

流体の力学 基礎編

目 次

1. 流体の特性とその取り扱い方
 - 1.1 流体と流体の力学
 - 流体とは
 - 流体の力学, 流体力学, 流体力学, 水力学
 - 連続体近似, 流体粒子, 流れの場
 - 1.2 流体の密度, 比重, 比体積
 - 1.3 粘性流体と非粘性流体
 - 粘性, 粘度, 動粘度
 - せん断応力, ニュートンの粘性の法則 (クエット流れを用いて説明)
 - 1.4 圧縮性流体と非圧縮性流体
 - 圧縮性, 圧縮率, 体積弾性係数
 - 1.5 実在流体と理想流体
 - 理想流体 (完全流体)
 - 水, 空気の物性値 (密度, 粘度, 動粘度, 圧縮率)
 - 1.6 ニュートン流体と非ニュートン流体
 - 1.7 **表面張力**
- 第 1 章 演習問題
2. 静止流体の力学
 - 2.1 流体に働く力と応力
 - 外力, 内力, 表面力, 体積力
 - 応力ベクトル, 法線応力ベクトル, 接線応力ベクトル
 - 2.2 圧力とその特性
 - 圧力とは
 - 圧力の等方性
 - パスカルの原理 (圧力の伝達)
 - 圧力の表示
 - 圧力の単位 (Pa, kgf/cm², mmHg, mAq, atm)
 - 絶対圧とゲージ圧, 標準大気圧, 負圧
 - 圧力の計測, マノメータ, ブルドン管圧力計

2.3 重力場にある静止流体

液体の深さと圧力の関係（静水圧）

アルキメデスの原理（浮力）

平面壁に及ぼす液体の力

曲面壁に及ぼす液体の力

2.4 相対的静止状態における力学

静止流体力学の基礎式

等圧面と力線

相対的静止状態における運動

ダランベールの原理

直線運動，回転運動

第2章 演習問題

3. 流れとそれを表す方法

4. ベルヌーイの定理

5. 管路の諸損失と管路系内の流れ

6. 管内の流れ

7. 理想流体の力学



簡潔編を参照

8. 運動量の法則

曲管の壁面に作用する噴流の力 固定平板に衝突する噴流の力

垂直に衝突 斜めに衝突 移動する平板に衝突する場合

曲面板に衝突する噴流の力

曲面板が固定 曲面板が移動している場合

ペルトン水車に作用する力 ジェットによる推進

ジェット機の推力 ロケットの推力

演習問題（完全解答付き）

9. 次元解析と相似則

次元解析

・ロード・レイリー法 ・ Buckingham の π 定理の方法

相似則

演習問題（完全解答付き）

10. 境界層と物体まわりの流れ

10.1 境界層の概念

層流境界層と乱流境界層

層流から乱流への遷移, 遷移レイノルズ数

境界層の剥離

10.2 境界層の特性量

境界層厚さ, 排除厚さ, 運動量厚さ

10.3 平板に沿う境界層の運動量積分方程式

10.4 平板に沿う層流境界層

摩擦抵抗, 摩擦抗力係数

10.5 平板に沿う乱流境界層

摩擦抵抗, 摩擦抗力係数

乱流境界層の構造

10.6 遷移を伴う平板の摩擦抵抗

10.7 物体にはたらく流体力

抗力, 揚力, 抗力係数, 揚力係数

10.8 円柱まわりの流れ

Re 数とフローパターン, 圧力係数

抗力係数, 臨界レイノルズ数

カルマンの渦列

10.9 球のまわりの流れ

圧力分布

抗力係数, 臨界レイノルズ数

10.10 種々の物体にはたらく流体力

種々の物体の抗力係数

第10章 演習問題

流体の力学 基礎編

1. 流体の特性とその取り扱い方

- 1.1 流体と流体の力学 (流体とは 流体粒子)
- 1.2 流体の密度, 比重, 比体積
- 1.3 粘性流体と非粘性流体
 - 粘性 粘度 動粘度
 - せん断応力 ニュートンの粘性の法則 クエット流れ
- 1.4 圧縮性流体と非圧縮性流体
 - 圧縮性 圧縮率 体積弾性係数
- 1.5 実在流体と理想流体 (完全流体)
 - 水, 空気の物性値 (密度, 年度, 動粘度, 圧縮率)
- 1.6 ニュートン流体と非ニュートン流体
- 1.7 表面張力

