

模型振動実験による斜面崩壊メカニズムのエネルギー的検討

中央大学理工学部 正会員 國生剛治

中央大学理工学部 学生会員 ○大波昌平 木野村有亮

1. はじめに

これまで、地震時の斜面安定の評価に際しては、滑り土塊のつり合いにより崩壊の有無を判断し、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、せん断変形を伴う長距離崩壊や流動崩壊を評価することは困難である。

本研究では、図-1(a)に示すように斜面崩壊のエネルギーバランスを用いて斜面崩壊を図-1(b)の斜面上の剛体ブロックモデルに置き換え、エネルギーの観点から斜面変形量を定量的に評価するための一連の模型実験を行っている²⁾。本稿では、模型斜面に用いた材料を変化させ実験データを分析することにより、振動数と斜面角度の違いが斜面変形量と振動エネルギーの関係に及ぼす影響や摩擦係数について検討した。

2. 実験方法

図-2(a)に示すような小型振動台の上に矩形アクリル土槽を載せ、その中に質量 30kg のガラスビーズを用いて作った模型斜面(以後、試験体 A)に加振した。模型斜面にはガラスビーズ A(直径 0.125~0.18mm), B(直径 0.18~0.25mm)の 2 種類を用いた。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、切離すことにより模型斜面に自由減衰振動を与える。斜面角度 θ をガラスビーズ A においては $\theta=18^\circ, 23^\circ$, B においては $\theta=18^\circ, 22^\circ$ と変化させた。模型斜面の変形量を計測するためには、横断面の鉛直マーカーと表層面のマーカーを 10cm 間隔で図-2(b)に示すように挿入し、試験前後にはレーザー変位計を用いて斜面全体の変形を測定した。振動台の振動数 f を変化させ、上記のガラスビーズ A においての実験を 3 種類の振動数 f について行った。また、模型斜面との比較として図-2(c)に示すように数個のコンクリート円柱からなる剛体モデル(以後、試験体 B)を用い、試験体 A と質量、重心が一致するように調節し、同様な条件に基づき試験を行った。

3. 分析方法

図-3 は減衰振動波形の比較である。この減衰振動波形より試験体 A の 1 波毎の損失エネルギー ΔW_A と試験体 B の 1 波毎の損失エネルギー ΔW_B を算出した。その結果を図-4 に示す。さらに模型斜面の変形で損失された 1 波毎の振動エネルギーの増分 ΔE_{EQ} を $\Delta E_{EQ} = \Delta W_A - \Delta W_B$ より計算し、それらの値を図中にプロットしている。次に実験前後の画像から、表面マーカーでの水平方向の変位の平均値を計算し、斜面の水平方向の平均変位量 δ_s を算出した²⁾。図-1(a)に示した位置エネルギーの変位量 $-\delta E_p$ は実験前後のレーザー変位計による斜面形状の変化から計算した。

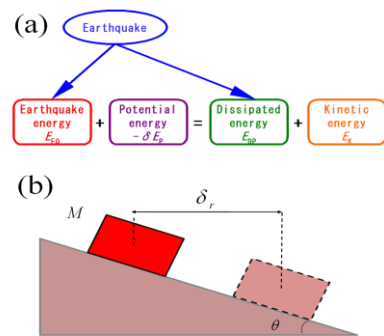


図-1 エネルギーバランス式(a)と剛体ブロックモデル(b)

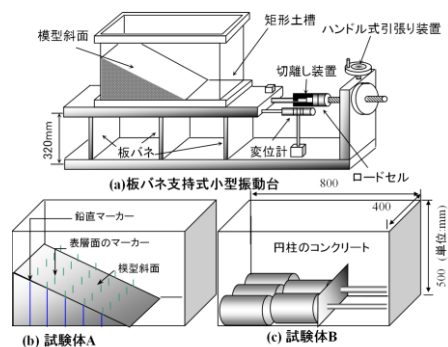


図-2 実験装置、実験材料

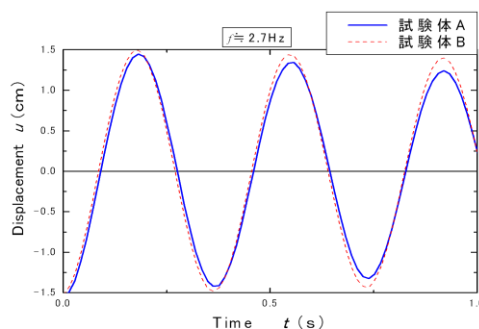


図-3 試験体 A と B の減衰振動波形の比較

キーワード 地震, 斜面安定, 振動台実験, エネルギー, 変形量

連絡先 〒112-8551 文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 Tel 03-3817-1799

