

図-1のような裸地斜面を考え、斜面長を L (m), 斜面幅を W (m), 斜面勾配を S_0 とし、斜面上端から x の点におけるリル流路一本の流量を Q とすると、斜面幅 W における雨水流量 Q_{Tr} は、 $Q_{Tr} = nQ = (q_0 + q_* x) W$ ----- (1)

ここに n =斜面幅 W におけるリルの本数、 q_0 =上流端から流入する単位幅流量($m^3/s/m$)、 q_* =裸地斜面上の単位面積当りの雨水量($m^3/s/m^2$)であつて、次式で与えられる。

$$q_* = (fi/3.6) \times 10^{-6} \text{ ----- (2)}$$

ここに f =流出率、 i =降雨強度(mm/hr)である。式(2)を式(1)に代入して、

$$Q_{Tr} = nQ = (q_0 + \frac{fix}{3.6 \times 10^6}) W \text{ ----- (1')}$$

一方、リル一本の流路内流量 Q は、図-2のような侵食性開水路内の流れてあるから、

$$Q = A \sqrt{8/f_f} \cdot \sqrt{gRS_0} \text{ ----- (3)}$$

とおくことができる。式(2)、(3)を式(1')に代入して、

$$Q_{Tr} = nQ = n(A \sqrt{\frac{8}{f_f}} \cdot \sqrt{gRS_0}) = (q_0 + \frac{fix}{3.6 \times 10^6}) W$$

したがつて、リル本数 n は、

$$n = \frac{(q_0 + 2.778 \times 10^{-7} fix) W}{A \sqrt{8/f_f} \cdot \sqrt{gRS_0}} \text{ ----- (4)}$$

リル密度(Rill Density) R_D (%)は、次式で定義する。¹⁾ $R_D = (nT/W) \times 100$ ----- (5)

ここに T =リル一本の水面幅である。式(5)に式(4)を代入して、

$$R_D = \frac{(q_0 + 2.778 \times 10^{-5} fix) T}{A \sqrt{8/f_f} \cdot \sqrt{gRS_0}} \text{ ----- (6)}$$

この式を簡単化するために、水面幅 T 、流積 A 、潤辺 P を水深 h で表現する必要がある。Li-Simons-Stevens²⁾は、 T 、 A 、 P を次のようにおき、侵食性流路の解析から係数 C_t 、 C_a 、 C_p を式(8)のように提案した。

$$\left. \begin{aligned} T &= C_t h \\ A &= C_a T h \\ P &= C_p h \end{aligned} \right\} \text{ ----- (7)} \quad \left. \begin{aligned} C_t &= 210 \phi^{-1.038} \\ C_a &= 0.61 \phi^{0.021} \\ C_p &= 168 \phi^{-0.950} \end{aligned} \right\} \text{ ----- (8)}$$

ここに ϕ =流路材料の安息角(度)である。式(8)は、侵食性流路が限界掃流の状態にあり、水面と水面上の側岸勾配が流路材料の安息角であるとして誘導された。式(6)から径深 R は、 $R = A/P = (C_a/C_p) T$ であるから $T = C_t h$ を代入して、 $R = C_r h$ ----- (9)

ここに $C_r = (C_a/C_p) C_t$ である。式(8)を使用すると、 C_r は、

$$C_r = 0.7625 \phi^{-0.067} \text{ ----- (10)}$$

式(6)の分母に $A = C_a T h$ 、 $R = C_r h$ を代入して、

$$R_D = \frac{\sqrt{f_f}}{\sqrt{8gS_0}} \left[\frac{(q_0 + 2.778 \times 10^{-5} fix)}{C_a C_r^{1/2} h^{3/2}} \right] \text{ ----- (11)}$$

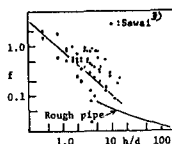
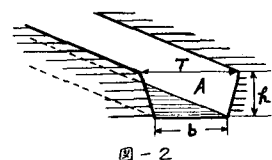
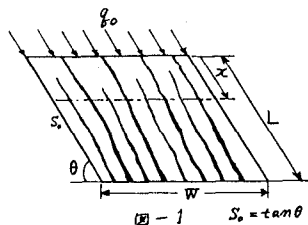


