

# 水撃圧破壊における管強度の変化と破壊領域について

東北学院大学工学部 学生会員 菅原 康太  
 東北学院大学工学部 正会員 河野 幸夫

## 1. 序論

現在のパイプラインの設計には静的の水撃圧と強度を使用して肉厚の設計をおこなっている。しかしながら動的水撃圧の影響によってパイプラインが破壊するという事故が実際に起こっている。一般的に水撃圧とは流動している液体が弁によって急閉鎖される事によって管内に発生する急激な圧力上昇の事を言い、これが動的に管路の内側に負荷される。このような水撃圧を動的な負荷として扱った研究はほとんど見られない。そこで本研究では市販の塩化ビニル管供試体を用いて水圧载荷による準静的破壊・動的破壊を行い、圧力の挙動を調べる。また二台の高速度カメラを用いて準静的破壊と動的破壊における破壊現象を調べる。

本研究の目的は、

1. 円柱座標系における半径方向の運動方程式を考え、水撃圧による高速拡張現象において管に作用する内圧が成す仕事を調べる。
2. 準静的破壊から動的破壊までの破壊を行うことによって、破壊形状がどのようにパターン分けされるのかを
3. 準静的破壊から動的破壊を行い、その時得られた破壊形状の分布を検討し、破壊領域の範囲を調べる。

## 2. 円柱座標系における半径方向の運動方程式

円管の微小要素での半径方向の運動方程式を誘導し、薄肉円管の場合を考慮すると、運動方程式は次式で示される。

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} = p - \frac{\sigma_{\theta} h}{r}$$

$h$  = 円管の肉厚、 $r$  = 半径  $p$  = 内圧

上式を  $r_0$  から  $r$  まで積分、整理すると次式になる。

$$2\pi \int_{r_0}^r p r dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\varepsilon_{\theta}} \sigma_{\theta} d\varepsilon_{\theta} + \pi p r_0 h_0 \cdot v^2$$

$\varepsilon_{\theta}$  = 円周方向のひずみ  $h_0, r_0$  = 円管肉厚, 半径

1.

上式において  $W_e$  = 内圧のなした仕事,  $W_p$  = 塑性変形に費やした仕事,  $W_k$  = 運動エネルギーに費やした仕事とすると以下の式になる。

$$W_e = W_p + W_k$$

$W_k$  は準静的、動的の場合はゼロに近づくので、無視することができ、以下の式が得られる。

$$W_e = W_p$$

## 3. 水圧破壊実験方法

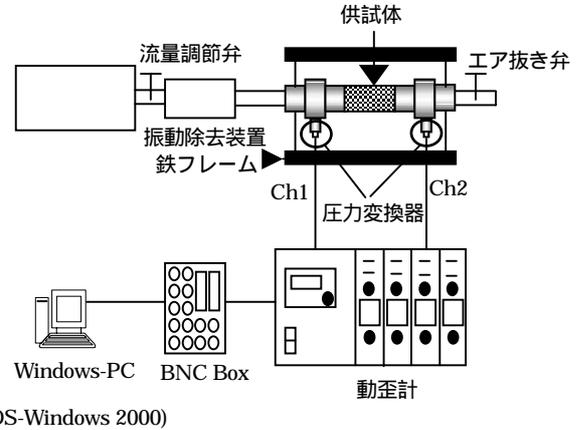


図 - 1 水圧破壊実験装置図

供試体を実験装置に接続し、偏心、引張りなどの他の作用力が働かないように注意して、管路軸方向の伸びが発生しないように4本のL字フレームによりしっかりと固定する。供試体の両端部分に圧力変換器 (ch1, ch2) を取り付け。実験装置内に電動ポンプにて水を満たす。気温、水温の測定後実験を開始する。電動ポンプによって水圧载荷する。载荷開始から破壊までの载荷時間は0 ~ 900秒程度で行い、水圧载荷中は供試体接続部、圧力変換器取り付け部などから水漏れがないかチェックをする。

## 4. 結果

### 4.1 塩化ビニル管の破壊形状

図-2に示してあるように、塩化ビニル管は4つの破壊形状に分類することができた。(a)が膨張破裂破壊、(b)は小穴状破壊、(c)は膨張Y状破壊、(d)は完全Y状破壊となった。



(a) (b) (c) (d)

図 - 2 破壊形状

キーワード 水撃圧、強度、応力ひずみ曲線

住所 宮城県多賀城市高崎 3-17-7

## 4.2 応力ひずみ曲線

図-3は荷重時間0.78秒の時の圧力のグラフを示している。応力ひずみ曲線を描くためにグラフから20点を抽出し、各々の点でのひずみを求める。ひずみの求め方は図-4に示してあるように写真から求めることとする。下の計算結果は実際に20個のひずみを算出したものである。このように点(1)から(20)までのひずみを算出し、その結果を使用し描いたものが、図-5に示してある応力ひずみ曲線である。この応力ひずみ曲線の面積が、先に説明した塑性変形に費やした仕事(Wp)の積分形の部分に適應され、計算することができるのである。

