

II-307

縦筋上の浮流砂濃度および乱れに関する実験的研究

九州大学工学部 正 員 〇大本照憲

九州大学工学部 正 員 平野宗夫

1. はじめに

広長方形開水路流れには、乱れが幅方向に非一様分布のために起こる二次流（Prandtlの第2種二次流）が存在する。河床が粗面の場合には、この二次流は水深スケールの直径を有する並列した縦渦群として比較的安定した形態を取り、水路横断面内の運動量および物質の輸送に大きく寄与することが知られている。また、移動床流れにおいては Sand Ribbons と呼ばれる縦筋が主流と平行に規則的に形成され、縦渦と縦筋の相互作用のかなり強いことが示唆されている。本研究では、縦渦の充分に発達した固定床粗面流れに上流より幅方向に一樣に珪砂を供給し、流速と浮流砂濃度の変動特性について考察し、縦渦と浮流砂濃度の相互作用について検討を加える。次に、縦渦、縦筋および浮流砂のそれぞれの相互作用を明らかにするため、移動床において縦筋が明瞭に現れる水理条件を模索し、固定床の場合と同様に、縦筋上において流速と浮流砂濃度を同時、同一地点にて計測し実験的検討を加えた。

2. 実験装置及び実験方法

実験に用いた水路は、測定長8m、幅30cmの亚克力樹脂製可変勾配水路である。固定床粗面流れにおける河床粗度として中央粒径 $d_{50}=2.9\text{mm}$ のポリスチレン粒子を、河床に一樣に張り付け、水路上流には幅方向に一樣で定常な給砂の可能な供給装置を取り付けた。測定は所定の流量を水路に通水して、縦筋が充分に発達した後行われた。流速測定にはコニカル型ホットフィルム流速計、浮流砂濃度の測定には光学式濁度計を使用し、流速及び濃度を同時、同一地点で計測した。水深測定には1/10mm読みのポイントゲージを使用した。一方、移動床流れの実験においては河床材料として中央粒径 $d_{50}=1.1\text{mm}$ の珪砂を約3cmの厚さに均一に敷き均した後通水し、充分縦筋が発達した状態で固定床流れと同様に流速と濃度の計測を行った。また、超音波式砂面測定器を用いて主流方向に50cmおきに水路幅方向の河床波形状を測定した。流速計、濁度計からの出力電圧は一旦データレコーダに記録し、サンプリング周波数75HzでAD変換したのち各々4096個のデータを統計処理した。

3. 実験結果および考察

(1) 固定床粗面流れにおける実験結果：縦渦の流れに捕捉された浮流砂は、縦渦の上昇流位置に移流され、水路幅方向に濃度分布を形成する。図1～図5は、充分に発達した縦渦によって固定床粗面上に縦筋が安定して存在した際の流速変動と浮流砂濃度の実験結果を整理したものである。図-1は縦筋上と縦筋間（縦筋と縦筋の中央部）における平均流速の鉛直方向変化をプロットしたものである。目視観察によれば、縦筋は水路両端及び $z=2, -5\text{cm}$ （ここに z 軸は、水路中央より右岸方向に、 y 軸は河床より鉛直上方にとる）の位置で発生した。 $z=-5\text{cm}$ は縦渦の上昇流、 $z=-1.5\text{cm}$ は下降流の位置に当たる。濁水流、清水流のいずれにおいても流速は波状分布を呈し、縦筋上で急激に低下することが認められる。

表-1 実験条件

実験番号	流量 Q (l/s)	水深 h (cm)	断面平均 流速 (cm/s)	水路勾配 1_s
R-1	4.74	3.16	50.03	1/200
R-4	5.25	3.90	44.91	1/550
R-5	5.22	4.00	43.53	1/550

