

1.はじめに 近年，治水対策として，高水敷の一部を掘削して河積の拡大を図る河道掘削が各地で行われているが，同時に生態環境に配慮して冠水頻度の高い河原やわんどの造成を行うことが試みられている．揖斐川では高水敷の掘削により大正時代に設置されたケレップ水制が出現し，これを残した形でわんど環境が復元された．わんどを長期的に維持するためには，高水時の土砂輸送に留意し，わんど内やその付近の河床が，洗掘や堆積等によってどのように変化するか予測を立てることが必要である．高水敷の掘削は新たに低水路と高水敷の中間に当たる中水敷を形成する．本研究ではこうした複断面河道のわんどにおける流れ構造および土砂堆積機構に着目し，現地調査および実験により検討を行った．

2.現地調査結果 2002年度の河道掘削によりケレップ水制が現れた揖斐川河口より 34.9km 右岸の調査を2003年5月，2004年4月，10月，11月の計4回行い，砂の堆積状況と堆積した砂の粒度分布を計測した．図-1 に掘削箇所と水制の位置を示す．図の破線が掘削ラインを示す．この地点では掘削により4基の水制が現れた．上流より3基目の砂の堆積状況の変化を写真-1 に示す．掘削から間もない2003年にはほとんど堆積が見られない．2004年には人が歩けるような陸地が形成され，次第に堆積が大きくなっている．特に2004年には台風による数度の大出水があったため，急速に堆積が増大したと考えられる．写真-2 に4基の水制下流側の堆積状況を示す．先頭2基の水制先端の積石は崩れて流されており，水制背後の堆積は下流

側ほど大きくなっていった．3基目の水制下流側に堆積した砂の粒径加積曲線を図-2 に示す．水制の先端付近には比較的粗い砂が堆積し，根元に近づくほど細かい砂が多くなり，砂浜のようになっているのが確認できた．



2003年5月21日

2004年4月24日

2004年10月13日

2004年11月26日

写真-1 水制背後の砂の堆積状況の変化



1基目

2基目

3基目

4基目

写真-2 4基の堆積状況

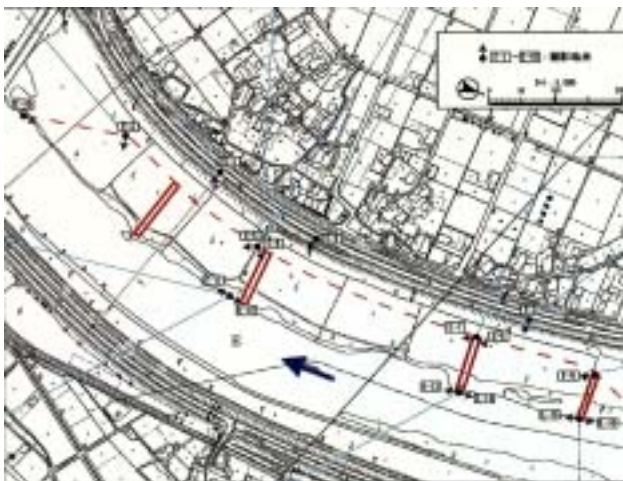


図-1 揖斐川 34.9km 地点の掘削箇所平面図

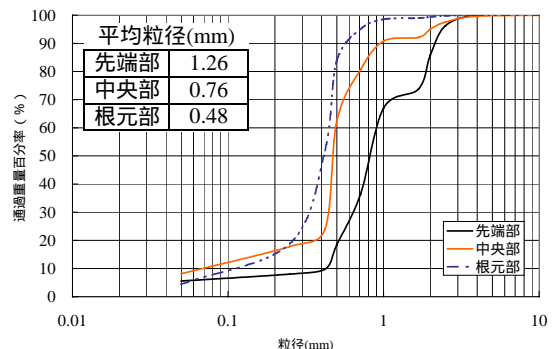


図-2 粒径加積曲線と平均粒径

表-1 実験条件

	PIV実験	土砂堆積実験
流量 $Q(l/s)$	3.8	7.0
低水路水深 $H(cm)$	6.0	
高水敷水深 $h(cm)$	2.0	
断面平均流速 $U_m(cm/s)$	27.1	50.0
水路床勾配 I	1/500	

