

3 方向地震入力を受ける家具の転倒挙動解析

その1. モーションキャプチャシステムを用いた家具の振動台実験の概要

正会員	○山下 拓三 ^{*1}	同	金子 美香 ^{*3}
同	顧 嘉捷 ^{*2}	同	磯部 大吾郎 ^{*4}

数値震動台	モーショキャプチャ	家具
転倒挙動解析	Validation	

1. はじめに

(独) 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター (E-ディフェンス) では、建築・土木構造物の仮想振動実験の実現を目指した数値震動台 (E-Simulator) の開発を進めている。E-Simulator 開発の一環として、地震時の室内安全性を検証するために、ASI-Gauss 法を用いた家具の転倒挙動解析コード¹⁾を開発している。

本研究では、モーショキャプチャシステムを用いた家具の振動台実験を実施し、家具が転倒に至るまでの3次元変位計測データを取得する。そのデータを活用して、3方向地震入力を受ける家具の地震時挙動の再現精度の向上を図り、解析の妥当性の確認 (Validation) を行う。本報では、家具実験の概要と実験結果の一部について報告する。

2. 実験概要

図1に示すように3ケースの家具配置で加振実験を実施する。写真1に配置1の実験セットアップを示す。加振実験には清水建設(株)が保有する油圧式大型三次元振動台(振動台寸法:4m×4m)を用いる。台上にカーペット床を敷きその上に家具を配置する。鉄骨フレームの向かい合う2構面に軽鉄下地に合板を取り付けた壁を配置し、片側の壁に家具を配置する。家具および床の3次元計測には(株)ノビテック社製のモーショキャプチャ(以下、MC)システム(型式:VENUS3D-250N)を用いる。写真1(b)に示すように、壁が取り付けられていない2構面の外側から、片側3台、合計6台のMCカメラにより、家具や床に貼り付けられたマーカーの挙動を撮影する。なお、カメラのサンプリング周波数は250Hzである。振動台上の変位、加速度については、MCシステムによる計測に加え、それぞれ差動トランス変位計、サーボ型加速度計により計測する。表1に家具の重量、摩擦係数および寸法を示す。摩擦係数は、家具の底部をベルト等で巻き中央をバネばかりで引っ張り、動き出した荷重を測定し、3回実施した値の平均を重量で除した値とした。

表2に加振プログラムを示す。正弦波加振は1方向であり、表中のそれぞれの周波数で家具を転倒させるために、入力レベルを $100\text{cm/s}^2 \sim 1200\text{cm/s}^2$ の範囲で変化させて加振を行う。地震波加振は、JMA神戸波ではNS成分を用いた1方向加振と3方向加振を行い、東北地方太平

洋沖地震のKiK-net芳賀波ではEW成分を用いた1方向加振と3方向加振を行う。なお、本実験での1方向加振の方向は、図1に示す矢印の方向である。地震波加振においても家具を転倒させるために入力レベルを原波の25%~100%に変化させて加振する。

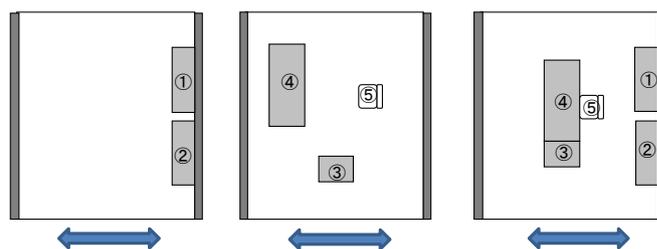


図1 家具の配置 (左: 配置1, 中央: 配置2, 右: 配置3)



写真1 配置1の実験セットアップ

3. 実験結果

MCシステムによる変位計測の精度を確認するために、2節で述べた変位計および加速度計による計測結果との比較を行った。配置1におけるJMA神戸波3方向加振での台上変位および台上加速度をそれぞれ図2、図3に示す。なお、MCシステムでの加速度は、変位を2回微分して求め、そのデータを、カットオフ周波数10Hz、10次のローパスフィルタで、順方向と逆方向の両方で処理することにより平滑化している。一方、加速度計のデータはカットオフ周波数200Hzのローパスフィルタで処理している。変位波形については、MCシステムによる変位計測結果は変位計による結果と、NS成分、UD成分ともほぼ一致している。加速度波形についても、両計測による結果の対応は良いが、UD成分の結果の対応がやや悪くなっている。計測の分解能を確保するためには様々な角度からの撮影が好ましいが、今

回の実験では MC カメラを高低差をつけずに設置したため UD 成分でやや誤差が大きくなったと考えられる。

図 4 に配置 1 における正弦波加振での家具の転倒状況を示す。いずれの振動数においても、キャビネット②が転倒する振幅よりも小さい振幅でキャビネット①が転倒する。振動数が大きくなるに従い、転倒する振幅が大きくなる傾向がある。表 3 に配置 1 における地震波加振での家具の転倒状況を示す。JMA 神戸波、KiK-net 芳賀波とも、1 方向加振では上下に積み重ねられたキャビネット②は一体となって転倒しているのに対し、3 方向加振では、上段のみ転倒しており、より小さい入力レベルから転倒が見られた。

4. おわりに

モーションキャプチャシステムによる振動台上の変位の計測結果が変位計による計測結果とほぼ一致していることを確認した。一つの配置ケースでの家具の転倒状況について整理した。

謝辞

本研究は、(独) 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター数値震動台研究開発分科会 (委員長: 堀宗朗 (東京大学)) における成果である。振動台実験にご協力頂いた清水建設 (株) 猿田正明氏、モーションキャプチャシステムによる計測にご協力頂いた (株) ノビテック 渡辺哲也氏をはじめとする関係各位に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 賀鐘輝, 磯部大吾郎, 金子美香, 堀宗朗, ASI-Gauss 法を用いた家具の転倒挙動解析, 計算工学講演会論文集, 第 17 巻, (2012).

