

屋内収容物（冷凍冷蔵庫，衣類乾燥機）の振動実験について

Vibration Tests for Building Contents
(Cold Storages and Driers)

桜 井 和 敏 *
北 沢 千 弘 *
斉 藤 洋 *
吉 田 靖 *

Recently, among the casualties by earthquakes in urban areas a remarkable number of them have been caused by falling or dropping objects.

In view of this vibration tests were made for large building contents such as cold storages, clothing driers, etc.

As a result, it was recognized that the measures that are presently used to prevent them from falling are inadequate. It is, therefore, necessary to devise effective measures suitable for installed objects and their locations.

1. はじめに

建築構造物自体の耐震化が進められている中で、生活様式や住宅環境の変化に伴って、屋内の収容物は、室内空間の高度利用や意匠化の傾向が強くなり、これらの転倒や落下による受傷危険が増している。

最近の地震被害でも、家具、室内装飾品、窓ガラスなどの転倒、落下、破損による受傷事例が目立っており、身近な生活環境における具体的な耐震対策が望まれる。

2. 実験目的

屋内収容物の中では家具と並んで大形の重量物であり、とりわけ厨房室内に設置される確率の高い冷凍冷蔵庫、乾燥機付洗濯機についての対振挙動を把握し、周囲環境への影響、そして転倒防止措置の実効性を確認する。

3. 実験供試体

(1) 冷凍冷蔵庫

最近普及化傾向にある有効内容積260～300ℓ級の家庭用3ドアタイプ冷凍冷蔵庫（以下冷蔵庫という。）3台を任意に抽出した。

(2) 衣類乾燥機

乾燥容量約2.5kgのスタンド設置型家庭用衣類乾燥機（以下乾燥機という。）3台を任意に抽出した。

4. 実験項目

(1) 供試体の構造諸元の測定

(2) 周波数変動加振による供試体の挙動特性の確認

(3) 一定加速度による振動実験

(4) 転倒防止措置の実効性の確認実験

5. 実験条件及び実験セット

振動実験における供試体及びその周囲条件には、平均的な使用状態を想定して、次の条件を与え、図1に示す実験セットにより実施した。（写真1、2参照）

(1) 供試体への重量負荷

冷蔵庫には、図1に示す重量配分により、総重量32.5kg、乾燥機内には2.5kgの重量負荷を模造品により加えた。

(2) 床及び壁材

供試体の使用形態は、背面を壁に接して設置されることがごく一般的であることから、振動台上にラワン合板（厚さ30mm）製木壁を



写真1 冷蔵庫内の収納状況

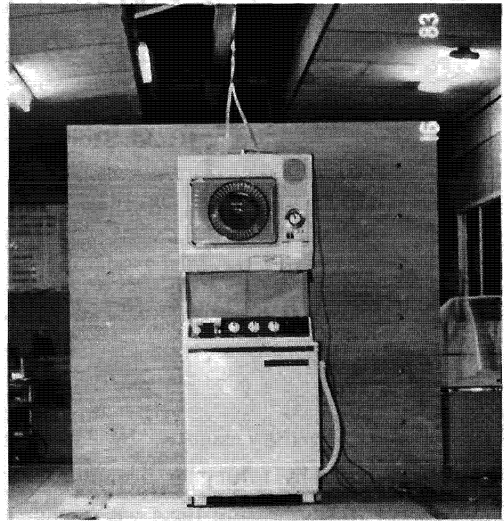


写真2 乾燥機の実験セット状況

作り、床材には摩擦値の異なるプラスチックタイル（以下Pタイルという。）、合板、スレート板を選定した。

付け位置、脚部構造の違いによる床面との摩擦係りに、乾燥機については本体重量に、それぞれ構造上の特徴が認められた。

6. 実験方法及び結果

(1) 供試体の構造諸元

各供試体個々の構造上における静的な性質について測定した結果は表1のとおりであった。

抽出した供試体形状の特質には、顕著な差は少ないが、冷蔵庫については、転倒の難易性に大きな影響を及ぼすと考えられる支持脚の取

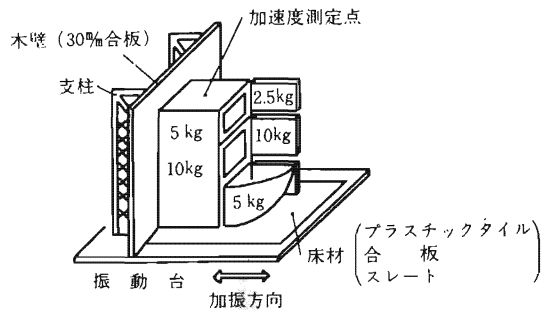


図1 振動実験概念図

(図中数値は、重量負荷配分を示す)

