

京都大学防災研究所 正会員 高橋 保

京都大学防災研究所 正会員 中川 一

大阪府 正会員 佐藤広章

1. はじめに 従来の実験や実地調査によれば、土石流扇状地の粒度構成は一様ではなく、周辺部で粗く、中央部では下層は粗いが上層は細かい。また扇頂部付近の上層部は細くなっている。このような堆積特性は流下土石流の先端部で粒径が粗く、後続部に至るほど細くなっていることに対応して、土石流の堆積機構と密接に関連しているものと予想される。ここでは、谷の出口での土石流の粒度の時間変化が与えられたとき、それが堆積して出来る扇状地の粒度分布を求める解析法を示し、数値実験によって結果の考察を行なう。

2. 基礎方程式 一様な粒度の粗粒子と常に浮遊状態で運動する細粒子とからなる土石流の堆積による扇状地の形成過程についての数値シミュレーション法については、既に著者らの方法が提案されており、比較的精度よく実験結果が説明できることが分かっている¹⁾。その際の基礎方程式は、紙幅の都合で省略するが、 x, y 方向の運動量式、バルクの連続式、粗粒子および細粒子の連続式、抵抗則、堆積速度式等である。今回の計算においてもこれらの式を用いるが、さらに粒径の変化に関する基礎方程式を必要とする。また、従来の方法では、堆積速度式としては、平衡濃度よりも過剰な土砂がその点の流量に比例して堆積するとの考え方を取っており、例えば、土石流先端部の石礫群が谷出口からある程度の距離を慣性的に流下した後に堆積するという事実を反映していないのでこの点を修正する。

まず粒径の変化について考える。堆積面上の微小面積への土石流の流出入および堆積によってその面積内に含まれる粒子個数が変化する。その際に満足すべき粒子個数の連続式は、

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{V_L}{kd_L^3} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{Q_{Lx}}{kd_L^3} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{Q_{Ly}}{kd_L^3} = \frac{iC_{*DL}}{kd_L^3} \quad (1)$$

である。ここに、 Q_{Lx}, Q_{Ly} : x, y 方向単位幅当たりの粗粒径砂の流砂量、 V_L : 単位面積上の流動層内の粗砂の体積、 kd_L^3 : 粒径 d_L の粒子1個の体積、 $i (< 0)$: 堆積速度、 C_{*DL} : 粗砂が堆積した場合の容積濃度である。 V_L, Q_{Lx}, Q_{Ly}, i は他の方程式系から求められるので、結局、(1)式はあるメッシュへの流入砂の粒径を知って平均粒径の変化を求める式となっている。

つぎに堆積速度式について考える。濃度 c_L が停止限界濃度となるような勾配に対する定常流速 V_0 を考える。そのときの勾配 θ_0 は、停止限界であることから、流体抵抗を無視して、次式で与えられる。

$$\tan \theta_0 = c_L(\sigma - \rho_m) \tan \alpha / \{\rho_m + c_L(\sigma - \rho_m)\} \quad (2)$$

ただし、 σ : 粒子の密度、 ρ_m : 細砂を浮遊させて重くなった間隙流体の密度、粒子衝突による見掛けの摩擦係数である。一方、定常流速は、

$$V_0 = \frac{2}{5d_L} \left[\frac{g \sin \theta_0}{a_i \sin \alpha} \left\{ c_L + (1-c_L) \frac{\rho_m}{\sigma} \right\} \right]^{1/2} \left\{ \left(\frac{C_{*DL}}{c_L} \right)^{1/2} - 1 \right\} h_0^{3/2} \quad (3)$$

で与えられよう。ここに、 h_0 は定常となる流速 V_0 に対応した水深であるが、ここでは簡単のために、谷出口よりも上流側の堆積の遡上の影響がないような地点(流入境界点)における水深とする。土石流が緩勾配地点にさしかかると減速しやがて停止するが、局所流速 V が V_0 の $1/3$ 以下になった時点から堆積が始まると仮定する。これは高橋²⁾の先端停止距離の理論と比較すれば、先端到達距離の $8/9$ 程度の地点から堆積し始めるとすることに相当している。こうして、従来の堆積速度式を次式のように修正する。

$$i = \beta (1 - 3V/V_0) (c_{L\phi} - c_L) (M^2 + N^2)^{1/2} / (C_{*DL} d_L) \quad (4)$$

$1 - 3V/V_0 < 0$ や $c_{L\phi} - c_L > 0$ の所では、 $i = 0$ とする。 M, N は x, y 方向流量フラックスである。

