

## 複断面蛇行開水路流れの構造と低水路の河床形態に関する研究

石垣泰輔・武藤裕則・澤井健二\*

\*摂南大学工学部

### 要 旨

複断面蛇行開水路流れの構造は、相対水深 ( $Dr = \text{高水敷上水深} / \text{低水路水深}$ ) などの流れの条件、蛇行度などの幾何条件に支配され、複雑な様相を呈する。本研究では、速度計測、横断面流況の可視化、掃流力分布の可視化、および河床形状の計測などで得られる結果を用いて、流れの構造を検討するとともに、掃流力分布との関係や河床の洗掘・堆積現象との関係について検討を加えた。その結果より、低水路が固定床の場合の2次流構造、それが掃流力分布に与える影響、移動床とした場合の構造の変化などを指摘している。

キーワード：複断面蛇行流れ、2次流、掃流力分布、河床形態、流れの可視化

### 1. はじめに

複断面蛇行開水路流れは、遠心力が支配的な蛇行流と低水路と高水敷上流れの相互干渉が支配的な複断面流れの両者の特性を有する上に、高水敷高さより上の流れ（以下、上層と呼ぶ）と低水路内の流れ（以下、下層と呼ぶ）の流向が異なるために生じる鉛直シアが作用し、非常に複雑な構造となっている。その構造を支配する2次流構造を解明することは、上層の流れと下層の流れの相互干渉による付加抵抗の評価、底面せん断力分布や河床形態の変化予測の基礎となるものであり、これまで、低水路が蛇行した固定床の複断面開水路流れを対象に、速度計測、底面せん断力計測および流れの可視化法などを用いた実験的検討を行ってきた。その結果、相対水深の増加に伴って構造が変化する「構造の水深依存性」があること（石垣ら、1997）、低水路蛇行頂部（apex）付近から発生・発達するらせん構造を示す2次流が卓越する構造であること（武藤ら、1996）、その2次流構造が低水路の底面せん断力分布に影響を及ぼすこと（Ishigaki et al., 1997; 石垣・武藤, 1998a）、などを指摘してきた。本報告は、固定床水路における2次流構造の直接可視化および掃流力分布の可視化（Ishigaki et al., 1998; 石垣ら, 1999）および低水路

を移動床とした水路における河床形状と速度の計測を行い、流れの構造と河床形態に関する検討結果をとりまとめたものである。

流れの構造については、従来、Willets and Hardwick (1993), Ervine et al. (1993), 福岡ら(1997), および著者ら(1998b)によって図化されているが、多少の違いはあるものの、共通している知見はつぎの2点がある。すなわち、1) 低水路が蛇行する複断面開水路流れには、遠心力が成因の2次流と、高水敷上の流れと低水路内の流れの鉛直シアが成因の2次流が存在する、2) 低水路蛇行頂部（apex）付近で発生したらせん流が高水敷上から低水路に向かう流れに加速されながら発達し、その後下流側の高水敷へ乗り上げる。また、福岡ら(1997a)が指摘しているように、これらの構造が水路の幾何形状や粗度分布に大きく影響されることも共通した知見と考えられる。これらの知見は、速度計測結果や流況観察結果に基づいたものであるが、2次流構造を直接可視化した研究はない。そこで本研究では、Fig. 1 に示すような緩やかに蛇行する低水路を有する複断面流れの2次流構造を、横断面可視化法を用いて検討することとした。また、2次流構造と掃流力分布との関係を、その分布を可視化する方法を用いて検討するとともに、低水路を移動床として河床形状を計測し、流れ

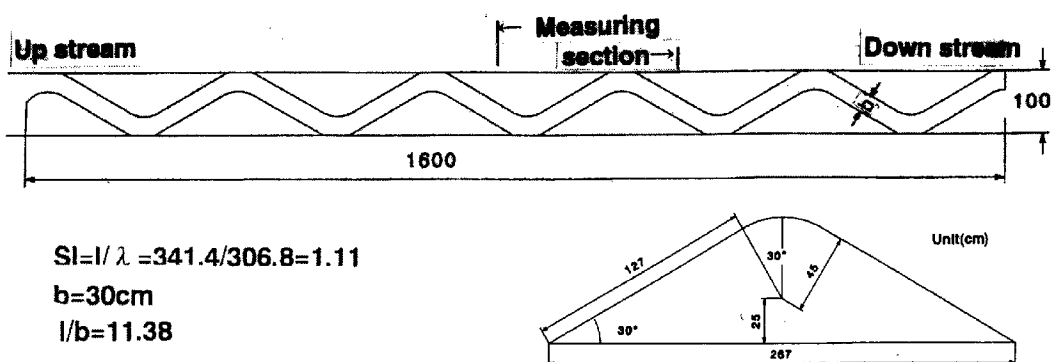


Fig. 1 Experimental set-up.

Table 1 Hydraulic condition.

