

I - PS2

屋内収容物の転倒被害に関する振動台実験とDEM解析

東京大学生産技術研究所 ○正会員 目黒公郎
 東京大学大学院 学生員 Tibor Winkler
 東京大学生産技術研究所 正会員 山崎文雄

1. はじめに 耐震設計技術の進歩した最近の(地震工学)先進国では、構造物が崩壊するような地震被害は少なくなってきた。しかし、構造物自体の耐震性が順調に向上してきた一方で、建物に付置される様々な設備、家具等の地震時による激しい揺れや転倒によって、周辺の設備が破損したり、人的被害が生じたりする事例は依然として多く、今後益々大きな問題になると考えられる^{1),2),3)}。1993年1月15日に発生したM7.8の釧路沖地震でも、建物自体の被害は地震の規模や観測された加速度記録の大きさの割に小さかったが、写真1に見るように家具等が転倒する被害が多数報告された。本研究では、家具を代表とする屋内収容物の転倒被害の軽減を目的として、振動台実験と個別要素法(Distinct Element Method, DEM)による基礎的解析を行った。

2. 振動台によるブロックの転倒実験 材料入手、実験時の取り扱い、数値解析におけるモデル化等を考慮して、実験には内部まで詰まった直方体の木製ブロックを用いた。各ブロックの形状寸法を表1に示すが、kはBlock3を基準とした場合の相似比である。1次元振動台にブロックを載せて正弦波加振を行い、各振動数ごとに振幅をゆっくり増加させて、ブロックが足踏み(ステッピング)を始める振幅と転倒する振幅を調べた。同時に、振動台とブロックに取り付けた加速度計で応答を記録し、その様子をビデオに録画した。単体のブロックの挙動、複数のブロックを組み合わせた場合の挙動等、様々なケースの実験を行ったが、図1に結果の1例を示す。振動台とブロックの時刻歴応答(特に上下成分)から、ステッピング開始時刻とその時点の入力振幅がわかる。図2と図3に、大きさの異なる相似形モデルを用いた実験結果と、形状(b/h)の違うブロックを用いた実験結果をそれぞれ示す。振動台の変位振幅の制限から、一部の振動数を除いて転倒にいたるまでの外力を作用させることはできなかった。図中の曲線は、各振動数においてブロックがステッピングを始めた時点の入力の速度振幅であり、入力が高振動数であるほど小さな振幅でもステッピングを始めることがわかる。図2より、低い振動数(静的に近い状態)の外力では、どのケースもほぼ同じ振幅でステッピングを始めるが、高い振動数では大きなブロックほど小さな振幅でステッピングを始めることがわかる。図3からは、スレンダーな(b/hが小さい)ブロックほど小さな入力振幅でステッピングを始めることがわかる。また実験を通して、入力の振幅を急激に大きくすると、ゆっくりと振幅を増大させた場合には転倒しない大きさの外力でも、ブロックが転倒する場合があることが確認された。また、ステッピングの周期は入力波と同周期であり、いったんステッピングを始めると同周期の外力に対しては、かなり安定な挙動をすることもわかった。

3. 個別要素法解析 振動台実験の結果を解析するために、個別要素法を用いた数値シミュレーションを試みた。個別要素法は、要素同士が完全に離れたり、初期と違った要素と接触して新しい応力場を形成するような現象の追及が可能である。したがって地震による屋内収容物の滑り、転倒、衝突等の現象の解析法としては、最も適した手法の1つと考えられる。本研究で扱う運動は、1次元加振による直方体ブロックの動的挙動であるので、4角形要素を用いた2次元解析を行った。図4に解析の1例を示す。これはBlock3を2つ縦に重ねたモデルに、3Hzの正弦波外力を加えた場合のシミュレーションである。なお、詳細な解析は現在進めているところである。

4. まとめ 本研究では、屋内収容物の転倒による地震被害の軽減を目的として、振動台実験とDEM解析を行った。実験・解析ともに実際の被害に比べるとシンプルなモデルを用いたが、これは本研究が基礎的な資料収集を目的としているからである。今後は、実験と解析との比較検討から数値解析モデルの精度を高め、実験による再現が難しいような複雑なケースについても、数値シミュレーションを行う予定である。

