

水撃圧による衝撃的破壊と力積を用いた強度の変化について

東北学院大学 学生会員 ○伊藤 薫 菅原 康太
東北学院大学 正会員 河野幸夫

1. 水撃圧とは

水の流れでは一般に、水の圧縮性を無視することができる。しかし、管路で高速に流れる水を急激に遮断した場合に水の持っている高い運動エネルギーは水の圧縮と管の弾性変形に費やす仕事へと急変換され圧力が急上昇される。または逆に静止状態の管路内の水が管末端の急な開放によって水が急に流れ出す場合には、水の圧縮と管の弾性変形のエネルギーが瞬間に解放され速度エネルギーに急変換されるため圧力の急降下が生じる。このように水流を急閉鎖または急解放した時に発生する正または負の変化圧力を水撃圧という。また、上記のように水撃圧は水の圧縮性及び管の伸縮を考慮しなければならない。

2. 実験目的

水撃圧が管路にどのような影響を与えるかを考慮するため、上部水槽から下部水槽へと自然流下させ、管路内に取り付けられた緊急遮断弁を急閉鎖することによって、水撃圧を発生させる。その際に発生した水撃圧によって、管路に接続した塩化ビニル供試体を破壊する。この実験によって得られた実験結果を以下の項目について検討する。

- (1) 塩化ビニル供試体の破壊強度の算出
- (2) 各流速における力積

3. 実験方法

- (1) 塩化ビニル供試体を実験装置に接続し、偏心、引張りなどのほかの作用が働かないように十分に注意してL字フレームを取り付ける。
- (2) 塩化ビニル管の鉄管部分に圧力変換機(CH1,CH2)を取り付ける。
- (3) 遮断弁、手動弁を全開にし、上部水槽から自然流下してくる水を下部水槽へ流出させる。水を流出させる際は、静水压、流速を正確に測定するために上部水槽をオーバーフローさせておく。
- (4) 流速を測定する。流速は単位時間で流出する水量をメスシリンダーで測定し、次式より流速を求める。

$$\Delta v = Q/A \quad (1)$$

Δv :流速[m/s], Q :流量[m³/s], A :断面積[m²],

- (5) 下部水槽に流出する流量が安定した時点で実験装置が繋がれた記録装置が正しく計測できるか確認する。
- (6) 気温、水温、破壊状況を記録する。
- (7) 遮断弁が閉鎖する。このとき、水撃圧が発生し、供試体は破壊する。

4. 実験結果

4-1 破壊時のグラフ

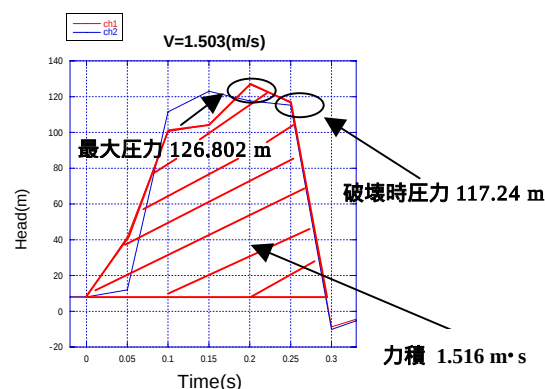


図-1 水撃波形図 流速 $V=1.503$ (m/s)

図-1 は、流速 $V=1.503$ m/s で得られた波形である。上図に示したとおり、実験で得られた最大の圧力を最大圧力、供試体が破裂した瞬間の圧力を破壊時圧力、緊急遮断弁遮断開始（載荷時間）から供試体が破裂し、圧力が急降下するまでの時間を載荷時間と定義する。

図-2 は、破壊した場合の画像。膨らんでから破壊したのがわかる。

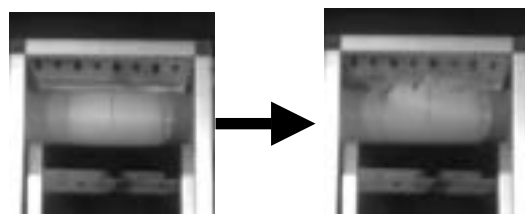


図-2-1 破壊直前の写真

図-2-2 破壊した瞬間の写真

図-2 供試体画像

キーワード 力積、水撃圧、動的、破壊強度、最大圧力
連絡先 (宮城県多賀城市中央1丁目13番1号・022-368-1116)

