

数値シミュレーションを用いた雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊時の影響調査

(財)砂防・地すべり技術センター ○近藤玲次、安養寺信夫、嶋大尚、植弘隆  
国土交通省雲仙復興事務所(平成 23 年度当時) 田村圭司、前田昭浩、水田貴夫、荒金恵太

1. はじめに

雲仙・普賢岳に平成 2 年以降の火山活動により形成された溶岩ドームに対して、雲仙復興事務所による観測が継続的に行われている。現在大きな変化こそ見られないが、平成 9 年から 23 年の 14 年にかけて南東方向に 1m の移動が確認されている。重力による自然崩壊、降雨などによる溶岩ドーム末端部の堆積物の流出にともなう崩壊。地震による崩壊が考えられており、対策の必要性が示唆されている。

本研究において、数値シミュレーションを用いて溶岩ドームが崩壊した場合の影響範囲を検討した。

2. 数値シミュレーションモデルの選定

溶岩ドーム崩壊の影響範囲を検討するためのモデルとして崩壊した溶岩ドームの岩塊一つ一つを別個の計算対象として計算するモデル不連続変形法モデル (DDA) と岩塊の流れ全体を一つの連続する流体として計算する連続体モデルが考えられる。比較を下表に示す。

表 1 数値シミュレーションモデルの比較

| 項目           | 不連続体モデル                                                                                                           | 連続体モデル                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| モデル          | 岩塊個別の動きを把握することができるモデル<br>個々のブロックの幾何形状・荷重条<br>件・材料定数とブロック接触部での<br>力学材料定数より、ブロックの応<br>力・ひずみ・すべり・接触力・運動<br>状態が計算される。 | 抵抗則により岩塊流れの動きを表現<br>する連続流体モデル<br>高橋により提案されたモデルによ<br>り、崩壊後の岩塊の細粒化を表現<br>し、粒径によって粒子流状態から流<br>動化状態への切り換えが可能。抵抗<br>則も変化する。 |
| 評価           | ○                                                                                                                 | ○                                                                                                                      |
| パラメータの<br>設定 | 摩擦角、粘着力、粘性係数、ポアソ<br>ン比等のほか、岩塊の接触時のエネ<br>ルギー減衰比の設定などパラメータ<br>が多く細かい設定が可能                                           | 粒子流状態、流動化状態それぞれの<br>状態に対応した複数のパラメータが<br>設定可能で、実現象に応じた柔軟な<br>設定が可能である。                                                  |
| 評価           | ○                                                                                                                 | ○                                                                                                                      |
| 計算時間         | 岩塊の個数が増えると膨大な計算時<br>間がかかり、現実的には個数の少ない<br>粗いモデルでしか計算できない。<br>(現実的に可能なのは粒径 100m の岩<br>塊で 200 個未満程度)                 | 計算時間は数時間～数日。                                                                                                           |
| 評価           | ×                                                                                                                 | ○                                                                                                                      |
| 実績           | 溶岩ドーム崩壊のように大規模現象<br>を扱った実績がない。(研究レベル<br>では、データ数 10～100 個程度での計<br>算が一般的で実績もある)                                     | 高橋ら (2006) により、H3.6.3 雲仙<br>普賢岳火砕流本体の岩塊流れの再現<br>計算に用いた値の整理がされている。                                                      |
| 評価           | ×                                                                                                                 | ○                                                                                                                      |
| 総合<br>評価     | △                                                                                                                 | ◎                                                                                                                      |

DDA モデルによる試し計算では、粒子数が少ない条件では中腹で停止するが、粒子の数を増やすことで流下距離が伸びる傾向が確認された。これは、粒子同士の衝突により流下を促進する効果があるためと考えられる。粒子数を実現象に近い規模増加させることで高い再現度が確保されると思われる

るが、現在の計算機の能力では、大量の粒子の計算には時間がかかり、現実的な方法ではない。今回の検討については計算時間、実績等を考慮して連続体モデルを用いることとした。

3. 基礎式の選定

溶岩ドームが崩壊した場合、最初は大粒径だった岩塊が斜面を流下する内に粒子同士、もしくは地面との衝突で破壊され、細粒化していく可能性が考えられる。現状ではこのような動きを正確に再現できるモデルが整理されていないことから、粒子の細粒化と、細粒化による抵抗則の変化を見込んだ高橋 (2006) の火砕流の式を用いることとした。高橋の式は、粒子流状態と流動化状態と抵抗則の異なる二種の流動状態を想定し、細粒化により平均粒径がある値以下になると流動状態が変化する式である。

