

多孔質を過ぎる流れのシミュレーション

Simulation of flow through a porous medium

秦 義則, 三機工業(株), 神奈川県大和市下鶴間 1742-7, yoshinori_hata@eng.sanki.co.jp
 桑原 邦郎, 宇宙科学研究所, 神奈川県相模原市, kuwahara@pub.isas.ac.jp
 Yoshinori Hata, Sanki Engineering Co., Ltd., 1742-7 Shimotsuruma, Yamato, Kanagawa
 Kunio Kuwahara, Institute of Space and Astronautical Science, 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara, Kanagawa

<Abstract> This article describes the simulation of flow through a porous medium by which the filter, the perforated plate, and the heat exchanger used in a clean room which is the semiconductor mass production facilities are imitated. The Navier-Stokes equations by which the pressure gradient term was improved were proposed. The validity of the equations was examined from the calculation result of a simple perforated plate. And, the possibility of the efficiency improvement of the calculation and the improvement of practical use was able to be confirmed by giving the assumption of homogenous to an arbitrary porous medium.

1. はじめに

半導体の量産施設であるクリーンルームに用いられるフィルタ、多孔板、熱交換器を模擬した多孔質を過ぎる流れは、場に大きな圧力損失が生じる。

従来、多孔質を過ぎる流れは、均質な構造の、または透過率が座標系によらない多孔質について調べられてきた。⁽¹⁾⁽²⁾しかし、多孔板や、熱交換器の隙間の流れには、ある一つの方向性があり、その空間的構造も均質とは言い難い。また、仮に、構造が細部に渡って複雑であり、通過流量と圧力損失の関係のみがわかっている、多孔質が及ぼす上流と下流の流れのパターンについて予測することは容易ではない。

構造が均質で、透過率が座標系によらない、これを等方性の多孔質と呼ぶと、そうでない非等方性の多孔質を過ぎる流れの方程式はまだ確立されていない。確立されれば、計算流体力学によって、複雑な形状を再現せずに予測できる可能性がある。そこで、まず第一階として一般化された基礎方程式を提案し、多孔板の計算結果から方程式の妥当性について調べることにした。続いて、上式を用いて等方性の近似を与えた場合の、計算の効率化と実用性の向上について考える。

2. 多孔質を過ぎる流れの数値計算

身近に観られる土中の流れでは、圧力勾配と流速の間は透過率を介して、線形で表現される。これは Darcy の法則としてよく知られる。⁽¹⁾⁽²⁾そして、変形しない多孔質に強制的に流体を流すと、 $Ud/v > 1$ では、その関係は非線形になってしまう。⁽²⁾⁽³⁾一方、多孔板の隙間の流れは、全体にある方向性がある。圧力勾配と流速の関係は同様に非線形である。しかし、透過率は等方では 0 次であっても、非等方では 2 次のテンソルとなることが予想される。以上より、Navier-Stokes 方程式の透過率を含む圧力勾配項を、簡単な多孔板の流れから調べる。そして、透過率に等方性の仮定を与えた場合の数値計算を行った。なお、計算手法は、文献⁽⁵⁾と同様である。

3. 計算結果

多孔板は文献⁽⁴⁾のものを参考に、孔径を代表寸法 d 、板厚を t として、レイノルズ数は $Re=1000$ 、 $t/d=0.144$ と 0.349 について計算した。透過率は板と主流のなす角度を $\theta = \pi/4, \pi/6, 5\pi/12, \pi/2$ の結果を連立させて求めた。以下に計算結果について述べる。透過率は、対称成分が非対称成分よりも顕著に大きくなる。これは、板が x_1 軸に垂直であることによる。板を厚くすると対称成分の値は大きくなる。これらの結果は多孔質の透過率が 2 次のテンソルで表現されることを示唆する。しかし、この透過率は未知数を 8 個含んでいる。従って、実用性を考えれば、直交等間隔格子で物体の位置が座標

軸に対し水平、垂直であるなら、非等方性であっても、等方で計算の方が効率的である。下に示す Fig.1 は透過率がスカラーの場合の非粘性 2 次元平行流についての計算結果である。線形、非線形項の透過率に 10^4 という値を代入し、厳密解の圧力と比較した。非線形項を安定して計算することが出来るものの、計算誤差については今後の課題としたい。

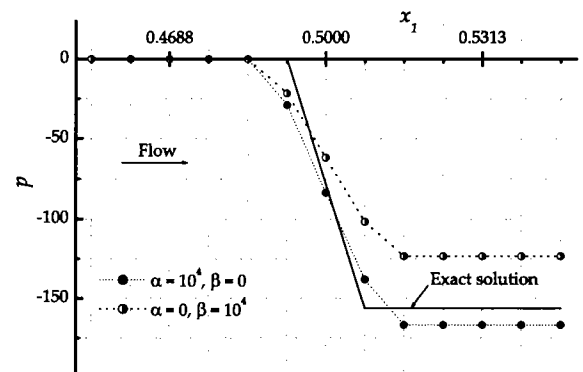


Fig. 1 Pressure distribution

6. おわりに

多孔質を過ぎる流れのシミュレーションを行い、以下のよう

- (1) 多孔質を過ぎる流れの一般化した方程式を提案し、簡単な多孔板の計算から、方程式の妥当性が示唆された。
- (2) 透過率に等方性の近似を与えると、計算時間の効率化と実用性の向上が可能であることが確認できた。

参考文献

- (1) Bachelor, G. K., "An introduction to fluid dynamics," Cambridge University Press, (1967), pp. 223-224.
- (2) Coulaud, O., Morel, P., and Caltagirone, J. P., "Numerical modeling of nonlinear effects in laminar flow through a porous medium," J. Fluid Mech., **190**(1988), pp. 393-407.
- (3) Chwang, A. T., and Chan, A. T., "Interaction between porous media and wave motion," Annu. Rev. Fluid Mech., **30**(1998), pp. 53-84.
- (4) 門, 藤原, 細川, "多孔板の抵抗特性," 日本機学会論文集(B編), **50**(1984), 455, pp. 1812-1815.
- (5) Kuwahara, K., "Unsteady flow simulation and its visualization," 30th AIAA Fluid Dynamics Conf. (1999), 99-3405.