

斜面衝突現象を考慮した3次元落石シュミレーションシステムの構築

金沢大学 学生会員 ○飯作 啓太
 金沢大学 正会員 榊谷 浩
 金沢大学 学生会員 才川 真由

1. はじめに

落石対策においては、発生源における落石の危険度評価とともに、落石がどのような経路で、どのような運動形態を示しながらどれくらいの速度で落石してくるかを把握することが必要である。

解析上、落石の斜面への衝突は斜面を平面として取り扱われることが多く、このとき、斜面への接触による落石エネルギーの消費を表現するために、一般に、斜面法線方向では力学的反発係数を利用し、斜面接線方向では速度比や摩擦係数が利用される。しかし、解析手法によって、衝突時に生じる不確定を表現するために構成式や乱数の取り扱いが異なり、パラメータの定義も異なる。したがって、実用的な落石シュミレーション手法の確立にあたり、パラメータの定義を明確にし、実斜面における不確定な現象に対して、信頼性のある表現が望まれる。

本論では、飛行運動、すべり運動、ころがり運動からなる落石運動のうち、斜面への落石の衝突現象に着目し、本研究手法である KRSP (Kanazawa Rockfall Simulation Program) について、衝突の表現方法を説明し、使用するパラメータを示す。次に、アメリカ実績があり実斜面の落石解析で広く使用されている CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) と比較することにより、解析に使用するパラメータの与え方について検討する。

2. KRSP の概要

本研究では、質点モデルにて落石と斜面の衝突を解析する三次元落石シュミレーションプログラム KRSP (Kanazawa Rockfall Simulation Program) を用いる。

KRSP では、落石を剛体の球と仮定し、落石運動を飛行運動と斜面への衝突に分けて解析を行う。飛行時は抵抗を受けない質点の放物線運動であり、飛行中は回転運動が一定である。解析には、全体座標系を用いる。

3. 基礎パラメータの検討

現段階の KRSP では反発係数や摩擦係数などといったパラメータがあいまいであり、落石対策便覧の実験値などを使用し、対応しているのが現状である。しかし、これらのパラメータは実際の斜面状況によって変化することがわかっている。2001 年に小村らが反発係数 e について、入射速度の斜面法線方向成分に依存していることを明らかにした¹⁾。図 1 に依存性を明らかにしたデータを示す。今回はこの反発係数近似式を用いて解析を行うこととする。また KRSP と米国やカナダで広く実績を残しているコロラド州の落石シュミレーション手法 (CRSP) の落石軌跡や落石速度・跳躍量を比較することにより、実用的なパラメータ設定の検討を行う。

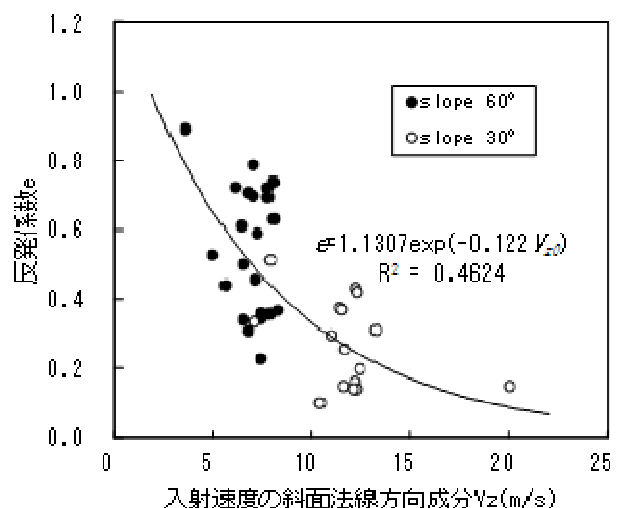


図 1 反発係数 e と入射速度の斜面法線方向成分

出展：落石シュミレーション解析における斜面衝突現象：小村辰彦

キーワード 落石運動, シュミレーション, パラメータ, 衝突現象

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学 TEL 076-234-4603

4. 解析概要

解析に用いた斜面は図2に示すように、奥行き100m、傾斜角 30° 、 60° 、CRSP同様二次元の単純斜面とした。落石質量は1.0t、落石半径は0.5m、落石高さ5m、解析の試行回数は有意水準を0.05とし、300回とした。また、反発係数の影響をみるために、摩擦係数を0.1、斜面の凸凹を表すラフネスを0.1とした。CRSPの反発係数には斜面状況によるデフォルト値が示されているため、今回は滑らかで硬い表面および舗装の状況である設定値0.80を使用した。
a)KRSP設定値、b)KRSP近似式使用、c)CRSP設定値の3つについて跳躍高、落石最終速度の違いを比較する。

