

## 転倒防止要素の分析に基づいた家具転倒防止器具の特徴と効果に関する検証実験

A Verification Experiment on Seismic Behavior and the Effect of Safety Devices against Overturning Based on an Analysis of Factors in the Overturning of Furniture in Earthquakes

住居学科 石川 孝重

Dept. of Housing and Architecture Takashige Ishikawa

**抄 録** 居住者が自ら実施できる地震対策として、家具類の転倒防止対策があげられる。本論文では、転倒する以前に生じる可能性がある内容物の飛散などの被害を防ぐことも念頭におき、転倒防止器具を用いた家具の転倒に至るまでの挙動と転倒防止の効果を、実験により検証する。そこで、正弦振動と地震波をスチール製家具の前後方向に加振する実験を行った。さらに、実験結果を既往研究の結果と比較考察し、効果的な対策と対策の違いによる家具の挙動の特徴を検討した。その結果、転倒防止器具の固定度の違いが家具の転倒しにくさや挙動に直接影響を及ぼすこと、また家具のプロポーシオンや壁面との距離は顕著な影響を及ぼす一方、家具の重量や床材は、組み合わせによって影響が異なることがわかった。

**キーワード**：家具、転倒、挙動、転倒防止器具、減災

**Abstract** Safety measures against the overturning of furniture are effective in saving lives or preventing injuries, and they are measures that inhabitants can implement by themselves. This paper investigates the movement of furniture before overturning and studies factors affecting overturning to mitigate the damage of furniture. In the experiment, steel furniture is shaken with sinusoidal vibrations and a seismic wave in an anteroposterior direction. The results of the experiment are compared with past results, and effective measures and the characteristics of furniture movement are investigated. The results show that the fixation degree of safety devices against the overturning of furniture directly affects the movement and an overturning of furniture. Furniture proportions and distance from the wall behind have a significant effect, but both the effects of furniture weight and floor finish differ according to their combination.

**Keywords** : furniture, overturning, behavior, safety devices against overturning, disaster mitigation

### 1. はじめに

1995年に発生した、未曾有の被害をもたらした兵庫県南部地震では、発生時間が未明ということもあり、多くの人命が家具などの下敷きになり失われた。地震の発生を回避することは不可能であっても、被害を最小限に食い止めることは重要であり、そのためには様々な努力が求められる。

居住者が自らの力で実施できる地震対策として、住宅内における家具類に対する転倒防止対策があげ

られる。現在、地震に対する転倒防止器具は数多く発売されている。これらの転倒防止器具を対象に、既往研究<sup>1,2)</sup>では、器具が転倒を防ぐ効果を検証しているが、転倒する前の家具がどのような挙動をするかについては着目していない。

そこで本論文では、転倒する以前に発生する可能性がある、家具の内容物の飛散などの被害を防ぐことも念頭におき、転倒防止器具を用いた家具が転倒に至るまでの挙動と転倒防止の効果を、実験により検証する。実験結果と家具の転倒防止に必要な要素

の分析をふまえて、効果的な対策と対策による家具の挙動の特徴を明らかにする。

## 2. 家具の転倒を防ぐための要素の分析

一般的な転倒防止器具の特性を把握するため、既往研究<sup>1, 2)</sup>と既存の転倒防止器具から、家具の転倒を防ぐために必要な要素を抽出し、**図1**のようにまとめた。抽出した転倒防止要素との関係によって既存の転倒防止器具を分類すると、粘性体クッションは外力を伝えにくくし、家具と床面の粘性を上げる効果があり、L型金具は家具を居室とほぼ完全に固定し、移動を阻止する効果がある。また、チェーン式転倒防止器具はL型金具と同様の働きをし、さらに移動した家具を後方の壁に引き戻す効果がある。つっぱり棒は家具と天井の距離を拘束し、ストッパーは家具の重心位置を後方にすることで転倒しにくくしている。このように、家具の転倒を防ぐ要素は多様であり、既存の転倒防止器具は、様々な要素を組み合わせ、転倒防止の効果を上げていることがわかる。

