

# 複断面蛇行河道設計法の課題<sup>1</sup>

## Issues and Problems of Design Method of Meandering Compound Rivers

福岡捷二<sup>2</sup>

Shoji FUKUOKA

### 1. 序論

我が国の大河川では、河道の横断形状は複断面形が望ましいとして計画が立てられてきている。すなわち、小洪水を対象とした低水路部分を設けることにより河道の安定性を増し、堤脚を保護し、堤防の安全性を高め、さらに河川の利用性等から高水敷を設ける複断面横断形がとられてきた。

これまで直線複断面河道の水理に関する研究は数多く行われてきている。その研究成果は、複断面河道の抵抗評価、不等流計算<sup>1)</sup>や樹木群のある河道の不等流計算<sup>2)</sup>等に利用されてきている。しかし、これらの計算法は複断面河道の低水路法線が大きな蛇行を呈するようになると精度が悪くなる。これは、低水路の蛇行度合いが大きくなると大きさと方向の異なる高水敷流れと低水路流れの混合が活発化し、このため低水路内の流速分布が直線複断面河道のそれと著しく異なるようになることに起因する。したがって、低水路の蛇行度が大きい河川では、このような平面形の変化を考慮に入れた解析及び現地洪水流データの分析が必要となる。複断面蛇行流については、平坦固定床水路を用いた実験で水理現象の理解<sup>3)4)5)</sup>が進んできた。すなわち、高水敷から低水路への流入のために、低水路の高水敷高さ付近で大きな水平せん断力が作用し、低水路内二次流の回転の向きが単断面蛇行流れと逆向きになること、最大流速は内岸から内岸へ連ねた最短距離で生ずることなどが明らかとなった。

低水路が移動床の複断面蛇行流路については蛇行度と相対水深によって流れの構造が変化することに対応して流砂量や河床変動特性が変化することが明らかにされてきた<sup>6)</sup>。複断面蛇行河川については、福岡らが<sup>7)8)</sup>江の川と利根川を対象に大きな高水敷水深を有する洪水データ及び河道データを用い、河道の平面形が洪水流の挙動にどのような影響を及ぼすかについて考察をしている。

その結果、堤防と低水路法線の間に位相差が存在する大きな蛇行区間では、実験水路<sup>6)</sup>で見られたと同様に洪水時の最大流速は低水路の内岸側から内岸側の最短経路に現れること、蛇行の度合いがそれほど大きくなく、かつ堤防と低水路法線の間に位相差がほとんどない区間では、最大流速は外岸側に寄っていることが示された。その後の福岡ら<sup>9)</sup>の検討は、河道の平面形の違いによって内岸寄りに最大流速が現われる複断面的蛇行流れと、外岸寄りに最大流速が現われる単断面的蛇行流れの2種類の流れがあることを示し、これらが現れる洪水流と河道特性の指標について検討されてきた。しかし2つの洪水流特性がどのような河道平面形と水理条件で現われるかについては必ずしも十分なデータに基づいて明らかにされてきたわけではなく、今後の課題として残されてきた。大河川の堤防がほぼ概成しつつある今日、低水路の法線形を治水と環境の調和を目指してどのように決めるかは今後の重要な課題である。

本研究では、このような背景のもとに、複断面蛇行河道の設計上必要な今日的課題について水理学的観点から検討する。

- (1)河道の平面形の指標として蛇行度、洪水特性の指標として相対水深と洪水継続時間を選び、これらの指標を用いて4河川の洪水実測データから複断面蛇行河川の洪水流の分類を行う。
- (2)(1)より明らかにされた結果と指標に基づき、多摩川の規模の異なる洪水流の流下特性を推定し、これらの流下特性と低水路河岸の被災場所との関係を検討する。
- (3)複断面蛇行河道の設計上解決が求められる課題を示す。

<sup>1</sup> キーワード：河道の平面形，横断形，洪水ハイドログラフ，河道設計指標，河岸災害

<sup>2</sup> 広島大学教授 工学部第四類（建設系）（〒739 東広島市鏡山 1-4-1）

## 2. 複断面蛇行流れの構造に影響を及ぼす要因

### (1) 低水路法線形の影響

低水路の線形および相対水深  $Dr$  (=高水敷水深/低水路全水深)が河床変動に与える影響を検討する目的で、低水路が移動床の水路を用いて実験を行った(実験2)。実験水路は図-1に示すように水路長15.0m、水路幅4.0mで、その中に幅0.8m蛇行度1.10の低水路を有している。表-1に著者らが以前行った実験<sup>5)</sup>(実験1)と実験2の比較を示す。両実験の相対水深  $Dr$  は、ほぼ同値であることから、これらの実験結果の差異は主に蛇行度の違いを示すものと考えてよい。図-2は実験1、図-3は実験2の河床変動コンターを示す。

