

II-76

水撃圧による管破壊領域の検討について

Investigation into the pipe destructive domain.

東北学院大学 大学院 学生会員 ○小林 祐也

東北学院大学 工学部 正会員 河野 幸夫

1 研究目的

本研究では、市販の塩化ビニル管を供試体とし、管路を遮断弁を用いて急閉鎖し、発生する水撃圧を用いての破壊実験、および水圧载荷による緩閉鎖のような、なだらかに圧力が上昇する準静的から動的な管の破壊実験を行った。また、High-Speed Camera (Motion Pro 10000) を用いて動画撮影を行う。管破壊実験では、撮影と同時に管破壊圧力と载荷時間を測定した。管の破壊には载荷時間が、破壊の特性に大きく影響することから、破壊形状と破壊力積という観点から境界領域を明らかにするため検討を行う。また、極座標を用いた理論式から载荷速度が非常に速い加速度項が影響する衝撃的破壊領域の検討を行うことを目的とした。

2 計測装置・実験方法

本研究に使用する Motion Pro 10000 は PC 内臓のコントローラボードとカメラヘッドから構成されており、一秒間に最大 10000 枚の画像を動画及び静止画で撮影することができる。また、内臓の情報収集モジュールで外部計測装置の電気信号を取り込み、記録した高速ビデオとのシンクロ記録、再生を可能としている。さらに、カメラを二台使用することで、アプリケーションを用いた 3D 解析が可能である。この計測装置を用いて、水圧载荷実験・水撃载荷実験を撮影して解析を行う。また、圧力、载荷時間、破壊状況を計測する。

3 実験結果

3.1 载荷時間と破壊圧力、破壊形状による破壊領域の検討

载荷時間が変化することにより供試体が破壊する形状が変化することが実験結果から分かった。また、载荷時間が短い場合は破壊圧力の最大値が高く、载荷時間が長くなるにつれて破壊圧力の最大値が減少している。破壊形状の分布の偏りを破壊の特性変化と考え領域の検討を行った。(Fig. 5) ある。

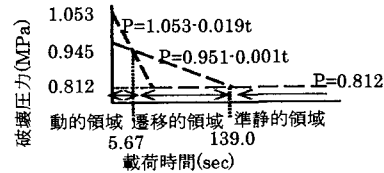


Fig.1 载荷時間と破壊形状による破壊領域

3.2 载荷時間と破壊力積による破壊領域の検討

Fig.2 は実験で得られた圧力波形である。圧力と時間の関係において、波形の圧力の増加前を基準線とし、圧力上昇開始から管が破壊して圧力が急激に下降するまでの波形と基準線の間の面積を破壊力積とした。

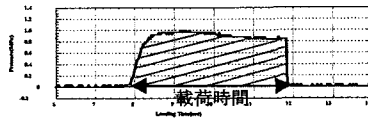


Fig.2 圧力波形

载荷時間の変化が、管破壊にどのように影響を及ぼすかを求めるため、载荷時間が変化するときの、破壊力積の変化を考慮した破壊領域の検討を行った。また、破壊圧力による領域の検討と同様、破壊力積の変化から、破壊の特性の違いを表わす3つの領域を求めることとした。破壊力積は圧力波形の特徴の変化から、0へ収束していく。

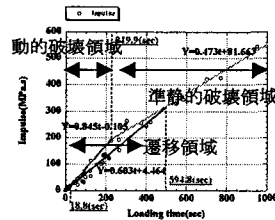


Fig.3 破壊力積-载荷時間

3.3 水撃破壊を考慮した破壊領域の検討

水撃破壊は 0.1 sec 以下という非常に短い载荷時間で発生する破壊現象である。Fig.2 において、その水撃破壊に対応するため Fig.3 の各軸を拡大すると、本来、载荷時間が 0 sec に近づくにつれて、破壊力積も限りなく 0 に近い値に収束する。しかし、実際は 0 に収束

