

# 流体工学I

No.06

流線方向の運動方程式  
ベルヌイの式  
(流れのエネルギー保存則)

1

## 3.6 ◆ 流線方向の運動方程式

図 3.8 のような流れにおいて、流線方向に沿って長さ  $ds$ 、断面積  $dA$  の微小円柱体にニュートンの運動の第 2 法則を適用すると、

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial s} v^2 + g \frac{\partial z}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (3.12)$$

が得られる。ここで、 $\rho$  は流体の密度、 $v$  は平均流速、 $g$  は重力の加速度、 $dz$  は  $ds$  に対応する鉛直方向の変位、 $t$  は時間である。式 (3.12) は一次元流れの流線に沿う運動方程式で、**オイラーの運動方程式** (Euler's equation of motion) とよばれる。式 (3.12) において、定常流では、

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{ds} + v \frac{dv}{ds} + g \frac{dz}{ds} = 0 \quad (3.13)$$

あるいは、

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{ds} + \frac{1}{2} \frac{dv^2}{ds} + g \frac{dz}{ds} = 0 \quad (3.13)'$$

で表される (例題 3.9 参照)。

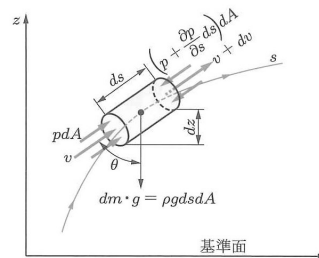


図 3.8 微小流体に作用する流線方向の力

2

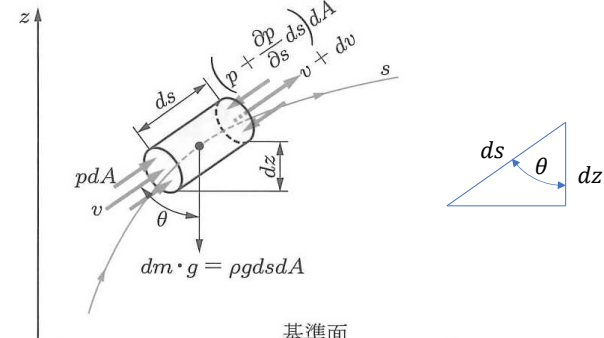


図 3.8 微小流体に作用する流線方向の力

$$dm \cdot \alpha_s = p dA - \left( p + \frac{\partial p}{\partial s} ds \right) dA - dm \cdot g \cos \theta$$

$$dm \left( v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) = - \frac{\partial p}{\partial s} ds dA - dm \cdot g \frac{dz}{ds}$$

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right) = \frac{\partial}{\partial v} \left( \frac{v^2}{2} \right) \frac{\partial v}{\partial s} = v \frac{\partial v}{\partial s}$$

3

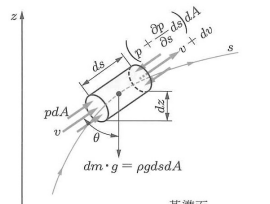


図 3.8 微小流体に作用する流線方向の力

$$dm \left( v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) = - \frac{\partial p}{\partial s} ds dA - dm \cdot g \frac{dz}{ds}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right) + g \frac{\partial z}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

定常・非圧縮性流体

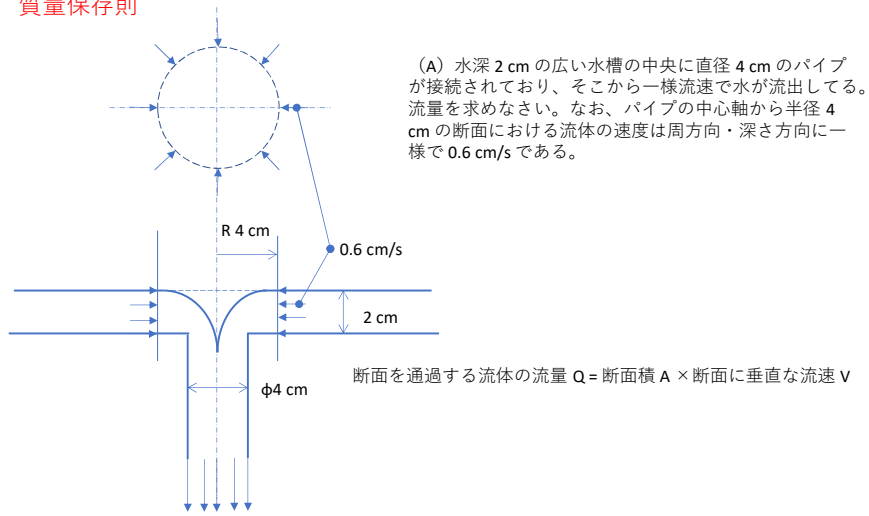
$$\frac{d}{ds} \left( \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \right) = 0$$

