

九州電力 K.K.

正会員 〇佐々木 有三

筑波大学 構造工学系

正会員 藤野 陽三

東京大学 地震研究所

正会員 伯野 元彦

1. はじめに 昨年、地形が地震被害に及ぼす影響ということで、1976北イタリヤ地震で被害の集中した、山に接する沖積地とモデル化して地震応答解析を行った。その結果によれば、そのような地域では水平動に比して上下動が大きくでるということであった。被害にあった構造物はレンガ・ブロック積の家屋がほとんどであった。これらの家屋は、摩擦力でも、ている構造物の一種ではないかと考え、地震動による物体のすべりについて考えてみた。

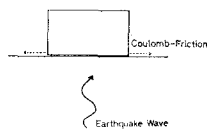


図1: 地震動によるすべり

地震動による構造物のすべりは、斜面のすべり崩壊、オイルタンク、墓石、あるいはビル内の机等の設備品にと、かなり重要な問題であると考えられるにもかかわらず、あまり研究は行われていなか、たようである。ここでは第一歩として、図1に示すようなクーロン摩擦力のみを受ける物体をモデルとして採用し、地震動によってどれだけすべるか、地震動の上下動がすべりにどのような影響を及ぼすかについて調べる。

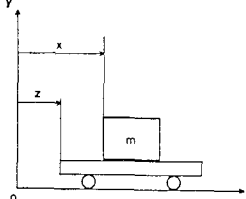


図2: 解析モデルの座標系

2. 解析モデルと運動方程式

物体間に働く摩擦力は、静止摩擦力と動摩擦力がある。最大静止摩擦力をこえる力が物体に働いたとき、物体はすべり出して動摩擦力を受けることになる。一般に、動摩擦力は物体と台との相対すべり速度に依存するといわれるが、ここでは一定とし、摩擦力に関するパラメータとしては、静止摩擦係数 μ_s と動摩擦係数 μ_d の2つのみを用いた。

物体のすべりを計算するにあたって必要な座標系を示したのが図2である。ここでは、 z は地動の絶対水平変位、 x は物体の絶対変位、 m は物体の質量、 g は重力加速度、 y は鉛直変位とする。水平方向と上下方向に加振を受けた時、物体は次の方程式に従って動く。

- すべりはじめるための条件: $\mu_s(g + \ddot{y}) \leq |\dot{z}_{t_0}|$ (t_0 はすべりはじめる時刻)
- すべりはじめた後の運動方程式: $\ddot{x} = \pm \mu_d(g + \ddot{y})$ ($\pm$ の符号は $\dot{z}_{t_0} \geq 0$ の符号に従う)
 $\dot{x} = \dot{z}_{t_0} \pm g \mu_d (t - t_0) \pm \mu_d (\dot{y} - \dot{y}_{t_0})$
 $x = z_{t_0} (t - t_0) + x_{t_0} \pm \frac{1}{2} g \mu_d (t - t_0)^2 \pm \mu_d (y - y_{t_0}) - \dot{y} \mu_d (t - t_0)$
 そしてすべりは相対速度 $\dot{x} - \dot{z}$ の符号が変わるまで続く。

3. すべり応答解析例

。水平のみの正弦波入力

地動入力加速度を $\ddot{z} = 60 \sin 2t$, $\mu_s = 0.2$, $\mu_d = 0.175$ としたときの物体のすべり応答を求めた結果を図3に示す。点線は地動を、実線は物体の運動を表す。この図からも、また運動方程式からも明らかのように、すべっている時、物体は等加速度運動を行なう。定常正弦波入力に対する弾塑性振動のように変位の中立軸が時間とともに一方にずれていく現象は見られず、応答変位の中立軸が一定値ずれるだけである。

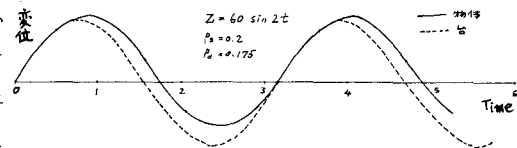


図3: 正弦波による物体のすべり

。実地震波入力(水平のみ)

我々の関心のあるのは実際の地震動で物体がどの位すべるか、そのすべりの量的な特性は地震動のどのような性質に大きく依存するのかがとを明らかにすることである。そこでまず、八戸(1953)、エルセントロ(1940)、タフト(1952)の3種類の地震波を入力として選り、応答解析を行なった。各地震波の最大加速度は変換して等しくしてある(水平最大 245 gal)。

水平動のみを入力とさせたときの最大相対変位(最大すべり量)と、 P_d 、 P_d をかえて求めたのが図4である。一般的には、地震波、 P_d が同じなら、 P_d の小さい方がよくすべることがわかる。しかし地震波が異なれば、同じ P_d 、 P_d 値でもすべり量は異なり、またグラフ全体の傾向が同じというわけではない。

