

数値流体解析による低レイノルズ数域における正方形角柱の流体力特性

九州工業大学大学院	学生会員	○中村	秀行
九州工業大学	正会員	久保	喜延
九州工業大学	正会員	山口	栄輝
長崎大学	正会員	河村	進一

1.はじめに

構造物周りの流れは高レイノルズ数域において、レイノルズ数の変化に対して極端な変化はないが、低レイノルズ数域では流体力のレイノルズ数の変化に対する影響が大きい。本研究では、精度や信頼性の向上を考慮して低レイノルズ数域における数値流体解析を行い、レイノルズ数の変化に対する流体力の特性を調べるとともに、実験結果との相違点を比較検討する。

2. 解析手法

数値流体解析で用いた離散化手法は差分法とし、連続の式を直接解く代わりに○型境界適合格子で離散化された一般曲線座標系の Navier-Stokes の式と圧力に関する Poisson 方程式を MAC 法に準じて交互に解き、Euler の陽解法によって時間進行を行う。

また、解析の刻み時間の決定には、線型方程式(式 2-1)に対する Forward Time Central Space 法(時間 1 次前進、空間 2 次中心差分)の安定性の必要条件(式 2-2)を用いた。この安定条件の式にはセルレイノルズ数とクーラン数が含まれるため、あらかじめ格子サイズを決定することにより刻み時間を決定できると考えたからである。

$$\partial u / \partial t + U \partial u / \partial x = 1 / \text{Re} \partial^2 u / \partial x^2 \quad 2-1$$

$$|C| < 1 \quad 2C / \text{Re} < 1 \quad C = U \Delta t / \Delta x \quad \text{クーラン数} \quad 2-2$$

$$\text{Re} < 2 / C \quad \text{Re} = U \Delta x / \alpha \quad \alpha = 1 / \text{Re} \quad \text{セルレイノルズ数}$$

3.数値解析モデル

対象物体の形状は辺長 B の正方形断面とし、図 1 に示すように解析領域を半径 $30B$ 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○型格子とした。また、境界条件としては角柱表面の流速に対して滑りなしの条件($u=v=0$)、表面の圧力に対しては勾配零の条件($\partial p / \partial n = 0$, n は法線方向)、遠方境界は一様流($u=V$, $v=0$, $p=0$)である。

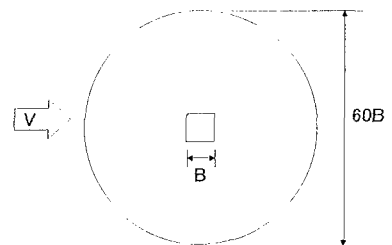


図 1 解析領域

4. 結果および考察

数値流体解析を行なうにあたって格子サイズの決定についての問題があるため、レイノルズ数(Re 数)を固定し、格子サイズを変化させて解析を行なった。Re=500, 1000, 1400 の平均抗力係数の結果を図 2 に示す。ただし、格子サイズの変化に応じてプロットするのは困難なため横軸に周方向の最大値 $i_{\max}$ をとった。また、最小格子幅でのセルレイノルズ数一定の条件を用いることによって、Re=500 における格子 106×53 に対応する Re=1000, 1400 での格子は、それぞれ 122×61 , 130×65 とする。Re=500 では、格子 106×53 で平均抗力係数は減少し、格子 106×53 , 114×57 , 122×61 での平均抗力係数は約 1.90 を示している。また、Re=1000, 1400 において、平均抗力係数は格子サイズに対する値の変化はほとんどない。Re=500 において平均抗力係数の値が収束し始めた格子 106×53 が最適な格子サイズと考えられる。そこで、Re=500 の格子 106×53 を基準として、最小格子でのセルレイノルズ数を一定とすることにより、Re 数の変化に対する格子サイズを決定することとした。