4. 実験結果

図-5 は、模型斜面に用いた2種類の試料について、異なる斜面角度の条件で行ったいくつかの試験結果に基づき平均変位量 δ_{rs} に対する振動エネルギー E_{EQ} の関係を図示している。各斜面角度において変位量 δ_{rs} と振動エネルギー E_{EQ} 間に明確な正の相関が見られ、いずれの条件であっても1本のカーブに載るような傾向が見られる。また、同じ斜面変位量に対する振動エネルギーは斜面角度が小さいほど大きくなることからわかる。

以上の実験結果に図-1(b)に示す勾配 θ の斜面上にある剛体ブロックの滑り理論を適用するため、位置エネルギー変化 $-\delta E_p$ と水平移動量 δ_{rs} の関係の式 $-\delta E_p = Mg\delta_{rs} \tan \theta$ より基準化質量 M を算出する。図-6 はこの算出した M を用いて、図-5 と同じデータを M で基準化した振動エネルギー E_{EQ} / Mg と δ_{rs} の関係を図示している。こちらも両者の間に斜面角度毎にほぼ一意的な関係が成り立っている。また、図-1(a)の式において地震前後では $E_K = 0$ であり、

$$E_{EQ} = E_{DP} - (-\delta E_p) = Mgu_1 \tan(\phi - \theta)$$

となることから、図-6 のプロットの近似直線の勾配から等価な摩擦係数 $\mu = \tan \phi$ を求められる。近似直線がほぼ一致していることから、ガラスビーズ A, B の等価摩擦係数は $\mu = 0.62 \sim 0.63$ のほぼ同じ値をとっていることがわかる。

図-7 は、異なる初期振動台変位と入力振動数 f の条件で行ったいくつかの試験結果に基づき、基準化振動エネルギー E_{EQ} / Mg と平均変位量 δ_{rs} の関係を図示している。変位と基準化振動エネルギーの関係においても明確な正の相関関係が見られる。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毎にほぼ一意的な関係が成り立っており、振動エネルギーにより斜面変位量が一意に決められることが分かった。

5. まとめ

- 1) 斜面の変形に寄与する振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の斜面平均変位量 δ_{rs} の関係は、今回用いた2種類のガラスビーズでの大きな違いはなく斜面角度に依存することが示された。
- 2) さらに、基準化振動エネルギー E_{EQ} / Mg と水平方向の斜面平均変位量 δ_{rs} の関係は、入力振動数によらず一意的関係となり、等価摩擦係数が与えられれば振動エネルギーから斜面変位量が計算できることが分かった。

[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

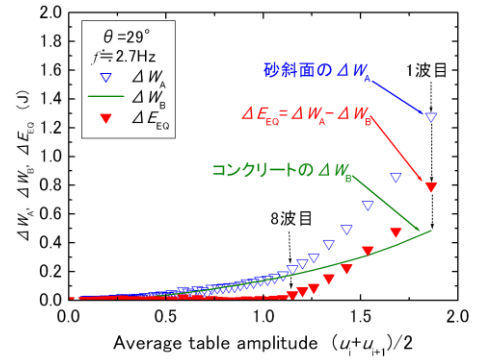


図-4 試験体 A, B の損失エネルギーの比較

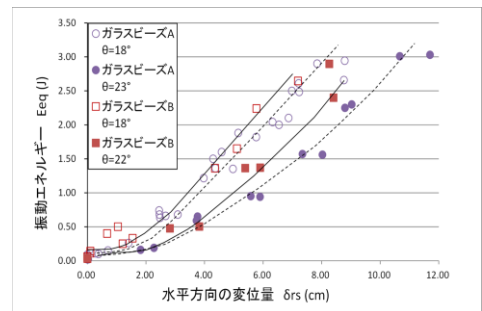


図-5 模型斜面に用いた試料毎の振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の変位量の関係

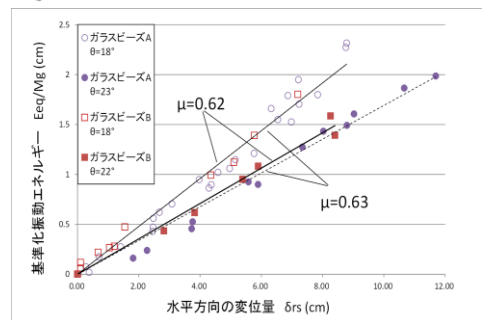


図-6 模型斜面に用いた試料毎の基準化振動エネルギー E_{EQ} / Mg と水平方向の変位量の関係

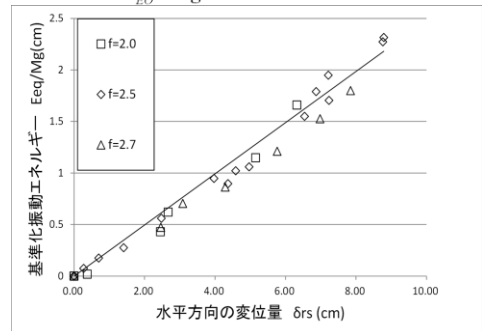


図-7 異なる入力振動数 f における基準化振動エネルギー E_{EQ} / Mg と水平方向の変位量の関係