

京都大学工学研究科 正会員 土岐 憲三

京都大学工学研究科 正会員 清野 純史

京都大学大学院 学生員 ○久保田修一

1. はじめに 激烈な地震動に伴って物体が跳躍する現象は、兵庫県南部地震をはじめとする過去の多くの地震で報告されている¹⁾。この跳躍運動が起こるメカニズムには、地盤との相互作用による応答の結果跳躍が生じる場合と、剛基礎の上に乗った墓石のような剛体が跳躍するように、入力とその物体に直接作用して跳躍が生じる場合の2通りが考えられる。そこで本研究では、後者の場合について考え、並進運動、回転運動、跳躍運動に関する剛体の3次元運動を数値解析することにより、地震時に見られる物体の転倒現象および跳躍運動を再現し、入力地震動の特性（振動数や振幅）が転倒や跳躍運動に及ぼす影響についての定量的な検討を行った。

2. 解析手法 剛体の3次元運動を数値解析するために、剛体の運動モード²⁾（図1）と各運動モードの遷移条件（表1）を整理し、これに基づいて定式化を行った。そして、特に入力の加速度振幅と振動数に着目し、これらが地震時における物体の転倒、跳躍運動にどのような影響を与えるのかについて考察を行った。

まず、転倒現象に対する解析を行った結果は以下の通りである。

- (1) 剛体は、入力の水平2成分の振動数がともに1Hz以下であれば転倒しやすく、このとき転倒に必要な加速度振幅は、その転倒条件式にほぼ従う。
- (2) 水平成分の振動数が1Hzより高いと、加速度振幅の大きな水平成分の入力があっても、もう一方の加速度振幅が小さければ転倒しにくい。
- (3) 転倒に必要な水平成分の加速度は $\frac{b}{n}$, $\frac{w}{n}$ にほぼ比例する（図2）。

この結果は、剛体の転倒には入力の振動数が大きく影響し、 $\frac{b}{n}$, $\frac{w}{n}$ が転倒を支配する水平成分のパラメータとなることを示唆している。そこでこれらの結果に基づき、水平2成分の加速度振幅は、入力が水平成分のみのときのROTATION運動開始条件である $\frac{b}{n} \alpha$, $\frac{w}{n} \alpha$ で正規化して考え、入力として振動数が0Hzから1Hzまで変化し、その際加速度振幅は一定とするSWEEP波形を用いて解析を行った。加速度振幅による物体の転倒条件および転倒の可能性について提示したものが図3である。

次に、跳躍条件および跳躍の可能性についても同様なSWEEP波形を入力として用いることで、跳躍運動に対する、特に鉛直動の加速度振幅の影響について解析を行った。その結果を図4に示す。

3. 結論 図3、図4に示した剛体の転倒条件および跳躍条件を用いると、剛体の形状と入力動が与えられれば、応答計算なしに転倒、跳躍の可能性を検討することができる。また、この2つの条件はともに、鉛直成分の加速度振幅が大きくなるほど小さな水平動で転倒、跳躍が生じることを示しており、物体の跳躍に関し、1Gを超える大きな鉛直成分の加速度がなくても物体が跳躍する可能性があることが確認できた。そして、この両者にほとんど相違はなく、したがって剛体が転倒するような場合には、同時に跳躍する可能性があることがわかる。

参考文献 1) 翠川三郎, 地震, 第2輯, 第47巻, pp.333-340 (1994) 2) YUJI ISHIYAMA, EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, VOL.10, pp.635-650 (1982)

