

# 堤防と低水路の法線の上に位相差が存在する 複断面蛇行流路の流れと河床変動

Flow and bed topography in a meandering compound channel with phase difference between the alignment of the main channel and levee.

福岡捷二\* 宮崎節夫\*\* 大串弘哉\*\*\* 加村大輔\*\*\*\*

By Shoji FUKUOKA, Setsuo MIYAZAKI, Hiroya OHGUSHI and Daisuke KAMURA

In a meandering compound channel with the phase difference between the alignment of a main channel and levee, velocity fields, bed variation and exchange flow between the main channel and flood channel are investigated by a large flume experiment. The outer boundary line of the exchange flow region intersects with maximum velocity filament in the main channel at the inflection point of the meandering main channel. The horizontal flow field is divided into two at the height of the flood channel. The bed variation which arises near the inner bank is mainly caused by the streamwise change in the maximum velocity in the main channel.

**Keywords:** meandering compound channel, phase difference between the alignment of main channel and levee, bed variation, velocity field

## 1.はじめに

堤防法線と低水路法線の上に位相差が存在するいわゆる複断面蛇行流路で、高水敷上にも水が流れる場合には、低水路内の最大流速は内岸から内岸の最短経路に現れ、低水路内の二次流のセルは単断面蛇行流れのそれと逆になること<sup>1)3)</sup>、低水路と高水敷の上に位相差に応じた流れの出入りがあり、自然河川においては洪水時にこのような流速場が出現していること、さらに低水路河床が移動床の場合には、河床の内岸側が洗掘され外岸河床はほとんど洗掘されないこと、このため従来の河岸侵食対策の効果については、堤防法線形と低水路法線形に対応して検討する必要があることが示された<sup>2)</sup>。しかし、このような流れが発生する機構についてはまだ十分理解されていないため、この知見を河道計画に活用する段階に至っていない。このため、本研究では詳細に流れ場を測定することで、堤防法線と低水路法線の上に位相差が存在する流路における流れ場と河床変動の特性を明らかにする。特に各断面における主流と二次流、高水敷の高さを平面境界としその上下の流れの構造、低水路と高水敷の間の流れの出入りに着目し、検討している。



写真-1 実験水路の全景

- 
- \* 正会員 工博、Ph. D. 広島大学教授 工学部第四類 (建設系) (〒739 広島県東広島市鏡山1-4-1)
- \*\* 正会員 工修 (株)建設研究所 技術第3部
- \*\*\* 正会員 工修 広島大学助手 工学部第四類 (建設系)
- \*\*\*\* 学生員 広島大学大学院工学研究科 博士課程前期

