

2次元物体周りの3次元数値流体解析に及ぼす軸方向長さとの影響

九州工業大学大学院 学生会員○島田 雅志 九州工業大学 学生会員 清水 徹
九州工業大学 正会員 木村 吉郎 九州工業大学 正会員 久保 喜延

1. はじめに

2次元物体周りの流れの数値解析には、計算機の性能の制約から従来は2次元解析が行われることが多かった。しかし、2次元物体周りの流れにおいても、流体力の正確な特性の把握などのためには、スパン方向で流れが異なる3次元性を考慮することが必要である。そこで本研究では、2次元解析と軸方向長さを変化させた3次元解析結果を比較し、流体力がどのように異なるかを検討した。また、3次元解析を行わないと把握できない水平偏角を持つ2次元物体の解析も試みた。

2. 解析手法

本研究の計算アルゴリズムはMAC法に準じたもので、連続の式を直接解く代わりにNavier-Stokesの式とその発散をとることによって得られる圧力に関するPoisson方程式を交互に解き、Eulerの陽解法によって時間進行を行う。圧力のPoisson方程式はSOR法を用いた収束計算により次の時間ステップでの圧力 p^{n+1} を算出した。離散化手法は差分法とし、移流項には三次風上差分を、その他の空間項は二次中心差分を用いた。

3. 数値解析モデル

解析対象物体の断面形状は、辺長Bの正方形および直径Bの円である。また、解析領域は図1に示すように直径60Bの円形として、解析対象物体を中心に配置した。使用した格子(図2)は、角柱近傍では細かく、角柱から遠ざかるにつれて粗くなるようなO型境界適合格子とした。実際に使用した格子は、正方形断面では、周方向に136点、径方向に68点、また円形断面では周方向に112点、径方向に56点配置した。境界条件は角柱表面の流速に対して滑りなしの条件($u=v=w=0$)、表面の圧力に対して勾配零の条件($\partial p / \partial n = 0$, n は法線方向)、遠方境界は一様流($u=V, v=0, w=0, p=0$)、スパン方向両端は周期境界条件を与えた。

4. 軸方向長さの影響について

軸方向長さの影響の検討は、正方形角柱に対して行い、軸方向の格子幅は0.05Bの一定とし、軸方向長さを2B, 4B, 6Bと変化させて解析を行った。

表1 軸方向長さの違いによる平均抗力係数

軸方向長さ	2B	4B	6B	2D cal.	exp.
C_D	2.20	2.21	2.15	2.24	1.80

$Re=500\sim 5000$ における2次元解析結果を実験値と比較するとストローハル数 St については、ほぼ一致したが、平均抗力係数 C_D については $Re=2000$ 以降において実験値より大きな値となった。そこで、3次元解析を行い軸方向長さが流れの3次元性に及ぼす影響を調べた。表1に $Re=2000$ において軸方向長さを変えたときの平均抗力係数の値を示す。軸方向長さを2Bから4B, 6Bと増加させることによる C_D の顕著な変化は確認できなかった。また、2次元解析値(2D cal.)と比較すると、平均抗力係数が2次元解析値より低減しており、実験値(exp.)に近づいてはいるものの満足する結果は得られなかった。この原因としては、軸方向分割幅の影響が考えられる。これは、本解析では軸方向分割幅が0.05Bであるのに対し、物体表面上の径方向分割幅 Δx が0.0016Bとかなり小さな値となっており、格子がかなり扁平な形状となっているため、精度の高い解が得られなかったのではないかと考えられる。

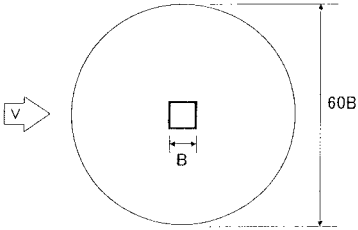


図1 解析領域

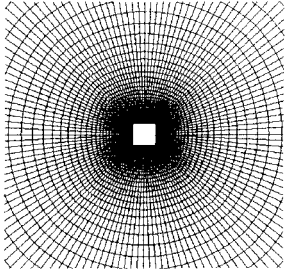


図2 解析格子

5. 水平偏角の影響について

水平偏角の影響の検討は円柱に対して行い、 $Re=600$ で水平偏角 β (図 3) が、 $\beta=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ について解析を行った。

