

開水路乱流の数値計算による検討
Study on numerical calculations of
an open channel turbulent flow

早稲田大学	理工学部	学生員	岡本俊彦	T. Okamoto
早稲田大学	大学院	学生員	古川恵太	K. Furukawa
早稲田大学	理工学部	学生員	市村知也	T. Ichimura
早稲田大学	理工学部	正員	吉川秀夫	H. Kikkawa

1. はじめに

水深が増加する流れ(図1)において、流速分布、渦度分布が特徴のある分布形になるということは、実験により示されている(文献(1),(2), 図2)。Navier-Stokes方程式の定常解の数値解を $\omega-\psi$ 法で求めることによって、平均流による流れを再現し、実験データとの比較、検討を行った。

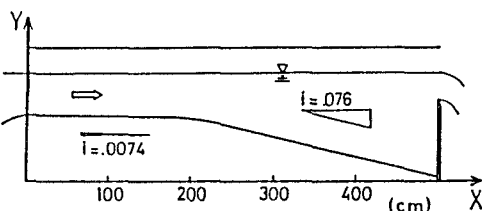


圖 1：水路概形

2. 計算概要

現在、Navier-Stokes方程式の数値解法は、数々提唱されている。今回は、流れの傾向を知ることを第一の目的としているため、 $\omega-\psi$ 法によって、定常解のみを求めた。対象とする式は、以下の2式である。

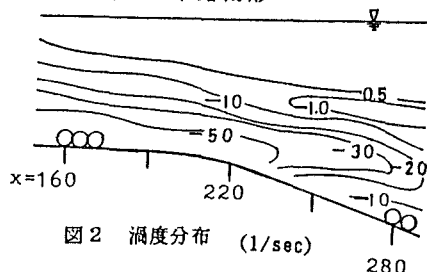


図2 渦度分布 (1/sec)

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad \dots (2)$$

ただし

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

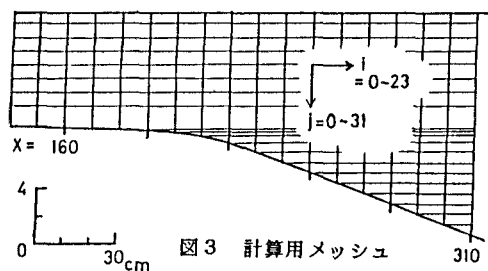


図3 計算用メッシュ

(1)式は2次元のNavier-Stokes方程式を渦度を用いて表したものである。今回は平均流で考えるため、左辺第一項の非定常項は省く。(2)式は、連続式として流れ関数を導入した。

3. 計算方法

流路形状(図1)を基にして、境界点を全て格子点とする不等間隔のメッシュを用いた(図3)。中心差分で離散化して、緩和法(図4)により解を求めた。表1に境界条件を示す。表2の様な計算条件を考え、4つのcaseについて計算を行った。

(*1)の底面渦度について

実測の渦度分布から求める。Navier-Stokes 方程式の x 軸方向に対する式を、底面から水面

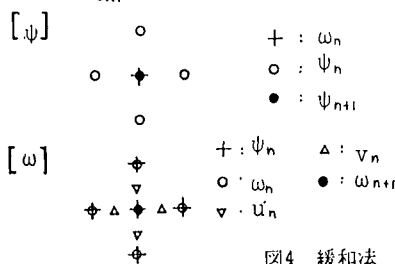


図4 緩和法

表 1 境界条件

流路形状	水面形--水平(実測の平均)
流れ関数	水面-- $\psi = 0$, 水路床-- $\psi = Q = 250$
渦度	水面-- $\omega = 0$, 水路床--底面渦度分布の仮定(*1)
上下流端流速	ベキ乗則を仮定し対応する流れ関数を与える
拡散係数	全断面で一定値を与える

