

# 地震時の家具の転倒・滑り挙動における上下動の影響について

## The Influence of Vertical Ground Motion for the Overturning and Sliding of Furniture

井川 望\*<sup>1</sup>      藤井 睦\*<sup>1</sup>      伊藤 真二\*<sup>1</sup>  
Nozomu Ikawa      Atsushi Fujii      Shinji Ito  
田邊 太一\*<sup>2</sup>      河井 翔太郎\*<sup>2</sup>      向後 智弘\*<sup>3</sup>  
Taichi Tanabe      Shotaro Kawai      Tomohiro Kougo

### 要旨

大地震時に、人命に被害を及ぼす要因のひとつである家具の転倒・滑りについて、多くの研究が行われているが、上下動を考慮した研究は少ない。本研究では、地震時の家具の転倒・滑りにおける上下動の影響を検証するため、振動台を使って実験を行い、さらに数値解析により実験結果の検証を行った。実験より、転倒に関しては上下動の影響は少ないものの、滑りに関しては上下動が作用すると、滑り量が增大するケースが多く、上下動の影響が無視できないことがわかった。また、数値解析において、実験と同様な傾向が見られ、ほぼ妥当な結果が得られた。

キーワード：什器 振動台実験 上下動 転倒 滑り

## 1. はじめに

大地震において、人命に被害を及ぼす要因の一つとして家具の転倒・滑りが挙げられる。過去の研究において、多くの実験・解析が行われており、転倒挙動、滑り挙動それぞれに着目して簡易予測式や転倒予測プログラムの開発などがされてきた<sup>1~3)</sup>。しかし、それらの研究は、水平方向の地震動に対してのみ考慮されている研究がほとんどであり、上下動を考慮した研究は少ない。近年、上下方向に大きな加速度が生じる地震波が観測されており、上下動も考慮する必要があるのではないかと考えられる。以上の背景を踏まえ、本研究では、上下動が転倒、滑りに与える影響を実験により検証し、さらに、実験結果を解析により再現することを目的とする。

## 2. 実験概要

試験体配置図と計測機器設置位置を図1に、試験体(H/B=5.72)を写真1に示す。実験は、(株)鴻池組技術研究所の3次元6自由度振動台を使用して行う。加振方向は、「水平1方向のみ」と「水平1方向+上下1方向」の2種類とする。水平方向の加振方向を図1に示す。試験体は幅B 290mm、高さH 415mm、奥行き595mmのボックスを2, 3, 4個積み重ね、塔状比H/Bは2.86, 4.29, 5.72の3種である。計測は、各試験体に、加速度計2台(水平と上下)、滑り量計測のた

めのレーザ変位計を試験体両側に各1台、転倒計測のための上下方向レーザ変位計を試験体両端に各1台設置する。

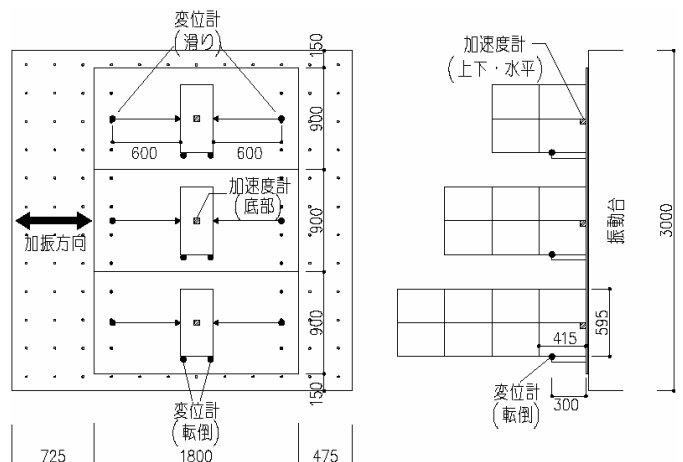


図1 試験体配置と計測機器設置図



写真1 試験体  
(H/B=5.72)

\*1 技術研究所 建築技術研究部門      \*2 大阪本店 建築設計部      \*3 東京本店 建築設計部

### 2.1 床仕上げ

床仕上げは、フローリング、カーペットの2種とする。  
 なお、静止摩擦係数は、床に置かれた試験体をばねばかりで引張り求めた。フローリングで平均0.22、カーペットで平均0.26である。

