

## 二次元振動試験機によるオフィス家具の転倒実験について

Experiment by Two-axdal Shaking Table on Over Turn of Furniture in Office

野 口 義 憲\*

渡 辺 孝 夫\*

伊 藤 睦 夫\*

## 概 要

建築、土木関係については、耐震・免震等の地震に対する研究が早くから行われてる反面、屋内収容物に関しての研究は無に等しく、地震が発生した場合、室内収容物の転倒により二次的被害を引き起こすことが十分考えられる。このため、地震時における、オフィス家具の転倒防止対策の基礎資料を得ることを目的に実験を行った。

主な結果は次のとおりである。

- (1) 家具の転倒の一般式は  $4 > D/\sqrt{H}$  で示され  $D/\sqrt{H}$  が 4 より小さい場合に転倒する。
- (2) 家具を転倒させる地震の条件は、家具の奥行き  $D$  の 10% 以上の振幅と静的転倒加速度以上の加速度が必要である。(静的転倒加速度 =  $980 \times D/H$  ガル、 $D$  : 家具の奥行き、 $H$  : 家具の高さ)
- (3) 家具の挙動は、木造建物・中層建築物にあっては「ロッキング」、高層建築物では「転倒」が多く発生し易い条件にあることが推察される。
- (4) 水平振動のみの加振に比べ、上下振動を同時に加えた方が転倒し易い。

Study on earthquakes has long been made in the field of building engineering and civil engineering. However, study on the behavior of contents in the buildings has not been made. In case of a major earthquake, the over turn of furniture in buildings is likely to cause secondary damage.

In order to get basic data to prevent furniture in offices from over turn in the event of earthquake, we conducted the experiments.

Results of the experiments are as follows.

- (1) Formula for the over turn of furniture is shown as follows.

$$4 > D/\sqrt{H}$$

In this formula, if  $D/\sqrt{H}$  is smaller than 4, the furniture will over turn.

- (2) The conditions of earthquake to over turn furniture are; Amplitude is larger than 10% of depth of the furniture. Acceleration is faster than the over turn acceleration.  
(over turn acceleration =  $980 \times D/H$  gal,  $D$  : Depth of the furniture,  $H$  : Height of the furniture)
- (3) In wood-frame buildings and middle-rise buildings, the furniture showed "rocking." In high-rise buildings, the furniture were more likely to "over turn."
- (4) Compared to simple horizontal acceleration, combined horizontal and vertical acceleration was more effective on the falling down of the furniture.

## 1. はじめに

「地価高くして、ビル天に上がる」と大きな見出しが、今年の6月新聞をにぎわした。全国各地

とくに首都圏にあっては、地価高騰に伴ってオフィスビルや、住宅不足が深刻化する中で大手の建設会社は、注文さえあれば現在の技術で今すぐにも480m~800m級(100階~200階)のノックビルの建築が始められる現実的な構想を発表した。

しかし、日本は、世界でも有数な地震多発地帯

\*第二研究室

であり、特に首都圏にあっては、直下型地震が約100年周期で発生するとされているにも係わらず、安政の江戸地震(1855年)以来、140年近く空白期間が続いている。このため近い将来、マグニチュード4以上の直下型地震が首都圏で発生する確率は非常に高く、発生したならば高層ビル等では、かなりの被害があるものと予想される。

このため、平成元年度に引続いて、実際の地震波を入力できる二次元振動試験機を用いて、十勝沖地震、宮城県沖地震、千葉県東方沖地震の3種類と、正弦波を入力し、高層ビルにおけるオフィ家具の、ロッキング・転倒時の加速度等を明らかにすることによって、転倒防止対策に関する技術的な基礎資料を得ることを目的に実験を行った。

## 2. 地震の伝わり方

地震波が建物の室内に置かれた家具類に伝わるまでには、図1のような過程が考えられる。

地震波は地震の大小、震源地からの距離、地盤の質、建物の種類、階層等の違いによりそれぞれの段階において相互作用が生じ、減衰や増幅が行われて伝わる。ここで特に問題となるのは、床の振動であり、地震に対してこの床の動きを専門的には、「フローレスポンス(床応答)」と言っている。このフローレスポンスは、地震の周期と建物そのものの固有周期がお互いに連成し合い、複雑な動きを生ずるもので、この床応答の動きにより屋内収容物の転倒は大きく影響する。

1978年に発生した宮城県沖地震において、東北大学に設置された地震計では、1階で250ガル、最上階(9階)では1040ガル<sup>1)</sup>という大きな揺れが記録された。これは、建物の固有周期と地震の振動周期が近接したため共振現象を起こした好例である。

ここで、宮城県沖地震の記録を用いて、コンピュータにより建物の応答を計算した結果を図2に示す。建物は、平屋建て住宅と、20階建てビルの2種類を考えた。一見して20階建てビルは、平屋建て住宅に比べ大きく揺れそうであるが、計算結果は、逆であった。これは、前述した共振現象に起因するものである。