洗掘はいずれも蛇行部の内岸と蛇行変曲点付近の水当たり部に発生し、その直下流では堆積が発生している

表-1 水路諸元と実験条件比較

	実験1	実験2
水路長	27.5m	15.0m
水路幅	4.8m	4.0m
低水路幅	1.0m	0.8m
水路勾配	1/500	1/600
蛇行長	12.0m	7.5m
蛇行度 S	1.17	1.10
流量	68.8l/s	54.1l/s
低水路平均水深	10.0cm	9.5cm
高水敷平均水深	3.5cm	4.0cm
相対水深 $Dr$	0.37	0.42
河床材料	平均粒径 0.8mm	平均粒径 0.8mm

表-2 実験3の水理条件

	流量	相対水深 $Dr$
case1	14.4l/s	0
case2	24.9l/s	0.26
case3	35.6l/s	0.31
case4	54.1l/s	0.44
case5	63.9l/s	0.49

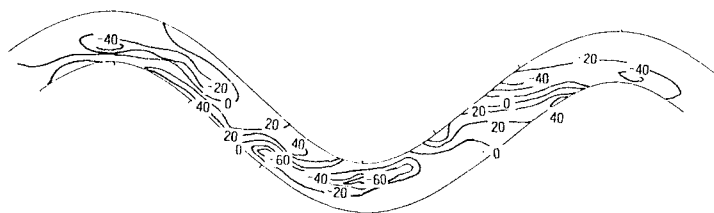


図-2 実験1の河床変動コンター

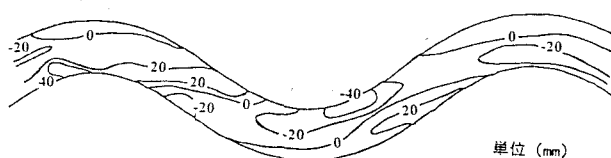


図-3 実験2の河床変動コンター

単位 (mm)

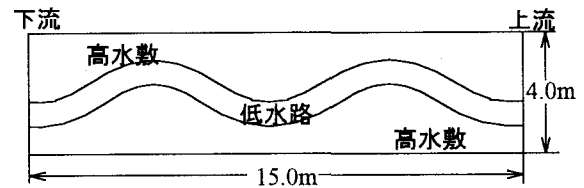
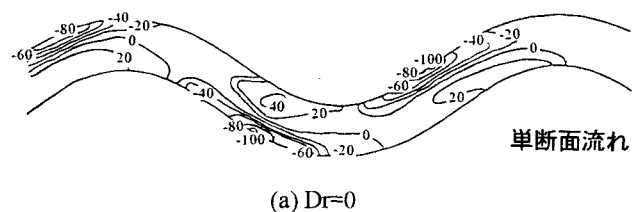
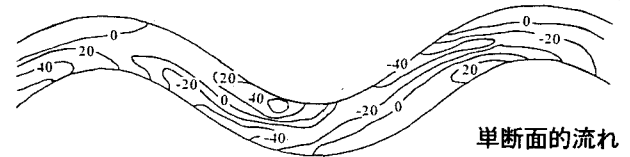


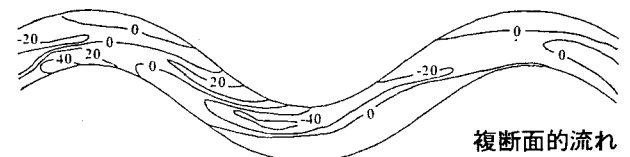
図-1 実験水路の平面図



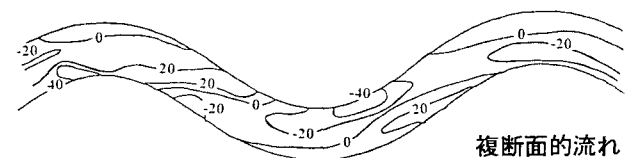
(a)  $Dr=0$



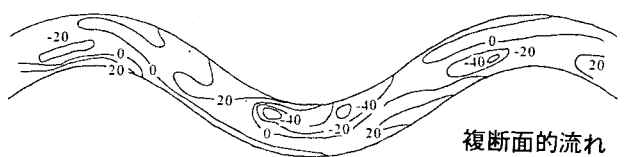
(b)  $Dr=0.26$



(c)  $Dr=0.31$



(d)  $Dr=0.44$



(e)  $Dr=0.49$

図-4 実験3の河床変動コンター

る。両実験を比較すると、低水路の蛇行度合いが若干小さくなった実験2では、低水路内の水当たり部がやや下流に移動し、それに伴い洗掘部も移動していることが特徴である。

### (2) 相対水深の影響

次に相対水深が複断面蛇行流れの河床変動に及ぼす影響を検討する(これを実験3とする)。表-2にその条件を示す。case1は低水路満杯状態の単断面蛇行流れ、case3~6は高水敷に冠水している複断面蛇行流れとなっている。

