

京都大学防災研究所 正 員 江頭 進治
川 崎 製 鉄 正 員 〇寺西 直之

1. はじめに 土石流による河床侵食機構および粒子の堆積機構を明らかにするために水路実験を行い、その結果と従来の土石流に関する知見より、侵食速度および堆積速度に関する考察を行なっている。

2. 実験方法および結果 実験は以下に行なった。用いた水路は、幅10.8cm、長さ350cm、勾配可変の矩形断面開水路であり、下流端には堰が取り付けられている。まず、砂を水路上に敷き詰め、水で飽和させた。ついで、上流から同時に給砂・給水を行うことにより、土石流を発生させた。供給土砂濃度や初期河床勾配の条件を種々変えることにより、河床が侵食されたり、あるいは堆積が起こるようにされている。実験には3種類の砂を用いた。それらの中央粒径はそれぞれ $d_{50} = 0.135, 0.188, 0.345\text{cm}$ であり、内部摩擦角はすべて $\phi_s = 38.5^\circ$ である。実験では下流端流砂濃度と、河床形状を測定した。それらをもとに、各実験の各時間における平均流速 v 、濃度 c 、河床勾配 θ 、流動深 h 、侵食速度 E （侵食の場合は $E > 0$ 、堆積の場合は $E < 0$ ）を読みとった。

さて、ある濃度を有した土石流が、堆積も侵食も起こさないような河床勾配を平衡勾配と呼ぶ。河床面における外力と内力のつりあいより、平衡勾配は次式のように導かれる。

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

ここに θ_e :平衡勾配、 c :土石流の濃度、 σ :砂の密度、 ρ :水の密度である。侵食堆積現象に関与する代表的な量を用いると一般に次式のように表現できる。

$$f_1(E, v, c_*, d, h, \tan \theta, \tan \theta_e) = 0 \quad (2)$$

従来の経験をふまえて、次元解析的な考えによると、式(2)は次のように表現できる。

$$\frac{E}{v} = f_2 \left(h/d, c_*, (\tan \theta - \tan \theta_e) \right) \quad (3)$$

図-1は読みとった値をもとにして、縦軸を E/v 、横軸を $c_*(\tan \theta - \tan \theta_e)$ とし、 h/d をパラメータにしてまとめたものである。これをみると平衡勾配と河床勾配の差が大きいくほど、また h/d が小さいほど侵食速度の絶対値が大きくなることがわかった。

3. 運動方程式による解析 江頭ら¹⁾による土石流の構成式をもとに、以下のようなレイリー問題的なモデル化を行い、侵食速度に関する考察を行なう。まず、濃度 c_0 の土石流が平衡勾配 θ_e より大きな河床勾配 θ 上を流れる場合を考える。図-2に示すように、現在の河床 $z = z_0$ （砂粒子が動いている領域と、動かない領域の境界面）においては、外力として働くせん断応力 τ が抵抗力 τ_y を上回っており、流動が起こるはずである。そして $l = l_\infty$ における河床位は、外力と内力のつり合っている、 $z = z_b$ となる。このような河床侵食のプロセスを運動方程式に基づいて解析してみよう。 $z_b < z < z_0$ における運動方程式は流れ方向に変化がないとすれば、江頭ら¹⁾の構成式を適用して次式のように表せる。

$$\frac{\partial u'}{\partial t'} = a' + b' \frac{\partial u'}{\partial z'} \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2} \quad (4)$$

ここに、

Shinji EGASHIRA Takaayuki TERANISHI

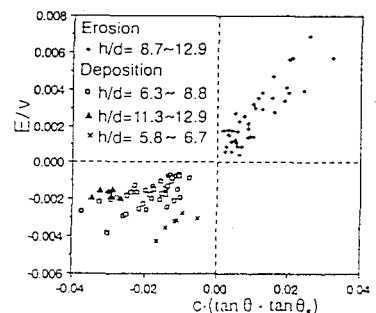


図-1

$$a' = \cos \theta \left(\tan \theta - \frac{(\sigma/\rho - 1)c_*}{(\sigma/\rho - 1)c_* + 1} \tan \phi_s \right), \quad b' = \left(\frac{d}{h} \right)^2 \frac{2f_n}{(\sigma/\rho - 1)c_* + 1}$$

$$u' = \frac{u}{\sqrt{gh}}, \quad z' = \frac{z - z_0}{h}, \quad t' = \sqrt{\frac{g}{h}} t$$

$$f_n = kg \frac{\sigma}{\rho} (1 - e^2) c_*^{1/3} + k_f \frac{(1 - c_*)^{5/3}}{c_*^{2/3}}$$

