

水面・流速の同時画像計測による開水路凹部での流れの解析

八千代エンジニアリング(株) 正会員 大江 和正
 神戸大学工学部 フェロー 神田 徹
 神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

1. まえがき

筆者らは、水路床に凹部を設けた開水路において、瞬時の水面形状と流速ベクトルを同時計測するための画像計測手法を提案している¹⁾。本研究では、この計測手法を用いて、フルード数が水面形状と流況に及ぼす影響と、フルード数が大きい場合の水面変動および流速変動の伝播特性について検討する。

2. 実験方法および実験条件

表-1 実験条件

| Case | — | I | U_0 (cm/s) | H_0 (cm) | Fr_0 | Fr_{-120} |
|------|---------------------------|-------|--------------|------------|--------|-------------|
| a | $Q(\text{cm}^3/\text{s})$ | 1/90 | 79.0 | 2.2 | 1.69 | 1.66 |
| b | = 3510 | 1/100 | 74.0 | 2.4 | 1.54 | 1.56 |
| c | $L(\text{cm}) = 20.0$ | 1/130 | 45.1 | 3.9 | 0.73 | 1.42 |
| d | $D(\text{cm}) = 2.0$ | 1/150 | 48.2 | 3.6 | 0.81 | 1.26 |
| e | $L/D = 10.0$ | 1/200 | 45.9 | 3.8 | 0.75 | 0.93 |
| f | $Re = 17500$ | 1/300 | 43.4 | 4.0 | 0.69 | 0.71 |

Q : 流量, L : 凹部長さ, D : 凹部深さ, H_0 : 流入部での平均水深,
 H_{-120} : $x=-120\text{cm}$ での平均水深, I : 水路勾配, U_0 : 流入部での断面平均流速,
 U_{-120} : $x=-120\text{cm}$ での断面平均流速, L/D : 凹部形状比,
 Re : レイノルズ数($=U_0 H_0 / \nu$), Fr_0 : 流入部でのフルード数($=U_0 / (gH_0)^{1/2}$),
 Fr_{-120} : $x=-120\text{cm}$ でのフルード数($=U_{-120} / (gH_{-120})^{1/2}$)

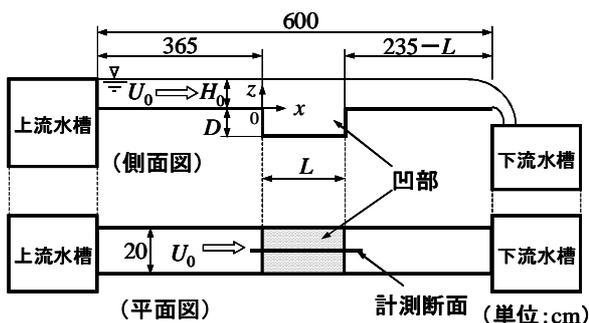


図-1 実験水路の概要

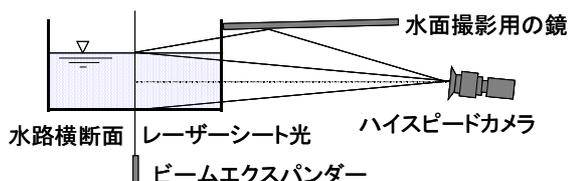


図-2 撮影方法

図-1, 2 に実験水路の概要および撮影方法を示す。流水中に比重が約 1.02, 粒径 0.075 ~ 0.150mm の高分子ポリマー粒子を投入し, スリット状のアルゴンイオンレーザー光で可視化断面を作成する。この断面をハイスピードカメラによりサンプリング周波数 240Hz で撮影し, 720 × 480 画素, 輝度 256 階調のバイナリーデータとして保存する。

水面の撮影は、水路手前側壁での水面が計測の障害となるため、図-2 に示すように鏡を用いて斜め上方から行う。流速計測には、CEC アルゴリズムを導入した PIV¹⁾を用いる。実験条件を表-1 に示す。レイノルズ数 Re , 凹部形状比 L/D を一定とし、等流水深が保たれる凹部上流 $x=-120\text{cm}$ でのフルード数 Fr_{-120} を 1.66 ~ 0.71 に変化させている。

