

II-106

泥流型土石流の堆積過程について

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

1. はじめに：土石流災害は主に土石流堆積域において生じている。このため土石流の堆積に関する研究がすすめられてきており、実験的にも実際の適用例でも比較的良好に適用することが明らかにされている。しかしながら、火山灰を主成分とするような粒径の小さな粒子を高濃度に含む流れの場合、その堆積過程についてはまだ十分明らかにされていない。ここでは一次元水路における堆積過程の実験と数値計算とを比較し、平面域へ流入する土石流の堆積についても実験的に検討した。

2. 実験条件・方法：実験水路は幅15cm、長さが、上流側6mで、一次元堆積実験の場合は下流側4m、平面堆積実験の場合は一辺1.9m四方の水路である。水路床はペンキ塗布で仕上げられている。平面水路床は発砲スチロールである。実験砂は $d_{50}=0.015\sim0.535\text{cm}$ 、 $\sigma=2.63\sim2.64\text{g/cm}^3$ 、実験条件としては土砂の流下体積濃度 $C=0.3\sim0.42$ 、単位幅流量 $q_T=53.3\sim90.6\text{cm}^3/\text{s/cm}$ 、水路勾配は上流側 $\theta_u=18^\circ$ 、下流側 $\theta_d=0.57^\circ\sim3.1^\circ$ で実験を行なった。堆積過程の記録、解析のため、35mmモータードライブカメラ、ビデオカメラを用いた。

3. 考察：土石流の堆積過程において、石礫型土石流の場合、緩勾配水路に流入した土石流は河床との間で粒子相互の衝突応力に基づくCoulomb摩擦に相当する応力によって停止し、後続する土石流によりそれが乗り越えられながら、土石流の発生限界勾配を保ちつつ堆積するというモデルによって説明されている。しかしながら泥流型土石流においては粒子相互の衝突の効果よりも粒子と流体とが一体となった流体塊の混合の効果が大きいことから¹⁾、基本的には粒子が流体中に浮遊しているものと考えられる。従って泥流型土石流の堆積機構においては河床との粒子相互の衝突の効果よりも流体抵抗を考え、その粒子の堆積においては、流れが浮遊し得る粒子濃度よりも過剰な濃度の粒子が沈降堆積する過程であると考えられる。

一次元水路の場合、水路勾配変化点から下流側へX軸ととり、勾配変化点(II)から土石流先端部(I)までをコントロールボリュームとし、微少項を省略すると、連続式、運動量保存式は、

$$d[(h_1+h_2)x/2]/dt=q_T (=v_u h_u) \quad (1)$$

$$d[(h_1+h_2)x\rho_m v/2]/dt=(h_1+h_2)x\rho_m g \sin\theta_d/2+\rho_m q_T v_u \cos(\theta_u-\theta_d)-\tau_0 x \quad (2)$$

となる。ここで、 v_u 、 h_u ：上流側水路における流速、水深、 C ：土砂の容積濃度、 $\rho_m=\rho_0+(\sigma-\rho_0)*C$ ：土石流の見掛けの平均密度、 θ_u 、 θ_d ：上流側、下流側水路勾配、 ρ_0 、 σ ：水、粒子の密度、 h_1 、 h_2 ：コントロールボリュームにおける先端、後端の水深。式(2)の右辺第三項の流体抵抗の項として、 $\tau_0=\rho_m U_x^2$ (4)を考える。式(4)の摩擦速度における勾配をエネルギー勾配 θ_e と考え、コントロールボリューム内の水深を平均値 h とし、 $t=0$ で $v=V$ の初期条件で θ_e =一定と仮定して上式を解けば

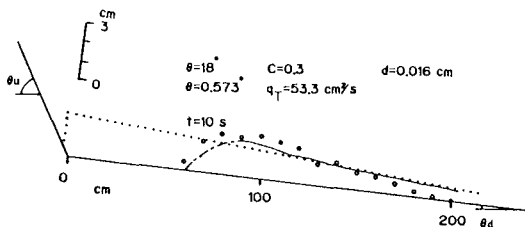


図-1 泥流型土石流の堆積過程

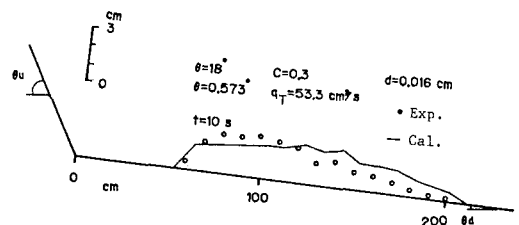


図-2 泥流型土石流の堆積過程

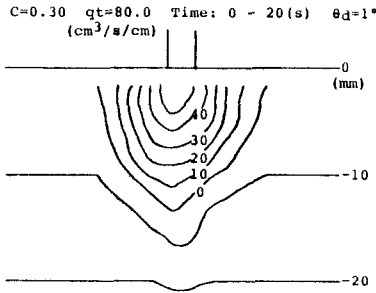
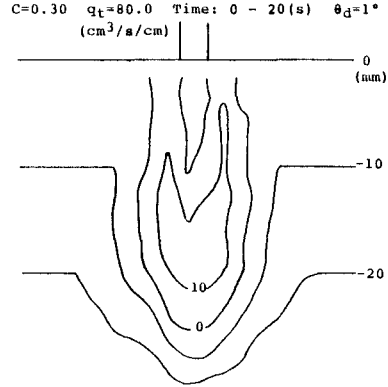


