

斜面変形量と震動エネルギーの関係に与える振動数の影響

中央大学理工学部土木工学科

正会員

國生剛治

学生会員

石澤友浩

○鈴木伸平

1. はじめに

地震による斜面安定は、これまで滑り土塊の力の釣り合いにより評価されてきたが、大規模な崩壊が起こった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。そこで、本研究では震動エネルギーを用いて、斜面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。今回は振動台の振動数を変化させ、入力波の振動数の違いによる斜面変形量と震動エネルギーの関係について検討した。

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ことができる。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 $D_r \approx 40\%$ 、斜面勾配 $\beta \approx 29^\circ$ 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。試験体 A の変形量を計測するためには、横断面の計測用マーカーと表層面のマーカーを 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。今回は振動台の上に 120 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

鉄板が無い場合の振動数 f_1 は約 5.0Hz になり、120 kg の鉄板を用いた場合の振動数 f_2 は約 3.8Hz であった。図-3 はそれぞれの振動数においての初期変位 $u_0 = 2.0$ cm の場合の減衰振動波形を示している。

結果の一例として、まず、同じ入力震動エネルギー E_{IP} を与えた際の振動台の振動数が $f_1 \approx 5.0\text{Hz}$ 、 $f_2 \approx 3.8\text{Hz}$ においての試験体 A、B の 1 波毎の損失エネルギー ΔW_A 、 ΔW_B (4 回の試験結果より得た近似曲線)を図-3 の減衰振動波形より算出し、振動台のそれぞれの振動数においての模型斜面の変形で消費された 1 波毎の震動エネルギー ΔE_{EQ} を次式により算出した。

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

f_1 と f_2 における ΔE_{EQ} と振動台振幅の関係を図-4 に示している。 ΔE_{EQ} はともに 7 ~ 9 波目以降ほぼ 0 になっ

キーワード 地震, 斜面安定, 震動エネルギー, 振動台試験, 減衰

連絡先 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03(3817)1793 FAX (03)3817-1803

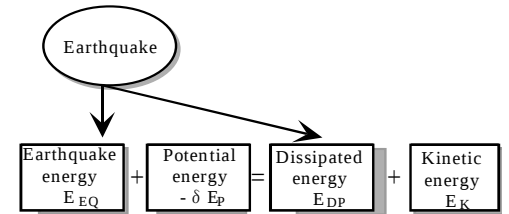


図-1 エネルギーバランス

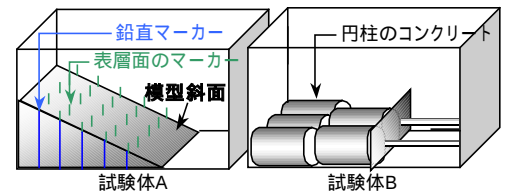
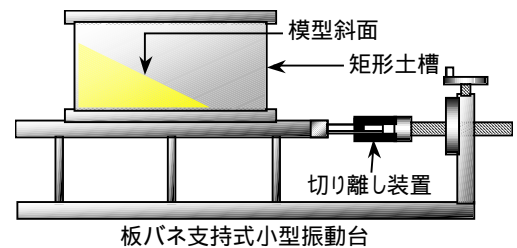


図-2 試験装置, 試験試料

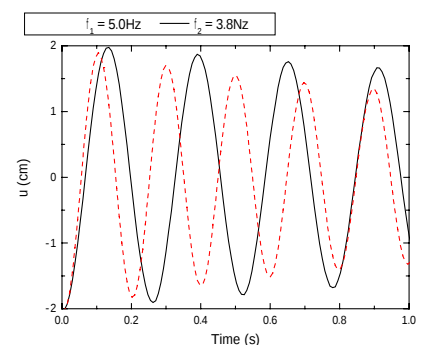


図-3 減衰振動波形の比較

ている。これはビデオカメラの映像より変形が見られた波数と整合している。図-5は、ビデオカメラとレーザー変位計より得た試験前後の横断面マーカーの変形を示している。図-4, 5より同じ入力震動エネルギー E_{IP} を与えたにもかかわらず、振動数が高い方が斜面変形に寄与する震動エネルギー ΔE_{EQ} が大きく、水平方向の変位量 δ_r も大きくなっていることが見られた。

