

開水路側壁凹部流れの水面・流速変動特性と 開口部形状の効果

禰津家久¹・鬼束幸樹²・高橋俊介³・乙志和孝⁴

¹フェロー会員 工博 京都大学大学院教授 環境地球工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 博(工) 九州工業大学工学部助手 建設社会工学科(〒804-8550 北九州市戸畠区仙水町1-1)

³正会員 修(工) 横浜市役所(〒231-0017 横浜市中区港町1-1)

⁴正会員 住友金属工業株式会社(〒314-0014 鹿島市光3番地)

アスペクト比が5の凹部流れにおいて、凹部と主流部との境界部に仕切板を設けることで5つのタイプの流れを作成し、PIV、レーザー流速計および超音波波高計を用いて流速変動および水面変動を計測した。仕切板がない場合は、渦の通過に伴う凹部側と主流側における水面変動は位相であるが、仕切板が長い場合は、凹部内で渦は定的に存在し、凹部と主流部との流体混合は活発でなく、水面変動もランダムである。一方、仕切板が短い場合は、主流部から凹部に向かって高速流体塊が間欠的に流入し、水面が凹部で上昇し主流部で下降する。統いて、凹部の低速流体塊が主流に放出することで凹部の水深が減少し、主流部では増加する。こうした運動がセイシュと共に鳴ることで、周期的な現象となっている。

Key Words : coherent vortex, water surface fluctuations, side-cavity open-channel flow, seiche, PIV, LDA

1. はじめに

複断面開水路流や片断面に植生を有する開水路流においては、鉛直方向の回転軸をもつ大規模な水平渦が発生する。池田ら^{1), 2)}は複断面流れの乱流計測をレーザー流速計(LDA: Laser Doppler Anemometer)とホットフィルム流速計を併用して行うと共に、容量式波高計を用いて水面変動を計測した。その結果、大規模水平渦の通過に伴う主流部と高水敷との間の運動量交換特性を明らかにした。禰津ら³⁾は複断面流れに発生する水平渦をPIV(Particle Image Velocimetry)を用いて計測し、水平渦がかなり凍結乱流的に移流していることを示した。一方、水路側壁付近に植生を有する開水路流に関しては、せん断不安定によって水平渦が発生することが池田ら⁴⁾によって明らかにされ、禰津ら⁵⁾によるPIV計測によって渦の移流速度と流速とがほぼ一致すること、さらに、Nezu *et al.*⁶⁾によって水面変動と流速変動との時空間相関係数が求められ、水面が上下する際に、開水路内部では極めて3次元的な流れとなることが示された。このように、開水路流において、水平渦による水面変動は乱流特性に影響を与える、また、この乱流特性が渦構造に影響を及ぼすと言ったフィードバックを引き起こしている。こうしたメカニズムは水路側壁に凹部を有する流れにも該

当する。水路側壁に凹部がある場合、主流と凹部との間にせん断不安定に起因する渦が発生する。中川ら⁷⁾はアスペクト比 L/B_w (ここに、 L は凹部の流下方向長さ、 B_w は凹部の奥行き幅) が3の場合について、2成分電磁流速計を用いて流下および横断方向流速を計測すると共に、ウォーターブルームを流れに挿入し、その様子をビデオカメラによって撮影した。その結果、流速変動のスペクトルピークから求められる周期と可視化から求められる渦の周期とが一致することを明らかにした。池田ら⁸⁾は連続水制を実験水路に設置し、凹部内および主流部における水面変動を容量式波高計を用いて計測し、アスペクト比 L/B_w が1および2の場合は、水面変動のスペクトルピークから求められる周期が流下方向にあまり変化しないが、アスペクト比 L/B_w が3~7のケースでは周期が流下方向に増加することを見いだした。これは、渦が移流に伴い合体するためと述べている。こうしたアスペクト比の違いによる渦の挙動の変化は禰津ら⁹⁾のPIV計測やMuto *et al.*¹⁰⁾の紙トレーサーを用いた計測によっても明らかにされている。一方、木村ら¹¹⁾⁻¹³⁾はアスペクト比が1.5の凹部流れにおいて、水面変動の周期がセイシュ周期の値あるいはその2倍の値と一致することを指摘し、さらに水面変動強度がフルード数の増加に伴い大きくなることを明ら

