

乾燥粒子流の一次元数値解析

鳥取大学工学部 正 員 道上 正規
 鳥取大学地域共同研究センター 正 員 宮本 邦明
 鳥取大学大学院 学生員 ○片嶋 啓介

1. はじめに

雲仙普賢岳の火山活動以来、火砕流は一般に知られるようになったが、その運動・堆積機構についてはよくわかっていない。火砕流は大きくは本体部と熱風部からなり、流下・堆積は主に本体部の運動に依存するものと考えられている¹⁾。従来、火砕流本体部の運動についての研究は火砕流の粒子の反発が卓越するような場合についてなされてきた。本研究では、特に火砕流の堆積過程に着目し、その際問題となる粒子間の静的な接触を考慮した、運動・堆積機構の一次元数値解析手法について検討を行ったので報告する。

2. 解析方法

流れの応力は、衝突による応力と静的な接触による応力を考慮して、圧力 p とせん断力 τ がそれぞれ

$$p = p_s + p_d, \quad \tau = \tau_s + \tau_d \quad \dots (1)$$

と表せる。ここに、添字 s は粒子相互の静的な接触による応力、添字 d は粒子の衝突による動的な応力である。静的な応力 p_s 、 τ_s の間には

$$\tau_s = p_s \cdot \tan \phi_s \quad \dots (2)$$

なる関係がある。ここに、 ϕ_s : 粒子の内部摩擦角である。

また、動的な応力 p_d 、 τ_d はそれぞれ

$$\tau_d = \frac{1}{12} (1 - e^2) \sin^2 \alpha \cdot C^{\frac{1}{3}} \cdot \sigma d^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad \dots (3)$$

$$p_d = \frac{1}{12} e^2 \sin^2 \alpha \cdot C^{\frac{1}{3}} \cdot \sigma d^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad \dots (4)$$

と表される²⁾。ここに、 e : 粒子の反発係数、

α : 粒子の衝突角、 C : 粒子濃度、 σ : 粒子の密度、

d : 粒径である。応力の動的な応力と静的な応力への分配を

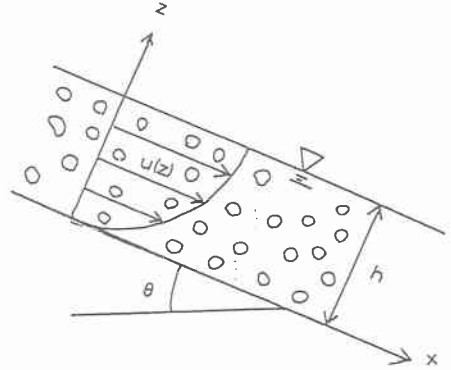
図一 定常・疑似等流での模式図

$p_s = \alpha_p p$ 、 $p_d = (1 - \alpha_p) p$ とする。疑似等流、静水圧分布の仮定のもとで、 z 方向に積分した一次元流れでの質量保存則及び流れ方向の運動量保存則は次式のようなである。

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial \rho M}{\partial x} = 0 \quad \dots (5) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial u_m M}{\partial x} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_0}{\rho} \quad \dots (6)$$

ここに、 t : 時間、 x : 斜面距離、 ρ : 密度、 h : 流動深、 $M (= u_m h)$: x 方向の運動量フラックス、 β : 運動量補正係数、 u_m : x 方向の断面平均流速、 H : 流れの表面の標高、 g : 重力加速度、 τ_0 : 流れの底面に働くせん断力、である。また、 τ_0 は次のようになる。

$$\tau_0 = \frac{25}{48} \frac{(1 - e^2) \sin^2 \alpha \cdot C^{\frac{1}{3}} \cdot \sigma}{[1 - \alpha_p (\tan \phi_s / \tan \theta)]} \left(\frac{d}{h} \right)^2 u_m^2 \quad \dots (7)$$



これらの基礎式をリーブ・フロッグスキームを用いて差分化し、一次元の数値計算を行った。

3. 計算条件

急斜面上の土塊が、与えたすべり面上をすべることとし、土塊の初速は0としている。その他の条件は次の表-1のようである。

表-1

滑面の急斜面勾配 (θ_u)	6/10 (36.96°)
滑面の緩斜面勾配 (θ_d)	1/50 (1.15°)
粒子の内部摩擦角 (ϕ_s)	26.6°
粒径 (d)	0.05m
粒子の反発係数 (e)	0.8
動的な応力と静的な応力の比 (α_p)	0.85

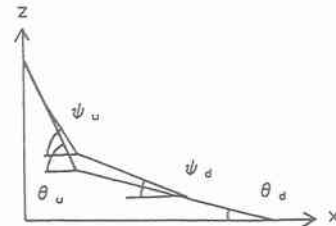


図-2 各勾配の模式図

この条件下で急斜面部分の長さと土塊の形状を表-2に表すように変化させて、計算を行った。

表-2

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
急斜面長	500m	500m	1000m	1000m
初期土塊の単位幅体積	200m ²	400m ²	200m ²	400m ²
初期土塊の形状	三角形	長方形	三角形	長方形
上流側の表面勾配 (ϕ_u)	29.05°	28.17°	28.32°	26.92°
下流側の表面勾配 (ϕ_d)	2.31°	2.96°	1.96°	3.35°

4. 計算結果

結果の一例を図-3に示す。

初期土塊の形状など計算ケースによらず流下中は流れのピークがつぶれてなだらかな形状をとる。堆積は勾配の変化点で生じるが、そのとき堆積土砂の表面勾配はほぼ一定の値をとる。堆積土塊の上流側の表面勾配はほぼ土の内部摩擦角に一致し、下流側では2~3°の値をとる。これは、代表的な扇状地の勾配や多くの土石流や火砕流の堆積勾配に一致している。このことから、このモデルは火砕流などの粒子流の堆積の代表的な特性を表現できるものと考えられる。

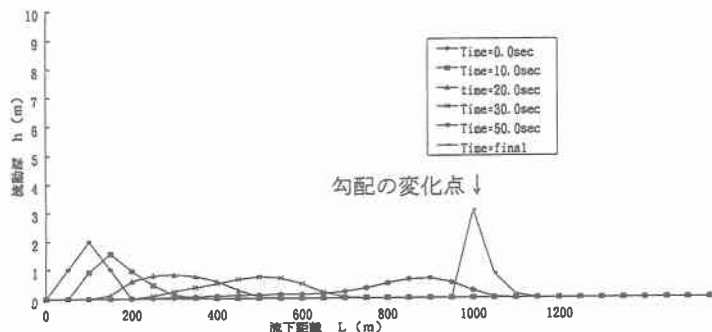


図-3 流下中の形状変化(CASE3)

このことから、このモデルは火砕流などの粒子流の堆積の代表的な特性を表現できるものと考えられる。

5. おわりに

今後は、実験値との比較を行って、計算の精度を検討していくとともに緩勾配側の角度が下流側の堆積勾配より大きな値の時にはどのような特性を表すかなど様々な条件下について検討していきたい。

6. 参考文献

- 1) 宮本邦明・鈴木宏・山下伸太郎 (1992) 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, pp. 211-216
- 2) 大同淳之・宮本邦明・三輪浩・西本直史 (1984) Newton 流体を含む粒子流の構成方程式のエネルギー的考察, 39回土木学会全国大会II, pp. 367-368