

# 急勾配複断面蛇行流れの水面形と水面変動

## PROFILE AND FLUCTUATION OF WATER SURFACE OF THE MEANDERING COMPOUND CHANNEL FLOW WITH STEEP GRADIENT BED

福岡捷二<sup>1</sup>・高畑洋<sup>2</sup>・岡部博一<sup>3</sup>・柳本千早<sup>4</sup>

Shoji FUKUOKA, Hiroshi TAKABATAKE, Hirokazu OKABE and Chihaya YANAGIMOTO

<sup>1</sup> フェロー会員 工博 Ph.D. 広島大学教授 工学部第四類(建設系) (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

<sup>2</sup> 正会員 工修 広島大学助手 工学部第四類(建設系) (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

<sup>3</sup> 学生会員 広島大学大学院工学研究科環境工学専攻 博士課程前期

<sup>4</sup> 学生会員 広島大学工学部第四類(建設系)

We might make a channel into a compound channel, as an effective way for the flood control and environmental reasons. Recently, even the river of steep gradient the river is often reconstructed into a compound channel. However, we have not enough knowledge how much safety we can secure, and what standard of cross section is easy for maintenance of a steep gradient river.

In this research, we have conducted experiments using meandering compound channel with different gradients. Especially, we investigated longitudinal and transverse profiles and fluctuations of water surface, depending on gradient of the channel. In case of steep gradient, we found that it is possible difficult to maintain the main channel unchanged, because of remarkable flow exchange between the main channel and floodplain, high velocity appeared near the bank, and large fluctuation of water surface.

**Key Words :** *steep gradient river, meandering compound channel, water surface profile, water surface fluctuation*

### 1. 序論

我が国の大河川の中下流部では、河川の横断面形状は低水路と高水敷からなる複断面形が一般的である。これは、洪水流量と低水路流量の比、すなわち河状係数が大きいこと、河道の複断面化は、治水に有利であることによる。すなわち、平常時の水は、低水路内を安定して流れ、一方、洪水時には、河道全体で流れる。このため、河道の維持、管理や治水の安全度が単断面河道より高い。さらに、高水敷が人々の活動に利用され、また河川の生態系保全にとっても有効であることなどによる。

一方、急勾配河川は、流速が速く、土砂や砂礫の流送が多く、このため、洪水時には堤防や河岸は損傷を受けやすい。一般に急勾配河川となる上流部では河道は本来、単断面的で洪水の水位を低く保つように、広い川幅で素早く下流に流し得るような構造となっており、このことが勾配の大きな河川の河道設計の基本と考えられてきた。しかし、このような急勾配河川が通る市街地には山が迫り、可住地や利用地が少ないこと

から、河川の堤外地の利用度は高い。河川の安全度が徐々にではあるが向上してきた現在、堤防や河川構造物を中小洪水による被害から守るため、流れの速い主流を堤防からできるだけ離すように高水敷を造成し、合わせて高水敷の利用を図る複断面化の例が多くなってきている。

これまでに行われてきた複断面蛇行流れに関する研究は、主に勾配の緩い河川を対象に水理検討がなされてきた<sup>1)2)3)4)</sup>。しかし、勾配の急な複断面河道では、治水の安全度を確保することが可能な縦・横断・平面形の決め方は勾配の緩い河道と同じ考え方でよいのか、どうあればよいのかという急勾配河川の最も基本的な河道設計のポイントが明らかにされていない。

本研究では、このような問題意識をもとに、複断面蛇行水路の水理現象に及ぼす縦断勾配と低水路法線形の影響を検討する。このために、勾配 1/600 と勾配 1/300 の流れについて水面形、水面変動、流速分布等を測定している。特に、急勾配複断面蛇行流れの水面に現れる特異な水理現象を考察し、勾配の急な河川を複断面化することの問題点を指摘し、課題を整理する。

