

わんどにおける頭部水制の機能 に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE FUNCTION OF
LONGITUDINAL DYKE IN WAND

近藤晴紀¹・武藤裕則²・石垣泰輔³
Haruki KONDO, Yasunori MUTO, Taisuke ISHIGAKI

¹学生会員 関西大学大学院工学研究科 (〒564-8680 吹田市山手町3丁目3番35号)

²正会員 京都大学防災研究所白浜海象観測所 (〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田)

³正会員 関西大学環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町3丁目3番35号)

Since river law was amended in 1997, wand, an enclosed space with spur dykes, has been paid more attention to in the view of the hydraulic engineering and ecology. Recently, wand is used to environmental restoration and creation for a better environment in the waterfront. The goal of this research is to make clear the hydraulic function of the spur dyke in the river channel. In this paper, the function of the longitudinal dyke, see parallel to the flow direction, in the meandering channel was investigated on the basis of experimental results. From the results, it is found that the longitudinal dykes influence the velocity distribution and the process of sedimentation in Wand.

Key Words : spur dyke, wand, longitudinal dyke, meandering channel, PIV method, sedimentation

1. はじめに

近年、河川工法の見直しに伴って、水際部の環境を回復、または新たに良好な環境を創出する試みが多くされており、その一例として、かつてのわんどを念頭に、水制工を活用して浅水・止水域を形成することが挙げられる。これらのわんどを用いた河川工法の合理的な設計法を考える上で、水制設置によってできる止水域やわんどの水理を検討することは重要である。

ここで、わんどとは一般的に、水制周辺部に土砂が堆積し、入江のようになった部分を指す。例を写真-1に示す。写真から分かるようにわんどは、基本的に河岸から流れと鉛直に突き出して設置される幹部水制と流れと平行に設置される頭部水制とで構成されている¹⁾。わんどは、水の流れが本川より穏やかであるため、生物の生息に適しており、水生植物が繁茂するところは魚の産卵や稚魚の育成に絶好の場所となっている。またわんど内は、水の流れや水深が異なるため、それぞれのわんどは多種多様で独自の生態系を有している。

水制の水理機能を検討したこれまでの研究では、わんどが接続する河道の蛇行特性とそれによる上位スケール



写真-1 淀川航空写真(昭和36年撮影)

の構造が、わんど内のサブスケールの構造形成にどのような影響を及ぼすかが検討されていない。既報²⁾では、河道位相と水位条件により異なる流れ構造が個々のわんどにおける流況にどのような影響を与えるのかについて室内実験により検討した。しかし、淀川の昭和36年当時における水制配置状況を参考にしたため、頭部水制の有

無と低水路に対するわんどの位置が固定された条件設定となり、頭部水制の機能の把握が困難になった。そのため本論では、既報の頭部水制が設置された条件での実験に加え、頭部水制を外し、幹部水制のみ設置された条件を加えて実験を行い、特に頭部水制の機能に絞って検討したものを報告する。

2. 実験概要

(1) 実験水路

実験で使用した水路は、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に設置された、長さ23m、幅2m、水路床勾配1/800の複断面蛇行水路を用いた³⁾。実験水路の一部を図-1に示す。波長2.0m、蛇行幅1.0m、蛇行度1.35、低水路幅0.2mの矩形断面蛇行低水路を5波長分設置するように高水敷模型を整形し、流入部および流出部にそれぞれ約1.5mの直線区間を設けた。この5波長のうち第4波長の上流側半波長を試験区間として水制群の設置区間とし、その区間のみ低水路幅を0.3mとし、試験区間上・下流のそれぞれ半波長の区間を遷移区間として水路幅を0.2mから0.3mに滑らかに接続した。ここで、低水路の深さは3.6cmである。

(2) 水制およびわんどの配置

水制模型は、厚さ0.3cm、高さ3.0cmの桧材を加工して作成した。水制の配置にあたっては、淀川の過去の航空写真(昭和22年時、昭和36年時)を参考に水制の設置条件を決定した。対象とした区間は、淀川本川の三川合流部から毛馬である。

