

二次元理論による矯正中の変形過程解析

An Analysis of Two Dimensional Levelling Process

荒 木 甚 一 郎*

Jinichiro ARAKI

1. ま え が き

矯正作業は、初期曲率のある素材を真直にすることが目的であるが、矯正材の真直性、すなわち矯正後の曲率は、矯正機出口での曲率と、矯正直後のスプリングバック量とで決る。したがって理想的な矯正機構を考えるには、矯正の基本的メカニズムを明らかにすると同時に、矯正中の矯正材のプロファイルを考慮した研究が必要になる。そこで実際の複雑な矯正機構を解析するに先立って、図1のような棒を回転させずにダイスを通過させる簡単な矯正機モデルに関するプロファイルを、他の複雑な問題にも適用可能な方法で解析したので報告する。

2. 解 析 の 方 針

棒の繰返し曲げによる加工履歴を考慮して、任意の位置での曲げモーメントを求め、それらが支点反力から求まる曲げモーメントと一致するようにプロファイルを定める。その際の仮定として応力成分として

- 1) 軸応力のみを考える。
- 2) 曲率中心を含み、中心線に垂直な平面で切られる棒の断面は円である。
- 3) バウシinger効果は無視する。

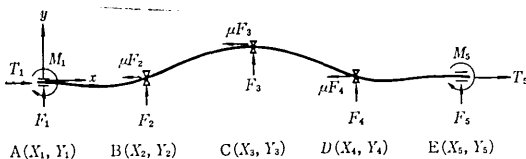


図1 矯正機モデル

A, E: 押入力又は引張力を与えるディスク
B, C, D: ダイス, F_1, F_2, \dots, F_5 : 反力, T_1, T_2 : 押入力又は引張力, M_1, M_2 : ディスクバイト中に棒に働く曲げモーメント, $X_1, \dots, X_5, Y_1, \dots, Y_5$: 各支持点の x, y 座標

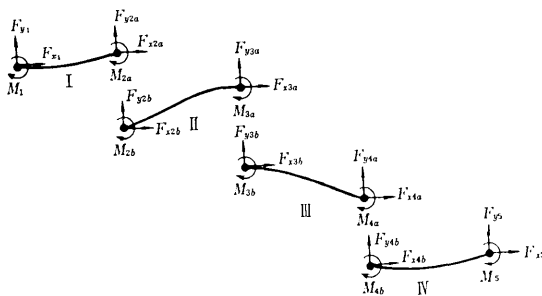


図2 各領域の力の釣合

4) プロファイルを考える際は曲げによる棒の中立面の移動を考慮しない。

3. 解析に用いる基本関係式

3.1 力の釣合式

図1の棒を図2のように4つの領域に分けて考える。

第 i 領域の力の釣合は

$$\left. \begin{aligned} M_{ib} + M_{i+1a} + (X_{i+1} - X_i)F_{yib} \\ - (Y_{i+1} - Y_i)F_{xib} = 0 \\ F_{xib} + F_{x_{i+1a}} = 0, \quad F_{yib} + F_{y_{i+1a}} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

3.2 $i-1$ 領域と i 領域との切口の接続条件式

$$\left. \begin{aligned} F_{xia} + F_{xib} = -\mu |F_{yia} + F_{yib}| \\ M_{ia} + M_{ib} = 0 \quad (i \neq 1) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3.3 第 i 領域に関する基礎式

図3のように i 領域の棒のプロファイルを n 個の点 P_{ij} (x_{ij}, y_{ij}), ($j=1 \sim n$) により代表させる。

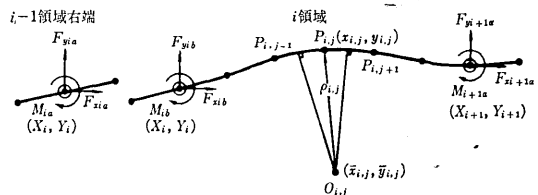


図3 第 i 領域のプロファイルの構造

3.3.1 P_{ij} における曲率半径 ρ_{ij} を求める式

$$\rho_{ij} = \frac{(y_{ij} - \bar{y}_{ij}) \sqrt{(x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2 + (y_{ii} - \bar{y}_{ij})^2}}{|y_{ij} - \bar{y}_{ij}|}$$

3.3.2 P_{ij} における曲げモーメント m_{ij} と支点反力との関係式

$$m_{ij} = -M_{ib} + (y_{ij} - Y_i)F_{xib} - (x_{ij} - X_i)F_{yib} \quad (4)$$

3.3.3 位置 $P_{i,j-1}$ より P_{ij} に進む際に棒断面内に生じる歪増分および歪を求める式

中心線より z_j の任意の位置での歪増分は

$$\Delta \epsilon_{i,j-1} = \frac{(\rho_{ij} + z_j)\rho_{j,j-1}}{(\rho_{i,j-1} + z_{j-1})\rho_{ij}} - 1 \quad (5)$$