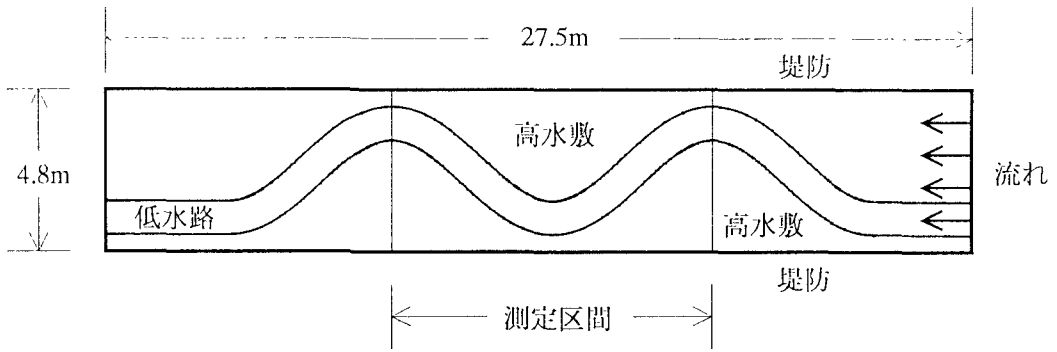


図-1 実験水路1の平面図

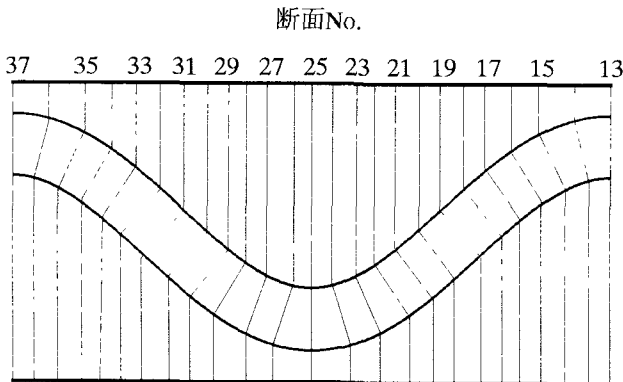


図-2 測定区間と測定断面

表-1 実験水路の諸元と実験条件

	実験 1	実験 2	
水路長	27.5m	22.5m	
全水路幅	4.8m	2.2m	
低水路幅	1.0m	0.5m	
水路勾配	1/500	1/600	
蛇行長	12.0m	4.8m	
最大偏角	45°	45°	
流量	68.8l/s	23.6l/s	46.6l/s
低水路平均水深	9.5cm	8.5cm	10.5cm
高水敷平均水深	3.5cm	4.0cm	6.0cm
低水路の状態	移動床	平坦固定床	

## 2. 実験方法

実験は複断面蛇行水路を用いた移動床実験（実験1）と平坦固定床実験（実験2）の2種類から成る。実験1で用いた水路を写真-1に、平面図、測定区間及び測定断面をそれぞれ図-1、2に示す。用いた水路の諸元と実験条件を表-1に示す。両水路は、直線的な堤防の間に蛇行低水路があり、高水敷には粗度付けのため人工芝を貼り付けている。実験1では低水路内に粒径0.8mmのほぼ様な砂を敷いている。河床がおおよそ安定する8時間通水を行い、動的に平衡が保たれるように3分間に300ccの給砂を行っている。通水を止めた後、トルエンで薄めたセメダインで河床を固め、電磁流速計を用いて詳細な流速分布を測定した。実験2では平坦な固定河床を有する以外、実験1と同様な平面、横断形状の水路を用い、2種類の流量について測定を行った。実験1と実験2はほぼ同様な結果を与えるので、本文では主に実験1の結果について報告する。

## 3. 堤防法線と低水路法線の間に位相差が存在する複断面流路での流れと河床変動（実験1）

### 3-1. 河床形状

図-3に河床高のコンター図を示す。これを見ると、最大曲率を有する断面（No.13、No.25）の内岸側付近からその直下流の断面（No.17、No.29）まで、大きな洗掘が発生している。蛇行変曲点（No.19、No.31）を過ぎると、次の蛇行部の内岸側の直上流（No.35付近）に堆積が生じ、6cm上の高水敷にまでかなりの量の砂が乗り上げている。一方蛇行部の外岸側では砂の移動がほとんど見られず、初期河床高のままで残っている。河床変動は低水路の内岸及び内岸から内岸に向かったラインに沿って現れている。