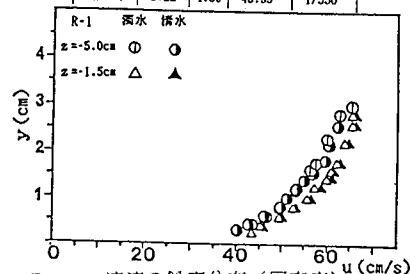


図-1 流速の鉛直分布（固定床）

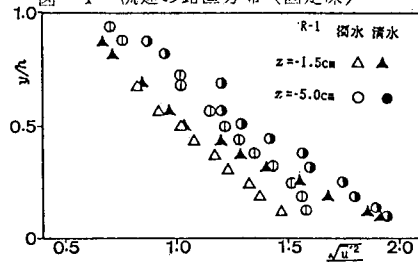


図-2 乱れ強さの鉛直方向分布（固定床）

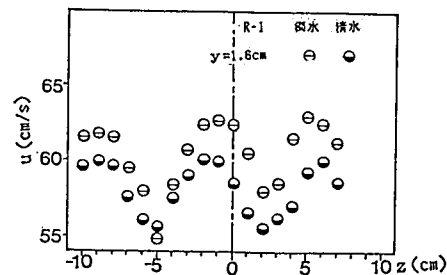


図-3 流速の幅方向分布（固定床）

流速が対数分布則に従うものと仮定し、Karman定数を0.4として摩擦速度を求めると、縦筋上で $U_* = 4.18 \text{ cm/sec}$ 、縦筋間では $U_* = 4.73 \text{ cm/sec}$ となり縦筋上の方が縦筋間に較べて摩擦速度は小さい。これは縦渦の上昇流によって河床近傍の低運動量が上方に運ばれ流速が鉛直上方に緩やかに上昇するのに対し、縦筋間では逆に上層の高運動量が河床近傍にまで運ばれ、流速が急激に立ち上がるためであると考えられる。図-2に流速の乱れ強さの鉛直方向分布を示す。濁水流、清水流のいずれにおいても縦筋上の方が縦筋間に比べて乱れ強さは大きい。また、河床付近においては濁水流の方が清水流に比べ乱れ強さは小さいことが認められた。これは浮流砂が安定な密度成層を成し、平均流から乱れへのエネルギーの輸送が小さくなる為であると考えられる。 $y = 1.6 \text{ cm}$ における流速の幅方向分布を図-3に示す。濁水流の方が清水流に比べて流速が大きく、鉛直方向の流速分布とも対応していることが分かる。図-4の乱れ強さの幅方向分布においても、濁水流の方が清水流に較べて乱れ強さは小さくなっていることが分かる。図-5に浮流砂濃度の幅方向分布を示す。縦筋上で濃度の最大値は1120ppm、縦筋間では850ppm、また、濃度の最小値は630ppmである。縦渦の発達した流れにおいては幅方向に濃度は、極大値の極小値に対する比が2倍程度に迄変化することが認められた。

(2)移動床における実験結果：図-6は砂面測定器を用いて実測した河床波形状の一例である。縦筋は $z = -7.0, -1.0, 5.0 \text{ cm}$ に流れ方向に三本安定して存在することがみうけられる。掃流砂のほとんどは縦筋間で流送され縦筋上では河床材料の多くは停止している様子が観察された。中央粒径 $d_{50} = 1.08 \text{ mm}$ の限界摩擦速度は、岩垣の式で 2.44 cm/sec である。エネルギー勾配より求めた幅方向の平均摩擦速度は 2.2 cm/sec であるが、縦筋間では摩擦速度は 4.2 cm/sec である。縦渦は縦筋の発達した移動床においては固定床に比べてさらに安定し、掃流力を幅方向に大きく変化させその結果、掃流砂量を間接的に幅方向に不均一にさせる作用をもつ。図-7および図-8はそれぞれ平均流速および乱れ強さの幅方向変化をプロットしたものである。平均流速は、縦筋上で極小値、縦筋間で極大値をとるのに対して、乱れの強さは縦筋上で極大値を取らず平均流速の幅方向変化が最も大きくなる位置で極大値を取っていることがうかがえる。乱れの発生項は、レイノルズ応力と速度勾配の積で表されるが、ここでは流速の幅方向変化による項が効いたことによって縦筋上に乱れ強さの極大値が現れず、縦筋の両側に現れたものと推測される。同一の水理条件において上流より珪砂を供給すると浮流砂濃度は、固定床実験の場合と同様に、縦筋上で極大値を取り、縦筋間に比べて2倍近い値を示す事が認められた。

<参考文献> 1)平野、大本、松枝；第30回水理講演会論文集1980
2)中川、禰津、光成；第41回年次講演会概要集1981

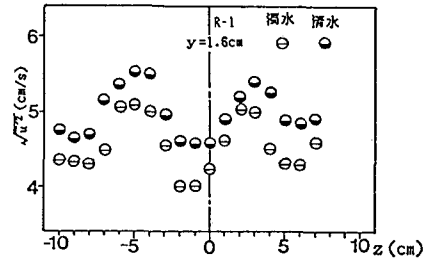


図-4 乱れ強さの幅方向変化（固定床）

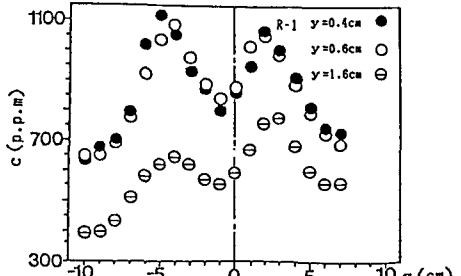


図-5 平均濃度の幅方向変化（固定床）

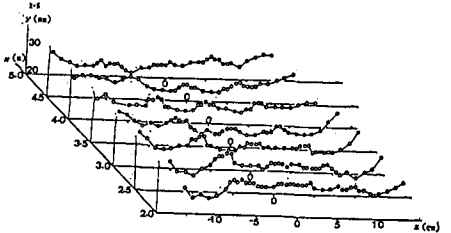


図-6 河床波形状（移動床）

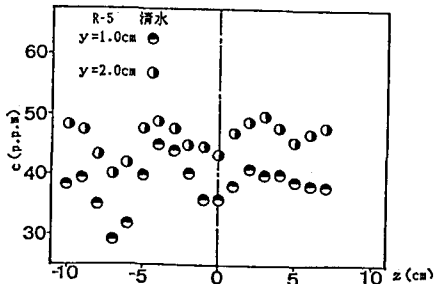


図-7 平均流速の幅方向分布（移動床）

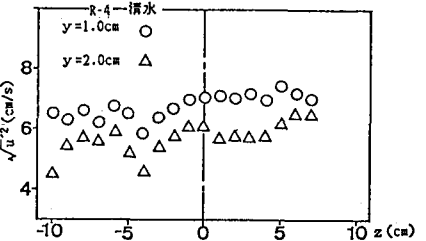


図-8 乱れ強さの幅方向分布（移動床）