

# ローラーダイス伸線法の特長

## Characteristics of Roller Dies Wire Drawing Method

五 弓 勇 雄\* 岩 田 寿 郎\*\*

### 内 容 梗 概

従来のダイスによる引抜伸線法は長い歴史と他法に見られない種々の特長を持つているが、すでに技術的には進歩、改善の余地が少く、特に伸線速度の向上や減面率の増大をはかる場合にはダイスによる伸線法ではもはや行きずまった感が深い。

ローラーダイスを利用する伸線法はこの隘路打開のために考えられるものであり、その本質を掴むことによりダイス法に見られない特長を発揮することができる。本報告は本法をまだ実用化の例を見ない丸線の連続伸線に応用する場合に起りうる問題点とその特長について検討したものである。その結果大要つぎのことがあきらかにされた。

- (1) 特殊孔型のローラーダイスを用いることによつて本法のもつとも欠陥と考えられる材料の引抜中における振れおよび耳の発生を防止することが可能である。
- (2) ダイス法にくらべ引抜力が軽減される。したがつて1回の減面率を大きく採ることができる。
- (3) 潤滑が容易であり、ダイス法では不可能な高速伸線を行うことが可能となる。
- (4) 材料の変形が素直で伸線製品の品質が均一である。

そのほか多くの利点があつて適切にローラーダイス伸線法を用いることによつて、設備費および維持費の軽減、伸線能力の増加と所要工数の低減、加工性劣悪な材質の伸線可能化などの効果が期待できる。

### 〔I〕 緒 言

近時、電線界の伸線加工においても合理化態勢が推進されるとともに伸線機の高速度化と伸線品位の精密均一化<sup>(1)</sup>が要請されるようになってきた。これらの傾向は塑性加工全般に共通したことであつて<sup>(2)</sup>、ひとえに工具と材料間の迂り摩擦の軽減の可否にかかつていゝといつて過言でないであろう。それゆゑ、従来より適正なダイスの材質、形状、研磨技術やすぐれた潤滑剤の探索により、あるいは逆張力伸線法の実用化<sup>(3)</sup>によつて引抜技術をいちじるしく進歩させてきたのであるが、ダイス法の最大の短所である面摩擦を少なくするためには今一つこの迂り摩擦を転り摩擦に置き換えることが考えられる。その一つとして冷間圧延によつて線材を製造するいわゆる冷圧伸線法がある。最近フランスにおいてこの方法を利用した専用圧延機が公開された<sup>(4)</sup>。これは純然たる圧延法であるのに反して、古くよりドイツでは Turks Head と称する異型線引抜装置が考案されている<sup>(5)</sup>。しかしこの装置そのままでは丸線の製造に不向きな憾みがある。

そこで著者らは特殊の孔型をそなえた2個の遊びロールの組合せによつて丸線の連続伸線に利用できるローラーダイスを考案し、理論的および実験的検討を行つた。この装置は従来の伸線機にそのまま取り付けられるものでダイス法の長所も併用できることが特に注目してよい点である。以下同装置による伸線法を丸線の連続伸線に実用化した場合における諸問題とその特長について報告する。