### 2.2 加振波

実験の加振波は地震波と正弦波である。

地震波は JMA KOBE NS, UD (KO)、El Centro NS, UD (EL)、HACHINOHE NS, UD (HC)、Taft EW, UD (TF)の観測波4波と、告示波(目標スペクトル(水平動は告示、上下動は告示をもとに作成したスペクトル<sup>4)</sup>)に適合する乱数位相の時刻歴波形(L)の計5種とする。それぞれの地震波は、水平方向の最大加速度を100galごとに増加させていき、振動台の加振限界に至るまで実験を行う。水平動と上下動を加振する時、各々の最大加速度は観測記録と同じ比率とする。

正弦波は、周期  $T = 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50$  (秒)の5種とする。上下動に関しては、水平動と上下動の位相を同位相にした波(以下、同位相とする)、90度ずらした波(以下、90度位相とする)の2種とする。正弦波の波形は、目標の加速度で10サイクル繰り返し、前後5サイクルで増減させる。最大加速度は100galごとに増加させていき、振動台の加振限界に至るまで実験を行う。水平動と上下動の最大加速度は2:1とする。

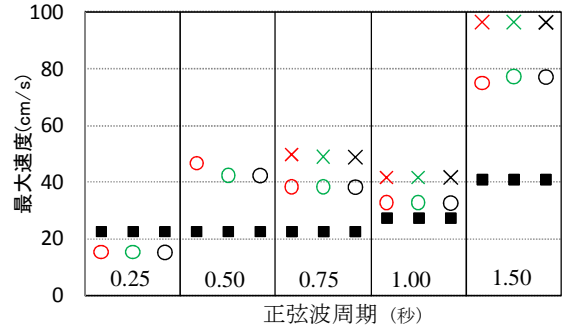
## 3. 実験結果

図2, 3に  $H/B=5.72$  の試験体の実験結果の一例を示す。加振波ごとに、転倒する最小の速度を×、転倒しない最大の速度(加振限界まで転倒しない波については、加振限界速度)を○で示す。■は文献1)による転倒危険性が生ずる速度  $V_{cr}$  の計算値を示す。他の塔状比を含めいずれも  $V_{cr}$  を下回って転倒するケースは見られない。また、上下動が及ぼす転倒への影響は少ない。

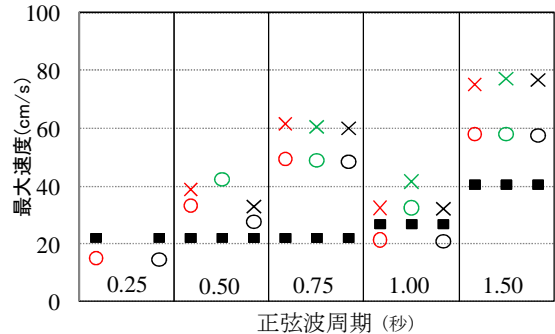
図4は告示波加振時の滑り量の時刻歴波形の一例である。同レベルの加速度で上下動の有無により滑り挙動が異なることが分かる。いずれも上下動有りの方が、滑り量は大きい。図5に、他の地震波について最大加速度と最大滑り量の関係を示す。なお、転倒したケースは除いている。上下動の有無で滑り量を比較すると、上下動があると滑り量が増加しているものが多く、上下動の影響を無視できないことが分かる。図6に、正弦波について同様の図を示す。この場合も上下動有りのケースは滑り量が増加する機会が多く、上下動の影響を無視できないことが分かる。位相差で見ると、同位相の滑り量は増大しやすい傾向があり、上下

