

PIVを用いた開水路凹部流れにおける水平渦構造の解析

瀬津家久¹・鬼束幸樹²・池谷和哉³

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) 京都大学大学院助手 環境地球工学専攻 (同上)

³正会員 修士(工) 三井造船(株) (〒134-0088 東京都江戸川区西葛西8-4-6)

PIV(Particle Image Velocimetry)を用いて水路側壁に凹部を有する流れを計測した。その結果、アスペクト比(凹部の流下方向長さ/凹部の奥行き)が3以下の場合には凹部内に比較的定常な渦が存在するが、アスペクト比の増加に伴い非定常性が強くなることが解明された。アスペクト比が5の流れでは、せん断不安定によって発生した渦が移流し、定常な渦は観察されなかった。さらにアスペクト比が10のケースでは主流部の流れが間欠的に凹部へと流入するために再付着が生じる。また、凹部出口付近における流体塊の流出現象はアスペクト比が増加すると間欠的に生じていることなどが解明された。

Key Words : coherent structures, horizontal vortices, turbulence, side-cavity open-channel flow, PIV

1. はじめに

開水路乱流にはバースト、ボイル、水平渦など様々な渦が存在する¹⁾。バーストは底面あるいは側壁の近傍におけるシアの不安定性によって発生し、ボイルは河床波からはく離れた流れが底面に再付着した後に、これがトリガーとなって鉛直方向にコルク渦が上昇することによって発生する²⁾。一方、水平渦はわんど、複断面流れあるいは側壁付近に植生を有する流れなどにおいて観察される。バーストやボイルは水深規模であるのに対し、水平渦は水路幅規模の大きさを有し、流れの特性をかなり支配している。そのため、さまざまな開水路流れにおける水平渦の特性が調べられてきた。

池田ら³⁾は水路側壁付近に植生を有する開水路流に発生する水平渦について、Rayleigh 方程式を用いた不安定解析を行い、水平渦が変曲点不安定性によって発生していることや線形安定理論で求められる水平渦の波長と実測の波長とがほぼ一致することを示した。瀬津ら⁴⁾は水路側岸部の植生密度およびフルード数を変化させ、PIV (Particle Image Velocimetry)を用いた水平面内の組織渦の瞬間構造を計測した。その結果、植生密度およびフルード数の増加に伴い植生領域と非植生領域との境界部の水面付近で発生する渦の強度が増加することを解明し

た。

複断面流れに関しては、今本・石垣⁵⁾、石垣・今本⁶⁾によって水平渦が明瞭に可視化され、低水路と高水敷との間における運動量の交換に水平渦が大きく寄与していることが明らかにされた。このような複断面流れにおける水平渦も、植生を有する流れと同様に変曲点不安定性によって発生していることが Tamai *et al.*⁷⁾、Chu *et al.*⁸⁾および池田ら⁹⁾によって明らかにされた。その後、Nezu & Nakayama¹⁰⁾は PTV (Particle Tracking Velocimetry)を用いて水平渦の移流過程を測定し、条件付き時空間相関解析および四象限区分法を用いた解析を行い、水平渦によって行われる低水路と高水敷との間の運動量交換機構を定量的に解明した。

このように、大規模水平渦の特性を明らかにするには、PIV や PTV といった可視化手法が極めて有効であるといえる。藤田¹¹⁾は実河川の水制群に円筒形のコーンスターチ(直径2cm, 長さ5~10cm)を放流し、ビデオ撮影された画像を PIV 処理することによって水平渦を明瞭に可視化している。水制あるいはわんどのように水路側壁に凹部を有する流れの特性は、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) に大きく影響を受けると考えられる。そこで、木村ら¹²⁾はアスペ

