

急こう配河道の掃流砂量
Bed Load of Sediment in Steep Channel

立命館大学理工学部 大 同 淳 之

1. はしがき

急こう配河道では、粒径の範囲が大きいうえに、掃流力 τ_0 の大きさが限界掃流力 τ_c にくらべて比較的小さく、かつ、それぞれの粒径に対する τ_c の範囲が広いため、1), $\tau_0 > \tau_{cdmax}$, 2) $\tau_{cdmax} > \tau_0 > \tau_{cdmin}$ の状態で流砂現象がある。

1) の領域で、もし表面を被覆している砂れきが移動すると下層の砂れきが大量に移動することが予想されるが、この領域については一応の予測が立てられる。2) の領域では、動かない石の影響を受けて流砂現象は複雑になる。この領域での流砂現象を明らかにするためには、動かない石が、限界掃流力および流砂量に及ぼす影響を明らかにする必要がある。もともと、 τ_0 が τ_c に比してそれほど大きくないときは、河床および流れの不規則性が流砂現象に顕著に影響して、現象にちらばりが大きく、統一的关系が得にくい範囲である。著者はさきに、河床に動かない石が散在する場合の限界掃流力および掃流砂量をモデル化した水路で実験を行ない成果を得たが、本文はこれに考察を加えると共に、三次元モデルについて同じような考察を行なった結果について述べる。

2. 急こう配水路における限界掃流力

2.1. 一様粒径の限界掃流力

急こう配水路における限界掃流力は、すでに芦田らによって、移動限界流速 u_c は次のようになる。

$$u_c^2 = \frac{2gk_3d^3\{(s-1)\cos\theta \cdot \tan\phi - \frac{s}{s-1}\sin\theta\}}{c_kk_2 + c_Lk_2} \tag{1}$$

流速 u_c を、 $u_c = fu_*$ (2)

とすると、

$$\frac{u_c^2}{(s-1)gd(\cos\theta \cdot \tan\phi - \sin\frac{s}{s-1}\theta)} = \frac{1}{c_D} \frac{2k_3}{k_2 + (c_L/c_D)k_2 \tan\phi} \frac{1}{f^2} \tag{3}$$

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_D , c_L はそれぞれ抗力および揚力係数である。 k_2 および k_3 は粒子の形状係数である。

水深が河床の粒径程度またはそれ以下で、こう配が急な河道での流速は、従来から指摘されているように底面付近で対数則よりはなれて深さ方向にほぼ一様化の傾向をもつ。すなわち、

$0 < z < \delta$ に対して、
$$\frac{u}{u_*} = A + B \ln \frac{z}{\delta} \tag{4}$$

$\delta < z$ に対して
$$\frac{u}{u_*} = A + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{\delta} \tag{5}$$

である。 A , B および δ についてはまだ一般的な関係は見出されていないが、本文では、図 2.3 に示すように、 $\kappa = 0.4$, $\delta = 0.5d$, $B = 1.39$ とする。理論的河床面はれき頂面より $0.15d$ 下とすると、れきの表面では、

$$f = \frac{u_d}{u_*} = \frac{u_\delta}{u_*} + B \ln \frac{0.15d}{\delta} \tag{6}$$

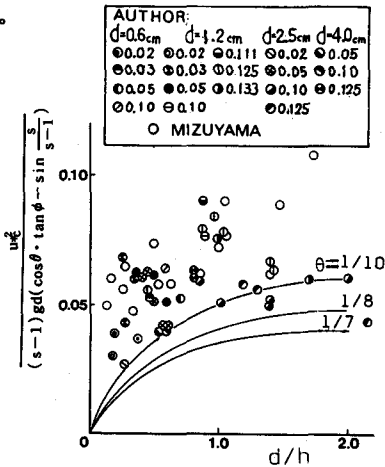


図 1. 限界掃流力

一方、平均流速は、

$$\frac{u_m}{u_*} = \frac{u_\delta}{u_*} + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{\delta} - \frac{h-\delta}{h} \frac{1}{\kappa} - \frac{\delta}{h} B \quad (7)$$

であるから、まさつ係数より u_δ/u_* を求め、式(6)に代入すると、

$$f^2 = \left\{ \frac{u_m}{u_*} + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{\delta} - \left(1 - \frac{\delta}{h}\right) \frac{1}{\kappa} - \frac{\delta}{h} B + B \ln 0.15 \right\}^2 \quad (8)$$

となる。

限界掃流力はしたがって、式(3)の右边を d/h の関数として図上に表示し、右边に式(8)を代入して、やはり d/h の関数として表示したとき、両者の関数の交点に表示される。その結果、限界掃流力が d/h の増加に伴って大きくなることはすでに芦田らによって指摘されているが、こう配が0.1を越えると、図2に示されるように、こう配の増加に従って、抵抗係数が減じている。これは、こう配が急で水深が小さいときは転波列状に流れがれきの表面に沿って曲流しながら流れるため、抵抗が減ずるものと考えられる。参考までに式(3)の右辺のみの関係を示すが、こう配が小さいときは、 d/h が大きいところで、限界掃流力の無次元表示が再び低下するのは、まさつの抵抗が減少するためと考えられる。測定値は散らばりが大きい、式(3)の右辺の曲線のまわりに示される。