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{一定} \quad (m^2/s^2)$$

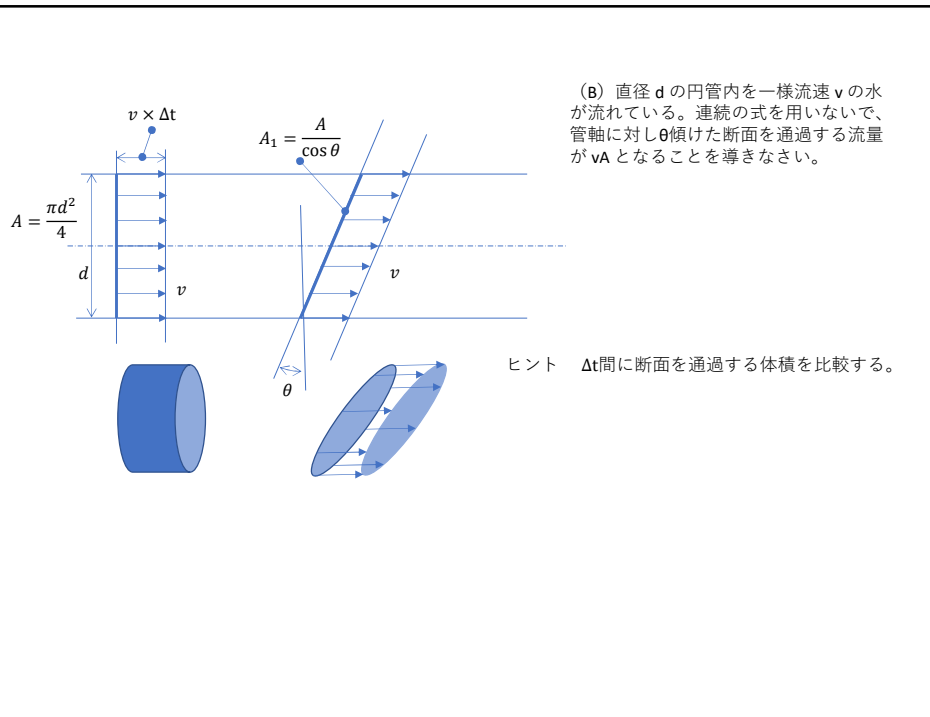
ベルヌーイの式

4

課題番号 FE1No06  
質量保存則



5



6

ベルヌイの式  
(流れのエネルギー保存則)

7

### 3.7 \* ベルヌイの式とその応用

#### 3.7.1 理想流体のエネルギー方程式

粘性のない理想流体のエネルギー方程式は、オイラーの運動方程式 (3.12) を流線  $s$  で積分すると得られる。すなわち、

- 非圧縮性流体 ( $\rho = \text{const.}$ ) の非定常流の場合、

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz + \int_0^s \frac{\partial v}{\partial t} ds = \text{const.} \quad (3.14)$$

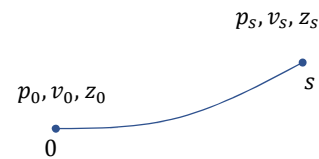
- 非圧縮性流体の定常流の場合、

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{const.} \quad [\text{N} \cdot \text{m}/\text{kg} = \text{J}/\text{kg} = \text{m}^2/\text{s}^2] \quad (3.15)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial s} (gz) + \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

$$\rho = \text{const.}$$

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{p}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial s} (gz) + \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$



$$\frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \right) + \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

$$\int_0^s \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \right) ds + \int_0^s \frac{\partial v}{\partial t} ds$$

$$= \left( \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \right)_s - \left( \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \right)_0 + \int_0^s \frac{\partial v}{\partial t} ds$$

