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 学生会員 原田 朋史 学生会員 〇根本 進平

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残されている. 従来から, 地震時の斜面安定は静的震度を考慮した滑り面法や加速度時刻歴を用いた Newmark 法¹¹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,単一すべ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. そこで本研究では,流動的破壊を含む斜面崩壊のエネルギー的評価法の確立を目指し,次式のよ うなエネルギーバランスを用い,模型斜面の振動台試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.

 $Eeq-\delta Ep=Edp+Ek$ (1)

Eeq; 震動エネルギー, $-\delta Ep$; 位置エネルギー Edp; 消費エネルギー, Ek; 運動エネルギー

80cm

奥行き40cm

2. 試験方法概要

本試験では、単純な斜面の変形を模型実験で再現するために、 図-1に示すような板バネ支持式小型振動台を用いた.透明アクリ ル土槽の中に室乾状態の豊浦砂 60kg を空中落下させて相対密度 Dr ≈ 40%の模型斜面を作製し,斜面横断面と斜面表面にマーカー を挿入した.これを試験体 a とする.振動台を水平方向に一定の 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 与える.一方,斜面変形による消費エネルギーを挿出するために コンクリート剛体からなる試験体 b を同じ土槽中に作成し、同様 の振動を与え試験を行なう.この2つの試験体の重量・重心はほ ぼ同様となるよう調節する.試験体 b が内部変形の無視できる理 想剛体と考えれば、この試験体 a, b の減衰振動の差が、砂斜面の 変形や崩壊による消費エネルギーに反映すると考えることができ る.また、斜面の変形の様子を土槽の横と上からビデオカメラで 撮影し、この映像から斜面の変形量を数値化した.このような試 験を振動台の初期変位を段階的に変化させて試験を行なった.

3.結果,考察

図-2は、振動台の初期変位2.0cm、重量60kgにおける試験体a (砂斜面)と試験体b(コンクリート剛体)の半波長毎の振幅比から 計算した減衰定数Dを示している.波数が増加するにつれて試験 体a,bともに減衰定数は明瞭に減少している.砂斜面の減衰定数 は、数箇所ばらつきが見られるが、これは振動方向に対する斜面 の変形量の違いが関係していると思われる.

図-3は、試験体a,bより半波長毎に計算した1サイクル当りの 損失エネルギームWa, ムWbと振動台の平均変位振幅

 $u \left[u = (u_1 + u_{i+1})/2 \right]$ の関係を示している. ΔWb は、同様な試験条件下で数回の試験結果により得られた試験体 b の損失エネル

 土槽
 20cm
 50cm

 近期均
 板パネ

 正
 振動方向

 0.5
 波目

 1.5
 波目

 2.3
 2

 図-1
 試験装置



図-2 試験体 a, b の減衰定数 D と波数 N の関係

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木工学科土質研究室 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

ギーの近似曲線を示している.また,図中に示す Δ*Eeq*は,試験体 a,bにおける損失エネルギーの半波長毎の増分の差を示している.

 $\Delta Eeq = \Delta Wa - \Delta Wb \qquad \cdots \qquad (2)$

つまり, *△Eeq* は模型斜面の変形で消費された振動エネルギーの増 分を示している. *△Eeq* は 5 波目以降ほぼ 0 に収束しているが, こ れはビデオによる観察で模型斜面の変形が試験開始から 5 波目まで に限られていたことと整合している.

図-4 は、半波長毎の断面鉛直マーカーの変化を示している.図-1に示すように振動方向の正,負を定義している.ビデオ画像から、振動台が正の方向に動く場合も、負の方向に動く場合も共にマーカーは斜面の下流側に変形している、特に振動台の変位 u が負の範囲で加速度が最大になる付近ではマーカーの下流側への変形が大きいことが分かった.図-2 に見られる砂斜面の減衰定数のばらつきはこの影響と思われる.また、土塊の滑り速度はそれほど速くないことも確認できたので、運動エネルギーEkを無視することができる.これらの結果より、式(1)のエネルギーバランスを考えると、次式が成り立つ.

 $\Delta Edp = \Delta Eeq - \Delta \ \delta Ep \qquad \cdots \cdots (3)$

図-5は、半波長毎の振動エネルギーの変化量 ΔEeq とビデオ画像 の斜面変形から算定した位置エネルギーの変化量- $\Delta \delta Ep$ の関係を 示している.また、斜面の変形量 $\Delta \delta r$ も同じ図に示した.斜面の 残留変形は 5 波目まで見られ、振動エネルギーや位置エネルギーの 変化傾向とほぼ整合していることがここでも確認できる.図-3~6 より、振動方向と斜面の変形量には明瞭関係があり、それがエネル ギーにも反映していることが分かる.

図-6は、初期変位を段階的に変化させて行なった試験結果に基づき、斜面の変形量 *δr* と震動エネルギー*Eeq*(斜面の変形が終息するまでの *Δ δr*, *ΔEeq*.を合計した値)の関係を示している.斜面の変形量と震動エネルギーの間には正の相関が見られるが、下に凸の非線形関数である.この曲線は原点を通らない.すなわち、砂斜面はすべり変形を起こさなくても微小なエネルギーが消費され、ある限界の震動エネルギーを超えるとすべりが起こりはじめることを意味しているといえる.

4.まとめ

- ・ 半波長毎に整理すると、振動方向と斜面の変形量、震動エネル ギーの間には明瞭な関係がある。
- ・ 斜面の変形量 δr と震動エネルギーEeqの間には正の相関が見られ、ある限界値以上で斜面変形がおきる.

参考文献

 Newmark, N.M.(1965): Effects of earthquakes on dams and embankments, Geotechnique15, No.2, pp139-160.



図-3 半波長毎の試験体 a, b の損失エネルギー比較



2.5 2.5 Eeq Εp 2.0 2.0 C பி 1.5 1.5 Ε 1.0 1.0 Eeq 0.5 0.5 0.0 0.0 0 2 3 波数 N 5 4

図-5 半波毎の r と震動エネルギーの変化量 *Eeq*と位置エネルギーの変化量 - *Ep*の関係



震動エネルギーEeq の関係