

CS3-5〔I〕

円柱周囲流の差分計算におけるスキーム、計算格子、計算パラメータの検討

九大応力研 正員 小園茂平、大屋裕二
北九州高専 正員 中山龍三

1. まえがき

物体周りの流れの数値計算を行う要求が年々高まっている。物体周囲流の計算を差分法を用いて行う場合、スキーム、境界条件、計算格子、計算時の諸パラメータを適切に選択しなければ物理的にありえない流れを得たり、計算がすぐ発散してしまうことが起こり得る。耐風設計に関して数値計算を実用面で利用するにあたっては、様々な角度から十分な検討を加えノウハウの蓄積が必要である。著者らは従来からこのような検討を行ってきたが、今回は特に高レイノルズ数での差分スキームの比較、計算格子の解像度の影響および時間刻みの大きさの影響等について検討を行ったので報告する。

2. 計算方法

計算格子は3種類の物体適合格子A、B、Cを使用した。格子A、B、Cはそれぞれ81x81、101x101、301x120の格子点数を有し、半径方向の最小間隔は 5.8×10^{-3} 、 1.9×10^{-3} 、 1.9×10^{-3} である。格子Cは特に周方向に多数の格子点を配置した。図1に格子Cを示している。下流境界は15d~22dに設定している。差分計算法はu、v、pの原始変数を用い、MAC法に基づく。対流項は3次精度風上差分のKawamura-Kawahara法(K-Kと略す)UTOPIA法、およびQUICK法を適用し、他の空間項は中心差分とした。時間積分はEuler陰的解法を用いた。圧力に関するPoisson方程式および時間積分の陰的解法はともにSOR法を用いた。境界条件については物体表面no-slip、遠方境界は、下流域に流出条件 $\partial v / \partial x = 0$ 、 $\partial p / \partial x = 0$ 、残りは一様流とする境界条件をケースAとし、遠方境界全域を一様流とする境界条件をケースBとする2種類を使った。計算したレイノルズ数は $Re = 2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$ である。時間刻みは一部を除いて $\Delta t = 10^{-2}$ とした。

3. 計算結果

3-1. 差分スキームの比較(格子B、境界条件A)

$Re = 200 \sim 20000$ の計算において、対流項にK-K、UTOPIA、QUICKの3種のスキームを適用して比較した。この時、格子Bを使用し境界条件はケースAである。図2には、K-KおよびQUICKが $Re = 10000$ と20000、UTOPIAが $Re = 5000$ のフローパターンを示している。K-Kのみ $Re = 20000$ まで安定なフローパターンを示した。UTOPIAでは $Re = 5000$ ですでに流線図に空間的振動が現れ、より高 Re 数でも非常に歪んだフローパターンを示した。QUICKは $Re = 15000$ まではある程度良好なフローパターンを示したが、 $Re = 20000$ では完全に歪んだパターンとなった。図3に計算で得られた各スキームでの C_D 値を Re 数に対してプロットしている。 $Re = 200$ までは各スキームとも実験値とよく一致しているが、より高 Re 数ではかなり大きめの値となっている。注目すべきは、K-Kの C_D 変化である。安定には計算できたがQUICKに比べると高 Re 数での低下が著しい。粗い格子での同様な結果はTamura¹⁾にも見られる。一方、QUICKは計算は不安定な傾向にあるが高い C_D 値を保ち、 $Re = 15000$ までは解の精度は良い。

3-2. 計算格子の影響

K-K法は高 Re 数で安定に計算できるが解の精度が疑わしい。しかし他の報告¹⁾⁻³⁾にもあるように十分格子を細かくしていくと C_D 値はある値に収束していく。ここでは格子A、B、Cを用いた計算結果の比較をする。まず、表1に示すように $Re = 2000$ では、K-Kを含め、他のスキームでも結果の差は出ない。しかし、図4に示すようにK-Kの場合、 $Re \geq 10000$ では格子の解像度によって、 C_D 値に大きな差が生じることが明瞭である。

3-3. 時間刻み Δt の大きさの影響

$Re = 2000$ で格子Cを使い、K-K法で計算した際、時間刻み Δt を変えると C_D 値に大きな違いが生じた。 $\Delta t = 10^{-2}$ では表1に示すように $C_D = 1.49$ 、 $St = 0.206$ であるが、 $\Delta t = 10^{-3}$ にすると $C_D = 1.68$ 、 $St = 0.247$ という結果を得た。

4. まとめ

円柱周囲流の差分計算に関して、対流項に数種の高次風上差分、3種類の計算格子、時間刻みの大きさの変化等を与えて計算結果を比較検討してみた。i) 高 Re 数での計算安定性はK-K法が優れているが、格子の解像度を十分細かくとらないと精度が疑わしい。ii) QUICKはやや不安定性があるが、比較的粗い格子でも精度は良い。iii) 時間積分に一次精度を使用すると、時間刻みの大きさと C_D 値、 St 数にかなりの差が生じる可能性がある。