表1 供試体の構造・諸元

項目	供試体	冷凍冷蔵庫			衣類乾燥機		
		A	B	C	D	E	F
形状(幅×奥行×高さ)cm		59×60×174	56×57×174	57×66×173.	68×44×60	60×44×71	72×27×61
重量(kg)		71	62	73	18	30	17
重心高さ(cm)		78.5	84.7	79.9	スタンド付高さ(cm)		
					180	193	186
前方向への転倒角(重量負荷時)		20°20' (18°00')	19°20' (17°20')	18°00' (14°40')	13°20'	16°00'	16°10'
床材に対する前方向の静止摩擦係数	P.タイル	0.20	0.30	0.24	0.23	0.28	0.27
	合板	0.23	0.35	0.28			
	スレート	0.33	0.50	0.34	0.32	0.40	0.37
各扉の開放力(kg·f)		1.5前後	1.9~2.0	1.9~3.5	ロック機構付		
脚構造	(前)調節脚 (後)キャスター	(前)調節脚 (後)固定脚	(前)調節脚 (後)キャスター	スタンド下部の奥行長さ(cm)			
				49	51	51	
引張転倒値(kg·cm)		530	499	500	161	218	319

(2) 周波数変動加振による供試体の挙動特性

図1に示した設置状態において加速度を250ガル一定とし、周波数を10.0Hz~1.5Hz間において0.5Hz間隔ごとに変動させ、各10秒間ずつ正弦波による水平加振を行い、この時の供試体最頂部における応答加速度と供試体の床面(Pタイル)上での水平移動距離を測定した結果は図2.1~図2.2のとおりであった。

この実験における観察結果では、冷蔵庫の電装品や収容物、そして乾燥機本体は、共に3.5~6.0Hz内において激しい応答振動を示した。

応答加速度については、背面下部に僅かな突起物のある供試体B、及び本体重量が大きく重心位置の高い供試体Eは、供試体の振動形態の違いに伴って明確な周波数特性を示した。一方、前後の支持脚間距離の長い供試体A、及び供試体Fは、比較的穏やかな推移を示した。

移動距離については、加振加速度値においてロッキング振動を生じ易い脚構造の供試体は特定周波数値のみに移動が認められ、ロッキング振動を生じ難い供試体は幅広い周波数域において移動を生じた。

(3) 一定加速度での加振に伴う供試体挙動

文献⁽¹⁾によると均一な角柱における転倒条件としては、加速度のほか速度、変位をも加味することが必要であり、加振周期については、次の実験式が導かれており、この値より周期が短いと物体はかなり大きな加速度でも倒れ難いとされている。

$$T \approx \frac{\sqrt{H}}{16} \quad (H: \text{角柱高さ, 単位: cm, 秒})$$

実験供試体を均一な角柱と仮定し、上式によって試算すると約1.2Hz以下の加振周波数において転倒し易い形状であると予想される。しかし、今回の実験は振動試験機性能の制約と、10階建の鉄筋コンクリート造建築物の固有周期は0.8秒前後といわれていることなど