淀川に設置された水制群は、元来舟運の確保を目的としたものであることから、航路の水深確保のため、元の低水路幅を狭め、蛇行度が小さくなるように配置されている。本実験でもそれに近づけるため、幹部水制の長さを外岸側で長く、内岸側で短くし、幹部水制の長さの最大値はわん曲頂部外岸側の10cm、最小値はわん曲頂部内岸側の4cmとし、幹部水制の先端をつなぐ曲線が滑らかになるように長さを徐々に変化させた。また、幹部水制の間隔は、遷移区間を除いてアスペクト比が1~2程度となるように配置し、河岸に対して垂直を基本に、両岸で対となる水制が直線上に配置されるよう調整した。

頭部水制に関しては、航空写真から読み取った結果を基に、外岸側には開口部のない頭部水制を連続して配置した。また、内岸側は頭部水制を設置しなかった。交差部では、わん曲部外岸側へと連なるわんどについては頭部水制を設置した。

(3) 実験条件

本実験では、水制非水没の状態(Case1, Case5)、低水路満杯状態(Case2, Case6)、高水敷上水深の異なる2種類の

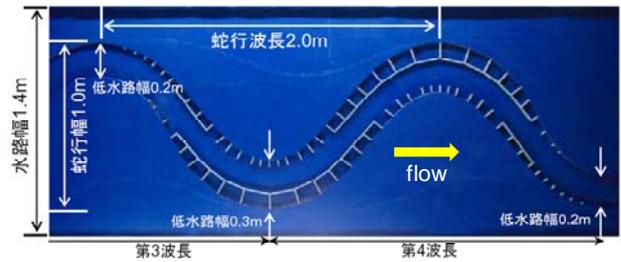


図-1 実験水路図

表-1 実験条件(頭部水制あり)

| Case | 流量 (liter/s) | 水深 (cm) | 相対水深 | 条件設定の 考え方 |
|------|-----------------|------------|------|----------------|
| 1 | 0.394 | 2.60 | 0.72 | 水制非水没 |
| 2 | 0.571 | 3.58 | 0.99 | Bankfull(水制水没) |
| 3 | 0.911 | 4.34 | 0.17 | 高水敷水深小 |
| 4 | 7.836 | 6.84 | 0.47 | 高水敷水深大 |

表-2 実験条件(頭部水制なし)

| Case | 流量 (liter/s) | 水深 (cm) | 相対水深 | 条件設定の 考え方 |
|------|-----------------|------------|------|----------------|
| 5 | 0.357 | 2.50 | 0.69 | 水制非水没 |
| 6 | 0.540 | 3.55 | 0.99 | Bankfull(水制水没) |
| 7 | 0.961 | 4.37 | 0.18 | 高水敷水深小 |
| 8 | 7.861 | 6.92 | 0.48 | 高水敷水深大 |

※相対水深: inbank (Case1, 2および5, 6)については H/h , overbank (Case3, 4および7, 8)については $(H-h)/H$ で定義。ここに、 H : 水深、 h : 高水敷高さ

洪水状態(Case3,4およびCase7,8)の4種類の水深条件を検討対象とした。実験条件を表-1, 2に示す。Case1, 2およびCase5, 6はinbank (単断面蛇行) 流れであるが、本実験では水制高さを高水敷高さより低く設定しており、水制の水没・非水没条件によって流況が異なることが想定されたため検討対象とした。また、Case3, 4およびCase7, 8はoverbank (複断面蛇行) 流れであるが、高水敷上水深の変化に伴う流況変化、特に低水路内流れと高水敷上流れの干渉機構が大きく異なることが従来から指摘されており⁴⁾、わんどへの影響が想定されるため検討対象とした。

