

水平および上下地震動を受ける剛体のスウェイ・ロッキング応答解析

徳島大学大学院 学生員 ○笹森哲洋

徳島大学大学院 学生員 須知 晃一

徳島大学大学院 正会員 成行 義文

徳島大学大学院 正会員 三神 厚

1. はじめに 近年発生した地震（新潟中越地震，十勝沖地震，宮城県北部地震など）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．今後より実用的転倒防止策を講ずるためにも，家具類の地震時挙動を解明しておく必要がある．本研究では，家具を直方体剛体と仮定し，水平および上下地震動を受ける剛体のスウェイ・ロッキング挙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様々な条件下でシミュレーションするとともに，剛体の形状比，上下地震動が滑動変位に及ぼす影響，ならびに剛体と壁との遊間距離等が剛体の挙動に及ぼす影響等について若干の考察を加えた．

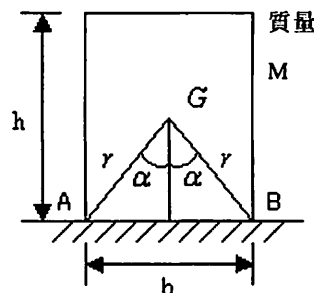


図-1 剛体モデル

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は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，一般に，静止，停止，スウェイ運動，ロッキング振動，衝突，転倒が挙げられる．

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・ロッキング挙動についてシミュレーションをした．

表-1 剛体の形状寸法と質量

剛 体	$M : 100\text{kg}$
	$h : 1.0\text{m}$
	$b : 0.5\text{m}$

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として，図-2に示す調和地動加速度波を用い，上下地動加速度は振幅を1から $9(\text{m/s}^2)$ まで $0.5(\text{m/s}^2)$ 刻みで，また振動数を0.5から $2.0(\text{Hz})$ まで $0.1(\text{Hz})$ 刻みでそれぞれ変化させて入力した．振幅 $3(\text{m/s}^2)$ 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水平動 (1.0Hz) 近傍で，滑動変位卓越することが分かる．上下の振幅 $1(\text{m/s}^2)$ のとき，上下地動を無視した場合に対して22cm，上下の振幅3ならびに $9(\text{m/s}^2)$ の場合ではそれぞれ73cm（図-3参照）及び173cmの差が出る事が分かった．つまり実地震において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ことで上下地震動が滑動変位に及ぼす影響は大きいと言える．

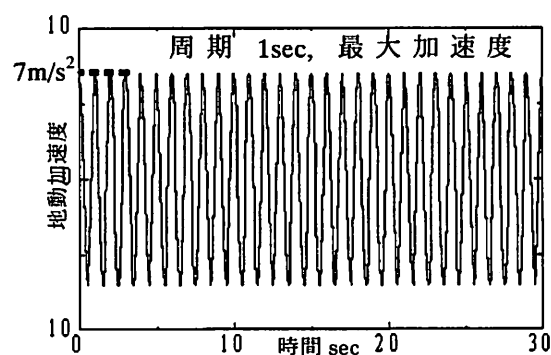
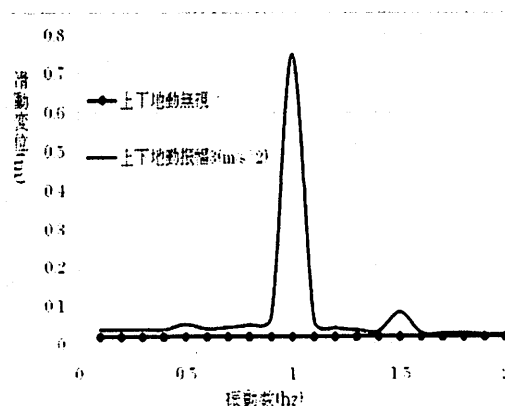


図-2 調和地動加速度波

4. 転倒に対する臨界形状比の算定 ここでは剛体のロッキング振動について検討する．水平調和地動の振幅と振動数をパラメータとし，上下動振幅ごとに解析した結果から，剛体のロッキング転倒に対する臨界形状比 (b/h) の回帰式を導いた．図-4は，横軸に形状比 $(h=1.0\text{m})$ ，縦軸には転倒に対する臨界水平地動振幅をとり，各振動数をパラメータとしてプロットしたものである．これは，各曲線よりも大きい水平地動振幅で転倒することを示している．同図より，ほとんどが形状比 (b/h) が大きくなるほど，転倒する水平地動振幅が大きくなる事がわかる．図-4の臨界振幅・形状比・振

図-3 上下調和地動振幅 $3(\text{m/s}^2)$ 滑動変位

動数関係を線形式($y = \alpha x + \beta$)で近似することを試みる. まず, 振動数ごとの回帰直線の傾き(α'), 切片(β')が図-5の各曲線のようになることより, 係数 α' (傾き)は多項式で, 係数 β' (切片)は線形式で, それぞれ回帰曲線で近似する. 最終的に, 剛体のロッキング転倒に対する臨界形状比(b/h)の回帰式が式(1)のように得られた.

