

斜面の地震時変形量のエネルギー的評価方法の検討

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残されている。従来より、地震時の斜面安定は静的震度を考慮した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。いずれも力のつり合い条件に基づき、単一の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き、崩壊土砂変形量の合理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・流動などにより位置エネルギーを費やし、残留変形が生じると考えられる。この際に費やされた振動エネルギーや位置エネルギーと残留変形量の基本的関係を調べるために小型振動台を用いた試験を行い、減衰定数、損失エネルギー量からその有効性を検討した。

2. 試験方法

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のような板バネ支持式小型振動台を用いることにした。試験方法は透明アクリル土槽(縦 50cm × 横 80cm × 奥 40cm)の中に室乾状態の豊浦標準砂による斜面模型を作製し振動台を一定の初期変位から解放することにより、自由減衰振動を加える。この斜面模型を『試験体 B』と呼ぶことにする。その際、変位計、加速度計、

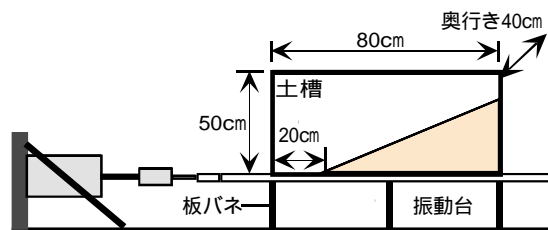


図-1 試験装置

ロードセル、ビデオ測定、レーザー変位計などにより加えた振動や試験体の変形量を計測する。一方、模型斜面の変形や崩壊によって失われるエネルギーを算出するために、この研究では次のような工夫を試みている。すなわち、斜面模型の代わりに、全く同じ重量の剛体モデル（コンクリート円柱）を土槽中に剛結して、全く同じ方法で振動試験を行う。これを『試験体 A』と呼ぶことにする。試験体 A と B について、自由減衰振動による試験を行うと、変位に差が出る。試験体 A が内部変形の無視できる理想的剛体と考えれば、A、B 両者の減衰振動の差は、砂斜面の変形によって失われるエネルギーを反映していると考えられる。したがって、本試験では減衰振動から読み取った減衰定数の違いから、砂斜面の内部で失われるエネルギーを算出することを試みる。

3. 試験体作成方法

・試験体 A・・・数個のコンクリートの円柱を土槽内で動かないように固定する。総重量が砂の斜面模型と同じであるだけでなく、重心位置もなるべく近くになるようにしている。

・試験体 B・・・土槽端より 20cm のところを法尻とし、そこから斜面を作成している。斜面作成方法は、総重量からあらかじめ相対密度と斜面の勾配を決め、土槽をその斜面の勾配がほぼ水平になるように傾け、決められた高さからルートで砂を落とす空中落下法により作成している。また、透明な側壁に断面計測用の鉛直マーカーとして、粒径 2.00～0.85mm のカラービーズの柱を設ける。作成方法は、先に土槽の壁面 10cm ごと縦に 2 つ割りのパイプを貼り付け、砂斜面を作成後に、パイプの中にビーズを詰めてから、パイプを抜いて仕上っている。さらに、斜面表面の計測用マーカーとして、10cm 刻みに長さ約 5cm の乾麺を斜面垂直に 2.5cm さしている。計測用マーカーの変形はビデオカメラにより撮影する。また、レーザー変位計により縦横 5cm 刻みで試験前後の斜面表層を測定し、試験

キーワード：地震、斜面安定、減衰定数、振動台試験、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 TEL03-3817-1799

による斜面表層のすべりや沈下による変形量を測定する。

4. 試験結果

試験条件を、表-2 に示す。『試験体 C』は、空の土槽のみの状態である。図-3 は、各試験体の振動変位振幅から求めた 1 波毎の減衰定数 h^2 の推移を示している。各試験体とも、1~3 波目まで大きな値をとり、それ以降徐々に一定の値に収束していく傾向が見られる。また、各試験体とも初期に与えた力または変位が大きいほど、右下がりの大きい傾向が見られる。試験

