

30 雲仙・普賢岳における平成3年6月3日,8日,9月15日の火砕流とその再現計算

(財)砂防・地すべり技術センター 西山 泰弘
住 鋳 コンサルタント(株) ○山下伸太郎
長 崎 県 島 原 振 興 局 川下 茂樹

1. はじめに

1992年4月現在も噴火活動を続けている雲仙・普賢岳では、1991年6月3日に発生し死者・行方不明者43名という大惨事を引き起こした火砕流をはじめ、度重なる火砕流の発生により周辺地域に深刻な影響をおよぼしている。我国では、普賢岳以外にも有史以来、渡島駒ヶ岳、浅間山、桜島等の火砕流による災害を発生させている火山が多い。

一方、普賢岳でもそうであるように、近年の土地利用の高度化に伴い火山山麓の火口近傍にまで人々の生活圏が拡大してきており、今後、これら地域の保全のためにも想定される火砕流の流下時間や流下範囲の予測が重要である。そして、これらの流下状況の把握は、ハザード・マップの作成、警戒避難および対策施設等を検討する上で必要不可欠である。

ここでは、これまで検討を行ってきた火砕流本体のシミュレーションモデル¹⁾を用い、1991年6月3日、8日および9月15日に雲仙岳で発生した火砕流の再現計算を行うとともに、実績との比較によりその適合性と問題点を検討した。

2. 1991年雲仙・普賢岳の火砕流の概要^{2), 3)}

普賢岳は1990年11月17日に約200年ぶりに噴火を始め、1991年5月20日には地獄跡火口に溶岩ドームが出現した。これが日毎に成長し、5月24日にはその一部が雲仙岳東側の水無川本川源頭部に崩落を始め、その後、連日小規模な火砕流が頻発した。そして、6月3日にそれまでで最大規模の火砕流が発生し、死者・行方不明者42名、負傷者9名という大惨事が発生した。この火砕流の本体は火口から約3.6kmの地点にまで到達し、その堆積土砂量は約250万 m^2 と推定されている。さらに、6月8日には堆積土砂量約350万 m^2 と推定される、さらに規模の大きな火砕流が発生し、水無川河道沿いに火口から約5.5kmの地点まで流下して河道を閉塞した。

8月中旬から火砕流は水無川支川のおしが谷方向に流下し始め、9月15日には噴火開始以来最大の火砕流が発生した。その本体は水無川本川にまで達し、その後は方向を変えて、ほぼ水無川の河道沿いに火口から約5.8km地点にまで流下した。この火砕流による堆積土砂量は約400万 m^2 と推定されている。

3. 二次元漸変流モデルを用いた火砕流の基礎方程式¹⁾

火砕流本体は粒子流として取り扱われ圧縮性を示す。この場合、火砕流の支配方程式として質量保存則、運動量保存則、エネルギー保存則および状態方程式を導き、これらを連立して解く必要がある。ここでは、流れを二次元漸変流として、次に示すように質量保存則を流れの体積の保存則(連続式)と粒子の体積の保存則とに分けて記述し、運動量保存則もそれにしたがって非圧縮性流体として近似を行い、計算を実行した。また、基礎方程式の差分には、スタッガード・スキームを用い、運動方程式の慣性項の空間差分には風上差分を用いている。

$$\text{(体積保存則)} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\text{(粒子の保存則)} \quad \frac{\partial}{\partial t}(ch) + c_* \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(cM) + \frac{\partial}{\partial y}(cN) = 0 \quad (2)$$

(非圧縮流体としての運動方程式)

x 方向:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial}{\partial x}(u_m M) + \beta \frac{\partial}{\partial y}(v_m M) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{F}{\rho_t} u_m \sqrt{u_m^2 + v_m^2} \quad (3)$$

y 方向:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial}{\partial x}(u_m N) + \beta \frac{\partial}{\partial y}(v_m N) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{F}{\rho_t} v_m \sqrt{u_m^2 + v_m^2} \quad (4)$$

$$F = \frac{3}{32\sqrt{10}} \frac{c^{4/3}}{1-(c/c_*)^{1/3}} T_e \mu \sigma \left(\frac{D}{h}\right)^2$$