3.実験条件および実験方法 実験としては、複断面開水路の高水敷にわんどを設け、PIV法を用いた詳細な流速計測と土砂堆積実験を行った。実験水路は両実験ともに長さ4m、幅30cm、勾配1/500の長方形断面水路を用い、水路右岸に幅10cmの塩ビ板を設置し高さ4cmの高水敷を作り、一部区間を低くしてわんどを設けた。水制には厚さ1cm、高さ2cm、長さ10cmの塩ビ板を用いた。実験条件を表-1に、実験ケースを図-3に示す。PIV計測の流れの可視化には、直径50ミクロン、比重1.02のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ約3mmのシート状にしたアルゴンレーザー光を開水路鉛直縦断面(x-z平面)と水平断面(x-y平面)に照射した。レーザーシートの照射位置は鉛直に6断面($y=5,25,50,75,95,105mm$)、水平に6断面($z=5,15,25,35,45,55mm$)を設定した。この可視化画像は高速ビデオカメラを用いて1/120sで撮影した。画像計測にはVISIFLOW(AEA Technology)PIVシステムを用い、相互相関法により画像解析し、約16秒間平均値の流速ベクトルデータを取得した。土砂堆積実験については平均粒径0.135mmの珪砂を用い、貯水槽に250lの水と3kgの砂を入れ攪拌した状態でポンプにより循環させた。同時に流速計測を行い、2成分I型電磁流速計(東京計測製)を用いて主流方向流速 u と横断方向流速 v を計測した。サンプリング周波数100Hzで20秒間計測したデータについて解析した。

4. 流速実験の結果と考察 高水敷わんどが流れ全体に及ぼす影響を見るために、電磁流速計による流速分布を検討する。図-4にkw2の $X=300mm, 20mm, 75mm, 130mm$ における主流方向流速 U の横断分布を示す。低水路内の $Z=15mm$ における流速が最も大きく、その横断分布を見ると、わんど領域を流下するにつれて高水敷近傍の流速が減少している。また $Z=50mm$ ではわんど上流部の複断面において高水敷上が低速となっているが、低水路と高水敷の水深比に比べてその差は小さく、2次流による運動量輸送が働いて高水敷が高速化したものと考えられる。わんど上の流速は流下とともに急速に減少し、横断方向に大きな勾配を持つようになることがわかる。このように高水敷にわんどを設けることにより、高水敷上および低水路側の流速を減速する効果が働き、抵抗の増大をもたらしていると考えられる。