図-3

リル流路は、雨水の流下時には限界掃流力の状態に近いと考えられるので、摩擦速度を u_* とすると、 $u_* = \sqrt{g R_s S_0}$ である。限界掃流力については、岩垣の式を使用すると

$$u_{*c}^2 = a_s (\sigma/\rho - 1) g d \quad \text{----- (12)}$$

ここに a_s はある定数、 σ/ρ は流路構成材料の比重、 g は重力の加速度、 d は流路構成材料(土砂)の平均粒径である。 $u_{*c}^2 = u_*^2$ とおくと、

$$R = a_s (\sigma/\rho - 1) / S_0 \quad \text{----- (13)}$$

$R = C_t h$ であるから、この関係から得られる水深 h は、

$$h = (K d / C_t S_0) \quad \text{----- (14)}$$

ここに $K = a_s (\sigma/\rho - 1)$ である。式(11)の h に式(14)を代入して、

$$R_D = \frac{\sqrt{f_f}}{\sqrt{8 g S_0}} \left(\frac{C_t}{C_a} \right) (y_0 + 2.778 \times 10^{-5} f_i x) \left(\frac{S_0}{K d} \right)^{3/2} \quad \text{----- (15)}$$

一方、摩擦損失係数 f_f については、図-3の澤井³⁾の研究データから次式のようにおくことができる。

$$f_f = \left(\frac{h}{d} \right)^n \quad \text{----- (16)}$$

この図から判断すると層流から乱流の範囲に対して $n = -1$ としてよいと考えられる。式(16)を式(15)に代入し、さらに式(14)の関係を 사용하면 $\sqrt{f_f}/S_0 = (C_t/K)^{1/2}$ であるから

$$R_D = \frac{1}{\sqrt{8 g}} \left(\frac{C}{K^2} \right) (y_0 + 2.778 \times 10^{-5} f_i x) \left(\frac{S_0}{d} \right)^{3/2} \quad \text{----- (17)}$$

ここに $C = C_t^{3/2}/C_a$ である。 $C_a = 0.61 \phi^{0.021}$, $C_t = 0.7625 \phi^{-0.067}$ を使用すると

$$C = 1.25 \phi^{-0.088} \quad \text{----- (18)}$$

となる。したがって、

$$R_D = \frac{1.25 \phi^{-0.088}}{\sqrt{8 g} K^2} (y_0 + 2.778 \times 10^{-5} f_i x) \left(\frac{S_0}{d} \right)^{3/2} \quad \text{----- (19)}$$

$a_s = 0.05$, $\sigma/\rho = 2.65$ とすると $K^2 = (0.05 \times 1.65)^2 = 6.81 \times 10^{-3}$ である。 $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ を代入して整理すると次式が得られる。

$$R_D = 20.74 \phi^{-0.088} (y_0 + 2.778 \times 10^{-5} f_i x) \left(\frac{S_0}{d} \right)^{3/2} \quad \text{----- (20)}$$

さらに $y_0 = 0$ のときは、

$$R_D = 5.76 \times 10^{-4} \phi^{-0.088} f_i x \left(\frac{S_0}{d} \right)^{3/2} \quad \text{----- (21)}$$

平均値的な取り扱いをするために、 $x = L/2$ を代入すると

$$R_D = 2.88 \times 10^{-4} \phi^{-0.088} f_i L (S_0/d)^{3/2} \quad \text{----- (22)}$$

なお、 ϕ は度、 d と L は m 単位である。 d を mm 単位で与えるときは、次式のようにになる。

$$R_D = 9.11 \phi^{-0.088} f_i L (S_0/d)^{3/2} \quad \text{----- (23)}$$

参考文献

- 1) Li, R.M., et al "Modeling Rill Density," Proc. ASCE, Vol. 106, No. IR1, 1980, pp. 63-67.
- 2) Li, R.M., et al "Morphology of Cobble Streams in Small Watersheds," Proc. ASCE, Vol. 102, No. HY8, 1976, pp. 1101-1117.
- 3) 澤井健二, "粘着性流路床の変動機構に関する土砂水理学的研究," 京都大学学位論文, 1977, p. 77.