動が床との摩擦力の増減に影響を与えていると考えられる。

図4~6より、床仕上げによる滑り量の違いは顕著に現われており、摩擦係数が小さいフローリングの場合、滑り量が増加しやすいことが分かる。



(a) フローリング

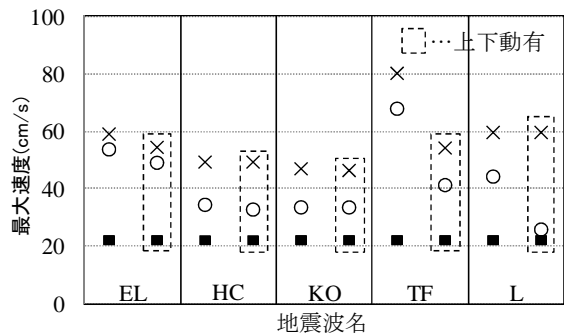


(b) カーペット

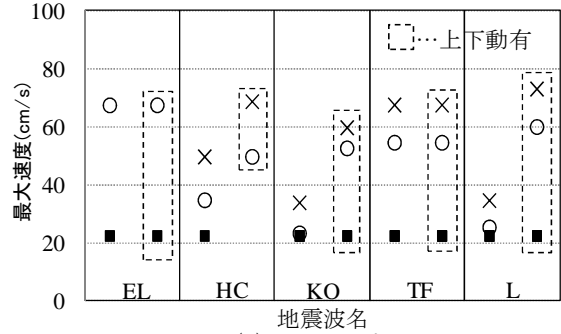
(○: 非転倒 ×: 転倒 ■:  $V_{cr}$ )

各周期ごとに左から上下動無し、同位相、90度位相

図2 転倒限界速度(正弦波加振、 $H/B=5.72$ )



(a) フローリング



(b) カーペット

(○: 非転倒 ×: 転倒 ■:  $V_{cr}$ )

図3 転倒限界速度(地震波加振、 $H/B=5.72$ )

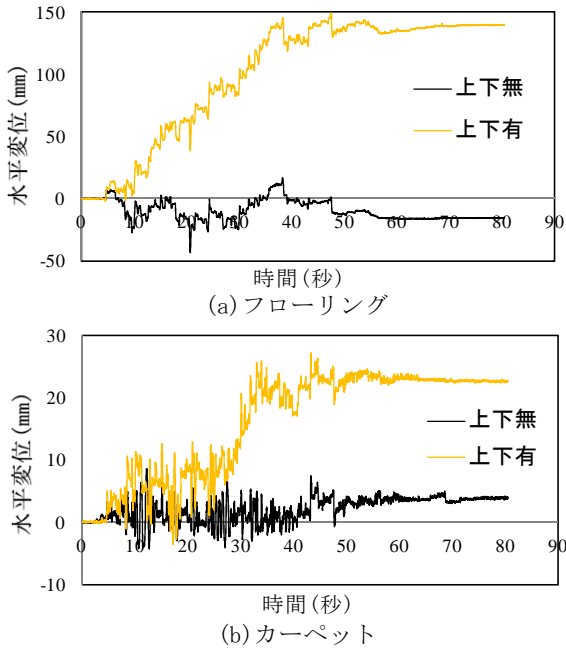


図4 滑り量の時刻歴  
(告示波、最大加速度 600gal、 $H/B=2.86$ )

