

# 複断面開水路湾曲部の流れ構造

## FLOW STRUCTURES IN BENDS OF COMPOUND OPEN CHANNELS

富永晃宏\*・長尾正志\*\*

Akihiro TOMINAGA and Masashi NAGAO

\*正会員 工博 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科(〒466 名古屋市昭和区御器所町)

\*\*正会員 工博 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科(〒466 名古屋市昭和区御器所町)

The flow structures in bends of narrow open channels are considered to be affected by the configuration of cross section. This study aims to clarify the secondary flow structures in curved compound open channels with small width-to-depth ratio, experimentally. The effects of flood-plain width, flood-plain roughness and depth ratio between main channel and flood plain were examined. The secondary flow structures driven by centrifugal force were divided into main channel vortex and flood plain vortices. The developing process of the secondary flow strength was not so much changed from the rectangular case. When the roughness of the flood plain is large, the outer flood-plain vortex becomes strong. The longitudinal variation of the primary mean velocity was increased on the flood plain.

*Key Words : curved open channel, secondary flow, compound channel, flood plain, three-dimensional flow structures*

### 1. 序論

河道の湾曲部の流れは河道の安定に対して最も重要な影響を及ぼす現象であり、多くの研究が行われてきた。河道の湾曲部の流れは遠心力に起因する2次流の発生と、これによる湾曲部外岸側の洗掘および内岸側の堆積という河床変動によって特徴づけられる。長方形断面では村本らの180°湾曲流の実験<sup>1)</sup>、吉川・池田らの270°湾曲流の実験<sup>2)</sup>、今本・石垣らによる実験<sup>3)</sup>等があるが、最近では著者らが幅水深比の小さい長方形断面開水路湾曲部で実験を行い、外岸側に湾曲部の遠心力に起因する2次流(湾曲渦と呼ぶ)とは逆向きの2次流構造(外岸渦と呼ぶ)の存在を確認している<sup>4)</sup>。また、台形断面開水路の湾曲部の流れ構造についても実験を行い、側壁傾斜角の減少とともに、外岸渦が減衰し消滅に至り、湾曲渦が外岸側壁上を覆うことが明らかにされている<sup>5)</sup>。河道の断面形状としては低水路と高水敷を有する複断面が多く、湾曲部においても複断面形状が存在する。中小河川においても、生態系や親水性への配慮から複断面化されることが多くなってきている。複断面湾曲水路の流れについては今本・石垣らによる複断面開水路の180°湾曲流の実験<sup>3)</sup>や、武藤ら<sup>6)</sup>および福岡ら<sup>7)</sup>の複断面蛇行流の計測などがある。今本・石垣の実験によって複断面の低水路と高水敷にそれ

ぞれ独立な同一回転方向を持つ2次流渦構造の存在が示唆されている。しかしながら、複断面の断面形状構成要素や高水敷粗度の変化に対する湾曲部流れ構造の応答に関しては系統的な実験が行われていない。特に中小河川のような比較的幅水深比の小さな湾曲部においては複断面の断面形状が流れ構造に大きな影響を及ぼすものと考えられる。さらに複断面では乱れに起因するPrandtlの第2種2次流である高水敷肩からの斜昇流が存在しており<sup>8)</sup>、これと湾曲部2次流との相互関係も解明すべき重要な問題と考えられる。

本研究では、種々の断面形状および高水敷粗度を有する複断面開水路湾曲部の流れ構造を実験的に明らかにしたものである。実験は電磁流速計を用いた流速計測により、2次流構造を中心とした3次元流速分布を明らかにした。

### 2. 実験装置および実験方法

実験水路は水路幅 $B=90\text{cm}$ 、深さ $30\text{cm}$ の長方形断面開水路において、湾曲区間の上、下流にそれぞれ $10.8\text{m}$ 、 $3.6\text{m}$ の直線部を設け、その中間部に中心曲率半径 $R=2.7\text{m}$ の湾曲角 $60^\circ$ の湾曲水路を挿入した。直線部は木製とし、鉄製の内角 $15^\circ$ または $30^\circ$ の湾曲水路ユニットとをフランジによって連結した。実験水路平面図を図-1に示す。複断面水路は、図-2に示すように両

岸に対称に高さ6cmの高水敷を設け、高水敷幅 $b_f$ を15cm, 22.5cm, 30cmの3通りとした。これらの側岸構造は湾曲部を鉄製、直線部を木製とし、充填材によって滑らかに接合した後、全表面にペンキ塗装を施した。

流量は電磁流量計とインバータモータを用いたコンピュータ制御により、最大 $0.05\text{m}^3/\text{s}$ までの任意の値を設定できる。水は水路上流部の整流槽を経て供給される。湾曲部下流の直線部に十分な長さをとれなかったため、下流端において堰上げを行い、湾曲入口上流90cmにおける水深を代表水深として設定した。実験条件表を比較のための長方形断面のケース(R-5)<sup>4)</sup>とともに表-1に示す。高水敷の粗度としては厚さ0.5cmの人工芝を用いた。表中の平均流速は湾曲入口上流90cmにおける断面平均値である。

流速計測には、ケースC-1からC-3についてはセンサー部の直径5mm、長さ16mmの2成分電磁流速計(東京計測社製)を用い、その他のケースはセンサー部が直径15mmの球形の3成分電磁流速計(東京計測社製)を用いた。2成分電磁流速計を用いた実験では同一計測点においてL型電磁流速計で主流速成分(u)と鉛直流速成分(w)を、I型電磁流速計で主流速成分と横断流速成分(v)をそれぞれ計測し、合成して3成分とした。この際u成分としてはI型電磁流速計の値を用いた。座標系は水路中央線に沿う方向をx軸、これに直角な水平方向をy軸、鉛直方向をz軸としている。計測断面位置は、ケースC-1からC-3では湾曲入口より上流90cm、湾曲入口( $x=0, \theta=0^\circ$ )、 $\theta=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 、湾曲出口( $\theta=60^\circ$ )、湾曲出口より下流45cm, 90cm, 135cmの計9カ所とし、その他のケースでは、湾曲入口、 $\theta=30^\circ$ 、湾曲出口( $\theta=60^\circ$ )、湾曲下流135cmの計4カ所とした。電磁流速計の出力電圧はコンピュータによりAD変換されZIPディスクに直接記録され解析された。サンプリング周波数は100Hzで、1点につき4100個のデータを統計処理した。水深はデジタルポイントゲージによって計測した。

