

I - B4 安定化有限要素法による非圧縮粘性流れ解析における適切な解析領域設定の検討

○ 中央大学大学院 学生会員 原田 太一
東京ガス 正会員 猪股 渉
中央大学 正会員 梶山 和男

1. はじめに

非圧縮粘性流れ解析では抗力係数 C_D やストローハル数 St などの特性値を求める事が重要となるが、これらの正確な数値を求めるためには適切な解析モデルの設定が必要不可欠である。中でも十分な広さの解析領域を確保する事は、安定した結果を得るための条件である一方、必要以上の解析領域を用意した場合には計算時間の増大につながり、非効率な解析の原因となる。そこで本研究は円柱周り流れ解析を例にとり、計算効率が良くかつ安定した結果が得られる解析領域の設定基準について検討を行った。

2. 数値解析法

非圧縮粘性流体の基礎式である N-S 方程式の運動方程式 (1) と連続式 (2) を流速双 1 次・圧力 0 次で補間する Q1/P0 要素を用いた安定化有限要素法¹⁾により離散化し定式化を行う。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = -p_{,i} + \frac{1}{Re} u_{i,jj} \quad (1)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで u_i, p はそれぞれ i 方向の速度成分, i 方向の偏微分, 圧力を表す。

3. 解析概要及び解析結果

本研究において使用した解析モデルを図 1 に示す。図中の D, H, B, T, S はそれぞれ円柱の直径, 流路幅, 流入境界～円柱中心の距離, 円柱中心～流出境界の距離, 円柱のスパン長を表す。なお、円柱のスパン方向の境界条件には周期境界条件を用いた。

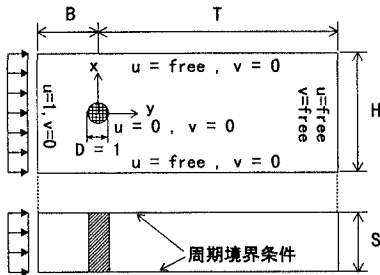


図 1 解析モデル (上) 水平方向, (下) 鉛直方向

keywords : Stabilized FEM, Incompressible Viscous Fluid Flows, Control Domain

〒 112 東京都文京区春日 1-13-27

TEL 03-3817-1815, FAX 03-3817-1803

解析の方法としては、図 1 の解析モデルに対して水平方向の解析領域設定の検討を以下の 1, 2 のように行い、次にこの検討において得られた結果に基づき 3 の鉛直方向の解析領域設定の検討を行った。

1. 閉塞率の変化による特性値の収束状況を調べる。
 2. 流入・流出境界位置による特性値の収束状況を調べる。
 3. 円柱のスパン長を変化させ特性値の収束状況を調べる。
- 検討に使用した Re 数は 1, 2 では $10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ の 5 通り, 3 では 10^3 のみである。また、解析は全てのケースで無次元時間 $t = 200$ まで行った。

3.1. 閉塞率に関する検討

閉塞率 (D/H) は 25.0, 16.7, 12.5, 10.0, 8.33, 6.25, 5.00, 4.00, 3.33, 2.50, 2.00% の 11 通りを使用した。まず、図 2 は C_D の計算値と実験値を比較したものである。図より、閉塞率の減少に従って解析値が実験値 (Cantwell)²⁾ に近づいて行く様子がわかる。図 3 に閉塞率の変化による各特性値の変動を示す。閉塞率 6.25% ($D/H = 1/16$) 以降では C_D, St 数の両方ともほぼ収束している。

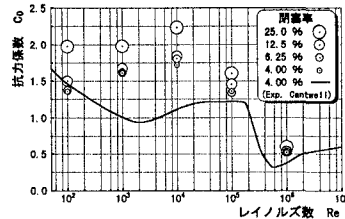


図 2 C_D の計算値と実験値との比較

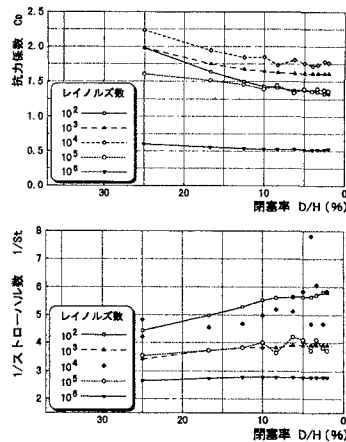


図 3 閉塞率による各特性値の変動

3.2. 流入・流出境界位置に関する検討

この検討における解析モデルの閉塞率は、3.1の検討において閉塞率 6.25%以降で特性値が収束した事より 6.25%を採用した。また、流入境界位置の検討では B の値を 2.0, 5.0, 8.0, 11.0, 14.0, 17.0D の 6 通りとし、 T の値は 24.0D に固定した。一方、流出境界位置の検討では T の値を 8.0, 11.0, 14.5, 18.0, 21.0, 24.0, 27.0, 30.0D の 8 通りとし、 B の値は 8.0D に固定した。図 4 に流入境界位置による各特性値の変動の様子を示す。この図から流入境界位置が円柱中心より 5.0D 以上では、特性値はほぼ収束する事がわかる。一方、図 5 に流出境界位置による各特性値の変動の様子を示す。この検討では流出境界を円柱中心より 8.0D の位置に置いたとき、 10^4 , 10^5 で計算が途中で発散終了した。しかし、円柱より 11.0D 以降の位置になると計算は全てのケースで最後まで行われ、特性値も 11.0D 以降ではほぼ収束する事がわかった。

