

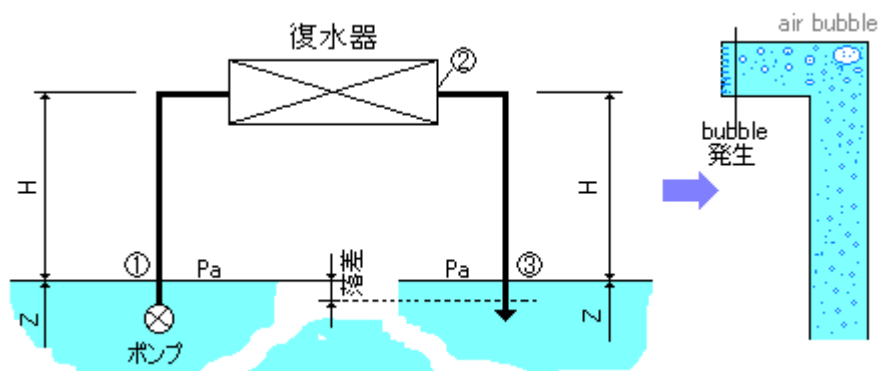
【整番】 FE-14-QA-001	【標題】 サイホンロス(損失) あるいは 縮小管圧損
分類：流れ(圧力損失)/種別：Q&A	作成年月：H18.9 /改訂：Ver0.0 (H18.6) 作成者：N.Miyamoto

全4枚

<サイホンロス>

Q: JVのT社と打ち合わせした際、復水器を含むラインの圧損計算でサイホンロスを考慮すると
言っていたが、これは何か?

A: 水力関係の文献の中にそんな言葉が出ていたような記憶があるが詳しくはわからない。たぶん
以下に述べるようなことを言っているのではないか?



図のような復水器の冷却海水系を考える。堅型ポンプで汲み上げられた海水は、海水面から $H(m)$ の位置にある復水器まで持ち上げられた後、 $H(m)$ だけ流れ下って海水面で放流されている。管路としてはいわゆるサイホン形状をしている。故にポンプがなくても海水で管路を満たすことが可能であり、また点線のように幾分の落差であれば、管路に海水を流すことができる。サイホン形状では位置レベルが降下する部分(ここでは復水器以降の流下部分)が重要になる。何故なら、この部分は復水器まで海水を持ち上げたことで減少した静圧を回復する部分であって、もし、何らかの理由で静圧回復が不十分であれば、海水の流れの停頓や逆流が起きるからである。

(なお、図でポンプの役割は管路で起きる圧力損失(エネルギー損失)の補填であるから、直接にはポンプとこのサイホン現象はつながらない。)

ここで、図の水力モデルを検討してみる。各ポイントのエネルギー保存は次のようである。

$$\text{ポイント①②} : P_1 + \rho V^2/2 + \gamma Z = P_2 + \rho V^2/2 + \gamma(Z+H) + \Delta P_{12} \quad \text{-----(1)}$$

$$\begin{aligned} \text{ポイント②③} : P_2 + \rho V^2/2 + \gamma(Z+H) &= P_3 + \rho^* V^{*2}/2 + \gamma(Z+H) - \gamma^* H + \Delta P_{23} \\ &= P_3 + (\rho/\rho^*) \rho V^2/2 + \gamma(Z+H) - \gamma^* H + \Delta P_{23} \quad \text{-----(2)} \end{aligned}$$

$$(1) \text{から} \quad P_2 = P_1 - \gamma H - \Delta P_{12} \quad \text{-----(3)}$$

$$(2) \text{から} \quad P_2 = P_3 - \gamma^* H + \Delta P_{23} - \{(\rho^* - \rho)/\rho^*\} \rho V^2/2 \quad \text{-----(4)}$$

$$\begin{aligned} (3) \text{と}(4) \text{から} \quad (P_1 - P_3) &= \{(\rho - \rho^*)/\rho^*\} \rho V^2/2 + (\gamma - \gamma^*) H + (\Delta P_{12} + \Delta P_{23}) \\ &= \{(\rho - \rho^*)/\rho^*\} \rho V^2/2 + (\gamma - \gamma^*) H + \Delta P_{13} \end{aligned}$$

$P_1 = P_a + P_P$, $P_3 = P_a$ であるから、③におけるポンプ吐出圧 P_P は、

$$P_P = \{(\rho - \rho^*)/\rho^*\} \rho V^2/2 + (\gamma - \gamma^*) H + \Delta P_{13} \quad \text{----- (6)}$$

復水器の前後の比重量が等しければ $\gamma = \gamma^*$, $\rho^* = \rho$ であるから $P_P = \Delta P_{13}$ になり、ポンプ圧力は管路の全圧損に見合っている。しかし、 (γ, ρ) と (γ^*, ρ^*) が違えば、この全圧損に

$\{(\rho - \rho^*)/\rho^*\} \rho V^2/2 + (\gamma - \gamma^*) H$ なる圧損(?)が加算されることになり、ポンプ圧力は変化する。

