

MPS 法による硬さが異なる斜面における落石シミュレーション

九州工業大学 学生会員 ○当房慎

九州工業大学 正会員 廣岡明彦 永瀬英生

九州工業大学 非会員 富田諒

九州電技開発株式会社 非会員 富永義嵩 安河内裕磨

1. はじめに

国土の大部分を山地が占め、地震などの自然災害が発生する危険性を常に抱える我が国では、落石などの土砂災害により交通の安全性が損なわれる可能性が高い。また斜面特有の性質である素因と外的要因である誘因の組み合わせにより、落石の運動が複雑化することが多い。本研究は、MPS 法の弾性体解析による落石のシミュレーションによって斜面表層の硬さの違いが落石の挙動に与える影響について知見を得ることを目的とする。

2. MPS 法

表 1 物性値

MPS 法とは粒子法というメッシュを用いず、計算点を物理量とともに移動する粒子として連続体を離散化することができる手法の一種であり、大変形や破壊を容易に扱うことができる。また、流

	密度 (kg/m ³)	ヤング率 (Pa)	ポアソン比
落石	2700	6.83×10^{10}	0.00
硬い斜面	1200	3.20×10^9	0.35
柔らかい斜面	2620	3.99×10^4	0.33

体解析に用いられる代表的な手法であるが、近年では、流体解析のみならず弾性体等の解析への応用が試みられている。本研究の MPS 法の弾性体解析により落石と斜面にそれぞれ物性値として密度、ヤング率、ポアソン比を与え、落石シミュレーションを行う。また本研究に関連して斜面表層の硬さの違いに着目した遠心模型実験も実施しており、実験では落石としてアルミニウム、硬い斜面としてアクリル板、柔らかい斜面として九州工業大学内で採取されたシルト質砂と豊浦珪砂の混合試料を用いた。その実験に基づいて解析で使用する落石、硬い斜面、柔らかい斜面にそれぞれの物性値を与えることとした。落石と 2 種類の斜面の物性値は表 1 に示す。

3. 解析シミュレーション概要

本解析では MPS 法を用いて硬さが異なる斜面に落石を投下することによる解析シミュレーションを行う。解析対象とする斜面と落石は事前に実施した 50G 場における遠心模型実験で用いた模型落石と模型斜面を対象とする。実験のシステム図を図 1 に示す。遠心模型実験で用いた落石模型は一辺の長さが 1cm、2cm（実規模ではそれぞれ 0.5m、1m）の大小 2 種類のアルミニウム立方体である。また、模型斜面は前述したように硬い斜面としてアクリル板、柔らかい斜面としてシルト質砂と豊浦珪砂の混合試料を用いた。模型斜面縮尺は落石対策便覧の落石概査の対象斜面の目安より、全ケースの傾斜角を 45 度、想定する斜面は実規模斜面高 15m となるように、模型斜面の高さは 30cm に設定しており、本解析での対象斜面とする。

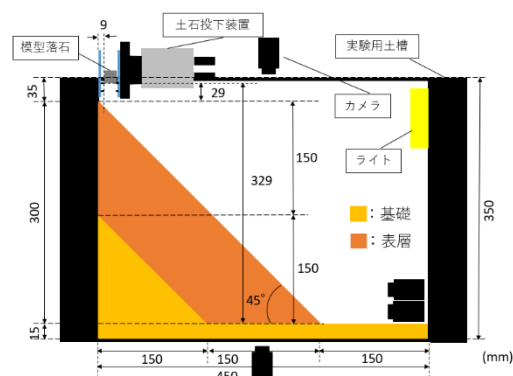


図 1 実験システム図

解析条件は計算時間を 2.0 秒、時間刻み幅を 1.0×10^{-7} 秒、初期粒子間距離は小さな落石では 0.005m、大き

な落石では 0.010m に設定している。表 1 内の落石のポアソン比は立方体の形状を保つためポアソン比を 0.00 と設定している。また、解析ケースを表 2 に示す。ここで、H は硬い斜面、S は柔らかい斜面を意味している。

