

神戸大学工学部 正 員 神田 徹 岐阜大学工学部 正 員 藤田 一郎
 神戸大学工学部 正 員 宮本 仁志 (株)日水コン 正 員 池上 迅
 神戸大学大学院 学正員○小出 大輔

1. まえがき

近年の河川整備においては、従来の治水・利水機能に加え、河川の環境を考慮する事が重要となっており、河道形状を変化させ種々の流況を創出する河川改修が行われている。本研究では、河床に凹部を有する開水路における流速分布、および主流・凹部境界面での乱れ特性について、画像計測法を用いて調べた。

2. 実験の概要

実験水路の概要を図-1に示す。用いた水路は全長が500cm、幅が20cmの亚克力製直線開水路であり、上流水槽より330cmの位置に凹部を設置している。凹部長さ L を20cmに固定し、凹部深さ D を1cmから5cmまで0.5cmピッチで変化させた9ケースについて実験を行い、凹部区間における流況を調べた。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。流れ場の計測方法に

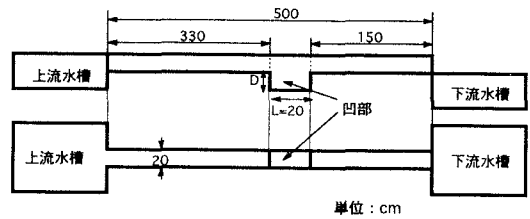


図-1 実験水路の概要

は画像計測法の一つであるPIVを用いた。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、スリット状にしたヘリウムネオン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。

3. 実験結果及び考察

3-1 時間平均流速ベクトル

図-2に、凹部深さ $D=2.0, 3.0, 5.0\text{cm}$ の鉛直中央断面における時間平均流速ベクトル図を示す。今回の実験では凹部深さ D の違いにより、(1)図-2(a):段落ちてはく離した流れが凹部床に再付着する流れ($D=1.0\sim 2.5\text{cm}$)、(2)図-2(c):再付着はなく、凹部内全域で循環流が形成される流れ($D=4.0\sim 5.0\text{cm}$)、の二つの流況に大別できる。これらの流況は以前に著者らが行った実験でも確認されている。図-2(b)は、上述の二つの流況の遷移的な流況と考えられ、凹部床での再付着はなく、凹部内の上下流で、大小二つの循環流が

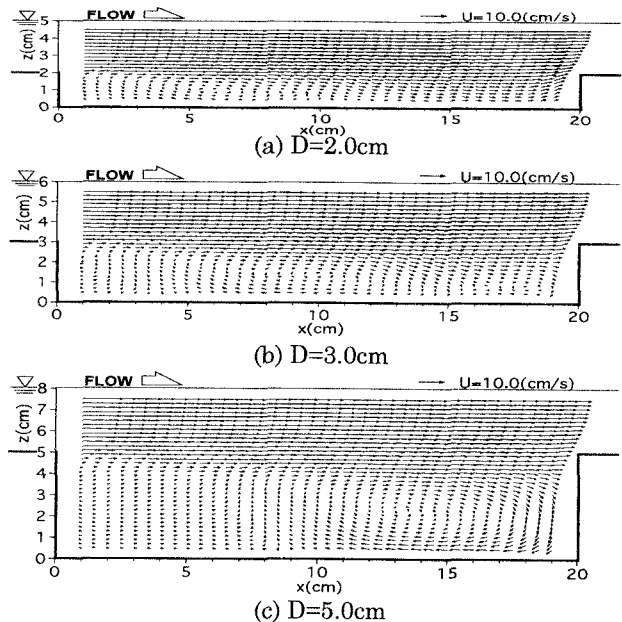


図-2 時間平均流速ベクトル図

(平均時間33.2s, 画像2000枚)

形成されている($D=3.0, 3.5\text{cm}$)。この遷移的な流況は凹部の形状比が $(L/D)_t = 6 \sim 7$ のときに生じ、今回の実験では、その形状比を境に上述二つの流況にわかれることになる。