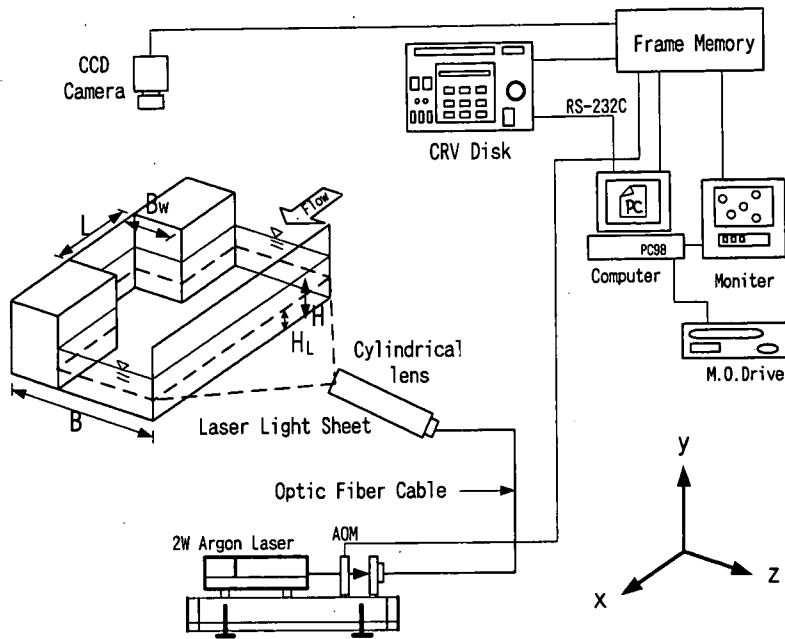


図-1 実験装置

クト比 L/B_w が1.5および2.0の流れにアルミ粉末を散布し、写真撮影することによって大規模渦を可視化し、両者の渦のパターンが極めて異なることを指摘した。中川ら¹³⁾はアスペクト比を1および3の流速分布を電磁流速計を用いて計測し、アスペクト比が1のケースでは、循環渦が一つしかできないが、アスペクト比が3のケースでは大きな循環渦とそれに誘起される小さな循環渦が発生することを示した。陳・池田¹⁴⁾は単一水制の背後から発生する渦の周期が流下に伴い増加することを明らかにし、この理由として渦が流下に伴い合体することを述べている。しかし、これらは時間平均の乱流構造あるいは定性的な瞬間構造が主であり、渦の発達・移流過程などの瞬間構造の定量評価はそれほど行われていないのが現状である。そこで、本研究においては、凹部のアスペクト比を系統的に変化させた流れを PIV を用いて計測し、凹部流れに発生する水平渦構造の解明を試みた。

2. 実験装置および実験条件

(1) 実験装置

本実験で用いた水路は、長さ10m、全幅40cm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 は凹部の奥行き、 L は凹部の流下方向

表-1 水理条件

Case	Q (l/s)	U_m (cm/s)	L (cm)	B_w (cm)	H (cm)	Fr	y/H
A02	3.00	30.0	10.0	5.0	4.0	0.49	0.50
B02	3.00	30.0	10.0	5.0	4.0	0.49	0.25
T02	3.00	30.0	10.0	5.0	4.0	0.49	0.75
A03	3.00	30.0	15.0	5.0	4.0	0.49	0.50
A05	3.00	30.0	20.0	4.0	4.0	0.49	0.50
A10	3.00	30.0	20.0	2.0	4.0	0.49	0.50

長さ、 H は水深、 H_L はレーザーライトシートの高さである。座標系としては、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、時間平均流速をそれぞれ U 、 V 、 W とし、変動成分の RMS 値を u' 、 v' 、 w' とした。

計測システムの模式図を図-1に示した。2W のアルゴンイオンレーザーよりレーザー光線が発信され、ファイバーおよびシリンジカルレンズを通過し、厚さ2mmのレーザーライトシート (LLS) が得られ、水路側壁より照射される。この時、照射された領域の一部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¹⁵⁾を用いており、得られた処理空間を横512ピクセル、縦480ピクセルの解析空間に写像して、さらに濃度相関法により流速値を算出した。なお、トレーサー粒子と