図-4は実験2と同じ水路を用い相対水深を変化させた場合の河床変動コンターを示す。case1(Dr=0)は蛇行部外岸に洗掘が発生する典型的な単断面蛇行流れの河床形状である。case2(Dr=0.26)は高水敷が冠水しているにも関わらず、河床変動は今なおcase1に近い。すなわちこれは高水敷上の水深が小さい流れのために、低水路の流れが卓越し外岸側に深掘れのある単断面的蛇行流れである。一方、case3, 4, 5は、蛇行部の内岸側で洗掘が発生しており、複断面的蛇行流れである。洗掘位置に着目した河床変動特性から単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れを相対水深で区分すると、そのときの相対水深は0.28~0.30であることがわかる。

### (3) 堤防蛇行と低水路蛇行の位相差の影響

2-(1), (2)で堤防が直線的で低水路が蛇行する複断面流れについて低水路線形と相対水深の影響を考察した。ここでは実験2, 3と同じ低水路蛇行で堤防のみが1/4波長先行する場合(実験4)、と1/4波長後行する場合(実験5)の河床変動を調べ、位相差の影響を検討する。図-5は実験4の相対水深Dr=0.23, 0.30, 0.40を、図-6は実験5の相対水深がDr=0.23, 0.30, 0.40の場合を示す。直線堤防(実験3)、実験4、

表-3 実験4, 実験5の水利条件

	case	流量 (l)	Dr
実験4 (堤防先行)	6	19.0	0.23
	7	25.2	0.30
	8	40.3	0.40
実験5 (堤防後行)	9	19.0	0.23
	10	25.2	0.30
	11	40.3	0.40

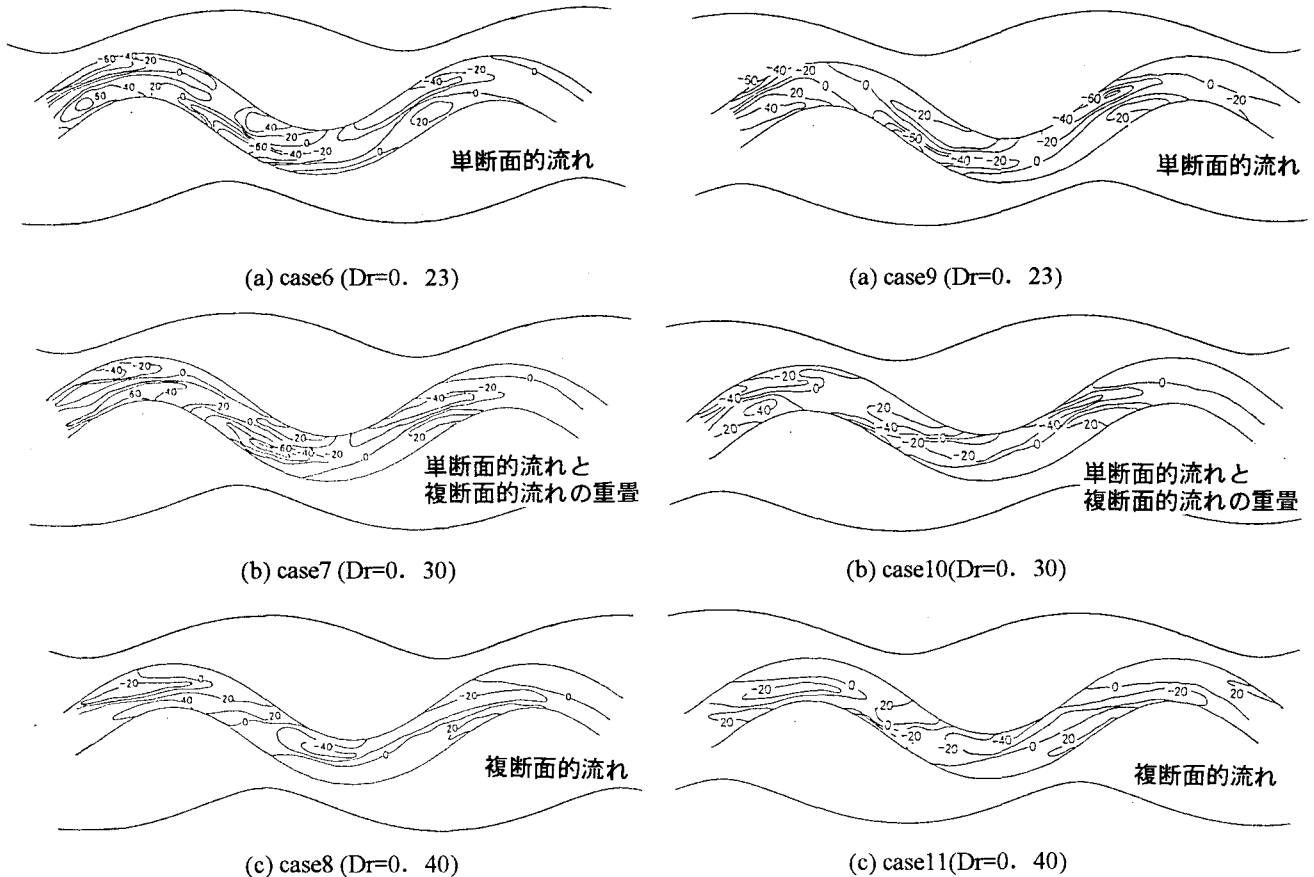
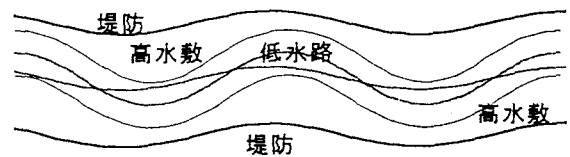


