

急速排水によるタンク内圧上昇について BESEH

内容

1. 問題の定式化

2. 空気吐出量

3. タンク内の圧力 (I)

4. " (II)

5. 総合新見

6. 模型試験について

目次

3

5

7

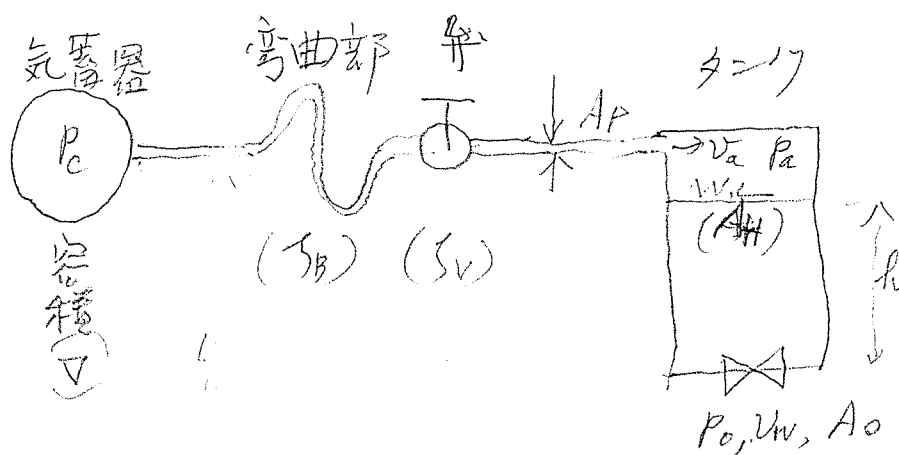
9

10/10

急速排水によるタンク内圧上昇について

別紙

1. 問題の定式化



容積 V の気蒸を出口空気は彎曲部を通り弁を通過してタンク内に放出される。

筒管の為配管断面積 A_p は一定とし、

気蒸器出口損失、曲がり損失等の係数を S_B 、

弁による損失係数を $S_V(\alpha)$ とする。こゝに α は

開き度で $\alpha=1$ (全開) の時 $S_V(1)=S_{V0}$ (定数)

とし $\alpha=0$ (全閉) の時 $S_V(0)=\infty$ である。

タンクは近似的に断面積一定とし、底面に断面積 A_o の排水孔があるものとする。

また P_c : 気蒸器内圧力

P_a : タンク内空気の圧力

P_o : 排水孔における圧力

空気の状態方程式は比重量を γ_{ac} として

$$\frac{p}{\gamma_{ac}} = RT, \quad R = 29.27 \text{ kg}\cdot\text{m/kg}\cdot^\circ\text{K}, \quad (1)$$

気蓄器から出て行く重量流量を G (kg/sec) とする。

連続の定理により、これはタンク内に入る流量に等しい。

先ず気蓄内圧力 p は初期値を p_0 とすると

$$\begin{aligned} p_c(x) \nabla &= WRT, \quad \gamma_{ac} = \frac{W}{\nabla} \\ W &= W_0 - \int_0^{t_0} G dt, \\ W_0 &= \gamma_{a0} \nabla = \frac{p_{c0}}{RT_0} \end{aligned} \quad (2)$$

下添字 0 は すべて初期値とする。

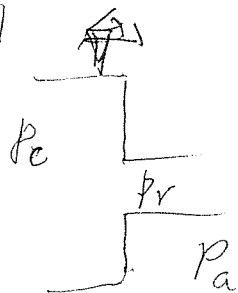
しかし簡單のため また安全側に物を

考える事に して 気蓄器 容量無限大とし

以下圧力は不変としよう。

2. 空気吐出量

気蓄容内圧力はタンク内圧力に比し
大変大きい。



そのタンク内に弁を介して空気を
吐出する形であるが、よく知られている

ようにこのような時 $p_a/p_c < 0.5283$ ならば弁の所の
圧力は臨界圧 $p_r = 0.528 p_c$ となり、その状態
は音速となる。

よって今の場合流量は p_a に割りわりなく
弁開度 α によって定まる。

その時の重量流量 G は

$$G = \alpha A_p \sqrt{2g \left(\frac{k}{k-1} \right) p_c \left\{ \left(\frac{p_r}{p_c} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_r}{p_c} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right\}}$$

$$= \alpha A_p \sqrt{\frac{2gk}{k-1} p_c \left\{ \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right\}}$$

$$= \alpha A_p \sqrt{\frac{2gk(k+1)}{k^2+1} p_c \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \quad (1)$$

$$\text{但し} \quad \frac{p_r}{p_c} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0.5283 \quad (2)$$

このときからタンク内圧 p_a まで断熱膨張した
時の容積流量 Q は

$$Q = \frac{G}{\gamma_a} = \alpha A_p \sqrt{\frac{\rho_c v_c}{\gamma_a}} \times 9552 = (\alpha A_p) 276.9 \left(\frac{\rho_c}{\rho_a}\right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{T_c}{293}}, (2)$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} (0.04)^2 = .001257 \text{ m}^2$$

$$Q = \alpha \left[.348 \sqrt{\frac{T_c}{293}} \right] \left(\frac{\rho_c}{\rho_a}\right)^{\frac{1}{2}}, (2')$$

$$20^\circ\text{C}, \rho_c = 225 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = \left[16.67 \alpha / \left(\rho_a \right)^{\frac{1}{2}} \right] \left(\frac{\rho_c}{225} \right)^{\frac{1}{2}}, (2'')$$

$$\rho_a = \rho_a / 10^4$$

3. タンク内の圧力(P)

