

管の動的破壊領域におけるエネルギー変化について

東北学院大学工学部

学生会員○伊藤友紀

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機械工学科教授

佐藤裕久

1 序論

本研究では、市販の塩化ビニル管を用いて、なだらかに圧力が上昇する動的な水圧载荷による管の破壊実験と、弁を急閉鎖させ急激な圧力上昇での管の破壊実験を行った。極めて短い時間で破壊する水撃破壊は、管の破壊において時間の項が、破壊の特性に大きく影響する。そこで、今回の実験では、管破壊を力積とエネルギー（仕事）を考慮して、材料特性が大きく影響してくる動的管破壊領域から、慣性項が大きく影響してくる衝撃的破壊領域に変化する境目を検討する。

2 実験方法

破壊実験に使用した供試体は、内径56mm、肉厚2.0mmの硬質塩化ビニル管を使用し、破壊部分を肉厚0.4mmまで削ったものに、両端にネジ山の付いた塩化ビニル製のソケットを接着剤にて取り付け、供試体とした。また、破壊部分を軸方向100mm、供試体の全長を300mmとした。

水圧破壊実験では、水圧を加えるための電動ポンプ、水の脈動を防ぐためのスタビライザーと供試体の部分をそれらの中心軸が偏心しないように、かつ、管路軸方向の伸張を防ぐため4本の鉄板にて、供試体を十字に固定し、接続した。次に载荷開始から破壊までの時間をポンプ側のバルブで調節し、管を破壊させた。

水撃破壊実験では、水圧破壊の供試体と同じものを使用した。水撃破壊実験装置は、水面高さ6.3mの水槽から、自然流下させておき、弁の急閉鎖により、水撃を発生させて、その圧力で供試体を破壊させた。（圧力変換器以降の実験装置は、水圧破壊実験装置と同じものを使用した。）

3 実験結果

载荷時間が長くなるに連れ破壊力積の増加する割合（傾き）が小さくなっていくことが分かった。それは、载荷時間が短いときは、圧力の最大値は高く、圧力のピークの後の圧力の減少は小さくなる。また、

载荷時間が長くなるにつれ圧力最大値は小さくなり、圧力のピークの後の圧力の減少は大きくなることから考えられる。そこで、破壊力積の傾きを求めることにより、载荷時間の変化が管破壊にどのような影響を及ぼすのかを知ることができる。よって、破壊力積が破壊の特性に大きく影響することが分かった。

4 水撃による管の破壊力積

水撃による管破壊の破壊力積について考える。水撃で破壊した管の破壊力積の関係は、载荷時間が0.07secと短いので载荷時間の軸を0secから0.5secでとると図-1のようになる。

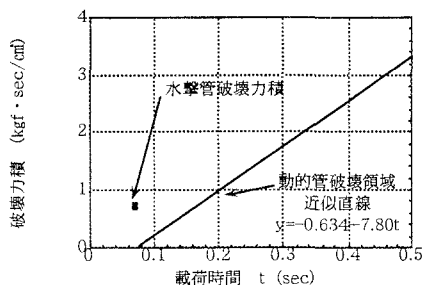


図-1 水撃破壊における破壊力積

図-1より、波形の力積は载荷時間が0secに近くなると、0に近づくが、水撃による破壊力積は、水圧破壊での動的破壊領域の近似直線により上にプロットされた。また、载荷時間が0.08secのところでは破壊力積が0になってしまっている。つまり、動的破壊領域の0secに近い所に別の領域があることがわかる。

5 破壊に費やされるエネルギー（仕事）

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考える。

薄肉円管の場合、円管の微小要素の半径方向の運動方程式の、半径方向応力 σ_r は0である。そして、管の変形が大きい場合は、管を塑性体と仮定する。

この時、 r_0 から r まで積分し、整理すると次式のよう
に表わされる。

$$2\pi \int_{r_0}^r p r dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\epsilon_\theta} \sigma_\theta d\epsilon_\theta + \pi p r_0 h_0 \cdot v^2 \quad (5.1)$$

