

平成29年度高圧ガス製造保安責任者試験（記述式）の解答例  
（甲種機械・学識）

【問1の解答例】

(1) 高温流体側の運転条件より

現状の運転条件の伝熱量 $Q_1$ は、

$$Q_1 = W_1 C_1 (T_1 - t_1) = W_1 C_1 (478 - 378) = 100 W_1 C_1$$

能力増強後の運転条件の伝熱量 $Q_2$ は、

$$Q_2 = W_2 C_2 (T_2 - t_2) = W_2 C_2 (478 - 368) = 110 W_2 C_2$$

題意より  $W_2 = 1.3 W_1$   $C_2 = C_1$  であるから、

$$Q_2 / Q_1 = (110 W_2 C_2) / (100 W_1 C_1) = (110 \times 1.3 W_1 C_1) / (100 W_1 C_1) = 1.43$$

(2) 冷却水側の運転条件より

現状の運転条件の伝熱量 $Q_1$ は、

$$Q_1 = W'_1 C'_1 (t'_1 - T'_1) = W'_1 C'_1 (318 - 298) = 20 W'_1 C'_1$$

能力増強後の運転条件の伝熱量 $Q_2$ は、

$$Q_2 = W'_2 C'_2 (t'_2 - T'_2) = W'_2 C'_2 (t'_2 - 298)$$

(1)より  $Q_2 = 1.43 Q_1$

題意より  $W'_2 = 1.2 W'_1$   $C'_2 = C'_1$  であるから

$$Q_2 = W'_2 C'_2 (t'_2 - 298) = 1.2 W'_1 C'_1 (t'_2 - 298) = 1.43 \times 20 W'_1 C'_1$$

$$1.2 (t'_2 - 298) = 1.43 \times 20$$

$$t'_2 = 1.43 \times 20 / 1.2 + 298 = 322 \text{ K}$$

(3) 伝熱量 $Q_1$ 、 $Q_2$ は、

$$Q_1 = U_1 A_1 \Delta T_{1av} \quad Q_2 = U_2 A_2 \Delta T_{2av}$$

題意より、

$$\Delta T_1 = T_1 - t'_1 = 478 - 318 = 160$$

$$\Delta T'_1 = t_1 - T'_1 = 378 - 298 = 80$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t'_2 = 478 - 322 = 156$$

$$\Delta T'_2 = t_2 - T'_2 = 368 - 298 = 70$$

算術平均より、

$$\Delta T_{1av} = \frac{1}{2} (\Delta T_1 + \Delta T'_1) = \frac{1}{2} (160 + 80) = 120$$

$$\Delta T_{2av} = \frac{1}{2} (\Delta T_2 + \Delta T'_2) = \frac{1}{2} (156 + 70) = 113$$

(1)より  $Q_2 = 1.43 Q_1$

題意より  $U_1 = U_2$  であるから、

$$A_1 = Q_1 / (U_1 \Delta T_{1av}) \quad A_2 = Q_2 / (U_2 \Delta T_{2av})$$

$$A_2 / A_1 = Q_2 / (U_2 \Delta T_{2av}) \times (U_1 \Delta T_{1av}) / Q_1$$

$$= (1.43 Q_1 \Delta T_{1av}) / (Q_1 \Delta T_{2av})$$

$$= 1.43 \times 120 / 113$$

$$= 1.52$$

【問 2 の解答例】

(1) 内径 $D = 0.1\text{m}$ 、流量 $q = 50/3600 \text{ m}^3/\text{s}$ 、管の断面積 $A = \pi/4 \times (0.1)^2 \text{ m}^2$ 、

平均流速 $u = q / A = 1.77 \text{ m/s}$ 、 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$Re = Du\rho / \mu$$

$$= 0.1 \times 1.77 \times 1000 / (1.2 \times 10^{-3})$$

$$= 1.48 \times 10^5$$

$Re$ は4000を十分に超えているので乱流である。

(2) 全損失 $F =$  管の摩擦損失はファニングの式より

$$F = 4f(u^2 / 2) (l / D)$$

$$= 4 \times 0.005 \times (1.77)^2 / 2 \times (200 / 0.1)$$

$$= (1.77)^2 / 2 \times 40 = 62.7 \text{ J/kg}$$

(3) 送液に必要な機械的仕事 $w$ は、重力加速度を $g$ とすると

$$w = (u^2 / 2) + gh + F$$

$$= (1.77)^2 / 2 + 9.8 \times 10 + 62.7$$

$$= 162.3 \text{ J/kg}$$

$$\text{質量流量 } q_m = q\rho = 50 / 3600 \times 1000 = 13.89 \text{ kg/s}$$

$$\text{理論動力 } P_w = wq_m = 162.3 \times 13.89 = 2254 \text{ W}$$

【問3の解答例】

①気孔（ブローホール）

原因	溶接材料の吸湿、溶接開先部への錆・油の付着、溶着金属への空気の巻き込みによる。
発生時期	溶接施工中に発生する。
防止策	溶接材料を乾燥させる。溶接開先部を清浄にする。溶接アーク長、溶接速度、シールドガス量などの溶接施工を適正に管理する。

②オーステナイト系ステンレス鋼SUS304の高温割れ

原因	溶着金属が凝固する時には低融点成分が最後に凝固するが、この部分は延性が劣りすでに凝固した部分に拘束されて収縮しきれずに割れに至る。
発生時期	溶接直後に発生する。
防止策	高温で延性のある $\delta$ フェライトが含まれるように化学成分を調整した溶接材料を使用する。