である。次に濃度 c_0 の土石流の粒子が堆積する場合を考える。ここでは図-3に示すような濃度分布を仮定する。すると現在流動している $z = z_0 \sim z_b$ の領域は減速し、それにもない、河床位は上昇し、最終的には $z = z_b$ まで達する。この河床の変化も侵食の場合と同様に、式(4)で表現できる。以上のような考えのもとに式(4)を数値的に解いた。結果を図-4～7に示す。図-4は濃度 c 、水深 h 、粒径 d を一定にし河床勾配を変化させたときの河床位の時間的変化である。ある一定時間後の河床位は勾配が大きいほど低く、負の領域を含め勾配が大きいほど、侵食速度が大きいことが確かめられる。図-5は、濃度 c のみを変化させたときの結果である。これを見ると濃度が小さいほど侵食速度が大きいことが分かる。図-6,7は粒径のみを変化させた時の結果であり、 h/d が小さいほど、侵食速度の絶対値が大きいことが分かる。以上の結果は、侵食速度に関する実験結果の傾向に一致する。

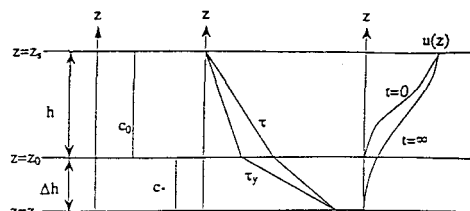


図-2

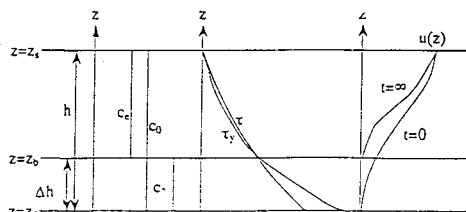


図-3

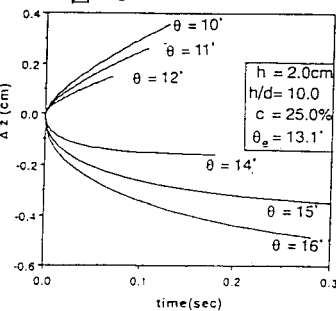


図-4

4. おわりに 実験の結果より、侵食速度は、 $(\tan \theta - \tan \theta_e)$ および h/d に大きく依存することがわかった。前述の解析により、そのことを定性的に説明できた。侵食速度を定量的に予測することが、今後の課題として残されている。

参考文献 (1)江頭進治・芦田和男・矢島 啓・高濱淳一郎：土石流の構成則に関する研究、京大防災研究所年報、第32号B-2、1989、pp.487-501

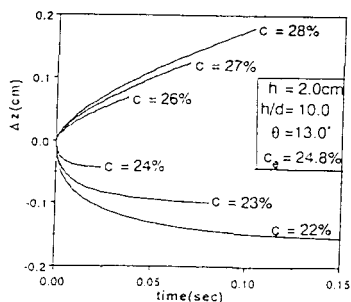


図-5

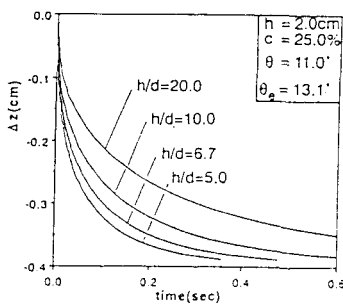


図-6

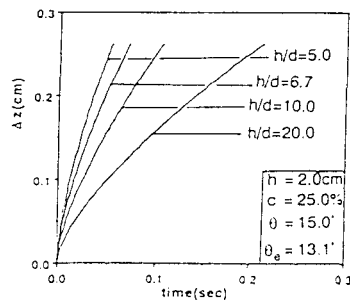


図-7