1. 流体の特性とその取り扱い方

1.1 流体と流体の力学

純粋な物質は, **固体** (solid), **液体** (liquid), **気体** (gas) の三態に分類され, このうち水のような液体と空気のような気体は, 一般的に**流体** (fluid) と呼ばれている。流体は分子より構成されているが, 工学的に取り扱う場合には, 流体分子の運動は流体全体の運動に比較して遙かに小さいので, 分子レベルの微視的な運動は無視でき, 流体を**連続体** (continuum) とした物質として取り扱ってよい。このとき流体運動の最小単位と考えられる流体の微小部分を**流体粒子** (fluid particle) という。通常, 流体と固体は, それらを構成する分子の相互の距離と分子運動との違いにより区別される。

空気, 水, 油などの流体は, 我々の生活や工業製品の生産に不可欠のものである。このような流体の動きを**流れ** (flow) と呼び, 昔より学問, 研究の対象とされてきた。例えば, 灌漑用水路の流れ, 河川, 港湾内の流れ, 上下水道や種々管路内の流れ, さらに大気や海洋の流れなどがある。近年, 環境問題やエネルギー問題の観点よりプラント高圧配管内の流れの解明, 飛行機, 新幹線などのような高速交通機関のまわりの流れを解明することが性能向上と関連して重要となっている。鳥が空を飛び, 魚が水中を自由に泳ぐことができるのは, 流体の中を動き回るのに適した無駄のない, 究極の美しい形状をなしているからで, これらの生物の形状や周囲の流れのようすは, 高速交通機関などの設計に応用されている。さらに人体内の血液の流れや関節液の流れ, また, 野球や

サッカーのボールまわりの流れ，スキージャンパーや水泳選手の人体まわりの流れなどを知ることも大切で，記録更新と関連して興味深い問題である。このように流体の流れは人類が誕生して以来，今日まで我々の身の回りの生活だけでなく，機械工学，宇宙工学，航空工学，土木工学，建築学，化学工学，医学，スポーツ界など多岐の分野にわたって非常に密接に関わりをもっている。

流体の力学 (fluid mechanics) は，流体の流れの運動を力学的に取り扱う学問であり，古くから**水力学** (hydraulics) と**流体力学** (fluid dynamics) に大別される。水力学は，経験，実験に基づいて確立された基礎的な学問であり，**静水力学** (hydrostatics) と**動水力学** (hydrodynamics) との二つに分類される。前者は流体の静的な釣り合いを，後者はかなり遅れて水の運動の力学を取り扱ったものである。したがって，水力学は，実在する水や空気などの流体を連続体として巨視的に捉えて，**流れ場** (flow field) を明確にしたもので，工学的な問題を解決する上で大切である。一方，流体力学は，流体を微視的に流体粒子として捉え，数学的，理論的に確立した学問であるが，近年，研究，技術の進展に伴ってその差異はしだいになくなってきた。なお，理論的に体系づけられた流体力学では，粘性や圧縮性を考慮しない理想的な**理想流体** (ideal fluid) ，粘性を考慮した実在する**粘性流体** (viscous fluid) ，および圧縮性を考慮した**圧縮性流体** (compressible fluid) について取り扱われている。

1.2 流体の密度，比重，比体積

流体の単位体積当たりの**質量** (mass) を**密度** (density) といい， ρ で表す。**国際単位系** (le système international d'unités, 世界共通の略称:SI*)で密度の単位は kg/m^3 である。

標準気圧 (101.3kPa) ， 4°C の水の密度は ρ_w

$$\rho_w = 1000\text{kg}/\text{m}^3$$

である。また，標準気圧 (101.3kPa) ， 15°C における標準状態の乾燥空気の密度は

$$\rho = 1.226 \text{ kg}/\text{m}^3 \doteq 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$$