図-5 実験4 (堤防先行)の河床変動コンター

図-6 実験5 (堤防後行)の河床変動コンター

実験 5 の相対水深がほぼ同一の場合についての河床形状を比較すると、3 実験とも相対水深が同じときほぼ同じ河床の形態を示しており、単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れを区分する相対水深もほぼ  $Dr=0.28\sim 0.30$  となっている。このことから、大局的にみると、十分広い高水敷を持つ複断面蛇行河川では、洪水流の流下形態、低水路の形状には堤防と低水路の蛇行の位相差の影響は小さいと考えてよい。



$$\text{蛇行度} = \frac{\text{低水路中心距離}}{\text{堤防中心距離}}$$

図-7 蛇行度の定義

表-4 河川の蛇行度

河川	区間	蛇行度
利根川	151.3k~146.5k	1.003
	146.0k~139.0k	1.012
	132.0k~125.0k	1.034
	124.0k~116.0k	1.010
	108.5k~100.5k	1.018
	98.0k~91.5k	1.023
	95.0k~89.5k	1.022
	92.5k~86.5k	1.021
	85.0k~75.0k	1.011
	80.0k~69.0k	1.035
	69.0k~62.0k	1.060
	66.0k~58.5k	1.023
	62.0k~53.0k	1.002
	47.5k~38.5k	1.012
43.0k~33.5k	1.010	
38.5k~25.0k	1.008	
石狩川	87.0k~80.0k	1.003
	84.0k~76.0k	1.013
	75.5k~72.0k	1.043
	70.5k~64.5k	1.075
	64.5k~56.5k	1.036
	60.5k~53.5k	1.020
	57.0k~50.0k	1.023
	50.0k~38.0k	1.003
	34.0k~29.0k	1.077
	27.0k~20.0k	1.028
8.5k~0.5k	1.070	
多摩川	56.0k~53.0k	1.016
	52.6k~50.0k	1.012
	42.0k~38.0k	1.002
	38.0k~34.0k	1.005
	31.6k~29.0k	1.006
	29.4k~26.2k	1.018
	25.0k~22.0k	1.027
	22.0k~18.0k	1.018
15.2k~13.0k	1.062	
江の川	29.8k~27.0k	1.072
	28.7k~26.0k	1.093
	27.2k~24.0k	1.073
	26.0k~23.0k	1.030
	23.8k~20.6k	1.029

### 3. 河川の洪水流の特性

本節では、著者らがさきに行なった利根川、江の川の洪水データの検討<sup>7)8)9)</sup>に石狩川、多摩川の洪水データを加え、実河川の洪水流特性の分類の信頼性を高める。用いたデータは、洪水時の航空写真より求められた表面流速分布、洪水前後に測量された河床形状、各観測所で観測された水位時間曲線、各河川の平面図である。

#### (1) 河道平面形と洪水流特性を表す指標

最初に、河道の平面形と洪水の特性を示す指標を選び、数値化することを考える。河道の平面形の指標は、蛇行度、洪水の特性を示す指標は相対水深と洪水継続時間である。

蛇行度を図-7 に示す様に堤防中心距離に対する低水路中心距離の比と定義する<sup>9)</sup>。堤防が蛇行していればそれだけ堤防中心距離は長くなり、蛇行度は小さくなる。ここで位相差を除外した理由は次のとおりである。2-(3)で示したように、大局的にみると堤防と低水路の位相差が流れと河床変動に及ぼす影響は小さい。さらに、河道の平面形を見ると、一般に高水敷と低水路は、同位相になろうとする傾向にあり、表-5 に示すように位相差はあっても小さい。したがって、図-7 で定義される蛇行度により複断面蛇行河川の流況が代表できるものと考えられる。

相対水深は低水路内の断面平均水深と両高水敷高さの平均値を用い算定する。洪水継続時間は高水敷に冠水している時間とし、水位時間曲線と河道の横断形状から算出する。

#### (2) 河川の蛇行度、相対水深、洪水継続時間

表-4 に示すように利根川、石狩川、多摩川では蛇行度は、1.000~1.040 の範囲に集中しており、河川の中、下流部の蛇行度の値は、概ねこの程度である。峡谷を流れ、自然に近い河道形状を示す江の川では、河道が大きく蛇行している。この区間の蛇行度は1.072~1.093 と大きな値を示している。表-5 に利根川、石狩川、江戸川、小貝川、江の川を対象に高水敷(江の川は河岸段丘)に冠水している洪水継続時間と洪水ピーク時の相対水深の算定結果を示す。対象洪水は、各河川において戦後最大規模のものである。利根川では181.5k~40.1k の区間では、洪水継続時間は47~64 時間、つ