Relative depth Dr	Depth H(cm)	Discharge Q(l/sec)	Hydraulic radius R(cm)	Mean velocity Um(cm/s)	Froude number Fr	Reynolds number Re
bankfull	5.00	4.282	3.81	28.1	0.46	10700
0.15	5.95	4.592	2.14	19.2	0.42	4100
0.20	6.34	5.409	2.47	19.4	0.39	4800
0.25	6.65	6.277	2.73	20.3	0.39	5500
0.30	7.16	7.763	3.16	21.5	0.39	6800
0.35	7.74	10.391	3.62	24.8	0.42	9000
0.40	8.37	13.368	4.12	27.8	0.44	11500
0.50	10.07	21.242	5.42	32.6	0.45	17700

Height of flood plain:  $h=5.08\text{cm}$ , Bed slope:  $I=1/970$

の構造との関係についても考察した。

実験では、長さ 16m、幅 1m の直線水路内に図に示す寸法の木製高水敷を設置し、低水路が緩やかに蛇行した複断面水路を用いた。蛇行の程度は、 $SI=1.11$  とし、Brice (1964) の屈曲指数による分類 ( $SI=$ 蛇行長/波長、直線水路： $SI < 1.05$ 、屈曲水路： $1.05 < SI < 1.30$ 、蛇行水路： $SI > 1.30$ ) の屈曲水路なるように設計した。また、低水路幅が狭い場合には対岸の影響があることから、なるべく広くするとともに、一級河川の計画断面形状のデータ (石垣, 1993) をもとに低水路幅/河道幅比を 0.3 とした。さらに、屈曲角は砂州の移動限界を考慮して 30 度とし、蛇行長が低水路幅の 10~12 倍程度を目標に、11.38 とした。なお、本実験に用いた水路の蛇行度と屈曲角は、Yalin (1992) が引用した実河川の屈曲角と蛇行度との関係を示すデータ (ロシアの河川) と一致しており、その妥当性が認められた。水理条件を Table 1 に示すように相対水深  $Dr$  を Bankfull から 0.50 までの範囲とし、流れの可視化および計測を全 5 波長の上流より 3 波長目の区間で行った。

## 2. 流れの 3 次元構造の検討

### 2. 1 2 次流構造の可視化実験

2 次流構造を直接可視化するため、横断面流況の可視化を行った。その方法には、防水型ビデオカメラを低水路内に沈め、幅 20cm のスリット光で照明した中立粒子の挙動を 30cm 下流より撮影する方法を用いた。トレーサには、平均粒径 0.45mm、比重 1.05 のポリスチレン粒子を用い、得られた映像をパソコンに取り込み、市販のソフトを用いて画像処理した。なお、取り込んだ画像は、毎秒 30 枚で、画素数は  $340 \times 240$  ドットであり、インターレース処理後、トレーサの輪郭検出を行った。なお、ビデオカメラの形状寸法 (幅 50mm、高さ 65.5mm、奥行き 103mm) の流れに与える影響を考慮し、ここでは  $Dr=0.50$  の結果のみを用いた検討を行う。

### 2. 2 2 次流構造の検討

Fig.2 は、付図に示した 3 区間、すなわち、apex より 10cm~30cm、30cm~50cm および 50cm~70cm の区間を照明した場合の横断面流況可視化例である。右岸側は 3 フレーム (1/15 秒間)、左岸側は 4 フレーム (1/10 秒間) の結果を重ね合わせたものであり、特徴的な粒子の挙動を矢印で示している。なお、同程度の粒子密度を得るのに左右岸のフレーム数が異

