

立命館大学理工学部 学生員 ○吉田 浩 立命館大学理工学部 正会員 大同淳之

1. はじめに 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。砂礫が河床に接して動くとき、力学的相似を満たすためには、 $(gd/u_*^2)_r = (d/h)_r$ 、(r :原型と模型の比率)、また、流れの相似を満たすためには、 $(h/d)_r$ の相似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 の小さいところで適用するのは問題があると考え、 h/d の小さい領域で実験を行った。

2. 実験結果に対する考察

2. 1. 実験範囲 実験に用いた砂の粒径および水理条件の範囲を表1に示す。砂の移動を集団トレーサー法によって測定した。

2. 2. pickup rate および step length に表れる h/d の特性 流砂量の特性を表す物理量として pickup rate と step length がある。これらの比較を図1、図2として示すと次のようになる。

d_m (cm)	l	h/d
1.78	0.01	2.5~3.42
1.27	0.02	0.12~3.80

$\sigma/\rho = 2.65$

表1. 実験範囲

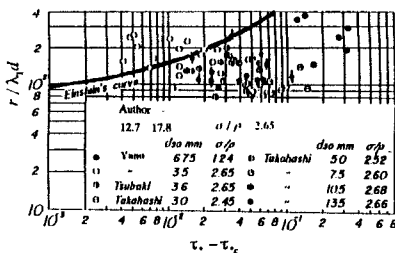


図1. step length の比較

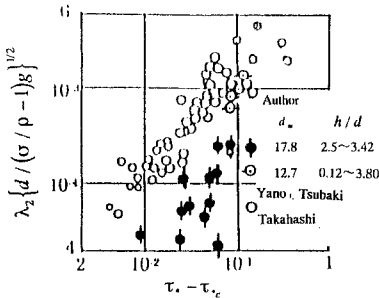


図2. pickup rate の比較

図1、図2から、step length は h/d の大きい領域と変わらず、 $100d$ 程度とみなされるが、pickup rate

は h/d が小さいときは、 h/d が大きいときよりも減少していることが分かる。その結果として、流砂量は図3に示すように $h/d > 10$ では、 h/d による変化はないが、 $h/d < 10$ では、 $(\tau_* - \tau_{*c})$ が同じでも h/d が小さくなるに従って少なくなることを示した。

pickup rate の減少は、砂礫に作用する流速の減少であろう。また、step length にも流速が関係し、流速の低下は step length を短くするが、勾配の増加はそれを長くする効果があるので、結果的にあまり変わらない結果を示しているといえる。