### 3. 2次流構造

代表的ケースの流下方向の代表位置における2次流ベクトル図を図-3, 4および5に示す。流速計の設置誤差と主流方向の水路中心軸からのずれの両者を取り除き、2次流構造を明確に示すため、2次流成分は実測値から各横断面内の断面平均値を差し引いた偏差で表している。この2次流成分の断面平均値は最大でも主流速の5%程度であり、大きな主流方向の

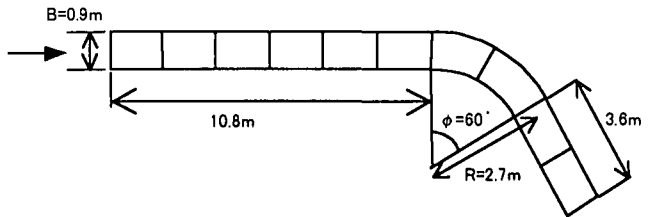


図-1 実験水路平面図

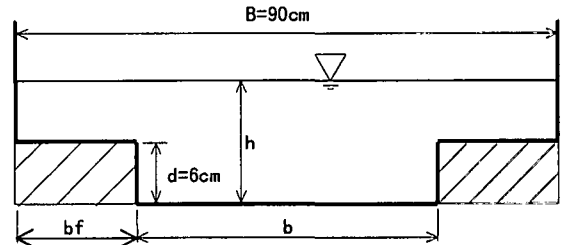


図-2 実験水路断面図(複断面)

表-1 実験条件表

CASE	高水敷幅 $b_f$ cm	流量 $Q$ $\text{m}^3/\text{s}$	平均流速 $U_m$ m/s	水深 $h$ m	水深比 $(h-d)/h$	高水敷粗度
C-1	0.15	0.040	0.34	0.15	0.6	滑面
C-2	0.225	0.036	0.30	0.15	0.6	滑面
C-3	0.30	0.032	0.32	0.15	0.6	滑面
C-4	0.225	0.027	0.33	0.12	0.5	滑面
C-5	0.225	0.016	0.27	0.095	0.37	滑面
C-6	0.225	0.012	0.30	0.075	0.2	滑面
C-8	0.225	0.036	0.33	0.15	0.6	粗面
C-9	0.225	0.027	0.33	0.12	0.5	粗面
C-10	0.225	0.016	0.34	0.95	0.37	粗面
C-11	0.225	0.010	0.37	0.075	0.2	粗面
R-5	-	0.042	0.299	0.15	-	-

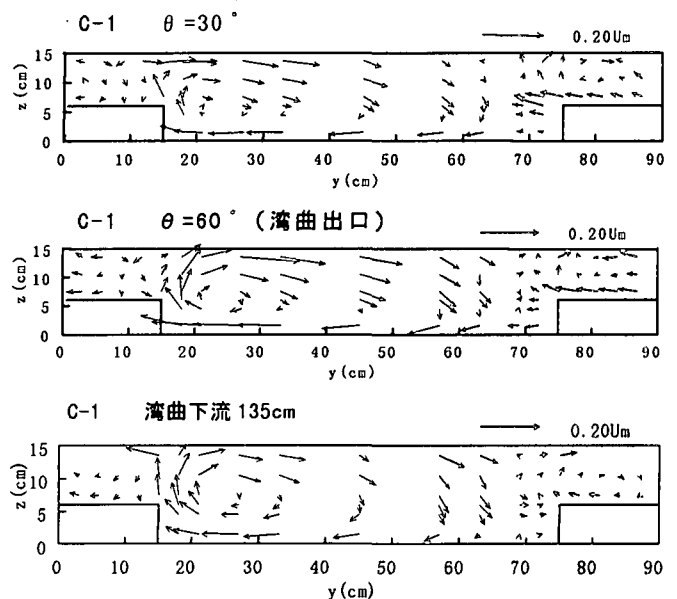


図-3(a) 2次流ベクトル図(複断面:高水敷幅15cm)

ずれは認められなかった。長方形断面の2次流構造を基本構造として、高水敷幅の影響、低水路と高水敷

の水深比の影響および高水敷粗度の影響に分けて述べることにする。

### 3. 1 2次流構造に及ぼす高水敷幅の影響

#### (1)高水敷幅15cmの場合(ケースC-1)

高水敷の存在により2次流構造は明らかに変化し、湾曲による2次流渦は低水路内に限られるようになる。低水路の内岸側壁付近で上昇流が発生し低水路幅の80% ( $y=65\text{cm}$ ) 付近で下降する湾曲渦構造(低水路湾曲渦と呼ぶ)が観察される。外岸側の高水敷においてもこの主要な湾曲渦と同じ向きの渦構造が認められる。外岸の斜昇流は弱くなり、水平に近い角度で低水路に向かう流れとなる。計測点が少ないため明らかではないが、この低水路湾曲渦と外岸高水敷湾曲渦の間に逆向きの渦構造がありそうである。このことは、後出の高水敷粗面における詳細計測で確認された。内岸高水敷上の渦構造は明確でない。

#### (2)高水敷幅22.5cmの場合(ケースC-2)

ケースC-1と同様に低水路内の内岸寄りに湾曲渦が存在するが、低水路幅の減少により、その横断方向スケールは減少している。すなわち、低水路内岸で上昇流、低水路幅の70% ( $y=55\text{cm}$ ) 付近で下降流となっている。外岸側および内岸側の高水敷上においても、低水路の湾曲渦と同じ向きの渦構造が認められる。計測点が少なく明確ではないが、外岸側高水敷上では長方形でみられたと同様の外岸の逆向きの渦(外岸渦)の存在が認められる。やはり外岸側の斜昇流は弱く、水平に近い角度で低水路に向かう流れとなっている。

