

水圧・水撃圧破壊実験による High-Speed Camera を用いた管破壊領域の検討について

東北学院大学 学生会員○由利忍

東北学院大学 正会員 河野幸夫

1 目的

本研究では、市販の塩化ビニル管を供試体とし、水圧载荷による管破壊実験から破壊形状および破壊圧力から動的破壊・静的破壊について検討を行う。

また、管路急閉鎖による水撃圧による管破壊実験を行い、水圧载荷実験と比較、検討を行い、理論式および実験結果から破壊領域の検討を行うことを本研究の目的とし、High-Speed Camera (Motion Pro 10000) を用いて解析を行う。

2 実験方法

2.1 High-Speed Camera system

本研究で使用する High-Speed Camera system は PC(OS-Windows2000)内蔵のフルサイズコントローラボード (PCI ボード) をコントローラーとする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、データ収集基盤が付属しており、BNC ボックスから外部計測装置の電気信号を BNC ケーブルから入力可能である。この収集基盤で収集した外部計測装置の電気信号はカメラヘッドにより撮影された画像とのリンクも可能である。

2.2 供試体

破壊実験に使用する供試体は、内 57mm、肉厚 0.4mm の硬質塩化ビニル管を使用した。また、破壊部分を軸方向 200mm、供試体全長を 400mm とする。

2.3 水圧破壊実験装置及び実験方法

以下の方法により各破壊実験を行いその破壊状況を High-Speed Camera を用いて撮影および解析を行う。

1)水圧破壊実験(Fig.1)

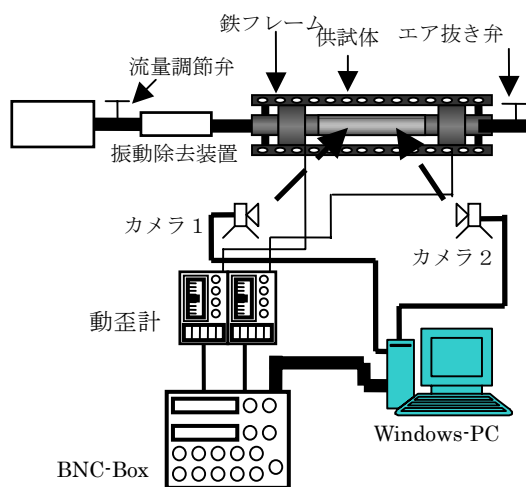


Fig.1 水圧破壊実験装置

2)水撃破壊実験(Fig.2)

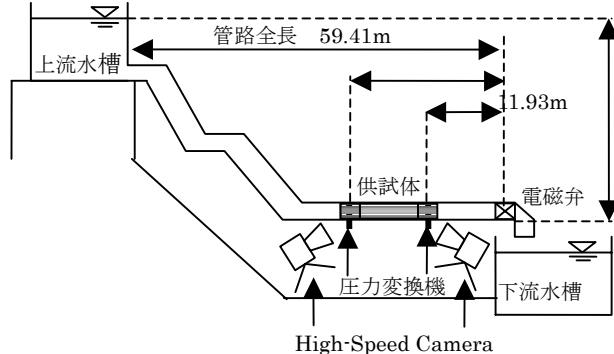


Fig.2 水撃破壊実験装置図

2.5 3次元映像解析

3次元映像解析は、1次元映像解析に撮影対象物の奥行き挙動を考慮した解析方法である。図 5.4 に示すとおり、3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。

Fig.3 は3次元解析を示している。

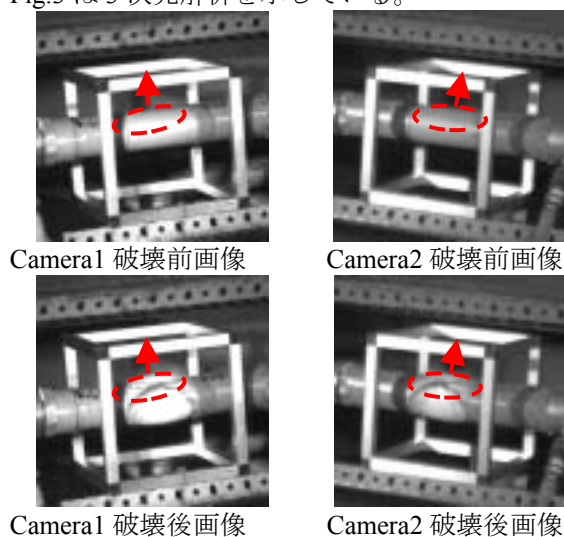


Fig.3 3次元解析画像

2.6 薄肉円管の高速拡張現象

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。

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} = p - \frac{\sigma_\theta h}{r} \quad (2.1)$$

h = 円管の肉厚、 r = 平均半径 p = 内圧

キーワード：High-Speed Camera, 破壊力積

連絡先：宮城県多賀城市浮島2丁目30-2 アビゼエコーポ105号 Tel 090-5182-9324

(2.1)式を r_0 から r まで積分、整理すると次式になる。

$$2\pi \int_{r_0}^r pr dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\varepsilon_\theta} \sigma_\theta d\varepsilon_\theta + \pi p r_0 h_0 \cdot v^2 \quad (2.2)$$