まり 2~3 日程度ではほぼ一定している。洪水ピーク時の相対水深は、上流で大きく下流になるにつれて小さくなる。佐原(40.1k)より下流ではほぼ低水路満杯に近い状態で流下している。石狩川は下流に行くに従って洪水継続時間が長くなる傾向にある。

江戸川、小貝川、江の川では、利根川や石狩川に比較して低水路の断面が小さいため、洪水継続時間が長い。特に江の川の下流(谷住郷, 14.8k)では、5 日間以上河岸段丘上を大きな相対水深で流れる状態が続いている。

### (3) 複断面蛇行河道の洪水流に現れる

#### 単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れ

複断面蛇行河道の単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れは、以下のように定義する<sup>9)</sup>。図-8 に示すように、低水路の蛇行頂部で低水路幅(b)に対する内岸河岸から最大流速までの距離(y)の比である  $y/b$  を指標とする。 $y/b$  が 0.5 以上となる場合には最大流速は外岸寄りに現れると判断し、この時は単断面的蛇行流れである。 $y/b$  が 0.5 以下となる場合には最大流速は内岸寄りに現れる。考え複断面的蛇行流れであるとする。

この  $y/b$  と蛇行度、相対水深を用いて洪水流を区分したものが図-9 である。 $y/b \geq 0.5$ 、すなわち単断面的蛇行流れ(図中○)は図中の左下に集中している。図には実験結果<sup>9)</sup>もプロットされている。入手しうる現地データを用いる限り、単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れは、概ね点線で区分されるようである。複断面的蛇行流れの程度、すなわち  $y/b \leq 0.5$  で△と□の現れ方について見ると利根川では両者の区分が必ずしも明確ではない。しかし、石狩川では蛇行度が大きくなるに伴い最大流速が内岸に寄る流れとなることを示している。江の川については明確な特性を見いだすことができない。江の川のこの区間では、低水路河岸沿いに水防林が多く見られ、これらが洪水流に大きな影響を及ぼしているためであると考えられる。以上より、蛇行度と相対水深を用いることによって、複断面蛇行流れに現れる単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れの分類と複断面的蛇行流れの特性を示すことが可能である。

### (4) 河岸被災箇所の推定

ここでは、河岸被災の発生場所が洪水流が複断面的蛇行流れを呈するか単断面的蛇行流れを呈するかによって河岸被災の発生場所が異なることを多摩川を例に調べ、被災場所の推定法について考察する。

多摩川は洪水時に砂礫の移動が活発であり、砂礫堆が形成されて中州の多い河道となっている。このため相対水深が異なる規模の洪水が起こると主流部が移動し、異なる低水路線形になることがある<sup>10)</sup>。そこで多

表-5 洪水継続時間と相対水深

河川	水位観測所	洪水継続時間	相対水深
利根川 S56. 8	八斗島(181.5k)	57 時間	0.33
	川俣(150.0k)	47 時間	0.53
	栗橋(130.5)	64 時間	0.56
	芽吹橋(104.0k)	59 時間	0.42
	取手(85.3k)	59 時間	0.41
	須賀(61.5k)	61 時間	0.42
石狩川 S56. 8	佐原(40.1k)	60 時間	0.16
	橋本町(93.9k)	17 時間	0.13
	奈井江(76.8k)	67 時間	0.46
	月形(58.0k)	37 時間	0.20
	岩見沢(44.5k)	75 時間	0.39
江戸川 S56. 8	石狩(26.6k)	88 時間	0.58
	西関宿(58.0k)	56 時間	0.70
	野田(39.0k)	80 時間	0.58
小貝川 S61. 8	松戸(19.5k)	100 時間	0.48
	黒子(53.0k)	90 時間	0.60
江の川 S58. 7	川本(36.3k)	100 時間	0.60
	谷樹郷(14.8k)	120 時間	0.76