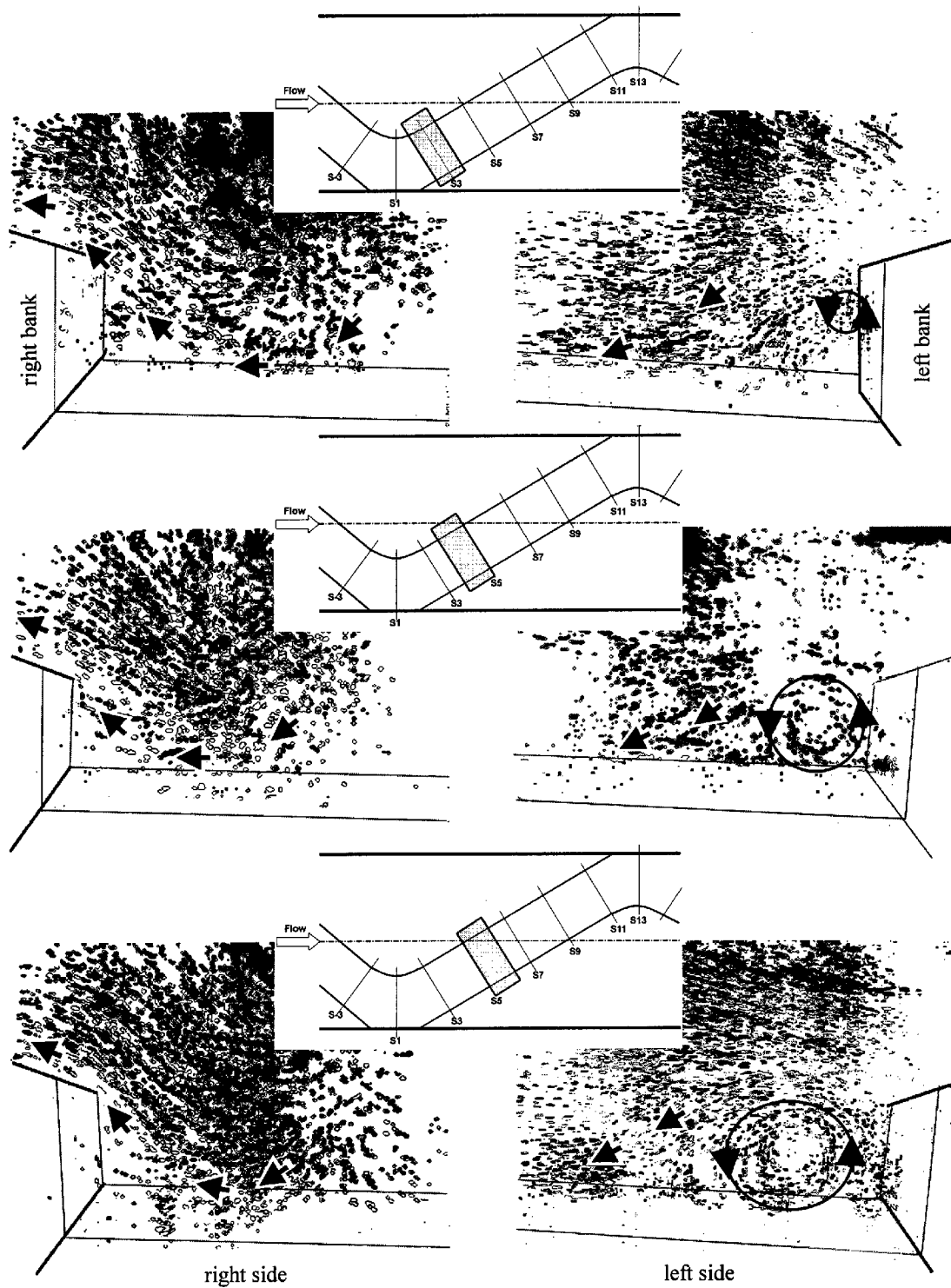


Fig.2 Secondary flow visualized by the neutral buoyant tracer method in cross sections.

なるのは、右岸側では粒子が集中するのに対し、左岸側では拡散するためである。

図より、左岸側（右図）では低水路内（下層）にらせん構造が存在して流下とともに高水敷高さスケ

ールまで発達して徐々に水路中央側に移動して行く状況が確認されるとともに、高水敷上流れ（上層流れ）の一部が、らせん流の外縁に沿って低水路底面まで達することが知れる。この構造は、Fig. 3 に示

(a) injecting dye from point S1.



(b) injecting dye from point S3.

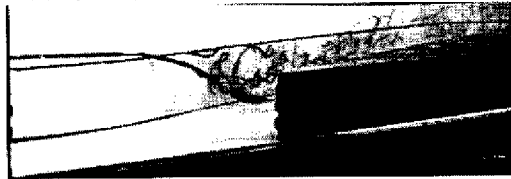


Fig.3 Secondary flow visualized by dye.

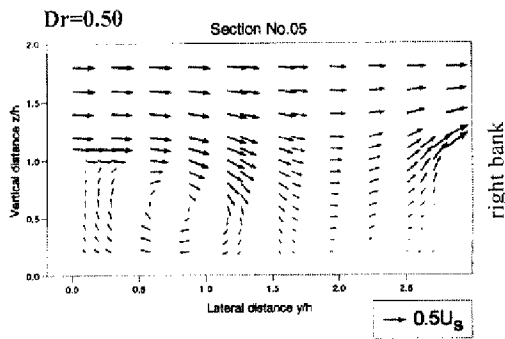


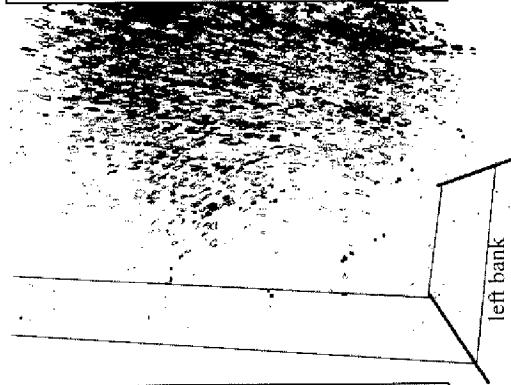
Fig. 5 Secondary flow vectors for  $Dr=0.50$ .

した染料を用いた可視化結果でも明瞭に確認されている。図の結果は、apex（図中 S1）から注入した染料が示すらせん流の発生、および、円弧部分の下流端（図中 S3）から注入した染料のらせん流の発達と上・下層のシアによる混合を示している。なお、この結果は、前述した水路の 1/2.5 スケールの水路において、断面平均流速を 5cm/s とした定性的検討結果である。

一方、右岸側（Fig. 2 の左図）では、いずれの断面においても、低水路内の流れが時計回りに回転しながら高水敷に乗り上げる構造が見られ、流下に伴って横断方向スケールが減少して行く状況が見られる。

以上の結果より、apex 付近で発生した低水路内のらせん流が上層の流れに加速されながら発達して低水路中央に移動して行く構造が確認される。また、上流側で発達した右岸側のらせん流が高水敷に乗り上げながら減衰して行く構造が確認できるが、福岡ら (1997a) が指摘している apex 外岸側でのらせん流の消滅や、2重らせん構造の存在は確認できない。なお、福岡らの実験は蛇行度 1.17 と本実験条件に近いが、低水路のアスペクト比が 11.1 であり、本実験の 6 よりも大きい。

(a) injecting particles into the upper layer.



(b) injecting particles into the lower layer.

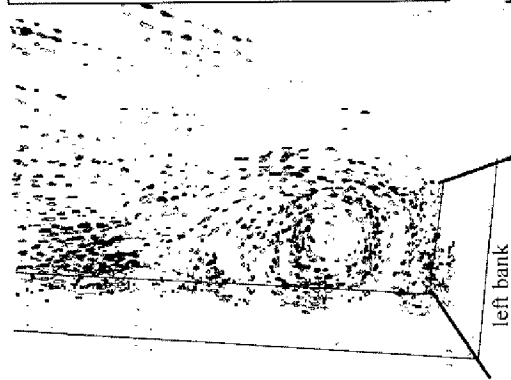


Fig.4 Secondary flow in the upper and lower layers.

