

八千代エンジニアリング株式会社 ○井戸清雄
 京都府立大学 農学部 石川芳治
 建設省 土木研究所 山田孝、矢島重美

1. はじめに

火砕流本体部の氾濫シミュレーションは、平成3年6月3日、8日の雲仙水無川災害等を対象として過去何度か実施されている^{1)、2)}。これらは、火砕流を完全弾性体からなる粒状体の流動であると仮定して粒子の接触到起因する静的な圧力が無視される³⁾として、構成則、濃度則が導かれている。

しかし、土木研究所の実験³⁾によると火砕流本体部を模擬化した乾燥粒子流の実験結果では、土砂濃度が流路勾配や流路底面の空気圧力に依存せず、40~50%とほぼ一定となり、既往のシミュレーションに用いられている濃度則にしたがわない結果が得られた。そこで、シミュレーションの基礎方程式の再検討を行い、上記の雲仙普賢岳の火砕流災害の再現計算を実施した。

2. 計算モデル

計算モデルは、平面2次元流れの運動方程式を基礎として抵抗則を、江頭・芦田⁴⁾等によって導かれた下記の土石流の構成則をベースに設定した。

$$\tau = P s' \cdot \tan \phi + k_e (1-e^2) \sigma d^2 C^{1/3} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + k_t \cdot \rho \cdot d^2 \cdot \frac{(1-C)^{5/3}}{C^{2/3}} \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$P s = \{1/(1+\alpha)\} \cdot (\sigma - \rho) \cdot C \cdot g \cdot h \cdot \cos(\theta) \dots \dots \dots (2)$$

$$P s' \leq P s$$

ここに、 $P s$: 静的な粒子接触圧力 (ガス圧無し、 $P s' = P s$)、 $P s'$: ガス圧考慮後の $P s$ 、 ϕ : 砂礫の内部摩擦角、 e : 粒子の反発係数(0.8)、 σ : 砂礫の密度、 d : 砂礫の粒径、 C : 土砂濃度、 u : 流速、 z : 流動深方向座標値、 k_e 、 k_t 、 α : 実験定数で各々0.0828、0.25、0.25、 ρ : 間隙流体の密度、 g : 重力加速度、 h : 流動深である。火砕流のような乾燥粒子流では、 ρ は空気密度であり、 σ に比して非常に小さく式(1)の第3項は無視できる。

その他の型式、差分式は、従来通り²⁾とした。

なお、今回の計算では濃度変化を追跡しないので、停止、堆積は計算終了時点 (例えば火砕流を10分供給すれば10分後) の流動深 H を次式で堆積深 $Z d$ に置き換えることとした。

$$Z d = H \cdot C / C_* \quad (C_* : \text{堆積土砂濃度}) \dots \dots \dots (3)$$

3. 計算条件

計算条件は、下記のとおりであり、従来、石川等によって行われた計算²⁾の条件と同じである。

	流量	土砂濃度	時間	土砂量
6月3日	6250m ³ /s	40%	14分	3500 千m ³
6月8日	8750	40	12分	4200

内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 、代表粒径 $d : 10\text{cm}$

4. 計算結果

計算は、上記の計算モデルでガス圧を考慮せず計算を行ったところ、6月3日火砕流の氾濫範囲は図-1に示すCASE-1 ($P s' = P s$) の上流の狭い範囲に限られ実績にはほど遠い氾濫範囲となった。別

$\phi = 30^\circ$

に実施した実験³⁾でも、流路底面から空気流を与えないと乾燥粒子流は流動しないことから、 $P_s' = P_s - P_a$ に置き換え、 P_a 値を変化させることで計算を実施した。すなわち、接触圧力 P_s が火山岩からの噴出ガス圧 P_a により減少すると仮定した。

先ず、 P_a 値を一律1、2、3、4、5 tf/m^2 として5ケースの計算を行ったが、あまり計算結果に差が無かった。これは、CASE-1では流動深が10~50mにもなり、 P_a 値の影響が現れないためと考えられる。そこで、 $P_a = 0.5 \cdot P_s$ 、 $0.75 \cdot P_s$ 、 $0.8 \cdot P_s$ として計算を行った。つまり、 $P_s' = 0.5 \cdot P_s$ (CASE-2)、 $P_s' = 0.25 \cdot P_s$ (CASE-3)、 $P_s' = 0.2 \cdot P_s$ (CASE-4)の4ケースの計算である。