8

3.7 \*ベルヌーイの式とその応用

3.7.1 理想流体のエネルギー方程式

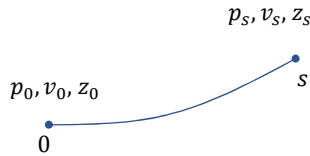
粘性のない理想流体のエネルギー方程式は、オイラーの運動方程式 (3.12) を流線  $s$  で積分すると得られる。すなわち、

• 非圧縮性流体 ( $\rho = \text{const.}$ ) の非定常流の場合、

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz + \int_0^s \frac{\partial v}{\partial t} ds = \text{const.} \quad (3.14)$$

• 非圧縮性流体の定常流の場合、

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{const.} \quad [\text{N} \cdot \text{m}/\text{kg} = \text{J}/\text{kg} = \text{m}^2/\text{s}^2] \quad (3.15)$$



$\frac{p}{\rho}$  の単位をSIの基本単位で表すと

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz + \int_0^s \frac{\partial v}{\partial t} ds = \frac{p_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} + gz_0$$

$$\begin{aligned} \left[ \frac{\text{Pa}}{\text{kg}/\text{m}^3} \right] &= \left[ \frac{\text{N}/\text{m}^2}{\text{kg}/\text{m}^3} \right] = \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}} \right] \\ &= \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \\ &= \left[ \frac{(\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2) \cdot \text{m}}{\text{kg}} \right] = \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] \end{aligned}$$

$p_s, v_s, z_s$  は、それぞれ  $p, v, z$  と置いている。

$$\underbrace{gz}_{\text{位置エネルギー}} + \underbrace{\frac{p}{\rho}}_{\text{圧力の押し込み仕事}} + \underbrace{\frac{v^2}{2}}_{\text{運動エネルギー}} = \text{const.} \quad [\text{J}/\text{kg}]$$

$$\underbrace{z}_{\text{位置ヘッド}} + \underbrace{\frac{p}{\rho g}}_{\text{圧力ヘッド}} + \underbrace{\frac{v^2}{2g}}_{\text{速度ヘッド}} = \text{const.} \quad [\text{m}]$$

$$\underbrace{\rho gz}_{\text{位置エネルギーの圧力}} + \underbrace{p}_{\text{静圧}} + \underbrace{\frac{\rho v^2}{2}}_{\text{動圧}} = \text{const.} \quad [\text{Pa}]$$

**全圧**

圧力の押し込み仕事 (W)

$$pdA \times v = \frac{p}{\rho} \times \rho v dA$$

$\rho v dA$ : 断面Aを通過する質量流量

$$\frac{p}{\rho} \quad (\text{J/kg})$$

図 3.8 微小流体に作用する流線方向の力

圧力pにより  
 $\frac{p}{\rho} \times \rho v dA$   
 の仕事をされる。  
 $dt$ 間に移動

11

• 圧縮性流体 ( $\rho \neq \text{const.}$ ) の定常流の場合,

$$\int \frac{dp}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{const.} \quad (3.16)$$

となる。圧縮性流体では、式 (3.12) における圧力の項 ( $(1/\rho)(\partial p/\partial s)$ ) は、気体の熱力学的プロセスが与えられなければ積分できない。

式 (3.14)~(3.16) はベルヌーイの式 (Bernoulli's equation) とよばれ、一次元流れにおけるエネルギー保存の法則である。

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial s} (gz) = 0$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} + gz \right) = 0$$

$$\int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \left( \frac{v^2}{2} + gz \right)_2 - \left( \frac{v^2}{2} + gz \right)_1 = \text{const.}$$

$$\int_1^2 \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} ds = \int_1^2 \frac{dp}{\rho}$$

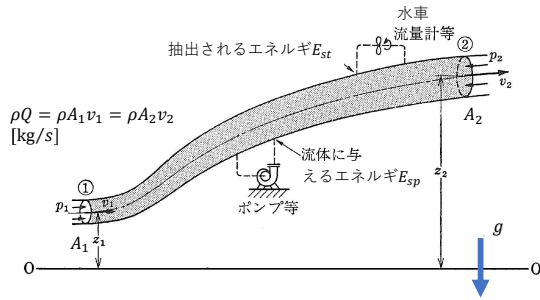
12

### 3.7.2 エネルギーの授受を伴う理想流体のエネルギー方程式

[kg/s] [J/kg]

$$\rho Q \left( \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) + \rho Q E_{sp} = \rho Q \left( \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) + \rho Q E_{st}$$

