

討 9

形材圧延のひずみ分布による基礎的考察

富士製鉄 中研

柳 本 左 門

1. はじめに

形材の圧延は、板材の圧延に比して単に幾何学的な面からみても、(i)部分的に上下ロール径が異なるためにロールすき間で周速差をもつ (ii)板幅方向に圧下率が分布をもつ (iii)関接的な圧下をうける部分がある (iv)複雑な変形への束縛が加わることなどの因子が更に加わり、変形への複雑さをましているのである。このほかに、形状が複雑であるがために幅方向に温度変化を生じやすく、これに起因して摩擦係数が部分的に変化することによる付加的な問題も生じよう。

このように多くの因子が作用する複雑な加工であるが故に、その影響因子の作用を確実に把握するためにはこの種の圧延を代表的ないくつかの基礎的な問題に整理分割し、穴形を単純化して研究を積重ねていかなければならない。ここでは、ひずみ分布を中心にしてこれまでにえられている知識をもとに、変形におよぼす圧延因子の影響を検討してみたい。

2. 測定量および座標の表現

圧延前の断面内に任意の点 P を考え、この点が圧延後に P' に移動したとする (図 1 参照)。すると、 P 点をかこむ微小要素 $dx \times dy$ は変形を受け、 P' 点の $dx' \times dy'$ の要素に移動する。すなわち、図示した記号を参考にすると、次の 4 個のひずみをうけることがわかる。ここではそのひずみを、幅方向のひずみ $\{ \ln(dy'/dy) \}$ 、厚さ方向のひずみ $\{ \ln(dz'/dz) \}$ 、せん断によるひずみ $\tan r$ およびねじりによるひずみ $\tan \delta$ とそれぞれ定義する。以下示す図の座標量は図 1 に示した通りであるが、 $y' = y/B_0 = 1.0$ は自由端に、 $z' = z/h_0 = 1.0$ はロールとの接触面に対応する。

3. 実験結果 (一般問題として)

有限幅材を圧延すると、自由端の変形は圧延条件によつて極めて複雑に変化する。図 2 に代表的な変形形状を示し、図 3 にまゆ型の変形を、図 4 にたいこ型の変形を示した。図から、有限幅材で板幅比が小さい場合には、内部のひずみは端部の変形形状によつてかなりの影響をうけることがわかる。すなわち、ひずみ分布の傾向にかなりの

