

剛体ブロックの地震応答シミュレーション手法の開発

徳島大学

学生員 ○市川 誠

株式会社大林組 正会員

笹森 哲洋

徳島大学大学院 正会員 成行 義文

徳島大学大学院 正会員

佐藤 弘美

1. はじめに 近年発生した地震による住民の負傷原因は、30～50%が家具の転倒・落下による被害であると分析されている。消防庁のアンケート結果¹⁾では、家具等の転倒・落下防止策の実施率は20.7%とかなり低いのが現状である。今後、家具等のより実用的な転倒防止策を講ずるためにも、家具類の地震時挙動の解明が必要である。本研究では、そのための基礎的研究として家具を剛体ブロックと仮定し、それが水平および上下地震動を受けた場合のスウェイ・ロッキング運動解析プログラムを Visual Basic を用いて作成した。それを用いて調和地動下における剛体の地震時挙動をシミュレーションし、上下地震動が滑動変位に及ぼす影響について検討するとともに、ロッキング振動実験との比較を行った。さらに兵庫県南部地震記録を用いたシミュレーションを行い、若干の考察を加えた。

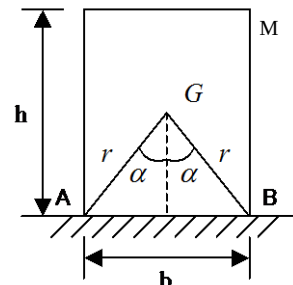


図-1 剛体モデル

表-1 剛体モデルの諸元

剛体	M:100kg
	h:1.0m
	b:0.5m

2. 解析モデルと剛体の地震時挙動 本研究では、図-1に示すような二次元剛体モデルを解析対象とした。ここで、剛体と接触する床面および壁面も剛であると仮定する。剛体の代表的な地震時挙動²⁾としては、一般に、静止、停止、スウェイ運動、ロッキング振動、衝突、転倒の6種類に分類される。本研究では、調和地動下における剛体のスウェイ運動、ロッキング振動およびスウェイ・ロッキング振動のシミュレーションを実施した。

3. 上下地震動が滑動変位に及ぼす影響 ここでは剛体のスウェイ運動について検討する。表-1のような剛体に作用する水平地動加速度波として、図-2に示すような調和地動加速度波を用いた。上下地動加速度としては、振幅を $1\sim 9\text{ m/s}^2$ まで 0.5 m/s^2 刻みで、また振動数を $0.5\sim 2.0\text{ Hz}$ まで 0.1 Hz 刻みでそれぞれ変化させた、計○通りの調和地動を入力した。振幅 3 m/s^2 の上下調和地動に対する結果を図-3に示す。図-3より、上下地動加速度の振動数が 1.0 Hz 近傍で、最大滑動変位が卓越することが分かる。また、上下地動振幅が 1 m/s^2 のとき、上下地動を無視した場合に対して 22 cm 、また、上下地動振幅 3 m/s^2 ならびに 9 m/s^2 の場合ではそれぞれ 73 cm (図-3参照)ならびに 173 cm 程度滑動変位が大きくなることが分かった。このことより実地震動では水平と上下の地震波の卓越振動数がほぼ等しいことを勘案すると剛体の滑動変位の評価には上下地震動を考慮する必要があると思われる。

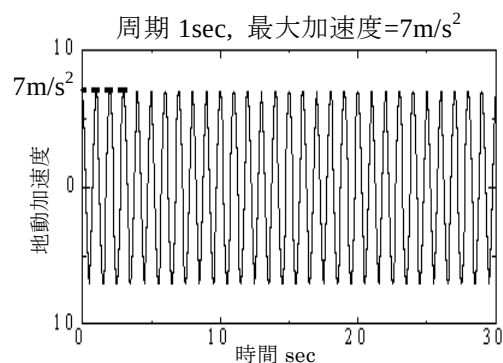


図-2 調和地動加速度波

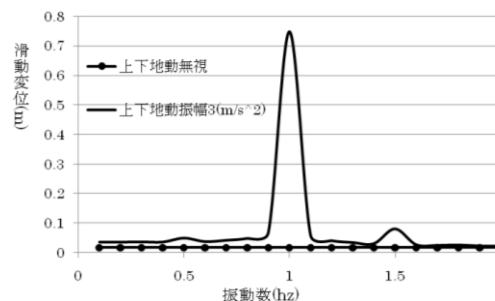


図-3 上下調和地動1振幅 3 m/s^2 の振動数が滑動変位に及ぼす影響

4. ロッキング振動実験と反発係数の算定 ここでは剛体のロッキング振動の実験および反発係数の算定について検討する。実験に用いた剛体モデルの諸元は表-2の通りである。実験方法は図-4のように剛体に初期変位 h_{B0} を与えて自由ロッキング振動させ、時間毎の角度と変位をビデオカメラに

表-2 剛体モデルの諸元

剛体	M:263g
	h:20cm
	b:6cm

より撮影記録し、その動画をコマ単位で解析することにより振動データを取得した。また、シミュレーションを行う際に必要な反発係数値を実験値から式(1)により求めた。式(1)は、シミュレーションに用いる床面との衝突の際の減衰は角速度に影響

