

矯正材の変形過程に関する一考察

An Analysis of Longitudinal Profile of Material in Straightening

荒 木 甚 一 郎*

Jin-ichiro ARAKI

1. ま え が き

最近の産業技術の著しい発展にともない、製品の品質・精度に対する要求が厳しくなりつつあるが、仕上げ工程に位する矯正においても、矯正材の平坦度(真直度)の向上が一層望まれている。この要望を満たすには、十分に高度の矯正機能を有する矯正機を設計するための基本となる技術体系と、その矯正機能を最大限に発揮させる作業方法とが確立されなければならない。

これまでにも、矯正の基本原則に関する研究によって、曲げ・曲げ戻しを行ない適当な矯正曲率を与えるいわゆる繰返し曲げ矯正において、繰返し曲げ曲率を漸減することにより、材料の初期曲りを矯正することが可能なこと、また材料横断面内の残留応力分布を均一化できること等の重要な事実が明らかにされている。一方実際の矯正作業においても、これらの理論結果を応用すべく努力がなされており、矯正機に関しても、一応矯正に必要な機能を備えた設計がなされている場合が多い。しかし材料が比較的ロールの曲率になじみ易いテンションレベラーの場合や、定められた曲率の路を通過させて矯正曲率を与えるような場合は別であるが、普通の矯正機における場合のように、ダイスあるいはロールを用いて、その押込量を調節することによって矯正曲率を与える機構の場合には、矯正機通過中の材料に矯正の基本原則から要求される曲率を実現する作業方法を見出すことは、非常に困難なのが実状である。これは、矯正中の曲率は個々のダイスあるいはロールと材料との接触面での反力の影響が総合されて形成されるものだからである。

著者は前報³⁾において、一般の繰返し曲げ矯正機の機能を具えた矯正機モデルを用いて、矯正における材料の変形過程の解析方法を示した。その結果、矯正機通過中の材料のプロファイルを求めることが可能となり、矯正機のダイスあるいはロールの配置や押込量が、矯正中の曲率に及ぼす影響をかなり明確にすることができた。しかし矯正によって得られる最終製品の平坦度や真直度が十分であり、しかも残留応力分布に関しても申し分なく均一化されている最適な矯正を行なうには、従来から明らかにされている矯正の基本原則を、実際の矯正作業に十

分に反映させることの可能な新しい技術体系の確立が必要である。著者はこの観点から研究を行ない、一般性のある矯正機モデルを用いて、矯正の基本原則にもとづく矯正方法について考察した。すなわち前報³⁾で報告した矯正中における変形過程の解析方法を用いて、矯正理論から望ましい曲率で矯正する場合の、矯正中の材料のプロファイルを総合的に検討することにより、今後における矯正機設計と矯正作業に対する有益な指針を得たので報告する。

2. 解析の方針

解析の簡単化のために、長手方向に初曲率分布のある板を、繰返し曲げによって平坦にする2次元矯正の場合について考える。ここで用いる解析的手法は、板の矯正作業の基本となるばかりでなく、棒の矯正の場合にも応用可能である。解析に用いる矯正機モデルは前報と同様の機構とし、次の方針に従って解析を進める。

- 1) 曲げモーメント-曲率線図上で矯正曲率の大きさが矯正効果に及ぼす影響を定量的に把握する。
- 2) 繰返し曲げ回数が、矯正後の残留応力分布に及ぼす影響について検討する。
- 3) 矯正機モデルにおける支点位置をいかに配置すれば、上記 1), 2) の曲げモーメント-曲率線図上で検討した望ましい曲率を実現する配置になるかを、矯正中のプロファイルを求める解析によって明らかにする。

これら 1), 2), 3) の項目を総合的に検討することにより、矯正の基本原則をできるだけ有効に活用した最適な矯正機の設計と矯正方法の確立が可能になると思う。

3. 矯正の基本原則に基づく矯正材のプロファイルの解析

(1) 矯正中のプロファイルに関する解析の方法

矯正中の変形過程をシミュレートする数式モデルは、前報で示したものを基本とし、各支点位置における曲率が、矯正の基本原則に基づいた望ましい曲率 $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_m$ となるようにプロファイルを求める。

解析に用いる主な仮定は

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

- 1) 素材の応力歪特性は非硬化弾塑性体とする。
- 2) 応力成分として板横断面に垂直な応力のみを考える。
- 3) 曲げの際の弾塑性曲げの中立面の移動は考慮しない。

またプロフィールに関しては、板中央部の長手方向プロフィールを点集合によって代表させる手法を用いて解析する。すなわち、任意の点における曲率半径をその点と両隣の点を通る円弧の半径で近似することにより、繰返し曲げ過程における歪履歴を考慮して、矯正機通過中のプロフィールを求める。

