

人工ワンドにおける流れ特性に関する研究

日大生産工 ○武村 武

1. はじめに

既存の水制によって創出される水域環境の一つに「ワンド」があげられる。ワンドとは、河川本流に接続した反閉鎖水域のことである。この水域は、様々な生物にとっての生息域であるばかりでなく、多様な植生が見られるなど、生物多様性の場を提供すると共に、身近な親水域の一つとして利用されることが期待されている。

そこで、本研究では水制工により創出される半閉鎖性水域を人工ワンドと定義し、それが創出する環境の定量評価を目的とし、数値解析によりワンド内の流れの特性を検討した。

2. 解析手法および基礎方程式

数値解析には、汎用の河川流のシミュレーションを行う総合ソフトウェアである iRIC を用いた。本モデルは、非定常平面 2 次元流れのモデルと河床変動計算モデルにより構成されている。基礎方程式となる連続方程式、および運動方程式は以下の通りである。

[連続方程式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

[運動方程式]

$$\begin{aligned} \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = -hg \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x - \frac{F_x}{\rho} \quad \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} \\ = -hg \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y - \frac{F_y}{\rho} \quad \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \frac{\tau_x}{\rho} &= C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \\ \frac{\tau_y}{\rho} &= C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right] \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right] \quad \dots \dots (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{F_x}{\rho} &= \frac{1}{2} C_D a_s h u \sqrt{u^2 + v^2} \\ \frac{F_y}{\rho} &= \frac{1}{2} C_D a_s h v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

ここに、 h は水深、 t は時間、 u は x 方向の流速、 v は y 方向の流速、 g は重力加速度、 H は水位、 τ_x は x 方向の河床せん断力、 τ_y は y 方向の河床せん断力、 F_x は x 方向の植生による抵抗力、 F_y は y 方向の植生による抵抗力、 c_f は河床せん断係数、 v_t は渦動粘性係数、 c_D は植生の抗力係数、 a_s は単位体積に占める植生の遮断面積である。また、渦動粘性係数 v_t は標準型 $k - \varepsilon$ モデルにより算出した。

3. 解析概要

解析対象としたのは、通常型である不透水水制工を用いたケースと、上流側の水制工を透過型に変更し、その透過率の違いによる流れ特性について検討を行った。これらの検討を行う際、アスペクト比 AR (=L/W, L:水制工長, W:水制間幅) の変化についても、合わせて検討を行った。透過率に関しては、20%~60%の範囲で10%おきに5ケース、ARは1~10までの範囲で計10ケースに対して検討を行った。なお流れは一様流とし、下流端水位は等流計算によるとした。

4. 解析結果

4-1. 透過型水制による流れ特性

はじめに、通常型水制による流れ特性と透過型水制による流れ特性を比較し、検討を行った。

図-1(a)に基本のケースである AR=3 の通常型水制の解析結果を示す。通常型では、上流側水制により剥離した流れが、下流側水制に衝突してワンド内に入り込んでいる。さらに、入り込んだ流れは側壁面に沿って上流側水制まで戻る流れとなっており、人工ワンド内を大きく循環する流れとなっている。また、上流側水制で剥離した流れが大きく加速し、

その最大値は上流側の 1.5 倍程度となっている。

次に、図-1(b)に、透過型水制の解析結果を示す。図-1(a)とは異なり、上流側水制による大きな剥離流れは顕著では無い。ただし、上流側水制を透過した流れが下流側水制に衝突し、その後上流側に戻る流れが若干できており、ワンド内下流部に小さな循環流が生じている事が確認できる。

4-2. 質量交換率の検討

水制域・主流域間の物質交換を示す指標として、池田ら¹⁾はワンド上下の水制先端も結ぶラインを境界面とし、断面平均流速 U 及び水制間隔 d で無次元化して表した。この境界線における質量交換率 k' を次のように定義した。

$$k' = \frac{1}{Ud} \int_0^d |\bar{v}| dx \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 v は境界面上の横断方向の水深平均流速である。本研究における質量交換率の算出結果を図-2に示す。同図は横軸にアスペクト比 AR を取り、縦軸に質量交換率 k' を取った。また、同図には既往の研究結果として、池田ら¹⁾の結果(通常型水制)を併記した。