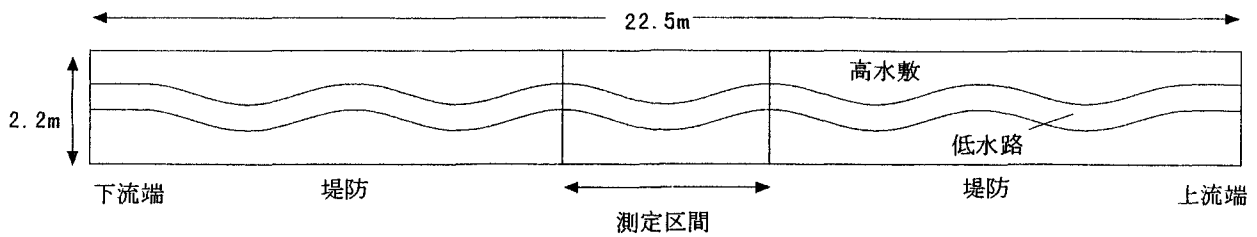


図-1 実験水路全体図

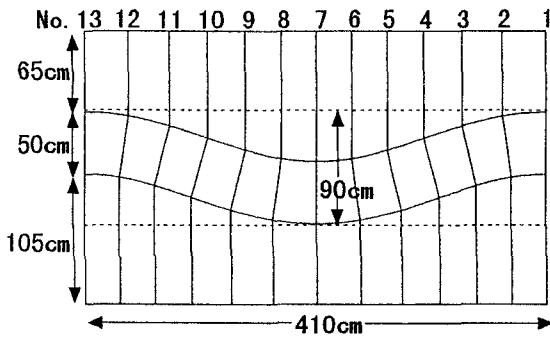
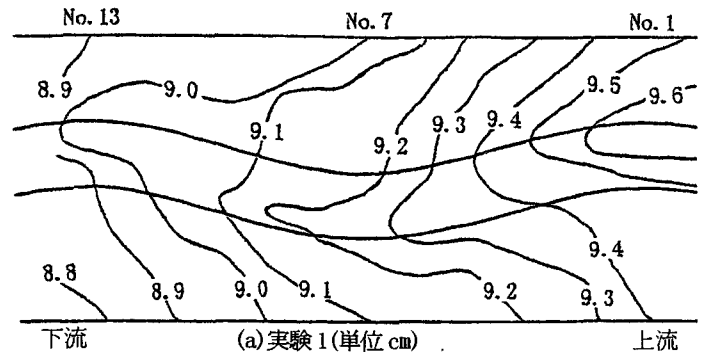


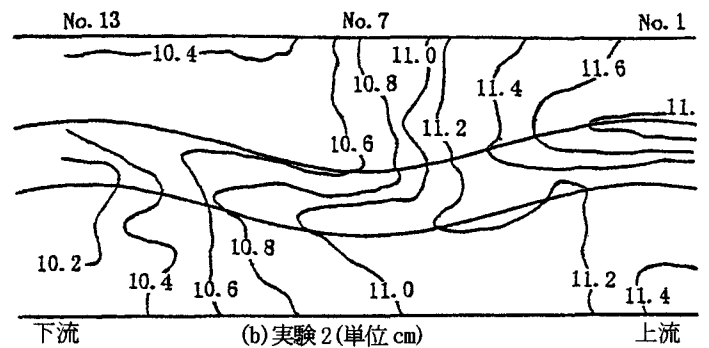
図-2 測定区間及び測定断面

表-1 実験条件

	実験 1	実験 2
水面勾配	1/600	1/300
流量	19.91/s	33.71/s
低水路の平均水深	7.6cm	7.6cm
高水敷の平均水深	3.0cm	3.0cm
相対水深 $D_r$	0.4	0.4
低水路の平均フルード数	0.42	0.72



(a) 実験 1 (単位 cm)



(b) 実験 2 (単位 cm)

図-3 水位コンター

## 2. 実験

### (1) 実験水路

実験で用いた水路を図-1 に、実験条件を表-1 に示す。実験水路は、水路長 22.5m、水路幅 2.2m、低水路が一定の蛇行度(1.02)をもつ連続した 5 波長から成る複断面蛇行水路である。蛇行度 1.02 は実河川でよくみられる蛇行度である。高水敷には、粗度係数 0.020 の人工芝を張り付けている。

低水路の横断面形状は、高水敷高さ 0.045m、低水路幅 0.5m の平坦固定床長方形断面であり、低水路の粗度係数は 0.012 である。

### (2) 実験方法及び実験条件

低水路は規則的に蛇行しているため、水路の中央部分 1 波長を測定区間としている。測定断面は、図-2 のように 1 波長を 12 等分した 13 断面である。

流速測定は I 型と L 型の電磁流速計を使用している。サンプリング時間は 30 秒間とし、1 点につき 600 個を

サンプリングし、その平均値を測定値とする。実験 1 では水深方向に 7 点、実験 2 では 6 点をとっている。また、水位はポイントゲージにより測定し、水面変動は波高計を使用し、流速測定と同様に 1 点につき 600 個をサンプリングし、その大きさの差を水面の変動として振幅を求めている。

