

II-126

微細土砂を含む土石流の予測

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

1. まえがき

微細土砂を高濃度に浮遊させた水を粗粒子堆積層の上へ供給して土石流を発生させると、その土石流の平衡濃度は清水によって発生したものよりも高くなることが知られており、これは粒子浮遊の結果、水の密度が清水のものよりも大きくなる効果によって説明がつくことがわかっている。^{1), 2)}ところで、土石流中の粗粒子間隙を埋める流体の乱れは、粗粒子濃度によっても変化するし、間隙そのものの大きさも粗粒子濃度や粗粒子粒度分布によって変化するの、間隙流体中に浮遊する粒子径および粒子濃度も変化するようになる。したがって、連続的な広い粒径分布を持つ材料からなる土石流では微細粒子と粗粒子を分ける粒径は、土石流の発達段階に応じた水理条件の変化にしたがって変化するものと思われ、結果として生ずる土石流の規模・性質を左右することになる。本研究はこのような問題解決の基礎として、二種類の粒径からなる土石流について考察を加えるものである。

2. 実験および実験結果の検討

長さ6m、幅15cm、勾配18°の水路の下流端から $L(=1, 2, 3, 5\text{m})$ の長さにあわって平均粒径 $d_L=1.07\text{mm}$ の均等に近い硅砂を約10cmの厚さに敷ならし、清水によってほぼ飽和状態にした後、上流から $d_F=0.084\text{mm}$ あるいは $d_F=0.2\text{mm}$ の硅砂を容積濃度で $C_F=35\%$ に混合した泥水を $Q=800\text{cm}^3/\text{sec}$ の割合で供給して、堆積層の侵食による土石流を形成した。水路下流端で流下土石流を数回サンプリングして、土石流中の d_L 粒子濃度 C_L および泥水中の d_F 粒子の濃度 C_F を計測し、堆積層の敷長 L と C_L および C_F の関係を調べて、泥水が清水で飽和した堆積層を侵食して土石流が発達して行く過程を調べた。

溪床堆積物が表面流によって侵食されて発達する土石流は、土石流の運動方程式、未発達土石流が溪床を侵食することによって取り込む粒子及び水の連続性を記述する方程式、土石流による溪床侵食速度式等を用いて、規模・性質を予測することができる。³⁾

図-1 (a), (b) はそれぞれ $d_F=0.084\text{mm}$ および $d_F=0.2\text{mm}$ の場合に対して、仮にどちらの粒子も微細粒子として間隙を埋める泥水中に浮遊し、間隙流体の密度を増大させ、引いては発生土石流の規模及び粗粒子濃度を増大させる効果を発揮するものとして、

流下に伴う粗粒子濃度および微細粒子濃度の変化を計算した結果と実験結果とを比較したものである。 $d_F=0.084\text{mm}$ の(a)図の場合には、 C_L および C_F の変化傾向が計算と実験でほぼ一致しているが、 $d_F=0.2\text{mm}$ とした(b)図では、 C_L および C_F の変化傾向を説明することができていない。すなわち、 0.2mm の粒子は本実験の場合、もはや間隙流体中では浮遊できなくなっていることを示唆している。ちなみに、 0.2mm の粒子も 1.07mm の粒子と同じく粗粒子であって、すべての粒子が粒子同士の衝突効果によって支えられているとみなして得られる平衡濃度と $L=5\text{m}$ の場合の全粒子濃度 C_T とが、(b)図中に示されているようにほぼ一致していることによっても、この考えは支持されていると見なせよう。

3. 微細粒子と粗粒子との区分

流動深 h の等流状態で流れている土石流の底面からの高さ z におけるせん断力 $\tau=[\{C_L(\sigma-\rho_m)+\rho_m\}g(h-z)]$

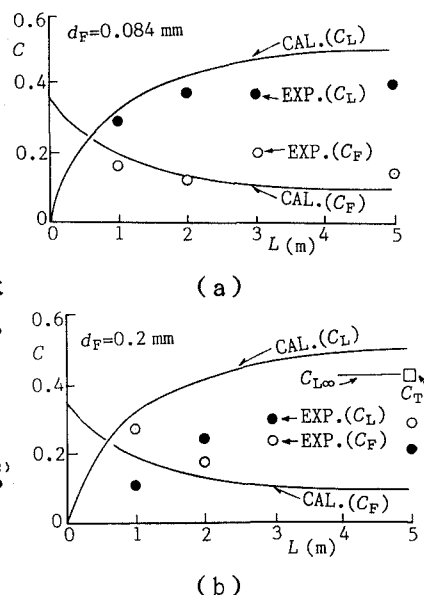


図-1 流下に伴う濃度の変化

$\sin\theta$]が粗粒子同士の衝突効果によって分担される成分 $\tau_g = C_L(\sigma - \rho_m)g(h-z)\cos\theta \tan\alpha$ と間隙流体の乱れによって分担される成分 τ_f との和で与えられるものと仮定すれば、 τ_f は

$$\tau_f = \rho_m g(h-z)\sin\theta \{(\sigma - \rho_m)/\rho_m(1 - \tan\alpha/\tan\theta)C_L + 1\} \quad (1)$$

