

1. はしがき 山地河川では、砂礫の粒径の2~3倍程度の水深で砂礫が流れる。実験で力学的相似を満たすためには、砂礫が河床に接して動くときの基礎式から $(ga/u_*^2)_r = (d/h)_r = 1$ 、また流れの相似には $(h/d)_r = 1$ を満たす必要がある。従来の流砂量式の係数は、 h/d の大きいところで決められているので、 h/d の小さいところに適用するのは問題があると考え、 h/d の小さい領域で流砂量を測定した。

2. 流砂量の測定結果に対する考察

2.1 実験範囲 砂の粒径および水理条件の範囲を Table 1 Table 1 実験の範囲

d_m cm	l	h/d	τ_*
1.35	0.050~0.045	2.15~2.67	0.065~0.078
0.85	0.050~0.022	2.02~6.59	0.052~0.123
0.60	0.041~0.032	3.50~5.42	0.083~0.129

示す。砂礫の移動は集団トシ法で測定した。資料の整理において限界掃流力は急勾配で h/d の効果を取り入れた芦田ら¹⁾の方法で、河床面はとりあえず砂の頭部から $(1/4)d$ 下げ、河床波は生じていないとみなせたので、砂礫に作用する力は全掃流力から河床摩擦分としての限界掃流力を引いたものとした。

2.2 Pickup rate および step length に表れる h/d の影響 pickup rate および step length の測定値を Fig. 1、2 に示す。既往の値との比較から、step length については、 h/d の大きい領域とかわらず、 $100d$ 程度とみなされるが、pickup rate は h/d が小さくなると減少することを示す。結果として、Fig. 3 に示すよう $h/d > 10$ 程度では、流砂量は従来の公式と一致するが、 $h/d < 10$ では、 h/d の減少に伴って、流砂量は減少する。流砂量は摩擦抵抗の関数であるから、その減少を説明するためには、抵抗則の変化を流砂量式に入れる

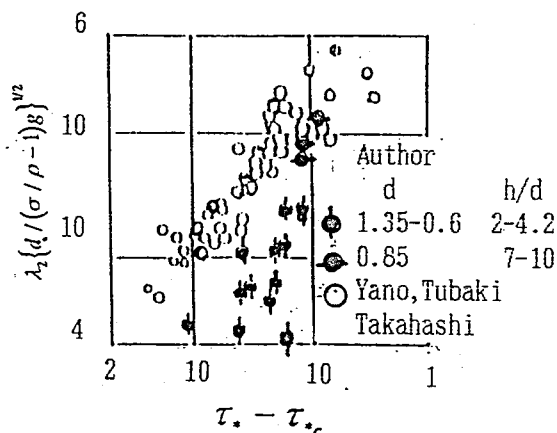


Fig. 1 pickup rate の比較

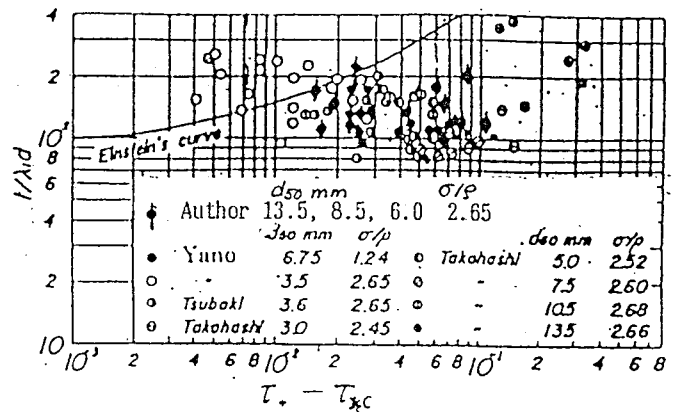


Fig. 2 step length の比較

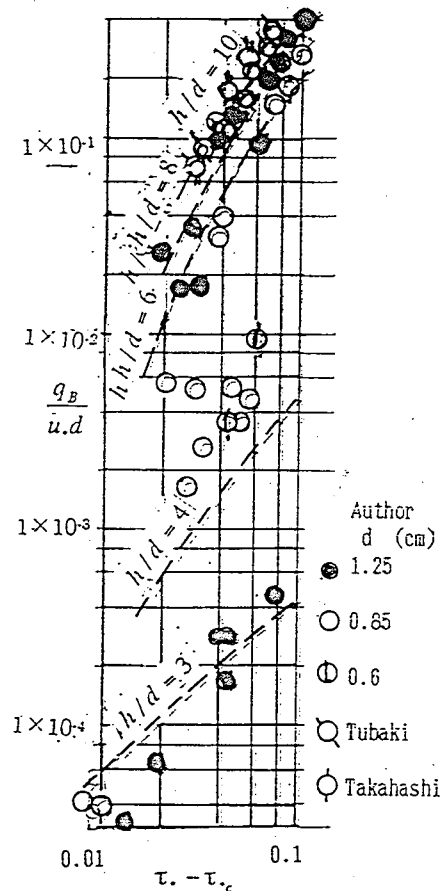


Fig. 3 h/d による流砂量の比較

れる必要がある。

3 相対水深の減少に伴う砂礫面の流速の変化

3.1 相対水深が小さい場の流速分布

Pickup rate の減少は流速の減少によるので、 $d = 1.25$ cm の砂の固定床で流速を測定した結果を Fig. 4 に示す。相対水深の大きさにかかわらず、従来から言われているように、底面近くの roughness sublayer