入力地震波の共振周期は約0.9秒が主で、それ以下の周期のピークも多くみられ、平屋建て住宅は0.5秒、20階建てビルは約2.0秒の固有周期をもつ

ている。このことから、平屋建て住宅の方が、より共振に近い状態となり揺れが大きくなったのである。

また、20階建てビルの5階、10階、20階の応答波形を比較すると、高層階になるほど波形は滑らかになり、最上階では、建物の固有周期と一致する2秒前後の周期の波が目立っている。この様に、建物に地震波が入ると、建物の周期に合った波の成分だけが残り、他の周期の成分は、上階に行くに従って消滅する。

超高層建物では、一般に固有周期は3~5秒と非常に長くなり、地震動と共振することはないと考えられる。しかし、揺れの幅は、中高層と比べてかなり大きくなり、片振幅で30~40cmに達することもあると言われており、しかもゆっくりとした揺れとなる。いずれにしても、地震時の建物の動きは、建物の構造階層、地盤などのそれぞれの性質が複雑に絡み合っただけで決まるものである。

今回の実地震波を用いた実験においては、鉄骨造ビルの揺れをコンピュータで計算し、1階と9階の床の応答波を用いオフィ家具の挙動について実験を行った。

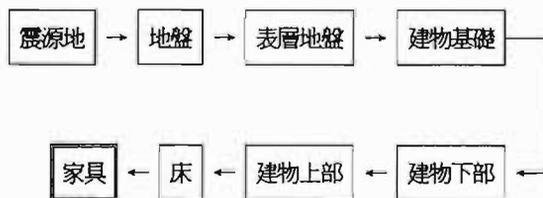


図1 地震波の伝わり方

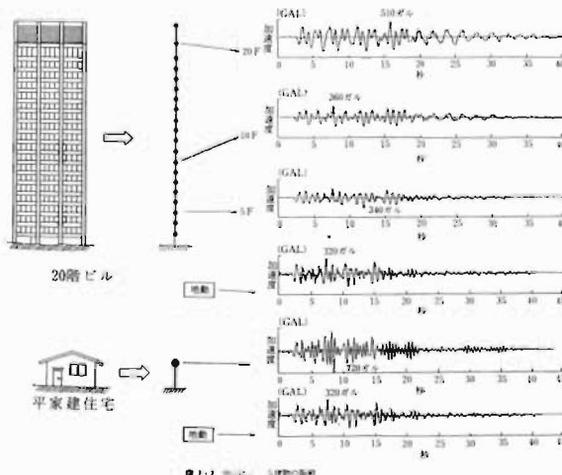


図2 地震時の建物の振動

### 3. 建物の固有周期と減衰

実際の建物は、どのような固有周期と減衰定数をもつのであろうか。木造一戸建て住宅、中低層建物、高層建物についてそれらの平均的な一般式を表1<sup>2)</sup>に示す。

これらから、建物が高くなればなるほど、建物の固有周期は長くなることがわかる。

表1 建物の固有周期と減衰定数

建物	項目	周期 (秒)	減衰定数 (%)
	木造一戸建	平屋	0.15~0.3
2階建		0.2 ~ 0.5	4 ~ 10
中低層建物 15階以下	T=0.054N T:周期 N:地上階数	鉄骨造 4% 以下 鉄筋・鉄骨 コンクリート造 2 ~ 10	
	高層建築物 15階を越える	T=0.079N	0.5 ~ 4.0

### 4. 地震の継続時間

地震は、どの位の時間、揺れ続けるのであろうか。当然地震の規模が大きくなればなるほど継続時間は長くなるが、マグニチュード8の大地震でさえも地震の継続時間は、50秒程度である。(図3参照)<sup>3)</sup>ただし、高層建物の中で地震を体験すると、地面の揺れがおさまっても、建物にはまだ揺れが残っているため、継続時間は長くなる。

