

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

神戸大学大学院自然科学研究科

学生員 ○大江 和正

1. まえがき

筆者らは、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、水路床に凹部を設けた開水路流れを対象として、現象解明のための実験および解析を行ってきた。前報においては、瞬時(同時)の水面形状・流速ベクトルを計測するための画像計測手法を提案している¹⁾。本稿では、本計測手法を用いて、フルード数変化が凹部における水面変動と流況に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験の概要および実験条件

図-1, 2に実験水路の概要および撮影方法を示す。水面計測は、水路手前側壁での水面が画像計測の障害とならないように、鏡を用いて斜め上方から行う。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、計測対象断面をスリット状のアルゴンイオンレーザー光で可視化する。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。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。

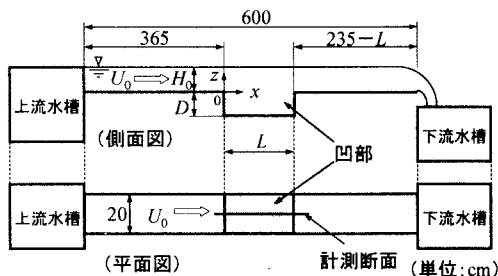


図-1 実験水路の概要

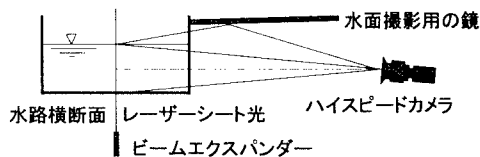


図-2 撮影方法

3. 画像計測のアルゴリズム

水面計測は、Lue と Lu による画像処理アルゴリズム²⁾を用いて、濃淡境界線を抽出することにより行う¹⁾。濃淡境界線は、輝度勾配の大きさと方向を指標として、大小2つのしきい値により抽出する。本手法では、この大小2つのしきい値を用いることで、相対的に輝度が小さい部分の濃淡境界も抽出可能となる。流速計測は、誤相関に起因する異常ベクトルを除去する手法(Correlation Error Correction)を導入したPIV¹⁾を用いて行う。

4. 計測結果および考察

図-3に、Case-aにおける瞬間の水面高さと流速ベクトルを示す。水面は流下方向に上昇しており、凹部段上り部 $x=18\text{cm}$ 近傍で最大の高さとなる。主流-凹部境界では、流速せん断により流れが激しく変動している。また、凹部下流側の段上り部において、流速ベクトルが上向きとなっており、水面高さが最大値をとる位置

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 : 凹部水深, H_0 : 流入水深,

H_{-120} : $x=-120\text{cm}$ での水深, I : 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($=U_0 / (g H_0)^{1/2}$),

Fr_{-120} : $x=-120\text{cm}$ でのフルード数($=U_{-120} / (g H_{-120})^{1/2}$)

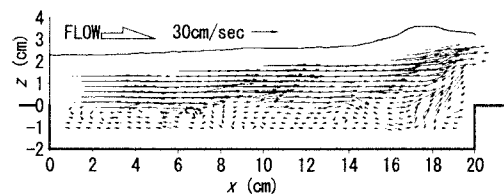


図-3 瞬間の水面高さと流速ベクトル (Case-a)

に対応した流れとなっている。これらの結果から、本計測手法は、瞬時(同時)の水面形状と流速ベクトルを的確に捉えているといえる。

図-4 に、Case-a, c, f の平均水面高さと平均流速ベクトルを示す。Case-a($Fr_0=1.69$, $Fr_{-120}=1.66$)では、平均水面高さが流下方向に大きくなっており、主流部の平均流速ベクトルは凹部下流側の $x=14\sim 20\text{cm}$ において上向きとなる。Case-c($Fr_0=0.73$, $Fr_{-120}=1.42$)では、平均水面高さが $x=0\text{cm}$, 16cm 付近で極大となり、主流部の平均流速ベクトルは水面に沿った分布となる。Case-f($Fr_0=0.69$, $Fr_{-120}=0.71$)では、平均水面高さは下流側に行くに伴って上昇するものの、他の Case に比べて大きな流下方向の変化はない。また、主流部の平均流速ベクトルはほぼ水平となっている。このように、平均水面形状と主流部の平均流速ベクトルには高い相関がある。