3. 数値実験例 基礎方程式系を差分化し、 $\Delta x = \Delta y = 5\text{cm}$ 、 $\Delta t = 1/500\text{sec}$ で、図1に示したように流量、濃度、粒径が時間的に変化する土石流が緩勾配の平原部に流出した際の堆積過程の数値計算を実行した。従来、氾濫計算の先端条件としては、流動深にある閾値を設けているが、ここでは計算された粒径よりも小さい流動深が計算された場合そのメッシュからの流出はないものとした。図2は谷出口から1 m上流地点に設けた流入境界点から流量等の供給を開始した時刻 $t=0$ から、5、15、30 秒後の（流動深）+（堆積厚）の分布を、図3はそれに対応する時刻の流動層の粒度を示している。また、図4は堆積土砂の粒径と堆積厚の時間変化を図3の最後の図中に示した各点で示したものである。これらの図より土石流扇状地の顕著な特性である、堆積周辺部の粒度が粗く、また、下層ほど粒度が粗いことや、谷出口中心線上の両サイドに盛土状の堆積が生じ、自然堤防状になっていること等の特性がここで示した計算モデルでよく説明されていることが分かる。

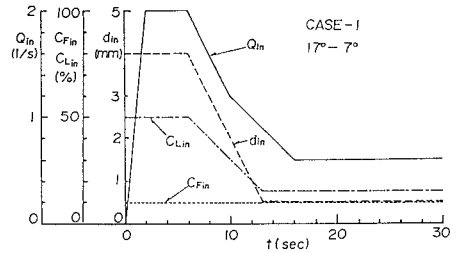


図1 流入土石流の特性

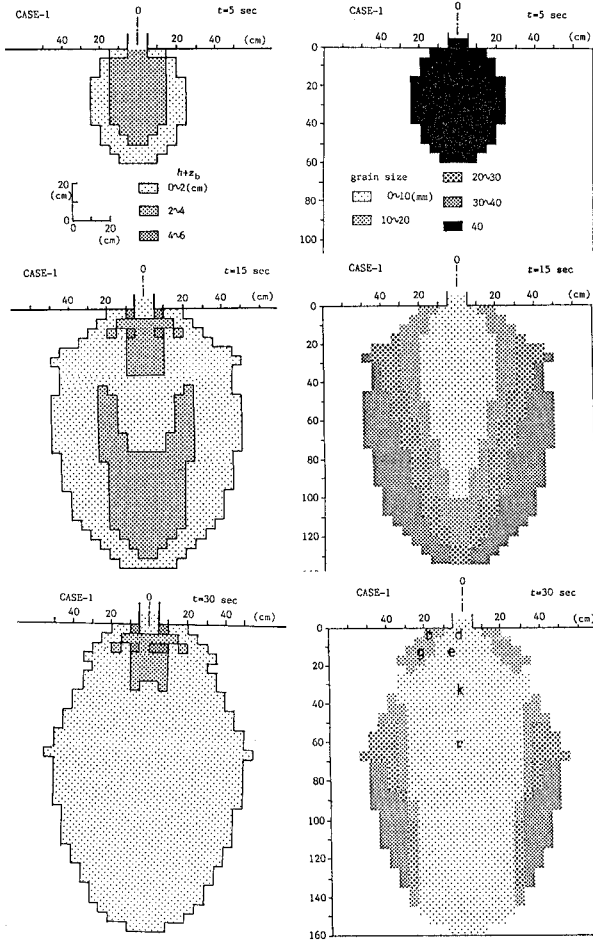


図2 堆積厚分布

図3 粒度分布

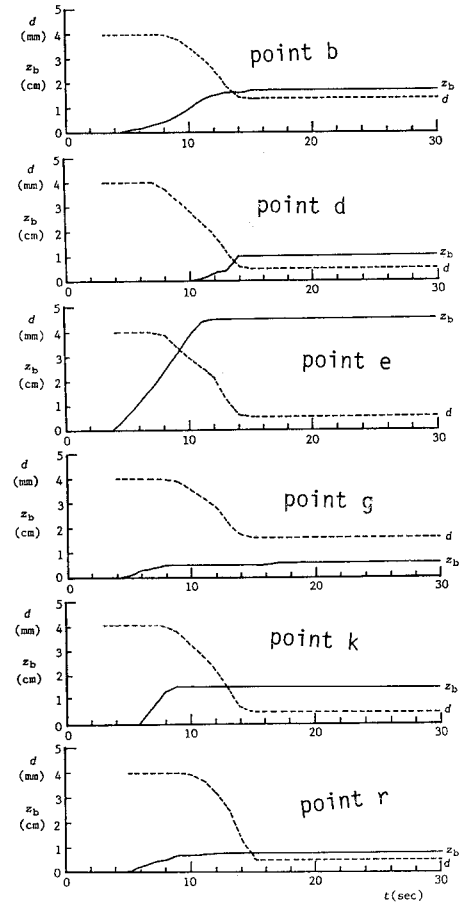


図4 粒径および堆積厚の時間変化

4. おわりに 計算モデルは従来の実験や調査結果に照らして、少なくとも定性的には妥当であることが分かったが、さらに実験による定量的検討を必要としている。

参考文献 1) 高橋、中川、佐藤：水理講演会、32回、1988、2) 高橋、吉田：防災研年報、22号、1979