

消防の筒先の反動力

R5.3..3 改定 H.Kato

消防筒先員は、放水時にホースから力を受け、特に後ろへ引っ張られる感覚がありこれは放水時の反動力と呼ばれている。

この力は筒先員の安全性に大きく影響を与えるものであり、経験的に放水圧力や流量に影響を受けることを知っている。

ここでは、その反動力を計算で求めてみる。

放水時の反動力

仮定

1. ホースの曲がり部分が設置部から空中にかけて浮いている。
2. ホースの曲がり部分は 90 度である。
3. 筒先に用いるノズルはストレートノズル（相当）とする。

基礎式

1. ホース曲がり部内壁の受ける力

$$F_b = \rho Q v_1 + P A_1$$

2. 絞り部にかかる力

$$F_d = \rho Q (v_1 - v_2) + P A_1$$

解

ポンプ車の方向に引っ張る力を正とすれば反動力は

$$F_h = F_b - F_d = \rho Q v_1 + P A_1 - \rho Q (v_1 - v_2) - P A_1 = \rho Q v_2 = \rho A_2 v_2^2$$

となる。

ここでノズルでの流速を圧力に変換すれば

$$v_2 = \sqrt{2P/\rho}$$

となり、反動力の式に代入すれば、

$$F_h = \rho A_2 v_2^2 = 2A_2 P = \frac{\pi d_2^2 P}{2} = 1.57 d_2^2 P (N)$$

ここに d_2 :ノズル径(mm)、 P :ノズル圧力(MPa)

である。

ちなみに、各種資料では 1.57 でなく 1.53 や大雑把に 1.5 などがある。これは圧力補正係数やノズルの形状係数をかけたものだと思われる。

なお、人間一人が耐えられる反動力は 200N 程度といわれている。また、操法用のノズルは 21mm 相当らしい。

ここで、筒先員が振られずに耐えられるノズル圧力を求めると

$$F_h = 1.57d_2^2 P(N) \rightarrow P_h = 200/1.57d_2^2 (MPa) \rightarrow 0.29MPa$$

となる。これは定常的な値であり水が通る瞬間は筒先員が体勢を整える必要があるために、実際はもっと低いノズル圧力でなければならない。

または、余裕ホースをとる場合、送水したときに地面との接地部分の角度（形状）が 90 度よりも多くかつ、筒先近くのホース部分を真直ぐあるいは、より耐えられる方向に持っていくことが望ましい。

ここは安全性を考慮して機関員操作が大きく物をいう次元だと思いますが、ポンプ操法でポンプ（メーター）圧力が最大 0.4MPa というのは、恐らく人間が耐えられる反動力 200N を超えない様にするためのノズル圧力が約 0.3MPa で 65mm ホース 3 本分の損失が放水量の計算, pdf より約 0.08MPa でこの時のポンプ圧が 0.38MPa となるのであながち根拠のない値でもないと思います。