

非越流型水制のある流れの構造について

名古屋工業大学 学生員 劉 建 名古屋工業大学 学生員 藤原 和広
 名古屋工業大学 学生員 大橋 基良 名古屋工業大学 正 員 富永 晃宏

1. まえがき 河川における水制の役割が治水の目的だけでなく、環境面でも平水時に多様な流れ場を作る方法として見直されつつある。しかし、水制まわりの流れ構造は非常に複雑で不明な点が多く、一般的な経験式も得られていない。水制の利用を積極的に図っていくためには、水制背後の流れの特性と局所洗掘特性を明らかにし、このような流れの計算法を開発することが必要である。本研究では、主流に対する水制の設置角度の影響に着目し、実験と数値計算を行った。

2. 実験方法 実験は、幅30cm、長さ8mの勾配可変型開水路で行った。ここでは、図-1に示す $\theta=45^\circ$ の非越流型水制の $L/d=1/2$ のケースの結果について報告する。水制は水路の上流より約4mの地点に設置し、流量2.8ℓ/sを流し、水深は下流端を堰上げて堰下流3mの地点の水深が約10cmになるようにした。計測は2成分電磁流速計を用い、水制より上流1.2m、下流へ3mの区間で横断方向に9点、水深方向には $y=2\text{cm}$ と $y=7\text{cm}$ の2点計測した。

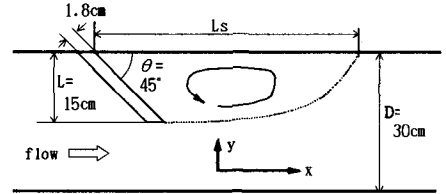


図-1 水制の配置と変数の定義

3. 数値計算法 まず手始めに平均的な流れ構造を予測することを目的として、水深平均の2次元レイノルズ方程式を数値計算して実験値と比較検討した。傾斜した水制をカーティシアン座標において取り込み計算する方法を開発し、乱流モデルとして、 $k-\varepsilon$ モデルとゼロ方程式モデルを用いて計算を行った。基礎式は次の一般保存式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi) = \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y}) + S_\phi \quad (1)$$

ここで ϕ は変数、 Γ は拡散係数、

表-1 水深平均支配方程式

S_ϕ は生成項であり、それぞれの式について表-1のように表される。表中の式はスタッガード格子を用いてコントロールボリューム法で離散化され、ADI法によって解かれた。圧力補正式としてSIMPLECアルゴリズムを採用した。水制内部の

Equation	ϕ	Γ	S_ϕ	
Continuity	1	0	0	$F = gD$, $Re = U_m \cdot D / \nu$ $\nu_t = C_\mu k^2 / \varepsilon$ (k-ε model) $\nu_t = E(u^2 + v^2)^{1/2} h$ (zero equation model)
X-momentum	u	ν_t	$-\rho \frac{\partial^2 (z_b + h)}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \nu_t \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \nu_t \frac{\partial v}{\partial x}) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h}$	$\tau_{bx} = \rho C_\mu u(u^2 + v^2)^{1/2}$ $\tau_{by} = \rho C_\mu v(u^2 + v^2)^{1/2}$ $C_\mu = n^2 g / h^{1/3}$, $C_\mu = 1 / \sqrt{C_\mu}$ $C_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} C_\mu^{1/2} / (e \delta)^{1/2} C_\mu^{3/4}$ $P_{kv} = C_\mu (C_\varepsilon (u^2 + v^2))^{3/2} / h$ $P_{\varepsilon v} = C_\mu [C_\varepsilon (u^2 + v^2)]^{3/2} / h^2$ $C_{\mu 1} = 0.09$, $C_{\mu 2} = 1.44$, $C_{\mu 3} = 1.92$ $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $e = 0.15$ $\delta = 0.9$ $P_n = \nu_t [2(\partial u / \partial x)^2 + 2(\partial v / \partial y)^2 + (\partial u / \partial y + \partial v / \partial x)^2]$
Y-momentum	v	ν_t	$-\rho \frac{\partial^2 (z_b + h)}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \nu_t \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \nu_t \frac{\partial u}{\partial y}) - \frac{\tau_{by}}{\rho h}$	
k	k	ν_t / σ_k	$P_n + P_{kv} - \varepsilon$	
ε	ε	$\nu_t / \sigma_\varepsilon$	$C_{\varepsilon 1} \varepsilon P_n / k + P_{\varepsilon v} - C_{\varepsilon 2} \varepsilon^2 / k$	

領域は拡散係数 Γ に大きな数(1.0E-25)を与え、傾斜水制上下流の格子は直角三角形となり、スカラー変数はその重心位置に流速は直角の辺上に配置した。

4. 実験及び数値計算結果 実験で得られた $y=2\text{cm}$ と 7cm における流速ベクトルを図-2に示す。また、図-3に計算結果を示す。図は横断方向に2.5倍拡大されている。実験値は水制背後の剥離域の流れ構造、特に横断方向流速 W に違いがみられる。すなわち、底面近くでは水制背後への回り込む流れが大きいのに対し、水面近くでは水制背後で水制の根から水制先端の方へ向かう横断方向流速が認められ主流はほぼ直進している。これは水制先端で発生する剥離水平渦に加えて水深規模の大規模な縦渦構造があることを意味している。水制の根側の側壁に沿って上昇した流れが水面で水制先端へ向かうため、図のような流れになったものと考えられる。この構造は染料による可視化実験でも明瞭に認められた。計算結果はあくまで水深平均値であり、主流の平均的構造について比較する。水制下流の流速分布は基本的によく再現されているが、ゼロ方程式モデルの方が $k-\varepsilon$ モデルより剥離域の長さが実験値に近い。図-4はレイノルズ応力 $-\overline{uw}$ のコンターを $y=2\text{cm}$

