

(20) 山地河川の掃流砂量式とその適用法について

京都大学防災研究所 芦田 和 男
 " 高橋 保
 建設省中部地方建設局河川部 ○水 山 高 久

掃流砂と掃流砂量式に関してはかなり研究されている。しかしその多くは平野部の河川のように緩勾配で水深の十分大きな流れを対象としており山地河川にそのまま適用することは無理があった。すなわち、山地河川は河床勾配が急で、広い粒度分布を持ち、礫が大きく水深が小さいので相対粗度 (d/h) が大きい。また流量が谷幅に比して少なく、谷の中で蛇行することも多い。さらに勾配が増加すると集合流動が発生する。このような山地河川で掃流砂量を検討する場合には、そのような条件に合った掃流砂量式を適用することが望ましく、また適用領域に注意しなければならない。著者らは山地河川を対象として急勾配水路における掃流砂を研究し、いくつかの新しい結果を得たので報告する。

1. 流路形態と流砂形態

まず、河床材料と水路幅 (B_0) と流量 (Q) が与えられた時にどのような現象がおこるか整理する。それぞれの現象を支配するパラメーターが同じではないので無次元的表現をすることはできないが図-1のような概念図として表すことができる。それぞれの境界を示す式を図-1の右に示しておく。なお勾配 (τ_0) が $1/100$ 程度以上で河床が粗な場合には流れのはく離を伴うような河床波形成はなく平垣河床または upper flow regime である。さらに砂礫堆形成時の流砂量は時間的に変動するが平均的には平垣河床の場合とほぼ同じとみてよい。

2. 急勾配水路の掃流砂量式とその適用

図-1の④⑤⑥の領域に対しては掃流砂量式を適用することができる。ただし④についてはその流路幅が水路幅 (谷幅) に等しくないのに注意を要する。平垣河床の掃流砂量式は一樣砂緩勾配では、

$$= \frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho-1) d^3}} = 12 \tau_*^{3/2} (1 - 0.85 \frac{\tau_* c}{\tau_*}) (1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_* c}{\tau_*}})$$

となる。上式は著者らが Bagnold のモデルに基づいて誘導したもので図-2のように従来の実験値をよく説明する。これに勾配の補正を加えると、

$$\bar{q} = \frac{12 - 24 \sqrt{\tau}}{\cos \theta} \tau_* (1.5 - \sqrt{\tau}) (1 - 0.85 \frac{\tau_* c}{\tau_*}) (1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_* c}{\tau_*}}) \text{ となる。 (図-3)}$$

混合砂礫の掃流砂量式は先に粒径別限界掃流力を用いた粒径別流砂量式が芦田、道上や平野によって提案されている。しかし、 $d\tau/dm > 1.0$ で計算値が小さくなっている。(図-4) 混合砂礫の流砂が粒径別に平衡になるためには全粒径が同じ限界掃流力をもたなければならない。その値は移動限界と停止限界の間にあるはずであって、停止限界掃流力を調べると図-5のようにほぼ一定値になる。これより限界掃流力が停止限界にほぼ等しくて一定とした混合砂礫の流砂量式を提案する。

$$= \frac{12 - 24 \sqrt{\tau}}{\cos \theta} \tau_* m (1.5 - \sqrt{\tau}) (1 - 0.85 \frac{\tau_* c m}{\tau_* m}) (1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_* c m}{\tau_* m}})$$

$$q_{B\tau} = q_B \cdot f_o(d_i)$$

ここで、 $\tau_* m = \frac{U_*^2}{(\sigma/\rho-1) g d_m}$ 、 d_m : 平均粒径、 $f_o(d_i)$: 河床の粒度分布、 $\tau_* c m$: 平均粒径の限界掃流力で粒度分布が広がると一樣砂の時よりも増加する。上式は図-6のように従来の実験値をよりよく説明する。