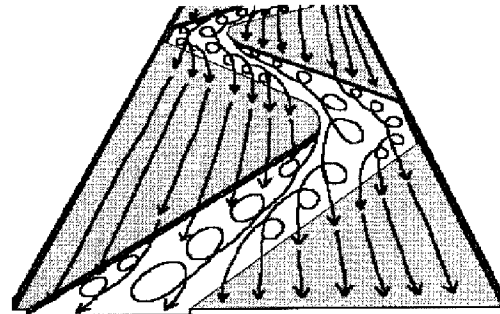


Fig. 6 Secondary flow over rigid bed.

Fig. 2 右下段の図は、高水敷上にトレーサを注入した画像と、低水路内に注入した画像を合成したものであり、それぞれ、分離して示すと Fig. 4 のようになる。この図より、らせん流が下層で発達することが知れるとともに、らせん流の外縁を水路中央に向かう流れが対岸で高水敷に乗り上げる流れとなる可能性が示唆される。この可能性は、Fig. 5 に示した同程度の蛇行度を有する水路における 2次流ベクトルの計測結果 (Muto, 1997: 本実験での S7 断面に相当する) から伺えるが、本研究で用いた低水路のアスペクト比（高水敷高/低水路幅）が計測時のアス

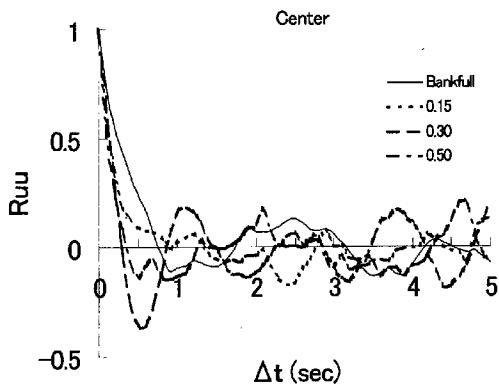


Fig. 7 Auto-correlation of velocity u.

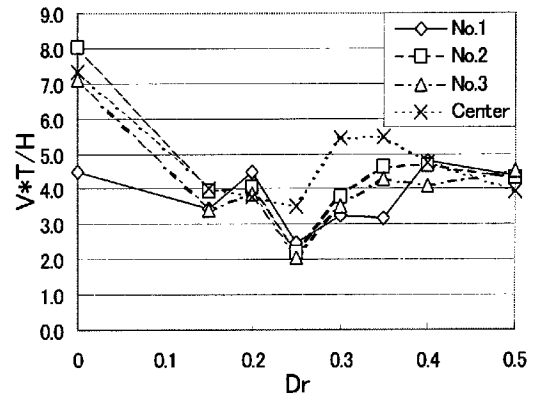


Fig.9 Non-dimensional time-scale of water-level fluctuation.

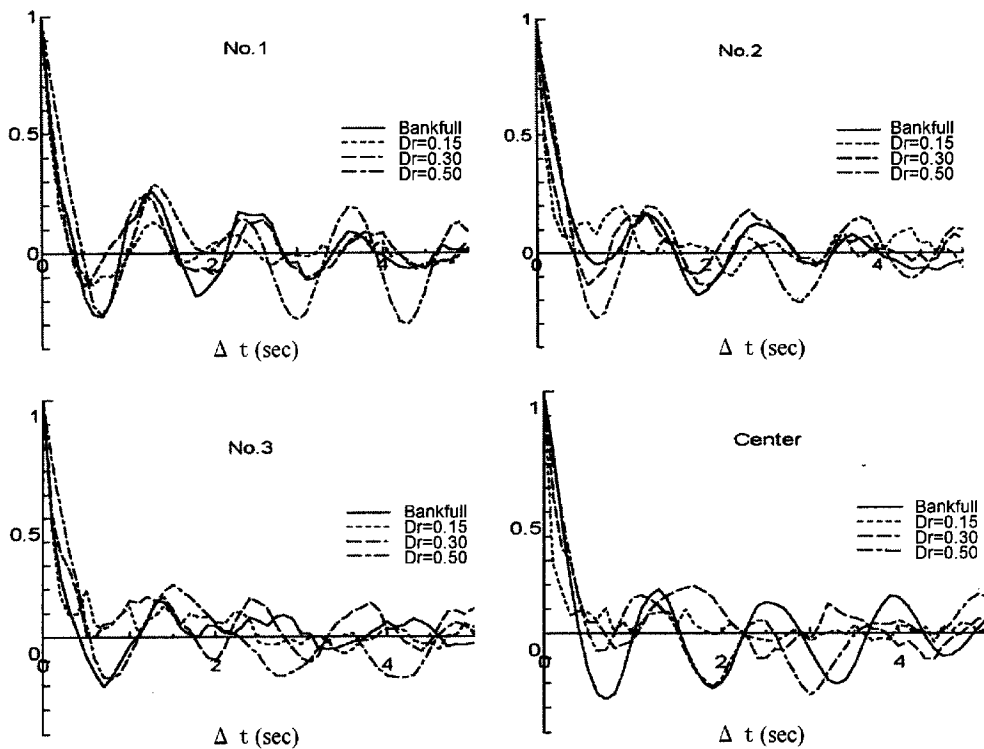


Fig. 8 Auto-correlation of water-level fluctuation.

