

滑面開水路における移動粒子の横断分布

山口大学 正 斎藤 隆 共立工業 正○井上美幸
山口大学 正 羽田野袈婆義 建設技研 狩野晋一

1. まえがき : 開水路流れには秩序構造・2次流れが存在し、洪水流れの水表面には明瞭な2次流れの反影がみられることや流れ条件によって河床形態が異なることから、秩序構造や2次流れが河床形態や拡などの水工学上の諸問題と密接に関連していて、これらの問題を解明していくためには、秩序構造や2次流れの問題への関与を明らかにすることが必要である。本研究は、開水路流れの2次流・秩序構造が河床砂の移動挙動ならびに河床形態にどのように反影されるかを明らかにする目的で、粒子が敏感に反応し、秩序構造についての知見が多いことから、滑面開水路床を転動しながら流下していく粒子の横断方向分布における特性間隔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0.6m、深さ0.23m、長さ10mのアクリル樹脂製の可変勾配水路を用いて、床面摩擦速度 $u_* = 0.55 \text{ cm/s}$ 一定の条件で、水深を $h = 2.9 \text{ cm}$ 、 5.0 cm 、 15.3 cm の3通りで行なった。粒径 $d = 0.8 \text{ mm}$ 、比重1.05のポリスチレン粒子を水路最上流端に巾10~15cm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た。1mm間隔で横断方向に描かれたマーク間を通過する粒子数が水路中央部で50個以上になるまで数えて、通過粒子数の横断方向分布を定めた。

3. 実験結果とその検討 : 水深5.0cmの場合に測定した通過粒子の横断方向分布を図-1に示す。側壁から水深のほぼ3倍程度の範囲では明瞭にトレンドが存在するが、水路中央部分では水深程度の区間平均値はほぼ一定値となっている。

側壁から水深の3倍区間の測定値を除外して、全平均値からの通過粒子数の変動値の相関係数を求めた結果が図-2である。横方向の距離が約10cm程度で相関がなくなる非常に短い卓越波長と相関の低下していく度合が小さく2種の卓越波長が存在していることが明らかである。

横断方向分布における卓越間隔長を抽出するために、通過粒子の変動個数のスペクトルを求めた結果が図-3である。スペクトルの解析は、測定値が300個と少ないことから、データ数が少ないときに有効な手法である最大エントロピー法(MEM法)で行なった。

明瞭な卓越波数が3つ存在し、図に記入してあるように、最少の卓越波数の波長はほぼ水深と一致し、他の2つの卓越波数の波長は内部スケール u_* / ν で無次元化すると $\lambda^+ = 94.2, 9.75$ である。

通過粒子の変動個数の横断方向分布における卓越間隔を求めて、内部スケールで無次元化した値を摩擦速度レイノルズ数に対して描点したものが図-4である。図中の複数(CASE)の描点は、側

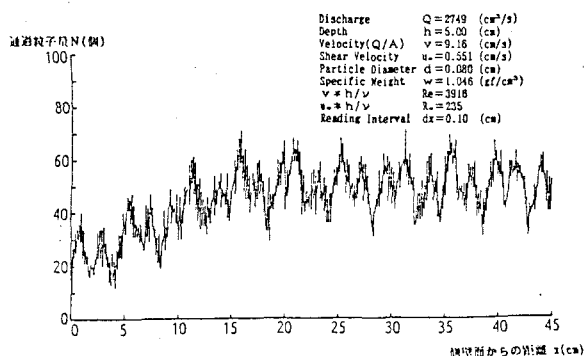


図-1 通過粒子の横断方向分布

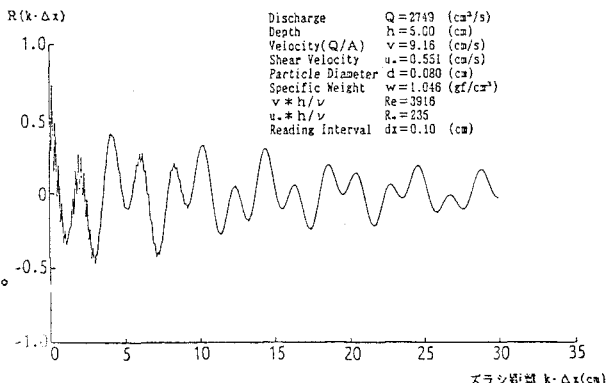


図-2 通過粒子数の相関係係

壁の影響がない水路中央部分だけでは解析データ数が少なく卓越波数が2桁違うものを同時に抽出することが出来ないで、区間長の違う移動平均値からの変動個数や、側壁近くのトレンド成分を移動平均値で評価することで全測定値を解析に取り込んだ手法の違いのものである。各CASEによる描点の違いがないことから各卓越間隔長は正当に抽出されているものと判断される。卓越間隔長が最も長いものは図中に右上がりの直線で示してある水深とほぼ一致した長さとなっている。

