

神戸大学工学部 正 員 神田 徹 神戸大学工学部 正 員 宮本 仁志
 岐阜大学工学部 正 員 藤田 一郎 神戸大学大学院 学正員○小出 大輔

1. まえがき

自然河川に見られる多様な流況を河川整備に導入するために、筆者らは開水路に設けた凹部が流れの構造に及ぼす影響について検討してきた。本研究では、凹部内の流況に本質的な役割を担うと考えられる主流-凹部境界の大規模組織渦を対象にして、凹部形状変化に伴う大規模渦の挙動を画像計測法(PIV)により実験的に調べた。

2. 実験装置および計測法

実験水路の概要を図-1に示す。凹部長さ L が 20cm, 凹部深さ D が 2, 3, 5cm の 3 ケースについて実験を行った。流入部において、流量 $Q=758\text{cm}^3/\text{s}$, 水深 $H_0=3.0\text{cm}$, 断面平均流速 $U_0=12.63\text{cm/s}$ であり、レイノルズ数 $(Re=H_0 U_0 / \nu)=3800$, フルード数

$(Fr=U_0 / \sqrt{gH_0})=0.23$ である。流れ場の計測には

PIVを用いた。比重 1.02, 粒径 $0.075\sim 0.15\text{mm}$ の高分子ポリマー粒子をトレーサとして流水中に投入し、スリット状にした He-Ne レーザー光を主流方向鉛直中央断面に照射することにより、流況を可視化した。可視化画像は、サンプリング周波数が 60Hz , 512×512 画素, 256 階調のバイナリーデータとして得られる。

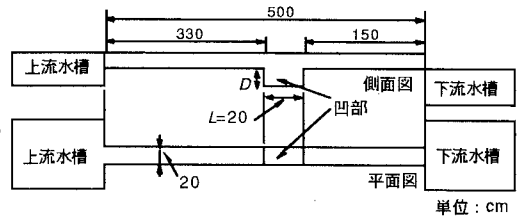


図-1 実験水路の概要

3. 実験結果

3.1 瞬間流速分布と模擬粒子を用いた大規模渦の可視化

図-2に瞬間流速ベクトル図の一例を示す。凹部底面の主流端を原点とし、流下方向に x 軸を、鉛直上向きに z 軸をとる。主流-凹部境界は激しく揺動しており、段落ちによって生じる自由せん断層が大規模渦を生成していると考えられる。また、凹部内においては、下流側で循環流が形成されており、流れは凹部底面に再付着しないことがわかる。

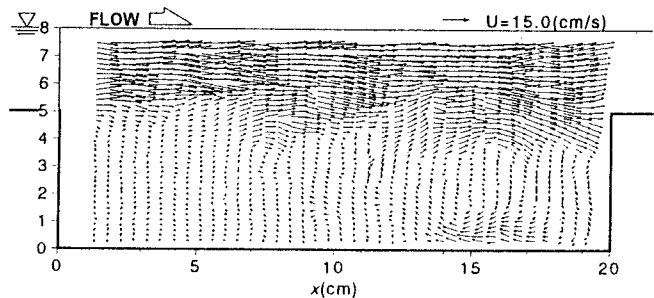


図-2 瞬間流速ベクトル図 ($D=5.0\text{cm}$)

とがわかる。模擬粒子による流脈を図-3に示す。これは主流-凹部境界の上流側の定点 ($x=2\text{cm}$, $z=5.0\text{cm}$) において, $1/60$ 秒間隔で模擬的に発生させた粒子を, その時刻の瞬間流速ベクトルを用いて移動させたものである。これより, 上流側段落ち直後の自由せん断層における流れの不安定性によって, 組織的な大規模渦が発生し, 流下するに伴い渦のスケールを増大させているのが確認できる。

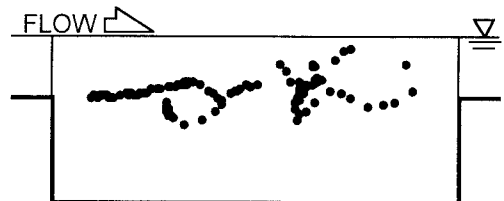


図-3 模擬粒子による流脈図 ($D=5.0\text{cm}$)

