

不連続変形法による3次元落石解析事例

Case Study of 3D Simulation for Rockfall, Using Discontinuous Deformation Analysis

萩原育夫¹⁾, 三木茂²⁾, 佐々木猛³⁾, 西山哲⁴⁾, 大西有三⁵⁾

Ikuo HAGIWARA, Shigeru MIKI, Takeshi SASAKI, Satoshi NISHIYAMA and Yuzo, OHNISHI

- 1)工修 サンコーコンサルタント株式会社 (〒136-8522 東京都江東区亀戸1-8-9)
- 2)工博 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 (〒102-8220 東京都千代田区九段北1-11-5)
- 3)工博 サンコーコンサルタント株式会社 (〒136-8522 東京都江東区亀戸1-8-9)
- 4)工博 京都大学大学院助手 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)
- 5)工博 京都大学大学院教授 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

In the discussion of rockfall prevention system, it is important to estimate the rockfall dynamics. In this study, we applied Discontinuous Deformation Analysis (DDA) to the 3D simulation of rockfall. Through the case study, we found that the calculation result agreed well with the experiment data of resemblance slope, and was not contradictory to the slope condition. With using randomized parameter, diversity of rockfall behavior was clarified from the simulation.

Key Words : Discontinuous Deformation Analysis, Rockfall, Spherical element

1. はじめに

落石災害に関する対策の検討では、落下径路・速度（エネルギー）等の落石挙動を的確に予測・評価することが重要な検討項目の一つとなっている。落石の運動形態に関しては、落石実験データをもとにした経験則等を適用して評価するケースが多いが^[1]、落石に係わる現場条件は様々であり、斜面状況が一様でない場合や大規模落石等に関しては数値解析手法等の導入が必要となる^[2]。

不連続変形法（DDA）は落石問題に適用される数値解析手法の一つであり、物体の分離・飛行・衝突といった挙動のモデル化が可能な手法である^[3]。本報告では、不連続変形法による3次元落石解析事例を示すと同時に、同手法の適用性や実用性について検討した結果を報告する。

2. 解析方法・条件

解析に用いた計算コードは、解析対象を球要素（落石）と壁要素（斜面）を用いてモデル化する3次元解析コードで（図1）、解析結果の妥当性等に関しては単純モデルを用いた検討結果が既に報告されている^{[4][5]}。

解析は、落下高さ=約140m程度、落石規模=φ約1mの硬質岩からなる浮石を対象として実施した。解析対象位置を図2に示す。当該箇所では落石経路沿いの斜面の最大傾斜方向が変化しており、落石の到達範囲の評価が課題として上げられた。解析に用いた岩盤物性等は現地状況と既存資料による一般値^{[4][5]}をもとに設定した（表1）。なお、落石が斜面に衝突・跳躍する際の速度エネルギー比に関しては、現地の斜面状況の多様性を考慮して乱数を導入し、複数の計算を行って落石挙動を解析した。

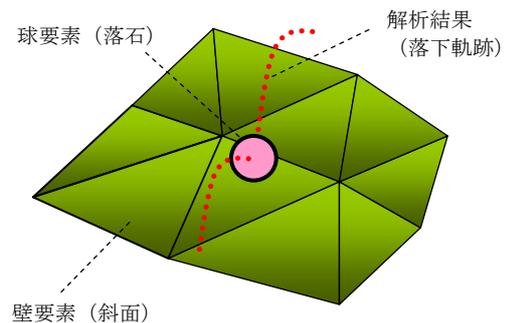


図1 粒状体DDAの概念図

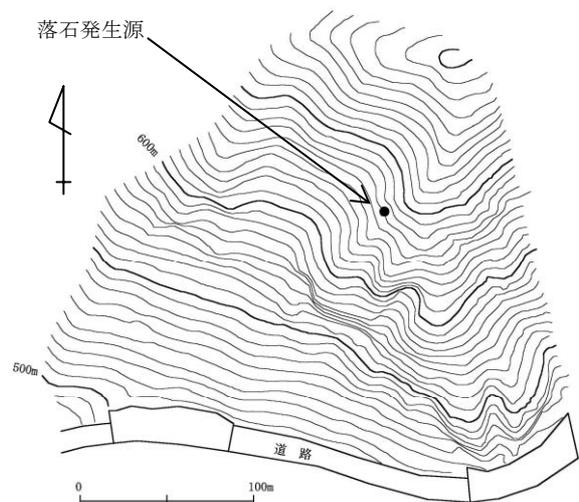


図2 落石解析箇所平面図

表1 解析条件の一覧

項目	設定内容
密度	2.5 g/cm ³
内部摩擦角	30 度
粘着力	0 kN/m ²
剛体バネ定数	100,000 kN/m
解析時間間隔	0.005 sec
速度エネルギー比	正規乱数 (平均=0.8,標準偏差=0.4) 但し0~1の範囲内
試行回数	100 回