3. 瞬時の水面高さや流速ベクトル

図-3 に、Case-a における瞬時の水面高さや流速ベクトルを示す。主流-凹部境界において、流速せん断のために流れが激しく変動している。また、凹部下流側では、段上り部の断面急縮により流速ベクトルが上向きとなっている。一方、水面は流下方向に上昇しており、 $x=18\text{cm}$ 近傍で凹部内の流速に対応して最大の高さをとる。このように、本計測手法は瞬時の水面形状と流速ベクトルを的確に捉えていることがわかる。

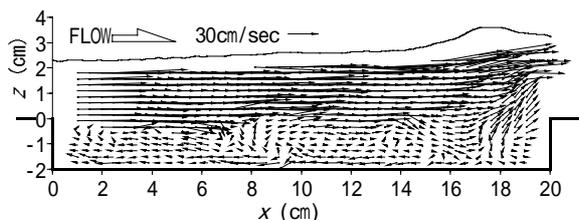


図-3 瞬間の水面高さや流速ベクトル (Case-a, $Fr_0=1.69$, $Fr_{-120}=1.66$)

4. 凹部における水面変動と流速変動の伝播特性

図-4 に、Case-a, c, f での時空間平面における水面変動成分 h の極値の分布を示す。Case-a ($Fr_0=1.69$, $Fr_{-120}=1.66$) では、凹部下流側の $x=10 \sim 20\text{cm}$ において、 h の極値はほぼ一定の速度で下流側に伝播している。

キーワード：水面変動、開水路流れ、凹部、画像解析、同時計測

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

Case-c($Fr_0=0.73, Fr_{-120}=1.42$)では, Case-a で見られるような極値の時空間平面上での連なりは短くなり, 凹部の上・下流部で極大値が, 凹部中央では極小値が存在している. また, 流下方向への極値の伝播速度は, Case-a に比べて小さい. Case-f($Fr_0=0.69, Fr_{-120}=0.71$)では, 上述の2ケースで見られた水面変動の下流側への伝播はほとんど見られない.

次に, 水面変動の下流側への伝播が明確である Case-a を対象として, 主流部の流速変動と水面変動の関係を考察する. 図-5 は, x 方向流速変動 u と水面変動 h のそれぞれについて時空間相関をとり, その最大値をとる位置をプロットしたものである. プロットの勾配は, 主流部の各層($z=0.15 \sim 1.58\text{cm}$)における u および水面変動 h の伝播速度を表す. 流速変動 u の伝播速度は, 主流部の上層ほど大きく, また流下に伴い減少している. 一方, 水面変動の伝播速度も流速変動と同様に流下するに従い減少しており, その値は主流-凹部境界における流速変動の伝播速度にほぼ等しい. 以上のことより, 水面変動と主流-凹部境界付近の流速変動には相関があることが推察できる.

5. 水面変動と流速変動の相互相関

図-6 に, Case-a における $x=16\text{cm}$ での水面変動 h と流速変動 u, w との相互相関係数の分布を示す. 同時相関($=0\text{ sec}$)においては, h と u との間には負の高い相関があり, h と w との間には正の高い相関が見られる. これは, 連続条件により, 水面が上昇すると流速は上向きとなり流下方向の流速は減少することを示している. h と u, w との相関係数は, $x=16\text{cm}$ で凹部底付近まで高い値となっており, 水面から凹部底付近までの流速変動が水面変動と関連している. また, 相関係数の極大・極小値が流下方向に交互に表れており, 主流-凹部境界での組織運動と水面変動に何らかの関連があることが推察できる. 遅れ時間 $=0.05, 0.10(\text{sec})$ においては, u, w とともに相関係数の極値が上流側に移動しており, 流速変動成分が下流側に伝播していることがわかる.

参考文献 1) 宮本仁志, 神田徹, 大江和正: 画像解析による水面変動・流速の同時計測法と開水路凹部流れへの適用, 水工学論文集, 第45巻, pp.511-516, 2001.