図-3 (a) 土石流堆積 ($d_{50}=0.054\text{cm}$)



(b) 土石流堆積 ($d_{50}=0.015\text{cm}$)

勾配変化点から先端までの距離 (x_L) 及びその到達時間 (t_L) は次のようになる。

$$X_L = V^2/G \quad (5), \quad t_L = 2V/G \quad (6), \quad \text{ただし, } V = v_w \cos(\theta_w - \theta_d), \quad G = g(\sin \theta_w - \sin \theta_d) \quad (7)$$

ところで、固体粒子を浮遊した乱れのエネルギー平衡方程式²⁾より、

$$U_x^3 = \{ \rho_o / \rho_m k_o (r-1) g w_s C (h-\sigma) \} / [\phi \{ \log(h/\sigma) - 1 \} \{ 1 - (1-\alpha^3 C) (\rho_m / \rho_o) f_c \}] \quad (8)$$

$$\text{ただし, } \phi = \kappa_o / \kappa = (1 + \beta_1 C + \beta_2 C^2) / 2 \cdot [1 + \{ 1 + 4B \kappa_o (1 + \beta_1 C + \beta_2 C^2) s_1 \}^{1/2}] \quad (9)$$

$$B = 13, \quad \beta_1 = 2, \quad \beta_2 = -4, \quad \kappa_o = 0.4, \quad s_1 = g(\gamma - 1) w_s C (h - \sigma) / [U_x^3 \log(h/\sigma) \{ 1 + (\gamma - 1) C \}]$$

ただし、 $\gamma = \sigma / \rho_o$: 粒子の比重、 w_s : 粒子の沈降速度、 L : 渦の代表長。ここで $(u/u_o)^3 = f(\rho_m / \rho_o, c) = (\rho_m / \rho_o) * f_c$ (10)、 $f_c = 1 + a_1 C + a_2 C^2$ 、 $a_1 = -1.47$ 、 $a_2 = 7.87$ 、定数 a_1 、 a_2 は土石流堆積実験より定めている。濃度 C と水深 h が定まれば、式(10)よりその濃度の粒子を浮遊させるエネルギー勾配 θ_d が求まり、それを式(5)において用いれば泥流型土石流の初期堆積位置 x_L が求まる。

ところで洪水氾濫における堆積過程などで用いている不定流の運動量式、保存式³⁾、 $\partial M / \partial t + \partial(u_o M) / \partial x = -gh \partial M / \partial x - \tau_x / \rho$ (11)、 $\partial h / \partial t + \partial M / \partial x = i$ (12) ここで、 $M = u_o h_o$ 、 i : 堆積速度。

また、砂礫の保存式 $\partial V_s / \partial t + \partial(CM) / \partial x = i C_x$ (13)、堆積速度として $i = (C - C_d \infty) w_s / C_x$ (14) を用いて、泥流型土石流の堆積過程として、初期堆積位置より下流側に適応すると図-1 のようである。また、初期堆積位置というものを用いず、ある流速以上では過剰な濃度でも粒子は沈降堆積せず、浮遊していると考えて流速に敷きい値を設けそれ以下の場合、堆積速度を適応すると図-2 のようである。計算結果と実験結果とは比較的よく対応しており、泥流型土石流の場合、粒子の沈降堆積モデルが妥当であることを示している。

図-3は平面域における濃度 $C=0.3$ 、 $q_T=80.0\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$ 、 $\theta_d=1^\circ$ 、 $d_{50}=0.015\text{cm}$ 、 $d_{50}=0.053\text{cm}$ の条件による実験結果である。二つの図の違いは粒径の違いだけで、他の条件は同じである。これからも、粒径が比較的大きな石礫型土石流の場合と粒子径が小さい場合とは異なっており、粒子の沈降堆積過程によるモデルが必要であることが示されている。

謝辞：堆積過程の数値計算は京都大学防災研究所 中川 一氏に依っている。また、研究の遂行にあたり名城大学卒業生杉山能啓君、伊藤清克君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献： 1) 新井、高橋：泥流型土石流の流動機構、土木学会論文集、第375号、II-6、1986.11、

2) 日野：固体粒子を浮遊した流れの乱流構造の変化、土木学会論文集、第72号、昭38.4、3) 高橋、中川、西崎：堤防沈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27号B-2、昭61.4