

1. はしがき 急こう配の河道では、河床の粒径分布が広い上に、普段の出水の掃流力の大きさは、ある代表径の限界掃流力をわずかに上回る程度で、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、動かないれぎが砂面の一部を占めて他の砂れぎ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っ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、すでに水山<sup>1)</sup>によって研究され、移動限界摩擦速度  $U_{xc}$  は、れぎ頂点の流速  $U_t$  とし、  $U_t = C U_{xc}$  (1) とすると、

$$\frac{U_{xc}^2}{(s-1)gd(\cos\theta \cdot \tan\phi - \sin\theta \cdot \frac{s}{s-1})} = \frac{1}{C_0} \frac{2K_3}{K_1 + (C_L/C_D) \cdot K_2 \tan\phi} \frac{1}{C^2} \quad (2)$$

ここに、 $U_{xc}$  : 限界掃流力、 $d$  : 粒径、 $s$  : れぎと水の密度比、 $g$  : 重力加速度、 $C_D$ 、 $C_L$  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った。式(2)の左辺と相対水深  $d/R_b$  ( $R_b$ : 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<sup>1)</sup>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っていることである。式(3)は、左右両面が  $d/h$  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。急こう配が急な所で、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、 $C_D$ 、 $C_L$  の値は、 $d/R_b$  の小さい領域と同じとすると、れぎ頂部に作用する流速の流速係数が大きくなることを意味する。

砂面上の流速は、底面付近で流速が一様化を示すので、底面付近と上層との二つの領域に分けて表わすのが常である。著者も流速分布を測定して、流速分布の係数を決めているが、まだ普遍的に使える値を決めるまでに至っていないが、図1に示すように、急こう配が  $1/10$  を越えると、流速係数が大きくなることは示されている。

3. 移動しない転石が河床に散在する河床のれぎの移動限界

混合粒径でも最大径が移動する場合については一応の

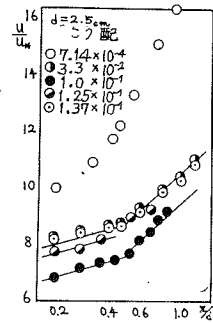


図1. 急こう配の増加に伴う速度係数の増加例

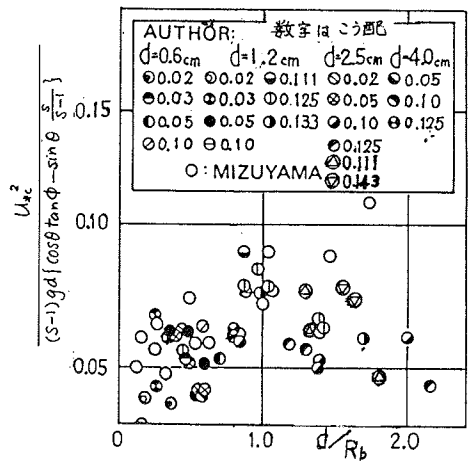


図2 急こう配水路における限界掃流力

予測がつくので、ここでは  $u_{*cdmax} > u_{*c} > u_{*cdmin}$  , 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。

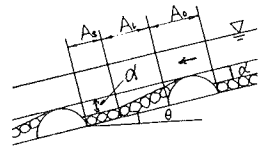


図3 二次元模型によるしゃへい効果の測定

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、この砂れき表面上に、一様砂れき面での限界掃流力  $\tau_c$  以上のせん断力  $\tau_0$  を与えて、半円柱間の砂が洗掘されて、砂が動かなくなつた時の砂面の低下量を測定した。図4に低下量  $\Delta h$  とせん断力比  $\tau_0/\tau_c$  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  $\tau_0/\tau_c$  の値そのものがしゃへい係数になる。

次に、しゃへい効果の内容について考察する。砂が動かなくなつたとき、水路床全面に作用する平均せん断力  $\tau_0$  は次のように配分される。

$$\tau_0 A = C_D \frac{\rho}{2} U^2 A d + \tau_r (A_0 + A_e) + \tau_s (A - A_0 - A_e) \quad (3)$$

ここに、 $\tau_0$  : 平均せん断力,  $A_d$  : 移動しない砂れきによる抗力,  $C_D$  : 抗力係数,  $\tau_r$  : 突起物の後流の渦表面のまそつ,  $\tau_s$  : 露出砂面上のまそつ抗力,  $A$  : 単位面積,  $A_0$  : 突起物の面積,  $A_e$  : 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  $\tau_s$  は、限界掃流力より少し小さいと考えられ、 $\tau_s = K \tau_c$ ,  $K < 1.0$  と書くことができる。 $\tau_r$  は渦表面のまそつで、この値は正確には分らないが、これを乱流境界層のまそつ抗力で代用できると考えると、 $\tau_r = (\rho/2) C_* U^2$  とし、 $C_* = 0.55 / (\log Re)^{2.58}$  で表されるとする。式(4)より後流の面積  $A_e$  は、

$$\frac{A_e}{A} = \frac{\tau_0 - (1/2) \rho C_D U^2 (A_d/A) - \tau_r (A_0/A) - \tau_s (1 - A_0/A)}{\tau_r - \tau_s}$$

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、砂れきはしゃへいされているとみなせる。 $C_D = 1.0$ ,  $K = 0.5$  を用いて計算した  $A_e/A$  の値は図4に示す通りで、粒径が同じときは、この配に無関係に  $\Delta h$  が与えられると、それに対応して  $A_e$  の値が決まる結果を示した。図4は  $L = 10$  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に移動可能な砂れきを置き、i) と同じ実験を行なつた時の結果を図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) 木山：山地河川の掃流砂に関する研究 学位論文 1977

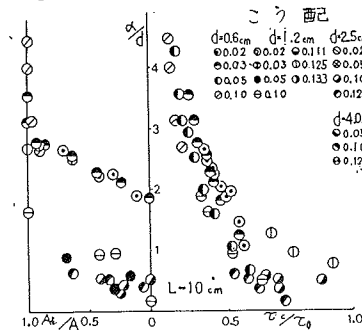


図4 半円柱間の洗掘深さとしゃへい係数およびしゃへい面積比

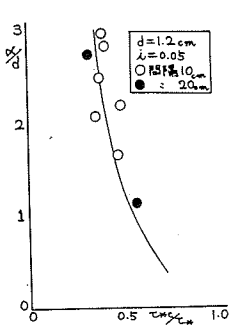


図5 半球間の洗掘深さとしゃへい係数