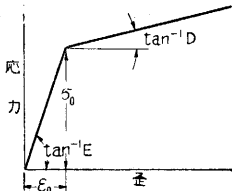


パイプの曲げ加工に伴う残留応力

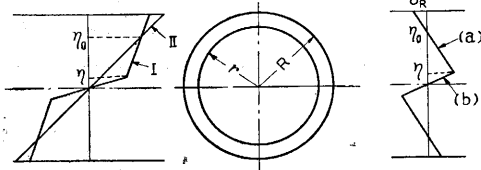
日比野文雄

パイプの曲げ変形に伴う残留応力に関する考察である。曲げモーメントを受けた梁の残留応力についてはこれまで研究されているが、それらは特定の材料について図式解法を行ったものが多く、その結果も大体定性的に留まっているようである。また取扱い簡単な矩形断面が多く、円形断面のものについてはほとんどその例をみない。本研究では材料の特性を考慮に入れて解析的に取扱い、材質や断面の幾何学形状が残留応力分布にどのように影響するかを一般的に求めた。

材料は第1図のような応力-歪線図を持ち、その弾性係数は E 、加工硬化域における塑性係数は D 、降伏応力は σ_0 、また $\epsilon_0 = \sigma_0/E$ とする。またパイプ断面は外半径 R 、内半径 r で、荷重中は第2図1のような応力分布を生じており、塑性域は中立軸から $y = \eta$ の距離に達しているとする。しかるとき残留応力はこ



第1図 応力-歪線図



第2図

第3図

のIの応力と、除荷の際に逆方向に働く応力分布IIとの差として求めることができ、その結果第3図のような応力分布になる。

この残留応力分布は弾塑性域の境界 $y = \eta$ で交わる二つの直線 (a) と (b) で表わされ、残留応力を σ' として

$$\frac{\sigma'}{\sigma_0} = \left\{ 1 + \frac{D}{E} \left(\frac{y}{\eta} - 1 \right) \right\} - \frac{M_{PI}}{M_{EI}} \frac{y}{R} \quad \text{for } R \geq y \geq \eta \quad (1)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma_0} = \frac{y}{\eta} - \frac{M_{PI}}{M_{EI}} \frac{y}{R} \quad \text{for } \eta \geq y \geq 0 \quad (2)$$

ここで M_{PI} は応力分布 I を与えるためのモーメント、 M_{EI} は降伏限界モーメントで

$$\frac{M_{PI}}{M_{EI}} = \frac{1-D/E}{1-P^4} A(u) - \frac{P^4-D/E}{1-P^4} \frac{u}{r} \quad \text{for } R \geq \eta \geq r (1 \geq u \geq P)$$

$$\frac{M_{PI}}{M_{EI}} = \frac{1-D/E}{1-P^4} A(u) - \frac{1-D/E}{1-P^4} B(P, u) + \frac{D}{E} \frac{1}{u} \quad \text{for } r \geq \eta \geq 0 (P \geq u \geq 0)$$

ただし $P = r/R$, $u = \eta/R$ で

$$A(u) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{5}{6} \sqrt{1-u^2} - \frac{1}{3} u^2 \sqrt{1-u^2} + \frac{1}{2u} \sin^{-1} u \right]$$

$$B(P, u) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{5}{6} P^2 \sqrt{P^2-u^2} - \frac{1}{3} u^2 \sqrt{P^2-u^2} \right]$$

$$+ \frac{P^4}{2u} \sin^{-1} \frac{u}{P} \Big]$$

である。

また荷重除去後の中立軸の残留曲率半径を ρ とすれば、 ρ と η との間に次の関係が成立つ、

$$\frac{R}{\epsilon_0 \rho} = \frac{R}{\eta} - \frac{M_{PI}}{M_{EI}} \quad (3)$$

以上の(1)、(2)および(3)式から、 η を媒介にして、残留曲率と残留応力との関係を求めることができる。

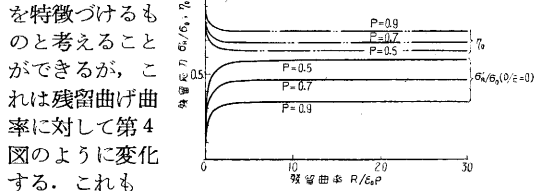
$x=R$ の最外層の残留応力 $\sigma_{R'}$ が残留曲率半径 ρ に従ってどのように変化するかを、内外径比 $P=r/R$ の異なる値に対して求めれば、第4図のようになる。これから分るように最外層の残留応力には極限があり、その値は断面の幾何学的形状から決ってくる。またこの値は塑性係数 D によっても変化し、加工硬化する場合の値は完全塑性体の値に $(1-D/E)$ を乗じたものに等しい。

第1表

P	0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$\sigma_{R'}/\sigma_0^*$ ($D/E=0$)	0.698	0.584	0.529	0.468	0.403	0.338
η_0	0.589	0.631	0.654	0.681	0.713	0.748

また第4図の横軸 $R/\epsilon_0 \rho$ は ϵ_0 が一般に 10^{-3} 程度なので、わずかの塑性曲げでこの値に達し、それ以後の変化は極くわずかなものであることが分る。

内部の残留応力が零になる位置 η_0 (第3図) は、材料内部の応力分布



第4図

を特徴づけるものと考えられることができるが、これは残留曲げ曲率に対して第4図のように変化する。これも $\sigma_{R'}$ 同様極限值があり、わずかの曲げでこの値に達しこれ以上は内部には入って行かない。しかしこの値は $\sigma_{R'}$ とは違い、加工硬化の影響はほとんど受けず、断面の内外径比だけでほぼ決まってくる。第1表には種々の内外径比に対する $\sigma_{R'}$ と η_0 の値を示しておいた。

中立軸に近い塑性変形をしていない部分の残留応力の変化 (第3図(a)) は、(2)と(3)式とから分るように、その変化の勾配は残留曲率 $R/\epsilon_0 \rho$ に等しくなっている。

したがって以上に求めた関係を使い、材質を示す応力-歪線図の諸定数を知れば、第1表から塑性変形した外層の残留応力分布について、また残留曲率半径から弾性部分の応力分布について定量的な推定を下すことができることになる。(1955. 2. 4)