2-2 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
この領域で問題になるのは、移動しない転石によるしゃへい効果の評価である。二次元、三次元および自然状態に近い模型で考察する。

a) 二次元模型 (図4)

しゃへい効果を単純化するため、移動しないれきとして半径1.75cmの半円柱を10cm、7.5cmおよび5.5cm間隔に並べ、この円柱間にれきを敷きつめ、一様砂れきの限界掃流力 τ_{0c} 以上のせん断力 τ_b を与えてれきが洗堀されて、移動しなくなったときのれき面の低下量 α を測定した。測定された α と τ_{0c}/τ_b の関係を図5に示す。

この河床が低下して凹み状になった場所におかれたれきの移動限界について考察する。対象とするれきが図6に示すように、不動のれきによって支えられているとし、作用する力に、重力、浮力、抗力および図中のB点に作用する隣接するれきのまさつを考えると、A点まわりのモーメントは、次のようになる。

$$\begin{aligned} & \xi c_D u_c^2 \frac{\rho}{2} k_2 d^2 \frac{d}{2} - (\sigma - \rho) g \cos \theta \cdot k_3 d^3 \frac{d}{2} \\ & - (\sigma - \rho) g k_3 d^3 \sin \theta \cdot \beta \cdot \mu \cdot d = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、 ξ : 均一粒径のれきが配列しているときのしゃへい係数、

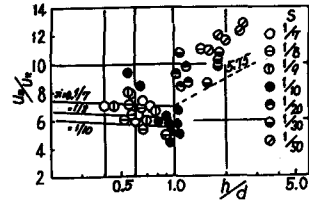


図2. 測定範囲における抵抗則

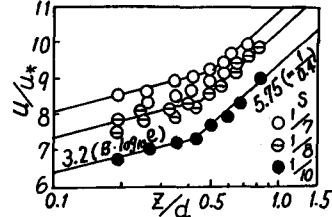


図3. 流速分布の一例

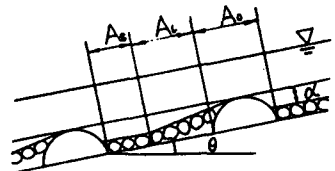


図4. 二次元模型によるしゃへい効果の測定

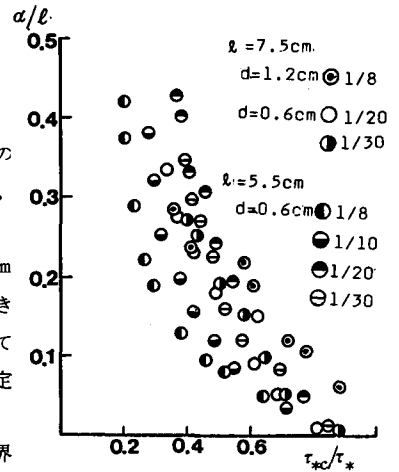


図5. α/l と τ_{0c}/τ_0 の関係

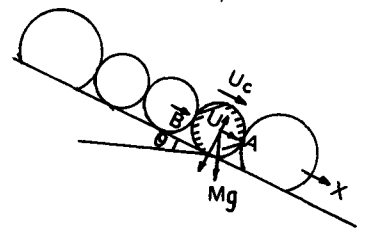


図6. 動かない石で支えられたれきのモデル

k_2, k_3 はそれぞれれきの面積および体積係数, β : B 点に作用する力に関係するれきの数, μ : 隣接するれきによるまさつ係数, d : 粒径である。式(9)を整理すると,

$$u_{*c}^2 = \frac{2}{\xi_{cD}} \frac{k_3}{k_2} (s-1) g d (\cos \theta + 2 \sin \theta \cdot \beta \cdot \mu) \quad (10)$$

動かないれきの後の洗堀されて凹んだ点にあるれきの上に作用する流速は, こう配が同じでも水深によって流れの様相が異なり, 複雑である。例えば図 7. に示すようにこう配が $1/8$ で $h/k < 0.6$ では, 流れはれきに沿って流れるため, 背後でも流れが強いが, $h/d > 0.6$ では, 流線が河床と平行になり, 背後ではくりが大きくなる。これら流速を統一的に表現することは難しいので, ここでは, 動かない石の頂部の流速 u_0 で, u_c を表わすことにし,

$$u_c = \Gamma u_0 \quad (11)$$

ここに, u_0 : 動かないれき頂部の流速, Γ : 係数とする。 u_0 については, 一応, 対数則が成立するとすると, $z = k$ より

$$u_0 = u_* (A_* + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{k}) \approx u_* A_* \quad (12)$$

