

わんどの形状と内部地形が流れ構造に及ぼす影響

指導教員 富永晃宏 教授

松浦 愛

1. はじめに 昨今、多自然川づくりの一環として人工的にも作られているわんどは、土砂堆積抑制・内部水質悪化抑制のために、形状や内部勾配・内部河床の高さを変化させたり、開口部を制御したりすることで、その流れ構造を解析した研究が進んでいるが、実存するわんど内はより複雑な地形を有しており、地形形状が流れ構造にどのような影響を与えるのかは明らかになっていない。そこで本研究では3次元数値計算によりわんど形状や内部地形が流れに及ぼす影響について検討した。

2. 計算方法 まず河川流シミュレーションソフトウェアiRICの3次元計算ソルバーのNaysCUBEを用いて、実験結果が得られている形状変化の影響について計算の再現性を調べた。その結果再現性が高い形状を選別して内部地形変化の影響について計算を実行した。計算条件を表-1に示す。2つの計算水路は、長さ3m、幅0.3m、勾配1/800の水路に、幅150mm、高さ40mmの高水敷を設定し、上流から1.230m離れたところから高水敷を設置してわんどを形成した。水理条件として、非越流と越流の場合を設定し、非越流の場合は下流端水深を35mm、流量は0.00117m³/s、越流の場合は下流端水深を60mm、流量は0.00333m³/sとした。なおこの数値は先行論文¹⁾の実験と比較するために同一条件としたものである。格子はX方向、Y方向とも1cmごと、水深断面は5mmで1断面とした。形状変化計算で用いたわんどの平面形状を図-1に示す。

地形変化計算では、形状変化計算において平面合成流速U_aの実験と計算の差を実験と計算の値で除してともに0.16以下となるものだけを地形変化計算の対象とする形状とし、各わんど内において実際のわんど土砂堆積地形を参考とし図-2に示す地形変化を設定し、計算を実行した。

表-1 計算条件

	Q(l/s)	H(mm)	h(cm)	U _m (cm/s)
非越流時(L)	1.17	35		22.29
越流時(h)	3.33	60	2.0	27.75

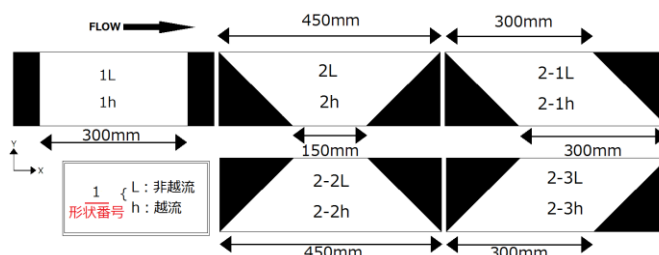


図-1 形状変化における形状とケース名

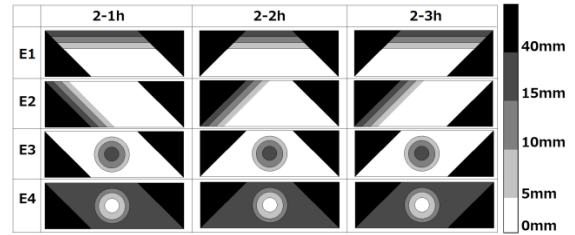


図-2 地形変化における地形とケース名

また「わんど内の水質悪化防止」と「わんど内の静穏域確保」に注目して解析を行った。前者を評価するため、わんどの上下流端を結ぶラインを境界面とし、Z=20mmについて式(1)²⁾で定義された質量交換率Mを使用した。

$$M = \frac{1}{\rho U_{max} L} \int_0^L \rho |V| dx \quad (1)$$

ここに、ρ：水の密度、U_{max}：最大主流速、L：開口部長、V：時間平均横断流速となる。値が大きいほど、水交換が活発であることを示す。また、後者を評価するためZ=20mmにおけるわんど内の平均合成流速U_aを用いた。

$$U_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{U^2 + V^2} \quad (2)$$

ここにU：時間平均主流速、V：時間平均横断流速となる。

3. 計算結果と考察

(1) 形状変化計算 流れ構造を見ると、非越流をでは再現性が高かったが、越流での実験結果は複雑な流れをしており、計算との不一致が目立った。特に水平断面Z=5mmにおいて2hを除いたケースで現れた放射状の流れが計算では再現できず、またZ=40mmにおいて1hを除いたケースでは、開口部からの流れと下流側高水敷にぶつかった流れが中央部で固まるような流れ構造が計算では再現できなかった。しかし、Z=20mmにおけるMおよびU_aは越流と非越流で実験結果の再現性が大きく変化しなかった。これらの実験結果と計算値の比較を図-3に示す。U_aについては2hで過小評価、他はほぼ実験の傾向と一致している。Mについては1Lで過大評価、2-3Lで過小評価となった。