(2) プロファイルの決定方法

図1に全体のプロフィールを求めるフローチャートを示す。この方法により、各支点位置での曲率が、矯正の原理から考えて望ましい曲率 κ_i となるようにプロフィールを定めることが可能となる。さらに入口における曲げモーメント M_1 を修正することにより、最終支点位置を上下に移動した場合に対応するプロフィールを求めることができる。

4. 計算結果

図2, 3に計算例の一部を示す。図2(a), (b)は、矯正の際に適正な矯正曲率を実現することの可能な支点配置を示すもので、最初に与える曲げ曲率 κ_1 及び初曲率の大きさを変えた場合である。図の \blacksquare 印は矯正機の入側・出側における材料の送り又は引出し装置、 \odot 印は材料に押込力を与えるためのダイスあるいはロールに相当する。図2(a)は、初曲率 0.656 の板を $\kappa_1=4.08$ で

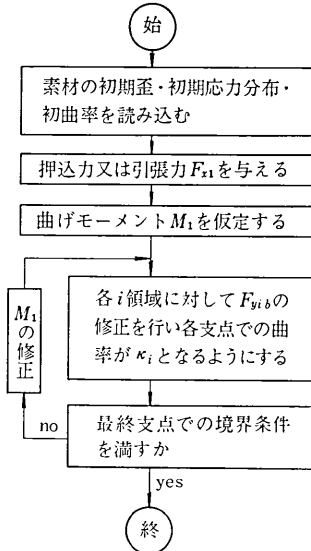
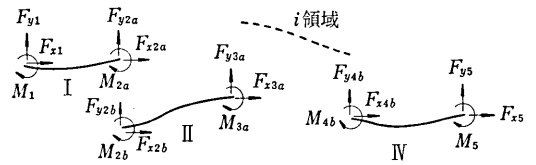


図1 全体のプロフィールを求める計算の流れ

矯正する場合、図2(b)は同じ初曲率の板を $\kappa_1=8.05$ と大きくして矯正する場合で、いずれも曲率漸減比一定の条件のもとで、4回の繰返し曲げによって、最終曲率を目標の曲率とする矯正方法を用いている。図において実線で示す曲線 ①・②・③ はいずれも平坦(真直)な