\* 東京大学 工博

\*\* 日立電線株式会社電線工場

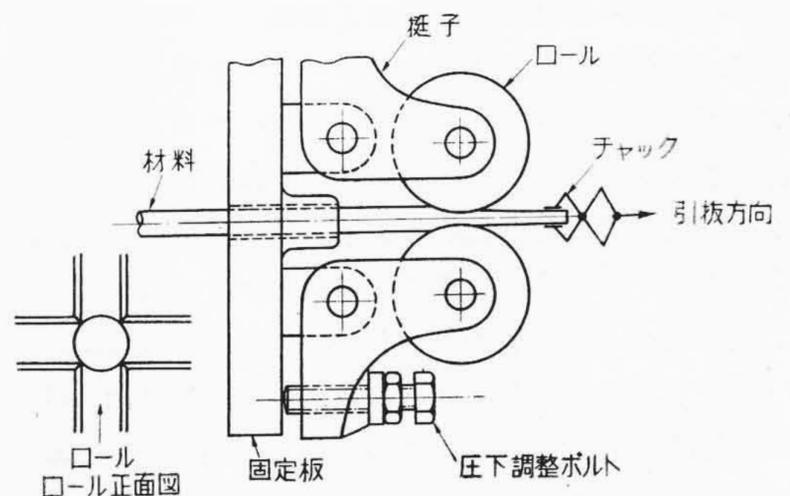
### 〔II〕 孔型形状の検討

まずローラーダイス伸線法の応用に当つて突き当る壁はなんといつてもロール間隙内で線が転倒し、耳が発生しやすいことで、適切な孔型を使用しなければ成功しがたい。第1図は Turks Head の略図であるが、4方向より圧下を加えると最悪の場合には線が回転し、あるいはロール接合面に耳ができて大きな加工度を採ることができない。したがつてまず第一にこれらの問題を解決することが必要である。

#### (1) 線材の転倒防止

本法によると丸線から丸線へ直接圧下を加えることはできず、一般に異形断面を間に入れる。したがつてこの異形断面の線がロール間隙内で転倒しやすく、正規の圧下を加えることが困難である。

いま、第2図(a)(次頁参照)に示すような断面を持つ線材をその長径方向に圧下を加えて伸線する場合を考え



第1図 Turks Head の 機 構  
Fig. 1. Mechanism of Turks Head

てみよう。ここで使用孔型は点線のようにQ点 ( $\delta, h$ ) で曲率半径  $\rho$ 、曲率中心と孔型中心距離  $e$  を持つものと仮定する。Q点はロールが  $\theta$  だけ回転すると、入口Q'点に達する(第2図(b))。

さて伸線中、入口断面O'Q'において線が微小角  $\gamma$  だけ傾いて入り、その長径端がQ'点でロール接触圧  $P_{\theta}$  (第2図(c))を受けた場合を想像する。その際第2図(a)に示すように線は長径が起されるように伸線方向x軸の周りの偶力  $M (>0)$  の作用を受ける。 $\theta$ -面に存在する  $P_{\theta}$  の入口断面O'Q'の分力を  $P_{yz}$  とし、それぞれの力の向きを  $\alpha, \beta$ 、ロール半径を  $R$  で表わすとつぎの関係がえられる。

$$\left. \begin{aligned} \tan \beta &= \tan \alpha / \cos \theta \\ h &= e + \rho \cos \alpha \\ \delta &= \rho \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$M = 2P_{yz} [(R-h)(1-\cos \theta) + h] \sin \beta - \delta \cos \beta \dots\dots\dots (2)$$

(2)式に(1)式を代入して  $M > 0$  の条件を求めると、

$$e/R > 0 \geq 1 - 1/\cos \theta \dots\dots\dots (3)$$

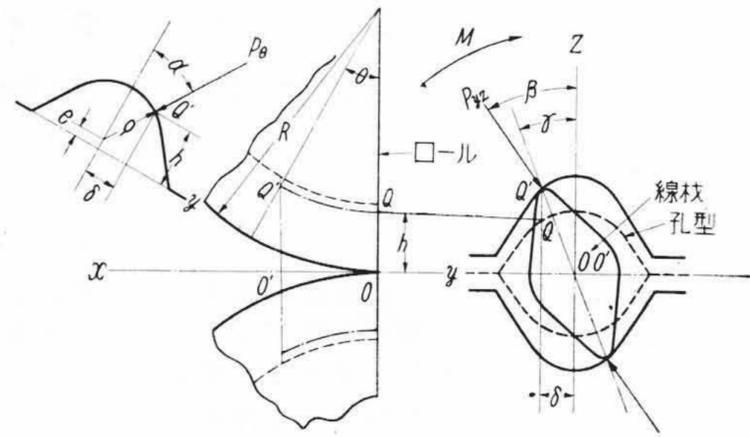
となる。ただし等号は  $\theta = 0$  すなわち出口の場合である。

(3)式が充足されれば線が傾いて入ってもロール圧によつてむしろ起されて転倒しがたいといえるが、満足しない場合には  $M < 0$  となつて線が傾けばますます傾く結果になる。したがつてロール間隙全域にわたつて線が転倒しない安全な条件として  $e/R \geq 0$  がえられる。よつて孔型にはこの関係を具備させることが大切であり、この点を満足させる孔型を用いることによつて実験的にも特別な案内を設けなくて伸線できることを確かめた。

