

1. はじめに

フィリピンピナツボ火山や我が国雲仙普賢岳では、火砕流により大きな災害が生じており、その発生や対策についての研究が急務となっている。火砕流は、火山の爆発の際、火口より各種の粒径の粒子とガスが噴出し、高温のまま斜面を流下するものとみられる。そのシミュレーション法としては、斜面に沿う流れとしての疑似3次元流体モデルや3次元の混相流解析などが考えられるが、本文では、準3次元流体モデルにより、斜面に沿う高濃度部と中程度の濃度部の2層の流れとして、ともに高温ではあるが浮力は無視できるとして火砕流のシミュレーションを行い、その流下・堆積について若干の検討を行う。

2. シミュレーション法

図1に示すように、火砕流を粒子濃度の濃い部分とそれほどでない中程度の部分の二つの流体とし、それぞれ斜面に沿う流れとして扱う。すなわち二つの流体ともに連続の式と2方向の運動量保存式を立てて解く。その際、高温による浮力は無視できるとする。図2に座標系を示す。また上部の流体は下部流体よりせん断力を受けるとする。また平面上で斜面を等分割し、 ξ および η をメッシュ点で1, 2, ...となるように選ぶ。斜面での滑り抵抗はクーロン滑り抵抗と粘着力および速度の2乗に比例する力とする。

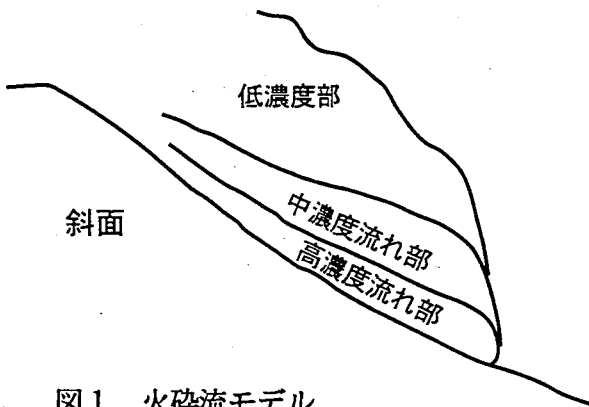


図1 火砕流モデル

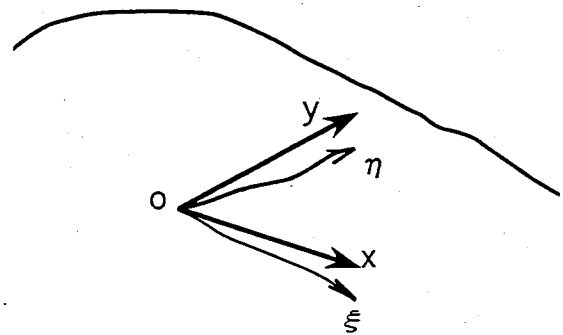


図2 座標系

下部の高濃度流体の流れ基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} \frac{\partial q_\xi}{\partial \xi} + \frac{1}{\Delta y} \frac{\partial q_\eta}{\partial \eta} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_\xi}{\partial t} + \frac{u}{\Delta x} \frac{\partial q_\xi}{\partial \xi} + \frac{v}{\Delta y} \frac{\partial q_\xi}{\partial \eta} = - \frac{gh}{\Delta x} \frac{\partial (z+h)}{\partial \xi} - \tau_\xi / \rho \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_\eta}{\partial t} + \frac{u}{\Delta x} \frac{\partial q_\eta}{\partial \xi} + \frac{v}{\Delta y} \frac{\partial q_\eta}{\partial \eta} = - \frac{gh}{\Delta x} \frac{\partial (z+h)}{\partial \xi} - \tau_\eta / \rho \quad (3)$$

$$\tau_\xi = (C + \mu \rho gh) e^{-|u|/c_v} \frac{u}{|u|} + c_w \rho u |u| \quad (4)$$

$$\tau_\eta = (C + \mu \rho gh) e^{-|v|/c_v} \frac{v}{|v|} + c_w \rho v |v| \quad (5)$$