なお、表中に示した実験時の設定水深は、試験区間における擬似的な等流水深であり、試験区間上・下流の低水路わん曲頂部水路中央における水深が一致するように水位を調整し疑似等流状態が確保されたことと見なした。また、表中の相対水深は、inbank流れに対しては H/h 、overbank流れに対しては $(H-h)/H$ で定義している。ここで、 H は低水路内水深、 h は高水敷高さである。

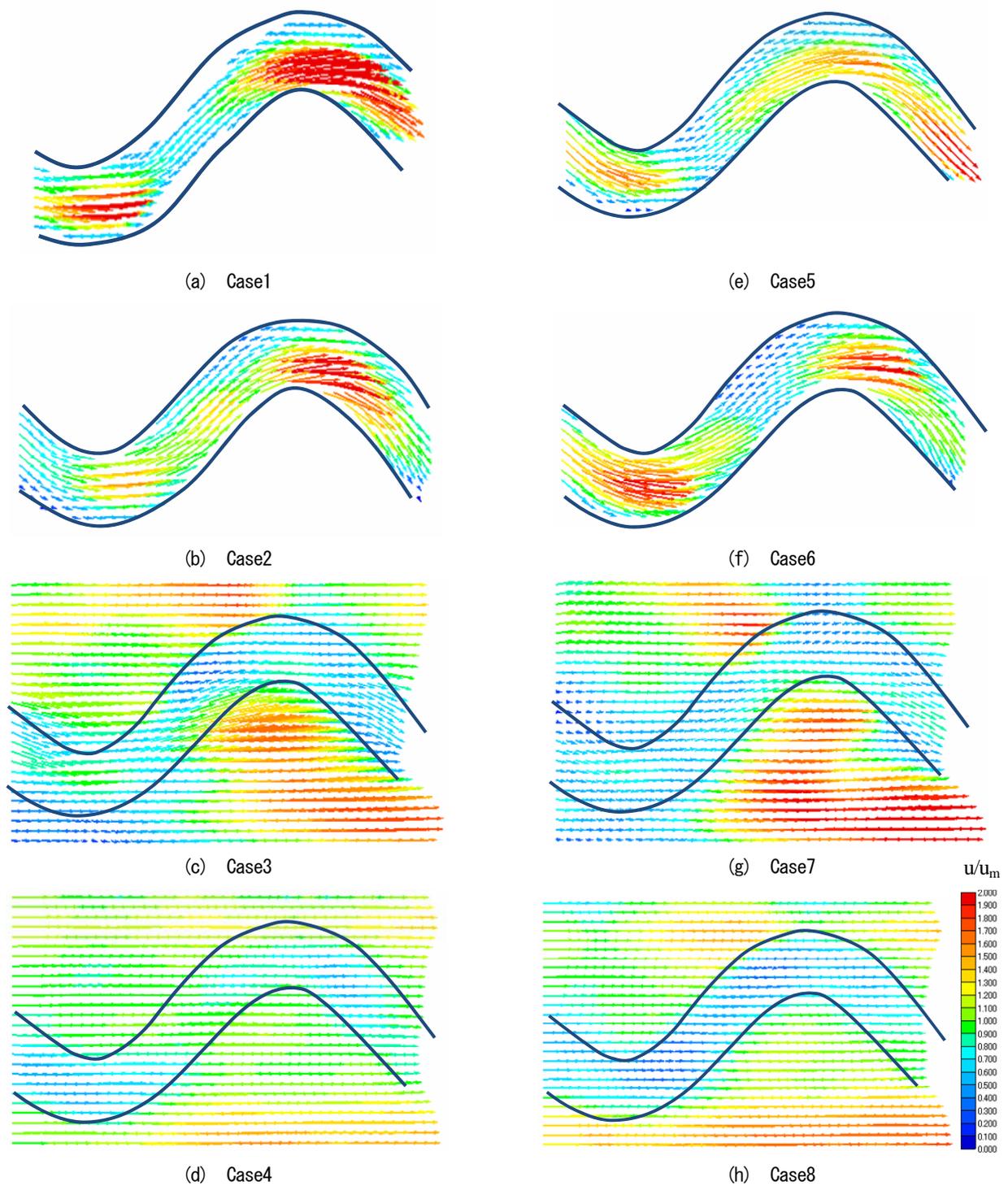


図-2 流速ベクトル分布図 ((a)～(d)頭部水制あり, (e)～(h)頭部水制なし)