## 3. 家具の挙動に関する検証実験

転倒防止要素の組み合わせによる、家具の転倒防止効果の違い、また、転倒するまでの家具の挙動の特徴を把握するため、主に既存の転倒防止器具を実際の家具に取り付けて加振実験を行った。

実験では**写真1**のように、実際の木造住宅などで用いられている構造とほぼ同じ仕様で、合板製の壁

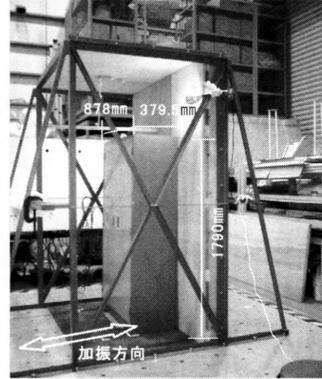


写真1 実験に用いた家具の設置状況

と天井を鉄骨のフレームに施工し、振動台上に設けた。床にはタイルカーペットを敷き、スチール製の両開きのオフィス家具を壁を背にして設置し、この家具に対して前後方向に振動を入力する。

入力振動として、**表1**に示す振動数を一定とし、加速度が徐々に大きくなる正弦振動3種と兵庫県南部地震における長田駅前高層住宅5階の観測波（南北方向の水平成分一軸）を用いた。実験中は、振動台上の加速度、家具上部の加速度と変位を計測するとともに、ビデオ撮影と目視により家具の挙動を観察・記録する。

実験より得られた、家具の挙動と転倒加速度を**表1**にまとめ、各振動数の最大加速度における家具上部の変位を**図2**に示す。

地震波と1 Hzの正弦振動を入力した場合は、対策

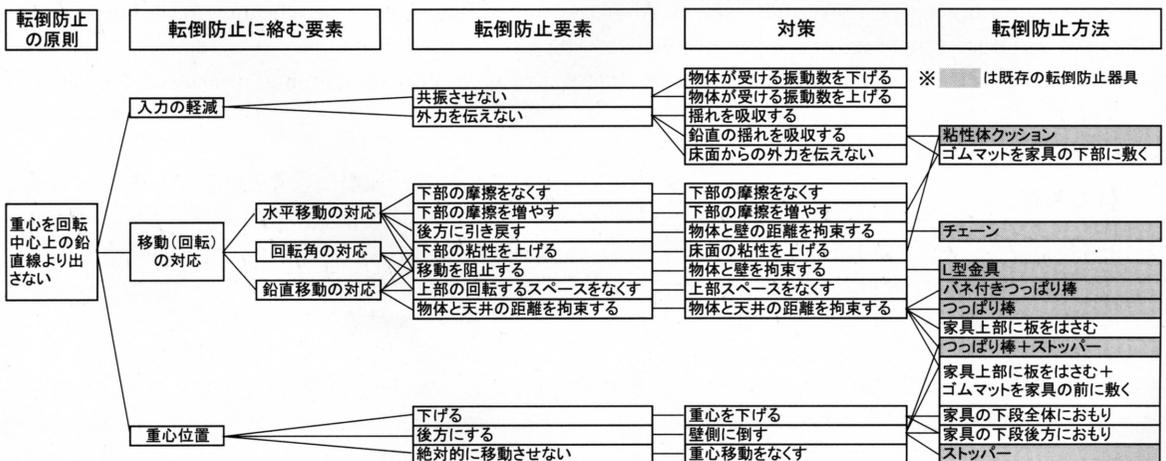


図1 転倒防止要素と関連する転倒防止器具

表1 実験における家具の挙動と転倒加速度

実験条件(器具種類)	配置	地震波 (最大 379gal)	1Hz (最大 332gal)	2Hz (最大 777gal)	3Hz (最大 837gal)
対策なし	独立	×	× (186.5gal で転倒)	△	△
ゴムマットを家具の下部に敷く	独立	×	× (125.1gal で転倒)	△・外	△・外
家具の下端全体におもり	独立	△	△	△	△
家具の下端後方におもり	独立	△	△※	△	△
ストッパー	独立	△	□	□・外	□・外
家具上部に板をはさむ	壁づけ	○	□	□	○
つっぱり棒	壁づけ	○	○	○	○
家具上部に板をはさむ+ ゴムマットを家具の前に敷く	壁づけ	□	□※	□	□
つっぱり棒+ストッパー	壁づけ	○	○	○	○

