

火山斜面における砂防工事を対象にした3次元落石シミュレーション

(財)砂防・地すべり技術センター ○中里 薫、松井宗廣、嶋 大尚
鳥取大学工学部 西村 強
国土交通省雲仙復興事務所 大林和幸、酒井大吾

1. はじめに

粘性の高いマグマを噴出する火山では、噴火活動がある程度終了した後でも溶岩ドームに代表される岩体が斜面上部に不安定な状態で残り、下流域での砂防工事の安全性を脅かす場合がある。このような場合、砂防工事の安全性を高めるために、不安定岩塊が崩落した時の落石挙動をある程度予測し、予め対策の方針を決めておくことが重要である。

雲仙・普賢岳では、平成2年から約4年間にわたり噴出した約1億5千万立方メートルの溶岩が不安定な状態で山頂部に残存している。この溶岩ドームからなる斜面は比高300~400mで傾斜45°以上の急崖をなす(図1参照)。山腹斜面は火砕流堆積物からなり、凹凸が比較的少なく樹木の分布も疎であること、扇状に広がる斜面形状など火山特有の地形を呈している。このため落石が発生した場合、到達距離・落石経路等の落石挙動が予測し難い。一方、砂防工事は下流側から進められてきており、落石の影響を受ける危険性が増している状況にある。

このような斜面において3次元落石シミュレーション解析を行い砂防工事の安全性検討のための資料を得ることができたので報告する。

2. 解析概要

本解析では三次元地形モデルを用いて、落石をドーム周辺の特に不安定と思われる崖上部から落下させ、落石運動を個別要素法(DEM)により数値解析した。個別要素法による解析手法については文献を参考にされたい¹⁾²⁾³⁾。

地形モデルは航空レーザー計測により作成した数値地形モデル(10mメッシュTIN)を用いた。落石モデルは、ドーム上の岩塊及び現地に分布する落石(約500個)の寸法を計測して3種類の大きさ・形状で作成した(表1参照)。

個別要素法解析に用いた定数を表2に示した。落石質量は現地より採取したデイスait試料の試験結果から求めた。その他の係数については既往の落石実験に基づいた定数から本解析プログラム(西村¹⁾²⁾による)に適用するように換算して求めた。

落石発生箇所は溶岩ドーム周辺のブロックの代表箇所10箇所を設定した。落石発生箇所付近の解析イメージを図1に示した。

落石運動の計算途中においては、落石の衝突毎に反発係数を乱数を用いて変化させる方法(モンテカルロシミュレーション)を用いた¹⁾²⁾。1個の落石モデルを用いて15回の繰り返し計算を行った。この解析を3種類の落石モデルについてそれぞれ10地点から行い、解析回数は延べ約400回となった。

3. 解析結果

図2は解析の結果得られた落石軌跡を鳥瞰図上に描いたものである。図2には砂防施設の計画位置も示した。溶岩ドーム下端から最寄の砂防施設までの距離は約2kmとなっている。

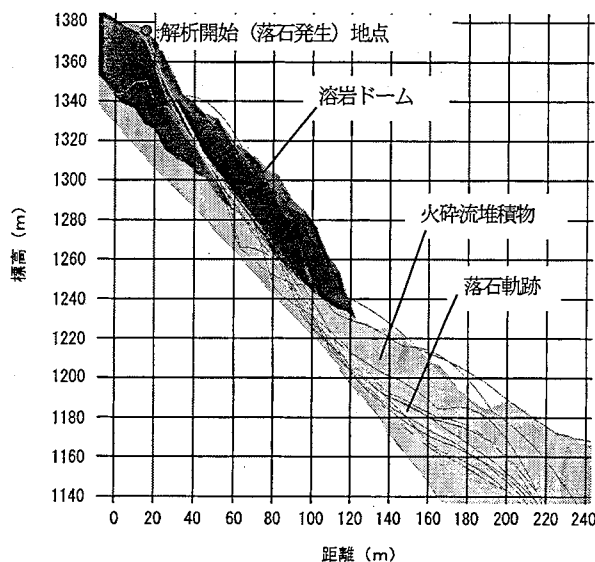


図1 落石発生源付近の地形立体図

表1 解析に用いた落石モデル

ケース	縦 (m)	横 (m)	高さ (m)	体積 (m ³)	質量 (ton)
小	1.80	1.80	1.20	3.888	8.55
中	3.60	3.60	2.40	31.10	68.4
大	5.50	5.50	3.50	105.9	233

表2 計算に用いた定数と設定根拠

項目	落石の比重	接触剛性係数 (kN/m)	臨界減衰係数 (kN/m)	摩擦角	時間刻み (s)
設定根拠	2.20 (岩石試験結果より)	岩塊の地盤への食い込み量が岩盤短径の1%以下となるように設定 (既存文献参照)	反発係数が0.1となるように設定 (既存文献参照)	30° (岩石試験結果による)	2.5×10^{-4} (固有周期の1/100以下)

1) 落石軌跡・到達範囲

落石はガリーや谷壁、既設の砂防構造物により軌跡を変えている。落石が集中しやすい箇所と疎な区域があることがわかる。

落石の運動距離は小岩塊に比べ大・中の岩塊が遠方まで達する傾向がみられた。

2) 砂防施設までの落石の到達時間

各溪流の最上流部の施設（図3参照）に落石が到達するまでの時間を表3に示した。全落石約400個のうち38個が施設に到達し、平均到達時間は66秒となっている。落石の到達距離と経過時間から落石の平均速度を推定すると25m/s（時速90km/h）前後となっている。この速度は過去の落石実験で得られた値³⁾と整合している。