となる。したがって, 式(10)は, つぎのように表せる。

$$u_{*c}^2 = \frac{\zeta}{\Gamma^2 A_*^2 \xi_{cD}} \frac{2}{k_2} \frac{k_3}{k_2} (s-1) g d (\cos \theta + 2 \sin \theta \beta \cdot \mu) \quad (13)$$

ここには係数である。流速係数 Γ または ΓA_* はこう配およびくぼみ深さ比 α/ℓ の関数であろう。この関数をいままぐ決定することは難しいので, くぼみ内のれきが動かなくなったときに測定された掃流力 u_* を u_{*c} とみなし, 実験によって関係を求めよう。式(13)において, ξ は岩垣の実験値⁴⁾を用いて 0.4, $\mu (= \tan \phi) = 1.0$, $k_2 = \pi/4$, $k_3 = \pi/6$, $C_D = 1.0$, $\beta = 1$, として Γ^2 あるいは $\Gamma^2 A_*^2$ を求めた。例えば $\Gamma^2 A_*^2$ については, 図 8. に示すように

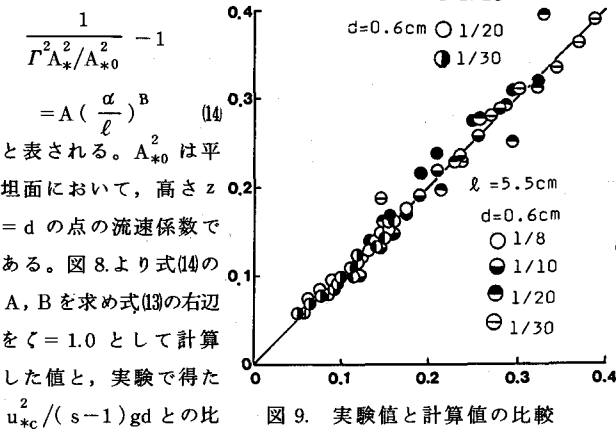


図 9. 実験値と計算値の比較

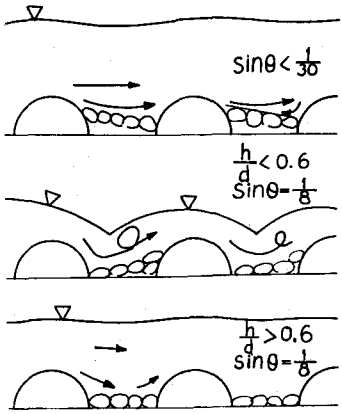


図 7. れきの後流の模式図

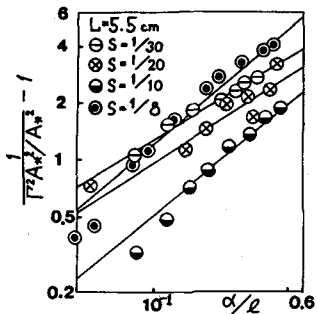


図 8. くぼみ内のれきが動かなくなる深さ α

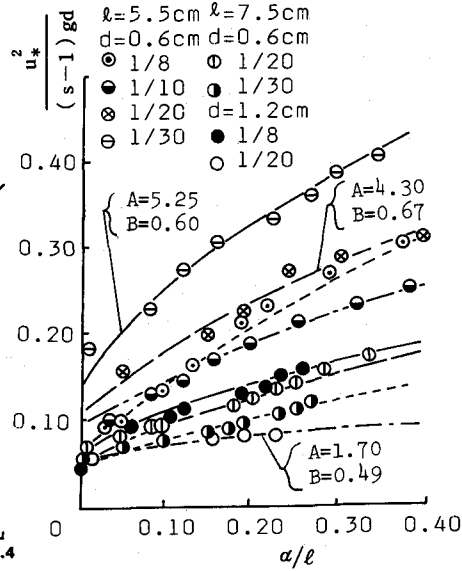


図 10. くぼみ内にあるれきの限界掃流力

較を図 9. に示す。両者はほぼ 45° の直線状にあることから係数 k は 1.0 として良いことを示す。さきに定めた ξ, μ, k_2, k_3, c_D および β の値の見積り誤差は、いまの場合、 $\Gamma^2 A_*^2$ に含まれたものと考えられるが、 ξ 等に本文と同じ値を使うかぎり流速係数 $\Gamma^2 A_*^2$ を表わす式(14)は一般性をもち、また、式(15)のモデルも妥当であるといえる。

このようにして求めた式(13)を変形して、平坦面におかれたれきの限界掃流力 τ_{0c} とくぼんだ砂面に作用する掃流力 τ_{bc} と相対くぼみ深さ a/d の関係を求めた結果が、図 10. の曲線である。

b) 三次元模型による考察

半径 7.5cm の半球を流れと直角方向に接して並べ、流れの方向に $\ell = 10.0\text{cm}$ および 7.5cm 間隔に配置し、その間にれきを半球の頂部と同じ高さまでれきを敷き、a) の半円柱棧と同様な実験を行なった。測定されたくぼみ深さ比 a/ℓ を用いて式(14)と同型の式を求め、測定値との比較を行なった。

