

1. はじめに 近年、多自然川づくりの一環としてわんどの整備が行われてきた。わんどは生物の生息場となるなど重要な役割を有している。しかし、わんどが土砂堆積によって埋没し、その機能が失われる問題がしばしば発生している。そこで本研究では、2008年3月に施工が完了した矢田川のわんどを研究対象とし、現地での河床変動および流速の調査、模型実験、数値計算によってわんどの土砂堆積機構について水理学的検討を行った。

2. 現地観測の方法 矢田川わんどは側岸部に傾斜を有し、低水時は開口部100m、奥行き25m、高水時は開口部140m、奥行き35mのわんどである。また、開口部上流側にはひし形の置石工が設置されている。本研究では矢田川わんどを含む流れ方向160m区間の河床形状をトータルステーションにより測量した。観測は6月17日、7月16日、17日、9月16日、17日、11月5日に行い、その間には何回かの出水があった。

また河床形状計測区間の流れ構造を解明するために、7月16日、31日にADV流速計による流速観測を行った。計測は水深20cm以上の箇所では2点法、20cmより小さい箇所では1点法を採用した。

さらに、詳細な低水路河道の抵抗特性を把握するため、11月5日、6日に鉛直方向流速分布をADV流速計により計測した。計測箇所は流下方向 $x=0, 80, 160$ mの地点で鉛直方向に10点前後計測を行った。

3. 観測結果および考察 図-1に河床高計測結果を示す。このわんどでは施工後何回かの出水により、ひし形置石工後方に堆積が広まりつつあった。また、わんど下流域で淵が形成されていた。7月から11月の間においては大規模な出水により上流部の河床の上昇およびわんど上流部域の閉塞、それに伴い左岸側の上、中流で河床の低下、下流での河床上昇が確認された。

図-2は7月の流速分布を示したものである。7月の段階ではわんど上流部は閉塞しておらず、瀬を形成していたことから、砂州を境界として流れが2方向に分かれていることが確認できる。左岸側では流速が50cm/s以上となっているが、わんど上流部の瀬では30cm/s前後、わんど下流部の淵では10cm/s前後の流速となり、わんど内での流速が左岸側に比べて遅いことがわかる。

表-1は11月の流速観測により得られた摩擦速度および乱れ特性を示したものである。各計測点での主流速鉛直方向分布に式(1)の対数則を適用し摩擦速度 u_* を算出した。またレイノルズ応力および乱れ強度の鉛直分布の計測結果から、それぞれの分布に対して式(2)、式(3)を用いて摩擦速度 u_{*y}, u_{*r} を算定した。河床平均粒径については、

現地の河床材料を採取し、ふるい分け試験を行い、粒径加積曲線より d_{50} を求めた。限界摩擦速度 u_{*c} は、この d_{50} をもとに岩垣の式より算出した。

$$u/u_* = (1/\kappa)\ln(z/k_s) + 8.5 \quad (1)$$

$$-\overline{uv} = u_*^2(1-z/h) \quad (2)$$

$$u'/u_{*r} = 2.3\exp(-z/h) \quad (3)$$

u_* と u_{*y} はよく一致している。これはこの河川においても2次元の粗面開水路流れの普遍的乱れ構造があることを示している。乱れ強度についても普遍特性が認められる。したがって摩擦速度の値は信頼性が高いといえる。

$x=0$ m(上流部)では右岸側の摩擦速度が左岸側の摩擦速度より小さい。これは、わんど上流域の河床が上昇していることと一致する。

$x=80$ m(中流部)では摩擦速度が上流部、下流部に比べて大きい。そのため、わんど上流部閉塞後、中流部で河床が低下したと考えられる。また下流部の河床が全体的に上昇していることにも影響していると考えられる。

$x=160$ m(下流部)では上流部と同様に右岸側の摩擦速度が左岸側の摩擦速度より小さくなっている。このことは右岸側の河床が上昇したことと関係付けられる。

また限界摩擦速度 u_{*c} が摩擦速度 u_*, u_{*y}, u_{*r} のいずれよりも大きいことから、平水時には河床変動が起こらないことが確認できた。

