

蒲原沢土石流の流動に対する微細砂濃度の影響

大阪府立工業高等専門学校 正会員 ○本田 尚正*
 立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治**
 立命館大学大学院 学生員 有村 真一**

1. はじめに 土石流が石礫と微細砂を含む間隙水すなわち泥水との混合物から構成される場合、土砂は泥水によって浮力が増大化し、流れやすい状態となる。このため、土石流の流動機構の解明にあたっては、間隙水の微細砂濃度の取扱いが重要となる。本研究では1996年12月に長野県小谷村で発生した蒲原沢土石流を事例として、数値解析により、泥水の微細砂濃度が土石流特性値（水深、流速、流量等）に及ぼす影響について検討する。

2. 支配方程式および抵抗則 上石流による土砂流出現象を一次元支配方程式を用いて表現するものとすれば、これらは、それぞれ次式で与えられる¹⁾。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial v h B}{\partial x} = E \quad (1) \quad \frac{\partial c h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial c v h B}{\partial x} = E \quad (2) \quad \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = g \sin \theta_x - \frac{1}{\rho_m} \frac{1}{h} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{v E}{c_* h} - \frac{\tau_b}{\rho_m h} \quad (3)$$

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = - \frac{E}{c_*} \cos \theta_x \quad (4) \quad \theta_x = \sin^{-1} \left(- \frac{\partial Z_b}{\partial x} \right) \quad (5) \quad \rho_m = (\sigma - \rho)c + \rho \quad (6)$$

ここに、 t は時間、 x は流れに沿う座標、 h は流動深、 B は河幅、 v は断面平均流速、 E は侵食速度($E=0$ の時には堆積)、 c は土石流の砂礫粒子体積濃度、 c_* は砂礫の静止体積濃度、 θ_x は河床勾配、 g は重力加速度、 ρ は間隙水の密度、 σ は砂礫の密度、 ρ_m は水と砂礫の混合物の密度、 P は圧力、 τ_b は河床せん断力、 Z_b は河床高である。

E と τ_b には、江頭らの式¹⁾を用いるものとすれば、これらは次のようにある。

$$\tau_b = \tau_y + \rho f U^2 \quad (7) \quad \frac{E}{U} = c_* \tan(\theta_x - \theta_e) \quad (8)$$

$$\text{ここに、 } \tau_y = \frac{1}{1+\alpha} \rho (\sigma/\rho - 1) c g h \cos \theta_x \tan \phi_s \quad (9)$$

$$f = \frac{25}{4} \left\{ k_f \left(\frac{1-c}{c^{2/3}} \right)^{3/2} + k_g \frac{\sigma}{\rho} (1-e^2) c^{1/3} \right\} \left(\frac{h}{d} \right)^{-2} \quad (10)$$

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho - 1)c}{(\sigma/\rho - 1)c + 1} \tan \phi_s \quad (11)$$

ここに、 θ_e は土石流の濃度 c に対する平衡河床勾配、 ϕ は砂礫の内部摩擦角、 e は砂礫の反発係数、 d は砂礫の代表粒径、 α 、 k_f 、 k_g は係数で、各々 $\alpha=0.25$ 、 $k_f=0.16$ 、 $k_g=0.0828$ である。

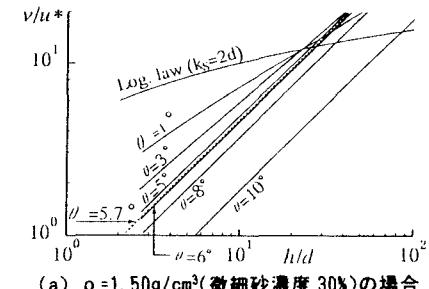
上述の式(9)、(10)によれば、水深～粒径比 h/d が大きくなると流速係数 v/u 、($u = \sqrt{gh \sin \theta_x}$) が過大となり、それは現実に合わなくなる。これは、同式が濃度一定の固定床を想定して導かれたものであって、数値シミュレーションを容易に行うために、移動床へそのまま拡張するからである。江頭・宮本・伊藤の構成則²⁾を用いれば、流速分布と粒子濃度の鉛直分布の連立解から流速係数が求められ、それは粒子濃度、粒子径および間隙水の密度の影響を強く受ける。その結果の一例を図-1に示す。