表3 各施設までの落石の到達時間

施設名	平均到達時間
施設A	77秒
施設B	57秒
施設C	69秒

3) 施工計画位置への落石到達の可能性

各落石発生地点毎に落石の施設へ到達した数を集計して表4にまとめた。対象施設に到達しやすい落石発生源の位置を推定することができる。

4、安全対策計画への適用

解析結果は次に示す項目で施工の安全対策計画に適用できると考えられる。

- ① 最寄の砂防施設計画地点までの落石の到達時間は60秒前後であり、落石発生後の退避の可能性、ハード・ソフト対策の検討等に適用できる。

表4 施工施設まで落石が到達する可能性

落石発生源のブロック (図2参照)	対象施設	落石到達の確率	観測機器設置の判定
A1	施設A	8.3%	○
A2	施設A	解析対象外	
A3	施設A	6.8%	○
A4	施設A	16.7%	○
M1	施設B	8.9%	○
M2	施設B	34.9%	○
M3	施設B	1%未満	
O1	施設C	解析対象外	
O2	施設C	1%未満	
O3	施設C	解析対象外	
O4	施設C	10.3%	○
C1~C5	施設ABC	1%未満	
C6	施設ABC	解析対象外	

② 重点的に監視すべき箇所が抽出できる（表4）。

③ 落石が到達する可能性が少ない箇所もあり、建設機材のヤード選定の参考となる。

④ 無人化施工範囲設定の基礎資料となる。

以上、今回の解析結果は落石の到達のしやすさ、計画施設付近の落石経路を相対的に見て対策の目安を判断する手法として有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 倉橋正樹、精山誉志、西村強他、木山英郎、谷口洋二.2002、個別要素法を用いた落石の運動解析、第37回地盤工学会研究発表会
- 2) 谷口洋二、西村強、精山誉志、木山英郎.2004.落石運動に影響を与える不確定要因のモデル化と3次元軌跡解析
- 3) 日本道路協会.2002、落石対策便覧に関する参考資料ー落石シミュレーション手法の調査研究資料ー

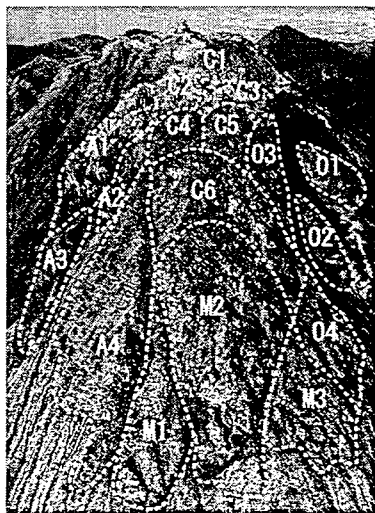


図2 溶岩ドームのブロック区分図

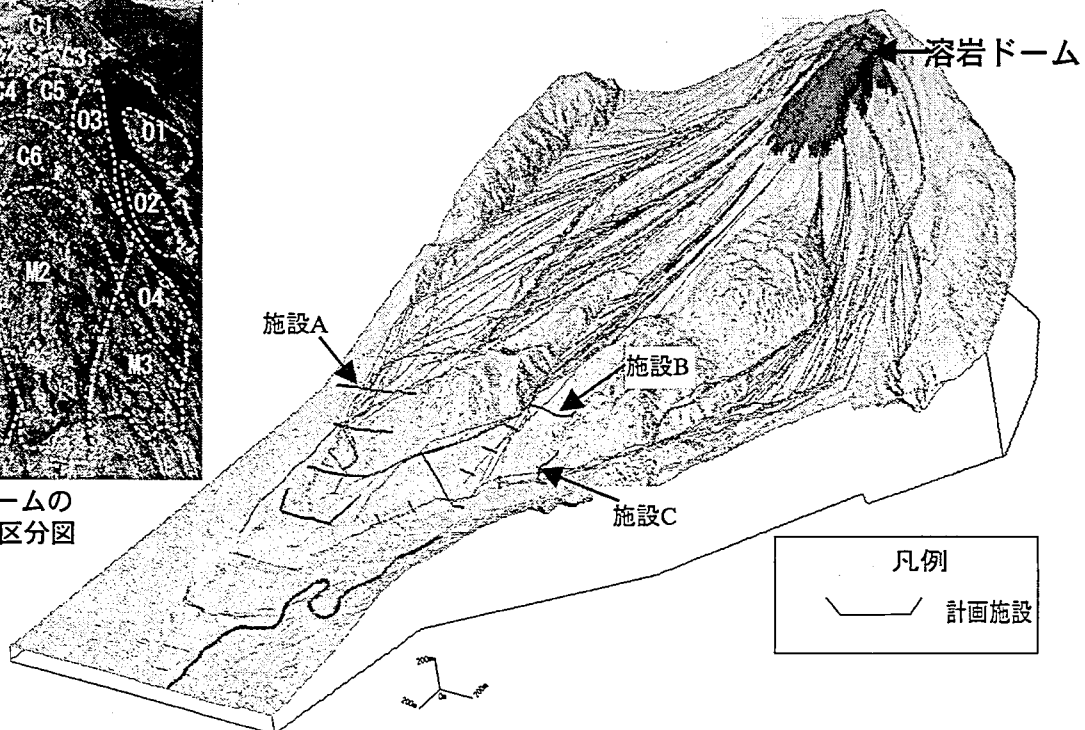


図3 落石シミュレーションによる落石軌跡