まで積分して得られる式(3)を用いて、底面上の渦度を求めた。無次元化した底面渦度分布形を図5に示す。

$$v\omega_0 = -\int_0^h v\omega \, dy + \int_0^{\frac{h}{2}} \left\{ \frac{q^2}{2} + P \right\} dy \dots (3)$$

ただし ω_0 ; 底面渦度 , P ; 圧力

h ; 水深 , $q^2 = u^2 + v^2$

表2 計算条件				X; なし ○; あり	
	底面からの移流	底面からの拡散	流れ場の拡散係数	最大底面渦度	
RUN 1	○	○	2	-3.5 (1/SEC)	
RUN 2	X	X			
RUN 3	X	○			
RUN 4	○	○	10		

4. 計算結果

渦度についての各計算の結果を図(5)に示し、それぞれの評価を行った。

- (1) RUN 1 --- 上下2つの高渦度部がみられ実験結果(図2)と良く一致している。この分布形を基準とする。
- (2) RUN 2 --- 底面渦度を無くしたので、現れている渦度は、全て上流端の流速分布のもつ渦度が移流していると思われる。
- (3) RUN 3 --- 底面では、付着の条件で流速がないと考えられるので、底面渦度が存在しても移流されず、その渦度は拡散のみに影響するものと考えた。
- (4) RUN 4 --- 流れ場の拡散係数を大きくして、相対的に移流の効果を少なくし、移流の効果について評価した。

5. おわりに

底面渦度を求めるために実測の渦度を用いているため、厳密な定常解にならない。しかし、時間平均としての流れ場の解とするなら、簡易な計算法として有効と思われる。しかし、拡散係数、渦度分布に対する理論的根拠がないので、今後さらに検討の必要がある。

---参考文献---

- (1) 非一様勾配開水路における境界層の発達に関する研究(古川, 萩原, 関根, 吉川) 第31回水理講演会論文集 p.p407-412 (1987)
- (2) 非一様勾配開水路における流れの研究(古川, 萩原, 吉川) 土木学会年次講演会概要集 pp.408-409 (1987)
- (3) The structure of the vorticity field in turbulent channel flow (John Kim, Palviz Moin) J.F.M, part1, vol.155, pp.441-464 (1985) , part2, vol.162, pp339-363 (1986)

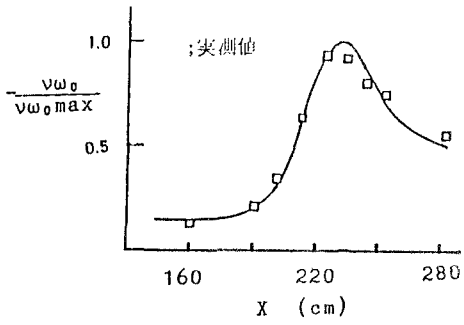
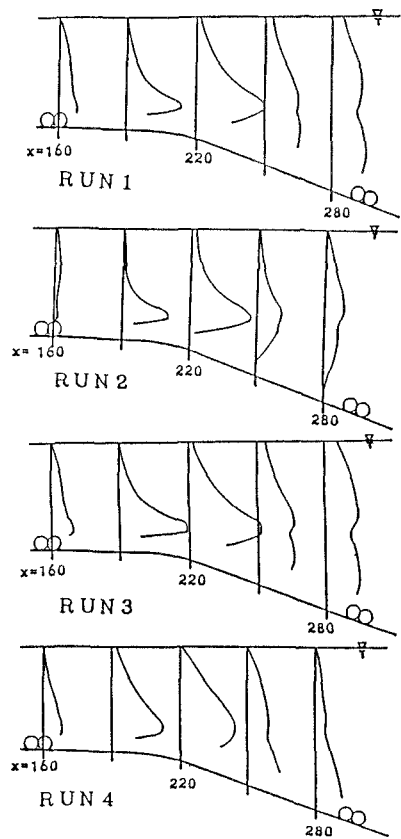


図5: 無次元底面渦度分布形



(渦度単位 | : -5 (1/sec))
図6 計算結果