

1. はしがき 急こう配の河道では、河床の粒径分布が広いうえに、普段の掃流力の大きさ、ある代表径の限界掃流力をわずかに上回る程度で、河床の不規則性が大きく、その不規則性がそのまま流砂現象に影響し掃流力のわずかな変化が、流砂量に鋭敏に影響する。限界掃流力をごくわずかに上回る領域の流砂量を明確にするためには、限界掃流力の正確な評価が必要になる。この限界掃流力は、急こう配におけるもの、および粒径範囲が広く、動かないれきが砂面の一部を占めて他の砂れきに影響を及ぼしている場合が問題になる。本文はこれら二つについて実験を行なつた結果について述べたものである。

2. 急こう配水路における限界掃流力

急こう配水路での限界掃流力は、すでに芦田¹⁾によつて研究され、移動限界流速 U_c は、次のように表される。

$$U_c^2 = \frac{29 K_d^3 \left\{ (s-1) \cos \theta \cdot \tan \phi - \frac{S}{S-1} \cdot \sin \theta \right\}}{C_0 K_1 + C_L K_2} \quad (1)$$

$$U_c = C U_* \quad (2) \quad \text{とすると、}$$

$$\frac{U_{*c}^2}{(s-1)gd(\cos \theta \cdot \tan \phi - \sin \theta \cdot \frac{S}{S-1})} = \frac{1}{C_0 K_1 + (C_L/C_0) K_2 \tan \phi} \frac{1}{C^2} \quad (3)$$

ここに、 U_{*c} ：限界掃流力、 d ：粒径、 S ：れきと水の密度比、 g ：重力加速度、 C_0, C_L はそれぞれ、抗力および揚力係数である。 K_1, K_2 および K_3 は粒子の形状係数である。本文での測定は水路幅が 0.1 および 0.3 m の二通りの水路に長さ 1.0 m の移動床を設けて行なつた。式(3)の左辺に相対水深 d/R_b (R_b ：アインシュタインの方法による床面に対する径深)を図2に示す。従来の研究との差は、急こう配が $1/10$ 以上のところで限界掃流力の測定値が小さくなる、であることである。式(3)は、左右両辺が d/R_b の関数であることから、図2の上で、左右の項の交点として表される。急こう配が急なところで、限界掃流力の無次元表示が小さくなる理由としては、限界時における Re 数に大きな違いはないことから、 C_0, C_L の値は、 d/R_b の小さい領域と同じとすると、れき頂部に作用する流速の流速係数が小さくなることを意味する。

砂面上の流速は、底面付近で流速バリエーションを示すため、一般に底面付近と上層との二つの領域に分けて表され、境界の高さを δ とすると、砂れき頂部の流速 U_t は、

$$Z < \delta, \quad U_t/U_* = U_s/U_* + (1/K_2) \log(Z/\delta)$$

$$Z > \delta, \quad U_t/U_* = U_s/U_* + (1/K_1) \log(Z/\delta)$$

$$\text{ここに} \quad \frac{U_s}{U_*} = \frac{U_*}{U_{*c}} + \frac{1}{K_1} \ln \frac{h_c}{\delta} - \frac{h_c - \delta}{h_c} \frac{1}{K_1} - \frac{\delta}{h_c} \frac{1}{K_2} \quad (h > \delta)$$

$$\frac{U_s}{U_*} = \frac{U_m}{U_*} + \frac{1}{K_2} \left(\ln \frac{h_c}{\delta} - 1 \right) \quad (h < \delta)$$

として決めることができる。図1は砂れき面で流速分布を求めたもので、この図より $\delta, 1/K_2, 1/K_1$ の値を決

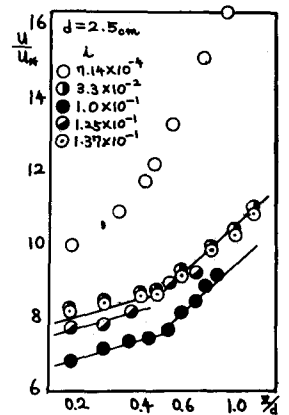


図1. 急こう配の増加に伴う速度係数の増加例

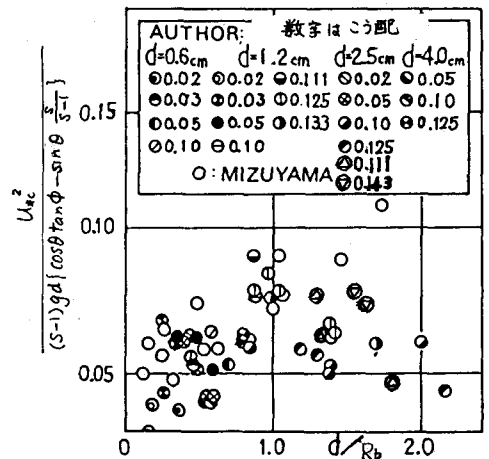


図2 急こう配水路における限界掃流力

めることができる。ただ δ , $1/K_2$ の値は、基面のとり方によって変化し、かつ水深がほぼ粒径と同じであるためちたばりも大きく、普遍的な値を決めていないが、こう配が $1/10$ より急になると流速係数が増加し、限界掃流力が小さくなる原因が流速の増加にあることを示している。