3.2 移流速度

大規模渦の移流速度を算出するため、主流-凹部境界上の2点間($\Delta x=2.0\text{cm}$)における、鉛直方向変動流速 w' の時系列データを用いて相互相関係数 C_{ww} を計算した。図-4 に相互相関係数 C_{ww} と遅れ時間 τ の関係を示す。ピーク値が現れる遅れ時間 τ_p を用いて、移流速度 $q(=\Delta x/\tau_p)$ を算出した。凹部深さ $D=2,3,5\text{cm}$ における移流速度の流下方向分布を図-5 に示す。すべてのケースにおいて、大規模渦の移流速度 q は流下方向に増加する傾向にあり、また、凹部深さ D が大きくなるのに伴い移流速度 q も増加している。

図-6 に移流速度 q と対応する位置での流下方向平均流速 U の関係を示す。移流速度はほとんどすべてのケースにおいて平均流速より大きな値を示している。

3.3 スペクトル解析

図-7 に主流-凹部境界における鉛直方向変動流速 w' のスペクトル $P_w(f)$ の流下方向変化を示す。凹部深さ D が 5cm の場合 (図-7(a))、流下に伴い卓越周波数が徐々に低周波側に移行しているのが確認できる。これは、大規模渦がより大きなスケールの渦へと成長することに対応すると考えられる。凹部深さ D が 2cm の場合 (図-7(b)) に関しては、卓越周波数の単調な低周波側への移行は確認できない。これは、流れが凹部底面に再付着する相対的に浅い凹部水深の場合であり、凹部底面の存在が主流-凹部境界における大規模渦などの流れの構造に、より強く影響するためと考えられる。

4. まとめ

開水路の主流-凹部境界における大規模渦について、凹部の形状変化が大規模渦の移流速度、周波数等の特性に及ぼす影響を検討した。移流速度は、凹部が深くなるのに伴い、また、凹部の下流側ほど、増加する傾向にある。又、流下方向の変動流速の周波数変化より、主流-凹部境界上の大規模渦は、凹部深さが浅くなるに従い、その成長が抑制されるようになる。

<参考文献>

- 宮本仁志・神田 徹・藤田一郎・池上 迅：PIV による開水路凹部流れの計測および数値解析，水工学論文集，第 41 巻 pp.1049-1054, 1997.

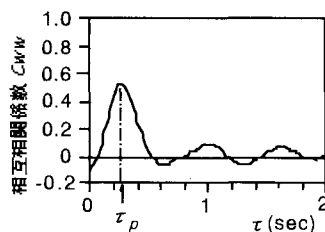


図-4 C_{ww} と遅れ時間 τ の関係
($x=7\text{cm}$; $\Delta x=2\text{cm}$)

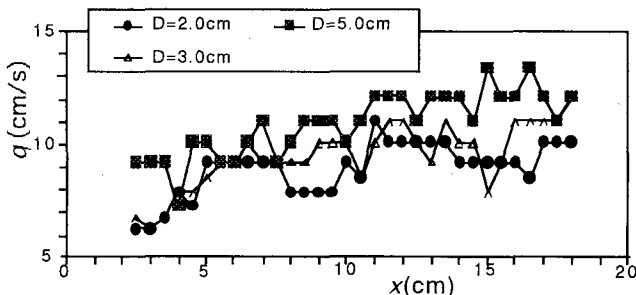


図-5 移流速度 q の流下方向分布

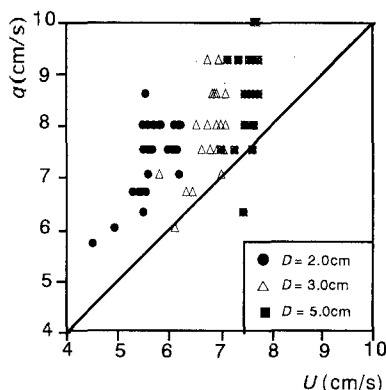


図-6 各点の移流速度と平均流速の関係

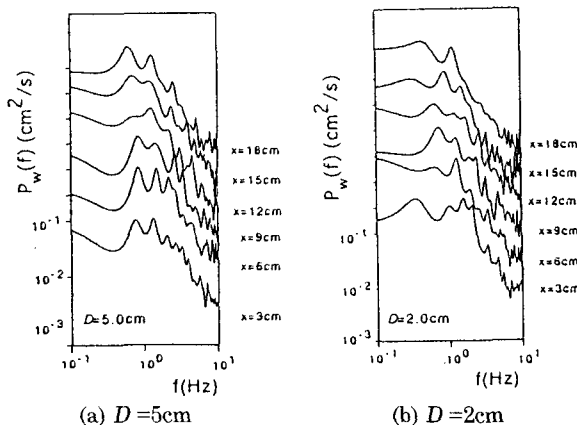


図-7 変動流速 w スペクトル流下方向変化