#### (3)高水敷幅30cmの場合(ケースC-3)

低水路幅がさらに減少したことにより、低水路の湾曲渦の横断方向スケールが減少し、低水路内岸で上昇流、 $y=50\text{cm}$  付近で下降流となっている。外岸側および内岸側の高水敷上では、低水路の湾曲渦と同じ向きの湾曲渦がさらに発達し、明確な渦構造(高水敷湾曲渦と呼ぶ)を示すようになる。外岸側高水敷上で、長方形断面で見られた外岸渦の存在もより明確になっている。ここでは外岸側の斜昇流は内岸より弱いものの、ケースC-1、C-2に比べてはっきりと上昇流が存在している。

以上のように、複断面開水路湾曲部では、遠心力に起因する2次流が低水路と高水敷に分断される。低水路内では、内岸側に偏った低水路幅の約65~75%の幅を持つ湾曲渦が形成され、高水敷幅が大きくなるほど、高水敷上の湾曲渦が発達する。

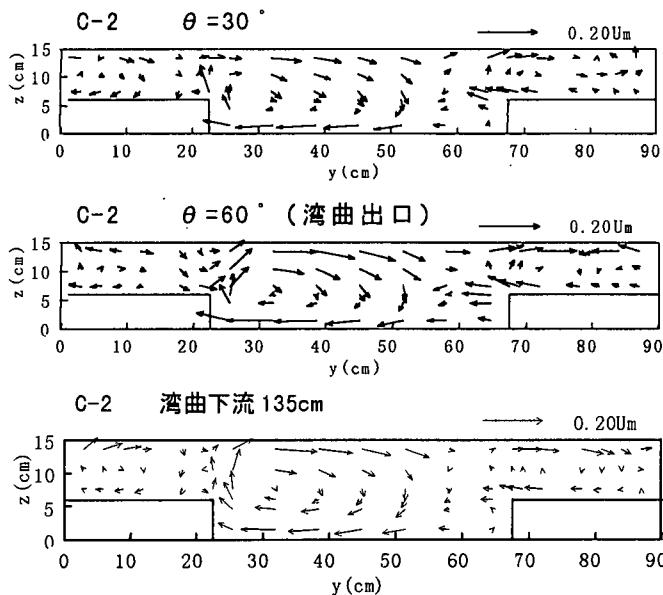


図-3(b) 2次流ベクトル図(複断面:高水敷幅22.5cm)

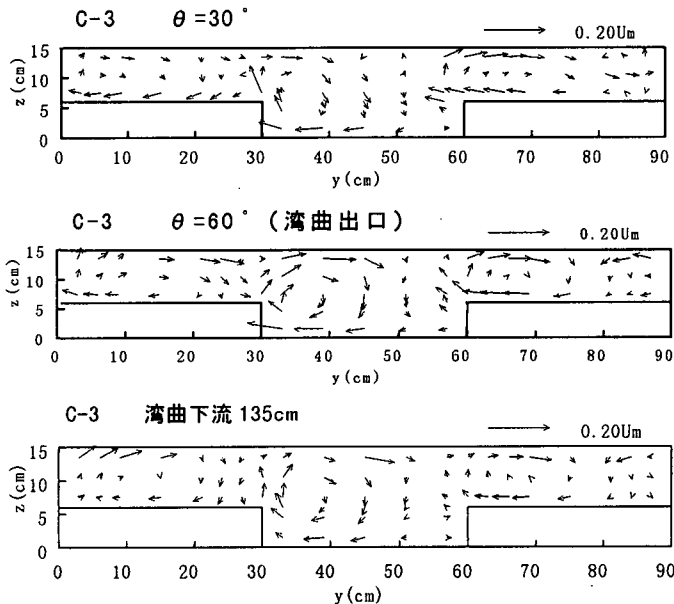


図-3(c) 2次流ベクトル(複断面:高水敷幅30cm)

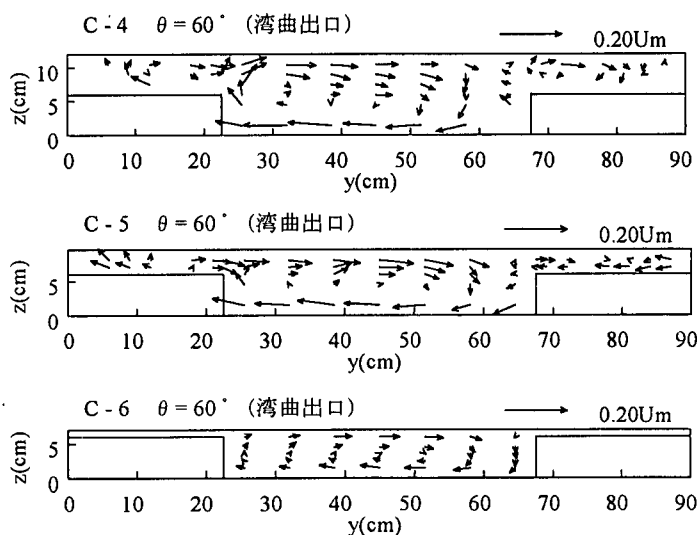


図-4 2次流ベクトル(水深比の影響)

### 3. 2 2次流構造に及ぼす水深比の影響

図-4は、高水敷幅22.5cmの複断面水路において水深を12cm, 9.5cm, 7.5cmと減少させたときの湾曲出口における2次流ベクトル図である。高水敷水深が小さい場合、電磁流速計による鉛直方向の計測では壁面および水面から1cmから1.5cm離す必要があるため、計測点数が限られ、非常に浅い場合は計測不可能となる。そのため、高水敷上の2次流構造が不明確であるが、湾曲2次流が低水路と高水敷に分断される傾向は水深比が小さい場合においても同様に認められる。低水路の湾曲渦について見ると、水深の減少に伴い、鉛直方向流速成分が小さくなり、また、渦の中心位置が内岸側から水路中央へ移動している。