3-2 瞬間流速ベクトル及び瞬間レイノルズ応力

図-3に、凹部深さ $D=3.0\text{cm}$ の瞬間流速ベクトル図を示す。図-2で示された平均的な流況と異なり、主流-凹部境界の自由せん断層では流れは激しく乱れており、上流側段落ち部付近で発生したはく離渦が流下とともに発達しているのが確認できる。したがって、せん断層においては瞬間レイノルズ応力 $(-u'w')$ も相対的に大きな値を取るようになる。図-4に凹部深さ $D=3.0\text{cm}$ の主流-凹部境界における瞬間レイノルズ応力の時系列を示す。(a)の時系列上でのピークが、ある時間遅れで(b), (c)に現れることにより、はく離渦の移流が推察される。

3-3 質量交換速度

主流-凹部間での質量の流入出を調べるため、質量交換速度を次式から算出した。

$$k' = \frac{1}{U_0 L} \int_0^L |\bar{w}| dx \quad (1)$$

$$k'' = \frac{1}{TU_0 L} \int_0^T \int_0^L |w| dx \quad (2)$$

ここで、 k' :平均流速による質量の交換速度、 k'' :瞬間質量交換速度の平均値、 U_0 :断面平均流速、 L :凹部長さ、 T :時間、 $\bar{w}$:鉛直方向時間平均流速、 w :鉛直方向瞬間流速、である。図-5に凹部深さと質量交換速度の関係を示す。平均流速による質量交換速度 k' は、図-2で示すように主流の凹部内への落ち込みと凹部外への流出が少なくなるため、その値が小さくなり、循環流を形成する $D=4\text{cm}$ 以上になればほぼ一定値をとる。一方、瞬間流速から求めた交換速度 k'' については、 k' より約3~8倍大きな値をとる。この差は図-3に示す主流-凹部境界面の激しい乱れ成分の影響によるものと考えられる。

4. まとめ

河床に凹部を有する開水路流れの流況について調べた。平均的な流況に関しては、凹部深さによって凹部底面に流線が再付着する流れと凹部全域を循環する流れが存在する。その間の遷移的な流れは、形状比が6~7の値で確認された。瞬間的な流況を見ると、凹部境界の流速は強い非定常性を持ち、その乱れ成分が主流-凹部間の質量交換に大きく影響を及ぼす。

<参考文献>

1) 藤田一郎・神田 徹・門脇正夫・森田卓光:開水路凹部流れのPIVおよびLESによる乱流解析, 土木学会論文集, No.539/II-35, pp.79-88, 1996.

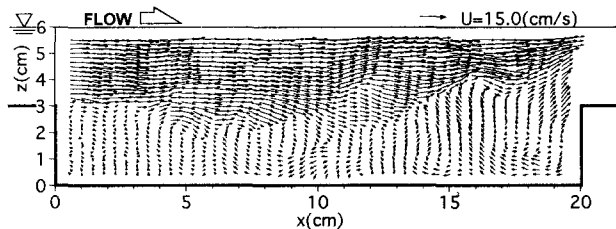


図-3 瞬間流速ベクトル図 ($D=3.0\text{cm}$)

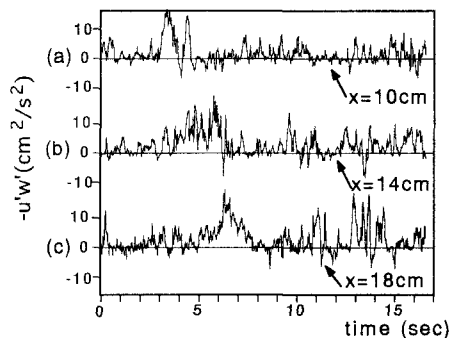


図-4 瞬間レイノルズ応力の時系列 ($D=3.0\text{cm}$) (主流-凹部境界($z=3\text{cm}$))

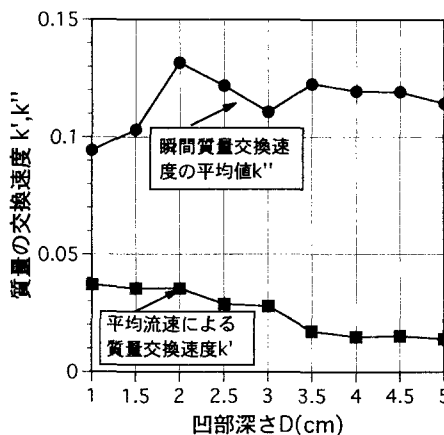


図-5 凹部深さと質量交換速度の関係