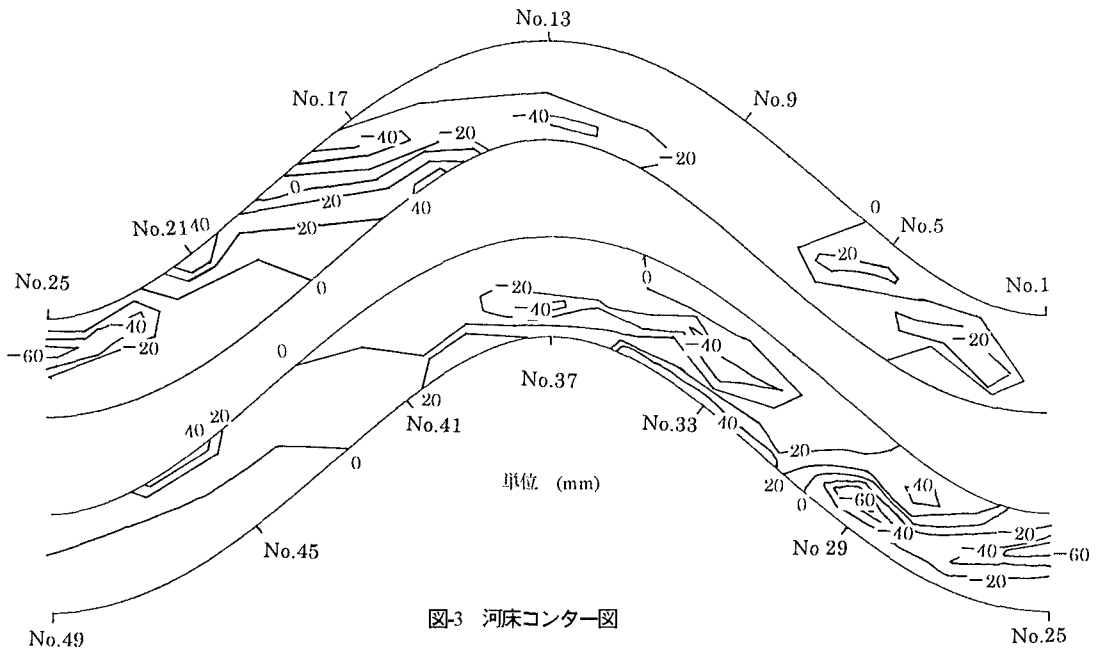


図3 河床コンター図

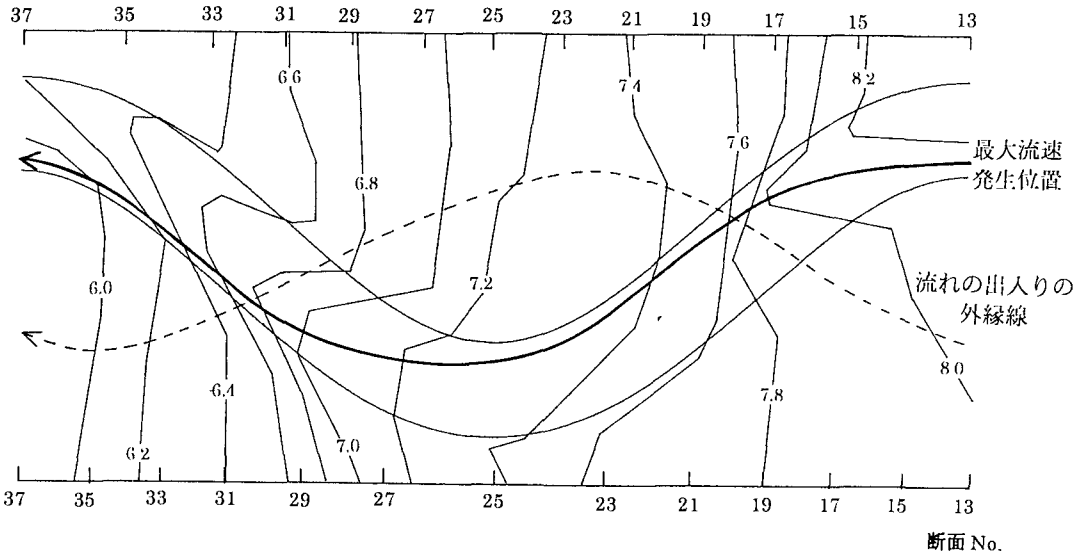


図4 水位コンター図

### 3.2. 表面流の平均的構造

図4に水位のコンターを示す。低水路内では各最大曲率を持つ断面(No.13、25、37)で内岸側の水位が外岸側より低くなっている。図内の実線は低水路内の水深平均最大流速の発生位置を連ねた線を示しているが、水位の低い位置とほぼ一致している。この線は低水路内の最短経路を通るように、蛇行の内岸から内岸を連ねるように現れている。また図内の破線はパンチくずや染料等のトレーサーによる流れの可視化から、低水路と高水敷の間で流れの出入りが見られる領域の外縁線を示している。トレーサーは蛇行変曲断面(No.19)付近の外岸側で低水路から高水敷へ流出し、大部分は低水路から離れずに流れ、次の蛇行変曲断面(No.31)よりも上流で低水路内に再流入する。高水敷上ではこの外縁線の外では、ほぼ直線的な流れとなる。すなわち平均的な表面流況は図4で示した2本の線が8の字を描くような流れと、その外側の堤防法線に沿う直線的な流れで特徴づけられる。

### 3.3 横断面内の主流速分布と二次流速分布

複断面でかつ堤防法線と低水路法線  
の間に位相差が存在する流路において  
は、低水路内の流れは高水敷高さより上  
の流れによって大きく影響される。これ  
を示すものとして図-5に No.33 と No.37  
の断面内の主流、二次流分布を挙げる。  
(a)、(b)から主流速のコンター線は高水敷  
