

ローレベラの矯正理論

Theory of Roller Levelling

梶原利幸*
Toshiyuki Kajihara

内容梗概

圧延製品の歪を除く矯正作用は、金属製造上重要な工程であるが、この目的に最も多く用いられるローレベラの矯正作用の解明はまだ明確ではなかつたので、この作用について研究を行つたが、その結果、矯正の根本的作用条件、ならびに矯正精度とローレベラの材料に与える作用との間の関係が一応明かになつたのでその概要を紹介する。

〔I〕 緒 言

ローレベラは、材料の歪を除く目的のほかに、深絞り加工の際のストレッチャストレーンを防止するために用いられることもあるが、大部分は前者の目的に使用されており、本研究では、歪を除く矯正作用に限ることにする。従来まで、歪を十分取除くために材料が受けるべき必要な作用は明かでなく、したがつてローレベラの構造ならびに必要な動力の決定は経験的に決められていたので、これらが最も妥当なものかどうかは、かなりあいまいであつた。このたび、この矯正作用を明かにして設計上の基準を確立すべく研究を行つたので、その結果の概略を報告する次第である。

〔II〕 矯 正 作 用

(1) 材料の歪の状態

歪の状態は種々あるが大別して次の二種に分けられる。

(a) 圧延方向の歪

すなわち長手方向の曲がり、波打ち、バックル(板が折れ曲つた状態)などで、これは圧延技術によつてなくすことは困難でレベラの助けを必要とする。

(b) 圧延方向と直角方向の歪

すなわち中高、横曲り、脹出し、および周辺のしわで、これらは圧延技術に関係しローレベラでは除去できないものである。

したがつて、ここで対象とする歪は、(a)に限ることにする。

(2) 矯正の条件

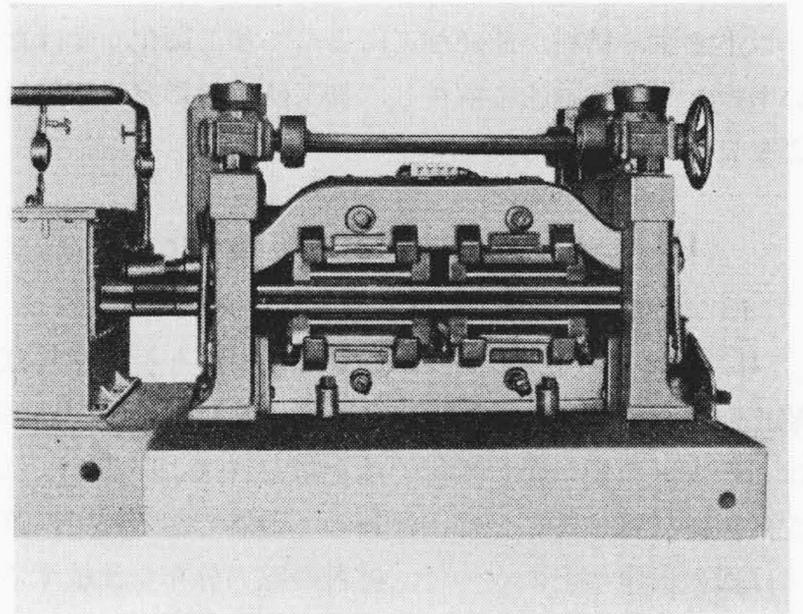
材料の長手方向に x 座標を設ければ、歪の状態は材料の x 点の曲率 K_0 によつて表わされる。すなわち

$$K_0 = f(x) \dots\dots\dots (1)$$

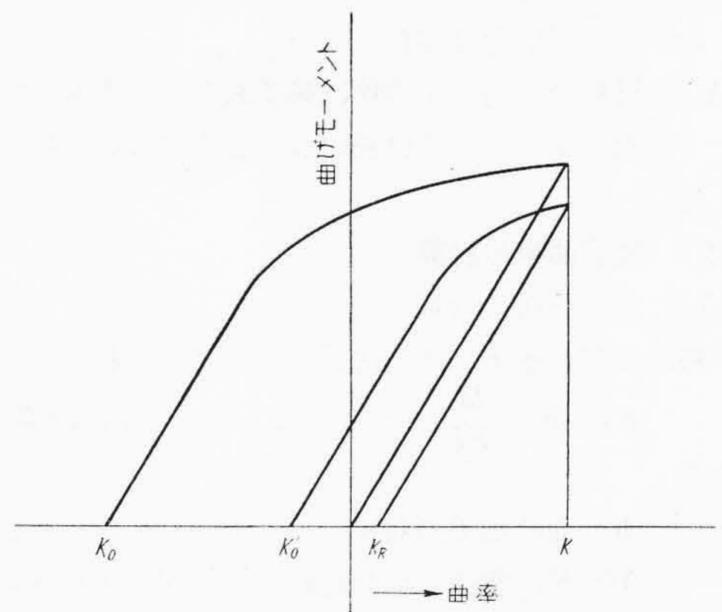
K_0 なる曲率のものを逆向に曲げて曲率零にするためには、 K_0 に応じて定まる逆向の曲率 K まで曲げればよい(第2図)。すなわち

$$K = \varphi(K_0) = \varphi\{f(x)\} = F(x) \dots\dots\dots (2)$$

* 日立製作所日立工場



第1図 薄板用ローレベラ



第2図 曲がりを有する材料の曲げモーメント—曲率線図

となり、材料の位置によつて異なる曲率に曲げねばならない。ところでローレベラでは材料のすべての部分がまったく同じ曲率を与えられるので、 K_0 なる曲率を有する部分は曲率を零にできても K'_0 なる部分は、 K_R なる残留曲率を有していることになる。したがつて十分なる矯正が行われうるには、 $K = \varphi(K_0) = \text{一定}$ すなわち、 $K_0 = \text{一定}$ でなければならない。そのためには、一枚の材料内で場所によつて異なる K_0 をすべて一定値 K'_0 とすることが必要である。しかる時は $\varphi(K'_0)$ なるモーメ

ント一曲率線図が材料の最初の曲がりの状態 K_0 によつて変らない限り $K' = \varphi(K_0) = \text{一定}$ なる逆向曲げを与えることにより材料はまつすぐになりうる。ここで $K_0 \rightarrow K_0'$ 作用すなわち曲率均一化作用はくり返し曲げによるのではないかと考えられる。

