

神戸大学大学院 学生員 利上典史
 神戸大学工学部 学生員○不破洋史
 神戸大学大学院 正会員 中山昭彦

1. はじめに

近年コンピュータの発達により、流体の数値計算が盛んに行われるようになってきており、様々な複雑境界上の流れの計算が行われている。一般によく用いられている計算格子は境界適合格子であるが、境界適合格子は格子作成に多大な時間を必要とする。一方、直交格子は格子形成が容易であること以外にも優れた性質をもっており、直交格子を用いて複雑な境界形状を表現することができれば、流体の数値計算は飛躍的に進歩するものと思われる。従来、直交格子を用いた境界表現法としては矩形格子近似法(マスキング法)が挙げられるが、この方法は計算格子の単位で境界を近似するため境界が複雑になると高い精度は望めない。

そこで、直交格子を用いて複雑形状をより正確に表現しようという目的で Hirt¹⁾により提案されている FAVOR (Fractional-Area-Volume Obstacle Representation) 法を単純な形状に適用し、従来の矩形格子近似法を用いた計算結果との比較を行ない、その精度、実用性について検討を行った。

2. FAVOR 法の概要

FAVOR 法とは形成された計算格子に対して、流体が占める割合を考慮することによって境界を表現する方法である。2 次元流の基礎式は次に示す連続式と、運動量方程式である。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} A_x u + \frac{\partial}{\partial y} A_y v = 0 \quad (1)$$

$$\phi \frac{\partial u}{\partial t} + A_x u \frac{\partial u}{\partial x} + A_y v \frac{\partial u}{\partial y} = -\phi \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial}{\partial x} 2 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (2)$$

$$\phi \frac{\partial v}{\partial t} + A_x u \frac{\partial v}{\partial x} + A_y v \frac{\partial v}{\partial y} = -\phi \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} 2 \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (3)$$

ここに、 x, y は各々水平方向、鉛直方向、 u, v は各々 x, y 方向の速度成分、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 t は時刻、 ρ は流体の密度を表す。また A_x, A_y は各々 x, y 方向の断面における流体の占める割合、 ϕ は計算格子内の流体の占める割合を示す。

3. 計算と結果

数値計算は差分法で離散化し、食い違い格子に基づいた HSMAC (Highly Simplified Marker-And-Cell) 法²⁾を用いて平行平板間及び平行な曲面間の層流の計算を行った。境界形状を表-1 に示す。境界条件は上下両壁面とも滑りはないものとし、流入条件として $U_0=1$ の一様流入を与えた。計算は既往の矩形格子近似法を用いたものと FAVOR 法を用いたものと 2 通り行った。図-1 から図-3 に流れ領域と計算格子を示す。ケース 1-(a) の格子数は x, y 方向それぞれ 31.67 で、境界と格子のグリッド線は一致している。ケース 1-(b) の格子数は x, y 方向それぞれ 31.66 で、図-4 に示すように、実際の境界と格子のグリッド線は一致せず、矩形格子近似法を用いた方法では流れ領域は斜線のない部分となる。ケース 2 は平行板を格子に対して傾き 0.05 にした場合である。

図-5 から図-8 に $x/D=19.3$ における断面流速分布の計算結果を示す。ケース 1-(a) の場合、図-5 から分かるように矩形格子近似法を用いた結果と FAVOR 法を用いた結果は一致して

表-1 境界形状

	下端
ケース 1-(a)	$y/D=15$
ケース 1-(b)	$y/D=15$
ケース 2	$y/D=0.05(x/D)+1$
ケース 3	$y/D=-0.02(x/D)^2+0.4(x/D)+0.5$

いる。さらに理論解とも一致している。ケース 1-(b) の場合、計算上の流域幅は実際の流域幅に比べ、 $0.048D$ だけ狭くなっている。この場合 FAVOR 法を用いた結果と矩形格子近似法を用いた結果において違いが生じている(図-6)。計算格子が境界に対し斜めになるケース又は境界に曲率があるケースの場合、両者の違いはさらに大きくなる。ケース 1, 2 の結果より FAVOR 法を用いて境界を表現した方が矩形格子近似法を用いたときに比べてより理論解に近い結果を得られることがわかる。