(2) 幅拡がりの阻止

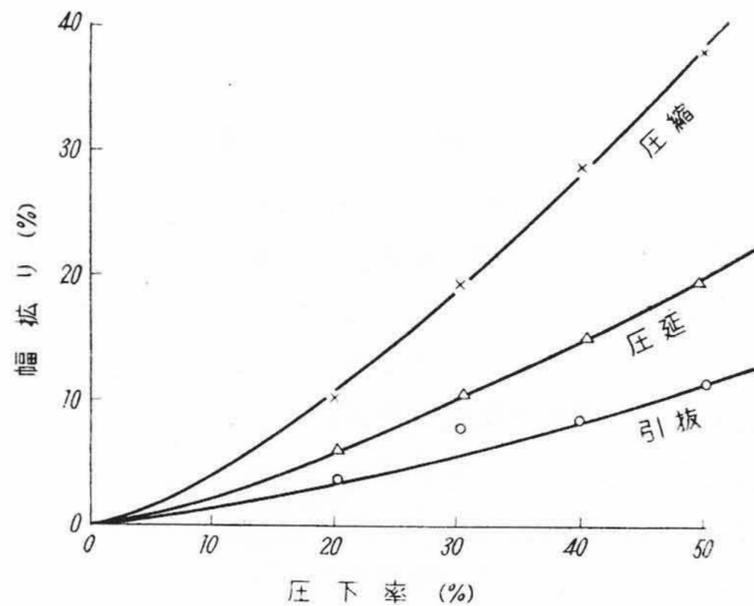
ローラーダイス法は前方張力によつてロールが駆動されるため、圧延に比して幅拡がりが僅少である。第3図は丸線を2箇の平ロール間にはさんで単純に圧縮したもの、圧延および引抜によつた幅拡がりの一例を示したものである。あきらかに遊びロールで引抜いた場合がもつとも小さく前方張力の影響が実証されている。また圧延においてはロール径の小さいほど幅拡がりが小さいことは周知の事実であるが<sup>(6)</sup>、ローラーダイス法では咬込み角に制限がないので、かなり小さいロールまでつかえる利点がある。その上、孔型形状の一部に幅方向の圧縮応力ができるような傾斜面を工夫すれば、幅拡がりを極度に押えることができる。第4図の結果がその実例であつて、耳の発生もなく実用上さしつかえない程度である。以上述べた点を勘案してまとめた孔型\*は第2図(a)の点線で示した形状である。この形状の孔型を用いて縦、横交互に圧下して伸線して行くものであり、丸線を得る

