固有振動数は 20~35 Hz であるが、必ずしも伝達関数に明瞭なピークは現われていない(図-10参照)。また、ユニットB載荷時には無載荷時よりも固有振動数は高い。これらの現象は、加振によって刺激されたモードが並進の1次モードとは限らず、コンピュータの載荷によってフリーアクセス床の荷重分布に偏りが生じ、複雑な高次のモードが刺激され、互いに干渉しあった結果が伝達関数に現われたためと考えられる。

(3)重錘載荷時の水平方向の固有振動数は約 6.5 Hz で、無載荷時の約 1/5 に低下している。減衰定数は約 0.07 であり、固有振動数と同様に方向による差はほとんどない。上下方向では 43.6 Hz に共振点が現われており、5.56 倍の応答倍率を示しているが床の上下方向の剛性は十分に高く、耐震安全性上問題とはならない。

3.1.2 コンピュータ・ユニットの動特性

ホワイトノイズ加振試験から得られたコンピュータ・ユニット脚部を基準とした頂部の伝達関数から、各コンピュータ・ユニットの固有振動数、減衰定数、加速度応答倍率を求め、表一6に示した。ホワイトノイズ加振の加振レベルは、ユニットが移動しないように 50 Gal としたが、各ユニットはフリーアクセス床に固定されていないため、これらの動的諸特性は厳密にはユニット固定時とは異なる。表一6によると、各ユニットの1次の固有振動数は 5~10 Hz、減衰定数は 0.04~0.07 であり、

| 装置名称 | 次数 | 横 方 向 | | | 奥 行 方 向 | | |
|---------------|----|-------|-------|------|---------|-------|------|
| | | f(Hz) | h | 倍率 | f(Hz) | h | 倍率 |
| ディスク 制御装置 | 1 | 7.2 | 0.046 | 10.5 | 8.3 | 0.051 | 13.2 |
| | 2 | 10.9 | 0.053 | 3.4 | — | — | — |
| ディスク 装 置 | 1 | 8.3 | 0.033 | 7.3 | 10.2 | 0.041 | 5.6 |
| | 2 | 12.7 | 0.041 | 8.5 | 13.8 | 0.049 | 1.9 |
| | 3 | 27.6 | 0.031 | 4.0 | 19.8 | 0.049 | 5.1 |
| | 4 | — | — | — | 31.9 | 0.051 | 2.3 |
| 磁気テープ 制御装置 | 1 | 9.2 | 0.061 | 16.2 | 5.4 | 0.036 | 20.3 |
| | 2 | 19.8 | 0.04 | 8.2 | 16.5 | 0.046 | 6.7 |
| | 3 | 25.6 | 0.029 | 3.2 | — | — | — |
| 磁気テープ 装 置 | 1 | 4.9 | 0.071 | 8.5 | 5.3 | 0.071 | 7.9 |

表一6 コンピュータ・ユニットの固有値

建屋の2, 3次の固有振動数と同じ帯域にある。

3.2 地震波加振試験結果

3.2.1 応答加速度

応答加速度波形の例として、ディスク・ユニット載荷時のフリーアクセス床およびディスク・ユニットの応答波形を図-11と図-12に示した。ディスク系ユニットは、水平入力加速度 250 Gal で微小ながらフリーアクセス床上を移動し、400 Gal では移動幅が 10 cm を越えた。また、750 Gal でロッキングを始め、最大加振レベルである 1,000 Gal では転倒防止用のロープに引張られたり転落防止ガードに衝突した。機器の移動時にはレベラーが床パネルと擦れ合い激しい音がした。図-12の波形には、これらの衝撃によるスパイク状のピークが見られる。振動台入力加速度に対するフリーアクセス床の加速度応答倍率は、250~400 Gal 加振時には水平・上下方向とも約 1~2 倍であるが、ディスク・ユニットがロッキングしながら大きく移動する 1,000 Gal 加振時には、この影響により最大応答加速度は水平方向で瞬間的に 3,250 Gal に達した。また、ディスク装置制御ユニット(ユニットA1)の最大応答加速度は水平方向約 5,000 Gal、上下方向 4,700 Gal であり、ディスク・ユニット(ユニットA2)ではそれぞれ約 3,000 Gal、2,000 Gal であった。ユニットの脚部と頂部との応答値に差はほとんどなく、この間では増幅されていない。これは、ユニットが移動しているためである。