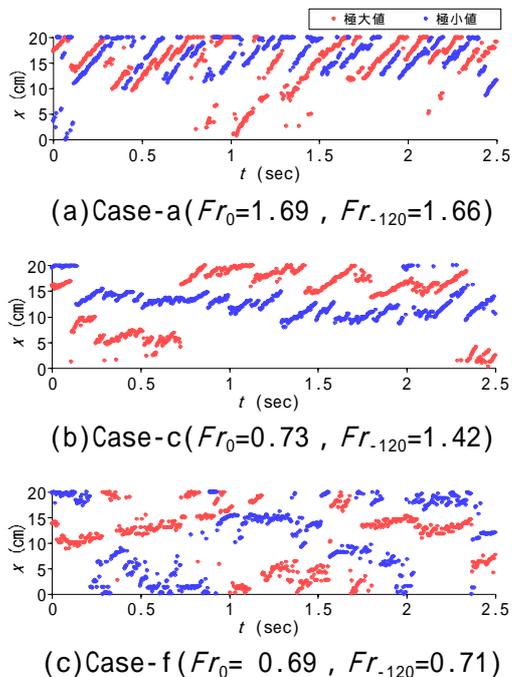


図-4 時空間平面における水面変動成分の極値の分布

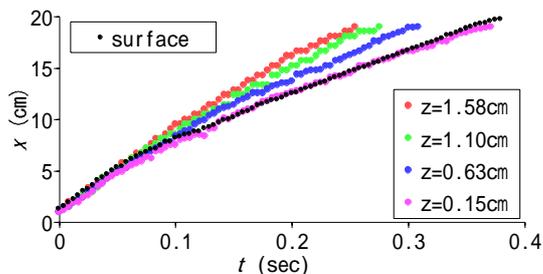


図-5 水面変動と流速変動の伝播特性 (Case-a, $Fr_0=1.69, Fr_{-120}=1.66$)

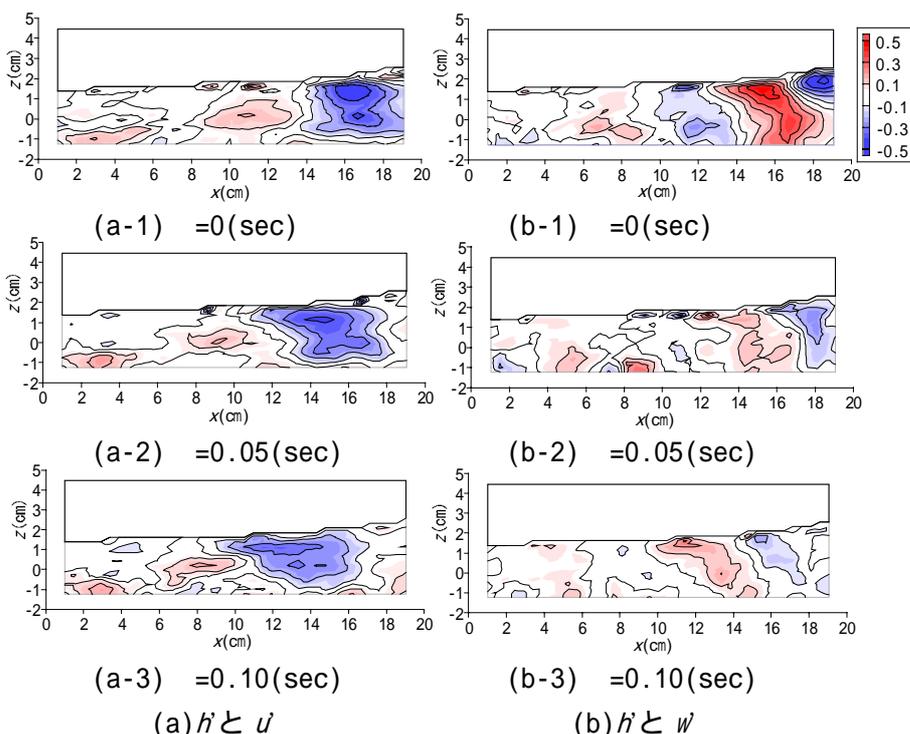


図-6 水面変動 h と流速変動 u, w の相互相関係数