実験は、水路床の勾配が 1/600、1/300 の 2 ケースについて平均的相対水深が約 0.4 となるように流量を調節し行っている。ここで、相対水深  $D_r$  とは高水敷水深/低水路水深で定義される。また、低水路の平均フルード数は、低水路の流量を低水路の流水断面積で除した流速と平均水深を用いて求めている。

## 3. 実験結果及び考察

### (1) 水位の縦・横断分布

各実験における水位コンターを図-3 に示す。水位の基準点は下流端の低水路中央部に設け、勾配 1/600 では 1mm 間隔、勾配 1/300 では 2mm 間隔で水位コンタ

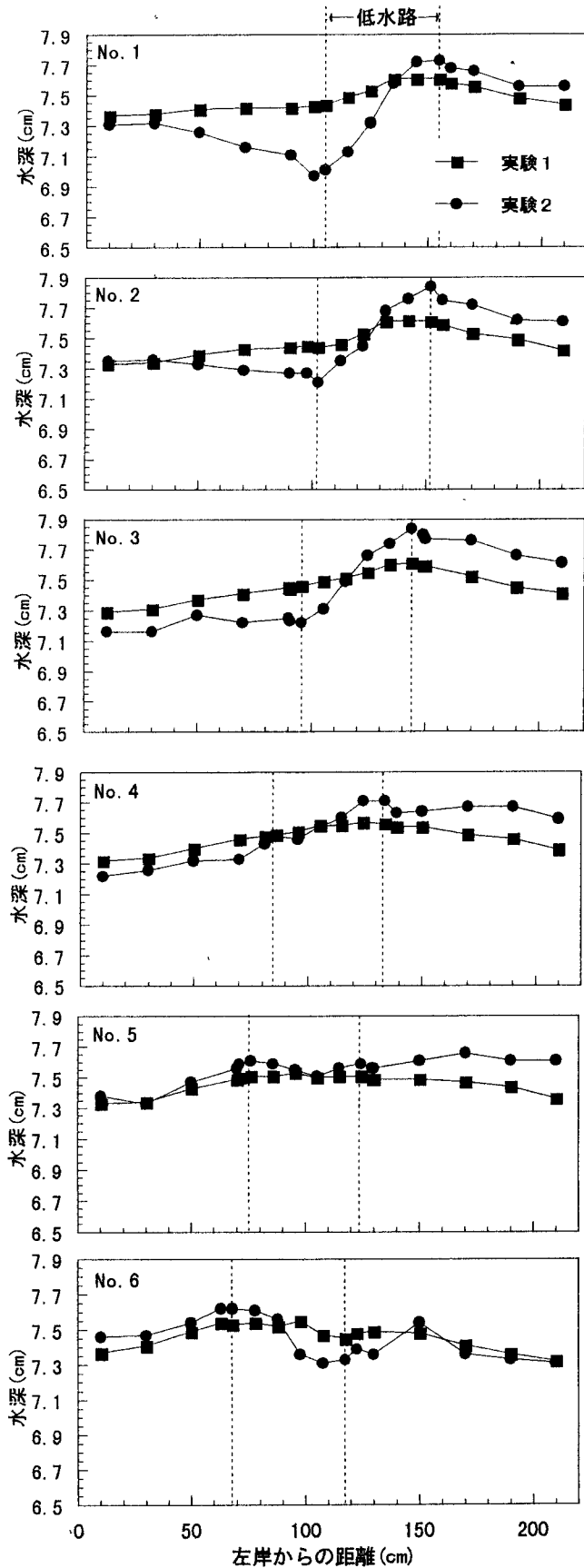


図-4 水深の横断分布

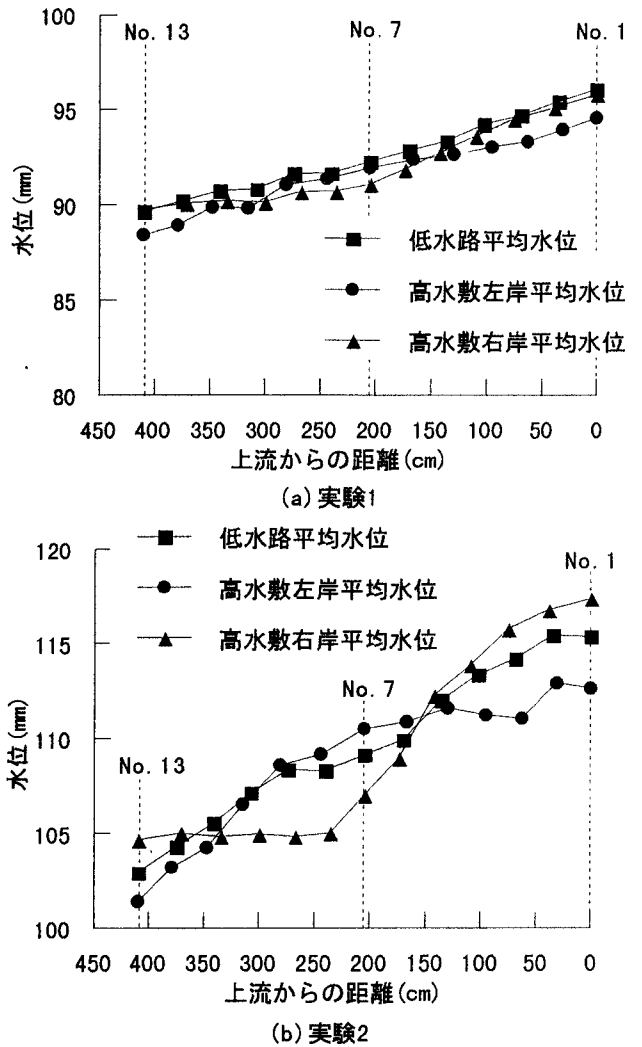