である。

流体の密度 ρ と 4°C における水の密度の比 ρ_w を**比重** s (specific gravity) といい

$$s = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (1.1)$$

で表す。

密度の逆数を**比体積** ν (specific volume) といい

$$\nu = \frac{1}{\rho} \quad (1.2)$$

で表す。

気体の場合には、圧縮されやすく、圧力や温度によってその体積は著しく変化する。いま、**完全気体** (perfect gas) の絶対圧力を p 、**絶対温度** (absolute temperature) を T 、**気体定数** (gas constant) を R とすると、完全気体の**状態方程式** (equation of state) は

$$p\nu = RT, \quad p/\rho = RT \quad (1.3)$$

である。

【例題 1.1】 温度 4°C 、体積 $V = 1\text{ m}^3$ の水の質量 m 、比重 s および重力の場における力 $W(\text{kN}^*)$ を求めよ。

【解】 密度 ρ は、体積 V と質量 m との間に

$$\rho = m/V$$

の関係がある。水の質量 m は、水の密度 $\rho_w = 1000\text{ kg/m}^3$ であるから

$$m = \rho_w V = 1000 (\text{kg/m}^3) \times 1 (\text{m}^3) = 1000\text{ kg}$$

比重 s は、式(1.1)より

$$s = \rho / \rho_w = 1000/1000 = 1$$

力 W は、質量 m に作用する重力 g による力であるから

$$W = mg = 1000 (\text{kg}) \times 9.8 (\text{m/s}^2) = 9.8 \times 10^3 \text{ kgm/s}^2 = 9.8\text{ kN}$$

となる。なお、重量単位系では、 1000 kgf となる。

【例題 1.2】 温度 40°C 、圧力 101.325kPa の窒素 (N_2) の密度 ρ および比体積 ν を求めよ。ただし、窒素の気体定数 $R = 296\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})^{***}$ とする。

【解】 密度 ρ は式(1.3)より

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{101.325 \times 10^3 (\text{Pa})}{296 (\text{J}/(\text{kgK})) \times (273.15 + 40) (\text{K})} = 1.093\text{ kg/m}^3$$

比体積 ν は式(1.2)より

$$\nu = \frac{1}{\rho} = 0.9148\text{ m}^3/\text{kg}$$

.....

[脚注]

* $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$

** $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2=1\text{kg}\cdot\text{m}/(\text{s}^2\cdot\text{m}^2)=1\text{kg}/\text{s}^2\text{m}$

*** $1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}=1(\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2)\text{m}=1\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$

1.3 粘性流体と非粘性流体

水、空気、油などの実在する粘性流体中に置かれた物体は、流体から力、すなわち抵抗を受ける。また、容器内の水の回転運動は、互いに接する流体部分に相対速度があるために、時間とともに静止しようとする性質がある。このような流体の性質を**粘性** (viscosity) と呼ぶ。容器内を回転している水と油では、経験的に油の方が早く静止してしまうことを知っているが、これは、水と油の粘性の大きさの違いによるものである。このような粘性の大きさの程度を**粘度** (viscosity) と呼び、油は水よりも粘度が高い、または粘度が大きいという。

ここで、図 1.1 に示すように、2枚の平行な平板間に流体が満たされている場合の流体の粘性について考えてみよう。

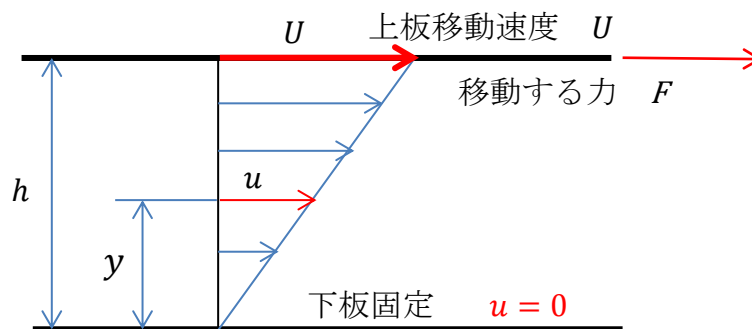


図 1.1 平行平板間の流れ

2枚の平板間の距離 h は小さく、下板は固定され、上板は速度 U で移動するとしよう。流体は固体表面に付着する性質を持っているので、上板の表面では壁面に付着して上板と同じ速度 U で右方向に移動し、下板では、速度ゼロである。すなわち、下板からの距離 y での速度を u とすると

