

II-79

水圧・水撃圧破壊における管膨張最大速度と 破壊時における破片スピードの映像解析

東北学院大学 工学部 学生会員○高橋 純一
東北学院大学 工学部 正会員 河野 幸夫
東北学院大学 工学部 学生会員 小林 祐也

1 目的

本研究ではHigh-Speed-Cameraシステムを用いて、市販の塩化ビニール管を加工した供試体（肉厚0.4mm、内径 56.0mm）の水撃圧による破壊と電動ポンプによる水圧载荷による管破壊の撮影を行い、撮影した映像を3次元解析する。

(1) 水圧・水撃圧破壊の解析データから、高速拡張理論を用いて塑性変形に費やした仕事 W_p と運動エネルギーに費やした仕事 W_k を求め、水圧破壊と水撃破壊の違いを求める。

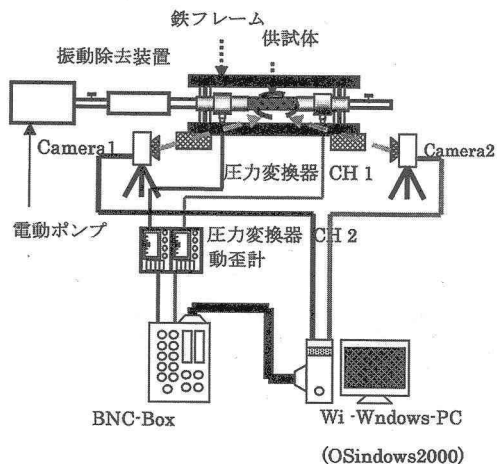
(2) 内圧がなした仕事 (W_e) 中の運動エネルギーに費やした仕事 (W_k) が占める割合を求める。

2 実験方法

以下の方法による破壊実験を行い、供試体の破状況を高速度カメラシステムにより撮影・解析する。

(1) 水圧破壊実験

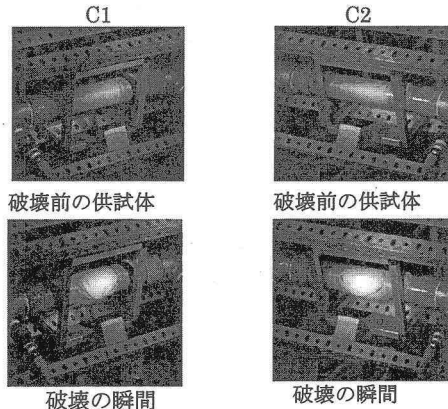
供試体を実験装置に接続し、管路軸方向の伸びの発生や偏心、引張り等他の作用力が働かないように4本のL字フレームにより実験装置を確実に固定する。流量調節弁により流量の調節を行い、電動ポンプにより水圧载荷することで供試体を破壊する。



(2) 水撃破壊実験

供試体を管路に接続し、管路軸方向の伸びの発生や偏心、引張り等他の作用力が働かないように4本のL字フレームにより実験装置を確実に固定する。電磁弁と手動弁を全開にして上流水槽から下流水槽へ水を流出させ、流速を測定する。水を流出させる際、静水圧および流速を安定させるために上流水槽をオーバーフローさせておく。電磁弁により管を急閉鎖した際に発生する水撃圧によって供試体を破壊する。

3 実際の撮影画像



4 実験結果および考察

高速度カメラシステムを用いて求めた破壊供試体の破片飛散速度と高速拡張の理論式によって、塑性変形に費やした仕事 W_p と運動エネルギーに費やした仕事 W_k を算出した。

・高速拡張理論式

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

p : 内圧 r_0 : 破壊前の半径 ϵ_{θ} : 円周方向ひずみ ρ : 密度
 r : 半径 h_0 : 変形前の肉厚 σ_{θ} : 円周方向応力

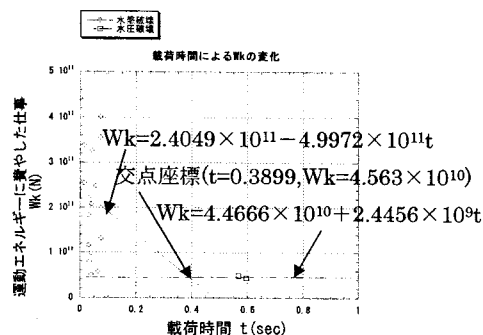
上式で左辺を内圧の成した仕事 W_e 、右辺第1項を塑性変形に費やした仕事 W_p 、右辺第2項を運動エネルギー

