

討 10 孔型圧延における圧力分布

東大工
阪大工

五 弓 勇 雄
○ 齊 藤 好 弘

1. 緒言 被圧延材とロールの接触面に作用する圧延圧力の分布は圧下力やトルクの推定の基礎として重要であるが、これに関する従来の研究はほとんど板圧延を対象として展開されており、一般の孔型圧延における圧力分布の研究は最近ようやくその緒についたばかりである。圧力分布を塑性論的手法によって求めようとする試みは柳本¹⁾らによってなされているが、被圧延材の均一変形の仮定とロール間隙の入口および出口における応力の境界条件の極度の単純化に基づいているため、これらの仮定が近似的に成立つ特殊な場合以外には適用でない。すなわち大抵の孔型圧延では被圧延材の幅方向に、ロール直径(または周速)、圧下率、投影接触長などが変化するのみでなく、被圧延材の厚さが投影接触長と同程度のことが多いので、変形は均一ではなく、応力の境界条件も単純ではない。ゆえに任意の孔型圧延における圧力分布を理論的に求めることは現在のところ不可能である。現時点において可能なことは実験的に圧力分布を測定し、圧力分布に影響する主要な因子を明らかにすることである。

そこで著者らは多種多様の孔型圧延の中から幾何学的に単純な数種類の孔型圧延を選び出し、それぞれについて受圧ピン法によって、接触弧上の圧力分布を測定することを試みた。

2. 実験方法 圧力分布測定用ロールは本体とスリーブより成る組立てロールで、その断面構造を図1に示す。直径80mmのロール本体Rに厚さ10mm外径100mmのスリーブGがキーHを介して緊密にはめ込まれている。スリーブには所定の孔型に対応する溝を刻んであり、溝底部の1ヶ所に半径方向に直径1.0mmのピン穴Aが空いている。本体内部には抵抗線ひずみ計方式の受圧セルBが内蔵されていて、ロール表面に作用する垂直圧力はピン穴Aに滑合している直径0.97mmの受圧ピンを介して、受圧セルBによって検出される。

被圧延材には2Sアルミを用いた。圧延の際ロールと被圧延材はオレイン酸10%-軽油液で清浄し、潤滑した。最大咬込み角より求めたロールと被圧延材の間の摩擦係数は $\mu \approx 0.27$ 、圧延速度はすべて約23cm/minとした。

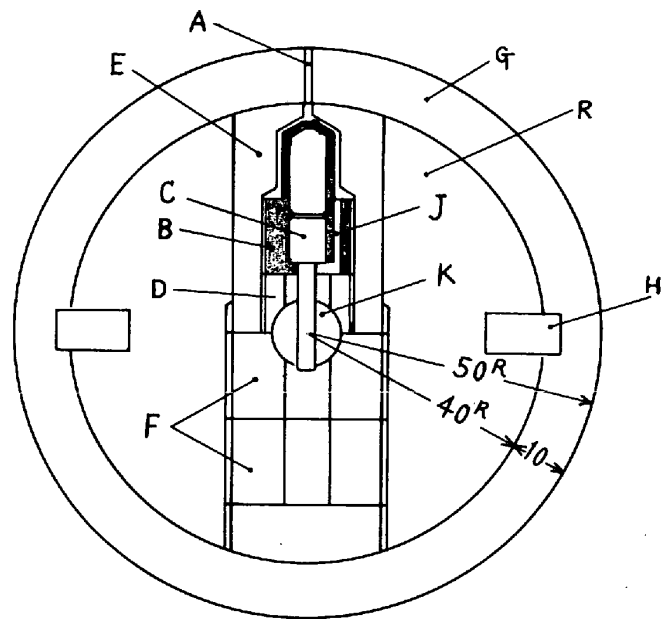


図1. 圧力分布測定用ロールの構造

圧力分布測定対象となった孔型圧延は図2の上段に示したようなBox圧延、角-オーバル圧延、角-ダイヤ圧延および丸-リップ圧延である。図2の下段は接触面の平面図形で被圧延材は図の上方から下方に流れる。接触面の形はそれぞれ角形、凹形、凸形および凹凸形で、大抵の孔型圧延はこのいずれかに属する。受圧ピンPは丸-リップ圧延以外全て孔型の中央だけに設けられている。したがって圧力分布は中央接触弧Cに沿ってのみ測定された。ただし丸-リップ圧延では45°傾斜ピンを備えた特別のロールを用いたので、2つの接触弧C₁、C₂に沿う圧力分布を求めることができた。

本実験の場合、接触面全体の圧力分布が測定できないので、圧力分布の積分値と圧下力の測定値を比

較することによって圧力の測定精度を検定することはできない。そこで予備実験において、受圧ピンの表面をわずかにロール表面から突出あるいは沈めて圧力分布を測定したところ、被圧延材の表面に残る受圧ピンのマークの深さが0~20ミクロンの間にあるとき、圧力分布の形と高さがマークの深さに関係なくほぼ一定となったので、それが真の圧力分布に近いと見做し、