$$y=0 : u=0$$

$$y=h : u=U \tag{1.4}$$

となり、これは**すべりなしの条件** (non-slip condition) といわれる。なお、(1.4) 式が成立するような平行流れを**単純クエット流れ** (Couette flow) といひ、速度分布の形状は、直線状に変化するものと仮定すると

$$u=Uy/h \tag{1.5}$$

が成立する。

いま、上板を速度 U で移動させるためには、力 F が必要である。この力 F は、上板の面積 A と速度 U に比例し、距離 h が小さいときには、 h に反比例する。このときの比例定数を μ とすると

$$F = \mu A \cdot U/h \quad (1.6)$$

平板に作用する単位面積当たりの接線力、すなわちせん断応力 τ (shear stress) は

$$\begin{aligned} \tau &= F/A \\ &= \mu U/h = \mu u/y \end{aligned} \quad (1.7)$$

また、流れ場の速度こう配が直線状でなく、図 1.2 に示すように徐々に変化する速度こう配をなしている場合には、隣接する二つの流体層の間に働くせん断応力は

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.8)$$

で表される。

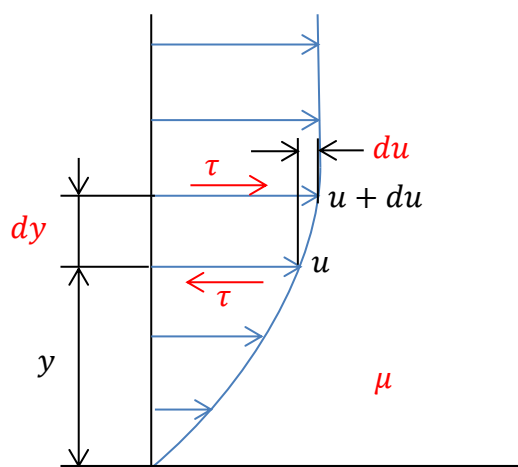


図 1.2 速度こう配をもつ流れ

このせん断応力は、任意の面に作用する**表面力** (surface force) であり、隣接する互いの面で大きさが等しく逆向きの方向に作用する。式 (1.7), (1.8) の U/h , u/y , あるいは du/dy を**速度こう配** (velocity gradient), また、比例定数 μ を流体の**粘度** (viscosity), あるいは**粘性係数** (coefficient of viscosity) という。

粘度 μ の単位は、SI 単位では

$$\mu = \frac{\tau y}{u} = \frac{(\text{N/m}^2) \text{m}}{\text{m/s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

である。なお、工学単位では、 $\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ であり、従来用いられてきた絶対単位の CGS 単位系 $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ もなお広く用いられ、ポアズ (poise) P と呼ばれている。

工学単位と SI 単位との間には

$$1 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 9.80665 \times \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 9.80665 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

絶対単位と SI 単位との間には

$$1 \text{P (ポアズ)} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} = \frac{1}{10} \times \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2} = \frac{1}{10} \times \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \frac{1}{10} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

の関係がある。

なお、流体の力学では、粘度 μ を密度 ρ で除した

$$\nu = \mu / \rho \quad (1.9)$$

を用いるのが便利であり、この ν を **動粘度** (kinematic viscosity) , または **動**

粘性係数 (coefficient of kinematic viscosity) という。

動粘度 ν の単位は、SI 単位では

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{m}^3} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{s}^2 \text{m}^2 \text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

である。なお、工学単位では、SI 単位と同じ m^2/s である。絶対単位の CGS 単位系では cm^2/s であり、これをストークス (stokes) St と呼び、なお広く用いられている。

なお、一般的には、流体は実在する粘性流体と仮想的な粘性のない $\mu = 0$ の **非粘性流体** (inviscid fluid) に分けられる。この非粘性流体については、後の章で述べる。

