

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 神戸大学工学部 学生員○岩本 孝介

1. まえがき 筆者らは、水路床に凹部を設けた開水路における常流を対象として、流れ場の流況特性を検討してきた¹⁾。しかしながら、自然河川に見られる流況は、河道の局所的変化に伴い常流と射流が混在した多様な流れであるため、その水理学的特性のみについてさえ未解明な部分が多い。そこで本研究においては、水面変動の存在する射流を対象として、開水路凹部における平均流速、乱流諸量などの流れの構造を、PTVを用いた画像計測法により実験的に調べた。

2. 実験水路の概要 図-1に本研究で用いた実験水路の模式図を示す。水路は全長が500cm、幅が20cmの亚克力製直線開水路で、上流水槽から330cmの位置に凹部を設けている。凹部形状は長さ L が20cm、深さ D が3cmであり、水路勾配は1/100である。流量は $Q=1832(\text{cm}^3/\text{s})$ 、流入水深は $H_0=1.7(\text{cm})$ 、流入部の断面平均流速は $U_0=53.88(\text{cm}/\text{s})$ であり、レイノルズ数は $Re=H_0U_0/\nu=6992$ 、フルード数は $Fr=U_0/\sqrt{gH_0}=1.32$ である。

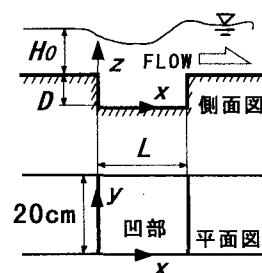


図-1 実験水路の模式図

3. PTVによる画像計測

3.1 計測法 図-2に画像計測システムの概要を示す。比重1.02、粒径0.075~0.15mmの高分子ポリマー粒子をトレーサーとして流水中に投入し、流況を可視化した。スリット状にした Ar^+ レーザー光を開水路鉛直中央断面に照射することによって可視化断面を作成する。可視化画像は高速度ビデオカメラを用いて撮影し、ビデオテープに収録する。ビデオ画像は、サンプリング周波数が120Hz、 512×512 画素、256階調のバイナリーデータとしてコンピューターに保存する。

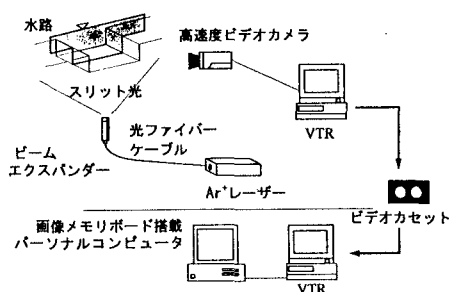


図-2 計測システムの概要

3.2 画像処理方法 実験で得られた画像をPTVにより解析し、流速ベクトルを算出する。解析で用いる画像は原画像をしきい値により二値化したものであり、計測精度を向上させるためには、原画像中の粒子を正確に抽出した二値化画像が必要となる。そこで原画像について以下のような処理を施した。①前処理：各画素ごとに、全画像中で最も低い輝度値を各画像の輝度値から引くことにより、光のむらの影響を軽減した。②画像の強調²⁾：画像の輝度の二次微分値を原画像の輝度値から引くことにより、画像中の粒子を強調した。③粒子の輪郭抽出：大小二つのしきい値を用いる輪郭抽出法³⁾を適用することにより、輝度値の低い粒子や隣接した粒子の輪郭抽出が可能となった。以上の処理を二値化画像を作成する前段階で行うことにより、画像中の粒子を正確に抽出した二値化画像が得られる。

3.3 最適参照フレームサイズ 本研究では、粒子の対応付けに二値化相関法を用いる。その際、用いる参照フレームの大きさによって相関係数の値が変化するため、参照フレームの大きさが粒子の正しい対応付けに影響を及ぼす。そこで、二値化画像を用いて、正しく対応付けされる粒子の数と、参照フレームサイズの画素数($M \times M$)との関係を調べた。その結果、図-3に示すように、最適参照フレームサイズは 50×50 画

素になった。しかし二値化相関法においては、相互相関係数により粒子の対応付けを行っているため、多少の誤対応が生じ、異常ベクトルが発生する。ここでは、平均流速、乱流統計量の算出の際に、乱れ成分の確率密度関数が正規分布で近似できると仮定することによって、誤対応による異常ベクトルの除去を行った。