半球の場合、流れと直角方向に接して配置したとはいえ、河床の低下とともに半球は孤立して突起し、配列が規則正しいとはいえ、不動のれきがれき面上に孤立している状態である。二次元の場合と同様に、くぼみ内のれきの移動限界が式(14)によって表された。

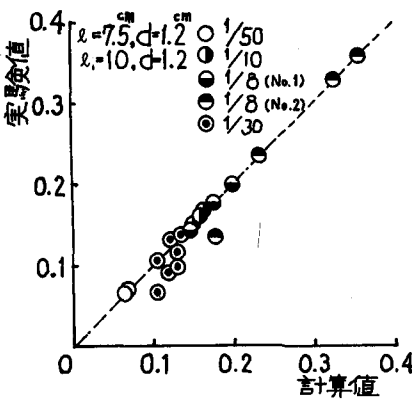


図 11. 実験値と計算値との比較

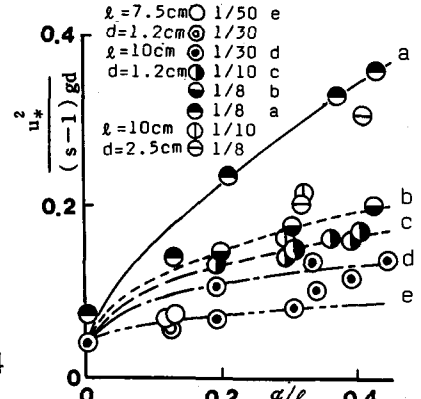


図 12. くぼみ内にあるれきの限界掃流力

3. 急こう配河道における流砂量

3-1. 一樣粒径の流砂量

流砂量 q_B を次式によって表わす。

$$q_B = \text{れきの平均移動速度 } \bar{v}_s \times \text{移動層厚 } \delta_s \quad (15)$$

1) れきの移動速度 $\bar{v}_s$ 、水路の 1 点におかれた色付けしたれきの単位時間あたりの平均移動距離より、粒子の見掛けの移動速度 v'_s を求め、この v'_s が

$$v'_s = \frac{1 \text{ ステップ長さ} \times \text{ステップの数}}{(1 \text{ ステップの移動時間} + \text{休息時間}) \times \text{ステップ数}} \quad (16)$$

であることから、平均休止時間は単位時間当りの離脱確率 λ_2 を用いて $1/\lambda_2$ で表わすと、より正確な平均移動速度 $\bar{v}_s$ が

$$\bar{v}_s = v'_s \{ 1 - (v'_s / \ell \lambda_2) \}^{-1} \quad (17)$$

となる。1 ステップにおける移動距離は、急こう配で、 τ_0 が τ_c に近い領域では、ちらばりが大きい、測定値を参考にして、 $\ell = 100d$ として得られた $\bar{v}_s$ を表示すると、図 13. のようになり、これを式化すると、

$$\frac{\bar{v}_s}{\sqrt{(s-1)gd}} = 20 \left\{ \frac{u_*^2}{(s-1)gd} \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*} \right) \right\}^3 \quad (18)$$

と表される。

ii) れきの移動層厚さ δ_s 、本実験の範囲では、 τ_0 と砂層内の抵抗との定常的な釣り合い条件から、 δ_s が粒径 1 箇分を超えることはない、 δ_s と次式で表わす。k は係数で、 $k < 1.0$ と予想される。

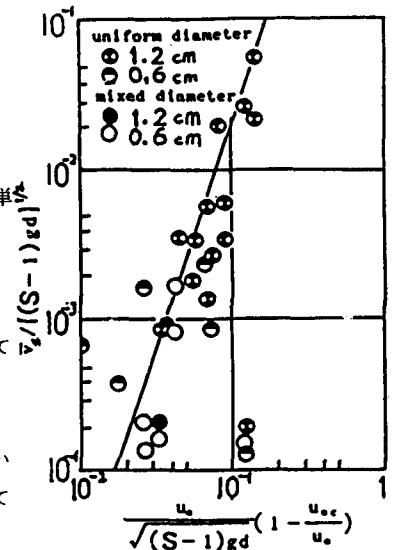


図 13. 砂れきの平均移動速度

$$\delta_s = k_1 d$$

(19)

iii) 流砂量式

式(18), (19)を式(15)に代入すると,

$$\frac{q_B}{\sqrt{(s-1)gd^3}} = A_2 \tau_*^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^{\frac{3}{2}}, \quad (20)$$