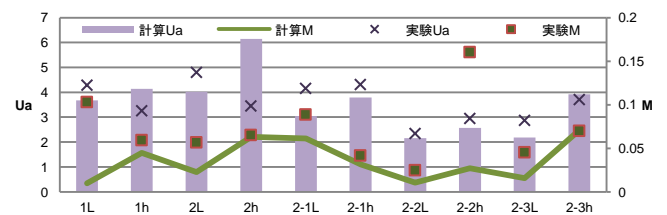


図-3 形状変化：MとU_a(Z=20mm)

(2) 地形変化計算 地形変化計算の結果としてZ=20mmにおける平面ベクトルを図-4、5に示す。また、図-6に地形変化計算におけるMとU_aの値を示す。どの地形変

化においても、 U_a に大きな変動は見られなかった。

(a)E1 2-1h, 2-2h については水平断面、鉛直縦断面を見ても流れ構造に大きな変化は現れず、よどみ領域は地形変化後も存在している。 M , U_a に関して見てみると、2-3h では開口部での流入領域が拡大している。

(b)E2 上流側高水敷の壁面の向きが2-1hのみ異なるが、 M の値で見れば2-3h の形状のみ、地形変化でわずかに大きくなった。2-3h では地形変化前まで、 $Z=40\text{mm}$, $Y=10\sim 100\text{mm}$ にわたって上流側高水敷からきた流れが壁面と直角をなす向きになっていたが、地形変化後では開口部に近い $Y=140\text{mm}$ から流入速度が現れている。これにより地形変化において流れ構造が変化し、水交換機能が高まるのは地形変化が起こった領域と下流側高水敷の形状が相関していることがわかる。

(c)E3 3形状に関してその地形変化により、剥離を伴う横断渦が地形変化領域に現れ、下流部側高水敷に向かう流れと、上流側高水敷に向かう流れが形成されている。そのため、上流側高水敷からきた流れが地形変化領域を通過した直後、流れ方向を壁面と直角をなす向きから X 方向に変えている。2-1h の形状では、 $Z=20\text{mm}$ における平面渦が地形変化後やや開口部へ近づき、開口部からの流入が増えている。また2-2h, 2-3h の形状では $Z=20\text{mm}$ において生じていたよどみ領域が縮小され、わんど上流側奥部に平面渦が形成された。

(d)E4 2-1h の形状では、 $Z=5\text{mm}$ において形成されていた平面渦の渦中心がよりわんど上流端開口部付近に移動しており、2-2h, 2-3h の形状では、地形変化後よどみ領域がなくなっている。E3 の地形変化の結果と同様に、すべての形状において $Z=40\text{mm}$ では中央凹部を通過したところで、流速方向が壁面と直角をなす向きから X 方向に変化し、凹部においても剥離を伴う横断渦が発生し、 $Y=70\text{mm}$ において横断流が形成された。また、 $Y=40\text{mm}$ から下流側高水敷に乗り上げる流れが強まった。

地形変化計算では、河床が最大 15mm 上昇するだけでも内部の流れ構造に変化した。また、わんど中央の河床が隆起、あるいは沈降することで、剥離をともなう横断流が生じ、上流側高水敷からの流れ方向を変化させる。 U_a に関してはほぼ地形変化前後で大差はないとし、 M のみで評価すると、各形状において地形変化の影響差が異なる。先行論文の土砂堆積実験をみると、2-1h ではE1, 2-2h ではE1とE4, 2-3h ではE1とE2の地形変化を合わせたような堆積形状になるため、2-2h の形状が土砂堆積後も水交換機能を維持しているといえる。

4. おわりに iRIC におけるわんどの流れ構造の計算は非越流時の方がより再現性の高い結果となったが、 M や U_a の値はともに大きな再現性を持つのは越流時であることがわかった。また、今後は、地形変化で実行した地形パターンを実験でおこない、再現性を調べることも重要である。