いずれにしても、地震による揺れは、短時間であるので、慌てずに揺れがおさまるのを待ちその後、二次的災害防止等の適切な処置を講ずるべきである。

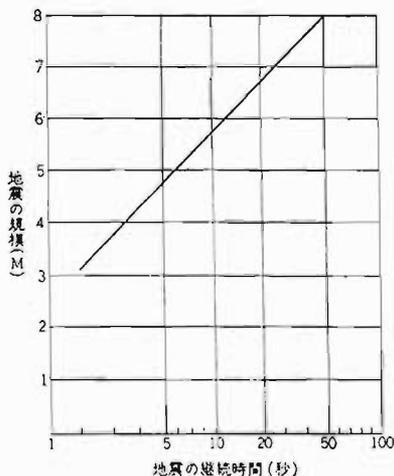


図3 地震の規模と継続時間の関係

### 5. 家具の転倒理論

建物内に置かれた家具の、強震時のロッキング・転倒理論については、昨年の研究所報第27号(二次元振動試験機による灯油ストーブの挙動について)を参考のこと。

### 6. 実験内容

二次元振動試験機(図4)を使用して、次の実験を行った。

- (1) 正弦波による家具の転倒実験。
- (2) 水平動に上下動を加えた場合の家具の転倒実験
- (3) 実地震波による家具の転倒実験。

### 7. 実験装置

実験装置の概要は、図4のとおりです。

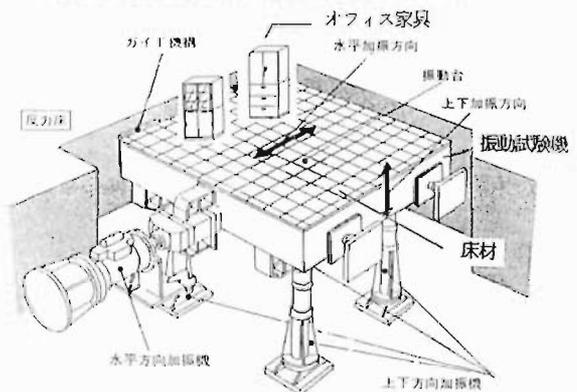


図4 実験装置の概要図

#### ① 振動試験機

実験には、東京大学生産技術研究所・千葉実験所に設置されている振動試験機(垂直・水平1方向)を用いた。この試験機は、水平または垂直一方向のみの加振に比べて、はるかに自然に近い動きを再現できる振動試験機である。

なお、試験機の仕様を表2に示す。

表2 振動試験機の仕様

振動方向	水平及び垂直二軸
振動方式	電気油圧サーボ方式
最大加速度	水平3.0G・上下1.5G
最大振幅	水平150mm・上下60mm
使用振動数範囲	DC~50Hz
最大搭載重量	7000kg
振動台寸法	300×300cm
振動波形	正弦波・地震波

② オフィス家具

事務室等で一般に使用されているオフィス家具（以下試験体という）の中から代表的な、両開き保管庫、ロッカー、二段積み書庫を選んだ。

なお、収納物の重量は、研究所及び本庁の調査結果に基づく平均値である。また、今回の実験は、各試験体の地震時の挙動について基礎データを求めるため、棚板及び収納物を試験体に固定し実験を行った。

各試験体の名称、形状寸法等を表3に示す。

③ オフィス家具の配置

同じ室内でも、配置される状態により地震時の挙動は大きく異なると思われるため、3種類のタイプで実施した。試験体の配置は、図5に示す。

- Aタイプ——壁際設置型
- Bタイプ——単独設置型
- Cタイプ——背合わせ設置型

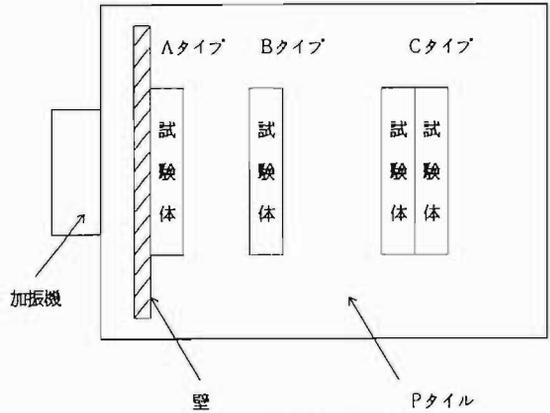
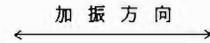


図5 試験体の設置

表3 試験体の形状・寸法

A 試験体 (二段積み書庫)					
寸法	重心の位置	静的転倒震度		自重	収容物重量
H = 88cm × 2	h = 89.4	前	後	上段 65Kg	240Kg
W = 176cm	d <sub>1</sub> = 29.2	Kt = d <sub>1</sub> /h = 0.32	Kt = d <sub>2</sub> /h = 0.25	下段 63Kg	
D = 51.5cm	d <sub>2</sub> = 22.3				
B 試験体 (二段積み書庫)					
寸法	重心の位置	静的転倒震度		自重	収容物重量
H = 88cm × 2	h = 102.3	前	後	上段 50Kg	240Kg
W = 176cm	d <sub>1</sub> = 21.9	Kt = d <sub>1</sub> /h = 0.21	Kt = d <sub>2</sub> /h = 0.18	下段 47Kg	
D = 40.0cm	d <sub>2</sub> = 18.1				
C 試験体 (両開き保管庫)					
寸法	重心の位置	静的転倒震度		自重	収容物重量
H = 178.8cm	h = 92.7	前	後	50Kg	100Kg
W = 89.5cm	d <sub>1</sub> = 23.2	Kt = d <sub>1</sub> /h = 0.25	Kt = d <sub>2</sub> /h = 0.30		
D = 51.5cm	d <sub>2</sub> = 28.3				
D 試験体 (両開き保管庫)					
寸法	重心の位置	静的転倒震度		自重	収容物重量
H = 178.8cm	h = 92.7	前	後	45Kg	100Kg
W = 89.5cm	d <sub>1</sub> = 18.1	Kt = d <sub>1</sub> /h = 0.19	Kt = d <sub>2</sub> /h = 0.23		
D = 40.0cm	d <sub>2</sub> = 21.9				
E 試験体 (ロッカー)					
寸法	重心の位置	静的転倒震度		自重	収容物重量
H = 178.8cm	h = 106.5	前	後	50Kg	15Kg
W = 90.0cm	d <sub>1</sub> = 22.7	Kt = d <sub>1</sub> /h = 0.21	Kt = d <sub>2</sub> /h = 0.27		
D = 51.5cm	d <sub>2</sub> = 28.8				

