

I - B377

断面辺長比4の矩形断面の3次元数値流体解析における軸方向長さの検討

中央大学 正員 平野 廣和 八戸高専 正員 丸岡 晃
三井造船 正員 渡邊 茂 三井造船 佐野 健一

1. はじめに

軸方向の長さならびに分割数に関しては研究者の今までの解析実績の判断に委ねられることが多い。例えば3次元解析の必要性が論じられ始めた頃は、軸方向長さは物体の代表長程度でかつ分割数も10分割程度で十分とされたこともあった。しかし、各種の計算が行われるに至り、これでは不十分であることが示されている。また著者らも再付着型断面 $B/D=4.0$ (ここでは B は矩形断面の流れ方向の辺長、 D は矩形断面の流れと直角方向の辺長とする。) の矩形断面の計算¹⁾を行っているが、軸方向の長さとの分割数は、計算機の物理的な制約で決定しており、どこまで必要か否かの確たる判断基準を示すには至っていなかった。色々な解析手法で各種の計算が行われている現状でも、軸方向長さ、軸方向分割数に関して系統立った指針と判断基準が示されていないのが現状である。

よって、本論文では、再付着型である $B/D=4.0$ の矩形断面を選択し、軸方向長さをパラメータとして有限要素法による3次元直接シミュレーションを行った。これにより、軸方向長さの違いによる表面圧力、軸方向変動流を比較し、軸方向の境界に周期境界条件を用いる際の必要な軸方向長さを検討するものである。

2. 断面のモデル化

本論では、断面辺長比 $B/D=4.0$ の矩形断面に関して検討を行う。解析条件は、次の通りである。

1. 軸方向の分割幅は、 $0.05D$ の一定とする。
2. 軸方向の分割数をパラメータとする。具体的には軸方向へ、2, 4, 8, 16, 32, 64 分割を行う。軸方向長さは、 $0.1D, 0.2D, 0.4D, 0.8D, 1.6D, 3.2D$ である。
3. 主流方向平面 ($x-y$ 平面) に関しては、全て同一の分割とし、最小メッシュ幅は、 $0.00105D$ とする。
4. 主流方向平面での解析領域は、物体中心から風上側 $10D$ 、物体中心から風下側 $30D$ 、流れと鉛直方向に $20D$ とする。
5. 閉塞率は5%とする。
6. レイノルズ数は、全て $Re=3,000$ とする。

それぞれの軸方向長さに対する解析条件を表-1に示す。境界条件は、物体中心から風上側 $10D$ における平面から一様な流れを与える。さらに矩形断面まわりではno-slip

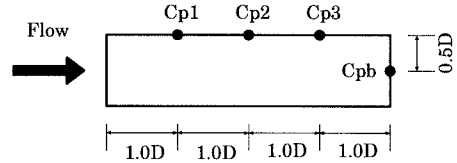


図-1 圧力係数参照位置

条件、流れに対し上下の境界面ではslip条件としている。また、軸方向の境界平面では、周期境界条件を与えている。

表-1 解析条件

軸方向長さ	0.1D	0.2D	0.4D	0.8D	1.6D	3.2D
軸方向分割数	2	4	8	16	32	64
軸方向分割長	0.05D					
総節点数	94,410 ~ 2,045,550					
総要素数	62,288 ~ 1,993,216					
最小要素間隔	0.00105D					
レイノルズ数	3,000					

3. 解析結果と考察

(1) 表面圧力分布

軸方向長さの違いにより、矩形断面まわりの圧力係数 C_p および背圧係数 C_{pb} がどの程度の差を生じるかに関して、岡島ら²⁾の風洞実験結果と比較しながら検討を行う。

図-1に圧力係数 (C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}) ならびに背圧係数 C_{pb} の参照点の位置を示す。図-2に、時間平均の圧力係数と軸方向長さの関係を示す。(A)は C_{p1} 、(B)は C_{p2} 、(C)は C_{p3} 、(D)は C_{pb} を表し、これら4点は岡島ら²⁾の風洞実験と同一の位置である。なお、図中の実線は実験値を示す。

図-2の結果より、4点の計測位置ともに若干の差はあるものの、軸方向長さが $0.8D$ 付近から、実験結果にほぼ等しくなる傾向が得られている。特に、再付着点より前方ではその傾向が顕著に表れている。しかし、再付着点近傍である C_{p3} および背圧である C_{pb} に関しては、 $0.8D$ と $1.6D$ 以上とでは傾向が異なっている。 C_{p3} では、 $0.8D$ が実験値に最も近い値を示しているのに対して、 $1.6D$ 以上では実験値より絶対値が大きくなり、 $1.6D$ と $3.2D$ ではほぼ同じ値を示している。 C_{pb} では $0.8D$ が実験値よりも絶対値が若干大きく、 $0.16D$ 以上では若干小さい値を示している。ここでも、 $1.6D$ と $3.2D$ ではほぼ同じ値を示している。

