

砂礫河川の底質の構成・構造に関する考察

名古屋大学工学部 学生員 〇溝口俊太 名古屋大学工学研究科 学生員 田代 喬
 名古屋大学工学研究科 学生員 加賀真介 名古屋大学工学研究科 学生員 渡邊慎多郎
 名古屋大学工学研究科 正会員 辻本哲郎

1. はじめに

近年、多くの河川において、ダム建設等による供給土砂の減少や流況平滑化が、付着藻類や底生動物に重要な生息場を提供する底質の構成・構造を変質させている。

砂礫河川では、粗度－水深比が大きいことに起因して、流砂量の予測が困難であるが、この機構の把握は、流砂量の見積もりなど土砂管理の側面だけでなく、生息場の変化の予測という観点でも早急に対処すべきであると考えられる。そこで本研究では、流砂機構の解明による底質の構成・構造の定量的評価を先の目標にすえ、まず、河床における砂面からの礫露出率、表層の礫密度に着目した。底質を礫と砂から構成されるものとし、礫露出率に着目した移動床実験を行い、既往の研究で芦田・藤田¹⁾や村本ら²⁾が見出した結果と照合しながら、礫露出率が礫間の有効掃流力に与える影響について考察する。

2. 礫床上の移動床実験

本実験に使用した水路は、幅 28.8cm、全長 8m の矩形断面を持つ可変勾配直線水路であり、河床勾配は 1/250 に設定した。礫床をイメージし、水路中央部 4m に平均径が 2.45cm のガラス玉を最密状態で配置した。初期条件として、ガラス玉河床を全て粒径 $d_s=1\text{mm}$ の細砂で埋めた状態から通水を開始し、ガラス玉露出高がこれ以上変化しない静的平衡状態を呈した時点で流速分布を測定し、通水停止後、露出高 ΔH を測定した。

表-1 には、4 通りの流量を与え、得られた実験結果の概要（表中の水深は水面からガラス玉頂部までの値）を、図-1 には、表中の Run 2 における流速、摩擦速度と露出高の分布を示した。

摩擦速度の評価にあたっては、①重力加速度 g 、エネルギー勾配 I 、水深に応じた径深 R から $u_{*R} (= \sqrt{gRI})$ を算出する手法と、②流速分布に対数則を適用して u_* を得る手法があるが、水路の鉛直座標原点を決める必要がある。図-1 中の u_{*R} は表-1 に示した水深から一元的に算出したものであるが、 u_* の算出は以下の手法によった。すなわち、実験において流速分布を計測した 5 測線において、①、②により得られる値が一致する点を鉛直座標原点とし、その点の摩擦速度を採用した。なお、ここでの手法①で用いた水深は、座標原点から水面までの高さとしている。

3. 実験結果の考察

既往の研究^{1), 2)}では、直接測定できない礫間隙における砂面上の有効摩擦速度 u_{*e} 及び有効掃流力 τ_{*e} をどのように評価するかという点が課題であったが、著者ら³⁾は、実河川における礫の露出率の再現を試みる中

表-1 実験結果の概要

	単位幅流量 (cm^2/s)	水深 (cm)	平均流速 (cm/s)	平均露出高 (cm)
Run 1	76.6	2.25	34.1	0.417
Run 2	171.3	4.06	42.1	0.647
Run 3	265.1	5.27	50.3	1.084
Run 4	327.8	5.98	54.8	1.625

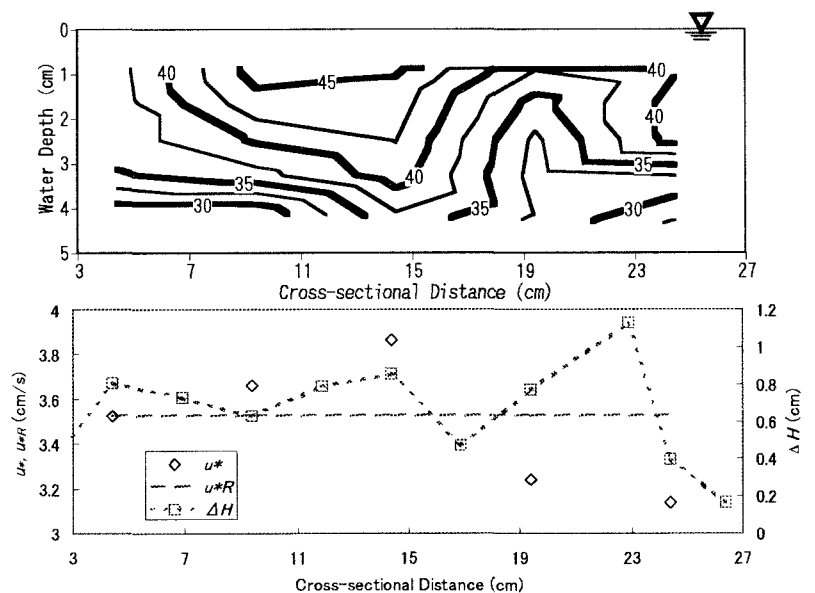


図-1 流速、摩擦速度と露出高の分布 (Run2)

で、最終的な礫の露出率は流砂が停止する静的平衡状態で得られると想定し、有効掃流力を限界掃流力で置き換えている ($\tau_{*e} = \tau_{*c}$)。

そこで、本研究でも、実験により得られた静的平衡状態における礫間、砂面上の摩擦速度 u_{*e} を限界摩擦速度 u_{*c} であるとした。図-2 には、露出率 $\delta (= \Delta H / d_G)$ と τ_{*e} / τ_{*c} との関係を示した。なお、図中には、芦田・藤田¹⁾の実験結果を併記した。

