

II-114

泥流型土石流の堆積シミュレーションに関する研究

名城大学理工学部 正 員 新井宗之
 京都大学防災研究所 正 員 高橋 保
 名城大学大学院 学生員 伊藤清克

1. はじめに: 比較的粒径が大きい粒径の土石流の堆積過程については、土石流を連続体として取扱いいその停止限界を与えて連続体が停止堆積するというモデルで現象がよく説明する事が明かにされている。しかしながら、粒子が微細な場合には、過剰濃度の粒子が沈降堆積する過程であると考えの方が良いと考え、ここではその数値計算と実験結果との比較検討を行なった。

2. 実験の概要: 実験水路は、幅15cmの直線水路とその下流端に190cm 四方の平面の水路が接続されている可変勾配水路である。直線水路の水路勾配は $\theta_0=18^\circ$ 、平面域では $\theta_0=1^\circ$ 及び 3° の条件で行なった。平面域での水路床材料は発泡スチロールで、堆積高さの測定は10cm格子に直径径が約2mmの測定棒を立てておき堆積土砂を読み取った。実験砂は $d_{50}=0.17\text{mm}$, $\sigma=2.65\text{g/cm}^3$ 。上流端より土砂と水を混合して、容積濃 $C=0.35$ 、流下流量 $Q_1=800\text{cm}^3/\text{s}$ の土石流を5秒間流下させ堆積状態を測定した。

3. 計算方法: 泥流は連続体としての取扱いが可能であると思われるので、圧力項を静水圧近似とする漸変流と仮定すれば、運動方程式は式(1), (2) のようである¹⁾²⁾。また連続体の連続式及び粒子成分の個体部分に関する連続式は(3), (4)式のものである。

泥流型土石流の抵抗則として著者らは(7)式のように与えているが、この式の適用条件として、粒子が粒子間隙水の乱れによって浮遊していると考えていることより、(11)式を与えている。³⁾。しかし、(11)式の適用条件を満たさない場合には、(7)式は対数の関数であることから近似的に Manning則が適用できるものと考え、(9), (10)式を用いる。任意の点において流れが粒子を浮遊できる濃度 C_d よりも高濃度の場合、濃度差 $(C-C_d)$ の粒子が沈降堆積するものとすれば堆積速度は(5)式のように表わすことができる。従って、地盤

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta' \frac{\partial(u \cdot M)}{\partial x} + \beta' \frac{\partial(v \cdot M)}{\partial y} = -g \cdot h \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta' \frac{\partial(u \cdot N)}{\partial x} + \beta' \frac{\partial(v \cdot N)}{\partial y} = -g \cdot h \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \dots (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = l \dots (3)$$

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} + \frac{\partial(C \cdot M)}{\partial x} + \frac{\partial(C \cdot N)}{\partial y} = l \cdot C \dots (4)$$

$$l = -k \frac{(C-C_d)}{C} W_s \dots (5)$$

$$\frac{dz}{dt} + l = 0 \dots (6)$$

$$\frac{u}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \left\{ \operatorname{arcsinh} \left(\frac{1}{\phi} \right) - \operatorname{arcsinh} \left(\frac{Y_0}{\phi} \right) - \sqrt{1 + \phi^2 + \phi} \right\} \dots (7)$$

$$\phi^2 = \lambda^2 \cdot \left(\frac{g \cdot \sin \alpha}{\kappa} \right) \left(\frac{\rho_s}{\rho_m} \right) \left(\frac{d}{h} \right)^2, \quad \lambda = 1 / \{ (C/C_d)^{1/3} - 1 \} \dots (8)$$

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho_m} = \frac{g \cdot h^2 \cdot u \cdot \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \dots (9), \quad \frac{\tau_{by}}{\rho_m} = \frac{g \cdot h^2 \cdot v \cdot \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \dots (10)$$

$$\frac{h}{d} \geq \frac{\left(\frac{\rho_s}{\rho_0} - 1 \right) \cdot F^2}{\sin \alpha \left[\left(\frac{\rho_s}{\rho_0} - 1 \right) \left(1 - \frac{1}{\tan \theta} \right) \cdot C + 1 \right]} \dots (11)$$

$$F = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 V_0^2}{s \cdot g \cdot d^3}} - \sqrt{\frac{36 V_0^2}{s \cdot g \cdot d^3}} \dots (12)$$

$$\frac{M_{i-\frac{1}{2},j} - M_{i-\frac{1}{2},j-1}}{\Delta x} + XDX + XDY$$

$$= -g \frac{(h_{i,j}^n + h_{i-1,j}^n)(h_{i,j}^n - h_{i-1,j}^n)}{2 \Delta x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \dots (12)$$

$$\frac{\partial(V \cdot M)}{\partial y} = XDY = \begin{cases} \frac{V_{M i-\frac{1}{2},j}^n \cdot M_{i-\frac{1}{2},j-1}^n - V_{M i-\frac{1}{2},j-1}^n \cdot M_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta y} & V_M \geq 0 \\ \frac{V_{M i-\frac{1}{2},j-1}^n \cdot M_{i-\frac{1}{2},j-1}^n - V_{M i-\frac{1}{2},j}^n \cdot M_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta y} & V_M < 0 \end{cases}$$

$$V_{M i-\frac{1}{2},j}^n = \frac{1}{4} (V_{i,j-1}^n \cdot V_{i,j-1}^n + V_{i-1,j-1}^n + V_{i-1,j-1}^n \cdot V_{i-1,j-1}^n) \dots (13)$$