\* 特許申請中

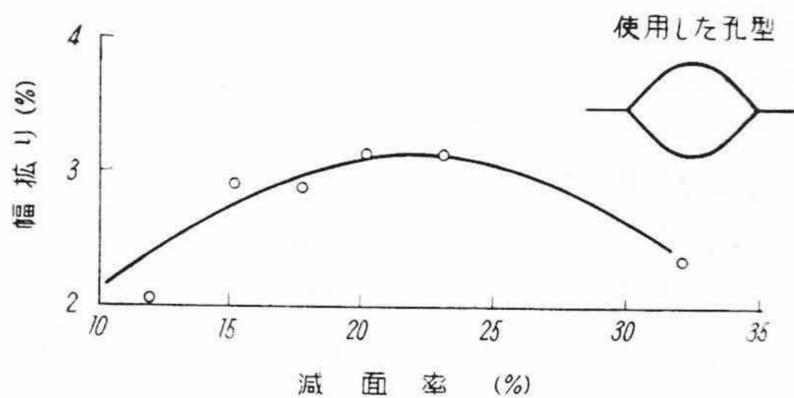


(c) ロール半径方向断面図 (b) ロール間隙側面図 (a) ロール間隙正面図  
(注) x: 伸線方向 y: ロール軸方向 z: 圧下方向

第2図 ロール間隙における線の転倒防止  
Fig. 2. Prevention of Tumbling for Wire in Roll Gap

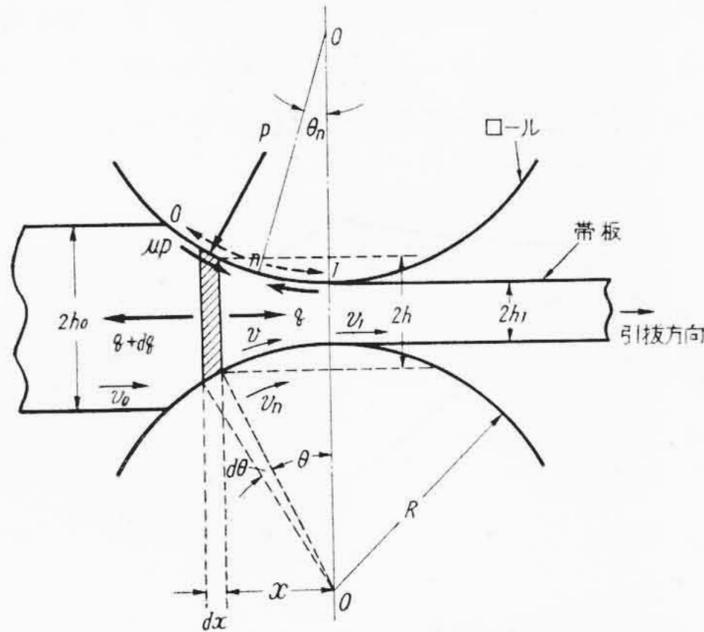


第3図 三方法(圧縮、圧延および引抜)による幅拡りと圧下率の関係  
Fig. 3. Relation between Lateral Spread and Reduction of Height by Three Methods (Compression, Rolling and Drawing)



(注) ロール径: 92φ 試料: 10.6mmφ アルミ線  
第4図 遊び孔型ロールの引抜による幅拡りと減面率の関係

Fig. 4. Relation between Lateral Spread and Reduction of Area by Drawing of Idling Rolls engraved Caliver



(注)  $R$ : ロール半径  $t$ :  $x$  の無次元量 ( $=x/R$ )  $\mu$ : 摩擦係数  
 $\theta$ : ロール挟角  $p$ : ロール圧  $p/k$ :  $p$  の無次元量  
 $h$ : 板厚  $q$ : 引抜応力  $q/k$ :  $q$  の無次元量  
 $x$ : 位置  $k$ : 変形抵抗

第5図 遊びロールの引抜によつて軽減される摩擦損失

Fig. 5. Frictional Loss Reduced by Drawing of Idling Rolls

には最後に通過した孔型と同一のものを今一度使用して直角方向より圧下を加えればよい。

### III 摩擦損失

#### (1) 摩擦損失の軽減

さきに申し述べた通り、本法の特長と考えられる多くのものは従来のダイス法では避けがたい摩擦損失をロールの回転により大幅に減少できるところに発している。そこでこの摩擦損失に関してロール転動の有無による得失を考えることにする。

第5図は問題を簡単に扱うため、帯板のロール接触部を示したものである。板は加工を受けて延伸されているからロール間隙内の接触表面速度  $v$  は入口 (0) より出口 (1) にかけて増大している ( $v_0 < v < v_1$ )。したがつて圧延の場合と同様にロール速度  $v_n$  と同速の点すなわち中立点  $n$  が板表面に存在すれば、この  $n$  を境にして出口側速度は  $v_n$  よりはやく、入口側速度は遅い。それゆえ摩擦係数  $\mu p$  は  $n$  を境にして方向を異にしている。第5図中実線はロールが板に作用する摩擦力を示し、点線はこれと大きさが同じで向きが反対であるところの板がロールに作用する摩擦力を意味する。それゆえ同図よりあきらかなように出口側においては摩擦を通じて板よりロールに回転力が伝えられる。ロール速度は  $v_n$  であるからあきらかにこのロールにあたえられる単位時間当りの仕事量は  $v_n$  に比例している。この仕事は一部はロール軸受抵抗に消費され、残部は入口側においてふたたび摩擦を介して板にあたえられる。このようにロールの回転を

ぐつて仕事の回収が行われるのであるが、一度ロールが停止するとこれらの仕事は単に熱を発生させる摩擦損失に終つてしまう。よつて本法によると、単位時間当りにほゞロール速度に比例する摩擦損失を軽減できる見込であるから、発熱、焼付および自己焼鈍の障害をとまわらないで高速伸線が可能になるわけである。しかしロール速度を差引いたロールと材料との相対的亡りによる摩擦損失は覚悟しなければならない。以上指摘した摩擦損失の軽減はまた当然引抜動力の低減となつて現われる。再び第5図に基いて、2個の遊びロールの間を通して単位幅の帯板を引抜く場合の1計算例を示し、動力低減を具体的にあらわにしたい。