△:実験なし、○:ほぼ静止、□:小さいロッキング、△:大きいロッキング  
×:転倒、外:器具外れ、※:最大加速度より前で加振を終了したもの

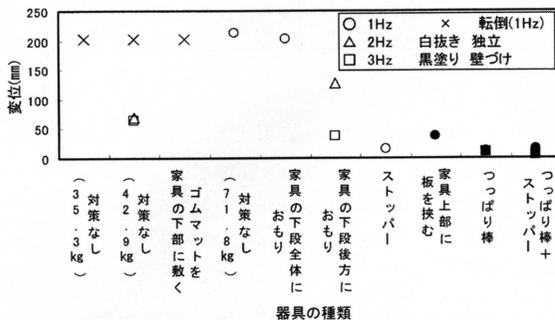


図2 最大加速度における家具上部の変位

をしなかった場合とゴムマットを家具の下部に敷いた場合に転倒した。実験で用いた滑りにくいゴムマットが非常に柔らかかったため、家具の足元が不安定になり、転倒しやすくなったと考えられる。対策しなかった場合に、壁から独立させて置いた家具では、重量の軽いものだけが1 Hzで転倒しており、重量が重いことも転倒しにくくする効果がある。ストッパーのように重心位置を後方にも、家具のロッキングを小さくする効果が高い。既往研究<sup>3)</sup>では、家具を壁づけに置くことで独立して置いた場合と比べて、3倍程度、転倒しにくくなるのがわかっている。図2に示すように家具の上部に対策することで、さらに約1/20に家具上部の変位を抑えられることがわかる。2, 3 Hzの正弦振動を入力した場合、家具上部の変位は全体的に小さく抑えられているが、家具の下部の対策では器具が外れることも多い。

地震波では加速度の大きい1波の衝撃で転倒の有

無が分かれる一方、1 Hzの正弦振動を入力した場合には、図3のように家具上部の変位が急激に大きくなる現象が見られる。これは既往研究<sup>4)</sup>に示されている、ある一定の振動数範囲の場合、入力振動がある加速度の大きさを越えた場合に特徴的に見られる挙動である。家具の重心までの奥行きと高さで決定されるこの加速度を越えると、家具は大きくロッキングして、ただちに転倒する。本実験でも同様の挙動をみることができ、この境界点となる加速度を超えるか否かが、転倒の有無に大きく影響することを確かめることができた。

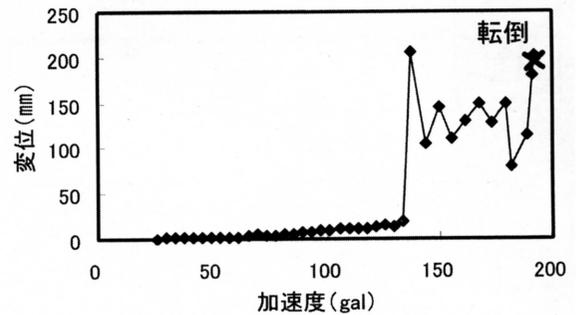


図3 入力加速度と家具上部の変位との関係

#### 4. 家具の条件や設置方法が転倒に及ぼす影響

上述のような、本実験結果から得られる転倒防止器具の効果と特徴をふまえ、本実験結果と表2に示す既往研究<sup>5-7)</sup>の結果を比較して、家具の条件や設置方法なども含めた諸条件が、家具類の転倒に及ぼす影響を考察する。

