

剛体の地震時スウェイ・ロッキング連成挙動解析に関する基礎的研究

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

セントラルコンサルタント 瀬戸 由紀子
徳島大学大学院 正会員 三神 厚

1. はじめに 近年発生した地震による住民の負傷原因は、30～50%が家具の転倒・落下物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。有効な転倒防止策を講ずるためにも、家具類の地震時挙動を詳細に把握する必要がある。本研究では、強震下における家具等の挙動を精度よくシミュレーションするための基礎的研究として、壁との衝突を考慮した剛体の地震時スウェイ・ロッキング連成挙動の数値解析プログラムを 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、剛体と床との摩擦係数、ならびに剛体と壁との遊間距離等が剛体の挙動に与える影響について若干の考察を加えた。

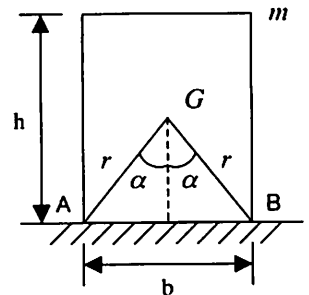


図-1 剛体モデル

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。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、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・ロッキング連成挙動についてシミュレーションをした。

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

表-1 剛体の形状寸法と質量

3. 摩擦係数がスウェイ運動に及ぼす影響 剛体のスウェイ運動のみを対象とした解析プログラムを用いて、表-1のような剛体に図-2に示す調和地動加速度波を入力し、静止摩擦係数 μ と動摩擦係数 μ' をそれぞれ2通りに変化させて解析を行なった。解析結果を図-3に示す。同図より、 $\mu=0.4$ 、 $\mu'=0.1$ のときの最大滑動変位は5.44cm、また $\mu=0.4$ 、 $\mu'=0.3$ のときの最大滑動変位は3.10cmであり、動摩擦係数が0.2違うと、滑動変位に2.34cmの差がでることがわかる。また、 $\mu=0.6$ 、 $\mu'=0.1$ のときの最大滑動変位は2.34cmであることより最大静止摩擦係数が0.2違うと、3.10cmの滑動変位の差がでることがわかる。これらの結果は、動摩擦係数よりも静止摩擦係数を変化させる方が、滑動変位を大きく低減できることを示唆している。したがって、剛体を設置する際に、滑り止めなどで静止摩擦係数を大きくすることが滑動変位を抑えるのに有効であると言える。

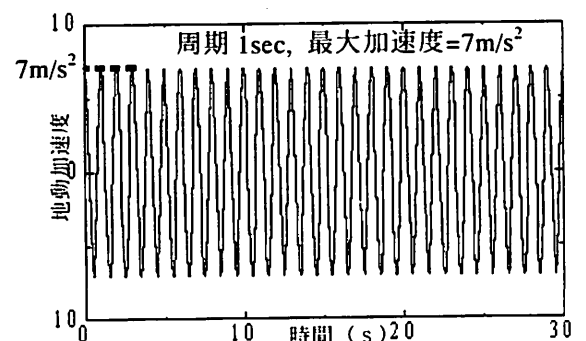


図-2 調和地動加速度波

4. 転倒に対する臨界形状比の算定 剛体のロッキング振動のみを対象とした解析プログラムを用い、調和地動の振幅と振動数をパラメータとした解析結果から、剛体のロッキング転倒に対する臨界形状比 b/h の帰式を導いた。図-4は、横軸に形状比($h=1.0\text{m}$)、縦軸には振動数ごとに転倒に対する臨界振幅をとり、各曲線よりも大きい振幅で転倒することを示している。同図より、形状比 b/h が大きくなるほど、転倒する振幅が大きくなることわかる。図-4の各曲線が比較的線形に近いことにより、臨界振幅・

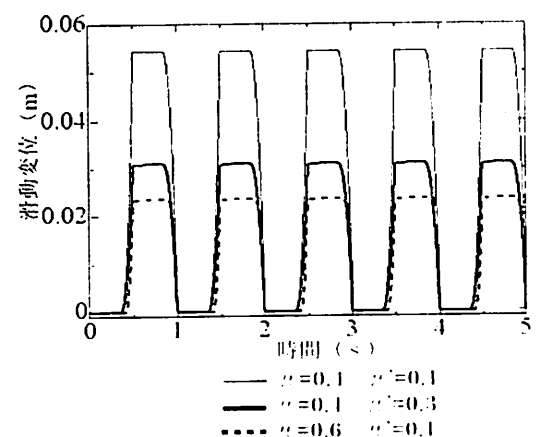


図-3 滑動変位に及ぼす各種摩擦係数の影響

形状比 - 振動数関係を線形式($y = ax + b$)で近似することを試みる。まず、振動数ごとの係数 a と b が図-5の破線と点線のようになることにより、係数 a は指数式で、係数 b は線形式で、それぞれ図-5の実線のように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。

