

東北学院大学 学生会員 ○伊藤友紀
東北学院大学 正会員 河野幸夫
東北学院大学工学部機械工学教授 佐藤裕久

1. 序論

管路の末端に設けられた弁を急に、全部または部分的に閉鎖すると管内の流れは急激にたたれるか、あるいは減速される。この時、流動していた液体の運動量の変化が起こり、水撃圧が発生する。

そこで、本研究では、圧力の載荷時間が管の破壊現象にどのような変化をもたらすのかを知るために、水撃圧による管の動的破壊と電動ポンプによる水压の準静的破壊をおこなった。管材料の強度とひずみ速度の関係を検討するため、実験に用いた塩化ビニル管材料の引張試験をおこなった。また、引張速度変化したとき、管壁の膨らむ時の運動エネルギーがどのように変化するかを求め、管破壊実験との違いを検討する。

2. 実験方法

水压による管破壊実験は、水压を加えるための電動ポンプ、供試体の部分を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、供試体内の空気を抜くためにポンプにて水を送り、載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て管を破壊させる。

水撃破壊では、水压破壊の供試体と同じものを使用し、水面高さ 12.34m の水槽から自然流下させておき、弁を急閉鎖させて水撃による水撃圧で供試体を破壊する。（圧力変換器以降の実験装置は水压破壊実験装置と同じものを使用した。）

管破壊における実験データは、1軸引張り試験と比較するために、圧力から円周方向の応力を求め、膨らみと載荷時間からひずみ速度を求める。

高速一軸引張試験では、試験機はオートグラフ AG-100 k NG（島津製作所製）を使用し、実験の引張りの速度を 0.2、2、20、200、1000（mm/min）の5つの速度で各速

度を3回の実験を行い、供試体は、管破壊実験で使用した内径 56mm の硬質塩化ビニル管（JIS K6742 規格に準拠）を JIS 規格の引張り試験と同じように削り供試体とした。

3. 結果及び考察

管破壊実験から得られた波形データを載荷時間と破壊圧力でプロットすると図-1のようになる。図-1において載荷時間が短くなるにつれ破壊圧力が上昇する結果が得られた。

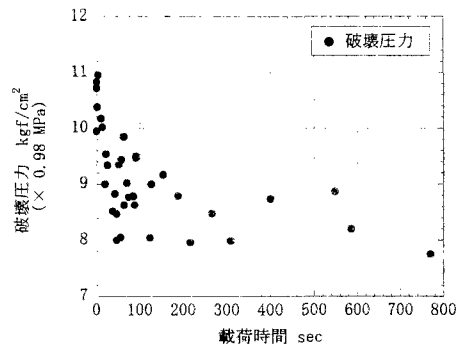


図-1 管破壊実験実験データ

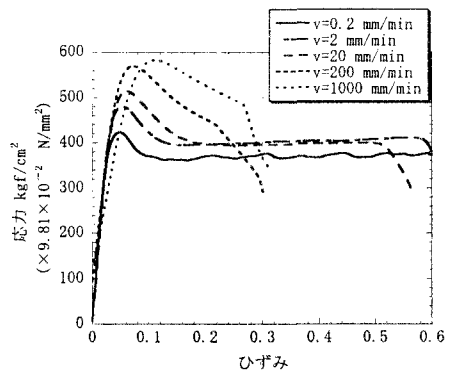


図-2 引張速度における応力ひずみ曲線

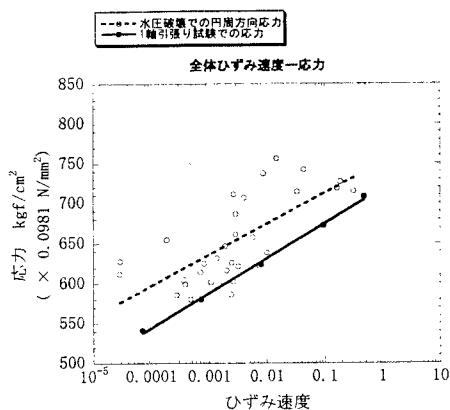


図-3 引張試験と管破壊実験の応力とひずみ速度

図-2は、引張速度を変化させたときの応力ひずみ曲線である。ここで、最大応力は、ひずみ速度が速くなるにつれ上昇する結果がえられた。

図-3に示したように、水圧破壊と1軸引張り試験のひずみ速度と関係は、ひずみ速度の上昇とともに負荷速度依存の影響により応力は同じように上昇する結果が得られた。1軸引張試験の値の対数による近似曲線 ($\sigma = 718.22 + 43.48 \log \dot{\epsilon}$) と水圧による応力の管破壊実験の値の近似曲線 ($\sigma_{\theta} = 751 + 38.555 \log \dot{\epsilon}_{\theta}$) は、同じような増加率をしめした。しかし、水撃破壊のような極めて早いひずみ速度では大きく違いが出てくる。水撃による管破壊における破壊応力とひずみ速度は、909.63kgf/cm², 1.1913/sec の値をとり水圧破壊で得た近似曲線からそれることが分かった。

ひずみ速度が速くなり応力が上昇することは、薄肉円管の高速拡張を考慮することにより説明できる。

円管の極座標における運動方程式は式(1)で表される。

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_{\theta}}{r} = \rho \dot{v} \quad (1)$$

ここで、 σ_r , σ_{θ} は半径方向応力、円周方向応力で、 ρ 質量はある。また、要素を薄肉円管とし整理することにより式(2)を得ることができる。

$$2\pi \int_{r_0}^r pr dr = 2\pi r_0 h_0 \int_0^{\epsilon_{\theta}} \sigma_{\theta} d\epsilon_{\theta} + \pi pr_0 h_0 \cdot v^2 \quad (2)$$

ここに、 ϵ_{θ} は円周方向のひずみで、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、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、塑性変形仕事、運動エネルギーをそれぞれ、 W_p , W_p , W_k とすると次式となる。

$$W_e = W_p + W_k \quad (3)$$

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

管破壊におけるひずみ速度と運動エネルギーに費やされる仕事は次式で表される。

$$W_k = \rho \pi h_0 z r_0^3 \dot{\epsilon}_{\theta}^2 \quad (4)$$

ここで、 z は管壁の軸方向の長さ、 $\dot{\epsilon}_{\theta}$ は円周方向のひずみ速度である。

4. 結論

1. 今回の実験において、引張試験より求めたひずみ速度と破壊強度の近似直線は、 $\sigma = 718.22 + 43.48 \log \dot{\epsilon}$ (kgf/cm²) と水圧による管破壊実験の破壊強度とひずみ速度の近似直線 $\sigma_{\theta} = 751 + 38.555 \log \dot{\epsilon}_{\theta}$ (kgf/cm²) であり、ひずみ速度を変化させた引張試験と水圧破壊実験の応力の変化率は、ほぼ同じ値を示した。

2. 水撃による管破壊の応力は、引張試験や水圧破壊破壊実験で得た応力とひずみ速度の近似曲線から大きく離れた値を示した。運動エネルギーに費やされる仕事が大きく影響していると思われる。

3. 薄肉円管の高速拡張の方程式での運動エネルギーに費やされた仕事を考慮することにより、極めて速いひずみ速度(水撃破壊)での急激な破壊応力の増加をかんがえることができる。

参考文献

- 1) 河野幸夫 他：水撃圧による管の動的破壊と準静的破壊の実験比較研究，土木学会論文集 No. 509/II -30, 55-65, 1995. 2.
- 2) 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.