4. 平成 3 年 6 月 8 日再現計算によるキャリブレーション

対象範囲近辺で溶岩ドーム崩壊のデータが少ないことから、平成 3 年 6 月 8 日に発生した火砕流の内部の岩塊流れの流下実績を用いてキャリブレーションを行った。

下図のように、到達範囲が実績と概ね一致するように再現計算のパラメータを調整した。

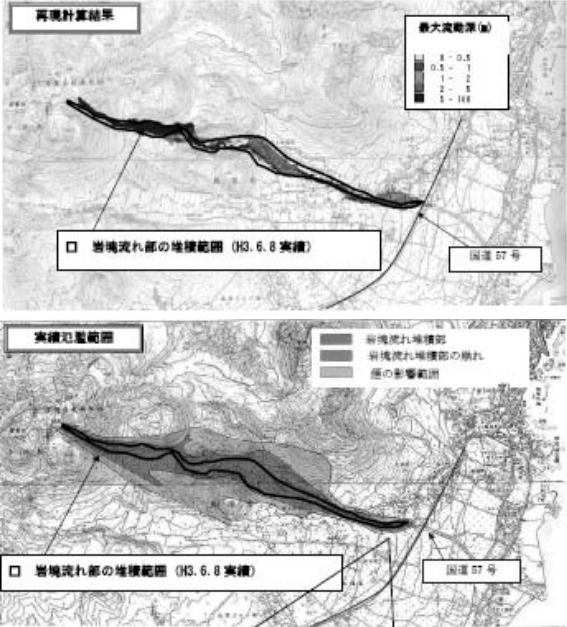


図 1 平成 3 年火砕流実績 (上) と数値計算 (下) の比較

## 5. 溶岩ドーム崩壊ケースの設定

既往検討を参考に、目視による亀裂部、応力解析による応力集中箇所、溶岩ロープの境界部、噴火前の地山との境界部などを根拠として、5 ケースの崩壊規模を想定した。

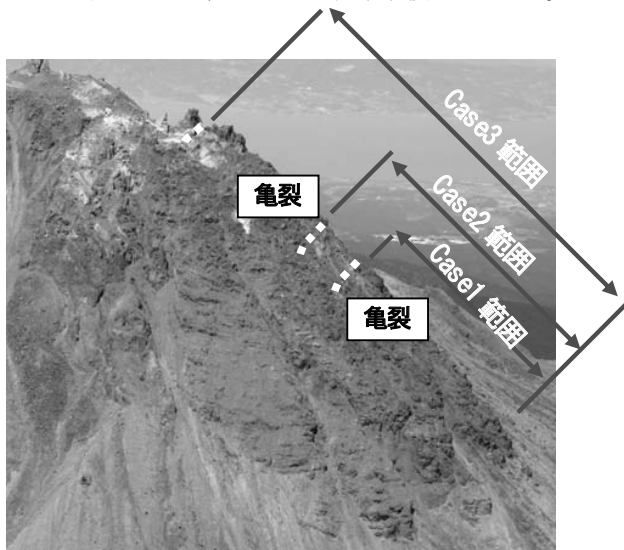


図2 溶岩ドームの亀裂の位置関係

表2 崩壊規模5 ケース

| ケース | 崩壊形状                    | 崩壊位置の根拠   | 土砂量 (万m <sup>3</sup> ) |
|-----|-------------------------|-----------|------------------------|
| 1   | 表層溶岩ロープ下方の亀裂部より崩壊       | 目視による亀裂   | 768                    |
| 2   | 表層溶岩ロープの中腹亀裂部より下部が崩壊    | 応力解析結果より  | 1,024                  |
| 3   | 表層溶岩ロープと下層ロープの境界より上部が崩壊 | 溶岩ロープの境界  | 1,792                  |
| 4   | 崩落堆積物と下層溶岩ロープの境界より上部が崩壊 | 溶岩ロープの境界  | 3,200                  |
| 5   | 噴火前の地山の境界で崩壊            | 噴火前地山との境界 | 5,376                  |