ここで、 ϵ_θ は円周方向のひずみ、 ρ は着目要素の
現在の密度、 σ_θ は円周方向の応力、 v は半径方向
の管壁の膨らむ速度、 h は円管の肉厚、 r は平均半
径、 p は内圧で、拡張の初速を 0 とした。 h_0, r_0 は、
それぞれ円管の変形前の肉厚と平均半径である。

単位長さの円管について、内圧の成した仕事、塑
性変形に費やした仕事、運動エネルギーに費やした
仕事をそれぞれ、 W_e, W_p, W_k とすると次式となる。

$$W_e = W_p + W_k \quad (5.2)$$

即ち、この種の高速変形の場合には、内圧の成した
仕事が、塑性変形に費やした仕事と運動エネルギー
に費やした仕事とに明確に分離されることがわかる。

載荷時間が 0sec に近づくにしたがい運動エネル
ギーに費やした仕事の項の v の値が大きくなる。し
かし、塑性変形に費やした仕事の項は大きく変化し
ない。このとき、管の破壊での円周方向のひずみを
仮定することにより、式(5.1)の各項の値を求めるこ
とができる。

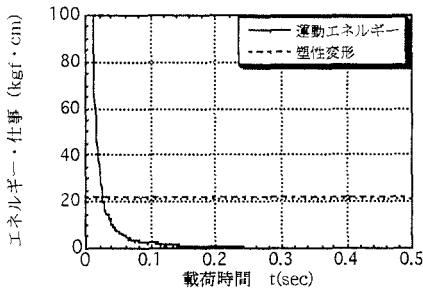


図-2 載荷時間の変化に伴うエネルギーに費やし
た仕事の変化

載荷時間が変化したときの塑性変形に費やした仕
事 W_p 、運動エネルギーに費やした仕事 W_k の変化
を求める。

運動エネルギーと塑性変形に費やされた仕事と載
荷時間の関係は、水撃破壊実験のデータを利用する
と、図-2 のようなグラフになる。

運動エネルギーに費やされた仕事を考慮する上で重
要なのは、管壁の膨らむ速度である。なぜならば、
管壁の膨らむ速度は、式 (5.1) の右辺第二項のよう
に 2 乗されているからである。よって、衝撃的領域
と動的管破壊領域の境目は、1cm/sec の速度が管壁
の膨らむ時の載荷時間の時である。

表-1 載荷時間の変化に伴う内圧の成した仕事に対
する運動エネルギーに費やした仕事の割合の変化

載荷時間 (sec)	0.010	0.028	0.190	0.500
管壁の膨らむ速度(cm/sec)	19.0	6.83	1.00	0.38
塑性変形に費やした仕事 W_p	21.39	21.39	21.39	21.39
運動エネルギーに費やされた仕事 W_k	165.04	21.36	0.457	0.066
内圧の成した仕事に対する運動エネルギーの割合	88.53	50.00	0.021	0.003

載荷時間が短くなると、管壁の膨らむ速度(運動エ
ネルギーに費やした仕事の項)が急激に大きくなり、
0sec 付近では塑性変形に費やした仕事の項は、ほと
んど影響しなくなってしまふ。載荷時間が、0.03sec
では、運動エネルギーに費やした仕事の項は、ほぼ
塑性変形に費やした仕事と同じ位の値になる。(表
-1)

破壊に費やした仕事のうち、管の壁を速度 v で膨
らますに費やす仕事が大きく影響する破壊領域を、
衝撃的管破壊領域という。今回の実験では、動的管
破壊領域の範囲を求めることを目的としているで、
運動エネルギーに費やした仕事が大きく変化する載
荷時間 (管壁の膨らむ速度が 1.0cm/sec) を、動的
管破壊領域と衝撃的破壊領域の境目とした。

6 結論

運動エネルギーに費やした仕事が大きく変化する
載荷時間 (管壁の膨らむ速度が 1.0cm/sec) は、
0.19sec である。よって、動的管破壊領域と衝撃的
破壊領域の境目とした。ここで、水撃による管破壊
は、衝撃的破壊領域での破壊であることが分かった。

参考文献

- 1) 戸部俊美, 佐藤裕久, 高津宣夫: 円管の高速張出し
変形に関する一考察, 塑性と加工, 第 25 巻第 283
号, pp.716-722, 1984.