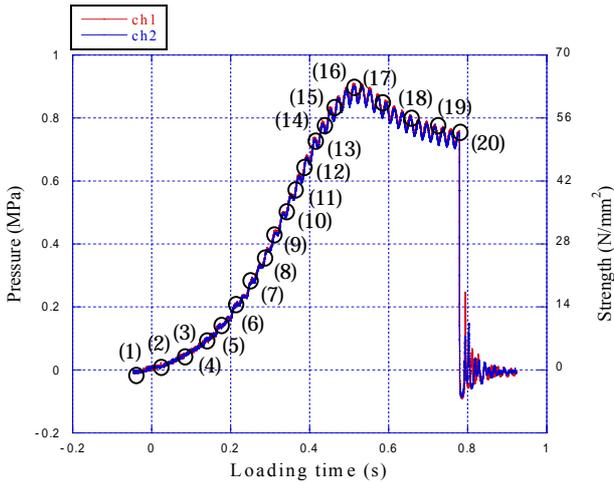


図-3 荷重時間0.78秒

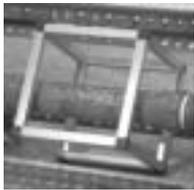


図-4 点(20)の写真

$$\varepsilon = \frac{\Delta r}{r} = \frac{11.7(\text{mm})}{28(\text{mm})} = 0.42$$

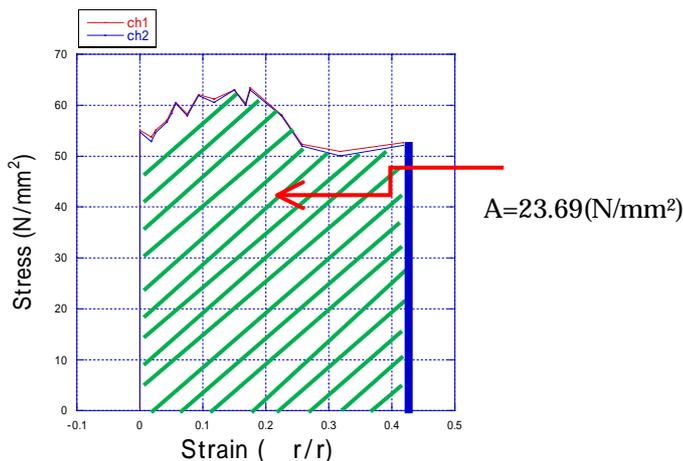


図-5 荷重時間0.78秒の応力ひずみ曲線

$$Wp = 2 \pi r_0 h_0 \int_0^{\varepsilon_0} \sigma_\theta d\varepsilon_\theta$$

$$= 2 * \pi * 28(\text{mm}) * 0.4(\text{mm}) * 23.69 (\text{N/mm}^2)$$

$$=1666.26(\text{N/mm}^2)$$

## 4.3 全ての実験結果

図-6は圧力と強度に対する水圧荷重時間のすべての実験データを示したものである。さらに荷重時間の変化による破壊形状も分布も示している。実際に塩化ビニル管の持つ強度は56.0(N/mm²)であるが、グラフを見ると荷重時間が短くなるにつれて強度は上昇していき、動的になると強度は約70(N/mm²)という、約1.3倍もの値を示している。

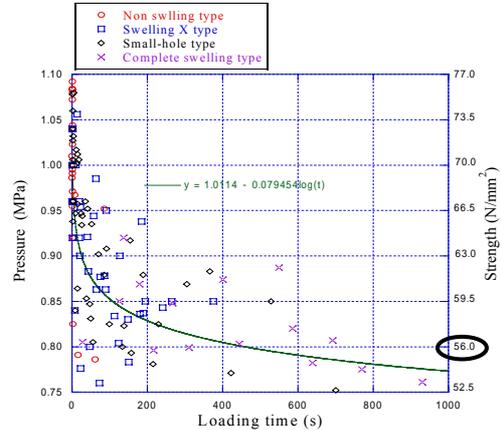


図-6 圧力と強度と水圧荷重時間の関係

## 4.4 破壊領域の分類

図-7は破壊領域を示した図である。実験で得られた強度と破壊形状により、準静的領域、動的領域、遷移領域の3つの領域に分けることができた。

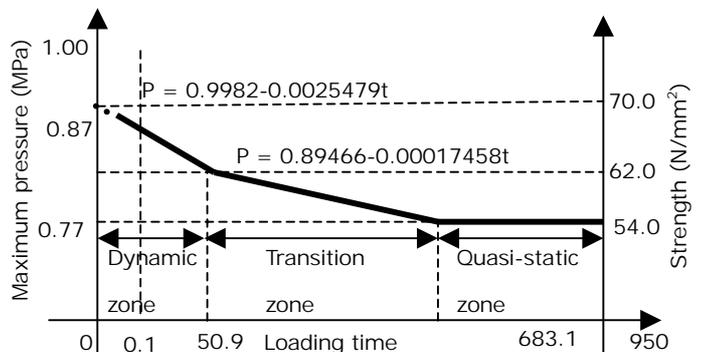


図-7 破壊領域

## 5. 結論

- 塩化ビニル管は4つの破壊形状に分類することができた。(a)が膨張破裂破壊、(b)は小穴状破壊、(c)は膨張Y状破壊、(d)は完全Y状破壊となった。
- 実際に塩化ビニル管の持つ強度は56.0(N/mm²)であるが動的になると強度は約70(N/mm²)という、約1.3倍もの値を示している。
- 破壊領域は動的領域、静的領域、繊維的領域の3つに分類することができた。