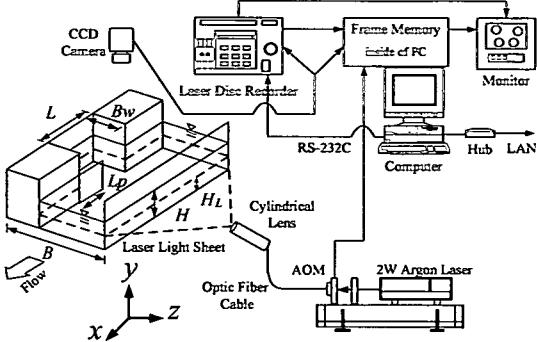


図-1(a) PIV 実験装置

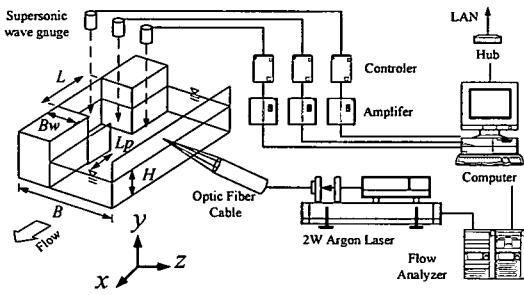


図-1(b) LDA 実験装置

かにした。

上述の側壁凹部を有する流れの研究では、凹部形状が矩形である。ところが、実河川におけるわんど形状は多種多様であり、矩形に近いものはむしろまれと言つていい。例えば、木曽川の16kmから18kmの領域では水制の付け根から一つ下流の水制先端を結ぶ対角線を水際境界とするような土砂堆積が観察される¹⁴⁾。同じく木曽川の23kmから25km付近には水制先端を結ぶライン上に、流下方向に長軸をもつ細長い陸域が存在している¹⁵⁾。この陸域のあるものはわんど内の上流付近に一部開口部を有し、またあるものは下流付近に開口部を有している。わんどが存在することによる流水抵抗あるいはわんどが河川環境に及ぼす影響を解明するには、こうした様々な形状を有する流れの水理特性を調べることがその第一歩となる。本研究では、木曽川23km～25km付近に観察されるような開口部付近に土砂堆積を有する特徴的な流れに着目し、その水理特性を解明することを目的とする。そのため、実験水路の側壁に凹部を作成し、その開口部付近に仕切版を設置することで上述のような流れを再現した。この水路において、超音波波高計を3台用いて水面変動を計測すると共に、LDAおよびPIVを用いて大規模渦構造を計測し、両者の相互作用の解明を試みた。

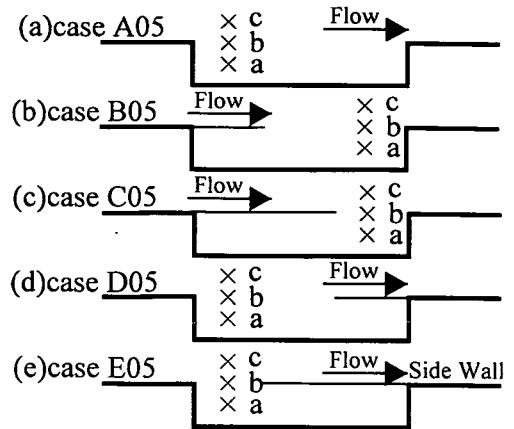


図-2 各ケースの仕切板の位置

表-1 実験条件

case	H cm	Bw cm	L cm	L/Bw	Lp cm	Lp/L	Fr
A05					-	-	
B05					6.7	1/3	
C05	4.0	4.0	20.0	5.0	13.3	2/3	
D05					6.7	1/3	
E05					13.3	2/3	

2. 実験装置および実験条件

実験に用いた水路は、長さ10m、全幅35cmの可変勾配型循環式直線水路である。この水路の右岸側には図-1に示すように、凹部が設置されている。ここに、 $B_w=4.0\text{cm}$ は凹部の奥行き幅、 $L=20.0\text{cm}$ は凹部の流下方向長さ、 H は水深、 B は水路幅である。流下方向に x 軸を、 x 軸と垂直上向きに y 軸を、横断方向に z 軸をとり、それぞれの原点を開口部開始端、底面、開口部側壁とした。瞬間流速をそれぞれ、 $\tilde{u}(t) \equiv U + u(t)$ 、 $\tilde{v}(t) \equiv V + v(t)$ 、 $\tilde{w}(t) \equiv W + w(t)$ 、時間平均流速を U 、 V 、 W 、乱れ強度を u' 、 v' 、 w' とした。開口部に、厚さ2mm、長さ L_p のアクリル製の仕切板を設置した。仕切板の設置位置およびその長さを図-2および表-1に示す。波高計の流下方向位置は、ケースA05、D05、E05では $x/B_w=1.0$ で、ケースB05、C05では $x/B_w=4.0$ とした。一方、横断方向位置はa、b、c点でそれぞれ $z/B_w=1/4$ 、 1 、 $7/4$ とした。

図-1(a)に示すようにPIV計測によって凹部内部および主流部の瞬間流速(\tilde{u} , \tilde{w})が計測された。2Wのアルゴンイオンレーザーよりレーザー光線が発信し、光ファイバーケーブルおよびシリンドリカルレンズを通して、厚さ2mmのレーザーライトシート

(LLS) が得られ、水路側壁の半水深位置 ($y/H = 0.5$) に照射される。このとき、照射された領域の一部(約20cm × 20cm)を水路上部に設置された CCD カメラによって撮影し、レーザーディスクに画像データが保存される。微小時間間隔の2枚の画像を得るために、本実験では CCD カメラのシャッターは常時開放し、コンピュータ制御による AOM によって、レーザー光線をパルス状に発射させた。AOM のシャッター時間間隔は流れの状態によって変化させ、0.01～0.02sとした。本システムでは NTSC 規格が用いられており、得られた処理空間は横512ピクセル、縦480ピクセルの解析空間に写像され、濃度相関法より流速値が算出される。なお、トレーサー粒子として、スチレン・ジビニルベンゼン系のハイポーラスポリマー¹⁶⁾を用いた。この粒子は比重が1.01と非常に水に近く、粒径が75～100 μm であるため乱流運動への追従性がよい。また、図-2 の×印で示された a 点(凹部)、b 点(境界部)および c 点(主流部)に非接触型の超音波波高計をそれぞれ設置し、水面変動を3点同時計測した(図-1(b)参照)。これと同時に、水面変動計測点の半水深位置 ($y/H = 0.5$) に2成分のレーザー流速計(LDA)をセッティングし、(\tilde{u}, \tilde{v})の流速変動を同時計測した。

