

土石流の流動と堆積機構

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男
 京都大学防災研究所 正員 江頭 進治
 京都大学大学院 学生員 矢島 啓

1. まえがき 大雨や地震などに伴う、山腹の崩壊、土石流による災害が顕在化しており、災害の防止・軽減対策の確立が強く望まれている。そのためには、土石の流動則の究明が不可欠である。本報においては、芦田・江頭らによって導かれている土石流の流動則や支配方程式を水路実験や数値解析によって検討する。

2. 流動則 芦田・江頭らは、外力がせん断降伏値を越えたときに土石の流動が始まり、外力の超過分が流動によって散逸されると考えて、流動則を導いている。これによれば、土粒子間隙において、レイノルズ応力が粘性応力よりも卓越している場合には、流速の垂直分布式、断面平均流速および流体抵抗係数 f_b は、次のように与えられる。

$$U(z)/\sqrt{gR} = 2/3 K \{1 - (1 - z/R)^{3/2}\} \quad \text{--- (1)} \quad V/\sqrt{gR} = 2/5 K \quad \text{--- (2)}$$

$$f_b = 25/4 (R_p/R_v)^{2/3} (1 - C/C_c)^{2/3} (R/d)^{-2} \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 $K = (R_v/R_p)^{1/3} [\cos\theta \{\tan\theta - (\sigma/\rho - 1) \mu_b / (C(\sigma/\rho - 1) + 1)\} \{C(\sigma/\rho - 1) + 1\}^{1/2} (C/(1 - C))^{1/3} R/d$

$$f_b = (T - T_y)/\tau_{y0} / \rho V^2 \quad T_y = \{ \rho(\sigma/\rho - 1) C g (R - z) \cos\theta \} \mu_b$$

ここに、 ρ は流体相の密度、 σ は粒子の密度、 C は粒子の体積濃度、 R は流動深、 θ は路床傾斜角、 $\mu_b (= 0.8 \tan\phi_s)$ は底層摩擦係数、 d は粒径である。

上述の流動則が一般性をもつためには、形状係数比 $(R_p/R_v)^{1/3}$ が、 C 、 μ_b 、 σ 、 d によらず一定値をとる必要がある。このことを検討するために、砂($\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$, $\mu_b = 0.72$)とビーズ($\sigma = 2.48 \text{ g/cm}^3$, $\mu_b = 0.40$)を用いて水路実験を行った。ビーズの解析より得られた流速分布をもとにして求めた形状係数比と濃度との関係を図1に示す。これによれば、形状係数比は、粒径や内部摩擦角などの値によらず、2.0近傍に集中しているようである。しかし、もう少し詳しくみると、濃度が高くなるにつれて、 $(R_p/R_v)^{1/3}$ の値は小さくなる傾向

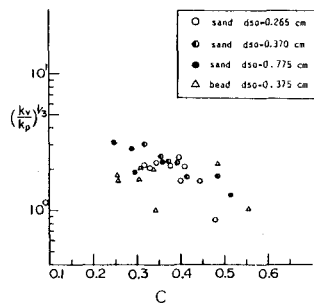


図1

がみえる。これは、高濃度になれば、間隙が密になり、間隙の形状が変化することによるものと思われる。どの様な流れを土石流として定義するのかは別として、濃度が0.25~0.5の間では、この流動則は十分妥当であると思われる。

3. 堆積機構 土石流の一次元支配方程式は次のように与えられている。¹⁾

$$\text{混合物の連続式} : \frac{\partial R}{\partial t} + \frac{\partial (VR)}{\partial x} = -D/C_k \quad \text{--- (4)}$$

$$\text{砂礫の連続式} : \frac{\partial (CR)}{\partial t} + \frac{\partial (CVR)}{\partial x} = -D \quad \text{--- (5)}$$

$$\text{運動方程式} : \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} = g \sin\theta - g \left\{ \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{(\sigma/\rho - 1) R}{(\sigma/\rho - 1) C + 1} \frac{\partial C}{\partial x} \right\} + \frac{V D}{C R} - \frac{(\sigma/\rho - 1) C g \cos\theta}{(\sigma/\rho - 1) C + 1} \mu_b - \frac{V f_b}{\{(\sigma/\rho - 1) C + 1\} R} \quad \text{--- (6)}$$

