

地震時斜面変形量のエネルギー的評価法の開発(その1)
 ~模型実験と剛体ブロックモデルの比較~

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治 石澤 友浩

学生会員 ○森谷 啓一郎 西田 京助 片桐 優貴 阪東 壘

1. はじめに

これまで地震による斜面安定の評価には、滑り土塊の力の極限つり合いにより崩壊に対する安全率を計算し、Newmark 法¹⁾ などにより滑り面に沿った変形量を求める方法が用いられてきた。それらの方法は崩壊の有無や滑り面に沿った剛体的な変形量の算定に適用されるものの、せん断変形を伴う崩壊や流動的崩壊を評価することは困難である。

本研究では、図-1 に示すように斜面の流動崩壊のエネルギーバランスを用いて、エネルギーの観点から斜面変形量を定量的に評価することを目指している²⁾。本稿では、単純な剛体ブロックモデルと振動台模型実験を比較することにより、剛体ブロックモデルによる残留変位量評価の可能性について検討した。

2. 剛体ブロックモデルと模型実験

図-2 に示すような滑り平面上を滑動する斜面上の剛体ブロックの滑動に関わるエネルギーを考えると、以下ようになる。

$$-\delta E_p = Mg\beta\delta_r \quad (1) \quad E_{DP} = \frac{\mu(1+\beta^2)}{1+\mu\beta} Mg\delta_r \quad (2)$$

$$E_{EQ} = \frac{(\mu-\beta)}{(1+\mu\beta)} Mg\delta_r \quad (3)$$

図-3(a)に示すような板バネ支持式小型振動台の上に矩形アクリル土槽を載せ、その中に試験体 A-1 として図-3(b)に示すような木製の斜面を作り、その上にサンドペーパーを貼り付けた鉄板を設置し斜面上を滑らせる。また、試験体 A-2 として図-3(d)に示すようにアクリル土槽内に模型乾燥砂斜面を作成した。

この振動台実験では、初期に振動台を水平方向に一定変位まで引張り、切離すことにより試験体に自由減衰振動を与える。一方、試験体 A-1,A-2 と質量、重心を一致させた剛体を完全に固定したモデル(試験体 B-1,B-2)についても同様な条件で実験を行った。試験体 A と試験体 B の減衰振動波形を比較することにより、試験体の滑動に使われる振動エネルギー E_{EQ} を算出した。図-4 に試験体 A-2 と試験体 B-2 の減衰振動波形の比較の 1 例を示している。また、振動台の入力振動数や斜面角度を変化させ、それらが試験体の変位量に与える影響についても検討した。

3. 実験結果

図-5 は鉄板の試験体 A-1 について異なる斜面角度、振動数による実験から得られた基準化振動エネルギー (斜面変形に使われる振動エネルギー E_{EQ} を崩壊物体重量 Mg で除した値) E_{EQ}/Mg と水平方向の変

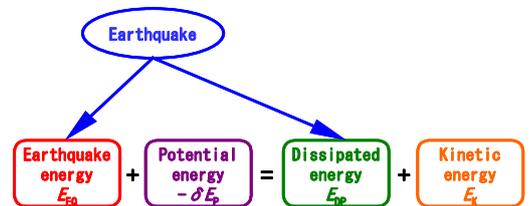


図-1 エネルギーバランス

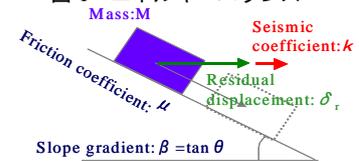
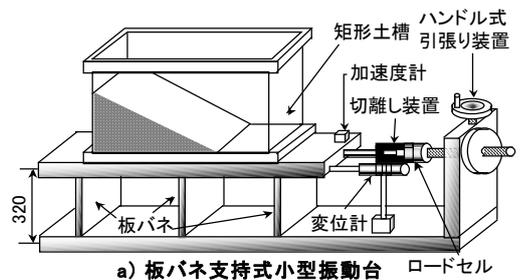


図-2 剛体ブロックモデル



a) 板バネ支持式小型振動台 ロードセル

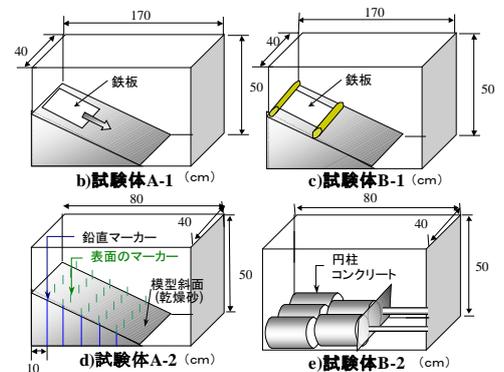


図-3 実験装置, 実験材料

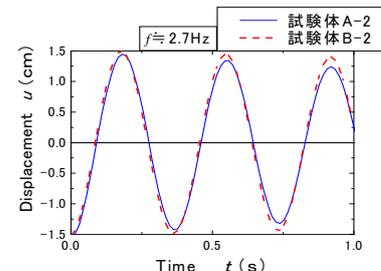


図-4 試験体 A-2 と B-2 の減衰振動波形の比較

キーワード 地震、エネルギー、斜面安定、振動台実験

連絡先 中央大学理工学部土木工学科土質研究室 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1799

位置 δ_r の関係を示したものである。これより今回変化させた振動数の範囲では、入力振動数によらず両者の間に斜面角度ごとにほぼ一意的関係が成り立っている。また、図中の直線は実験結果との一致が得られるように摩擦係数を $\mu = 0.53$ と設定した場合の式(3)から算定される理論的關係であるが、斜面勾配の違いに関わらず実験値と良く一致していることがわかる。