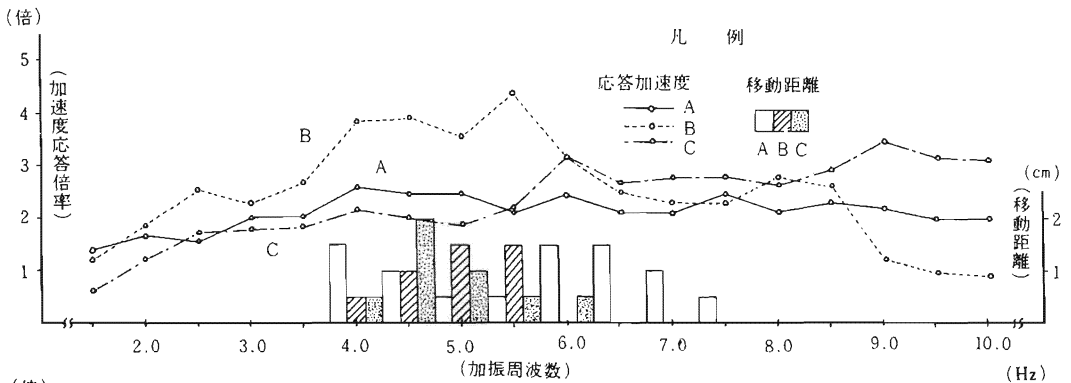


図2.1 冷凍冷蔵庫の周波数特性

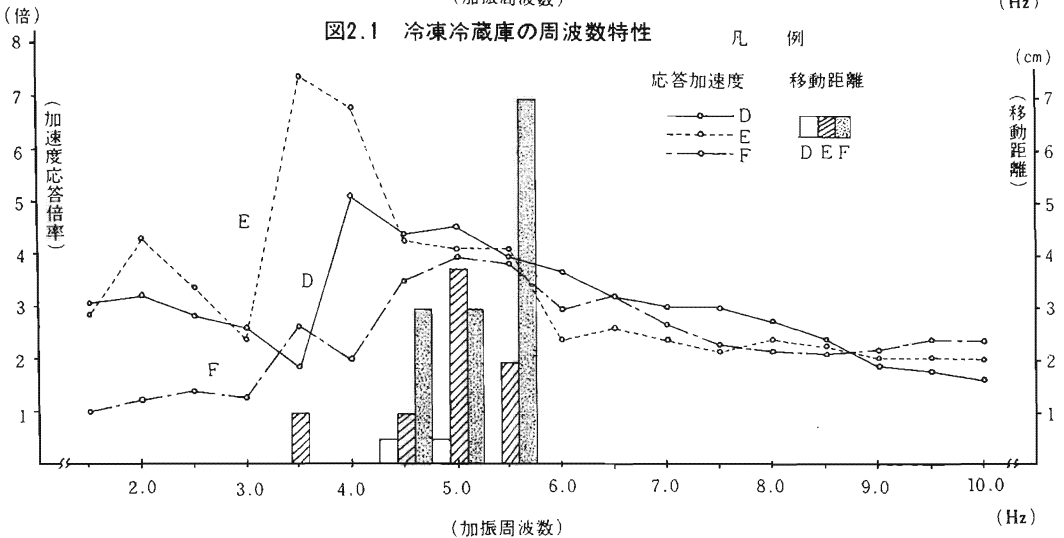


図2.2 衣類乾燥機の周波数特性

表2 500ガル加振時の供試体挙動

床材	P・タイル						合板			スレート			
	前後			横			前後			前後			
加振周波数 (Hz)	3.3	2.0	1.7	3.3	2.0	1.7	3.3	2.0	1.7	3.3	2.0	1.7	
冷凍冷蔵庫	A	7.2	6.2	10.4	72.5	31.1	35.2	3.1	3.6	4.1	0.5以下	転倒	7.2
	B	3.8	8.5	4.7	2.8	10.4	10.4	0.5以下	1.9	2.8	0.5以下	転倒	転倒
	C	7.4	転倒	8.4	4.2	21.1	34.8	0.5以下	転倒	転倒			
衣類乾燥機	D	0.8	1.4	0.8							0.1以下	0.1以下	0.6
	E	0.2以下	2.2	10.3							0.2以下	転倒	転倒
	F	1.2	2.9	5.2							0.1以下	0.1以下	0.1以下

