ローラーダイスの力学的特性*

五 弓 勇 雄** 大久保忠恒** 堀 内 良** 五十嵐清之**

Isao Gokyû, Tadatsune Okubo, Ryô Horiuchi and Kiyoyuki Igarashi : On the Roller-Die Drawing. In order to obtain guiding principles for development of the roller dies for practical use, researches for drawing of rectangular bar through flat rollers were carried out. The drawing force, the roller separating force and the spread of square wire were measured under various drawing conditions, namely, various roller diameters, wire sizes, reduction in one pass and backward tensions. Calculations of the drawing force, the roller separating force and the roller pressure during drawing of wide strip through flat rollers were done by using the elementary two-dimensional theory of plasticity. Based on above results, guiding principles for development of the practical roller dies are mentioned.

(Received August 9, 1963)

I. 緒 言

さきにローラーダイス引拔法の特長と題して、本引拔法の概要を報告した⁽¹⁾。その後ローラーダイスの実用化を進めるために、一連の研究を行なつたが、本報では本法の特性を最も発揮し得る実用ローラーダイスを開発するための基礎を得る目的で行なつた本法の力学的特性の解析について述べる。

転動するローラーを組合せてダイスとすることにより、摩擦損失が減少することは前にも述べたが、高能率な実用機を開発するためにはローラーダイスにとって基本的な量であるところの引拔力、圧下力、ロール面圧力および引拔材の幅広がり、線径、孔型形状、1回の加工度、逆張力、潤滑条件および引抜くべき線の性質などによってどのような影響を受けるかを握むことが必要であつた。所定の減面率で線を引抜くときの引拔力は伸線に必要な動力量を決めるものであるから当然小さいほど良いし、また装置を軽量、小型で安価なものとするには伸線工具にとって重要なことであつて、そのためにはローラ圧下力は小さいことが望ましい。またローラーの摩耗あるいは破損事故を少なくするためにはローラ面圧力を低くしなければならぬ。とくにローラーに加わる力が実用工具材料の強度の限界に近いことを考えればこのことは重大である。孔型設計については後報で述べるが、能率の良い伸線を可能とする孔型を使用するには線の幅広がり、小さいことが必要なのである。

孔型ロールで材料を加工する方法はたとえば熱間線材圧延などで広く行なわれているが、その力学的解析は現在までに行なわれていないといつても過言ではない。それはこの問題が原理上極めて難かしいためである。この事情はローラーダイスの場合にも全く同様であつて、上にあげた

種々の引拔条件の影響を調らべていくときに、その中に孔型形状をも含めようとするのは、問題をいたづらに難かしくしてしまつて有用な結論が得られないから、孔型形状の影響は後に単独にとり上げることにする。このことは孔型形状とその他の引拔条件との交互作用を無視することになるが、これは許される近似であろう。

孔型のない、すなわち平ローラによつて、帯板あるいは角線を引抜く問題を考えることにしても、従来駆動されていないローラによる加工についての解析は少ない。わずかに帯板引抜きに関する初等的な2次元理論による Sachs と Klinger⁽²⁾ および Hill⁽³⁾ の形式的な取扱ひがあるのみであつて、系統立つた実験は見当たらない。

著者達は実際のローラーダイスに近く、また理論との対応も付けやすいという意味で、角線を平ローラを通して引抜く場合をとりあげ、実験的にローラーダイスの性質を調べるとともに、初等的な2次元塑性理論を使つて考察を加えた。それらの結果から実用機の開発に対し重要な指針を得た。

II. 実 験 方 法

下に述べる引拔条件の各々の組合せについて引拔を行ない、引拔中の引拔力および圧下力、引拔前後での線の寸法を測定した。実験を行なつた条件はつぎの通りである。ローラー径：100, 52, 30, 20 mmφ、線の材質：アルミニウム (99.7% Al)、線の状態：加工材 (30% 冷間加工) および焼鈍材 (300°C × 1 hr)、線の寸法：8 mm□, 5 mm□, 10 mmφ, 5 mmφ、圧下率：10~60%、逆張力：最高は線の変形強度の 50% まで、潤滑剤：流動パラフィン。