ベクトルよりも大きいこと（本研究：6，Fig. 5：3）を考慮すると、明確な結論を出すことはできない。

以上より、低水路が固定床の場合の流れは、Fig. 6 に示すように、apex 付近で発生したらせん流が高水敷上から低水路に向かう流れに加速されながら発達し、その後下流側の高水敷へ乗り上げて行くという基本パターンが、左右両岸で交互に繰り返される、という構造を有することが知れる。

### 2. 3 水面変動と構造のスケール

Fig. 6 に示すような構造が存在すれば、速度変動あるいは水面変動にも周期的な変化が見られると考え、その特徴をとられるために設定した4点（No.1, 2, 3, Center）において速度および水位変動を計測し（サンプリング周波数 10Hz），それより自己相関係数を計算した結果に基づき、構造のスケールについて検討を行う。設定した点は、らせん流の発生直後の計測点 No.1（S3 左岸），発達したらせん流が高水敷に乗り

Table 2 Hydraulic conditions for the experiment of traction process.

Dr	Um	H	$Uf=\sqrt{gRI}$	$Uf=\sqrt{gHI}$	d=1.6mm Ufc=1.51 Uf/Ufc	d=2.4mm Ufc=2.37 Uf/Ufc
Bankfull	28.1	5.00	1.95	2.25	—	<b>0.82-0.95</b>
0.15	19.2	5.95	1.47	2.45	<b>0.97-1.62</b>	—
0.35	24.8	7.74	1.91	2.80	—	<b>0.81-1.18</b>
0.50	32.6	10.07	2.34	3.19	—	<b>0.99-1.35</b>

Slope : I=1/970、Tracer : specific gravity:1.7、diameter: d = 1.6mm or 2.4mm、Ufc : critical friction velocity

上げる位置の No.3 (S3 右岸) , それらの構造が干渉する位置 No.2 (S3 低水路中央) , および左右岸のらせん流と低水路への流れ込みが干渉する位置 Center (S7 低水路中央) である。Fig. 7 および Fig. 8 の右下の図は、それぞれ、Center における速度と水位の自己相関係数を示している。図より、速度および水位のいずれの結果でも変動の周期性を示す結果となっているが、水位の自己相関係数の方がより顕著な周期性が見られたため、以下では水位変動計測結果を用いた検討を行う。なお、水位変動に明確な周期性が表れるのは、速度変動が局所的な構造の影響を強く受けるのに対し、水位変動は水面に表れるボイルのようにマクロな構造の影響が圧力変化として表れるためと考えられる。なお、Center の変動幅は、Bankfull : 1.15mm, Dr=0.15 : 0.85mm, Dr=0.50 : 2.60mm であった。

Fig. 8 は、4点の水位変動の自己相関係数をまとめたものである。図より、周期的な変動であることが知れ、相対水深の増加に伴う変化が明瞭に認められる。Fig. 6 に示したらせん流構造との関係で見ると、No.1→Center→No.3 は、それぞれ、発生>発達>消滅過程に相当しており、周期性があることおよび消滅して行く様子が伺える。また、No.2 は左右兩岸の構造が干渉する点であり、同様の周期で干渉していることが分かる。一方、相対水深の観点から、相対水深の増加に伴い、周期的>周期性が不明確>周期的という変化が見られる。流れの構造との関係から考察すると、その周期性の要因は、低水路蛇行の影響→混合による乱れ→主流部の周期的挙動（流れ込み→乗り上げ→流れ込み）という変化で説明される。主流部の周期的挙動は、Dr>0.35 の Center における計測結果が示しており、Dr が大きくなるにつれて流速が増大するため、周期が短くなっている。

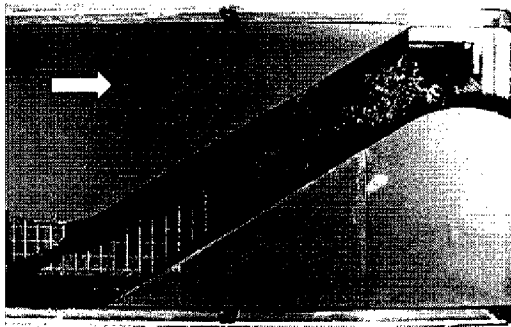
次に、局所平均速度 V と水位変動の自己相関係数の 2nd maximum で評価される周期的変動の周期 T の積、 $V * T$  で構造の長さスケールを評価した。なお、速度は、底面近傍と上下層の境界面の平均値を用い

た。この構造スケールを、低水路水深 H、低水路幅 b、高水敷高さ h で無次元化して相対水深 Dr について整理すると Fig. 9 のようになる。Dr が小さい範囲でスケールは一旦小さくなり、その後、Dr の増加に伴って大きくなる。このスケールの縮小は、Dr の小さな範囲で流体混合が激しいことの影響と考えられる。低水路水深 H で無次元化して整理した結果を見ると、VT/H は一旦減少し、Dr が大きくなるにつれて、5 前後となっている。VT/H がストローハル数 ( $St=fd/u$ ) の逆数であることを考えると、St が 0.2 程度となっている。この結果より、対象としている周期変動は、apex の後流域で発生する渦がその構造の主体でありことが確認され、それらの渦が流下方向に引き延ばされてらせん流を形成するものと考えられる。なお、この結果は、Dr が 0.50 以下の範囲での実験結果に基づくものであり、Dr が大きな範囲での検証はされていない。しかしながら、実際の計画河道断面が Dr=0.50 程度以下に設定されていることを考慮すれば、この結論を一般的なものとして適用しても問題はないと考える。