6月3日火砕流の計算結果と実績の到達範囲を比較したのが図-1であるが、CASE-3が最も実績に近い範囲の計算結果を与えている。つまり、粒子間の圧力が式(2)の計算値の1/4程度と仮定すると実績に近くなる。これは、 P_s を式(2)で計算された値を用いると、式(1)から見かけ上、内部摩擦角が減少していることと

計算上は等価であり、CASE-3の場合は $\phi = 30^\circ$ から $\phi = 8^\circ$ 程度となっていることになる。実際上は、噴出ガス圧による P_s の減少、 ϕ の減少等が火砕流の流動性を高めているものと思われる。

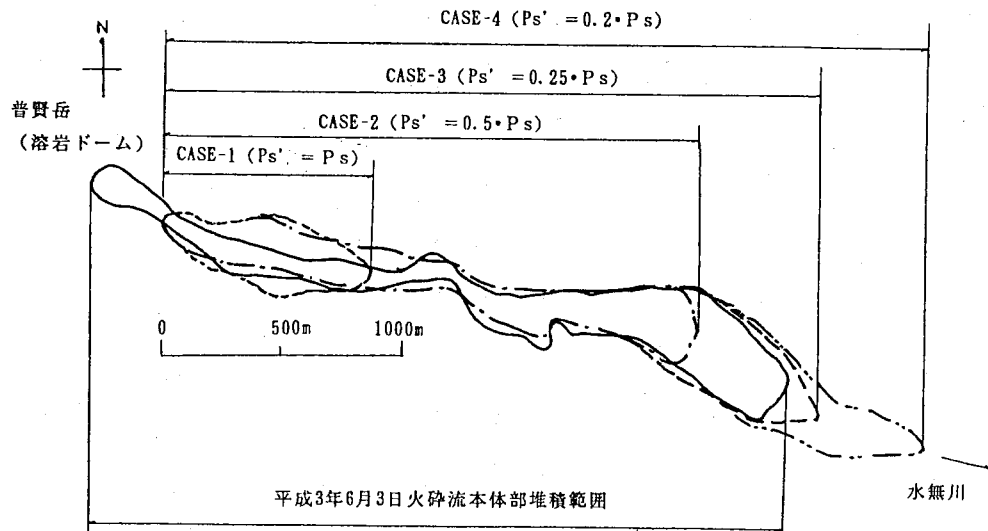


図-1 火砕流本体部氾濫シミュレーション結果

5. 流路実験に関する検討

別に実施された流路実験においても、土砂の安息角以下の勾配では、ガス供給が無い場合、乾燥粒子流は全く流動性がなく底面からのガス供給によって流動性が生じる。上記の計算モデルで勾配 20° の流路実験結果を再現計算したところ、CASE-1 ($P_s' = P_s$)相当では、大部分の土砂が供給地点に堆積し、CASE-2 ($P_s' = 0.5 \cdot P_s$)相当の条件では堆積無く流下し実験結果を定性的に再現できた。

6. 成果と今後の課題

火砕流の流動機構についてシミュレーションモデルの検討を行い、ガス圧の影響を考慮した物理モデルで実火砕流の氾濫範囲を再現できた。しかし、ガス圧の与え方とその程度、停止・土砂堆積モデルにまだ工夫、研究が足りないため、今後、実験や数値シミュレーションを通してより再現性の高い説得力あるシミュレーションモデルを作成したいと考える。

参考文献~1)宮本・鈴木・山下「火砕流の流動モデルと流下・堆積範囲の予測に関する研究」水工学論文集、第36巻、1992年2月 2)石川他「雲仙岳で発生した火砕流堆積実態とシミュレーション計算との比較」、雲仙火山砂防研究報告第1号、(社)砂防学会、1994 3)建設省土木研究所「平成7年度火砕流本体部の運動機構に関する実験業務報告書」1995年10月 4)江頭・芦田・矢島・高浜「土石流の構成則に関する研究」京都大学防災研究所年報、第32号B-2、1989