図-6には、乾燥砂斜面 (A-2) の振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の変位量 (表層面に挿入したマーカーの試験前後における水平変位量の平均値) $\delta_{rs}^{(2)}$ の関係を示している。同図より両者の間には明確な正の相関関係が見られ、振動数によらず斜面勾配毎に1本のカーブで近似できる。

図-7は乾燥砂斜面 (A-2) の基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向の変位量 δ_{rs} の関係を示している。砂斜面の場合においても、 $\mu = 0.86$ と設定したときの式(3)から算定される直線により、実験値が斜面勾配によらず良く近似できることが分かる。以上より、もし適切な摩擦係数 μ を推定することができれば、単純な剛体ブロックモデルによって、剛体だけでなく連続体的に変形する乾燥砂模型斜面においても振動エネルギー E_{EQ} により斜面変形量 δ_{rs} を精度良く評価できることが明らかとなった。

一方、図-8は図-5の実験結果に基づき最大加速度 $(A)_{MAX}$ (1波目の値) と変位量 δ_r の関係をまとめたものである。 $(A)_{MAX}$ の算定に当たっては、振動台切り離し時の加速度測定値のばらつきを避けるために、2波目以降の減衰曲線より1波目を外挿した。その結果、斜面角度、振動数毎に相関関係は見られるものの、斜面変形が生じ始める閾値までも振動数による差異があることがわかる。図-9の砂斜面の場合においても同じような傾向があり、振動数による差異が剛体の場合よりさらに大きい。これより斜面の変形量評価には、従来の加速度ではなく振動エネルギー E_{EQ} の方が適していると言える。

4. まとめ

- 1) 模型実験結果に剛体ブロックモデルの式を当てはめたとすると、適切な摩擦係数 μ を用いれば、剛体だけでなく乾燥砂斜面においても、異なる斜面勾配や入力振動数に対して斜面変形量を精度よく評価できることが分かった。
- 2) 一方、斜面に与える最大加速度と変位量の関係は振動数によって異なる。これより、斜面の変形量評価には、従来用いられてきた加速度よりもエネルギーの方が適していると言える。

【参考文献】

- 1) Newmark, N.W.: Effects of earthquakes on dams and embankments, *Fifth Rankine Lecture, Geotechnique* Vol.15, 139-159, 1965.
- 2) 石澤友浩, 國生剛治: エネルギー法による地震時斜面変形量評価方法の開発, 土木学会論文集 C, Vol.62, 論文 No.4, pp. 736-746, 2006.

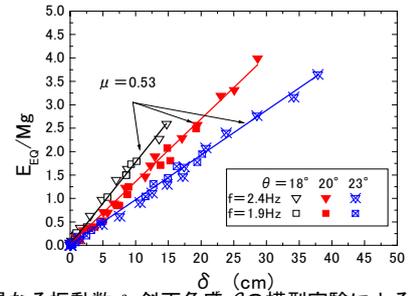


図-5 異なる振動数 f , 斜面角度 θ の模型実験による基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向の変位量 δ_r の関係 (試験体 A-1)

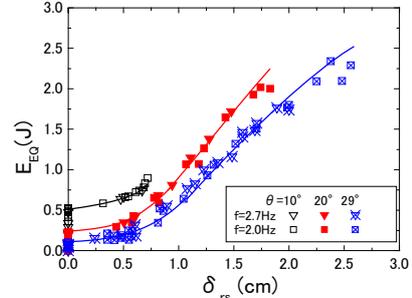


図-6 異なる振動数 f , 斜面角度 θ の模型実験による振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の変位量 δ_{rs} の関係 (試験体 A-2)

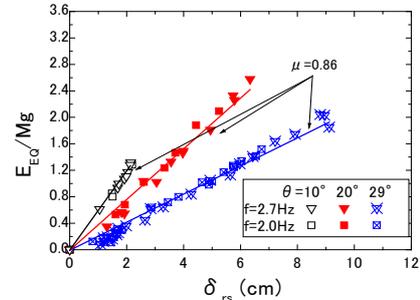


図-7 異なる振動数 f , 斜面角度 θ による基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向変位量 δ_{rs} の関係 (試験体 A-2)

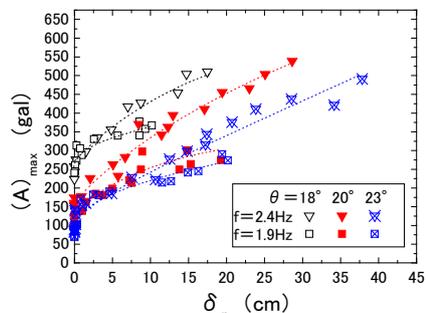


図-8 最大加速度 $(A)_{MAX}$ と水平方向の変位量 δ_r の関係 (試験体 A-1)

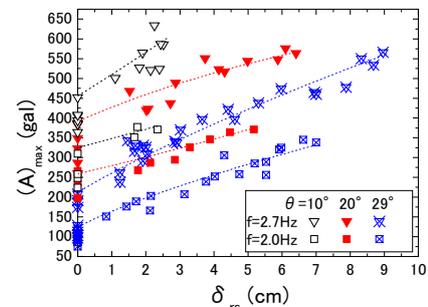


図-9 最大加速度 $(A)_{MAX}$ と水平方向の変位量 δ_{rs} の関係 (試験体 A-2)