③オーステナイト系ステンレス鋼SUS304の粒界腐食

原因	溶接熱影響部において結晶粒界にクロム炭化物が形成されることでクロムの欠乏層が生じて、腐食環境下で粒界が腐食する。
発生時期	溶接施工後の腐食環境で使用中に発生する。
防止策	鋭敏化した組織を回復するために固溶化熱処理を行う。低炭素の母材を採用する。

④疲労割れ

原因	応力の繰返し、溶接ビードと母材との境界部（止端部）の応力集中による
発生時期	溶接施工後の使用中に発生する。
防止策	溶接施工後余盛の止端部形状を滑らかに仕上げるか、または削除する。繰返し応力を低減する。

#### 【問4の解答例】

- (1) 内圧 $p$ が作用する面積は、直径 $D$ の円の面積に等しいので、

$$\frac{\pi D^2}{4}$$

である。

- (2) 軸応力 $\sigma_z$ が作用する面積は、内径 $D$ 、外径 $D + 2t$ の円輪の面積に等しいので、

$$\frac{\pi(D + 2t)^2}{4} - \frac{\pi D^2}{4} = \pi Dt + \pi t^2 \approx \pi Dt$$

で近似できる。

- (3) (1)と(2)の結果から、力の釣合いは、次式で表される。

$$\pi Dt \sigma_z = \frac{\pi D^2}{4} p$$

この式を $\sigma_z$ について解けば、次式を得る。

$$\sigma_z = \frac{pD}{4t}$$

- (4) 円筒胴の単位長さについて、内圧 $p$ が作用する面積は、 $D$ で表される。

- (5) 円筒胴の単位長さについて、円周方向（接線方向）に生じる円周応力 $\sigma_\theta$ が作用する面積は、 $2t$ で表される。

- (6) (4)と(5)の結果から、力の釣合いは、次式で表される。

$$2t\sigma_\theta = Dp$$

この式を $\sigma_\theta$ について解けば、次式を得る。

$$\sigma_\theta = \frac{pD}{2t}$$

- (7) (3)と(6)の結果から $0 < \sigma_z < \sigma_\theta$ であり、薄肉円筒胴の仮定から半径方向（厚さ方向）に生じる半径応力は $\sigma_r = 0$ とみなすことができる。したがって、最大主応力は $\sigma_\theta = \frac{pD}{2t}$ である。許容引張応力を $\sigma_a$ 、許容内圧を $p_a$ とする。最大主応力説によれば、最大主応力が許容引張応力 $\sigma_a$ に等しくなるときの内圧が許容内圧 $p_a$ であるから、 $\frac{p_a D}{2t} = \sigma_a$ すなわち $p_a = \frac{2t\sigma_a}{D}$ である。さらに、安全率が4であるので、許容引張応力は $\sigma_a = \sigma_u / 4$ である。

以上のことから、

$$p_a = \frac{2t\sigma_a}{D} = \frac{2t\sigma_u}{4D} = \frac{2 \times (18 \times 10^{-3}) \times (400 \times 10^6)}{4 \times 4} = 900 \times 10^3 \text{ Pa}$$

となり、円筒胴の許容内圧は900 kPaと求められる。

【問5の解答例】

(1) 等温過程では  $p_1V_1 = p_2V_2$  が成り立つので

$$V_2 = \frac{p_1}{p_2} V_1 = \frac{0.1 \times 10^6}{0.5 \times 10^6} \times 1.0 = 0.2 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} W_{12} &= -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = 0.1 \times 10^6 \times 1.0 \times \ln 5 \\ &= 0.1 \times 10^6 \times 1.0 \times (2.30 \times 0.699) = 1.608 \times 10^5 \text{ J} = 161 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$(2) W_{112} = \int_{p_1}^{p_2} V dp = nRT \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = nRT \ln \frac{p_2}{p_1} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = W_{12} = 161 \text{ kJ}$$

(3)、(6) は下図参照

(4) 断熱過程では  $p_1V_1^\gamma = p_3V_3^\gamma$ 、 $T_1/p_1^{(\gamma-1)/\gamma} = T_3/p_3^{(\gamma-1)/\gamma}$  が成り立つので

$$V_3 = V_1 \left( \frac{p_1}{p_3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 1.0 \times \left( \frac{0.1 \times 10^6}{0.5 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{1.40}} = 1.0 \times \left( \frac{1}{5} \right)^{0.714} = \left( \frac{1}{5^{0.714}} \right) = \frac{1}{3.155} = 0.317 \text{ m}^3$$

$$T_3 = p_3 V_3 \frac{T_1}{p_1 V_1} = 0.5 \times 10^6 \times 0.317 \times \frac{300}{0.1 \times 10^6 \times 1.0} = 475.5 = 476 \text{ K}$$

断熱過程で圧縮に要する仕事は気体の内部エネルギー増加量と等しいので

$$\begin{aligned} W_{13} &= n c_{m,v} (T_3 - T_1) = n \frac{1}{\gamma - 1} R (T_3 - T_1) = \frac{p_1 V_1}{RT_1} \frac{1}{\gamma - 1} R (T_3 - T_1) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left( \frac{T_3}{T_1} - 1 \right) \\ &= \frac{0.1 \times 10^6 \times 1.0}{1.40 - 1} \times \left( \frac{476}{300} - 1 \right) = 1.47 \times 10^5 \text{ J} = 147 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(5) 断熱圧縮過程での工業仕事は絶対仕事の  $\gamma$  倍なので

$$W_{113} = \gamma W_{13} = 1.40 \times 1.47 \times 10^5 = 2.06 \times 10^5 \text{ J} = 206 \text{ kJ}$$

$$(7) \Delta W = W_{113} - W_{112} = 206 - 161 = 45 \text{ kJ}$$

