

III-13 豪雨による急斜面の流路浸食機構について

鹿児島工高専 正員 田原 誠

1. まえがき

宅地造成地などにおいて豪雨により土砂の崩壊、流出の主要因をなしているが、浸食の問題は、河川上流域での河谷の発生機構にも関連性をもち、シラス地帯において顕著である。これらの解析については、平地河川とは異なった多くの問題を含んでおり、例えば、豪雨の地撃エネルギーと砂礫の流送エネルギーの関係、急斜面における流れの抵抗法則、あるいは砂礫間に結合力を考慮すべきことなどがあげられる。本報は、限定された区域における集水流量による砂礫の流送現象に着目し、シラス地帯では塵灰中に含まれる軽石の転動に帰因する浸食機構を考え、浸食量の数値的予測を試み、現場降雨実験資料について検討を加えたものである。

2. 流路浸食の基礎方程式

図-1のような初期勾配 $I_0 = \tan \theta_0$ の傾斜面上に、上流端から x 軸、それに直角水平に y 軸、直角下方に浸食量 z 軸をとる。斜面一様に降雨強度 i の雨が継続して長時間降り、そのときの河床の縦断形状を考える。下流端 $x=l$ においては河床底下防止工がなされ、これより上流では安息角 θ_s の線上に河床が接続するものとする。

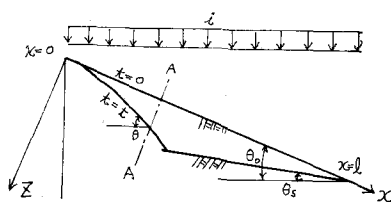


図-1 流路浸食の縦断形状

断面 A-A の横断形状のモデルを図-2 に示す。流域幅は $(b+b_0)$ で与えられ、横からの流入区内 b_0 は円弧を用いる。

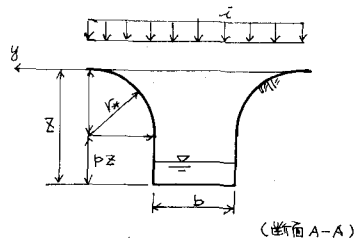


図-2 流路浸食の横断形状

(1). 流水の連続、運動方程式

地点 $x=x$ における集水流量 Q および平均流速 V は

$$Q = \int_0^x (2kz + b) \cos \theta_0 dx = V b_0 \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I_e^{1/2} \quad (2)$$

ここに、 n は Manning および Strickler の式より、 $n = k^{1/2} / (7.66 \sqrt{g})$ 、 k は絶対粗度で、軽石の直径 d_0 の 2 倍を考える。径深 $R = b / (1 + \frac{2z}{b}) \approx b$ 、エネルギー勾配 $I_e \approx I_0 = \tan \theta = \frac{dz}{dx}$ である。

(2). 砂礫の連続、運動方程式

地点 $x=x$ における浸食面積を A_x とすると、浸食容積は $\int_0^x A_x dx$ 。砂礫を実質容積で測定し、空隙率 $\lambda \approx 0.4$ を用い、単位幅あたりの砂礫移動量 q_T を考えると砂礫の連続性より、 $\int_0^t q_T b dt = (1-\lambda) \int_0^x A_x dx \quad (3)$

断面形状は、図-2 で $b = (1-b_0)z$ とおけば、

$$A_x = (2 - \frac{\pi}{2})(1-b_0)^2 z^2 + b_0 z \quad (4)$$

ここに、 $b_0 = 0.5$ とおくと $(2 - \frac{\pi}{2})(1-b_0)^2 = 0.107$ で、図-3

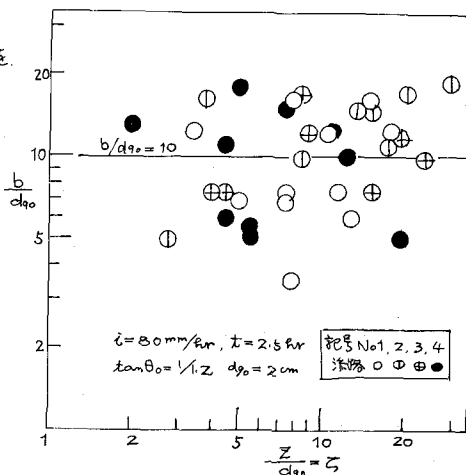


図-3 流路の幅と浸食量の関係

において、 $b \approx z$ の Order 領域では $A \approx b z$ とみなせる。

流砂量の式、 $q_r / U_* d_{50} = K (U_*^2 / S g d_{50})^m$ において、 $m = 1$ とおけば、土研の表示で $K = 0.623$

