水制工周辺の流れの数値計算に関する研究

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
岐阜大学工学部　学正員　○増田尚弥

【1．はじめに】　河川の環境改善などの要求に応えるためには、河川の流れの水理学特性をより高い精度で把握し、流況を評価する必要がある。そこで本研究では、死水域を伴う水制工周辺の流れを対象に、計算条件として与えられる渦動粘性係数によってどのように流況の計算結果に影響を与えるのかを実験値と比較、検討する。

【2．差分式】　基礎方程式は次に示す連続式と、二次元浅水流方程式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial uh}{\partial x}+\frac{\partial vh}{\partial y}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial uh}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(u^2h+\frac{1}{2}gh^2\right)+\frac{\partial uvh}{\partial y}=ghi_x-\frac{n^2gu\sqrt{u^2+v^2}}{h^{\frac{1}{3}}}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t\frac{\partial uh}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t\frac{\partial uh}{\partial y}\right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial vh}{\partial t}+\frac{\partial uvh}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}\left(v^2h+\frac{1}{2}gh^2\right)=ghi_y-\frac{n^2gv\sqrt{u^2+v^2}}{h^{\frac{1}{3}}}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t\frac{\partial vh}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t\frac{\partial vh}{\partial y}\right) \tag{3}$$

ここに、h：水深，u：X方向の流速，v：Y方向の流速，g：重量加速度，n：粗度係数，i_x：X方向の河床勾配，i_y：Y方向の河床勾配，ν_t：渦動粘性係数

差分法にはMacCormack法を用いた。また境界条件の決定にはBOX法[1]を用いた。多次元問題ではスキームが複雑になり安定条件も厳しくなるため、式(4)に示す時間分割法を用いて計算を行った。全体のスキームをSとし、L_x、L_yをX、Y方向の差分演算子とし、時間刻み幅をΔtとすると、以下のような手順で解が求められる。

$$S=L_x\left(\frac{1}{2}\Delta t\right)L_y(\Delta t)L_x\left(\frac{1}{2}\Delta t\right) \tag{4}$$

差分格子としては等間隔格子網を用い、水路壁面上でスリップ条件を与えた。

【3．水制工周りの計算】　渦動粘性係数を一定に与えた場合と、式(5)による0方程式モデルを用いた方法について数値計算を行い実験値との比較を行った。

$$\nu_t=0.0765nU\sqrt{gh} \tag{5}$$

ここに、U：流速

実験は、幅48cm、長さ15m、勾配1/1000の水路に、長さ10cm、幅1cmのアクリル製不透過水制工を河道法線に直角に水路右側壁に設置し、2.02 (l/s)の流量で通水して行った。

【4．結果と考察】　死水域のサイズと最大幅の発生場所（水制工からの距離）を表1に示す。なお、水路右側壁上のX方向の流速が負から正に変化する境界を死水域の終端とした。また死水域の最大幅は、ベクトル図から読みとった。実験の値と比べて死水域の長さは、数値計算の結果から得られるサイズのほうが小さい。一方、死水域の最大幅は渦動粘性係数の値に影響を受けずに一定値を示している。

水制工の2.5cm上流、2.5cm下流、94cm（水路幅の2倍）下流の平均流速分布を図1の(a),(b),(c)にそれぞれ示した。水制工下流側（図1(b)）において、死水域の幅（平均流速が無い領域）が計算値では、実験値の半分ほどとなっているが、ν_T=0.0001(m^2/S)で与えた場合平均流速分布の形状が相似している。ν_T=0.0001(m^2/S)以外で与えた場合渦動粘性係数の値を大きく与えるに従って、死水域との境界付近の流速の変化が滑らかになっている。同様に（図1(c)）においても同じ傾向がみられる。逆に（図1(a)）では渦動粘性係数

が大きいほうが実験値に近い傾向にある。しかし（図1(a)）の渦動粘性係数による平均流速の違いは（図1(b)）や（図1(c)）ほど顕著に見られなかった。今までの結果から水制工下流側では渦動粘性係数が低く、水制工上流側では渦動粘性係数が大きな値を示し、他の場所では渦動粘性係数の影響をあまり受けない傾向がみられる。