3. 移動しない転石が河床に散在する河床のれきの移動限界

混合粒径でも最大径が移動する場合については一応の予測がつくので、ここでは $U_{*c \text{ dmax}} > U_* > U_{*c \text{ dmin}}$, すなわち全く移動しない転石が散在し、流れがしゃへいされている河床の移動限界について、二次元的模型および自然の状態に近い模型で検討した。

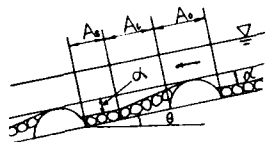


図3 二次元的模型によるしゃへい効果の測定

i) 二次元的模型による考察

しゃへい効果を単純化するため、移動しない石として半径1.75cmの半円柱を10cmおよび7.5cm間隔に並べ、この半円柱の間に砂れきを敷きつめ、この砂れきを面上に、一様砂れき面での限界掃流力 τ_c 以上のせん断力 τ を与えて、半円柱間の砂が洗掘されて、砂が動かなくな。たとその砂面の低下量を測定した。図4に低下量 Δ とせん断力比 τ/τ_c の関係を示す。しゃへい係数を平均的な見方で表わすと、それぞれのくぼみ深さに対して τ_c/τ_0 の値そのものがしゃへい係数になる。

つぎにしゃへい効果の内容について考察する。砂が動かなくな。たとを、水路床全面に作用する平均せん断力 τ_0 は次のように配分される。

$$\tau_0 A = C_0 \frac{P}{2} U_*^2 A_d + \tau_s (A_0 + A_s) + \tau_b (A - A_0 - A_s) \quad (4)$$

ここに、 τ_0 : 平均せん断力、 A_d : 移動しない砂れきによる抗力、 C_0 : 抗力係数、 τ_s : 突起物の後流の渦表面のまわつ、 τ_b : 露出砂面上のまわつ抗力、 A : 単位面積、 A_0 : 突起物の面積、 A_s : 後流の面積である。実験のやり方から、露出砂面上のせん断力 τ_b は、限界掃流力より少し小さいと考えられ、 $\tau_b = K \tau_c$, $K < 1.0$ と仮定することができる。 τ_s は渦表面のまわつで、この値は正確には分らないが、これを乱流境界層のまわつ抗力で代用できると考えると、 $\tau_s = (P/2) C_* U_*^2$ とし、 $C_* = 0.455 / (\log R_e)^{2.58}$ で表されるとする。式(4)より後流の面積 A_s は

$$\frac{A_s}{A} = \frac{\tau_0 - (P/2) C_* U_*^2 (A_d/A) - \tau_b (A_0/A) - \tau_b (1 - A_0/A)}{\tau_s - \tau_b}$$

と表現できる。この後流の領域では砂面上の流れは逆流しており、砂れきをしゃへいされているとみなせる。

$C_0 = 1.0$, $K = 0.5$ を用いて計算した A_s/A の値は図4に示すとおりで、粒径が同じときを、こう配に無関係に、 Δ が与えられると、それに対応して A_s の値が決まる結果を示した。図4は $L = 10 \text{ cm}$ に対するもので、実質の空間6.5cmに対して1.6cm低下すると全面的にしゃへいされていることを示す。

ii) 半球を配置した模型による考察

固定した半球のまわりを移動可能な砂れきをまき、i)と同じ実験を行ったときの結果を図5に示す。河床は一樣に低下し、二次元と本質的な違いは示していない。

- 1) 芦田5: 急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究, 京大防災研究所年報 16号B, B348
- 2) 水山: 山地河川の掃流に関する研究 学位論文 1977

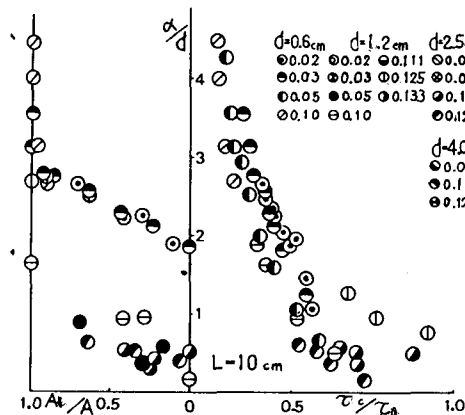


図4 半円柱間の洗掘深さとしゃへい係数およびしゃへい面積比

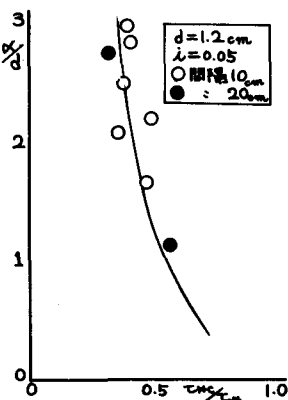


図5 半球間の洗掘深さとしゃへい係数