本実験では全てマークの深さが0~20ミクロンの範囲に入るようにピンの長さを調節した。

圧力分布の実測値は、Bland-Ford²⁾の方法によるfriction hillにMacGregor-Palme³⁾の方法によるpeening圧力を加え合わせることによって求めた計算値と比較した。計算に際して圧下率または投影接触長の幅方向分布(接触面の形に対応)の影響を無視した。これは幅方向の材料の力学的な相互作用がないと仮定したと等価である。したがって圧力分布の計算値と実測値を比較すれば、圧下率または投影接触長の幅方向分布の影響がわかるはずである。

3. 実験結果および検討

3.1 圧力分布 (1) Box圧延 Box圧延では接触面は角形であり、幅方向に圧下率または投影接触長が変らないので、孔型圧延の中では板圧延にもっとも近い圧延である。本実験では幅は一定で高さが異なる2種類の角材： $8\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、 $8\text{mm} \times 14\text{mm}$ (単位mm)を図2に示したBox孔型で圧延し、高さを約2mm減少させた。このとき接触角はいずれの場合も約13°、圧下率は 8×10 角材の場合19%、 8×14 角材の場合13%であった。また板圧延において被圧延材のロール間隙内における変形領域の形状を表わすパラメータ l/h_m (投影接触長/変形域の平均板厚)が圧力分布と密接な関係をもつことが知られている⁴⁾が、本実験のBox圧延では 8×10 角材の場合 $l/h_m \approx 1$ 、 8×14 角材の場合 $l/h_m \approx 0.7$ であった。図3は圧力分布の実測値と計算値を比較したものである。 $l/h_m \approx 1$ の場合(a)圧力分布には入口と出口付近とにほぼ同じ高さの2つのピークが現われるが、 $l/h_m \approx 0.7$ (b)に減少すると、入口のピーク(peening peak)が高くなり、出口のピーク(friction hill)は低くなっている。計算によって求めた圧力分布Cは、変形抵抗Dを基礎とするfriction hill FにPeening効果による圧力(E-D)を加えたものである。計算に際し、変形抵抗は単軸

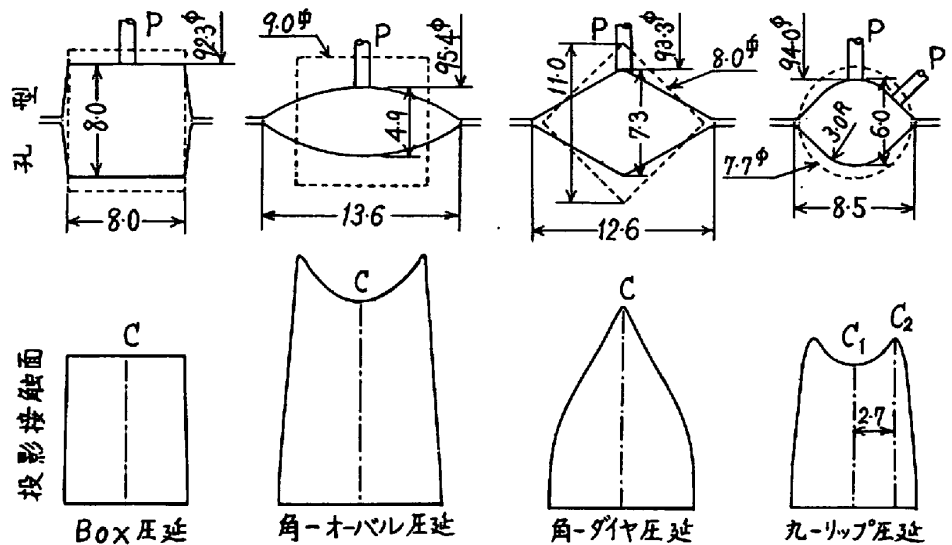


図2. 圧力分布測定の対象となった孔型圧延

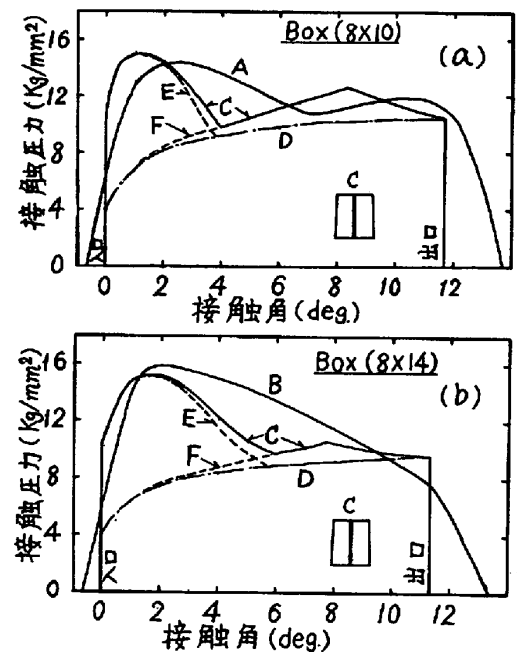


図3. Box圧延における圧力分布 (A, B: 実測値, C: 計算値, D: 変形抵抗)

