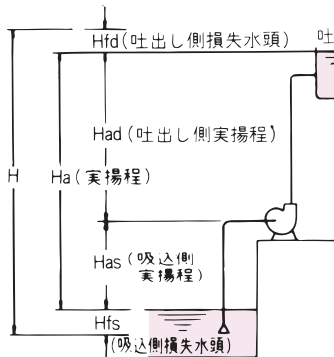


■揚程

ポンプが揚水しうる水頭を揚程といいます。  
 揚水ポンプの場合は下図において吸込水位と吐出し水位との高さの差 $H_a$ を実揚程といい、吸込側実揚程 $H_{as}$ と吐出し側実揚程 $H_{ad}$ とから成り立っています。ポンプの全揚程 $H$ とは実揚程に損失水頭 $H_f$ (吸込側損失水頭 $H_{fs}$ と、吐出し側損失水頭 $H_{fd}$ と

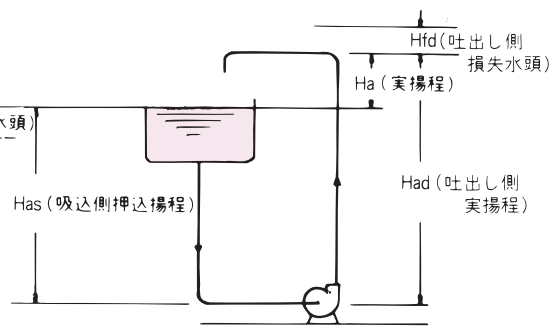
からなる)を加えたものをいいます。  
 排水ポンプもこれと同様です。  
 循環ポンプの場合も計算式は同一ですが吸込側押込揚程 $\equiv$ 吐出し側揚程のケースが多いので、全揚程 $H \equiv H_f$ となります。

〔揚水ポンプの場合〕



全揚程  $H = H_a + H_f$   
 実揚程  $H_a = H_{ad} - (-H_{as}) = H_{ad} + H_{as}$   
 損失水頭  $H_f = H_{fs} + H_{fd}$

〔循環ポンプの場合〕



注)  $H_{as}$  (m) : 押込圧力  
 全揚程  $H = H_a + H_f$   
 実揚程  $H_a = H_{ad} - H_{as}$   
 損失水頭  $H_f = H_{fs} + H_{fd}$

■送水管の損失水頭

(1)直管の損失水頭

a. 計算により求める方法

$$h_f(m) = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ (ダルシー・ワイズバッハ公式)}$$

- L : 管の全長 m
- D : 管の直径 m
- v : 管内流速 m/s
- g : 重力の加速度  $9.8 \text{ m/s}^2$
- $\lambda$  : 液の粘度、流速、管径、管内面の粗さによって変化する値で、水の場合次式により得られます。

$$\lambda = 0.02 + \frac{1}{2000D}$$

$$h_f(m) = \frac{10.67 \cdot L \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \text{ (ヘーゼン・ウィリアムス公式)}$$

- L : 管の全長 (m)
- Q : 流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- C : 流速係数
- D : 管の直径 (m)

b. グラフにより求める方法

次に塩ビ管およびステンレス管の損失水頭を示します。但し、この図は1m当りの新管の損失水頭ですから求めたい長さに変換し、且つ計画に際しては、経年変化を考慮して1.5倍を見込みます。

