

岐阜大学 正 員 河村 三郎

正 員 中谷 剛

学生員 長屋 琢次

学生員 増田 尚弥

【はじめに】 水制工下流に生じる死水域の流況を正確にシミュレーションするためには、渦動粘性係数をいかに推定するかが重要となる。一般的には高次の乱流モデルを使用せざるを得ないと言われている。本研究では二次元浅水流方程式を用い、計算条件として渦動粘性係数を一定量、 $\kappa-\epsilon$ 二方程式モデルで与えることで、どのように流況の計算結果に影響を与えるのか、またどの程度再現できるかを実験値と比較、検討したものである。

【支配方程式】

$$U_t + E_x + F_y = C$$

$$U = \begin{pmatrix} h \\ h u \\ h v \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} h u \\ u^2 h + g h^2 / 2 + g h z - \nu_t (h u)_x \\ u v h \\ v^2 h + g h^2 / 2 + g h z - \nu_t (h v)_x \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} h u \\ u^2 h + g h^2 / 2 + g h z - \nu_t (h u)_y \\ u v h \\ v^2 h + g h^2 / 2 + g h z - \nu_t (h v)_y \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 \\ -n^2 g u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \\ -n^2 g v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \end{pmatrix}$$

ここに、 z :河床高, h :水深, g :重力加速度, u : x 方向流速, v : y 方向流速, ν_t :渦動粘性係数, n :粗度係数

差分法は、TV $D^{1,1}$ 形式のMacCormack法を用い、境界上ではBox法 $^{2)}$ を用い、水路壁面及び水制工壁面はSlip-Conditionとした。

【実験概要】 実験に用いた水路は、長さ15(m)、幅0.47(m)、水路勾配1/1000、maningの粗度係数0.01の水路で、上流から7.5(m)の位置に長さ0.1(m)のアクリル製の水制工を河道法線に直角に設置した。測線3は水制工上流側2.5cm、測線5は水制工下流側B/2、測線6は水制工下流側B、測線10は水制工下流側とした。ここで、Bは水路幅0.47cmである。水路上流側から流量2.021/sを与えて、各測線で流速、水深、そして死水域のサイズの測定をおこなった。測点は流下方向に12測線、横断方向に24測点とした。流速測定には超小型(直径3mm)逆逆プロベラ流速計(SV-3W型、篠塚製作所)を用い、一点法により1

0Hzで30秒サンプリングをして測定した。水深測定には、サーボ式水位計(SW-301、計測技研)を用いた。死水域のサイズは、水路に色素(ローダミンB)を流し可視化することによりカメラ撮影及び目視によって、幅、長さの測定を行った。

【計算条件】 計算条件として4ケース、渦動粘性係数を一定量に、ケース1($\nu_t=0.00001m^2/s$)、ケース2($\nu_t=0.0001m^2/s$)、ケース3($\nu_t=0.001m^2/s$)、として与え、ケース4は0方程式モデルにより渦動粘性係数を推定した。他の計算条件は表1に示す。

【結果と考察】

0方程式モデルによる渦動粘性係数の分布 0方程式モデルによる渦動粘性係数の値(図1)を調べたところ、 $\nu_t=0.00001m^2/s$ から $\nu_t=0.00001m^2/s$ 付近の値を流速に応じて推定していることが分かる。死水域内部の渦動粘性係数が、場所によって細かく変化しているのがわかる。死水域のサイズ 死水域のサイズを表2に示す。死水域の最大幅は全てのケースが同じ値を示し、実験結果にも近い値を示している。今回用いた計算法では、最大幅が水制工の長さに影響を受けるようである。死水域の長さは、ケース3が実験結果と比べると短く再現され、ケース2、ケース1へと渦動粘性係数の推定値を小さくするごとに死水域が長くなっている。ケース4では渦動粘性係数が、図1からケース1($\nu_t=0.00001m^2/s$)~ケース2($\nu_t=0.00001m^2/s$)付近の値になっているにもかかわらず流速に応じて推定しているため実験値と近い値が得られている。しかし最大幅発生位置は、死水域の長さが実験値と近いケース4よりも、死水域が長く再現されたケース1、ケース2のほうが近い値をとっている。つまりケース4は、死水域のサイズを再現できていても内部の流況が再現できていない。

横断方向の流速分布 測線3、測線5、測線6、測線10の流速分布図を図2~図5に示す。図2、図5からは良好な結果が得られた。水制工上流側、死水域の影響を受けないほど離れた下流側では流速分布が、渦動粘性係数の影響を受ける事なく再現されている。図3では死水

域内の流速が、渦動粘性係数の与え方によって変化している様子がわかる。実験値の（10～12（cm）の場所）流速分布の急激な変化は、計算結果から得ることはできなかった。この断面の主流域に見られる実験値と計算値とのズレはSlip-Conditionの影響と思われる。図4からは渦動粘性係数の与え方による、死水域内部の流速分布への影響が、強く現れている。ケース4の渦動粘性係数は、ケース1、2の間の値を推定しているがケース1、2とは若干異なった結果が得られた。死水域内部の流速は再現できなかったが、主流域の流速は良好な結果が得られた。

