

I-366

円柱周囲流の数値計算における差分スキームおよび境界条件の比較

北九州高専 正員 中山龍三 九州大学応用力学研究所 正員 大屋裕二 同 中村泰治

1. まえがき

最近、非圧縮粘性流れの数値解析が盛んに行われるようになった。しかし、信頼性のある解析をするには使用するスキームや境界条件(B.C.)の決定は重要な課題となる。本報告ではレイノルズ数 $Re=100$ および 1000 での、円柱周りの流れの差分計算においていくつかのスキームを検討し、境界条件の影響も調べた。

2. 差分法計算

非圧縮粘性流の基礎方程式をMAC法に従って計算する。この時、対流項に対して二次中心差分、三次精度風上差分である河村-桑原法(K-K)、Agarwal法(UTOPIA)、および一次元QUICK法(QUICK)の各スキームを、時間積分に対してはEulerの陽的・一次的および陰的・一次的を用いた。境界条件については、物体表面上でno-slip条件、外側境界に関して $Re=100$ では一様流($u=1, v=0$)および圧力は一次外挿とし、 $Re=1000$ では一様流、および下流側に $\partial \nabla / \partial X = 0$ 、 $\partial P / \partial X = 0$ の流出条件を持つケースも計算した。初期値は静止状態としたが、流出条件の外側境界の場合は $U=1, V=0, P=0$ としている。計算に用いた格子(81×81)は図1に示す。またレギュラーメッシュ系として変数の配置を行った。

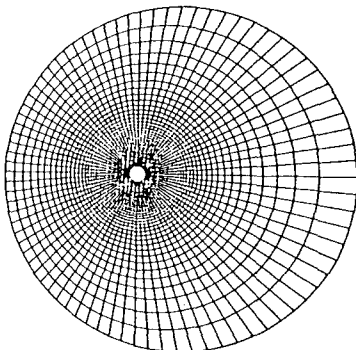
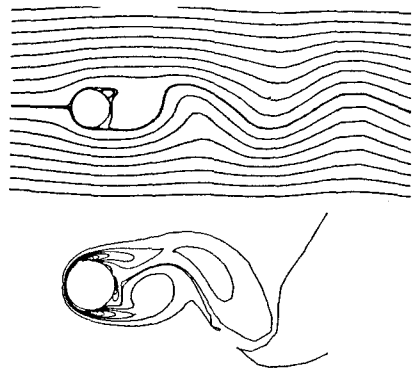
3. 計算結果

3-1. $Re=100$ の場合 中心差分では陽解法において著しい解の空間的振動が現れた。陰的な場合は振動は軽減したがStrouhal数 St 、抗力係数 CD 、揚力係数 CL は妥当な値は得られなかった。3種の三次風上差分では陽的なUTOPIAが計算の初期に遠方下流で振動が発生した以外は安定な解が得られ、フローパターンに差異は生じなかった。特に陰的な場合は計算の時間ステップは陽的なケースと比較して一桁小さい $\Delta t=10^{-2}$ で行えた。図2に代表的なフローパターンを、表1に空力係数を示す。

3-2. $Re=1000$ の場合 時間積分はEulerの一次陰的としている。中心差分は計算していない。表2には空力係数を示している。(1)外側B.C.が一様流の場合: QUICKとUTOPIAは図3に示すような空間的振動が現れた。4階微分項としての数値粘性がUTOPIAより三倍大きいK-K(フローパターンは図4に示す)や二倍大きいケース($\alpha=2/3$)では妥当なフローパターンが得られた。しかし、いずれの場合も CD の時間変動がかなり不規則となって問題がある(図5)。(2)外側B.C.が流出条件の場合: K-K、UTOPIA、QUICKについては共にきわめて良好なフローパターン(例としてK-Kを図6に示す)と CD 、 CL 変動(図7)が得られた。

<参考文献>

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1) Harlow, F.H. & Welch, J.E. | : Physics of Fluids, 8, 12, 1965, pp.2182-2189. |
| 2) Kawamura & Kuwahara | : AIAA 84-0340, 1984. |
| 3) Agarwal, R.k. | : AIAA 81-0112, 1981. |
| 4) Leonard, B.P. | : Computer Methods in Fluids, Pentech Press, 1980. |

図1 物体適合格子 (81×81)図2 陰的QUICK法 ($Re=100, t=200$)の
流線図(上)と 等渦度線図(下)

