

京都大学大学院教授  
 京都大学大学院助教授  
 京都大学工学部

フェロー 土岐憲三  
 正会員 清野純史  
 学生員 ○山下英郎

1. はじめに

剛体の地震時挙動に関する研究は古くから多数行われ、振動数が0~1Hzのときの加速度振幅による剛体の転倒条件が既に示されている。本研究では、入力 velocity 振幅と振動数が剛体の転倒に与える影響を考察することにより、速度振幅による剛体の転倒条件を解明する。さらに、今まであまり考慮されていなかった壁面を導入することにより、家具等のような近傍に壁面が存在する場合の剛体の地震時挙動について検討を行う。

2. 3次元直方剛体の転倒特性

振動数が0~1Hzのときの加速度振幅による3次元直方剛体の転倒条件は、既に清野ら<sup>1)</sup>によって示されている。本研究では、同様の手法を用いて振動数が1Hz以上のときの剛体の転倒条件を求める。ここに、清野らの研究を簡単に整理しておく。モデルとして、図1に示すような均質な直方剛体考えた。剛体は最初、剛床上に静止しているものとし、入力のSIN波の振動数と振幅を変化させて解析を行った。入力に水平2方向、鉛直方向のいずれにも加速度振幅を用い剛体の転倒現象の傾向を調べたところ、振動数が1Hz以下において似たような傾向があることが分かった。そこで、0~1Hzの振動数を経験させるようなSweep波形を入力として用いて解析を行った。ここで、水平2成分の入力には、水平1方向入力の場合に剛体がRocking運動を開始する最小の加速度で正規化した加速度振幅を用いている。入力の継続時間は10秒とし、この時間中に剛体が転倒するかどうかについて解析を行った。解析の計算条件は、表1の12とおりであり、これらの全ケースを通じて転倒しなかった領域が加速度振幅による剛体の転倒条件と考えた。この領域は、図2で示される。

しかし、1Hz以上の振動数について、水平2方向に加速度振幅を用いると特徴的な性質が認められなかったため、本研究では水平2方向に速度振幅を用いて解析を行った。図1の場合(Case1)、これに対して高さを2倍にした場合(Case2)を考え、水平2成分の入力に、水平1方向入力の場合に一波の波で剛体が転倒する最小の速度で正規化した速度振幅を用いたところ、転倒現象においてCase1、Case2ともにほぼ等しい結果が得られた。つまり、この速度で振幅を正規化することにより、モデルの大きさの影響を排除できることが分かった。また、1~5Hzの振動数において似たような傾向が認められた。そこで、1~

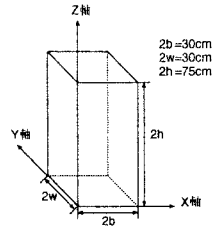


図1: 3次元剛体のモデル

表1: 計算条件

振動数	初期位相のずれ		
	鉛直	水平 (x 方向)	水平 (y 方向)
1 : 1	0°	0°	0°
1 : 1.73	0°	+45°	0°
1 : 2.5	0°	+90°	0°
	0°	+90°	+45°

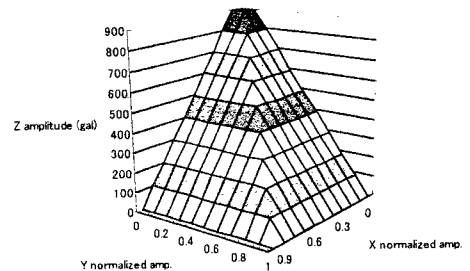


図2: 加速度振幅一定による転倒条件

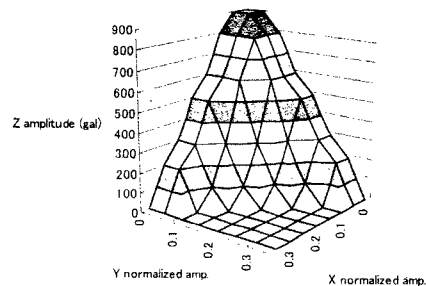


図3: 速度振幅一定による転倒条件

Kenzo TOKI, Junji KIYONO and Hideo YAMASHITA

5Hz を経験させるような Sweep 波形を入力として用いて既往の研究と同様の手順で解析を行い、速度振幅による剛体の転倒条件を調べた。この領域は、図3で示される。

