

わんどの形状と内部地形が流れ構造に及ぼす影響

名古屋工業大学大学院 学生会員 松浦 愛  
 名古屋工業大学 フェロー会員 富永晃宏

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, 流れ構造を解析した研究が進んでいるが, 土砂堆積により実存するような内部地形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, 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 0.15m, 高さ 0.4m の高水敷を設定し, 上流から 1.23m 離れたところから高水敷を設置してわんどを形成した. なおこの数値は先行論文<sup>1)</sup>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, z 方向は 5mm 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.

「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 について次式で定義された質量交換率 M を使用した.

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

ここに, ρ:水の密度, U<sub>max</sub>:最大主流速, L:開口部長, V:時間平均横断流速となる. 値が大きいくほど, 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<sub>a</sub> を用いた.

$$U_a = \frac{1}{n} \sqrt{U^2 + V^2}$$

ここに, U:時間平均主流速, V:時間平均横断流速, n:わんど内の格子点数である. 内部地形変化計算では, 形状変化計算において平面合成流速 U<sub>a</sub> の実験と計算の差が小さいケース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 E1~E4 の地形変化パターンを設定し, 計算を実行した.

表-1 計算条件

	流量 (l/s)	水深 (mm)	高水敷 水深(cm)	平均流速 (cm/s)
非越流時(L)	1.17	35	2.0	22.29
越流時(h)	3.33	60		27.75

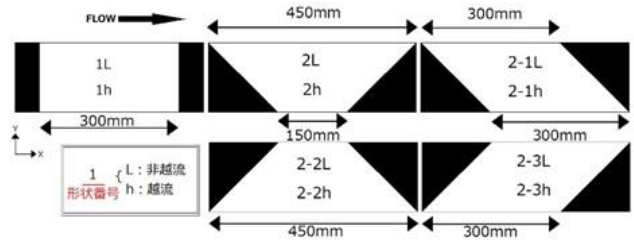


図-1 形状変化における形状とケース名

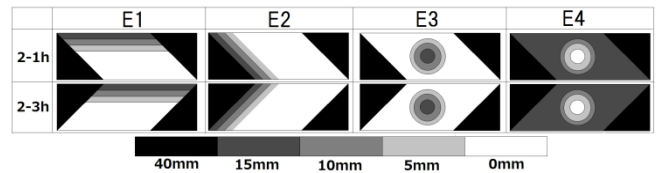


図-2 地形変化における地形とケース名

3. 計算結果と考察

(1) わんど形状の影響 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 においてケース 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 においてケース 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集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<sub>a</sub> 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<sub>a</sub> についてはケース 2h で過小評価, 他はほぼ実験の傾向と一致している. M についてはケース 1L で過大評価, ケース 2-3L で過小評価となった.

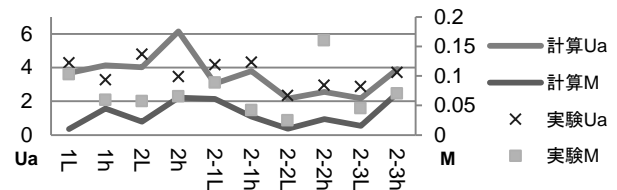


図-3 形状変化: M と U<sub>a</sub> (Z=20mm)

キーワード わんど, 3次元流れ構造, 数値シミュレーション

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 社会開発工学科 TEL: 052-735-5490

**(2) 内部地形の影響** 内部地形を与えた計算の結果として  $Z=20\text{mm}$  における平面ベクトルを図-4に示す。また、図-5には  $Z=5\sim 35\text{mm}$  で平均した内部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。また、内部地形変化を与えなかったケースを  $E0$  とする。

(a) ケース 2-1h  $E1$  と  $E2$  を比較してみると、わんど全体に広がる水平渦の渦中心位置は地形変化前と比べほとんど相違がないが、地形変化前に比べて、 $E1$  では境界面での流入が大きくなっている。 $E3, E4$  では、水平面渦中心がわんど内部の隆起・沈降部より上流側に移動しており、 $E4$  では境界面上流側に渦中心が移動したことにより、境界面からの流入が増えている。このことから、 $E4$  における  $M$  が地形変化前やその他内部地形変化パターンと比べて増大していることが説明できる。

(b) ケース 2-3h  $E1$  と  $E2$  は、地形変化前と渦構造は似ているが、 $E1$  では境界部の水平渦が上流側に、 $E2$  は上流側奥部にあった水平渦中心が下流側に移動している。 $E3$  と  $E4$  を比較すると、 $E4$  ではわんど奥部上流側に存在していた水平渦がより上流側に渦中心が移動し、 $E3$  では隆起部での逆流が目立つが、 $E4$  では奥部から開口部への流れがほとんどである。また、 $E4$  では他地形変化パターンに比べて、わんど下流部における奥部から開口部へ向かう流れが支配的である。

内部地形変化を与えた計算では、最大  $15\text{mm}$  の河床の上昇だけでも内部流れ構造に影響を持つが、 $M$  はケース 2-1h, 2-3h ともに  $E4$  で増加し、他の内部地形変化では地形変化による大きな変動は見られなかった。