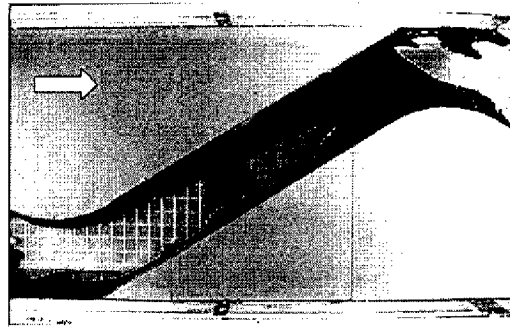
### 3. 2次流構造と掃流力分布

#### 3. 1 掃流力分布の可視化実験

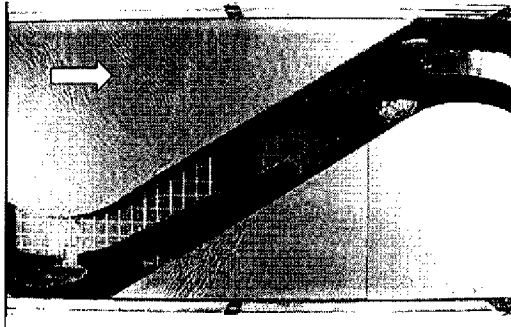
2次流構造が底面せん断力分布に影響することを、底面せん断力の点計測結果 (Ishigaki et al., 1997; 石垣・武藤, 1998a) で示したが、ここでは、平面的な分布と流れの構造との関係を検討するため、掃流力分布の可視化を行った。実験は、設定された水理条件での限界掃流力に近い河床材料を用いて掃流力の大きな領域を検出する方法を用いた。予備実験の結果、球形のスラジライト (平均粒径は 1.6mm と 2.4mm を使用、比重は 1.7) を用いることとし、Table 2 に示す 4 種の条件について、一様粒径の限界掃流力に関する岩垣の実験式 (例えば、水理公式集, 1985) を用いた限界摩擦速度の算定結果と、対象とする水理条件から径深および低水路水深を用いて評価した摩



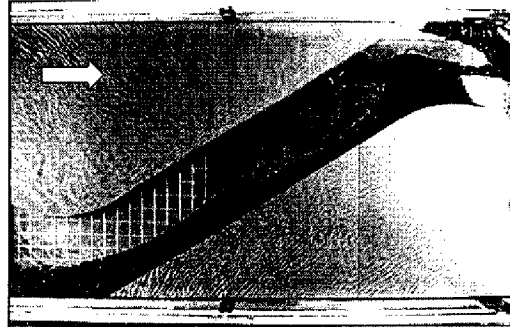
Bankfull t=8min d=2.4mm



Dr=0.15 t=40min d=1.6mm



Dr=0.35 t=20min d=2.4mm



Dr=0.50 t=8min d=2.4mm

Fig.10 Visualized distribution of tractive force.

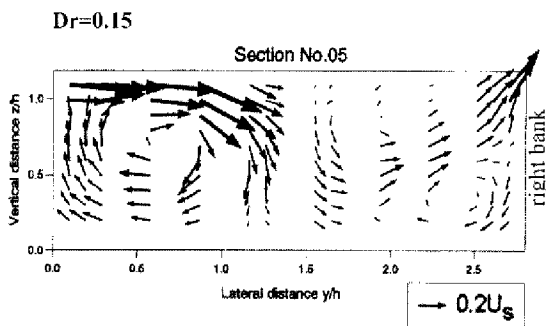


Fig. 11 Secondary flow vectors for Dr=0.15.

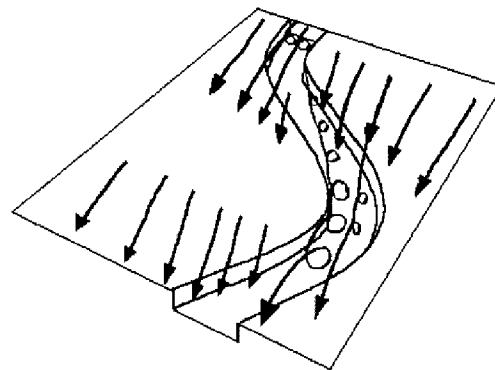


Fig.12 Two rows of secondary flow.

擦速度との比が 1.0 前後となる粒子径を選んだ。実験では、観測区間の上流側 1/4 波長から観測区間下流端まで厚み 2~3mm でスラジライトを静水中で敷き、その後設定流量を流し、水路上方に設置したビデオカメラで河床材料の掃流過程を撮影して掃流範囲の変化を見た。

### 3. 2 掃流力分布と流れの構造

Fig. 10 は、Bankfull, Dr=0.15, 0.35 および 0.50 において平衡状態に達した時点での結果を示している。図において、低水路内の黒い部分には河床材料が残

っており、それ以外の範囲は水路床が見えていて、この部分の河床材料が掃流されている。掃流された部分は、掃流力が大きな部分である。なお、流れは、左から右である。図より、Bankfull の流れでは蛇行低水路の外岸側に掃流力の大きな領域が存在するのに対し、Dr=0.50 の場合には内岸側に存在していることが明瞭であり、流れの構造、すなわち、福岡ら (1997b) の実験結果でも示されているように、2 次流構造の違いが表れている。これは、前者の流れでは、遠心力に起因する 2 次流構造が卓越するのに対し、後者の流れでは、鉛直シアによる 2 次流構造が卓越す