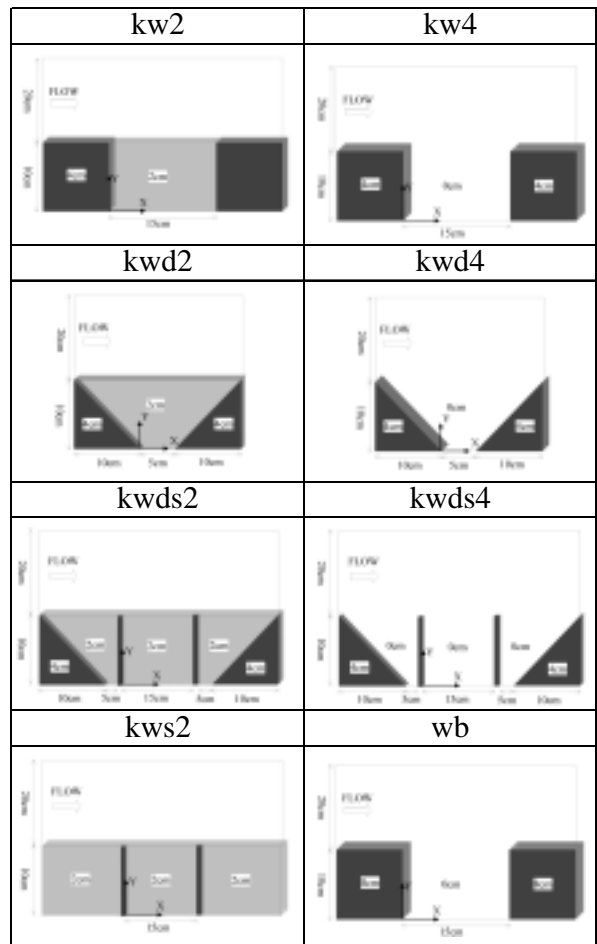


図-3 実験ケース

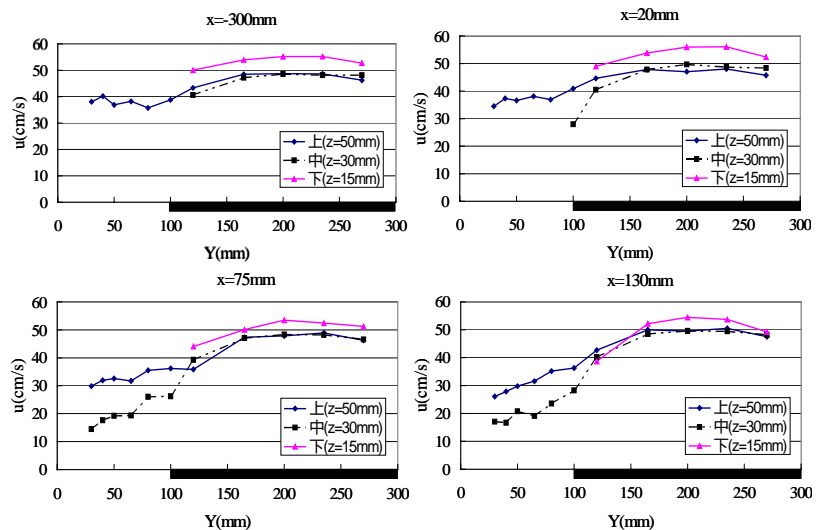


図-4 平均主流速横断分布

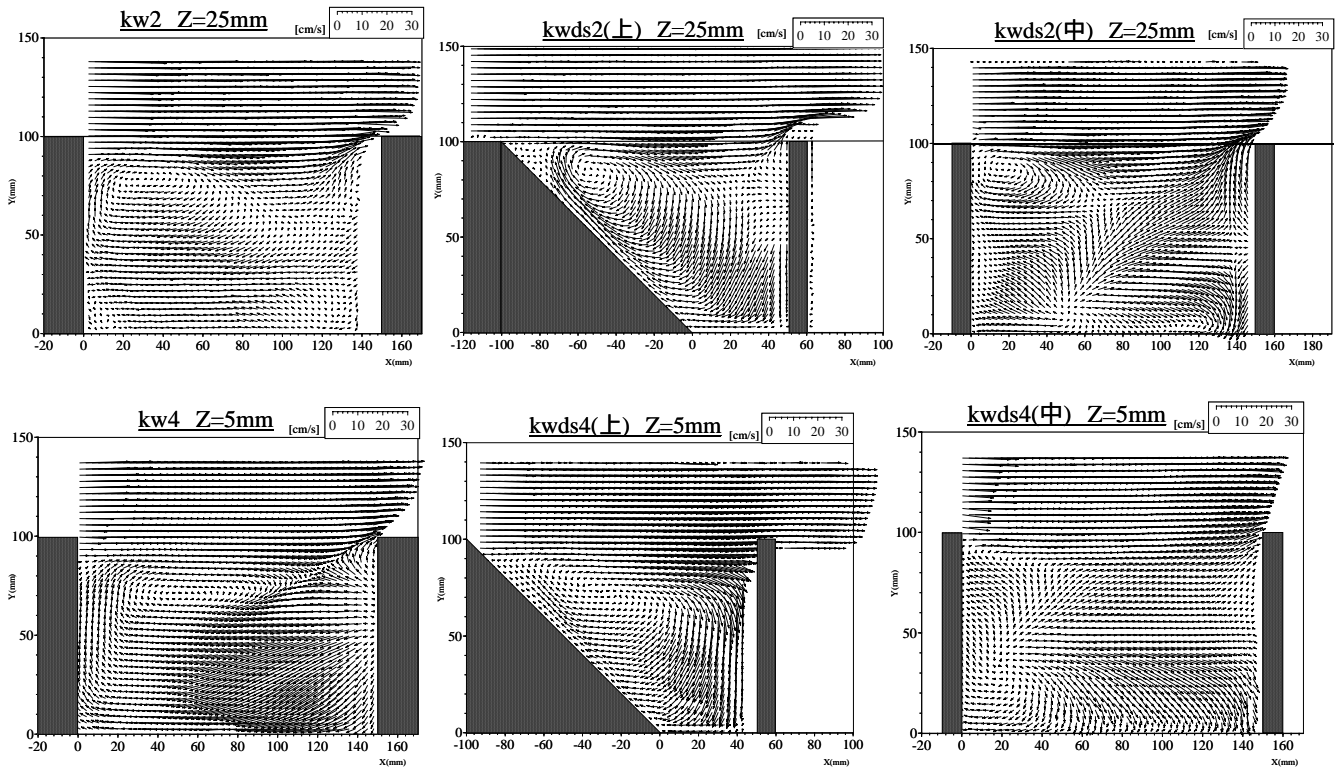


図-5 水平断面流速ベクトル

kw2, kw4, kwds2, kwds4 の水平断面流速ベクトルを図-5 に、鉛直縦断面流速ベクトルを図-6 に示す。kw2 のわんど底面付近 $Z=25\text{mm}$ ではわんど上流側に大きな平面渦が形成され、わんど域の上流側の $Y<60\text{mm}$ の広い範囲で逆流が発生している。また、低水路側では先述の平面渦の下流側でわんど内へ入り込み、わんど下流端から低水路に流れ出ていくのが確認できる。わんど中央部 $Y=50\text{mm}$ では上流側に大きな横断渦が見られ、 $Z=25\text{mm}$ 断面で見られた逆流域はこの横断渦による逆流が現れたものである。低水路からわんど内へ流入する流れはわんど中央付近にいったんは見られるものの、下流側へそのまま流出している様子が見られる。したがって、わんど内への流入は高水敷からのものが多いと考えられる。