表 1 家具の重量, 摩擦係数および寸法

家具名	重量 (kg)	摩擦係数		寸法 (mm)		
		長辺方向	短辺方向	幅	奥行	高さ
キャビネット①	43.6	0.348	0.260	900	400	1850
キャビネット② (上段)	21.3	0.211	0.211	900	400	730
キャビネット② (下段)	28.8	0.336	0.336	900	400	1120
キャスター付きラック③	8.0	0.180	0.117	550	340	617
机④	30.5	0.471	0.443	1200	700	700
椅子⑤	6.2	0.081	0.048	520	520	720

表 2 加振プログラム

配置	加振波
1	正弦波 (周波数: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 Hz)
	地震波 (JMA 神戸波, KiK-net 芳賀波)
2	正弦波 (周波数: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 Hz)
	地震波 (JMA 神戸波, KiK-net 芳賀波)
3	地震波 (JMA 神戸波, KiK-net 芳賀波)

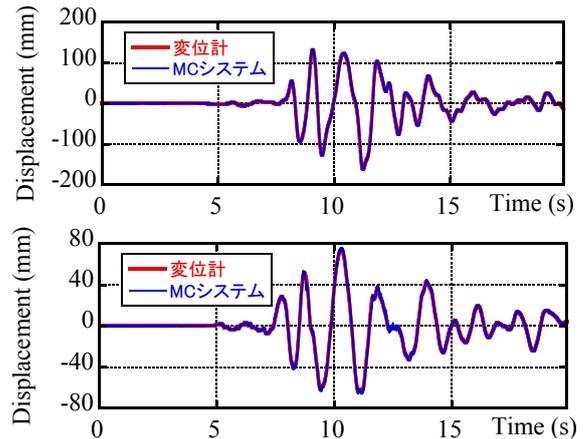


図 2 JMA 神戸波 3 方向加振での台上変位 (配置 1) (上: NS 成分, 下: UD 成分)

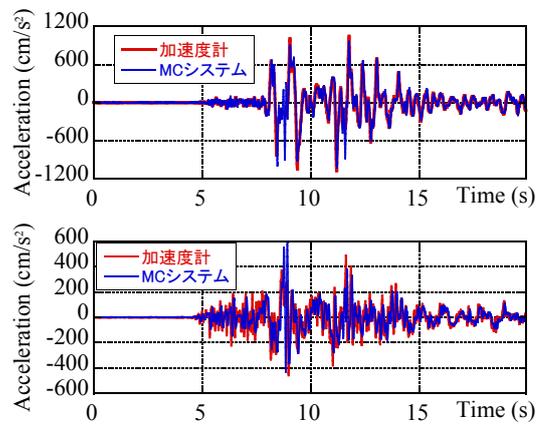


図 3 JMA 神戸波 3 方向加振での台上加速度 (配置 1) (上: NS 成分, 下: UD 成分)

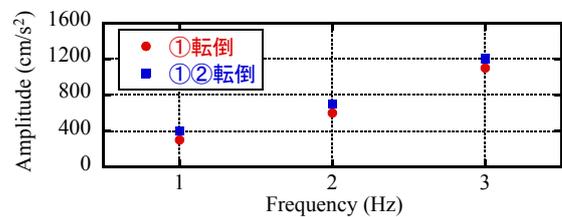


図 4 正弦波加振での家具の転倒状況 (配置 1)

表 3 地震波加振での家具の転倒状況 (配置 1)

加振波形	方向	入力レベル	転倒家具
JMA 神戸	1 方向(NS)	75%	②上下段
JMA 神戸	1 方向(NS)	100%	①, ②上下段
KiK-net 芳賀	1 方向(EW)	75%	①, ②上下段
KiK-net 芳賀	1 方向(EW)	100%	①, ②上下段
JMA 神戸	3 方向	50%	②上段
JMA 神戸	3 方向	100%	①, ②上段
KiK-net 芳賀	3 方向	50%	②上段
KiK-net 芳賀	3 方向	100%	①, ②上段

*1 (独) 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター 研究員・博士 (工学)
 *2 筑波大学大学院 大学院生
 *3 清水建設 (株) 技術研究所 博士 (工学)
 *4 筑波大学 准教授 博士 (工学)

*1 Researcher, Hyogo EERC, NIED, Dr. Eng.
 *2 Graduate Student, University of Tsukuba
 *3 Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng.
 *4 Associate Professor, University of Tsukuba, Dr. Eng.