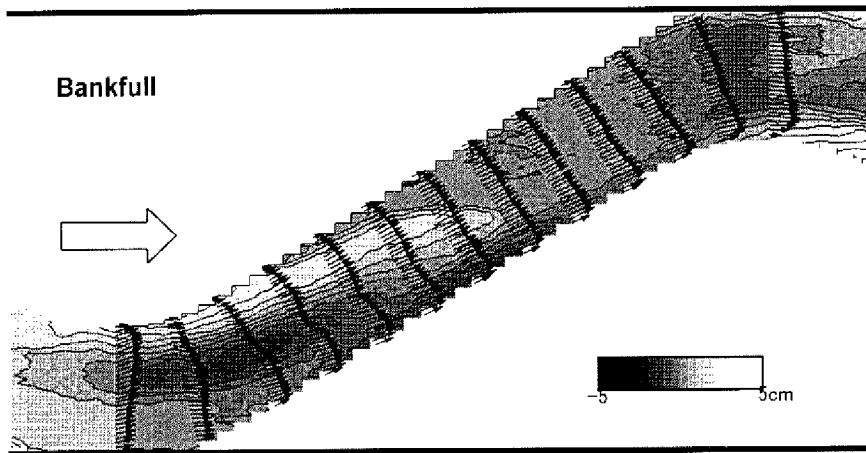


Fig. 13 Velocity and bed configuration for Bankfull. ( $t=90$  min.,  $d=2.4$ mm)

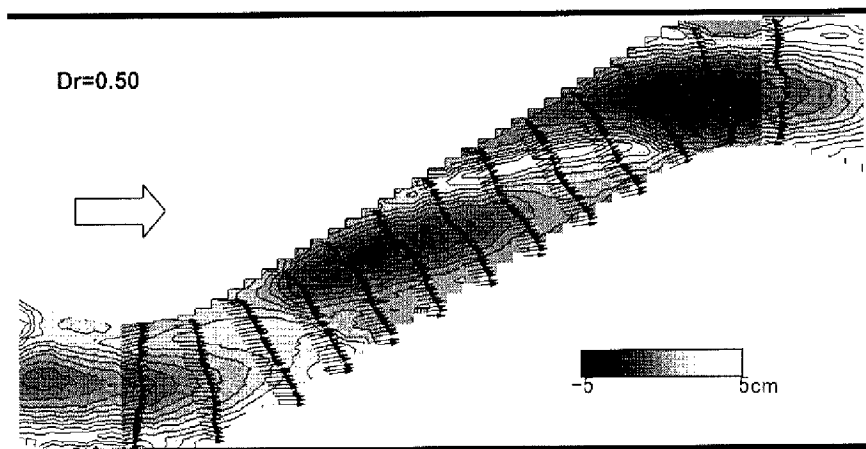


Fig. 14 Velocity and bed configuration for  $Dr=0.50$ . ( $t=30$  min.,  $d=2.4$ mm)

るため、上流側の apex 付近で発生して発達したらせん流の作用で内岸側の掃流力が大きくなると言う説明ができる。

上段右の図は、 $Dr$  の小さな場合 (0.15) の結果であり、主流部が掃流されて粒子が無くなるとともに、高水敷への乗り上げ部に波状の文様が見られ、非常に複雑な構造の存在が伺える。これは、Fig. 11 の 2 次流ベクトル計測結果 (本実験の S7 断面に相当) に見られる右側の隅各部に向かう流れが引き起こすものと考えられる。また、下段左側の  $Dr=0.35$  の結果が示しているように、掃流される部分が流れ方向に複数箇所存在している。これは、低水路の直線部分が長くなると、apex で発生したらせん流が流下に伴って発達しながら対岸側に移動するため、その下流側に新たならせん流が発生するためと考えられ、Fig. 12 に示したように、複数のらせん構造が存在するようになる。

#### 4. 2 次流構造と低水路の河床形態

##### 4. 1 河床形状計測

実験は、幅 1m、長さ 16m の直線水路を用い、幅 30cm、初期深さ 5cm (移動床厚さ 3cm) で蛇行度 1.11 の低水路を有する複断面蛇行流れを対象に、河床形状の計測、流速計測および流れの可視化を行った。なお、用いた河床材料は前章と同様のスラジライトで、比重 1.7、平均粒径 2.4mm である。河床形状計測には超音波河床計を用い、初期の平坦河床から通水中に約 5 分間隔で 6 測線 (S1~S11) の計測を行った後、通水停止後に測線間隔 2~4cm で河床形状を計測した (以下、この結果を最終河床形状と呼ぶ)。また、最終河床形状をセメント粉で固定した後、高水敷高さ付近の 13 測線 (S1~S13) に沿い、横断方向に 1cm 間隔で 2 成分電磁流速計 (I 型、流下方向成分および横断方向成分) を用いた速度計測を行った。さら



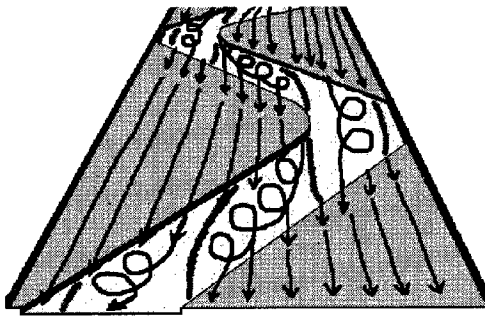


Fig. 15 Secondary flow over movable bed.