ゆえに矯正作用の本質は次の二点を調べればよいことがわかる。

- (a) 曲率均一化に及ぼすくり返し曲げの影響
- (b) 曲率がくり返し曲げによつて均一になれば一定の逆曲げですべての部分が曲率零(まつすぐ)になりうるかどうか。

以上まず、材料が曲げ加工によつて加工硬化を受けないものとして理論的に解析し、加工硬化の影響は実験により見ることにする。

【III】 くり返し曲げの曲率均一化作用

(1) 計算上の仮定

【II】章(2)の(b)の条件が成立するものと仮定すれば矯正作用の問題は、くり返し曲げにより材料の残留曲率はどのように均一化して行くかを考えればよいが、これを厳密に計算することは、きわめて困難であるので、筆者は次の仮定の上に立つて、材料の応力分布を比較する方法を用いた。

- (a) 材料の機械的性質、ならびに寸法は、各部とも均一で残留応力は存在しない。
- (b) 材料の応力—歪曲線は第3図のごときもので、くり返し曲げによる材料の加工硬化はないものとする。

(2) 残留曲率の計算

(A) 応力分布の計算

一般に残留曲率 K_R は、次式により求められる。

$$K_R = K - \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3)$$

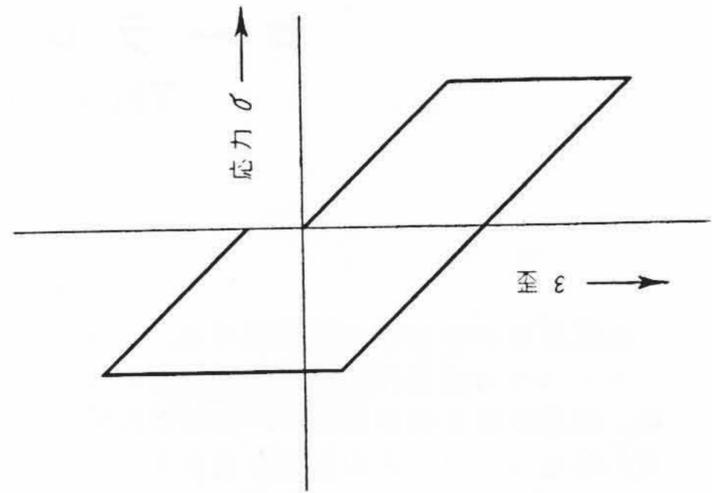
ただし

- K : 曲げ加工の曲率
- M : K に曲げられた材料の抵抗曲げモーメント
- E : 材料のヤング率
- I : 材料の断面二次モーメント

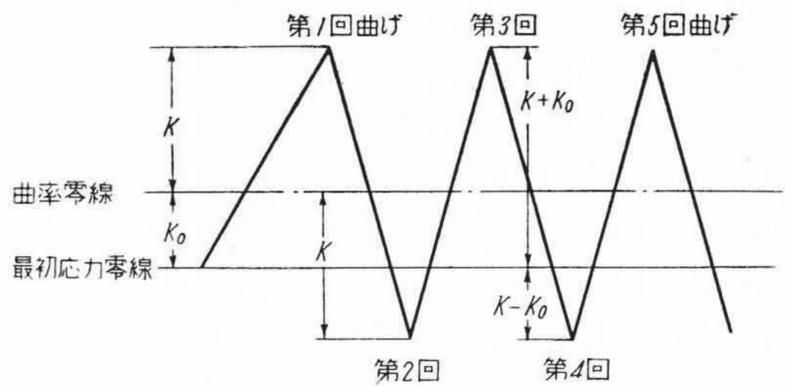
(3)式において K, E, I は材料の各部を通じて一定であるが、 M は材料の始めの曲率が異なるため、一定値ではなくなる。今A部とB部を、それぞれ K なる曲率に曲げるためのモーメントに ΔM の相違があるとすれば残留曲率の差 ΔK_R は次式から求めることができる。

$$\Delta K_R = \frac{\Delta M}{EI} \dots\dots\dots(4)$$

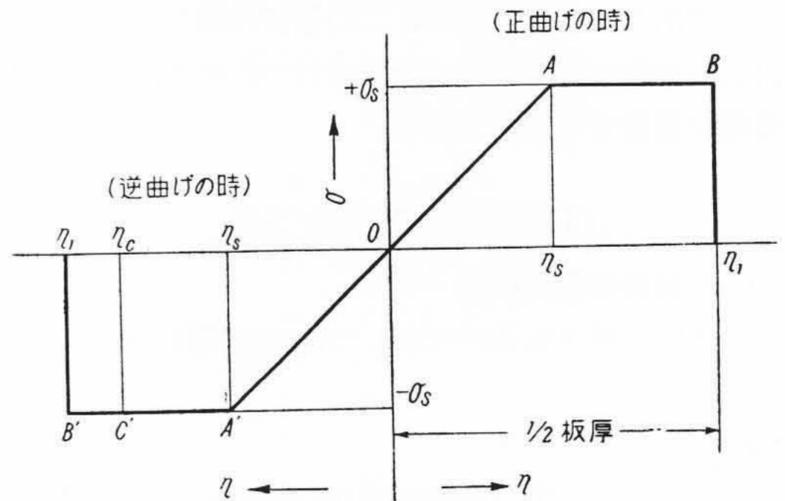
すなわち曲率 K なる時の材料内の応力分布がわかれば、それぞれのモーメント M が求められ、これよりその差 ΔM したがって ΔK_R が求められる。