また、地上型合成開口レーダーの観測により、斜面の下部において、下方への相対的な移動（-7.5mm～-15mm 程度/4 ヶ月）が確認されている。これと溶岩ドーム下層の強度が小さいこと等から、表層の溶岩ロープが崩壊する case3 までの崩壊の危険性が高いと判断される。

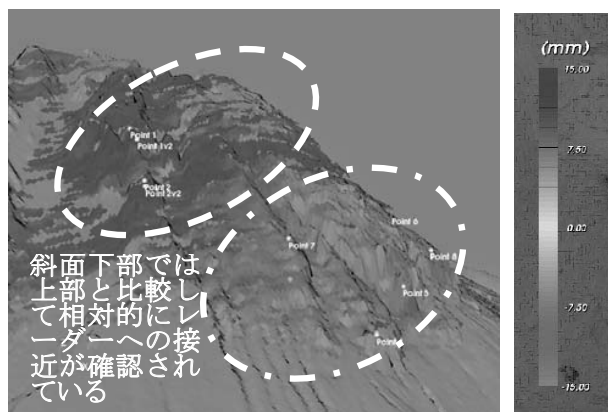


図3 地上型合成開口レーダーによる変位分布  
(平成23年10月19日から平成24年2月14日)

※「平成23年度 雲仙普賢岳溶岩ドーム観測手法精度向上検討業務 報告書」(国土交通省 雲仙復興事務所)より

## 6. 計算結果

計算の結果、case3 以上の崩壊土砂量において保全対象付近での氾濫が発生することが確認された。以下に case3 と case5 の結果を示す。

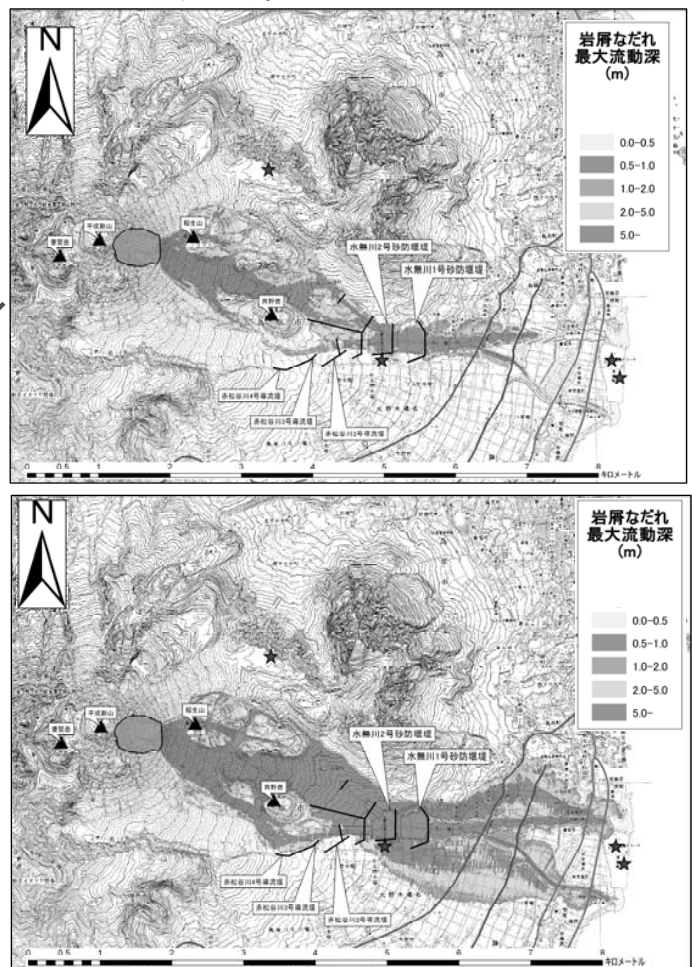


図4 計算結果（上：case3、下 case5）

## 7. おわりに

検討の結果、想定した崩壊規模における溶岩ドーム崩壊時の影響範囲について一定の知見を得ることができた。

氾濫範囲は崩壊土砂量によって大きく変化することから、氾濫範囲予測を予測し有効な対策事業を実施するためには、適切に崩壊土砂量を予測できるように崩壊規模・形状を把握する必要がある。

今後は、溶岩ドームの観測体制を構築していくことが課題であると考えられる。その上では、地上型合成開口レーダー、光波測距計による観測を組み込むことが有効であると考えられる。