と表わすことができる。実験値をステップ長が未測定のものも含めて、 τ_{*c} は、2によるものを用いて表わすと、図14に示すように、指数は3/2より少し大きいとみることできる。本文は、ひとまず指数は3/2とし、 $\tau_* (1 - \tau_{*c}/\tau_*)^{\frac{3}{2}}$ が0.1付近で指数が少し急になるところから領域を2つに分け、それぞれの領域について常数 A_2 を定めると、流砂量 q_B の無次元表示 $q_B^* (= q_B / \sqrt{(s-1)gd^3})$ は、

$$0.1 < \tau_*^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^{\frac{3}{2}} \text{ について}$$

$$q_B^* = 12 \tau_*^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (21)$$

$$\tau_*^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^{\frac{3}{2}} < 0.1 \text{ について,}$$

$$q_B^* = 3.7 \tau_*^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (22)$$

と表わすことにする。式(21)は林の式と一致する。式(22)の $A_2 = 3.7$ では、 $k_1 = 0.185$ となり、式(20)の仮定と一致する。

式(22)を、他の文献のデータとの比較を図15に示す。W. E. S⁷⁾のデータは河床形態が plain bed の表示のあるもののみを記した。このデータは、水深が粒径に比して大きく、こう配は小さいが式(22)と、ほぼ、同じ傾向を示す。Meyer-peter⁸⁾の文献に記されているデータは、河床形態の表示がないため、全てのデータを記したが、これは、必ずしも一致せず、全体を通してみると、指数は、もう少し大きくなる必要がある。

他の文献のデータと比較して、式(22)は、河床形態が平坦で、かつ、 $\tau_0 \approx \tau_c$ で、流砂現象が、それほど活発でない領域に適用されるものと解釈される。

したがって、流砂量は、一応、流れの強度を図15の横軸で表現しているものの、十分に表現されておらず、横軸が同じ座標上でも、例えば、れきの大きさを表わす沈降速度 w_0 と流れの強さを摩擦速度 u_* との比 u_*/w_0 のようなパラメータによって、 A_1 の値が変わることを示唆しているといえる。これについては、今後検討することにし、以下の河道に動かないれきがある場合の流砂量の考察にあたっては、式(22)

