

II-132 泥流型土石流の堆積数値シミュレーション

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
 西尾市役所 伊藤清克

1. はしめに: 土石流の堆積過程について、石礫型土石流の場合には実験的及び実際の堆積においてもよく対応するモデルが明かにされている。しかし微細な粒子を高濃度に含む泥流型土石流の堆積過程についてはまだ十分明かにされていない。本研究では泥流型土石流の堆積過程において粒子の浮遊限界の条件を考慮し粒子が沈降堆積するモデルにより、平面域での堆積過程を実験及び数値計算とで比較検討したものである。

2. 基礎方程式及び計算方法: 泥流型土石流を連続流体として2次元平面上の漸変流とすればx方向、y方向の運動方程式は(1)、(2)式のものであり、流動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。(1)、(2)式の底面摩擦応力を(5)、(6)式のように与え、摩擦係数 f として泥流型土石流の抵抗則より¹⁾(7)式を用いるものとする。ただし、(7)式は粒子が間隙水の乱れによって浮遊していると考えており、その誘導過程より(9)式を満足する必要がある。(9)式を満足しない場合には(10)式の数則を用いるものとする。また地盤高の変化は(11)式のように表わされる。また濃度 c における堆積速度を(12)式のように表わすものとする。ここで、粒子の沈降は粒子間隙水の乱れによって粒子が浮遊できなくなるために生じるものと考えられるため、濃度 c 及び h/d における(9)式を満足する下限の勾配 θ があり、この勾配 θ をエネルギー勾配とすると、その損失勾配における流速を(7)式より得 U_c とする。

基礎式の差分式は中央差分を用い、(1)、(2)式の変形項 $\partial(u \cdot M)/\partial x$ 、 $\partial(v \cdot M)/\partial y$ 等は流速の正負により前進差分と後退差分を使い分けている。計算上の格子点はx、y方向の流量フラックス M 、 N を格子間隔 $\delta x/2$ 、 $\delta y/2$ づつずらし、その交点に水深 h を配置して計算する。また時間ステップは M 、 N 、 h を同一時間上として計算している。

3. 実験の概要: 長さ6m、幅15cmの直線水路の下流端に190cm四方の平面の一边の中央に接続されている。直線水路の上流端より土砂及び水を同時に供給し、平面域での土砂堆積形状を測定した。直線水路の勾配は $\theta_0 = 18^\circ$ 、平面域では勾配 $\theta_a = 1^\circ$ 、 3° である。直線水路は

両側面アクリル製で水路床はペンキ仕上げであり、平面水路はアクリル材である。実験砂は $d_{50} = 0.02\text{cm}$ 、 $\sigma = 2.65\text{g/cm}^3$ 、流下流量 $Q_T = 800\text{cm}^3/\text{s}$ 、容積濃度 $c = 0.2, 0.35, 0.4$ の条件で実験を行なった。

4. 考察: 数値計算においては、格子間隔 $\delta x = \delta y = 5\text{cm}$ 、時間ステップ $\delta t = 0.01\text{sec}$ を用いた。河床の粗度は平面域での土石流流動形状より相当粗度 k_s を得、マニングの粗度係数で $n = 0.013(\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3})$ を用いている。また

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

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

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = i \quad \dots\dots\dots(3), \quad \frac{\partial V_s}{\partial t} + \frac{\partial(C \cdot M)}{\partial x} + \frac{\partial(C \cdot N)}{\partial y} = i \cdot C \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho_a} = \frac{f}{8} \cdot u \cdot \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots\dots(5), \quad \frac{\tau_{by}}{\rho_a} = \frac{f}{8} \cdot v \cdot \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$f = 8 \cdot \left\{ \frac{1}{\kappa} \left[\operatorname{arcsinh} \left(\frac{1}{\phi} \right) - \operatorname{arcsinh} \left(\frac{Y_0}{\phi} \right) - \sqrt{1 + \phi^2} + \phi \right] \right\}^{-2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\phi^2 = \lambda^2 \left\{ \frac{\alpha_g}{\kappa^2} \right\} \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_a} \right\} \left\{ \frac{d}{h} \right\}^2, \quad \lambda = \left(\frac{C}{C_c} \right)^{1/3} - 1 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{h}{d} \geq \frac{S \cdot \left\{ \left[\frac{2}{3} + \frac{36 \nu_a^2}{S \cdot g \cdot d^3} \right]^{1/2} - \left[\frac{36 \nu_a^2}{S \cdot g \cdot d^3} \right]^{1/2} \right\}^2}{\sin \theta \left\{ S \cdot C \cdot \left[1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \theta} \right] + 1 \right\}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$f = \frac{8}{\left[6.0 + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{k_s} \right]^2} \quad \dots\dots\dots(10), \quad \frac{dz}{dt} + i = 0 \quad \dots\dots\dots(11), \quad i = - \left\{ 1 - \left[\frac{u}{U_c} \right]^n \right\} \cdot \frac{C}{C_c} \cdot w_s \quad \dots\dots\dots(12)$$