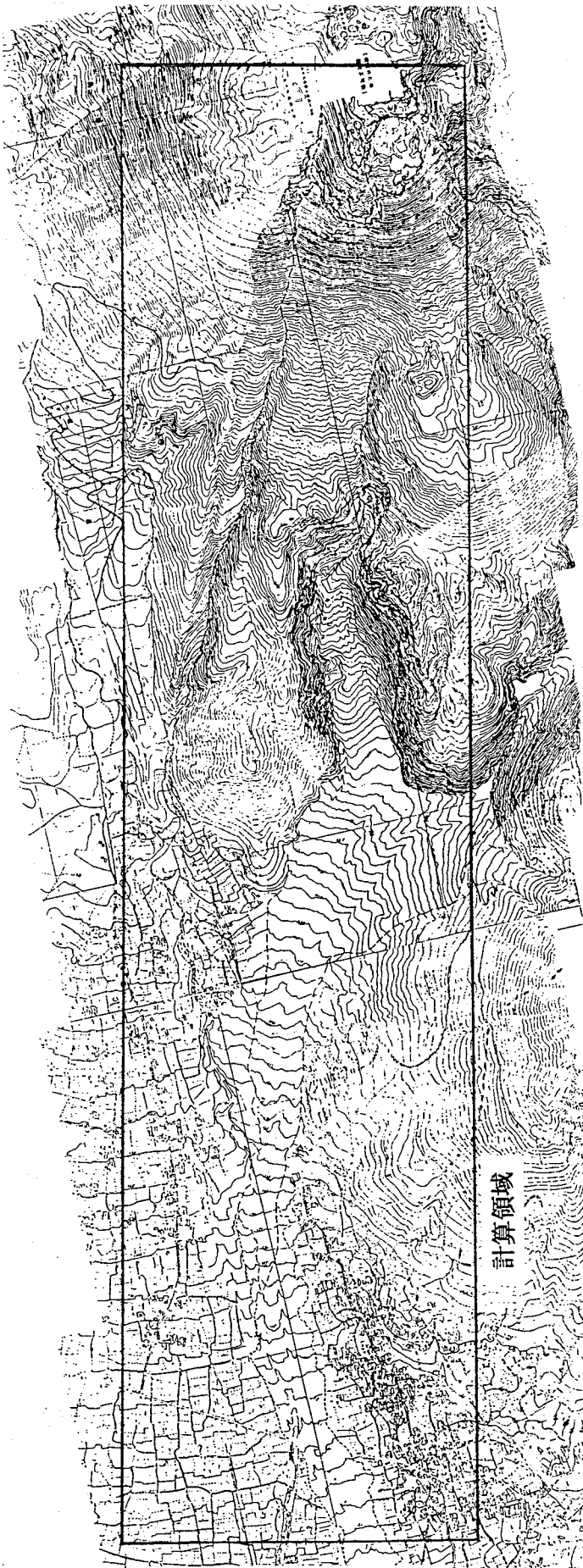


図3 火砕流の計算領域

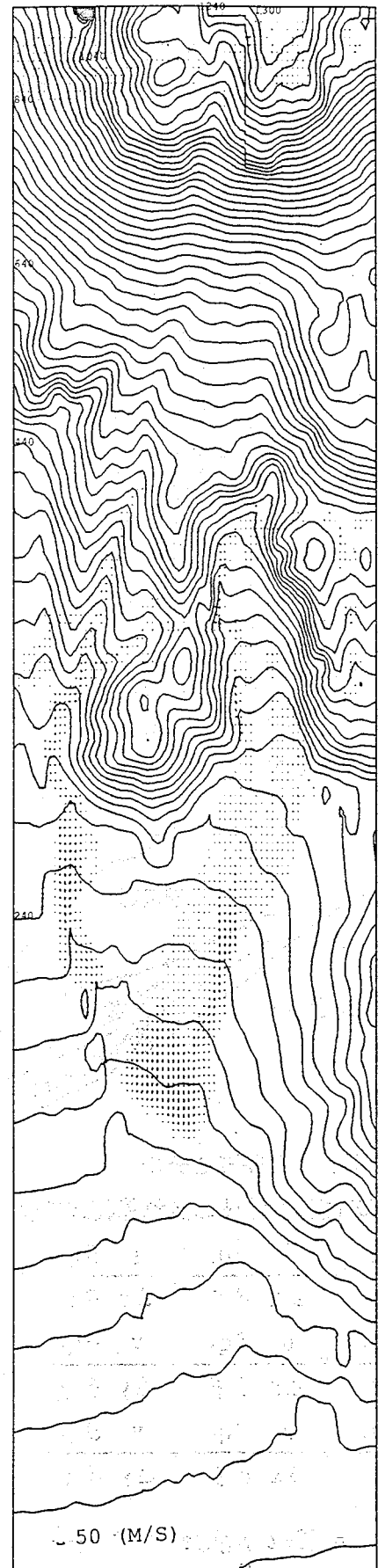


図4 高濃度部流速分布 (225秒)