これらより、再付着点より前方であれば、 $0.8D$ 以上の軸方向長さがあれば、実験値ならびに $3.2D$ の解析結果とほぼ一致することがわかる。しかし、再付着点近傍より後方では $0.8D$ では不十分であり、 $1.6D$ 以上軸方向長さが必要ことがわかる。

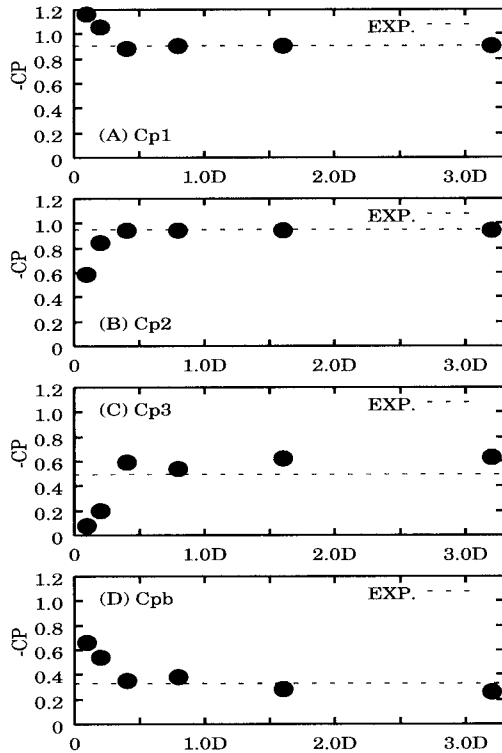


図-2 時間平均圧力係数と軸方向長さ

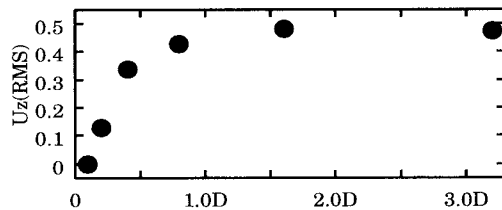


図-3 軸方向変動流速

(2) 軸方向の変動流速

図-3に各軸方向長さに毎の物体中心から $2.5D$ 後流側(後縁から $0.5D$)での軸方向流変動量($u_z(rms)$)を示す。この図より、空気力係数の時刻歴に乱れが生じる軸方向長さが、 $0.2D$ 以下ではほとんど生ぜず、 $0.4D, 0.8D$ では軸方向流変動量が少ないことがわかる。一方、 $1.6D$ と $3.2D$ では大きな差は見られない結果となった。

(3) 流れの可視化

図-4に軸方向長さが $0.8D$ および $3.2D$ の揚力が極小値から極大値に向かう零点での3次元圧力鳥瞰図($C_p = -0.12, -0.4, -0.8, -1.2$)を示す。軸方向長さが $0.8D$ では、周期境界面同士の距離が近すぎるため、 $3.2D$ で見られる再付着点、背面での流れの3次元性が顕著に現れない。



図-4 3次元圧力鳥瞰図
(上: $0.8D$, 下: $3.2D$)

4. おわりに

再付着型断面である $B/D=4$ の矩形断面において、3次元解析を行う場合に軸方向の境界に周期境界条件を用いた時の軸方向長さに関して、以下の結果と判断基準のための指針を得ることができた。

1. 軸方向長さが $0.2D$ 以下では、軸方向の長さが不足し、周期境界条件の影響を大きく受け、流れそのものが2次元解析で得られた結果とほぼ同様な結果となる。
2. 軸方向長さが $0.8D$ 以下では、再付着点近傍以降、背面付近で圧力の過大又は過小評価を生じている。よって、空気力の過大又は過小評価を生じている。
3. 軸方向長さ $1.6D$ と $3.2D$ では、軸方向変動流、空気力等に両者大きな差異は見られない。

以上より、軸方向長さ $1.6D$ 、32分割以上あれば、軸方向変動流速、空気力に変化が見られないことが確認できた。よって、一つの判断基準の指針として、軸方向の長さは、 $1.6D$ 、32分割以上が必要である。

参考文献

- 1) 平野廣和, 渡邊茂, 丸岡晃, 佐野健一: 断面辺長比4の矩形断面の空力特性に関する2次元・3次元数値流体解析, 土木学会論文集, Vol.598/I-44, pp.401-411, 1998.
- 2) 岡島厚, 杉谷賢一郎: 長方形断面柱のストローハル数と背圧係数(レイノルズ数の影響), 日本機械学会論文集(B編), Vol.50, No.247, pp.2004-2012, 1984.