

◇ ミニ特集 2 : 「バルブに係わる素朴な疑問」 ◇

バルブと流体に関わる疑問

三宅 克明*

Q1. 水を200ℓ/min流したいのですが、バルブの口径はいくつにすれば良いでしょうか？

A1.

水を流す場合の管内平均流速は、一般的に1.5～2.5m/sec前後で設計されます。

水200ℓ/minを流した場合の管内平均流速は次の式で求められます。



図 1

管内平均流速計算式: $u(\text{m/sec}) = \frac{Q(\ell/\text{min})}{A(\text{mm}^2) \times 0.06}$

u : 流速 (m/sec)

Q : 流量 (ℓ/min)

A : 配管の通過断面積 (mm²)

40Aで2.7m/sec、50Aで1.7m/sec、65Aで1.0m/secになりますので、50Aが適当な配管口径だと思われます。ただし、実際に流量が確保できるかどうかは、ポンプ仕様・全体の配管系統などから確認する必要があります。

Q2. 水素ガスでステンレス製のチャッキバルブを使用していますが、バルブからカンカンと音が発生しています。使用条件は、流量: 20,000Nm³/h、圧力: 3.0MPa、温度: 20℃、配管口径: 150Aです。原因と対策を教えてください。

A2.

チャッキバルブで弁体を一定開度に保持するためには、流体による動圧（流速によるエネルギー

ー）が必要になります。今回の場合、管内平均流速が約11m/secで、動圧が不足しているために弁開度が安定せず、チャタリングが発生しているものと考えられます。動圧は密度に比例し、流速の二乗に比例して大きくなりますが、水素の場合、密度が小さいため動圧が小さくなってしまい、動圧だけで弁体の開度を保持するのは困難です。ダッシュポッド、カウンターウエイトなどを併用して弁体のフラツキを抑える方法が有効です。

Q3. ボールバルブ呼び径10Aを使用したいと考えていますが、圧力損失を計算するに当たって流量との関係式を知りたいのですが、教えてくださいませんか？

A3.

弁容量係数 (Cv値) を用いて計算することができます。関係式は下記になります。

弁容量係数計算式: $C_v = 11.6Q \cdot \sqrt{\frac{G}{\Delta p}}$

Cv : 弁容量係数 (Cv値)

Q : 流量 (m³/h)

G : 比重 (水 = 1)

Δp : 弁前後の圧力差 (kPa)

計算例

流体: 水、流量: 0.8 (m³/h) の条件にてボールバルブの圧力損失を求める場合

上式より、差圧 (Δp) を未知数とすると下式が得られます。この式に計算条件の数値を代入して計算しますと (ボールバルブ10Aの弁容量係数: 7とする)

$$\Delta p = \left(\frac{11.6 \times 0.8}{7} \right)^2 \times 1 = 1.75 (\text{kPa}) \text{ となります。}$$

* 株式会社

Q4. 電動ボールバルブを使用しています。灯油をタンクAから別のタンクBに移して上手く一杯にしたいのですが、電動ボールバルブを開から閉にしている間に流出する流量を求められますか？
 ボールバルブの口径：100A、配管内径：100mm、Lボなど配管の相当管長：10m、圧力差：50kPa、弁開閉時間20秒です。

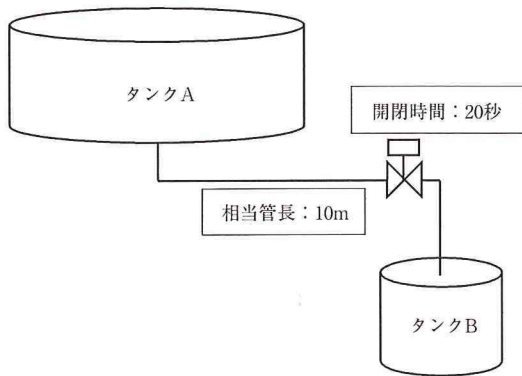


図2

A4.