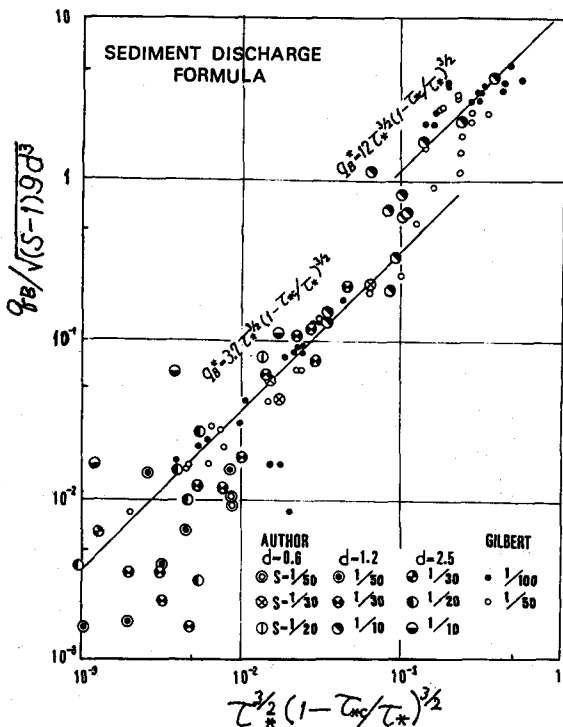


図14. 流砂量の無次元表示

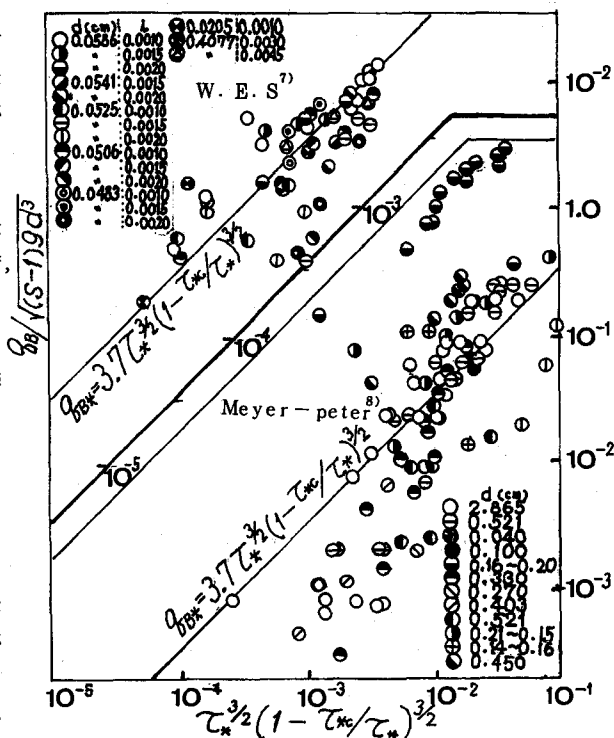


図15. 他の研究者のデータとの比較

によって考察を進める。

3-2. 河床に動かないれきがある場合の流砂量

a) 二次元模型の場合

i) シャヘい係数および相当シャヘい面積比

シャヘい係数を平均的な見方で表わすと、それぞれのくぼみ α に対して、図 3. の τ_0/τ_c の値が見掛けのシャヘい係数になる。

表面から突起したれきのシャヘい効果の内容を次に考察する。シャヘい効果を、単位面積中のれきの移動しうる面積比であるととし、幾何学的に移動しうるれきが占める面積比 λ と、その λ から生じうる流砂の計算値と流砂の測定値との比 η とを比較すると、図 16 に示すように幾何学的面積比に比して流砂量比はかなり小さく、移動しうる面積は、れきの露出面積よりかなり小さいと予測される。

砂面が突起したれきの頂点より α だけ低下して砂が動かなくなったとき、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。

$$\tau_0 A = c_D (\rho/2) u^2 A_d + \tau_r (A_0 + A_\ell) + \tau_s (A - A_0 - A_\ell) \quad (26)$$

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として作用する面積、 C_D : 抗力係数、 τ_r : 突起物の後流表面のまさつ応力、 τ_s : 露出砂面上のまさつ抗力、 A : 単位面積、 A_0 : 突起物面積、後流面積である。実験のやり方から、実験のデータ測定時では、 $\tau_s = k \tau_c$ 、 $k < 1.0$ と考えることができる。

τ_r は、乱流境界層の摩擦抗力で代用すると、 $\tau_r = (\frac{\rho}{2}) C_* u^2$ 、 $C_* = 0.455 / (\log R_0)^{2.58}$ で表されるとすると、
$$\frac{A_\ell}{A} = \frac{\tau_0 - (1/2) \rho c_D u^2 (A_d/A) - \tau_r (A_0/A) - \tau_s (1 - A_0/A)}{\tau_r - \tau_s} \quad (24)$$

と表現される。この後流の領域では、砂面上の流れは逆流しており、れきはシャヘいされているとみなせる。棧の抗力係数 c_D を、 $c_D = 1.0$ 、 $\kappa = 0.9$ を用いて、 $\ell = 10 \text{ cm}$ について計算した結果は図 17 に示す通りである。例えば図 17 の点線で示したように平坦面に置かれたれきの限界掃流力 τ_{0c} 以上のせん断力 τ_0 が与えられたとき、式(23)を変形した式

$$\tau_{0c} = \frac{\tau_{0c}}{\tau_b} \left\{ A \cdot (\alpha/d)^B \cdot (d/\ell)^{B+1} \right\} \frac{2}{\epsilon_{cn}} \frac{k_3}{k_2} \rho (s-1) g d \quad (25)$$

によって α/d から求められ、その値を水平に移動して計算した α/d と A_ℓ/A の関係との交点を下がると、 A_ℓ/A がよみとれることになる。

ii) 動かないれきで一部シャヘいされている砂面からの流砂量

さきの解析より移動しうるれきで覆われた面のうち A_ℓ/A の部分については、れきの移動はない、すなわち、 $A - (A_0 + A_\ell)$ の部分のみ流砂量が生じると考える。さきの限界掃流量の実験で、れき面が不動のれきの頂面より α だけ低下して、れきの移動がなくなった状態の掃流力より、少し掃流力を増加して、このときの流砂量を測定した。一方、式(24)を用いて、 $A - (A_0 + A_\ell)$ の面積のみより流砂量があったとして計算し、さきの測定値との比較を図 18. に示す。ほぼオーダーがあっていることから、このような取扱い

