

DDA 落石シミュレーションにおける落石形状パラメータの検討

岡山大学大学院 学生会員 ○北内 宏明
 岡山大学大学院 正会員 西山 哲
 岡山大学大学院 学生会員 崎田 晃基

1. はじめに

落石対策工設計において、落石シミュレーションは技術確立することにより落石挙動の細部を予測し、合理的かつ経済的な対策工法の検討を実施できることが期待されている。落石シミュレーションのうち、不連続変形法(Discontinuous Deformation Analysis, 以下 DDA と称する)を用いた解析手法は、任意の弾性体の多角形で構成されるブロック相互の運動を解析する手法である。DDA の特徴として、解析対象全体にエネルギー保存則並びに解の唯一性・収束性が保障されている¹⁾。

DDA 落石シミュレーションにおいては解析パラメータが落石挙動に与える影響は不明確な部分が多く、パラメータの設定方法の確立が課題として指摘されている²⁾。解析パラメータには、落石の密度や弾性係数等の物性に関わるパラメータと落石や斜面の凹凸等の形状に関わるパラメータに区分される。物性パラメータについては、落石実験データの分析²⁾などのパラメータ設定に関する検討が既に報告されている。一方で形状パラメータについては、凹凸のない平坦な斜面において落石形状の設定方法の検討が報告されている¹⁾が、凹凸の存在する実際の斜面形状における落石挙動については不明確な部分が多い。そのため本研究では、二次元の DDA 落石シミュレーションにおいて、航空レーザ測量により実際の形状をモデル化した斜面を作成し、落石の形状を指標化した値(形状指標)を導入して複数の形状で感度解析(変化させたパラメータが与える影響の大きさを見る解析)を行った。また比較として、平坦な斜面においても同様の解析を行う。そして、その結果から本研究で作成した一例の斜面において、落石形状に関するパラメータの設定方法の検討を試みた。

2. 落石の形状指標

形状指標の一つである円形度は、落石挙動と相関があり、平坦な斜面において円形度が大きいほど落石の落下速度は大きくなり、跳躍高さは小さくなる傾向があることが報告されている¹⁾。円形度 C_R は、多角形ブロックの面積 A 、および周長 L を用いて式(1)により算出する。円形度 C_R は真円のとき 1 を示し、不定形な形状ほど 0 に近づく。

$$C_R = 4\pi A / L^2 \quad (1)$$

キーワード DDA, 落石形状, 斜面凹凸, 形状指標

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1

3. 感度解析

3.1 斜面形状の作成

本研究では実際の形状をモデル化した斜面を作成するにあたり、航空レーザにより測量した岡山県国道 53 号沿い斜面の 3 次元計測点群データを用いた。このデータはフィルタリングを施すことで地表面のデータのみを抜き出している。崎田ら³⁾はこのデータを用いた落石発生源の抽出を報告している。そのため本研究では、抽出した落石発生源の落石が谷方向に落下する仮定のもと図 1 の斜面を作成した。また、平坦な斜面も実形状をモデル化した斜面と同じ傾斜角 30 度で作成した。

3.2 落石形状

感度解析に用いる落石形状を表 1 に示す。落石形状は正 32 角形、実形状、正方形の 3 種とし、面積はいずれも 0.7m^2 とした。ここで、実形状は 3.1 の事例における落石発生源の落石をモデル化した形状である。

3.3 感度解析

3.1, 3.2 の斜面・落石形状を用いて感度解析を行った。解析では落石の落下姿勢による落石挙動のばらつきを表すため、落下姿勢を 36 度ずつ回転させた 10 ケースのシミュレーションを各落石形状で行った。また、落石はすべて図 1 に示す位置から自然落下させている。

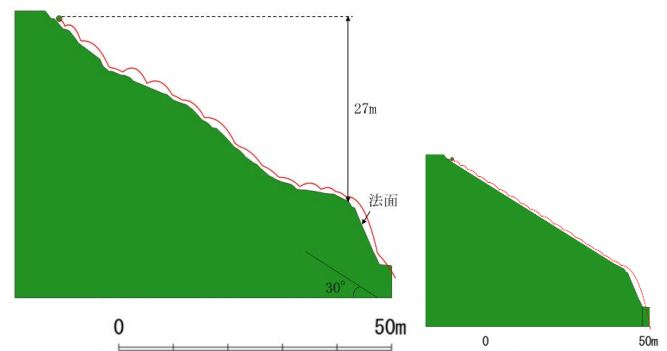


図 1 感度解析に用いる斜面形状と解析例

(左: 実形状斜面, 右: 平坦斜面)