次のような計算で求めることができます。
 配管の相当管長10mを弁容量係数（Cv値）に換算するとCv=366になります。
 配管の弁容量係数換算値とバルブの弁容量係数を合成すると表1のようになり、この数値をグラフ化すると図3のようになります。

表1

弁開度 (%)	弁Cv値	弁Cv値+配管Cv値
10	10	10
20	32	32
30	68	67
40	113	108
50	170	154
60	232	196
70	295	230
80	355	255
90	415	275
100	460	286

弁容量係数+配管の弁容量係数換算値の流量特性を最小2乗法にて近似式を求めると(1)式が求められます。

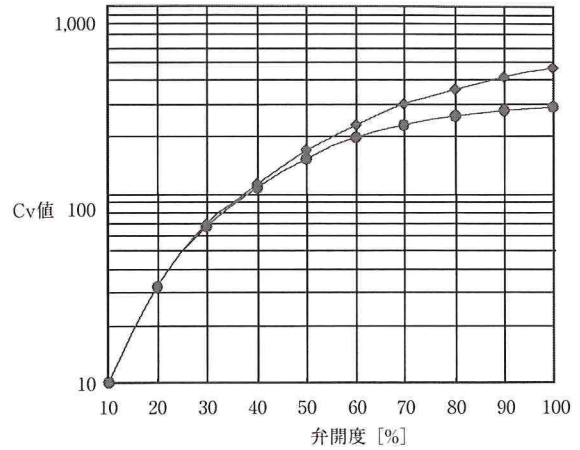


図3 流量特性

$$Cv=603.1x^4-1846.7x^3+1697.7x^2-181.4x+13.33 \quad \dots(1)$$

(1)式を弁開度xについて積分すると

$$\int_0^x (603.1x^4-1846.7x^3+1697.7x^2-181.4x+13.33)dx$$

$$=603.1 \times \frac{1}{5}x^5 - 1846.7 \times \frac{1}{4}x^4 + 1697.7 \times \frac{1}{3}x^3 - 181.4 \times \frac{1}{2}x^2 + 13.33x$$

弁開度全閉から全開まで変化した時の弁容量係数（Cvt）は

$$Cvt = \left(603.1 \times \frac{1}{5} \times 1^5 - 1846.7 \times \frac{1}{4} \times 1^4 + 1697.7 \times \frac{1}{3} \times 1^3 - 181.4 \times \frac{1}{2} \times 1^2 + 13.33 \times 1 \right) = 147.5$$

したがって、流出流量は

$$Q = \frac{147.5}{11.6} \times \sqrt{\frac{50}{0.8}} \times \frac{20}{3600} \times 1000 = 558.47 \text{ (ℓ/20秒)}$$

全開から全閉までの吐出流量は558.5リットルです。

Q5. 流量制御するためにオリフィス口径直径が10mmのものを使用しています。配管を変更してグローブバルブにて設定したいと考えていますが、どのように考えたらよいのでしょうか？

A5.

オリフィスの構造にもよりますが、簡易的には次のように考えられます。

通常流体が流れる有効断面積は、弁容量係数

(Cv値) 1 に対して約18mm²程度となります。この場合、オリフィス口径の有効断面積を算出し、18で除して弁容量係数を求め、その容量係数が制御できる弁口径を選択すればよい事になります。

計算例 (近似計算)

オリフィスの有効断面積計算 (流量係数を0.7として計算)

$$A = \frac{10^2 \times 3.14}{4} \times 0.7 = 55 \text{ (mm}^2\text{)}$$

弁容量係数に換算

$$Cv = \frac{55}{18} = 3.05$$

従って、弁容量係数3.05を制御可能なグローブバルブを選定すればよいことになります。

Q6. タンク出口に手動弁を設置し、タンク容量10m³、圧力3MPa、温度15℃で入っている空気を大気へ放出し、1分でタンク内圧力を1MPaにしたいと考えています。タンク出口弁のCv値をいくつにすればいいか教えてください。

A6.

タンク内の圧力が初期圧力からある最終圧力まで減少するのに要する時間は、等エントロピ変化と等温変化の場合によって異なりますが、実際の気体の放出では、この両極限の中間変化となります。

タンクからの放出に必要な弁口径を求める場合は、等エントロピ変化と等温変化それぞれの場合の必要断面積を求め、そこから弁選定をします。

関係式は次式のようにになります。

[等エントロピ変化]

$$A_1 = \left(\frac{2}{\gamma - 1} \right) \frac{V}{t \delta \sqrt{RT_0}} \left\{ \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{p_{0i}}{p_a} \right)^{\frac{\gamma - 1}{2\gamma}} - 1 \right\}$$

[等温変化]

$$A_2 = \frac{V}{t \delta \sqrt{RT_0}} \ln \left\{ \frac{p_{0i}}{p_a} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \right\}$$

A₁、A₂ : タンク出口の有効断面積 (m²)

t : 時間 (秒)

γ : 比熱比

V : タンク容量 (m³)

δ : 臨界係数

R : ガス定数

T_{0i} : 絶対温度

p_{0i} : タンク内圧力 (Pa abs)