4. 計測結果

4.1 凹部上流側流入部における平均流速分布

図-5 は凹部上流側の矩形水路部における、 $z^+ = zu_* / \nu$ に対する流下方向平均流速 $U^+ = U/u_*$ の分布であり、滑面乱流に対する対数則を併せて示している。ここで u_* は底面の摩擦速度である。これより、PTV を用いた平均流速分布の計測結果は、対数則に対して全体的にやや小さい値をとるが、比較的良好に一致していることが確認できる。

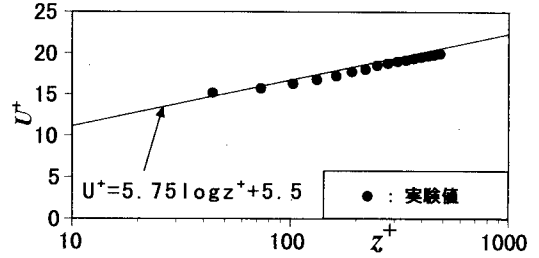


図-5 流入部における平均流速 U^+ の鉛直分布

4.2 凹部区間における流況

凹部における流下方向鉛直中央断面の平均流速ベクトルを図-6 に示す。凹部内において、一つの大きな循環流が形成されているのが確認できる。また、主流-凹部境界における自由せん断層が流下方向に発達している。図-7, 8 に、流下方向鉛直断面における乱れ強度分布図と、レイノルズ応力分布図をそれぞれ示す。これらより、凹部上流端近傍の自由せん断層で発生した乱れが、流下に伴い凹部内に発達していくのが認められる。本研究で用いた PTV による画像計測は、乱流統計量の鉛直分布に若干の値のばらつきはあるが、凹部内の流況特性を比較的良好に計測できていると思われる。

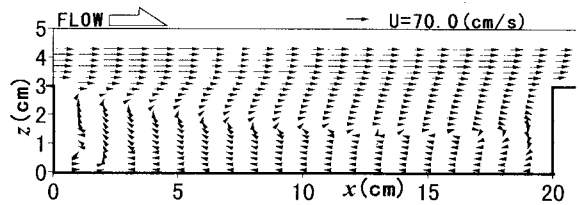


図-6 平均流速ベクトル図(平均時間; 84sec)

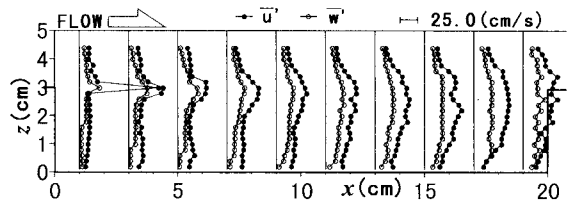


図-7 乱れ強度の鉛直分布図(平均時間; 84sec)

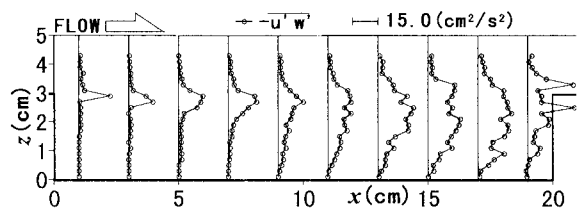


図-8 レイノルズ応力の鉛直分布図(平均時間; 84sec)

5. まとめ 開水路凹部における射流を対象に、凹部内の流況を、PTV による画像計測を用いて調べた。まず、PTV 手法に関して、二値化画像を得るための画像処理、二値化相関法の最適参照フレームサイズ、異常ベクトルの除去手法についての検討を行った。次に、PTV を用いて凹部内の平均流速、乱流諸量を計測した。その結果、乱流諸量の鉛直分布の値に若干のばらつきがあるものの、PTV 手法は凹部における流況特性を比較的良好に計測できている。

参考文献 1) 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. 2) 金井武雄, 栗田正一, 坂井利之, 高梨裕文, 山口昌一郎: 光と画像の基礎工学, 電気学会, pp. 238-292, 1991. 3) Jia-Guu Leu and Wengang Lu: A Growing Process to Extract Image Edges, SPIE Vol.2238, pp.218-228, 1994.