

II-144 滑面水路床を転動通過する粒子の横断方向分布

山口大学 正○斎藤 隆 徳山高専 正 佐賀孝徳
山口大学 河元信幸

表-1 実験条件

	条件1	条件2	条件3
流量 $Q(\text{cm}^3/\text{s})$	1437	2749	9920
水深 $h(\text{cm})$	2.90	5.00	15.30
断面平均流速 $v=Q/A(\text{cm/s})$	8.26	9.18	10.81
摩擦速度 $u_*(\text{cm/s})$	0.542	0.551	0.555
水温 $T(^{\circ}\text{C})$	14.0	14.0	14.0
動粘性係数 $\nu(\text{cm}^2/\text{s})$	0.0117	0.0117	0.0117
$Re = \frac{v \cdot h}{\nu}$	2017	3916	14130
$R_* = \frac{u_* \cdot h}{\nu}$	134	235	726
粒径 $d(\text{cm})$	0.080	0.080	0.080
比重量 $\gamma(\text{gf/cm}^3)$	1.046	1.046	1.046

1. まえがき : 開水路流れには多様な組織構造が存在し、その特性についての数多くの研究がなされている。これらの多くの研究は組織構造自体についてのものであって、水工学上の諸現象における組織構造の役割という観点からの研究は数少ない。本研究は、開水路流れの組織構造が河床砂の移動状態にどの様に反映されるかを明らかにする目的で、粒子が敏感に反応し、組織構造についての知見が多いことから、滑面開水路床上を転動流下する粒子の横断方向分布における特性長について実験的に検討したものである。

2. 実験装置と実験方法 : 実験は巾60cm、深さ23cm、長さ10mのアクリル樹脂製の可変勾配水路を用い、底面摩擦速度 $u_* \approx 0.55 \text{ cm/s}$ の一定条件で、表-1に3通りの水深で行った。粒径 $d = 0.8 \text{ mm}$ 、比重 $\rho_s = 1.05$ のポリスチレン球を水路最上流部に10~15cmの巾で横断方向に一様に敷き、8m下流断面を通過する粒子をビデオカメラで撮影し、1mm間隔で描かれたマーク間を通過する粒子を数えて、転動通過粒子の横断方向分布を求めた。

3. 実験結果とその検討 : 測定した転動通過粒子数の横断方向分布が図-1である。実験条件1、2の場合をみると、側壁より水深のほぼ3倍程度の範囲では、コーナーフローの影響で転動通過粒子数の横断方向分布は明瞭にトレンドしているが、水路中央部分では水深程度の区間平均値はほぼ一定となっている。実験条件3の場合はアスペクト比が4であるので、側壁効果が水深の3倍程度であるとなると、側壁の影響が水路中心にまで及んでいるものと考えられる。各実験における側壁近くの転動通過粒子の横断方向分布の変動を見ると、側壁からほぼ水深程度の区間はほぼ一定値に小さな変動が重なっていて、これより水深のほぼ3倍程度の範囲では直線的トレンドに小さな変動が重なっているとみることができる。

転動通過粒子の横断方向分布における卓越間隔長を抽出するため、実験条件2の側壁から水深の3倍の範囲のデータを除外して通過粒子数の変動個数のスペクトルを求めた結果が図-3である。スペクトル解析は、測定値が300個と少ないことから最大エントロピー法(MEM法)で行った。図から明瞭な卓越波数が3つ存在し、その波長はほぼ粘性底層厚さならびにバッファー層厚さのそれぞれのほぼ2倍程度のものと、水深に相当する長さのものである。

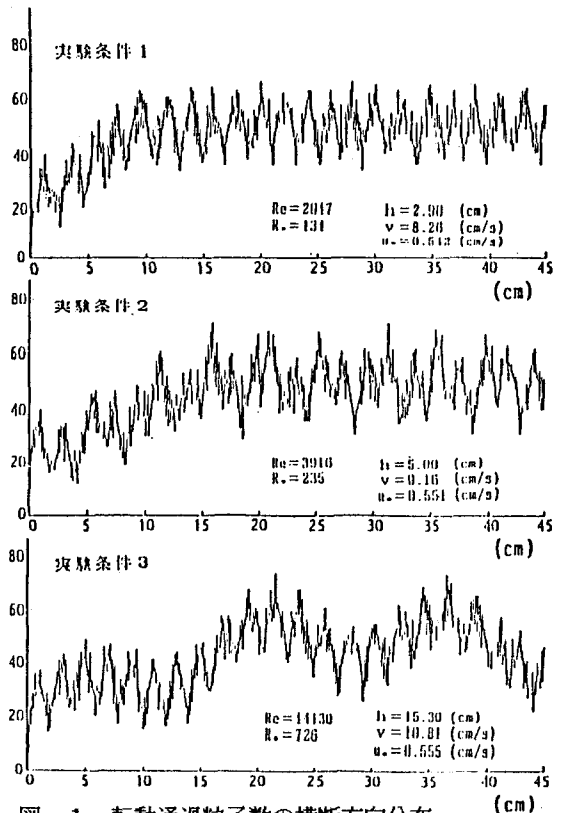


図-1 転動通過粒子数の横断方向分布

水路中央部分における測定値だけでは全ての卓越間隔長をスペクトル解析でもって抽出することはできないので、前述した側壁から水深の3倍の範囲における分布のトレンドからの変動個数、水深区間の移動平均値からの変動個数、ならびに水深区間の移動平均値を用いてスペクトル解析し、卓越間隔長を内部スケール u_* / ν で無次元化して、摩擦速度と水深によるレイノルズ数に対して描点したものである。図中の各描点は上述の解析データが異なるものである。