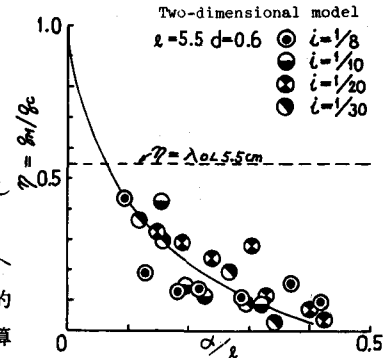


図 16. 流砂量の測定値からみたシャヘい係数

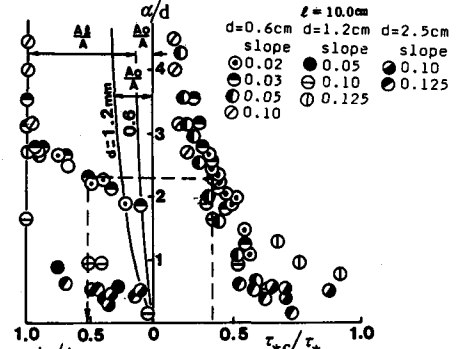


図 17. シャヘい面積の算定結果

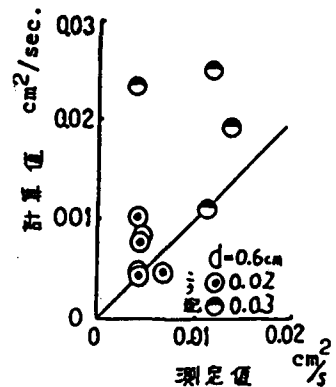


図 18. 流砂量の計算値と測定値の比較

が妥当であることを示す。

b) 3次元模型の場合

1) シャへい係数および相当シャへい面積比

2次元模型と同じように、平坦な河床面での限界掃流力 τ_{0c} より大きいせん断力 τ_d を与えて、動かない半球の頂部よりの低下量 α を測定し、 α/ℓ と τ_{0c}/τ_d の関係を求めると、その1例は図(b)のようになる。平均的な見掛けのシャへい係数は、この図によって表される。図13に示した式(3)を変形して、 α/d と τ_{0c}/τ_b の関係を求めると、

$$\frac{\tau_{0c}}{\tau_b} = \frac{\tau_{0c}}{\tau_b} \frac{A_{*0}^2}{\xi_{CD} k_2} \frac{1}{\{A(\alpha/d)^B (d/\ell)^{B+1}\} \rho(s-1)gd} \quad (26)$$

と表される。

シャへい効果の実態を知るために、測定された流砂量 q_B とれきの露出面積比を用いて式(26)を用いて計算した値 q_c との比は、図19のとおりであって、この比がシャへい面積比を示すものと考えてよい。

この面積のモデル化のため、式(24)を適用し、半球の c_D を0.5、半球の抗力に寄与する流速は半球頂面の流速と、 α だけ下った点の流速を0としてその算術平均を用いて求めた A_ℓ/A の値は、図20のとおりである。ただこのような計算手法は、実験の場合には局所の流速等に測定値を用いることができる等の理由で一応可能であるが、実際には正確な値をうることが難しく、したがって A_ℓ の値の算定は困難であるから、上に述べた、見掛けのシャへい係数の一般化が必要であろう。

ii) 一部シャへいされている砂面からの流砂量

$A-(A_0+A_\ell)$ の面より発生したと考えて流砂量を式(22)より計算し、実測値と比較した結果を図21に示す。実験の対象としている水量は、限界掃流力を少し上廻った掃流力の範囲のため、ごくわずかの水量の増減で、流砂量が大きく変動し、以上述べた取扱い法が妥当であるかを示すには、データも少なく十分ではないが、ほぼオーダは合っているとみることができよう。

4. 混合砂れき面での取扱い

3.で述べた方法によって、動かないれきのシャへい効果を導入するためには、河床面に占めるれきの面積分布および突起高さを知る必要がある。

4-1. 実測による方法

河床面のれきの占有面積および突起高さを知るためには、実測または写真を用いた測定がある。しかし一般には極めてはな雑で、したがって精度を上げることも難しい。篩分けによる方法は Armour Coat または細砂の被覆のため、表層と層内とでは粒径分布が異なるため、必ずしも正しくない。

4-2. 測線におけるれきの弦長の分布からの推定

現地で容易に精度良く測定できるものとして、縦断方向に測線をひき、測線がれきを切る弦長の分布より

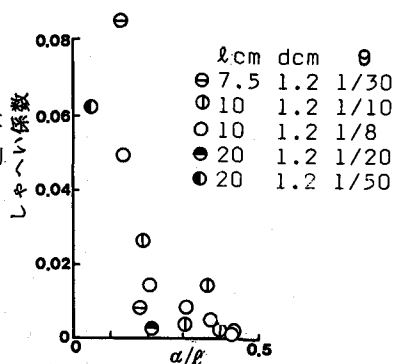


図19. 流砂量からみたシャへい係数 (3次元模型)