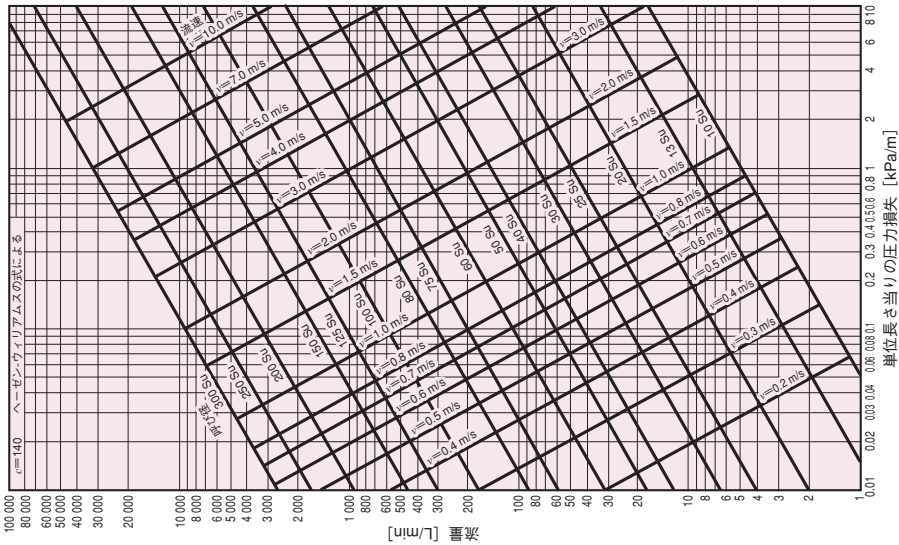
(例)

直径100mm長さ80mの真っ直ぐな配管にて  $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$ の水を送る計画に際して損失水頭を求めます。配管はステンレス管とします。

図から1m当りの新しいステンレス管の損失水頭は  $0.4 \text{ kPa/m}$ となります。

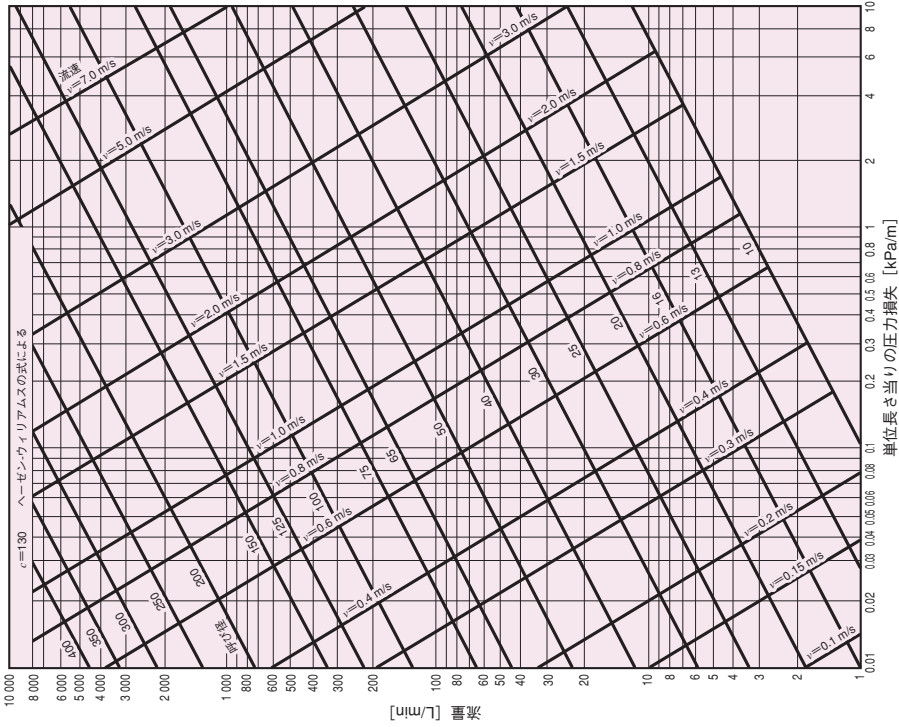
$$h_f = 0.4 \text{ kPa/m} \times 80 \text{ m} \times 1.5 \text{ (計画係数)} = 48 \text{ kPa} \text{ (4.9m) を得ます。}$$

■一般配管用ステンレス鋼管流量線図(SHASE-S 206-2009)  
ヘーゼン・ウィリアムス公式  $C=140$



出典：空気調和・衛生工学便覧 第14版

硬質ポリ塩化ビニル管流量線図(SHASE-S 206-2009)  
ヘーゼン・ウィリアムス公式  $C=130$



出典：空気調和・衛生工学便覧 第14版

(2)配管要素の損失水頭

下記の表は管継手または弁において生ずる摩擦損失水頭と同一の損失水頭を生ずる直管の長さを表わしています。(例えば40mmの90°エルボ1個は、3.3mの直管と同一の損失水頭を有する。)