表-1に実験条件を示す。ケース名に含まれる数値「05」はアスペクト比を表したもので、補津ら^{9),17)}の行った仕切版のない矩形わんどの実験ケース名と対応させてている。 $Fr \equiv U_m / \sqrt{gH}$ はフルード数、 U_m は流入断面における平均流速である。水路床勾配はほぼ等流となるように1/2500とした。ここでフルード数 Fr を0.49とした理由は次の通りである。木村ら¹¹⁾⁻¹³⁾はアスペクト比が1.5の場合、凹部内に流下方向に波長をもつセイシユが発生し、その振幅がフルード数の関数であることを実験および理論の両面から証明している。彼らの結果によると、フルード数が0.5付近でセイシユの振幅が極小となる。一方、後述するように、本実験では流下方向ではなく、横断方向に波長をもつセイシユが観察された。仮に横断方向と流下方向のセイシユが同時に発生したとすると、現象が極めて複雑となり、得られた結果の要因を特定することが困難となる。そこで、流下方向に波長をもつセイシユの発生を極力抑えるため、本実験ではフルード数を0.49とした。

3. 実験結果および考察

(1) 瞬間流速ベクトル

図-3に瞬間流速ベクトルを示す。ケース A05では

凹部と主流との境界部付近に水平渦が発生し、それが移流していく様子が観察される。渦径は流下方向に増加傾向にある。これは、周囲流体を連行するためと考えられる。

ケース B05では仕切板よりも下流側の凹部内に渦が発生している。渦の挙動は非定常的で、流体塊が凹部と主流部との間で交換されている様子が観察される。

ケース C05では、凹部の開口部付近に渦が発生していること、また、その渦があまり時間的に変化せずに定常的に存在していることがわかる。最近、補津ら^{9),17)}はアスペクト比が2, 3, 5および10の凹部流れを PIV および LDA を用いて計測し、アスペクト比が3以下では渦は定常的であり、その規模およびパターンはほとんど変化しないが、アスペクト比が5以上では流れが非定常的に変化することを明らかにした。C05は仕切板背後の部分がほぼ死水域となっていることから、この部分を除いてアスペクト比を考えると1.7となり、補津ら^{9),17)}の述べた定常的なケースに属する。

ケース D05では大規模な流体塊が主流から凹部へ、そして逆に凹部から主流へと流れ込んでいる様子が明確にとらえられている。そのため、仕切板以後の流れは流下方向に振動している。

一方、E05においては、境界部の流れは C05 より時間変化が大きいが、凹部内の渦は定常的である。B05および D05は境界線上($z/B_w = 1.0$)において明らかにマクロな2次元連続式を満たしていない。つまり、境界線上における横断方向流速を流下方向に積分したものがゼロとはなっていない。これは、後に示す水面変動によって説明される。このような挙動は閉管路ダクトでは見られず、開水路特有の現象であり注目に値する。

(2) 流速変動特性

図-4に LDA 計測によって得られた流下方向流速変動成分 $u(t)$ の自己相関係数 $C_{uu}(\tau)$ を示す。 $C_{uu}(\tau)$ は次式で定義される。

$$C_{uu}(\tau) = \frac{\overline{u(t) \cdot u(t+\tau)}}{u^2} \quad (1)$$

ここに、 τ は遅れ時間である。仕切板の短いケースの B05および D05では、凹部内部(a 点)および主流部(c 点)において、明確なセカンドピークが見られる。これらのピーク時間はいずれも1.2s程度となっている。つまり、B05および D05の流速変動はランダムではなく、かなり周期的な変動でありその変動周期が1.2s程度であることを表している。一方、

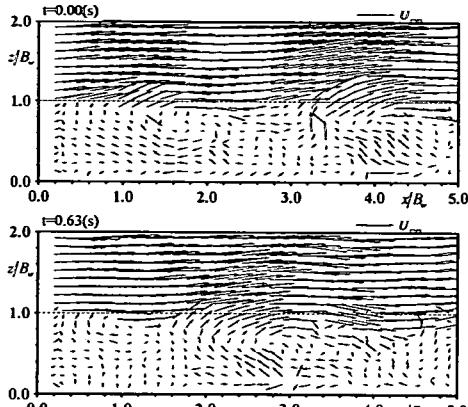


図-3(a) 瞬間流速ベクトル(A05)

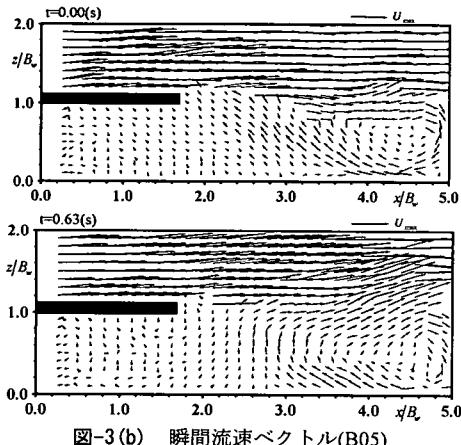


図-3(b) 瞬間流速ベクトル(B05)

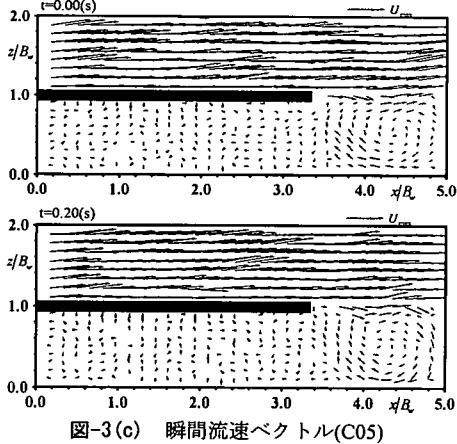


図-3(c) 瞬間流速ベクトル(C05)