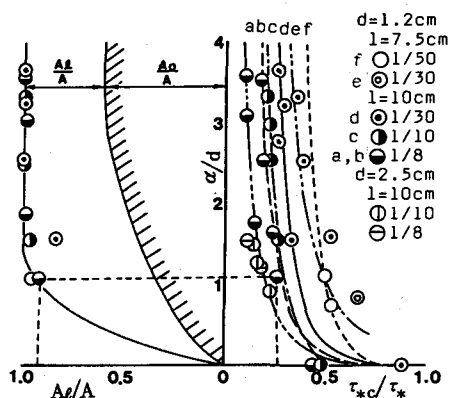


図20. シャへい面積の算定結果

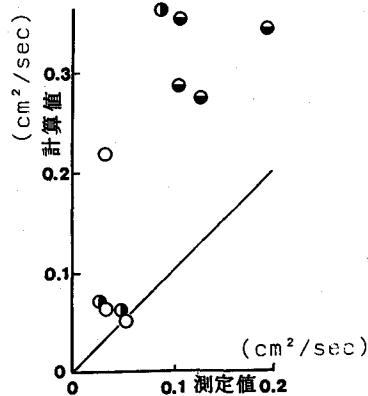


図21. 流砂量の測定値と計算値の比較

河床面に存在するれきの粒径分布、突起高さの分布および特定の
高さの平均間隔を求めんと試みた。

水路にはば連続した粒径分布で、 $d_{\max}=10\text{ cm}$ 、 $d_{\text{mean}}=7\text{ mm}$ 、
の対数正規分布する混合砂をしき、通水して、適当に Armour Coat
を形成させ、水路床中心部の縦断測量の結果を図 22 に示す。突
起の最高部を結んだ線よりの凹凸を距離 1 cm 毎に測定すると、
平均高さ 1.05 cm、標準偏差 0.6 cm を示している。測線に沿って、
測線を切るれきの弦長の分布を求め、Penel の方法で、露出面
のれきの面積分布および、突起高さの分布を求めた結果は図
23、24 のとおりである。特定の突起高さを取りあげると、突
起高さより大きいれきの存在確率は、単位面積中のれきの箇数
がきまり、箇数から平均距離がきまる。

このようにして求めたれき面の特性値に、2次元または3次元模
型で得られたしゃへい効果を導入すると、流砂に寄与する面積をき
めることができる。本実験では連続した粒径分布を用いたため、特
定の突起高さ、しゃへい面積をきめることが難しかったので、流砂
量との比較は、示していない。2つの粒径からなる河床面を設
けて以上の方法の妥当性、問題点を改めて提起する予定である。

5. むすび

1) 急こう配河道の一樣粒径の限界掃流力は、 d/h とこう配の関数で、一般に d/h が大きくなるにしたが
って、無次元限界掃流力は増加するが、こう配が大きくなると限界掃流力が減少することを示した。

2) 砂防区域では、一般に極端に粒径分布が広くかつ巨れきと細砂からなる 2 峰性分布が多いことにか
がみ、巨れきが散在する間にある砂れきの移動限界掃流力が巨れきの間隔 l と巨れきの天端から砂面への低
下量 α との比 α/l と砂面上のれきの限界掃流力との関係を求め、式 (25) のように表わした。

3) 急こう配河道の流砂量 q_B をれきの速度 v_s × れきの移動厚さ δ_s の関係で表わし、 v_s はみかけの移動に
休息時間の補正を加えて、真の速度に近ずけることを試み、 δ_s は力学的考察より一粒径に比例すると
して、流砂量式を求め、流砂量が $\tau_{*c}^{\frac{3}{2}} (1 - \tau_{*c}/\tau_*)^{\frac{3}{2}}$ に比例することを示した。そして常数が τ_{*c} に対するせん断力 τ_b
の大きさの関数であることを示した。

4) 2) で用いたモデル河道に作用するせん断力の釣合いから、動かないれきのしゃへい効果を面積比で表
わし、流砂量に有効な砂れき面積比を求め、実験値との比較を行なった。

5) 以上の考え方を実際の河道に適用するためには、河道における各粒径のれきの占有面積および突起高
の分布を知る必要がある。面積での実測は困難であるから、測線上のれきの占める弦長の分布から各砂れき
の占める面積分布を求める方法を用いることが出来ることを提案した。

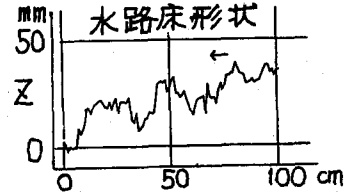


図 22. 実験した水路床の縦断形

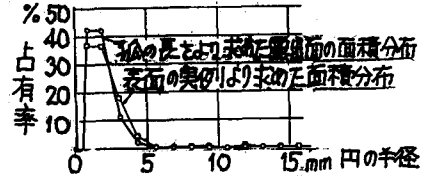


図 23. 露出面の粒子の面積分布

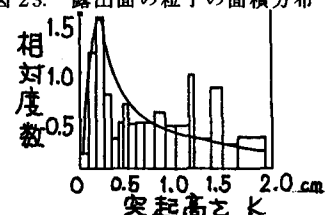


図 24. 各突起高さの面積上の占有率

1) 小林, 大同; 急こう配水路における流砂量と移動しないれきが流砂量に及ぼす影響, 第 38 回年講, 昭 58.9

2) 大同; 急こう配水路の限界掃流力と移動しないれきが限界掃流力に及ぼす影響, 第 38 回年講, 昭 58.9

3) 芦田, 高橋, 大同, 水山; 急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究, 京大防災研年報 16, 昭 48.

4) 岩垣; 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 41 号, 1956

5) Gilbert: The Transportation of Debris By Running Water, U. S. G. S., prof. paper 86, 1914

6) 林, 尾崎; 混合砂礫の掃流砂量に関する研究; 第 24 回水理講演会論文集, 1980

7) W. E. S.; Studies of River Bed Materials and Their Movement, U. S. Waterways 17. 1935

8) Meyer Peter; Formulas for Bed load transport, Proc., 2nd Congr., IAHR, 1948.

9) 諏訪; 定量形態学, p200, 岩波, 1977.