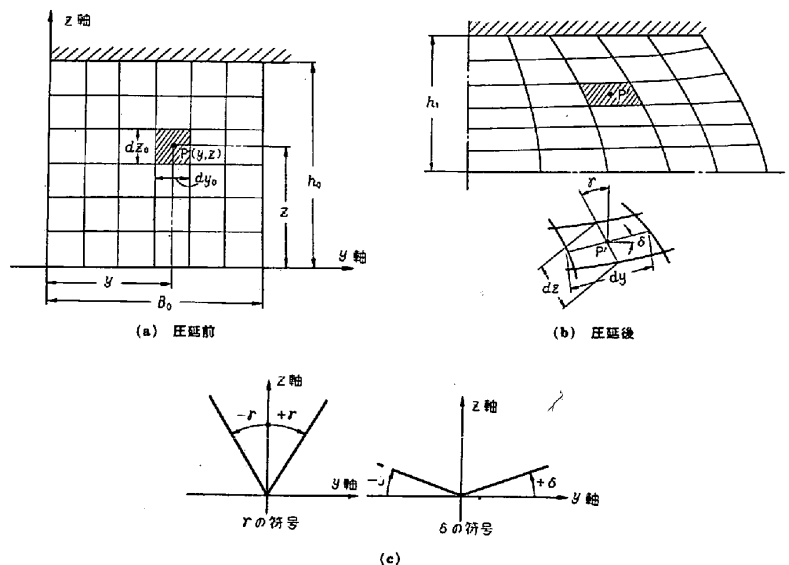


図 1 測定量の図示

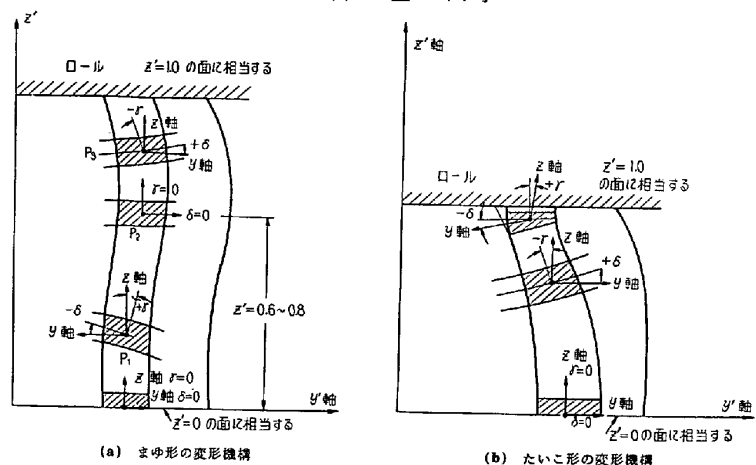


図 2 自由端の変形状態

差を生ずる。特に留意されなければならないことは、たいこ型の変形をする場合は自由端で有害な幅方向の引張りひずみが大きくなることである。この傾向は板厚比 (B_0/h_0) および圧下率が大いほど助長されるが、幅方向にわずかな束縛 (全幅広がり半分を束縛する程度) を加えると自由端の大きな引張りひずみは著しく小さくおさえることができる。(1)

一方、このように大きな引張りひずみを防止するためには束縛によるのも一案であるが、圧下率による依存度が大いので、この部分の圧下率を小さくおさえることによつても、有害な引張りひずみをまた小さくおさえる可能性が生ずる。図5は角材の隅を落して、圧下率を強制的にかえ、ひずみ分布への影響をみたものである。図から板幅比 ($B_0/h_0 \approx 1.0$) が小さい場合には、端部に近い $y' = 0.916$ の層で著

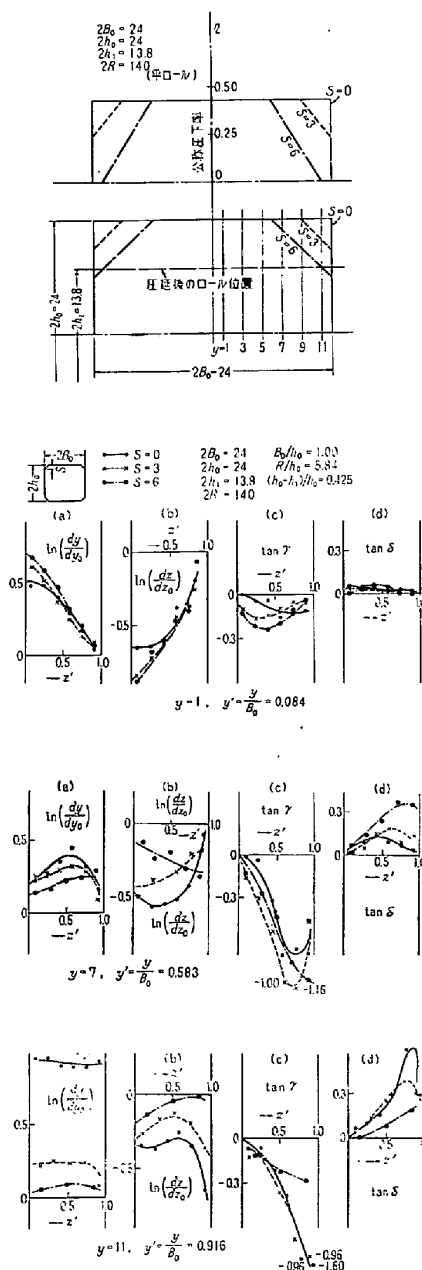


図5 端部を落した場合

しく、隅の切落し量 (S) の影響があらわれることがわかる。材料の中心部でも多少影響をうけるが断面内でのひずみ分布の様性を保持する立場からみると $S = 3 \text{ mm}$ ($S/B_0 = 0.25$) 程度で十分に端部に発生する有害な引張りひずみを小さくおさえることができる。その目的を達することができる。実際作業では可能な限り隅に丸味をもつような圧延方式の採用が望ましいことは、

これらの実験結果から推定でき

るが、このような考慮は特に板幅の狭い (B_0/h_0 は小さくなる) 場合に必要である。特に穴形状との関連で注意する必要があるが、ロール形状と材料の形状できまる接触機構が大きな意義をもつのである。(2)(3)

以上簡単ではあるが、予備知識をえる目的で角材を平ロールで圧延する場合についてのひずみ分布を示した。有限幅の板幅比が小さい範囲では、影響因子としては圧下率が最も大きく、板幅比、束縛の影響がこれにつき、分塊圧延などのように板厚比の小さい範囲では、その影響はそれほど大きくないと考えてもよいようである。なお平均圧延圧力におよぼすこれら幾何学的因子の影響については、代表的な場合について筆者の解析があるのでそれらを参考にされたい。(4)~(9)