#### (2) 応力分布

ローラーダイス法は引抜と圧延の中間的方法といふことができる。すなわち動力が前方張力によつてあたえられている点は引抜法の1種であり、ロールの回転を利用して、中立点が存在する事実は圧延法に酷似している。したがつて応力解析の見地より眺めると極度に前方張力をあたえた場合の圧延の一形式であり<sup>(7)</sup>、従来より多くの圧延理論が展開されてきたのでその際に通常用いられる仮定を踏襲し、本法特有の条件を設けると容易に応力分布を計算することができる。

まず第5図に示す斜線部の微小体積  $2h dx$  の釣合式を求めると、

$$d(qh) + p dh - \mu p dx = 0 \dots\dots\dots (4)$$

式中、複号の上は中立点  $n$  の入口側、下は出口側に対応する。ここで塑性条件としてもつとも簡単な最大剪断応力説を採り、しかも硬化を無視して変形抵抗  $k = \text{一定}$  と考えると、

$$p + q = k \dots\dots\dots (5)$$

これより  $p$  を消去し、微小接触角の場合に通例用いられる近似と無次元量を (4) 式に導入すると、

$$\left. \begin{aligned} \left( c + \frac{1}{2} t^2 \right) d(q/k) / dt = \pm \mu (1 - q/k) - t \\ \text{ただし } c = h_1 / R \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

上記微分方程式に含まれる積分を求めると、近似計算によるほかはなく、またその後のロールの回転力を計算する場合を考慮してその解  $q/k$  を  $t$  の代数式で表わすことにする。すなわち、

区間  $0 \sim n$  :

$$\left. \begin{aligned} q/k &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots\dots \\ a_1 &= \mu (1 - a_0) \frac{1}{c} \\ a_2 &= -\frac{1}{2c} \left\{ 1 + \mu^2 (1 - a_0) \frac{1}{c} \right\} \\ a_3 &= \frac{\mu}{6c^2} \left\{ a_0 + \mu^2 (1 - a_0) \frac{1}{c} \right\} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

区間  $n \sim 1$  :

$$\left. \begin{aligned} q/k &= b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + \dots \\ b_1 &= -\mu(1-b_0) \frac{1}{c} \\ b_2 &= -\frac{1}{2c} \left\{ 1 + \mu^2(1-b_0) \frac{1}{c} \right\} \\ b_3 &= -\frac{\mu}{6c^2} \left\{ b_0 + \mu^2(1-b_0) \frac{1}{c} \right\} \\ &\dots \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

つぎに板より面摩擦によつてロールに伝えられる回転力  $G$  を求める。ここでロールの軸受抵抗を無視して、ロールが加速も減速もされてないと考えると、

$$G/\mu k R^2 = \int_{t_1}^{t_n} \frac{p}{k} \left( 1 + \frac{t^2}{2} \right) dt - \int_{t_0}^{t_n} \frac{p}{k} (1+t^2) dt = 0 \dots (9)$$

以上(6)式の微分方程式の解は(7)式、(8)式によつてあたえられるが、それらに含まれる積分常数  $a_0$ ,  $b_0$  は境界条件と  $G=0$  の条件(9)式によつてきだめられる。

またロール転動の影響を見るため、ロールに制動をかけて引抜く場合の応力分布を求めるには、摩擦力の向きを考慮するとその解はあきらかに(8)式であたえられることがわかる。なお方向変化に関する補正項は問題を簡単に取扱うため省略しておく。