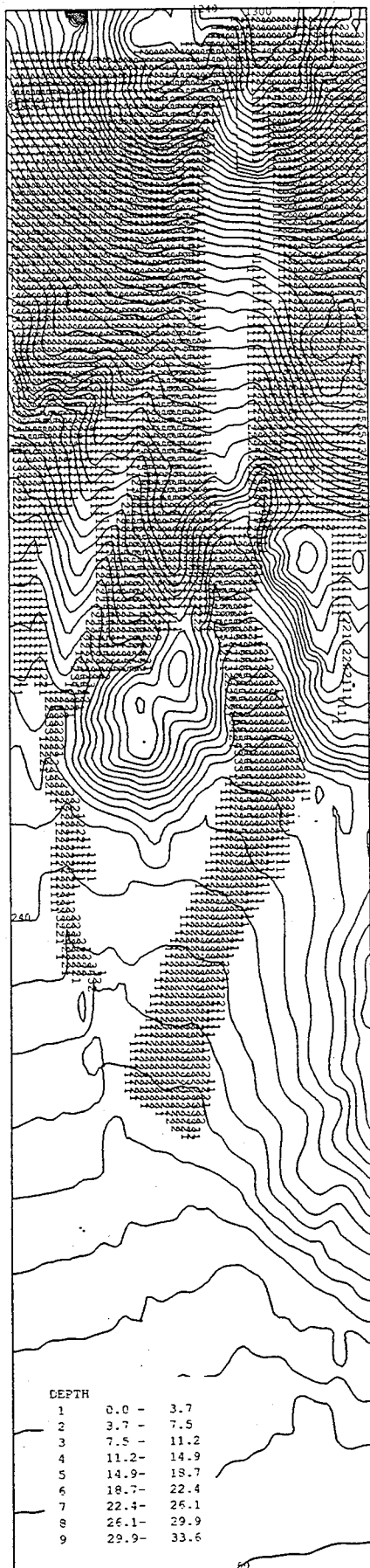


図5 高濃度部の流れ層厚分布

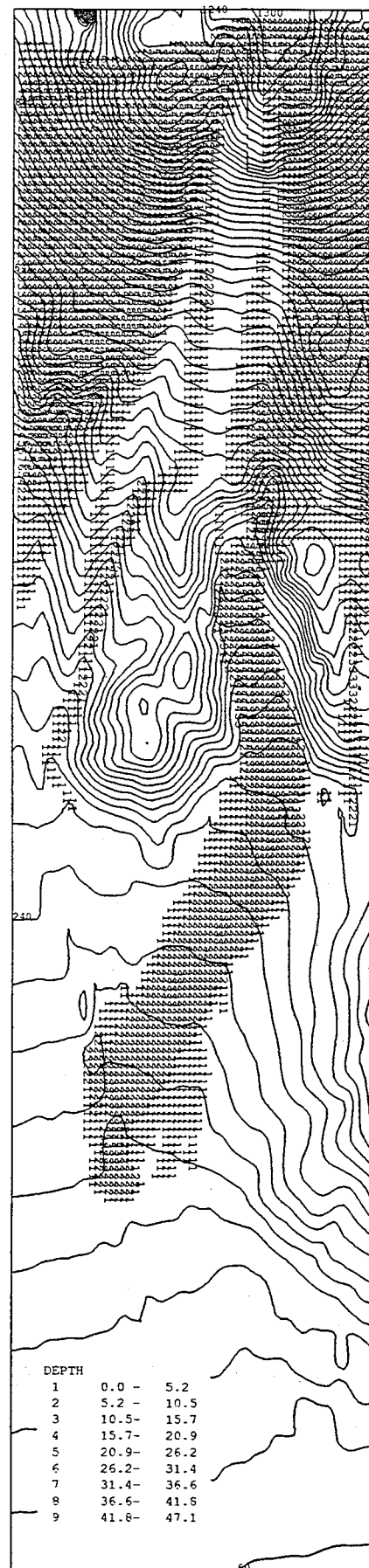


図6 中間濃度部の流れ層厚分布

ここに、 h は下部流体の層厚、 u および v はそれぞれ下部流体の斜面に沿う ξ および η 方向の速度、 μ 下部流体の摩擦係数、 C は下部流体の凝集力、 ρ は下部流体の密度、 c_v および c_w はそれぞれ下部流体の係数、 g は重力加速度である。

