

泥流型土石流の堆積に関する研究

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：土石流の堆積過程に関する研究は、粒径が比較的大きな石礫型土石流の堆積過程に関する研究や、洪水氾濫による土砂の堆積として研究されており多くの成果が得られている。しかしながら、微細粒子を高濃度に含む流れにおける粒子の停止堆積機構については必ずしも十分明かではない。比較的大きな粒子を高濃度に含む場合にはクーロン摩擦に相当する応力によって停止堆積するモデルで現象をよく説明し得ている。しかしながら粒子径が微細な場合には必ずしも十分な説明し得ない。そこで、ここではその流れにおける流下濃度も過剰な濃度の粒子が沈降堆積するものとして数値計算及び実験を行い検討した。

2. 実験の概要：実験は平面域での堆積実験で、幅15cmの直線水路と170cm 四方の平面の水路が接続されている水路で行なった。直線水路の水路勾配は $\theta_d=15^\circ$ 、平面域では $\theta_d=1^\circ$ 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、堆積高さの測定には水路床に径が約3mmの測定棒を立てておき堆積高を読み取った。また実験砂は $d_{50}=0.16\text{mm}$ 、 $\sigma=2.65\text{g/cm}^3$ 、流下流量 $Q_T=800\text{cm}^3/\text{s}$ 、濃度 $C=0.35$ である。

3. 計算方法：泥流において、粒子が堆積するまでは連続としての取扱が可能であるので、二次元平面での運動方程式は、流れを漸変流と仮定すれば次式のようなものである¹⁾²⁾。

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

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

また流動体の連続式は

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

である。ここに、 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、 $H=z+h$ 、 z : 河床の基面からの高さ、 τ_{bx}, τ_{by} : x, y 方向の底面摩擦、 β' : 運動量補正係数、 g : 重力加速度、 i : 堆積速度、 $\rho_m = \rho_0 + (1-C) \cdot \rho_s$: 見かけの平均密度、 ρ_0, ρ_s : 水、粒子の密度、粒子成分の個体部分に対する連続式は

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

を用いる。ここに 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 : 個体粒子の堆積での容積濃度。

泥流の抵抗則は対数分布形であることを明らかにしているが³⁾、ここでは近似的にManning則を適用し

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho_m} = \frac{g \cdot n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \dots\dots (5),$$

$$\frac{\tau_{by}}{\rho_m} = \frac{g \cdot n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \dots\dots (6)$$

とする。

ところで高濃度の流れが平面域に流出した場合、その点における流れが粒子を浮遊させることのできる濃度 C_d よりも粒子の含有濃度 C が高い状態ではその濃度差 $(C-C_d)$ の粒子が沈降堆積するものとするれば堆積速度は $i = -(C-C_d) \cdot w_s / C \dots\dots (7)$ とすることができる。

ここに、 w_s : 粒子の流体中の沈降速度。また地盤高の変化は

$$dz/dt + i = 0 \dots\dots (8) \text{ である。}$$

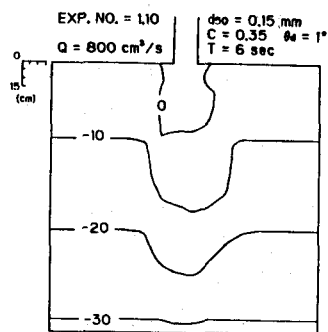


図-1 実験結果

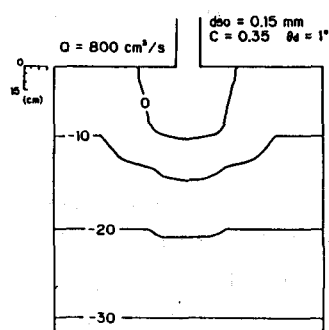


図-2 計算結果

ところで平面域での任意点において粒子を浮遊させることのできる濃度として、泥流型土石流の抵抗則³⁾

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \left\{ \operatorname{arcsinh} \left(\frac{1}{\phi} \right) - \operatorname{arcsinh} \left(\frac{y_0}{\phi} \right) - \sqrt{1 + \phi^2} + \phi \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに、滑面で、 $y_0 = y_0/h$, $y_0 = (a \cdot \nu_0)/u_*$, $a = 1/9.025$, ν_0 : 水の動粘性係数、

$$\phi^2 = \lambda^2 \left(\frac{a_i \cdot \sin \alpha}{\kappa} \right) \left(\frac{\rho_s}{\rho_m} \right) \left(\frac{d}{h} \right)^2, \quad \lambda = 1 / \{ (C_*/C)^{1/3} - 1 \} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$a_i \sin \alpha$: 定数、 κ : カルマン定数、 $u_* = (g \cdot h \cdot \sin \theta)^{1/2}$ を用い、左辺に相当する濃度 C として決めることにする。

基礎式の差分式は中央差分を用いている。式(1),(2)の左辺第2,3項の非線形項には計算の不安定要因となることが示されており、ここでは流速の方向によって差分を使い分ける「風上差分」を用いた¹⁾。また計算上の格子点も従来用いられているように M , N を $\Delta x/2$, $\Delta y/2$ ずつずらし、その交点に h を配置するような格子点として計算する。また時間ステップは、 M , N を同一時間上とし、 h を Δt ずらしたものとして計算する。従って、 M , N または h の次の時間ステップの差は $2\Delta t$ である。

4. 考察: 図-1 は表-1 の実験条件における流入時間 $T=6\text{sec}$ の堆積結果である。この堆積形状は上流側より平面域に6秒間流入させた後測定し易い状態になってから堆積形状を測定した結果である。従って平面域に流入してから6秒後の堆積形状では必ずしもない。

数値計算においては格子間隔を $\Delta x = \Delta y = 2.5\text{cm}$, 時間間隔 $\Delta t = 0.001\text{sec}$, 式(5),(6)におけるManningの粗度係数は $n=0.02$ とした。また堆積条件として流動している位置の点における掃流力 τ が限界掃流力 τ_* よりも大きな場合には堆積しないものとし、 τ_* には岩垣の式で計算した。また図-2の計算結果の図は図-1と比較するために、流入してから6秒後の堆積結果ではなく $T=6\text{sec}$ において流入量 $Q_i=0.0$ の条件にし、さらに2秒後の結果である。実験結果と計算値とを比較すると実験結果の方が下流に長く堆積する形状になっているが、ほぼ計算結果も対応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、漸変流の基礎方程式を基にした差分式による数値計算と実験結果を比較検討した。平面域での土砂濃度における抵抗則と基礎式における抵抗則に一貫性がないなどの問題があり今後さらに検討を行いたい。

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, No375, II-6, 1986, pp69-77.