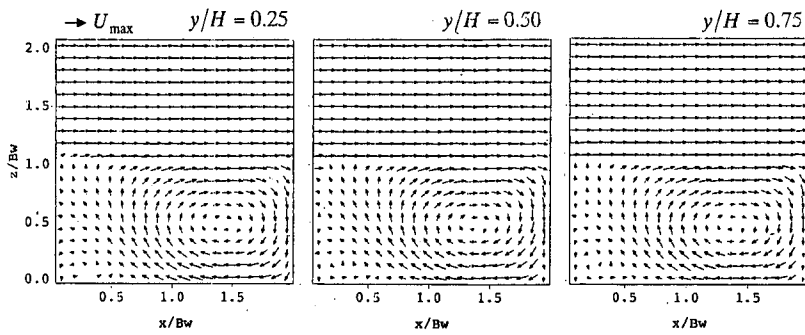


図-2 各鉛直位置における平面流速ベクトル

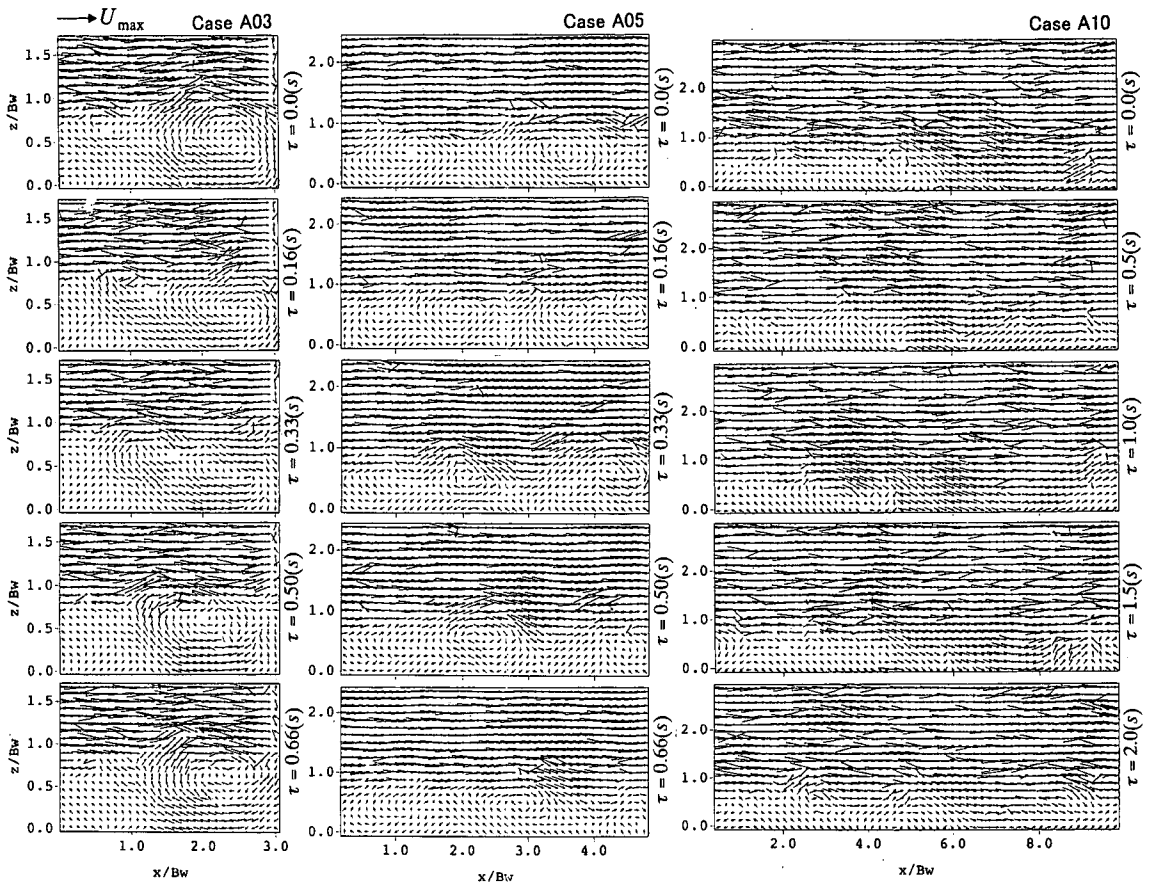


図-3 瞬間流速のベクトル(左からケース A03,A05,A10)

して、スチレン・ジビニルベンゼン系のハイポラスポリマー¹⁶⁾を用いた。この粒子は比重が1.01と非常に水に近く、また、平均粒径が75 μ mであるため乱流運動への追従性がよい。瀬津ら¹⁷⁾はこのトレーサー粒子を開水路流に注入し、本PIVシステムによって流速計測を行った。その結果、測定エリアの端部付近を除けば、PIVの測定値とレーザー Doppler 流速計の測定値とがほぼ一致することを図示

し、本PIVシステムによる計測精度が極めて高いことを示した。

(2) 実験条件

表-1に実験条件を示す。ここに、 Q は流量、 U_m は断面平均流速、 $Fr = U_m / \sqrt{gH}$ はフルード数である。水路床勾配はわんどより上流部および下流部においてほぼ等流となるように1/2500とした。なお、PIVの測定周波数は30Hzで、測定時間は60sである。