各実験において、転動通過粒子の横断方向の変動には3つの卓越間隔長が存在し、その最も長い間隔長は図中に右上がりの直線で示した水深とほぼ一致している。実験条件によらず内部スケールで無次元化した卓越間隔長がほぼ一定値となっている $q^+ = 10, 100$ は、それぞれ鉛直方向の平均流速分布などから区分されている粘性底層厚さ $y^+ = 5$ 、バッファー層厚さ $y^+ = 50$ の2倍の長さとなっていて、床面上の転動粒子の挙動に床面近傍の組織構造の影響が少なからず反映されているとみられる。

指数型流砂公式を用いると、基準点の床面せん断力 τ_0 と任意点での床面せん断力 τ との関係は、それぞれの点における砂移動量 q_{B0} 、 q_B との関係でもって表すと、次式のようになる。

$$\frac{q_{B0}}{s g d^3} = K \left(\frac{u_*^2}{s g d} \right)^n, \quad \frac{q_B}{s g d^3} = K \left(\frac{u_*^2}{s g d} \right)^n$$

$$\therefore \frac{\tau}{\tau_0} = \left(\frac{q_B}{q_{B0}} \right)^{1/n}$$

$q^+ = 100$ 区間の移動平均値を転動通過粒子数の変動値として床面せん断力の横断分布を上式から求めた結果が図-4である。基準の床面せん断力は水路中央部分の平均せん断力である。指数は粒子移動が転動状態であることから $n = 1.5$ としてある。実験条件3の場合の基準床面せん断力は他の場合に比べ小さく評価していることを考慮すると、水深スケールの変動成分を除くとほぼ相似な分布とみなせ、水深スケールの変動の位相もよく合致しているが、水深スケールの変動は水深が大きいほど大きい。

4. まとめ : 滑面水路床上を転動通過する粒子数の横断方向分布には、床面近傍の組織構造のスケールと水深にそれぞれ対応した卓越間隔長が存在し、水深スケールの変動は水深が大きいほど大きく、また、側壁から水深の3倍程度の範囲ではコーナフローの反影とみられる変化があり、移動河床における縦縞河床形成にアスペクト比が密接に関連するであろうことが明らかとなった。

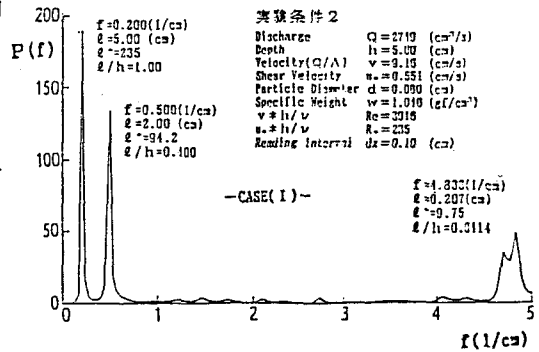


図-2 転動通過粒子数のスペクトル

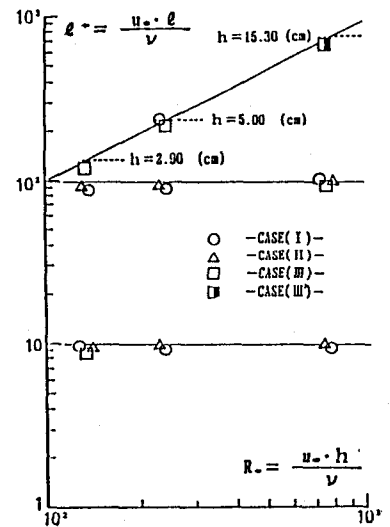


図-3 通過粒子変動数の卓越間隔長

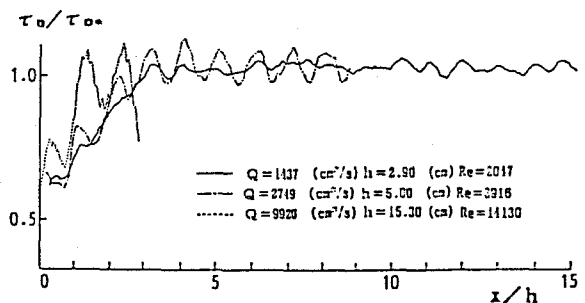


図-4 床面せん断力の横断方向分布