に費やした仕事 W_k とすると、以下のように表現することができる。

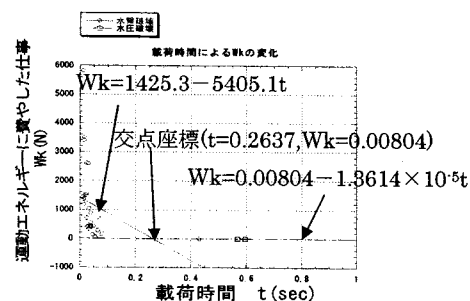
$$W_e = W_p + W$$

以下のように表現することができる。

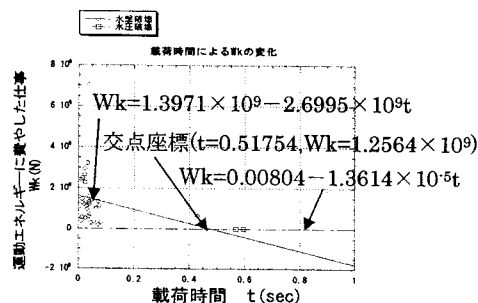
(a) 破片飛散速度から求めた W_k



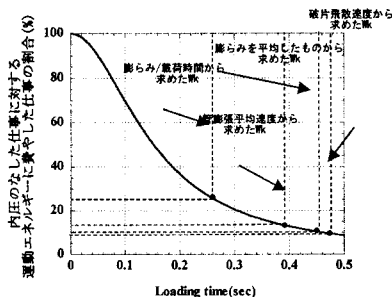
(b) 膨らみ/载荷時間から求めた W_k



(c) 膨張平均速度から求めた W_k



(d) 膨らみを平均し、時間を変数としたグラフ



・飛散速度から求めた値 载荷時間(交点)・・・0.389(sec)

$$W_k = 5.595(N) \quad W_e = 41.924(N)$$

・膨らみ/载荷時間から求めた値 载荷時間(交点)・・・

$$0.263(sec) \quad W_k = 12.240(N) \quad W_e = 48.569(N)$$

・管膨張平均速度から求めた値 载荷時間(交点)・・・

$$0.477(sec) \quad W_k = 3.721(N) \quad W_e = 40.050(N)$$

・膨らみ(平均)/载荷時間(変数)から求めた値 载荷時間(交点)・・・0.457(sec) $W_k = 4.054(N)$ $W_e = 40.383(N)$

次に内圧がなした仕事(W_e)に対する運動エネルギーに費やした仕事(W_k)の割合($W_k/W_e = \%$)を求めるとそれぞれ以下になった。

・飛散速度から求めた値・・・ $W_k/W_e = 13.346\%$

・膨らみ/载荷時間から求めた値・・・ $W_k/W_e = 25.202\%$

・管膨張平均速度から求めた値・・・ $W_k/W_e = 9.291\%$

・膨らみ(平均)/载荷時間(変数)から求めた値・・・
 $W_k/W_e = 10.039\%$

4 結論

(1) ・高速圧管理論を用いて、塑性変形に費やした仕事 W_p を算出すると、 $W_p = 36.329(N)$ となった。また、本研究では平均半径方向膨らみは一定としているので、 W_p も一定となる。

・0.457(sec)を基準として、载荷時間 0.457(sec)以下が衝撃的破壊、0.457(sec)以上が動的破壊ということが明らかとなった。

(2) 内圧がなした仕事(W_e)中の運動エネルギーに費やした仕事(W_k)が占める割合は、膨らみを平均したもの/载荷時間(変数)から求めたものでは 10% だが、実験値では、9.291%～25.202%という結果が得られた。したがって、内圧がなした仕事(W_e)中の運動エネルギーに費やした仕事(W_k)が占める割合が 10%以上が衝撃的破壊、10%以下が動的破壊といえる。