空力係数（2D円柱、 $Re=100$ ）

時間積分	差分スキーム	C_D	S_1	C_L 振幅	C_D 振幅
1次陰的 オイラー	中心差分	----	0.188	----	----
	K-K	1.35	0.196	0.7	0.046
	UTOPIA	1.35	0.198	0.73	0.039
	QUICK	1.36	0.2	0.68	0.032
1次陰的 オイラー	中心差分	1.25	0.192	1.1	----
	K-K	1.34	0.2	0.65	0.071
	UTOPIA	1.36	0.198	0.68	0.053
	QUICK	1.35	0.2	0.61	0.055
実験値		1.30	0.17		

表1 $Re=100$ の場合の空力係数

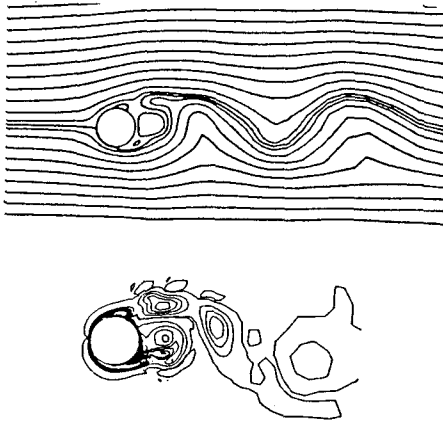


図3 陰的QUICK法（一様流B.C., $Re=1000$, $t=100$ ）での流線図と等渦度線図

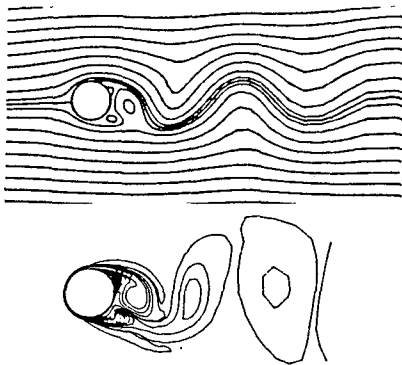


図6 陰的K-K法（ $Re=1000$, 流出条件のB.C., $t=200$,）のフローパターン
上:流線図 と 下:等渦度線図

空力係数（2D円柱、 $Re=1000$ ）

境界条件	差分スキーム	C_D	S_1	C_L 振幅	C_D 振幅
外側境界 一様流	K-K	1.57	0.252	1.56	0.35
	$\alpha=2/3$	1.62	0.268	1.63	0.50
	UTOPIA	----	----	----	----
外側境界 流出条件	K-K	1.53	0.242	1.44	0.24
	UTOPIA	1.55	0.246	1.48	0.26
	QUICK	1.56	0.250	1.47	0.24
実験値		1.0	0.2		

表2 $Re=1000$ の場合の空力係数

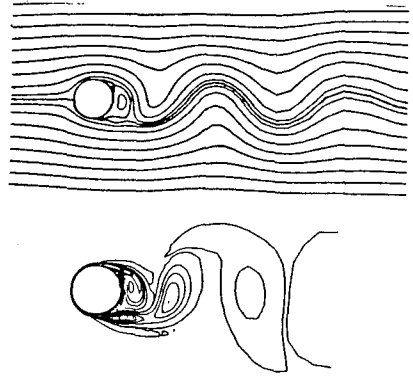


図4 陰的K-K法（ $Re=1000$, 一様流B.C., $t=200$,）のフローパターン
上:流線図 と 下:等渦度線図

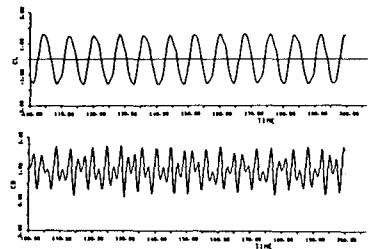


図5 陰的K-K法（ $Re=1000$, 一様流B.C.）での
 CL （上）および CD （下）の時間変動

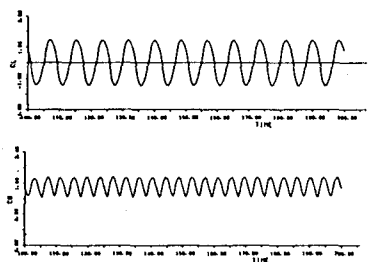


図7 陰的K-K法（ $Re=1000$, 流出条件）での
 CL （上）および CD （下）の時間変動