【例題 1.3】 ある油の比重が 0.83、動粘度が $1.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ であるとき、この油の密度 ρ と粘度 μ を求めよ。

【解】 式(1.1)より、密度 ρ は

$$\rho = s \cdot \rho_w = 0.83 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$$

である。粘度 μ は、式(1.9)より

$$\mu = \nu \rho = 1.4 \times 10^{-4} \times 0.83 \times 10^3 = 0.1162 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

である。

【例題 1.4】 ある液体の粘度が 1.7 センチポアズ (centi Poise cP) であるとき、これを SI 単位と工学単位に換算せよ。

【解】 $1\text{cP}=0.01\text{P}$ であるから、 $1.7\text{cP}=0.017\text{P}$ である。

SI 単位では、 $1\text{P}=0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ であるから

$$0.017\text{P}=1.7\times 10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s}$$

工学単位では、 $1\text{P}=1/98\text{ kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ であるから

$$0.017\text{P}=1.7\times 10^{-3}\times \frac{1\text{ kgf}\cdot\text{s}}{98\text{ m}^2}=1.73\times 10^{-5}\frac{\text{kgf}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$$

となる。

1.4 圧縮性流体と非圧縮性流体

一般に流体に作用する圧力が增大すると流体は圧縮され、その体積は減少する。このような流体の性質を**圧縮性** (compressibility) といい、液体よりも気体のほうが圧縮性は著しい。一方、圧縮されやすい気体は**圧縮性流体** (compressible fluid) といい、これに対して圧縮されにくい液体は、一般的に**非圧縮性流体** (incompressible fluid) と呼ばれている。しかし、気体でも圧力変化が小さく流速の低い流れでは、圧縮性を考慮する必要はなく、非圧縮性流体としてよい。また、液体でもかなりの高圧の場合には、圧縮性を考慮する必要があり、圧縮性流体として取り扱わなければならない場合が生じる。

いま体積 V 、圧力 p の流体があるとし、この流体に作用する圧力が Δp だけ増加したとき、流体の体積が $-\Delta V$ だけ減少 (体積の増加を正) したとする。このときの流体の体積減少 $-\Delta V/V$ と圧力増加 Δp の割合は

$$\beta = -\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1.10)$$

で表される。この β を流体の**圧縮率** (compressibility) という。圧縮率の逆数を**体積弾性係数** (bulk modulus) といい

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1.11)$$

で表される。圧縮性の程度を表すには、圧縮率の方が便利である。

【例題 1.5】 温度 20 ° C, 体積 2 m³ の水がある。これに 5 MPa の圧力を加えたときの体積を求めよ。

【解】 表 1.1 より, 温度 20 ° C の圧縮率は $\beta = 4.608 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ である。水の体積増加 ΔV は, 式(1.10)より

$$\begin{aligned}\Delta V &= -\beta V \Delta p \\ &= -4.608 \times 10^{-10} (\text{Pa}^{-1}) \times 2 (\text{m}^3) \times 5 \times 10^6 (\text{Pa}) \\ &= -4.608 \times 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

したがって, 求める体積 V' は

$$\begin{aligned}V' &= V + \Delta V \\ &= 2 - 4.608 \times 10^{-3} \\ &= 1.995 \text{ m}^3\end{aligned}$$

【例題 1.6】 ある液体に 880kPa の圧力を加えたところ, 0.038% の体積減少が生じた。この液体の圧縮率を求めよ。

【解】 式(1.10)において, 題意より, $\Delta V/V = -0.038\% = -0.00038$ であるから

$$\beta = -\frac{\Delta V}{V \Delta p} = -\frac{-0.00038}{880 \times 10^3 (\text{Pa})} = 4.318 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$$

表 1.1, 1.2 に, それぞれ標準気圧における水と空気の物性値を示す。また, 表 1.3, 1.4 に, それぞれ標準気圧における各種液体の比重と各種気体の気体定数を示す。