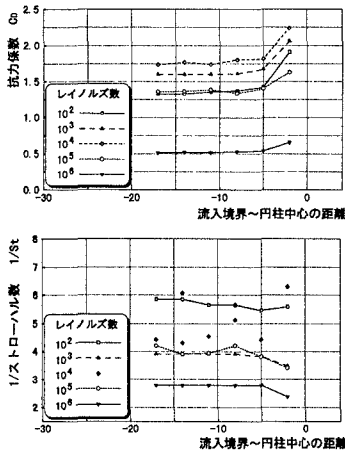


図 4 流入境界位置による各特性値の変動

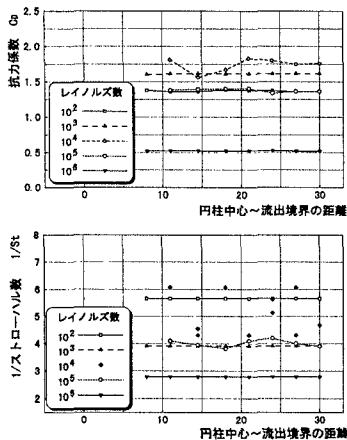


図 5 流出境界位置による各特性値の変動

3.3. 円柱のスパン長に関する検討

本検討で用いた円柱のスパン長 S は 1D, 2D, 3D の 3 通りである。また、閉塞率を 6.25%, $B = 8.0D$, $T = 24.0D$ とした。図 6 は Re 数 10^3 , 無次元時間 $t = 200$ でのそれぞれのスパン長 S における圧力分布である。 $S = 1D$ の場合では、2D, 3D の場合と比べると捉えられている渦のスケールがかなり小さく、発生する縦渦のスケールを捉え切れていないのは明白である。

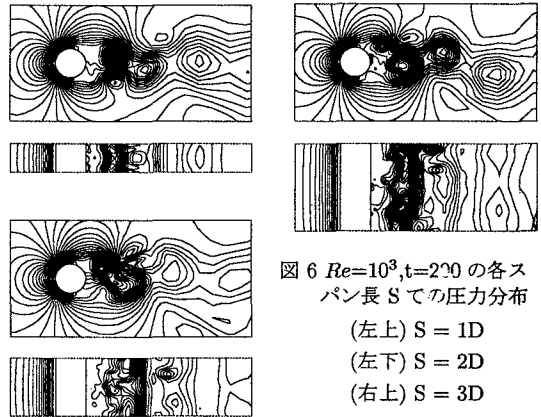


図 6 $Re=10^3, t=200$ の各スパン長 S での圧力分布
(左上) $S = 1D$
(左下) $S = 2D$
(右上) $S = 3D$

また、 $S = 2D, 3D$ とした場合の C_D, C_L の時刻歴を図 7 に示すが、この図からは得られる結果に大きな差異は見られない。しかし、 $S = 3D$ の圧力分布図では後流の縦渦のスケールが 2D ぐらいのものも見られるため、流れをより正確に解像するには $S = 3D$ 程度は必要である。

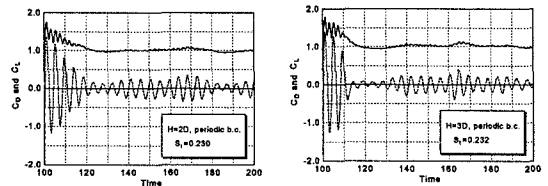


図 7 C_D, C_L の時刻歴 (左) $S = 2D$, (右) $S = 3D$

4. おわりに

以上の検討をまとめると本研究における境界条件を用いる場合は、円柱周り流れ解析の際の解析領域設定の基準として次の結論が言える。

1. 解析領域の閉塞率は 6.25% 程度で十分である。
2. 流入境界～円柱中心の距離は 5.0D 以上必要である。
3. 円柱中心～流出境界の距離は 11.0D 以上必要である。
4. 円柱のスパン長は 3D 程度は必要である。

参考文献

- 1) 猪股 渉, 樫山 和男: "安定化有限要素法による非圧縮性流れ解析" 第 10 回数値流体力学シンポジウム論文集 1996. pp-334-335
- 2) Cantwell, B. and Coles, D.: "An Experimental Study of Entrainment and Transport in the Turbulent Near Wake of a Circular Cylinder" J. fluid Mech. 136, 1983