の高さ付近で折れ曲がっており、水深方  
向に流速を見ると河床付近を除くこの  
付近で最も流速が変化していることが  
分かる。二次流の分布についても高水敷  
の高さで流れの向きが逆になったり、あ  
るいはその下で0になっている。(c)と(d)  
の二次流の分布についてさらに詳細に  
見ると、最大曲率断面の No.37 では外岸  
から内岸に向かう二次流のセルが観察  
される。No.33 では低水路右岸に高水敷  
からの流入があるが、高水敷高さより上  
では高水敷からの流入を示す二次流が  
現れ、河床付近では逆向きの二次流とな  
るセルが発生している。しかしながら高  
水敷から低水路に流入する流れのため  
に、この断面ではセルが小さくなってい  
る。これは二次流が弱いのではなく、高  
水敷から流入する流れによって二次流  
セルが小さくなったと解釈される。内岸  
側河床洗掘の主要な原因はこのよう  
な流れによって引き起こされる、主流の最  
大流速の流下方向変化であると考えら  
れる。

### 3.4 各水深における流況の変化

3.3 で述べた断面内の流速分布の考察  
から、各水深での流速ベクトルをさらに  
詳細に検討し流れの構造を理解するこ  
とが重要である。ここで表面流況を表す  
ものとして図-6に水面から1cm下の流速  
ベクトルを、高水敷の高さ付近の流況を  
表すものとして図-7、8に水面からそれ  
ぞれ3cm下と4cm下の流速ベクトルを、  
低水路底面付近の流れを表すものとし  
て水面から6cm下の流速ベクトルを図-9  
に示す。まず表面流況について見ると、

