

斜面崩壊量のエネルギー的評価法の開発
～ 模型実験による入力波の振動数と斜面角度の影響 ～

中央大学 正会員
学生会員

國生剛治
石澤友浩，○上原千輝，西田京助

1. はじめに

これまで，地震による斜面安定の評価には，滑り土塊の力の釣り合いが用いられてきた．この方法では，崩壊の有無の判断や滑り土塊のすべり面に沿った変形量の算定はできるが，大規模な崩壊後の土塊の変形量や流動量を評価することは困難である．

本研究では，図-1 に示すように斜面崩壊のエネルギーバランス¹⁾を用いて，エネルギーの観点から流動変形を含む斜面崩壊を定量的に評価することを目指し，振動台を用いた模型実験の手法を新たに開発した．本稿では，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について検討した．

2. 試験方法

図-2 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，その中に室乾状態の豊浦砂(質量 30kg)を用いて模型斜面(以後試験体 A)を作り，振動を加えた．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．模型斜面は空中落下法により相対密度 $D_r \approx 40\%$ で作製し，斜面角度 θ を $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 29^\circ$ と変化させた．さらに，振動台の上に 75 kg の鉄板を固定することにより，振動台の振動数 f を変化させ，2 種類の振動数 f について試験を行った．この一連の実験では，模型斜面の変形量を計測するために，横断面と表面に計測用マーカーを 10cm 間隔で図-2 に示すように挿入し，この模型斜面の変化を横と上の 2 点からビデオカメラで観察した．試験前後にはレーザー変位計を用いて斜面の変形を測定した．

また，模型斜面との比較として図-2 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. 試験結果

図-3 はそれぞれの振動数において初期振動台変位 $u_0 = 2.0$ cm の場合の減衰振動波形を示している．鉄板が無い場合，および 75 kg の鉄板を用いた場合の振動数 f_1, f_2 はそれぞれ約 2.7, 2.0 Hz であった．結果の一例として，斜面角度 $\theta = 29^\circ$ ，振動台の振動数が $f_1 = 2.7$ Hz における 1 波毎の損失エネルギー ΔW と振動台振幅の関係を図-4 に示す．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

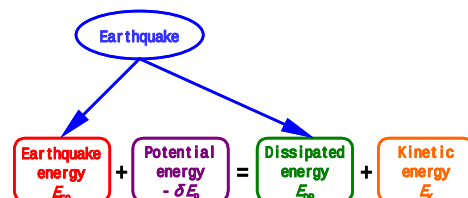


図-1 エネルギーバランス

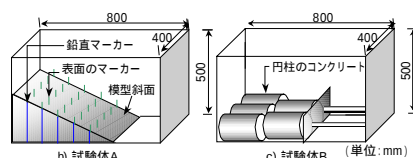
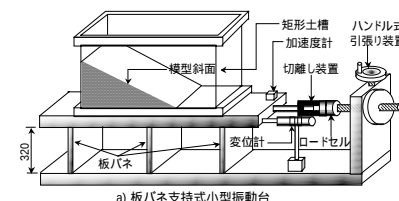


図-2 試験装置，試験試料

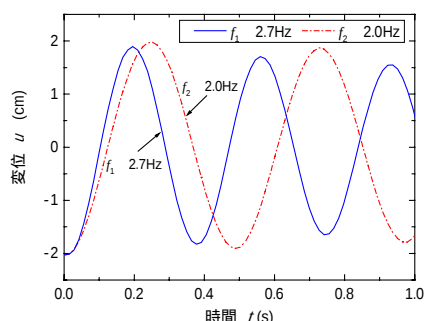


図-3 減衰振動波形の比較

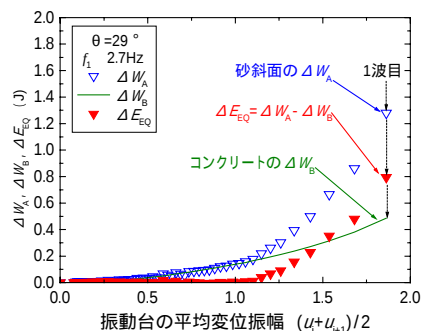


図-4 試験体 A, B の損失エネルギーの比較

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

毎の損失エネルギー ΔW_B (4 回の試験結果より得た近似曲線) を減衰振動波形より算出し, さらに模型斜面の変形で消費された 1 波毎の振動エネルギーの増分 ΔE_{EQ} を $\Delta E_{EQ} = \Delta W_A - \Delta W_B$ で計算し, それらの値を図中にプロットしている. このうち, ΔE_{EQ} は 8 波目以降ほぼ 0 になっている. これはビデオカメラの映像より変形が見られたのが同じ波数までであることと整合している.

