23 二次元管路内流れの数値シミュレーション (管路の幅と長さの影響について)

近畿大

児島忠倫[○]

松岡祥浩

Numerical Simulation for Flow in Two-Dimensional Channel
(On Influence of Width and Length of Channel)

Tadatomo KOJIMA*, Yoshihiro MATSUOKA**

This paper deals with the two-dimensional steady flow of various rectangular channels with different widths and lengths. The flow in channel was simulated by the numerical analysis and the flow visualization. To solve the numerical calculation, the Navier-Stokes equation was calculated by a up-wind difference method, and the flow visualization was visualized by dye injection method. The numerical calculation was done for Reynolds numbers between 10 and 300, and the flow visualization was carried out for Reynolds numbers more wide ranging from 30 to 700. To verify the validity of the calculation results, the results obtained by numerical solution were compared with those of the flow visualization, and effects of the variations of the channel shape and of Reynolds number on the flow in channel were clarified.

1. 緒言

管路内の二次元流れに対する数値解析および可視化に関する研究は、すでに数多く報告されており^{(1)~(3)}、最近では非定常流、乱流などの計算や画像処理に関する研究が盛んである^{(4)~(6)}。しかし二次元定常流に対する数値解析は、いずれも特定のモデルについての研究であり、管路内流れについてはまだ十分に明確にされていない。そこで本研究は、二次元の矩形管路の幅と長さの違いが流れにおよぼす影響について、流れを数値解析によりシミュレートし、また可視化を行って比較検討し、ある程度明確にしようとするものである。

2. 数値解法および実験方法

数値解析では、流れの場を非圧縮性、二次元定常流とし、ナビエ・ストークスの方程式を風上差

Fig.1 Model of channel

* Faculty of Engineering, Kinki University, Hiromachi 1000, Kure, Hiroshima, Japan

** Faculty of Science and Technology, Kinki University, Kowakae 3-4-1, Higashi Ōsaka, Japan

分法により差分近似化して, SOR法を用いて計算した。なお境界条件としては, 壁面上では流れ関数 ψ は一定とし, 渦度 ω はTaylor展開より求めた。また入口, 出口での ψ , ω は, 入口 $F-A$ では一様流れと仮定し, 出口ではHungが導いた外挿式を使用して計算した。

Fig.1に管路のモデルを示す。入口 $F-A$ の幅 B_0 を一定にし, B_1 を B_0 , $2B_0$, $2.8B_0$, つまり管路幅 B を $5B_0$, $6B_0$, $6.8B_0$ の3種類のそれぞれに対し, 無次元化した管路長さ L/B_0 を20, 25, 30と変化させ, 合計9種類のモデルを使用した。Fig.2に可視化に使用した実験装置を示す。流れを十分に安定させた後, 染料を注入して可視化し, $Re=30\sim700$ の範囲で写真撮影を行った。

3. 解析結果および実験結果

次に数値解析の結果および可視化による実験結果について述べる。

3. 1 $B=5B_0$ のモデル

Fig.3に数値解析による流れ関数 ψ を示す。(a)~(c)に $L/B_0=20$ のものを示す。オフセットの大きい側に形成される第1渦域は, Re 数の増加とともに次第に成長し, そのため噴流はオフセットの小さい側壁側へ偏向する。これにともなって第3渦域は, ある Re 数までは成長しつつ下流側へ移動するが, 出口付近では次第に衰退する傾向にある。第3渦域は, $Re=150$ では消滅し, 第1渦域は管出口部に達して管外の流れと大きな渦域を形成するために, 流れは側壁にほぼ平行な安定した付着流となる。

(d)に示す $L/B_0=25$ では, $Re=300$ で第1渦域は出口部に達し, $\psi=1.0$ の流線は管外に流出する。そして, 第3渦域は存在するが, 流れはほぼ付着流となる。(e)に示す $L/B_0=30$ では, $Re=200$ まで計算したが第1渦域は出口部に達せず, 付着流とはならなかった。

Fig.2 Experimental apparatus

Fig.3 Stream function for $B=5B_0$

図示されていないが、第3渦域は、長さの異なる3種のモデルとも $Re=90$ で発生し同じ Re 数に対する渦の位置は、長さには関係なく、いずれも $L_3=15B_0$ である。

Fig.4の(a)~(c)は、Fig.3(a)~(c)に対応する可視化写真であり、両者はほぼ一致している。

(d)に示す $L/B_0=30$ では、 $Re=300$ 付近より流線は乱れ始め、 $Re=700$ では(e)のように拡散し、明瞭でなくなる。

3・2 $B=6B_0$ のモデル Fig.5,6に $B=6B_0$ の数値解析と可視化写真をそれぞれ示す。図示されていないが、 $L/B_0=20$ では、 $Re=90$ で、Fig.5の(c)の $L/B_0=25$ では $Re=150$ で付着流となった。(d)の $L/B_0=30$ では、 $Re=200$ まで計算したが、付着流とはならなかった。第3渦域は、Fig.3と同じようにいずれの場合も長さには関係なく $Re=70$ で発生し、その位置はほぼ $L_3=17B_0$ である。Fig.6の(a)~(c)は、Fig.5の解析結果と定性的には、ほぼ一致している。