備考：表中数値は、加振終了時点(加振時間：冷蔵庫10秒，乾燥機30秒)における水平移動距離(m)と、供試体総重量(kg)との積を「挙動量」として示した。

を考慮して、1.7、2.0、3.3Hzの周波数を選択し、この周波数帯において予想される転倒加速度の下限近傍値である500ガルでの加振を行った。

加振方法は、供試体の前後方向における水平一方向の正弦波振動を急速(100ガル/毎秒)に500ガルまで加速し、冷蔵庫は10秒間、乾燥機は30秒間加振を継続した。

この時の供試体の挙動量は表2のとおりであった。

供試体の振動形態を大別すると、床との滑りによる水平変位振動と、床接触部を軸とした二次的な回転変位振動とを生じ、これに壁体面への衝突による外力の影響が加わるといふ複合的な振動であり、ロッキング振動を開

始した供試体を転倒に至らしめる壁面振動の相乗作用または減衰効果は、それぞれ交互にそして不規則に出現した。

表1、2の結果から、加振条件下における冷蔵庫の転倒は、水平振動が阻止され回転振動を生じ易い状態であると考えられる床面との摩擦係数値がおおむね0.3を越え、周波数が2.0Hz以下の低周波側である場合に生じた。

乾燥機については、スタンド上への取付けという特殊構造のため重心が高く、激しい挙動を示したが、乾燥機本体の重量が最も大きい供試体のみが転倒した。(写真3、4参照)

加振実験時における供試体頂部の応答加速度は図3.1～図3.5のとおりであった。

各供試体の応答加速度は、加振周波数2.0Hz以下となるに従って増加の傾向を示し、1.7Hzにおいても更に増加の傾向が続いている。ただし、供試体B、C、Eについては、床材の違いによってその衝撃は2.0Hz付近において極大を示した。