つぎに上部流体の中間濃度部の流れ基礎式を示す。

$$\frac{\partial h_g}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} \frac{\partial q_{g\xi}}{\partial \xi} + \frac{1}{\Delta y} \frac{\partial q_{g\eta}}{\partial \eta} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial q_{g\xi}}{\partial t} + \frac{u_g}{\Delta x} \frac{\partial q_{g\xi}}{\partial \xi} + \frac{v_g}{\Delta y} \frac{\partial q_{g\xi}}{\partial \eta} = - \frac{gh_g}{\Delta x} \frac{\partial (z+h_g)}{\partial \xi} - \tau_{g\xi}/\rho_g \quad (7)$$

$$\frac{\partial q_{g\eta}}{\partial t} + \frac{u_g}{\Delta x} \frac{\partial q_{g\eta}}{\partial \xi} + \frac{v_g}{\Delta y} \frac{\partial q_{g\eta}}{\partial \eta} = - \frac{gh_g}{\Delta x} \frac{\partial (z+h_g)}{\partial \eta} - \tau_{g\eta}/\rho_g \quad (8)$$

$$\tau_{g\xi} = C_r \rho_g u_r |u_r|, \quad u_r = u_g - u \quad (9)$$

$$\tau_{g\eta} = C_r \rho_g v_r |v_r|, \quad v_r = v_g - v \quad (10)$$

ここに h_g は上部流体の層厚、 u_g および v_g はそれぞれ上部流体の斜面に沿う ξ および η 方向の速度、 u_r および v_r はそれぞれ上部流体と下部流体の相対速度の ξ および η 方向成分、 ρ_g は上部流体の密度、 C_r は係数である。

3. 雲仙普賢岳火砕流

・計算対象地域： 図3に計算対象地域を示す。ここでは、水無し川流域をとって、平面図で幅 1400 m 長さ 6000m を計算対象とした。この計算対象地域を幅方向には 20m ピッチで 70 メッシュに、長さ方向には 30m ピッチで 200 メッシュに分割した。

・噴火のモデル： 噴火は60秒間継続するとして、火口（1メッシュの広さ）より、砂礫が総量で35万 m^3 、ガスは総量で70万 m^3 定常的に排出されるものとした。噴火より60秒後にはその排出は停止するとした。計算では、短い時間刻みごとに火口での火砕流層厚が噴火量に従って加算されるとしている。なお実時間で225秒の現象を計算した。

・モデル諸元： μ 、 C 、 ρ 、 c_v および c_w をそれぞれ 10^{-3} 、10kgf/ m^2 、1000kgf s^2/m^4 、5m/s、 10^{-3} とし、 ρ_g および C_r はそれぞれ100kgf s^2/m^4 および0.01とした。

・シミュレーション結果： 図4に高濃度部の時刻225秒のときの速度分布を示す。まだ完全には火砕流は停止していないようである。図5および図6にそれぞれ2層の流れの層厚分布を示す。図5および図6の結果は、災害調査報告¹⁾の土砂堆積状況にかなり近いものになっている。火砕流先端部が完全に停止するまで計算すれば、もう少し結果の一致が見られると思われる。また、火口付近の地形により、計算領域外に火砕流が流れ、着目地点への流下量が少なくなっている。

4. おわりに

火砕流シミュレーションでは、火口付近の地形が非常に重要であり、計算結果に大きく影響する。すなわち計算領域外に火砕流が流れ、着目地点への流下量が少なくなると、火砕流の到達も大きく影響されると思われる。

参考文献

- 1)池谷、石川：新砂防、Vol. 44, No. 5, 1992年1月、2)宮本他：第33回水理講演会論文集、1992年2月
- 3)北原ほか：昭和61年度砂防学会研究発表会概要集