[J/s] = [W]



この図と式を覚えることが重要。

### 3.7.3 ピトー管

図 3.9 のように、一様な平行流れの中に対称物体がある場合は、流れは物体に衝突して二つに分かれるが、流れに正対する流線 AB に沿っての流れは点 B においてせき止められ、流速はゼロとなる。この点をよどみ点 (stagnation point) といい、この点の圧力は動圧と静圧の和に相当し、全圧 (stagnation pressure, total pressure) とよばれる。

ピトー管 (Pitot tube)<sup>†</sup> は、図 3.9 のように直角に曲げられた細管で、一端を流れの方向に正しく向け、他方の鉛直管内に上昇する流体の液面の高さにより流速を計測するものである。

ピトー管による流体の流速  $u$  は、よどみ点 B と、それより十分離れた上流の点 A との間にベルヌーイの式を適用して得られる (例題 3.12 参照)。

非圧縮性流体で定常流の場合は、理論的には、

$$\frac{p_A}{\rho} + \frac{u_A^2}{2} + gz_A = \frac{p_B}{\rho} + \frac{u_B^2}{2} + gz_B$$

$$z_A = z_B$$

$$\frac{p_0}{\rho g} = \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g}$$

$$p_0 = \rho g h$$

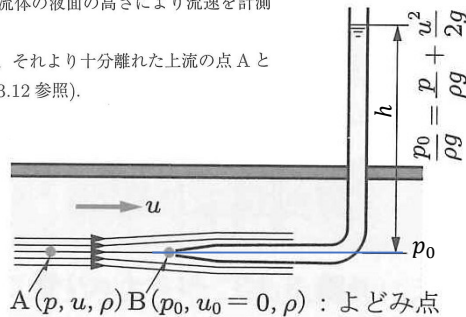


図 3.9 ピトー管 (全圧管)

$$u = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_0 - p)} \quad (3.18)$$

$$u = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_0 - p)} \quad (3.18)$$

で与えられる。また、図 3.10 のように、示差マンメータで計測する場合は、

$$u = \sqrt{2g\left(\frac{\rho'}{\rho} - 1\right)h} \quad (3.19)$$

で表される。ここで、 $h$  は示差マンメータの液面差の読み、 $\rho'$  はマンメータ液の密度である。

$$\begin{aligned} p + \rho g(h_0 - h) + \rho' gh &= p_0 + \rho gh_0 \\ p_0 - p &= \rho g(h_0 - h) + \rho' gh - \rho gh_0 \\ &= (\rho' - \rho)gh \end{aligned}$$

$$u = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_0 - p)} = \sqrt{2g\left(\frac{\rho'}{\rho} - 1\right)h}$$

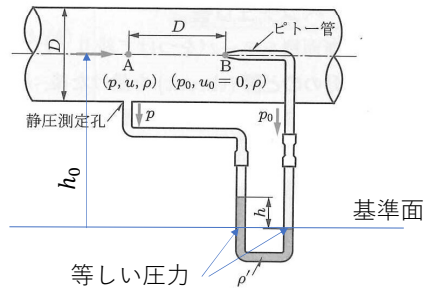


図 3.10 ピトー管と示差マンメータ

15

### 3.7.4 トリチェリの定理

薄い板に開けられた幾何学的に正しい穴をオリフィス (orifice) といい、流量計測に使用される。図 3.11 のように、タンクの側面にオリフィスを取り付け、これを通してタンク内の液体を大気中に放出させると、自由表面をもった噴流 (jet) となる。噴流は液体の慣性のため、図 3.12 のように円錐状をなしてオリフィスから流出し、オリフィスの径の約 1/2 の所で、断面積が最小となって平行流となり、圧力は噴流の外部から中心部まではほぼ一様とみなされる。この部分を縮流 (vena contracta) という。