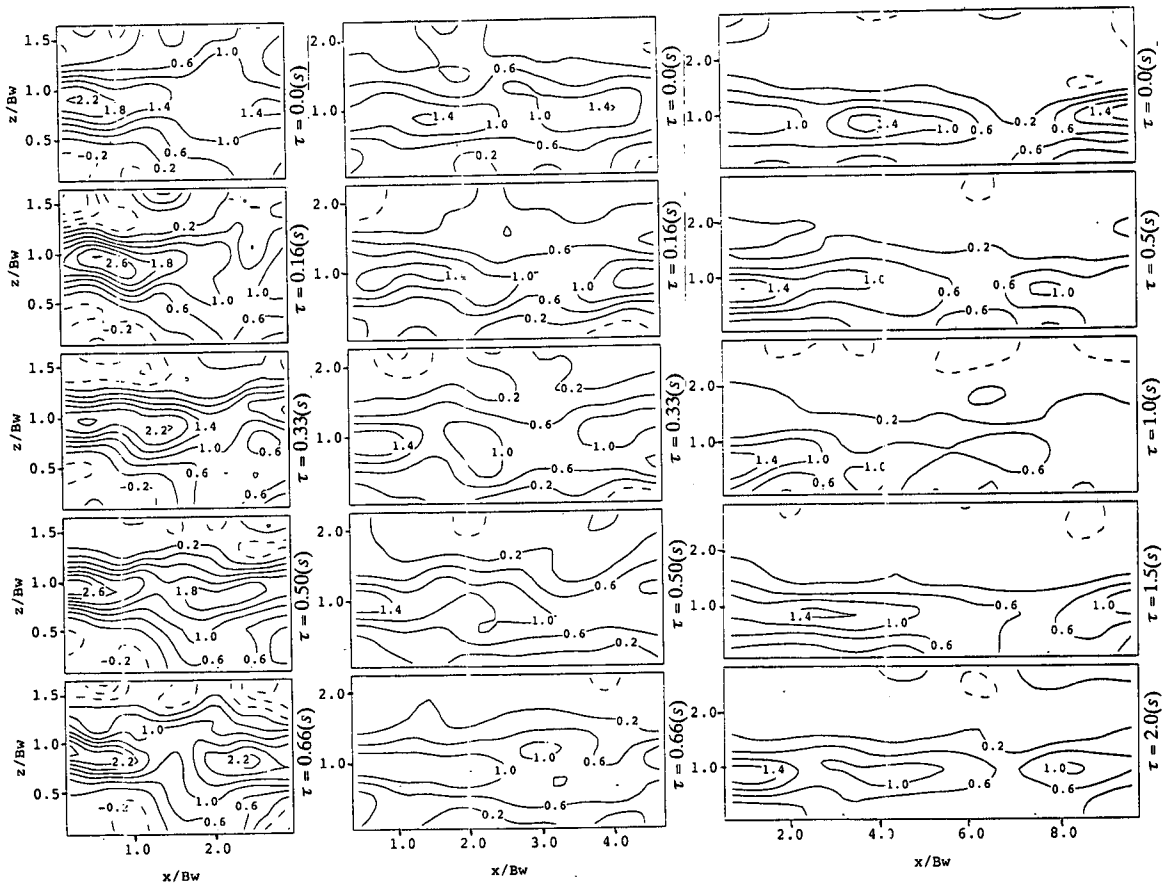


図-4 渦度(左からケース A03,A05,A10)

ケース A02, B02および T02については、同一のアスペクト比において計測断面を鉛直方向に変化させている。ケース A03, A05および A10については、レーザーライトシートの高さ H_L を半水深に固定し、アスペクト比 L/B_w を変化させている。

3. 実験結果および考察

(1) 凹部流れの3次元性

池田ら¹⁸⁾は実験水路の側壁に非越流型の連続水制を設置し、水制と主流との境界における流速を電磁流速計を用いて鉛直方向の4点について計測した。その結果、流速分布が鉛直方向に変化しており、流れが3次元的事であることを示唆した。よって、あらかじめ凹部流れの3次元性について調査する必要がある。図-2はアスペクト比 L/B_w が2.0の流れにおいて、鉛直方向に計測位置を変化させて得られた時間平均の流速ベクトル図である。左から $y/H = 0.25,$

0.50, 0.75の位置である。3つのベクトル図はほぼ同様なパターンおよび強度を有しており、流況がほぼ同一であるといえる。本実験結果は池田ら¹⁸⁾の連続水制を設置した流れの実験結果と異なる。彼らの流れでは、最も上流に位置する水制が主流を急激に縮流させることによって水はねが発生し、この水はね効果が極めて現象を支配している。しかし、本実験流れの流入部では水はねが発生しておらず、そのために相違が生じたものと思われる。よって、本実験で対象とした凹部流れにおいては、鉛直方向には河床近傍を除いてほとんど流況変化がなく、水平方向および流下方向に対しては水理量が大きく変化する2次元流れであり、水平渦が卓越した流れと考えられる。そのため、以下では半水深($y/H = 0.5$)における水理量を代表値として採用する。

