

【整番】 FE-15-TC-001	【標題】 ポンプ軸受冷却水入口エルボの破孔
分類：熱(熱流動)/種別：トラブル事例	作成年月：H18.9/改訂：Ver0.0 (H18.9)
作成者：N.Miyamoto	

全3枚

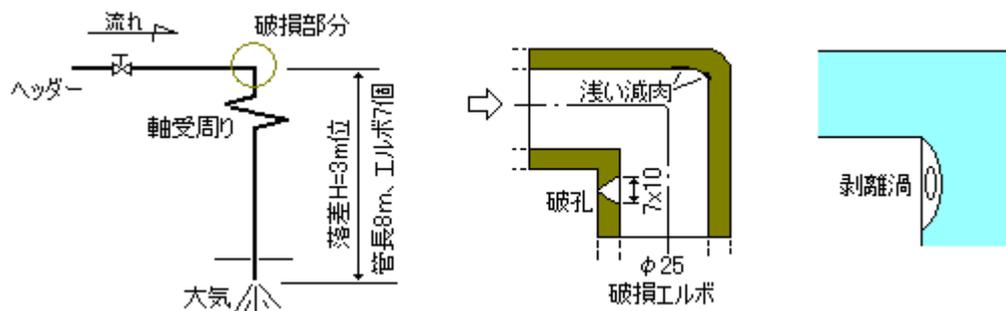
## 1. あらまし

縦型ポンプの軸受冷却水配管(φ25)のエルボ表面が破孔して水漏れが起きた。エルボを取り出して内部をみると、壁肉がピット状にえぐられていた<sup>(1)</sup>。以下、その原因と対策を議論する。

## 2. 状況

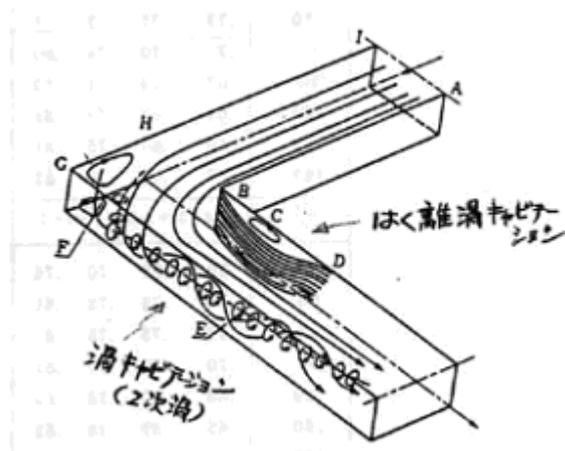
冷却水配管のフローと破損状況を下図に示す。冷却水はヘッドからポンプ軸受周囲を通してピットに放出される。設計上の冷却水量は $2\text{m}^3/\text{hr}$ であるが、元弁の絞りが甘く、これをはるかに超える水量が流れていたようである。

破損は軸受に入る手前の差込み式エルボで起きた。このエルボは曲率がなくほぼ直角に曲がっている。破孔は内側コーナーで起きており、内表面(7x10mm)から延びたピットの底に該当する。ピットはえぐられて磨り減ったような感じ。また、外側コーナーには浅い減肉がみられる。キャビテーションエロージョンの印象が強い。



## 3. 原因とメカニズム

直角エルボの場合、流れが急旋回するので、内側曲がり壁に剥離渦が発生する。文献<sup>(2)</sup>によればこの部分のフローパターンは下図のようで、内側に剥離渦によるキャビテーション、外側に2次渦によるキャビテーションが起きる。多分、内側のピットは剥離渦、外側の浅い減肉は2次渦によるものと思われる。



以下、キャビテーションの発生について検討してみる。

エルボのキャビテーション係数は以下のように定義される。

$$\sigma = (P_u - P_v) / (0.5 \rho V^2) \quad \text{-----(a)}$$

エルボ位置と放出口において、

$$P_u + \gamma H + 0.5 \rho V^2 = P_a + 0.5(1 + K) \rho V^2$$

よって  $P_u = P_a + 0.5K \rho V^2 - \gamma H \quad \text{-----(b)}$

(b)を(a)に代入し、更にVをV<sub>c</sub>に、σをσ<sub>c</sub>に置き換えて

$$V_c = [\{2(P_a - \gamma H - P_v) / \rho\} / (\sigma_c - K)]^{0.5} \quad \text{-----(c)}$$