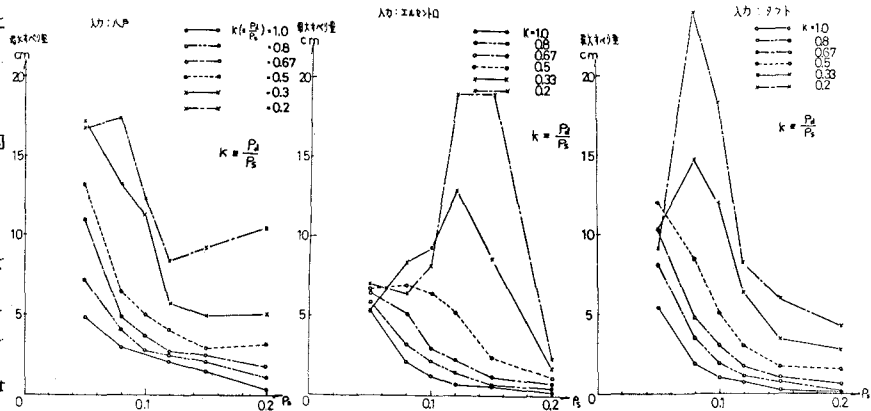


図4:各地震波に対する最大すべり量

・実地震波(水平+上下)

次に、すべり量に及ぼす鉛直動の影響をみるために、水平動のみならず、鉛直動も加えて物体の最大すべり量を求めた。八戸地震波を入力としたときの結果を図5に示す。縦軸は上下動が入ったときの最大すべり量を水平動のみの最大すべり量で割った無次元量を表わしている。図5をみると、上下動が存在することによってすべり量が増加する傾向があることがわかる。しかし逆に、上下動があることによりすべり量が減少する領域も存在する。上下動の倍率が3倍のときの方が、1倍のときよりもすべり量が増加するというのが全体的傾向ではあるが、逆の場合(例えば $P_d=0.17$ 付近の○と△)もある。また、同じ上下動倍率、 $K(=P_d/P_s)$ 値なのに、 P_d の若干の変化がすべり量に大きく変化を及ぼしている例(たとえば ×印の $P_d=0.17$ 付近)もある。他の2つの地震波による解析結果についても大体同様な特長がみられた。

上下動の倍率の影響をもう少し詳しく調べたのが図6である。各地震波について上下動を大きくしたとき、すべり量が増加する P_d と P_d の組合せを選んだ。各地震波によってかなり違った傾向を示しているのが興味深い。特にタフトの場合は、上下動がある倍率を超えてはじめてすべり量が増加している。

4. まとめ 地震動による物体のすべりということと幾つかの応答解析とを行った。すべり量は地震波の波形によって大きく異なること、上下動によって概してすべり量が増大すること、しかし、上下動の大きさと変えたときのすべり量の変化もまた地震波の波形特性に大きく影響されることがわかった。

すべりという現象は典型的な非線形現象であり、とらえにくいものである。地震動のどのような波形特性がすべりに大きく及ぼすかについて今後研究を進めたいが、ある程度統計確率論的手法に頼らざるを得ないのではないかと考えている。

文献: 1)佐々木, 伯野, 藤野: 地震被害における地形の及ぼす影響, 第32回年次講演集, I-263

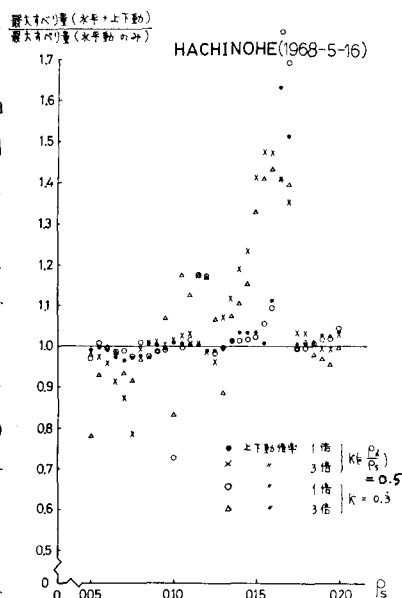


図5: 上下動によるすべり量の変化。

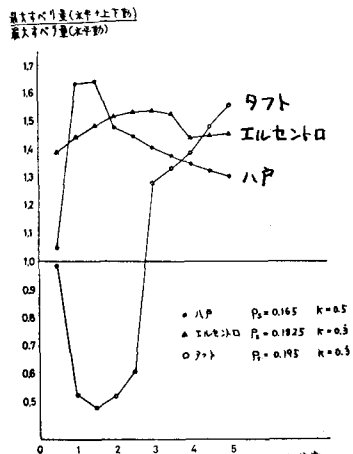


図6 上下動の大きさによるすべり量