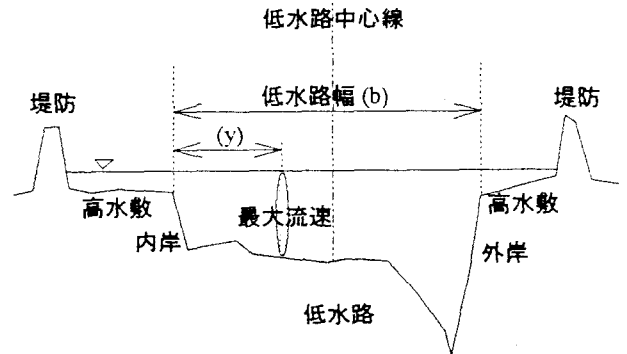


図-8  $y/b$  の定義

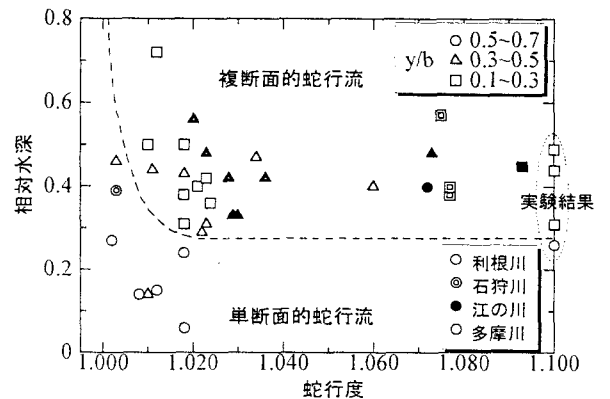


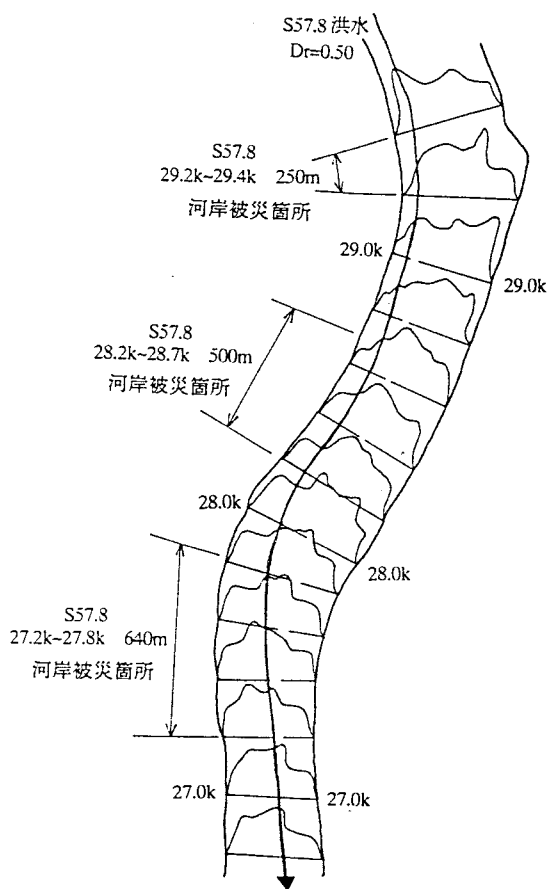
図-9 複断面蛇行河道に現れる洪水流の特性

摩川の低水路河岸被災箇所と洪水の最大流速発生位置の関係についてを検討する。

対象区間は 26.8k~29.6k で、特に河岸被災が多く報告されている区間である<sup>10)</sup>。蛇行度  $S$  は 1.018 で、表-6 に示す 4 洪水について検討する。図-9 においてこの区間の蛇行度と相対水深から洪水流特性を推定すると S57.8, H3.9 洪水は複断面的蛇行流れ、H1.8, H3.8 洪水は単断面的蛇行流れに分類される。図-10(a)(b)(c) には、それぞれの洪水での相対水深から推定された洪水流の分類から推定された最大流速位置と各洪水に対応する河床形状、河岸被災箇所を示す。(a) の S57.8 洪水では 29.4k~29.2k の右岸河岸(内岸)、すなわち蛇行部の内岸が被災を受け、その下流の 28.2k~27.8k では低水路の右岸側(内岸)で洗掘被災が発生している。(b) の H1.8 洪水は相対水深が 0.06 とほぼ低水路満杯状態であり、図に示すような単断面的蛇行流れの最大流速線が予想される。河岸被災箇所を見ると、いずれも蛇行部の外岸に位置し、最大流速線に沿って存在することが分かる。(c) について見ると、先述した流れ特性の分類より、H3.8 洪水は相対水深が 0.24 で単断面的蛇行流れ、H3.9 洪水は相対水深が 0.31 で複断面的蛇行流れが現れていると考えられ、それぞれ図のような最大流速線が予想される。この場合にも最大流速線と河岸被災箇所と対応している様に見える。このように河道の平面形と洪水流特性から推定された洪水流の最大流速線の発生位置は、河岸被災箇所をほぼ説明しているようにみえる。これらの結果は、河道の平面計画や護岸の施工計画に有益な情報を与えることができる。しかし、多摩川は規模の大きい砂州の動く河川であり、砂州の移動、停止が河岸被災箇所と関係することも十分予想される。この点についても検討する必要がある。

表-6 多摩川の検討対象洪水

洪水	洪水継続時間	相対水深
S57. 8	30 時間	0. 50
H1. 8	1 時間	0. 06
H3. 8	8 時間	0. 24
H3. 9	15 時間	0. 31