通常であれば、相変化がない限り、系の比重量は変わらないはずである。しかし、復水器の場合は海水が高い位置にあるチューブ区間を通過する過程で、圧力が負圧域に降下するとともに加熱によって水温が上昇して、もともと海水に溶け込んでいた空気が放出して、出口側の比重量が減少する傾向がある。海水中の溶存空気が 3 vol % になると $\gamma^* = \text{約 } 0.97\gamma$ であり

$$(\gamma - \gamma^*) = (1 - 0.97)\gamma = 0.03\gamma$$

である。[$\{(\rho - \rho^*)/\rho^*\} \rho V^2/2$]項は小さいので γH 項が効く。T社は水頭圧 γH の 3%をとっている。3%は海水の溶存空気としては相場なのかもしれない。

以上より、前述の【見掛け上の圧力損失 $\{(\rho - \rho^*)/\rho^*\} \rho V^2/2 + (\gamma - \gamma^*)H$ 】がT社の云うサイホンロスと考えられる。

注記：(2)式では、連続の理から $\rho VA = \rho^* V^* A^*$ 。断面積が変わらなければ $A = A^*$ であるから $V^* = (\rho / \rho^*) V$ の関係がある。従って動圧項は $\rho^* V^{*2}/2 = (\rho / \rho^*) \rho V^2/2$ になる。

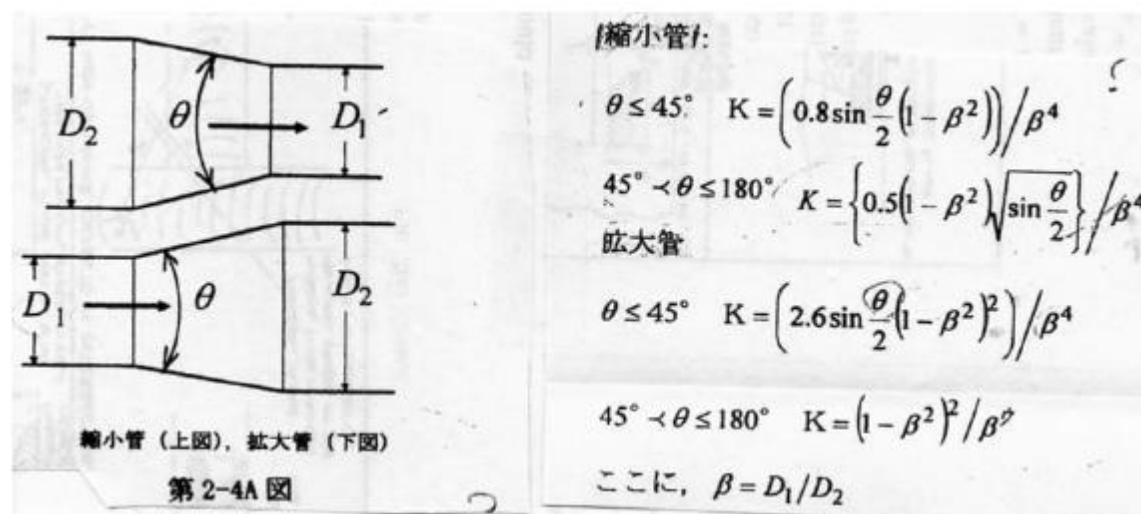
記号説明： γ = 入口側海水の比重量、 γ^* = 出口側海水の比重量、
 ρ = 入口側海水の質量密度 = γ/g 、 ρ^* = 出口側海水の質量密度 = γ^*/g
 P = 静圧、 P_a = 大気圧、 P_p = ポンプ吐出圧、 V = 流速、 Z = 海水面レベル、 H = 復水器レベル
 ΔP_{ij} = $i \sim j$ 間の圧損、

＜縮小管圧損＞

Q: レデューサ(縮小管)の圧力損失を、下記の資料で計算した所、次のようになった。縮小管の圧損は小さくせいぜい 0.5 といわれるが、この場合は 0.5 を越えている。何故か？

$$K=0.8(1-\beta^2)\sin(\theta/2)/\beta^4=0.8(1-0.667^2)\sin(45^\circ/2)/0.667^4=0.86 > 0.5$$

ただし(小径/大径)比 $\beta = 0.667$ 、頂角 $\theta = 45^\circ$



A: 資料の圧損係数は次のような定義になっているようだ。

$$K = \Delta P / (0.5 \rho U^2) \quad \text{但し } U = \text{上流側(大径側)流速}$$

縮小管の圧損係数が 0.5 を超えないというのは、下流側(小径側)の流速ベースで圧損を計算する場合である。流速定義が異なっている。当然ながら流速の遅い大径側では定義式の分母が小さいので K は大きくなる。さて、大径側流速 U_L と小径側の流速 U_S は次の関係にある。

$$U_L = (D_1/D_2)^2 U_S$$

定義式の K を K_L 、 U を U_L とおいて、これに上式を代入すると、

$$K_L = \{1/(D_1/D_2)^4\} \Delta P / (0.5 \rho U_S^2) = (1/\beta^4) K_S$$

従って小径側をベースとする圧損係数 K_S は、

$$K_S = \beta^4 K_L = \beta^4 \times 0.8(1-\beta^2)\sin(\theta/2)/\beta^4 = 0.8(1-\beta^2)\sin(\theta/2)$$