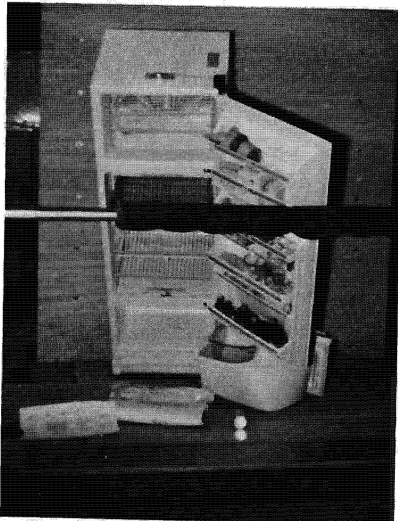


写真3 冷蔵庫の転倒状況

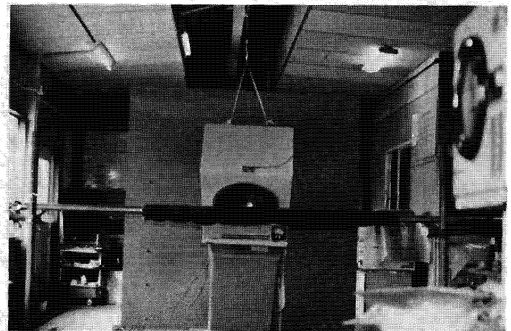


写真4 乾燥機の転倒状況

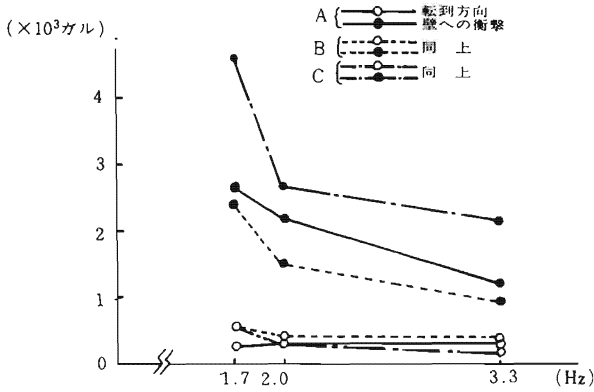


図3.1 Pタイル床上での供試体A, B, Cの
応答加速度

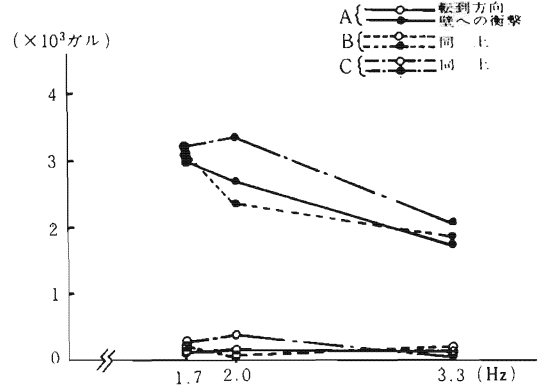


図3.2 合板床上での供試体A, B, Cの
応答加速度

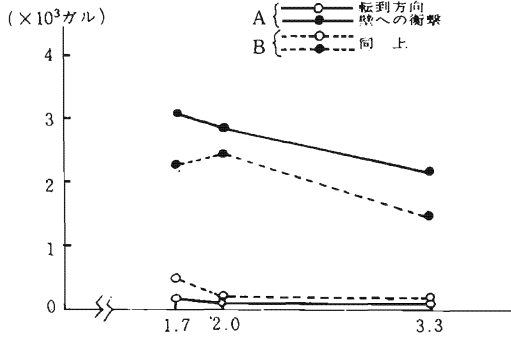


図3.3 スレート床上での供試体A, B, の
応答加速度

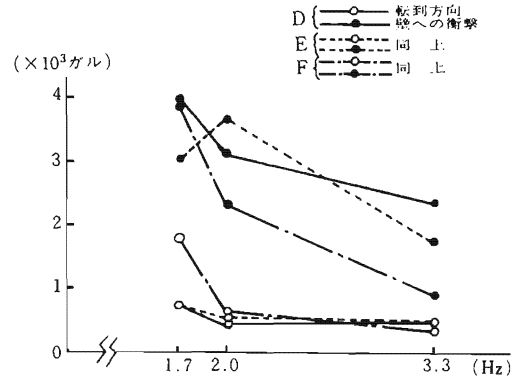


図3.4 Pタイル床上での供試体D, E, Fの
応答加速度

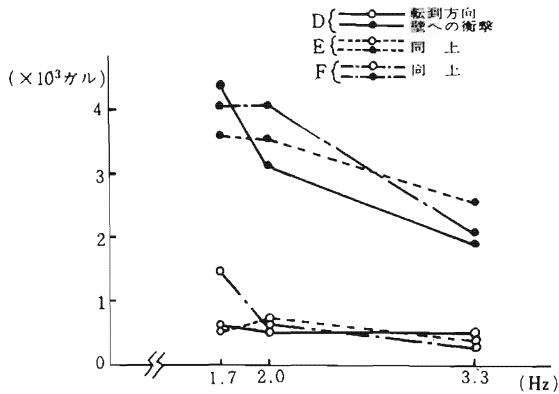


図3.5 スレート床上での供試体D, E, Fの
応答加速度

冷蔵庫についての横方向加振結果では、何れの供試体も壁面との衝突頻度は少なく、応答加速度値は2000ガル以下であり転倒には至らなかった。しかし、供試体Aは顕著な移動を生じた。

なお、冷蔵庫(供試体A)の周波数2.0Hzによる加速度500ガルまでの漸増(4ガル/毎秒)加振時の状況は図4のとおりであった。

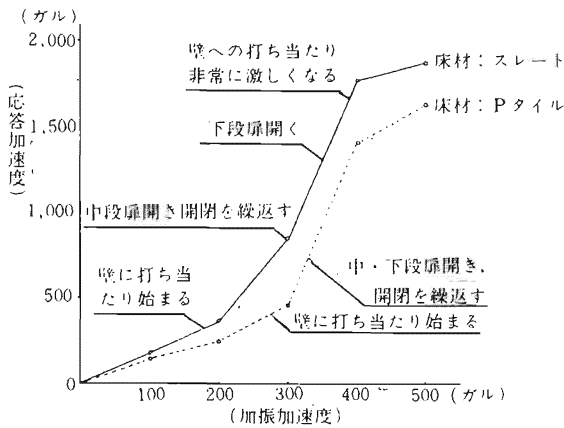


図4 加速度漸増加振による冷凍冷蔵庫の挙動変化 (加振周波数2.0Hz)

(4) 転倒防止措置の実効性の確認実験

抽出した供試体個々に指示されている方法により、実験用木壁に対して転倒防止措置を講じ、スレート床上での前(3)による実験との対比実験を行った結果は表4のとおりであった。