4. 実験結果 (形鋼圧延の基礎実験)

角材の圧延では自由端で大きなひずみが発生することを示したが、この場合はロール形状はフラットであつた。これに対して形材の圧延では、板の中心部においてむしろ強制的に圧下率の変化が加えられる場合が多い。図7は一例として、板の中心部に上ロ

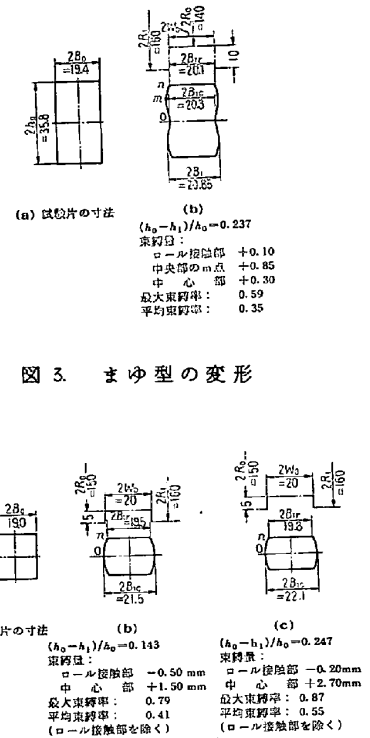


図3 まゆ型の変形

図4 たいこ型の変形

ールから大きな圧下を加え、下のロールはフラットに保つて圧下量を変化し、ひずみ分布を求めたものである。変形状態は対称圧延との比較で図7に示した。

図7の変形図から推定できようが、非対称の圧延では図中のA, B部に最大の引張りひずみを生じ、対称圧延では材料の中心部のA部で最大の引張りひずみを生ずる傾向がある。図6は、非対称圧延を例に2個のひずみ{幅方向のひずみ $\ln(dy/dy_0)$ と厚さ方向のひずみ $\ln(dz/dz_0)$ }の分布を示したものである。上ロール凸部の直下($d=1$ で $Z'=Z/h_0 \approx 0.6 \sim 0.7$ 附近)に大きな引張りひずみが発生することがわかる。また、上ロールの凸部の終る($d=5$ で、 $Z'=Z/h_0 \approx 0.95 \sim 1.0$)部分でも大きな引張りひずみの発生する可能性を示すが、これらの値は圧下量が多いほど、板幅比(B_0/h_0)が小さいほど大きくなることわかる。また図6に示した上ロールの凸部に勾配を設け、材料の幅方向への流れが一様になるように工夫すると、ひずみ分布の傾向には差を生じないが、ひずみの絶対値は小さくなるようである。⁽¹⁰⁾