ここに、 $M(=u_m h)$ 、 $N(=v_m h)$ は x および y 方向の流量フラックス、 u_m 、 v_m は平均流速の x および y 方向成分、 h は流動深、 z_b は路床位、 H は流動層上部標高($=z_b+h$)、 c_* は堆積時の粒子濃度、 β は運動量補正係数($=4.3$)、 T_e は流れの状態を表わす定数、 D は粒子径、そして σ は粒子密度である。また、 ρ_t は流れ全体の密度($\rho=c\sigma$)である。そして、粒子濃度 c は粒子間摩擦係数 μ およびエネルギー勾配 i_e の関数として次式のとおり与えられる。

$$c = \left(\frac{\sqrt{10}}{3} \frac{i_e}{\mu}\right)^3 \quad (5)$$

4. 火砕流の再現計算

4.1 計算条件

再現計算は、規模が大きかった6月3日、6月8日および9月15日に発生した火砕流について行った。計算の境界条件として火砕物供給量の時系列を与える必要があるが、その推定が困難であるため、ここではいずれの火砕流も5分間定常的に火砕物が供給されると仮定した。すなわち、火砕物の供給流量は、推定された堆積土砂に対して6月3日が5,000m²/s、6月8日が7,000m²/s、および9月15日が8,000m²/sとなる(堆積土砂の空隙率を0.4とした)。そして、供給される火砕物の粒子濃度は、計算開始点の地形条件から得られる平衡濃度とした。

基礎方程式中の定数は、 $D=30$ cm、 $\sigma=2.5$ g/cm³、 $T_e=1.0$ とし、 μ は若干の試算を行い火砕流の到達距離が実績と一致するように6月3日が $\mu=0.28$ 、6月8日が $\mu=0.18$ 、そして9月15日が $\mu=0.20$ とした。また、地形データは6月3日の計算では噴火前の地形、6月8日および9月15日ではそれまでの火砕物の堆積による地形変化を考慮した。なお、地形データは国土地理院の「雲仙岳数値標高データ」をもとに作成した50×50mメッシュ間隔のデジタルマップを用いた。

4.2 再現計算結果

再現計算による火砕流の流下範囲を実績の火砕流本体の流下範囲とあわせて図-1～図-3に示した。いずれの結果も火砕流の到達距離および流下範囲は、実績とほぼ一致している。しかし、流下範囲の下流側では、計算による範囲が実績よりも横断方向に広がる傾向がある。ここでは示していないが、

縦断方向の土砂堆積量の分布を比較すると、実績では流下範囲の下流側での堆積土砂量は比較的少ないのに対し、計算ではむしろ下流側に多くの土砂が堆積する結果となっており、この点が下流側での流下範囲の違いに影響しているものと考えられる。また、各火砕流の到達距離を一致させるように設定した μ の値は、最も下流にまで達した6月8日の火砕流の場合が最も小さく、火砕物の供給量よりも火砕流の停止勾配に依存している。このように、火砕流ごとで μ の値が異なるのは、高温の火砕物の流下により路床で水蒸気が発生した等の原因で圧力勾配が生じ、この圧力勾配が異なったことにより、見かけ上 μ が変化したものと考えている。また、堆積土砂量の分布が実績と一致しない理由も、この点が再現計算では考慮されていないためと思われる。

5. おわりに

雲仙・普賢岳で発生した火砕流について、その本体の再現シミュレーションを行った結果、火砕流の流下範囲を比較的良好に再現することができた。ここでは、実績の流下範囲に適合するように μ の値を決定しているが、普賢岳のように多くの火砕流の実績がある場合には、再現計算により μ の数値を予測し、今後発生する火砕流の流下範囲の予測が可能であると考えられる。しかし、計算では堆積分布が実績と必ずしも一致しないという問題の解決と、火砕流の流下実績に乏しい火山での災害予測のためにも、高温の火砕物と路床の間隙水との接触で発生する水蒸気や、火砕物からの気体の放出による圧力の発生を考慮した流動モデルを含め、定量的な μ の評価方法について検討を進めていく必要がある。