表1.1 標準気圧 (101.3kPa) における水の密度, 粘度, 動粘度, 圧縮率

温度 (°C)	密度 (10 ³ kg/m ³)	粘度 (10 ⁻³ Pa·s)	動粘度 (10 ⁻⁶ m ² /s)	圧縮率 (10 ⁻¹⁰ Pa ⁻¹)
0	0.99989	1.792	1.792	5.051
10	0.99969	1.307	1.307	4.760
20	0.99822	1.002	1.004	4.608
30	0.99567	0.797	0.801	4.444
40	0.99224	0.653	0.658	4.386
50	0.98802	0.548	0.554	4.367

1.5 実在流体と理想流体

実在する水，空気，油などの流体はすべて粘性を有しており，粘性によって流体中に置かれた物体には抗力が作用し，物体まわりの流れは境界層や渦を伴う複雑な流れとなる。また，管内の流れや流体機械内の流れは，粘性によって圧力損失を伴った流れとなる。実在するこれらの流体，すなわち**実在流体** (real fluid) の流れの解明が，古くから実験，経験的に学問として体型づけられ，今日の技術の基礎を築いてきた。一方，粘性や圧縮性のない流体を**理想流体** (ideal fluid) ，あるいは**完全流体** (perfect fluid) と呼ぶ。翼まわりの理想流体の理論的な流れの解明は，今日の航空機の発展に大きく寄与している。しかし，実在の流体であっても，物体近傍に形成される境界層の外側の流れは，理想流体の流れとして取り扱っても差し支えない。

表1.2 標準気圧 (101.3kPa) における乾燥空気の密度，粘度，動粘度，圧縮率

温度 (°C)	密度 (kg/m ³)	粘度 (10 ⁻⁵ Pa·s)	動粘度 (10 ⁻⁵ m ² /s)	圧縮率* (10 ⁻⁶ Pa ⁻¹)
-10	1.342	1.673	1.247	7.051
0	1.293	1.724	1.333	7.051
10	1.247	1.772	1.421	7.051
20	1.205	1.822	1.512	7.051
30	1.165	1.869	1.604	7.051
40	1.128	1.915	1.698	7.051

* 等エントロピー圧縮(膨張)における値。圧力変化に対する体積変化の仮定がエントロピー変化を伴うとき(等温変化, ポリトロップ変化等)は，圧縮率の値は上記と異なる。

1.6 ニュートン流体と非ニュートン流体

式 (1.7) は，**ニュートンの粘性法則** (Newtonian's law of viscosity) と呼ばれ，この式が成立するような流体を**ニュートン流体** (Newtonian fluid) という。通常，日常的に使用している水，空気，油など，多くの流体は，ニュートン流体として扱うことができる。なお，流体の中には，濃い泥水，パルプ液，油絵の具，流動状のビニールなど，ニュートンの粘性法則に従わないものも多くみられる。この法則に従わない流体を総称して，**非ニュートン流体** (non-Newtonian fluid) と呼ぶ。ニュートン流体と非ニュートン流体に対するせん断応力 τ と速度こう配 du/dy の関係を**流動曲線**といい，これを図 1.3 に示す。

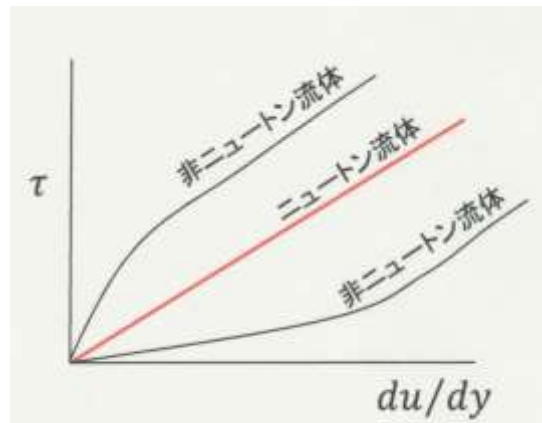


図 1.3 ニュートン流体と非ニュートン流体の

ニュートン流体における粘度 μ は、温度と圧力のみ依存し、温度と圧力が一定の時には、 μ は一定値となるので、せん断応力と速度こう配は比例関係にある。非ニュートン流体では、温度、圧力のほかせん断応力 τ や速度こう配 du/dy のなどにも影響し、 μ は一定値とならないので τ と du/dy は比例関係にない。パルプ液、高分子溶液、ガラスの融液、油絵の具を**擬塑性流体** (pseudo-plastic fluid)、フックの法則に従って流動を開始するようなアスファルトや粘土泥しよを**ビンガム流体** (Bingham fluid)、また、砂と水の混合物を**ダイラタント流体** (dilatant fluid) といい、非ニュートン流体として取り扱われ、ニュートン流体と区別されている。これらの流体の流動状況を取り扱う学問を**レオロジー** (rheology) という。本書では、主としてニュートン流体を対象としている。