ここで後方張力のない場合の下記の数値例について計算を行うと第6図のようになる。

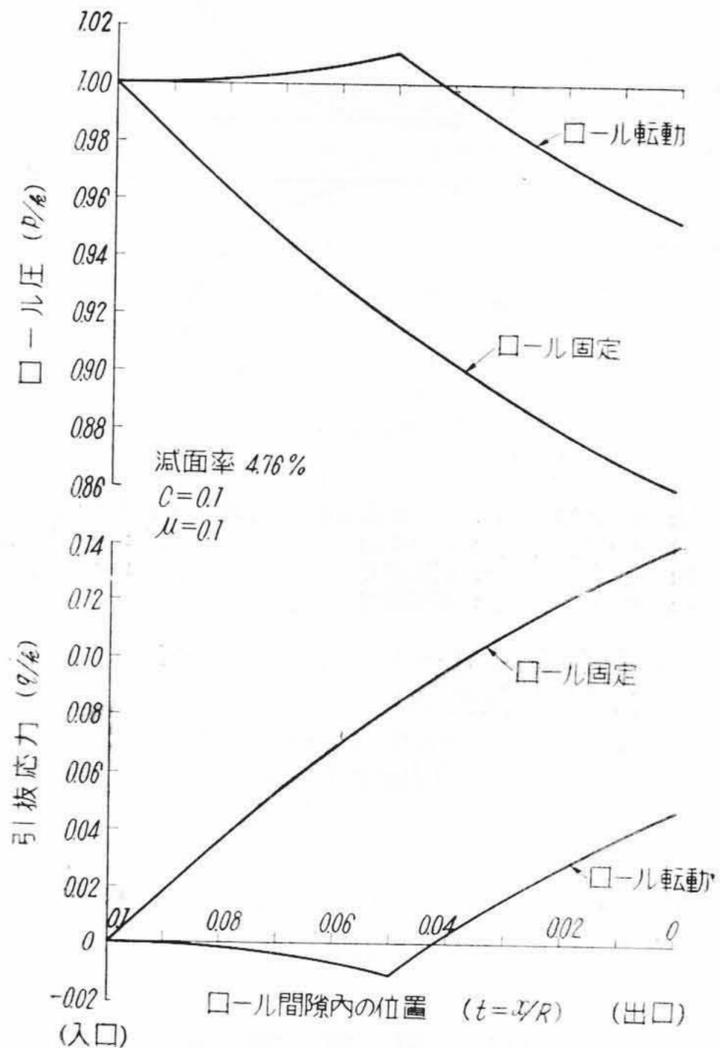
- ロール径を押える因子として  $c = 0.1$
- 摩擦係数として<sup>(8)</sup>  $\mu = 0.1$
- 減面率を 4.76% として  $t_0 = 0.1$

第6図によつてロール転動の影響を比較すると、出口引抜応力はロールが停止することにより約3倍も上昇する。この引抜応力の低減は前述の摩擦損失の軽減結果によるものである。他方ロール圧は逆にロール転動の場合の方が高くなるので逆張力の付加はいちじるしい効果をもたらすものと期待される。またロール転動の場合の引抜応力をみると、ダイス入口では圧縮応力が働き、これがダイス出口にかけて引張応力に転換する。それゆえ、このようにロールを通過するさいに材料は異種符号の応力をあたえられるので、一種の Bauschinger 効果を受け、材料の機械的性質に変化があることも考えられよう<sup>(9)</sup>。なおこの例では中立点がロール中央にあることがわかつた。減面率、逆張力およびロール径の引抜応力におよぼす影響について検討することは興味ある問題であるが、つぎの機会に譲ることとする。

