

開水路浮遊砂流における縦渦の挙動について

京都大学防災研究所 正員 今 本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 大 年 邦 雄
 中国電力 正員 〇 川 本 秀 夫
 京都大学大学院 学生員 小 久 保 鉄 也

1. はじめに

直線開水路流において、流下方向に回転軸を有する縦渦が、水深程度の間隔で流れに並行していくつも存在することは比較的古くから知られており、最近では、木下¹⁾が洪水時の河川の航空写真を解析し縦渦の実在を示している。種々の路床状態のもとでの縦渦に関する実験的研究も行なわれているが、平坦河床上の開水路流れの場合には、空間的不安定性に加え平均的な強度も弱いため、縦渦を検出するのは非常に困難である。

このため、本研究では安定な縦渦が形成されるよう平坦な均一粗面上に4mm角の鍍金を横断方向に等間隔(8cm)に配列し、清水流および浮遊砂流の水理特性に及ぼす縦渦の影響について実験的に検討した。

水理条件は表1に示されており、CaseAは清水流、CaseBは同一流れに砂粒(平均粒径 $d_m=0.0130\text{cm}$)を混入した浮遊砂流である。

2. 流速および濃度の横断分布特性

流水の中に安定な縦渦が存在する場合には、主流流速は横断方向にかなり規則的な波状分布を呈することが知られている。図-1のCaseBの流速の横断分布も同様の波状分布を示しており、比較的安定した縦渦の存在していることがわかる。図-2は浮遊砂濃度の横断分布を示しているが、 $y/H \leq 0.22$ のものは流速と同様規則的な波状分布を呈している。これらの結果より、低速高濃度部の $z=20\text{cm}$ を湧昇部、高速低濃度部の $z=24\text{cm}$ を下降部とする縦渦が存在しているとみなすことができる。

3. 湧昇部および下降部における水理量の比較

図-3は流速の鉛直分布を示しているが、CaseAおよびBを比

表-1 水理条件表

Case	C_m (%)	H (cm)	U_f (cm/s)	ν (cm^2/s)	Re	Fr
A	0	4.200	4.850	0.01251	1.65×10^4	0.77
B	0.1350	3.700	4.552	0.01123	1.83×10^4	0.93

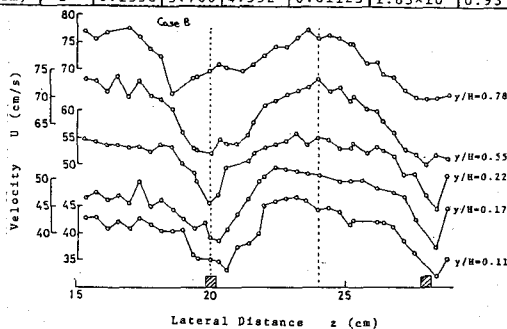


図-1 流速の横断分布

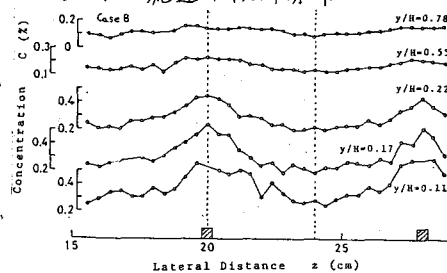


図-2 濃度の横断分布

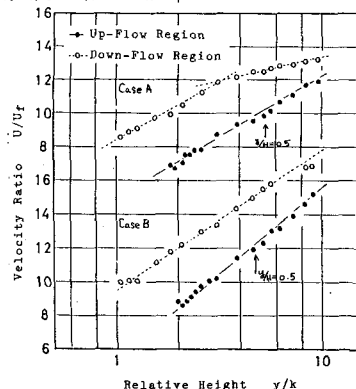


図-3 流速の鉛直分布

較すると、従来より指摘されているように²⁾、砂を混入することにより外部層($y/H > 0.2$)の流速勾配が増大することがわかる。浮遊砂流の流速分布形状は外部層においても対数分布によく適合しており、流速勾配は湧昇部の方が大きくなっている。