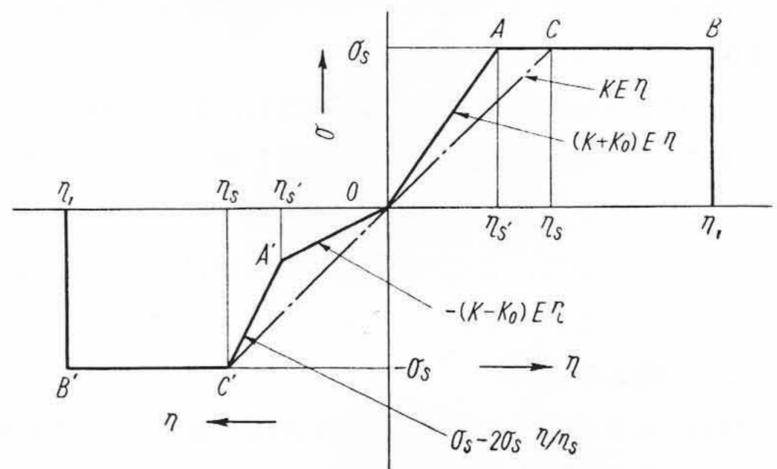
第3図 応力—歪線図



第4図 曲がりを有する材料の受ける曲げ曲率



第5図 まつすぐな材料を曲げた場合の応力分布図



第6図 材料に曲がりのある場合の応力分布図

次に K_0 なる曲がりを有する材料に K なるくり返し曲げを与えた時の応力分布を調べる。しかる時材料の受ける曲率変形は第4図のようになる。

- (i) $K_0 = 0$; 材料がまつすぐである場合

この時の板厚方向の応力分布を板厚の半分について図

示すれば第5図のOABのようになる。

すなわち $\eta = \eta_s$ で材料の降伏が始まり、 η_s までは弾性変形であるから η_s は(5)式で表わされる。

$$\eta_s = \frac{\sigma_s}{KE} \dots\dots\dots (5)$$

ここに

σ_s ; 材料の降伏点

η_s ; 中立軸から材料が降伏するところまでの距離

(ii) $K_0 \neq 0$; 材料が曲がっている場合

K なる曲率を与えると第4図のように材料は $K+K_0$ の曲率変化を受けるため第6図において η_s より小さい η_s' で降伏を始める。すなわち板厚の半分についての応力分布はOACBにて表わされる。しかしして

$$\eta_s' = \frac{\sigma_s}{(K+K_0)E} = \frac{K}{K+K_0} \eta_s \dots\dots\dots (6)$$

(B) くり返し曲げを与える場合の応力分布

第6図において $+K$ なる曲率を与えられたOACBなる応力分布のものに $-K$ なる曲率を与えると $2K$ だけの曲率変化が起る。したがって中立軸より η の距離にあるところでは歪が $2K\eta$ だけ逆向に変化するために、OACBなる応力分布は(7)式のように変化する。これを図示すれば第6図のOA'C'B'のとおりになり、明かにOACBとは異なる。

$$\left. \begin{aligned} 0 < \eta \leq \eta_s' & \text{では } \sigma = (K+K_0)E\eta - 2KE\eta \\ & = -(K-K_0)E\eta \\ \eta_s' < \eta < \eta_s & \text{では } \sigma = \sigma_s - 2KE\eta = \sigma_s - 2\sigma_s \\ & \quad \times \eta/\eta_s = \sigma_s(1-2\eta/\eta_s) \\ \eta_s < \eta & \text{では } \sigma = -\sigma_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

さらに $-K$ より $+K$ へ $2K$ の曲率変化を行えば、前とまったく同様に歪が $2K\eta$ だけ加わり応力は $2KE\eta$ だけ加わるため (ただし σ_s はこえない)

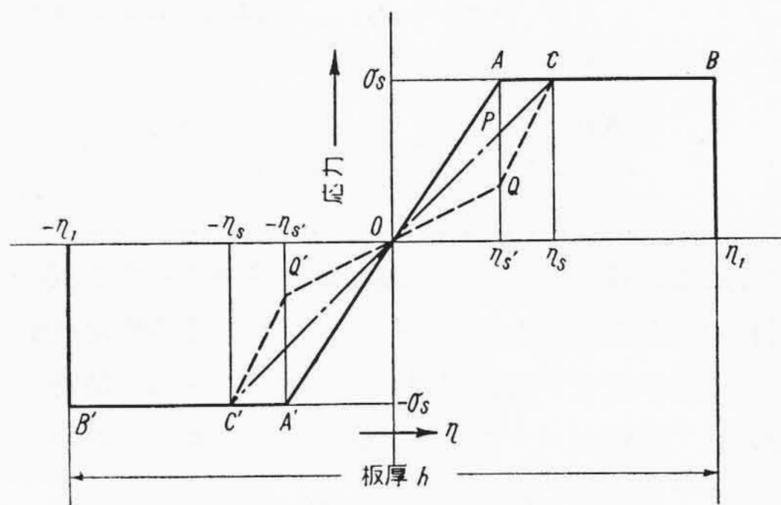
$$\left. \begin{aligned} 0 < \eta \leq \eta_s' & \text{では } \sigma = (K+K_0)E\eta \\ \eta_s' < \eta & \text{では } \sigma = \sigma_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

となり第1回に $+K$ を加えた時とまったく同じ応力分布となる。さらに $-K$, $+K$, とくり返せば、応力分布は(7)式(8)式を交互にくり返すだけである。特別の場合として $K_0=0$ の場合は(7)式と(8)式は絶対値が等しくなる。この状態を第5図に示す。これらの結果より応力分布が曲げの方向により異なる状態を第7図に示す。

第7図において、実線は最初 K_0 なる曲率のものをこれと反対向に曲率 K に曲げた場合、点線はこれを $-K$ に曲げた場合、鎖線はまつすぐな材料を $+K$, $-K$ に曲げた場合の応力分布を示す。これより次のことがわかる。

(i) まつすぐな材料はくり返し曲げによつて応力分布の絶対値は同一で、その時の曲げモーメントは変わらない。

(ii) 曲がっている材料は曲げの方向によつて曲げモ



第7図 曲げ方向により異なる応力分布図

ーメントは異なるが同一方向であればくり返し曲げによつては変わらない。

(C) 残留曲率の不均一さ

第7図の応力分布よりモーメントの差 ΔM を求める。 ΔM の起りうる最大値は、 $+K_0$ と $-K_0$ の部分の間で起る。 $-K_0$ の部分は $+K_0$ の部分よりも曲げ回数が1回少いと考えられる。厳密には $K \neq K_0$ ならば $K-K_0$ の変形を与えられるがこの影響は少ないので、1回は曲げ加工を受けなかつたものと考えてさしつかえない。しかる時は当然、レベラを出たところで $+K_0$ の部分と $-K_0$ の部分では第7図において $B'A'OAB$ なる応力分布と $B'C'Q/OQCB$ なる応力分布に相違してくることになり、このため曲げモーメントの差が生じこれが ΔM となる。以下 ΔM を計算して ΔK_R を求める。