磁気テープ系のユニットでは、250 Gal 加振でキャスターを止めているピンが外れて移動を開始し、750 Gal 加振で転倒防止用のロープに引張られたり転落防止ガードに衝突した。機器の移動はディスク系のユニットに比べると滑らかで、また機器のロッキングは生じなかった。このため、振動台入力加速度に対するフリーアクセス床の応答倍率は、各加振レベルを通じて水平方向で 1~1.5 倍、上下方向で 1~2 倍であった。コンピュータ・ユニットには大加振時に転落防止用ロープやガードなどの衝撃が加わるため、応答加速度値は大きい。磁気テープ装置制御ユニット(ユニットB1)の最大応答加速度は、水平 3,500 Gal、上下 2,500 Gal であり、磁気テー

ブ・ユニット（ユニットB2）では水平 5,000 Gal, 上下 3,000 Gal であった。

重錘載荷時には、水平入力加速度 750 Gal 以上の加振時に重錘がフリーアクセス床上を移動した。スラブ面に対する床パネルの加速度応答倍率は、水平入力加速度

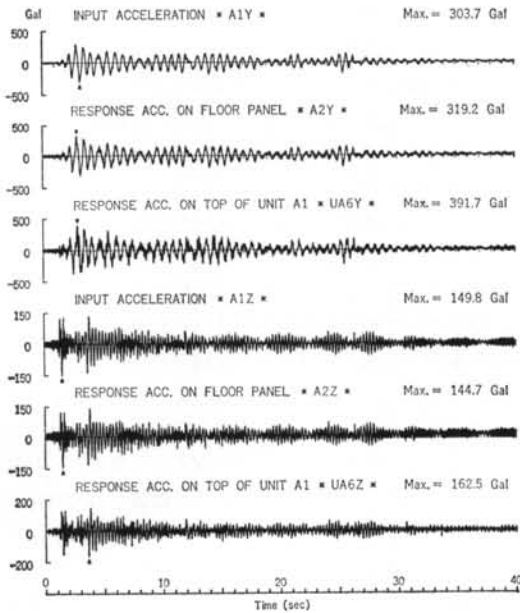


図-11 応答加速度波形例（ディスク・ユニット載荷，建屋応答波：EL CENTRO 水平 250 Gal・上下 125 Gal）

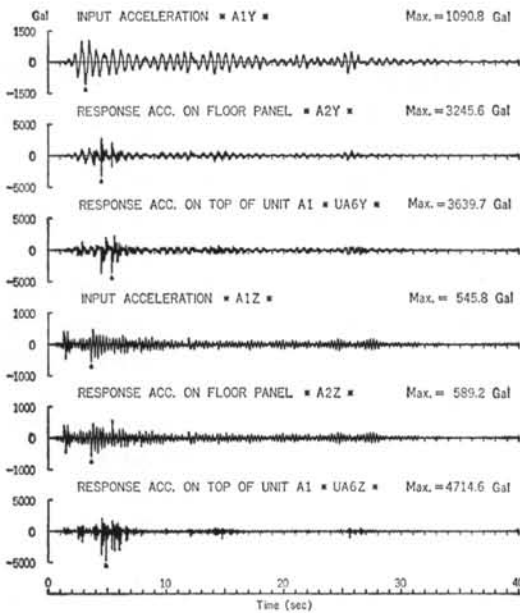


図-12 応答加速度波形例（ディスク・ユニット載荷，建屋応答波：EL CENTRO 水平 1,000 Gal・上下 500 Gal）

250~400 Gal の加振時には水平方向 1~2.5 倍，上下方向 1~2 倍であったが，750~1,000 Gal 加振時には重錘の移動に伴う衝撃により最大応答加速度は瞬間的に 10G にも達した。