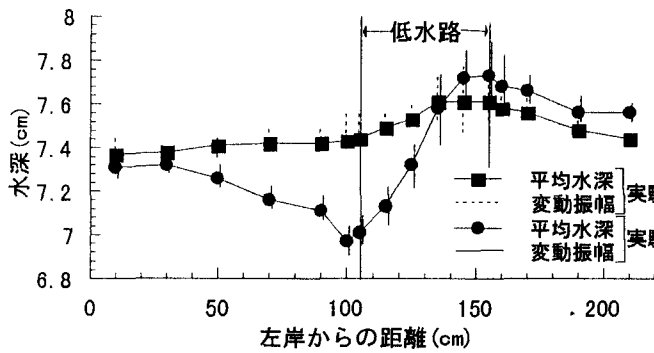


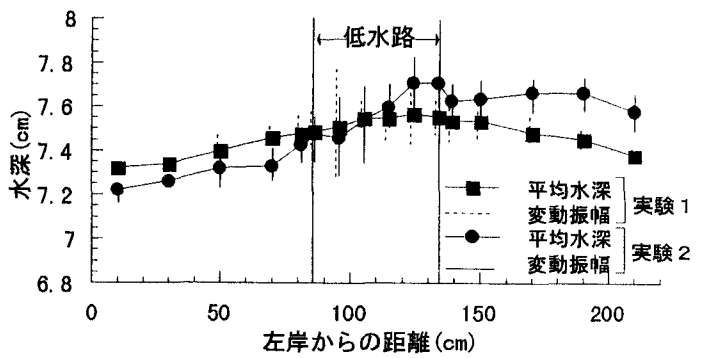
図-5 低水路、高水敷の平均水位の縦断分布

一線を引いている。低水路から流出する部分の高水敷 (No. 1~No. 7 の右岸側, No. 7~No. 13 の左岸側) では、水位コンターが密になり大きな水面勾配がついている。逆に高水敷から低水路に流入する部分の高水敷 (No. 1~No. 7 の左岸側, No. 7~No. 13 の右岸側) では、水位コンターが疎であり水面勾配が小さくなっている。また、低水路の外岸寄りの水位が高く内岸寄りで低くなっている。高水敷を比較すると、実験 1 では横断方向に水位が変化するが、実験 2 では横断方向の水位はあまり変わらず縦断方向に変化している。