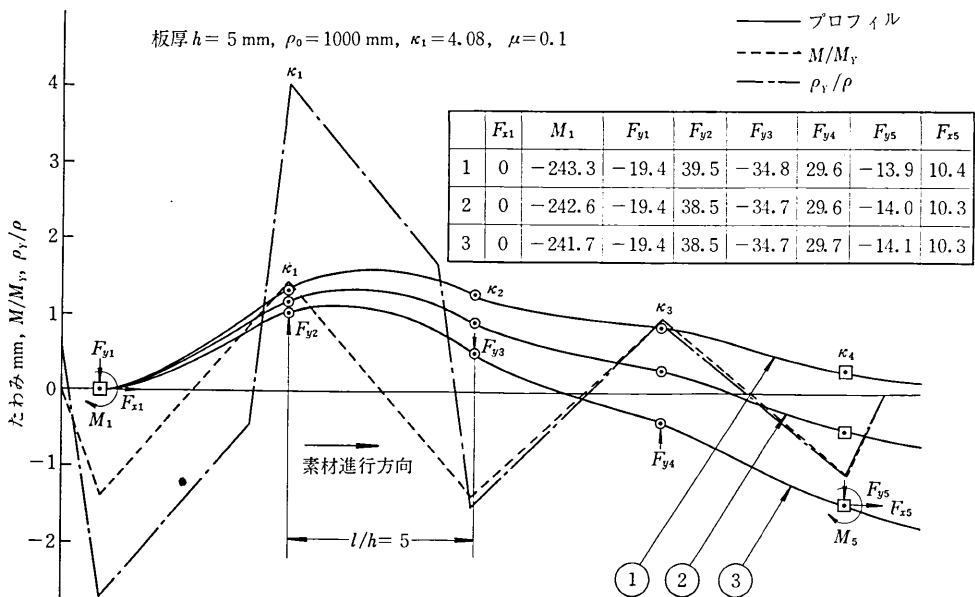


図2(a) 適正な矯正曲率を与えることのできる可能な支点配置

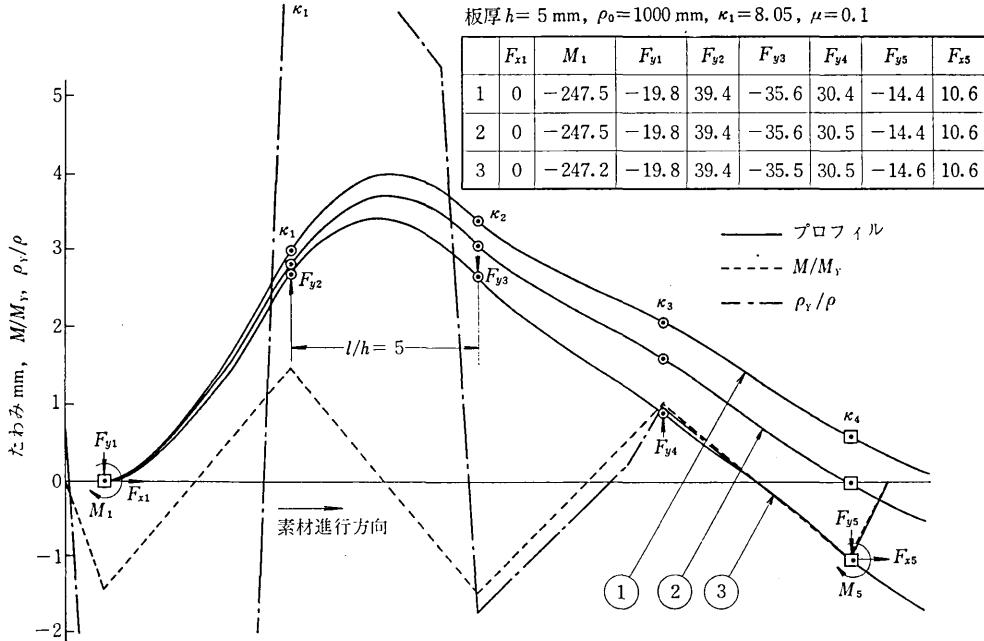


図 2(b) 適正な曲率を与えることの可能な支点配置

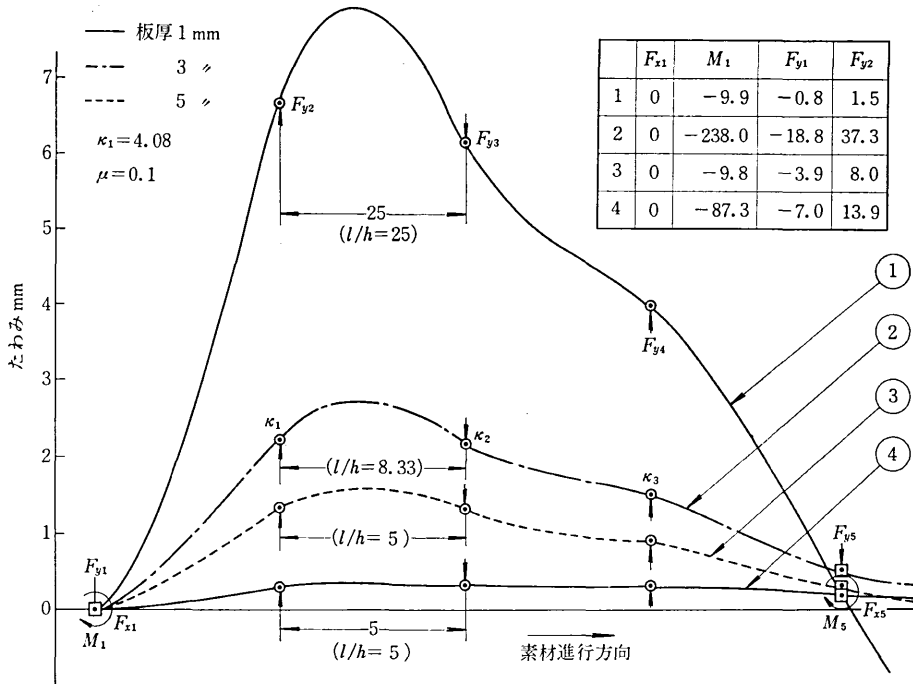


図 3 板厚が矯正材のプロファイルに及ぼす影響 (支点間隔一定の場合)

製品を得ることの可能な矯正中の材料のプロファイルを表わす。したがって、矯正機の引出し装置の位置が調節可能な設計の場合には、図の ①・②・③ のいずれの支点配置でも最終製品は目標の平坦な曲率となる。しかし一般の矯正機は、入側位置と出側位置が水平となるように

設計されている場合が多い。しかしその場合のプロファイルは図に示した ①・②・③ のプロファイルから容易に推定することが可能であり、とくに出側位置を入側位置と一致させずに考察した。なお矯正機入側における素材の流入角は水平としているが、出側における流出角は可変