kw4 の底面付近 $Z=5\text{mm}$ においてもわんど上流側開口部に平面渦が確認できるが、kw2 とはかなり異なる形状を示している。また、下流側には上流側へ向かう強い流れが見られる。下流端では低水路から流入した流れと、上流側へ向かう流れとがぶつかり、その一部が低水路に流れ出している。 $Y=50\text{mm}$ ではわんど全域に大きな横断渦が見られ、特に下流側で流れが強く、高水敷からの流入が見られる。このようにわんどの深さによって平面渦と横断渦の相互作用が変化していることがわかる。kwds2, kwds4 については掘削部内に2本の水制が残った形となっているため、上流側、中央、下流側の3つのわんどが存在

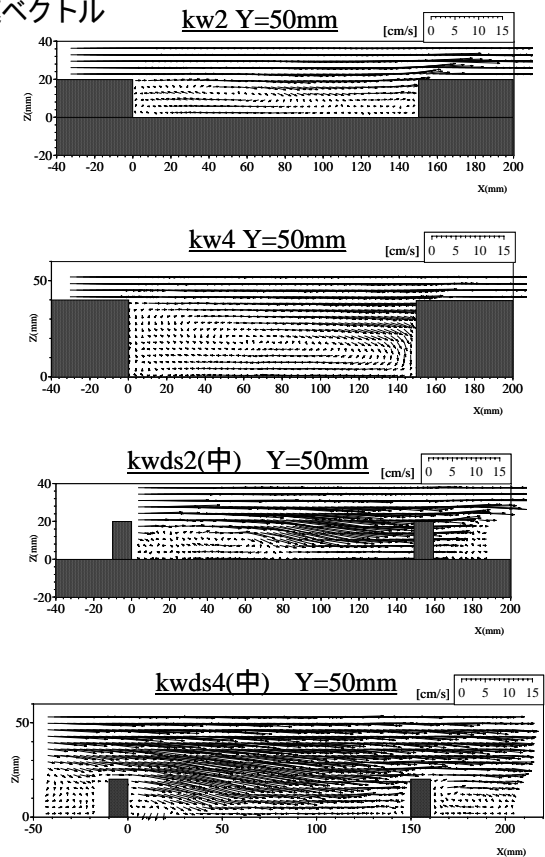


図-6 鉛直縦断面流速ベクトル

することになる。本研究では主に中央のわんどに着目し、中央のわんどへの影響が大きいと考えられる上流側のわんどについても計測を行った。kwds2 の上流側のわんど底面付近 $Z=25\text{mm}$ ではわんど上流側開口部を中心とした平面渦が見られる。この流れはわんど奥部にも達し、台形の形状に沿って開口部へ向かっている。