(i) 材料が矩形断面を有する場合

第7図においてOACQOなる応力による中立軸に関するモーメントを $\Delta M'$ とすれば $\Delta M = 2\Delta M'$ となり材料幅 1 cm について考えれば

$$\Delta M = 2/3 \sigma_s \left\{ 1 - \left(\frac{K}{K+K_0} \right)^2 \right\} \left(\frac{\sigma_s}{KE} \right)^2 \dots\dots\dots (9)$$

次に曲げ加工による塑性変形の程度を表わす塑性変形率 α をとると、 α は板厚 h の何パーセントが塑性変形を起しているかを示すもので、次式で示される。

$$\alpha = \frac{h/2 - \eta_s}{h/2} \dots\dots\dots (10)$$

次に最初の材料の曲がり K_0 を次式により表わす。

$$K_0 = mK_n = m \frac{2\sigma_s}{Eh} \dots\dots\dots (11)$$

ここに K_n は板の表面が降伏を始める時の曲率で最大の弾性曲率である。また K は(12)式で表わされる。

$$K = \frac{K_n}{1-\alpha} \dots\dots\dots (12)$$

(9)式に K_0 と K を代入すれば

$$\Delta M = 1/6 \left[1 - \frac{1}{\{(1-\alpha)m+1\}^2} \right]$$

$$\times h^2(1-\alpha)^2 \delta_s \dots\dots\dots (13)$$

よつて残留曲率の相違 ΔK_R は

$$\frac{\Delta K_R}{K_n} = \left[1 - \frac{1}{\{(1-\alpha)m+1\}^2} \right] (1-\alpha)^2 \dots\dots\dots (14)$$

すなわち、残留曲線の差の最大弾性曲率に対する割合は材料の最初の曲がり量とレベラーが与える塑性変形率によつてのみ定まり曲げ回数には無関係である。特別の場合として材料がバックルしている場合は $m \rightarrow \infty$ の場合にあたりその時は(15)式で示される。

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \left(\frac{\Delta K_R}{K_n} \right) = (1-\alpha)^2 \dots\dots\dots (15)$$

(ii) 材料が円形断面を有する場合

(i)の場合と同様な考えにより $\frac{\Delta K_R}{K_n}$ は(16)式および(17)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta K_R}{K_n} &= \frac{4}{\pi} \left\{ \frac{1}{\sin \theta_1} (\theta_1 - \frac{1}{4} \sin 4\theta_2) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\sin \theta_2} (\theta_2 - \frac{1}{4} \sin 4\theta_2) + \frac{8}{3} \right\} \\ &\quad \times (\cos^3 \theta_1 - \cos^3 \theta_2) \end{aligned} \right\} \dots (16)$$

ただし $\sin \theta_1 = \frac{1-\alpha}{m(1-\alpha)+1}$
 $\sin \theta_2 = 1-\alpha$

またバックルしている時は $m \rightarrow \infty$ として

$$\left. \begin{aligned} \lim_{m \rightarrow \infty} \left(\frac{\Delta K_R}{K_n} \right) &= \frac{8}{\pi} \left\{ \frac{4}{3} \left[1 - (2\alpha - \alpha^2)^{\frac{3}{2}} \right] \right\} \\ &\quad \left. - \frac{1}{2(1-\alpha)} \left[\theta_2 - \frac{1}{4} \sin 4\theta_2 \right] \right\} \dots (17) \end{aligned}$$

ただし $\sin \theta_2 = 1-\alpha$

以上、(14)~(17)式を図表に示せば第8図のようになる。

ただし $\alpha=0$ は $K=K_n$ の場合を示す。

第8図より次のことがわかる。

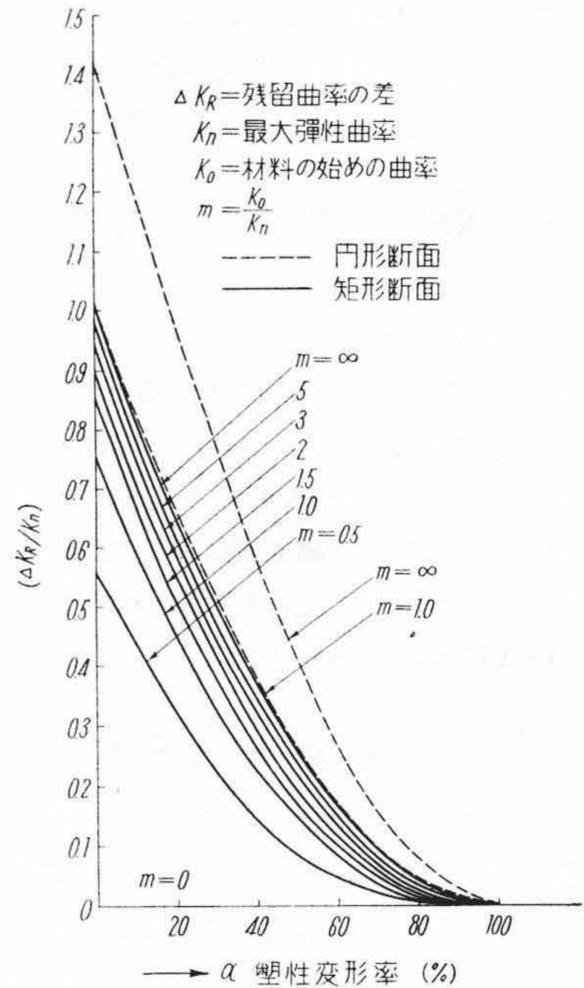
(i) 曲率均一化の程度は塑性変形率を増せば急激に上昇する。

(ii) 一定の α に対する $\frac{\Delta K_R}{K_n}$ の値は、材料の曲がり状態 m および、材料の断面の形状に関係し、 m の大きくなるほど、また矩形断面より円形断面の方が大きくなる。しかして m の値は無限大(バックル)になつても大差は生じない。

[IV] 均一化された曲率を零にする作用

次に[II]章(2)の(b)の条件、すなわち、くり返し曲げにより均一化された残留曲率の誤差 ΔK_R は、残留曲率を零にした時、いかに変化するかを調べる。このためには残留曲率 K_R を有する材料に逆向きに K' ($K' \leq K$)なる曲げを与えてスプリングバックさせた時の残留曲率の誤差を $\Delta K_R'$ とし ΔK_R と $\Delta K_R'$ の関係を調べればよい。