圧縮応力を用い、摩擦係数は $\mu=0.27$ とし、ロール偏平および出口の弾性回復は無視した。このようにして求めた圧力分布は実測圧力分布とかなり良く一致している。

(2) 角-オーバルおよび角-ダイヤ圧延 角-オーバル圧延と角-ダイヤ圧延は接触面の形状が凹形および凸形を呈する対照的な孔型圧延である。孔型中央における接触角はどちらの場合もほぼ等しく $16^\circ\sim 17^\circ$ 、同じ位置における圧下率は角-オーバル圧延では45%、角-ダイヤ圧延では34%、 l/h_m は角-オーバル圧延では2.0、角-ダイヤ圧延では1.4であった。図4は中央接触弧に沿う圧力分布の実測値と計算値を比較したものである。計算によって求めた圧力分布は、圧下率または投影接触長が幅方向に変化しない場合の圧力分布に相当するが、測定された圧力分布はこれとかなり異なった形を示している。特に入口付近のpeening peakが顕著な影響を受けることがわかる。すなわち圧下率または投影接触長の幅方向分布における谷の部分(接触面の凹部)ではpeening効果が弱められ、山の部分(接触面の凸部)では逆に強められている。

(3) 丸-リップ圧延 被圧延材として2Sアルミの引抜き丸棒(H材)を用い、リップ型(口唇状オーバル)によって圧延した。この圧延では接触面の形状は凹凸形である。そこで圧下率または投影接触長の幅方向分布の谷にあたる中央接触弧 C_1 と山にあたる接触弧 C_2 に沿って圧力分布を測定した。ただし、接触角は C_1 で 11° 、 C_2 で 13° 、圧下率は C_1 で22%、 C_2 で44%、 l/h_m は C_1 で1.3、 C_2 で2.5であった。図5の(a)、(b)はそれぞれ C_1 、 C_2 における圧力分布の実測値と計算値を比較したものである。 C_1 では l/h_m が C_2 より小さいにもかかわらずpeening効果は非常に弱められ、 C_2 では逆に強められている。この結果から(2)で述べた圧力分布に及ぼす圧下率または投影接触長の幅方向分布の影響は再確認された。

3.2 圧力分布と変形の関係

圧力分布が圧下率あるいは投影接触長の分布の仕方にも影響される理由を知る目的で、ロール間隙における被圧延材の変形状態を調べた。図6はBox圧延、角-オーバル圧延およ

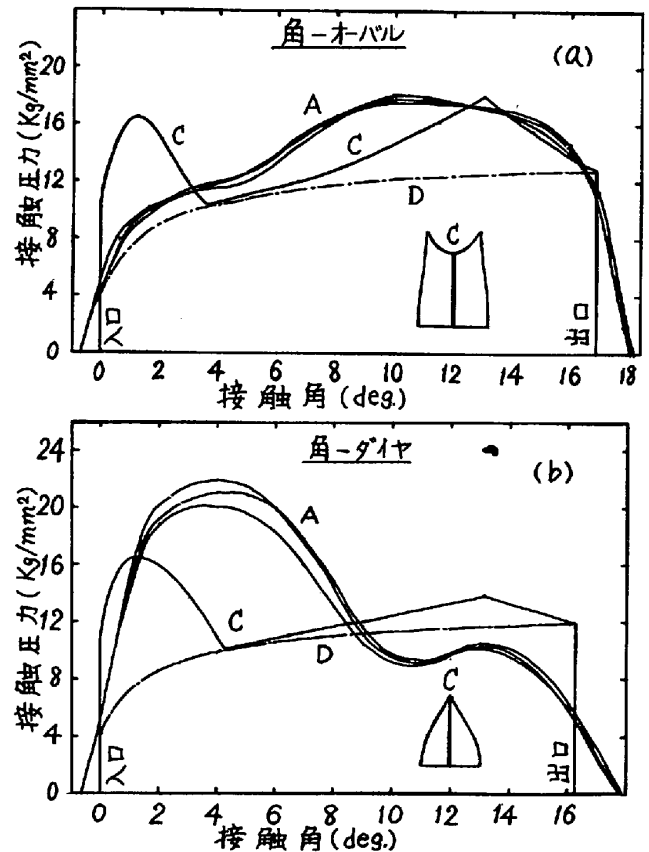


図4. 角-オーバル、角-ダイヤ圧延の圧力分布(A: 実測値, C: 計算値, D: 変形抵抗)