この表から算出した数値を実際の直管長さに加算して、前ページグラフにより、その配管の総損失水頭を算出します。

給水用硬質塩化ビニルライニング鋼管用局部損失相当長

| 呼び径<br>[mm] | 相当管長 [m]                |                         |                         |                         |                   |      |       |                   |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|------|-------|-------------------|
|             | 90°エルボ                  | 45°エルボ                  | 90°T<br>(分流)            | 90°T<br>(直流)            | 仕切弁               | 玉形弁  | アングル弁 | 逆止め弁              |
| 15          | 3.0 <sup>*1</sup>       | 2.3 <sup>*1</sup>       | 3.8 <sup>*1</sup>       | 1.2 <sup>*1</sup>       | 3.5 <sup>*2</sup> | 4.5  | 2.4   | 5.5 <sup>*2</sup> |
| 20          | 3.1 <sup>*1</sup>       | 2.2 <sup>*1</sup>       | 3.8 <sup>*1</sup>       | 1.6 <sup>*1</sup>       | 2.3 <sup>*2</sup> | 6.0  | 3.6   | 2.7 <sup>*2</sup> |
| 25          | 3.2 <sup>*1</sup>       | 1.8 <sup>*1</sup>       | 3.3 <sup>*1</sup>       | 1.2 <sup>*1</sup>       | 1.7 <sup>*2</sup> | 7.5  | 4.5   | 2.9 <sup>*2</sup> |
| 32          | 3.6 <sup>*1</sup>       | 2.3 <sup>*1</sup>       | 4.0 <sup>*1</sup>       | 1.4 <sup>*1</sup>       | 1.3 <sup>*2</sup> | 10.5 | 5.4   | 3.2 <sup>*2</sup> |
| 40          | 3.3 <sup>*1</sup>       | 1.9 <sup>*1</sup>       | 3.6 <sup>*1</sup>       | 0.9 <sup>*1</sup>       | 1.7 <sup>*2</sup> | 13.5 | 6.6   | 2.6 <sup>*2</sup> |
| 50          | 3.3 <sup>*1</sup>       | 1.9 <sup>*1</sup>       | 3.5 <sup>*1</sup>       | 0.9 <sup>*1</sup>       | 1.9 <sup>*2</sup> | 16.5 | 8.4   | 3.7 <sup>*2</sup> |
| 65          | 4.4 <sup>*1</sup>       | 2.4 <sup>*1</sup>       | 4.4 <sup>*1</sup>       | 1.1 <sup>*1</sup>       | 0.48              | 19.5 | 10.2  | 4.6               |
| 80          | 4.6 <sup>*1</sup>       | 2.4 <sup>*1</sup>       | 4.9 <sup>*1</sup>       | 1.3 <sup>*1</sup>       | 0.63              | 24.0 | 12.0  | 5.7               |
| 100         | 4.7 <sup>*1</sup> , 4.2 | 2.7 <sup>*1</sup> , 2.4 | 6.6 <sup>*1</sup> , 6.3 | 1.5 <sup>*1</sup> , 1.2 | 0.81              | 37.5 | 16.5  | 7.6               |
| 125         | 5.1                     | 3.0                     | 7.5                     | 1.5                     | 0.99              | 42.0 | 21.0  | 10.0              |
| 150         | 6.0                     | 3.6                     | 9.0                     | 1.8                     | 1.20              | 49.5 | 24.0  | 12.0              |
| 200         | 6.5                     | 3.7                     | 14.0                    | 4.0                     | 1.40              | 70.0 | 33.0  | 15.0              |
| 250         | 8.0                     | 4.2                     | 20.0                    | 5.0                     | 1.70              | 90.0 | 43.0  | 19.0              |

