

V型断面をもつ堰下流部の流れについて

岐阜大学工学部 正員 河村 三郎
 岐阜大学工学部 正員 中谷 剛
 岐阜大学大学院 学生員 ○水野 俊丈

1. まえがき

河川を横断して設置される床固め工や堰などの断面形状を変形させることで、流れのコントロールができれば河道内に意図的に瀬や淵の形成が可能になると考えられる。しかし、断面形状の違いが流れに与える影響について十分把握されておらず、その特性を知ることは、最適な断面形状、設置間隔、設置数を決定する上で重要である。そこで、本研究では断面形として従来用いられていた形状を変形（V型、変形V型）させ、堰を有する流れの数値計算を行い、実験結果と比較することによってモデルの適用性を検討する。

2. 基礎方程式

基礎方程式は次に示す2次元浅水流方程式を用いる。

$$U_t + E_x + F_y = C$$

$$U = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} hu \\ u^2h + \frac{gh^2}{2} + ghz - \nu_T(hu)_x \\ uvh \\ -\nu_T(hv)_x \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} hv \\ uvh \\ v^2h + \frac{gh^2}{2} + ghz - \nu_T(hv)_y \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{n^2gu\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \\ -\frac{n^2gv\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}} \end{bmatrix}$$

ここに、 h : 水深、 u : x 方向の流速、 v : y 方向の流速、 g : 重力加速度、 z : 河床高、 ν_T : 渦動粘性係数、 n : 粗度係数、また、 ν_T 以外の文字にある右下の添え字は偏微分を表す。

3. 計算方法

2次元浅水流方程式を任意直交座標系（ $\xi = \xi(x, y)$, $\eta = \eta(x, y)$ ）へ座標変換し、MacCormack法によって離散化を行い計算を進める。以下にMacCormack法の差分スキームを示す。

$$\text{予測子段階: } \bar{U}_j = U_j - \frac{\Delta t}{\Delta x} (E_j - E_{j-1}) + \Delta t C_j$$

$$\text{修正子段階: } U_{j+1} = \frac{1}{2} (U_j + \bar{U}_j) - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (\bar{E}_{j+1} - \bar{E}_j) + \frac{\Delta t}{2} \bar{C}_j$$

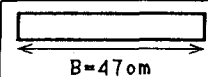
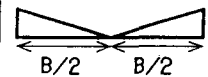
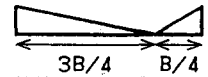
$$\text{ただし, } \bar{E}_j = E(\bar{U}_j), \quad \bar{C}_j = C(\bar{U}_j)$$

また、時間分割法により基礎方程式を ξ 方向と η 方向に分割し、それぞれを2次精度のTVDスキームとなるように書き換えて数値振動を抑制した。 ξ, η 方向の差分演算子を $L_\xi(\Delta t)$, $L_\eta(\Delta t)$ として表すと、以下に示すような演算によって解を求めている。

$$S = L_\xi \left(\frac{\Delta t}{2} \right) L_\eta(\Delta t) L_\xi \left(\frac{\Delta t}{2} \right)$$

側壁ではnon-slip条件とし、堰の影響は堰に作用する静水圧及び堰設置場所の横断方向河床勾配によって考慮する。計算領域は長さ14m、幅0.47mとし、表-1に示す3種類の断面形状をもつ堰を有する流れを対象としている。また、それぞれのケースにおいて下流端水深を変化させ、堰直上部で支配断面になる場合（下

表-1 堰の断面形状

	水平型
	V型
	変形V型

流端水深6.4cm)とならない場合(下流端水深3.2cm)について検討する. また, 河床勾配は1/1000, 流量は9.4(l/s)である. 格子は水路縦断方向, 横断方向ともに不等間隔格子を用い, 縦断方向では堰近傍, 横断方向では側壁近傍で細かくし, 隣り合う格子間隔比は $\pm 10\%$ 以内とする.