次にタンク内ではベルヌーイの定理により,

$$\frac{p_0}{\rho_w g} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_a}{\rho_w g} + \frac{v^2}{2g} + h \quad (1)$$

$$v_0 = Q / A_0 \alpha_c \quad (2)$$

Q は容積流量, α_c 縮流係数 (0.6),

$$v = v_0 \frac{A_0 \alpha_c}{A_H} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} p_a &= p_0 + \rho_w g h = \frac{\rho_w v_0^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_0 \alpha_c}{A_H} \right)^2 \right] \\ &= \frac{\rho_w Q^2}{2} \frac{1 - \left(\frac{A_0 \alpha_c}{A_H} \right)^2}{(A_0 \alpha_c)^2} \quad (4) \end{aligned}$$

これと前節(3)を等置し, $A_0 \alpha_c / A_H \neq 0$ とすると

$$\frac{p_a}{\rho_w g} - (1 - h) = \frac{Q^2}{2g (A_0 \alpha_c)^2} \quad (5)$$

$$2.12 \quad p_0 = \rho_w g H$$

この式から弁開度 α を与えると p_a が計算出来る。

しかしこれでは p_a は Q^2 によって (2) より弁開度の

自乗に比例すると言う事しか出て来ない。

実際(5)では

なお Q は p_a に関係しているからその影響は

小さいので p_a の平均値を使うよう近似でよいだろう。

(3) において $H-h \rightarrow 0$ とおき.

$A_{ode} = 1(\text{m}^2)$ とおき 前節(2')を代入すると

$$P_a = 1.3894 \times 10^2 / P_a^{0.2}, \quad P_a = \frac{P_a}{10^4} \text{ (単位 } \text{kg/cm}^2\text{)}$$

ゆえに $(P_c \text{ を } 225 \text{ に})$

$$P_a = 1.145 \times 10^{2.8235} \left(\frac{P_c}{225} \right)^{0.5882},$$

したがって動的影響を考慮する時の圧力で
弁閉塞のみに依存する。

4. タンク内の圧力 II

時間的に変動する場合のバルヌーイの定理は

$$\frac{p_0}{\rho_w} + \frac{v_w^2}{2} - \int_0^h \frac{dQ}{dt} dz = \frac{p_a}{\rho_w} + \frac{v(h)^2}{2} + gh, \quad (1)$$

空気流量を Q とすると連続の定理より

$$Q/A(h) = v(h), \quad (2)$$

$$\therefore \frac{p_a - p_0}{\rho_w} + gh = \frac{v_w^2}{2} \left(1 - \frac{A_0^2}{A(h)^2}\right) + gI, \quad (3)$$

よって

$$gI = \int_0^h v^2 dz, \quad (4)$$

で 不定積分と 知ってください。

よって

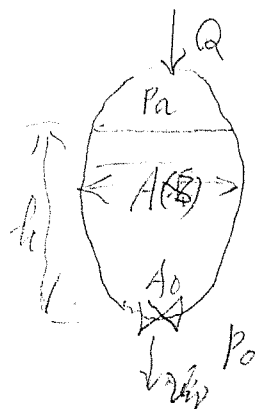
$$gI = \int_0^h \frac{Q^2}{A(h)^3} dh, \quad (5)$$

よって $A(z) = A_H$: const. ならば

$$gI = \frac{gh}{A_H^3} Q^2, \quad (6)$$

$$\therefore h = h_0 - \frac{\int_0^t Q dt}{A_H}, \quad (7)$$

$$\dot{h} = -v = -\frac{Q}{A_H}, \quad (8)$$



今より

$$Q = qt \quad \text{for } 0 < t < \tau, \quad (9)$$

$$= q\tau = Q_0 \quad \text{for } t > \tau,$$

とおくと

$$qI = qh = \int_{A_H} \left(h_0 - \frac{q}{2A_H} t^2 \right) \quad \text{for } \tau > t > 0, \quad (10)$$

$$= 0 \quad \text{for } t > \tau,$$

よって $t=0$ で最も

$$qI \Big|_{t=0} = \frac{h_0 q}{A_H} = \frac{Q_0 h_0}{\tau A_H} = \frac{Q_0 V}{A_H \tau} = \frac{Q_0^2}{A_H^2} \frac{I}{\tau}, \quad (11)$$

即ち $V = h_0 A_H$ より 229 容積

$$T = \frac{V}{Q_0} : \text{流量 } Q_0 \text{ の排水時間}$$

よって τ を大きくすれば 小くなる。

また 孔面積を大きくするのがよい。

5. 総合的見

以上の考察からタコ内圧は定常的な時間に漸次
しな部分と、最初に水を加速する急激的な
部分とに別かれている事がわかる。

この定常的な部分については“気蓄気圧を
225 kg/cm² から 315 kg/cm² まであげると約2割上昇する。
後者については時間の初めに最大で弁全開迄
の時間に逆比例する。

それ故 圧力を上げた場合も弁開き速度を2割
落せば元と同じ程度の圧力に保てる事になる。

6. 模型実験について

実物の $1/n$ の模型を以て実験を考えよう。

相似則には 次の 2通りの 考えがある。

なお 粘性の影響等は 無視出来るものとする。

1) フルード則に従う場合

§4 (1) の式において下添字 S 実物, M 模型として

$$\left. \begin{aligned} v_S/v_M &= \sqrt{n} \\ p_S/p_M &= n \\ \tau_S/\tau_M &= \sqrt{n} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

とおけばよいから、実物の $1/n$ の圧力源を用いて
実験をすれば良い。

2) 重力の影響を無視できる場合

上の場合 §4 (1) の右辺の 3 項 つまり 重力
項を考えると なるので、これが 無視出来る
すると 圧力を 実物と同じとして

$$\left. \begin{aligned} p_S &= p_M \\ v_S &= v_M \\ \tau_S/\tau_M &= n \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

とすればよい事に注意。