

## 斜面模型振動台実験結果を用いたエネルギー量の考察

防衛大学校 学生会員 ○高倉 太希  
 防衛大学校 正会員 篠田 昌弘・宮田 喜壽  
 鉄道総合技術研究所 正会員 中島 進  
 東京大学 正会員 渡邊 健治  
 日本大学 正会員 中村 晋  
 東北大学 正会員 河井 正  
 原子力規制庁 正会員 中村 英孝

### 1. はじめに

我が国は国土の約7割が山地で構成されており、大規模な地震発生の度に大規模な斜面崩壊が発生してきた。これらの斜面崩壊が発生することで、甚大な人的・物的被害が生じることから、早期に被害状況の把握や二次被害の防止にあたる必要がある。本研究では地震動のエネルギーと斜面の持つエネルギーを対象として、過去に実施した一連の振動台実験結果を用いて、エネルギーに関する検討を実施した。

### 2. 本研究の目的

地震発生時の斜面すべりの計算は、これまで滑り土塊の力の釣り合いに基づいて評価されてきた。この方法では斜面崩壊の発生の有無を安全率を用いて算定して、斜面を構成する地盤が降伏すると、斜面土塊を剛体と仮定して残留変位量を求める。得られる残留変位量は、実際の斜面土塊の変位量と近い値が得られるものの、精度向上の余地が残されている。本研究の最終的な目標は、斜面の残留変位量を入力地震動のエネルギーと斜面崩壊を支配するエネルギーのエネルギーバランスに基づいて求めることである。そのため、本検討では、過去に実施した一連の振動台実験結果<sup>1)</sup>を用いて、地震動のエネルギー、斜面土塊の位置エネルギー・仕事量について検討を実施した。

### 3. 振動台実験の概要

ここでは、過去に実施した一連の振動台実験<sup>1)</sup>の概要について説明する。図-1に斜面模型を示す。斜面模型は、基盤層、弱層、表層の三層で構成され、弱層の勾配を変化させた斜面モデルとした。斜面勾配は35度、40度、45度とした。基盤層、弱層、表層の物性を表-1に示

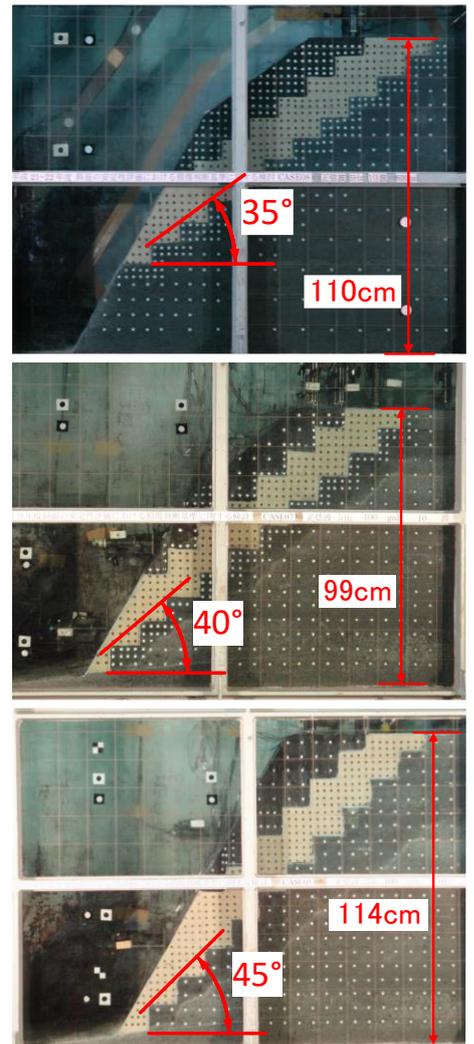


図-1 振動台実験で使用した模型

表-1 各層の物性値

	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 (度)		粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	
		ピーク時	残留時	ピーク時	残留時
基盤層	18.9	57.3	53.4	280.5	5.4
弱層	16.6	39.5	36.3	2.9	1.7
表層	30.0	0	28.4	107.4	34.4

キーワード 斜面崩壊, エネルギー, 斜面安定性評価, 振動台  
 連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校  
 Tel : 046-841-3810(3512), E-mail : shinoda@nda.ac.jp

す。詳細は、文献(1)を参照されたい。振動台実験における入力波形は、5Hz の正弦波 10 波として、100Gal から 100Gal ずつ段階的に増加させ、模型が大崩壊に至った段階で実験を終了した。

4. エネルギーによる検討

(1) Arias Intensity による評価

$$I_{A1} = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_d} \ddot{X}^2 dt \tag{1}$$

