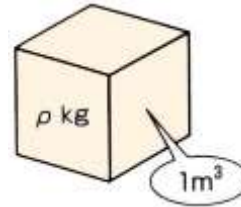


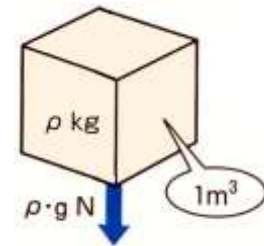
1.3 密度、単位体積あたりの重量 (比重量)、比体積および比重(p3)

ポイント: 物体の量を表す密度に関する用語を理解する

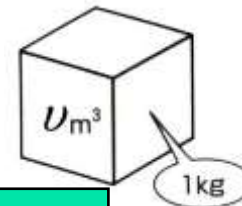
密度: $\rho = \frac{\text{質量: } m}{\text{体積: } V} [kg / m^3]$



比重量: $\gamma = \frac{\text{重量: } W}{\text{体積: } V} = \frac{mg}{V} = \rho g [N / m^3] \quad (1.4)$



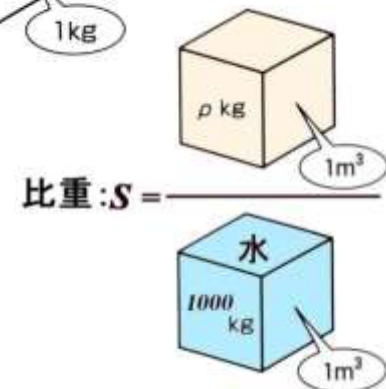
比体積: $v = \frac{\text{体積: } V}{\text{質量: } m} = \frac{1}{\rho} [m^3 / kg] \quad (1.7)$



比重: $s = \frac{\text{物体の密度: } \rho}{\text{水の密度: } \rho_w} = \frac{\rho}{1000} \quad (1.8)$

単位なし

$\therefore \text{物体の密度: } \rho = s \times 10^3 [kg / m^3]$



各種液体の密度および比重

液 体	密度 ρ kg/m ³	比重 s
水 (4°C)	1000	1.0
エチルアルコール	794	0.794
海 水	1010～1050	1.01～1.05
ガソリン	660～750	0.66～0.75

水の密度: $\rho_w = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 = 1 \text{ kg} / \text{L} = 1 \text{ g} / \text{cm}^3$

空気の密度: $\rho_a = 1.2 \text{ kg} / \text{m}^3 = 1.2 \text{ g} / \text{L}$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

〔練習問題 2〕

(a) 軟鋼の質量を測定したところ $m = 1.31 \times 10^3 \text{ kg}$ であった。
軟鋼の密度 $\rho = 7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ として、容積を求めよ。

$$\text{〔解〕 密度: } \rho = \frac{\text{質量: } m}{\text{容積: } V} \rightarrow \text{容積: } V = \frac{m}{\rho}$$

$$\therefore V = \frac{1.31 \times 10^3}{7.86 \times 10^3} = 0.167 [\text{m}^3]$$

(b) ガソリントankの容量が60Lである。
ガソリンの比重 $s = 0.70$ として、質量を求めよ。

$$\text{〔解〕 ガソリン比重: } s = \frac{\text{ガソリンの密度: } \rho}{\text{水の密度: } \rho_w} = \frac{\rho}{1000}$$

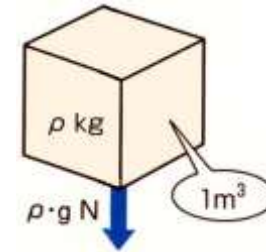
$$\rho = s \times 10^3 = 0.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3, 60 \text{ L} = 60 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 0.70 \times 10^3 \times 60 \times 10^{-3} = 42 [\text{kg}]$$

[例題1(p5)]アルコール18Lの重量が140Nであるとき,このアルコールの単位体積あたりの重量(比重量),密度,比体積,および比重を求めよ.