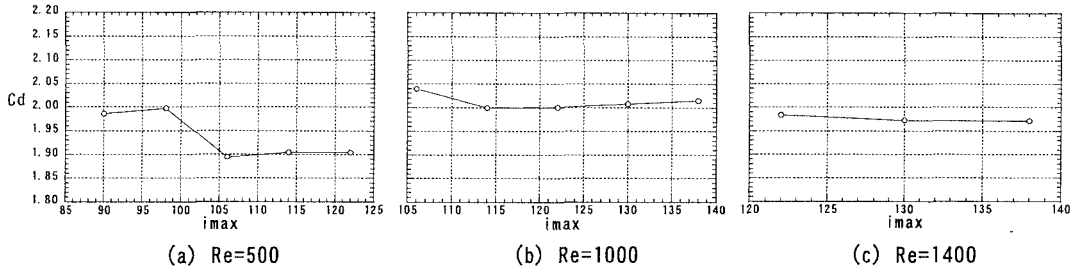


図 2 Cd - i_{max} 関係

Re 数の変化に対する平均抗力係数(Cd)の結果を図 3 に示す. 高 Re 数域では一定とされる抗力係数が, $Re=200$ から $Re=1000$ にかけて Cd は上昇していき, $Re=1000$ から $Re=1400$ で Cd 値は下がり, $Re=1800, 3000$ にかけて大きくなった. 実験結果と比較すると, $Re=200$ から $Re=1400$ までは同様の傾向が見られ, 解析値は実験値と近い値となっている. しかし, $Re=1800, 3000$ における Cd の解析結果は実験結果よりも約 0.5 程度大きくなっている. 本研究では 2 次元解析を行っており, Re 数の低いところでは 3 次元でないことによる影響は少ないが, Re 数が大きくなるとその影響が現れたと考えられる.

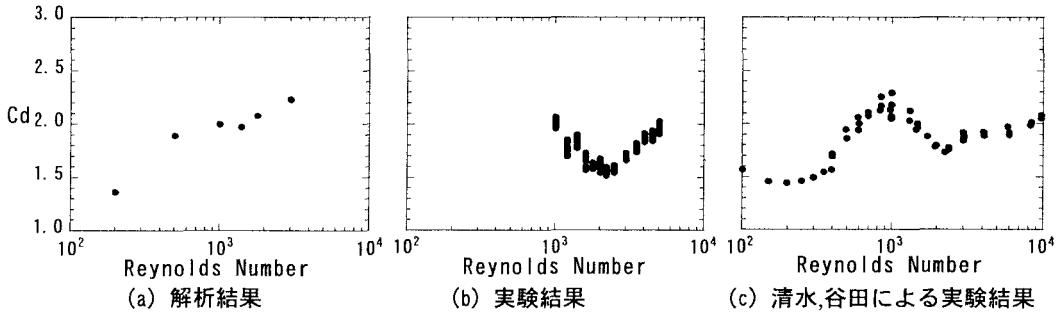


図 3 Cd - Re 関係

揚力の周波数解析により求めたストローハル数(St 数)の Re 数の変化に対する結果を図 4 に示す. St 数の解析結果では, $St=0.12\sim0.14$ の範囲で $Re=200$ から $Re=1400$ にかけて徐々に減少し, それ以降の $Re=3000$ まででは $St=0.12$ 程度となっている. 実験結果と比較すると, 同様の傾向が見られ, 解析値は実験値より若干小さいが, 近い値が得られた. St 数については, 妥当な結果が得られたと考えられる.

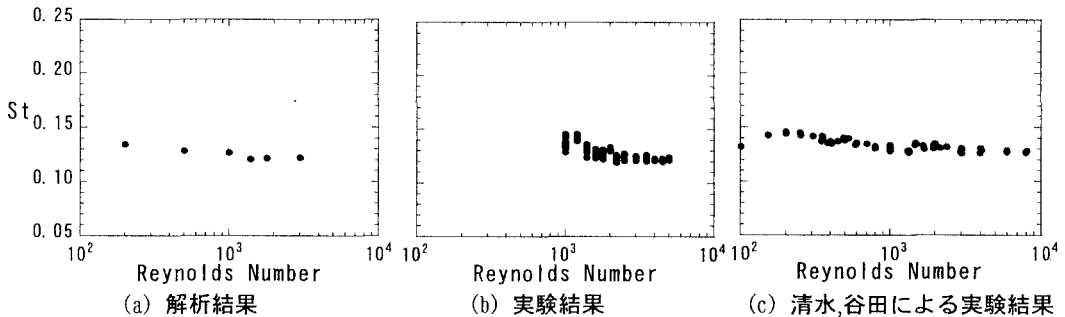


図 4 St - Re 関係

5. まとめ

Cd において, 低 Re 数域では高 Re 数域とは違い, Re 数の変化による影響を受けやすく, $Re=200$ から $Re=1400$ までは実験結果と同様の傾向が見られ, 実験値と近い結果が得られた. しかし, $Re=1800$ 以降では実験値よりも大きな結果となった. また, St 数は $St=0.12\sim0.14$ の範囲で Re 数の上昇とともに徐々に減少しており, 実験結果との比較では同様の傾向が見られ, 実験値と近い結果が得られた.