まず、振動台上の水平加速度から求めた Arias Intensity は、式(1)を用いて算定する。ここで、 $I_{A1}$  は振動台上の Arias Intensity、 $T_d$  は加振時間、 $\ddot{X}$  は振動台上の水平加速度である。なお、本検討で用いた振動台実験結果は、全て水平加振であるため、振動台の鉛直加速度はゼロである。上記と同様に、斜面土塊の水平・鉛直成分から求めた Arias Intensity は、式(2)を用いて算定する。ここで、 $I_{A2}$  は斜面土塊の Arias Intensity、 $\ddot{x}$  は斜面土塊の水平加速度、 $\ddot{y}$  は斜面土塊の鉛直加速度である。図-2 に振動台上の加速度と、斜面土塊の水平・鉛直成分から求めた Arias Intensity を示す。図-2 から 45 度の加振後半を除き、全てのケースで振動台と斜面土塊の Arias Intensity が等しいことが分かる。

$$I_{A2} = \frac{\pi}{2g} \left( \int_0^{T_d} \ddot{x}^2 dt + \int_0^{T_d} \ddot{y}^2 dt \right) \tag{2}$$

(2) 位置エネルギー増分と仕事量による評価

$$\Delta E_1 = mg\Delta h \tag{3}$$

斜面土塊の位置エネルギー増分は、式(3)を用いて算定する。ここで、 $\Delta E_1$  は斜面土塊の位置エネルギー増分、 $m$  が斜面土塊の質量、 $\Delta h$  が斜面土塊の鉛直変位量である。斜面土塊の仕事量は、斜面土塊底面に発生する摩擦力に斜面の変位量を乗じたものと定義する。ここで、斜面土塊底面に発生する摩擦力は、式(4)を用いて算定する。ここで、 $R$  は斜面土塊底面に発生する摩擦力、 $\alpha$  は斜面勾配、 $\phi$  は斜面地盤のピーク時の内部摩擦角である。なお、式(4)で示す摩擦力は地盤の粘着力の影響は小さいと仮定して無視している。斜面土塊の仕事量は、式(5)を用いて算定する。ここで、 $E_2$  は斜面土塊の仕事量、 $\sqrt{x^2 + y^2}$  は斜面土塊の変位量である。図-3 に斜面土塊の位置エネルギー増分と仕事量の関係を示す。図-3 から 45 度の加振後半を除き、全てのケースで斜面土塊の位置エネルギー増分と仕事量が等しいことが分かる。

$$R = (mg \cos \alpha + m\ddot{x} \sin \alpha + m\ddot{y} \cos \alpha) \tan \phi \tag{4}$$

$$E_2 = R\sqrt{x^2 + y^2} \tag{5}$$

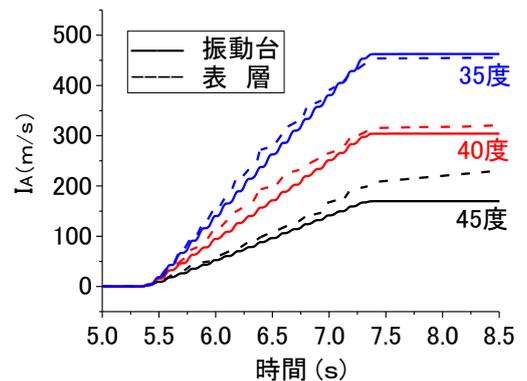


図-2 Arias Intensity と時間の関係

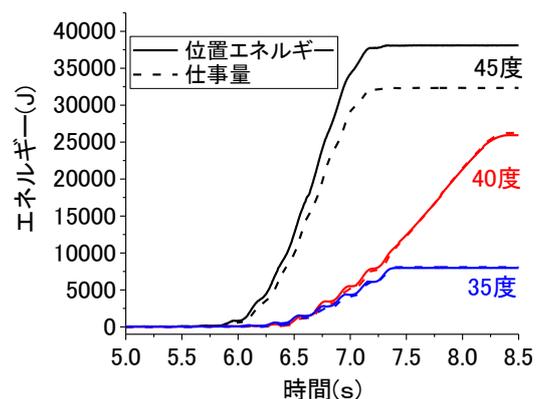


図-3 斜面土塊の位置エネルギーと仕事量

5. まとめ

本検討では過去に実施した一連の振動台実験結果を用いて、地震動のエネルギー、斜面土塊の位置エネルギー・仕事量について検討を実施した。その結果、振動台と斜面土塊の Arias Intensity が等しいこと、斜面土塊の位置エネルギー増分と仕事量が等しいことが分かった。今後は、摩擦力算定に用いる適切な地盤強度定数について検討すると共に、他の振動台実験結果を用いて検討する予定である。

参考文献

1) Shinoda, M., Watanabe, K., Sanagawa, T., Abe, K., Nakamura, H., Kawai, T. and Nakamura, S., Dynamic behavior of slope models with various slope inclinations, Soils and Foundations, Vol. 55, No. 1, pp.127-142