E05の凹部内(a点)では0.4s程度の短周期が確認され、C05では明確な周期性は確認できない。すなわち、仕切板が長い場合では、仕切板の張り出し方向が上流側である時は(E05)、上流からの流れが仕切板端部にぶつかることで横断方向の流向が交互に正と負

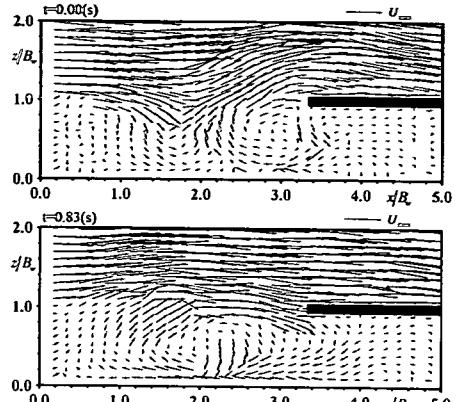


図-3(d) 瞬間流速ベクトル(D05)

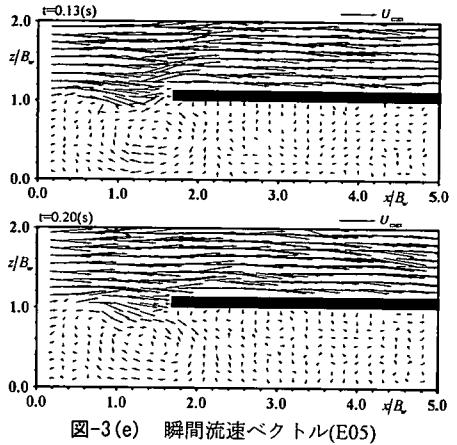


図-3(e) 瞬間流速ベクトル(E05)

の値をとり、周期的な運動となるが、仕切板が下流方向に張り出している時は(C05)、かなり定常的な流れとなる。また、仕切板のないA05ではピーク値は低いものの、凹部内で0.83s程度の周期が確認される。この周期は上流で発生・発達する渦の発生周期を目視によって評価した値とほぼ一致する(図-3参照)。

(3) 水面変動特性

図-5に水面変動の時系列を示す。B05およびD05といった開口部の広い場合において、凹部(a点)および主流部(c点)で周期性がきわめて高く、サイン波的な挙動となっていることがわかる。また、両点でほぼ逆位相となっていることが特徴的である。つまり、凹部内で水深が増加するときに主流側の水深が減少し、逆に凹部内で水深が減少するときは主流側の水深が増加している。境界部(b点)では振幅が凹部(a点)および主流部(c点)のものよりも小さく、挙動がかなり複雑となっている。一方、C05および

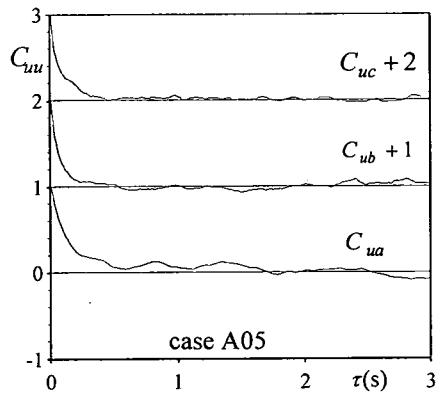


図-4(a) 流下方向流速変動の自己相関係数(A05)

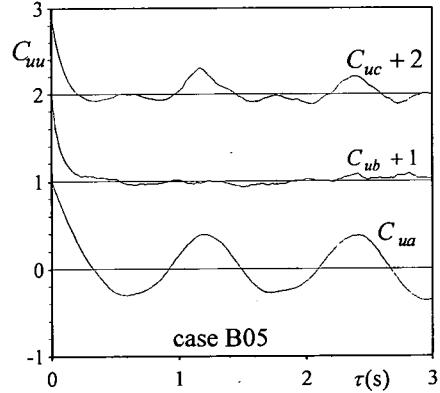


図-4(b) 流下方向流速変動の自己相関係数(B05)

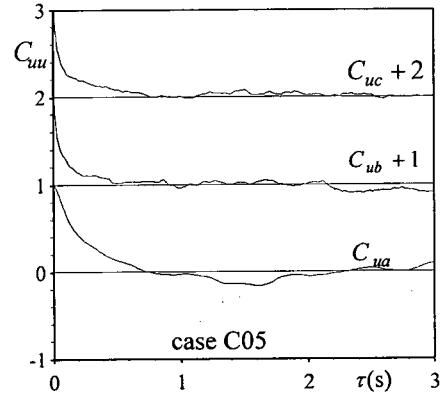


図-4(c) 流下方向流速変動の自己相関係数(C05)

E05といった開口部が狭い場合の変動振幅は、広い場合に比べかなり小さく、また、周期的な変動も顕著ではない。仕切板のない A05に関しては、振幅が仕切板の短いケースよりも小さいが、周期的な変動となっている。

図-6に水面変動のスペクトルを示す。仕切板のない A05の境界部および凹部内では、ピーク値は低いものの卓越周波数が1.2Hzであることが確認できる。これを周期に換算すると0.83sとなり、流速変動の

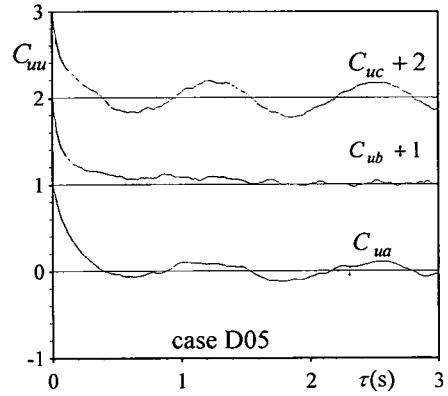


図-4(d) 流下方向流速変動の自己相関係数(D05)