次に試験前後の画像整理より, 鉛直断面, 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 $\delta_r^{(1)}$ を算出した. 図-1 に示した位置エネルギーの変化量 $-\delta E_p$ は試験前後の斜面形状の変化から計算した¹⁾. また, 図-4 に示した 1 サイクル毎の ΔE_{EQ} を合計し, E_{EQ} を算定した.

図-5 は, 異なる斜面角度と固有振動数 f の条件でおこなったいくつかの試験結果に基づき平均変位量 δ_r 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_r と振動エネルギー E_{EQ} の間に明確な正の相関関係が見られ, しかも, 振動数にほとんどよらず, 図-5 中の 1 本のカーブでほぼ近似できる. 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のが分かる.

一方, 一般的に斜面安定解析で用いられる加速度について同じ実験結果を整理した. 図-6 は各試験での最大加速度 $(a)_{MAX}$ (1 波目の値) と水平方向の平均変位量 δ_r の関係を示している. 振動台切離し時に発生する最大加速度は試験毎の変動が大きいため, 2 波目以降の減衰曲線より 1 波目を外挿した. この結果, 最大加速度 $(a)_{MAX}$ と平均変位量 δ_r の間には, 振動数及び斜面角度毎に明瞭な相関関係は見られる. しかし, 振動数, 斜面角度によりその関係は大幅に異なり, エネルギーのような普遍的な関係は得られない.

図-7 は, 初期振動台変位の異なる試験結果に基づき, 振動エネルギー E_{EQ} と位置エネルギー $-\delta E_p$ の関係を示している. 図中の破線は E_{EQ} と $-\delta E_p$ の間の直線近似を示している. この近似直線の傾き $-\delta E_p / E_{EQ}$ は斜面角度の減少と共に低下している. これより, 崩壊土塊中での損失エネルギー E_{DP} は, 斜面角度が大きい場合は主に位置エネルギー $-\delta E_p$ が当てられ, 逆に斜面角度が小さい場合は主に振動エネルギー E_{EQ} が当てられると解釈できる.

4. 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_r の間には, 振動数によらない一意的関係が成立することが示された.
- 2) 最大加速度 $(a)_{MAX}$ と平均変位量 δ_r の関係は振動数, 斜面角度によって異なる. 従来の斜面安定解析では加速度を用いて評価してきたが, 加速度の値は必ずしも破壊に対して直結していない.
- 3) 崩壊土塊中での損失エネルギー E_{DP} には, 斜面角度が大きいと主に位置エネルギー $-\delta E_p$ が当てられ, 逆に斜面角度が小さいと主に振動エネルギー E_{EQ} が当てられることが示された.

[参考文献] 1) 國生剛治, 石澤友浩, 原田朋史: 地震時の斜面崩壊のエネルギーの評価方法, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, 論文 No.346, pp. 1-8, 2003.

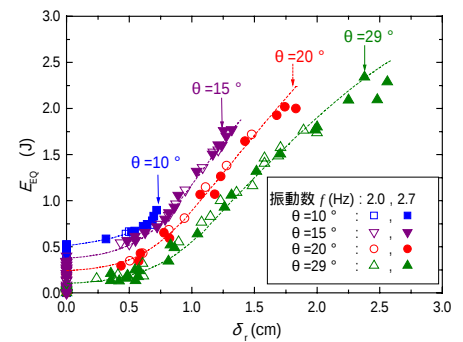


図-5 異なる入力振動数 f , 斜面角度 θ における振動エネルギーと水平方向の変位量の関係

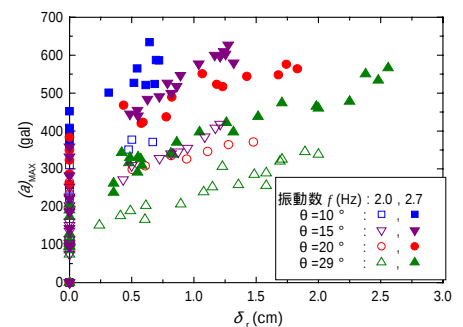


図-6 異なる入力振動数 f , 斜面角度 θ における最大加速度と水平方向の変位量の関係

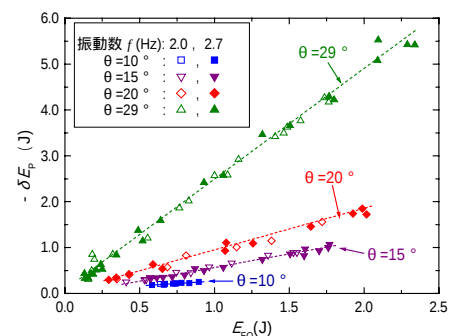


図-7 異なる入力振動数 f , 斜面角度 θ における振動エネルギーと位置エネルギーの関係