ここで、各断面における水位変化を見るために、蛇行半波長 (No. 1~6) における水深の横断分布を図-4 に示す。ここで、横断距離は水路左岸から、水深は低水路河床を基準にとっている。低水路の水位は、実験 1 では水位差が小さいのに対し、実験 2 では水位差が大きい。特に、最大曲率断面 (No. 1) において、実験 1 ではその差は 1.7mm なのに対し、実験 2 では 7.6mm にも達する。これは勾配が急なことにより、遠心力の効果が大きくなったためである。No. 1 では右岸側の水位が高いが、下流断面に進むにつれて低水路の横断水位差は徐々に小さくなり、No. 5 ではほぼ水平となる。No. 6

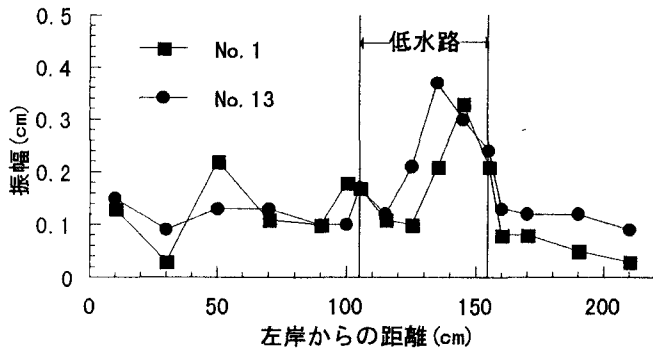


(a) No. 1

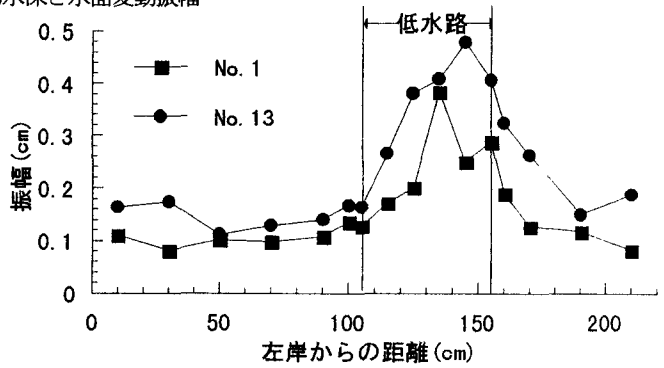


(b) No. 4

図-6 横断面の平均水深と水面変動振幅

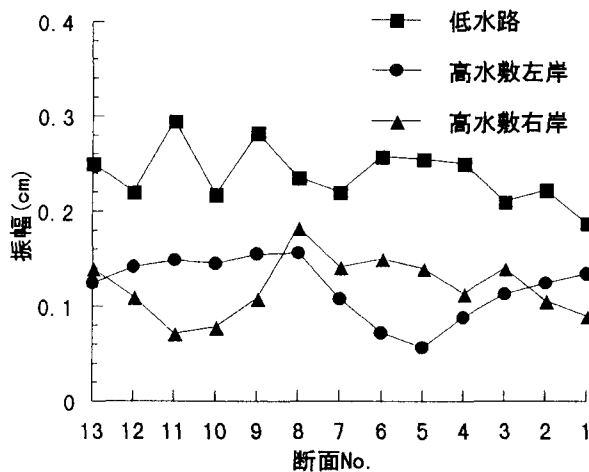


(a) 実験1

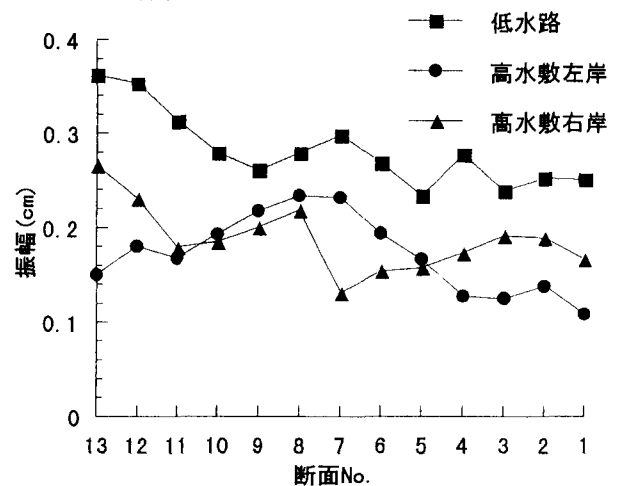


(b) 実験2

図-7 最大曲率断面の水面変動振幅



(a) 実験1



(b) 実験2

図-8 縦断方向の水面変動振幅

から低水路の位相が変わり、遠心力の働く向きが逆になるため、今度は左岸側の水位が上昇する。

低水路と高水敷の境界付近の水位は、実験 2 では、断面 No. 1, 2, 3, 4 の右岸で水位が高くなっている。これは、高水敷に乗り上がっていく流れが水位を上昇させていることを示している。勾配の緩い実験 1 では、低水路河岸への流れの衝突が弱いため、同様の現象が起こっているが、実験 2 ほど顕著な水位の上昇は見られない。

