

九州大学工学部 正 橋 東一郎

“ “ 平野 宗夫

“ “ 内村 好

1. まえがき

前報においては、急勾配水路に土石流を発生させ、土石流先端の移動速度、土石流の流量等について検討した。本報においては、土石流の流量について若干の考察をつけ加えるとともに、土石流の堆積過程についての計算式を導き、勾配急変点における堆積形状を計算して実験結果と比較し、計算式の適用性を検討した。

2. 実験装置及び方法

実験に用いた水路は全長4.5 m、幅9.5 cmの可変勾配水路で、水路の中央部で折れ曲がり、上流側と下流側で勾配が変えられるようになっている。実験は、下流側勾配 $\theta_2 = 0.50^\circ$ 、上流側勾配は $\theta_1 = 12^\circ \sim 22^\circ$ の範囲で行った。水路に厚さ4 cmに砂(中央粒径 $d_{50} = 0.34$ mm、標準偏差 $\sigma = 0.3$)を敷きつめ、上流端から一定量の水を急激に供給して土石流を発生させ、土石流と河床の堆積形状を水路の横から一定時間間隔に写真撮影して測定した。

3. 土石流の流量

前報において、土石流中の砂れきの流量は通常の流砂関数で表わされることを示したが、急勾配水路における流砂関数のパラメーターを導くこと次のようである。図-1のように、急勾配水路上に存在する砂粒に働く力は、重力 W 、流体力 D 、底面との摩擦係 F および浮力 U であり、それらは次のように表わされる。

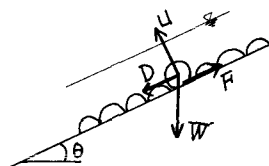


図-1

$$W = \sigma g \alpha_2 d^3, \quad D = \epsilon C_0 \alpha_1 d^2 \frac{\rho U^2}{2}, \quad F = \mu (W \cos \theta - U), \quad U = \rho g \alpha_2 d^3 \cos \theta$$

ここに、 σ および ρ はそれぞれ砂粒および水の密度、 α_1 および α_2 は、砂粒の面積係数および体積係数、 d は砂粒の粒径、 ϵ は遮蔽係数、 C_0 は抗力係数、 U は流速、 μ は摩擦係数である。したがって、砂粒を動かそうとする力と抵抗力との比 ψ は

$$\psi = \frac{D + W \sin \theta}{F} = \frac{1}{\chi \mu} \frac{\tau_*}{\cos \theta} - \frac{\tan \theta}{\mu} \frac{\rho}{\sigma - \rho} \quad (1)$$

ここに、 $\chi = \epsilon C_0 \alpha_1 \rho d^2 / 2 \alpha_2$ 、 $\tau_* = U_*^2 / (\sigma - \rho) g d$ 、 $\rho_d = U / U_*$ 、 U_* は摩擦速度である。

次に、単位幅当り流砂量 q_b は、河床単位面積中に存在する砂粒の数を N 、砂粒の移動速度を U_s 、移動確率を P とすると、

$$q_b = N \alpha_2 d^3 U_s P \quad (2)$$

となるが、 $N \propto d^{-2}$ 、 $U_s \propto U \propto U_*$ とし、 P が $(\psi - 1)$ に比例するとすれば、式(1)において、 $\theta = 0$ 、 $\psi = 1$ のとき $\tau_* = \tau_{*c}$ となることを考慮して、

$$\frac{q_b}{U_* d} = K \left\{ \frac{\tau_*}{\cos \theta} - \tau_{*c} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\mu} \frac{\rho}{\sigma - \rho} \right) \right\} \quad (3)$$

ここに、 K は定数、 τ_{*c} は無次元限界掃流力、

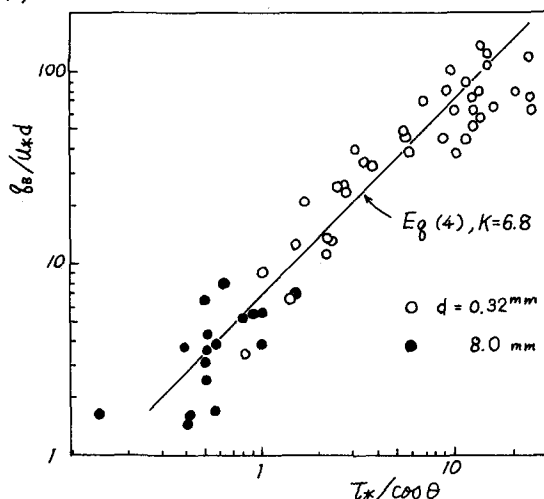


図-2

さらに、 $T_* \gg T_{*c}$ の場合には、 $g_B / U_* d = K T_* / \cos \theta$ …… (4) となる。そこで、前報までの実験データより $g_B / U_* d$ と $T_* / \cos \theta$ を求めてプロットすると図-2 のようになり、式(4)の関係がほぼ成り立つことが認められる。前報より、土石流の流速 v は、 $v = (\varphi^2 g_T \sin \theta)^{1/2}$ で表わされるから、これを式(4)に代入して、