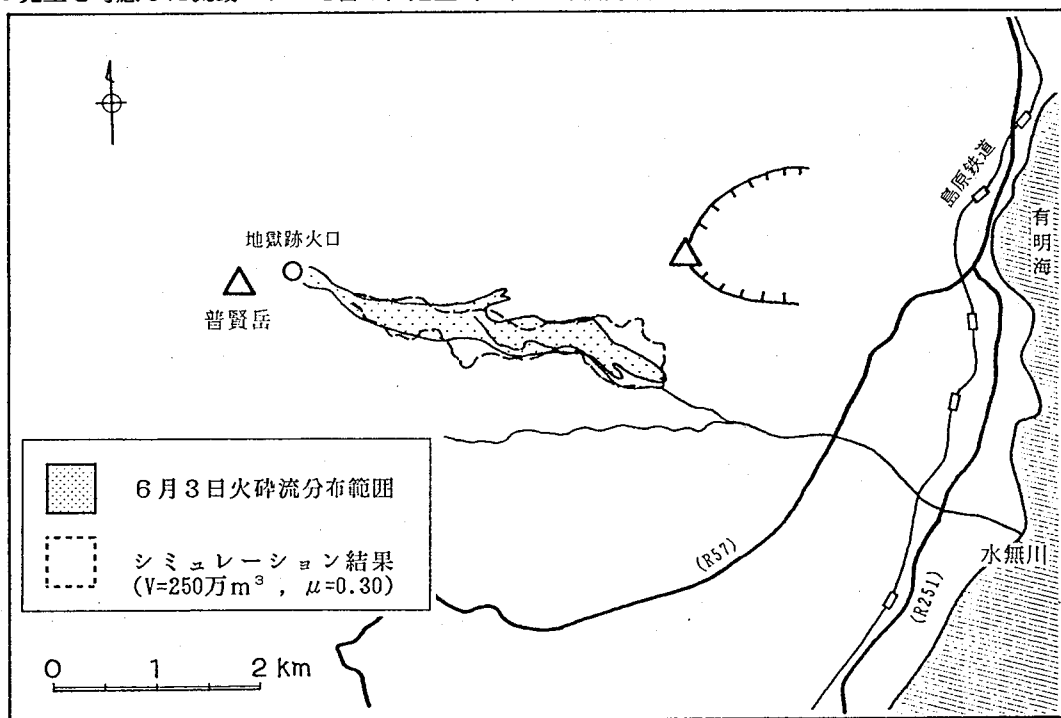


図-1 6月3日の火砕流の再現計算結果

参考文献

- 1) 宮本他:火砕流の流動特性と流下・堆積範囲の予測に関する研究,水工学論文集,第36巻,pp.211-216,1992.
- 2) 池谷・石川:平成3年雲仙岳で発生した火砕流,土石流災害,新砂防,Vol.44,No.3,pp.46-56,1991.
- 3) 池谷・石川:平成3年雲仙岳で発生した火砕流,土石流災害(第2報),新砂防,Vol.44,No.5,pp.36-46,1991.