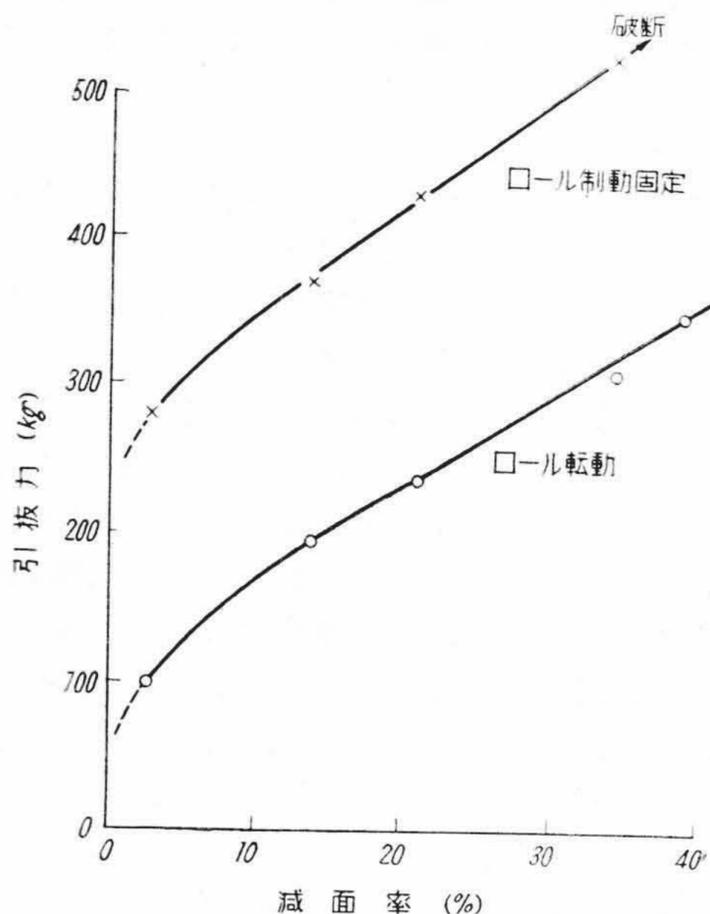
(3) ロール制動と引抜力

これまでの論議にしたがつて、遊びロールおよびロールに制動をかけて固定したそれぞれの場合について引抜力を測定した一例を示すと、第7図のようになる。実験

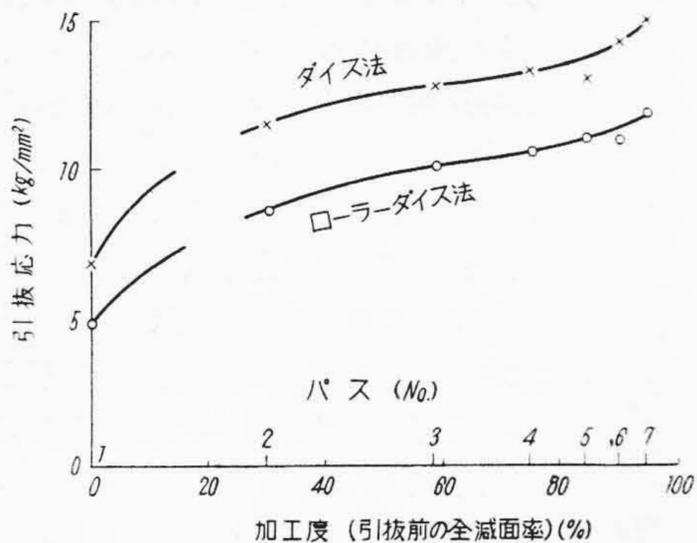
試料にはアルミ線、潤滑剤としてはシリンダー油を用いた。なおロールにはロール半径の16%の深さに孔型を彫りつけてある。制動した場合は引抜力が約2倍近くも



第6図 応力分布 (計算値)  
Fig. 6. Stress Distribution (Calculated Value)

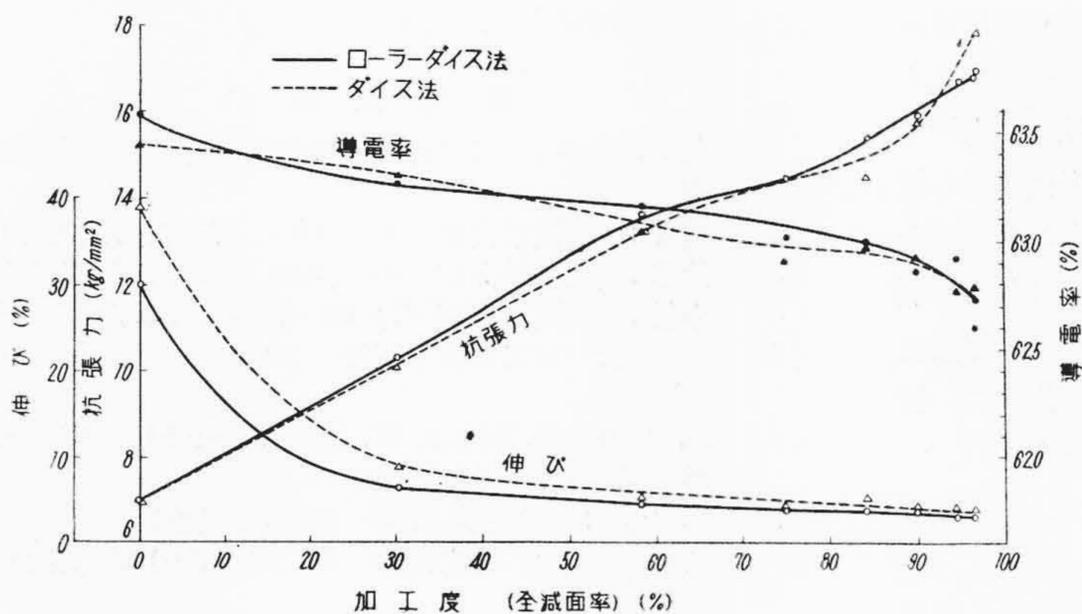


第7図 ロール転動および固定の引抜力におよぼす影響  
Fig. 7. Influence of Idling Rolls and Fixed Rolls on Drawing Force