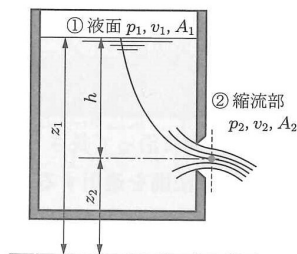


図 3.11 タンク・オリフィスからの噴流

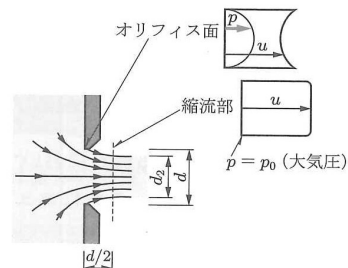


図 3.12 噴流の圧力および速度分布

16



図 3.11 において、タンク・オリフィスから流出する液の理論流速  $v_2$  は、液面 ① と、縮流部 ② との間にベルヌーイの式と連続の式を適用して、

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (\text{例題 3.14 参照}) \quad (3.20)$$

で表され、噴流の速度が物体の自由落下する速度に等しいことを示す。ここで、 $h$  はオリフィス中心より液面までの高さである。式 (3.20) はトリチェリの定理 (Torricelli's formula)<sup>†</sup> とよばれる。

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2$$

$$z_1 - z_2 = h$$

$$v_1 = 0, p_1 = p_2 = 0$$

$$v_2 = \sqrt{2g(z_1 - z_2)} = \sqrt{2gh}$$

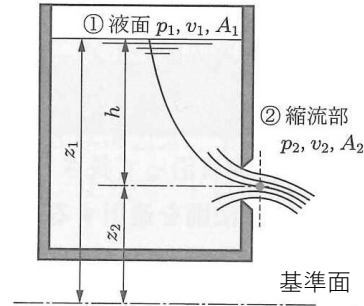


図 3.11 タンク・オリフィスからの噴流

17

### 3.7.5 ベンチュリ管

管の断面積をテーパをつけて絞り、わずかな平行部分の**のど部** (throat) を設けた後、緩やかなテーパ管により元の断面積まで広げた管をベンチュリ管 (Venturi tube)<sup>††</sup> といい、管内の流量計測に使用される。

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}$$

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}$$

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2$$

$$z_1 = z_2 = h_0$$

流量

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2$$

ベルヌーイの式から

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)$$

$$v_2^2 \left\{ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right\} = \frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)$$

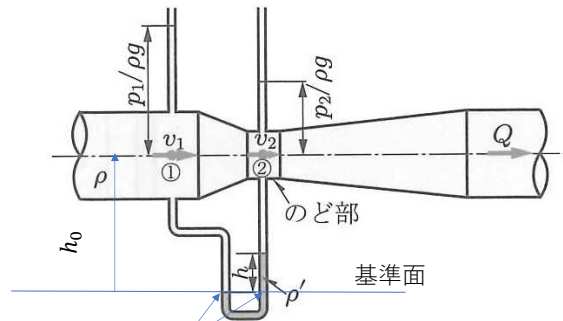


図 3.13 ベンチュリ管

18

$$\begin{aligned}
 p_1 + \rho g h_0 &= p_2 + \rho g(h_0 - h) + \rho' g h \\
 p_1 - p_2 &= \rho g(h_0 - h) + \rho' g h - \rho g h_0 \\
 &= (\rho' - \rho) g h
 \end{aligned}$$

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2g \left( \frac{\rho'}{\rho} - 1 \right) h}$$

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2g \left( \frac{\rho'}{\rho} - 1 \right) h}$$

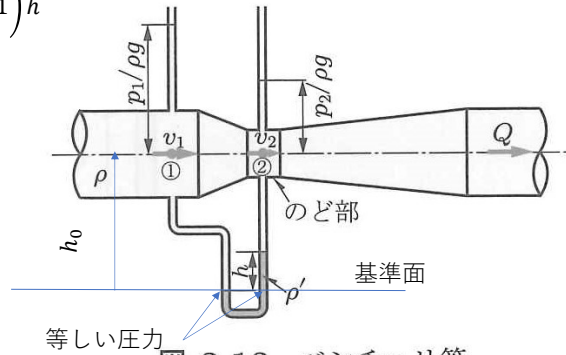


図 3.13 ベンチュリ管

19

流線に沿った座標  $s$  と直交座標  $(x, y)$  の関係は

**例題 3.7** 図 3.22 のように、まっすぐな流線  $s$  に沿った速度が  $v = 3\sqrt{x^2 + y^2}$  で与えられている。点  $P(2.4, 1.8)$  における速度と加速度を求めよ。

**解**  $s = \sqrt{x^2 + y^2}$  であるから  $v = 3s$  となる。点  $P$  では  $s = \sqrt{2.4^2 + 1.8^2} = 3$  となり、それゆえ、次式となる。

$$v = 3\sqrt{x^2 + y^2} = 3s = 3 \times 3 = 9 \text{ m/s}$$

• 接線加速度  $a_s$  は、式 (3.8) より次式となる。

$$a_s = v \frac{dv}{ds} = 9 \times 3 = 27 \text{ m/s}^2$$

• 法線加速度  $a_n$  は、流線の曲率半径が無窮大であるから、式 (3.8) より次式となる。

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{9^2}{\infty} \rightarrow 0$$

