

斜面変形量のエネルギー的評価法の開発 ～模型斜面材料の違いによる影響～

中央大学 正会員 國生剛治

学生会員 ○西田京助 石澤友浩 上原千輝

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。しかし、それら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剛体的な変形量の算定はできるが、大規模な崩壊による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²⁾を用いて、エネルギーの観点から流動変形量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、模型斜面に用いた土質材料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. 実験方法

図-2(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、その中に質量 30kg の模型斜面(以後、試験体 A)を作り、振動を加えた。模型斜面には豊浦砂、石粉（非塑性シルト）、及びそれらを混ぜあわせた試料を用いた。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。模型斜面は空中落下法により相対密度 $D_r = 40\%$ で作製し、斜面角度 $\theta = 29^\circ$ とした。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(b)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。実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、模型斜面の滑りによる損失エネルギーを算出するため、図-2(c)に示すように複数のコンクリート円柱からなる質量、重心が同一の剛体モデル(以後、試験体 B)との対比を行った。図-3 は減衰振動波形の比較である。

3. 実験結果の整理

結果の一例として、模型斜面に豊浦砂を用いた場合の 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た。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 8 波目までであることと整合している。

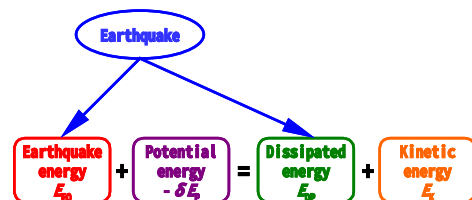


図-1 エネルギーバランス

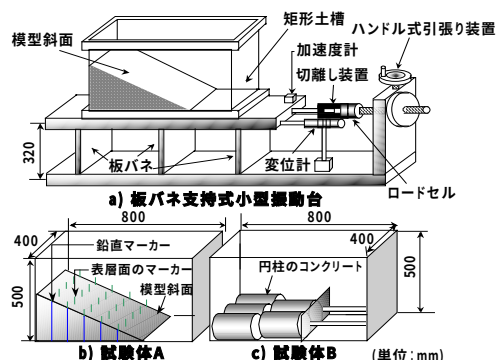


図-2 実験装置, 実験材料

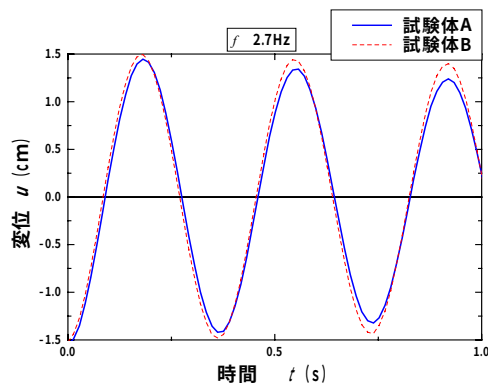


図-3 減衰振動波形の比較

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

次に実験前後の画像から、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 δ_r を算出した²⁾。図-1 に示した位置エネルギーの変化量 $-\delta E_p$ は実験前後の斜面形状の変化から計算した²⁾。また、図-4 に示した1サイクル毎の ΔE_{EQ} をすべてのサイクルについて合計し、 E_{EQ} を算定した。

4. 実験結果

図-5 に、振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の平均変位量 δ_r の関係を示す。振動エネルギーと平均変位量の関係は、それぞれの斜面材料毎に異なっている。また、細粒分含有率が高くなるにつれて、同じ水平方向の平均変位量に対する振動エネルギーは大きくなるのがわかる。

図-6 には振動エネルギー E_{EQ} と位置エネルギー $-\delta E_p$ の関係を示している。振動エネルギーと位置エネルギーの間には、材料毎に一意的な関係がみられた。図-1 のエネルギーバランス式で斜面崩壊終了後では $E_k=0$ であるので、 $E_{DP}=E_{EQ}+(-\delta E_p)$ となる。このことを考慮すると、崩壊土塊中での損失エネルギー E_{DP} に当てられるエネルギー比率として、細粒分含有率が小さい場合には位置エネルギー $-\delta E_p$ が大きくなり、逆に細粒分含有率が大きくなるに連れて振動エネルギー E_{EQ} が大きくなると解釈できる。