図-5 に、Case-a, c, f の時間-空間平面での水面変動成分 $h(\text{cm})$ を示す。Case-a では、水面が $x=12\sim 20\text{cm}$ で激しく変動しており、水面変動はほぼ一定速度で下流側に伝播している。

Case-c では、Case-a で見られる激しい水面変動はなくなり、水面変動の極値が上流側に伝播していることがわかる。Case-f では、水面変動は他の Case に比べて小さくなり、空

間スケールが凹部長さのスケールで、時間スケールが約 $1(\text{sec})$ で変動している。以上より、フルード数 Fr_{-120} が減少するに従い、水面変動の振幅は小さくなり、変動の時空間スケールは大きくなることがわかる。

図-6 に、Case-a における主流-凹部境界 ($z=0.15\text{cm}$) での x 方向流速変動成分 $u'(\text{cm/sec})$ の時間-空間平面分布を示す。流速変動は、下流側にほぼ一定速度で伝播している。その伝播速度は、水面変動成分(図-5(a))とほぼ等しく、水面変動と主流-凹部境界での流速変動には相関があることが推察できる。

〈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.
2) Leu JG and Lu W: A growing process to extract image edges, Hybrid Image and Signal Processing IV, Proc. Of SPIE, vol. 2238, pp. 218-228, 1994.

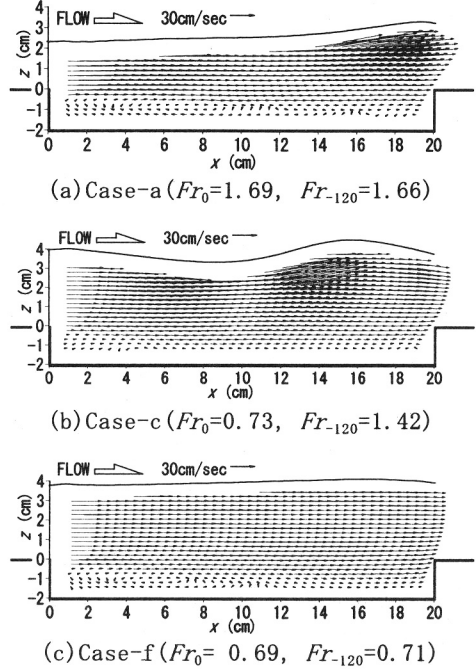


図-4 平均水面高さと平均流速ベクトル

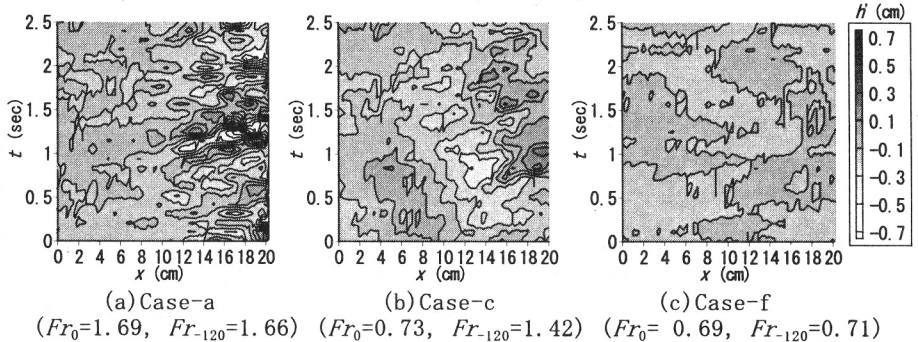


図-5 時間-空間平面での水面変動

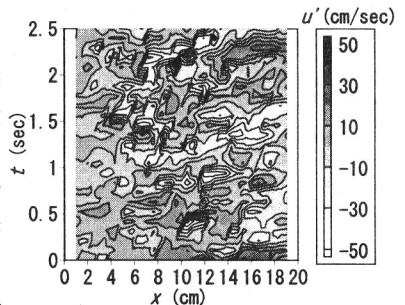


図-6 流速変動成分 u' の分布 ($z=0.15\text{cm}$)