(a) S56.3 測量河床形状と S57.8 洪水

図-10 推定された洪水の最大流速線と河岸被災箇所

#### 4. 複断面蛇行河道設計法の課題

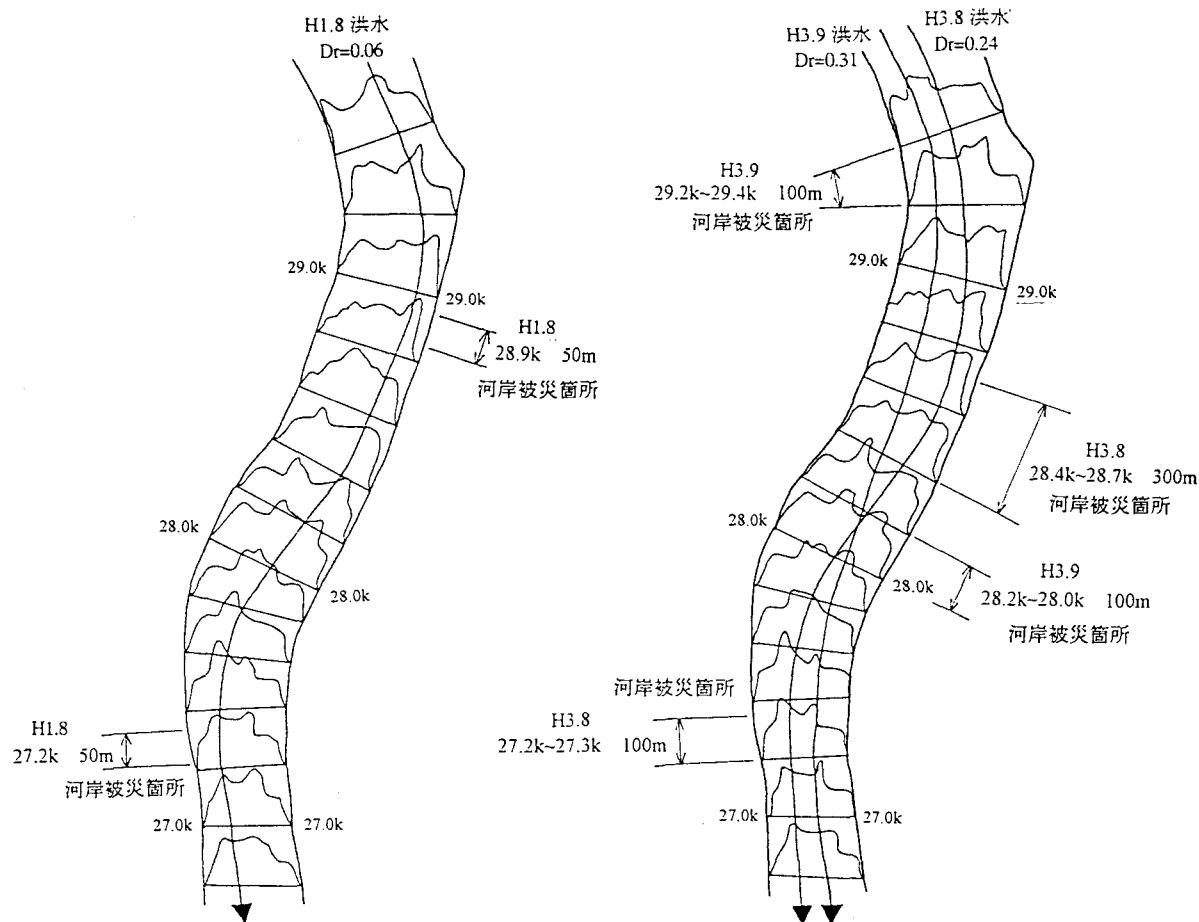
複断面蛇行河道の設計、特に低水路計画を合理的なものとするために必要な今後の主要な調査・研究課題を以下に挙げる。

##### (1) 洪水の流下形態に及ぼす洪水ハイドログラフと河道の平面形の影響把握

洪水航空写真を用いた流速ベクトルの解析結果、洪水ハイドログラフ(相対水深, 継続時間)と河道の蛇行度から複断面河道における洪水流を複断面的蛇行流れと単断面的蛇行流れに分類した。さらに多くの河川で同様な検討を行うとともに、同一区間で異なる相対水深時の航空写真を撮影解析することによって、相対水深に対する最大流速の発生位置の変化を調べ、図-9 の精度を高める。

##### (2) 洪水ハイドログラフの河道計画への反映

これまでダム、遊水地、合流部や河口部等の計画を除いて、洪水ハイドログラフを河道計画で考慮することは稀であった。しかし、複断面蛇行河道では洪水ハイドログラフは流れと河床変動を決定する重要な要



(b) H3.3 測量河床形状と H1.8 洪水 (c) H5.3 測量河床形状と H3.8, H3.9 洪水  
 図-10 推定された洪水の最大流速線と河岸被災箇所

素であることから、合理的な河道計画のためには洪水ハイドログラフを適切に計画に反映することが必要である。例えば、堤体の浸透被災を考えると高い水位と継続時間が、外力として重要であり、河岸の侵食被災を対象とするときは低水路満杯程度の水位のときの水量を外力として考慮することが重要である。さらに、高水敷が冠水している時の洪水継続時間とその間の水深が洪水時の河床の洗掘箇所を支配する要因となる。これらのことは河川構造物を設計する際の基本的考え方であり、洪水ハイドログラフを河道計画へ取り込むことが課題である。