芦田・藤田¹⁾の結果は、路床に固定された礫の間隙における浮遊砂の離脱限界について検討する中で得たものであり、礫・砂径とも本実験と比較して小さいが、本実験と同様の傾向が表れている。

一方、村本ら²⁾は、ガラス玉下流の死水域に着目し、路床上の全せん断応力 τ_0 をガラス玉の抗力と死水域を除いた砂面の有効掃流力 τ_e の和で表すことによって、以下の式群を導き、解析を行っている。

$$\tau_0 A = \sum \frac{1}{2} \rho C_D u_0^2 S_a \left(\frac{d_G}{2} \right)^2 + \tau_e (A - A') \quad (1)$$

$$k^2 = \frac{\tau_{*e}}{\tau_*} = \left(\frac{u_{*e}}{u_*} \right)^2 = \frac{1 - \frac{1}{2} C_D \left(\frac{u_0}{u_*} \right)^2 \frac{S_a}{S_b} \frac{1}{p}}{1 - \frac{c_1}{p}} = f(\delta, N) \quad (2)$$

ここに、 A 、 A' ：対象としている全底面積、死水域の面積 (S_b に比例と仮定)、 ρ ：水の密度、 C_D ：ガラス玉の抗力係数、 u_0 ：代表流速、 d_G ：ガラス玉の粒径、 S_a 、 S_b ：半径=1 の単一のガラス玉に働く流体力の作用面積 (露出率 δ の関数、図-3 参照)、 N ：面積 A の路床内に存在するガラス玉の個数であり、ガラス玉 1 個が受け持つ面積 (A/N 、 A'/N) と $S_b D^2/4$ の比をそれぞれ、 p 、 c_1 とした。式(2)の右辺は露出率 δ 、ガラス玉の個数 N の関数であることが分かる。

図-4 には、村本ら²⁾の論文に記載されている結果と本実験の結果を併記したが、実験結果を再現できるまでには至っていない。これを考えるに、路床にガラス玉が最密状態で配置されたケース (図-3 参照) を再現しているため、露出率が大きくなるにつれ、死水域の面積が過大評価されてしまい、その結果、 τ_{*e} / τ_{*c} が過大評価されていると考えられる。今後の新たな知見の積み重ねによって、各パラメータを適正に評価し直す必要がある。

4. おわりに

本研究は、河床表層の礫を最密状態と想定し実験を行ったが、実河川では表層の礫密度が変化している場合がある。今後は、底質の評価をより適切に行うために、河床の礫密度、粒径比を変えた実験を行い、実河川の特性を議論できる様、更なる検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 芦田・藤田：河床粒子の浮遊機構とそのモデル化，土木学会論文集，第 375 号，pp.79-88，1986。
- 2) 村本ら：砂礫河川の掃流砂に関する基礎的研究，京大防災研究所年報，第 20 号，pp.451-474，1977。
- 3) 田代ら：河床近傍の生息場を形成する底質の構成・構造，土木学会第 57 回年次学術講演会概要集，pp.241-242，2002。

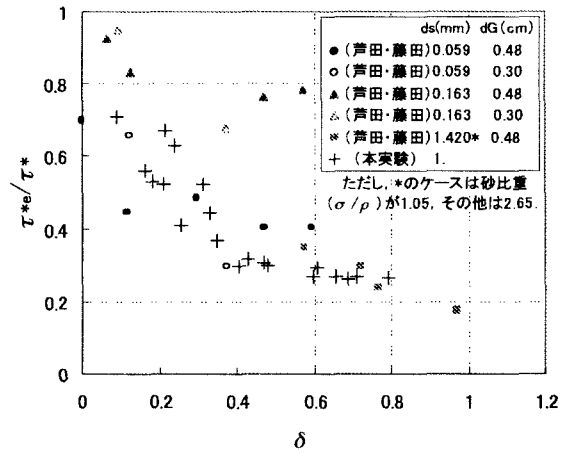


図-2 δ と τ_{*e} / τ_{*c} との関係

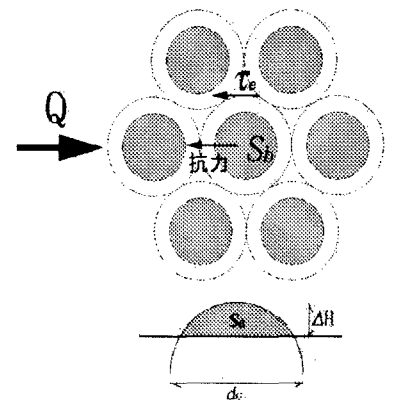


図-3 露出礫のモデル化
(上：平面図，下：立面図)

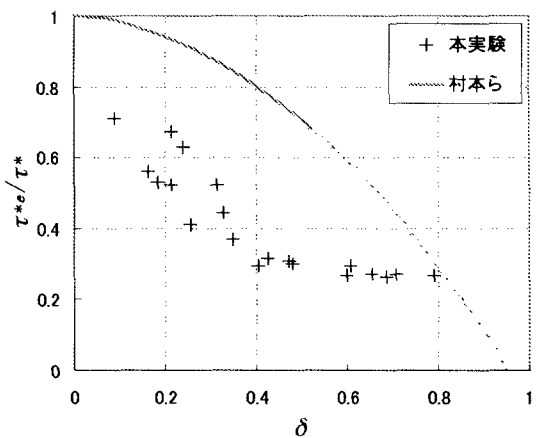


図-4 δ と τ_{*e} / τ_{*c} との関係