

令和元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) 内管平均径

$$d_{av} = (d_i + d_o) / 2 = (54 + 60) / 2 = 57 \text{ mm} = 0.057 \text{ m}$$

内管の厚さ

$$x = (d_o - d_i) / 2 = (60 - 54) / 2 = 3 \text{ mm} = 0.003 \text{ m}$$

総括伝熱係数（内管平均径基準）は下記で表される

$$\begin{aligned} 1/U &= d_{av} \left\{ 1/(h_o d_i) + x/(\lambda d_{av}) + 1/(h_c d_o) \right\} \\ &= 0.057 \times \left\{ 1/(500 \times 0.054) + 0.003/(50 \times 0.057) + 1/(700 \times 0.060) \right\} \\ &= 0.057 \times 0.06185 = 0.003525 \end{aligned}$$

$$U = 284 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

(2) 図2の夏季の油の運転条件は、図1の通常油の運転条件と変わらないことから、図2の伝熱速度は通常油の伝熱速度と同じである。

したがって、伝熱速度 $Q_1 = Q_0$ より、

$$\begin{aligned} Q_1 &= w_1 c_p (t'_1 - t_1) = w_0 c_p (t'_0 - t_0) \\ w_1 / w_0 &= \{c_p (t'_0 - t_0)\} / \{c_p (t'_1 - t_1)\} \\ &= (315 - 297) / (312 - 300) = 1.50 \end{aligned}$$

したがって、冷却水量は、通常油の運転条件の1.50倍となる。

(3) 図3の能力増強後の油の伝熱速度と通常油の伝熱速度との比は、

$$\begin{aligned} Q_2/Q_0 &= \{W_2 C_p (T_2 - T'_2)\} / \{W_0 C_p (T_0 - T'_0)\} \\ &= \{1.2 W_0 C_p (395 - 365)\} / \{W_0 C_p (395 - 365)\} \\ &= 1.2 \times 30/30 = 1.2 \end{aligned}$$

また、冷却水の伝熱速度と通常油の伝熱速度との比は、

$$\begin{aligned} Q_2/Q_0 &= \{w_2 c_p (t'_2 - t_2)\} / \{w_0 c_p (t'_0 - t_0)\} \\ &= \{1.3 w_0 c_p (t'_2 - 297)\} / \{w_0 c_p (315 - 297)\} \\ &= 1.3 \times (t'_2 - 297)/18 \end{aligned}$$

したがって、

$$1.2 = 1.3 \times (t'_2 - 297)/18$$

$$t'_2 = 313.6$$

したがって、冷却水出口温度は、314 Kとなる

$$A_0 = d_{av} \pi L_0 \quad A_2 = d_{av} \pi L_2 \quad \text{より、}$$

$$Q_0 = U A_0 \Delta T_{0av} = U d_{av} \pi L_0 \Delta T_{0av}$$

$$Q_2 = U A_2 \Delta T_{2av} = U d_{av} \pi L_2 \Delta T_{2av}$$

$$L_2 / L_0 = Q_2 / (U d_{av} \pi \Delta T_{2av}) \times (U d_{av} \pi \Delta T_{0av}) / Q_0$$

$$= Q_2 / Q_0 \times \Delta T_{0av} / \Delta T_{2av}$$

$$= 1.2 \times (98 + 50) / (98 + 51) = 1.192$$

したがって、管の長さは、通常油の運転条件の1.19倍となる。

【問 2 の解答例】

(1) 送水管の Re 数

$$\text{管の断面積 } A = \pi D^2 / 4 = 3.14 \times (0.1)^2 / 4 = 0.00785 \text{ m}^2$$

$$\text{送水管の平均流速 } u = q / A / 3600 = 1.77 \text{ m/s}$$

$$\text{レイノルズ数 } Re = Du\rho / \mu$$

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

$$= 147500 = 1.48 \times 10^5$$

(2) 送水管の摩擦損失 Δh_{fd} [m]

乱流の場合の摩擦損失のファニングの式は以下で表される。

$$\Delta h_{fd} = 4f(u^2 / 2g)(L / D)$$

$$= 4 \times 0.005 \times (1.77)^2 / (2 \times 9.8) \times (100 / 0.1)$$

$$= 3.2 \text{ m}$$

(3) ポンプの全揚程 h_t [m]

吸水管の圧力損失は題意より無視するので全揚程は以下で表される。

$$h_t = h_s + h_d + (u^2 / 2g) + \Delta h_{fd}$$

$$= 2 + 30 + (1.77)^2 / (2 \times 9.8) + 3.2$$

$$= 35.36 \text{ m}$$

(4) ポンプを起動するのに必要な理論動力 P_0 [W]

$$P_0 = q\rho gh_t / 3600$$

$$= 50 \times 1000 \times 9.8 \times 35.36 / 3600$$

$$= 4813 \text{ W}$$

【問3の解答例】

(1)

溶接後に溶接部について各種非破壊検査を実施するだけでは、十分な溶接品質があることを判断するのは困難であるため、事前に溶接施工法が適切かを確認するのが目的である。

溶接を施工する前に、基本的に当該溶接部と同じものをあらかじめ溶接し、溶接部から各種試験片を採取して機械的性質などが十分であることを確認する。

(2) 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。
防止対策	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。