よって $\epsilon_{ij} = \epsilon_{i,j-1} + \Delta \epsilon_{i,j-1}$ (6)

3.3.4 歪と応力の関係式

完全弾塑性体の場合には

$$\sigma = \sigma_{i,j-1} + E \cdot \Delta \epsilon_{i,j-1} \quad \text{と お く と}$$

$$\sigma > \sigma_H \quad \text{ならば} \quad \sigma_{ij} = \sigma_H$$

$$\sigma_L < \sigma < \sigma_H \quad \sigma_{ij} = \sigma$$

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

$$\sigma < \sigma_L \quad \sigma_{ij} = \sigma_L \quad (7)$$

$(\sigma_H: \text{引張側降伏応力})$
 $(\sigma_L: \text{圧縮側})$

3.3.5 加工履歴から求める曲げモーメント m_{ij}^*

3.3.4 で求めた応力から計算する。

3.4 $i-1$ 領域までのプロフィールが決定したとして i 領域のプロフィールを決定する方法

$F_{yib} = (F_{yib})_1$ と仮定すると $M_{ib} = -M_{ia}$, $F_{xib} = -F_{xia} - \mu |F_{yia} + F_{yib}|$ より i 領域の左端支点の反力及び曲げモーメントが求まる。今プロフィールが P_{ij} まで求めたとすると反力より求まる曲げモーメントは (4) 式より定まる。一方履歴より求まる曲げモーメントは

$$\begin{aligned} m_{ij}^* &= g_1(\sigma_{ij}) = g_1(\sigma_{ij-1}, \Delta \epsilon_{ij-1}) \\ &= m_{ij-1}^* + g_2(\Delta \epsilon_{ij-1}) = m_{ij-1}^* + g_2(\rho_{ij-1}, \rho_{ij}) \\ &= m_{ij-1} + g(y_{ij+1}) \end{aligned} \quad (8)$$

$m_{ij} = m_{ij}^*$ であるから

$$m_{ij} = m_{ij-1} + g(y_{ij+1}) \quad (9)$$

よって $y_{ij+1} = g^{-1}(m_{ij} - m_{ij-1})$ (10) 式より P_{ij+1} の座標が定まる。したがって $j=1$ から順次 (10) 式を満すように y_{ij} を定め $j=n$ で Y_{i+1} となるように F_{yib} を修正すると i 領域の全プロフィールが決定する。

3.5 全体のプロフィールの決定

図4のフローチャートにしたがって計算する。

4. 計算結果および考察

図5~図7は軸径 5ϕ , 降伏応力 $\pm 20 \text{ kg/mm}^2$ の矯正材に対する数値計算結果の図で、すべて支点 I0, I1, I2, I3, I4 は同一のパスライン上にある。I2 で押込を与え、スパンの長さ I0 I4 は 100 mm である。

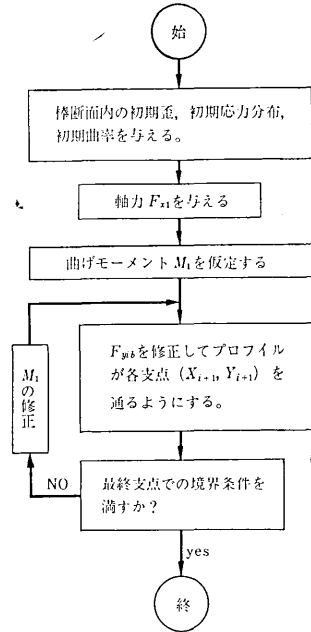


図4 フローチャート

図5は真直の棒に0.1の押込量を与えた場合で、棒の大部分は弾性変形の範囲である。また矢印の向きは支点反力の作用方向を示している。計算は I3 の位置までで止めてあるが曲線①, ②, …⑤のうち特定のものしか I4 を通過できない。