表 2 解析ケース

解析コード	斜面	落石
H1	硬	小
H2	硬	大
S1	柔	小
S2	柔	大

4. 解析結果と考察

各ケースにおける落石の挙動の状況を図 2～5 に示す。H1

において落石は投下後と斜面中央付近の 2 度の斜面との衝突が見られた。1 度目の衝突後の落石の運動では水平方向への並進運動が卓越し、2 度目の斜面への衝突後の落石では回転運動を伴った水平方向への並進運動が見られた。S1 についても同様に、落石は投下後と斜面中央付近での 2 度の斜面との衝突が見られた。1 度目の衝突後の落石は水平方向への並進運動が卓越したが、2 度目の斜面への衝突後の落石は H1 ほどの回転運動は見られず水平方向への並進運動が見られた。

H2 においても落石は投下後と斜面中央付近の 2 度の斜面との衝突が見られた。1 度目の衝突後の落石は水平方向への並進運動が卓越し、2 度目の衝突では落石は水平方向への並進運動が見られた。S2 においても同様に落石は投下後と斜面中央付近の 2 度の斜面との衝突が見られた。1 度目の衝突後の落石は水平方向への並進運動を起こしたが、2 度目の衝突では水平方向への並進運動は見られず、斜面上で回転運動をしながら斜面下部まで到達した。また、今回実施した 4 ケースのシミュレーションでは、落石の斜面上のすべり運動は確認されなかった。

H1 では回転運動が見られたのに対して S1 では回転運動が見られなかったのは、H1 では斜面が硬いため S1 よりも落石が斜面から受ける反発が大きくなり、回転運動が発生したものだと考えられる。

また H2 では水平方向への並進運動が見られたのに対して S2 では水平方向への並進運動は見られず斜面上で回転運動のみが見られたのは、S2 が H1 よりも斜面が柔らかいため斜面からの反発を受けにくく、落石の運動エネルギーが吸収され水平方向への並進運動が見られずに回転運動が見られたのだと考えられる。

5. 結論

H1、S1 の解析結果の比較より、H1 では回転運動が見られたのに対し S1 では回転運動が見られなかったこと、H2、S2 の解析結果の比較より、H2 では水平方向への並進運動が見られたのに対し S2 では水平方向への並進運動が見られず斜面上で回転運動のみ発生したことから、斜面の硬さの違いにより落石が異なる挙動を示すことが確認できた。

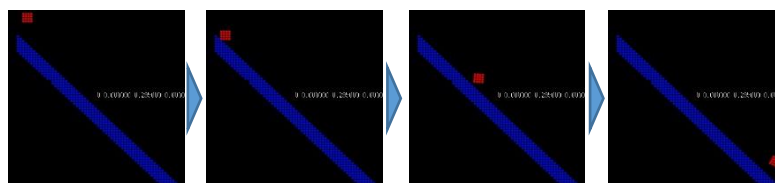


図 2 H1 の挙動

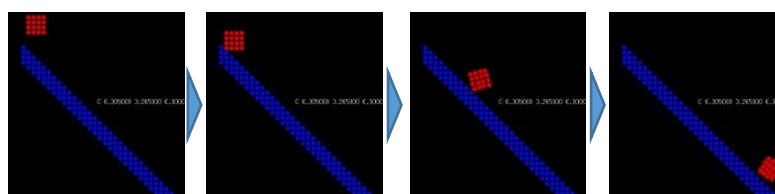


図 3 H2 の挙動

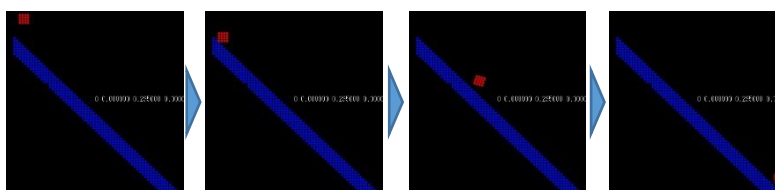


図 4 S1 の挙動

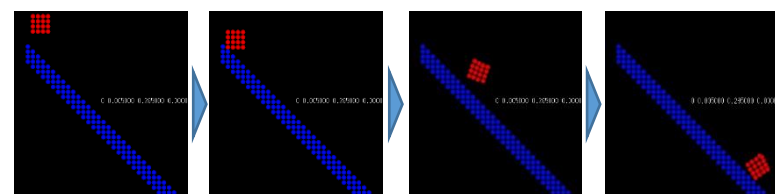


図 5 S2 の挙動