### 3. 3 2次流構造に及ぼす高水敷粗度の影響

図-5は、高水敷幅22.5cmの複断面水路において高水敷を粗面としたときの水深 $h=15\text{cm}$ のケースの流下方向代表位置における2次流ベクトル図と $h=9\text{cm}$ のケースの湾曲出口における2次流ベクトル図である。 $h=15\text{cm}$ の湾曲出口のみは詳細に計測されている。高水敷粗面の場合、 $\theta=30^\circ$ で比較すると、高水敷上の2次流構造が高水敷滑面の場合よりも明確になり、強くなっている点が注目される。低水路ではほぼ同様の湾曲渦が存在しているが、外岸側高水敷上の2次流が発達し斜昇流も顕著になったことから、低水路の中央から外岸側にかけて、湾曲渦が底面側に潜り込むようになっている。このことは $\theta=60^\circ$ の湾曲出口の詳細計測によって明らかとなる。このため、高水敷粗面の低水路の湾曲渦は滑面に比べて小さくなり、下流135cmにおいても減衰が早まっている。内岸高水敷上の2次流は独立した渦構造としては明確に存在しなくなり、底面近傍および水面横断方向流れは低水路の渦構造と連続した構造を示している。ただし、内岸の高水敷肩部分では強い斜昇流が存在し、ここで鉛直方向流速成分は連続性が途絶えている。このような連続性を満たさない2次流構造は、間欠的な組織渦構造の存在を示唆するものと考えられるが、今のところその原因は不明であり、これを解明するためには流れの時間変動と空間構造を詳細に計測する必要がある。外岸高水敷上では、かなり強い明確な渦構造が認められる。外岸高水敷肩では、上昇流がほぼ鉛直上方に向いており、高水敷外岸付近で強い下降流を生じている。この高水敷上の強い渦と低水路渦との間に湾曲渦とは逆回転の2次流構造が明確に認められ、これによって低水路湾曲渦が下に押しやられているこ

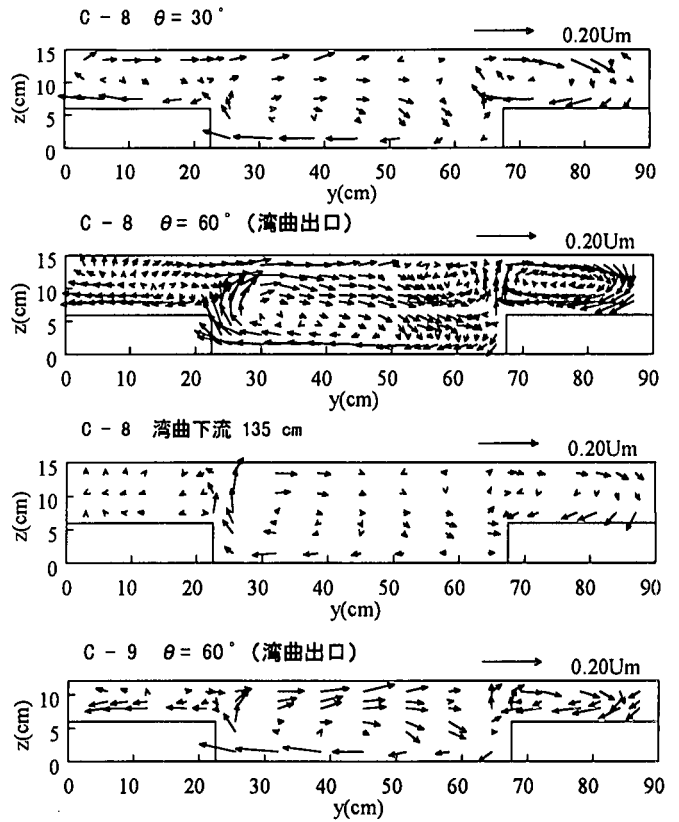


図-5 2次流ベクトル (高水敷粗度の影響)

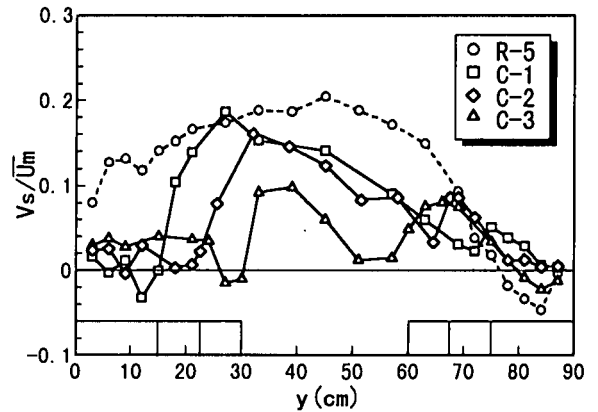


図-6 2次流強度横断分布 (高水敷幅の影響)

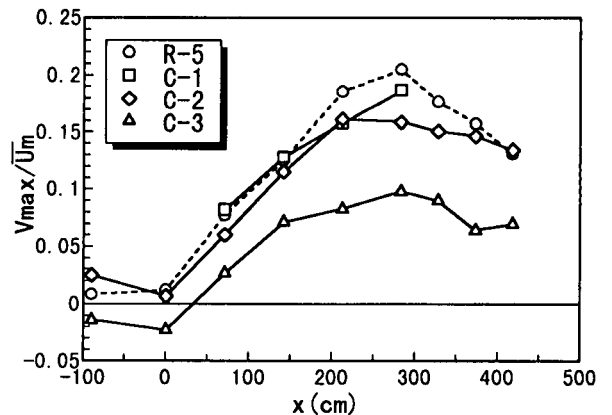


図-7 2次流強度の流下方向変化 (高水敷幅の影響)

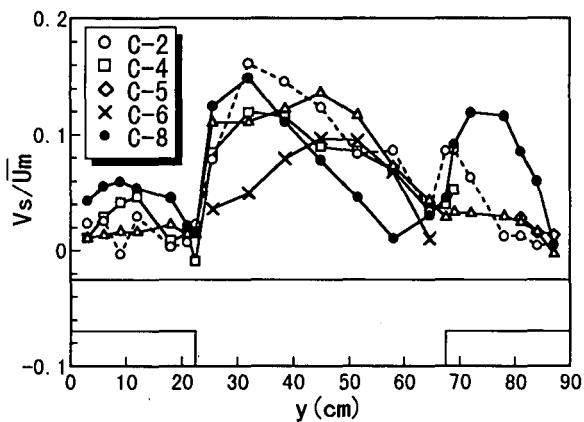


図-8 2次流強度の横断分布  
(水深比および高水敷粗度の影響)

