

II-222

土石流の河床侵食・堆積の機構

川崎 製鉄 正員 寺西 直之
京都大学防災研究所 正員 江頭 進治

1. はじめに 本研究は、土石流に関する知見をもとに、河床侵食速度および堆積速度に関する考察を行っている。また水路実験を上述の解析から導かれたパラメータに基づいて検討している。

2. 運動方程式による解析 侵食速度に関する解析をおこなう前に、平衡勾配の概念を導入する。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。

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

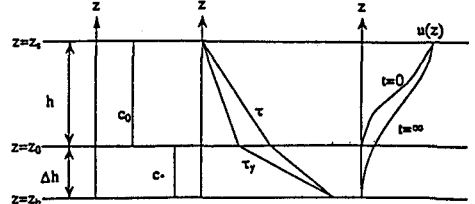


図-1

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

度である。次に、江頭ら¹⁾による土石流の構成式をもとに、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-1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 $t = t_\infty$ における河床位は、外力と内力のつり合う位置 $z = z_b$ となる。このとき、最終的な侵食深 $(z_0 - z_b)$ は次式で表される。

$$z_0 - z_b = - \frac{(\sigma/\rho - 1)c + 1 \tan \theta - \tan \theta_e}{(\sigma/\rho - 1)c_* + 1 \tan \theta - \tan \theta_*} \quad (2)$$

ここに h はもとの流動深、 c_* は砂礫の静止堆積層の濃度であり、 θ_* は c_* に対する平衡勾配である。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。

$$\frac{\partial u'}{\partial t'} = a' + b' \frac{\partial u'}{\partial z'} \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2} \quad (3)$$

ここに、

$$a' = \cos \theta (\tan \theta - \tan \theta_*), \quad b' = \left(\frac{d}{h} \right)^2 \frac{2f_n}{(\sigma/\rho - 1)c_* + 1}, \quad f_n = kg \frac{\sigma}{\rho} (1 - e^2) c_*^{1/3} + k_f \frac{(1 - c_*)^{5/3}}{c_*^{2/3}}$$

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

である。ここで、式(3)の係数 a' 、 b' および侵食深 $(z_0 - z_b)$ を決定する独立変数、すなわち、侵食速度を規定するパラメータとして以下に示す3個を選ぶことができる。すなわち、 G_c 、 G_{c*} 、 h/d である。ここに

$$G_c = \cos \theta \{ (\sigma/\rho - 1)c + 1 \} (\tan \theta - \tan \theta_e)$$

$$G_{c*} = \cos \theta \{ (\sigma/\rho - 1)c_* + 1 \} (\tan \theta - \tan \theta_*)$$

である。これらはそれぞれ濃度が、 c および c_* の断面における、流動に寄与するせん断応力の z 微分を表す。また、堆積が起こる場合も、同様の考えにより解析できる。以上のような考えのもとに式(3)を数

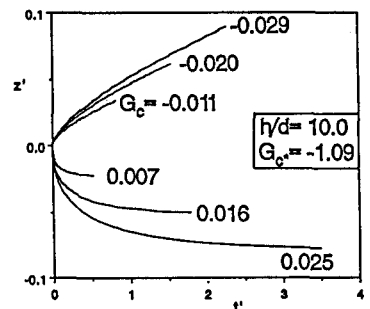


図-2

値的に解いた。その結果を図-2～7に示す。図-2は G_{c*} 、 h/d 、を一定にし G_c 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、 G_c が大きいほど低く、負の領域を含め侵食速度が大きいことが分かる。図-3,4は h/d 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。図-5,6は G_{c*} のみを変化させた時の結果であり、負の領域を含め G_{c*} が大きいほど侵食速度が大きいことが分かる。

3. 実験とその結果 実験は以下のように行なった。用いた水路は、幅10.8cm、長さ350cmの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、内部摩擦角はいずれも $\phi_s = 38.5^\circ$ 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、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。図-7は読みとった値をもとにして、縦軸を $E/\sqrt{gh}$ 、横軸を G_c 、とし、 h/d をパラメータにしてまとめたものである。これによると、 G_c の絶対値が大きいほど、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る。これは前述の解析の結果と一致する。ただし今回の実験では実験精度上の問題もあり G_{c*} による侵食速度の差異を議論するためのデータは得られていない。

4. おわりに 今回行った解析によれば、侵食速度は、 G_c 、 G_{c*} 、 h/d に依存する。実験結果より G_c 、 h/d に関しては、そのことが確かめられた。侵食速度を定量的に予測することが、今後の課題である。

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

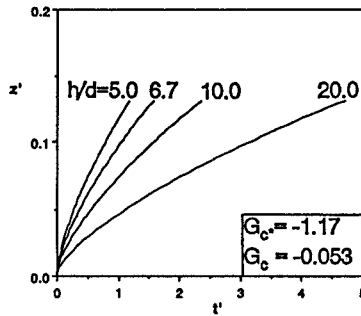


図-3

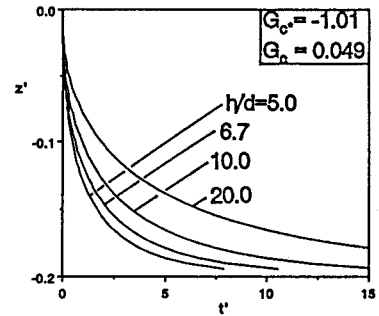


図-4

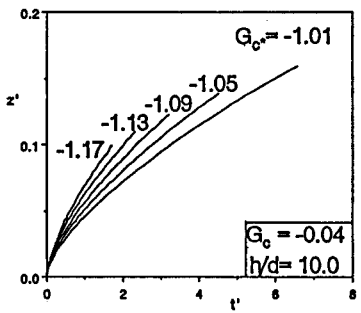


図-5

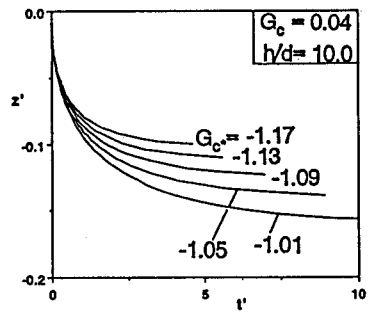


図-6

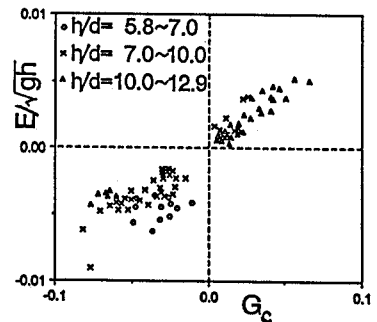


図-7