

## 遠心模型実験装置を用いた落石現象の物理モデル化に関する研究

(独) 産業安全研究所 正○伊藤和也 正 豊澤康男  
東京工業大学 正 日下部治

## 1. はじめに

落石は道路、鉄道、住宅等へ影響を及ぼす斜面災害の中でも発生頻度の比較的高い災害現象の一つである。しかし、落石現象は多くの場合突発的に発生するものであり、現象の解明に直接役立つ具体事例の集積が難しい。また、斜面上を落下する落石の運動形態や衝突現象など、落石対策の計画・設計に必要な事柄についても未だ十分には解明されていないのが現状である。現在までの落石に関する研究では、実物大スケールの実験は数少なく、事例の収集に基づき多変量解析による要因分析、個別要素法や質点系手法による数値シミュレーションなどが行われているが、多くのパラメータにより複雑に振る舞うことが知られており、これらを打開する方法が待望されている<sup>1),2)</sup>。そこで本研究は、多くのパラメータが自明となり、応力条件を等価にすることが出来る遠心模型実験手法を用い、図-1に示すような破砕を伴いながら衝突と跳躍を繰り返す落石現象について物理モデル化を行い、その運動形態・衝突現象を解明することを目的とする。本報では、新たに開発した遠心場落石発生装置を用いて行った落石実験の落石軌跡および落石の破砕状況について示す。

## 2. 実験方法

本研究にて開発した遠心場落石発生装置を図-2に示す。本装置はリボルバー式落石ホルダー(最大8球搭載)、それを回転させるモーター、そして落石ホルダーに充填された落石を斜面に落下させる落石開口部(空圧式高速シャッター)から成り立っている。本装置を用いることにより最大8回の落石実験を行うことが出来る。

実験装置の全景を図-3に示す。斜面には石膏と豊浦砂を重量比3:1にて配合した試料を使用し、斜面勾配は45度となるように設置した。使用した落石模型は図-4に示すように、材質を①アルミ、②石膏+豊浦砂(重量比3:1)、③石膏+豊浦砂(重量比1:3)と変化させたφ20mmの球体を用いた。なお、②については矩体の落石模型も作製し、落石形状の違いが落石運動中の挙動に与える影響について確認した。実験は遠心加速度50G場にて行い、落石運動を側面および上面からCCDカメラ(30万画素)により観察した。遠心模型実験では、落石が跳躍している時にコリオリ力の影響を受ける。そのため、落石の落下位置はコリオリ力の方向とは逆方向(装置の回転方向)にずらして設置した。

## 3. 実験結果および考察

図-5はそれぞれの材料・形状の落石軌跡の代表的な例を示したものである。本実験では30コマ/秒のCCDカメラを使用した

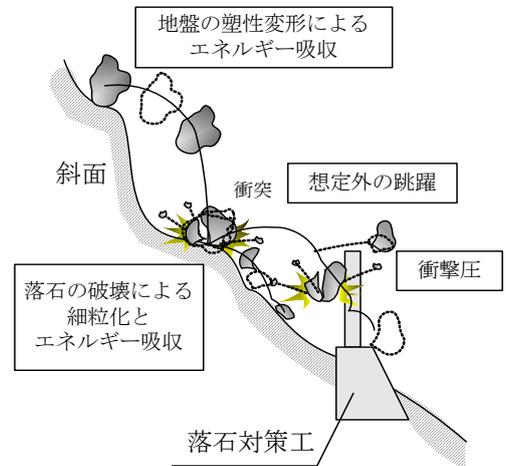


図-1 想定される落石の運動形態

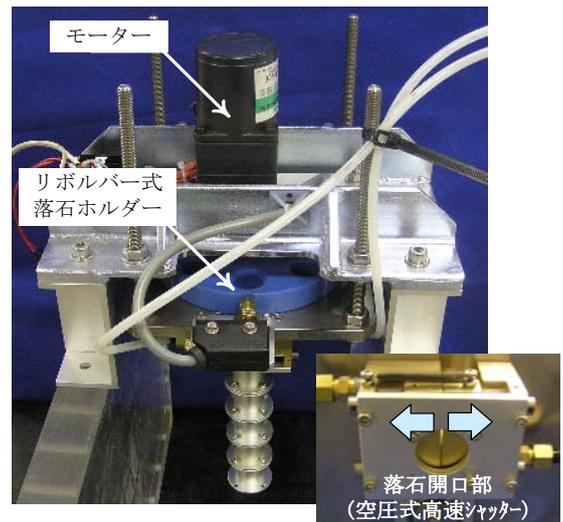


図-2 遠心場落石発生装置

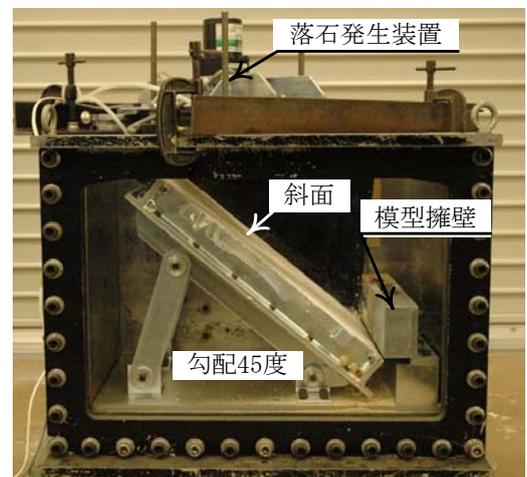


図-3 実験装置全景

**Key Words:** 落石, 遠心模型実験, 物理モデル, 破砕

連絡先: 独立行政法人産業安全研究所 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 TEL&FAX 0424-94-6214