$u, v: x, y$ 方向の平均流速、 $M(=uh)$, $N(=vh): x, y$ 方向の流量フラックス、 h :流動深、 $l=z+h$, z :河床の基面からの高さ、 τ_{bx} , $\tau_{by}: x, y$ 方向の底面摩擦、 β' :運動量補正係数、 g :重力加速度、 l :堆積速度、 $\rho_m = \rho_0 + (\rho_s - \rho_0) \cdot C$:見かけの平均密度、 ρ_0, ρ_s :水、粒子の密度、 V_s :流動深 h の柱の中に含まれる個体部分の容積、 C :流動層中の個体成分の容積濃度、 C_d :個体粒子の堆積での容積濃度、 w_s :粒子の流体中の沈降速度、 $Y_0 = y_0/h$, $y_0 = (a \cdot \nu_0)/u_*$, $a=1/9.025$, ν_0 :水の動粘性係数、 $a, \sin \alpha$:定数、 κ :カルマン定数、 $S = \sigma/\rho_0 - 1$, $u_* = (g \cdot h \cdot \sin \theta)^{1/2}$ 。

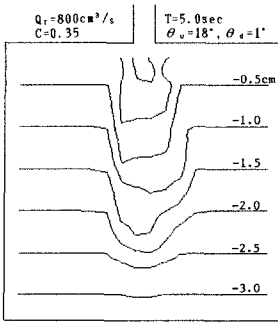


図-2 実験結果

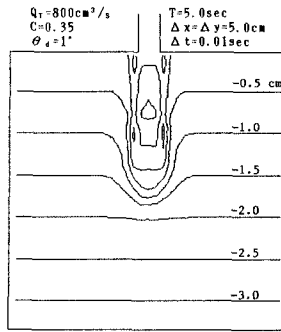


図-3 (a) 計算結果

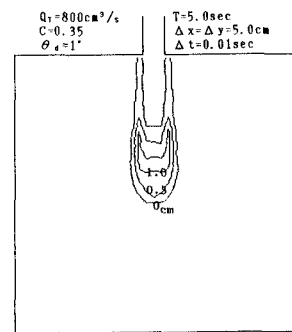


図-3 (b) 計算結果
(堆積高)

高の変化には (6) 式のようなである。

基礎式の差分式は中央差分を用い、(1) 式について記せば (12) 式のようなである。式中の XDX, XDY は非線形項 $\partial(u \cdot M) / \partial x, \partial(v \cdot M) / \partial y$ であり、 XDY について記せば (13) 式のようなで、流速の方向によって差分を使い分ける方法を用いている。計算上の格子点のとり方は従来から用いられているように、 M, N 及び h の関係を、図-1 のように $\Delta x/2, \Delta y/2$ ずつずらして配置するような格子点としている。

堆積条件としては (11) 式を満足する場合運動方程式より得られる流速が、(7) 式より得られる流速より大きな場合には堆積しないと、それ未満の場合には (5) 式で示す堆積速度で堆積するものとする。また (11) 式を満足しない場合には流速がある限界値 U_{TH} 以下になると (5) 式のように堆積するものとして計算する。

4. 考察：数値計算において格子点間隔を $\Delta x = \Delta y = 5.0 \text{ cm}$ 、時間間隔 $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$ 、Manning の抵抗則における粗度係数を $n = 0.015$ 、(7) 式における κ を $\kappa = 0.28$ を用いている。

図-2 は実験による堆積形状で先の実験の概要による結果である。上流側で5秒間土石流を発生させた後、平面域に堆積した土砂を測定した結果である。測定は表流水がなくなった後の測定し易い状態での形状である。図-3 (a), (b) は流入部より $Q_r = 800 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $C = 0.35$ で5秒間流入した後、2秒間流入量 $Q_r = 0$ でそのまま計算を続けた結果の堆積形状である。図-3 (b) はその元河床からの堆積高である。実験結果では堆積高は薄く広く堆積しているのに対し、計算上では先端部で堆積する形状を示している。この理由として上述の計算において土砂の再侵食の過程をここでは考慮しておらず、一度堆積すると粒子は移動しないとしていることや、また (11) 式の適応条件を満足しない場合の堆積開始条件としての限界速度を $U_{TH} = U_b/3$ としている点などによるとと思われる。以上のことを考察すると計算結果と実験結果は必ずしもよく一致しているとはいえないが、近い対応を示していると思われる。

5. おわりに：泥流型土石流の平面域での堆積過程について、過剰濃度の粒子が沈降堆積するモデルによる数値計算と実験結果を比較検討し、それらが比較的近い対応を示すことを明らかにした。

参考文献：1) 高橋, 中川, 西崎：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究, 京大防災研究所年報, 第29号 B-2, 1986, pp421-450. 2) 高橋, 中川, 山路：土石流氾濫危険範囲の推定法に関する研究, 京大防災研究所年報, 第30号 B-2, 1987, pp611-626. 3) 新井, 高橋：泥流型土石流の流動機構, 土木学会論文集, No. 375, II-6, 1986, pp69-77.

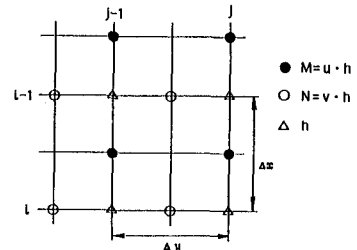


図-1 格子点