

三次元映像解析を利用した加速度による仕事量の影響と運動エネルギーについて

東北学院大学 工学部 学生会員 佐野 貴史
 柴田 直之 菅原 康太
 東北学院大学 工学部 正会員 河野 幸夫

1. 目的

本研究では、High-Speed Camera を用いて、市販の塩化ビニ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を実際に撮影し以下について検討を行う。

- (1) 3D 解析を行い、水撃圧破壊・水圧実験の管膨張速度と破片飛散速度を算出する。
- (2) 撮影画像より得られたデータ（主に管膨張速度）と破壊圧力と载荷時間の関係をグラフに表したもから、圧力の载荷時間と管膨張速度が管破壊及ぼす影響を明らかにする。

2. 実験方法

以下の2種類の方法による破壊実験を行い、供試体が破壊する瞬間を撮影する。

2.1 水撃圧破壊実験

供試体を管路に接続し、管路軸方向の伸びの発生や偏心、引張りなど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部水槽から下部水槽へ水を自然流下させ、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部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。

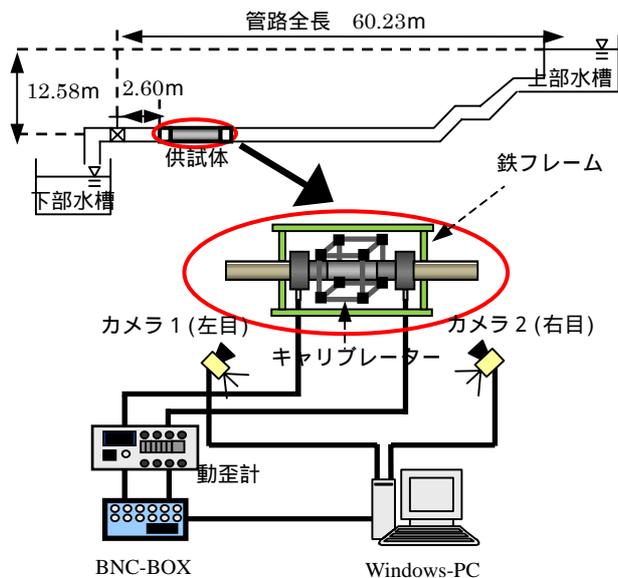


図 - 1 水撃圧破壊の実験装置図

2.2 水圧破壊実験

供試体を実験装置に接続し、水撃圧破壊実験と同じように、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。

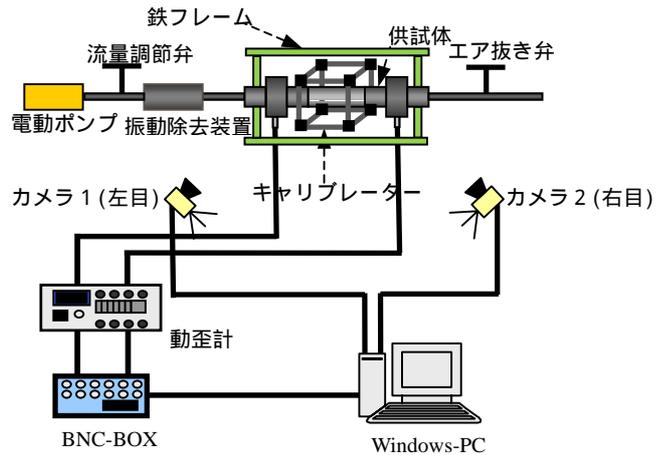


図 - 2 水圧破壊の実験装置図

3. 理論式について

この研究では、極座標系を用いた薄肉円管の高速拡張の理論式を用いて衝撃的破壊領域の検討を行う。

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

p : 内圧 r : 平均半径 r_0 : 破壊前の半径
 h_0 : 変形前の肉厚 θ : 円周方向の応力
 ε_θ : 円周方向のひずみ ρ : 密度 v : 管膨張速度

上式で左辺を内圧の成した仕事 W_e 、右辺第一項を塑性変形に費やした仕事 W_p 、右辺第二項を運動エネルギーに費やした仕事 W_k とすると、以下のように定義できる。

$$W_e = W_p + W_k$$

4. 三次元映像解析について

三次元映像解析について説明する。三次元映像解析は、二次元映像解析に撮影対象物の奥行きの手動を考慮した解析方法である。三次元映像解析は2台のカメラを用いて別角度から撮影対象物を撮影し、人間の目と同様に別角度の2種類の映像データにより解析を行う。

5. 実験結果

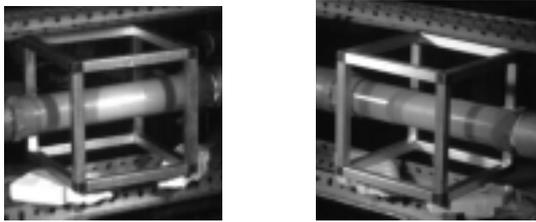
5.1 解析画像と速度の計測

水撃圧破壊を High-Speed Camera を用いて撮影した時の画像である。Camera 1 が下流側で人間の目を見た時の左目、Camera 2 が上流側で人間の目を見た時の