注 \*1 管端防食形、鉄管継手協会資料による。

\*2 管端防食形、メーカー資料による。

1) フート弁はアングル弁と同じ、逆止め弁はスイング型の場合。

2) \*印のないデータは鋼管用のデータを使用。

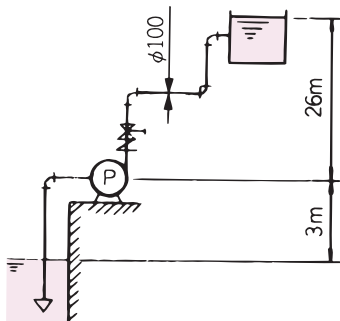
出典：空気調和・衛生工学便覧 第14版

(3)損失水頭および全揚程の求め方

[例]

図の如き配管系において管径100mm、直管部の合計長さ80m、フート弁1ヶ、エルボ4ヶ、スルース弁1ヶのときの全摩擦損失を求めます。

水量は1.2m<sup>3</sup>/min、管はステンレス管とします。



[解]

直感部長さ……………80m  
 配管要素の直感相当長さ ……………約42m  
 内訳 フート弁 ……16.5  
       チェック弁(逆止弁) …… 7.6  
       スルース弁(仕切弁) …… 0.81  
 十) エルボ4.2×4= 16.8

122m

つまり122mの直管の損失水頭を求めます。前頁の図より1m当りのステンレス管の損失水頭は0.4kPa/mですから

$hf=0.4\text{kPa/m} \times 122\text{m} \times 1.5(\text{計画係数})=73.2\text{kPa}(7.5\text{m})$   
 を得ます。

全揚程

$$\begin{aligned}
 H &= H_a + hf \\
 &= (3+26) + 7.5 \\
 &= 36.5\text{m}
 \end{aligned}$$

■動力と効率

ポンプが吐出し量Qを全揚程Hだけ揚水するために必要な軸動力Sは、揚水に有効に利用される水動力Wとポンプ効率 $\eta$ とによって求められます。ポンプを駆動する電動機の容量Mはその軸動力Sにある程度の余裕を付加して決定します。

以上の関係を式にまとめるとつぎのとおりとなります。

$$W = 0.163 \gamma QH \text{ [kW]}$$

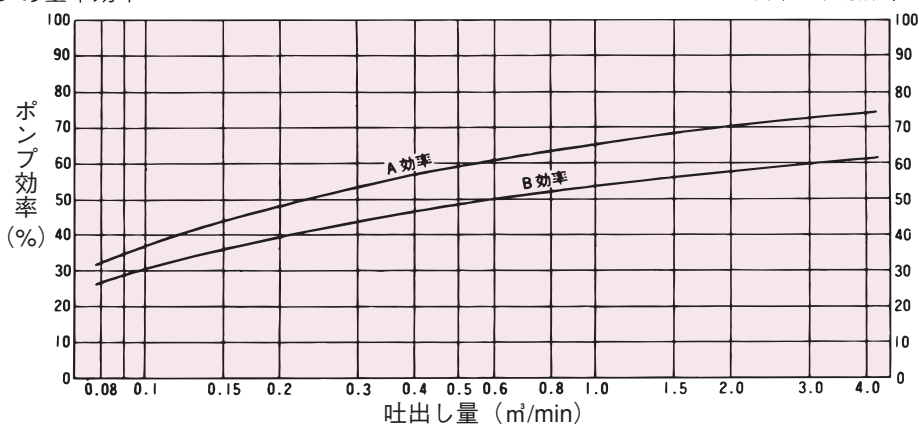
$$S = \frac{W}{\eta} \text{ [kW]}$$

$$M = S \cdot \frac{e}{\eta_b} \text{ [kW]}$$

それぞれの記号は  $\gamma$  = 揚液の密度kg/L (常温清水のとき  $\gamma = 1$ )、 $Q$  = 吐出し量  $m^3/min$ 、 $H$  = 全揚程m、 $\eta$  = ポンプ効率、 $e$  = 余裕度、 $\eta_b = 1$  を示します。ポンプ効率  $\eta$  は下図を参照ください。A、B曲線の値はそれぞれA効率、B効率と呼ばれいずれもポンプ関係のJIS (日本工業規格) から抜粋したものです。JISには、ポンプ特性曲線の最高ポンプ効率がA効率以上であること、規定吐出し量におけるポンプ効率がB効率以上であることが記されています。仕様を決定する際は、B効率の値で行った方がよいでしょう。