3. 表面流速分布

(1) 計測方法

表面流速計測では、トレーサを試験区間上流部から水表面に投入し流下する様子を市販のデジタルビデオカメラ

で記録し、得られた表面流況可視化結果からPIV法（粒子像画像計測法）によって表面流速ベクトル分布を計測した。用いたトレーサは平均粒径0.08mm、比重1.5の塩化ビニル粒子である。なお、トレーサは乾燥状態では水表面に十分に浮遊かつ流れに追随することを確認している。

(2) 実験結果

a) 頭部水制が設置された場合

流速ベクトル分布図を図-2(a)～(d)に示す。表示にあたっては、各ケースごとの平均流速で無次元化しており、ベクトルの長さと図中右下のスケールにより定義した色とでその大きさを表している。

Case1では、水制が非水没状態であることから、低水路兩岸のわんど部分に関しては一部を除きほとんど流れがないことがわかる。なお、外岸側は頭部水制を有するため、流速はほぼ0である。低水路中央の流水部では、わん曲区間の下流側で最速部が内岸寄りから外岸へと向かう様子うかがえるが、交差部はそれらの領域に比べて低速域となっている。

Case2では、水制水没状態（bankfull）であることから、わんど部分にも流れが生じているが主流部に比べると小さい。また、Case1に比べてわん曲区間後半の外岸側とそれに続く交差部において流速がかなり増加していることがうかがえる。

Case3では、高水敷上では堤防法線に沿ったほぼ直線状の流れが見られるが、低水路内では主として水路の蛇行線形に沿った流れとなっている。これは、高水敷水深が小さい場合は流れに対する低水路線形の影響が強いことを示している。しかし、Case1やCase2のように蛇行に滑らかに沿った流れとはならず、高水敷・低水路の境界部で流体交換が生じていることが明らかである。わんど部分の流速に関しては、流れが高水敷から低水路へ流れ込む流込部に位置するわんどでの流速は小さいが、流れが低水路から高水敷へ乗り上げる乗上部に位置するわんどでは流速が大きくなっている。Case1やCase2で流速が大きかったわん曲区間後半部の内岸沿いは、本ケースでは流込部に位置するため流速は周囲より小さくなっている。

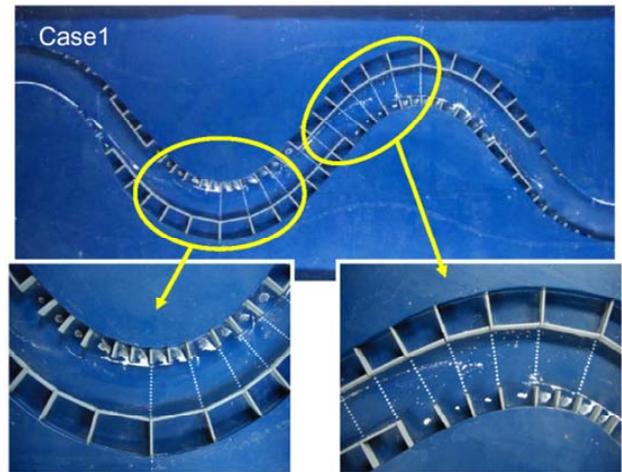
Case4では、表面流はほぼ全域で堤防法線に平行な直線状の流れとなっている。Case3と同様に高水敷上で流速が大きく、低水路部で小さくなっている。低水路上の流れでは、わん曲区間よりも交差部の方が流速が大きくなっている。

b) 頭部水制が設置されていない場合

流速ベクトル分布図を図-2(e)～(h)に示す。

Case5では、頭部水制がないため、わんど部分にも流速があるが主流部よりも小さい結果となった。また、頭部水制がある場合のCase1と比べると、全体的に流速が小さくなっているものの、最速部が内岸寄りから外岸へと向かう様子うかがえる。またわん曲区間前半では、Case1に比べてわん曲頂部よりやや上流側に高速域が現れ、わん曲区間後半ではわん曲頂部のやや下流に高速域が現われている。