ため、落石発生から3コマで模型擁壁に衝突した。そのため、落石の回転・衝突といった落石運動の詳細については把握することが出来なかった。しかし、すべての落石について跳躍と線運動を繰り返しながら落下している様子をとらえることができた。また、図-6には模型擁壁に衝突した落石の破碎状況を示す。

以下に、それぞれの落石模型での軌跡および破碎状況について考察する。まず、球体を使用した場合に

おける落石材料の違いについて考察すると、①アルミ球では、斜面と衝突する際に斜面側が変形（凹み）して跳ね返り、斜面上を2回跳躍して模型擁壁に衝突した。次に、斜面材料と同じ材料である②石膏+豊浦砂（重量比3:1）の球体についてもアルミ球と同様な傾向が見られた。ただし、模型擁壁に衝突した際に、塑性変形を起こした。最後に、斜面材料よりも脆弱な材料である③石膏+豊浦砂（重量比1:3）の球体では、斜面に衝突する度に接触した部分が若干の破碎を伴いながら跳躍を繰り返し、模型擁壁に衝突している様子を確認することができた。落石形状が球体の場合には材料によらず落石軌跡はほぼ同様な軌跡を描いている。一方、矩体の場合には落石の軌跡は大きく異なり、回転を伴いながら跳躍を繰り返し、模型擁壁に衝突している様子が伺える。なお、模型擁壁に衝突した際に、矩体の角部が欠損した。

#### 4. まとめ

破碎を伴いながら衝突と跳躍を繰り返す落石現象の運動形態・衝突現象を物理モデル化するため、遠心模型実験を行った。落石現象は高速であるため、落石の回転・すべり・跳躍挙動を詳細に把握するためには、高速度カメラなどを導入する必要がある。今後、これらの導入を行い、より詳細な落石運動の把握と擁壁への衝撃圧の測定を行っていく予定である。

最後に、本研究は文部科学省科学研究費補助金(萌芽研究, 課題番号 16656145, 研究代表者:伊藤和也)の補助を得て実施しているものであり、ここに記して謝意を表す。

#### 【参考文献】

- 1) 松尾修：講座 落石対策 1. 講座を始めるにあたって，土と基礎，pp. 39-40, Vol. 50, No.1, 2002.
- 2) (社)日本道路協会：落石の運動挙動とそのシミュレーション-手法に関する検討報告書-, 丸善, 422p, 2002.



図-4 落石模型

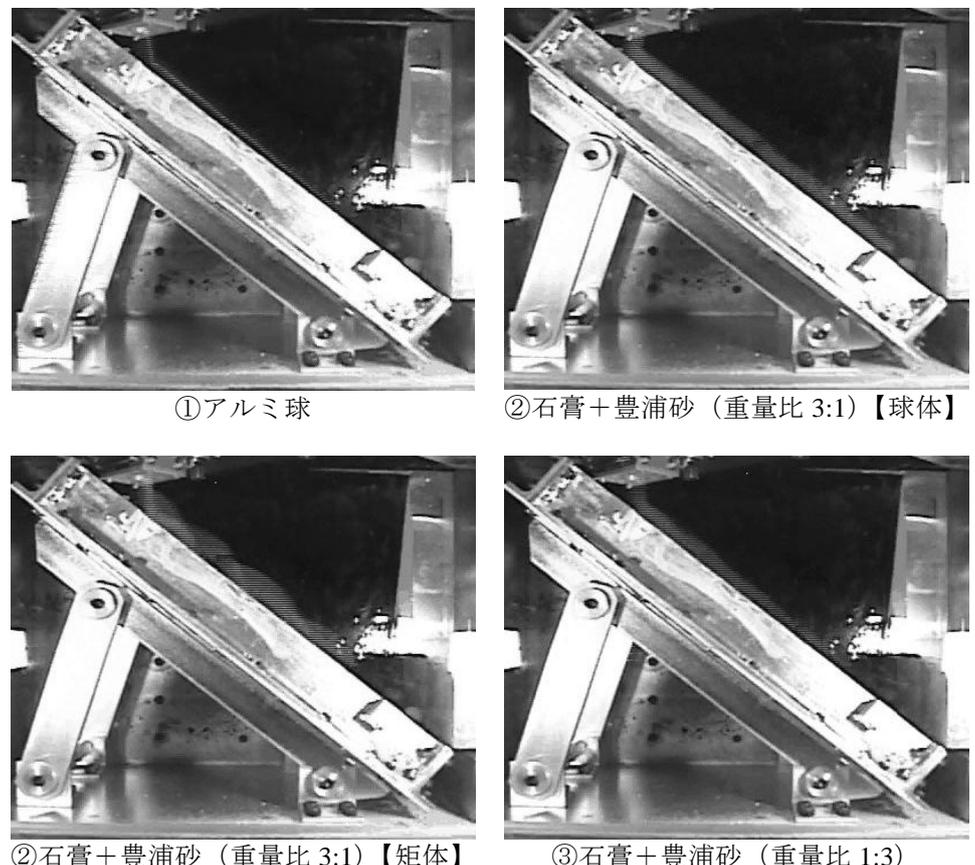


図-5 落石の軌跡



図-6 模型擁壁に衝突した落石の破碎状況