以上、急勾配水路および混合砂礫床に適用できる掃流砂量式を誘導し、その適用領域にも言及した。

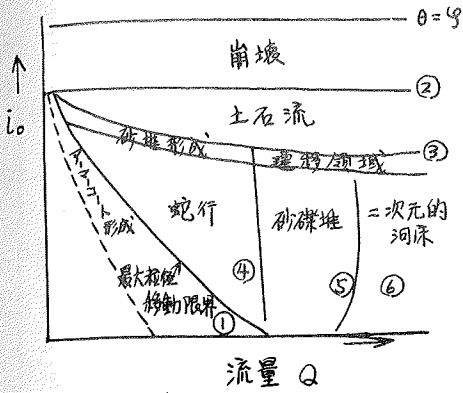


図-1 流路形態および流砂形態の領域区分

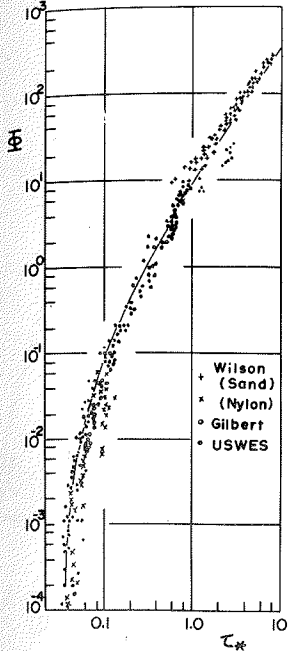


図-2 様砂礫の掃流砂量 (横勾配平坦河床)

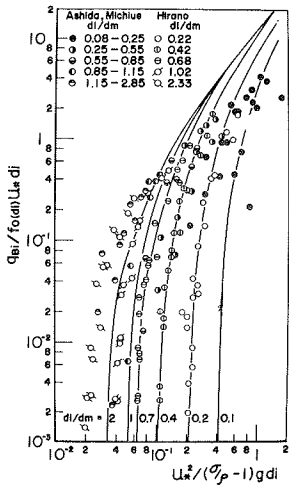


図-4 粒径別流砂量式と実験値 (岸田, 通上)

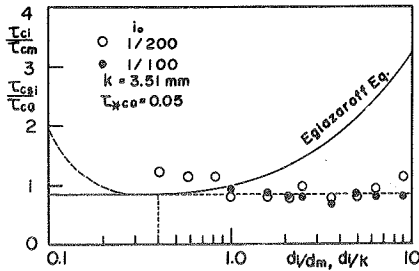


図-5 停止限界掃流力

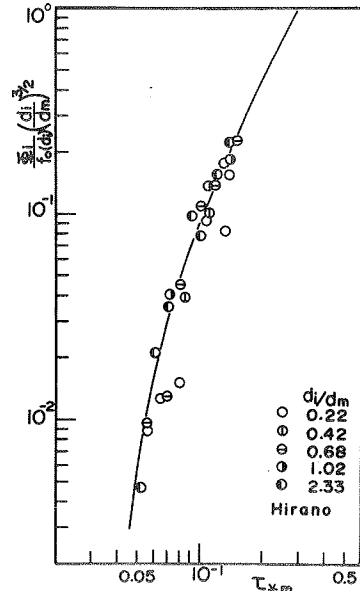


図-6 混合砂礫掃流砂量

① 移動限界掃流力 (岸田, 高橋, 水山)

$$\tau_{*c} = \frac{U_{*c}^2}{(\rho_p - 1) g d} = 0.04 \times 10^{1.72 i_0}$$

混合砂では Egiazaroff 式 ($d/h \ll 1$)

② 長大斜面の安定式

$$\frac{C_* (\rho_p - 1)}{C_* (\rho_p - 1) + 1} \tan \varphi \geq \tan \theta$$

C_* : 河床材料の体積濃度, θ : 河床勾配

ρ_p : 砂の比重

③ 土石流発生限界 (高橋)

$$\frac{C_* (\rho_p - 1)}{C_* (\rho_p - 1) + 1 + \frac{h_0}{d}} \tan \varphi \leq \tan \theta$$

h_0 : 土石流発生直前の表面流水深

④ $B < B_0$

B : 流れが自然にたどる流路の幅

$$B = 3.5 \sim 7.0 (Q^{1/2}) \text{ (cm-sec 単位)}$$

⑤ 木下によると,

$$B_0/h > 10$$

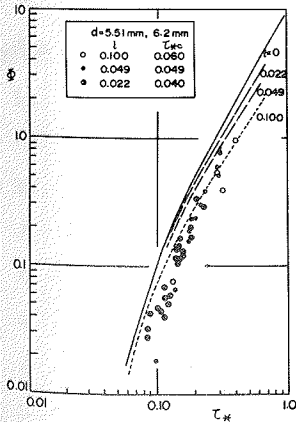


図-3 急勾配水路での実験値と計算値