ここで、P<sub>u</sub>=エルボ入圧力、V<sub>c</sub>=限界流速(m/s)、P<sub>a</sub>=大気圧(10330 kg/m<sup>2</sup>)、

γ = 流体比重量(kg/m<sup>3</sup>)、H=エルボ～放出口の落差 (m)、P<sub>v</sub>=飽和蒸気圧(kg/m<sup>2</sup>)

σ<sub>c</sub>=限界キャビテーション係数、ρ = 密度 = γ / g、g=重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>)

K=圧損係数 = λ (l/d) + Σ Ki、λ = 管摩擦係数、l=管長さ、d = 直径

Ki = 各管継手の圧損係数、

ここで、P<sub>a</sub>=10330 kg/m<sup>2</sup>、P<sub>v</sub>=323 kg/m<sup>2</sup>、γ = 1030 kg/m<sup>3</sup>、H=3m、ρ = 105 kg s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>、  
また限界キャビテーション係数σ<sub>c</sub>を9.8～16の中間の12とにおいて、流量を変えて計算すると  
次のようになる。

流量 m <sup>3</sup> /hr(流速 m/s)	圧損係数 K	限界キャビ係数	限界速度(m/s)
3 (1.7)	9.2	12	6.9
7 (4.0)	8.0	12	5.7
11 (6.2)	7.2	12	5.2
15 (8.5)	6.8	12	5.0

従って、実際の冷却水は流速が限界流速に漸近する7～11m<sup>3</sup>/hrの間で流れていたようで、略々10m<sup>3</sup>/hr(5.5m/s)を少し越えていたのではないかと思われる。

原因としては、次の4点が挙げられる。

- ① 直角エルボが使われており限界キャビテーション係数が大きかったこと、
- ② 冷却水元弁が十分絞られておらず流速が速すぎたこと、
- ③ エルボの材質が銅合金系で比較的エロージョンに弱かったこと、
- ④ 落差Hが大きくエルボ入口圧力P<sub>u</sub>が低かったこと

多分、①②③が主因と思われる。①については、スムーズベンド(ロングエルボ)を使うと

$$\sigma = (10330 + 0.5 \times 7.5 \times 105 \times 5.5^2 - 1030 \times 3 - 323) / (0.5 \times 105 \times 5.5^2) = \text{約 } 12$$

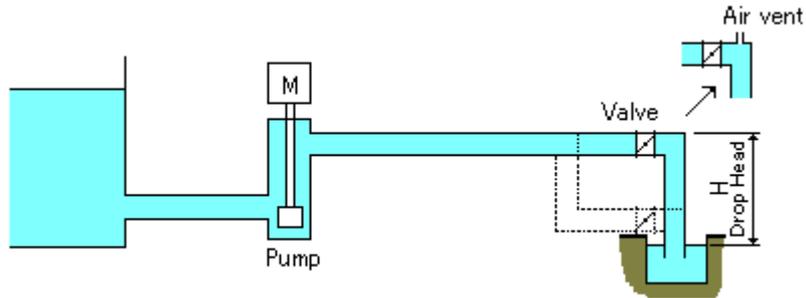
限界値σ<sub>c</sub>が1.5程度なので、σ > σ<sub>c</sub> となり キャビは起きなかったと思われる。

④については、上記検討では落差Hが不明確で3mと仮定しているが、もっと大きかった?ことも考えられる。その状態ではエルボ入口圧P<sub>u</sub>が下がって(a)式の分子の(P<sub>u</sub>-P<sub>v</sub>)がダウンし、キャビがおき易くなる(\*1)。

#### 4. 是正措置

直角エルボをスムーズエルボに換えるとともに、元弁を絞って流速を減じた。

(\*1) 大気開放まで落差を取りすぎて、管路の高い所が負圧になり、吸気やキャビなどのトラブルが起きる例は意外と多い。下図も然り。絞りバルブの位置が高くてその部分の静圧が下がりひどいキャビ/騒音が起きた。直後に空気ベントを付けるか、点線のように弁の位置を下げるのがいい。いずれも弁位置の静圧がアップしてキャビが起きにくくなる。



(引用文献)

- (1) ポンプ軸受冷却水入口エルボの破孔について (プレ検討) H17.2.1 プケハ宮本
- (2) 「屈折管のキャビテーション性能に関する研究」藤原ら 【空気調和・衛生工学会論文集 No19】