のとき

$$q_r = \frac{K}{Sg} U_*^3 \quad \text{----- (5)}$$

砂礫の水中比重はシラスでは $S = 1.45$ 程度、 g : 重力加速度である。 $U_* = \sqrt{g R I_e}$; 摩擦速度である。

3. 河床の縦断形状

式 (4), (5) を砂礫の連続条件式 (3) に代入し、 q_r, A_x を消去し、砂礫移動量 q_b の時間的变化を無視すると、

$$\frac{K}{Sg} U_*^3 b \cdot \int_0^x dt = (1-\lambda) \int_0^x \left[\left(2 - \frac{\pi}{2} \right) (1-\beta)^2 z^2 + b z \right] dx \quad \text{----- (6)}$$

摩擦速度 U_* は、式 (2) の V を式 (1) に代入し、 β を消去し、 $\beta = (1-\beta) z$ とおくと

$$\begin{aligned} U_*^3 &\approx (g R I_x)^{3/2} \\ &= g^{3/2} \cdot \left[\frac{n_i \cos \theta_0}{b} \right]^{0.9} \left\{ 2(1-\beta) z + b z \right\} \left(\frac{dz}{dx} \right)^{1.05} \end{aligned} \quad \text{----- (7)}$$

更に、豪雨の地撃エネルギーの補正係数 ε を考えて、

$$\varepsilon \frac{K \sqrt{g} (n_i \cos \theta_0)^{0.9}}{S(1-\lambda)} \cdot \left(\frac{b}{d_{50}} \right)^{0.1} \frac{d_{50}^{0.05}}{l^{1.05}} t = F(x) \quad \text{---- (8)}$$

を定義し、 $x/l = \xi$, $z/d_{50} = \zeta$ において式 (6) を整理すると、

$$F(x) \cdot \left[\int_0^\xi \left\{ 2(1-\beta)\zeta + \frac{b}{d_{50}} \right\} d\xi \right]^{0.9} \left(\frac{d\zeta}{d\xi} \right)^{1.05} = \int_0^\xi \left\{ \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) (1-\beta)^2 \zeta^2 + \frac{b}{d_{50}} \zeta \right\} d\xi \quad \text{----- (9)}$$

境界条件として集水の結果、 $x=l_0$ で軽石 $z=d_{50}$ の転動を考えると、

$$BC: \quad \xi = l_0/l \quad \zeta = 1$$

河床の縦断形状として、指数式 $\zeta = \alpha \xi^\beta$, (α, β は係数) を考え、境界条件を入れると、

$$\zeta = \left(\frac{l}{l_0} \xi \right)^\beta \quad \text{----- (10)}$$

の関係が成立する。式 (10) の ζ を式 (9) に代入すると、式 (9) を満足するような $\xi \sim \beta$ の関係が得られる。然るに、式 (10) により ζ を求める。

図-4 は、現場降雨実験をシラスで行なった場合の河床の縦断形状である。ここに、 $K = 0.623$, $S = 1.45$, $\lambda = 0.4$, $l = 10.93m$ とおき、図-3 から、 $b/d_{50} = 10$, $d_{50} = 2cm$, $L' = 80m/hr$, $\tan \theta_0 = 1/1.2$, $\tau = 2.5hr$ の場合である。なお、転動開始の位置 $x=l_0$ としては、 $10d_{50} = 0.2m$ といった場合で、下流端では、シラスの安息角 $\theta_0 \approx 34^\circ$ に持続していることがわかる。 $\varepsilon = 100$ を用いている。

4. おわりに

本実験資料は、道路公団福岡支社、鹿島建設K.K. の御好意による。ここに謝意を表する次第です。

参考文献

- 1) 河村、横山、日柄、ガリ浸食に関する研究、才28回土木学会年講、(昭48, 10)
- 2) 日本道路公団福岡支社、鹿島建設K.K.; 吉田試験盛土工事報告書 (昭45, 12)

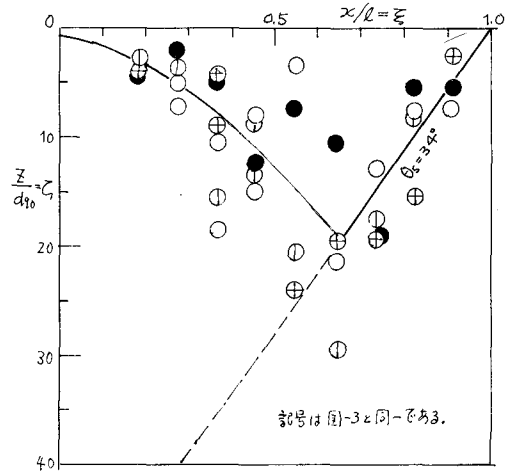


図-4 流砂の河床縦断形状