

目次

CHAPTER 0

第 1 章	序章	3
1.1	流れ学第 1 の復習	3
第 2 章	流れの解析・次元解析	7
2.1	解析・可視化	7
2.2	次元解析	8
第 3 章	円管流れと温度場	9
3.1	流れの速度分布	9
3.2	流れの温度分布	10
索引		11

序章

CHAPTER 1

1.1 流れ学第 1 の復習

流れ学第 1 との違い

流れ学第 1 では主に, 質量・運動量・角運動量・エネルギーの保存則を用いて流体の最も基本的な振る舞いについて勉強しました. 流れ学第 2 では, NS 方程式をはじめとして主に微分方程式を支配方程式として流体の運動を記述していくことになります. 加えて流体による熱の輸送や, 境界層について, さらにテンソル表記による流体解析についてもまなんでいきます.

流体の性質と運動方程式

流体力学の, 他の力学との相違

流体力学は連続体の力学の一種ですが, 連続体には材料力学のように固体の場合と, 流体力学の液体の場合があります. 個体の場合は, 一例ですと, 以下に代表される **フックの法則**

$$F = k\Delta x \quad (1.1)$$

といった、変位に応じた力が記述されますが、流体の場合は機械力学で出てきたオイルダンパと同様に

$$F = c \frac{dx}{dt} \quad (1.2)$$

となり、速度に応じた、いわゆる粘性抵抗¹が働きます、

ニュートンの粘性法則

流体中に、速度 $u(y)$ で動いている分子が衝突する際の運動量交換について調べてみます。基準点と、基準点から分子運動の平均行程 λ だけ離れた点の、質量 m の分子の運動量変化は

$$\Delta M = m(u(0) - u(\lambda)). \quad (1.3)$$

ここで $u(-\lambda)$ を $(-\lambda)$ 周りにテーラー展開¹します：

$$u(-\lambda) = u(0) - \lambda \frac{du}{dy} + O(\varepsilon^2) \quad (1.4)$$

$$\approx u(0) - \lambda \frac{du}{dy}. \quad (1.5)$$

式(1.3)に式(1.5)を代入して

$$\Delta M = -m\lambda \frac{du}{dy} \quad (1.6)$$

が成り立ちます。ここで、流体に加わるせん断応力 τ は、分子の数密度・運動量変化・その点での分子の平均速度に比例します：

$$\tau \propto \Delta M N \bar{u}_m \quad (1.7)$$

$$= m\lambda N \bar{u}_m \frac{du}{dy} \quad (1.8)$$

ここで、流体密度 $\rho = mN$ より、

$$\tau \propto \rho \lambda \bar{u}_m \frac{du}{dy} \quad (1.9)$$

が成り立っており、分子の平均速度をエネルギー等配分の法則に基づいて計算すると、

$$\tau = \underbrace{\frac{\rho \lambda \bar{u}_m}{3}}_{\mu=\text{粘性係数}} \frac{du}{dy} \quad (1.10)$$

が成り立つことが知られています。このようなアプローチで流体中のせん断応力が速度勾配に比例するという性質、すなわちニュートンの粘性法則²を導くことができます。また、このような性質を持つ流体はニュートン流体と呼ばれています。

¹ $f(x + \varepsilon) = f(x) + f'(x)\varepsilon + f''(x)\frac{\varepsilon^2}{2!} \dots$

NS 方程式

NS 方程式は, 流れ学第 1 において, 微小体積を出入りする運動量の変化を計算することで導出できました. 体積に加わる応力を導出する際に天下りがありましたが, 流れ学第 2 では, テンソル表記を用いて詳しく導出することになります. 従来の NS 方程式導出の手順は, 流れ学第 1 の解説本 xx ページから xx ページまでを参照してください.

流れの解析・次元解析

CHAPTER 2

流速や流線などを観測するために、様々な機械や手法が用いられています。流体の乱流や層流といった流れの状態や、流れる流体の種類組み合わせは様々ですが、数ある組み合わせに対してある程度流れを予測するために次元解析が用いられます。

2.1 解析・可視化

■ 点計測の例

ピトー管

ピトー管という機器について知っている人は多いと思いますが、実際の動作原理をもう一度復習しておきます。

レーザードップラー流速計

■ 流れの可視化

2.2 次元解析

■ 力学的相似

NS 方程式の無次元化

ストローハル数

■ バッキンガムの π 定理

■ 流路損失

円管流れと温度場

CHAPTER 3

3.1 流れの速度分布

■ 平行平板間層流

バルク平均流速

■ 円管内層流

せん断応力・圧力勾配に基づいた速度分布の導出

バルク平均流速

円管内層流の摩擦係数

3.2 流れの温度分布

■ 等熱流束壁

■ 無次元温度・ヌセルト数



索引

CHAPTER 3

な

ナビエ・ストークス方程式.....3

に

ニュートンの粘性法則.....4

ニュートン流体.....4