低水路の流れは開口部でやや広がってわんど域内に入り込んでいる。わんど下流側では水制によって水はねが起こっている。中央のわんどでも、 $Z=25\text{mm}$ において他ケースと同様にわんど上流側開口部付近に平面渦が形成され、低水路からわんど内へ流れ込んだ流れが下流から勢いよく流出している。しかしこれよりわんど内部の流れは大きく異なり、複雑な構造を呈している。横断渦に伴う逆流域は上流の狭い範囲に限られ、中央から下流にかけて対角線に沿って流れる順流と、わんど下流側奥部で壁面へと向かう流れがある。 $Y=50\text{mm}$ ではわんど上流側にごく弱い横断渦が見られ、その下流側でわんど内への強い流入が見られる。高水敷上を流下してきた流れの多くは中央のわんど内へ流入し、底面付近でわんど上流側へ向かう流れと、流下する流れとに分かれる。流下方向に向かった流れは水制に衝突し開口部側と奥側に分かれて水制を乗り越えると考えられる。kwds4では上流側のわんど底面付近 $Z=5\text{mm}$ でわんど内に大きな平面渦が形成されている。わんど下流側からの入り込みが大きいのがわかる。中央のわんどでは、他ケースで共通して見られたわんど内の平面渦は見られず、大部分で順流が現れ、中央を境に低水路側と側壁側へ向かう流れに分かれている。わんど域の下流端からは低水路へ流れ出している。 $Y=50\text{mm}$ 断面ではわんど域全体に非常に強い入り込みが見られる。上流側のわんどへは主に低水路からの流入が多く、中央のわんどには高水敷を流下してきた流れが入り込むと考えられる。高水敷から流入した流れは底面付近でわんど奥部へ運ばれ上昇し、わんど上の速い流れに乗って流下するものと考えられる。

5.土砂堆積実験の結果と考察 土砂堆積については、まず、わんどと主流部の境界を遮蔽してわんど内への堆積量を測定し、これを高水敷掃流砂量とした。次に、通常のわんど流れの状態でわんど内の堆積量を測定した。図-7に各ケースの高水敷掃流砂量とわんど堆積量を示す。高水敷掃流砂量はケースによって異なっているが、これは実験装置の設置の仕方による差と考えられ、各形状ごとに同じ条件になるようにした。高水敷を越流しないwbでは高水敷掃流砂は計測されないが、わんど内への流入は大きくなっている。これより低水路からわんど域へ多くの掃流砂が流入していることがわかる。図-8にわんど内への流入土砂量を示す。これは図-7におけるわんど堆積量から高水敷掃流砂量を引いたものであり、値がプラスを示せば土砂が堆積し、マイナスを示せばわんど開口部から低水路側へ

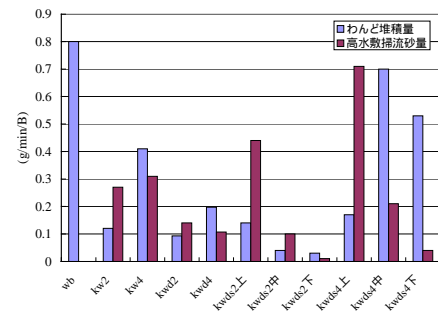


図-7 流砂量および堆積量

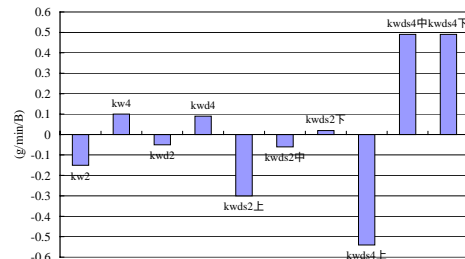


図-8 流入土砂量

砂が出ていることになる。kw2, kwd2のような掘削の浅いわんどでは砂が流出し, kw4, kwd4のような掘削の深いわんどは砂が流入しているのがわかる。掘削の浅いわんどでは、高水敷掃流砂が堆積するものの、高水敷上の比較的速い流れがわんど底部にまで進入するため、砂が流出してしまうと考えられる。掘削の深いわんどでも同様に高水敷掃流砂が堆積するが、砂の堆積しているわんど底部には高水敷上の速い流れの影響が達しにくく、砂の流出量は少なくなったと考えられる。また、低水路掃流砂がわんど内に流入していると考えられる。kwds2, kwds4のような水制を残した形でのわんどは、上流側ほど多くの砂が堆積し、下流へ行くにつれて堆積量が少なくなっている。上流側には高水敷からの掃流砂が堆積し、中央および下流のわんどでは上流の砂の巻き上げや、低水路掃流砂によって堆積が進むと考えられる。

6.おわりに 今回の実験では、浮遊砂よりも高水敷の掃流砂が卓越したと考えられる。そのため、掘削の浅いわんどは掃流砂の堆積を抑制する働きをし、堆積の進む掘削の深いわんどに比べて効果的であると言える。複断面河道において特徴的な浮遊砂の横断方向輸送による堆積は小さいという結果になった。ただし高水敷掃流砂は上流の浮遊砂輸送の結果生じるものであり、明確な区別は困難である。今後の課題として、砂の粒径をさらに小さくし浮遊砂が起こりやすい条件を作ること、砂の循環量を一定に保つこと、高水敷粗度や流量の影響を調べることなどが挙げられる。

指導教官：富永晃宏 教授