(2) 瞬間ベクトルのパターン

図-3はケース A03($L/B_w = 3$)、A05($L/B_w = 5$)および A10($L/B_w = 10$)の瞬間ベクトルを時間 τ を追って

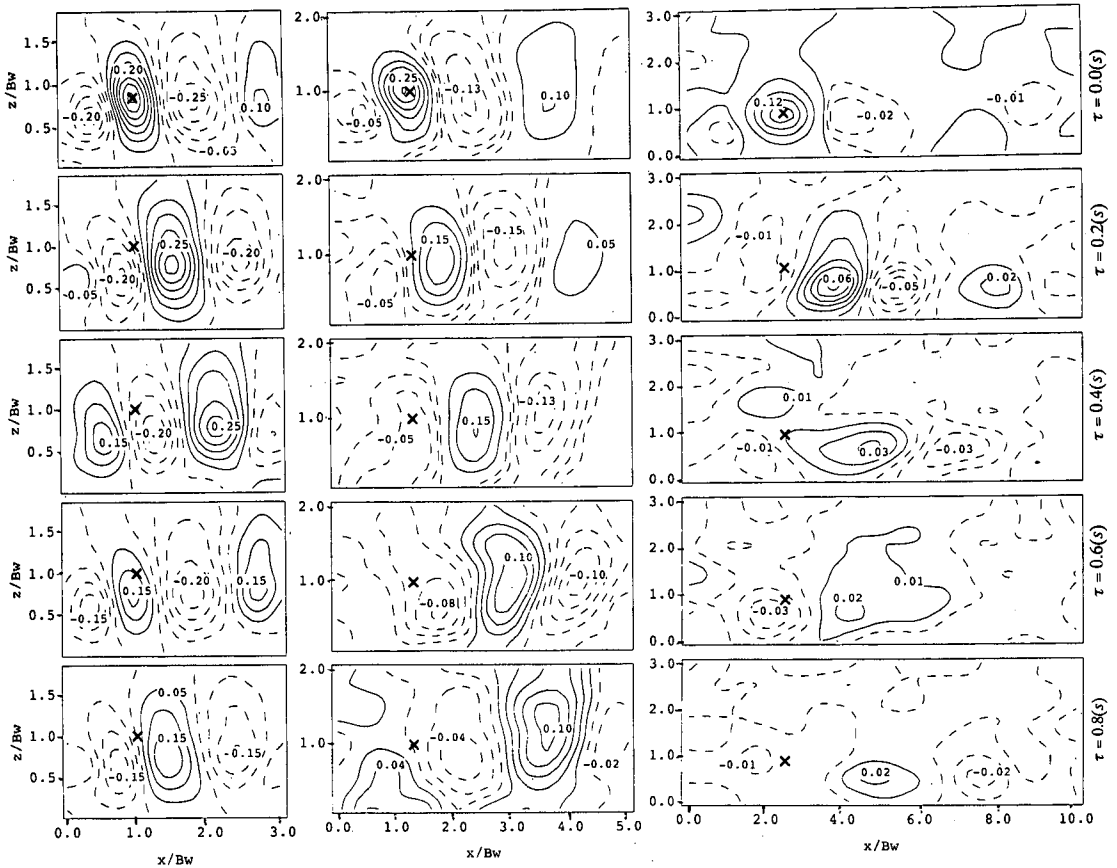


図-5 時空間相関係数 C_{ww} (左からケース A03, A05, A10)

示したものである。ケース A03に着目すると、凹部内の比較的 downstream の位置において凹部の奥行き (B_w) 規模のほぼ円形の渦が存在していることが観察される。この渦は多少位置を振動させるが、ほぼ定常的に存在している。また、主流と凹部との境界部 ($z/B_w=1.0$) の $x/B_w=1.5\sim 2.0$ 付近では定常渦によるリターンフローが主流部に入り込み(再連行)、活発に質量交換がなされている。凹部内の定常渦よりも上流側においては流速が比較的小さく、流速変動も小さいことが伺われる。ケース A02 ($L/B_w=2$) についてもケース A03と同様に定常渦が確認された。

ケース A05 ($L/B_w=5$) に着目すると、凹部入口において、主流と凹部との間のせん断不安定性(K-H不安定性)によって発生した渦が、周囲流体を連行させながら移流していく様子が観察される。また、渦が次々と発生することで、渦が隣接しながら流下していく様子も観察される。主流と凹部との境界部 ($z/B_w=1.0$) 付近においては、渦の巻き込みによって主流の高運動量塊が凹部内に入り込み、逆に凹部内

の低運動量塊が主流域に連行されている。このような非定常的な渦により、主流と凹部との間で激しく流体混合が行われている。

ケース A10 ($L/B_w=10$) に着目すると、 $x/B_w=0\sim 2.0$ 付近の領域では、境界部付近で凹部と主流部との間に流速差はあるものの、はっきりとした渦構造は観察されない。これは、まだ渦が発達段階にあることを意味すると考えられる。凹部内部においても、それほど顕著な流速変動は観察されず、死水域となっている。次に、 $x/B_w=2.0\sim 4.0$ 付近の領域では、境界部付近でときおり小さなスケールの渦が発生していることが観察される。また、その渦の中心は境界部 ($z/B_w=1.0$) よりも凹部内部に位置し、形状は円形からやや歪んでいる。さらに downstream の $x/B_w=4.0\sim 7.0$ 付近の領域では、主流部から凹部内部に間欠的に大規模な流れが流入し、再付着が生じている。この大規模な流れは凹部奥の側壁にぶつかった後にバウンドし、凹部出口付近で再び主流部へと流れ込んでいる。

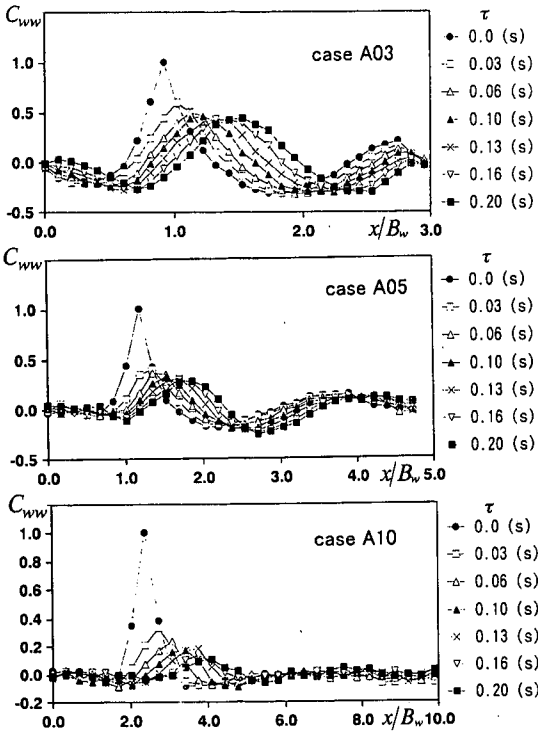


図-6 境界部における時空間相関係数 C_{wvw}

(3) 瞬間渦度のコンターの変化特性
渦度 $\omega(\tau)$ は次式で定義される。

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \quad (1)$$

図-4は各ケースにおける渦度 $\omega(\tau)$ を最大流速 U_{max} および水路幅で無次元化して表示したものである。なお、微分に際しては、3次の平滑化スプライン関数を用いた。任意性を除去するために、スプライン関数を用いる際の重みは全て等しくした。3次の平滑化スプライン関数を用いると、精度の高い微分係数を算出できることが知られている。さて、図-4においていずれのケースにおいても、凹部の入口直後の境界部付近 ($z/B_w = 1.0$) において渦度が大きくなっている。ただし、その強度はケース A03が最も強く、アスペクト比 L/B_w の増加に伴って強度が減少している。また、ケース A03のみ凹部入口直後の側壁付近において渦度が負の値を示している。これは、凹部内の比較的下流に位置する定常渦によって誘発される定常渦とは逆回転の渦の存在を示している。一方、凹部の出口の境界部付近 ($z/B_w = 1.0$) に着目すると、いずれのケースにおいても正の渦度が観察される。ケース A03では他のケースと比較するとそれほど時間的に値が変化していないのに対し、ケース