0方程式モデルから与えられる渦動粘性係数の分布を図2に示した。この分布図では上述したような傾向がみられないが、死水域の内部に向かうにつれて渦動粘性係数の値が小さくなる傾向がみられ、全体的には渦動粘性係数が、ν_T=0.0001(m^2/S)に近い値を示している。

以上の事から0方程式モデルを用いた計算では実験値と近い結果は得られなかった。そして、水制工周辺の流れの計算では渦動粘性係数の推定が重要である事が判った。また渦動粘性係数を一定に与えているだけでは流れの変化に対応できないため、流れの変化によって局所ごとに渦動粘性係数を予測しなければならない。そのため、より高次の乱流モデルによって、渦動粘性係数を正確に再現する必要があると思われる。

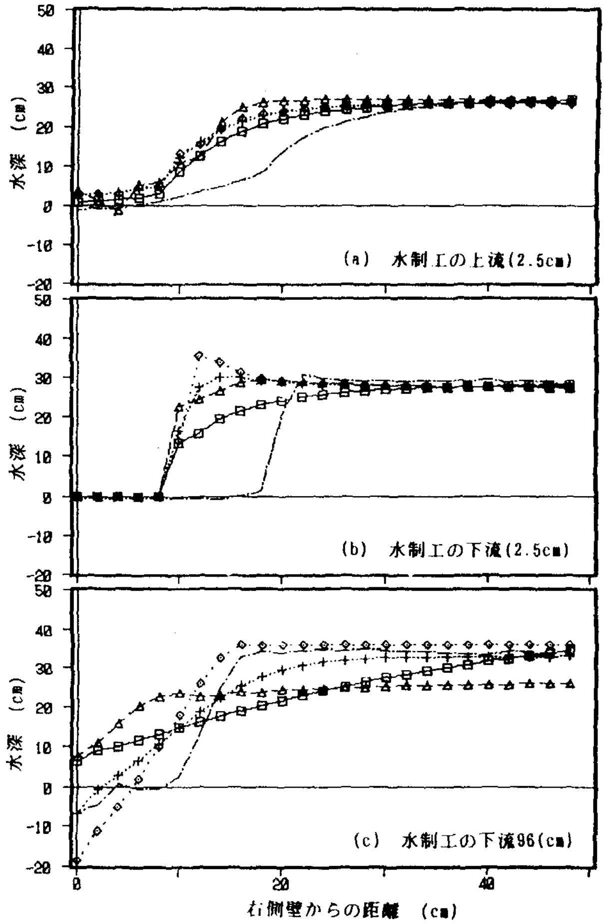
【4．おわりに】　渦動粘性係数の予測モデルとして$\kappa-\varepsilon$二方程式モデルなどの高精度の乱流モデルを用いて渦動粘性係数をより正確に再現する必要がある。

今後$\kappa-\varepsilon$二方程式モデルを用いて数値計算を行い環境問題を考える上での必要な精度が得られるか検討していきたいと思う。

【参考文献】　Joel H.ferziger:Numerical Methods for Engineering Application,pp.155-157

表1　死水域のサイズ

	死水域の長さ	死水域の最大幅	最大幅の位置
実験値	140cm	18cm	30cm
ν_T=0.0001(m^2/s)	126cm	14cm	32cm
ν_T=0.0010(m^2/s)	94cm	14cm	28cm
ν_T=0.0100(m^2/s)	64cm	14cm	12cm
0方程式モデル	60cm	14cm	26cm



□ νt=0.01　＋ νt=0.001　◇ νt=0.0001　△ 0方程式モデル　-·- 実験値

図1　横断面の平均流速分布

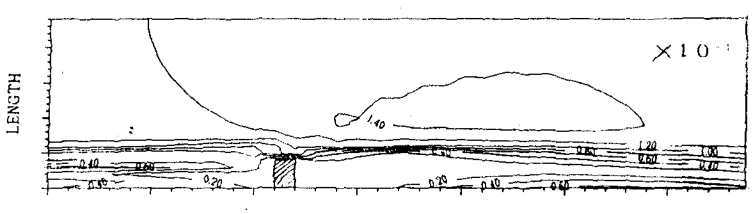


図2　0方程式モデルによる渦動粘性係数の等高線図