各供試体の転倒防止方法は、冷蔵庫は背面上部、乾燥機はスタンドの背面上部を、鎖な

どによって壁へ結合しておく方式のものであり、壁への結合方法は、木壁を予定してフックや木ねじ固定によるものであった。

供試体の対振挙動は、壁との固定間隙に依じた高い周波数振動を生じ、収容物品などの振動が前(3)結果に比べて激しくなった。

実験結果から、転倒防止措置を供試体の結合部分、壁との結合材、壁への固定部分とに大別すると、壁への固定部分において一般的方法として用いられるフック類の強度不足が目立った。しかし、比較的強度の弱い軟質素材でも固定箇所を増すことによって供試体の振動を押さえることができた。

この実験で使用した転倒防止用具各部材の静的な引張強度は表3のとおりであった。

ここで、500ガルの加振実験において供試体頂部には、6.1~8.8倍の衝撃的加速度を生じているが、たとえ転倒防止措置を施しても結合部材にゆるみが生じていると、同程度、または更に強い加速度を生じている。したがって、転倒防止措置を構成する各部材の材質、及びその取付方法の選択にあたっては、十分な強度を保持することが必要である。

表3 転倒防止措置の部材強度

対象実験番号 (表-4参照)	使用部材		測定事項	測定値(kg-f)
	名称	形状(%)		
1	梱包用 ビニール紐	幅 50 厚さ 0.04	素材の切断	45
			結び目の切断	36
2	フック (鉄)	外径 24.0 太さ 3.8	伸び	55
	鎖	太さ 2.4	切断	83~158
3	布バンド	幅 19.0 厚さ 1.7	素材の切断	270
			締め金具の滑り	85
			締め金具の変形	60
			締め金具の切断	158
			かしめ部分の破断	180
4 ~ 6	鎖	太さ 1.6	切断	155~166
	フック (真ちゅう)	外径 20.0 太さ 3.2	伸び	17
1, 3	木ねじ (皿型十字)	13×4φ	合板(厚さ30%)からの抜け強度	59
		22×4φ	"	147
		29×4φ	"	212

引張速度100mm/min

表4 転倒防止措置の効果確認結果

実験番号	転倒防止方法図	実験結果	
		状況	衝撃加速度 (加振時間)
1	<p>角座金、木ねじ(22×4φ) ビニール紐(2巻) グリルコーナー 5 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●冷蔵庫上部が紐の伸び分の振動を繰り返す。 ●各扉の開放、又は激しい開閉の繰返しを生じ内容物の振動音が激しい。 <p>(以下、実験2・3についても同様)</p>	1,590ガル (10秒)
2	<p>ねじ込みフック 鎖掛け 鎖(8ヶ) 5 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●冷蔵庫上部が鎖のゆるみ分の振動を繰り返し加振9秒経過時フックの変形により鎖が外れ、冷凍庫は転倒。 	2,940ガル (9秒)
3	<p>転倒防止用具姿図</p>	<p>条件①</p> <ul style="list-style-type: none"> ●冷蔵庫上部がバンドのゆるみ分の振動によって締め金具が滑り、バンドが長くなり大きな振幅の振動を繰り返す。 <p>(加振終了時のバンドの長さ30cm)</p>	3,140ガル (60秒)
	<p>木ねじ2本(22×4φ) 布バンド 条件② 15cm 条件① 5cm</p>	<p>条件②</p> <ul style="list-style-type: none"> ●上欄と同じ状況に加えて冷蔵庫の大振幅振動による衝撃により締め金具が変形。 <p>(加振終了時のバンドの長さ24cm)</p>	2,620ガル (60秒)
4	<p>フック スタンド 仕切る板 くさり(3ヶ) 8 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●乾燥機の鎖のゆるみ分の振動を繰り返す。 <p>(以下、実験5・6についても同様)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●仕切り板が湾曲に変形し、スタンド側フックも加振6秒経過時変形して外れる。 	— (30秒)
5	<p>フック スタンド くさり(6ヶ) 5 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●乾燥機背面がフックに衝突してフックが変形し加振8秒経過時鎖が外れ乾燥機は転倒 	3,900ガル (8秒)
6	<p>フック スタンド くさり(4ヶ) タッピングねじ(長さ12ミリ) 4 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●損傷等なし 	5,780ガル (30秒)