4. おわりに

本研究より、境界を表現する手法として FAVOR 法の有用性が示されたものと思われる。しかし今回対象とした流れは単純な境界形状であるので、一般的な曲線や角などの実在する境界の問題に適用したときどういった精度が出るかは不明である。FAVOR 法を用いて複雑境界を表現することができれば、実地形上気流などのに予測計算の前進につながるものと思われる。

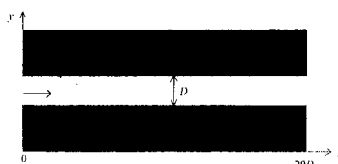


図-1 ケース 1 の境界形状



図-2 ケース 2 の境界形状



図-3 ケース 3 の境界形状

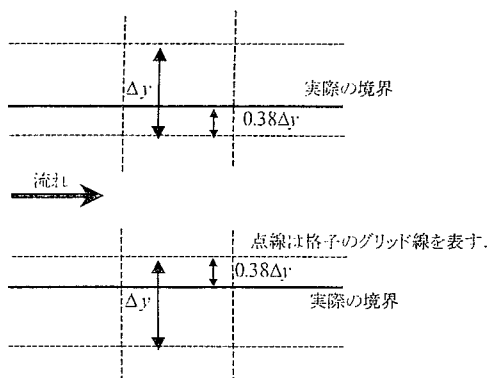


図-4 ケース 1-(b) における境界近傍の計算格子

参考文献

- 1) C. W. Hirt: Volume-fraction techniques: powerful tools for wind engineering. *J. of Wind Engineering*, NO. 52, pp. 333-344, 1992. 8.
- 2) 土木学会編：風工学における流れの数値シミュレーション法入門, pp. 29-36, 土木学会, 1992.

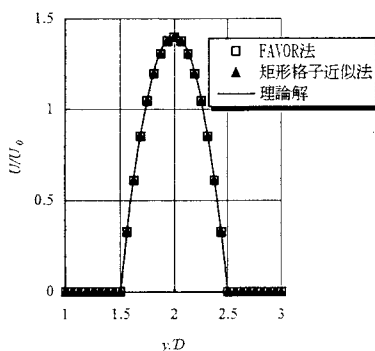


図-5 断面流速分布 (ケース 1-(a))

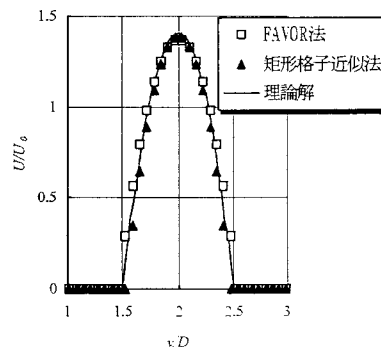


図-6 断面流速分布 (ケース 1-(b))

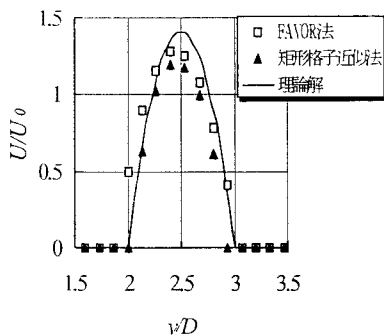


図-7 断面流速分布 (ケース 2)

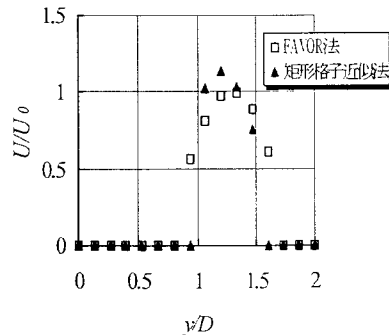


図-8 断面流速分布 (ケース 3)