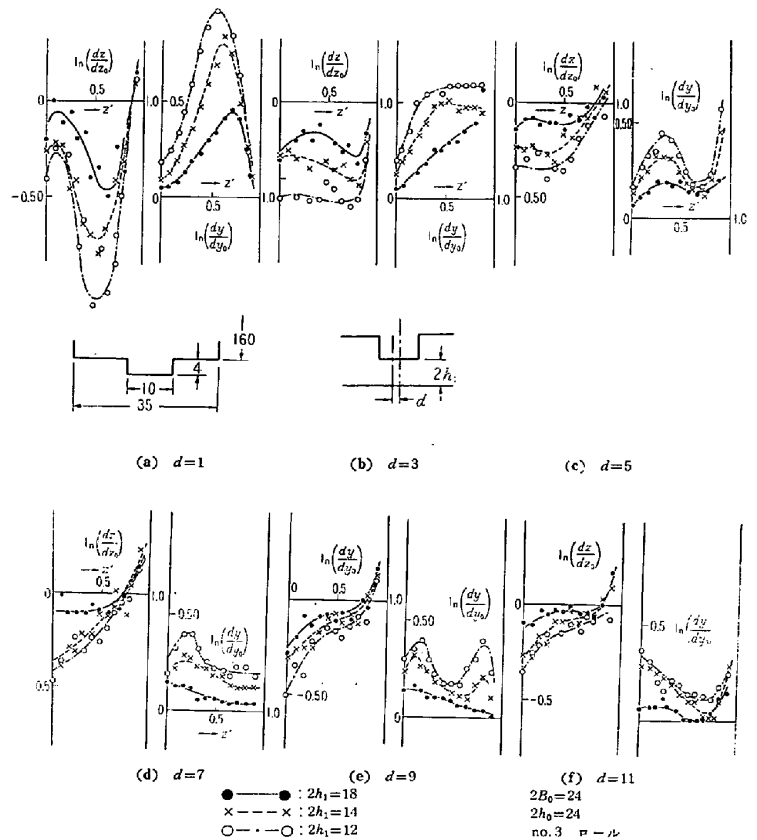


図6 上ロールに凸部をもつ場合

図8は図7に示した2種類の圧延方式について、その傾向の変化を略図として示したものである。上下ロールに凸部をもつ対称圧延では板材の厚さの中心部に対してその絶対値は対称に分布する筈であるが、上ロールのみに凸部をもつ圧延方式では明らかにひずみ分布も非対称になることがわかる。また厚さ方向のひずみ分布も断面内で著しく変化することがわかるので、この種の圧延問題を整理する上でよく用いられる平均圧下率もその妥当性を再検討する必要があるかも知れない。

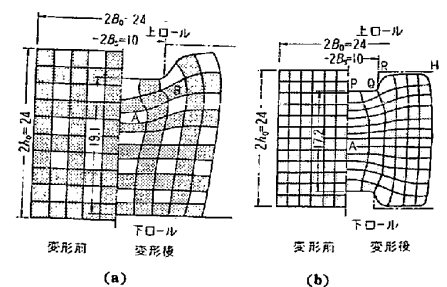


図7 変形例

図9は、上ロールに三角形の凹型みぞを作り(頂角は約 90° で、へこみ部の高さは 6.2 mm である)、板幅 20 mm 、厚さ 1.8 mm の試験片を圧下量を変えて圧延し、幅方向のひずみ $\{\ln(dy/dy_0)\}$ および厚さ方向のひずみ $\{\ln(dz/dz_0)\}$ を測定したものである。測定位置は図中に記号dで示したが、ひずみ分布は著しく複雑である。この種の圧延は、板幅比によつて凹部に流れ込む材料に差を生じ、板幅比の小さいほど流れ込み易くなるが、幸いなことに、この場合には厚さ方向のひずみは小さく、一様化されることが知られている。⁽¹¹⁾ このことから、板幅の広い材料

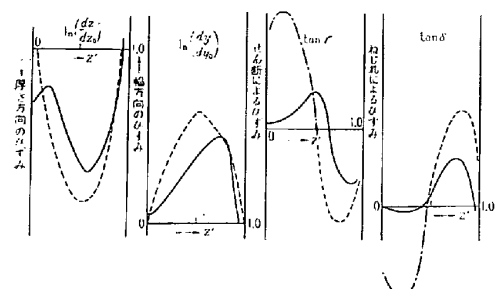


図8, 図7に示した圧延例のひずみ比較
d=1の線に沿う各ひずみの傾向: ————
-----: 上下に凸部をもつロールで圧延したばあい
(no.1 ロール組み合わせ)
————: 上ロールだけに凸部をもつばあい
(no.3 ロール組み合わせ)

図8, 図7に示した圧延例のひずみ比較

(板幅比は大きくなる)を部分的に圧下を加えないで圧延するまな場合は決して好ましいものとはいえないが、これは材料の幅とロール凹部幅との比で決まるものである。筆者の実験の範囲では $w/B(2w)$ はロール凹部の幅、 $2B$ は板幅)が 0.64 、 $B_0/h_0=1.28$ の圧延条件では、図 9 に示したように上ロールの凹部の中央部 ($d \rightarrow 0$) でしかも下側のフラットロールに近い部分 ($z' \rightarrow 0$) では、厚さ方向のひずみ $\ln(dz/dz_0)$ さえも正(引張りひずみを示す)になる傾向を示した。この現象は決して好ましいものではなく、加工中の疵の発生を防ぐためには圧縮ひずみの存在する加工条件の方が望ましいことは当然である。

なお線材の圧延の、オーバールスクエヤ→オーバル方式の圧延でも、材料がロールの中心部に流れるような接触機構がみられるが、この場合にも他の圧延方式に比して明らかに著しいひずみ分布の乱れがある。¹²⁾

以上、極めて簡単であるが、代表的な問題についてひずみ分布の実測結果をもとに検討をおこなった。筆者は更に 2, 3 の穴形について基礎的な考察を進めたが、これは当日公表するつもりである。

なお、筆者の研究は圧延前材料の形状として角形に近いものを用い実験を進めたが、実際作業では複雑な形状をパス前に有するのが普通である。すでにふれたように、材料内のひずみ分布は圧延前の材料形状と穴形状の相互関係によつて大きく支配されるものである。