各文献の実験条件を表2に一覧し、結果として示されている家具の転倒加速度を図4に示す。家具の重量は、寸法から算出した1 cm<sup>3</sup>あたりに換算した値で示した。表2に示した文献番号は引用文献と対応している。既往研究で用いられている家具類の固有振動数は明示されていないが、本実験で用いた家具の固有振動数を実物を用いて調べたところ、1 Hz程度であった。

図4に示すように、振動数が高いほど家具の転倒加速度が大きく、転倒しにくい傾向がみられる。1 Hzでは、地震波による既往研究<sup>6)</sup>と正弦振動による結果との差が大きく、正弦振動が地震波かによって、家具の挙動に及ぼす影響が異なる。既往研究では、壁づけに家具を置いた場合、高い振動数でも地震波

表2 本実験と既往研究における実験の条件比較

文献番号	居室		試験体					設置方法	入力波	加振方向
	壁	床	種類	高さ×幅×奥行	総重量	重心位置 高さ×幅×奥行	収納物			
本実験 (実験)	鉄骨のフレーム+合板	タイルカーペット	スチール製オフィス家具	1790×878×379.5mm	42.9kg	896.4×180.3×199.2mm	なし	壁づけ	正弦波 1Hz(上限332gal), 2Hz(上限777gal), 3Hz(上限837gal)	X方向 (家具奥行き方向)
文献5 (実験)	鉄骨のフレーム+合板+化粧合板	タイルカーペット	スチール製オフィス家具	1790×880×380mm	41kg	870×160×220mm	なし	壁づけ独立	正弦波 0.5Hz(上限約190gal) 1Hz, 1.5Hz, 2Hz, 2.5Hz, 3Hz(上限1200gal)	X方向 (家具奥行き方向)
文献6 (実験)	プレファブの構造壁	フローリングじゅうたん	洋タンス	1850×880×590mm	69.2kg		ハンガーにかけた衣類(48.2kg)	壁づけ	地震波 兵庫県南部地震 31F観測波の時間軸を変化 卓越振動数1Hz(上限700gal)	XYZ方向
文献7 (シミュレーション)			本棚	1800× × 300mm		中央		壁づけ, 独立 壁面から 2.5cm, 5cm	正弦波速度60kine	X方向 (家具奥行き方向)

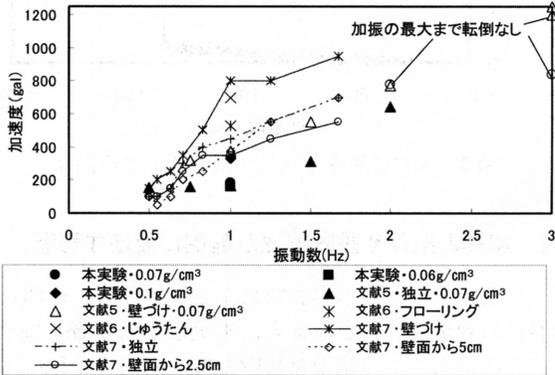


図4 既往研究と本実験における転倒加速度

は正弦振動より転倒しにくく、壁面との距離が及ぼす影響も入力波の種類や正弦振動の振動数の違いに左右されることが指摘されている<sup>1)</sup>。

本実験と既往研究<sup>5)</sup>の結果では、1 Hzの正弦振動で重量が軽いほど転倒しやすく、いずれもほぼ同じ加速度で転倒している。一方、2 Hzでは転倒加速度に差があり、振動数が高くなるほど重量の違いが家具の転倒に及ぼす影響が大きくなるものと推察できる。また既往研究<sup>8)</sup>では、重心位置が家具の上の場合、重量が重いほど転倒しやすいことが明らかとなっており、重心位置と重量は互いの条件によって家具に与える影響が異なる。既往研究<sup>8,9)</sup>では、摩擦の小さい床材ではすべりをともなったロッキングをすることで家具が転倒しにくくなるとされている。