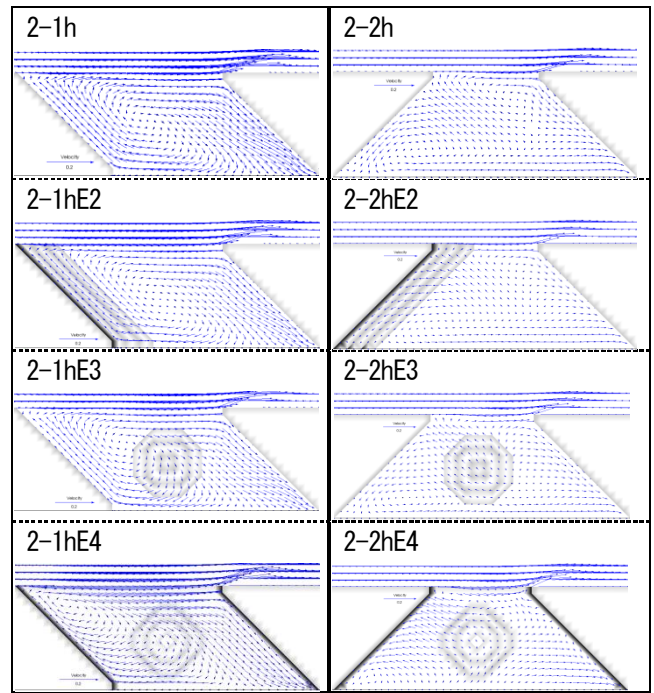


図-4 流速ベクトル(2-1h・2-2hの地形変化/ $Z=20\text{mm}$)

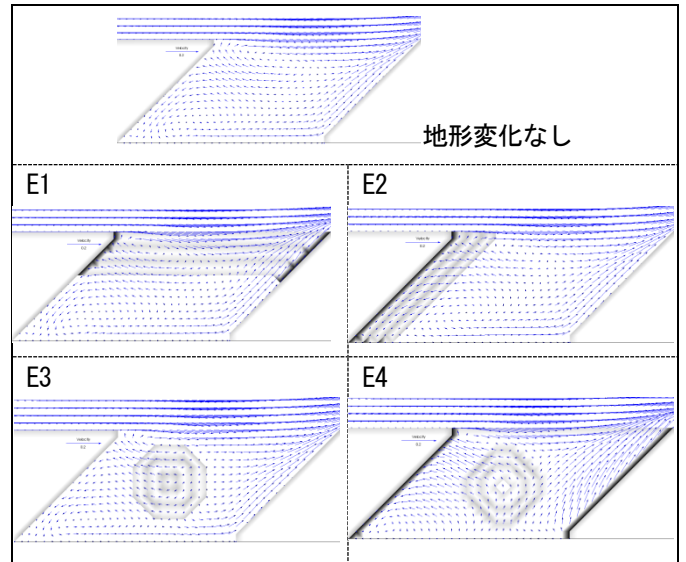


図-5 流速ベクトル(2-3hの地形変化/ $Z=20\text{mm}$)

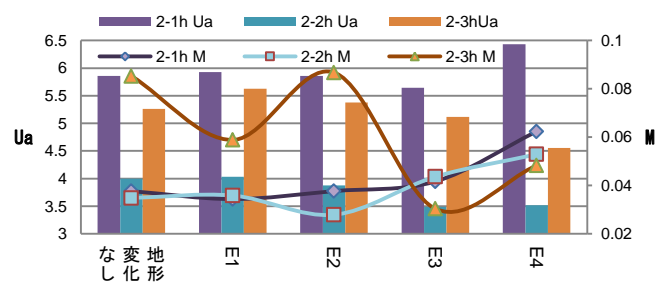


図-6 地形変化計算での M と U_a の比較 ($Z=0\sim 35\text{mm}$ 平均)

参考文献

- 1) 米山彩貴：様々な形状を有するわんどの流れ構造と土砂堆積，名古屋工業大学 卒業論文 2009年
- 2) 禰津家久・鬼東幸樹・池谷和哉・高橋俊介：わんど形状が河川に及ぼす影響に関する水理学的研究，応用力学論文集，vol.3, 2000年