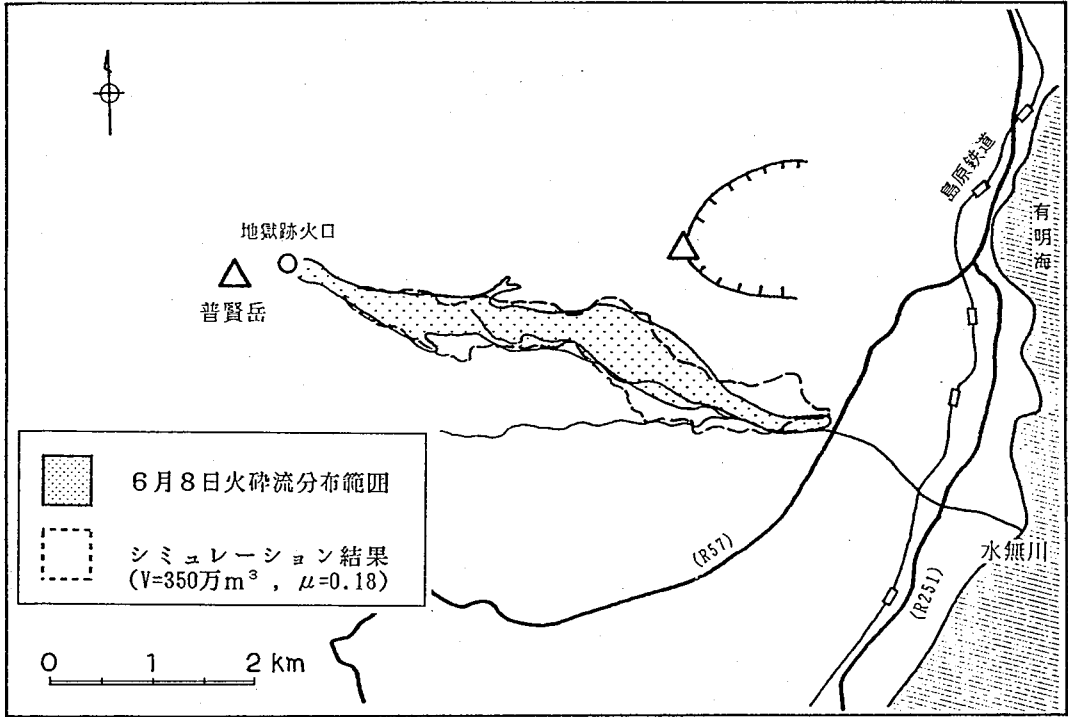


図-2 6月8日の火砕流の再現計算結果

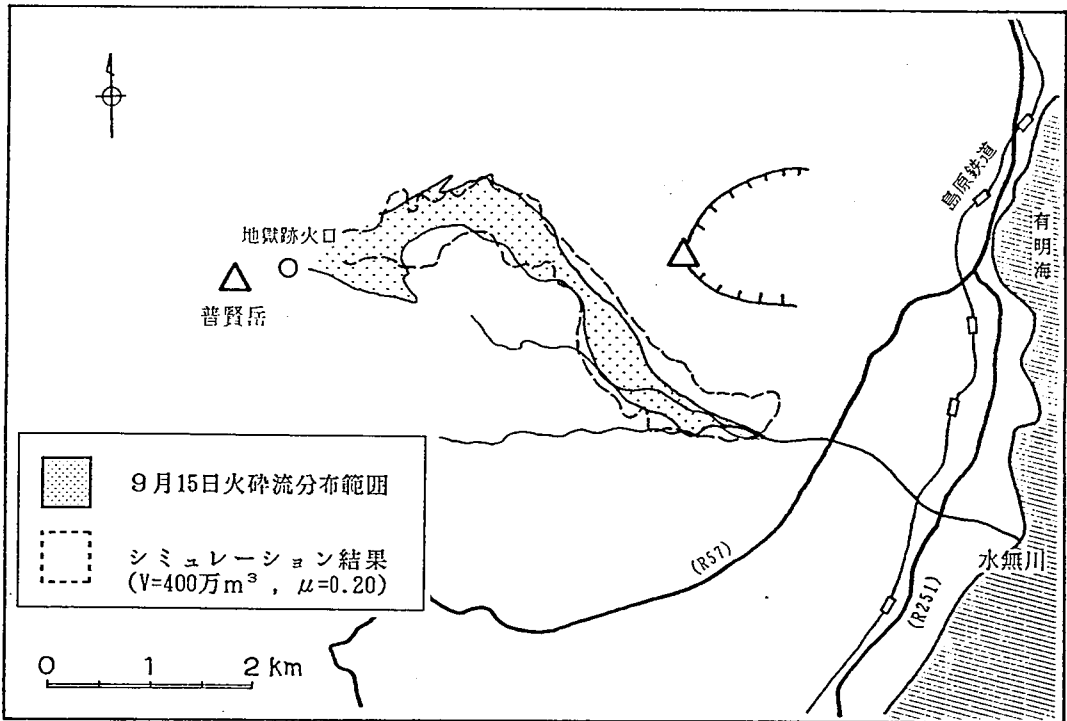


図-3 9月15日の火砕流の再現計算結果