

II-19

LESによる後流渦のシミュレーション

東北大学工学部 学生員 ○藤村 立行
東北大学工学部 正会員 真野 明

1. はじめに

福田ら¹⁾の研究内容をもとに、Cavityでの流れをLES (Large Eddy Simulation)により数値解析し、有効性を評価する。

2. LESについて

高いレイノルズ数の状態では分子粘性 ν にもとづくエネルギー散逸が非常に小さいスケールで行われるため、NS (Navier-Stokes) 方程式を直接計算する場合は、非常に細かいメッシュ分割が要求される。そこで、LESでは、空間方向に平均化操作を行うことにより、メッシュより小さい渦をモデルにとりこみ、比較的大きなメッシュでも計算出来るように工夫されている。持田ら²⁾は二次元問題(h_1, h_2 は二方向メッシュの幅)に関して、以下の式を提案している。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{p} + \frac{2}{3} K^* \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\nu + \nu_{SGS}) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{S}_{ij} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}, \quad \nu_{SGS} = 0.15^2 \times (h_1 h_2) \times \left(\frac{\bar{S}_{ij}^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad K^* = \frac{\nu_{SGS}^2}{0.094^2 \times (h_1 h_2)}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

この方程式を数値計算する場合は、まず最初に式(1)を差分展開し陽解法で時間ステップ Δt だけ進んだステップの流速をもとめ、次に連続の式(2)を満足させる。式(1)の辺々の発散(divergence)をとると

$$\frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial x_j \partial x_j} = -\rho \left(\frac{\partial^2 \bar{u}_i \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{2}{3} \frac{\partial^2 K^*}{\partial x_j \partial x_j} \right) \dots\dots\dots (3)$$

となり、 Δt ステップ後の圧力分布がもとめられる。収束計算にはSOR法(Successive Over-Relaxation Method)を用いた。Cavityは辺長1の正方形とし、次頁コンター図の左下が x, y 軸の原点、上辺 $y=1$ の移動壁になっている。

3. 考察

(1) NS方程式の定常解と非定常解の比較

図-1は $Re=500, \Delta t=0.2s$ なる条件でのNS方程式の非定常解の渦度、流関数の特定点($x=17/19, y=17/19$)での経時変化であり、非定常問題でも $t=100s$ 後にはほぼ収束するようになる。定常解(渦度: 図-2, 流線: 図-3)と非定常解(渦度: 図-4, 流線: 図-5)を比較すると、どちらの流線分布ともほぼ中央部を中心とした同心円状となっており、ここを中心にして一定の回転速度で流体が運動していることがわかる。

(2) NS方程式の直接解とLESの比較

図-6も上述と同じ点($x=17/19, y=17/19$)での渦度、流線の経時変化であり、条件が $Re=5000, \Delta t=0.065s$ であるため、両方とも渦度は絶えず変動しており、渦のスケールが小さくなって移流している。また、流線の比較(NS: 図-7, LES: 図-8)では、LESのCavity内の点($x=18/19, y=4/19$)付近では全体とは逆の回転(反時計回り)となっており、NS方程式の解に比べ、複雑な変動となっている。

参考文献

- 1) 福田修・真野明: CavityにおけるNavier-Stokes方程式の差分解: 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 216-217, 1990.
- 2) 持田灯・村上周三・坂本成弘: LESによる2次元角柱に作用する変動風圧力の解析, 第5回数値流体力学シンポジウム講演論文集, pp. 99-102, 1991.

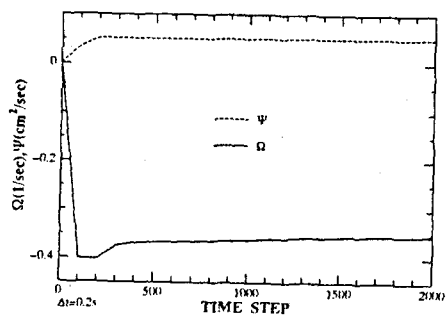


図-1 渦度・流関数の経時変化 (Re=500)

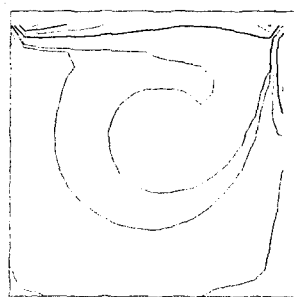


図-2 渦度の定常解 (Re=500)

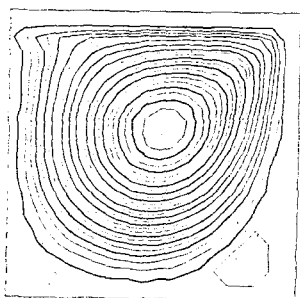


図-3 流線の定常解 (Re=500)

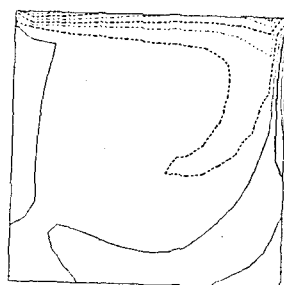


図-4 渦度の非定常解 (Re=500)

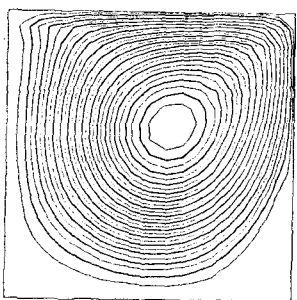


図-5 流線の非定常解 (Re=500)

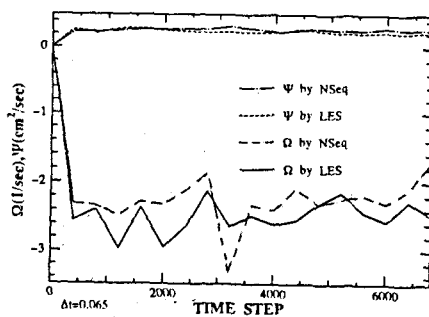


図-6 渦度・流関数の経時変化 (Re=5000)

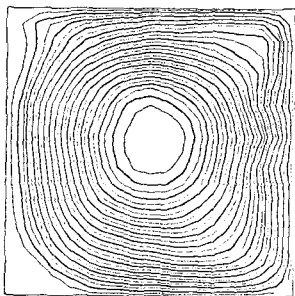


図-7 NS 方程式による流線 (Re=5000)

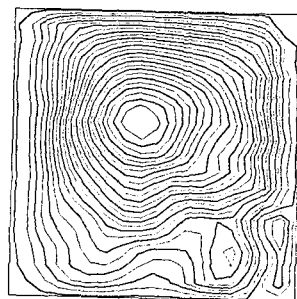


図-8 LES による流線 (Re=5000)