

住友金属工業(株) 鋼管製造所 松木則夫 古堅宗勝 大藪研一
 和歌山製鉄所 岡田道雄 岡沢 享

1. 緒言

第1報では矯正中の管の歪(変形)の解析法について述べた。本報では矯正中の応力の解析法について報告する。

2. 理論

(1) 解析の方法: 第1報で述べた解析法により、矯正中の歪が場所の関数として求めた。管の任意の点に注目し、矯正中のその点の位置を追跡すれば、各場所の歪増分 $d\epsilon$ が計算でき、更にこの歪増分から材料固有の応力歪関係式(歪履歴に伴うバウシニング効果等を含んだ)を介して応力増分 $d\sigma$ が計算できる。このようにして矯正中の応力履歴、矯正後の残留応力及び降伏強さ等が理論解析できる。

(2) 降伏条件式: バウシニング効果を含んだ移動硬化型の一つである岸、五弓等の提案した次式を用いる。

$$f = 6J_2 + 6k\epsilon_{ij}^{pm}\sigma_{ij} - 2Y^2 = 0 \quad \text{ここで } J_2 = \frac{1}{2}\sigma'_{ij}\sigma'_{ij}, Y = H(\bar{\epsilon}^p), \bar{\epsilon}^p = \sqrt{\frac{2}{3}\epsilon_{ij}^p\epsilon_{ij}^p}, k, m \text{ は}$$

バウシニング定数と指数である。 $Y = H(\bar{\epsilon}^p)$ は加工硬化特性として単軸引張の $s-s$ カーブより、また k, m は繰返し引張圧縮のヒステリシスカーブより決定される。

(3) 応力歪関係式: 塑性域での応力歪関係式は降伏関数を塑性ポテンシャルとして導かれ、

$\{d\sigma\} = [D^p]\{d\epsilon\}$ と略記する。この $[D^p]$ マトリックスの導出は複雑であるが、等方性材料の場合と同様であるから省略する。弾性域での $[D^e]$ マトリックスは等方性材料のそれを用いた。

(4) 矯正時の歪と応力の計算: 管の断面を半径方向と周方向に分割し、

各分割要素について上述の解析方針に則り、歪と応力を計算した。ここで半径方向の応力 σ_r は無視し、2次元応力状態($\sigma_r = 0, \sigma_\theta \neq 0, \sigma_z = 0$)とした。

(5) 矯正後の $s-s$ カーブと降伏強さ: 各分割要素について矯正後の残留応力を初期値として、単軸引張の歪増分 $d\epsilon$ を与えて応力増分 $d\sigma$ を計算し $s-s$ カーブを求めた。管の実体引張の $s-s$ カーブは各分割要素の相加平均として求めた。

3. 計算例

2-2-2-1型ロータリ矯正機で管寸法 $60\phi \times 5t$, 加工硬化特性(単軸引張の $s-s$ カーブ) $\sigma = 80 + 170(\epsilon - \epsilon_p) \text{ kg/mm}^2$, バウシニング効果特性 $k = 50 \text{ kg/mm}^2, m = 0.45$ の材料を矯正した場合の計算例を示す。図1に半径方向の応力分布を示す。但し各点の値は同一円周上の平均値を示す。図2に矯正後の管を軸方向に引張った場合の内外面の分割要素及び管の実体引張の $s-s$ カーブを示す。

図1, 2共に実測値と定性的によく一致している。

4. 結言

(1) 第1報と本報で述べた理論解析法により矯正時の歪と応力が計算でき、矯正時の複雑な現象が解明できた。

(2) 本解析法は矯正作業の適正化へ適用出来る。

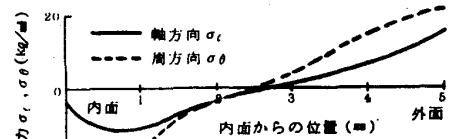


図1 矯正後の残留応力分布

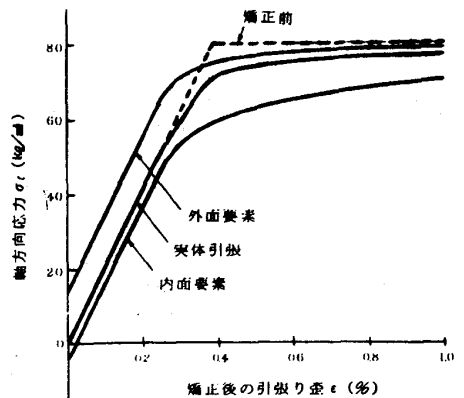


図2 矯正後の管の引張