

地震時における斜面崩壊により落下した岩塊群の質量分布に関する実験的検討

東北大学 学 ○小田哲史 フ 風間基樹 正 河井 正 正 金 鍾官 学 吉井拓海

1. はじめに

原子力施設の安全性評価に際し、想定以上の地震動により生じる斜面崩壊で落下する岩塊の挙動を予測することは非常に重要な課題となっている。安全性評価に個別要素法（DEM）を用いることを想定すると、確実に安全側のパラメーター設定を行うためには、到達距離などに影響を与える因子について正確に把握しておく必要がある。ところで、岩塊単体での実験は広く行われており、崩落挙動も解明されてきているが、岩塊群として落下させる実験はあまり行われていない。岩塊群の挙動について検討する場合、個々の粒子の配置など、実験条件として統一できない要素もあり、それにより結果にばらつきが生じる。そこで、本研究では、岩塊群に関する実験を多数回実施することを前提に、まずは簡易に崩落実験を実施できる装置を開発した。

ここで、①ある程度のばらつきの範囲内で再現性がみられること、②簡易に多数の実験を行うことができること、③再現性・簡易性を損なわずにパラメーターを変化させることができること、④地震時の斜面崩壊を想定して慣性力で斜面を破壊できること、などを実験装置に必要な要件とした。

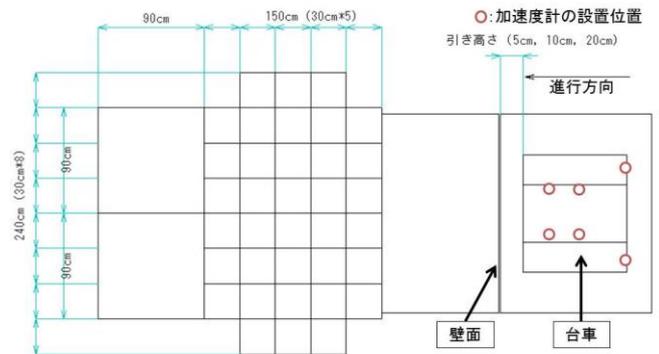
本研究では、実験装置の基礎的な検討結果並びに 2 種類の材料に対して行った崩落実験の結果について報告する。

2. 実験装置

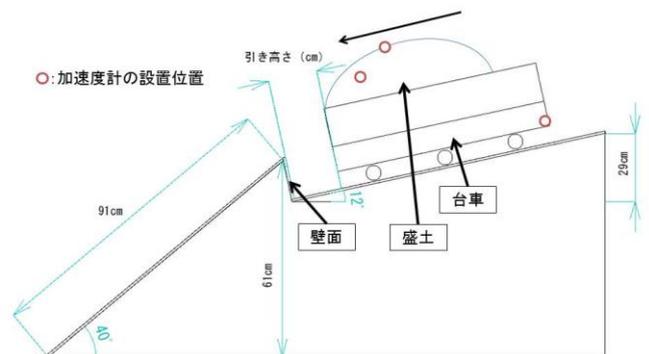
実験装置の上面図および側面図をそれぞれ図 1 に示す。本装置は、斜面上に設置した台車に盛土を作製し、斜面上を走行させた台車が図 1 に示す壁面に衝突した際に、盛土内に伝播する加速度によりすべり破壊が生じて岩塊群の崩落が生じる仕組みになっている。盛土に入力する加速度波形を衝突面の条件によりある程度制御可能とし、入力エネルギーは斜面上の走行距離（以下、“引き高さ”と称する）で調整した。衝突の際は、図 1 に示すように、台車、盛土上、盛土内に設置した加速度計により波形を確認した。

崩落した岩塊群については、大まかな堆積質量分布と最大到達距離のみを把握するものとし、前者は予め配置した 30cm×30cm の板上に堆積した質量を計測した。実験の都合上、ごく少量の碎石が板を設置した範囲を超えて転動したため、最大到達距離は個別に計測

した。



(a) 実験装置の上面図



(b) 実験装置の側面図

図 1 実験装置の概要

3. 実験材料

実験材料としては、①粒径約 5~25mm の碎石を使用し、さらに②その碎石を含水砂（珪砂 5 号）と質量比 45 : 55 で混合したものをを用いた。

4. 実験結果

1) 衝突面の条件と加速度波形について

盛土に生じるすべり面を、地震時に発生するそれと同等にするため、衝突面に様々なクッション材を貼付け、加速度波形を変化させることを試みた。盛土に入力される加速度は台車から伝播していると考えられるため、台車の加速度波形を図 2 に示す。はじめに、衝突面に何もクッションを導入していない場合、最大加速度 8000Gal 以上、周波数 20Hz 程となった。その後、

Key Word : 斜面崩壊, 落石, 地震

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 人間環境系教育研究棟 303 地盤工学研究室

衝突面に天然ゴム製シートを張り付けたところ、厚さを増やすたびに最大加速度を抑えることができ最終的に 3000Gal 以下におさえることができた、周波数はほぼ変化がみられなかった。そこで、ニトリルゴム製のスポンジを切断して張り付けたところ、最大加速度 2000Gal、周波数 5Hz 程と最大加速度だけでなく、周波数も低減させることができた。本報告では、具体的な検討対象（斜面、地震波）は決めていないため、最終的なすべり面の再現可否は判断できないが、加速度振幅や周波数についてこの程度の調整が可能であれば、加速度のような物体力により斜面内部に発生するすべり面を模擬することは可能と判断できる。