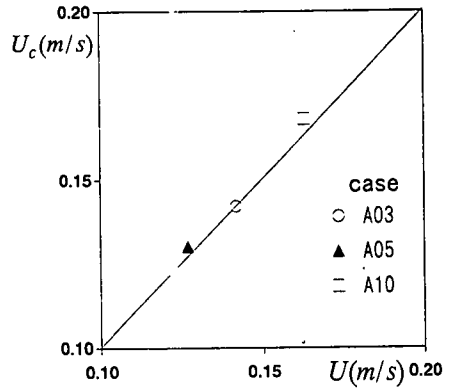


図-7 渦の移流速度と境界部における主流速との関係

A10では渦度の値がかなり変動している。これは、ケース A10では凹部から主流部へと間欠的に流れが流出していることを示し、水はねが非定常的に生じていることを表している。

(4) 時空間相関解析

時空間相関係数は、以下のように定義される。

$$C_{ii,ij}(\Delta x, \Delta y, \tau) = \frac{u_i(x, y, t) u_j(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \tau)}{u_i'(x, y) u_j'(x + \Delta x, y + \Delta y)} \quad (2)$$

ここに、 Δx 、 Δy は任意点 j の固定点 i からの距離、 τ は遅れ時間を示す。そこで、固定点 i を境界部上 ($z/B_w = 1.0$) の凹部入口からやや下流 ($x = 5\text{cm}$) として、時空間相関係数 C_{wvw} を算出し、その等値線を図-5に示す。同図において、固定点 i には \times 印を表示している。ケース A03 ($L/B_w = 3$) の $\tau = 0.0\text{s}$ に着目すると、横断方向に長軸をもつやや楕円形の等値線が観察され、符号が流下方向に交番している。 $\tau = 0.2 \sim 0.8\text{s}$ に着目すると、 $\tau = 0.0\text{s}$ に見られた等値線の規模と同規模の等値線が徐々に流下方向に移動していく様子が観察される。一般に、渦の中心より上流側と下流側とは横断方向流速が逆向きになるため、この符号の交番は渦のスケールを示しているものと考えられる。つまり、同図より渦のスケールが流下方向にほぼ変化していないので、境界部付近の流体塊がほぼ凍結乱流的に移流していくことを示すものであり、注目される。

ケース A05 ($L/B_w = 5$) では、ケース A03 ($L/B_w = 3$) と同様に、符号の交番する等値線が移流していく様子が観察されるが、遅れ時間が進むにつれて等値線の規模が大きくなっていくことが確認される。符号の異なるそれぞれの領域の大きさが渦のスケールと考えられるため、この等値線の規模の増加は、流下