河床材料に関しては、左岸側では分級されており、右岸側では様々な粒径が混在するという傾向が見られた。

4. 実験条件および方法 河床変動が発生する出水時の現地観測は困難なため、出水を想定した実験を行い、出

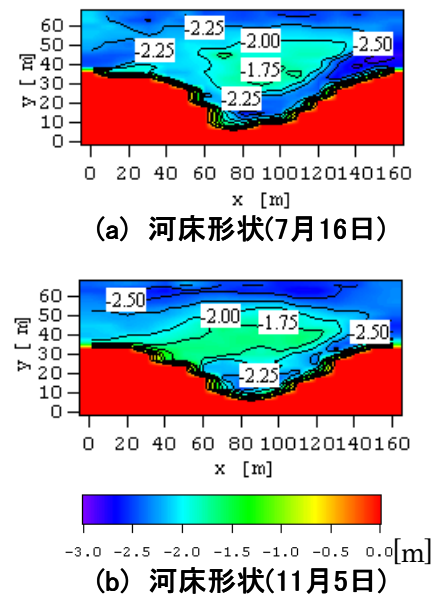


図-1 河床変動コンター

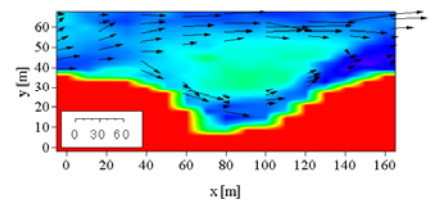


図-2 流速ベクトル(実測)

表-1 摩擦速度(11月流速観測)

x [m]	0	0	80	160	160
y [m]	40.42	55.42	59.2	45.3	60.3
U^* [cm/s]	2.55	3.07	4.21	0.91	3.01
U^*_y [cm/s]	2.43	3.02	2.94	0.95	2.34
U^*_r [cm/s]	2.98	3.21	4.11	1.47	3.04
d_{50} [mm]	3.07	4.22	11.94	3.51	8.41
U^*_c [cm/s]	4.98	7.44	9.83	2.26	8.25

水が河床に及ぼす影響について検討した。実験は全長13m、幅60cmの長方形断面開水路を使用し、フルードの相似則に従い、現地形状を再現した歪み模型を作成した。水路の河床は固定床とし、流量 $Q=6.0$ l/sec、水深 $h=5.6$ cm、河床勾配 $I=1/800$ の水力条件で流速の計測を行った。

5. 実験結果および考察 図-3に流速ベクトルを示す。 $x=80$ cm, $y=39$ cmに設置されたひし形置石の影響により、流れ分断されており、わんど内に流れが流入していることが確認された。またわんど内では渦が確認された。

次に無次元底面せん断応力分布 $\tau_{bx}/\bar{\tau}_{bx}$ を図-4に示す。コンターより主流部の上流域では底面せん断応力の値が大きく、河道の右岸側、置石工後方およびわんど内で底面せん断応力が低下していることがわかる。この底面せん断応力の低下している位置は、現地で土砂堆積が顕著な位置と一致している。

したがって、出水時には上流よりで土砂が流出しやすく、その土砂を含む流れがわんどへ流入する。しかし、わんど内で底面せん断応力が低下するため、わんど内で土砂が堆積しやすいと考えられる。

6. 数値計算による検討 実験同様、出水が河床に与える影響を数値計算により検討した。数値計算の基礎方程式には、水深平均された開水路平面2次元流れの運動方程式および連続式を用いた。乱流モデルには $k-\varepsilon$ モデルを使用し、河床形状はわんど上流域が閉塞した11月の現地観測の結果を使用した。平水時においては、観測値と計算値を比較したところ、よく一致する結果が得られた。次に出水時を想定して、流量 $Q=150$ m³、下流端水深 $h=2.0$ m、マンニングの粗度係数は現地観測より得られた値 $n=0.034$ を用いて計算を行った。