④ 床材

室内の床面の仕上げによっても、家具の転倒状況は異なるため、今回は、一般の事務室を想定して振動台上に厚さ20mmの合板を固定し、その上にPタイルを貼り振動実験を行った。

8. 振動実験

1. 実験項目

(1) 試験体と実験項目

実験項目等については、表4に示す。

表4 試験体と実験項目

試験体	項目	興行き	単 独	壁 際	背合わせ
①	両開き保管庫	40.0cm	㊟	㊟	①と①・①と⑤
②	両開き保管庫	51.5cm	㊟	㊟	②と②
③	二段積み書庫	40.0cm	㊟	—	③と③
④	二段積み書庫	51.5cm	㊟	—	④と④
⑤	ロッカー	51.5cm	—	—	—

\* 試験体の形状、重量、寸法、配置等は表3及び図5に示す。  
\* ㊟印は、実験を実施した。

(2) 実験条件

実験条件については、表5に示す。

表5 実験条件

項 目	実 験 条 件
入 力 波	正弦波
水平加速度	100～1000ガルまで漸増
上下加速度	水平加速度1/2ガル
周 波 数	0.7～4.0Hz (0.1Hz間隔)

(3) 地震波

地震波については、表6に示す。

表6 地震波

地震波	千葉県東方沖	宮城県沖	十勝沖
	○	○	○

2. 実験方法

(1) 正弦波による家具の転倒実験及び水平動に上下動を加えた場合の家具の転倒実験

基礎的データの収集を目的とし、試験体の転倒時の周波数、振幅、加速度の測定及び地震時の上下動の影響を見るため、上下動を同時に加振し実験を行った。

ア 単独設置の試験体について、入力正弦波の周波数を一定にし、加速度のみを除々に増加させ、ロッキング、転倒を確認した。なお、転倒しない場合は、1000ガルまで加振させ終了とした。

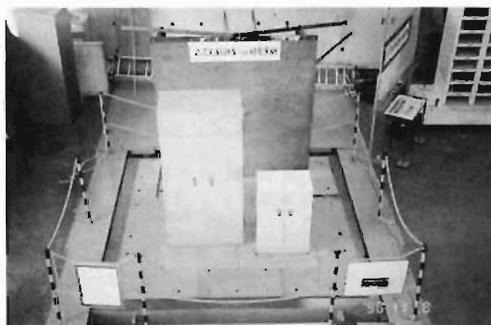
イ 次に同じ周波数で、水平動と同時に上下動も加振させロッキング、転倒を確認した。ただし、上下動は、水平加速度の1/2で行った。

ウ 周波数を変えてア、イを行い同じように転倒を確認して実験を進めた。

エ 次に、表4、5に示す、各試験体を実験項目、周波数等に基づきア～ウの実験を順次進めた。

オ 各加速度の加振時間は、図3に基づき60秒間とした。

カ この実験方法により、各試験体における転倒時の周波数と加速度を求めた。



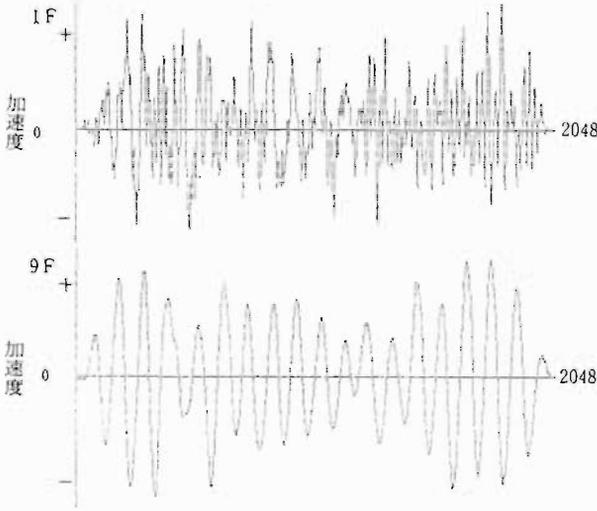
写 真

(2) 実地震波による家具の転倒実験

振動試験機に与えた入力波は、十勝沖地震、宮城県沖地震、千葉県東方沖地震の3種類を想定した。これらの地震波による鉄骨造のビルの揺れをコンピュータで計算し、1階と9階の床の応答波を入力し、各試験体の転倒等について実験を行った。