Kenzo TOKI, Junji KIYONO, Shuichi KUBOTA

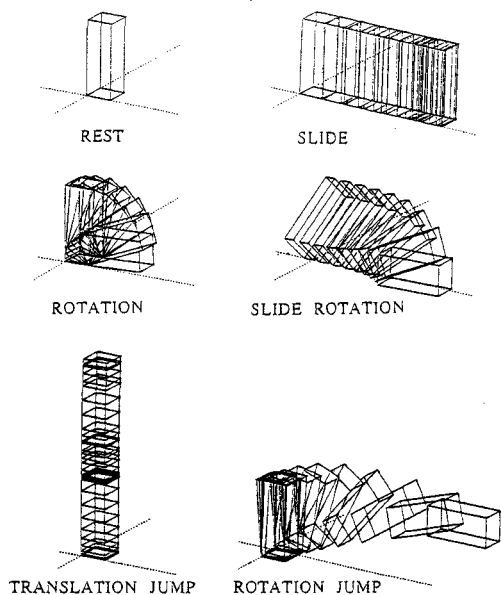


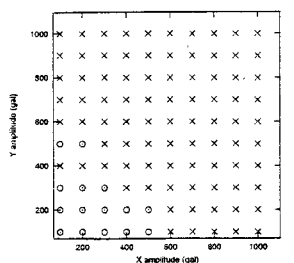
図1 剛体の運動モード

表1 剛体運動の遷移条件 (基本的な場合)

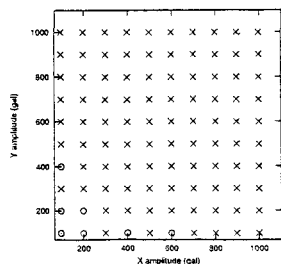
SLIDE運動 (水平2方向)	
開始条件	$ x - \bar{x} > \mu_y(g + \bar{z} + \bar{z}) \cap \mu_y > \frac{b}{h}$ $ y - \bar{y} > \mu_x(g + \bar{z} + \bar{z}) \cap \mu_x > \frac{w}{h}$
終了条件	$ x = 0 \cap x - \bar{x} \leq \mu_y(g + \bar{z} + \bar{z})$ $ y = 0 \cap y - \bar{y} \leq \mu_x(g + \bar{z} + \bar{z})$

JUMP運動	
開始条件	$g + \bar{z} + \bar{z} \leq 0$ または $\bar{z}_t > g + \bar{z}_{t-1} \cap \bar{z}_{t+1} - \bar{z}_t < \bar{z}_t - \bar{z}_{t-1}$
終了条件	$\bar{z}_0 = 0$

ROTATION運動		
水平軸まわり (2成分)	開始条件	$ x - \bar{x} > \frac{b}{h}(g + \bar{z} + \bar{z}) \cap \mu_y > \frac{b}{h}$ $ y - \bar{y} > \frac{w}{h}(g + \bar{z} + \bar{z}) \cap \mu_x > \frac{w}{h}$ (並進していないとき) $ x - \bar{x} > \frac{b}{h}(g + \bar{z} + \bar{z}) \cap \mu_h > \frac{b}{h}$ $ y - \bar{y} > \frac{w}{h}(g + \bar{z} + \bar{z}) \cap \mu_h > \frac{w}{h}$ (並進しているとき)
	終了条件	$ \theta_x = 0 \cap \theta_y = 0$ $ \theta_x = 0 \cap \theta_y = 0$
鉛直軸まわり	開始条件	水平軸まわりの2成分がともに回転しているとき
	終了条件	$ \theta_z = 0$ かつ 水平軸まわりの回転2成分のうち少なくとも一方が回転していないとき



①30cm×30cm×75cmの剛体の場合 (○印が転倒しない領域)



②30cm×30cm×150cmの剛体の場合 (○印が転倒しない領域)

図2 X freq. = 3.0(Hz), Y freq. = 2.0(Hz),
Z amp. = 200(gal), Z freq. = 1.0(Hz)の場合

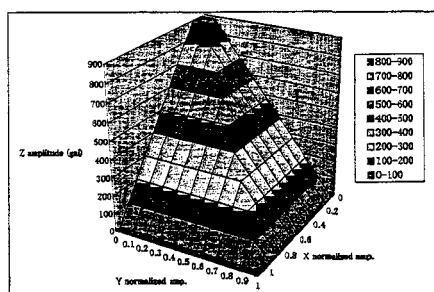


図3 加速度振幅による転倒条件

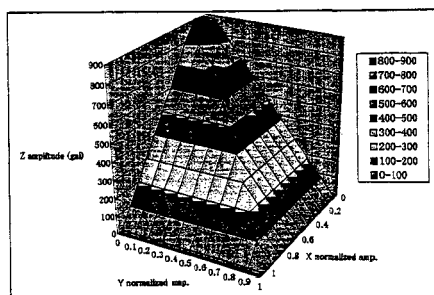


図4 加速度振幅による跳躍条件