3. 計算条件 蒲原沢土石流を対象に数値計算を行う。計算対象区間(約3,160m)の河床縦断形状を図-2に示す。この区間の平均河床勾配は16°、平均流動幅は約12mであり、下流部には谷止工、2号および1号砂防ダム、流路工(流路幅20m)が設置されている。数値計算の基本条件として、崩壊による堆積土砂量は既往調査による航空写真判読結果³⁾より $V=31,000\text{m}^3/\text{s}$ とし、その堆積長はL=250mと仮定する。渓床堆積物は河床勾配が22°よりも緩い領域に存在するものとし、元河床からの限界侵食深を4.0mとして、これ以上は侵食されないものとする。

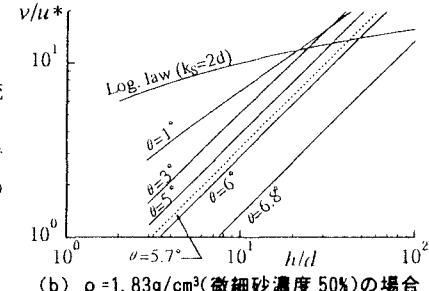
Keywords: Sediment-water mixture, Fine sand with debris flow, Running out process of debris flow

* 〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町26-12 TEL. 0720(20)8585 FAX. 0720(21)0134

** 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 TEL. 0775(61)2732 FAX. 0775(61)2667



(a) $\rho = 1.50\text{g}/\text{cm}^3$ (微細砂濃度30%)の場合



(b) $\rho = 1.83\text{g}/\text{cm}^3$ (微細砂濃度50%)の場合

図-1 水深～粒径比と流速係数との関係

水の供給条件は、姫川～蒲原沢合流点付近の雨量データおよび流量データを基にした流出解析結果から、上流端流入流量 $Q_{in} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ を定常的に与え、その時の流入濃度は 5%とする。

以上を基本条件として、ここでは土石流間隙水の微細砂濃度を 10%, 30%, 50% に変化させて土石流特性値の計算を行った。数値計算は leap frog 法を用い、 $\Delta t = 0.02 \text{ sec}$, $\Delta x = 4.0 \text{ m}$ として行った。計算に用いた物理定数は、泥水の密度 $\rho = 1.17 \text{ g/cm}^3$ (微細砂濃度 10%)・ 1.50 g/cm^3 (同 30%)・ 1.83 g/cm^3 (同 50%) の 3 ケース、砂礫の密度 $\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$ 、砂礫の内部摩擦角 $\phi_s = 33^\circ$ 、静止堆積濃度 $c_s = 0.50$ 、代表粒径 $d = 10.0 \text{ cm}$ である。なお、抵抗は式(9), (10)によって算定するが、図-1 を参考にして、 v/u が 8 を超える場合には、 $v/u = 8$ としている。

4. 計算結果および考察 計算結果を図-3～図-5に示す。これらは上流端を 0m とした距離 $x=1,800 \text{ m}$ および $3,000 \text{ m}$ 地点（流路工内）における水深・流速・流量の時間変化を表している。 $x=1,800 \text{ m} \sim 3,000 \text{ m}$ 区間に砂防ダム・流路工が設置されており、これらの図から、砂防施設による土石流調節効果によって土石流特性値のピーク値が大幅に減少していることがわかる。

間隙水の微細砂濃度が土石流特性値に及ぼす影響としては、微細砂濃度が大きいほど、土石流の各地点への到達時間は早く、ピーク値も大きい。そしてその傾向は下流部ほど顕著である。

図-3によれば、 $x=3,000 \text{ m}$ 地点のピーク水深は、それぞれ 1.2 m (微細砂濃度 10%), 2.2 m (同 30%), 2.6 m (同 50%) である。一方、流路工の両岸には、水深 $2.6 \sim 3.4 \text{ m}$ 程度の流下痕跡が残っており、土石流の流下時の跳ね上がりや流路工の湾曲による偏流の影響などを考慮すれば、微細砂濃度 30%および 50%の場合の計算水深とほぼ一致する。実際、現地調査結果や報道機関のビデオ画像の解析結果^④を参考にすれば、上石流は直径数 cm ～ 10 数 cm の石礫と微細砂を主体とした泥水との混合物から構成されており、これらより、蒲原沢土石流の間隙水は 30%～50%程度の微細砂濃度を有する泥水であったと推定される。