なお、9階を選んだ理由は、正弦波の転倒実験の結果に基づき、転倒が一番起り易かった周波数は1Hzであったので、鉄骨造ビル1Hzの床応答を計算により求めた階数は9階であったためである。

表7 十勝沖地震の1階と9階の床応答波例



9. 結果

1. 正弦波による家具の転倒実験

(1) 床、壁に固定するなどの対策を施さず、試験体を設置した場合の転倒状況

両開き保管庫(D=40.0cm)の結果を図6に示す。

横軸に入力した正弦波の周波数、縦軸に同じく入力した正弦波の加速度を示す。

実線が、転倒限界曲線であり、この線を境にして左上の領域で転倒する。

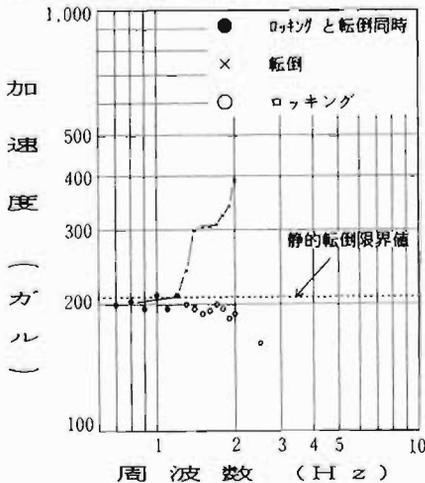


図6 加速度と周波数の関係

この図から、正弦波で周波数が、1.2Hzを境にして、それよりも低いときは、静的転倒限界加速度に近い加速度でロッキングと同時に

転倒するが、それよりも周波数が大きくなるにつれて、静的転倒限界加速度より小さな加速度でロッキングを始め静的転倒限界加速度以上の加速度で転倒している。

2.5Hzを越える周波数では、加速度をいくら大きくしても、ロッキングが激しくなるだけで転倒には至らなかった。

これらの結果、転倒は必ずしも加速度だけで決まるものでなく他の要素が関係し、この要素として入力波の振幅が考えられる。

このため、試験体のロッキングと転倒について、横軸に振幅、縦軸に加速度の結果を図7に示す。

この図から、振幅が大きくなるにしたがい静的転倒限界加速度近くで試験体は転倒している。逆に振幅が小さくなるにしたがい、静的転倒限界加速度よりも大きな加速度で転倒している。

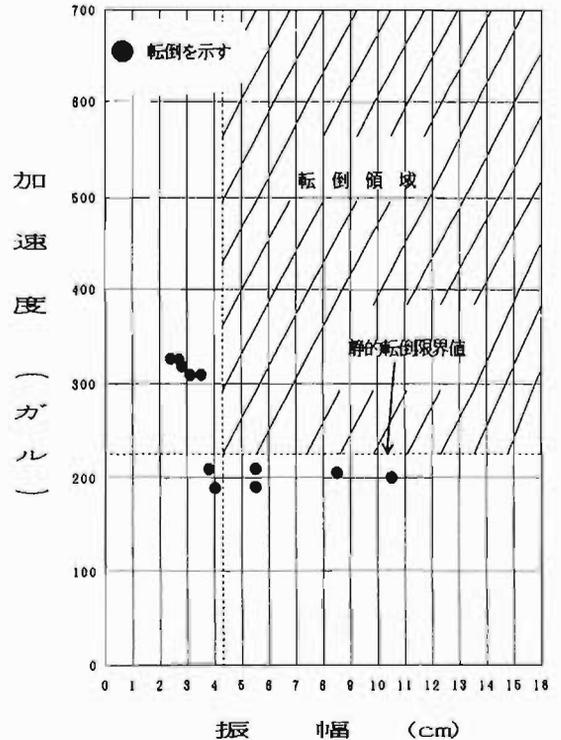


図7 加速度と振幅の関係

このため、図中の斜線の範囲が転倒領域であり、転倒は家具の奥行き約10%以上の家具の奥行き方向の振幅があると転倒することが判った。

なお、点線で示した横線は、「静的転倒限界加速度」であり、この限界加速度は、家具の奥行きと高さの比（静的転倒限界加速度＝家具の高さ／家具の奥行き×980ガル）だけで決まるもので、入力波の振幅及び周波数に関係なく一定である

(2) 二段積み書庫の転倒実験

横軸に周波数、縦軸に加速度を示す。1.0Hz以下の周波数においては、両開き保管庫と同様二段積み書庫もロッキングと同時に転倒した。しかし、3.0Hz以上の周波数では静的転倒限界加速度以下での転倒は、上部ケースがズレて落下したのが殆どであった。