図-4より、同一高さにおける浮遊砂濃度は湧昇部の方が下降部より40~50%も大きいことがわかる。図-5に示した両領域における粒径別濃度分布はRouse式に比較的良好に適合しており、Rouse式を適合した場合の指数 $B (= \frac{1}{\beta} \log \frac{C}{C_0})$ は下降部の方が大きくなっている。

流速分布の計測値とせん断応力が直線分布するとの仮定に基づき $\tau = \rho C_m \frac{du}{dy}$ より算定した運動量拡散係数 E_m および $E_{s0} \cdot v_{s0} C = 0$ より算定した粒子拡散係数 E_s を示すと図-6のようになる。 E_m および E_s ともほぼ放物線分布をしており、湧昇部および下降部ともレイルス・アナロジー $E_s = \beta E_m$ は成立していることを見ることができるが、 $y/H < 0.5$ の領域では湧昇部のほうが大きな E_s 値を示している。図-7は、図-5の計測値にRouse式を適用して算定した β 値を示したものである。 β は湧昇部のほうが大きく、さらに y/H の増加とともに減少する傾向を示すが、実験の範囲では1よりも大きな値であることがわかる。

以上に示した湧昇部および下降部における水理特性の差異は次のように説明することができる。粗面流の場合には浮遊砂濃度の増加とともに外部層の流速勾配は増大することが知られているが、本実験において路床近くでは縦渦により下降部から湧昇部に向かう流れが存在するため、湧昇部には砂粒子が集められ高濃度となる。さらに、縦渦により、湧昇部においては特に路床付近で下部の遅い流体塊が上昇する。したがって、それら2つの複合効果によって、湧昇部の方が下降部よりも流速勾配は大きくなると考えられる。また、縦渦により湧昇部では比較的強い上向きの流れ、下降部では逆に弱い下向きの流れが生じているため、鉛直上向きの拡散能力は湧昇部のほうが下降部よりも大きくなり、そのために E_s は湧昇部の方が見かけ上大きくなるものと考えられる。

参考文献 1) 木下良作：航空写真による洪水流の解析，1967。

2) Vanoni, V.A.: Transportation of Suspended Water, 1944.

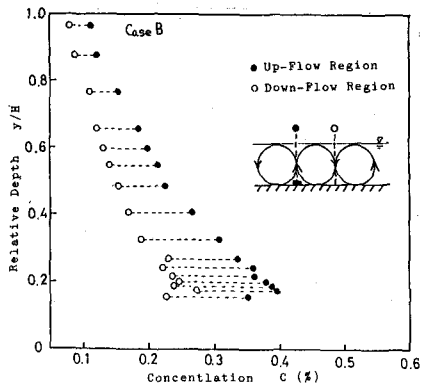


図-4 濃度の鉛直分布

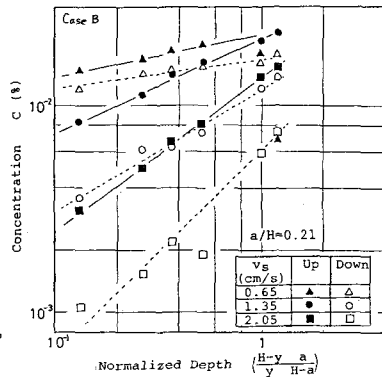


図-5 粒径別濃度分布

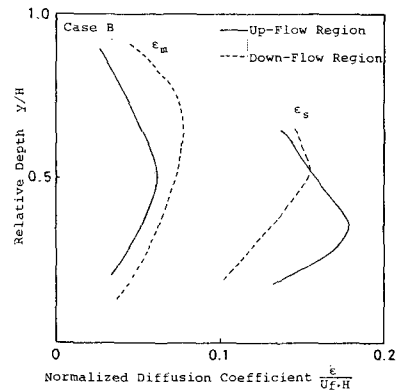


図-6 拡散係数の鉛直分布

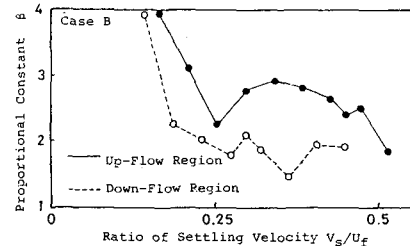


図-7 β と沈降・摩擦速度比の関係