

Ⅱ－90

水撃圧による高速拡張現象特定のための高速ビデオ撮影について

東北学院大学 工学部 学生会員 ○佐藤 光春
東北学院大学 工学部 正会員 河野 幸夫

1. 目的

本研究では、高速度カメラシステムを用いて、市販の硬質塩化ビニル管を加工した供試体（肉厚 0.04mm, 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を実際に撮影し、以下について検討を行う。

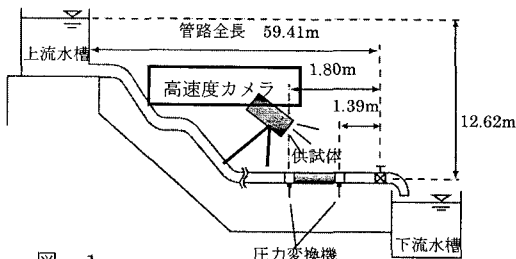
- 撮影画像より得られた破片飛散速度データから、
- (1)高速拡張理論を用いて、塑性変形に費やした仕事 W_p を算出する。
- (2)水撃破壊実験結果から、運動エネルギーに費やした仕事 W_k を算出し、近似直線を求める。
- (3)水圧破壊実験結果から W_k を算出し、近似直線を求める。
- (4)水撃破壊と水圧破壊の近似直線の交点から水撃破壊と水圧破壊の相違を求める。

2. 実験方法

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

(1)水撃破壊実験

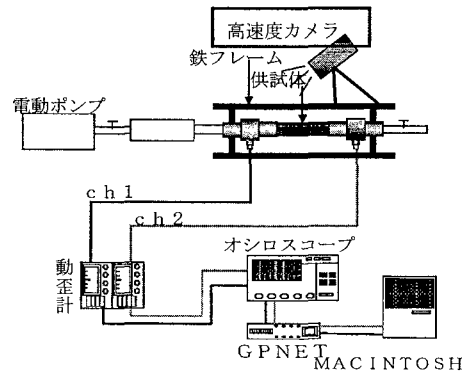
供試体を管路に接続し、管路軸方向の伸びの発生や偏心、引張り等他の作用力が働かないように4本のL字フレームにより実験装置を確実に固定する。電磁弁と手動弁を全開にして上流水槽から下流水槽へ水を流出させ、流速を測定する。水を流出させる際、静水圧および流速を安定させるために上流水槽をオーバーフローさせておく。電磁弁により管を急閉鎖した際に発生する水撃圧によって供試体を破壊する。



図－1

(2)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。



図－2

3. 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

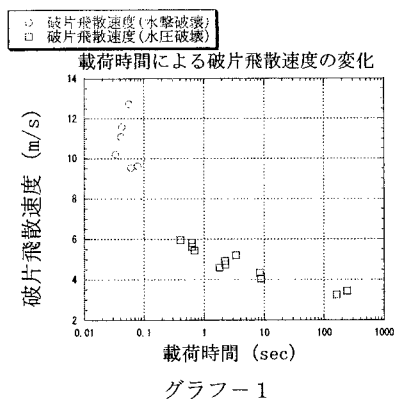
$$2\pi \int_{r_0}^r p r dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\varepsilon_\theta} \sigma_\theta d\varepsilon_\theta + \pi p r_0 h_0 \cdot v^2$$

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

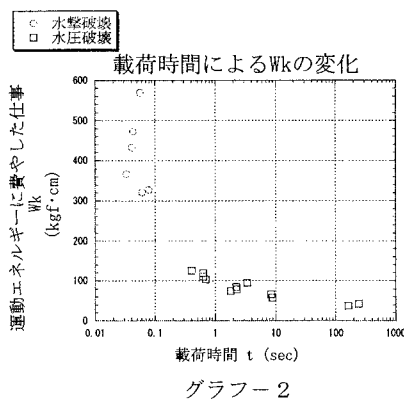
上式で左辺を内圧の成した仕事 W_e 、右辺第1項を塑性変形に費やした仕事 W_p 、右辺第2項を運動エネルギーに費やした仕事 W_k とすると、以下のように表現することができる。

$$W_e = W_p + W_k$$

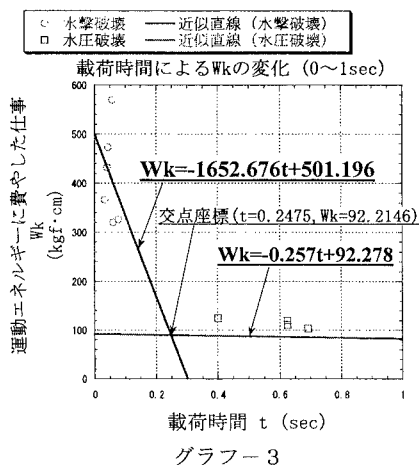
グラフー1は高速度カメラシステムを用いて測定した破片飛散速度と载荷時間の関係である。



グラフ 2 は破片飛散速度を W_k の式における V に代入して求めた W_k と載荷時間の関係である。



グラフ 3 はグラフ 2 において水撃破壊と水圧破壊における W_k の近似直線および交点を求め、載荷時間を 0～1sec の範囲に拡大したものである。



4. 結論

(1) 高速拡張理論を用いて、塑性変形に費やした仕事 W_p を算出した結果、

$$W_p = 103.1696 \text{ (kgf·cm)}$$

となった。

また、平均半径方向膨らみを一定としているので、 W_p は一定となる。

(2) 水撃破壊の W_k と載荷時間から近似直線を求めたところ

$$W_k = -1652.676 t + 501.196$$

という式を得ることができた。

これより

載荷時間が短い破壊において、 W_k が多大な影響を与えると言える。

(3) 水圧破壊の W_k と載荷時間から近似直線を求めたところ

$$W_k = -0.257 t + 92.278$$

という式を得ることができた。

これより

載荷時間が長い破壊において W_k の影響は小さいと言える。

(4) 水撃破壊と水圧破壊における W_k の近似直線の交点を求めたところ、

$$(t = 0.2475, W_k = 92.2146)$$

という結果が得られた。

これをふまえて、高速拡張理論を考慮すると、

$t = 0 \sim 0.2475$ (sec) では、 W_e において W_k の占める割合が大きく、 W_p の影響は無視できるほどに小さくなるため、載荷時間 $t = 0 \sim 0.2475$ (sec) を運動エネルギーによる破壊領域とし、

$t = 0.2475$ (sec) 以降では、 W_e において W_k の影響が小さくなるため、

載荷時間 $t = 0.2475$ (sec) ～を塑性変形による破壊領域

として区別する。