【おわりに】 水制工を含む流れの数値計算をおこなうにあたって、死水域の長さと最大幅を再現するだけならば、浅水流方程式を用いて、渦動粘性係数を一定に適切な値を与えることで再現可能であるが、死水域内部では結果的に異なった流況を再現していることがわかった。そして死水域の影響を受けない場所では、渦動粘性係数の影響を受ける事なく流況が再現可能である。また0方程式モデルから、渦動粘性係数の値の目安が得られることがわかった。

$\kappa-\epsilon$ 二方程式モデルの計算結果は、本文に掲載するのに間に合なかったため、当日報告したいと思う。

参考文献

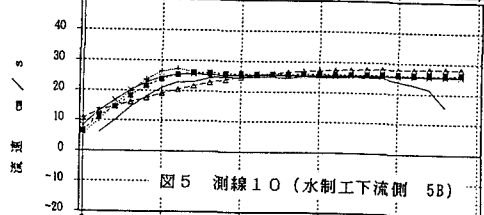
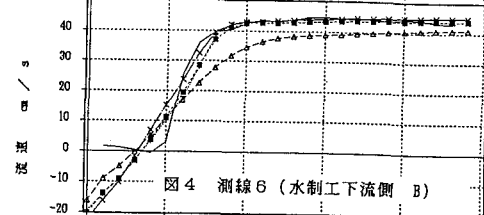
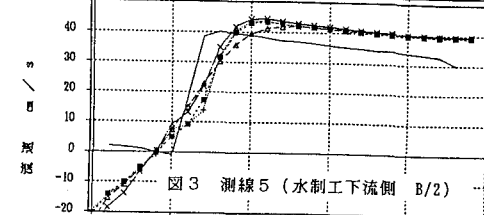
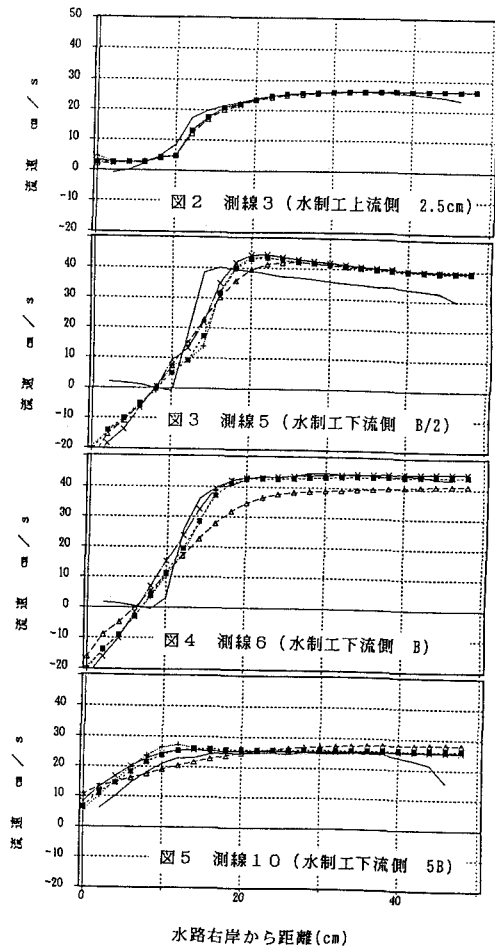
- 1) Harten, A. : High Resolution Schemes for Hyperbolic Conservation laws, J. of Comp. physics Vol. 49 p. 357-393 (1983)
- 2) Joel H. Ferziger : Numerical Methods for Engineering Application, pp. 155-157

表1 計算条件

計算ケース	渦動粘性係数 ν_t (m ² /s)	流入量 (l/s)	マニングの 粗度係数	計算ステップ			
				CFL	Δx	Δy	n
ケース1	0.00001	2.02	0.01	0.60	0.02	0.02	4000
ケース2	0.0001	2.02	0.01	0.60	0.02	0.02	4000
ケース3	0.001	2.02	0.01	0.60	0.02	0.02	4000
ケース4	0方程式モデル	2.02	0.01	0.60	0.02	0.02	4000

表2 死水域のサイズ及び最大幅発生位置

計算ケース	長さ(cm)	最大幅(cm)	最大幅発生位置(cm)
ケース1	164	14	32
ケース2	154	14	28
ケース3	110	14	16
ケース4	144	14	22
実験値	140	15	30



— 実験値 + ケース1 ■ ケース2 △ ケース3 × ケース4
流速分布図

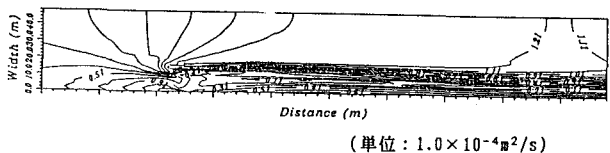


図1 0方程式モデルによる渦動粘性係数の等高線図