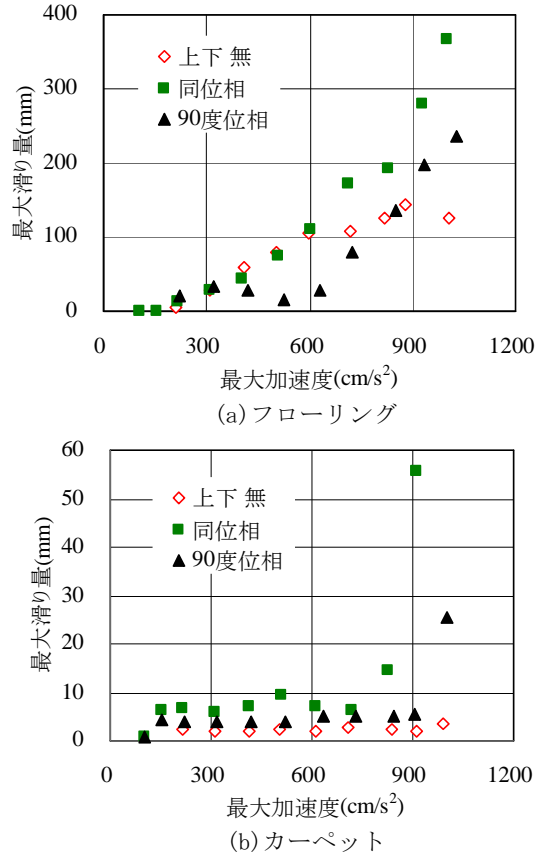
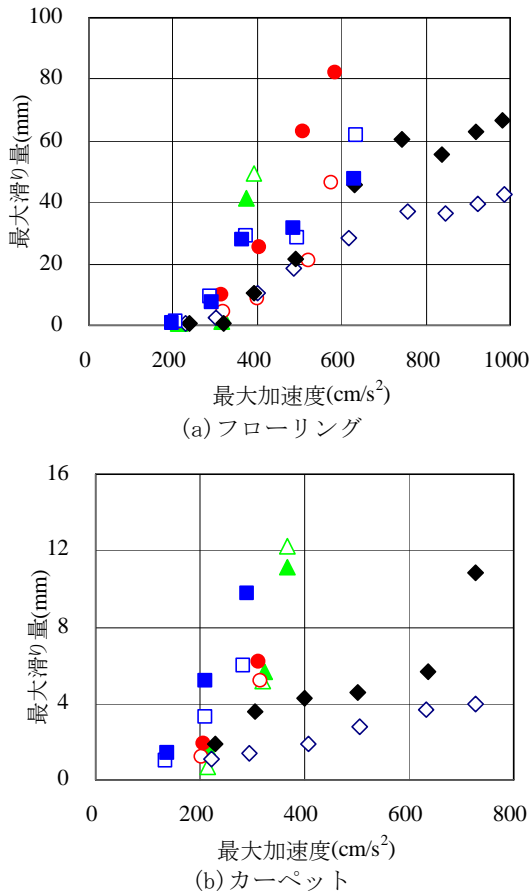


図6 最大加速度と最大滑り量  
(正弦波加振、周期 0.25 秒、 $H/B=2.86$ )



JMA Kobe    △上下無    ▲上下有  
Taft        ○上下無    ●上下有  
El Centro    ◇上下無    ◆上下有  
Hachinohe   □上下無    ■上下有

図5 最大加速度と最大滑り量(地震波加振、 $H/B=2.86$ )

#### 4. 解析方法

解析モデルを図7に示す。水平面上に載る高さ  $H$ 、幅  $B$  の剛体 ( $H/2=h$ 、 $B/2=b$ ) を想定し、重心位置の水平  $x$ 、回転  $\theta$  の運動方程式を作る。回転に伴う上下方向の運動は無視し、また、剛体は飛び跳ねないものと考え、上下方向は水平面と同じ動きをするものとし、検討しない。回転が生じても剛体底面の摩擦係数  $\mu$  は一定とし、剛体底面の速度  $\dot{x}_u$  の方向に応じ、 $(\text{sgn}(\dot{x}_u)\mu \cdot m(g + \ddot{y}_g))$  の摩擦力が働くものとする。水平方向の運動方程式は式(1)となる。

$$m\ddot{x} + (\text{sgn}(\dot{x}_u)\mu \cdot m(g + \ddot{y}_g)) = -m\ddot{x}_g \quad (1)$$

ここで  $m$  は質量、 $\ddot{x}$  は重心位置の水平方向応答相対加速度、 $\ddot{x}_g$  は水平方向入力加速度、 $\ddot{y}_g$  は上下方向入力加速度、 $g$  は重力加速度である。回転については、底面の摩擦と底面の鉛直反力を考慮する。鉛直反力は回転変位の方向に応じ、①  $\theta=0$  の場合は、底面の中央位置、②  $\theta > 0$  の場合は、底面左端からある範囲  $l$  に均等に、③  $\theta < 0$  の場合は、底面右端からある範囲  $l$  に均等に、働くものとする。なお、 $l$  は  $\theta$  により変化するものとする。回転方向の運動方程式は式(2)となる。

$$I\ddot{\theta} + h \cdot \text{sgn}(\dot{x}_u) \mu \cdot m(g + \ddot{y}_g) + L \cdot m(g + \ddot{y}_g) = 0 \quad (2)$$

