

II-118 平面2次元モデルによる微小な循環流の数値解析

和歌山工業高等専門学校 正員 木村 一郎
京都大学工学部 正員 細田 尚

1. はじめに： 開水路死水域においては、主循環流、副循環流という2種類のスケールの循環流が発生する。このうち副循環流は隅角部に生ずる微小な循環流で、これを再現する平面2次元モデルについて検討を行った。まず、水理実験を行い、実験と同条件で数値計算を行った。

2. 水理模型実験： 長さ10m、幅25cmの開水路を仕切り、図-1に示すような死水域を設けた。図中のA-A、B-Bは流速測定断面で、測定にはプロペラ流速計と微流速計を併用した。流速を変えた2ケースで実験を行った。主流部の流速は実験1で約25cm/s、実験2で13cm/sである。写真-1はアルミニウム粉末による可視化写真で、主循環流、副循環流が撮影されている。

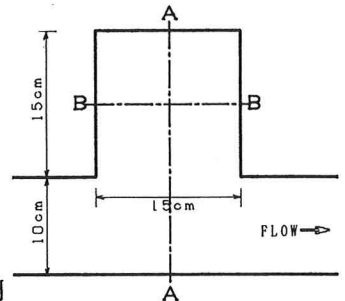


図-1 実験水路

3. 基礎式： 本研究で用いた平面2次元モデルの基礎式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial uM}{\partial x} + \beta \frac{\partial vM}{\partial y} = & -gh \frac{\partial h}{\partial x} \\ & + ghsin\theta - \frac{1}{2}fu\sqrt{u^2+v^2} + \nu \left(\frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ h \left(2A_h \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}k \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ h A_h \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial uN}{\partial x} + \beta \frac{\partial vN}{\partial y} = & -gh \frac{\partial h}{\partial y} \\ & - \frac{1}{2}fv\sqrt{u^2+v^2} + \nu \left(\frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ h \left(2A_h \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}k \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ h A_h \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、M,N:x,y方向の流量フラックスβ:運動量係数、f:摩擦損失係数、 A_h :水平渦動粘性係数、k:乱流エネルギー、である。 A_h は摩擦速度 U_* を用いて $A_h = \alpha h U_*$ とし、fはレイノルズ数の関数とした。βは、乱流時に1.0、層流時に1.2を与えた。

数値解析法としては、移流項には、QUICKスキームを、時間積分にはアダムス・バシフオース法を用いた。

4. 数値解析結果： 実験1と同条件で、αと境界条件とを変化させて、表-1に示す5ケースについて行った。境界条件B.C.1～4については、表-2に示す。B.C.4では $U_*\Delta/2/\nu$ (Δ :メッシュサイズ)の値でB.C.2とB.C.3とを判別し用いた。すなわち、 $U_*\Delta/2/\nu < 10$ のとき前者を、 $U_*\Delta/2/\nu \geq 10$ のとき後者を

表-2 境界条件

B.C.1	Slip条件
B.C.2	Non-Slip条件
B.C.3	対数則により壁面摩擦を導入する方法
B.C.4	B.C.2,3の混合条件

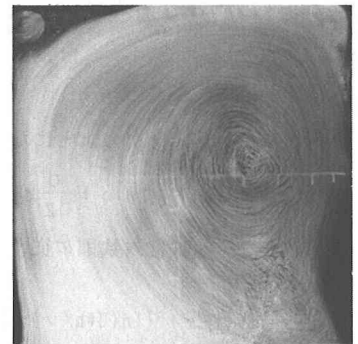


写真-1 死水域内の流れ

表-1 計算ケース

Run	メッシュ	α	境界条件
1	1.25mm	0.3	B.C.4
2	1.25mm	0.6	B.C.4
3	1.25mm	1.0	B.C.4
4	1.25mm	0.3	B.C.3
5	1.25mm	0.3	B.C.1

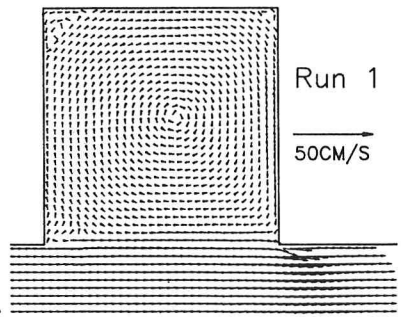


図-2 流速ベクトル(Run1)

用いた。Run1は比較的良好な結果を与えたのでこれを基準とし、各要素ごとの検討を行うことにする。

a) 渦動粘性係数 渦動粘性係数 $\alpha h U_*$ 中の α はRun1で0.3、Run2では0.6、Run4では1.0とした。図-3, 4はそれぞれRun2,