したがって、断面内でひずみ分布が一様になるパススケジュールの決定には、与えられた個々の材料形状とロールについて、総合的な研究が進められなければならないのが現状であつて、現有の知識で広範囲にまたがる穴形の合理的な設計をおこなうことはできない。鋭意研究が進められるよう願つてやまない。

文献 (1) 柳本, 塑性と加工, 5-38(1964-3), 195 (2) 同上, 8-83(1967-12), 686 (3) 同上, 8-83(1967-12), 692 (4) 柳本, 機論, 27-178(昭36), 800; (5) 同上, 28-190(昭37), 637; 同上, (6) 27-181(昭36), 1431; (7) 同上, 27-181(昭36)1435; (8) 同上, 32-28(昭41)1014; (9) 同上, 33-249(昭42)826 (10) 柳本ほか, 塑性と加工, 6-59(1965-12), 725 (11) 同上, 5-46(1964-11), 787 (12) 同上, 9-92(1968-9), 597

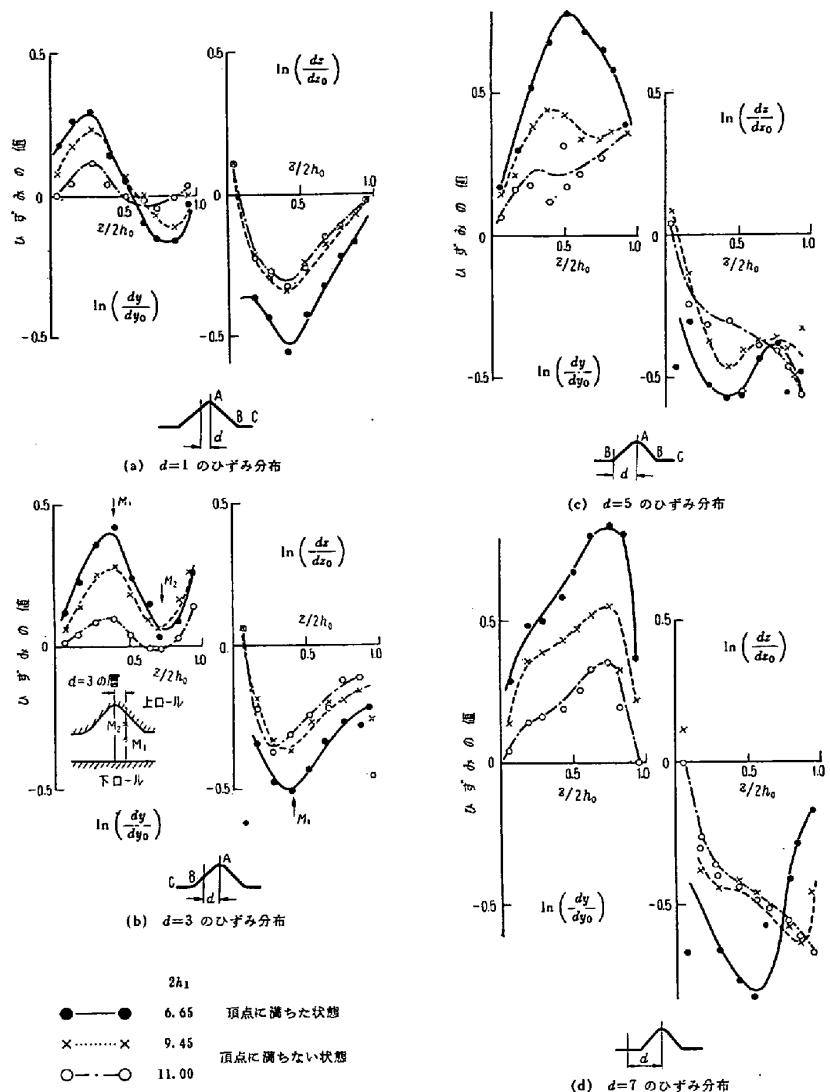


図 9 上ロールのみに凹部をもつ場合

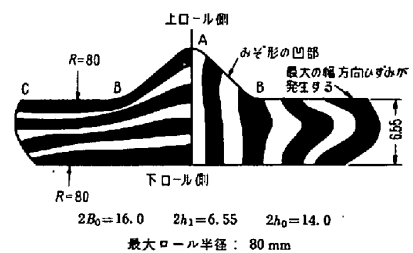


図 10 変形例