[解] 単位体積あたりの重量(比重量) γ

$$\text{比重量: } \gamma = \frac{\text{重量: } W}{\text{体積: } V} = \frac{mg}{V} = \rho g [N/m^3]$$

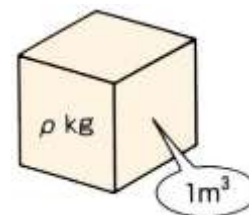


$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{140}{18 \times 10^{-3}} = 7.78 \times 10^3 [N/m^3] = 7.78 [kN/m^3]$$

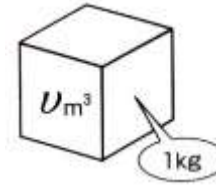
$$\therefore 1m^3 = 1000L \rightarrow 1L = 10^{-3}m^3$$

$$\text{密度 } \rho \text{ は } \gamma = \rho g \rightarrow \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{7.78 \times 10^3}{9.8} = 794 [kg/m^3]$$

$$\text{密度: } \rho = \frac{\text{質量: } m}{\text{体積: } V} [kg/m^3]$$

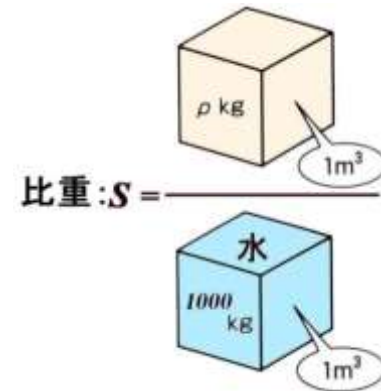


$$\text{比体積: } \nu = \frac{\text{体積: } V}{\text{質量: } m} = \frac{1}{\rho} [m^3 / kg]$$



$$\text{比体積: } \nu \quad \nu = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{794} = 1.26 \times 10^{-3} [m^3 / kg] = 1.26 [L / kg]$$

$$\text{比 重: } s = \frac{\text{物体の密度: } \rho}{\text{水の密度: } \rho_w} = \frac{\rho}{1000}$$

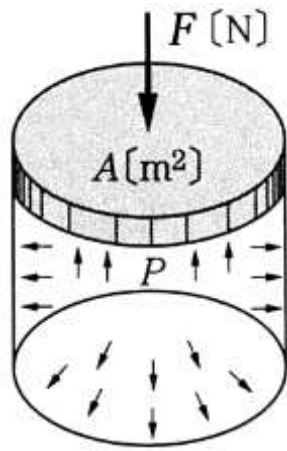


$$\text{比重: } s \quad s = \frac{\rho_{al}}{\rho_w} = \frac{794}{1000} = 0.794$$

1.4 完全気体の性質 (p6) 省略

1.5 圧縮率と体積弾性係数 (p7)