このため、二段積み書庫の実験データは、他の試験体との比較がとれないため、基礎資料として用いなかった。

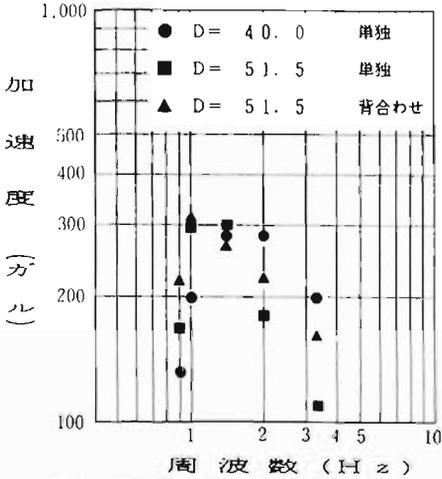


図8 二段積み書庫の転倒状況

今回の実験では試験体を何回も使用するため、一番底部にある「はかま」は振動試験で変形するおそれがあるので外して行ったが、地震が発生した場合、事務室では上部が落下する前に「はかま」を踏み外し、この実験結果より低い加速度の段階で転倒（落下）することが考えられる。

(3) 設置方法の違いによる転倒実験

両開き保管庫については、図9に示す。

この図から、一番倒れにくかったのは壁際設置のもので次に背合わせ、倒れやすかったのは、室中央に置かれた単独の試験体であった。

壁際に置いた試験体は、壁との衝突により

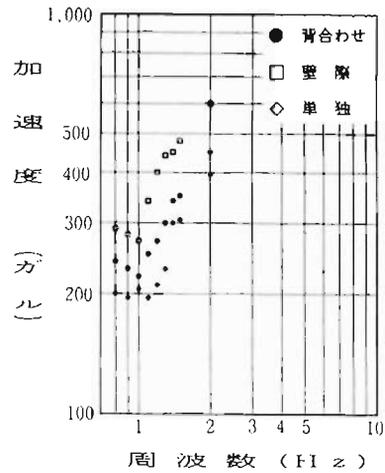


図9 設置方法の違いによる転倒状況

ロッキングのエネルギーが消費され、そのため、室中央に置かれた試験体よりも倒れにくくなった。これと同じことが試験体を背合わせにして配置したときにも言える。

このため、単独での配置は転倒の危険が大きいため、転倒防止を施すか配置を壁際にする必要があると思われる。

(4) 奥行きの違いによる転倒状況

ア 両開き保管庫について図10に示す。

この図から、奥行き40cmの保管庫は、2.0 Hzまで転倒したのに対し奥行き51.5cmの保管庫は、1.6Hz以上からロッキングのみで転倒はなかった。

イ 周波数が、1.2Hz以下にあっては、奥行き51.5cmの保管庫でも、ロッキングと同時に転倒するため、震度5以上の地震が発生した場合、転倒による人的等の二次的災害が起る危険が十分考えられる。

ウ 周波数が2.5Hzを越えると、加速度をいくら上げてもロッキングのみで転倒は見られなかった。

(5) 上下動と水平動の同時加振による転倒状況

ア 水平加速度の振動試験の結果（図6）から試験体は、約200ガル以上で転倒するため上下加速度は水平加速度の1/2(50ガル、100ガルの2種類)で実験を行った。

両開き保管庫についての結果を図11に示す。この図から水平加速度のみに比べ、上下加速度が加わった同時加振の方が転倒しやすい結果となった。

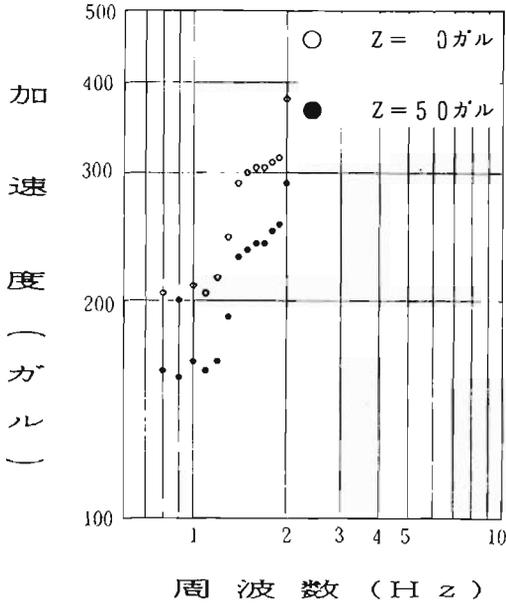


図10 奥行きの違いによる転倒状況

これに関して、物部氏は次の式を提案している。

$$\hat{a} = a \frac{1}{1 + b \frac{D}{H}}$$

a : 静的転倒限界加速度 (水平加速度)