### (3) 低水路内岸側の河床変動の実態調査

洪水水位が高いときは、内岸寄りに最大流速が現れる。洪水の継続時間が十分長ければ、内岸から内岸の最短経路沿いに洗掘が現れることになる。内岸側の州や河岸が多自然型川づくりのポイントとして考えられることが多いことから、内岸側河床の洗掘がどの程度生じるかを現地で調べる必要がある。このためには、低水路蛇行と堤防蛇行法線に位相差のある複断面蛇行区間にある内岸寄り河床の最大洗掘深を調べなければならない。方法は内岸砂州上に数個のボーリングを掘り、層ごとに異なる色をつけた砂を埋め戻し、どこまでの層の砂が一洪水で流れたかを洪水後に掘り出して調べる。これによって個々の河川の洪水ハイドログラフと内岸河床の変化の関係を概略把握可能となる。

### (4) 複断面蛇行河川の三次元流れと河床変動計算法の確立

平坦固定床の複断面蛇行流れの三次元計算は福岡・渡邊<sup>11)</sup>によって行われ、これは実験結果<sup>4)</sup>を十分説明できる解析モデルとなっている。このようなモデルに河床変動計算を取り込み、解くことによって本節の複断面蛇行河道設計法の中で挙げられている課題の解明に活用されることが求められる。

### (5) 低水路法線形と河川構造物の構造, 配置

従来は, 洪水時にあっても内岸側の流速が外岸側より十分に小さいという前提のもとに, 護岸, 水制, 橋脚などの構造や設置位置を決めてきた. 複断面河道の平面形, 横断形, 洪水ハイドログラフを考慮に入れ, 洪水流の流下形態を十分理解した上で, 河川構造物の構造, 配置等を決めることが求められる.

### (6) 河道の平面計画と河川環境計画

堤防と低水路の蛇行の位相差は, 堤防に近いところの高水敷流れの構造に影響を与える. すなわちこれらの場所は洪水時の生物の避難場所となり得る流速の小さい場所を作り出すこと等から<sup>12)</sup>治水と河川環境の両面に有効な低水路法線形について検討することも必要である. また河道内の水防林, 樹林帯の配置も低水路法線計画との関連で検討されなければならないであろう.

## 5. 結論

本研究の結論をまとめると以下の通りである.

- (1) 河床が移動床である複断面蛇行流路を用いた実験を行い, 平面形と相対水深が複断面蛇行流れに及ぼす影響を明らかにした.
- (2) 河川の洪水実測データ等を用いて, 洪水流の特性の検討を行った. その結果流れ特性と洗掘特性の結果は, 実験室で行われた蛇行流路の特性とよく対応することを示した.
- (3) 多摩川で発生した4つの洪水を対象に, 河岸被災箇所を河道の平面形と洪水流特性から推測した. この結果より, 河岸被災の少ない河道の設計には, 河道線形と洪水流の水理特性の把握が特に重要であることを示した.
- (4) 複断面蛇行河道設計上の今後の調査・研究課題を整理した.

## 謝辞

本研究を進めるに当たって, 建設省関東地方建設局河川計画課, 中国地方建設局河川計画課, 北海道開発局河川計画課より貴重なデータの提供を頂いた. 記して感謝の意を表します.

## 参考文献

- 1) 福岡捷二, 藤田光一: 複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用, 土木学会論文集, 411/II-12, pp. 63-72, 1989.
- 2) 福岡捷二, 藤田光一, 新井田浩: 樹木群を有する河道の洪水位予測, 土木学会論文集, 447/II-19, pp. 17-24, 1992.
- 3) 武藤祐則, 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.
- 4) 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, 土木学会論文集投稿中
- 5) 福岡捷二, 宮崎節夫, 大串弘哉, 加村大輔: 堤防と低水路の法線間に位相差が存在する複断面蛇行流路の流れと河床変動, 水工学論文集第40巻, pp. 941~946, 1996.
- 6) 福岡捷二, 渡邊明英, 加村大輔, 岡田将治: 複断面蛇行流路における流砂量, 河床変動の実験的研究, 水工学論文集第41巻, pp. 883~888, 1997.
- 7) 福岡捷二, 五十嵐崇博, 高橋宏尚: 江の川水防林の特性と治水効果, 水工学論文集第39巻, pp. 501~506, 1995.
- 8) 高橋宏尚, 福岡捷二, 平井秀輝: 堤防法線と低水路法線の位相差がある流路での実河川の表面流況, 土木学会第50回年次学術講演会概要集第2部A, pp. 474~475, 1995.
- 9) 福岡捷二, 高橋宏尚, 加村大輔: 複断面蛇行河道に現れる複断面的蛇行流れと単断面的蛇行流れ—洪水航空写真を用いた分析—, 水工学論文集第41巻, pp. 971~976, 1997.
- 10) 多摩川河道計画検討調査, 国土開発技術研究センター, 1995
- 11) 福岡捷二, 渡邊明英: 複断面蛇行水路における流れ場の三次元解析, 土木学会論文集投稿中
- 12) 福岡捷二, 大串弘哉: 堤防の蛇行が複断面蛇行流路に及ぼす影響, 水工学論文集第41巻, pp. 1137~1140, 1997.