しかし、既往研究<sup>6)</sup>の結果では、摩擦が大きい床材の方が転倒しにくい。既往研究<sup>6)</sup>の家具の重量比が、既往研究<sup>8,9)</sup>の約3倍あることから、床材の影響も重量との組み合わせによって家具の挙動と転倒に及ぼす影響が異なるものと推察できる。

### 5. 転倒防止器具が家具の挙動に及ぼす影響

本実験と既往研究<sup>9,10)</sup>における転倒防止器具を使った家具の挙動を表3にまとめる。本実験では兵庫県南部地震における長田駅前高層住宅5階の南北方向の観測波(最大379 gal)を家具の短辺(奥行)方向に加振し、既往研究は神戸海洋気象台の観測波(最大818 gal)をXYZ3方向で加振した結果である。

家具と居室の固定度が高い対策は、転倒を防ぐだけでなく、家具の挙動を抑える効果が高い。L型金具は家具と壁面を密着させて固定するため、入力条件によらず効果が高い。一方、チェーンで壁面と家具をつなぐ対策は、転倒は防げるがロッキングが大きくなり、内容物の被害が予測される。ベルト式やポール式の器具を用いた場合は、転倒を防ぐことはできるが、大きな地震波に対してはロッキングが大きくなり、内容物の被害が大きくなる可能性がある。また、ほぼ同じ実験条件で実施された2つの既往研究<sup>9,10)</sup>の間で、ベルト式とポール式の器具を使った場合の家具の挙動の違いが見られることから、器具の性能のばらつきや、設置の仕方などの違いが家具の挙動を左右するものと考えられる。

表3 転倒防止対策をした家具の挙動

	対策なし	マット式 転倒防止 器具	ストッパー式 転倒防止 器具	ポール式 転倒防止 器具	ベルト式 転倒防止 器具	チェーン式 転倒防止 器具	ポール式 +マット式	ポール式+ ストッパー式	L型金具
本実験	×	△	▲	○	△	△	△	○	△
既往研究9)	△▲▲	○△×*	○△×*	○○○	○○○	△	△	○	○○○
既往研究10)	△▲×	△▲×	△▲×	○○*	○○▲	○△▲	○○△	○○○	○○○

既往研究は、左から震度5強(最大276gal), 6弱(最大491gal), 6強(最大818gal) ○ほぼ静止 △小さいロッキング ▲大きいロッキング ×転倒 \*器具外れ

また, 2, 3 Hz のように高い振動数の振動に対しては, 小刻みな振動を繰り返すことで影響を受ける器具が多い。マット式やストッパー式のように家具の足元に対策する場合, 対策しない場合と同程度に家具がロッキングするだけでなく, 高振動数の正弦振動で器具が外れ, 振動数の影響を大きく受けることがわかる。摩擦が少ない床材では軽い家具ははずべることで転倒しない場合もある一方, 家具の足元に対策することで家具のすべりを止めてしまい, より転倒しやすくなる場合もある<sup>9)</sup>。

### 6. 家具の挙動や転倒に影響を及ぼす要因

本実験の結果および既往研究との比較考察の結果をもとに, 設置場所や家具の条件, 転倒防止器具による対策が, 家具の挙動や転倒に及ぼす影響を表4にまとめる。

設置場所や家具の条件, 転倒防止器具の対策は家具の挙動や転倒に複合的に影響し, なかでも, 正弦振動における振動数の違いと地震波が正弦振動かといった入力振動の違いが家具の挙動に大きく影響する。これらの入力振動の条件によって, 他の条件が家具の挙動に及ぼす影響が異なる。

影響要因のうち, プロポーションや壁と家具との距離は, 違いが小さい場合も家具の挙動や転倒に至る状況が異なり, 影響が大きい。一方, 重心位置, 重量, 床材の条件が家具に与える影響は組み合わせによって異なる。