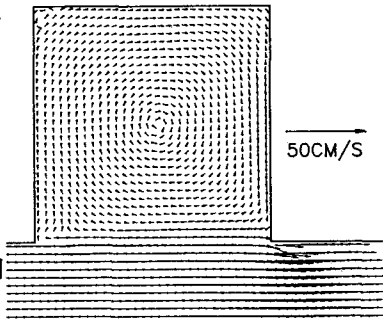


図-3 流速ベクトル(Run2)

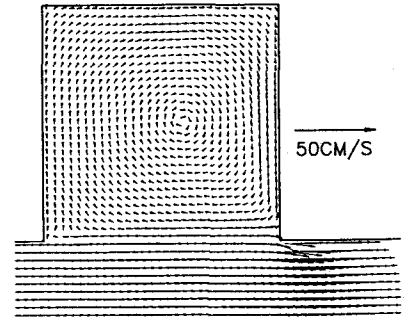


図-4 流速ベクトル(Run3)

3の流速ベクトルで、Run 2では副循環流が左隅角部でしか再現されておらず、さらにRun3では副循環流は全く発生していない。図-5は3ケースの流速分布で、 α が大きいほど死水域内の分布が直線的であり、壁面付近の流速が大きくなっている。

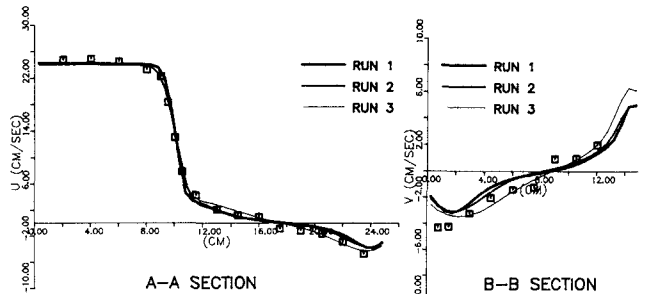


図-5 流速分布 (α に関する比較)

b) 境界条件 境界条件の異なるRun1, 4, 5で比較を行った。図-6は3ケースの流速分布を示したもので、壁面付近の流速がRun5, Run4, Run1の順で大きくでている。Run4, Run5の流速ベクトル図は紙面の都合上省略するが、いずれも副循環流は再現されなかった。

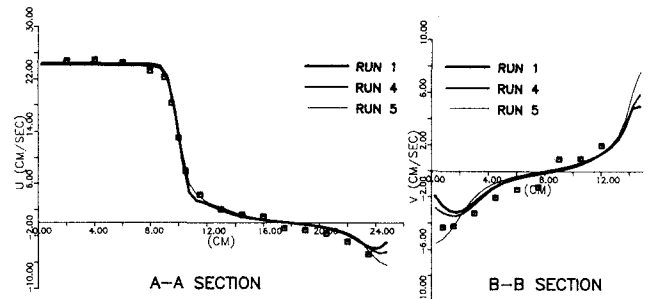


図-6 流速分布 (境界条件に関する比較)

比較的良好な結果を示したRun1の条件のもとで実験2に対応する計算を行ったのが図-7, 8で、実験結果と数値解析結果は非常に良く一致している。

以上の結果から、 α や境界条件を適当に設定することにより、平面2次元モデルでも副循環流を再現できることが確認された。

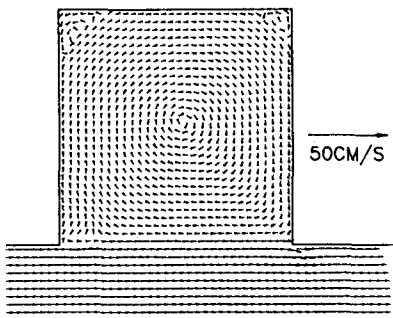


図-7 流速ベクトル (実験2, Run1と同条件)

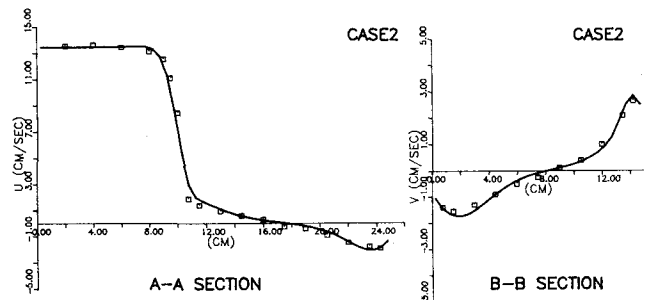


図-8 流速分布 (実験2, Run1と同条件)