次に縦断方向の水位変化の様子を図-5 に示す。ここで図中の高水敷左岸平均水位、高水敷右岸平均水位

とは図-2 に示された断面でとられた左岸及び右岸の高水敷上の平均水位である。変曲断面の前後で右岸と左岸の水位の大小が変わり、高水敷の幅が狭いほうで水位が高くなっている。これは低水路から高水敷への流出が、高水敷幅が減少する最大曲率断面の直下流付近においても生じており、それまで高水敷を流れてきた水が、低水路に流入することができず、そのまま高水敷を流れるためである。

## (2) 水面変動

最大曲率断面 (No. 1) と変曲断面 (No. 4) の各点におい

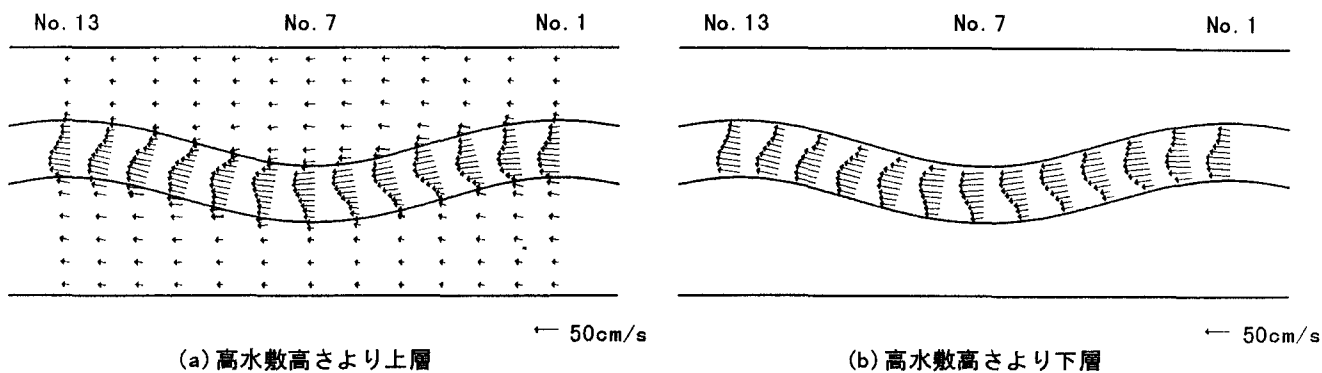


図-9 実験1の水深平均流速ベクトル

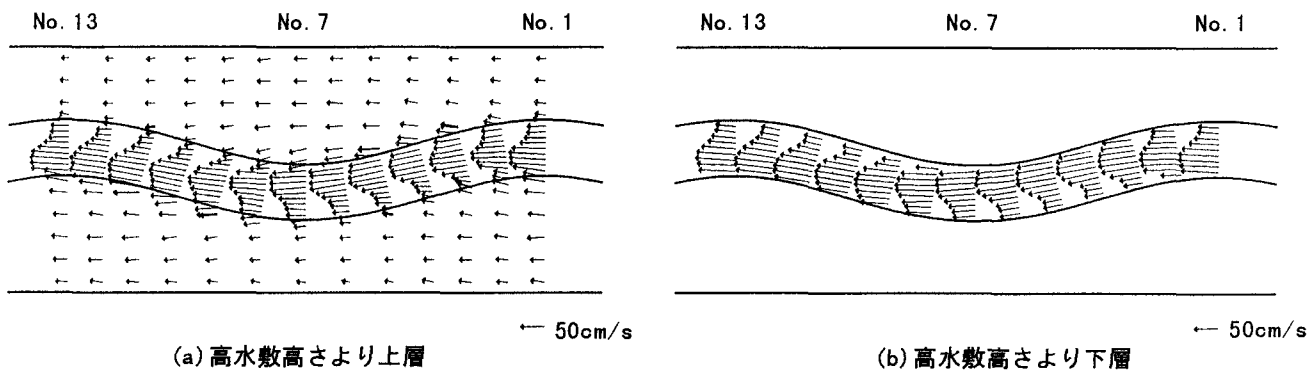