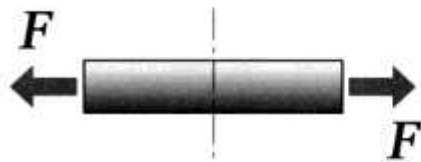
ポイント: 圧力を受ける流体の変化を考える



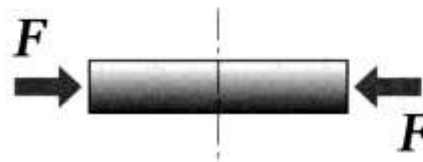
単位面積あたりに働く力を圧力といい、
単位にはパスカル: Pa が用いられる

$$p = \frac{F}{A} [N / m^2]$$

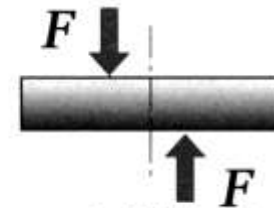
└→ この単位を Pa で表す



引張応力



圧縮応力



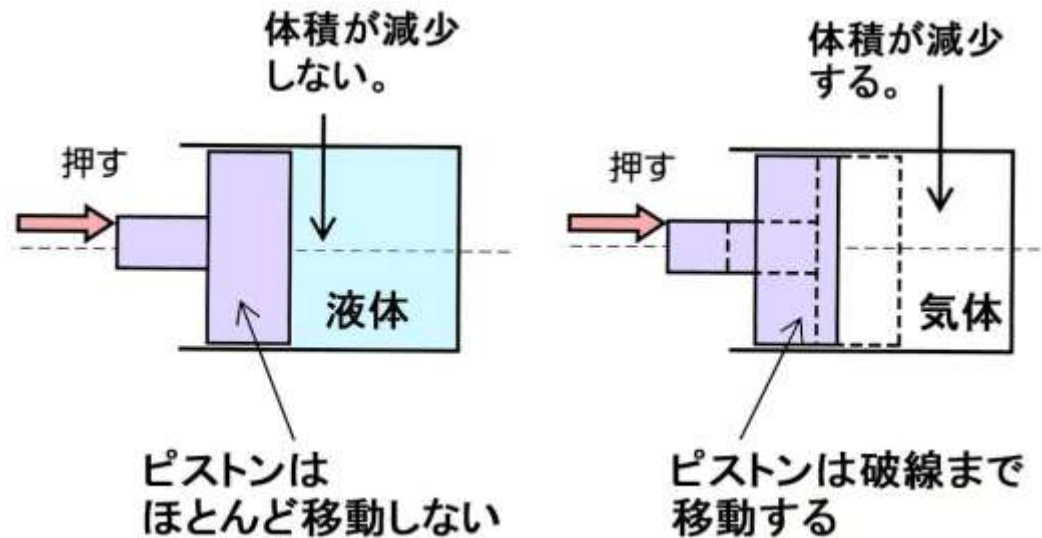
せん断応力

(引張・圧縮) 応力: $\sigma = F / A$, せん断応力: $\tau = F / A$

シグマ

タウ

流体の圧縮性

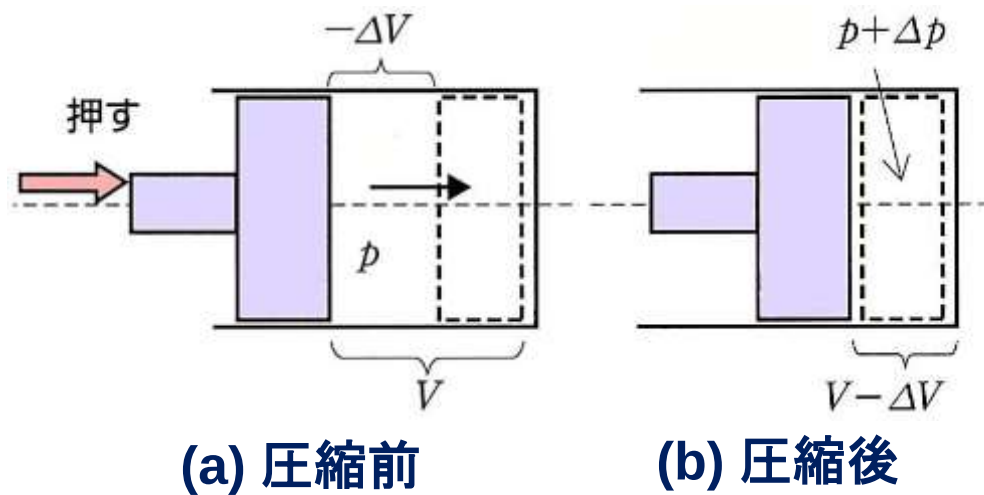


(a) 圧縮性が小さい

(b) 圧縮性が大きい

水(液体)と空気(気体)のピストンを同じ力で押し込んだ場合、空気のピストンの方が動きやすく空気の体積は減少するが、水の体積は、ほとんど減少しない。

このように、空気の方が圧縮されやすいので圧縮性が大きいという。



ΔV および Δp などの Δ が付いた量は微小量とする。 Δ が付いた量の符号が正の場合はその量の増加、負の場合は減少を表す。

最初シリンダー内の体 積が V ,圧力が p であった。

ピストンを押し,体積が $\Delta V (< 0)$ 減少し,圧力は $\Delta p (> 0)$ 増加した。

$$\text{圧縮率 } \kappa = -\frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta p} \quad [m^2 / N] \quad (1.11)$$

$\Delta V / V$ を体積ひずみといい、

圧縮率が大きいほど圧 縮されにやすい。完全 流体においては $\Delta V = 0$ なので、 $\kappa = 0$ (非圧縮性流体) になる。

圧縮率 κ の逆数を体積弾性係数 K と呼ばれ、

$$\text{体積弾性係数 } K = \frac{1}{\kappa} = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad [N / m^2 = \text{Pa}] \quad (1.12)$$

体積弾性係数が高いほど圧縮されにくい。

* 参考 音速 $v = \sqrt{K/\rho} \left(= \sqrt{E/\rho} \right)$

$$\text{空気 } v_a = \sqrt{\frac{1.42 \times 10^5}{1.2}} = 344 \text{ m/s}, \text{ 水 } v_w = \sqrt{\frac{2.07 \times 10^9}{1000}} = 1440 \text{ m/s}$$