謝辞：東大生産技術研究所の小長井助教授・片桐技術官には、振動台の借用とご助言をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献：1) 石山：日本建築学会論文報告集，314号，1982。2) 西上・藤野・阿部・篠：美術工芸品の地震対策，土木学会第46回年次学術講演概要集，1991。3) 野口・渡辺・伊藤：二次元振動試験機によるオフィス家具の転倒実験について，消防科学研究所報，1991。



写真1 釧路沖地震(1993年1月15日)による家具の転倒被害
(釧路市M家具店)

表1 実験に用いた木製ブロックの形状寸法

Block	Size [cm]			k	b/h
	b	h	d		
Block 1	30	100	50	2.0	0.3
Block 2	22.5	75	37.5	1.5	0.3
Block 3	15	50	25	1.0	0.3
Block 4	7.5	25	12.5	0.5	0.3
Block 5	25	50	25		0.5
Block 6	20	50	25		0.4
Block 7	10	50	25		0.2

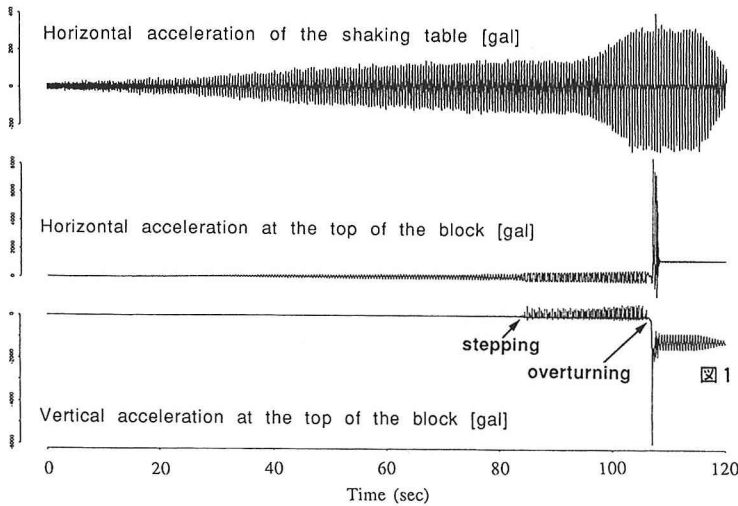


図1 Block 7を用いた振動台実験の1例
(水平2 Hz加振による入力加速度と
ブロック頂部の水平・鉛直加速度応答)

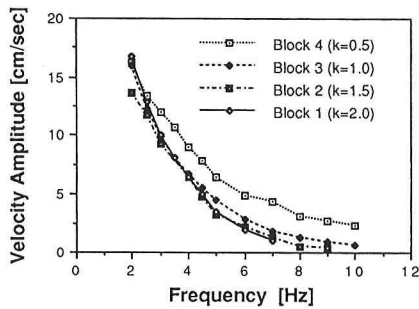


図2 ステッピングにおける寸法効果
(相似形のブロックを用いた実験結果)

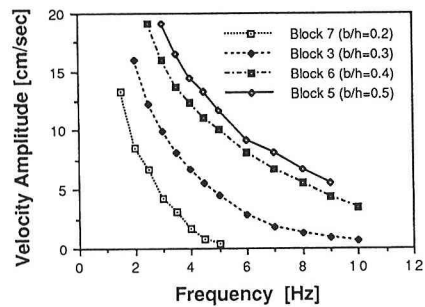


図3 ステッピングにおける形状効果
(異なるb/hのブロックを用いた実験結果)

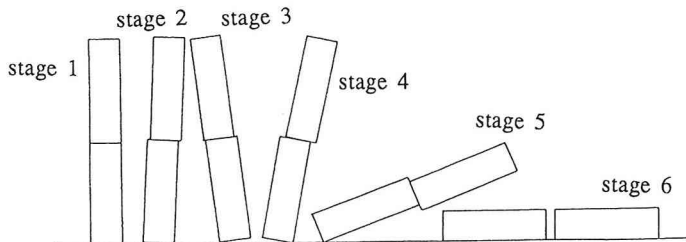


図4 DEM解析の1例 (2つのブロックを重ねたモデルの転倒)