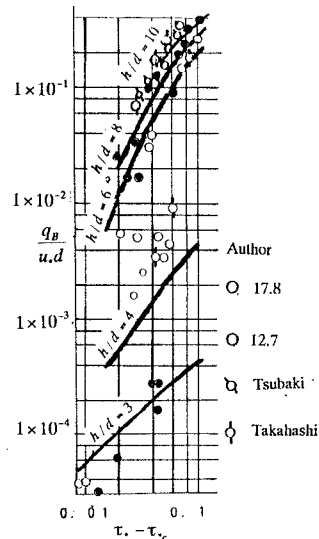


図3. h/d による流砂量の変化

3. 相対水深の大小による砂礫に作用する流速の変化

3. 1. 相対水深が小さく、勾配が急な流れの砂に作用する流速 粗面上で h/d が小さい領域で測定した流速分布、平均流速分布を図4、図5に示す。

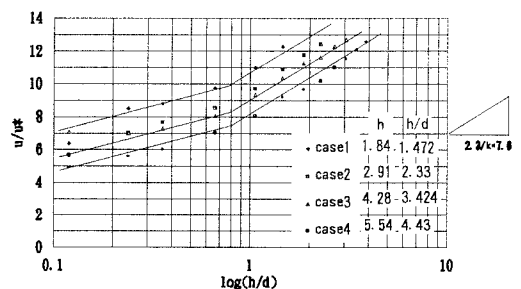


図4. 流速分布

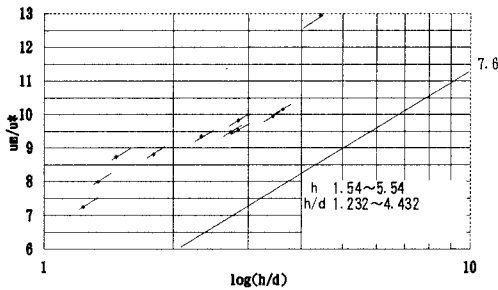


図5. 平均流速分布

図4と図5を比較して、 κ の値が違うのは、 h/d の小さいときは粗度が同じであっても、 A_r の値が変わっているからである。

実験結果から、粗度の大きい流れの流速分布は図6のような層からなると考えられる。

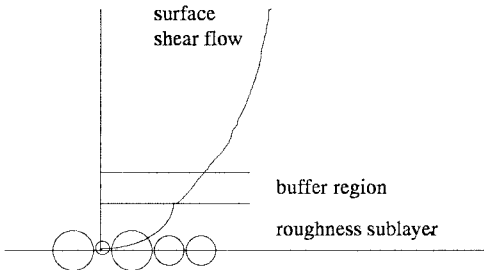


図6. 粗度の大きい流れの流速分布

roughness sublayer では、速度勾配が緩いために流速が一様化している。一方、その上層は $\kappa = 0.4$ の層ができ、その両方を結ぶbuffer regionが生じる。

我々が測定したケースでは、 h/d が小さいので、surface shear flowの層がほとんどなく、buffer regionとroughness sublayerを測定していると思われる。 h/d の大きいときに A_r の変化を問題に必要がなかったのは、surface shear flowが強いときはbuffer regionが薄くなり、砂礫に作用する流速を表現するときに、図3をもとにして A_r 、 k_s を決めることは1つのケースごとについて難しい。 A_r は、流速分布の境界条件で経験的に定めている。砂に作用する任意の高さの流速を決めるため、そこで流れの中の流速分布を考察し、導いた流速分布から境界条件を決め直すことにする。

3. 2. roughness sublayer における流速分布

roughness sublayer において、粗度によって生じる剥離から噴出が生じるといわれる。この現象を次のようにモデル化する。

1つの突起があるとき、その突起の周りを回る流れによって z における流れに平行な単位面を上下に通過する流れが生じる。この流れによるせん断力を次のようにモデル化すると、

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

である。これに乱れによるせん断力を加えて、

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

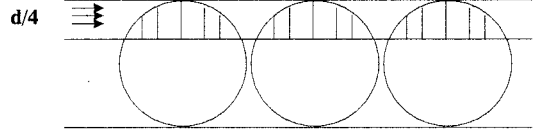


図7. 砂礫の上部に作用する流速

とする。実験では、粗度は 1.71cm^2 に1個で、平均粒径 12.7mm の砂礫を置き、上部から $(1/4)d$ に相当する面が水に当たっているとして、 β を決め、(2)を計算した結果、

$$u/u_* = \left(1/\kappa\right) \ln \left\{ \left(z/k_s \right) \left(1 + \sqrt{1 + F_s / \left\{ \kappa \left(z/k_s \right) \right\}} \right) + F_s / 2\kappa \right\} + 2F_s / \left\{ \kappa^2 \left(z/k_s \right) \left(1 + F_s / \kappa \left(z/k_s \right) \right) \right\} + \left(\sqrt{2}/2 \right) \sqrt{F_s / \kappa^3} \left(1 / \sqrt{z/k_s} \right) + 1/\kappa \ln \kappa + C_2 \quad (3)$$

のようになる。ただし、 $F_s = \beta / 2\kappa k_s$ が砂礫の作用を表す。このとき、図3の結果が図8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 κ 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と思われる。

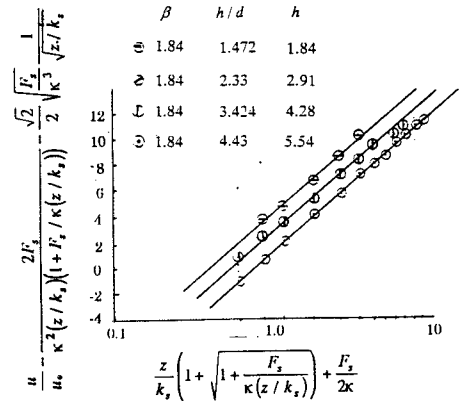


図8. 粒子による応力増加を考慮したときの流速分布

4. 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 $(\tau_* - \tau_{*c})$ が同じでも h/d の値をパラメーターとして少なくなる。

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 κ で表されることを見いだした。