図6は押込量0.2を与えた同様の結果で0.1の場合よりも各支点反力が大きくなり、曲率も I2 の近くでは降伏曲率を越えている。

図7は押込量0.2の場合の全プロフィールに対する計算

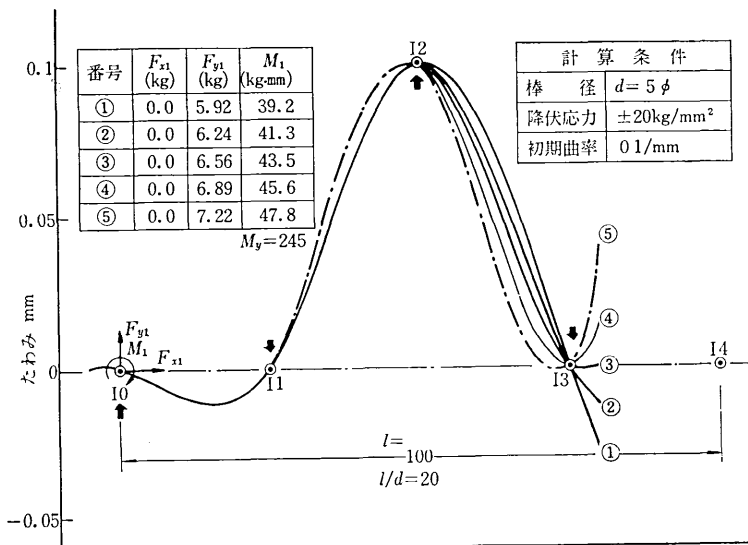


図5 押込量0.1の場合のプロフィール

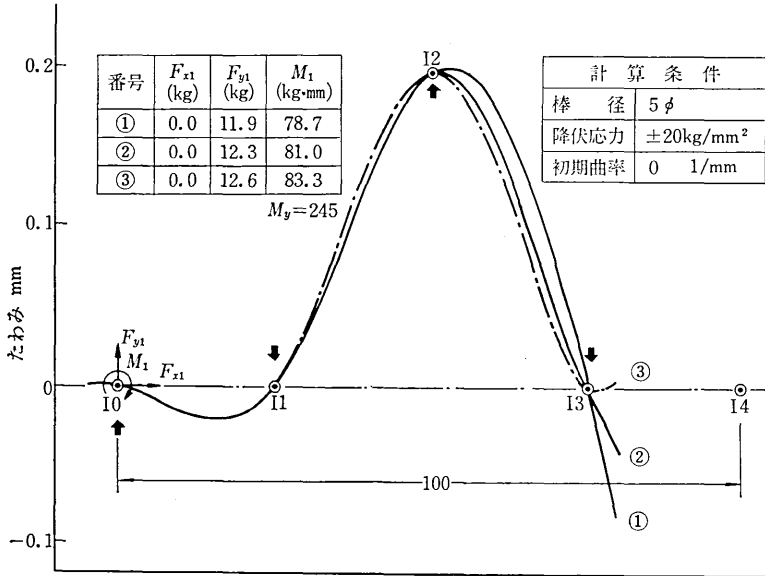


図 6 押込量 0.2 の場合のプロフィール

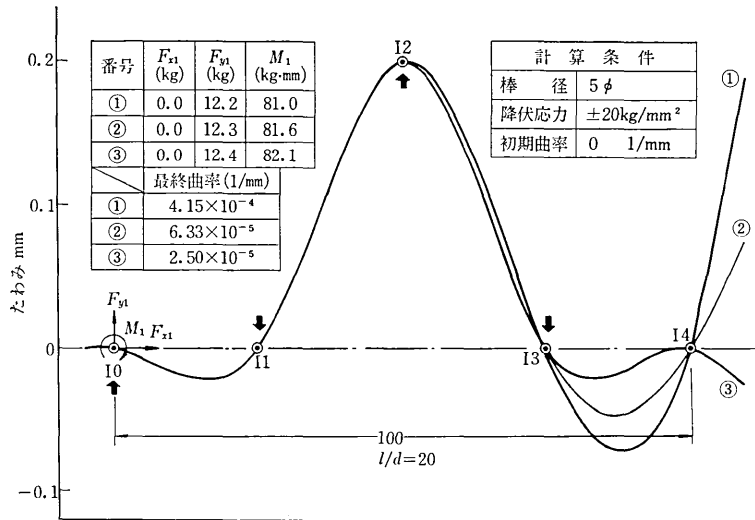


図 7 押込量 0.2 の場合の全プロフィール

で、上流での矯正条件のわずかの変動が下流のプロフィールに大きく影響することがわかる。

5. ま と め

1) 今回示した計算方法により、支点間の矯正材のプロフィールが求まり二次元変形の矯正過程が解析できる。

2) 種々の矯正条件に対して、矯正中の応力状態・矯正後の曲率・残留応力が求まり、矯正の問題を解明する有効な手段となる。

(1969年12月9日受理)

(p. 33 よりつづく)

振動の振動数と振幅、白丸と黒丸はそれらの実測値であり、横軸に管長をとって示されている。図から振動数に関しては、計算値と実測値は定量的にもきわめてよく一致し、振幅に関しても、定量的には最大 35% の差異が認められるが定性的には大略一致することがわかる。

結 言

以上、スプール形圧力制御弁と管路からなる系に生じる自励振動現象を解析し、系に含まれる非線形性、主としてスプール弁オリフィスの流量特性の不連続性のため

に、自励振動に周期解が存在することを明らかにした。

(1969年12月24日受理)

文 献

- 1) 小嶋, 日本機械学会関西支部第 223 回講演会前刷集 (昭 44-11)
- 2) たとえば, E. C. Johnson, Trans. AIEE, Part II. Vol. 71 (1952), 169.

訂正 図 3 $\frac{q_i^*}{\bar{x}_{\max}^*} \angle \psi_{q_i}$ を $\frac{\bar{q}_i^*}{\bar{x}_{\max}^*} \angle \psi_{q_i}$

図 4 \bar{x}_{\max} を \bar{x}_{\max}^*

図 5 $\bar{\omega}_n$ を $\downarrow \omega_n$