とがわかる。h=12cmの結果も示したが、h=15cmの場合とほぼ同様のことがいえる。

### 3.4 2次流の強度および発達過程の比較

2次流の強度を表すのに、流れ関数の最大値や2次流速の運動エネルギー等が考えられるが、ここでは簡便な2次流強度の見積もりを考慮して、直接的に2次流速の最大値を採用することとした。すなわち、底面最近点と水面最近点の横断方向流速の差の1/2で定義される横断方向流速偏差 $V_s$ を指標とする。ただし、低水路外岸側では主要な湾曲渦の横断方向流速偏差を概略的に $V_s$ としている。

図-6にケースC-1、C-2およびC-3の2次流が最大となる $\theta = 60^\circ$  (湾曲出口)における $V_s$ の横断分布を示す。これには、長方形断面の結果も併示している。ケースC-1では、低水路湾曲渦のピーク位置がかなり内岸側に寄り、ピーク値はほぼ長方形断面の値近くに達している。水路中央より外岸側の低水路内では長方形断面よりも小さくなっている。C-2では高水敷幅の増大により内岸のピーク位置が中央にずれるが、ピークより外岸側ではC-1と同様な分布を示す。ただし、外岸高水敷上ではC-1より大きな値をとっている。C-3になると、低水路湾曲渦の強度はかなり弱められ、長方形の場合の半分程度の大きさになっている。高水敷上は内岸、外岸とも大きくなり、特に外岸の強度は低水路と同程度にまでなる。

$V_s$ の横断方向最大値を $V_{max}$ と定義し、この流下方向変化を示したのが図-7である。C-1では一部水面近傍の2次流速が計測されなかった点があるため、データが欠落している。C-1、C-2ではほぼ長方形断面の場合と同様な発達・減衰過程を示す。C-3では発達・減衰過程はほぼ相似であるが、ピーク値は長方形の約半分まで減少している。

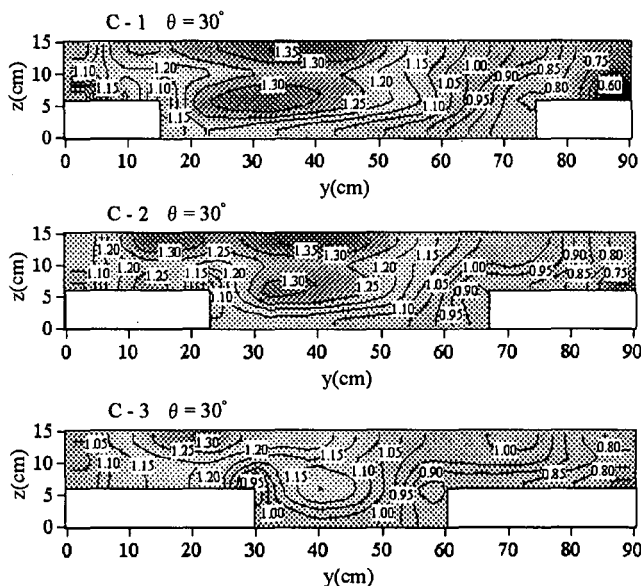


図-9(a) 主流速コンター ( $\theta = 30^\circ$ )

図-8は水深比が小さいケースと高水敷粗面のケースについて湾曲出口における2次流強度の横断分布を比較したものである。水深比の減少に伴い、低水路のピーク位置が外岸へ移り、かつ値も小さくなっている。高水敷粗面の場合、ピーク位置より内岸はほぼ同様であるが、これより外岸側は減少して、さらにピークが内岸へ偏った分布となっている。また、外岸高水敷上全体にわたってかなり大きな値をとることが特徴的である。

## 4. 主流速の構造

### 4.1 主流速構造に及ぼす高水敷幅の影響

主流速の横断面内構造はいずれの長方形断面で見られたと同様に、湾曲入口で内岸が高速化しいわゆる自由渦型分布を示し、流下するにつれて、水面勾配の変化と2次流による運動量輸送効果によって、内岸が低速化、外岸が高速化する強制渦型分布へと移行する傾向を示す。ただし、高水敷幅と低水路幅の関係により異なる主流速構造を示した。ケースC-1、C-2およびC-3の主流速コンターを図-9に示す。 $\theta = 30^\circ$ ではそれぞれのケースですでに内岸側が速く外岸側が遅い自由渦型分布が発達している。ただし、内岸高水敷肩付近では、斜昇流による減速が見られる。高水敷幅が大きくなるほど、高水敷上の流速が大きくなり、C-2では高水敷上に低水路と同程度の高速流が見られ、C-3では低水路よりも高水敷上が速くなる。

$\theta = 60^\circ$  (湾曲出口)付近となると、内岸高水敷上と内岸高水敷肩付近から低水路へかけての減速が顕著となり、低水路内岸域では水面側が遅く底面側が速い分布となっている。この内岸高水敷からの低速流の輸