図-10 実験2の水深平均流速ベクトル

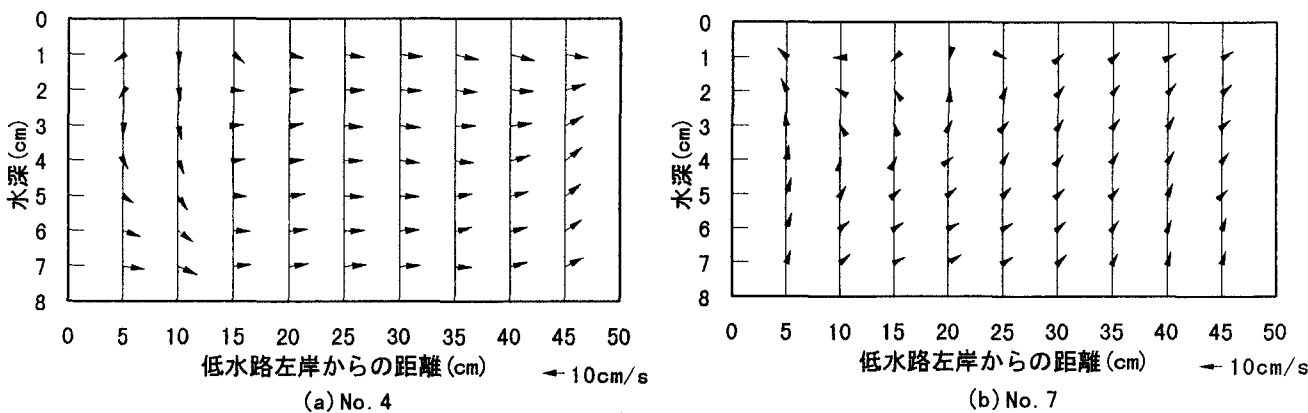


図-11 実験1の二次流分布

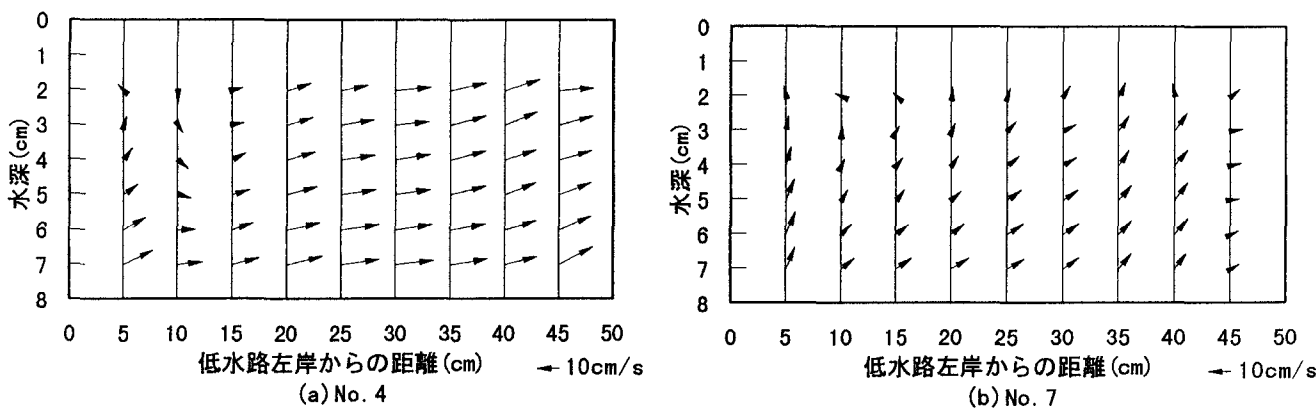


図-12 実験2の二次流分布

る平均水深と水面変動の分布を図-6に示す。低水路での変動振幅は高水敷での振幅に比して2倍以上大きい。最大曲率断面(No. 1)では、実験2の低水路の外岸側で特に変動が大きいことがわかる。

最大曲率断面 No. 1, 13 の各点における水面変動の振幅を図-7に示す。実験1では、No. 1 と No. 13 の水面変動の振幅にほとんど差はないが、実験2では、下流の No. 13 のほうがすべての点で振幅が大きくなって