$\hat{a}$  : 上下加速度を考慮した転倒限界加速度

D : 家具の奥行き

H : 家具の高さ

b : 水平加速度に対する上下加速度の比

この式から、水平加速度210ガル、 $a = 218$  水平加速度の1/4の上下加速度が同時に作用すると206ガルで転倒し、より転倒しやすくなることが、この式からも確かめられた。

イ 背合わせの結果を表8に示す。

この表からも、水平動に上下動が加わった方がアと同様、転倒しやすい結果となった。

しかし、試験体が違う背合わせの場合、転倒の加速度は、水平加速度に比べ同じかそれ以上であった。

このことは、他の試験体との衝突によりロッキングのエネルギーが消費されたこと、

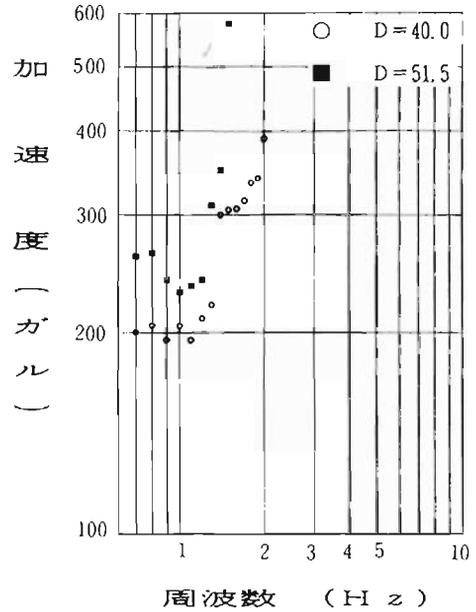


図11 上下動と水平動の同時加振による転倒状況

また、単独と比べ、背合わせの試験体の固有周期が違うなどの要因がお互いに絡み合ったためと思われる。

表8 上下動と水平動の同時加振による背合わせの転倒状況表

両向き保管庫 (奥行き51.5cm、40.0cm) 背合わせ時のロッキン開始及び転倒開始の水平加速度 [gal]

周波数 [Hz]	上下動なし		上下動50gal位相差0°		上下動100gal位相差0°	
	ロッキン開始	転倒	ロッキン開始	転倒	ロッキン開始	転倒
0.8	210	230	211	230	—	—
0.9	198	200	200	240	200	200
1.0	180	210	200	230	200	220
1.1	180	205	190	225	190	215
1.2	210	260	210	320	190	260
1.3	180	—	200	—	200	340
1.4	200	—	200	310	200	—
1.5	210	—	210	—	197	—
2.0	170	—	160	—	170	—
2.5	160	—	160	—	160	—

両向き保管庫 (奥行き51.5cm、2台) 背合わせ時のロッキン及び転倒開始の水平加速度 [gal]

周波数 [Hz]	上下動なし		上下動50gal位相差0°		上下動100gal位相差0°	
	ロッキン開始	転倒	ロッキン開始	転倒	ロッキン開始	転倒
0.9	200	—	220	265	210	240
1.0	260	—	200	270	250	263
1.1	220	—	220	295	200	213
1.2	230	—	220	295	200	266
1.3	240	—	200	—	190	—
1.5	200	—	220	—	200	—
2.0	140	—	200	—	180	—
2.5	90	—	90	—	80	—

2. 実地震波による家具の転倒実験

床、壁に固定するなどの対策を施さずに行った実験結果を表9に示す。

この表から、十勝沖地震、宮城県沖地震と同じ規模の地震が起きた場合、家具が転倒することが確認された。

表9 地震波による試験体の転倒状況

試験体の種類	設置方法	十勝沖地震		千葉県東方沖地震		宮城県沖地震	
		1F	9F	1F	9F	1F	9F
1 両向き保管庫 (D=40.0)	背合わせ	○	×	○	○	×	×
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
2 両向き保管庫 (D=40.0)	背合わせ	○	×	○	○	×	×
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
3 両向き保管庫 (D=51.5)	背合わせ	○	○	○	○	○	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
4 両向き保管庫 (D=51.5)	背合わせ	○	○	○	○	○	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
5 両向き保管庫 (D=40.0)	単独	○	×	○	○	×	×
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
6 両向き保管庫 (D=51.5)	単独	○	○	○	○	×	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
7 三連ロッカー (D=51.5)	単独	○	○	○	○	○	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
8 両向き保管庫 (D=40.0)	壁架設置	○	○	○	○	○	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
9 両向き保管庫 (D=51.5)	壁架設置	○	○	○	○	○	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○
10 三連ロッカー (D=51.5)	壁架設置	○	○	○	○	○	○
		三連ロッカー (D=51.5)	○	○	○	○	○