また, 固定度の高い転倒防止器具は転倒に至るまでの家具の挙動を小さくする効果があるが, 固定度が低い器具では, 衝撃力の強い大きな地震波や高い振動数の正弦振動で器具にゆるみが生じ家具がばたつくなどの挙動がみられ, 振動数の違いによって影響が異なる。家具の足元に対策する場合, 比較的小さな地震波に対しても, 対策しない場合と同程度に

表4 家具の挙動に影響を及ぼす要因とその特徴

	地震波	正弦波	
		低振動数範囲	高振動数範囲
		非定期的なロッキング 小さい加速度で転倒しやすい 衝撃の大きな1波で転倒の有無が分かれる	定期的なロッキング 振動数が高くなるほど転倒しにくくなる 加振を繰り返すと, 転倒防止器具にゆるみや外れを起す
家具のプロポーション		高さが高くなるほど, 転倒しやすい 高さ/奥行きの大さい(4以上)家具ほど転倒しやすい 奥行き/高さ>4では転倒しない 奥行き/高さよりも床面の摩擦係数μが小さい場合には, 家具ははずべて, 転倒しない	
家具と壁との距離		壁づけは壁にぶつかることにより家具の振動が吸収されるため, 転倒しやすい 壁づけの場合, 独立よりもロッキングが起きる加速度が高くなり, 転倒しにくい	独立の場合, 安定したロッキングをし, 転倒しにくい 壁づけの場合, 独立よりもロッキングが起きる加速度が高くなるが, ロッキングが乱れて転倒しやすい
家具の重心位置		重心位置が上になるほど, 小さい加速度で転倒しやすい 重心位置が上にある場合は重量が重いほど転倒しやすく, 重心位置が中央付近の場合は重量が軽いほど転倒しやすい	
家具の重量		重心位置が家具の上にある場合, 重量が重いほど転倒しやすく, 重心位置が中央付近の場合は重量が軽いほど転倒しやすい 振動数が高くなるほど, 重量の違いによる転倒加速度の差が大きくなる	
床材		摩擦の小さい床材では, 大きい床材と比べてロッキングが起きる加速度が高くなり, 重量が軽い場合ははずべて転倒しないが, 家具が大きく移動する 摩擦の小さい床材でも, 重量が重いとすべりにくくなるため転倒しやすくなる 摩擦の大きい床材では, 重量の軽い家具でも滑らず, 転倒しやすい。重量が重いと, 床面に沈みこみを生じるため転倒しにくくなる	
家具の重心移動		揺れに対して重心が移動しやすい場合, 高振動数になると重心が揺れにあわせて移動し, バランスをとるために転倒しにくく, ロッキングしやすくなる 重心の移動が大きい場合は, ロッキングしにくく, はずべて移動する傾向がある	
家具の固定度		居室と家具の固定度が高く, 家具が居室と一体になるため, ほとんど動かない	ほとんど動かない 加振が繰り返されると器具にゆるみが生じ, ロッキングを起す
家具の固定度		居室と家具の固定度が高く, 家具が居室と一体になるため, ほとんど動かない	ほとんど動かない 加振が繰り返されると器具にゆるみが生じ, ロッキングを起す
家具の固定度		震度の小さな波ではほとんど動かない 震度が大きく, 衝撃力の強い波ではロッキングを起す	居室と家具の固定度がある程度高く, ほとんど動かない 加振が繰り返されると器具にゆるみが生じ, ロッキングを起す
家具の固定度		家具の転倒は防ぐことができる 家具が大きくばたつき, 内容物の被害は大きいと思われる	居室と家具の固定度がある程度高く, ほとんど動かない 家具の転倒は防ぐことができる 家具が大きくばたつき, 内容物の被害は大きいと思われる
家具の固定度		震度が大きく衝撃力の強い波や, 周期が短く加振時間の長い波では器具がゆるんで外れる場合がある	居室と家具の固定度がある程度高く, ほとんど動かない 加振が繰り返されると徐々に器具にゆるみが生じ, ロッキングを起す
家具の固定度		震度の小さい波から大きくロッキングする 震度の大きい波では転倒する場合や, 器具が外れる	大きくロッキングをする対策をしなかったときと比べて, ロッキングが起きる加速度が高い 加振の周期が短いため家具が小刻みな移動を繰り返すことから, 器具が外れる
家具の固定度		震度の小さい波から大きくロッキングする 震度の大きい波では転倒する場合や, 器具が外れる	大きくロッキングをする対策をしなかったときと比べて, ロッキングが起きる加速度が高い 加振の周期が短いため家具が小刻みな移動を繰り返すことから, 器具が外れる