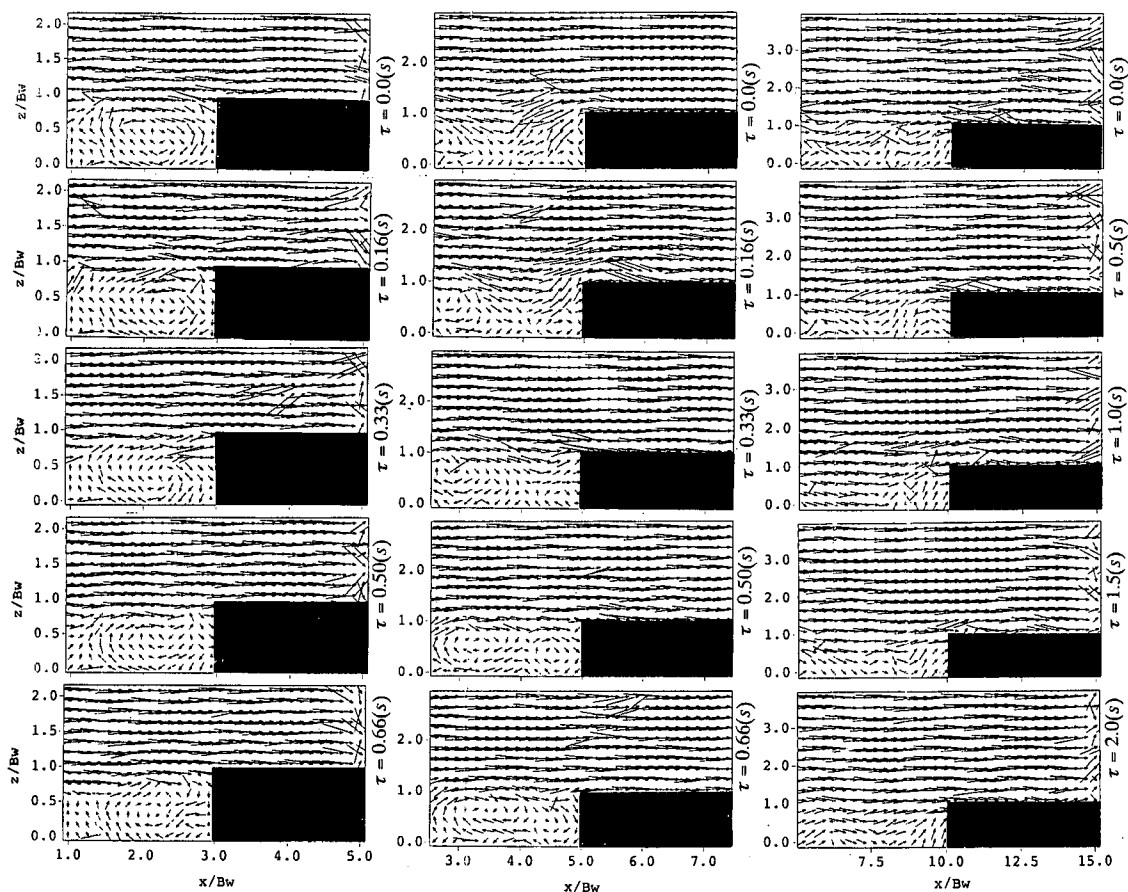


図-8 凹部出口付近の流況(左からケース A03,A05,A10)

に伴い渦径が増加することを示唆するものである。

ケース A10($L/B_w=10$)では、ケース A05で見られたような流下に伴う渦構造の増加現象がさらに顕著となる。また、 $\tau=0.2\sim 0.8s$ においては等値線の中心がやや境界部よりも凹部内部に存在している。これは、境界部付近の流れが凹部内部に入り込んでいることを意味するものである。

なお、時空間相関係数 C_{ww} においても定性的に同様な傾向が得られたが、 C_{ww} よりも全体的に相関係数が小さな分布となった。

(5) 渦の移流速度

図-6は境界部($z/B_w=1.0$)における時空間相関係数 C_{ww} を τ をパラメータとして示したものである。ケース A03($L/B_w=3$)では、遅れ時間が進んでもある程度の相関係数の値を示しているが、アスペクト比の増加に伴い相関係数が急激に減少している様子が観察される。これは、ケース A03は凍結乱流的に流れが移流しているが、ケース A05や A10では相対的

に流れ(組織渦)が変化しながら流下していることを意味している。これは、ケース A05では周囲流体を連行しながら渦が移流していること、またケース A10では間欠的に主流の流れが凹部に流入していることが原因と考えられる。

時空間相関解析を行うことで、ケース A03は凍結乱流的で、ケース A05および A10では流下に伴い渦のスケールが増加しているといった特性の相違はあるものの、いずれのケースにおいても相関値のピークの移流過程は明確に確認できた。そこで、相関のピーク値の移動速度 U_c を求め、境界部における主流速 U と比較したものを図-7に示す。いずれのケースにおいても主流速 U と渦の移流速度 U_c とがほぼ一致していることがわかる。陳・池田¹⁴⁾は単一水制先端から発生するはく離渦の移流速度 U_c を調べ、主流速 U とほぼ一致することを述べている。一方、木村ら¹⁹⁾は、アスペクト比 L/B_w が1.5でセイシュの発生している凹部では、渦の移流速度 U_c は主流速 U の約50%であると述べている。木村ら¹⁹⁾の対象

とした流れでは、渦の発生にせん断不安定だけでなくセイシュも寄与していると考えられる。一方、陳・池田¹⁷⁾の実験および本実験ではセイシュは観察されず、渦の発生がせん断不安定性によって生じているために相違が生じたものと考えられる。なお、予備実験を行った際に、わんどのアスペクト比を木村らの実験と同一の1.5にするとセイシュが観察された。つまり、アスペクト比が大きい場合はセイシュは発生しにくく、逆にアスペクト比が小さい場合はセイシュが発生しやすいと考えられるが、セイシュの発生条件に関する定量的評価については今後の課題としたい。

(6) わんどと出口付近における流況

図-8は凹部流出部付近の瞬間ベクトル図を示したものである。ケース A03($L/B_w=3$)では、凹部内部に時計回りの定常渦が存在しているために、凹部出口の境界部付近の流体は凹部内部に巻き込まれる。しかし、ケース A05($L/B_w=5$)では非定常性が強くなり、 $\tau=0.50, 0.66s$ では凹部内部の出口付近において時計回りの渦が観察されるが、 $\tau=0.0, 0.16s$ ではそのような渦は観察されない。しかし、 $\tau=0.0, 0.16s$ の図において、 $x/B_w=3\sim 4$ の境界部付近では主流部から凹部へと強い流れが流入し、また、この流れに押し出されるように $x/B_w=4\sim 5$ の境界部付近では、逆に凹部から主流部へと強い流れが放出されていることが観察される。ケース A10($L/B_w=10$)においてもケース A05と同様に凹部から主流部への間欠的な流出が認められる。これは、図-3で観察されたように、間欠的に主流部から凹部内部へと大規模な流体塊が入り込んだ後に凹部側壁でバウンドした流れが再び主流部へと戻る現象である。このように、アスペクト比が小さい場合は定常渦の存在によって水はね効果はそれほど顕著ではないが、アスペクト比の増加するにつれて、非定常性が増し、間欠的に強い流れが放出することが解明された。ただし、本結果は半水深における結果である。図-2において時間平均された流れ場が、鉛直方向にそれほど変化しないことは既に証明したが、瞬間的な流れ場は複雑に3次元的に変化していることが予想される。今後、鉛直方向に数断面変化させたPIV実験を行い、この間欠的な流出が水深方向に同様に生じているかどうかを確認する必要がある。