に、2次流構造と河床形状の関係を見るため、水面流況および横断面流況の可視化を行っている。

#### 4. 2 河床形状と流れの構造

Fig. 13 および Fig. 14 は、低水路のみ流れる Bankfull のケースと相対水深  $Dr=0.50$  のケースにおける最終河床形状の計測結果と速度計測結果を示したものである。Bankfull のケースでは、流れは apex から下流側の外岸に向かっており、それに沿って洗掘域が形成されている。これに対し、 $Dr=0.50$  の場合には、全体として流速ベクトルは下流向きが卓越しているが、左岸側、水路中央、右岸側の洗掘域に沿った部分に速度ピークが見られる。前章までに示した固定床実験で得られた知見を考慮すると、低水路を移動床とした場合には、複列のらせん流によって形成された堆積域が、Fig. 15 に示すように、それぞれの構造を分断することが分かる。このように、2次流構造と河床形状は相互に影響しており、洗掘・堆積域が発達するにつれて流れの構造が変化してゆく。

#### 5. おわりに

本研究により得られた主な結果を列挙すると以下のようである。

- 1) 防水型ビデオカメラを用いた横断面流況可視化法により2次流構造が直接捉えられるとともに、流れと粒子の限界掃流力を考慮した方法により掃流力分布が可視化された。
- 2) 横断面流況の可視化結果より、apex 付近かららせん流が発生し、流下とともに発達することが直接確認された。一方、対岸側では上流側で発達したらせん流が高水敷に乗り上げながら減衰することが確認された。福岡ら (1997a) の指摘した apex 外岸でのらせん流の急激な減衰は確認されず、apex 下流の対岸にその構造が見られた。

- また、対岸側の構造は、らせん流の外縁を低水路底面に向かう流れが対岸に達して高水敷に乗り上げている構造である可能性が示唆された。
- 3) 掃流力分布が2次流構造に大きく影響されることが示された。また、低水路の直線部が長い場合には、複数のらせん流が発生し、それに対応する掃流力の大きな部分が複数存在することが示された。
- 4) 低水路を移動床とした場合には、複列のらせん流によって形成された堆積域が、Fig. 15 に示すように、それぞれの構造を分断することが知れた。
- 5) 2次流構造と河床形状は相互に影響しており、洗掘・堆積域が発達するにつれて流れの構造が変化してゆき、低水路が固定床上の2次流構造と移動床上の2次流構造の違いが明らかとなった。

本研究は、洪水時の複断面蛇行河道における流れの水理特性を検討することが目的であり、今後は、低水路を移動床とした定常および非定常実験を行い、河床形状の変化特性や、水理構造物が流れの構造や河床形態に及ぼす影響等について検討して行く予定である。

#### 参考文献

- 石垣泰輔(1993)：複断面開水路流れの3次元構造に関する研究，京都大学学位論文。
- 石垣泰輔・武藤裕則・竹尾然生(1997)：低水路側岸近傍の三次元流況について，京都大学防災研究所年報，第40号B-2，pp.361-369。
- 石垣泰輔・武藤裕則(1998a)：複断面蛇行開水路流れの構造と底面せん断力分布について，水工論文集，第42巻，pp.901-906。
- 石垣泰輔・武藤裕則(1998b)：緩やかに蛇行する低水路を持つ複断面開水路流れに関する実験的検討，水工論文集，第42巻，pp.943-948。
- 石垣泰輔・武藤裕則・澤井健二(1999)：複断面蛇行開水路流れの2次流構造と掃流力分布に関する実験的研究，水工論文集，第43巻，pp.329-334。
- 水理公式集(1985)，土木学会，p.222。
- 福岡捷二・大串弘哉・加村大輔・平生昭二(1997a)：複断面蛇行流路における洪水流の水理，土木学会論文集，No.579，II-41，pp.83-92。
- 福岡捷二・渡辺明英・加村大輔・岡田将治(1997b)：複断面蛇行流路における流砂量，河床変動の実験的研究，水工論文集，第41巻，pp.883-888。
- 武藤裕則・塩野耕二・今本博健・石垣泰輔(1996)：複断面蛇行開水路流れの3次元構造について，水工論文集，土木学会水理委員会，第40巻，pp.711-716。
- Brice, J.C.(1964): Channel patterns and terraces of the Loup River in Nebraska, U.S. Geological Survey

- Professional Paper, 282B.
- Ervine, DA, Willets, BB, Sellin, RHJ and Lorena, M.(1993) : Factors affecting on conveyance in meandering compound flows, J. Hydr. Eng., Vol.19, No.12, pp.1383-1399.
- Ishigaki, T., Muto, Y., Takeo, N. and Imamoto, H.(1997): Fluid mixing and boundary shear stress in compound meandering channel, 27<sup>th</sup> Congress of IAHR, A, pp.763-768.
- Ishigaki, T., Muto, Y. and Sawai, K.(1998): Traction process of bed materials by three dimensional flow in a compound meandering channel, 3<sup>rd</sup> Int. Conference on Hydro-Science and -Engineering, Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol.III, p.45 (on CD-ROM).
- Muto, Y. (1997): Turbulent flow in two-stage meandering channels, Doctoral thesis submitted to University of Bradford, UK.
- Willets,B.B. and Hardwick,R.I. (1993): Stage dependency for overbank flow in meandering channel, Int. Conference on River Flood Hydraulics, pp.45-54.
- Yalin, M.S.(1992): River Mechanics, Pergamon Press, p.167.

## **Flow Structure and Bed Configuration in Compound Sinuous Channel**

Taisuke ISHIGAKI, Yasunori MUTO and Kenji SAWAI\*

\*Faculty of Engineering, Setsunan University

### **Synopsis**

Over-bank flow in a straight channel with a sinuous main channel is discussed based on experimental results. The flow structure is characterized by secondary flow and fluid mixing between the main channel and flood plain flow. The secondary flow was directly visualized by a submersible video camera. The secondary flow shows spiral motions and affects the distribution of boundary shear stress and sediment transport. The relation between these structure and the traction process of bed materials is discussed on the basis of the distribution of tractive force visualized by a new method . We also made experiments in a channel of which main channel was movable bed. The secondary flow forms three distinct eroded regions and two deposited regions on the bed. Those regions are formed by the secondary flow.

**Keywords** : compound sinuous channel, secondary flow, tractive force, bed configuration, visualization