全加振を通じて，床パネル，パイプ支持脚などの試験体各部に浮上りや脱落などの異状は見られなかった。

3.2.2 応答ひずみ

図-13に，重錘載荷時の支持脚のひずみ波形例を示した。図では，加振終了時に残留ひずみの生じているように見える場合があるが，これは重錘の移動によって支持脚の負担荷重が加振前と変わったことによるもので，塑性変形を意味するものではない。図-14に，全加振ケースについて水平最大入力加速度と支持脚中央部の最大応答ひずみの関係を示した。支持脚の鋼材（STK 41）の公称降伏応力度は 24 kgf/mm^2 {235 MPa} で，ひずみに換算すると $1,143 \times 10^{-6}$ である。このことから，無載荷時お

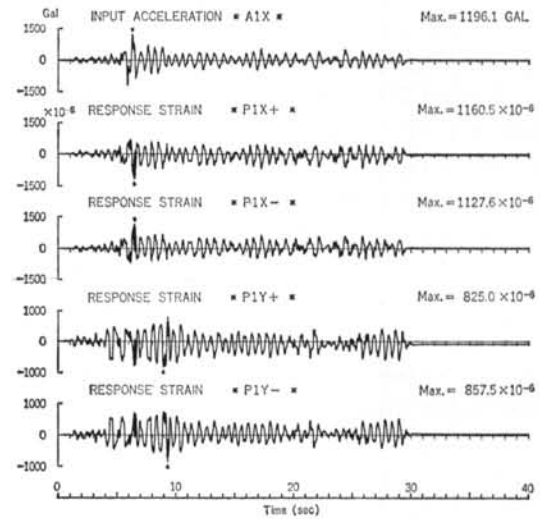


図-13 パイプ支持脚ひずみ波形例（重錘載荷，建屋応答波：十勝沖八戸港湾 水平 1,000 Gal・上下 500 Gal）

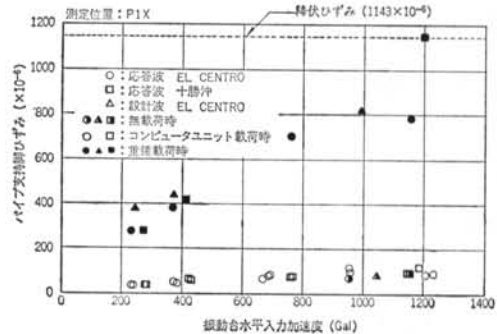


図-14 最大入力加速度—最大ひずみ関係

よびコンピュータ・ユニット載荷時のひずみレベルは降伏ひずみの約1/10であり、全く問題がない。重錘載荷時には総じてひずみレベルは大きく、図-13の加振ケースではほぼ降伏ひずみに達しているが、鋼材の塑性変形能力を考え合わせると、耐震安全性上問題となる値ではないと考えられる。

3.2.3 コンピュータの稼動状況

加振ケース4~22のコンピュータの稼動状態のチェックによると、水平方向入力加速度400Gal以上の加振でディスク系のユニットでパリティエラー(Parity Error)の発生したケースがあったが、磁気テープ系のユニットでは全加振を通じて稼動に異常は生じなかった。また、各加振後のチェックでは、加振中にパリティエラーの発生したケースを含む全ケースとも何等の異常も見られなかった。

パリティエラーとは、稼動状況の確認検査の一つとして行なったパリティチェック(Parity Check)によって検出される異常のことである。パリティチェックは「奇偶検査」ともいわれ、転送されるデータの中で“1”を示すビットが奇数個か偶数個かを予め計算しておき、転送されてきたものと比較検査することをいう。本試験では4種類のパリティエラーが発生したが、加振後の再検査では異常を生じていない。以上から、コンピュータ・ユニットが電子計算機センターのように中央処理装置に接続されている場合を想定すると、同様のエラーが発生したときには制御装置はそれらを検出して中央処理装置へ報告し、中央処理装置は再度同じ命令を繰返し実行する機能(リトライ機能)をもっているため、稼動に支障は生じないと考えられる。