### 3. 壁を有する場合の2次元剛体運動

壁を有する場合の2次元剛体運動の解析を行うにあたり、図4のような均質な剛体を考える。剛体は最初、剛床上に静止しているものとして解析を行った。Ishiyama<sup>2)</sup>によって、壁が存在しないときの地震時における2次元剛体の転倒評価が行われている。本研究では、壁が有るとき(剛体は最初壁に接しているとする)と無いときのそれぞれにおいて、同様の評価を行った。このとき、加速度振幅が300gal、振動数が1.0HzのSIN波を水平1方向のみに10秒間入力し、剛体の挙動を調べた。得られた結果は図5、図6に示す。これらの図において、縦軸と横軸はそれぞれ剛体の幅(2b)と高さ(2h)であり、図中の●は剛体が転倒したもの、○はRockingをしたもの、×は転倒もRockingもしないものを示している。また、図に示されている直線と曲線はIshiyama<sup>2)</sup>が提示したもので、それぞれ剛体が転倒するときの最大加速度と最大速度の下限を表したものであり、次式で表される。

$$a = \frac{b}{h}g \quad (1)$$

$$v = 0.4\sqrt{\frac{8gr}{3} \times \frac{1 - \cos \alpha}{\cos^2 \alpha}} \quad (2)$$

$$\left( r = \sqrt{b^2 + h^2}, \alpha = \tan^{-1} \frac{b}{h} \right)$$

ここでは、 $a$ にはこのときの最大加速度である300galを、 $v$ には最大速度である47.7kineを用いている。

壁が有るときと無いときの両図を比較すると、両図とも同じ傾向が見られ、直線の左側の領域ではRockingも転倒もしておらず、直線と曲線に囲まれた領域ではRockingをしており、直線と曲線の右側の領域ではRockingをするものと転倒するものが混在している。

したがって、壁が有るときも無いときと同様に、図7によって地震時の剛体の挙動を評価できると考えられる。図7においてAは剛体がRockingも転倒もしない領域、BはRockingはするが転倒しない領域、CはRockingをし、かつ転倒する可能性が有る領域である。

### 4. 結論

本研究によって得られた成果を整理すると、以下ようになる。

- 加速度振幅による剛体の転倒条件が既に提示されているが、これは振動数が0~1Hzのときにしか適用できず不十分なものであった。そこで、本研究では速度振幅に着目して1~5Hzのときの剛体の転倒条件を提示した。これらを用いれば剛体の形状と入力地震動を与えることにより、応答計算を行うことなく転倒の有無を予測することができる。
- 壁面が存在するときも、存在しないときと同様に図7によって剛体の地震時挙動を評価できる。

参考文献：1) 清野純史、土岐憲三、久保田修一、'地震時における剛体の跳躍運動について'、第10回日本地震工学シンポジウム論文集、1998。2) Y.Ishiyama, 'Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations', Earthquake eng. struct. dyn, 8, 1982

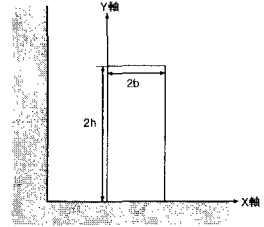


図4: 2次元剛体のモデル

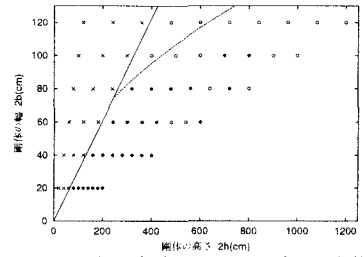


図5: 壁が存在しない場合の挙動

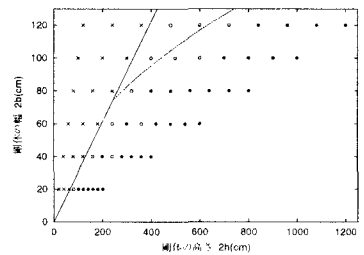


図6: 壁が存在する場合の挙動

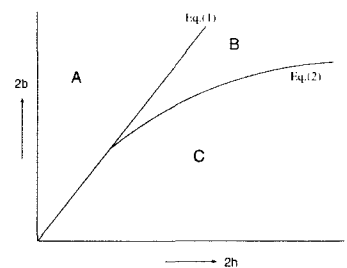


図7: 地震時の剛体の挙動