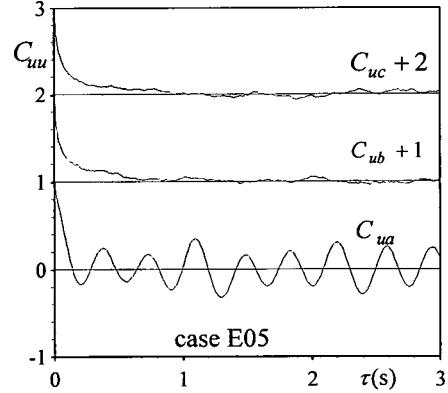


図-4(e) 流下方向流速変動の自己相関係数(E05)
(b, c点ではそれぞれ順に1.0づつ縦軸の位置を上方へ移動させている)

自己相関で得られた流速変動周期(図-4)と一致する。開口部が広い B05では凹部内および主流部では極めて顕著なピークが確認されるのに対し、境界部では明確なピークは見られない。D05については、境界部でもピーク特性が観察されるが、凹部および主流部の方がかなり大きな値を示している。これらのことは、開口部が広い場合、凹部および主流においては水面変動はかなり周期的であるが、境界部ではその傾向が小さいことを示している。また、ここで得られる卓越周期は流速変動の自己相関で得られたものとほぼ一致し、流速変動と水面変動との間に相関があることを示している。

(4) 流速変動と水面変動との相関特性

PIV 計測によって、流下方向流速 \tilde{u} および横断方向流速 \tilde{w} が計測され、LDA 計測によって流下方向流速 \tilde{u} 、鉛直方向流速 \tilde{v} および水面変動 \tilde{h} が計測される。そこで、両者のデータから流れの3次元性について考察する。図-7に LDA 計測および PIV 計測

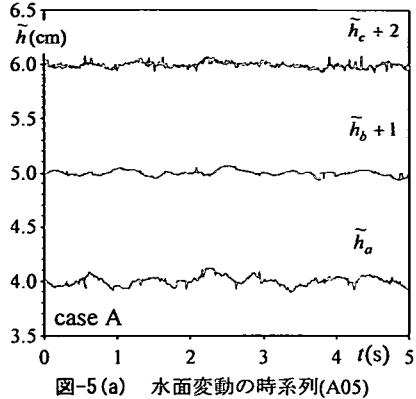


図-5(a) 水面変動の時系列(A05)

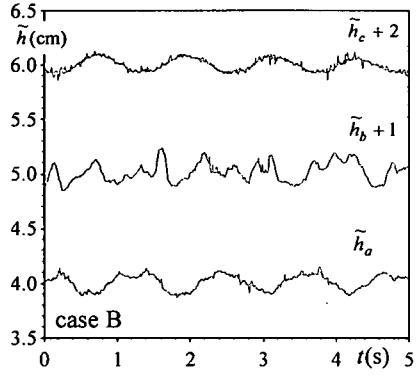


図-5(b) 水面変動の時系列(B05)

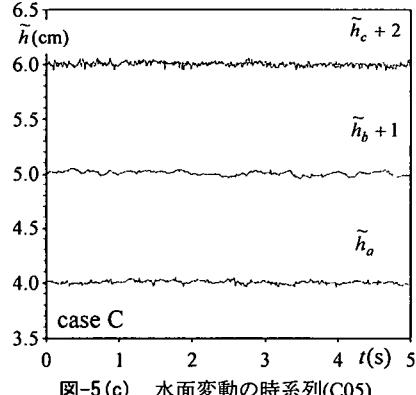


図-5(c) 水面変動の時系列(C05)

によって得られた B05 の a 点における流速および水面変動の時系列の一例を示す。波高計測結果から、水面変動 \tilde{h} と主流方向流速変動 \tilde{u} とがほぼ逆位相となっていることが観察される。つまり、凹部の水面が上昇する際には主流速が減少し、水面が下降する際には主流速が増加することを意味する。一方、PIV 計測結果に着目すると、主流速が増加したときに横断方向流速変動 \tilde{w} が負となり、またその逆の現象も観察される。こうした結果はケース D05 にも見られた。すなわち、開口部が広い場合、主流部から高速流体が凹部に侵入するときに主流側の水面が下

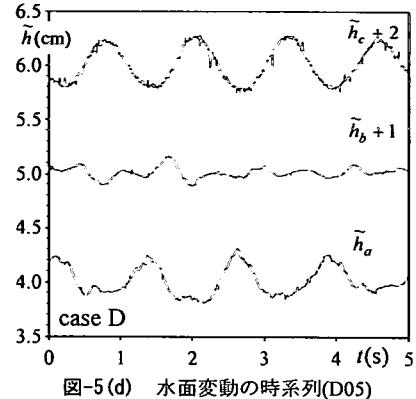


図-5(d) 水面変動の時系列(D05)

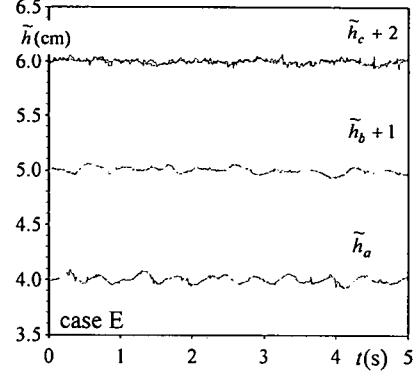


図-5(e) 水面変動の時系列(E05)

