

複数の斜面模型振動台実験結果を用いた Arias Intensity と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

大規模な地震による斜面崩壊により甚大な人的・物的被害が生じてきた．よって早期に被害状況を把握し，二次被害の防止・迅速な初動体制の確保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行った．

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が，これにより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^{1),2)}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・摩擦力による仕事量について検討を行った．

3. 振動台実験の概要

今回の検討については(公財)鉄道総研の所有する小型振動台・中型振動台及び防衛大学校の所有する小型振動台の計 3 台で行った振動台実験を元に実施した．図-1 に斜面模型の一例を示す．また，表-1 に検討を行ったケースの条件を示し，表-2 に弱層材料の物性値を示す．全てのケースで基盤層構築後，弱層，表層を構築した．入力波については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．

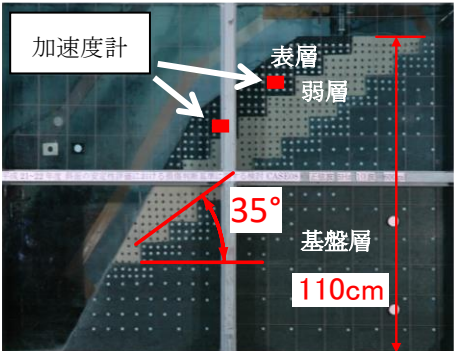


図-1 斜面模型の一例 (Case4)

表-1 各ケースの条件

Case	斜面勾配	高さ	弱層	入力波	振動台
1※	40 度	60cm	A	正弦波	小型 防大
2※				水平のみ	
3				正弦波 水平鉛直同位相	
4	35 度	110cm	B	正弦波 水平のみ	小型 鉄道総研
5	40 度	99cm			
6		114cm			
7	45 度	260cm	C	不規則波	中型 鉄道総研

表-2 弱層の物性値

材 料		A	B	C
単位体積重量 (kN/m ³)		16.6	16.7	21.8
ピーク	内部摩擦角 (度)	39.5	39.1	40.3
	粘着力 (kN/m ²)	2.9	0.0	5.8
残留	内部摩擦角 (度)	36.3	36.5	34.0
	粘着力 (kN/m ²)	1.7	0.0	3.4

※) Case1 と Case2 は再現性確認のため同条件

キーワード 斜面崩壊，斜面安定性評価，振動台，エネルギー，Arias Intensity
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

4. エネルギーによる検討

(1) Arias Intensity による評価

まず、振動台上の水平・鉛直加速度から求めた Arias Intensity (I_A) 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、 $\ddot{Y}$ は振動台上の鉛直加速度である。上記と同様に、斜面土塊の水平・鉛直加速度から求めた I_A 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 に振動台の I_{A1} と、斜面土塊の I_{A2} の関係を表す。なお、図-2 の I_A は各ケース表層 I_A 、振動台 I_A のいずれかの最大値で除して正規化している。図-2 から 1:0.75 から 1:1 の範囲に収まっており、振動台と斜面土塊の I_A がほぼ一致している。

Case7 など一致していない理由として、表層部の加速度増幅の影響が挙げられる。

(2) 位置エネルギー増分と仕事量による評価

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、 ΔE_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、 Δh 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、 α は斜面勾配、 ϕ は斜面地盤の残留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。

なお、図-3 のエネルギーは各ケース仕事量、位置エネルギーのいずれかの最大値で除して正規化している。図-3 から 1:0.85 から 0.65:1 の範囲に収まっており、斜面土塊の位置エネルギー増分と仕事量の差が小さいことが分かる。Case6 や Case7 など一致していない理由として表層部の加速度増幅、運動エネルギーの影響が考えられる。

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 がほぼ等しいこと、斜面土塊の位置エネルギー増分と仕事量の差が小さいことが分かった。またケースによってばらつきが発生している要因については、表層部の加速度増幅と運動エネルギーの影響であると考えられる。今後は、振動台実験のケースを増やしていき様々な条件での検討を行い、運動エネルギーを考慮した検討を実施していく予定である。

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, 2015
- 2) 大山将和, 高倉太希, 篠田昌弘, 宮田喜壽: 斜面模型振動台実験結果による崩壊挙動の評価, 第 48 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), 2021

$$I_{A1} = \frac{\pi}{2g} \left(\int_0^{T_d} \ddot{X}^2 dt + \int_0^{T_d} \ddot{Y}^2 dt \right) \quad (1)$$

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

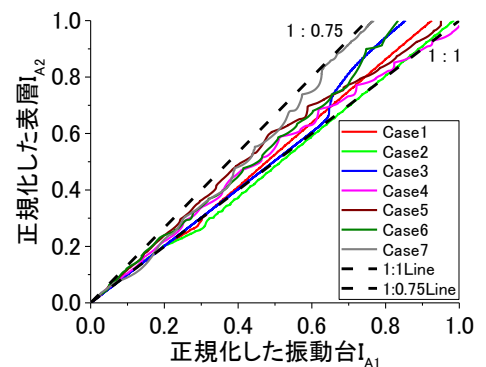


図-2 表層と振動台の Arias Intensity の関係

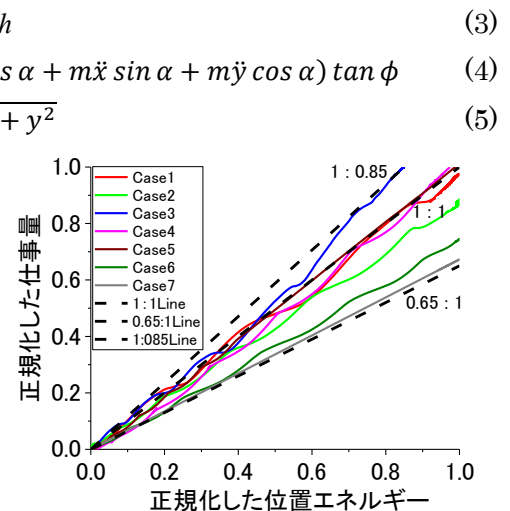


図-3 仕事量と位置エネルギーの関係