していない。また水撃破壊力積は動的近似直線より上にプロットされた。このことより載荷時間が 0.1 sec 以下の非常に短い載荷時間の中にもう一つの破壊領域が存在すると思われる。

4 水撃圧破壊力積による衝撃的破壊領域の検討

先に説明したように、もう一つの破壊領域の存在が明らかとなった。ここでは破壊力積を用いて、衝撃的破壊領域を求めた。

破壊力積の算出には、まず実験値の算出 (Fig. 4) とモデル化を行いモデル値 (Fig. 5, 6, 7) の算出を三パターン行った。

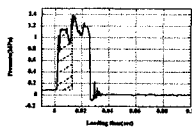


Fig. 4 実験値

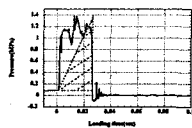


Fig. 5 モデル1

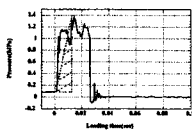


Fig. 6 モデル2

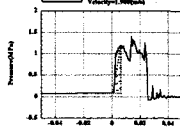


Fig. 7 モデル3

以上、4パターンの破壊力積の算出を行い、それぞれ近似直線を求めた。Fig. 9 は動的近似直線との交点を求め領域の境界を示したものである。

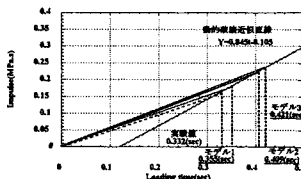


Fig. 9 破壊力積による境界領域検討

5 薄肉円管の高速拡張現象

5.1 薄肉円管の高速拡張

水撃圧による管破壊は非常に載荷時間が短い。つまり、水撃現象により発生した圧力がかなり高速で供試体に載荷されることを示す。この水撃圧における管破壊領域を考慮するために、薄肉円管の高速拡張の現象を極座標を用いて考える。

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、半径方向の応力

$\sigma_r = 0$ と考えられる。運動方程式は次式で示される。

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} = p - \frac{\sigma_\theta h}{r} \quad (5.1)$$

h = 円管の肉厚、 r = 平均半径 p = 内圧

(5.2) 式を r_0 から r まで積分、整理すると次式になる。

$$2\pi \int_{r_0}^r p r dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\epsilon_\theta} \sigma_\theta d\epsilon_\theta + \pi p r_0 h_0 \cdot v^2 \quad (5.2)$$

ϵ_θ = 円周方向のひずみ h_0, r_0 = 円管肉厚, 平均半径

式(5.2)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。

$$W_e = W_p + W_k \quad (5.3)$$

各項の数値は、それぞれ値を代入することで算出する。ここで、算出した運動エネルギーに費やした仕事と内圧がなした仕事から実際に破壊に必要な運動エネルギーに費やした仕事が10%以下のものは、運動エネルギーに費やした仕事を無視できるものとし、その載荷時間を破壊領域の境目とすることとした。また、Fig. 10 には実験値よりもとめた境界とモデル値により求めた境界、理論式を用いた検討で求めた境界をそれぞれ示した。

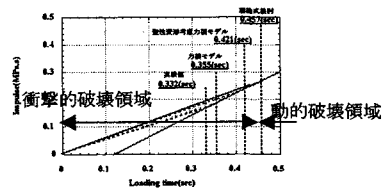


Fig. 10 衝撃的破壊領域

6 結論

1. 破壊形状・破壊力積から載荷時間の変化に伴い載荷時間が短くなるに連れて破壊の特性は準静的なものから動的なものへ変移しており、その境界領域を大きく三つに大別することができた。また、その境界領域を明らかとすることができた。
2. 水撃破壊力積は載荷時間が非常に短く、載荷速度が高速であり、他の破壊とは明らかに違うことからもう一つの領域に存在している。破壊力積と理論式による検討結果から衝撃的破壊領域と動的破壊領域の境界は 0.457 sec となり、衝撃的領域では理論式の加速度成分の影響が大きいことから加速度項の影響が発生する境界が明らかとなった。