備考：加振周波数 冷凍冷蔵庫2.0Hz、衣類乾燥機1.7Hz

7. 考 察

(1) 冷蔵庫、乾燥機の転倒の難易性について

冷蔵庫については、扉の開放力が2kg・f前後に設計されており、300ガル程度(2.0Hz加振時)の床面振動によって容易に開放し、総重量の約3割の負荷重量が移動する。このため冷蔵庫は同形状の均一構造の物体に比較して転倒し易く、今回の実験結果では周期が0.5秒程度より長く、振動幅が約6cmを越える水平振動を受けると容易に転倒すると考えられる。(写真5参照)

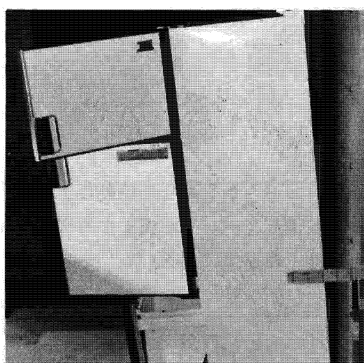


写真5 冷蔵庫の木壁への衝突状況

乾燥機は、一般に洗濯機と組合せて設置されるが、互いに固定されていないため、振動時において相互の関連はほとんど認められずそれぞれ独立した振動形態を示したが、実験の範囲では乾燥機重量の大きい供試体のみが転倒した。スタンドの床接触部の奥行き長さは、本体重量の増加に伴ってより長いものとの組合わせができることが望まれる。

(2) 地震時における周囲影響について

供試体と木壁相互の振動影響については、供試体のように背面が整一であり、弾性に乏しい木壁との面的な衝突を繰返す範囲では、比較的振動が減衰する傾向にあった。しかし、床接触部の支持点が滑動することによって、供試体は水平方向に回転し、乱雑な振動形態となって顕著に移動した。また、供試体、木壁相互の振動が相反した方向で同期した場合は、激しい壁への衝突と強い反動力を生じたが、これは木壁の間柱部への衝突のように弾性が大きくなることによって、さらに強い反動力が生じることが予想される。

以上のことから、厨房室の各設備が壊滅的な損壊に至る以前の地震動においても、壁面への衝突によって生じる壁面吊下げ物の落下、そして冷蔵庫類の転倒や扉の開放による周囲物への衝突などに対する対策を講じておく必要がある。

(3) 転倒防止措置について

実験の範囲では、何れの方法も壁への取付部材の強度不足、または固定数の不足など、完全な転倒防止措置とは言い難い。特に、鎖などの硬質素材による壁面への結合方法は、壁との間隙を生じ易く衝撃的振動を発生させることから、取付部材の強度不足という問題を生じた。また、重量物に対しては、固定数を増し、多くの振動方向に耐えるとともに各部材にかかる衝撃を分散させる措置が必要である。

8. ま と め

一般に厨房室内は、その使用形態から火気の使用はもちろんのこと多種多様の物品が収容されており、地震発生時には激しい振動騒音なども加わって、心理的にも相当の混乱が予想される。このような状況下において、人が確実な初期行動を成し遂げるには、周囲環境の耐震化を図ることが必要であり、とりわけ厨房室に収容される冷蔵庫類の大形用品には優先して耐震措置を講じる必要がある。そして、耐震措置の実施にあたっては、堅固な素材や取付方法を選択することやこれを固定する家屋にも十分な強度を有する部分を作ることが肝要であり、簡便な固定金具類の使用は避けるべきである。

9. お わ り に

耐震措置については、耐震措置を実施しようとする物自体の構造上の問題、取付方法の問題、取付場所の問題など、多面的に検討してゆく必要がある。今後は、これらの問題を含めて有効な耐震方策について検討を加えて行きたい。

10. 参 考 文 献

- (1) 石山祐二 昭和57年度建設省建築研究所 秋季講演会梗概集「施設・家具等の挙動」
- (2) 自治省消防庁編 地震の心得