いる。これは勾配が急な流れでは下流ほど水面が変動していることを示す。

図-8 は、低水路と高水敷左岸、右岸の各断面ごとの水面変動振幅の平均値を示す。縦断方向に見ると、低水路の水面は流速が速いため、実験 1, 2 ともに高水敷より大きく変動している。実験 1 では、低水路、高水敷左岸、高水敷右岸のそれぞれがほぼ一定の振幅の大きさで変動しているのに対し、実験 2 では下流にいくにつれて振幅が大きくなっている。すなわち、勾配の急な流れでは、下流にいくほど流れの不安定性に起因して発生した波が重ね合わさり水面変動が大きくなっている。これは、複断面蛇行流れの水力現象の大きな特徴であり、縦断勾配が大きいほどこの現象は顕著であると考えられる。

### (3) 主流と二次流分布

各実験の高水敷高さより上層、下層に分けた水深平均流速ベクトルを図-9, 10 に示す。低水路の最大流速は、大きな低水路蛇行の場合に比して<sup>3)4)</sup>中央寄りを直線的に最短距離で流れている。

また、高水敷から低水路に流入するところでは、高水敷から遅い流速を持った流れが入ってくるため流速が小さくなるが、急勾配ではこの部分の流速差が大きいこと、また流入流速、流入量が大きいことのため高水敷流れと低水路流れの混合が著しい。

各実験における二次流分布を図-11, 12 に示す。二次流については、急勾配流れでは、二次流の強さが大きくなっている以外は、複断面蛇行流れの一般的な特徴<sup>3)</sup>を呈しているようである。主流と二次流分布の詳細な検討については、3次元解析<sup>4)</sup>を行い流速場に対する急勾配の影響を明らかにする予定である。

## 4. 急勾配複断面蛇行河川の課題

ここで用いた複断面蛇行実験水路は、堤防間隔が一定で、低水路の川幅及び蛇行振幅も一定の水路である。実際の急勾配河川で一般に行われている複断面蛇行河川の改修は堤防と低水路の間に位相差があり、かつ低水路幅が縦断的に変化する平面形、横断形をもつものである。このような河道特性をもつ急勾配河川では、縦断的な水面変化及び水面変動はさらに顕著になるものと考えられる。さらに実験結果から推定して、急勾

配複断面蛇行河川では激しい高水敷への流出、また、高水敷からの流入があること、河岸での流速が大きいこと、大きな水位変動があることなどによって低水路河岸に作用する外力は大きくなり、損傷を受ける可能性がある。このため、河岸の十分な維持、管理が必要である。

以上のことから今後必要な検討項目を列挙する。

- 1)急勾配で複断面形状をもつ蛇行河川において洪水時の流況観測と過去に発生した洪水流データ、特に水面形の観測データと河岸被災との関係の検討
- 2)急勾配実験水路において蛇行線形に対する水面形及び河岸に作用する外力の測定
- 3)異なる平面形、横断形の複断面蛇行流路について3次元解析<sup>4)</sup>を行い、流れの構造の詳細検討
- 4)急勾配河川における複断面化に対する治水安全度の判断基準

## 5. 結論

勾配の異なる複断面蛇行流れにおける検討から明らかになった点は次の通りである。

- 1)勾配が急になると、低水路内の左右岸及び高水敷の左右岸の水位差が大きくなる。また、低水路内では水面変動が大きくなる。さらに、流れの低水路への集中により、大きな外力が河岸にかかる。
- 2)急勾配の複断面蛇行河川では上流からの波が重なり合い下流に進むほど水面が大きく変動する。
- 3)急勾配河川の複断面化の問題点と今後の課題について示した。

## 参考文献

- 1) 芦田和男, 江藤進治, 劉炳義: 複断面蛇行流の水力特性に関する研究, 水工学論文集第 34 巻, pp.397-402, 1990.
- 2) 武藤裕則, 塩野耕二, 今本博健, 石垣泰輔: 複断面開水路流れの 3 次元構造について, 水工学論文集第 40 巻, pp.711-716, 1996.
- 3) 福岡捷二, 大申弘哉, 加村大輔, 平生昭二: 複断面蛇行流路における洪水流の水力, 土木学会論文集 No.579/II-41, pp.83-92, 1997.
- 4) 福岡捷二, 渡辺明英: 複断面蛇行水路における流れ場の 3 次元解析, 土木学会論文集, No.586/II-42, pp.39-50, 1998.

(1998.9.30 受付)