この結果より、通常型水制の場合、 $AR=3\sim 4$ 周辺で最大値を取り、その後 AR の増加に伴い小さくなることが確認できる。これは、上流側の水制により剥離した流れが、下流側の水制付近でワンド内に入り込み、循環流が生じたため、 k' が大きくなったと言える。

次に透過型水制における結果について検討する。透過型水制は通常型とは異なり、最大となる値を持たず、 AR の増加に伴い k' が小さくなっていることが確認できる。これは透過流れにより循環流が形成されないことが大きな要因である。 AR の増加に伴う変化に関しては、透過型水制部からの流入が一定であることと、境界線が長くなることに由来するものではないかと考えられる。また、図-3に $AR=3$ における各ケースの質量交換率を示す。同図は横軸に透過率を取り、縦軸に質量交換率 k' を取った。通常型は透過率を0として扱った。図-3からは透過率の増加に伴い k' が大きくなっていることが確認できる。境界部の長さが一定であることと、透過率の増加に伴いワンド内への水制部からの流入量が増加するためであると考えられる。

5. まとめ

数値解析により、人工ワンドの流れ特性について検討を行った。その結果、通常型水制ではアスペクト比の大きさが安定的な循環流の生成に寄与してい

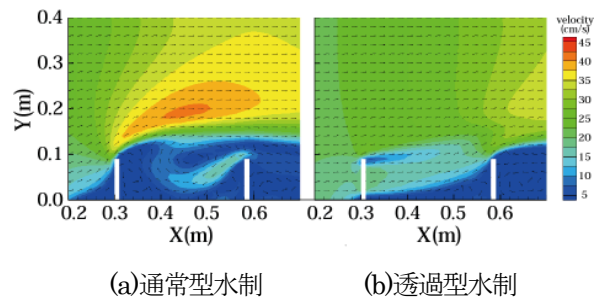


図-1 流速の空間分布

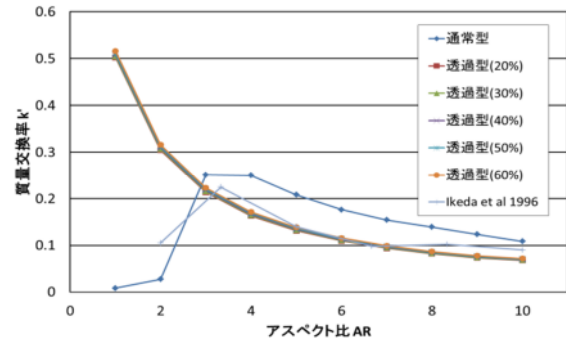


図-2 アスペクト比と質量交換率の関係

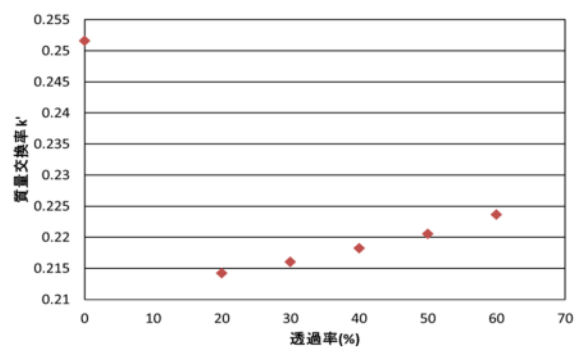


図-3 透過率と質量交換率の関係($AR=3$)

る事がわかった。また、 $AR=3\sim 4$ 周辺で質量交換率がピークとなることが分かり、既存の結果と同様の傾向である事が確認された。次に、透過型水制によるワンドでは、透過流が支配的であるため、ワンド内の循環流の生成には透過率とアスペクト比の関係が重要である。一方、質量交換率は、通常型に比して減少するため、ワンド内の物質交換には透過流が支配的であることが分かった。

参考文献

- 1) 池田駿介, 陳飛勇: 水制周りの水平剥離渦の構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第40巻, pp787-792, 1996.