このため ΔM_1 したがつて応力分布の相違を求める。



第8図 残留曲率の差と曲げの塑性変形率の関係

曲率 K で曲げた時の応力分布の相違は(7)式と(8)式とより

$$\left. \begin{aligned} 0 < \eta < \eta'_s \text{ では } \Delta \sigma &= (K+K_0) E \eta - (K-K_0) \\ &\quad \times E \eta = 2K_0 E \eta \\ \eta'_s < \eta < \eta_s \text{ では } \Delta \sigma &= \sigma_s + \sigma_s (1-2\eta/\eta_s) = 2\sigma_s \\ &\quad \times (1-\eta/\eta_s) \\ \eta < \eta_s \text{ では } \Delta \sigma &= \sigma_s - \sigma_s = 0 \end{aligned} \right\} (18)$$

もし(8)式の状態、すなわち、第7図のOACBなる応力状態から逆向に K' の曲率を与えられると材料の曲率の変化は $K+K'$ となるため、この時の応力 σ' は、 $K' \leq K$ なるゆゑ、

$$\left. \begin{aligned} 0 < \eta < \eta'_s \text{ では } \sigma' &= (K+K_0) E \eta - (K+K') \\ &\quad \times E \eta = (K_0-K') E \eta \\ \eta'_s < \eta < \eta_s \text{ では } \sigma' &= (\sigma_s - (K+K')) E \eta \\ \eta_s < \eta \text{ では } \sigma' &= \sigma_s - (K+K') E \eta \end{aligned} \right\} (19)$$

第(7)式の状態から逆向へ K' の曲率を与えられると同様にこの時の応力 σ'' は

$$\left. \begin{aligned} 0 < \eta < \eta'_s \text{ では } \sigma'' &= -(K-K_0) E \eta + (K+K') E \eta \\ \eta'_s < \eta < \eta_s \text{ では } \sigma'' &= \sigma_s (1-2\eta/\eta_s) + (K+K') E \eta \\ \eta_s < \eta \text{ では } \sigma'' &= -\sigma_s + (K+K') E \eta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

よつてこの場合の ΔM を生ずる応力分布の差 $\Delta \sigma' = \sigma' - (-\sigma'')$ は

$$\left. \begin{aligned} 0 < \eta < \eta'_s \text{ では } \Delta \sigma' &= 2K_0 E \eta = \Delta \sigma \\ \eta'_s < \eta < \eta_s \text{ では } \Delta \sigma' &= 2\sigma_s (1-\eta/\eta_s) = \Delta \sigma \\ \eta_s < \eta \text{ では } \Delta \sigma' &= 0 = \Delta \sigma \end{aligned} \right\} \dots (21)$$

すなわち $K' \leq K$ なる限り K' に無関係に $\Delta \sigma \equiv \Delta \sigma'$ で当然

$\Delta K_R' = \Delta K_R$ となる。よつて K_R を零にするに必要な逆向曲げ K_e を与えた場合でもこのことは当然成立する。すなわち K なる曲率で曲げられた材料各部間の曲率均一度はその後の K よりも小なる曲げによつては変化せず一定である。したがつて材料を矯正するには、まず十分曲げ加工を与えて材料各部の曲率を均一化せしめ、次にこれを曲率零に持つて行けば、材料はまつすぐになることがわかる。

〔V〕 矯正作用の実験

以上述べたように、理論的には曲率均一化作用は曲げ回数には無関係となるが実際的にはすべてのレベル

は多数のローラを有し、これによつて何回もの曲げ作用を与えているので曲げ回数を多くすればいかなる効果があるかを実験によつて調べるとともに残留曲率の差と塑性変形率の理論的關係((14)~(17)式あるいは第8図)が正しいものかどうかを検討する。

(1) 実験方法

(A) 試験片

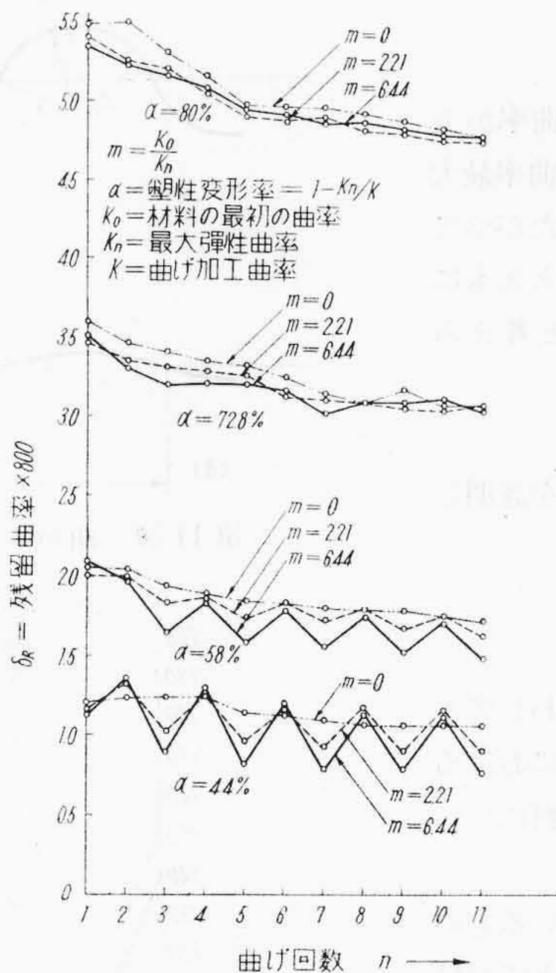
本実験の場合、材料の残留応力が問題となりその有様は種々考えられるが、材料が曲がついている状態で残留応力が全然存在しないものと、材料がまつすぐの時に残留応力は存在せずその後の過程により変形を起させられ、それに対応する残留応力を残しているものとに分けて考えると、後者の場合は材料の曲がり零(この時残留応力は存在せず)から出発しているため残留曲率の差は理論的には生じえず一回の曲げによりすべての部分は曲率均一となる。したがつて矯正しにくい材料とは、理論計算において仮定したように曲がりを有し、かつ残留応力のないものになる。よつて試験片は種々の曲率に曲げた後内部応力を除去するため十分の焼鈍をほどこした。