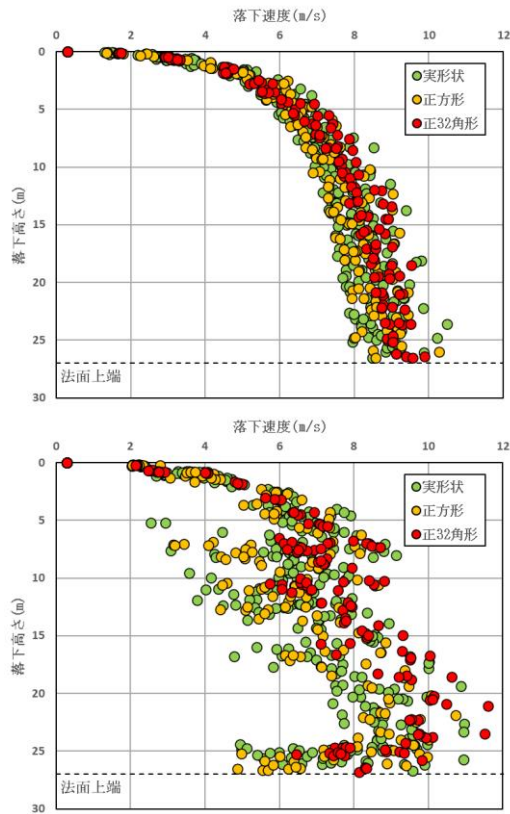
表 1 感度解析に用いる落石形状と円形度

区分	正32角形	実形状	正方形
形状			
円形度 C_R	0.99	0.82	0.78

岡山大学環境理工学部棟 TEL080-2973-5525

表2 物性パラメータ

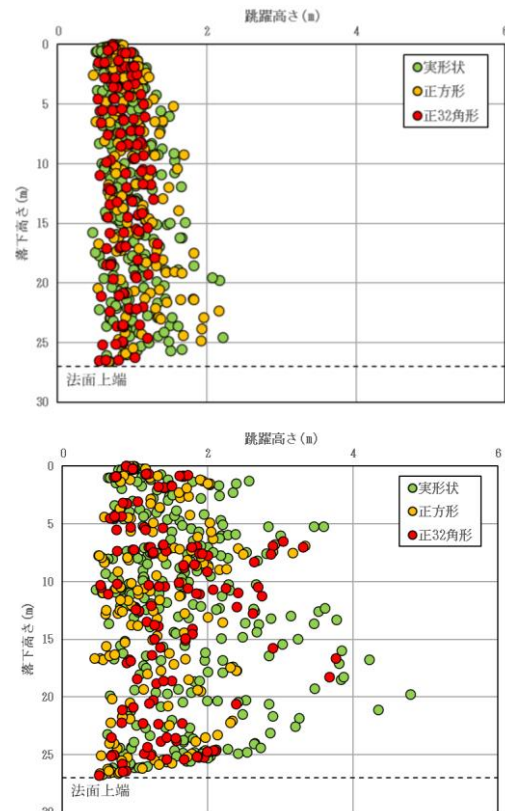
種別	落石	斜面	種別	
密度[kN/m ³]	2.6	1.8	粘性係数	0.01
ヤング率[MPa]	2000	2	速度エネルギー比	1.0
ポアソン比	0.17	0.40	解析時間刻み[s]	0.0001
摩擦角[°]	25	35	ペナルティ係数[kn/m]	1.0×10^6
粘着力[kPa]	0	50		

図2 各落石形状の落下速度と落下高さ
(上：平坦斜面，下：実形状斜面)

解析時の物性パラメータについては、表2の値を設定した。図2に各落石と斜面の落石開始時から0.3秒ごとの落下速度と落下高さの関係を、図3に跳躍高さと落下高さの関係を示す。ここで、跳躍高さは跳躍している落石の重心の斜面に対する鉛直方向の高さをさす。

図2より実形状斜面の落石の落下速度は、正32角形が他形状よりも比較的大きく、実形状と正方形の落下速度は似た分布であるため、平坦斜面と同様に円形度との相関を確認することができた。そのため落下速度の予測においては、現場の落石形状の設定に同じ円形度の落石形状を用いることで、技術者の主観や経験の差を含まない落石形状の設定を実施することができると考えられる。また落石形状に正32角形を用いることで、過小評価することなく落石の落下速度の予測を行うことができると考えられる。

図3より実形状斜面の落石の跳躍高さは、実形状が他形状と比較して大きく、正32角形と正方形の跳躍高さは似た分布であるため、平坦斜面と同様の円形度との明確な相関を確認することはできなかった。実形

図3 各落石形状の跳躍高さと落下高さ
(上：平坦斜面，下：実形状斜面)

状は他の形状よりも約1m跳躍高さが大きい傾向があり、跳躍高さ1mの差は落石対策工の設計においては大きな差であるため、跳躍高さを予測において現場の落石形状を設定する際には現場の落石形状を正確に再現する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、実際の斜面形状における落石形状に関するパラメータの設定方法を検討することを目的に、作成した一例の斜面において複数の落石形状の感度解析を行った。その結果、落石の落下速度においては円形度との相関関係がみられたが、落石の跳躍高さについては円形度との明確な相関関係がみられなかった。そのため本研究で用いた斜面では、落下速度の予測については円形度を用いた落石形状の設定が可能であるが、跳躍高さの予測については現場の落石形状を正確に再現する必要があると結論づけた。今後は検証する斜面の事例を増やし、斜面形状の特徴ごとの落石形状の設定方法を検討する。

参考文献

- 1) 萩原育夫, 大西有三, 佐々木猛, 西山哲: 非質点系落石シミュレーションにおける落石の形状指標に関する検討, 地盤工学ジャーナル Vol.4, No. 4, pp357-367, 2009.
- 2) 日本道路協会: 落石対策便覧に関する参考資料, 丸善, 2002.
- 3) 崎田晃基, 今西将文, 西山哲: 航空レーザ測量データを活用した斜面点検に適した微地形解析図面の作成, 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp378, 2021.