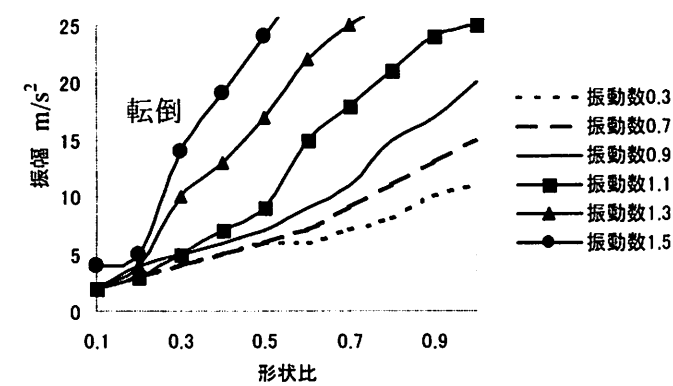


図-4 転倒の臨界値（振動数別）

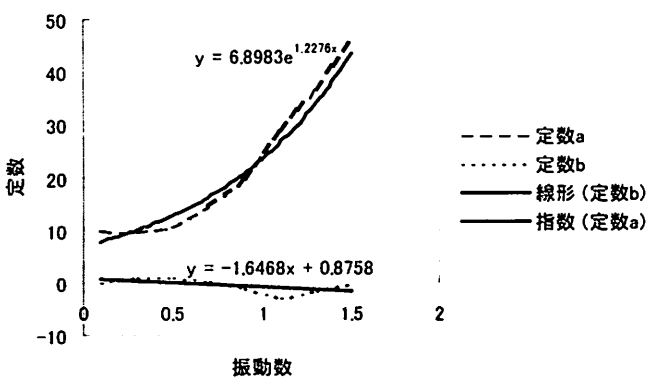


図-5 定数 a , b

$$b/h = (S_1 + 1.6468S_2 - 0.8758) / 6.8983e^{1.2276 \cdot S_2} \tag{1}$$

S_1 : 振幅(m/s^2), S_2 : 振動数

5. 壁との衝突が剛体の転倒に及ぼす影響 スウェイ・ロッキング連成挙動を対象とした解析プログラムを用い、調和地動に対する壁と剛体との衝突解析を行った。入力波は前出の調和地動(図-2)を用い、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に示すように剛体の幅 b 、剛体と壁の距離 l_w を変化させて解析を行なった。剛体の幅と壁との遊間距離の組合せごとの転倒の有無を図-7に示す。これより、幅 $0.8 \sim 1.0m$ の場合には壁との距離が短くても転倒しない領域があることがわかる。さらに剛体の幅を大きくした場合の解析結果を図-8に示す。

同図より、幅が $1.0m$ 以上の場合には壁の設置距離が幅の約 15% 以下であれば転倒しないことがわかった。

6. おわりに 本研究では、地震動を受ける剛体のロッキング振動ならびにスウェイ運動の各解析プログラムを作成すると共に、それらを組み合わせてスウェイ・ロッキング連成挙動解析プログラムに拡張した。地動加速度を与える際に水平力だけに限定しているが、上下動を考慮するなど、加振方法にも工夫する余地があると考えられる。また、重心が中心に位置する理想的な剛体を対象としているが、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必要がある。

7. 参考文献 1) 東京消防庁 HP : <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/> 2) 須知晃・川並修司・成行義文・平尾潔：土木学会四国支部 第13回技術研究発表会 講演概要集 pp72-73 2007. 5

剛体	$m : 100kg$
	$b/h : 0.339$
地面(床面)	衝突係数 : 0.6
	静止摩擦係数 : 0.2
	動摩擦係数 : 0.1
	回転時の静止摩擦係数 : 0.4
壁	回転時の動摩擦係数 : 0.3
	壁との衝突係数 : 0.6
時間	解析時間 : 30 s

表-2 解析条件

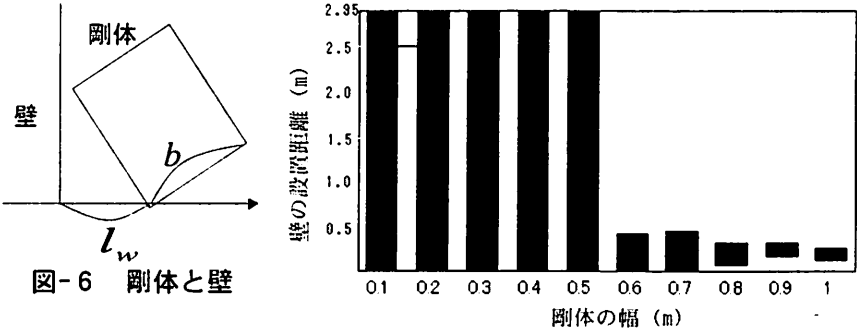


図-7 壁の設置距離による転倒領域

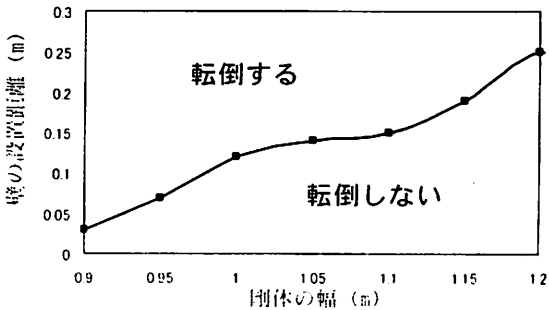


図-8 剛体の幅と壁の設置距離との関係