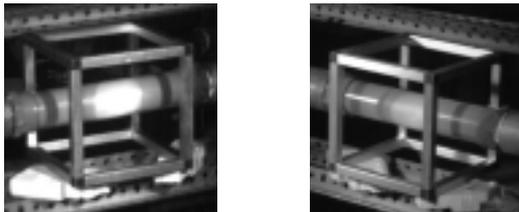
右目の画像となっている。

この画像を用いて3D解析をして速度を求める。

水撃圧破壊実験：水の流速 1.512m/s の場合
 左目 (Camera 1) 右目 (Camera 2)
 破壊する 0.0250 秒前 (膨らみ始め)

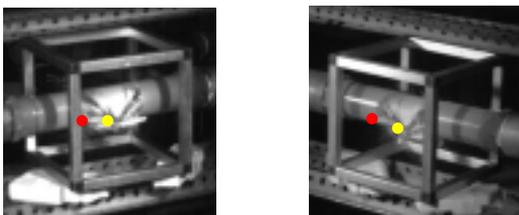


破壊する 0.0005 秒前

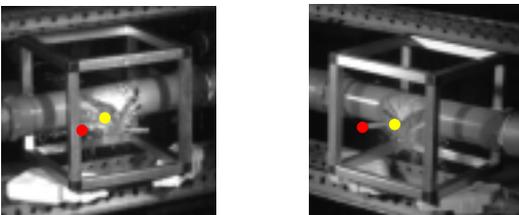


管膨張速度 $v=20.177\text{cm/sec}$ となった。

破壊の瞬間



破壊から 0.0005 秒後



破片飛散速度 $v=32.671\text{m/sec}$ となった。

下の画像は破片が飛散する様子を3Dアニメーションで表したものである。

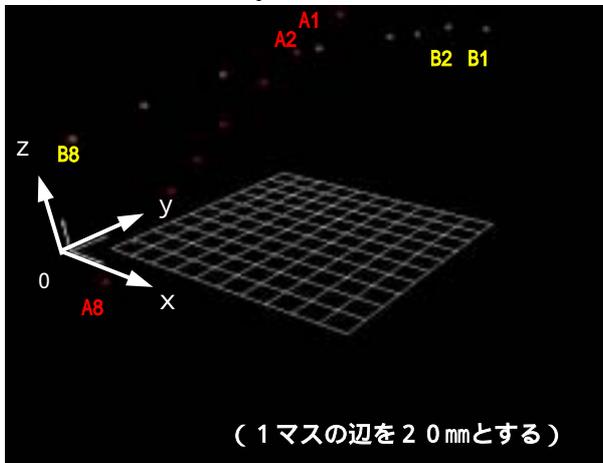


図 - 3 3D アニメーション

3D アニメーションで測定された破片飛散速度を下の表に示した。

	1点	2点	3点	4点	5点	6点	7点	結果
A	38.3	35.0	35.2	29.3	25.5	38.0	28.0	32.8
B	23.3	26.2	19.2	38.3	48.8	38.8	33.4	32.6

(単位は m/sec)

同じようにして、水圧破壊実験の場合の速度を計測した。

水圧破壊実験：載荷時間 27.95sec の場合
 管膨張速度 $v=0.0824\text{cm/sec}$ となった。
 破片飛散速度 $v=36.667\text{m/sec}$ となった。

5.2 動的塑性変形および運動エネルギー費やした仕事について

高速拡張理論を用いて、水撃圧破壊における塑性変形に費やした仕事 W_p を算出した結果、

$$W_p = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\epsilon_\theta} \sigma_\theta d\epsilon_\theta$$

$$= 2 \times 3.141 \times 2.8(\text{cm}) \times 0.04(\text{cm}) \times [8539.18(\text{N/cm}^2) \times 0.127] = 763.0198635(\text{N})$$

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

水撃圧破壊における運動エネルギーに費やした仕事 W_k を算出する式は、

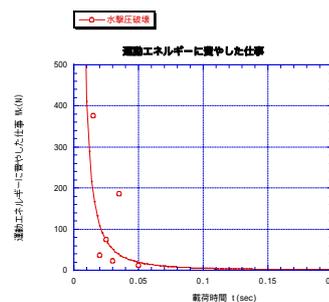
$$W_k = \pi \rho r_0 h_0 \cdot v^2$$

$$= 3.141 \times 1.3(\text{g/cm}^3) \times 2.8(\text{cm}) \times 0.04(\text{cm}) \times v^2(\text{cm}^2/\text{sec}^2)$$

$$= 0.457 \times v^2(\text{N})$$

となる。

各実験の流速値によって算出した結果、図 - 4 のようになった。



最小二乗法で算出した結果、
 $W_k = 0.061601 \times t^{-1.9164}$
 という式が得られた。

図 - 4 載荷時間と W_k の関係

6. 考察

図 - 4 より、載荷時間が長いものに関しては運動エネルギーに費やした仕事 (W_k) の影響が極めて小さく、ほぼ塑性変形に費やした仕事 (W_p) のみで破壊が起きているものと思われる。しかし、載荷時間が非常に短いものに関しては塑性変形に費やした仕事 (W_p) に加え、運動エネルギーに費やした仕事 (W_k) の影響が非常に大きくなるということが分かった。