

丸棒の回転曲げ矯正における寸法変化について

A Study on Change in Diameter of Round Bars in Rotary Straightening

鈴木 弘*・荒木甚一郎*・北沢 実雄*

Hiromu SUZUKI, Jin-ichiro ARAKI and Jitsuo KITAZAWA

1. ま え が き

筆者らは、これまで丸棒の繰返し曲げ矯正における寸法変化の機構を明らかにするために、回転を伴わない繰返し曲げについて、実験と解析を行ない¹⁾²⁾³⁾、その結果 a) 軸力、b) 曲げ曲率、c) 引張側降伏応力と圧縮側降伏応力の差が寸法変化の主たる要因であることを明らかにした。しかし工業界においては、高い真直度の矯正を行なうために、回転曲げ矯正を行なう場合も多く、この際における変形機構を解明することは矯正材の寸法精度向上のうえで重要である。そこで今回は回転曲げにおける寸法変化の機構を考察し回転曲げにおいても上記の要因が寸法変化に支配的な影響を及ぼすことを立証したので報告する。

2. 記 号

- $\Delta \epsilon_{i,y}$; 曲げ曲率を漸増していくとき第 i 番目の曲げによる y_n の位置の長軸方向歪増分
- $\Delta \epsilon_{n,y}$; 第 n 番目の回転による y_n の位置の長軸方向歪増分
- $\sigma_{n,y}$; 第 n 番目の回転をした際の y_n の位置の長軸方向の応力 (kg/mm²)
- σ_{ec} ; 圧縮側降伏応力 (kg/mm²)
- σ_{et} ; 引張側降伏応力 (kg/mm²)
- ϕ ; 曲げ角 (Radian)
- $\Delta \phi$; 曲げ角増分 (Radian)
- θ ; 回転角 (Radian)
- $\Delta \theta$; 回転角増分 (Radian)
- ρ_i ; 第 i 番目の曲げ後の曲率半径 (mm)
- ρ ; 最終的に曲げた際の曲率半径 (mm)
- Δl ; 寸法変化量 (mm)
- T ; 軸力 (kg)
- e ; 中立軸の位置 (mm)

3. 回転曲げにおける寸法変化の機構

回転曲げの手順は、図 1 のように降伏応力以下の軸力を負荷後(A), 曲げモーメントをかけて降伏曲率以上に曲げ(B), それを中心軸のまわりに回転するものとする

(C). その際の曲率半径方向の応力分布を長軸を含む断面で示すと図 2 になる。また横断面に垂直な応力分布は図 3 に示される。ここで図 3 (C) は次のように求められる。ある曲率に曲げられた丸棒を回転すると、幾何学的位置関係により II, III 部分が除荷域となり、長軸方向の力の釣合いから $\Delta l = (\rho + y) \Delta \phi$ の寸法変化が生じて実際には図 3 (C') の応力状態になる。

4. 計算に用いた仮定

- i) 材料の横断面に垂直な応力分布のみを考える
- ii) 材料は弾完全塑性体とする
- iii) 横断面の形状は変わらない

5. 計 算 式

曲げモーメントを負荷して曲げ曲率を漸増させていくときの第 i 番目の曲げによる長軸方向歪増分は

$$\Delta \epsilon_{i,y} = (y - e) \Delta \phi / (\rho_{i-1} + y) \phi \quad (1)$$

$1/\rho$ の曲率に曲げたあと、曲率を一定のまま $\Delta \theta$ ずつ回転するとき、第 n 番目の回転による長軸方向の歪増分は

$$\Delta \epsilon_{n,y} = (y_n - y_{n-1}) / (\rho + y_{n-1}) - (\rho + y_n) \Delta \theta / (\rho + y_{n-1}) \phi \quad (2)$$

ここで $\Delta \phi$ は回転によって生ずる寸法変化に伴う曲げ角増分である。また y_n, y_{n-1} は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} y_n &= r_y \cos \theta \\ y_{n-1} &= r_y \cos(\theta - \Delta \theta) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2) 式の右辺の第 2 項は回転に伴う寸法変化分を示す。

次に、

$$\sigma'_{n,y} = \sigma_{n-1,y} + E \cdot \Delta \epsilon_{n,y}$$

とおくと、弾完全塑性体の仮定より

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{n,y} < \sigma_{ec} & \text{ のとき } \sigma_{n,y} = \sigma_{ec} \\ \sigma_{ec} \leq \sigma'_{n,y} \leq \sigma_{et} & \text{ のとき } \sigma_{n,y} = \sigma'_{n,y} \\ \sigma_{et} < \sigma'_{n,y} & \text{ のとき } \sigma_{n,y} = \sigma_{et} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