ここに、 u, v : x, y 方向の平均流速、 $M(=u \cdot h)$ 、 $N(=v \cdot h)$: x, y 方向の流量フラックス、 h : 流動深、 H : $z+h$ 、 z : 河床の基面からの高さ、 τ_{bx} 、 τ_{by} : x, y 方向の底面摩擦応力、 β' : 運動量補正係数、 g : 重力加速度、 i : 堆積速度、 ρ_a : 見かけの平均密度 $\rho_a + (\rho_s - \rho_a) \cdot C$ 、 ρ_s : それぞれ水と粒子の密度、 C : 流動層中の個体成分の容積濃度、 C_c : 個体粒子の堆積での容積濃度、 V_s : 流動深 h の柱の中に含まれる個体部分の容積、 $Y_0 = \nu_a/h$ で、滑面のとき $Y_0 = (a \cdot \nu_a)/u$ 、 $a = 1/9.025$ 、粗面のとき $Y_0 = b \cdot k_s$ 、 $b = 1/30$ 、 k_s : 粗度高さ、 ν_a : 水の動粘性係数、 α_g : バグノルドによる定数($a \cdot \sin \alpha = 0.022$)、 α : 粒子の衝突角、 κ : カルマン定数、 $u_* = (g \cdot h \cdot \sin \theta)^{1/2}$ 、 θ : 河床勾配、 S : 粒子の水中比重、 w_s : 粒子の沈降速度、 U_c : 濃度 C を維持する下限流速、 n : 定数。ただし、 $u > U_c$ のとき、 $i = 0$ 。

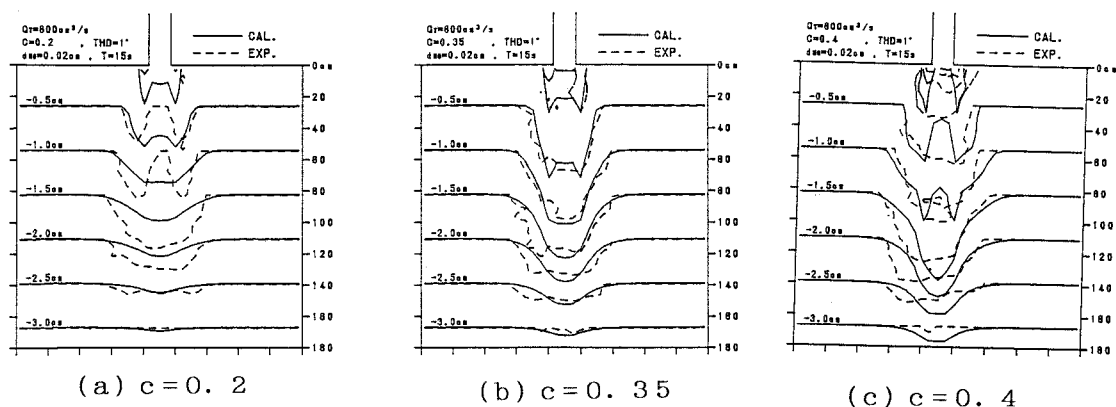


図-1 堆積等高線図

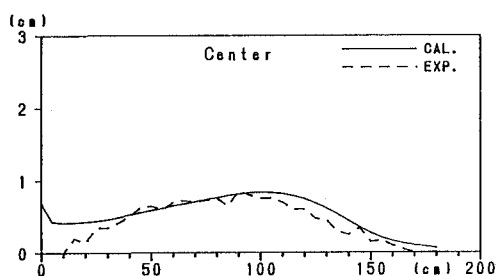


図-2 縦断堆積形状

計算においては堆積速度の(12)式における m を $m=0.3$ として計算している。計算結果及び実験結果の例を図-1に示す。図-1は平面河床勾配 $\theta_s=1^\circ$ 、濃度 $c=0.2, 0.35, 0.4$ の場合である。破線は実験結果を、実線は計算結果を示しており、直線水路から平面水路の接線を基準面にとり、それぞれの堆積形状を河床等高線図で表わしている。図-2は図-1(b)の濃度 $c=0.35$ の中心縦断堆積形状である。直線水路から平面水路への勾配変化点付近では実験的には堆積土砂はほとんどないが計算上では堆積し必ずしも一致していないが全体的には比較的よく一致しているものと思われる。図-3も同様に図-1(b)の $c=0.35$ の場合の基準線から下流へ60, 100, 160cmにおける横断堆積形状であり、実験結果と計算結果とは比較的よく一致している。しかしながら、図-1(a)のように濃度が低い場合には計算値は上流側で多く堆積する結果を示している。

5. おわりに：以上堆積速度を(12)式のように表わした泥流型土石流の堆積過程の数値計算と実験結果とを比較し(12)式の $m=0.3$ で比較的よく実験結果と対応することを示した。

謝辞：この研究を進めるにあたり名城大学岩垣雄一教授よりご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) 新井、高橋：土木学会論文集、No.375, II-6, 1986, pp.69-77.

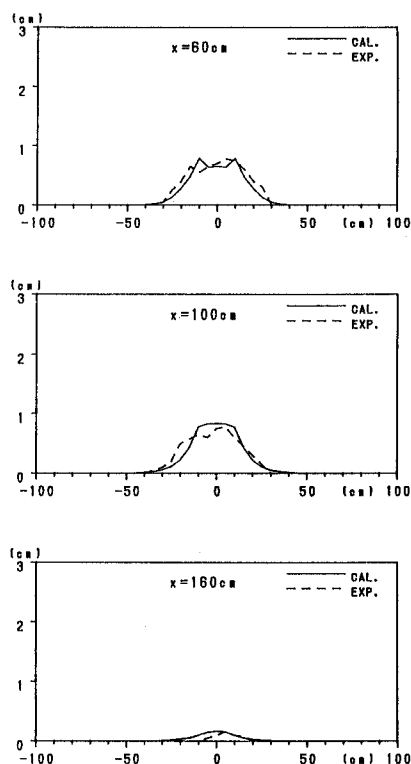


図-3 横断堆積形状