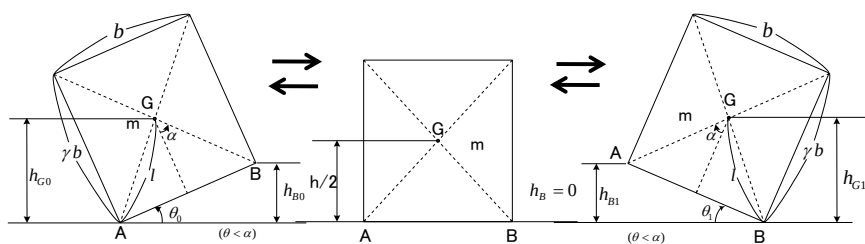


図-4 実験略図

を及ぼすことから、衝突前後の速度比を考え、衝突の式と衝突前後の角速度の比から導かれたものである。

$$\eta = \frac{3(1+4\gamma^2)p_h - 2(2\gamma^2 - 1)(1+\gamma^2)(1-p_h)\sqrt{p_h}}{4(1+\gamma^2)^2 - (1-2\gamma^2)^2 p_h} \dots (1) \quad p_h = \frac{h_{G1} - h/2}{h_{G0} - h/2} \dots (2) \quad \begin{array}{l} \eta : \text{反発係数} \\ \gamma : \text{形状比} = (h/b) \end{array}$$

今回の実験で得られた木製剛体モデルと木製テーブル間の反発係数は約 0.2 となったのでこれをシミュレーションで用いた。

5. 実験とシミュレーションの比較 ここでは前述の実験とシミュレーションの結果の比較と考察を行う。剛体モデルは表-2の通りである。図-5は、横軸に時間(sec.)、縦軸に剛体底面が床面となす角度 θ (rad.)をとり、実験とシミュレーションを比較したものである。図-5から分かるように、ロッキング 1 サイクル(約 0.8sec.)までは比較的よく一致しているが、その後徐々にシミュレーションの振動周期の方が短い傾向が顕著となっている。実験結果では、A点を回転中心とした場合の方がB点を回転中心とした場合より最大回転角は大きくなっている。これは、A点の形状がB点のそれより回転し易くなっていたためと考えられる。

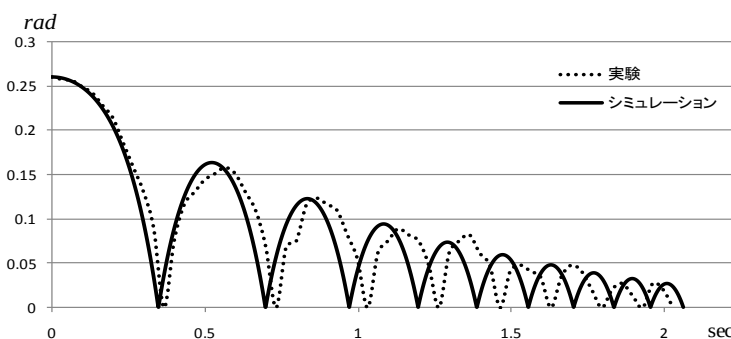


図-5 シミュレーションと実験との比較

6. 兵庫県南部地震記録を用いたシミュレーション 図-6(a), (b)に示すNS成分, UD成分³⁾を使用した。剛体の高さを1m, 壁との遊間距離を5cmに固定し, 剛体の幅を0.1~1mの範囲で, 0.1刻みで変化させて解析を行った。剛体の幅が0.1~0.4mの場合は, 全て剛体は壁と衝突し転倒した。また, 幅が0.5mでは壁との衝突は起こるものの転倒なしという結果になった。

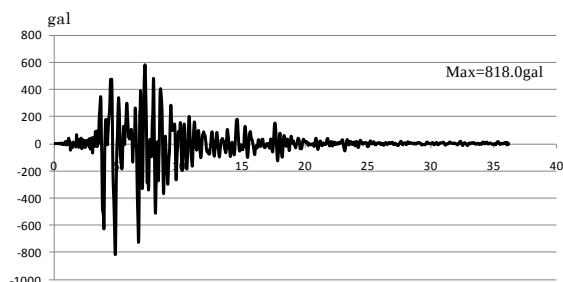


図-6 (a) NS 成分

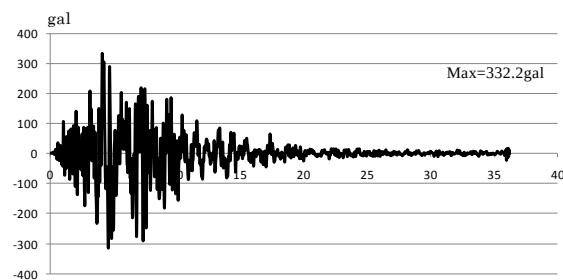


図-6 (b) UD 成分

7. おわりに 本研究では、水平および上下地震動を受ける剛体のスウェイ-ロッキング振動解析プログラムを作成し、調和地動に対するシミュレーション結果と実験結果とを比較して、その精度を検証した。また、シミュレーション結果より、上下動が剛体の滑動に大きな影響を及ぼすこと、さらには剛体の転倒が起こらない剛体と壁との臨界遊間距離があることが分かった。今後は、剛体の重心位置がその挙動に及ぼす影響について検討する予定である。

8. 参考文献 1)東京消防庁 HP : <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/> 2)笹森哲洋・成行義文・須知晃一：土木学会四国支部 第15回技術研究発表会 講演概要集 pp27-28 2009.5 3)兵庫県南部地震加速度記録(JMA 神戸波)