(b, c 点ではそれぞれ順に 1.0 づつ縦軸の位置を上方へ移動させている)

降し、逆に凹部内の水面が上昇する。続いて、凹部から主流部へ流体が放出されるときに凹部での水面が下降し、主流部での水面が上昇する。仕切板の短いケースではこのような現象が周期的に生じているといえる。ただし、こうした組織運動は仕切板の長いケースでは観察されなかった。最近、福津ら⁹⁾はアスペクト比が 2, 3, 5 および 10 の開水路凹部流れを PIV によって計測し、アスペクト比が 2 および 3 の場合は、凹部に発生する渦が時間的にほとんど変化せず定常的であるが、アスペクト比が 5 および 10 の場合は、凹部と主流との間に行われる流体混合が非定常的となることを指摘した。本実験の場合、仕切板の部分を除いた開口部のみでアスペクト比を考えると、B05 および D05 ではアスペクト比が 3.3 で、C05 および E05 では 1.7 となる。したがって、仕切板の短いケースの方が長いケースよりも非定常的となったと考えられる。

表-2に a 点、b 点および c 点における水面変動の RMS 値 h' および a 点と c 点における水面変動の相互関係 $\overline{h_a h_c}$ を示す。

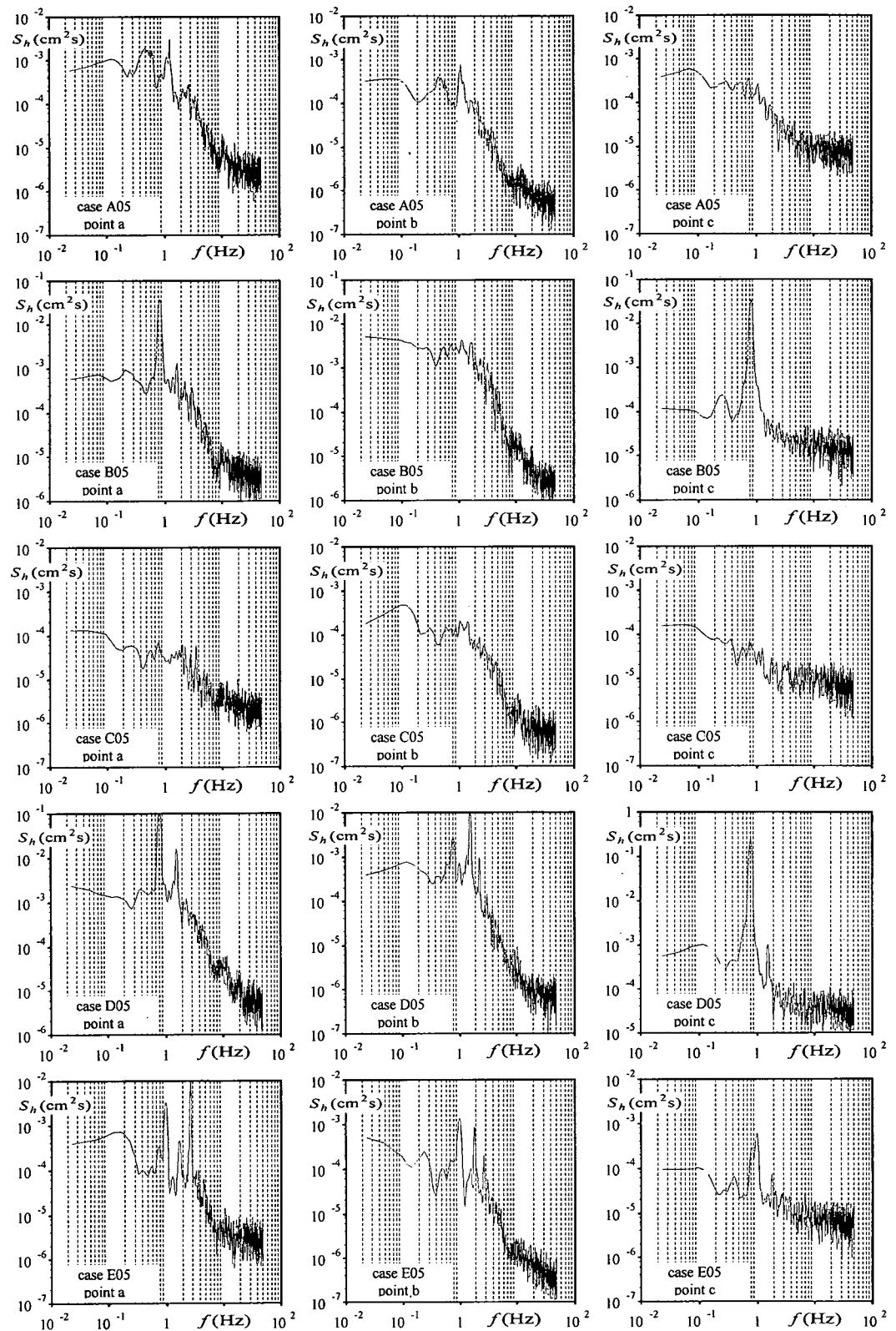


図-6 水面変動スペクトル(上段よりケース A05, B05, C05, D05およびE05 : 左より凹部, 境界部および主流部)