試験片の仕様は下記のとおり

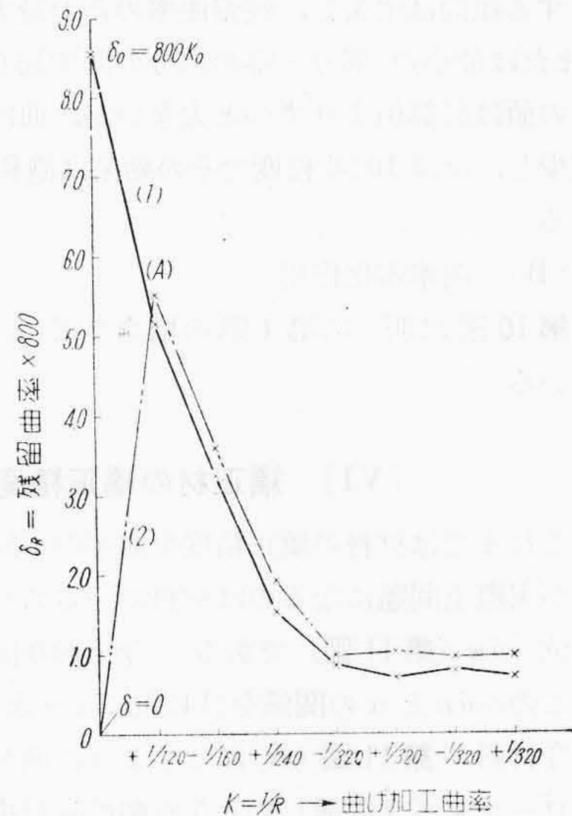
- (i) 材質 Cu 59%, Zn 40% の四六黄銅板
- (ii) 寸法 板厚 3.2 mm
- (iii) 焼鈍 300°C にて約 20 時間

(B) 実験装置

一定の曲率半径を有する、めす、おすの型を四種類作りこの中に試験片を入れ交互にくり返し曲げを与えた。



第9図 くり返し曲げによる残留曲率均一化実験



第10図 曲率零化実験

第1表 曲率均一化の実験値と計算値の比較

材 料 曲 率 $m \frac{K_0}{K_n}$	塑 性 変 形 率 α (%)	曲 率 の 差 $\frac{\Delta K_R}{K_n}$	
		計 算 値	実 験 値
0	44	0	0
	58	0	0
	72.8	0	0
	80	0	不明
2.21	44	0.25	0.23
	58	0.12	0.09
	72.8	0.04	不明
	80	0.01	不明
6.44	44	0.30	0.30
	58	0.15	0.15
	72.8	0.06	不明
	80	0.03	不明

(2) 実験結果

曲率均一化の実験結果を第9図、曲率零化実験を第10図に示し、残留曲率の差の計算値と実験値を第1表に示す。

(3) 実験結果に対する考察

(A) 曲率均一化作用

(i) 曲げ加工度が小さい場合

$\alpha < 60\%$ の範囲では、曲げ加工の方向のみによつて残留曲率は異なるという理論的結論は明瞭に表われ、その定量的関係も第1表に示すとおり割合よく一致している。これはこの範囲の曲げ加工では材料の加工硬化があまり大きくないためと考えられる。また曲げ回数の効果はほ

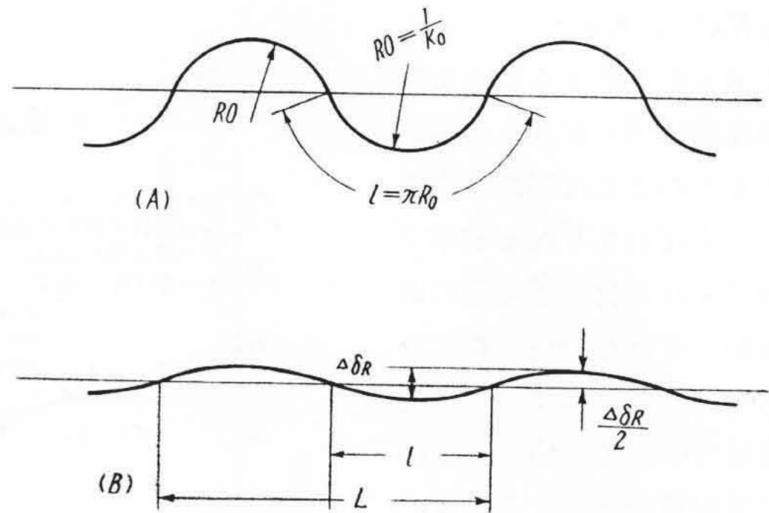
とんどない。

(ii) 曲げ加工度が大きい場合

$\alpha > 70\%$ の範囲になると曲げ回数ごとに残留曲率が上下する傾向は消失し、残留曲率の差の最大値は曲率最大(または最小の)部分と零の部分の間で起り、したがってこの値は計算値よりずつと大きいが、曲げ回数とともに減少し、ほぼ10回程度でその効果は飽和すると考えられる。

(B) 曲率零化作用

第10図は明かに第4節の結論の正しいことを証明している。



第11図 曲がつた材料と矯正された材料

[VI] 矯正材の矯正精度

これまでの材料の矯正精度を曲率の不同で表わしてきたが実際上問題になるのは材料の一定スパンLにおける偏位 $\Delta \delta_R$ (第11図)である。今矩形断面の材料についてこの $\Delta \delta_R$ と α の関係を(14)式により求める。

今材料が第11図(A)に示すように曲がつているものをローラレベラに通して α なる塑性変形率を与えて(B)のように平坦化したとし、この時の測定間距離Lが無窮大とすると偏位は $\Delta \delta_R$ となる。これは(14)式および $l = \pi R_0$ なる関係を用いることにより(22)式で示される。

$$\Delta \delta_R = \frac{\pi^2}{8 K_n} \frac{(1-\alpha)m+2}{m\{(1-\alpha)m+1\}^2} (1-\alpha)^3 \dots (22)$$

(22)式により $L \rightarrow \infty$ の時はmが小なるほど $\Delta \delta_R$ は大なることがわかる。したがって一定のLの間で起る最大の $\Delta \delta_R$ は $R_0 = \frac{L}{2\pi}$ すなわち $m = \frac{1}{R_0 K_n} = \frac{2\pi}{L K_n}$ なる曲がりのところで起りこのmを(22)式に代入すれば求める $\Delta \delta_R$ が求められる。

$$\Delta \delta_R = \frac{\pi}{16} L^2 K_n \frac{(1-\alpha)2\pi + 2L K_n}{\{(1-\alpha)2\pi + L K_n\}^2} \times (1-\alpha)^3 \dots (23)$$

