模型実験による斜面の変形量と損失エネルギーの関係

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治 学生会員 石澤 友浩 原田 朋史

1.はじめに

地震時の盛土・切土・自然斜面の不安定化メカニズムについては未だ不明な点が多く、先の兵庫県南部地震にお いても斜面の崩壊による大きな被害が生じている。従来より、地震時の斜面安定は静的震度によるすべり面法や地 震動時刻歴を用いた Newmark 法¹⁾による解析がされてきたが、いずれも力のつり合い条件に基づき、単一のすべ

40 cn

り面による剛体土塊のすべり破壊を仮定しているため、実際の地震時の 破壊モードとのへだたりが大きい。また破壊後の大きな変形量や下流へ の影響範囲の評価にはまったく無力である。これらの点を克服し、抜本 的な評価方法を開発するためには、地震時における斜面の不安定化メカ ニズムの理解に基づく、崩壊土砂変形量の合理的評価方法の確立が必要 である。斜面は地震により振動エネルギーが与えられ、このエネルギー 量がある限界を超えると、崩壊が起こり、その際に土塊はせん断・流動 などによりエネルギーを費やし、残留変形が生じると考えられる。ここ では以上のようなエネルギーの考え方に基き、振動台を用いた斜面模 型の実験により斜面の変形量と損失エネルギーの関係を検討する。

2.試験法概要

本研究では、上記で述べたエネルギー的検討を行うために、板バネ 支持式小型振動台を用いた模型実験を検討した²⁾。振動台を一定の初期 変位まで引張り、切り離すことにより斜面に自由減衰振動を与えた時に 豊浦標準砂からなる模型斜面(試験体 B)の変形・崩壊により損失するエ ネルギーを算出するために、同等な質量のコンクリート剛体モデル(試 験体 A)と振動の比較を行なう。試験体 B は図 1 に示すように模型斜面 の XY 平面に断面計測用のマーカーとして細かい粒径のビーズを 10cm 間隔で柱状に並べ、斜面表層の計測用マーカーとして、長さ 5cm、

0.8mm のマーカーを鉛直に表面から 2.5cm の深さまで、X,Z 軸方向に 10cm 間隔で挿入した。試験は、表1に示す条件で行い、3 つの試験体 B はともに豊浦標準砂を 60kg 用いて、相対密度 Dr(%)は約 40%であるが、 振動台の初期変位を約 0.5cm づつ変化させた。また、斜面の変形の様子 をビデオカメラにより XY,YZ 平面において撮影し、この映像から変形量 を数値化した。

3.結果、考察

図2は試験体Bの1波毎の振動台の変位と減衰定数hの関係を示したものである。各試験体とも与えた力が大きいほど、振動初期の減衰定数が大きく得られる。図3は各試験体の1波毎の振動台の平均変位振幅 (減衰自由振動での連続する2波の両振幅の平均の平均)dと損失エネル ギー W_B(J:ジュール)の関係を示している。試験体Aは表-1の条件

80cm 50cm 10cm 20cm 図-1 模型斜面 表-1 試験条件 W(N) 初期変位(cm) Dr(%) 試験体 豊浦標準砂 B0 0.51 292.8 40.1 60kg B1 1.05 548.9 39.8 R2 1 56 760.5 43.6 **B**3 2.02 993.2 40.2 0.08 0.07 R0 B1 0.06 B2 ∇ B3 数 0.04 復定 0.03 恤 0.02 0.01 0.00 0 1 2 3 7 8 9 10 11 12 13 14 15 4 5 6 波数 図-2 1 波毎の変位の減衰定数 4.0 W_ : B1 B2 B3 . 3.5 . A1 A3 W A2 (L) W Ew1 . Ew2 Ew3 3.0 2.5 失エネルギ 20 1.5 1.0 οŴ 0.5 0.0 0.2 0.4 0.8 0.0 0.6 1.0 1.2 1.4 1.6 振動台の平均変位振幅d(cm)

図-3 1 波毎の振動台の 平均変位振幅dと損失エネルギー

キーワード: 地震 斜面安定 減衰 振動台実験 エネルギー

連絡先 : 中央大学理工学部土質研究室 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

Tel : 03-3817-1799

と同様な試験を各試験体 A について 3 回行 い、その試験結果より得られる近似曲線よ り得た値である。振動台の平均変位振幅 d が小さくなるのに対応して、損失エネルギ ー W_A は明瞭な減少傾向を示している。同 じ変位振幅に対応した試験体 A0の損失エネ ルギー W_A と試験体 B の損失エネルギー W_B との差が斜面変形や崩壊により、斜面内 部で失われたエネルギー Ew(= W_B-W_A)である。つまり、 Ew は、試験装置など の減衰の影響などを差し引いた、模型斜面 の内部減衰による損失エネルギーだと考え られる。この Ew も振動台の平均変位振幅 が減少するほど減少している。図 4.5 は



XY,XZ 平面のマーカーのビデオ画像から計測した試験前後の模型斜面の 変形を示している。この画像から1波毎での斜面の変形の様子を見ると、 試験体 B0 については変形が見られなかった。試験体 B2,B3 については4 40 波目までマーカーの変形が見られた。与えるエネルギーが大きいほど変 30 形の範囲が大きく、逆に小さいほど表層面のだけの変形が見られた。図3 ŝ 20 N より試験体 B2,B3 については 5 波目以降に当たる Ew はほぼ 0 に近い値 10 になっている。このことから、斜面の変形量と斜面内部でのエネルギー 0 損失量には密接な関係があるといえる。また、このような測定値に基づ き、XY 断面においての鉛直マーカーの変形が見られる範囲において、図 4に示すマーカーの変形が見られる最も深い点を基準点として、この基準 点から X 軸方向についての相似図形³⁾により、すべり土塊の1波毎のマー 4.0 カーの平均変形量 を算出した。図6は、1波毎の斜面の平均変位量 に 3.5 3.0

対する位置エネルギー増分- Ep 、または損失エネルギー増分 Ew の関 係を示している。- Ep は 1 波毎に図 4 の測定値から斜面の持つ位置エネ ルギーの変化を計算したものであり、変形するほど減少するためマイナ スをつけている³⁾。図 6 より、振動による斜面崩壊には、振動エネルギー よりも位置エネルギーの変化の方が大きく寄与していることと、自由減 衰振動での各波数での斜面平均変位と - Ep, Ew とは何らかの正の相



図-5 各試験体 B の試験前後 の XZ 平面マーカーの変形



平均変位量 と- Ep と Ew

4.まとめ

関があることが読み取れる。

- ・ 斜面変形量と斜面内部エネルギー損失量には密接な関係が見られた。
- ・ 振動による斜面崩壊では振動エネルギーの消費量 Ew より位置エネルギーの変化量 Ep による寄与の方が大きいことが分かった。
- ひとつの自由減衰振動での破壊実験より得られる各波数での斜面の変形変位量 とエネルギー増分 Ep と
 Ew の間にある相関関係が見られた。

参考文献

Newmark, N.M.(1965): Effects of erthquakes on dams and embankments, Geotechnique15, No.2, pp139-160.
 (2),3) 石澤友浩 原田朋史 國生剛治:「斜面の地震時変形量のエネルギー的評価方法の検討(その1,2)」、第38回 地盤工学会、投稿中

-430-