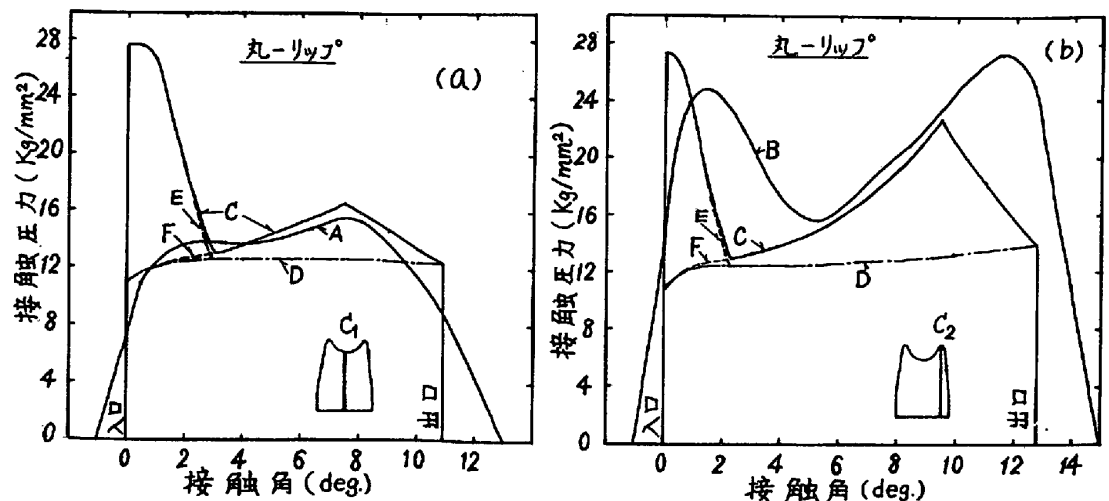


図5. 丸-リップ圧延の圧力分布(A, B: 実測値, C: 計算値, D: 変形抵抗)

び角-ダイヤ圧延の中央接触弧(圧力分布を測定した接触弧)を含む対称面内での変形の進行状況を示す。縦軸は変形抵抗で示したが、これは硬度測定より、

硬度-変形抵抗関係を 図6. 対称面内の変形抵抗分布 (A: 用いて求めたものであ 接触弧上, B: 水平対称軸上, C: 平

る。一般に接触弧上の 均値, D: 均一単軸圧縮変形抵抗) 変形抵抗(A)と水平対称軸上の変形抵抗(B)は一致しない。この不一致は不均一変形の度合を表わす尺度と考えられるが、明らかに角-ダイヤ圧延の変形過程がもっとも不均一で、角-オーバル圧延のそれはもっとも均一となっている。そしてBox圧延は二者の中間的な変形過程をとっている。このことから圧下率または接触長の分布の谷の部分では変形は内部まで均一化され、逆に山の部分では不均一化される傾向があると言える。これは、前者では早くロールと接触を始めた隣接部分の変形によって変形が促進されるけれども、後者ではロールに接触していない隣接の未変形部分によって変形が拘束されると考えれば理解できる。事実角-オーバル圧延では咬込み臭よりずっと手前から変形が始まり、角-ダイヤ圧延ではほとんど咬込み臭まで変形が起こっていない。したがってpeening効果が弱められたり強められたりする理由は、隣接部との力学的相互作用に帰することができ。

4. 結言 孔型圧延の特徴は被圧延材の幅方向に圧下率または投影接触長が分布し、 l/hm が比較的小さいことであるが、圧力分布はこの両方の影響を受ける。すなわち後者によって孔型圧延ではpeening効果が無視できなくなるが、前者^はpeening効果の強さに次のような影響を及ぼす。

- (1) 圧下率または投影接触長分布の谷の部分(接触面の凹部)ではpeening効果が弱められる。その理由はその部分の変形過程が隣接部分の変形によって促進されるためである。
- (2) 一方山の部分(接触面の凸部)ではpeening効果は強められる。その理由は変形過程が隣接未変形部分によって拘束されるためである。

＜参 考 文 献＞

- 1) 柳本: 日本機械学会論文集, 28巻 190号(昭和37-6) P. 637.
柳本: 日本機械学会論文集, 32巻 238号(昭和41-6) P. 1014.
- 2) Bland-Ford: Proc. Instn. Mech. Engrs. 159 (1948) P. 144.
- 3) MacGregor-Palme: Jour. Basic. Engrs., Dec. (1959) P. 669.
- 4) 五弓-齊藤: 日本鉄鋼協会第9回技術講座.