$$\text{軟鋼 } v_s = \sqrt{\frac{207 \times 10^9}{7860}} = 5130 \text{ m/s}$$

フックの法則と縦弾性係数

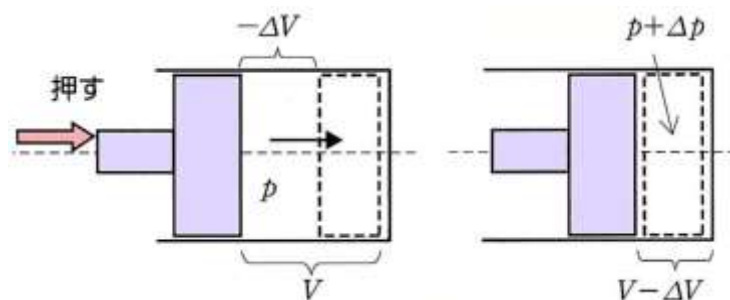
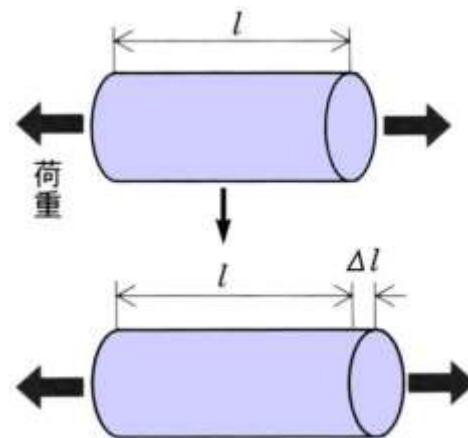
応力とひずみが比例する関係のことを、フックの法則といい

$$\frac{\text{応力: } \overset{\text{シグマ}}{\sigma}}{\text{ひずみ: } \overset{\text{イブシロン}}{\varepsilon}} = \text{一定: } E \text{ (縦弾性係数)}$$

$$\therefore \text{ひずみ } \varepsilon = \frac{\text{長さの変化: } \Delta l}{\text{元の長さ: } l}$$

$$\text{縦弾性係数 } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l}{l}} \quad [Pa]$$

$$\text{体積弾性係数 } K = \frac{\Delta p}{-\frac{\Delta V}{V}} \quad [Pa]$$



体積弾性係数: K は縦弾性係数: E に対応する。

〔練習問題 3〕

大気圧 (101.3kPa)、 20°C の水に 500kPa の圧力変化を与えたとき、体積変化率 (体積ひずみ $\Delta V / V$) を求めよ。

〔解〕 表1.6p8から

$$K = 2.07 \text{ GPa} = 2.07 \times 10^9 \text{ Pa}$$

温度 $^{\circ}\text{C}$ 圧力範囲 MPa	0	10	20	50
0.101 ~ 2.53	1.93	2.03	2.07	
2.53 ~ 5.07	1.97	2.06	2.13	
5.07 ~ 7.60	1.99	2.14	2.22	
7.60 ~ 10.1	2.02	2.16	2.24	
0.101 ~ 50.7	2.13	2.27	2.34	2.43
50.7 ~ 101	2.43	2.57	2.67	2.77
101 ~ 152	2.83	2.91	3.00	3.11

$$K = \frac{\Delta p}{-\frac{\Delta V}{V}} \quad (1.12) \rightarrow \frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta p}{K}$$

$$\therefore \frac{\Delta V}{V} = -\frac{500 \times 10^3}{2.07 \times 10^9} = -2.42 \times 10^{-4} = -0.0242[\%]$$

[例題 3 (p9)] 内径 $D = 20\text{cm}$, 高さ $H = 30\text{cm}$ の丈夫な鋼製シリンダの中に水を封入してある。この中に直径 $d = 3\text{cm}$ の棒鋼をねじを利用して $h = 10\text{cm}$ だけ圧入したとき、シリンダ内の水圧はいくらになるか。ただし、水の体積弾性係数 $K = 2.02\text{GPa}$ で、水漏れはないものとする。

$$[\text{解}] \quad K = \frac{\Delta p}{-\Delta V / V} \quad (1.12) \rightarrow \Delta p = -\frac{\Delta V}{V} K$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = \frac{\pi}{4} \times 0.20^2 \times 0.30 = 9.42 \times 10^{-3} \text{m}^3,$$

$$-\Delta V = \frac{\pi}{4} d^2 h = \frac{\pi}{4} \times 0.03^2 \times 0.10 = 7.07 \times 10^{-5} \text{m}^3,$$

$K = 2.02 \times 10^9 \text{Pa}$ を代入すれば

$$\therefore \Delta p = \frac{7.07 \times 10^{-5}}{9.42 \times 10^{-3}} \times 2.02 \times 10^9 = 1.52 \times 10^7 [\text{Pa}] = 15.2 [\text{MPa}]$$

