

ホース内径：65mm

ホース長さ：20m

送水流量：0.1m<sup>3</sup>/min~1.5m<sup>3</sup>/min

とした場合のケースを考える。

ホースに水を通した時に、その断面が完全な円形になると仮定すれば管摩擦による損失ヘッド $h_f$ は

$$h_f = \lambda \frac{l V^2}{d 2g} \cdots \text{①式}$$

ここに $\lambda$ : 管摩擦係数,  $l$ : ホース長さ,  $d$ : ホース内径,  $V$ : 送水流量,  $g$ : 重力加速度である。

となる、これは電気抵抗がその長さに比例し、直径に反比例することに直観的なイメージが似ている。

また $\lambda$ は流れが層流の場合は $\lambda = \frac{64}{Re}$ となり、ここで $Re$ はレイノルズ数と呼ばれ、

$Re = \frac{Vd}{\nu}$ (②式)の関係式で示される無次元数である ( $\nu$ は動粘度)。しかし、乱流の場合は $\lambda = \frac{64}{Re}$ の関係式は当ては

まらず、実験的に得られたいくつかの実用公式があるので、それらから求める。

今回考慮する送水流量の範囲で、レイノルズ数の取る値は

$$Re = 3.26 \times 10^4 \quad @0.1m^3/min \sim Re = 4.9 \times 10^5 \quad @1.5m^3/min$$

であるため、送水流量が少ない場合はブラジウスの式、送水流量が多い場合はニクラゼの式が望ましい。さらに管（ホース）内はゴムまたは樹脂加工が施されており表面はざらついていると考えられるので、粗面の場合の式を使うことも考えられるが、簡単化のため全てニクラゼの式を用いて計算する。

ニクラゼの式: $\lambda = 0.0032 + 0.221Re^{-0.237} \cdots \text{③式}$

摩擦損失 $h_f$ を求めるのに①式では $h_f$ 以外に $\lambda$ が未知数であるが②、③式より $\lambda$ が決定され、若干の計算ののち摩擦

損失 $h_f$ を求めることができる。

解法

計算式

基礎式①～③

その他の関係式

ホース内の面積： $A = \frac{\pi}{4}d^2$ 、流量： $Q = AV$ 、

例：0.5m<sup>3</sup>/minの時

STEP1：レイノルズ数の計算

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.5/60}{0.0033} = 2.51 \text{ (m/s)}$$
$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{Vd}{1 \times 10^{-6}} = 1.63 \times 10^5$$

STEP2：管摩擦係数の計算

$$\lambda = 0.0032 + 0.221Re^{-0.237} = 0.0032 + 0.221 \times (1.63 \times 10^5)^{-0.237} = 0.0161$$

STEP3:摩擦損失の計算

$$h_f = \lambda \frac{l V^2}{d 2g} = \lambda \frac{l}{d} \frac{Q^2}{A^2 2g} = \lambda \frac{20}{65 \times 10^{-3}} \frac{Q^2}{A^2 2 \times 9.8} = 1.6m$$

つまり 0.016MPa

基本的には以上で終了。

ここで、簡単に計算しホースを N 本に延長した場合を考慮できるようにするため、摩擦損失を Q と N のみであらわせるようにする。

こうすることにより、ポンプ車で連結（中継）送水する場合の送水圧力決定の参考になる。

STEP4:摩擦損失の簡易表現

$$h_f = \lambda \frac{Nl V^2}{d 2g} = \lambda \frac{Nl}{d} \frac{Q^2}{A^2 2g} = \alpha NQ^2 = 6.36NQ^2(m)$$

つまり 0.0636NQ<sup>2</sup>(MPa)

※Qの単位はm<sup>3</sup>/minで扱う。

(本来、摩擦係数は流速ごとに変化するが、強引に代表（固定）値のみで取り扱う。)

なお、文献によれば $\alpha = 0.081$ や $\alpha = 0.071$ などが見られるので、ここで求めた値と大きくかけ離れる。

しかし、STEP2 で示す管摩擦係数の式は管壁が滑らかな場合の式であり、実際のホース内部はゴムや樹脂で覆われており滑らかでなくいため、管壁の粗さと管の内径によるがレイノルズ数が大きくなっても、管摩擦係数は小さくなることなく、あるところで一定の値を示すことが知られている。

今回示した消防用ホースも管摩擦係数はもっと大きいと考えられる。

さらに、基礎データのない机上計算であり、実際はホース曲がりの圧損などもあるため、正確な値は実験しても

なかなか得られないが、連結中継送水する時の目安になる。

参考：モリタポンプ車のマニュアルの場合 $\alpha = 0.081$ 、某消防局資料の場合 $\alpha = 0.071$ 、  
某資料の場合 $\alpha = 0.137$