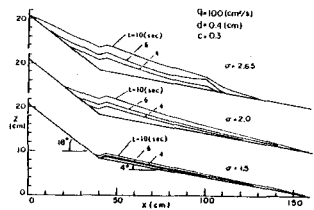


図2

Kazuo ASHIDA, Shinji EGASHIRA, Hiroshi YAJIMA

河床位方程式 : $\partial z_b / \partial t = D / C^*$ — (7)

堆積速度式 : $D/v = C^* \tan(\theta_e - \theta)$ — (8)

ここに、 D は堆積速度であり、単位時間、単位面積当たりの砂礫の堆積量あるいは侵食量を表す。 C^* は堆積物の体積濃度である。(8)式中の θ_e は、河床勾配が一定に保たれて、侵食も堆積も起こらない平衡勾配で、これは次式で与えられている。

$$\theta_e = \arctan \left[\frac{(\sigma/\rho - 1) C \cos \theta}{(\sigma/\rho - 1) C + 1} \mu_a + \frac{v_o^2 f_b}{(\sigma/\rho - 1) C + 1} g k_o \right] \quad \text{--- (9)}$$

ここに、式中の添字 o は、等流状態での値である。

これらの支配方程式をTwo-Step Lax-Wendroff法によ、2数値解析を行、た。その結果を図2～図4に示し、実験値との比較を図5、図6に示す。計算条件は、図中に示されている。

図2は、土粒子密度 σ の違いによる堆積形状への影響を示したものである。 σ による堆積形状の違いは顕著である。 σ が大きくなるにしたが、2、土石流の流動性は小さくなり、到達距離は短かく、そ上が大きくなる。勾配変化点近傍の堆積厚も厚くなること分かる。図3は、動摩擦係数 μ の違いによる影響を示したものである。図示のように、堆積形状に対する μ の影響は、 σ によるそれと同様である。図4は、粒径 d の違いによる影響を示したものである。これによれば、 d の違いは、堆積形状に大きな影響を与えないうのである。図5・図6は、実際に行、た実験と同条件での数値解との比較である。に、し、実験値は、堆積厚に流動深を加えたものである。これによれば、砂の場合もビーズの場合も、堆積過程は数値解析によ、て十分表現されるようである。

4. おわりに 以上、土石流の流動堆積機構について議論した。今後、形状係数 β の検討をさらに深めるとともに、濃度の鉛直分布に関する研究を推進する必要がある。また、どの程度の濃度のものを土石流としてとり扱うかの問題も残されている。

<参考文献>

1) 江頭・芦田・佐々木：土石流の流動機構，第32回水講，1988

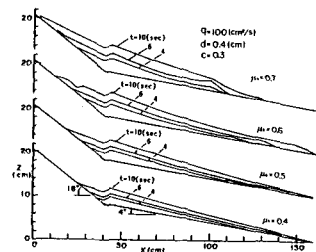


図3

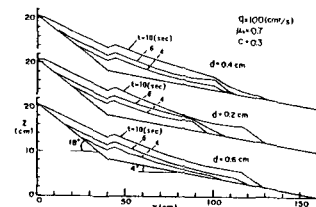


図4

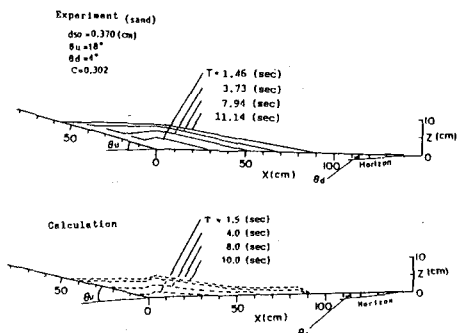


図5

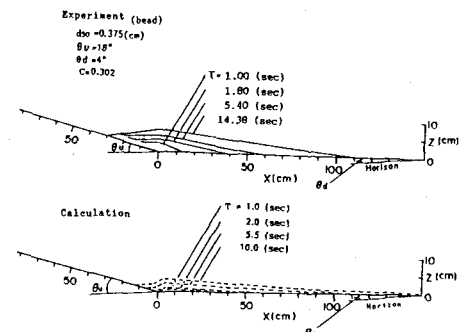


図6