体 B については、試験体 A、C より大きな減衰定数の値をとっているのが確認できる。さらに、試験体 A と C を比較すると、ほぼ同じ傾向で、同じような値をとっているのが読み取れる。試験体 A と C の減衰定数がほぼ同じ値で傾向が似ていることにより、振動台上のモデルの重量は減衰定数に大きな影響を与えないと考えられる。各試験体の減衰定数 h と 1 波毎に与えたひずみエネルギー W の関係を用いて、エネルギー損失

W について算定³⁾をしたところ図-4 のような結果が得られた。図-4 は、各試験体の 1 波毎の損失エネルギー量の推移を示している。各試験体とも、1,2,3 波目のエネルギー損失が大きく、波数が増すにつれて損失エネルギーが 0 に近づいていく傾向が読み取れる。また、試験体 A、B とともに与えた力が大きいほど損失エネルギーが大きいことが分かる。

試験体 B と試験体 A の損失エネルギーの差が、斜面の変形により使われたエネルギーと考えられる。図-5 は、各試験体での初期変位と 1 波目の損失エネルギー量の関係を示している。初期変位(与える力)を大きくすると、損失エネルギー量も大きくなり、また試験体 A、B の差も大きくなるのが分かる。ビデオ測定で確認すると、初期変位(与える力)が大きいほど斜面形状の変形の度合いが大きいことが分かった。これらの事より、初期変位(与える力)が大きいほど、振動エネルギーの斜面変形による損失が大きくなると考えられる。

5. まとめ

・本研究では、地震時の斜面安定評価を抜本的に改善することを目的として、エネルギー的に斜面の変形量を評価するための模型実験手法の基本的な可能性を明らかにした。

・砂斜面の試験体が崩壊する時にはコンクリート剛体の試験体より明らかに余分な損失エネルギーが生じていることが測定できた。また、初期変位(与える力)が大きいほど斜面変形も大きく、損失エネルギー量の値も大きいことが確認できた。したがって、この模型実験手法により、斜面変形によって使われるエネルギー(損失エネルギー)を求めることができることが確認できた。

【参考文献】

1)Newmark, N.M.(1965): Effects of earthquakes 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

表-2 試験条件

	試験体	Dr(%)	Vmax (cm)	W0 (N)
コンクリート 60kg	A1	[Diagram]	0.99	512.0
	A2		1.47	746.5
	A3		1.95	990.5
豊標準砂 60kg	B1	37.7	1.03	540.7
	B2	43.0	1.49	784.8
	B3	41.4	1.98	990.5
土槽のみ	C1	[Diagram]	1.00	555.1
	C2		1.47	803.9
	C3		1.96	1052.7

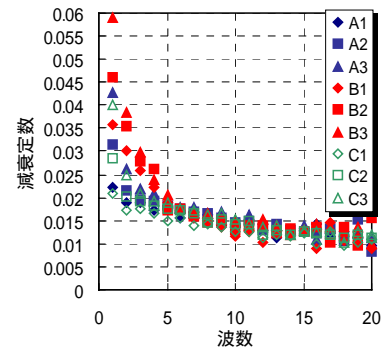


図-3 各試験体の 1 波毎の減衰定数 h の推移

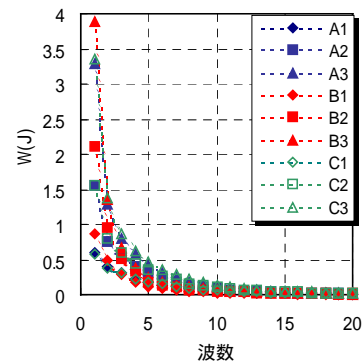


図-4 各試験体の 1 波毎の損失エネルギー量の推移

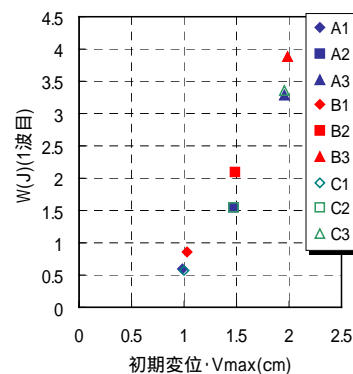


図-5 初期変位と 1 波目の損失エネルギー量の関係