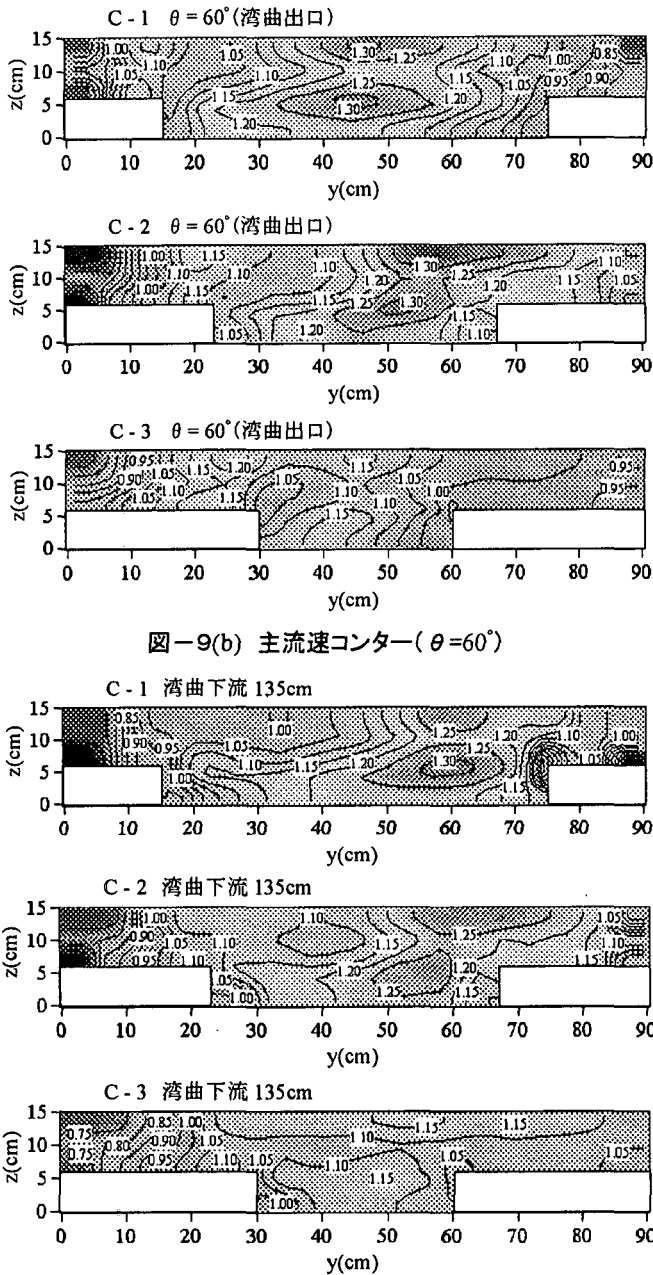


図-9(c) 主流速コンター(湾曲下流135cm)

送はケースC-1とC-2で同程度であるため、ケースC-1では低水路中央部に最大流速があるが、C-2では低水路外岸寄りに最大流速位置が押しやられている。ケースC-3では内岸高水敷肩からの減速流によって低水路内が十分高速化せず、外岸高水敷上のみが加速されている。まだ内岸高水敷上に最大流速がある。

直線部の湾曲下流135cmでは、ケースC-1、C-2はほぼ同様であるがC-3のみ異なる傾向を示す。C-1、C-2では、内岸の減速領域がさらに拡大し、低水路の大部分で水面側が遅く底面側が速い分布となっている。最大流速位置はさらに外岸へ移動し、外岸高水敷上までが高速化している。これに対してC-3では、内岸の低速域は発達するものの、低水路から

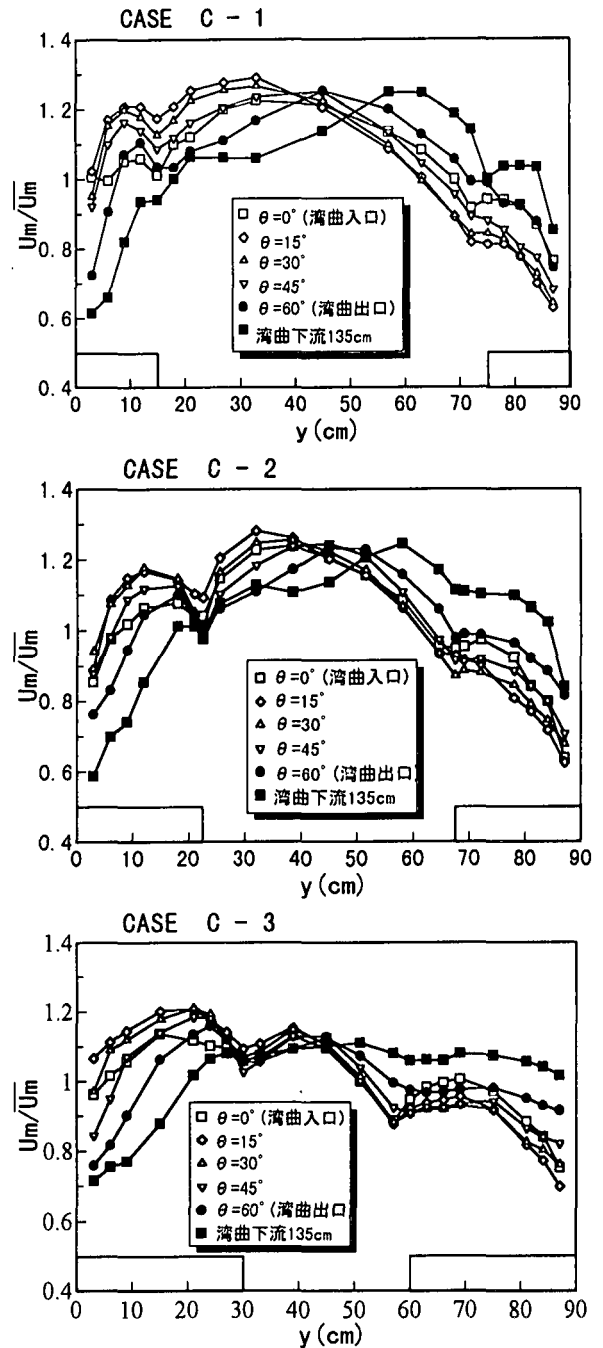


図-10 水深平均主流速横断分布 (高水敷幅の影響)

外岸高水敷にかけてほぼ様な流速となっており、横断方向流の流速変化が小さく、また鉛直方向にも変化が小さい。

次に、水深平均流速の横断分布を図-10に示す。高水敷幅の違いによって高水敷及び低水路で変化特性は異なるが、基本的に自由渦型分布から強制渦型分布へと移行する過程をとることが明らかである。低水路では湾曲入口から $\theta = 30^\circ$ 付近までは内岸側でピークをとり外岸側へ向かって急な減少を示し、最大流速は $\theta = 15^\circ$ の位置に現れる。ここから下流へ向かってピーク位置が徐々に外岸側へ移動し、 $\theta = 60^\circ$ (湾曲出口)で