4. おわりに

本研究では開水路流において、凹部の奥行きと流下方向長さとの比を系統的に変化させた流れをPIVを用いて計測し、以下の知見が得られた。凹部が存在する流れにおいては主流と凹部との間に流速差があるため、せん断不安定が発生し、その結果水平渦が発生する。アスペクト比が3では、凹部内の比較的下流の位置に定常的に渦が存在する。この定常渦の影響により凹部入口の側壁付近において逆回転の渦が誘発される。アスペクト比が5では、上流においてせん断不安定性によって次々と渦が発生し、それが流下に伴い周囲流体を連行するといった非定常性の強い流れとなる。アスペクト比が10ではさらに非定常性が強くなり、主流が間欠的に凹部の下流域に入り込む。そのため、アスペクト比が5や10の流れでは時空間相関係数が減少する。また、アスペクト比が10では凹部側壁で再附着が生じるが、主流の凹部への入り込みが間欠的であるために、再附着点は流下方向に大きく変動する。また、凹部出口における間欠的な流出現象はアスペクト比の増加に伴い顕著となることなどが解明された。

参考文献

- 1) Nezu, I. and Nakagawa, H.: *Turbulence in Open-Channel Flows*, IAHR-Monograph, Balkema, Rotterdam, 1993.
- 2) Kadota, A. and Nezu, I.: Three-dimensional structure of space-time correlation of coherent vortices generated behind dune crest, *J. Hydraulic Research*, IAHR, vol.37, No.1, pp.59-80, 1999.
- 3) 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.
- 4) 瀬津家久, 鬼束幸樹, 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.
- 5) 今本博健, 石垣泰輔: 複断面開水路流れにおける中規模渦の形成過程に関する研究, 第29回水理講演会論文集, pp.833-838, 1985.
- 6) 石垣泰輔, 今本博健: 可視化法による複断面開水路流れの3次元構造に関する研究, 土木学会論文集, No.515/II-31, pp.45-54, 1995.
- 7) Tamai, N., Asaeda, T. and Ikeda, H.: Study on generation of periodical large surface eddies in a composite channel flow, *Water Resour. Res.*, vol.22, No.7, pp.1129-1138, 1986.
- 8) Chu, V.H., Wu, J.H. and Khayat, R.E.: Stability of transverse shear flows in shallow open channels, *J. Hydraulic Eng.*, ASCE, vol.117, pp.1370-1388, 1991.
- 9) 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, No.509/II-30, pp.131-142, 1995.
- 10) Nezu, I. and Nakayama, T.: Space-time correlation structures of horizontal coherent vortices in compound open-channel flows by using particle-tracking velocimetry, *J. Hydraulic Research, IAHR*, vol.35, No.2, pp.191-208, 1997.
- 11) 藤田一郎: トレーサーを利用した実河川水制周辺流れのビデオ画像解析, 水工学論文集, 第42巻, pp.505-510, 1998.
- 12) 木村一郎, 細田尚, 友近文志: 死水域を伴う流れの非定常振動特性, 水工学論文集, 第38巻, pp.425-427, 1994.
- 13) 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.
- 14) 陳飛勇, 池田駿介: 水制周りの水平剥離渦の構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第40巻, pp.787-792, 1996.
- 15) 津田宜久, 小林敏雄, 佐賀徹雄: 画像処理を用いた高Re流れの可視化システムの開発, 可視化情報, Vol.11, Suppl. No.1, pp.181-184, 1991.
- 16) 三菱化学株式会社編: ダイヤイオン I 基礎編, p.125, 1996.
- 17) 瀬津家久, 鬼束幸樹, 定免英樹, 相良幸輝: PIV計測による植生開水路流れの乱流構造に関する研究, 水工学論文集, 第42巻, pp.409-414, 1998.
- 18) 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.
- 19) 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.

(2000. 4. 28 受付)

MEASUREMENTS OF OPEN-CHANNEL FLOWS WITH A HORIZONTALLY DEAD ZONE BY USING PIV TECHNIQUE

Iehisa NEZU, Kouki ONITSUKA and Kazuya IKETANI

Instantaneous flow fields in open-channel flows with a horizontal dead zone, in which the aspect ratio(=streamwise length/spanwise length of the dead zone, i.e., L/B_w) is changed to 3, 5 and 10, were measured by making use of PIV(Particle Image Velocimetry). In the case of the aspect ratio of 3, the horizontal vortex exists stably. In contrast, in the case of the aspect ratio of 5, the vortices which are generated by the shear instability, i.e., Kelvin-Helmholtz instability, become larger in the downstream direction. In the case of the aspect ratio of 10, the reattachment phenomenon can be seen. The space-time correlation of the spanwise turbulence components decreases with an increase of the aspect ratio L/B_w .