として応力状態が求められる。

一方、回転時にも長軸方向の力の釣合いより

$$\int_A \sigma_{n,y} dA = T \quad (5)$$

中心軸における長軸方向の寸法変化は

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

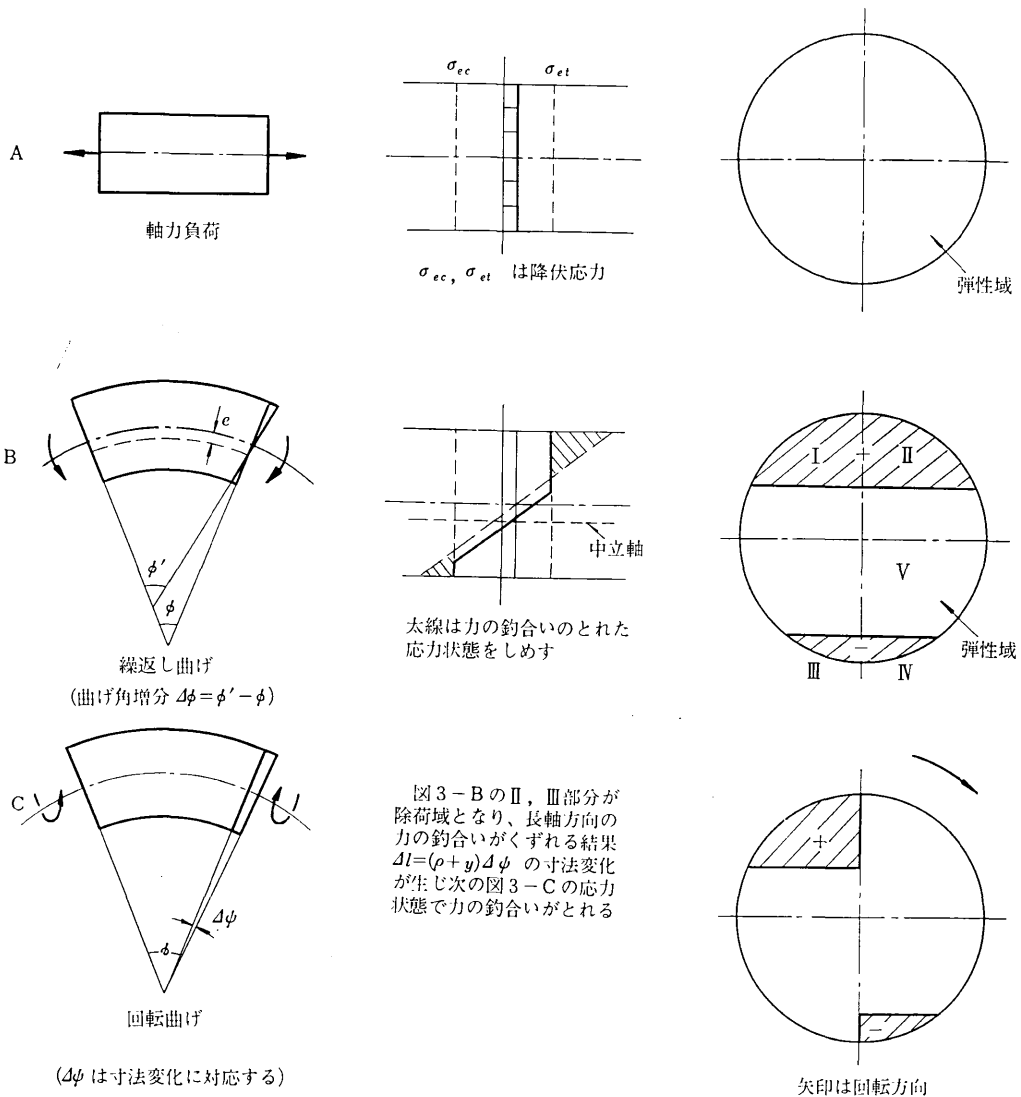


図 1 回転曲げの方法

図 2 縦断面の応力分布

図 3-B の II, III 部分が除荷域となり、長軸方向の力の釣合いがくずれる結果 $\Delta l = (\rho + y) \Delta \psi$ の寸法変化が生じ次の図 3-C の応力状態で力の釣合いがとれる