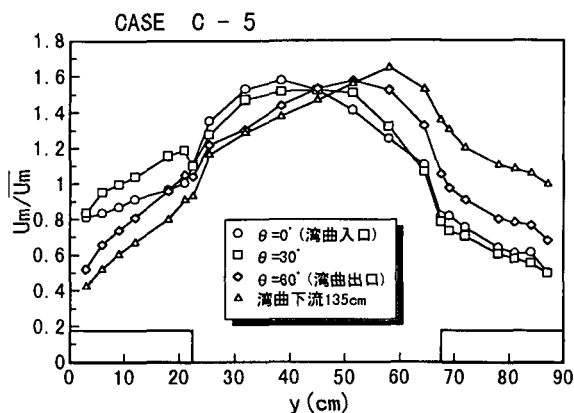


図-11 水深平均流速横断分布  
(水深比の影響)

は水路中央付近にあり、湾曲下流では外岸側にピークが移っている。内岸側高水敷について見ると、 $\theta = 15^\circ$ でピークをとり、下流にいくにしたがって急速に減速する。 $\theta = 15^\circ$ と湾曲下流135cmまでの流速変化はいずれの高水敷幅においても約 $0.4\bar{U}_m$ に達する。湾曲下流直線部の内岸高水敷上の主流速は低水路に向かって大きな勾配を持って増大している。また、内岸側高水敷肩では高水敷側壁で強い上昇流が発生するため減速され極小値をとる傾向を示している。外岸側高水敷上については、 $\theta = 15^\circ$ で最小となり、下流にいくにつれて著しい増大を示す。この増加率は $0.3\bar{U}_m$ 程度である。外岸側高水敷肩でも同様の傾向を示しているが、斜昇流が弱いために内岸ほど明確ではない。高水敷幅の違いに着目すると、両高水敷上の変化過程はいずれのケースも同様で大きな違いは見られない。低水路の変化過程については、ケースC-3において内岸側で流下方向の変化が小さい。また、全体を通しての平均流速の最大値はケースC-1、ケースC-2では低水路内にあるが、ケースC-3では内岸側高水敷上に現れる。C-3では湾曲下流で低水路と外岸側高水敷でほぼ同じ大きさとなり、外岸高水敷の側壁近傍の増大が著しい。以上のように、複断面では高水敷における主流速の変化が大きく現れる傾向にある。

#### 4.2 主流速構造に及ぼす水深比の影響

図-11は水深9.5cmのケースC-5の水深平均流速横断分布図である。水深12cmの場合は、高水敷上の流速がそれほど減速されておらず、水深15cmのケースC-2とほとんど同様の变化過程を示していた。水深9.5cmになると、高水敷上流速がかなり遅くなり、低水路流速と大きな差ができるが、流下にしたがって内岸高速から外岸高速へと移行する過程は同様である。ただし、水深が小さい場合、外岸高水敷上の流下方向の変化

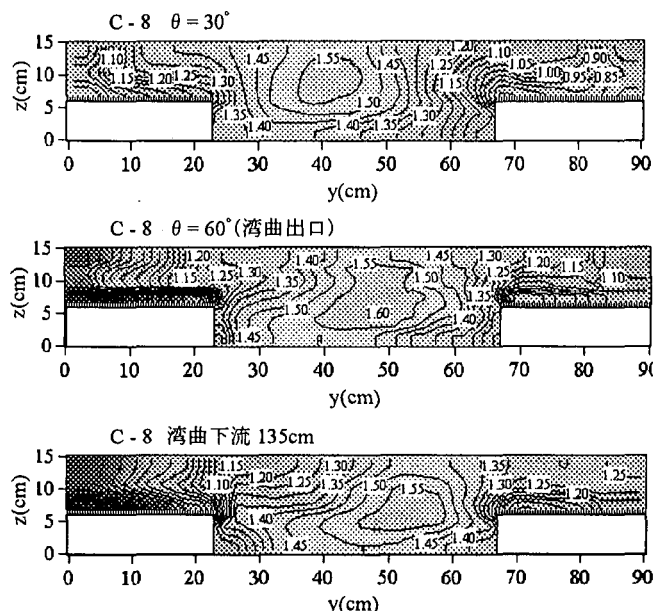


図-12 主流速コンター(高水敷粗面)

が顕著になっている点が注目される。外岸高水敷上では、 $\theta = 30^\circ$ の最小値と湾曲下流135cmの最大値の差は $0.5\bar{U}_m$ にまで達するのに対し、内岸の変化は水深15cmのケースと同程度である。また、低水路においても湾曲出口から下流の外岸側の増大が顕著になる。これは、低水路湾曲渦の外岸側への移動によるものと考えられる。

#### 4.3 主流速構造に及ぼす高水敷粗度の影響

高水敷粗面で水深15cmのケースC-8の主流速コンターを図-12に示す。高水敷上がかなり低速になる影響が現れており、 $\theta = 30^\circ$ において、内岸高水敷上にピークは現れず、低水路の最大流速位置もC-2に比べて水路中央寄りになる。また、外岸高水敷から低水路への等値線の突き出しが内岸よりも顕著であり、外岸の斜昇流を含む強い2次流の運動量輸送効果が現れたものと解釈できる。 $\theta = 60^\circ$ においては、内岸高水敷上が大きく減速されるが、高水敷肩から低水路への低速流の流れ込みはC-2に比べて小さく、低水路内の高速域もわずかに外岸へ移動する程度である。外岸高水敷からの等値線の突き出しは減少するものの、この近辺の水面側の領域はC-2に比べて遅くなっている。また、高水敷外岸近くが加速されている点が注目される。湾曲下流135cmでは、内岸高水敷の減速がさらに進み、低水路内岸の水面側の減速領域も広がっている。最大流速の横断方向位置はほぼC-2と同じであるが、水面近傍が低速となっている。