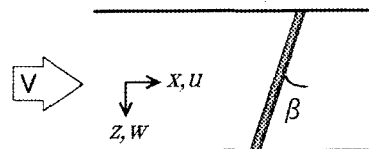


図 3 水平偏角 β

図 4 は、断面における周方向各点の時間平均圧力係数 C_p の分布を表している。 $\beta=0^\circ$ の場合に比べ、 $10^\circ, 20^\circ$ と水平偏角をつけていくことにより、円柱背面の負圧の絶対値が全体的に増加していることが確認できる。円柱に水平偏角をつけることにより、

円柱背後により強い軸方向流が生じているためにこうした傾向が生じた可能性がある。実際、 $\beta=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ における流速の主直交スパン方向成分 (w) の瞬間値の等数値線 (図 5) をみると、偏角を大きくするにつれて z 軸方向の負の流速が強くなるという傾向が確認できる。 w の最小値は、 $\beta=0^\circ$ で -0.41 、 $\beta=10^\circ$ で -0.66 、 $\beta=20^\circ$ で -1.16 と水平偏角を付けていくことにより、スパン方向流速の絶対値が増加している。このことから、傾斜円柱の後流に z 軸方向の流れが存在しているのではないかと考えられる。

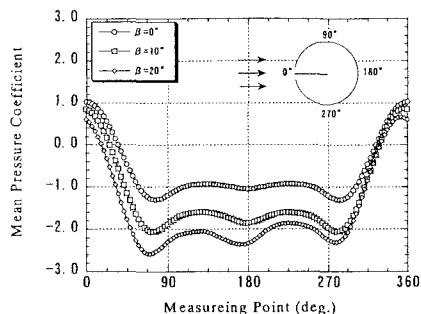


図 4 表面の平均圧力係数の分布

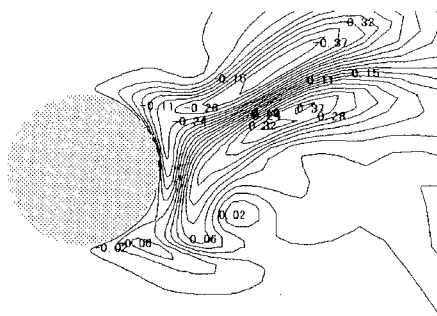


図 5(a) 流速の z 方向成分 w の瞬間値の分布 w/U_∞ ($\beta=0^\circ$)

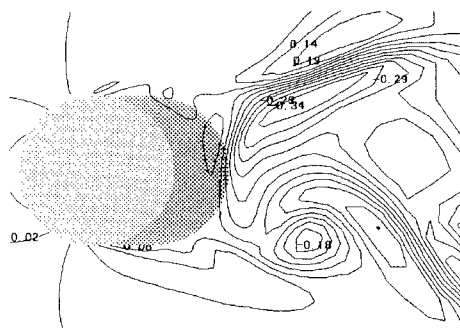


図 5(b) 流速の z 方向成分 w の瞬間値の分布 w/U_∞ ($\beta=10^\circ$)

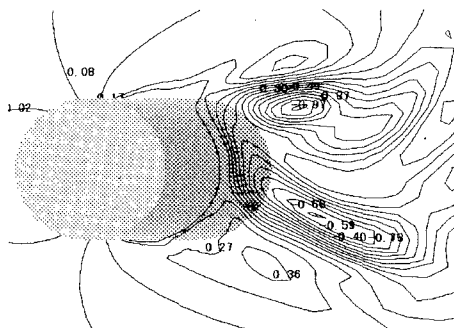


図 5(c) 流速の z 方向成分 w の瞬間値の分布 w/U_∞ ($\beta=20^\circ$)

6. まとめ

- ・正方形角柱の軸方向長さを $2B, 4B, 6B$ と変化させた 3 次元解析を行っても実験値に近い平均抗力係数は再現できなかった。
- ・水平偏角付き円柱の解析の結果、水平偏角の増加により円柱背面に生じる負圧が増大し、 z 軸方向の流速が大きくなる傾向が認められた。