で流速が一様になる領域がある。ただ相対水深が大きいときは、その上部に、 $\kappa = 0.4$ の shear flow の層が直結するが、相対水深が小さいときは、roughness sublayer の上で、 κ が小さい層が生じ、 $\kappa = 0.4$ となる層が観測されない場合が多い。これは、roughness sublayer と surface shear flow のあいだに buffer 層が存在すると考えることができ、 h/d が大きい、質量力が大きい流れでは、buffer 層がうすくなり、場合によっては消失していると考えられる。この roughness sublayer と buffer layer のみからなる流れでも、平均流速は対数分布則であらわせるが、 κ の値は見かけ上、流速分布とは異なる値を示す。Fig.4 の形で砂礫に作用する流速を表すと、上、下層の κ の値と境界の位置および砂礫面の境界条件を定める必要があり面倒である。

3. 2 Roughness sublayer 内の流速分布

Roughness sublayer 内では、粗度要素による剥離

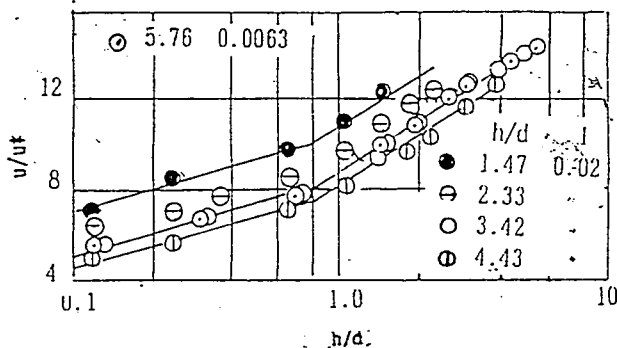


Fig. 4 流速分布

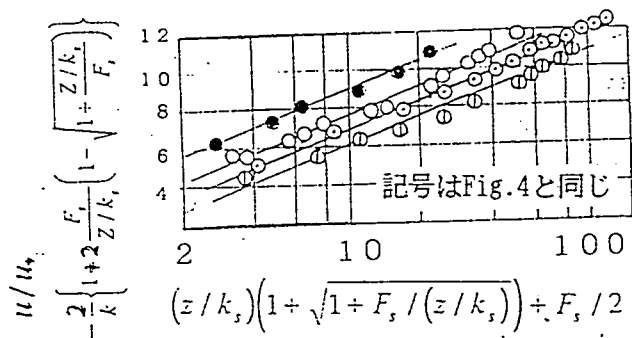


Fig. 5 粒子による応力増加を考慮したときの流速分布

から噴出が生じるといわれている。これをつぎのようにモデル化する。床面上に突起物または突起して移動する砂礫があるとき、その周りをまわる流れが生じる。この流れで突起物の近傍の、流れに平行な面を上昇および下降する流れが生じ、1 個の突起物による上昇、下降する質量差を ρq とする。この q は主流の速度勾配および突起物の遮蔽面積に関係するので $q \propto cd^2(du/dz)$ 、ここに c は突起物の面積に係数で長さの次元をもち、 cd で見かけ上体積になる。単位面積に J 個の突起があるとき、高さ Z に生じるせん断力はその点の流速を U として、

$$\tau = \rho \beta u (du/dz) \quad \dots(1)$$

ここに、 $\beta = jcd^2$ と表す。roughness sublayer 内では乱れによるせん断応力にこの応力が加わるとする。

$$\tau = \rho l^2 (du/dz)^2 + \rho \beta u (du/dz) \quad \dots(2)$$

とする。この式を $Z = Z_0$ で $u/u_0 = u_0/u$ 、かつ $F_s = F_{s0}$ として解くと、

$$u/u_0 = (1/k) \ln \left\{ (z/k_s) \left(1 + \sqrt{1 + F_s / (z/k_s)} \right) + F_s / 2 \right\} + \frac{2}{k} \left\{ 1 + 2 \frac{F_s}{Z/k_s} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{Z/k_s}{F_s}} \right) \right\} + A, \quad \dots(3)$$

ただし、 $F = \beta u / 2\kappa v$ で突起による剥離の効果を表す。

実験では粒径 12.7mm の砂礫を 1.71cm² にはりつけてあり、上部から $(1/4)d$ に相当する面に水が当たっているとして、 β を決め、式(3)を計算した結果は、Fig.3 の結果が Fig.5 のように全部の実験を通じて、かつ buffer region roughness sublayer を通じて、一定の k で説明できることを示した。この結果から、任意の高さの流速を求めることができ、これを使って流砂量を τ と h/d の関数として表すことができる。

4. 相対水深が小さい流砂量式

流砂量式は抵抗則の関数で、例えば芦田、道上式に従うならば、

$$q_B / ud = (\beta / \mu) \cdot f(h/d) \tau (1 - \tau / \tau_c) \cdot (1 - u/u_0)$$

の形であらわされる。しかしデータが少なく $f(h/d)$ の関数はまだ決めていない。

5. むすび

- 1) h/d が小さいときは、pickup rate が小さくなり、結果として流砂量は $(\tau_c - \tau_c)$ が同じものでも h/d の値をパラメータとして少なくなる。
- 2) pickup rate が小さくなる原因は対数則表示より流速が小さくなる。
- 3) roughness sublayer には粗度要素をめぐる流れがあり、それによるせん断力をモデル化して流速分布を求め、その結果は roughness sublayer、buffer region を通じて同じ k で表されることを見いだした。

参考文献

- 1) 芦田ら：京大防災研年報第 16 B, pp.481-494, 1973
- 2) 矢野ら：京大防災研年報 11 号 B, 1968
- 3) 篠原ら：九大応力研所報 10 号, 1957
- 4) 高橋：新砂防 60, 1966