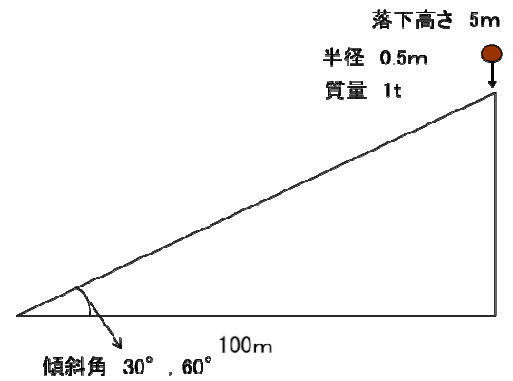


図2 解析断面

5. 解析結果

落石跳躍高について 30° 斜面のa)では地上付近に近づくほど跳躍高にばらつきが見られた。一方、b),c)においては跳躍高にばらつきがあまりみられず、似たような傾向であることがわかった。 60° 斜面のa)では跳躍高に大きなばらつきがみられ、地上に近づくにつれ、大きく跳躍していることがわかる。

落石最終速度について 30° 斜面での平均はa)からそれぞれ26.7m/s, 20.2m/s, 25.8m/sとなっており、 60° 斜面ではそれぞれ

51.6m/s, 30.1m/s, 48.7m/sとなっている。跳躍高ではb),c)で似たような傾向がみられたものの、一方で最終速度では、a),c)に似たような傾向がみられた。また、b)において跳躍高、最終速度ともに二山分布の傾向にあった。このような結果になった理由として、CRSP

では、回転運動が考慮されていないこと、反発係数の取り扱い方が異なっていることが考えられる。

6. まとめ

本研究では、KRSPとCRSPについて軌跡図の違いを比較し、基礎パラメータの検討を行った。最終的にこの基礎パラメータをKRSPに新たに組み込むことにより、より実斜面に近い落石運動を再現することを目指す。

参考文献

- 1) 落石シュミレーション解析における落石の斜面衝突現象：小村辰彦，構造工学論文集，2001

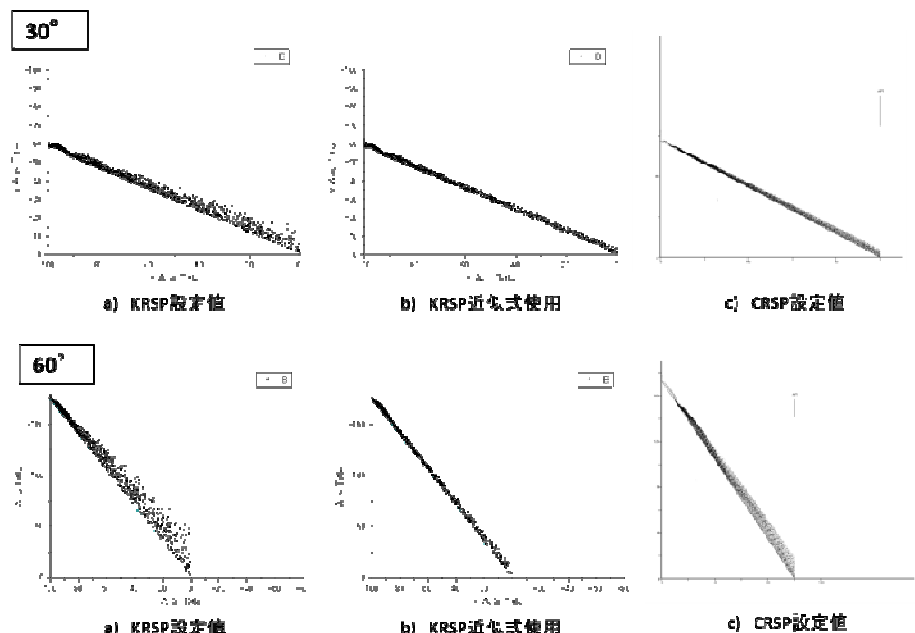


図3 落石軌跡図

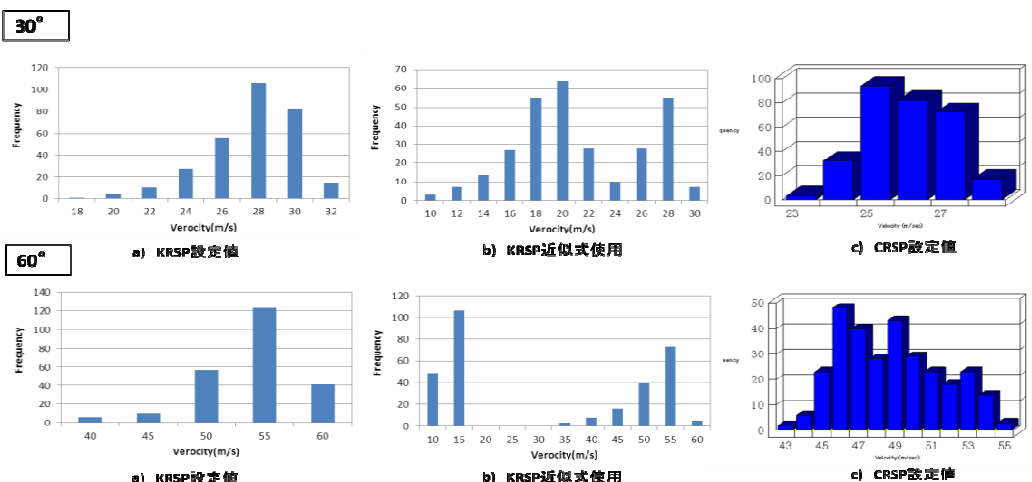


図4 落石最終速度