そして、この泥水による浮力の増大により、流路工内（河床勾配 5.7° ）において、比較的緩い勾配であるにもかかわらず、上砂は流れやすい状態にあったと考えられる。このことは、今回の上石流において、総土砂流出量（約 $63,000 \text{ m}^3$ ）に比して流路工内の土砂堆積量が少量（約 $8,000 \text{ m}^3$ ）であった（前出の航空写真判読結果^③による）ことを裏付けるものである。（なお、本計算では、微細砂濃度 30%の場合において総土砂流出量約 $76,000 \text{ m}^3$ 、流路工内の土砂堆積量約 $6,000 \text{ m}^3$ であった。）

5. おわりに 実流域で発生した土石流を対象に、間隙水の微細砂濃度が土石流の流動に及ぼす影響をみてみた。数値計算にあたり、間隙水の微細砂濃度をいかに設定するかは、土石流発生源の崩壊土砂の条件、水の供給条件、渓床堆積物の侵食条件等とともに計算の結果および精度を左右する重要な条件である。

- 【参考文献】 1) 江頭進治：土石流の停止・堆積のメカニズム(2), 新砂防 Vol. 47, No. 2(187), pp51-56, 1993.
- 2) 江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭：掃流砂量に関する力学的解釈, 水工学論文集第 41 卷, pp789-794, 1997.
- 3) (社)砂防学会 : 12.6 蒲原沢土石流災害調査報告書, pp33, 1997.
- 4) 川上 浩 : 1996 年長野県小谷村の土石流災害調査研究 (文部省科研費課題番号 08300017), pp7-1～7-20, 1997.

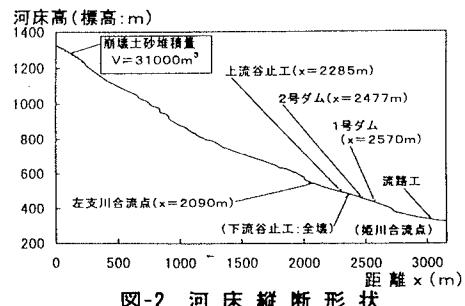


図-2 河床縦断形状

水深(m)

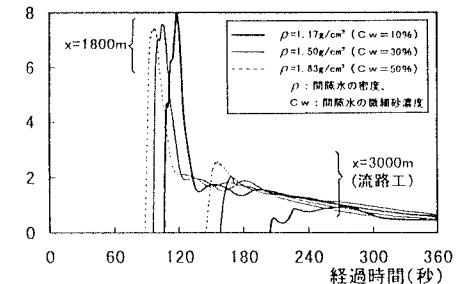


図-3 水深の時間変化

流速(m/sec)

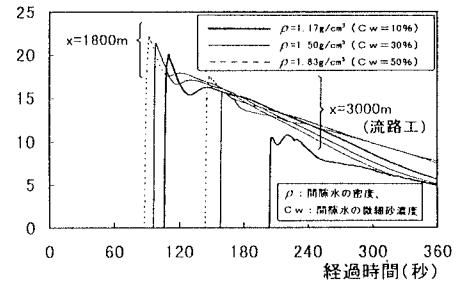


図-4 流速の時間変化

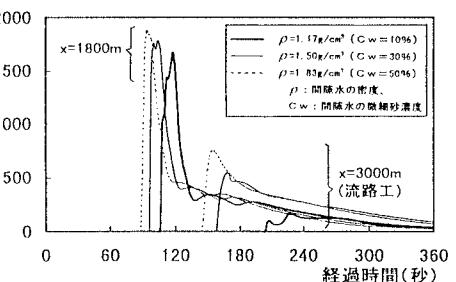
流量(m^3/sec)

図-5 流量の時間変化