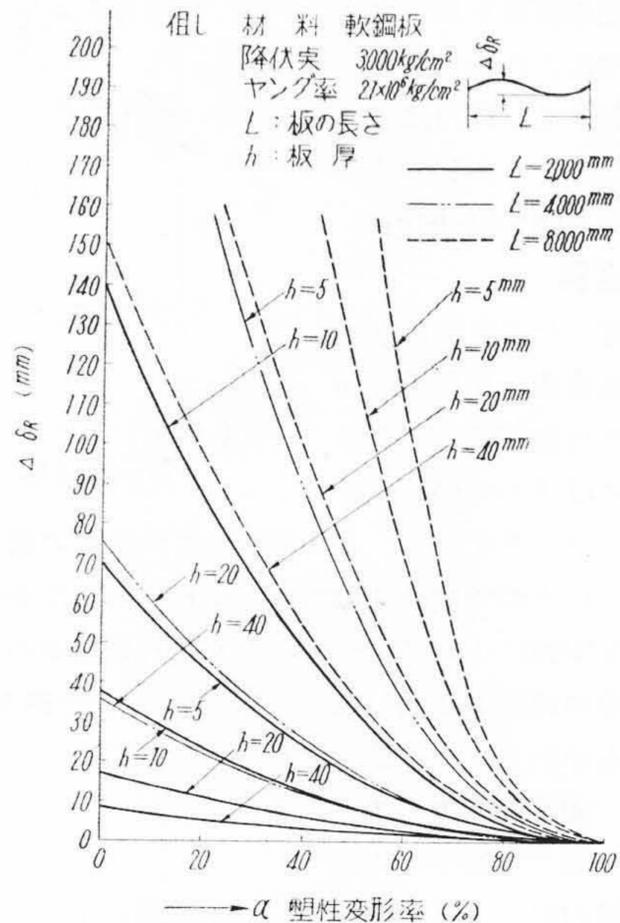
今矩形断面を有する軟鋼板について $\Delta \delta_R$ の計算結果を第12図に示す。ただし材料の $E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_s = 30 \text{ kg/mm}^2$ とし、かつ材料は矯正により偏位が最も大きくでるに都合のよい曲がり方をしているものと仮定している。

なおこの第12図より次のことが考えられる。

(i) 本図は $\alpha < 60\%$ では実際とよく合うもので曲げ回数を多くしてもこの偏位を減少せしめることは困難である。

一面から見ればこの程度の矯正ならばレベラのローラは四、五本で可能である。

(ii) $\alpha < 70\%$ 程度になると二、三回の曲げでは本図表の値より上回り10回程度で大体これに近づくとと思われるが、 α を70%より大きくしても本図表に示されているほどの効果はないものと思われる。



第12図 矯正後の偏位量と塑性変形率の関係

[VII] 矯正正味馬力の算出

材料にくり返し曲げを与えるためのエネルギーは材料の描く曲げのヒステリシスエネルギーに等しいことより必要動力の計算ができる。

(1) 全ローラ一定圧下の場合

この場合入口および出口のローラを除くとすべてのローラは一定量だけ圧下され、したがって一定の塑性変形率 α を与えることになり所要動力Nは(24)式で示される。

$$N = \frac{B h \sigma_s^2 n}{75 E} \left[\frac{1}{3} + \left(\frac{1}{1-\alpha} - \frac{1}{3} \right) \alpha - \frac{3}{4} \times \left\{ 1 - \frac{1}{3} (1-\alpha)^2 \right\}^2 \right] v \dots (24)$$

ここに N: 正味矯正馬力 (HP)

B, h; 材料の板幅および板厚 (cm)

E, σ_s ; 材料の縦弾性係数および降伏点 (kg/cm²)

n: 曲げ有効ローラ本数

v : 材料の通し速度 (m/s)

(2) 入口側で最大圧下をかけ直線的に減じて行く場合

入口ローラで最大圧下 α_0 をかけ出口ローラでは $\alpha=0$ すなわち最大弾性曲率を与えている圧下方式では近似的に

$$N = \frac{Bh\sigma_s^2 n}{75 E} \left\{ \frac{\alpha_0}{2(1-\alpha_0)} + \frac{1}{2}(1-\alpha_0) + \frac{1-\alpha_0}{3\alpha_0} \ln \frac{1}{1-\alpha_0} + 0.75 \right\} v \dots\dots\dots (25)$$

ただし記号の説明は(24)式の場合に準ずる。

[VIII] 設計上の問題

(1) ローラ圧下方式の検討

矯正作用は曲率均一化作用と曲率零化作用からなり、この作用をローラが行いうるよう圧下を調整せねばならないがこの方法に両作用を別個のローラで行う出口ローラ調整型と、特別に分けない漸開型に分けられる。

(A) 出口ローラ調整型

本型式の利害得失は次のとおりである。

(i) 出口ローラを除いてすべてのローラが曲率均一化作用にあずかるためローラ一本当りの矯正能力は大で、したがってローラ本数は少なくてすむ。

(ii) 均一化した曲率を零にする出口ローラを入口側にも設ければ容易に可逆式となり、往復によつて圧下を調整し直す必要はない。

(iii) 出口ローラの調整が面倒である。曲率零化作用はこのローラ一本で行うため材料の寸法によつて精密に調整を行わなければ材料に大曲りを生じやすいし、また、材料の寸法誤差が矯正精度に敏感に影響しやすい。

(iv) 材料を正確に水平に送り出す要のある場合は、出口ローラは上下方向とともに材料の進行方向にも調整を要する。

(B) 圧下漸開型

本型式では各ローラは曲率均一化作用と曲率零化作用を同時に行うが、圧下は出口に行くに従つて軽くなり第9, 10図より明かなように入側ローラが主として前者を、出口側附近のローラが主として後者の作用を行う型式のもので出口ローラ調整型と正反対の利害得失を有する。すなわち

