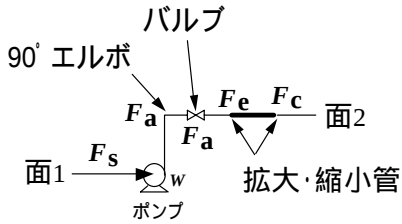


5・1・4配管におけるエネルギー損失



配管による流体輸送

- ・ポンプに求められる仕事Wを求める
- ・面1と面2の間のエネルギー収支を考える

P.53 図5・9 (EをFに訂正)

ベルヌイの式の拡張: エネルギーの損失, ポンプによりなされる仕事を考慮

機械的エネルギー収支の式

$$\frac{1}{2}u_1^2 + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + W = \frac{1}{2}u_2^2 + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \sum_i F_i \quad \text{P.33(3・12)}$$

W: ポンプにより流体(単位質量)になされる仕事[J・kg⁻¹]

$$\sum_i F_i = F_s + F_e + F_c + F_a: \text{配管におけるエネルギー損失[J・kg}^{-1}\text{]}$$

$$\Delta P[\text{J・m}^{-3}] \text{と} F[\text{J・kg}^{-1}] \text{の関係: } \frac{\Delta P}{\rho} = F$$

 $\sum_i F_i$ はどのようにして求められるか

直管 ファニングの式(5・26)

$$\Delta P = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \rho u_a^2 \longrightarrow F_s = \frac{\Delta P}{\rho} = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} u_a^2$$

直管以外の配管などによる損失F $\frac{1}{2} u_a^2$ [J・kg⁻¹]

a) 拡大管・縮小管

$$\text{拡大管: } F_e = f_e \cdot \frac{1}{2} u_{a1}^2, \quad f_e = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$$

$$\text{縮小管: } F_c = f_c \cdot \frac{1}{2} u_{a1}^2, \quad f_c = 0.4 \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)$$

b) 継手, バルブによる損失

$$F_a = 4f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{1}{2} u_a^2$$

f : 管摩擦係数(直管の値)

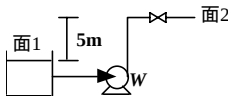
L_e : 相当長さ(同等の損失となる直管の長さ)



表5.1

$$\sum_i F_i = F_s + F_e + F_c + F_a = \left(4f \cdot \frac{L + L_e}{d} + f_e + f_c \right) \cdot \frac{1}{2} u_a^2$$

例題 図のようにして水(密度 $1000\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 粘度 $0.001\text{Pa}\cdot\text{s}$)を貯水槽から輸送する(面1から面2へ)。質量流量 $1.0\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$, 管内径 5.0cm , 直管部分の長さの合計を $L = 10.0\text{m}$ としたとき, ポンプが流体に加えるべき仕事を求めよ。また, ポンプの効率を 70% としたときの所要仕事率(動力)を求めよ。



1. エネルギー収支をとる範囲(面1, 面2)を決める

2. 直管内の流速($=u_{a2}$), Re , f を求める

$$u_{a2} = \frac{Q}{A} = \frac{4}{\pi D^2} \cdot \frac{w}{\rho} = 5.09 \times 10^{-1} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$



(5.32)式より

$$Re = \frac{\rho u_{a2} D}{\mu} = 2.55 \times 10^4 > 4000 \longrightarrow \text{乱流} \longrightarrow f = 0.0791 Re^{-\frac{1}{4}} \rightarrow f = 6.26 \times 10^{-3}$$

3. 状況を考慮して機械的エネルギー収支式を整理する

$$\frac{1}{2}u_1^2 + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + W = \frac{1}{2}u_2^2 + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \sum_i F_i \quad \text{P.33(3・12)}$$

↓ u_1, u_2 : 面1,2における平均速度 u_{a1}, u_{a2}

$$W = \frac{1}{2}(u_{a2}^2 - u_{a1}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \sum_i F_i$$

↓ $u_{a1} = 0 \quad z_2 - z_1 = 5\text{m} \quad p_1 = p_2$ (いずれも大気圧)

$$W = \frac{1}{2}u_{a2}^2 + 5g + \sum_i F_i$$

4. 直管, 継ぎ手等の損失を求める

$$\text{直管: } F_s = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2}u_{a2}^2$$

$$\text{バルブ, エルボ: 一つの継ぎ手について } F_a = 4f \cdot \frac{L_e}{d} \cdot \frac{1}{2}u_{a2}^2$$

$$\text{配管全体では } F_a = 4f \cdot \frac{\sum L_e}{D} \cdot \frac{1}{2}u_{a2}^2$$

$\sum L_e$: バルブエルボなどの相当長さの総和

表5・1より バルブ: $L_e/D = 300 \rightarrow L_e = 300D = 15.0\text{m}$

エルボ: $L_e/D = 32 \rightarrow L_e = 32D = 1.6\text{m}$

$$\sum_i F_i = F_s + F_a = \left(4f \cdot \frac{L + \sum L_e}{D} \right) \cdot \frac{1}{2}u_a^2$$

5. 機械的エネルギー収支式により W を求める

$$W = \frac{1}{2}u_{a2}^2 + 5g + \sum_i F_i = \frac{1}{2}u_{a2}^2 + 5g + 4f \cdot \frac{L + \sum L_e}{D} \cdot \frac{1}{2}u_{a2}^2 = 50.8 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$(u_{a2} = 0.509, f = 0.00626, L = 10.0, L_e = 15.0 + 1.6, D = 0.05)$$

$W[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$: ポンプが単位質量あたりの流体にする仕事

↓ 質量流量: $w[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

$P_p[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] = W \cdot w$: ポンプが単位時間にする仕事(仕事率, 出力)[W]

$$P_p = W \cdot w = (50.8)(1.0) = 50.8 \text{ [W]}$$