第8図 ローラーダイス法およびダイス法による引抜応力と加工度の関係

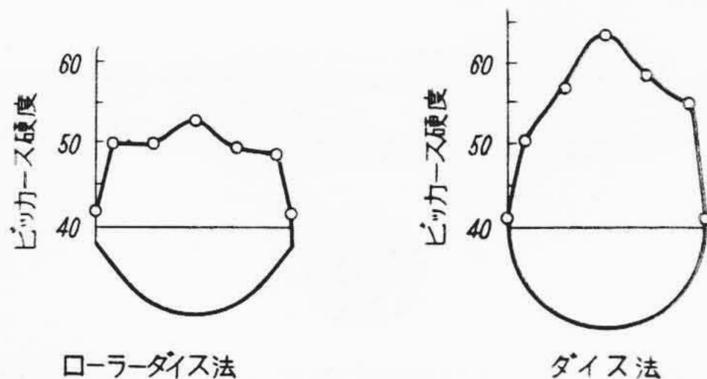
Fig. 8. Relation between Drawing Stress and Degree of Cold Work by Roller Dies and Ordinary Die Methods



(注) 試料: アルミ線  
1パスの減面率: No. 1 パスは31%, その他のパスは 40%

第9図 冷間加工度とアルミ線諸性能との関係 (ローラーダイス法およびダイス法の比較)

Fig. 9. Relation between Degree of Cold Work and Properties of Aluminium Wire (Comparison between Roller Dies and Ordinary Die Methods)



第10図 硬度分布 (ローラーダイス法とダイス法の比較)

Fig. 10. Hardness Distribution (Comparison between Roller Dies and Ordinary (Die Methods)

大きくなり、ロール面に焼付けを起し、伸線表面の疵もいちじるしい。この際制動を解くとただちにこの現象は消滅し、美しい面がえられた。このように摩擦の様相がことなるので正確には対比できないが、ロール転動の効果を物語るものと考えられる。ロールの転動は常に新しい面を供給するから潤滑が容易であり、低級な潤滑剤でも十分間に合うものと思われる。

[IV] ダイス法との比較

ダイス法に代つて本法を適用するためには以上述べた問題点とならんで伸線性能についても十分な比較検討が望ましいが、今回は二三の実験例をあげて今後に残された課題を示唆する程度にとどめておきたい。

実験としては300°C×2hの焼鈍を行つた17.4mmφの純アルミ丸線を素材としてローラーダイスおよび従来の

ダイスの両法によつて、引抜速度約60m/minで2.95mmφの丸線に伸線した。なお小径ロール中央に前述の孔型を付した焼入鋼をローラーダイスとし、ダイスには通常用いられているダイス角を持つタングステンカーバイドダイスを使用した。

その結果、ローラーダイス法においても線は転倒せず予定の圧下を加えることができ、しかも耳の発生もなく連続伸線が可能であることが確かめられた。ダイス法によると1パスの減面率は20~30%が常識であり、約96%の全加工度をうるのに13ダイスを使用した。ローラーダイス法では7組のロールで伸線でき、工程を約半減することができた。また第8図は1パスの減面率を40%前後にとつた場合の引抜力を

比較した結果で、ダイス法に比して約20%の低減をえており、所期の目的を達したものとする。つぎに伸線性能は第9図に示すとおり、両法に大した差異は認められないが、加工度90%以上の抗張力において、本法はやや低目になりがちである。したがつて高抗張力をのぞむ場合には本法の適用方法に若干の考慮が必要となる。第10図は伸線縦断面の硬度分布の1例であり、本法は内外層の硬度が比較的一様で変形が素直であることを示している。ダイス法ではあきらかに自己焼鈍の形跡が認められる。

[V] 本法適用による予想効果

適切な孔型の選定によると、近似的丸線に伸線できることを実験的に確かめたのであるが、まだその真円性は