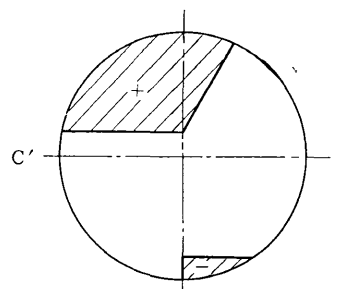


図 3 横断面の応力分布 (斜線部は塑性域)

研究速報

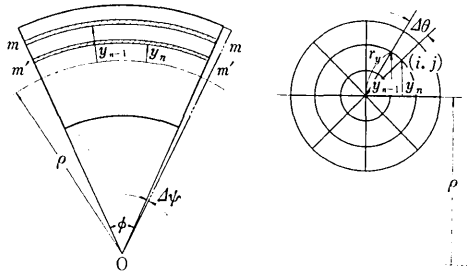


図4 回転曲げを受ける丸棒

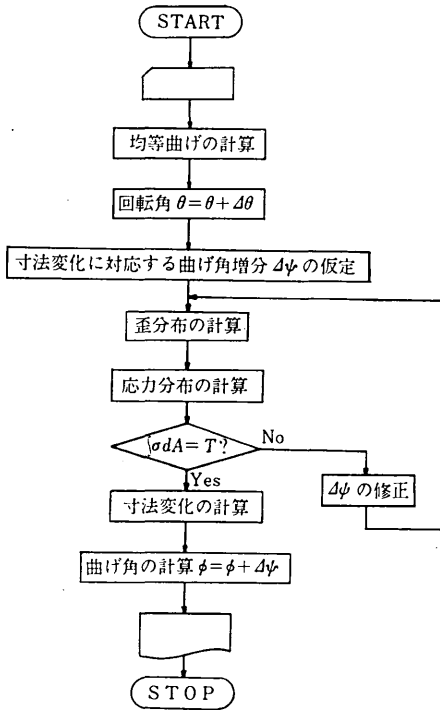


図5 計算流れ図

$$\Delta l = \sum_{i=1}^i \Delta \epsilon_{i,0} + \sum_{n=1}^n \Delta \epsilon_{n,0} \quad (6)$$

として求められる。

6. 計算結果

黄銅について実験から求めた応力-歪線図によって降伏応力を決めた。図6、図7はそれぞれ軸力、曲率が寸法変化に及ぼす影響を示す。軸力、曲げ曲率の増加と寸法変化の増加に対応関係が見られる。図8は引張側降伏応力と圧縮側降伏応力に差がある場合である。寸法変化が生ずる機構は、軸力を負荷していなくても均等に曲げた際 σ_{cc} と σ_{ct} の大きさが異なるため、力の不釣合いを生じ、中立位置の移動があり、結局横断面の応力分布は図3(B)のようになることから以後第3章で示した機構と同様に考えられる。次に繰返し曲げと回転曲げの寸