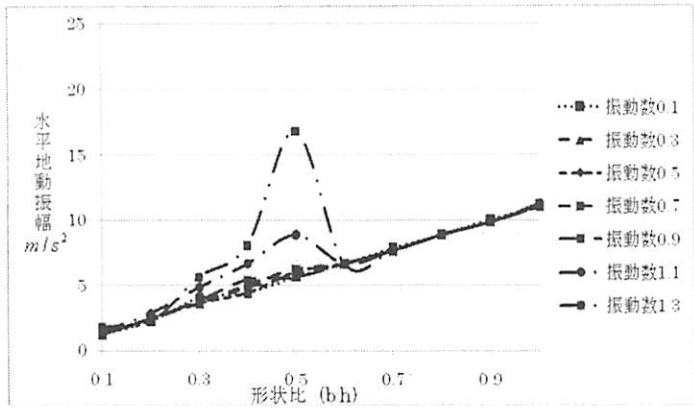


図-4 上下振幅 3 (m/s²) のとき転倒の臨界値 (水平地動振動数別)

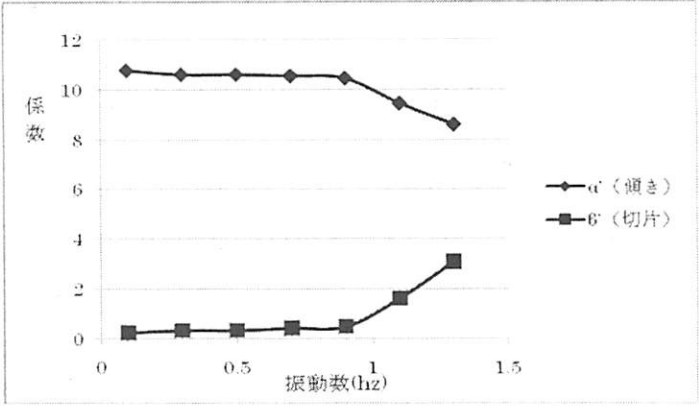


図-5 係数 α' , β'

$$s_1 = (-2.949s_2^3 + 3.7s_2^2 - 1.614s_2 + 10.89)(b/h) + 2.24s_2 - 0.4947$$

s_1 : 水平地動振幅(m/s²), s_2 : 水平地動振動数 式(1)

5. 壁との衝突が剛体の転倒に及ぼす影響 ここではスウェーロッキング挙動について検討する. 調和地動に対する壁と剛体との衝突解析を行った. 入力波としては, 水平方向は調和地動(図-2で示した)を, 上下方向は振幅 3(m/s²)振動数 1(hz)の調和地動をそれぞれ用いた. 解析条件は表-2に示す通りである. ここで形状比(b/h)は一定とし, 図-6に示すような剛体の幅 b , 剛体と壁の距離 l_w を適宜変化させて解析を行なった. b と l_w の各組合せに対する転倒の有無を図-7に示す. 図-7より剛体の幅が 0.5m 以上ないとほとんど転倒するが, 細かく見ると剛体の幅が 0.2~0.6m では設置距離が 0.01m のとき転倒しないことが分かる. また, 一般的ではないが $b \geq 0.5m$ かつ $l_w \geq 30cm$ の場合, 剛体は転倒しないことが分かる.

表-2 解析条件

剛体	質量 M: 100kg
	形状比 b/h : 0.4747
地面(床面)	衝突係数: 0.6
	静止摩擦係数: 0.5
	動摩擦係数: 0.4
	回転時の静止摩擦係数: 0.7
壁	回転時の動摩擦係数: 0.6
	壁との衝突係数: 0.6
時間	解析時間: 30 s

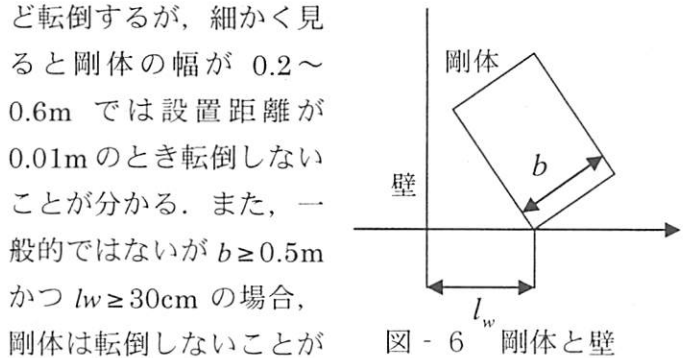


図-6 剛体と壁

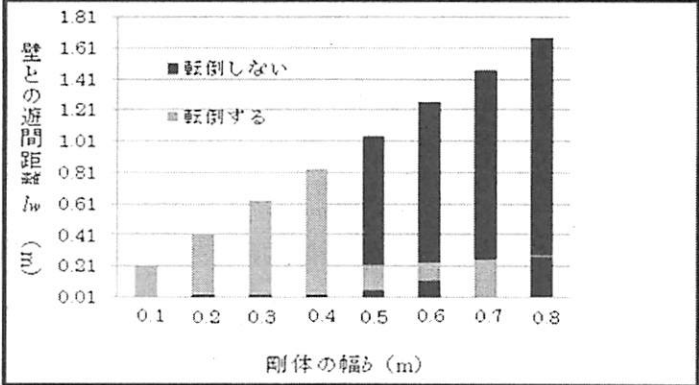


図-7 剛体の幅と壁との遊間距離が転倒の有無に及ぼす影響

6. 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ーロッキング挙動解析プログラムを作成し, 調和地動に対する4・5の解析作業により, 剛体のロッキング転倒に対する臨界形状比の回帰式を導くとともに, 剛体の形状比と壁との遊間距離が剛体の転倒の有無に及ぼす影響について検討した. 今後は剛体のサイズに合わせて質量を適宜変化させるとともに, 任意の位置に重心を有する剛体に対しても適用し得るように拡張する予定である.

7. 参考文献 1) 東京消防庁 HP: <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/> 2) 瀬戸由紀子・成行義文・須知晃一: 土木学会四国支部 第14回技術研究発表会 講演概要集 pp72-73 2007. 5