ここで  $I$  は重心周りの慣性モーメント、 $L$  は鉛直反力の働く位置と重心との水平距離である。なお、摩擦係数  $\mu$ 、鉛直反力の働く幅  $l$  は、床面材料(フローリングまたはカーペット)、試験体形状ごとに実験結果から決定するものとする。

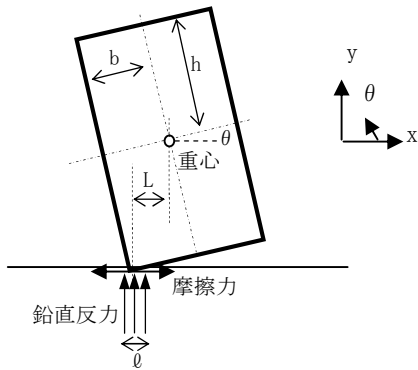


図7 解析モデル

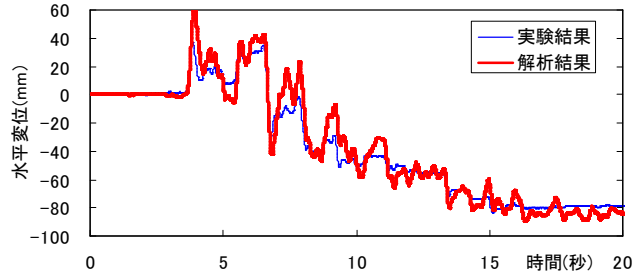
### 5. 解析結果

解析により得られた水平変位と回転角の一例を実験結果とともに図8に示す。この地震波の場合、フローリングでは解析においても、実験と同様、ロッキングが生じず、滑りのみ生じる結果となっている。また、カーペットでは解析においても、実験と同様、滑りとともにロッキングが生じる結果となっている。

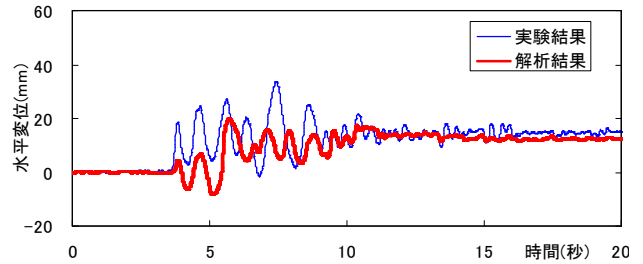
### 6. まとめ

家具を想定した振動実験より、転倒に関しては上下動の影響は少ないが、滑り量に関しては上下動が作用すると、増大する場合が多く、上下動の影響が無視できないことがわかった。また、数値解析において、実験と同様な傾向が見られ、ほぼ妥当な結果が得られたものと考えられる。

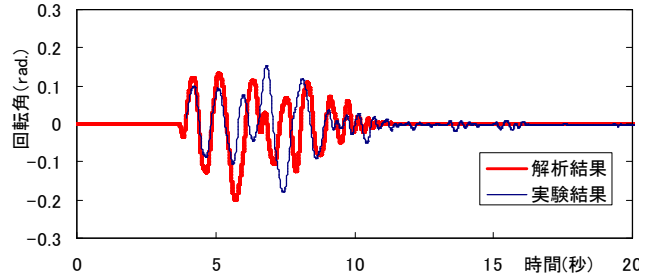
今後、異なる床材料や異なる試験体を用いて実験・解析を行い、転倒・滑りの評価手法の確立を目指したい。



(a) フローリング 水平変位



(b) カーペット 水平変位



(c) カーペット 回転角

図8 解析結果(Taft波、最大加速度600gal、 $H/B=2.86$ )

### 参考文献

- 1) 金子美香：地震時における家具の転倒率推定方法、日本建築学会構造系論文集、第551号、pp.61-68、2002.1
- 2) 金子美香、林康裕：剛体の転倒率曲線の提案、日本建築学会構造系論文集、第536号、pp.55-62、2000.10
- 3) 金子美香、林康裕、田村和夫：家具の地震時滑り量の簡易評価、日本建築学会技術報告集、第8号、pp.73-78、1999.6
- 4) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計、2006.2