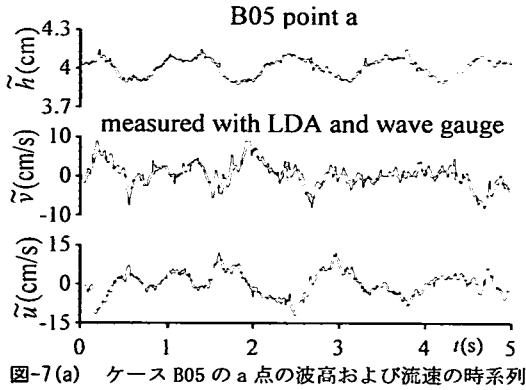


図-7(a) ケース B05 の a 点の波高および流速の時系列

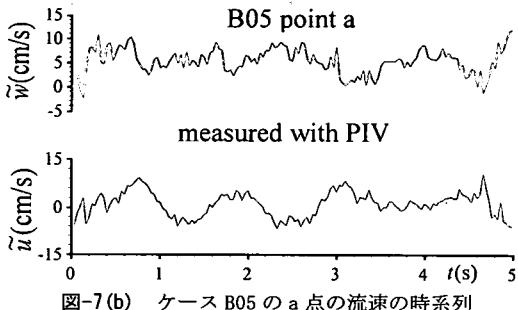


図-7(b) ケース B05 の a 点の流速の時系列

表-2 波高変動強度と相互相関

Case point	$h' \times 10^2$ cm	$\overline{h_a h_c} \times 10^3$ cm ²
A05-a	2.69	0.13
A05-b	2.31	
A05-c	2.68	
B05-a	6.87	-2.71
B05-b	8.80	
B05-c	6.27	
C05-a	1.62	0.03
C05-b	1.70	
C05-c	2.07	
D05-a	14.3	-18.4
D05-b	5.36	
D05-c	17.0	
E05-a	4.55	-0.01
E05-b	3.48	
E05-c	2.79	

$$\overline{h_a h_c} = \frac{1}{T} \int_0^T h_a(t) \times h_c(t) dt \quad (2)$$

T はサンプリング時間である。ここでは各ケース間の強度を比較するため、相互相関 $\overline{h_a h_c}$ を無次元化していない。同表より、 h' に関しては仕切板の短いケース B05 および D05 の値が仕切板の長い C05,

E05 および仕切板のない A05 の値よりもかなり大きいことがわかる。一方、相互相関 $\overline{h_a h_c}$ に着目すると、仕切板の長いケースでは、ほぼ無相関であるのに対し、仕切板の短いケースでは負の高い相関が見られる。また、仕切板のない A05 では若干の正の相関が認められる。

仕切板の短いケースでは主流と凹部の水面変動がほぼ逆位相であり、その挙動がサイン波的であることがわかったが、こうした運動はセイシュに類似している。そこで、本実験で得られた水面変動周期とセイシュによる周期とを比較する。セイシュの周期 T_s は次式で与えられる¹⁸⁾。

$$T_s = \frac{2\pi}{\sqrt{2\pi g/\ell \cdot \tanh(2\pi h/\ell)}} \quad (3)$$

ここに、 ℓ は波長である。目視によって水路側壁で腹、水路中央部付近で節となるモードが観察されたので、波長 ℓ を水路幅の 2 倍とし式(3)を計算すると、 $T_s = 1.14s$ となった。この周期は、仕切板の短いケースにおける流速変動および水面変動周期(約 1.2s)とほぼ一致し、組織運動がセイシュに起因していることが裏付けられる。開水路凹部内でのセイシュの発生は、木村ら¹¹⁾⁻¹³⁾によつても既に報告されているが、彼らの観察したセイシュは凹部内の流下方向に対する水面振動であるが、本研究でのセイシュは、水路横断方向のセイシュであることが特徴である。これらの相違に関してはさらに今後詳細に検討する必要がある。

4. おわりに

アスペクト比が 5 の開水路凹部流れにおいて、主流と凹部との境界部に仕切板を設けることによって 5 つのタイプの凹部を作成し、そこに発生する組織渦を PIV および LDA によって計測した。また、3 台の超音波波高計を設置することによって、凹部、境界部および主流部における水面変動の挙動を同時計測した。その結果、図-8 に示すような組織構造が存在することが解明された。すなわち、仕切板のないケース(A05)では、主流が凹部にさしかかると、主流と凹部間に発生するせん断不安定性によって渦が発生し、それが流下と共に徐々に周囲流体を取り込むことによってスケールを増大させる。このとき、渦の通過に伴う境界部と主流部の水面変動は同位相である。仕切板の長いケース(C05, E05)では、開口部が狭いために凹部内の渦が定常的となり、水面変化も小さくかつランダムである。ただし、仕切板が