ここで、一般的に斜面安定解析で用いられる加速度の影響をみるために、図-6に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。最大加速度の決定は切離し装置の影響による不安定性をさけるため2波目以降の近似曲線より1波目を外挿した。また、水平方向の平均変位量 δ_r はビデオカメラの映像より図-5に示す変形が見られる最も深い点を基準に各表層マーカーの水平方向の平均変位より算出した。この結果、最大加速度 $(a)_{max}$ と平均変位量 δ_r の間には、正の相関関係は見られるが、振動数により大幅に異なることが分かる。

次に斜面変形に寄与する震動エネルギーと水平方向の平均変位量 δ_r の関係を検討するために、斜面変形が終息するまで各サイクルごとに斜面内部で損失する震動エネルギーを加え合せた累積エネルギー E_{EQ} を算出し、平均変位量 δ_r に対する震動エネルギー E_{EQ} の関係を図-7に示している。変位量 δ_r と震動エネルギー E_{EQ} にも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-7中の1本のカーブで近似できる。

これらの結果より加速度よりエネルギーによる方が斜面変形の評価により適していることが明瞭に示された。

4. まとめ

振動数を変化させた模型実験により以下が明らかとなった。

- 1) 斜面変形量 δ_r と最大加速度 $(a)_{max}$ の間には、振動数によって差異が見られた。
- 2) それに対し、斜面変形量 δ_r と斜面変形に寄与する震動エネルギー E_{EQ} の間には、振動数への依存は見られなかった。つまり、振動数が変化しても震動エネルギー E_{EQ} が同じであれば変形量 δ_r はほぼ同じであると考えられる。
- 3) これらより、従来の斜面安定解析で用いられている加速度より、エネルギーの方が斜面変形の評価により適していると考えられる。

[参考文献]

- 1) 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法, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, 論文 No.346, pp. 1-8, 2003. 12.

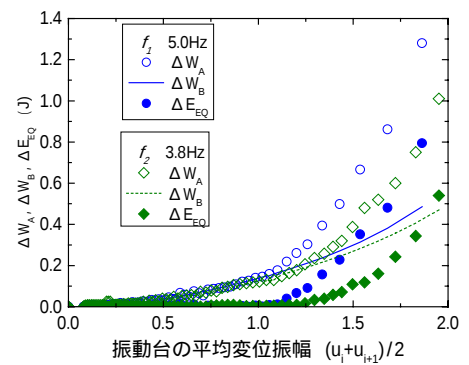


図-4 試験体 A, B の損失エネルギーの比較

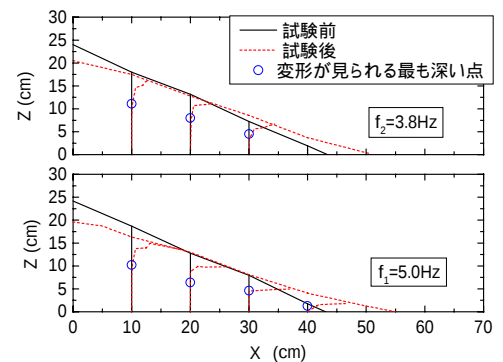


図-5 試験前後の横断面マーカー

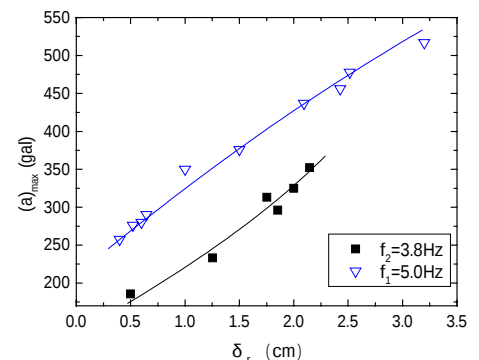


図-6 水平方向の平均変位量 δ_r に対する最大加速度 $(a)_{max}$ の関係

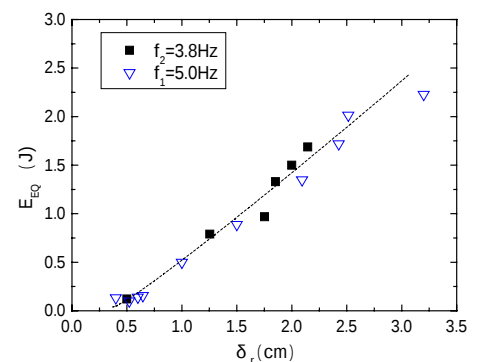


図-7 水平方向の平均変位量 δ_r に対する震動エネルギー E_{EQ} の関係