図-5に数値計算より得られた流速ベクトルを示す。わんどの上流域が閉塞しているものの、わんど域へ入る流れが確認された。またわんどで渦が発生していることがわかる。

また図-6に計算された底面せん断応力 τ_{bx} の分布を示す。その結果、右岸からわんどにかけて、底面せん断応力が低下していることがわかる。この底面せん断応力の低下した位置は実験同様、現地で堆積が発生した場所と一致している。また、出水時に上流域からの流れが砂州上を越えて流入するため、今後もわんど内に土砂が堆積

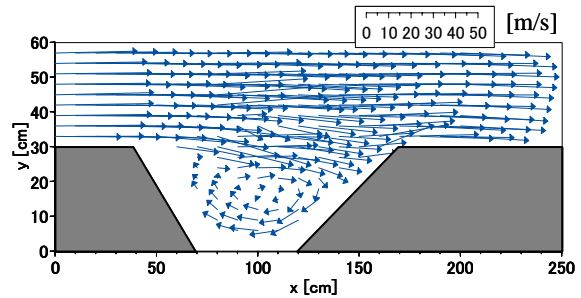


図-3 流速ベクトル(実験)

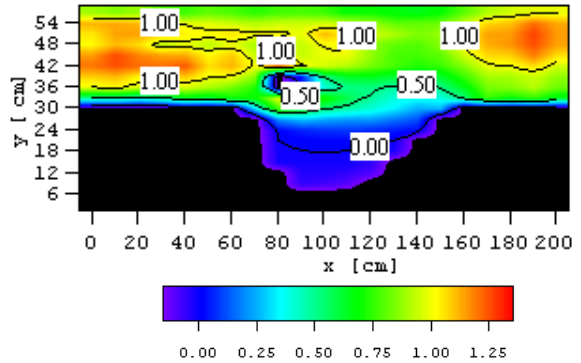


図-4 無次元底面せん断応力分布(実験)

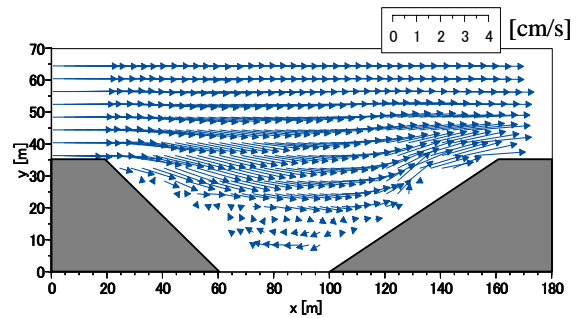


図-5 流速ベクトル(数値計算)

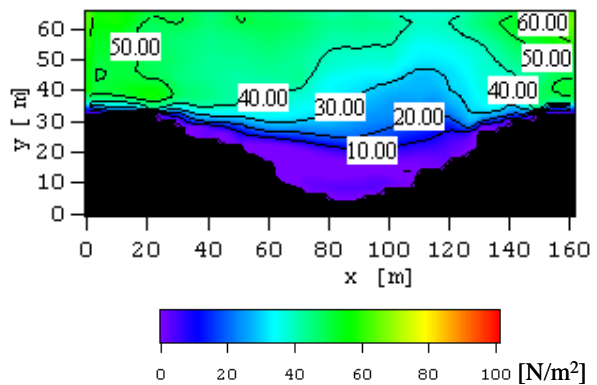


図-6 底面せん断応力分布(数値計算)

し、埋没する可能性があると考えられる。

7. 結論 観測により現地での流れ構造および河床変動の状況を把握することができた。また河床変動が発生すると考えられる出水時の流れ構造および底面せん断応力を実験および数値計算により解明することができた。今後は、移動床による実験や流砂を考慮した数値計算により、砂の挙動を解明すると共に、わんどに土砂が堆積しない対策を検討していく必要がある。