(i) 曲率均一化作用を与えるローラの本数はわずかである。

(ii) 可逆式にするためには圧下関係を、逆にせねばならないので実際上不可能である。

(iii) 圧下の調整が容易である。曲率零化作用は各ローラによつて少しずつ行われるので、材料の板厚が変わった場合に調整型ほど厳密に圧下調整をする必要はない。

(iv) 材料は常に水平に送りだされる。

(C) 圧下方式の選定

前述の利害得失により大型レベラではローラ本数が少なくてすみ、かつ可逆式にもできる(可逆式にするとさらにローラ本数は少なくてすむ) 出口ローラ調整型が有利で、小型では逆に漸開型が便利であろう。とくに一連の連続せる設備の中に設置される場合や高速の場合は漸開型が必要になる。

(2) 塑性変形率 α の決定

矯正効果の点より見れば $\alpha < 60\%$ では高い精度の矯正はえられないので少なくとも70%はとる必要がある。

しかし80%以上にしても大差があるとは考えられないが所要動力は正味馬力で約2倍に増加((24)式)するので、特に大型レベラでは α は70%程度に抑えるべきだと考えられる。しかし小型で薄板用のものは所要動力の大小は大して問題にならず、また矯正精度も上げにくい(第12図)ので75%程度に考える方がよいと思われる。

[IX] 結 言

以上ローラレベラの矯正作用について若干の理論と黄銅板を用いた実験結果について述べた事柄を要約すると次のようになる。

(i) 塑性変形率が60%以下では何回くり返し曲げを与えても高精度の矯正効果は得られず、この場合の矯正後の測定間距離と最大偏位量との関係は(23)式より求められる。

(ii) さらに高精度の矯正が要求される場合には塑性変形率を70%以上にとり、曲げ回数も同じ強さで10回程度は与えるのが好ましい。したがってローラ径は材料の最小板厚のものが少なくとも70%程度の塑性変形を受けうるだけの寸法に抑える必要がある。

(iii) ローラの圧下方式は、大型レベラでは、出口ローラ調整型を、小型レベラ特に薄板用レベラのように、各種のライン設備の中に設置されるものは漸開型を用いるのが合理的である。

(iv) 所要動力は塑性変形率によつて大きく変わるが、矯正効果は70%以上では大差ないと思われる。したがって所要動力が機械の価格に大きく響く大型レベラでは塑性変形率は精々70~75%程度にとるのが合理的と考えられる。なお本研究では材料の寸法精度は誤差なきものとして考えたが実際にはこれは無視できず、定量的にどのような影響を及ぼすかということは必要にして興味ある問題であるが、これは別の機会にゆずることとする。

終りに臨み、本研究に対しいろいろ御指導賜つた九大石橋教授に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) 寺沢一雄: 軟鋼における塑性学の研究
 (2) 山内弘: 塑性変形と加工
 (3) プラガー, ホッジ: 塑性学

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	233846	周波数変換による誘導電動機 ^の 速度制御装置	日立工場	泉平大川千吉郎 島昭巳 原成二人	32. 7. 19
"	233847	丸棒走間切断機の可動ガイド操作機構	日立工場	川口成幸	"
"	233849	タービン自動負荷制限装置	日立工場	原桑野成幸	"
"	233842	遠方制御監視装置	国分工場	池田正一郎	"
"	233844	ボアホールポンプ自動制御装置	亀有工場	寺田進	"
"	233848	制動力調整装置	亀有工場	井上啓夫	"
"	233843	輻射測定可能な自記分光光度計	多賀工場	井角野正房	"
"	233845	インピーダンス距離継電器	多賀工場	猿渡吉夫	"
実用新案	463577	抄紙機用電動機の起動装置	日立工場	岩城秀一	32. 7. 22
"	463579	直流プーリモーター	日立工場	西立石貞夫	"
"	463581	水素冷却回転電機の集電環取付装置	日立工場	木村源藏	"
"	463582	巻線型電動機短絡装置	日立工場	木萑沢功	"
"	463599	圧力検測器	日立工場	宮崎徳太郎	"
"	463567	昇降機扉吊り装置	国分工場	小森勝雄	"
"	163568	エレベーター乗籠	国分工場	小森勝雄	"
実用新案	463586	遮断器試験における制御装置	国分工場	小森田誠一	"
"	463572	扉開閉装置	笠戸工場	金藤子良一	"
"	463576	ダンパー転覆防止装置	笠戸工場	藤井健一	"
"	468591	管の取付具	笠戸工場	奈古屋憲義	"
"	463592	弾性車輪	笠戸工場	酒山本井道裕	"
"	463570	鋼塊クレンにおける巻上りバースシーブ支持装置	亀有工場	山坂林小文達	"
"	463571	深井戸ポンプの軸摺動装置	亀有工場	大橋盛忠	"
"	463573	グラブバケット	亀有工場	大江守藤	"
"	463578	軸の上下摺動の容易な深井戸ポンプ用カップリング	亀有工場	伊寺田進	"
"	463587	バネ制動機構	亀有工場	渡部富治	"
"	463595	排砂装置付チェックバルブ	亀有工場	串下村松八	"
"	463596	ガス分析用試料金型	亀有工場	重藤間谷	"
"	463580	送風機停止時のガス漏洩防止装置	川崎工場	大小谷隆和	"
"	463584	吸気逆止弁を設けた内冷式回転圧縮機	川崎工場	大飯内島心登	"
"	463574	機関起動電動機の並列運転装置	多賀工場	飯河樋村三英	"
"	463575	電気機器口出線部密閉装置	多賀工場	田口所山本	"
"	463594	扇風機包装容器	多賀工場	園松高橋常生	"
"	463583	電動機冷却用ファン	亀戸工場	園松高橋常生	"
"	463589	交流電弧熔接機の遠隔制御装置	亀戸工場	高森橋常生	"
"	463590	電弧熔接機の遠隔制御装置	亀戸工場	高森橋常生	"
"	463593	巻上用電動機の制動装置	亀戸工場	高森橋常生	"
"	463597	防爆型蛍光灯ソケット	亀戸工場	高森橋常生	"
"	463598	酸化触媒を使用するガス検出装置の触媒容器	亀戸工場	高森橋常生	"
"	463585	電話機のフックスイッチ	戸塚工場	高森橋常生	"
"	463588	ナット	戸塚工場	高森橋常生	"
実用新案	463569	標示灯付メッキ厚み測定装置	中央研究所	高森橋常生	"