Case6では、Case5と同様に頭部水制がないため頭部水制がある場合よりも本ケースの方が流速値は小さくなっている。また、交差部では頭部水制があるCase2よりも



(a) Case1の堆積状況



(b) Case4の堆積状況

写真-2 掃流砂捕捉計測（頭部水制あり）

流速が小さい結果となった。これは、頭部水制が設置されていない場合、幹部水制が抵抗となっているためと考えられる。また、Case2では高速域がわん曲区間後半に現れるのに対し、本ケースではわん曲区間前半・後半ともに高速域を有している。

Case7では、頭部水制がある場合と同様に低水路内の流速は小さく、高水敷上の流速が大きい。また、高水敷上では堤防法線に沿ったほぼ直線状の流れが見られるが、低水路内では主として水路の蛇行線形に沿った流れとなっている。しかし、頭部水制があるCase3と比べて、低水路から高水敷へ乗り上げる部分では頭部水制の影響を受けないため、滑らかに高水敷上へ乗り上げ、高水敷上の流れに沿って流れる傾向が見られた。これより、わんどに頭部水制があることにより、洪水時にわんどが疑似的に高水敷の機能を発揮していることが示唆された。

Case8では、頭部水制の有無による影響はあまり見られず、頭部水制があるCase4とはほぼ同様な流速ベクトル分布図が得られた。

4. 掃流砂捕捉計測

(1) 計測方法

掃流砂捕捉計測では、わんどへの堆積状況を可視化した。表面流況計測に用いたトレーサと同じ塩化ビニル粒子を用いた。水を入れたバケツに塩化ビニル粒子を入れ、攪拌後2週間放置し、十分に湿潤状態にした後、バケツの底に沈殿した粒子のみを取り出してトレーサとして使用した。約100ccの粒子に少量の水を加えたものを試験区間上流側からできるだけ一様に静かに投入した。なお、投入時に一部浮遊状態となる粒子が発生したが、投入した粒子の大半は掃流状態で流下することを確認している。頭部水制ありの条件では、トレーサ投入後、一定時間経過した後通水を停止し、完全に排水・乾燥後にわんど内への堆積状況をデジタルカメラにより撮影した。また、頭部水制なしの条件では、トレーサ投入後、通水した状態で市販のデジタルカメラにより撮影した。

(2) 実験結果

a) 頭部水制がある場合

頭部水制がある場合の実験結果を写真-2(a), (b)に示す。ここでは、粒子の堆積状況に最も顕著な差が表れたCase1とCase4についての結果を示す。

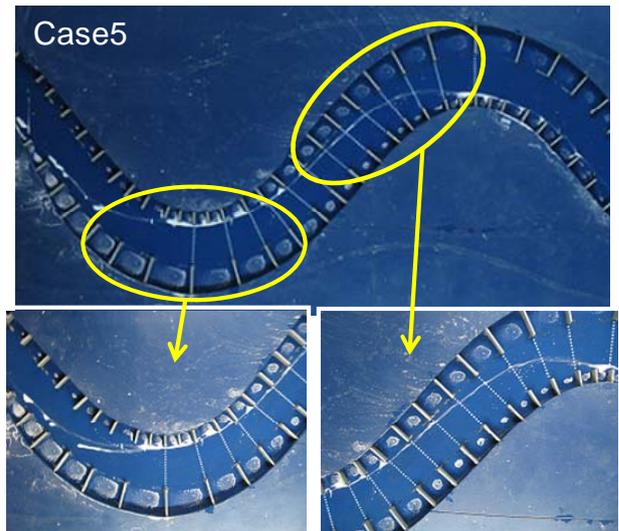
inbank流れで水制が非水没状態であるCase1では、写真から分かるように内岸側わんどへの堆積が顕著に表れている。また、同じ内岸側わんどの中でも、わん曲頂部を境に下流側よりも上流側の方が堆積量は少ない。これは、主流部における粒子の主要な流送部がわん曲部の前半において外岸寄りから内岸寄りにシフトしているためと考えられる。