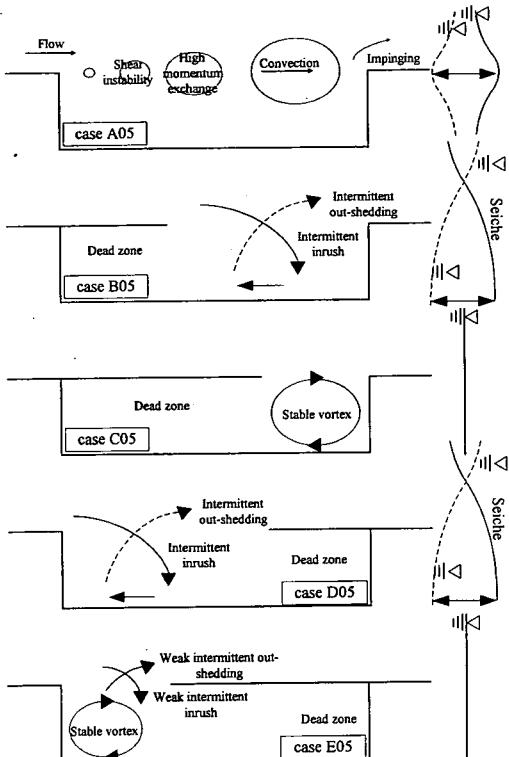


図-8 仕切板を有する凹部の構造

上流側に向いている場合は、流れが仕切板の先端にぶつかることで流れの向きが不安定となり、若干この付近で水面変動が周期的となる。一方、仕切板の短いケース(B05, D05)では周期的に主流から大規模な流体塊が凹部に流れ込み、これに伴い主流部での水面は低下し、凹部内では流れ込んだ流体が凹部の側壁にぶつかることで盛り上がる。続いて、凹部の水面が下降しながら凹部内の低速流体塊が主流部へと流出される。このとき主流側の水面は上昇する。こうした組織的な運動がセイシュと共振することによって、極めて周期的に発生しているといえる。以上のようなダイナミックな挙動は目視によっても明確に確認された。ただし、本計測では3点の波高しかとらえられておらず、セイシュの節の位置を断定にするには至っていない。今後、水深挙動の横断方向変化を検討する必要がある。また、セイシュは湖などでは観察されるが、実河川のわんどで観察されたという報告は現在のところ存在しないと考えられ、本実験で得られた組織運動が実河川でも生じているかを現地計測によって確認したい。

参考文献

- 池田駿介, 村山宜義, 空閑健: 複断面開水路水平渦の

安定性とその3次元構造, 土木学会論文集, 第509号, pp.131-142, 1995.

- 池田駿介, 空閑健: 直線複断面開水路流れに発生する大規模水平渦列の安定性と運動量輸送に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.558/II-38, pp.91-102, 1997.
- 福津家久, 鬼東幸樹, 相良幸輝, 池谷和哉: かぶり水深の変化が複断面開水路流れの組織渦に及ぼす影響に関する研究, 土木学会論文集, No.649/II-51, pp.1-15, 2000.
- 池田駿介, 太田賢一, 長谷川洋: 側岸部植生境界の周期渦の発生機構, 土木学会論文集, No.443/II-18, pp.47-54, 1992.
- 福津家久, 鬼東幸樹, 定免英樹, 相良幸輝: 水路片断面に水没した植生を有する開水路流の組織渦と乱流特性に関する研究, 土木学会論文集, No.628/II-48, pp.65-76, 1999.
- Nezu, I., Onitsuka, K. and Iketani, K.: Interaction between the surface fluctuations and velocity fluctuations in a partly vegetated open-channel flow, *Proc. of 12th Congress of APD-IHHR*, pp.301-310, 2000.
- 中川研造, 河原能久, 玉井信行: ワンド内の流れの水理特性に関する実験的研究, 水工学論文集, 第39巻, pp.595-600, 1995.
- 池田駿介, 吉池智明, 杉本高: 不透過水制群を有する流れの構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第43巻, pp.281-286, 1999.
- 福津家久, 鬼東幸樹, 池谷和哉: PIVを用いた開水路凹部流れにおける水平渦構造の解析, 土木学会論文集, No.677/II-55, pp.53-61, 2001.
- Muto, Y., Imamoto, H. and Ishigaki, T.: Velocity measurements in a straight open channel with a rectangular embayment, *Proc. of 12th Congress of APD-IHHR*, pp.353-362, 2000.
- 木村一郎, 細田尚, 友近文志: 死水域を伴う開水路流れの非定常振動特性, 水工学論文集, 第38巻, pp.425-430, 1994.
- 木村一郎, 細田尚, 村本嘉雄, 安永良: 開水路流れにおける死水域内の流体振動に及ぼす水理パラメータの効果, 水工学論文集, 第39巻, pp.779-784, 1995.
- 木村一郎, 細田尚, 安永良, 村本嘉雄: 開水路流れ死水域周辺の水面振動・流体混合特性, 水工学論文集, 第41巻, pp.711-716, 1997.
- 山下洋平, 伊藤昭文, 武田誠, 松尾直規: 木曽川ワンド群の堆積状況の支配的要因に関する研究, 平成12年度土木学会中部支部研究発表会, II-52, 2001.
- 建設省木曽川下流工事事務所: 写真集・空から見る木曽川三川下流, p.24, 1997.
- 三菱化学株式会社編: ダイヤイオンI基礎編, p.125, 1996.
- 福津家久, 鬼東幸樹, 高橋俊介: 開水路わんどモデル内の乱流特性と組織渦, 土木学会論文集, No.684/II-56,

pp.11-20, 2001.

18)たとえば、福津家久、富永晃宏：水理学、朝倉書店、
p.280, 2000.

(2001. 6. 26 受付)

CHARACTERISTICS OF WATER-FREE SURFACE AND VELOCITY FLUCTUATIONS IN SIDE-CAVITY OPEN-CHANNEL FLOWS WITH VARIOUS OPEN-MOUTH SHAPES

Iehisa NEZU, Kouki ONITSUKA, Shunsuke TAKAHASHI and Kazutaka OTSUSHI

Turbulence measurements in side-cavity open-channel flows with various open-mouth shapes were conducted by making use of PIV and LDA. The water-surface fluctuations in the side cavity, at the junction and in the main channel were measured simultaneously by three sets of super-sonic wave gauges. In the case of no partition plate, a vortex which was generated by the shear instability moves in the downstream. The scale of its vortex increases in the downstream. In the case of narrow open mouth, a stable vortex is generated inside of the side cavity. In contrast, in the case of wide open mouth, when a high-momentum water bulge moves from the main channel into the side cavity, the water surface moves upward in the side cavity. This semi-periodical phenomena associate strongly with seiche motions.