ε_θ = 円周方向のひずみ h_0, r_0 = 円管肉厚, 平均半径

式(2.2)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次式になる。

$$W_e = W_p + W_k \quad (2.3)$$

各項の数値は、それぞれ値を代入するし算出する。

3 実験結果

Fig.5 は Fig.4 で示した破壊形状ごとに、载荷時間と破壊圧力を軸にとってグラフに示したものである。

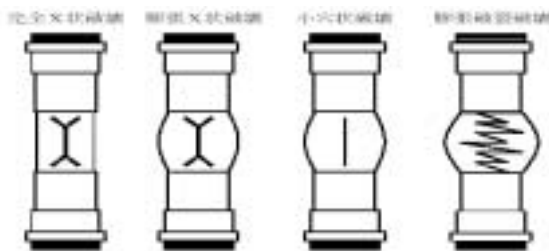


Fig.4 供試体の破壊形状

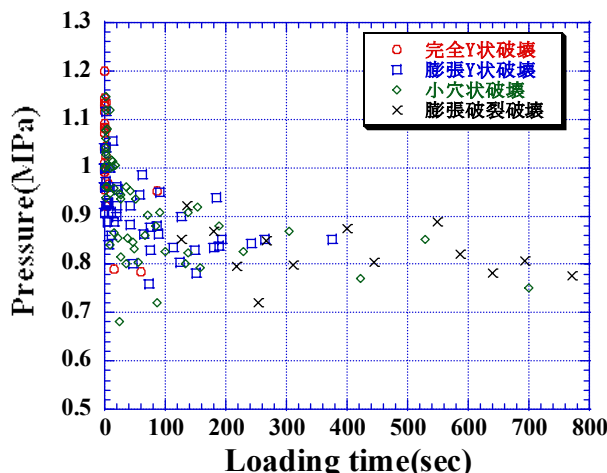


Fig.5 载荷時間変化に伴う破壊形状の変移

Fig.5 の結果より、破壊力積による検討を行うこととした。本研究では Fig.6 の斜線部分の面積を破壊力積とする。

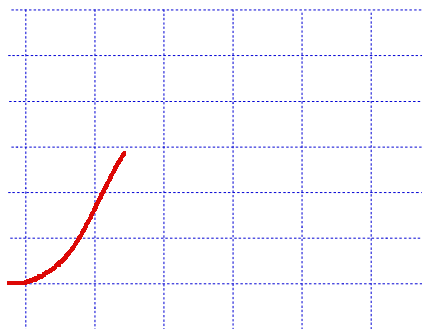


Fig.6 破壊力積について

破壊力積を求め、その結果をまとめたものが以下になる。

Fig.7 破壊力積について

次に 2.6 で行った拘束鋼管理論を用いて運動エネルギーに費やした仕事の算出を行う。運動エネルギーに費やした仕事の算出には、High-Speed Camera を用いて測定した管の破壊直後の飛散速度を用いた。また、载荷時間の変化による W_k の変化を考察するために载荷時間を変数としたものが Fig.8 となる。

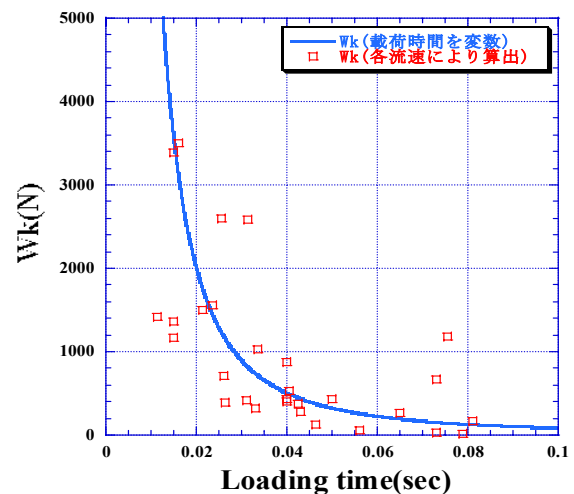


Fig.8 载荷時間を変数とした W_k と実験よりも止めた W_k

4 結論

破壊の際に必要なとされる圧力は、载荷時間が短くなるに連れて大きくなると考えられる。破壊力積の検討を行った結果、以下のような境界領域を得た。

- ・準静的破壊領域 214.0sec 以上の载荷時間
- ・動的破壊領域 1.8sec 以下の载荷時間
- ・遷移的領域 1.8sec～439.1sec

载荷時間が短くなるにつれて破壊に必要なエネルギーとして運動エネルギーに費やした仕事が非常に大きくなることを示しており、水撃圧のように非常に高速な衝撃現象においては加速度が大きく影響してくることが言える。