

3C-4

差分法DEQSOLにおける流体解析機能の適用評価

佐治みゆき 五百木伸洋 金野千里
 ㈱日立製作所

1. はじめに

DEQSOL¹⁾は、物理現象の数式レベルの記述からFORTRANコードを自動生成する、偏微分方程式向き数値シミュレーション用言語である。今回、流体問題(非圧縮性)に適用範囲を広げるため、スタガード格子機能²⁾、各種風上差分機能²⁾を差分法DEQSOLにおいて実現した³⁾。以下、本システムの流体問題への適用評価について報告する。

2. 適用評価

流体問題に対する、スキーム記述能力、コード生成効率、生成FORTRANコードの性能、の各項目について評価を行った。

(1)スキーム記述能力

流体现象はナビア・ストークス方程式に支配されるが、これを数値計算で解く場合、式を一括してそのまま解くほか、式を変形して順次解く解法(SMAC法⁴⁾、SIMPLE法²⁾など)が用いられる。また乱流の場合、乱流モデル⁴⁾(0方程式モデル、2方程式モデル、LESなど)を導入することが多い。これらに対する記述能力を例証する。

図1、2は2次元問題に各解法を用いた、DEQSOLによる記述例である。図1は一括解法を用いた場合であり、ナビア・ストークス方程式を直接記述すればよい。図2はk-ε乱流モデル(2方程式モデルの一種)を用いたSMAC法による記述である。計算手順をそのまま記述できる。SIMPLE法の場合は、離散化行列に対する操作機能が不足しているため現

```

1 ITER NT UNTIL EPSQ GT 2000; /* 時間反復指定 */
2   SOLVE U,V,W OF                                     /* 運動方程式・
3     (U-UO)/DLT=- (DX(UO*U)+DY(VO*U)+1/RHO*DX(P)-NUD*LAPL(U)),      連続の式を一括計算 */
4     (V-VO)/DLT=- (DX(UO*V)+DY(VO*V)+1/RHO*DY(P)-NUD*LAPL(V)),
5     DX(U)+DY(V)=0                                     BY 'PCG';
6     U=UO; V=VO; P=PO;                                /* 速度・圧力更新 */
7 END ITER;
```

図1 一括解法による記述

```

1 ITER NT UNTIL NT GT 2000; /* 時間反復指定 */
2   UM=U-DLT*(DX(U*U)+DY(V*U)+1/RHO*DX(P)-DIV(NUD..GRAD(U))
3     -DX(NUD*(DX(U)+DY(V))+2/3*DX(KO));                /* 運動方程式計算 */
4   VM=V-DLT*(DX(U*V)+DY(V*V)+1/RHO*DY(P)-DIV(NUD..GRAD(V))
5     -DY(NUD*(DX(U)+DY(V))+2/3*DY(KO));
6   SOLVE PM OF LAPL(PM)=-DX(U)-DY(V) BY 'PCG';        /* 速度・圧力修正 */
7   U=UM+DX(PM); V=VM+DY(PM); P=P-RHO*PM/DLT;
8   GTRM=2*DX(U)**2+DY(U)**2+DX(V)**2+2*DY(V)**2+2*DX(V)*DY(U); /* 生成項計算 */
9   KK=KO-DLT(DX(U*KO)+DY(V*KO)-DIV(NUT/SGK*GRAD(KO))   /* 乱流エネルギー計算 */
10     -NUT*GTRM-EO);
11   E=EO-DLT( DX(U*EO)+DY(V*EO)-DIV(NUT/SGE*GRAD(EO)) /* 乱流エネルギー散逸計算 */
12     -C1*EO/KK*NUT*GTRM+C2*EO**2/KK);
13   NUT=CMU*KK*KK/E; NUD=NUD+NU; KO=KK; EO=EN;        /* 粘性係数計算, K,ε更新 */
14 END ITER;
```

図2 SMAC法+k-εモデルによる記述

在は記述できない。乱流モデルについてはいずれも、 $K-\epsilon$ 乱流モデル同様、記述が可能である。

③コード生成効率および生成FORTRANコードの性能

本システムを2次元キャビティフロー問題に適用し、トランスレート時間、生成FORTRANコードを評価した。後者については人手によりコーディング・チューニングしたパイロットコードと比較評価した。解析条件は、格子はスタガード格子、格子分割は 30×30 、レイノルズ数1000、解法はSMAC法とし、各種風上差分を用いた。なお数値結果についてはパイロットコードの結果と比較し、正しいことを確認している。

表1に評価の一覧を示す。これらより以下の結論を得た。

①生成FORTRAN行数に関して：パイロットコードに比較し、生成FORTRAN行数は2倍程度である。理由としてはパイロットコードは無駄な宣言部がないことと、頻りに現れる離散項の、変数による置換えを行っていることの2点があげられる。

②実行時間に関して：生成FORTRANとパイロットコードの比較では、いずれも、生成FORTRANはパイロットコードの7～8割の性能となる。

各種風上差分に対する実行時間比較では、風上差分が高精度になり、式が複雑になると実行時間が増えるが、全計算時間に比較し無視しうる程度である。

③加速率・ベクトル化率：生成FORTRANの加速率は7倍以上である。

④ベクトル化率：ベクトル化率はいずれも98.5%である。風上差分導入によるベクトル化率の低下はない。

表1 キャビティフロー性能評価

プログラム名称	DEQSOLプログラム				パイロットコード		
	A	B	C	D	E(Aに対応)	F(Bに対応)	
風上差分 (精度)	なし	1次風上 (1次)	河村・桑原法 (3次)	QUICK法 (3次)	なし	1次	
DEQ行数 生成FORTRAN行数	45 1797	← 1923	← 2160	← 2154	— 883	— 913	
DEQ+FT トランスレート時間 ^{*1}	13.82	14.34	15.63	15.57	—	—	
生成FT 実行時間 (sec)	H6801 ^{*1} IAP S810 ^{*2} NOHAP S810 HAP	297.71 751.19 102.38	298.57 745.21 102.57	307.20 763.40 103.60	306.19 762.04 102.58	229.6 571.6 81.0	252.0 623.6 90.0
加速率 ^[S810]	7.33	7.26	7.37	7.43	7.05	6.93	
ベクトル化率(%)	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	

*1 HITAC
M680H

*2 HITAC
S810/20

* メッシュ数 $=30 \times 30$, $R_n=1000$, $\Delta t=0.025$, 実行は $t=50$ sec後(ループ回数=2000)の値とした。

3. まとめ

DEQSOL差分法を流体問題に適用し、以下の結論を得た。

①スキーム記述能力については、層流・乱流とも記述可能である。

②生成FORTRANについては人手のよるコードに準じる性能を得られている。

参考文献

- (1)梅谷：数値シミュレーション用プログラミング言語DEQSOL，情報処理学会論文誌，第26巻1号，pp.168-180(1985)
- (2)V.Patankar著：コンピュータによる熱移動と流れの数値解析，森北出版(1985)
- (3)五百木ほか：差分法DEQSOLにおける流体解析機能，情報処理学会第41回(1990)
- (4)村田ほか編：工学における数値シミュレーション，丸善(1988)