で与えられる。また、流体成分の摩擦速度は $u_{*f} = \sqrt{(\tau_f/\rho_m)}$ である。ただし、 ρ_m ：微細粒子を浮遊させている間隙流体の密度、 σ ：砂礫密度、 θ ：勾配、 g ：重力加速度、 $\tan\alpha$ ：粗粒子相のせん断における動摩擦係数であり、粗粒子濃度 C_L は均等に分布しているものと仮定している。実際には C_L は底面近傍ほど大きい値を持つような分布をしているので、 τ_f は $z=0$ 以外の場所で最大値を取ることが予想されるが、ここでは簡単のために、 $z=0$ を代表高さとして議論する。

一方、微細粒子の沈降速度は

$$w_0 = \{gd_f(\sigma - \rho_m)\}^{1/2} F \quad (2)$$

で与えられる。ここに、 F は定数であり、 u_{*f} が深さ方向の乱れ程度程度であると考え、 d_f 粒子が間隙で浮遊するためには、まず、 u_{*f} が w_0 を上回ること、および、 d_f 粒子が間隙の大きさよりも小さいこと他に、 u_{*f} はさらに高濃度に d_f を浮遊させるのに十分な強度を持っていなければならない。芦田・道上⁴⁾の浮遊砂濃度を与える式をいま対象としているような高濃度の場合にまで援用して ρ_m を示すと、

$$\rho_m = 0.029(\sigma - \rho)\{g(\xi_0)/\xi_0 - G(\xi_0)\} + \rho \quad (3)$$

となる。ただし、 ρ ：清水の密度、 $\xi_0 = 0.75w_0/u_{*f}$ 、 $g(\xi_0) = (1/\sqrt{2\pi})\exp\{-(1/2)\xi_0^2\}$ 、 $G(\xi_0) = (1/\sqrt{2\pi})\int_{\xi_0}^{\infty} \{-(1/2)\xi^2\}d\xi$ である。

以上の諸式から図-2のように、 C_L の値に対して、 ρ_m が清水のそれよりも大きくなって流動が継続できる微細粒子の粒径が評価できることになる。図-1(a)の $L=5m$ における計算値 $C_L \approx 0.5$ 、 $h \approx 2cm$ を用いると、 $d_f = 0.084mm$ に対して、図-2中の×印が得られる。これは ρ_m が1.15程度、すなわち、 C_f が0.1程度に相当しており、計算及び実験の $L=5m$ での値にほぼ一致している。このことは $d_f = 0.084mm$ の場合、10%程度の濃度で間隙流体中に浮遊した状態で平衡に達するものと解釈できるであろう。一方、 $d_f = 0.2mm$ の場合、図中の△印に対応しており、浮遊限界は上回っているものの、浮遊濃度が微少で間隙流体の密度を顕著に上昇させる効果が現われず、むしろ、全固体分の容積濃度が40%程度の時、粒子間隙の大きさが d_f 程度になることから、衝突効果が顕著に現われる結果になったものと解釈される。

4. あとがき

土石流中の粗粒子間隙の流体中に浮遊できる微細粒子の限界粒径を粗・細二種類の材料を用いた実験を行ない、土石流のハイドログラフ予測理論を適用して求めた。また、その浮遊濃度について浮遊砂理論を援用してほぼ定性的な説明が可能であることを見出した。しかしながら、まだ間隙流体中の乱れの評価、混合粒径の場合の空隙の大きさの見積り、微細砂の集団沈降問題、溪床堆積物中に微細砂が過剰に含まれている場合の流動機構、巨礫から微細砂まできわめて広い粒度分布を持つ材料で形成される土石流の予測計算法等基礎的な課題が残されている。

参考文献：

- 1) 高橋 保：土石流の発生と流動に関する研究、京大防災研年報、20B-2、1977、
- 2) 平野宗夫他：泥流によって形成された土石流の特性、44回土木学会年次講演会、1989、
- 3) Takahashi, T., et al., Estimation of debris flow hydrograph on varied slope bed, IAHS Publ. No.165, 1987、
- 4) 芦田和男・道上正規：浮遊砂に関する研究、京大防災研年報、13B-2、1970。

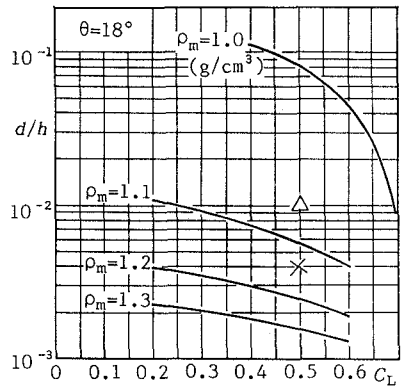


図-2 浮遊粒子径の限界値