

連続した段差を持つ乱流流れ場の数値解析 Numerical Simulation of the Turbulent Flow Field with Cavities

○池田隆典, 大阪工業大学大学院, 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1, Email : tike@mm5.med.oit.ac.jp
 松島栄治, 大阪工業大学, 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1, Email : matusima@med.oit.ac.jp
 北條勝彦, 大阪工業大学, 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1, Email : hojo@med.oit.ac.jp
 Takanori IKEDA, Osaka institute of technology, 5-16-1, Omiya, Asahi-ku, Osaka, 535-8585, JAPAN
 Eiji MATSUSHIMA, Osaka institute of technology, 5-16-1, Omiya, Asahi-ku, Osaka, 535-8585, JAPAN
 Katsuhiko HOJO, Osaka institute of technology, 5-16-1, Omiya, Asahi-ku, Osaka, 535-8585, JAPAN

<Abstract> For the turbulent channel flows with cavities, two kinds of Large Eddy Simulations (LES) are treated in this paper. These are the case with a buoyancy effect and that without one. Smagorinsky Model (SM) and Dynamic Smagorinsky Model (DSM) and Scaling Formulation Model (SFM) were applied to the flow model as an SGS-model. The modified SM and DSM were applied to the case with a buoyancy effect instead of the standard SM and DSM. Also we estimated the turbulent structure from the distribution of statistical quantities.

1. はじめに

近年では電子機器において、計算の高速化、軽量化、小型化のために、回路の高集積化やチップのマイクロ化が図られている。これに伴い発熱量も増大し、これらの計算機の冷却に関しては、熱を除去するとともに、発熱面である多数のチップを有する空間の温度を均一にすることが要求されている。小型化の影響で1枚の基板に多くのモジュールが配置され、また各基板の隙間も非常に薄い場合が考えられる。さらにこれらのモジュールからの発熱を考えると、このような流れ場は非常に複雑な乱流熱対流場になると考えられる。しかし、基板に載せられるモジュールの形状は様々ではなく、設置間隔も等しくない。実際の機器ではモジュール上にフィンが設けられるなど、異種のモジュールが混在して搭載されるため、パラメータが増え、これら全ての場合について対流パターン等を求めることは非常に難しい。

そこで、本研究では、まず実際の基板に比べると遙かにシンプルな、Fig.1 に示すような連続した段差を持つ流れ場を考えた。これに対して等温場と仮定した場合と非等温場と仮定した場合のそれぞれで LES 計算を行い、このような乱流熱対流場の特徴や、規則性、乱流構造などを調べていく。

2. 改良型 Smagorinsky モデル

非等温場と仮定した場合、温度差から密度が変化し浮力が生じるため、これを考慮したモデルが必要である。そこで浮力モデルとして Mason が適用した SGS 応力のモデル化に浮力効果を組み込んだ Smagorinsky モデル(SM)⁽¹⁾⁽²⁾を用いる。このモデルでは渦粘性係数 ν_{sgs} は、Flux Richardson 数 Rf および浮力効果を表す係数 ϕ を用いて次のように表される。

$$\nu_{sgs} = (C_s f_u \bar{\Delta})^2 \phi (2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij})^{1/2} \quad (1)$$

$$\cdot Rf < 0 \text{ の場合} : \phi = (1 - Rf)^{1/2} \quad (2)$$

$$\cdot 0 < Rf < Rf_c \text{ の場合} : \phi = (1 - Rf/Rf_c)^2 \quad (3)$$

$$\cdot Rf_c < Rf \text{ の場合} : \phi = 0 \quad (4)$$

ここで Rf_c は臨界 Flux Richardson 数であり、 $Rf_c = 0.33$ である。次に、Scaling Formulation Model (SFM)⁽³⁾を示す。

$$\nu_{sgs} = C_\epsilon \bar{\Delta}^{4/3}, \quad C_\epsilon = C^{2/3} \epsilon_{sgs}^{1/3} \quad (5)$$

3. 離散化法

Navier-Stokes 方程式の対流項の差分に3次精度風上差分の K-K スキームを、その他の空間微分に関しては2次精度中心差分を用い、時間微分としては2次精度の Adams-Bashforth

法を用いた。計算アルゴリズムは HSMAC 法である。

4. 計算条件

Fig.1 に示した流れ場の計算領域は $15H \times 2H \times 5H$ である。計算格子は Staggered 格子とし、 x 方向および y 方向に不等間隔、 z 方向に等間隔とした。流入条件として $U_{in} = 1$ を与え、流出境界条件に Sommerfeldt 放射条件、 y 方向および Step 壁面全体に non-slip 条件、 z 方向に周期境界条件をそれぞれ与えた。 Re 数は代表長さ H および代表速度 U_{in} で定義し、 $Re = 5.0 \times 10^3$ とした。SM におけるモデル定数は $C_s = 0.12$ とした。流れ場を非等温場と仮定した場合は、Step 壁面全体に $\theta_h = 1$ 、その他の壁面に $\theta_c = 0$ を与え、その温度差 $\Delta\theta$ を代表温度とした。また Pr 数、 Gr 数はそれぞれ $Pr = 0.71$ 、 $Gr = 1.3 \times 10^6$ とした。このときの SM におけるモデル定数は (2)式の場合に $C_s = 0.32$ 、(3)式の場合に $C_s = 0.12$ とし、SGS Prandtl 数は $Pr_{sgs} = 0.50$ とした。

Dynamic Model でのモデル定数算出に際して、計算不安定を避けるため分子、分母に対して z 方向に平均化操作を行い、さらに $C < 0$ のときに $C = 0$ とした。なお、時間刻みは $\Delta t = 1.0 \times 10^{-6}$ であり、各統計量は無次元時間 40 から算出した。計算結果については講演時に報告する。

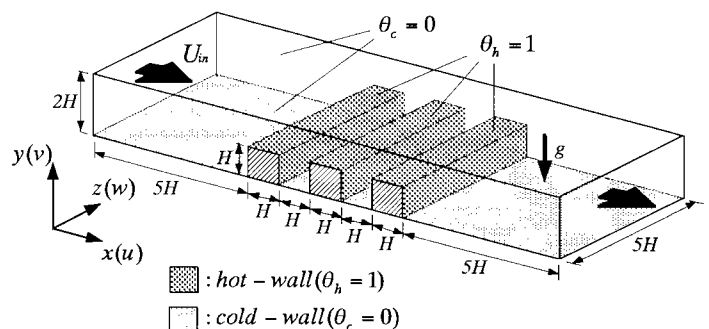


Fig. 1 Computational model

5. 参考文献

- (1)大宮司, 三宅, 吉澤, 乱流の数値流体力学, 東京大学出版会, (1998), pp.413
- (2) 富永, 村上, 持田, 第6回数値流体力学シンポジウム講演論文集, (1992), B21-3, pp.265
- (3)V.C.Wong, D.K.Lilly, *Phys.Fluids*, **6**, (1994), pp.1016