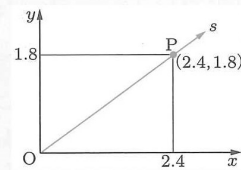


図 3.22

20

**例題 3.8** 図 3.23 のように、噴流がノズルから水平面と  $\theta = 30^\circ$  の角度で斜め上方に噴射されている。噴流がノズルから水平方向に  $x = 18.3\text{m}$  の点 P で高さ  $z = 3.05\text{m}$  に達するには、噴流の噴出速度  $v_1$  をいくらにしたらよいか。ただし、空気抵抗を無視する。

**解** ノズルから噴射して  $t$  秒後の点 P における噴流の座標を  $(x, z)$  とし、 $x$  方向に等速度運動、 $z$  方向に重力による等加速度運動を適用すると、噴流の経路は式 (3.11) で与えられる。すなわち、

$$z = (\tan\theta)x - \frac{g}{2v_1^2 \cos^2\theta} x^2 \quad (3.11 \text{ 再掲})$$

$$3.05 = (\tan 30^\circ) \times 18.3 - \frac{9.8}{2 \times (v_1 \cos 30^\circ)^2} \times 18.3^2$$

となる。ゆえに、 $v_1 = 17.1\text{m/s}$  となる。

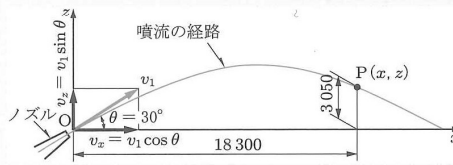


図 3.23 噴流の経路

この式を記憶するのではなく、導くことが必要。

**例題 3.10** 図 3.24 のような管系に空気が流れている。断面①における圧力が、 $258\text{kPa}$  (abs)、温度が  $27^\circ\text{C}$  で、示差マンメータが水柱  $363\text{mm}$  を示している。空気の気体定数  $R = 287.0\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  として、空気の質量流量を求めよ。ただし、空気の密度は断面①、②間で変わらず、また、エネルギー損失も無視する。

**解** 空気の密度  $\rho$  は、気体の状態方程式より、

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{258 \times 10^3}{287.0 \times (273 + 27)} = 3.00\text{kg/m}^3 \quad (1)$$

となる。示差マンメータの式 (2.8) を適用すると、

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= \rho'gh - \rho g(z + 0.363) + \rho g(0.760 + z) \\ &= 10^3 \times 9.8 \times 0.363 - 3.00 \times 9.8 \\ &\quad \times (z + 0.363 - 0.760 - z) \\ &= 3.57 \times 10^3\text{N/m}^2 = 3.57\text{kPa} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。連続の式より、

$$\frac{\pi d_1^2 v_1}{4} = \frac{\pi d_2^2 v_2}{4} \quad \text{ゆえに} \quad v_1 = v_2 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad (3)$$

となる。断面①と②の間にベルヌーイの式を適用すると、

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \quad (4)$$

となる。式 (4) に、式 (1)、(2)、(3) を代入すると、次式となる。

$$3.57 \times 10^3 = \frac{3.00}{2} v_2^2 \left\{ 1 - \left(\frac{0.150}{0.300}\right)^4 \right\} + 0.760 \times 3.00 \times 9.8$$

ゆえに、 $v_2 = 50.2\text{m/s}$ 。したがって、管系を流れる空気の質量流量  $Q_m$  は、次式となる。

$$Q_m = \frac{\rho \pi d_2^2 v_2}{4} = \frac{3.00 \times \pi \times 0.15^2 \times 50.2}{4} = 2.66\text{kg/s}$$