次に、水深9.5cmのケースと併せて、水深平均流速の横断分布を図-13に示す。高水敷上の流速がかな

り減速されているが、これまで見てきたケースと同様の  
 変化過程が認められる。水深15cmのケースでは内岸  
 高水敷上で変化が大きく、 $0.55\bar{u}_m$  程度の変化を示して  
 いる。外岸高水敷では肩付近で極小値をとる傾向にあり  
 変化が小さくなっている。これは、強い斜昇流の影響  
 と考えられる。しかし、この外岸高水敷上の発達した2  
 次流による運動量輸送によって、外岸側壁近傍は大き  
 く加速されている。この傾向は $h=12\text{cm}$ でも同様であつ  
 た。 $h=9.5\text{cm}$ になると、高水敷上は非常に低速となり、  
 低水路流速が高速化し、低水路内の最大流速位置の  
 外岸への移行が顕著に現れるようになる。内岸高水敷  
 上では湾曲入口から $\theta=30^\circ$ にかけての加速が見られ  
 なくなり、流速変化は小さくなる。外岸高水敷では斜昇  
 流の影響は小さくなるものの、外岸側壁近傍の加速は  
 やはり大きい。

## 5. 結論

幅水深比が比較的小さな複断面開水路湾曲部流れ  
 の平均流構造を、高水敷幅、高水敷・低水路水深比お  
 よび高水敷粗度を変化させて実験的に検討した。得ら  
 れた主な結論は以下のものである。

- (1)複断面開水路の湾曲部特有の2次流は、低水路内  
 および高水敷上で独立した渦構造として存在する。結  
 果として、両高水敷肩において乱れに起因する2次流  
 と同様に斜昇流が発生している。
- (2)複断面開水路においても湾曲部2次流強度の発達  
 過程は、長方形断面とほぼ同様である。
- (3)高水敷幅が広がるにつれて高水敷上の渦が顕著  
 となるが、低水路も含めて2次流強度は弱まってくる。
- (4)高水敷・低水路水深比が小さくなると、低水路2次流  
 が低水路全体に及ぶようになる。
- (5)高水敷粗度が大きい場合、外岸高水敷上の2次流  
 が高水敷幅全体に発達し、外岸の斜昇流が強くなる。
- (6)複断面開水路の湾曲部においても、湾曲前半で内  
 岸が加速され、後半から直線部にかけては外岸側が加  
 速されるという特徴は同様である。ただし、高水敷上  
 において流下方向の流速変化が長方形断面に比べて大  
 きくなる傾向にある。

以上、種々の幾何的条件の下で複断面開水路湾曲  
 部流れの平均流構造を検討し、その特徴が明らかにさ  
 れた。今後は数値モデルとの比較しうるような乱れ構  
 造を含めた詳細な計測を代表的な断面形において行う  
 ことが必要であろう。

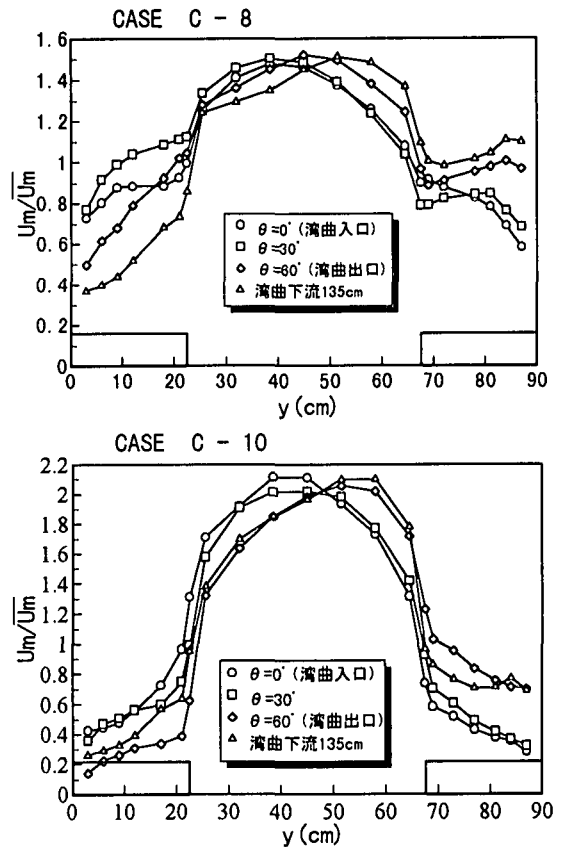


図-13 水深平均流速横断分布  
 (高水敷粗度の影響)

## 参考文献

- 1)村本嘉雄,井上喬之:開水路湾曲流の内部機構,京都大  
 学防災研究所年報,第8号,pp.415-427,1965.
- 2)吉川秀夫,池田駿介,北川明:湾曲水路の河床変化につ  
 いて,土木学会論文報告集,第251号,pp.65-75,1976.
- 3)今本博健,石垣泰輔,藤沢寛:複断面湾曲開水路流れの  
 水理特性について(1),京都大学防災研究所年報,第25  
 号B-2,pp.529-543,1982.
- 4)千葉茂樹・富永晃宏:開水路湾曲部の流れ構造に関する  
 基礎的研究,土木学会大51回年次学術講演会講演概要  
 集,第2部,pp.340-341,1996.
- 5)富永晃宏・長尾正志・大沼保仁:台形断面開水路湾曲部  
 の2次流構造,水工学論文集,第42巻,pp.895-900,  
 1998.
- 6)武藤裕則・塩野耕二・今本博健・石垣泰輔:複断面蛇行開  
 水路流れの3次元構造について,水工学論文集,第40巻,  
 pp.711-716,1996.
- 7)福岡捷二・大串弘哉・加村大輔・平生昭二:複断面蛇行流  
 路における洪水流の水理,土木学会論文集,第41巻,  
 pp.83-92,1997.
- 8)Tominaga,A. and Nezu,I.,Turbulent structure in compound  
 open-channel flows,J. Hydraulic Engrg.,ASCE,vol.117(1),  
 pp.21-41,1991.

(1998年4月24日受付)