4-2 非破壊時のグラフ

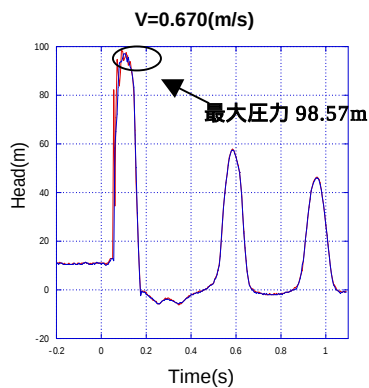


図-3 水撃波形図 流速 $V=0.670(\text{m/s})$

図-3 は流速 $V=0.670 \text{ m/s}$ で得られた波形である。波形から分かるようにこの供試体は非破壊である。

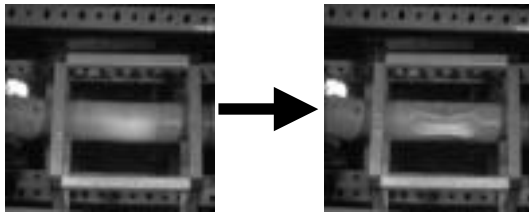


図-4-1 最大圧力時の画像 図-4-2 0.2 秒後の写真

図-4 負圧载荷時

破壊しなかった場合。負圧がかかって管がへこんだ。

4-3 強度を求める式

D: 管の直径 (5mm)

e: 管の肉厚 (0.4mm)

P: 圧力(MPa)(実験で得られた数値を用いる)

T: 強度(N/mm^2)

この両者は同じであるため $2eT=PD$ という式が出来る

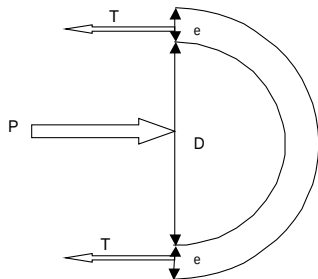


図-5 管の断面図

図-5 より、下の式に代入して、強度 $T = (\text{N/mm}^2)$ を求める。

$$T = PD/2e \quad (2)$$

4-4 流速と力積の関係

力積($\text{m} \cdot \text{s}$) = 水撃圧(m) $\times$ 载荷時間(s)

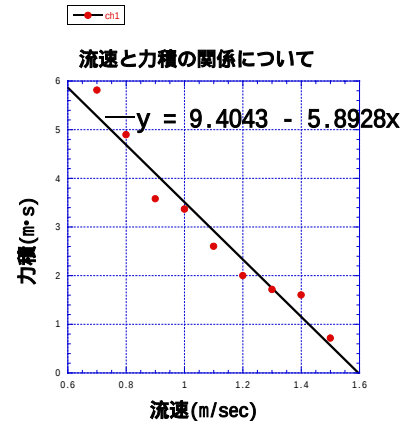


図-6 流速と力積の関係について

5. 結論

(1) 塩化ビニル供試体は、最大圧力 98.57m までの水撃圧には耐えられたが、最大圧力 102.88m の水撃圧には耐えられなかった。このことから、塩化ビニル供試体の強度 T は 70.41 N/mm^2 以上であることがわかった。

(2) 力積について

力の大きさと力が働く時間を掛け合わせたもので、他の物体の運動量をどれだけ変化させるかをあらわしたものである。本実験では緊急遮断によって水撃圧がどのように塩化ビニル管へと力が加わるかを調べたものである。(力積については破壊時のみ適用) 流速 $V=1.506 \text{ m/s}$ の時、力積が $1.516 \text{ m} \cdot \text{s}$ 流速 $V=0.740 \text{ m/s}$ の時、力積が $5.555 \text{ m} \cdot \text{s}$ であった。

6. 参考文献

柴田直之：水撃圧による管の衝撃破壊とそのメカニズムについて、東北学院大学工学部環境土木工学科、卒業論文、2008 p.90