一方、overbank流れであり、高水敷上水深が大きいCase4では、Case1とは対照的に外岸側わんどへの堆積が顕著に表れている。特に、高水敷から低水路へ流れ込む部分での堆積量が多いことから高水敷上を流下した粒子が捕捉されていると考えられる。また、わん曲部内岸側わんどでは、わん曲頂部を境に上流側では堆積がほとんどなく、下流側に位置するわんどにわずかに堆積が見られた。これは、低水路主流部における粒子の主要な流送部がinbank時と異なることに加え、特にわん曲部上流側は低水路から高水敷への乗り上げ部にあたることから、加速流の影響を受けて粒子の堆積が生じにくいことが考えられる。

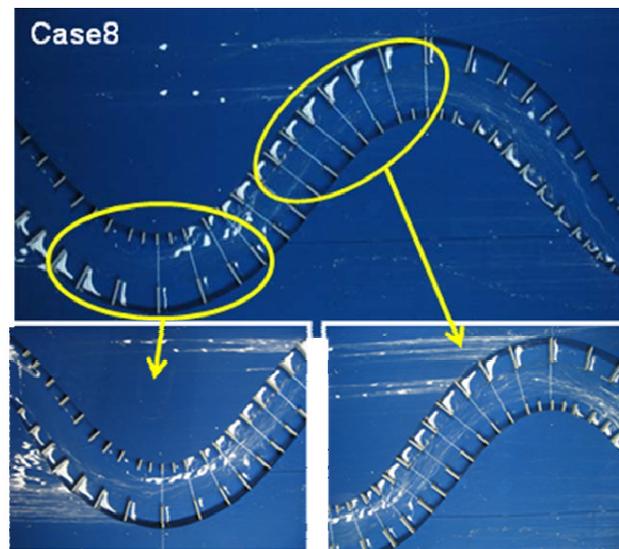
b) 頭部水制がない場合

頭部水制がない場合の実験結果を写真-3(a), (b)に示す。ここでも、頭部水制がある場合と同様に、粒子の堆積状態に最も顕著な差が表れたCase5とCase8についての結果を示す。

Case5では、頭部水制がある場合と同じく粒子の主要な流送部がわん曲部の前半において外岸寄りから内岸寄



(a) Case5の堆積状況



(b) Case8の堆積状況

写真-3 掃流砂捕捉計測 (頭部水制なし)

りにシフトしているため内岸側わんどの下流側に多く堆積している。また、頭部水制が設置されていないため外岸側わんどへの堆積も見られる。わん曲部前半外岸側から交差部に向うにつれてわんど内の堆積状況がわんど内全体から中央部への堆積に変化している。これにより、わん曲部よりも交差部に位置するわんど内に循環流があることが示唆された。

Case8では、頭部水制がある場合と同様に高水敷へ乗り上げる乗上部よりも、低水路へと流れ込む流込部において堆積が顕著に表れている。しかし、頭部水制がある場合ではわん曲部内岸側にも堆積していたが、本ケースではわん曲頂部からやや下流側の内岸側わんどから堆積が見られた。これは、頭部水制によって低水路部から高水敷上へ乗り上げる領域において流れの向きが変化したためと考えられる。また、外岸側わんどへの堆積の仕方