研究速報

の条件のもとで解析した。

点線は曲げモーメント/降伏曲げモーメント、一点鎖線は曲率/降伏曲率の矯正過程における変化の様子を示す。図2の(a), (b)を比較することにより、矯正を強くした場合のプロファイルの変化が明瞭となり、ダイスあるいはロール相互の位置関係が適切な矯正曲率を得る上でいかに重要であるかがわかる。

図3は支点間隔と板厚との比が矯正材のプロファイルに及ぼす影響を示すもので、支点間隔一定(25 mm)の条件のもとで、板厚を1 mm, 3 mm, 5 mmと変えた場合のプロファイルを図の①・②・③に示す。これらの曲線はいずれも各支点における目標の曲率 κ_i が同じ場合に対する計算結果であるが、同じ矯正機で異なる板厚の材料を矯正する場合には、板厚が薄くなるほどたわみが大きくなり矯正が困難となることがわかる。さらにここで注意を要するのは、ここで示した計算結果は、降伏曲率で無次元化した最終の曲率を同一としているので、板厚の薄いものほど最終の曲がりは大きい。

曲線④は、厚さ1 mmの板を支点間隔5 mmの矯正機を用いて矯正する場合で、横軸を5倍にして示してある。この場合も目標の曲率は①・②・③の場合と同じであるが、たわみ自体は l/h が同じ5である板厚5 mmの場合よりかなり小さくなる。

5. ま と め

本研究により得られた結果を要約すると

- 1) 矯正中の繰返し曲げの各段階における除荷時の曲率を一定の比で漸減する矯正方法により、最終製品

の曲率を目標の曲率にし、しかも残留応力分布を均一にすることができる。

- 2) l/h が妥当な矯正機の場合には、支点すなわちダイスあるいはロール配置を適正に行なうことにより、矯正中のプロファイルを矯正の基本原則から考えて望ましい曲率にすることが可能である。
- 3) ダイス間隔一定の矯正機を用いて矯正曲率を大きくする場合には、それに応じて支点位置の押込量を増す必要があり、素材の通過がそれだけ困難となる。この影響は板厚が薄い場合ほど大きいので、 l/h を小さくするほど矯正可能な最大曲率は大きくなり、矯正機能は高くなる。しかしこの場合、支点における接触面圧が高くなること、さらにわずかの支点押込量に対して曲率の変化量が大きくなるので、支点位置の調節をより一層精密に行なう必要がある点に注意を要する。

ここで示した解析結果は、ダイスあるいはロールと材料の接触面圧を集中荷重と見なして論じているので、一般の矯正機に適用する場合には、その点を考慮する必要があるが、定性的には実際の矯正機の特質をかなり明らかにし得たと思う。

最後に、本研究を行なうに当たって終始ご指導とご鞭撻を賜わった東京大学 鈴木弘教授に深く感謝する次第である。
(1972年4月7日 受理)

参 考 文 献

- 1) 日比野：博士論文
- 2) 曾田：機械試験所報 Vol. 15, No. 4
- 3) 荒木：塑性と加工 Vol. 12, No. 129

(p. 12 からつづく)

付録 数式による表現

推定平均値は次式で求まる。ただし真値が1になるように規準化してある。

$$\begin{aligned}
 M &= E[A'(a)] \\
 &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/4} (\cos \theta + a \sin \theta) d\theta \\
 &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} (1 + a(\sqrt{2} - 1))
 \end{aligned}$$

ここで E は位相角が $(0 \sim \pi/4)$ の範囲における平均操作を意味している。推定値 M が真値1になるための a の値は次式で与えられる。

$$a = \left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - 1 \right) (\sqrt{2} + 1) = 0.2673$$

つぎに推定平均値のまわりのバリエーション (標準偏差の2乗) σ^2 は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 \sigma^2 &= E\{[A'(a) - M]^2\} \\
 &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/4} (\cos \theta + a \sin \theta - M)^2 d\theta \\
 &= \frac{1+a^2}{2} + \frac{1-a^2}{\pi} + \frac{2a}{\pi} + M - \frac{4\sqrt{2}}{\pi} M(1-a+2\sqrt{a})
 \end{aligned}$$

真値のまわりのバリエーションは上式で $M=1$ とおいたものである。それが最小になるための a の値は次式で与えられる。

$$a = \frac{6-4\sqrt{2}}{\pi-2} = 0.3006$$

(1972年3月31日 受理)

文 献

- 1) G. H. Robertson, "A fast amplitude approximation for quadrature pairs", Bell Syst. Tech. J., Vol 50, pp. 2849~2852, Oct. 1971