即ち分母の β^4 がとれて $K_S < K_L$ になる。ここでは

$$K_S = 0.8(1-\beta^2)\sin(\theta/2) = 0.8(1-0.667^2)\sin(45^\circ/2) = 0.17$$

圧損係数は 0.5 以下になる。

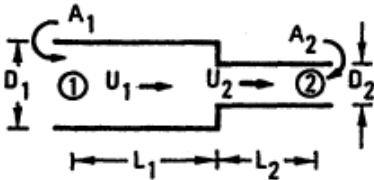
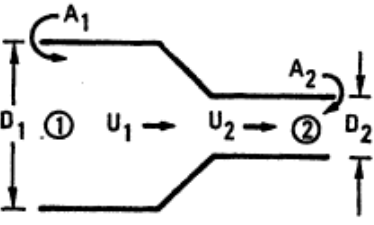
上記の資料はクレーン社の式⁽¹⁾を引用している。近似的なものなので、少し精度を要するなら添付の式⁽²⁾を使用した方がいいと思う。

なお、出入口の径が異なる要素(拡大管、縮小管など)では、圧損係数の定義を確認し対応する流速に見合った圧損係数を用いるようにする。この辺はよく間違いが起きているので注意。

引用: (1) 「Flow of Fluids through Valves, Fitting, and Pipe」 Crane Co.

(2) R.B. Blevin 「Applied Fluid Dynamic Handbook」

Table 6-7. Pressure Loss in Abrupt Contractions and Expansions. (Continued)

Description and Static Pressure Change	Non-Recoverable Loss Coefficient, K																																																				
<p>11. Abrupt Contraction</p>  <p>$L_1 \gg D_1, L_2 \gg D_2$</p> $\frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = 1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 + K + \frac{f_1 L_1}{D_1} + \frac{f_2 L_2}{D_2}$	$K = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$ <p>Refs. 6-39, p. 98, 6-76.</p> <p>An alternative expression, based on experimental data, is (Ref. 6-77):</p> $K = 0.5781 + 0.3954 \beta^{1/2} - 4.5385 \beta + 14.24 \beta^{3/2} - 19.22 \beta^2 + 8.540 \beta^{5/2},$ <p>where $\beta = A_2/A_1$. A_1 and A_2 are flow areas.</p> $U_2/U_1 = A_1/A_2$ <p>For laminar flow use K of Table 6-2</p>																																																				
<p>12. Gradual Contraction</p>  <p>$L_1 \gg D_1, L_2 \gg D_2$</p> <p>CONICAL TRANSITION SHOWN</p> $\frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = 1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 + K + \frac{f_1 L_1}{D_1} + \frac{f_2 L_2}{D_2}$	<table border="1" data-bbox="702 896 1197 1187"> <thead> <tr> <th rowspan="3">$\frac{A_1}{A_2}$</th> <th colspan="5">K</th> </tr> <tr> <th colspan="5">l/D_2</th> </tr> <tr> <th>0</th> <th>0.05</th> <th>0.1</th> <th>0.15</th> <th>0.6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.2</td> <td>0.08</td> <td>0.06</td> <td>0.04</td> <td>0.03</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.17</td> <td>0.12</td> <td>0.09</td> <td>0.07</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.25</td> <td>0.23</td> <td>0.17</td> <td>0.14</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>0.33</td> <td>0.31</td> <td>0.27</td> <td>0.23</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>5.0</td> <td>0.40</td> <td>0.38</td> <td>0.35</td> <td>0.31</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>10.0</td> <td>0.45</td> <td>0.45</td> <td>0.41</td> <td>0.39</td> <td>0.27</td> </tr> </tbody> </table> <p>Ref. 6-39, p. 96. Also see Chapter 7.</p> $U_2 = (A_1/A_2)U_1$	$\frac{A_1}{A_2}$	K					l/D_2					0	0.05	0.1	0.15	0.6	1.2	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	1.5	0.17	0.12	0.09	0.07	0.06	2.0	0.25	0.23	0.17	0.14	0.06	3.0	0.33	0.31	0.27	0.23	0.08	5.0	0.40	0.38	0.35	0.31	0.18	10.0	0.45	0.45	0.41	0.39	0.27
$\frac{A_1}{A_2}$	K																																																				
	l/D_2																																																				
	0	0.05	0.1	0.15	0.6																																																
1.2	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03																																																
1.5	0.17	0.12	0.09	0.07	0.06																																																
2.0	0.25	0.23	0.17	0.14	0.06																																																
3.0	0.33	0.31	0.27	0.23	0.08																																																
5.0	0.40	0.38	0.35	0.31	0.18																																																
10.0	0.45	0.45	0.41	0.39	0.27																																																