ここで、崩落量と最大加速度の関係を整理した際、崩落量の変化が明瞭であるのに対し、最大加速度には明瞭な変化が見られず、大小関係が対応しなかったため、最大加速度は入力値の指標としては適切ではないと考えられる。

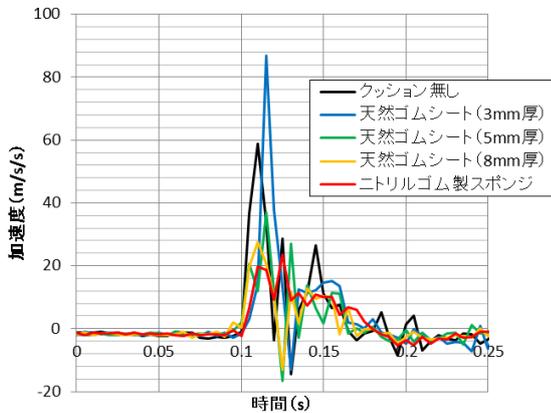


図 2 クッション材による加速度波形の変化

2) 入力力積に対する崩落総量の関係

前節より、最大加速度を入力値の指標とすることは適切でないことが判明した。そこで、継続時間も考慮可能な力積を求め、それと崩落量の関係の整理をここで試みる。始めに引き高さの変化に応じた、入力力積、碎石の崩落総量の関係をまとめたものを表 1 に示す。入力された力積と、崩落総量の関係を図 3 に示す。図 3 より、引き高さに応じた力積の変化が明瞭に見られたため、適切な入力値の指標として用いることができると考えた。

また、力積の増加に伴い崩落総量も増加していることがわかる。ここで、材料①は引き高さを 5cm から 10cm に変化した時のほうが、10cm から 20cm に変化した時より大きく増加している。逆に、材料②は 5cm から 10cm に変化した時はほとんど崩落量に変化がみられなかった。材料②の場合、砂を固めて成形しているため、粒子間の接着力が強く、崩壊の形態が一定の入力値を境に変化しており、崩落量に影響を与えていることが考えられる。一方、材料①は粘着力の

ない碎石を使用しているため崩壊というより衝突時の入力力積による粒子それぞれの跳躍量が落下量に影響していると考えられるため、入力力積が直接崩落総量に関係していると考えられる。

表 1 各ケースの実験条件および実験結果

使用材料	ケース	崩落総量 (kg)	力積 (kg・m/s)	積載量 (kg)	引き高さ (cm)	最大到達距離 (cm)
材料① (碎石)	1	4.92	94.28	110	10	
	2	4.86	90.46	110	10	
	3	3.56	95.11	110	10	
	4	0.77	72.20	110	5	
	5	0.18	70.83	110	5	
	6	0.82	71.68	110	5	207
	7	6.52	124.95	110	20	165
	8	5.32	125.74	110	20	160
	9	6.26	124.40	110	20	185
	10	3.8	90.11	110	10	184
	11	3.78	101.16	110	10	196
	12	4.36	100.52	110	10	139
材料② (碎石45% +含水砂55%)	13	12.2	76.61	115	5	234
	14	10.69	76.69	115	5	158
	15	9.76	76.33	115	5	172
	16	12.68	100.40	115	10	179
	17	10.19	106.87	115	10	170
	18	12.57	105.61	115	10	192
	19	18.24	134.47	115	20	139
	20	19.9	137.03	115	20	155
	21	20.65	140.60	115	20	149

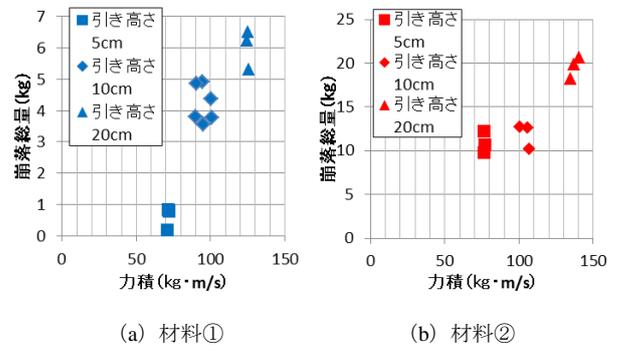


図 3 崩落総量と入力力積の関係

5. 結論

本研究では、簡易に多数の実験を行うことのできる装置を開発し、地震時の斜面崩壊による崩落岩塊の堆積特性について検討を行った。

まず、以下の 4 点を満たす装置を開発した。

- ①同条件で実験を行った際に入力される力積の、最大値と最小値の差が最大で 10 kg・m/s 程に抑えられる（再現性）。
- ②1 ケースあたり一時間以内に実験行うことができる。（簡易性）
- ③パラメーターを変化させた際も、①②を達成することができる。
- ④地震時の斜面崩壊を想定した慣性力（応答最大加速度 2000Gal、周波数 5Hz 程）を与えることができる。

入力される力積の増加に対し崩落総量も増加するが、材料によって斜面崩壊の形態が異なるため、崩落総量の増加傾向も異なることが分かった。