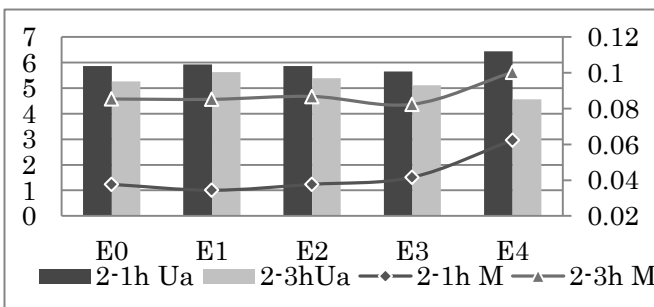


図-6 地形変化計算での  $U_a$  と  $M$  の比較 ( $Z=5\sim 35\text{mm}$  平均)

**4. おわりに** iRIC NaysCUBE によるわんどの流れ構造の計算は非越流時の方が再現性が高かった。越流時は3次元性が強まり局所的な流れ構造に違いが見られたが代表長さにおける  $M$  や  $U_a$  の値は越流時の再現性が高かった。今後は、土砂堆積後の流れ構造を実験で調べ、再現性を確認することも重要である。

**参考文献**

- 1) Tominaga, A. & Jong, J : Effects of configuration on flow structures and sediment deposition in a concavity zones of flood plain, 34<sup>th</sup> IAHR Congress, 2970-2977, 2011
- 2) 瀧津家久・鬼束幸樹・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

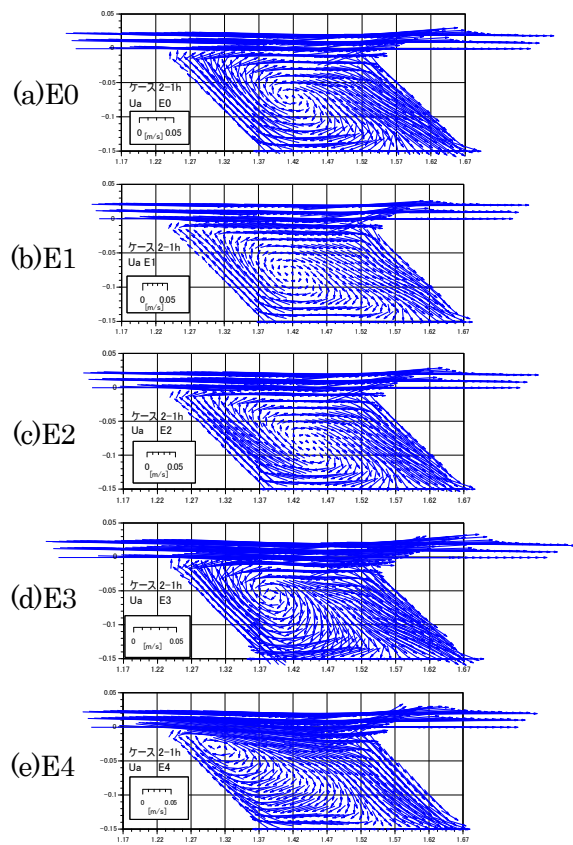


図4 流速ベクトル (2-1hの地形変化/ $Z=20\text{mm}$ )

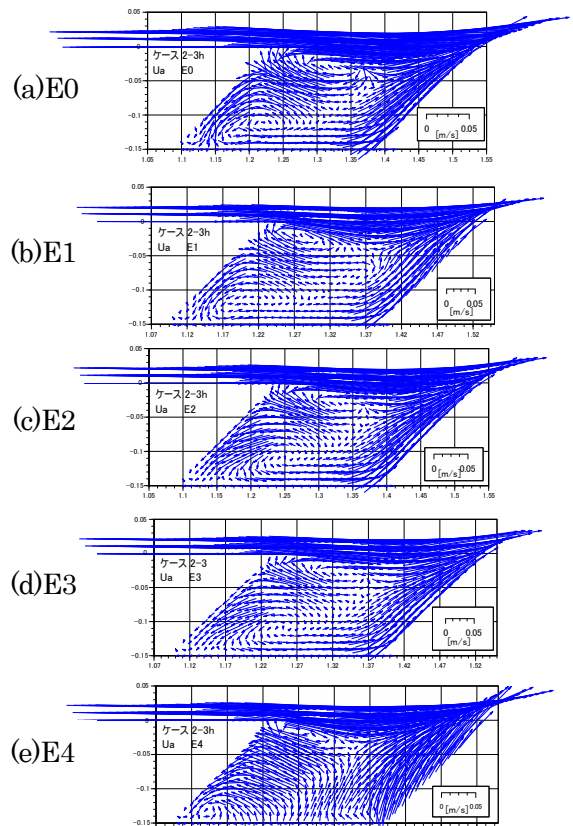


図-5 流速ベクトル (2-3hの地形変化/ $Z=20\text{mm}$ )