

エネルギー法による斜面変形が生じる閾値について

中央大学理工学部 正会員 國生剛治

学生会員 石澤友浩, 西田京助, 上原千輝

1. はじめに

従来、地震による斜面安定は、滑り面法や Newmark 法¹⁾などによる滑り土塊の力の釣り合いにより評価されてきた。しかし、この方法では、崩壊後の土塊の変形量や下流域への影響を評価することは困難である。そこで本研究では、地震により生じる斜面崩壊のエネルギーバランス²⁾を図-1に示すように考え、エネルギーの観点から斜面変形量を定量的に評価することを目指す。そこで、新たに開発した振動台を用いた模型実験を行い、斜面の崩壊が生じ始める閾値について振動エネルギーに着目し検討した。

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模型斜面を入れた矩形アクリル土槽を載せ、初期に振動台を水平方向に一定変位 u_0 まで引張り、切り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(以後、試験体 A)は、土槽内に室乾状態の豊浦砂(質量 30 kg)を用い、空中落下法により相対密度 D_r 40%、斜面角度 θ 10, 15, 20, 25, 29°の条件で作製した。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 と重量、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。斜面の変形量を計測するために、横断面の計測用マーカーと表面のマーカーを 10cm 間隔で図-2に示すように挿入し、横と上から 2 つのビデオカメラで観察し、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、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、上記の一連の実験を 2 種類の振動数 f について行った。

3. 試験結果

図-3は、振動台の初期変位 $u_0 = 1.5\text{cm}$ での試験体 A と試験体 B の減衰振動波形の比較を示している。同図には、試験体 A の斜面角度の異なる試験結果も示している。試験体 A と試験体 B の減衰振動波形には明瞭な違いが見られる。また、変形が有る場合や、斜面角度が大きい場合では、振動波形の減衰が大きいことがわかる。つまり、斜面変形の有無によって減衰振動波形に影響を与えていることがわかる。

図-4は、結果の一例として試験体 A の減衰振動より算出した 1 波毎の損失エネルギーの増分 ΔW_A と振動

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

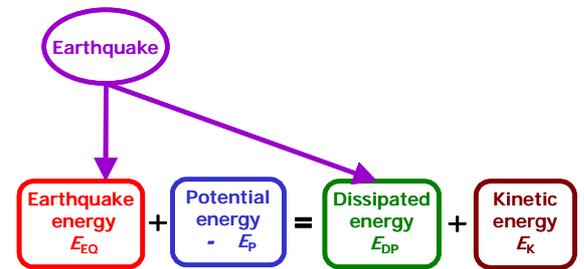


図-1 エネルギーバランス

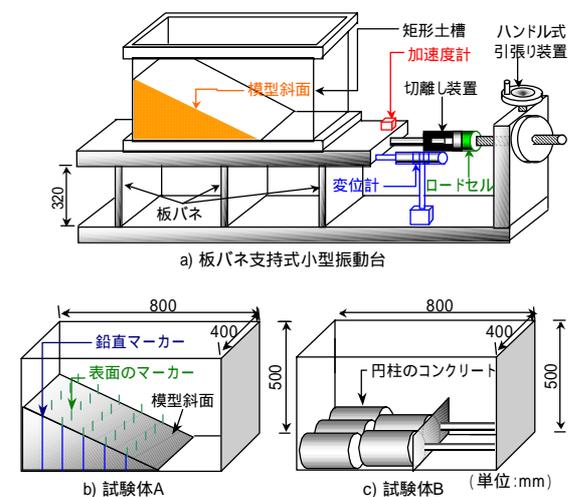


図-2 試験装置, 試験試料

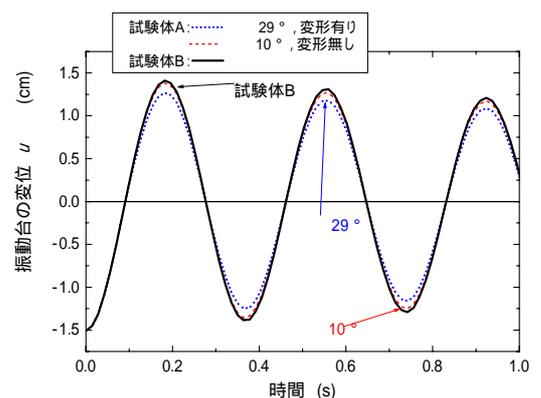


図-3 減衰振動波形の比較

台の平均振幅 $(u_i+u_{i+1})/2$ の関係を示している。図中に示す近似曲線は、同様な試験条件のもとでおこなった4回の試験結果より得られた試験体Bの損失エネルギーの ΔW_B を示している。また、模型斜面の変形で消費された振動エネルギーの ΔE_{EQ} は、次式より得ることができ、同図に示している。

$$\Delta E_{EQ} = \Delta W_A - \Delta W_B \quad (1)$$

図-4には、入力振動数 $f = 2.7\text{Hz}$ の場合において、初期振動台変位 u_0 が $0.7, 0.8\text{cm}$ について示しているが、 $u_0=0.8\text{cm}$ の場合には斜面変形が生じた。これは、ビデオカメラの映像より、1波目に変形が生じたことと整合している。