参考文献

- 1) Tamura, T., et al.: J. Wind Eng. and Ind. Aerod., 35(1990)
- 2) Shirayama, S., et al.: AIAA-87-0605(1987)
- 3) 茂里一紘、他: 第4回数値流体シンポジウム(1990)

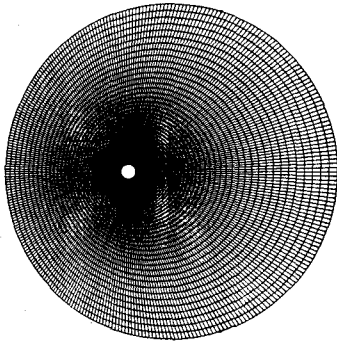


図1. 計算格子(30x120)

境界条件	スキーム	格子A(81x81)		格子B(101x101)		格子C(301x120)	
		C_D	S_t	C_D	S_t	C_D	S_t
境界条件A (下流域流出条件)	K-K	1.53	0.233	1.47	0.226	1.49	0.206
	$\alpha=2/3$	1.54	0.238	1.51	0.236		
	UTOPIA	1.55	0.238	1.56	0.242		
	QUICK	1.59	0.238	1.58	0.239		
境界条件B (全遠方域一様流)	K-K	1.55	0.232			1.50	0.204
実験値		$C_D=0.90\sim 1.0$		$S_t=0.19\sim 0.23$			

表1. $Re=2000$ における各スキームおよび各格子での円柱空力係数

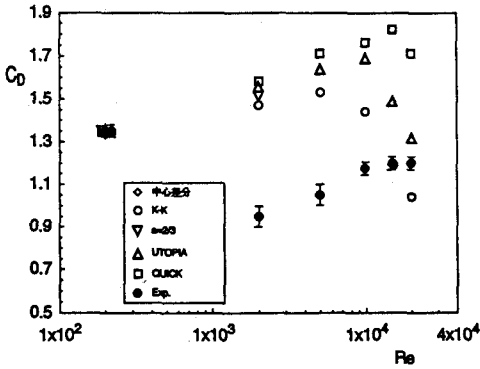


図3. 各スキームにおける円柱抗力係数のRe数に対する変化, 格子B

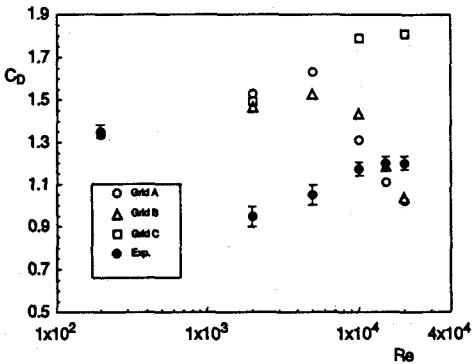


図4. K-Kスキームにおける円柱抗力係数の格子依存性, Re数に対する変化

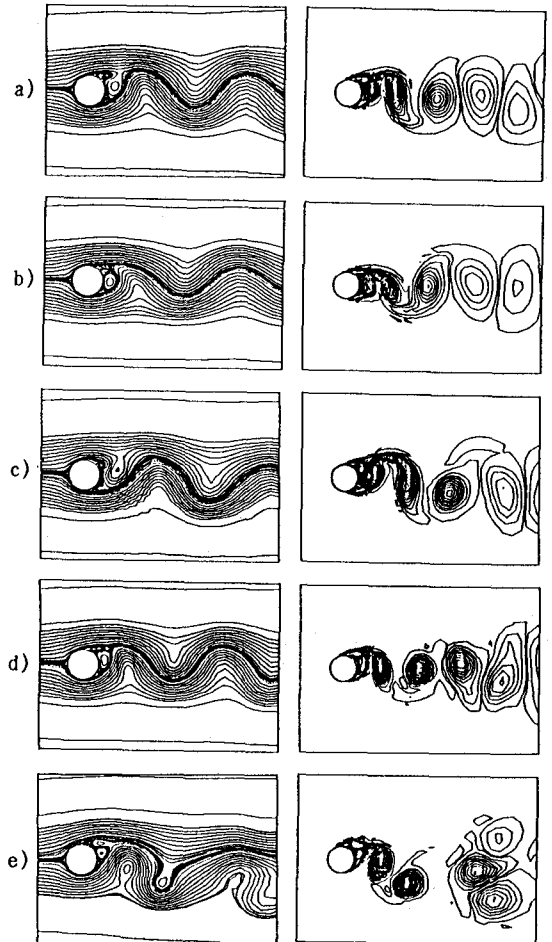


図2. $Re=5000\sim 20000$ での各スキームの70- π -ターンの, (左): 流線図, (右): 等渦度線図
 a) K-K, $Re=10000$, b) K-K, $Re=20000$
 c) UTOPIA, $Re=5000$, d) QUICK, $Re=10000$
 e) QUICK, $Re=20000$