挙動し, 大きな地震波や高振動数の正弦振動に対しては, 器具が外れて家具が転倒する場合がある。また床材や家具の重量によっては, 対策することで家

具がより転倒しやすくなる場合もある。転倒防止器具の選択には、設置環境による影響に配慮し、これらの諸条件を考慮することが必要である。

## 7. おわりに

転倒防止器具の効果と、転倒するまでの家具の挙動を検証するため、実際の家具と転倒防止器具を用いた加振実験を行った。その結果と既往研究の結果を比較検討し、振動数による違いを踏まえて、転倒防止対策をした家具の挙動の特徴をまとめた。

家具のプロポーシオンによって倒れやすい振動数範囲は異なるが、低い振動数ではある加速度を超えると変位が急激に大きくなる現象が見られ、この現象が転倒につながる。一方、高い振動数では小刻みな振動を繰り返すことにより、器具が外れる場合もある。また、家具と壁面、天井との固定度が高いほど、家具の挙動を小さくする効果が高い。

一方、地震時における家具の挙動には、入力波の種類や振動数の違いが大きく影響する。さらに、居室や家具自体の条件、転倒防止器具の種類は複合的に影響し、なかでも、転倒防止器具による固定度の違いは家具の転倒しにくさや挙動に直接影響を及ぼす。その他、家具のプロポーシオンや壁面との距離は顕著な影響を及ぼす一方、家具の重量や床材は、組み合わせによって影響が異なる。

転倒防止器具の効果は、家具や設置場所の壁や床、天井などの条件の組み合わせによって様々な影響を受けるが、本論文では、転倒防止器具に用いられている転倒防止要素を抽出し、複数の要因の影響関係を知ることができた。

本研究を進めるにあたり、学術研究員 野田千津子氏・伊村則子氏、当時当研究室卒業生 仲谷美咲氏・小沼瑠美氏の協力を得た。謝意を表す。

## 引用文献

- 1) 家具類の転倒・落下防止対策推進委員会：転倒防止器具の評価方法について（試案），東京消防庁（2005. 3）
- 2) 金子美香：家具転倒防止器具の振動台実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，437-438（2005. 9）
- 3) 中村 豊：高層建物内の地震時安全性評価技術の開発，大都市大震災害軽減化特別プロジェクト（2004. 5）
- 4) 矢崎雅彦：入力波の周期特性を考慮した剛体の転倒条件，日本建築学会北海道支部研究報告集，41-44（1998）
- 5) 田村和夫，中村 豊，金子美香，神原 浩：高層建物内の地震時安全性評価技術の開発，大都市大震災害軽減化特別プロジェクト（2004. 5）
- 6) 松村夏子，北浦かほる，山崎かおる，北原昭男，藤原悌三：地震時の家具等の転倒防止に関する研究（その2 各種家具の挙動），日本建築学会大会学術講演梗概集，891-892（1998. 9）
- 7) 安部貴秀，羽倉弘人，上田宏，斎藤元司，橋本敏男：地震時における家具の動的挙動に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，691-692（1997. 9）
- 8) 村田 真：検証！器具性能・家具転倒防止器具，日経ホームビルダー，日経BP社，no.073，73-85（2005. 6. 22）
- 9) 金子美香，中村 豊：家具転倒防止器具の振動台実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，437-438（2005. 9）
- 10) 家具類の転倒・落下防止対策推進委員会：転倒防止器具の評価方法について（試案），東京消防庁（2005. 3）