1.7 表面張力

木の葉や雨傘の上の水滴、さらに器に満たされた水の表面に見られるように、空気中に触れている液体の表面は、収縮しようとする性質があることに気づく。このような液体の性質は、液体内部と液体表面上での分子間引力の違いに基づくものである。すなわち、液体内部における分子は分子相互間の**凝集力** (cohesion) によって互いに等しい引力を受け、平衡状態を維持する。しかし、液体の表面の分子は、下方に向かう分子引力の影響を受けるために、液体の自由表面は弾力性の膜を張ったように収縮しようとする傾向を示す。このような膜を形成する張力を**表面張力** (surface tension) と呼び、 σ で表す。表面張力 σ は、液面上の曲面の一部を ds とし、液表面に沿ってこの ds の部に垂直に作用する力を dF とすると

$$\sigma = \frac{dF}{ds} \quad (1.12)$$

で表される。単位は、N/m である。表面張力は、相接する 2 流体の種類と温度によって異なる。

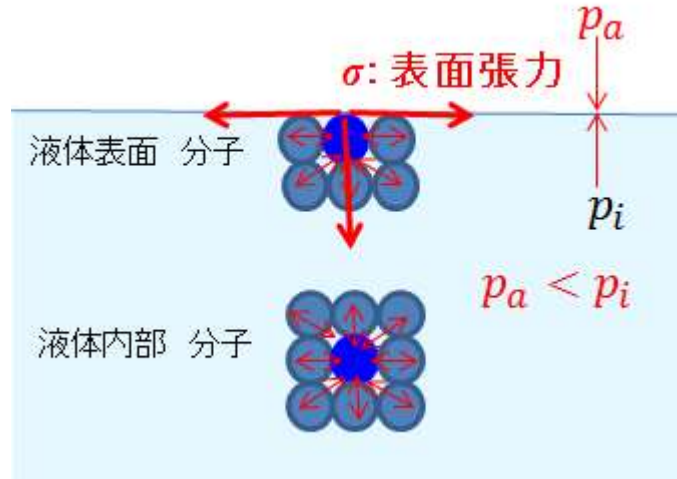


図 1.4 に示すように、水中にガラス管を立てると、ガラス管内の水面は外側の水面よりも高くなり、これが水銀の場合には逆に低くなる。これは液体の管壁への**付着力** (adhesion) と凝集力の違いによるものであり、水の場合には付着力が凝集力よりも大きく、水銀では付着力が小さいことによるものである。このような現象を**毛管現象** (capillarity) という。したがって、ガラス管の液面の水位によって圧力を測定するときには毛管現象が影響するので、その補正が必要となる。

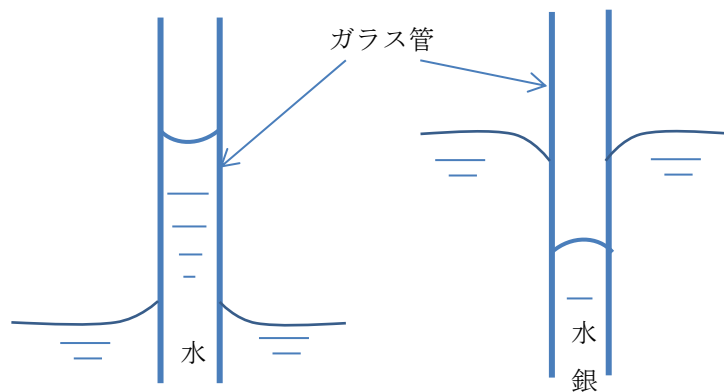


図 1.4 毛管現象