も頭部水制の有無によって変化していることが捉えられた。頭部水制がある場合、わんど内の上流側および河岸側への堆積が目立ち、下流側および主流部側へはほとんど堆積がない。頭部水制がない場合は、交差部では頭部水制がある場合と似た堆積状況であるが、わんど頂部へ向かうにつれて上流側の幹部水制に平行に堆積していく様子がうかがえた。これは、高水敷上からわんど内へと流れ込んだ流れが低水路の底から上昇流となって発生しているためであり、幹部水制が流れ方向と鉛直になるわんど頂部では上昇流が幹部水制に沿って発生するため、幹部水制に平行に堆積したと考えられる。頭部水制があるケースでも同様に、低水路の底からの上昇流は発生しているが、頭部水制がないケースでは、この上昇流が卓越するのに対し、頭部水制があるケースでは堆積状況から判断して、上昇流に加えてわんど内の循環流が複合的に作用した3次元流の構造の存在が推測される。また、頭部水制の存在により流向が変化し、頭部水制の後方にも越流して流れができるため流れの構造がより複雑になると思われる。

5. おわりに

以上のように、頭部水制の機能について表面流速計測結果および掃流砂捕捉計測結果を用いて検討した。それらの結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 表面流速ベクトル分布で頭部水制がないCase5, 6よりもCase1, 2の方がそれぞれ流速が大きくなったことから、平常時 (inbank流れ) において頭部水制が流速を大きくする効果があることが明らかとなった。これは、頭部水制が設置されていない場合、幹部水制が流れに対して抵抗となっているためと考えられる。また、頭部水制の存在によって平常時により低水路の有効幅を狭める効果があった。
- 2) 表面流速ベクトル分布から、頭部水制がある場合と比べて、頭部水制がない場合は、低水路から高水敷へ乗り上げる部分では頭部水制の影響を受けないため、滑らかに高水敷上へ乗り上げ、高水敷上の流れに沿って流れる傾向が見られたことから、洪水時 (overbank流れ) において頭部水制があることにより、わんどが高水敷の機能を発揮していることが示唆される。
- 3) 掃流砂捕捉計測より、平常時 (inbank流れ) において、頭部水制がない場合は内岸側だけでなく外岸側

への堆積も見られたことから、頭部水制を設置することによりわんど外岸側への堆積が抑制されることがわかった。

- 4) 掃流砂捕捉計測より、洪水時 (overbank流れ) において、頭部水制の有無によってわんど内の堆積に変化が見られたことから、頭部水制がわんど内の堆積に多大な影響を与えることがわかった。また、頭部水制がある場合、わんど内に3次元流の構造が存在し、この流れの構造がより複雑になることが推測される。

本論では、表面流速計測、掃流砂捕捉計測を行い、頭部水制がある場合とない場合の結果を比較検討し、頭部水制の機能を明らかにした。

ただし、今回の実験では、頭部水制がある場合、設置した頭部水制は全て開口部なしであった。過去の淀川の航空写真を見ると、外岸側の乗上部では開口部なしが多数を占めていたが、外岸側流込部では開口部有りの頭部水制が約半数であった。また、内岸側でも乗上部と流込部によって頭部水制の開口部の有無に違いが見られた。これらより、今後の課題として、外岸・内岸の違い、頭部水制の有無、頭部水制の開口部の有無などのさまざまなケースによる違いを明らかにすることが挙げられる。

また、水制の設置指針を与えるためには、個々の水制・わんどに対して蛇行位相や水位条件、頭部水制の有無等を与える影響を検討する必要がある。

謝辞: 本研究を行うにあたり、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの中川一先生より実験施設を提供して頂いた。また、鎌谷将史、武市真裕子の両氏に実験に協力頂いた。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 山本晃一 著：日本の水制，山海堂，第1刷，1996。
- 2) 近藤晴紀・武藤裕則・石垣泰輔：水制による止水域形成に及ぼす河道蛇行位相の影響に関する実験的研究，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，II-046，pp.91-92，2009。
- 3) 服部和彦・石垣泰輔・上野鉄男：山地部蛇行河川の洪水流に及ぼす地形形状の影響について，水工学論文集，第52巻，pp.799-804，2008。
- 4) 武藤裕則・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。

(2009. 9. 30受付)