と7cmについて示す。水制背後で剥離域外縁に沿って大きな値を示し、水面近くの方が広い範囲で大きい。

5. あとがき 水制の影響を調べるには、多くのパラメータについて系統的に検討する必要がある。実験からわかるように水制まわりの流れは非定常な3次元の現象であり、局所的な洗掘や堆積を考える上では本研究で行った数値計算では不十分であり、今後は何らかの3次元計算が必要となろう。

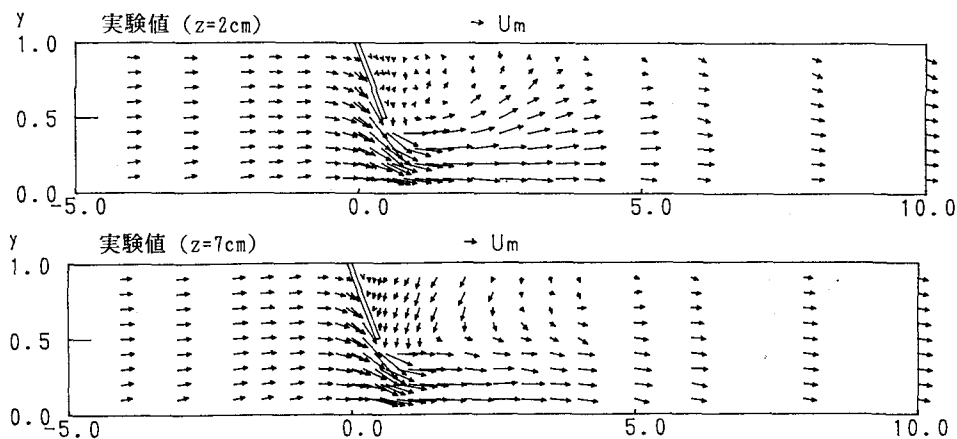


図-2 流速ベクトル図 (実験値)

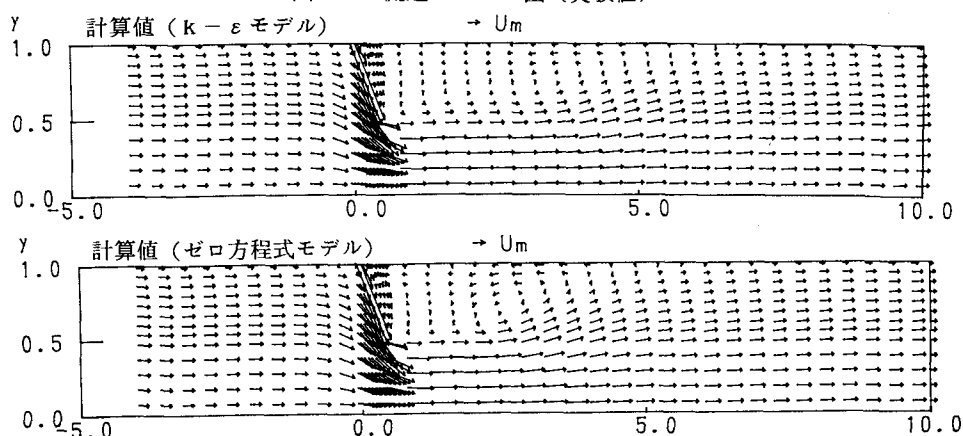


図-3 流速ベクトル図 (計算値)

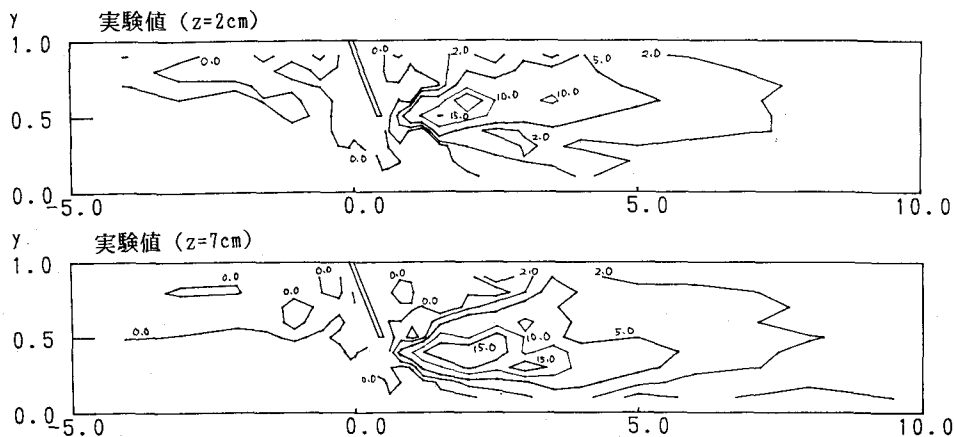


図-4 レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ のコンター (実験値)