3. 解析結果

図3~5に解析結果を示す。解析結果の落石経路及び落下速度には下記の傾向が認められた。

- ・落下の方向は西南西方向(斜面中腹)から南西方向(斜面下部)へと変化し、湾曲した軌跡をなす。
- ・速度の大きな落石ほど落石発生源位置から遠方に到達する。

解析斜面の最大傾斜方向は西南西~南南西方向に変化しており、解析結果の落石経路はこのような斜面状況に対応した結果と捉えられる。最大傾斜方向が変化する斜面上の落石は放物線状の軌跡を描くものと想定され、解析結果の落石経路と速度の関係はこのような想定と合致している。また、斜面状況が当該斜面と類似する落石実験データ(谷花地区)^[2]と比較した場合、解析結果の落下高ささと落石速度は実験データと概ね一致する(図5)。

今回の解析は一意的に決定することが困難な速度エネルギー比に関して乱数を導入して解析を行っており、落石挙動の多様性をシミュレートした解析として位置づけられる。このような解析を実施することによって、落石到達位置並びに落下速度(エネルギー)の分布(差異)が結果として得られ、対策工の規模・配置等の検討において有用と考えられる。

4. おわりに

本報告では、3次元粒状体モデルによる落石事例解析を実施し、類似斜面における実験データや斜面の特性(傾斜方向変化)と矛盾しない解析結果が得られることを確認した。また、乱数を介在させた解析を実施することによって、落石挙動の多様性を反映した結果を得ることができ、落石対策工の検討において有用と考えられた。今後は、落石事例データの収集・蓄積等を行うことによって解析精度の向上等を図りたいと考える。

参考文献

[1]日本道路協会：落石対策便覧, pp.422, 2000
 [2]日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料, pp.422,2002
 [3]佐々木猛, 大西有三, 吉中龍之進：不連続変形法(DDA)とその岩盤工学への適用に関する研究, 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.11-20, 1994

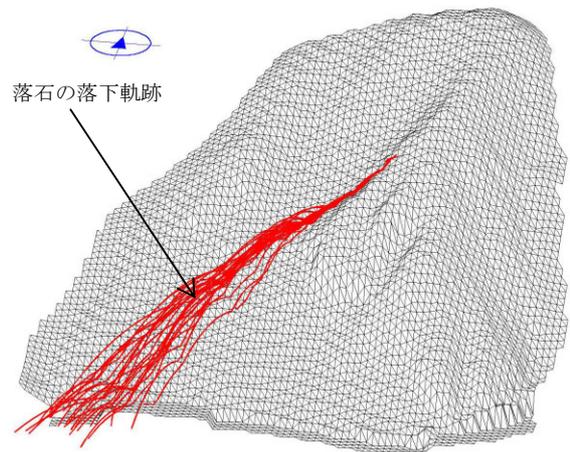


図3 解析結果：落石軌跡(鳥瞰図)

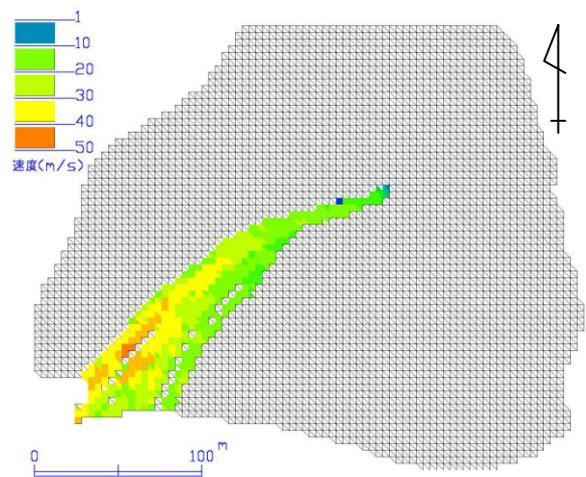


図4 解析結果：落石軌跡と速度(平面図)

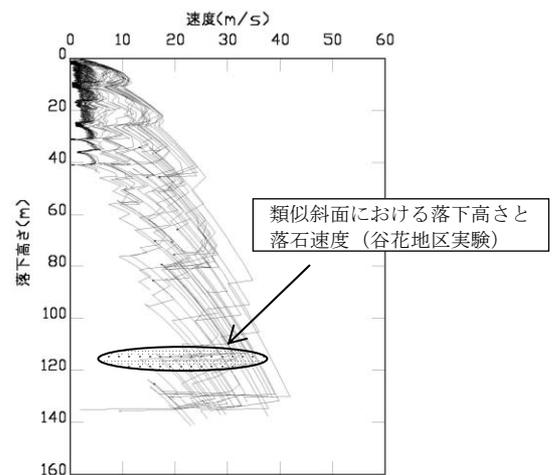


図5 解析結果：落下高ささと落下速度

[4]大西有三, 西山哲, 三木茂：3次元粒状体DDAとその応用, 計算工学講演会論文集, Vol.8, No.1, pp.171-174
 [5]布川哲也, 揚萌, 大西有三, 西山哲, 三木茂：不連続変形法(DDA)を用いた3次元落石解析に関する研究, 第33回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.469-474,2004