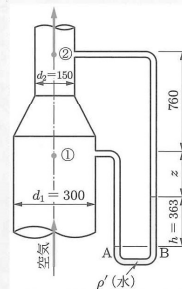


図 3.24

$$T = 273.15 + t \text{ K}$$

(2) 求める文字変数を左辺に出した式を書く  
(3) 右辺に (2) の右辺と同じ並びで数値を代入した式を書く

**例題 3.11** 図 3.25 のような管路を  $8.50 \text{ m}^3/\text{min}$  の水が送水されている。断面①および②における圧力が、それぞれ  $-33.9 \text{ kPa}$ 、 $276 \text{ kPa}$  を示している。水に与えるポンプの水動力はいくらか。ただし損失エネルギーは無視する。

**解** 断面①、②における速度は、連続の式より、次式となる。

$$v_1 = \frac{4 \times 8.50}{60 \times \pi \times 0.200^2} = 4.51 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{4 \times 8.50}{60 \times \pi \times 0.150^2} = 8.02 \text{ m/s}$$

断面①を基準にとり、断面①と②との間にエネルギー授受を伴う理想流体のエネルギー方程式 (3.17) を適用すると、次式となる。

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 + E_{sp} &= \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + 0 \\ \frac{-33.9 \times 10^3}{10^3} + \frac{4.51^2}{2} + 0 + E_{sp} &= \frac{276 \times 10^3}{10^3} + \frac{8.02^2}{2} + 9.8 \times 3.0 + 0 \end{aligned}$$

したがって、水に与えられる付加エネルギーは、 $E_{sp} = 361 \text{ J/kg}$  となる。ゆえに、ポンプが与える水動力  $P_w$  は、次式となる。

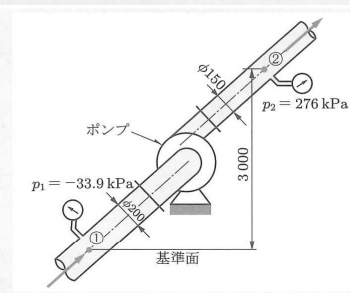
$$P_w = \rho Q E_{sp} = 10^3 \times \frac{8.50}{60} \times 361 = 51.1 \times 10^3 \text{ W} = 51.1 \text{ kW}$$


図 3.25

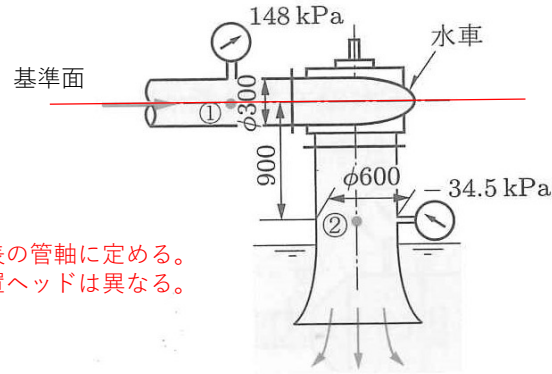
(2) 求める文字変数を左辺に出した式を書く  
(3) 右辺に(2)の右辺と同じ並びで数値を代入した式を書く

23

課題番号 FE1No06  
演習問題3.12  
演習問題3.13

24

**3.12** 図 3.37 のような水車が  $0.214\text{m}^3/\text{s}$  の水を流出させ、断面①および断面②における圧力計が、それぞれ  $148\text{kPa}$ 、 $-34.5\text{kPa}$  を示している。水によって水車に与えられる水動力を求めよ。ただし、損失は無視する。



基準面は水面、または代表の管軸に定める。  
定めた基準面によって位置ヘッドは異なる。

図 3.37

25

課題4.で必要な関数電卓の機能

## 方程式計算 (EQN)

本節の計算を行う際は、EQNモードにします。

### ■ 方程式計算の概要(操作の流れ)

次の2元連立1次方程式の解を求める場合で、操作手順を例示します。

表示形式は「自然表示入力 - 自然表示出力」に設定します。

$$\begin{aligned} X + 0.5Y &= 3 \\ 2X + 3Y &= 4 \end{aligned}$$

1. **MODE** ⑤ (EQN) を押します。

- 右のようなEQNタイプ選択画面が初期表示されます。

- 1:  $a_nX + b_nY = c_n$
- 2:  $a_nX + b_nY + c_nZ = d_n$
- 3:  $aX^2 + bX + c = 0$
- 4:  $aX^3 + bX^2 + cX + d = 0$