\* ○ 転倒せず  
× 転倒

10. 考 察

1. 振幅と加速度の関係による家具の転倒は、今まで加速度が大きければ大きいほど転倒しやすい

いと考えられてきたが、今回の実験により加速度もさることながら、振幅が転倒については支配的であり、特に振幅が大きいところでは、転倒しやすいことがわかった。

2. 家具の転倒の1つの目安として、建築研究所の石山氏<sup>9)</sup>の式をもとに、振幅による家具の転倒に関する判別式を求めてみた。

$$V = 25.6 \times B / \sqrt{H} \quad \dots\dots\dots (1)$$

V : 家具が転倒する速度  $(\frac{\text{加速度}}{2\pi f})$

B : 家具の奥行き

H : 家具の高さ

A : 家具が転倒する振幅  $(\frac{\text{加速度}}{(2\pi f)^2})$

f : 周波数

(1)から、振幅Aを求めると

$$A = 25.6 \times B / \sqrt{H} \times \frac{1}{2\pi f} \quad \dots\dots\dots (2)$$

図7から振幅16cm以上、周波数1Hzにおいて殆どの家具は転倒することから、これらを(2)に代入すると

$$4 = B / \sqrt{H} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、 $B/\sqrt{H}$ が4より小さければ転倒する。(3)から振幅による転倒限界曲線を求め、この曲線を図12に示す。この図から転倒領域はこの曲線の左上が転倒領域である。

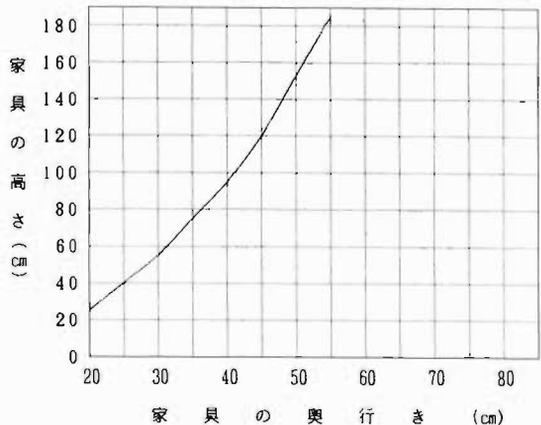


図12 転倒に関する家具の高さと奥行きの関係

この図から、高さ180cm奥行き40cmの保管庫では転倒するが、高さ180cm奥行き80cmの背合わせにすると転倒しないと判別することができる。

3. 建物の固有周期と正弦波による実験から家具の挙動は木造建物、中層建築物にあつては「ロッキング」高層建築物では「転倒」が多く発生しやすい条件にあることが推察された。

4. 上下加速度を加えた同時加振の方が水平加速度のみの加振に比べ、物部氏の上下加速度転倒限界式及び実験からも転倒しやすくなることが確かめられた。

5. 二段積み書庫、三段積み書庫のオフィス家具は、実験結果から上段の家具は加速度が小さくとも周波数が大きいと「ロッキング」を起こしズレて落下するので注意が必要である。

特に、家具や机の上に置いたテレビ等については、ロッキングでズレて早く落下し、人的被害の恐れがあるので宿直室等では特に使用しない方がよい。

6. 首都圏に十勝沖地震、宮城県沖地震が発生した場合、オフィス家具が転倒することが確認された。特に、事務室等においては両開き保管庫とロッカー又は二段積書庫を背合わせ、或いは単独に長く横並びにし通路や更衣室との境に使用しているため、いざというとき転倒し避難通路を塞いで、人的被害を起こす危険があるので、転倒防止等の処置が必要となる。

しかし、転倒防止等の処置を施さず背合わせで家具を使用する場合には、背合わせ部分を鉄板等で結合した結果、ロッキング・転倒は殆ど起きず安全であったので、このような使用方法が良いと思われる。

## 11. おわりに

直下型地震による屋内収容物の転倒等については各方面から関心が寄せられている。今回はオフィス家具の挙動について、遙に自然に近い状態で地震を再現できる二次元振動試験機を用いて転倒防止策についての技術的な基礎資料を得るため、実験を行った。そして総てを解明するには至らなかったが、その一端を把握することができたので報告するとともに、今後は安価で多数の家具に取付けられ、しかも室内インテリアに適するような転倒防止器具の研究開発を進めて行く予定である。

おわりに、本実験に寄せられた東京大学名誉教授田村重四郎氏、東京大学助教授小長井一男氏はじめ職員の方々並びに財団法人震災予防協会細瀬武進氏のご指導、ご協力に対し甚大なる感謝の意を表する次第である。

## 12. 参考文献

1. 建築研究報告 No86
2. 日本建築学会編建築物の耐震設計資料  
基本周期—地上階数関係
3. 久田俊彦編著 地震と建築 鹿島出版会
4. 土木学会誌 第10巻 大正13年10月  
地震上下動に関する考察並びに振動雑論  
物部長穂
5. 日本建築学会大会 学術講演梗概集  
昭和54年9月  
建設省建築研究所 石山 裕 岡田 亘