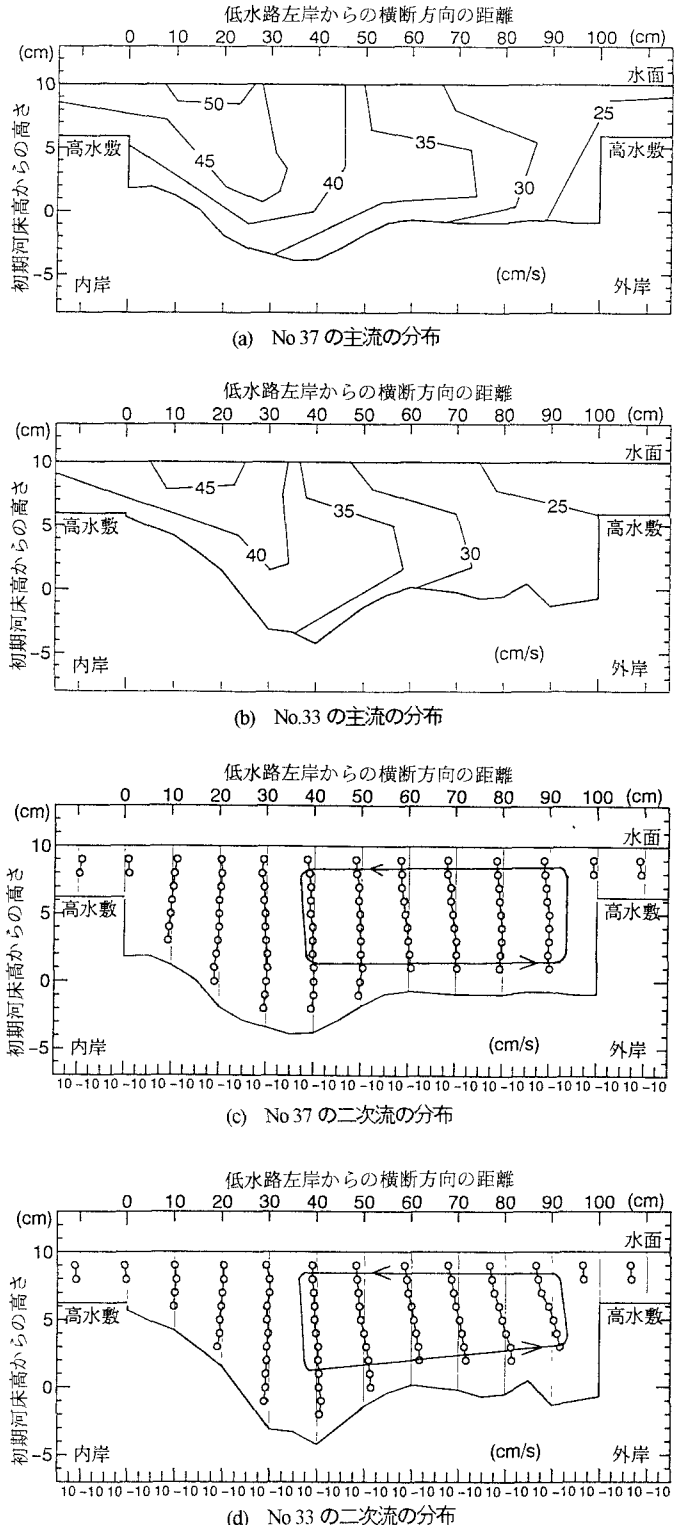
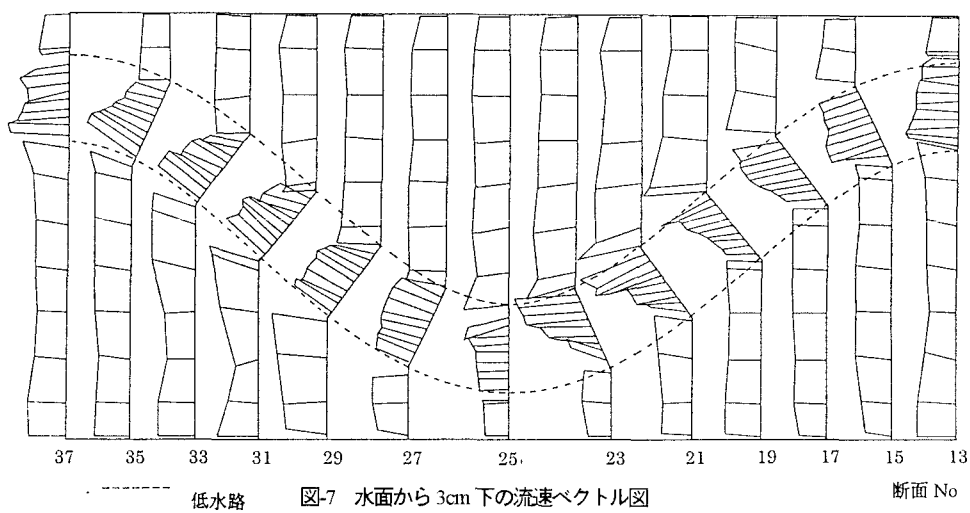
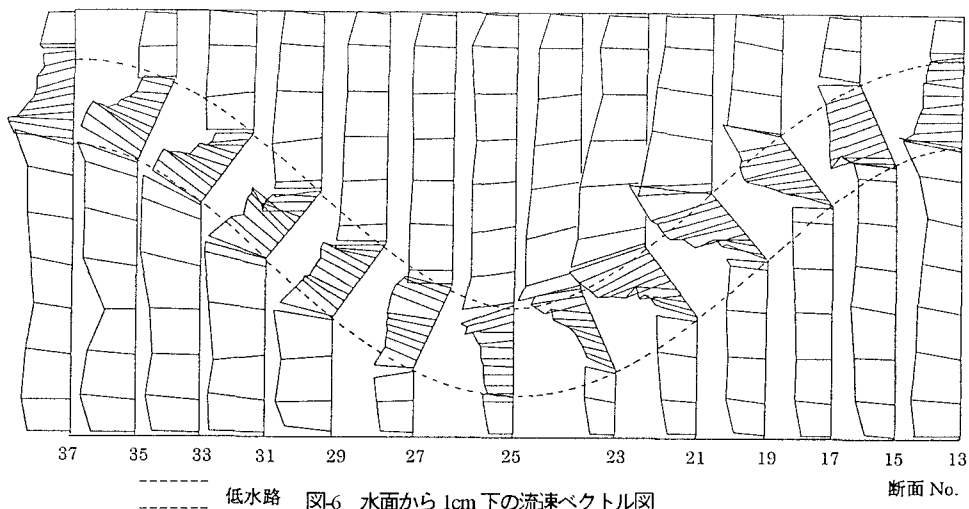