$$\frac{g_B}{g_T} = K' \tan \theta \quad \text{または} \quad \frac{g_w}{g_T} = 1 - K' \tan \theta \quad (5) \quad \text{ここに、} K' = \frac{K}{(\frac{\varphi}{\varphi_c} - 1) \varphi}$$

g_T は土石流の流量、 $g_w = g_T - g_B$ は土石流中の水の流量である。

4. 土石流の堆積過程

(1) 土石流の連続の式

土石流の水深を h 、河床高を Z 、河床幅を B とすると、土石流および水についての連続の式はそれぞれ

$$\left(\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Z}{\partial t} \right) B + \frac{\partial (g_T B)}{\partial x} = 0 \quad (6) \quad \text{および} \quad \left\{ (1-C) \frac{\partial h}{\partial t} + \lambda \frac{\partial Z}{\partial t} \right\} B + \frac{\partial (g_w B)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

ここに、 C は土石流中の土砂れきの濃度、 λ は河床の空隙の割合である。これらの式に式(5)を代入し、かつ、 $\tan \theta = -\partial Z / \partial x$ 、 $(1-C) = g_w / g_T$ とおくと、次式が得られる。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{K' g_w}{(1-K' \tan \theta)(1-\lambda-K' \tan \theta)} \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} \quad (8)$$

上式より、土石流による堆積は勾配の急変点において顕著に起ることがわかる。昭和47年7月の天草における豪雨の際に、大量の土石が堆積して多数の人命が失われたのは、主として、水流次数(order)4の出口附近においてであったが、それらの河川では、order 1~4の間ではHortonの河道勾配則がほぼ成立しているのに対し、order 5では勾配が急激に小さくなって勾配則からはずれており、式(8)の傾向を裏付けている。なお、式(8)において $\tan \theta = 0$ とおくと河床変動に関する拡散方程式と同じになり、解析的に解くことが可能になるが、土石流の場合は、 $\tan \theta$ がかなり大きく、かつ、 g_w が場所的に変動するので数値計算を行なわなければならない。

(2) 計算値と実験値の比較

土石流が堆積する場合には、一般に $\partial h / \partial t \ll \partial Z / \partial t$ であるから、(7)式より、 $\lambda B \frac{\partial Z}{\partial t} + \partial (g_w B) / \partial x = 0$ の式(7)と(8)を用いて計算を行なう。初期条件は、 $0 \leq x \leq 260 \text{ cm}$ で、 $\sin \theta = 0.208$ 、 $x \geq 260 \text{ cm}$ で $\sin \theta = 0.045$ 境界条件は、 $x = 0$ (上流端)において、 $g_w = 25.3 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、および $\partial Z / \partial x = 0$ 、また $K = 6.8$ 、 $\varphi = 4.1$ とする。計算結果と実験結果を比較すると図-3 のようである。

図によると、計算値は堆積の先端附近ではよく合っている。上流部ではやや大きく、中流部では若干小さくなっているが、これは擬似等流として取り扱ったことによる誤差ではないかと思われる。

参考文献

1) 橋、平野、内村：渓谷堆積土砂の流動(予2報)，
 第27回年報集要集，昭47.10

2) 九州地区河川調査班：昭和47年7月の局地性豪雨による九州地区の河川災害について，昭和47年度災害科学総合研究河川分科会シンポジウム，昭48.2

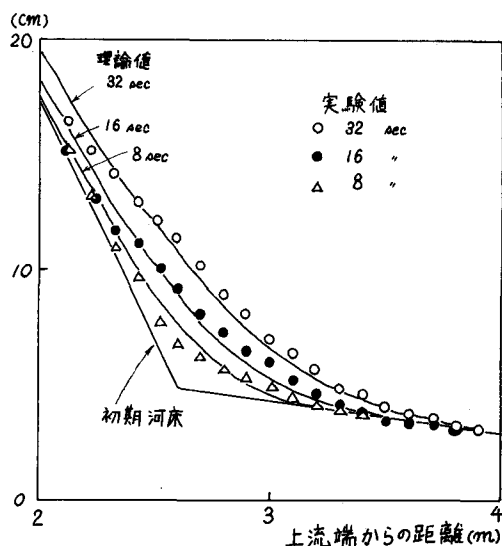


図-3