図-5では、斜面内部で失われる振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の変位量 δ_r の関係を示している。 E_{EQ} は試験終了までの斜面内部で損失する振動エネルギーを示し、 δ_r はビデオカメラの映像より得たマーカーの水平方向の平均変位量 $\delta_r^{(2)}$ を示している。この図に示す斜線で示した範囲は、斜面の変形が生じ始める振動エネルギー E_{EQ} の閾値を示す。その閾値は斜面角度が大きくなるにつれて減少する傾向が見られ、斜面角度が増大するほど小さな振動エネルギーで変形し始めることがわかる。また同図には、入力振動数 $f = 2.0\text{Hz}$ における試験結果も示しているが、斜面変形が生じ始める閾値は同様な傾向が見られる。これより、斜面変形が生じ始める閾値は、振動数によらず一意的に評価できることがわかる。

次に、図-5で示した実験結果を、加速度について整理した。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。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。この結果より最大加速度 $(A)_{MAX}$ と平均変位量 δ_r の間には、正の相関関係は見られるが、振動数、斜面角度によりその関係は大幅に異なり、図-5に示したエネルギーのように一意的な関係は得られない。

4. まとめ

- 1) 斜面変形が生じる始める閾値がエネルギーに着目することにより評価できることがわかった。
 - 2) 斜面角度が大きくなるにつれて変形が生じ始める閾値が減少する傾向が見られ、斜面角度が増大するほど小さな振動エネルギーで変形し始めることがわかった。
 - 3) 最大加速度 $(A)_{MAX}$ と斜面変位量 δ_r の間には、振動数によって差異が見られた。それに対し、斜面変形に寄与する振動エネルギー E_{EQ} と斜面変形量 δ_r の間には、振動数への依存は見られなかった。
- 以上より、今後、エネルギーに着目して斜面崩壊の発生条件について検討していく予定である。

（参考文献）

1) M. Newmark, "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.

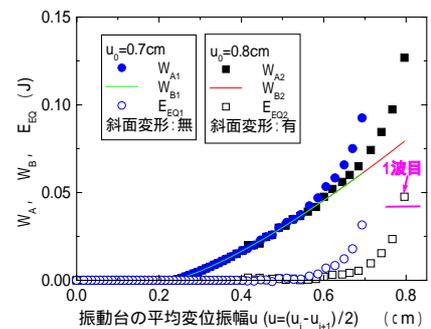


図-4 1波毎の試験体A, Bの損失エネルギー W の比較

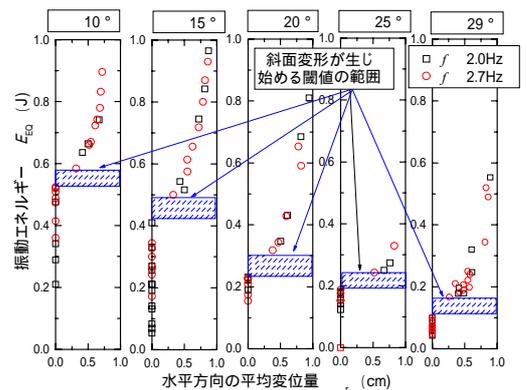


図-5 振動エネルギー E_{EQ} と水平方向の平均変位量 δ_r の関係

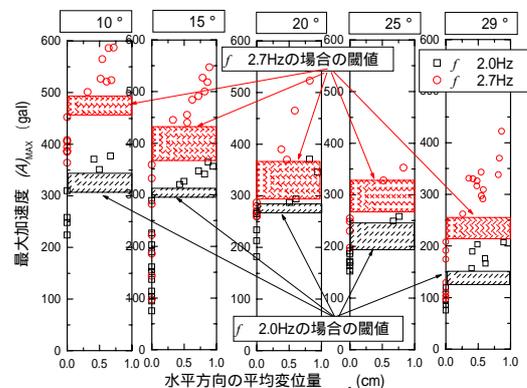


図-6 最大加速度 $(A)_{MAX}$ と水平方向の平均変位量 δ_r の関係