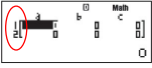
MODE



26

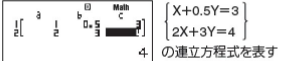
2. ここでは  $\text{[1]}$  ( $ax + by = c$ ) を押して、2元連立1次方程式を選択します。

- 右のような係数エディタ画面が表示されます。



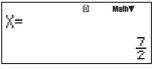
3. 方程式の係数を入力します。

$\text{[1]}$   $\text{[0]}$   $\text{[.]}$   $\text{[3]}$   $\text{[=]}$   $\text{[2]}$   $\text{[0]}$   $\text{[.]}$   $\text{[4]}$   $\text{[=]}$   $\text{[3]}$   $\text{[=]}$   $\text{[4]}$   $\text{[=]}$




4. 解を表示するには、 $\text{[=]}$  を押します。

- Xの解が表示されます (EQN解画面)。



- $\text{[<=>]}$  または  $\text{[<=>]}$  を押すことで、Xの解とYの解の間で表示を切り替えることができます。



**■ 方程式計算のタイプについて**  
本機では次のタイプの方程式計算が可能です。

キー	選択画面表示	方程式タイプ
$\text{[1]}$	$ax + by = c$	2元連立1次方程式
$\text{[2]}$	$ax + by + cz = d$	3元連立1次方程式
$\text{[3]}$	$ax^2 + bx + c = 0$	2次方程式
$\text{[4]}$	$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$	3次方程式

**□ 方程式計算のタイプを切り替えるには**  
 $\text{[EQN]}$   $\text{[5]}$  (EQN) を押してEQNモードに入り直すことで、EQNタイプ選択画面を表示します。この操作を行うと、係数エディタ画面に入力されていた値はすべてクリアされます。

27

**■ 係数の入力について**  
方程式の係数の入力には、係数エディタを使います。係数エディタ画面には、選択されている方程式のタイプに応じて、必要なだけの入力エリア(セル)が表示されます。

**□ 係数を入力/編集するには**

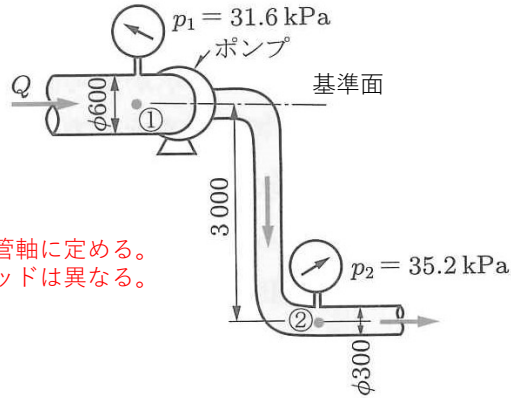
- 入力は、現在カーソルが表示されているセルに対して行うことができます。
- ライン表示選択時のCOMPモードでの入力と同じ要領で、数値や式の入力を行います。
- 入力中の内容を確定するには、 $\text{[=]}$  を押します。確定と同時に、選択されていたセルに数値が表示されます(最大6桁)。計算式を入力した場合は、計算結果が数値で入力されます。
- 入力済みの数値や式を変更するには、 $\text{[<=>]}$   $\text{[<=>]}$   $\text{[<=>]}$  を使って変更したいセルにカーソルを移動し、入力し直します。

**□ すべての係数を0に戻すには**  
入力の途中で  $\text{[0]}$  を押すと、すべての係数が0にリセットされます。

**□ 入力に関するご注意**  
係数エディタ画面での注意点は、STATエディタ画面の場合とほぼ同様です。45ページの「入力に関するご注意」の②、③を参照してください。

28

**3.13** 図 3.38 のような管路において、ポンプが密度  $\rho = 1.25 \text{ t/m}^3$  の液体を圧送している。吸込管における圧力が  $31.6 \text{ kPa}$ 、吐出し管における圧力が  $35.2 \text{ kPa}$  で、ポンプによって管系に付加される水動力が  $16.4 \text{ kW}$  であれば、管内を流れる流量はいくらか。ただし、損失は無視する。



基準面は水面、または代表の管軸に定める。  
定めた基準面によって位置ヘッドは異なる。

図 3.38