4. 数値計算例

変形V型堰を水路上流端から7mの位置に1基設置し, さらに堰直上部で支配断面とならない場合における堰近傍の水面形状を図-1に示す. この図から常流から堰を越えて再び常流へと流れる水面形の特徴が数値計算においても表れていることがわかる. 図-2に実験値と計算値の比較を行っている測線図, 図-3に x 方向流速分布, 図-4に y 方向流速分布を示す. ここで, y 方向流速分布に関しては右岸から左岸へ向かう流れを正としている. x 方向流速分布においては側壁付近で若干の差がみられるものの, よく一致していることがわかる. y 方向流速分布においては全体的に実験値との一致はみられないが, 堰設置場所における分布傾向に類似点がみられる.

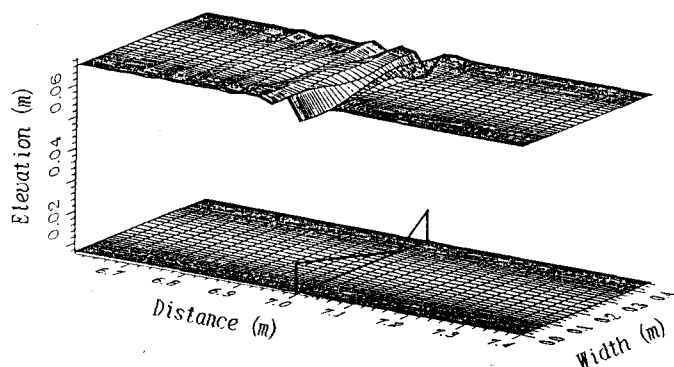


図-1 水面形(変形V型堰)

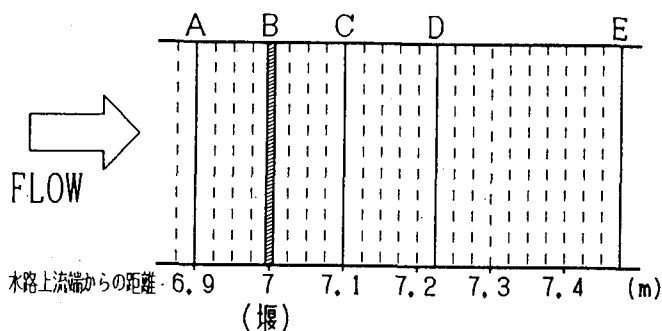


図-2 測線図 --- 計算格子線

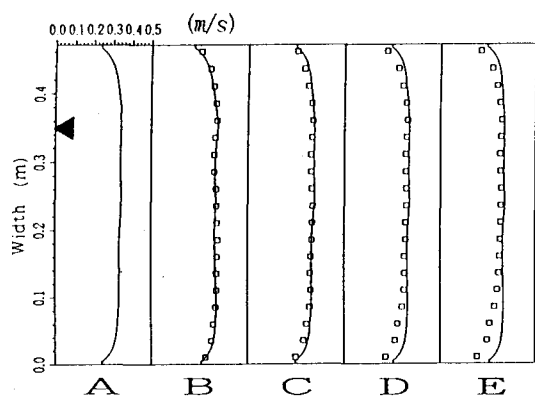


図-3 X方向流速分布 □ 実験値
— 計算値

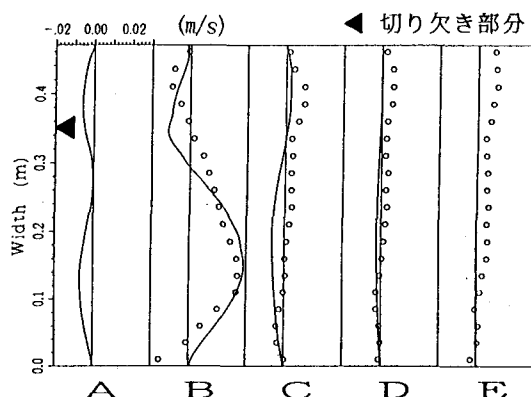


図-4 Y方向流速分布 ○ 実験値
— 計算値

5. あとがき

2次元浅水方程式を用いた堰を有する流れの計算は, y 方向流速分布に課題を残すものの, x 方向流速分布においてはある程度一致しその適用性が示された. 今後は堰の影響の考慮方法にさらなる検討を加え, 異なる断面形状あるいは複数の堰を有する流れへの拡張を行う.