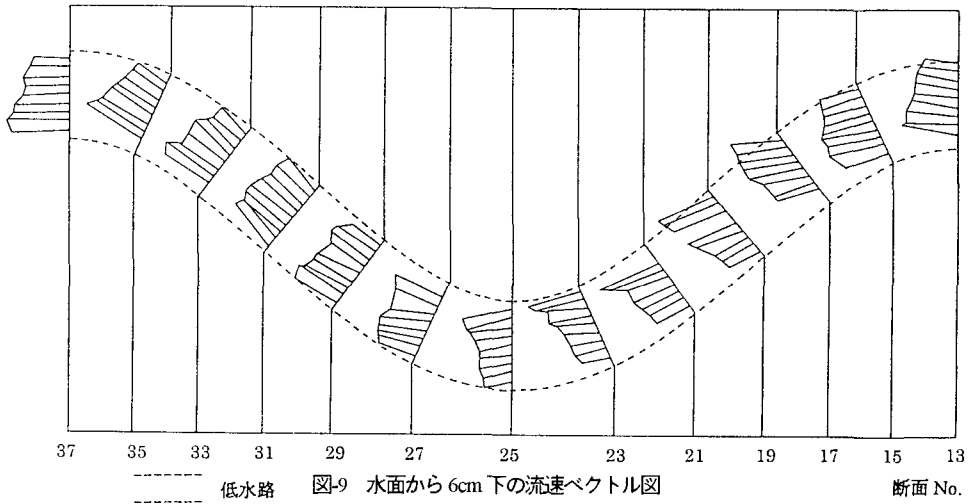
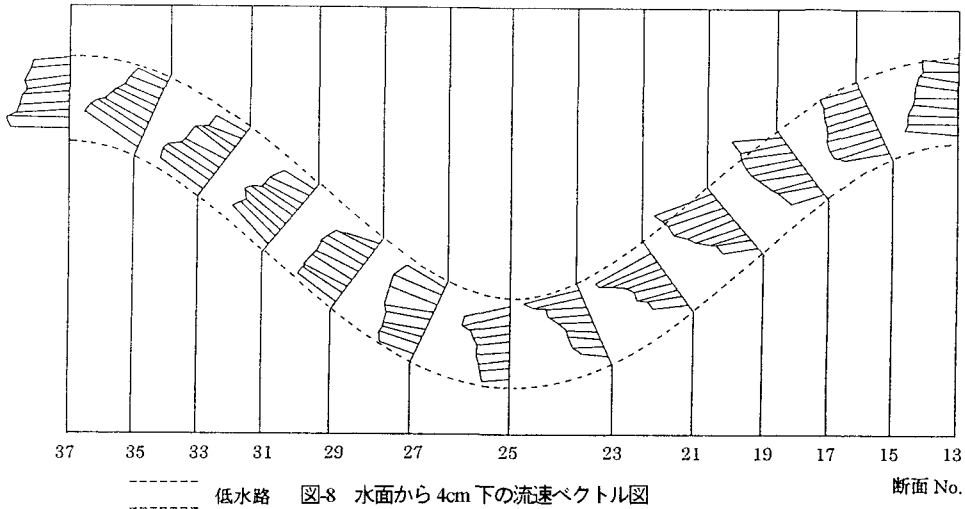
図-5 断面 No.37 と No.33 における主流・二次流分布