Fig.4と6の(d)、(e)の流れをそれぞれ比較すると、Fig.6の幅の広い方が低い Re 数ではやく乱れる傾向があるといえる。これは、広い方が、下流側での渦域が大きく形成され、そこでの乱れが上流側に伝播するためと考えられる。

3・3 $B=6.8B_0$ のモデル Fig.7に $L/B_0=25, 30$ の結果を示す。 $L/B_0=20$ の場合には $Re=80$ で、25の場合は $Re=100$ で付着流となった。

また、 $L/B_0=30$ の場合は、(d)に示すように第3渦域は消滅していないが、 $Re=170$ で付着流となった。第3渦域は、いずれも $Re=70$ で発生し、その位置はほぼ $L_3=21B_0$ である。

$B=5B_0, 6B_0, 6.8B_0$ のいずれのモデルとも管路長さが短く、幅の広い方がより小さい Re 数で、付着流となる傾向がある。

3・4 L/B の影響 これまでは、管路長さ L/B_0 を基礎として比較考察してきたが、この種の二次元矩形管路では、 L を B で除した L/B を基準

(d) $Re=300$ ($L/B_0=30, L/B=5$)

(e) $Re=700$ ($L/B_0=30, L/B=5$)

Fig.4 Photograph for $B=5B_0$

(a) $Re=30$ ($L/B_0=25, L/B=4.2$)

(b) $Re=90$ ($L/B_0=25, L/B=4.2$)

(c) $Re=150$ ($L/B_0=25, L/B=4.2$)

(d) $Re=200$ ($L/B_0=30, L/B=5$)

Fig.5 Stream function for $B/B_0=6$

(a) $Re=30$ ($L/B_0=25, L/B=4.2$)

(b) $Re=90$ ($L/B_0=25, L/B=4.2$)

(c) $Re=150$ ($L/B_0=25, L/B=4.2$)

(d) $Re=300$ ($L/B_0=30, L/B=5$)

(e) $Re=700$ ($L/B_0=30, L/B=5$)

Fig.6 Photograph for $B=6B_0$

としたモデルについて, 比較した方が流線はよく一致し, 相似性がよいように思われる。例えば, Fig.3の $L/B=4$ の(a)~(c)とFig.5の $L/B=4.2$ の(a)~(c)およびFig.7の $L/B=3.7$ の(a), (b)のように, L/B がほぼ4に等しいモデルで比較すると, 同じ Re 数では流れのようすはよく似ている。 $L/B=3, 5, 6$ のモデルについても同様のことがいえる。

また, L/B の小さいモデルの方が, 小さい Re 数で付着流となりやすい傾向がある。

3・5 渦域の長さ L_1/B_0 と L_3/B_0 Fig.8に第1, 第3渦域までの長さ Re との関係を示す。第1, 第3渦域とも管の長さの違いによる影響はなく, ほぼ一致している。なお, 第2渦域は, Re 数の影響をほとんど受けない。

4. 結 言

二次元矩形管路の幅と長さを系統的に変化させ, 管路内の流れについて数値解析と可視化を行い, 次の結論を得た。

(1) 第1渦域の成長とともに第3渦域が下流へ移動し, 付着流となる。

(2) 管路幅が広く, 長さが短い方が付着流となりやすい。

(3) 第3渦は, 管路幅の広い方が発生しやすい。渦の位置および発生する Re 数は, 管路長さの影響をほとんど受けない。

(4) フローパターンは, L/B_0 よりも L/B が等しいモデルの方が同じ Re 数ではよく一致する。

(5) 流線は, 付着流となるまでは乱れず明瞭である。

(6) $Re \geq 300$ では, 管路幅の広い方が乱れやすい。

5. 参 考 文 献

- (1) 加藤, 機論, 43-366 (昭52), 582.
- (2) 光永・広瀬, 機論, 42-364 (昭51), 3899.
- (3) MACAGNO, E.O. and HUNG, T.K., J. Fluid Mech., 28-1(1967), 43.
- (4) 清水・ほか2名, 流れの可視化, 4-14(1984), 331.
- (5) 小林・ほか2名, 流れの可視化, 4-14(1984), 337.
- (6) 臼井・吉田, 流れの可視化, 4-14(1984), 349.

Fig.7 Stream function for $B=6.8B_0$

Fig.8 Length to center of vortex zone