上式より、A₁、A₂の平均値は8.233 × 10⁻⁴ (m²) になります。近似的に弁容量係数に換算し、Cv = 45.7が求めるCv値になります。

このCv値は目安の数値とし、実際の使用時は微調整が必要です。

Q7. シャワー用に3.3m³のタンクを設置し、毎分610リットルのお湯を使用する予定です。使用した温水分だけタンクに水と0.39MPaの飽和蒸気を補給・混合し、温水タンクの温度を45℃に保ちたいのですが、蒸気をどのくらい供給すればよいでしょうか？
また、蒸気管の配管口径・蒸気調整弁の選定もお願いします。

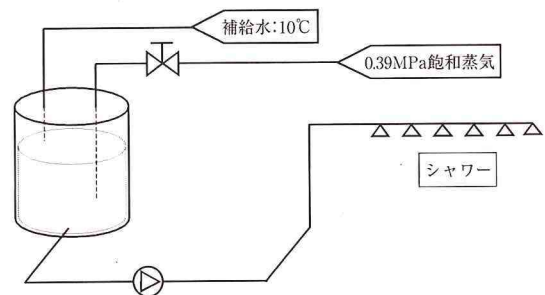


図4

A7.

エンタルピの計算で蒸気量を計算します。

タンク内の水温が45℃・満水の状態になっており、シャワーを使用し、10℃の水が補給された場合の温度低下を補うために必要な蒸気量を求めます。

水45℃のエンタルピ : 192.531 (kJ/kg)

水10℃のエンタルピ : 41.994 (kJ/kg)

0.39MPa飽和蒸気の

エンタルピ : 2745.4 (kJ/kg)

1分間に10℃の水610 (ℓ/min) がタンクに供給されるため、この水を45℃に昇温させるだけの熱量を蒸気で供給すればタンクの水温は45℃に保たれます。

補給された水10℃を45℃に上昇させるためには、148.537 (kJ/kg) が必要です。蒸気を水に直接投入した場合の熱交換効率を80%と仮定すると、蒸気量Wは次式にて求められます。

$$\text{蒸気量 } W = \frac{148.537 \times 610}{\{(2745.4 - 148.537) \times 0.8\}} = 43.6 (\text{kgf/min})$$

必要な蒸気量は43.6 (kgf/min) です。

蒸気管の配管口径は、一般の蒸気配管の管内平均流速は20~40m/secです。これから考えますと、適正な配管口径は100A (流速：約35m/sec) になります。

バルブは、配管の抵抗を無視し弁1次側圧力：0.39MPa、弁2次側圧力：0.015MPaとすれば、計算Cv値はCv=44.2になります。

蒸気の制御ですのでグローブバルブを選択すれば、10K-80Aの製品で制御が出来ます。

Q8. コントロールバルブで気体の圧力制御を検討しているが、以前同じようなプロセスでバルブに霜が付着したことがあります。バルブ部分で温度低下があるようなので事前に検討しておきたいと思います。どの程度の温度低下があるか教えてください。
流体は空気で、 $P_1 = 2.0\text{MPa}$ 、 $P_2 = 0.5\text{MPa}$ 、温度は20℃です。

A8.

バルブの縮流部では、断熱膨張による温度の低下があります。コントロールバルブが玉形弁タイプとすれば、バルブの縮流部の臨界圧力 (P_c)

は次式にて求められます。

$$P_c = \frac{P_2 - P_1(1 - F_L^2)}{F_L^2}$$

P_c : 熱力学的絶対臨界圧力 (kPa abs)

P_1 : バルブ上流側絶対圧力 (kPa abs)

P_2 : バルブ下流側絶対圧力 (kPa abs)

F_L : バルブの圧力回復係数

上式より、コントロールバルブの臨界圧力は $P_c = 148148$ (Pa abs)

ポアソンの法則より、縮流部の温度を求めると

$$T_2^\gamma = \frac{T_1^\gamma \cdot P_2^{\gamma-1}}{P_1^{\gamma-1}}$$

$$T_2^\gamma = \frac{(273.15 + 20)^{1.4} \times 601^{1.4-1}}{2101^{1.4-1}}$$

$$= 1723.87$$

$$T_2 = 1723.87^{(1/1.4)}$$

$$= 205.02$$

この数値の単位は絶対温度 (K) であるから、これを℃に換算すると

$$205.02 - 273.15 = -68.13^\circ\text{C}$$

よって、圧力を断熱変化で2.0MPaから0.5MPaに落とすとバルブの縮流部では-68.13℃まで下がることになります。

実際の温度は、外部からの熱吸収があるためここまでは低下しないと考えられますが、材料の選定には注意が必要です。

(原稿受付 2003年7月11日)