

防災教材、振動論教材としての卓上2軸振動台とその模型の開発

防災教材	振動教材	卓上振動台	正会員	○石井 渉*1	同	花井 勉*2
2軸加振	建物振動模型	室内・家具模型	同	押田 光弘*3	同	村尾 秀己*4
			同	福和 伸夫*5		

1. はじめに

筆者らはこれまで木造建物倒壊模型など啓発を目的とした動きのある地震防災教材を色々と開発してきているが¹⁾、地震の揺れを手動で模すため実験の再現が難しく、地震動の特徴と建物模型の応答の関係を説明するのが難しかった。

そこで、様々な防災啓発の場面で地震動を再現できる卓上の2軸振動台、及びこれに載せる建物模型、室内模型を開発したのでここに紹介する。この模型挙動を見せることで防災教材として説得力が増すとともに、再現が可能なこと、模型の質量・剛性を变化させた比較実験が可能となるなど、振動論の教材としても有効となった。

2. 卓上2軸振動台

卓上振動台の構成と形状を図1に、仕様を表1にそれぞれ示す。振動台の大きさは250×250mm、最大振幅は50mmで0.7Gの加速度まで加振可能となっている。

本装置は、2軸振動台と、その制御を行う制御BOX及び制御用PCから構成されている。制御方法は、振動データフォーマットをサンプリング100Hzの変位データの配列とし、10msec毎の絶対位置データを連続的に直線補間して加振を行う方法を採用した。また、ノートPCでの制御を想定し、モーションコントローラをUSB対応のものとした。

駆動源のモータとしては、ステッピングモータを採用した。サーボモータも検討した結果、ステッピングモータに比べて、動きのスムーズさ、トルク等面では優れているが、コストやモータドライバのサイズなどの問題から採用には至らなかった。

制御ソフトは、振幅と振動数の指定による正弦波加振のほか、地震動波形などを読み込んだ100Hzの変位データに対して、振幅の倍率と、



図1 卓上振動台の構成と形状

テーブル寸法	250×250×70mm	
動作ストローク	x,y共に±50mm	
テーブル重量	5.0 kgf	
最大積載重量	2.0 kgf	
可能動作パターン		
短周期動作	変位	±5.0 mm
	最大加速度	±0.7 G
	最大速度	±260 mm/sec (26 Kine)
長周期動作	変位	±50 mm
	最大加速度	±0.1 G
	最大速度	±300 mm/sec (30 Kine)
マウス連動動作	マウスの動きに連動させてテーブルを動かす	

再生振動数を変化させた加振を行うことができ、同一周期下での振幅変化、同一振幅での速度や加速度の変化の実験などにも対応可能である。また、マウスの動きに連動させて振動台を動作させる機能も追加し、手動での2軸の動きがどのような応答につながるかを体感できる教材となっている。

3. 建物模型

建物模型は、比較する2棟を併設して、卓上振動台で2軸で繰り返し加振し、建物骨組の振動性状や倒壊現象を視覚的に観察することを目的に開発したものである。

建物模型の形状を図2に、仕様を表2にそれぞれ示す。この模型の特徴として、(1)任意の階数を簡単に組み立てられ、(2)振動性状や倒壊現象を再現可能かつ容易に復元可能で、(3)耐力壁や免震装置を挿入できることが挙げられる。

模型の縮尺はおおよそ1/100を想定して寸法を決定している。縮尺1/100の模型を実物と同一の素材で製作すると固有周期は1/10(固有振動数が10倍)になるが、これを実際の建物の周期に近づけるように、素材や接合部を選定した。

床材は、剛床となるようアクリルの単板を用い、柱材には中空の塩ビ製丸パイプを使用し、柱頭及び柱脚に曲げ変形を模すスポンジを挿入している。また柱材の中心には、床材を貫通させてゴムを通し、最上階と最下階で固定しており、これにプレストレスを与えて、柱軸力と復元力をもたせている。図3には建物が倒壊した実験写真を示すが、このゴムにより瞬時に建て直す事ができる。

性能確認のため、表2に示すように、8階建と4階建の模

縮尺	1/100	規模	8階建	4階建
階高(mm)	53	寸法(mm)	150×90×440	150×90×230
柱スパン(mm)	長辺 125	重量(kgf)	0.70	0.38
	短辺 65	固有振動数(Hz)	2.8	6.5



図2 建物模型の形状



図3 模型の倒壊

型短辺方向の固有振動数を測定したところ、8階建てで2.8Hz、4階建てで6.5Hzであった。一般的なRC造建物の固有振動数が、8階建てで1.5Hz程度、4階建てで3.0Hz程度と考えれば、本建物模型は実物の2倍の固有振動数を持っていると言える。したがって、再生振動数を2倍（時間軸を1/2）にした地震動を入力し、その様子を1/2の速度で映像再生することで、実物により近い挙動を観察できることになる。