§ 4. まとめ

本耐震試験の結果により得られたフリーアクセス床、コンピュータの振動特性および耐震性をまとめて以下に記す。

(1)動特性把握試験による無載荷時におけるフリーアクセス床の水平方向の共振振動数は約30Hz、減衰定数は0.06~0.07、加速度応答倍率は8~10倍で、方向による差はなかった。また、上下方向では50Hzまでの範囲に共振振動数はなかった。重錘載荷時におけるフリーアクセス床の水平方向の共振振動数は約6.5Hz、減衰定数は0.07、加速度応答倍率は約7倍で、方向による差はなかった。また、上下方向では共振振動数は約44Hz、減衰定数は0.05、加速度応答倍率は約6倍であった。

(2)地震波加振試験の結果、無載荷時のフリーアクセス床の最大加速度応答倍率は水平方向で約1~2倍、上下方向で約1倍であった。コンピュータ・ユニット載荷時のフリーアクセス床の最大加速度応答倍率は水平・上下方向とも約1~2倍であるが、振動台入力加速度が大きくなるとユニットのロッキング、衝突などにより瞬間的に水平方向で4倍程度に増幅される。重錘載荷時のフリーアクセス床の最大加速度応答倍率は水平方向約1~2.5倍、上下方向で約1~2倍であるが、振動台入力加速度が大きくなると重錘の移動により瞬間的に水平方向で最大8倍程度に増幅される。

(3)パイプ支持脚のひずみは、重錘載荷時の1例で瞬間的に降伏ひずみ域に達したが、加振後に降伏残留ひずみはなかった。他の加振ではすべて降伏ひずみ以下であり、降伏後の塑性変形能力も考え合わせると、パイプ支持脚の耐力は耐震安全性上全く問題ないといえる。

(4)コンピュータ・ユニットの加振時の稼動状態のチェックにより、ディスク系のユニットでパリティエラーが発生したが、加振後のテストではすべて異常なく作動した。このエラーは、中央処理装置に接続された実際の電算センターでは、中央処理装置のリトライ機能により修復可能であると考えられる。

(5)加振中にフリーアクセス床、パイプ支持脚には異状は見られなかった。また、すべての地震波加振終了後において外見上の異状は全く見られず、フリーアクセス床は設計で想定している荷重と地震の組み合わせに対して十分に安全であるといえる。

本試験の地震波加振時には、コンピュータ・ユニットはフリーアクセス床上には固定しなかったために、ロッキングしたり転落防止ガードと衝突しユニットに過大な応答が生じた。実際の建物にコンピュータ・ユニットを設置する場合には、なんらかの転倒防止策を講じる必要がある。一方法として、コンピュータ・ユニットをコンクリートスラブ上に固定した場合には、本試験でみられた過大な応答は生じないが、固定によって増幅率が本試験よりも増大する可能性がある。その応答倍率は推定の域を出ないが、表-6によると最大4~20倍程度である。しかしながら、入力地震波はランダムであり、また建屋応答波の卓越周期とユニットの固有振動数とに差があるためにユニットが共振するとは考えられず、また例えある程度共振したとしても、本試験で最大5,000Galの応答時でも修復可能なパリティエラーが発生した程度であったことを考えると、ユニットの稼動には問題は生じないであろうと推定される。

謝辞 本振動試験を遂行するに当たっては、全日本空輸

株式会社松田平田坂本設計事務所、株式会社梓設計、株式会社現代建築研究所の各位の理解とご協力を得ました。また、古河鋳造株式会社、株式会社日本ユニパックには試験体の提供と貴重な助言

を戴きました。ここに謹んで謝意を表します。また、当社建築4部の菊池工事長を初めとする関係各位に、末筆ながら謝意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 日本建築学会：“1978年宮城県沖地震災害調査報告” 日本建築学会（1980年）
- 2) 通商産業省機械情報産業局監修：“電子計算機システム安全対策基準解説書” 情報サービス産業協会（1986年）
- 3) 通商産業省機械情報産業局監修：“情報処理サービス業電子計算機システム安全対策実施事業所認定制度—解説書—” 情報サービス産業協会（1986年）