この斜面変形に寄与するエネルギー比率は単純な剛体ブロックモデルによる理論式²⁾では、斜面勾配 $\beta=\tan\theta$ と摩擦係数 $\mu=\tan\phi$ から次式で表現される。

$$\frac{-\delta E_p}{E_{EQ}} = \frac{\beta(1+\mu\beta)}{\mu-\beta} \quad (1)$$

この、式(1)より逆算した摩擦係数 μ を表-1 に示す。この計算結果より、細粒分含有率が高くなるにつれて剛体ブロックモデルに置き換えた場合の等価な摩擦係数が大きくなるのがわかった。

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_r の関係は斜面を構成する土質材料により異なる。
- 2) 崩壊土塊中での損失エネルギー E_{DP} に当てられるエネルギー比率として、細粒分含有率が小さいと位置エネルギー $-\delta E_p$ が大きくなり、逆に細粒分含有率の大きいと振動エネルギー E_{EQ} が大きくなるのが示された。
- 3) 斜面材料が変わると摩擦係数 μ も変化することがわかった。今後、さらに流動性の高い斜面崩壊を評価するために、地震の震動により摩擦係数が大幅に低下するような斜面材料を用いた実験を行う予定である。

〔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) 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的評価方法, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, 論文 No.346, pp. 1-8, 2003

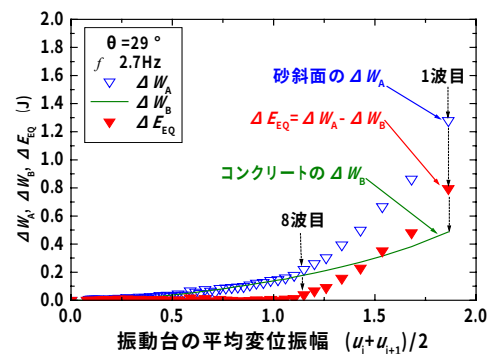


図-4 試験体 A, B の損失エネルギーの比較

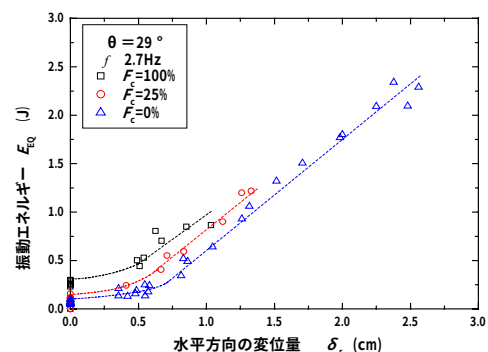


図-5 模型斜面に用いた試料の違いによる振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の平均変位量 δ_r の関係

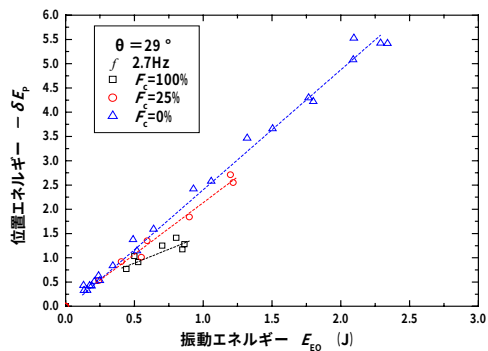


図-6 模型斜面に用いた試料の違いによる振動エネルギー E_{EQ} と位置エネルギー $-\delta E_p$ の関係

表-1 $-\delta E_p/E_{EQ}$ と摩擦係数 μ の関係

細粒分含有率 F_c	斜面角度 θ	斜面勾配 $\beta=\tan\theta$	図-6より $-\delta E_p/E_{EQ}$	式(1)より逆算値 μ
0%	29°	0.554	2.6	0.87
25%	29°	0.554	2.22	0.94
100%	29°	0.554	1.71	1.07