ポンプの基準効率

日本工業規格 (JIS) から抜粋



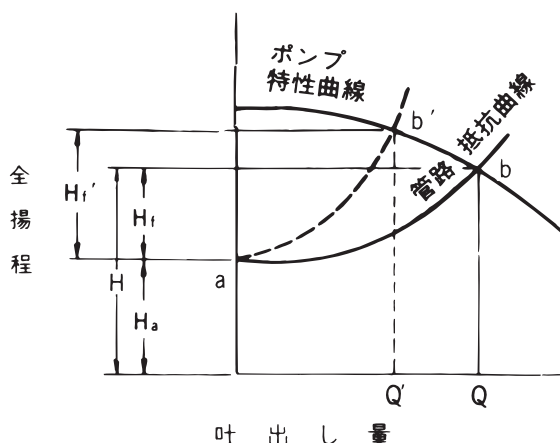
■配管の抵抗曲線

ポンプ設備の計画にあたっては、ポンプ特性と共に、管路の損失水頭を併せて考える必要があります。実揚程に損失水頭を加え、吐出し量に対する変化を示したものが抵抗曲線です。「送水管の損失水頭」の項に示すように、管路抵抗は配管の直径が決っていれば流速 (V) の2乗に比例します。

即ち、吐出し量の2乗に比例することになりますので、管路抵抗曲線は、実揚程“a”と規定吐出し量Qで求めた全揚程Hの点“b”を結ぶ2次曲線となります。ポンプは管路抵抗曲線とポンプ特性曲線との交点で運転されます。管の抵抗が大になれば ( $H_f \rightarrow H_f'$ ) 交点は左 (b') に寄り、ポンプ吐出し量は減少します ( $Q \rightarrow Q'$ )。

$H_a$  = 実揚程  $H_f$  = 損失水頭  $H$  = 全揚程

抵抗曲線と吐出し量

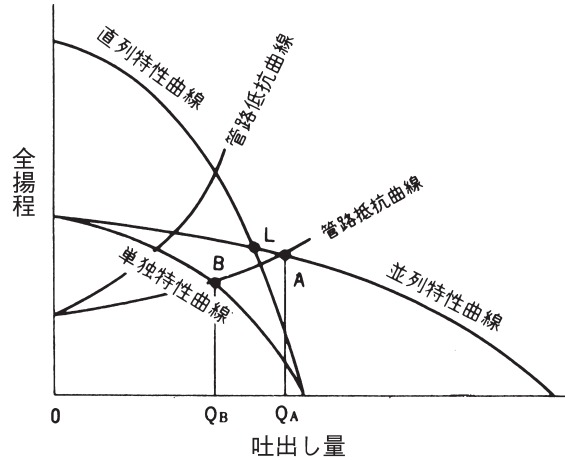


■ 運転方式一並列・直列運転

特性の等しいポンプ2台の並列・直列運転  
 並列運転・直列運転の特性曲線は右図のように、吐出し量・全揚程をそれぞれ単独運転の場合の2倍にして求められます。したがって管路の抵抗曲線と並列特性との交点Aが並列運転時の運転点となります。このときの吐出し量 $Q_A$ は管路抵抗が増すため、単独運転の運転点Bにおける吐出し量 $Q_B$ の2倍よりは必ず少なくなります。

抵抗曲線が並列特性と直列特性の交点Lよりも下を通るときは並列運転、上を通るときは直列運転の方が大水量を得られます。

同一特性ポンプ2台を並列・直列に使用したときの連合特性曲線



なお、右図のように2台並列運転時A点の各々のポンプの運転点はC点ですが、1台運転時はB点となり仕様点より大水量で運転されますので、この場合でも電動機出力、吸込性能を満足するようポンプを選定する必要があります。