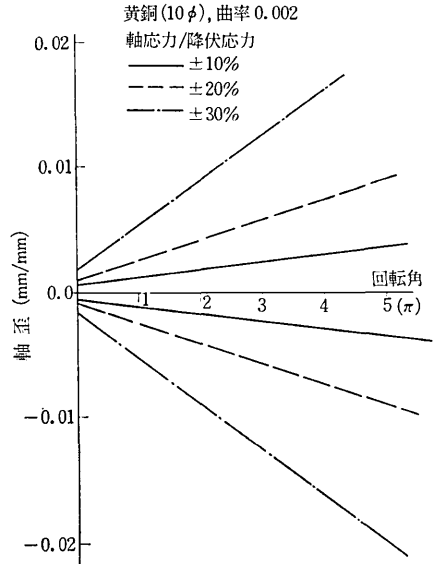


図6 軸力が寸法変化に及ぼす影響

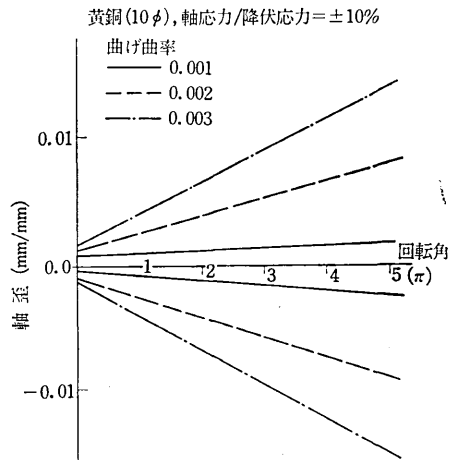


図7 曲げ曲率が寸法変化に及ぼす影響

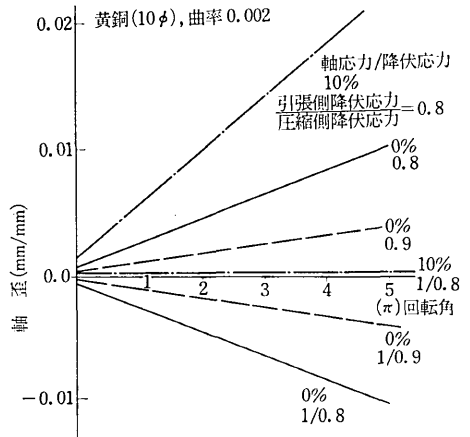


図8 引張側降伏応力と圧縮側降伏応力の大きさが異なる場合の寸法変化

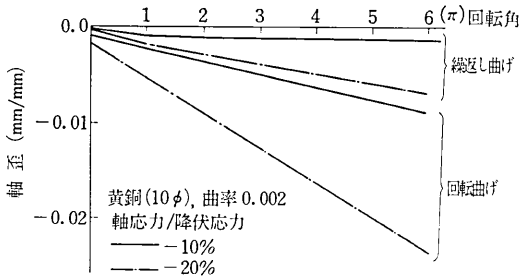


図 9 繰返し曲げと回転曲げと寸法変化量の比較

法変化量を図 9 に示す。横軸は回転角（ただし繰返し曲げでは一往復を 2π とする）である。図 10 は回転中の応力分布（図 3 (C') に対応する）を数値計算によって求めたものである。

7. 結 論

(1) 回転曲げの際も寸法変化の生ずる要因は、a) 軸力、b) 曲げ曲率、c) 引張側と圧縮側の降伏応力に差がある場合であることが確かめられた。

(2) 回転曲げは繰返し曲げの 2~5 倍程度の寸法変化がある。

(3) 材質により降伏応力が引張側と圧縮側に差があるものでも、軸力を加えることにより寸法変化を軽減することが可能である。(1971 年 10 月 19 日受理)

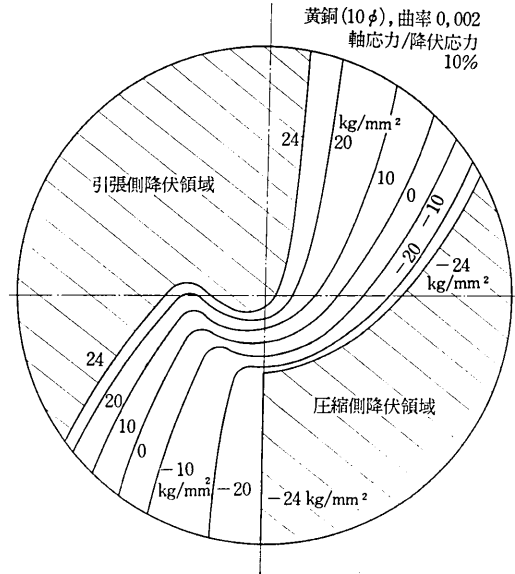


図 10 回転中の丸棒の横断面に垂直な応力分布

参 考 文 献

- 1) 鈴木・荒木：昭和 43 年第 19 回塑性加工連合講演会前刷集
- 2) 鈴木・荒木・磯島：昭和 45 年塑性加工春期講演会前刷集
- 3) 鈴木・荒木・磯島：昭和 45 年第 21 回塑性加工連合講演会前刷集

正 誤 表 (12 月号)

ページ	段	行	種 別	正	誤
目次			表紙説明	グラフィックディスプレイ装置は	グラフィックディスプレイ装置は
16	右	下 4	本 文	we have treated...	we treat have...
17	左	12	〃	equilibrium	equilibrium
22	左	4	〃	加熱焼結	加熱燃結
〃	右	9	〃	焼結試料	燃結試料
26	右	23	〃	3,9'-ジベンゾアントロニル	3,9-ジベンゾアントロニル
28			脚 注	Dept. of Applied Physics	Dept. of Applied Physis
33	右	11	本 文	brewster cut	bremster cut