(3) 放射線透過試験

試験原理と方法	放射線には物質を透過する能力があり、写真フィルムを感光させて透過の程度の違いを見ることができる。試験体にX線またはγ線を照射し、試験体を透過した放射線の強さの差を写真フィルム上に濃淡の像で表すことで、欠陥の有無や形状を検出する。
欠陥の種類と位置	試験体の内在欠陥、特に溶接部の気孔（ブローホール）、溶け込み不良、割れ、鋳物の欠陥などの検査に広く用いられている。
適用対象	溶接部や鋳物における検査に広く用いられている。放射線入射方向にある微細欠陥、平面的に広がりのある欠陥の検出には不向きである。

【問4の解答例】

(1)

$$\sigma_{\theta} = \frac{pD_1}{2t_1}$$

(2)

$$\sigma_z = \frac{pD_1}{4t_1}$$

(3) (1)と(2)の結果から、

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{1}{E} (\sigma_{\theta} - \nu\sigma_z) = \frac{1}{E} \left(\frac{pD_1}{2t_1} - \nu \frac{pD_1}{4t_1} \right) = \frac{(2-\nu)pD_1}{4Et_1}$$

であるから、胴の内径の増加量は、次のように求められる。

$$\Delta D_1 = \varepsilon_{\theta} D_1 = \frac{(2-\nu)pD_1^2}{4Et_1}$$

(4)

$$\sigma_t = \frac{pD_2}{4t_2}$$

(5) (4)の結果から、

$$\varepsilon_t = \frac{1-\nu}{E} \sigma_t = \frac{(1-\nu)pD_2}{4Et_2}$$

であるから、鏡板の内径の増加量は、次のように求められる。

$$\Delta D_2 = \varepsilon_t D_2 = \frac{(1-\nu)pD_2^2}{4Et_2}$$

(6) (3)と(5)の結果から、

$$\frac{\Delta D_1}{\Delta D_2} = \frac{(2-\nu)pD_1^2}{4Et_1} \frac{4Et_2}{(1-\nu)pD_2^2} = \frac{(2-\nu)t_2D_1^2}{(1-\nu)t_1D_2^2}$$

であり、 $D_1 = D_2 = D$ 、 $t_1 = t_2 = t$ であるときは

$$\frac{\Delta D_1}{\Delta D_2} = \frac{(2-\nu)tD^2}{(1-\nu)tD^2} = \frac{2-\nu}{1-\nu} = \frac{1}{1-\nu} + 1 > 1$$

であるから、 $\Delta D_1 > \Delta D_2$ 、すなわち胴の直径の増加量のほうが大きい。

(7) 実際には、胴と鏡板は接合され、独立に変形できないので、胴と鏡板の境界（構造不連続部）には、変形を連続とするように拘束応力が発生する。

【問5の解答例】

(1) 理想気体の状態方程式から

$$V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = \frac{2 \times 10^3 \times 8.314 \times 300}{0.2 \times 10^6} = 24.94 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{V_1}{5} = \frac{24.94}{5} = 4.988 = 4.99 \text{ m}^3$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = \frac{p_2}{5p_1} T_1 = \frac{2 \times 10^6}{5 \times 0.2 \times 10^6} \times 300 = 600 \text{ K}$$

(2) 状態②から状態③は等圧変化なので

$$Q_{23} = nC_{m,P}(T_2 - T_3)$$

$$C_{m,P} = \frac{Q_{23}}{n(T_2 - T_3)} = \frac{16.6 \times 10^6}{2 \times 10^3 \times (600 - 300)} = 27.66 = 27.7 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

$$C_{m,V} = C_{m,P} - R = 27.66 - 8.314 = 19.34 = 19.3 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

(3) 状態①から状態②は断熱変化なので、系に加えられた仕事は内部エネルギー増加量に等しい。

$$W_{12} = nC_{m,V}(T_2 - T_1) = 2 \times 10^3 \times 19.34 \times (600 - 300) = 11.60 \times 10^6 = 11.6 \text{ MJ}$$

状態②から状態③は等圧変化なので、系に加えられた仕事は

$$\begin{aligned} W_{23} &= -\int_2^3 p dV = p_2(V_2 - V_3) = p_2 V_2 - p_2 V_3 = nR(T_2 - T_3) = 2 \times 10^3 \times 8.314 \times (600 - 300) \\ &= 4.988 \times 10^6 = 4.99 \text{ MJ} \end{aligned}$$

(4) 等温変化では内部エネルギーは変わらないので、系から取り去る熱量は、系に加えた仕事に等しい。

$$\begin{aligned} Q'_{13} = W'_{13} &= -\int_1^3 p dV = -\int_1^3 \frac{nRT}{V} dV = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_3} = nRT_1 \ln \frac{p_3}{p_1} \\ &= 2 \times 10^3 \times 8.314 \times 300 \times \ln \frac{2.0}{0.2} = 2 \times 10^3 \times 8.314 \times 300 \times 2.30 \\ &= 11.47 \times 10^6 = 11.5 \text{ MJ} \end{aligned}$$