この他、床材の四辺に取り付けてあるガイドレールにスチレンパーパー製の耐力壁を挿入して、平面的な偏心や、ピロティ建物など層の剛性変化に着目した実験を行うことも可能である。更に、直動転がり支承による免震層部品も開発しており、免震層の有無による比較実験などにも対応している。

4. 室内・家具模型

室内・家具模型は、地震時の室内の状況を視覚的に把握、観察することを目的に開発したものである。加振波は地震表面地震動の他、想定する建物の各階の床応答波も有効である。

室内・家具模型の仕様を表3に、模型の形状と家具の配置例を図4にそれぞれ示す。模型の縮尺を1/20とし、和室、洋室、台所・食事室を想定した3種類を製作した。外形寸法は250×250×150mmである。同一材料であれば固有周期はおおよそ1/4.5（固有振動数が4.5倍）となることを、床面の剛性や家具の重心を試行錯誤で調整することで、実物の周期に近づけている。また、家具の固定治具も用意して、家具固定の有無の比較も行えるようにしてある。

室内挙動を確認するために、この室内・家具模型にJMA Kobe 1995波及びHachinohe 1968波の南北または東西方向の地動の最大変位を1cmに基準化した地震波を入力し、それぞれ振幅を0.5倍刻みで1.0～4.0倍、再生振動数を50Hz刻みで100～300Hzまで変化させ、家具の振動、転倒性状に着目した振動実験を行った。結果の代表例を表4に示す。

実験より、相対的に卓越周期が短く、最大加速度の大きいJMA Kobe波の方で家具が大きく振動する傾向や、振幅や再生振動数の増大に対して早期に家具が転倒する傾向が見られた。また、JMA Kobe波の振幅2倍、再生振動数200Hzではほぼ全ての家具が転倒する状況が見られた（図4(b)）。この実験は、振動台を最大約400galで加振したことになり、この加振レベルで家具が転倒する実大実験結果²⁾にも概ね照合している。以上より、地震動加振では建物模型と同様、振動数を2倍して加振することを推奨している。

またこの実験では、全体の挙動のほか、小型カメラを枕位置などの室内に配して家具が倒れてくる映像

を再生することで、家具固定の促進に大いに役立つものと考えられる。

5. まとめ

小型軽量でどこでも実験ができ、リアルな2次元の地震時挙動を模擬できる卓上2軸振動台及びその建物模型、室内模型を開発した。今後は実験のバリエーションを増やすと共に、実験映像をストックして振動論教材として体系付けたいと考えている。

参考文献

- 1) <http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/laboFT/bururu/>
- 2) 島野、浜口、椿、東野、北原、鈴木：建物内什器類の地震時損傷レベル評価手法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.97～98、2001.9

表3 室内・家具模型の仕様

部位/室名	和室	洋室(子供部屋)	台所・食事室
床	畳10畳 印刷	フローリング 印刷	フローリング 印刷
壁	真壁仕様 じゅろ壁風	大壁仕様 クロス貼り	大壁仕様 クロス貼り
天井	透明アクリル板	透明アクリル板	透明アクリル板
家具類	和洋服タンス	洋服タンス	食器棚 食器皿付き
	二段和タンス	本棚 2コ 本付き	冷蔵庫
	布団2セット	物入 2コ	テーブル 1コ
	額、楯	ベッド 布団セット付き	椅子 4コ
		机、額、楯	キッチンセット

表4 室内模型の実験結果代表例

◆寝室		左:和筆筒、右:洋服とタンス			
Kobe	1.0倍	2.0倍	3.0倍	4.0倍	
100Hz	-	-	-	1	2
200Hz	4	4	5	5	/
300Hz	4	4	5	5	/
◆台所		左:冷蔵庫、右:食器棚			
Kobe	1.0倍	2.0倍	3.0倍	4.0倍	
100Hz	-	-	-	1	2
200Hz	4	4	5	5	/
300Hz	4	4	5	5	/
◆子供部屋		左:本棚、中:洋服タンス、右:棚			
Kobe	1.0倍	2.0倍	3.0倍	4.0倍	
100Hz	1	-	3	1	1
200Hz	5	2	3	5	5
300Hz	5	4	3	5	4

凡例
 -: 動き無
 1 (小)
 ↓ 振動
 4 (大)
 5: 転倒
 /: 実験無



(a) 実験開始前

(b) 実験終了後

図4 実験前後の室内家具模型の状況・洋室（子供部屋）

*1 日本システム設計
 *2 えびす建築研究所 代表取締役・工博
 *3 えびす建築研究所・工博
 *4 THK
 *5 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

*1 Nihon System Sekkei
 *2 President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.
 *3 Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.
 *4 THK Co.,Ltd.
 *5 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.