蛇行変曲断面付近 (No 19、No 31) では、低水路の内岸で流入、外岸で流出を示す流れの構造が示されている。また低水路近傍の高水敷上では低水路に向かう流れが生じている。この水深での流速ベクトルはパンチくずを用いた可視化で確認された流況とよく一致している<sup>2)</sup>。次に表面流況と高水敷の高さ付近の流況を比較すると、低水路内を横断するような流れが減じ、さらに低水路近傍の高水敷でも低水路に向かう流れは小さくなっている。水面から4cm下、6cm下になると、高水敷上の流れの影響を若干受けるものの低水路に沿う流れが顕著になる。以上の各水深での流況から以下のことと言える。低水路内で高水敷との間に流れの顕著な出入りがあるのは、高水敷の高さよりも上の部分で、河床に近づくほどその影響は少なくなり、流れは低水路に沿うようになる。以上、3-2、3-3、3-4で述べた主流・二次流の構造は、実験2において流量が異なる場合についても同様に生じており、本研究で用いたような平面構造の複断面蛇行流れにおいては一般性の高い結果であるといえよう。

#### 4. おわりに

堤防法線と低水路法線の間に位相差が存在する複断面蛇行流路では、低水路内の河床変動は内岸及び内岸から内岸に向かうラインに沿って現れることが示された。流れについては以下のようにまとめられる。高水敷高さより上の流れの平均構造は、低水路内の最大流速を連ねた線と、低水路と高水敷の流れの出入りの領域を示す外縁線が8の字状



に交差する特徴を持つ。このような流れの出入りは高水敷高さより上では活発に起こっているが、高水敷高さより下の部分ではほとんど見られず、主流はほぼ低水路に沿っており、高水敷高さの上下で低水路部分の流況が大きく異なる。二次流の構造は高水敷より上の流れの流出入によって著しく影響され、二次流は大きく現れているが、そのセルは小さくなっている。内岸沿いの河床の深掘れは主流の最大流速の流下方向変化に起因するところが大きい。今後の主要な課題は、堤防と低水路の法線形の位相差の変化が流れにどのように影響するかを明らかにすることである。

#### 参考文献

- 1) Gerard Kiely : Overbank Flow In Meandering Compound Channels, The Important Mechanisms, International Conference On River Flood Hydraulics, pp 207~217, 1990
- 2) 福岡捷二・宮崎節夫・高橋宏尚・加村大輔 : 堤防法線と低水路法線の間に位相差がある流れの水理、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp 89~94, 1995
- 3) C Naish・C A M E Wilson : The Effect of Berm Inclination on Flow Structures in Doubly Meandering Compound Channels, HYDRA 2000(Vol 5) Thomas Telford, London, pp.91~96, 1995