実験条件（摩擦速度 Re 数）によらず内部スケールで無次元化した卓越間隔長が一定値となっている $q^+ \approx 10$ 、100はそれぞれ粘性底層の厚さならびにバッファ層厚さ $y^+ \approx 5$ 、50のほぼ2倍の値である。

・流砂公式としてブラウンの指数型を用いると、基準点の床面せん断力に対する任意点の床面せん断力の値は砂移動量から次のように書くことができる。

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

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

移動河床の形態は比較的安定した流れに対応するであろうとの観点から、 $q^+ \approx 100$ に相当する区間での移動平均値を変動値とし、水路中央部分における平均床面せん断力を基準値として、床面せん断力の横断方向分布を上式でもって評価したものが図-5である。なお、流砂式の指数は粒子移動が全て転動であることから、 $n=1.5$ としている。水深が大きい場合は、側壁の影響が水路中央にまで及んでいて、基準値が必然的に異なることを考慮すると、側壁近くでのトレンドは水深のほぼ3倍程度の範囲で、その傾きは一致している。また、側壁部分をも含めて変動の位相がほぼ一致し、通過粒子の多いところで河床低下が生じると、平野らの河床に縦筋が形成される結果とよく合致している。また、水深が大きいほど変動が大きくなっている。

4. まとめ : 滑面水路床上を転動しながら流下していく粒子の横断方向分布における変動には、水深ならびに鉛直方向の平均流速分布を規定している2つの代表長さにそれぞれ対応する卓越間隔長があり、側壁から水深の3倍程度の範囲ではコーナーフローの反影とみられる変化があり、通過粒子の変動と河床縦筋とが強い関連をもつとみられる興味深い結果が得られた。

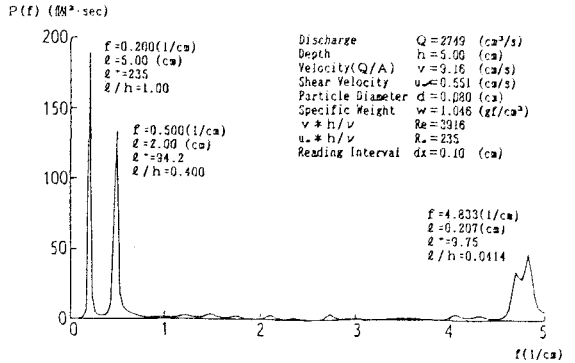


図-3 通過粒子変動個数のスペクトル

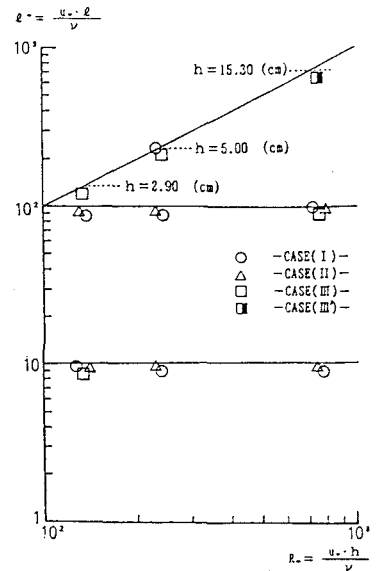


図-4 通過粒子変動個数の卓越間隔長

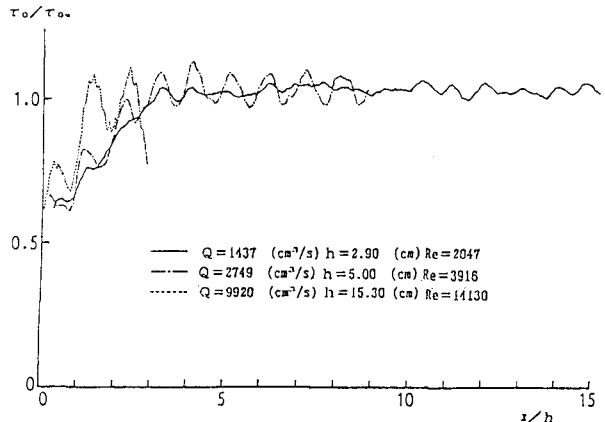


図-5 床面せん断力の横断方向分布