Fig. 1 に 8 mm□ の試料の中から切り出した 7.5 mmφ × 10 mm の円柱を圧縮して求めた変形強度を示した。また引張試験によつて引拔後の強度を測定したが、圧下率が一定ならば他の引拔条件が変つても線の変形強度は同一

** 東京大学工学部 (Faculty of Engineering, University of Tokyo, Tokyo)

* 1957 年 4 月本会東京大会に発表；ローラーダイス引拔法の研究 (第 2 報, 第 3 報)

(1) 五弓, 堀内, 岩田：本誌, 26 (1962), 39.

(2) G. Sachs and L. J. Klinger : J. Appl. Mech., 14 (1948), 88~98.

(3) R. Hill : 塑性学 (1950), 培風館, p. 186~202.

であつた。また、圧縮試験結果と引抜後の引張試験結果を比較してみると、圧縮加工度と引抜加工度の等しい場合に

が小さいほど大きくなる。とくにローラー径が 20 mmφ で線径が 10 mmφ のときには幅広がり（幅の減少）であ

Fig. 1 True stress-strain curves for aluminium bar used. Compression tests: 7.5 mm dia. $\times$ 10 mm specimens, a: cold-drawn bar, b: annealed bar.

は同一の強度を示した。

III. 実験結果

1. 幅広がりについて

幅広がり（幅の減少）はローラー径線径比に著しく左右されるが、その一例を Fig. 2 に示した。これは 10 mmφ と 5 mmφ の加工材を種々のローラー径で引抜くときの幅広がり（引抜前の幅に対する幅の変化の百分率で表わす）を圧下率に対

Fig. 2 Spread during drawing of cold-drawn aluminium wire through flat rollers. Roller dia. (D): 100, 52 and 20 mm, Wire dia. (d): 10 and 5 mm.

る。ローラー径線径比をある値に保ちながら、ローラー径と線径を変えるときは変形の幾何学的関係は相似であつて、そこで起きる変形も近似的には相似になる。事実、ローラー径 52 mmφ、線径 5 mmφ の場合と、ローラー径 10

Fig. 3 Influence of the backward tension on spread during drawing of cold-drawn 8 mm square bar. Roller dia. (D): 100, 52 and 20 mm, r_h : reduction in thickness.

して示したものである。幅広がり（幅の減少）は圧下率の小さいとき（約 20% まで）は圧下率とともに直線的に増加しているが、圧下率がより大きくなると幅広がり（幅の減少）の圧下率に対する増加率が減少し始めて、最終にはかえって減少するようになる。また幅広がり（幅の減少）はローラー径が大きいほど、そして線径

mmφ、線径 10 mmφ の場合とを比較すると、ローラー径線径比はともに 10 であつて、幅広がり（幅の減少）も圧下率 20% までは同じであつて、変形の相似則が成立している。しかし圧下率がそれ以上ではローラー径 100 mmφ の場合の方が幅広がり（幅の減少）が小さくなっていく。以上のことを見やすくするた

めに、同じデータを幅広がり γ と $\sqrt{R/d}$ の関係でみると、圧下率30%以下では幅広がり γ は $\sqrt{R/d}$ に対して直線的に増加する。また $\sqrt{R/d} \approx 1.25$ のときには圧下率に関係なく幅広がり γ は零になる。以上述べた幅広がり γ の挙動は角線の引抜きの場合も同じである。また加工材と焼なまし材を比較すると焼なまし材の方が幅広がり γ が大きい、その挙動は加工材のときと同じである。幅広がり γ に対する逆張力の効果も著しい (Fig. 3)。図は8mm□の加工材を種々のローラー径で引抜くときの幅広がり γ と逆張力の関係を示したものであつて、300 kgの逆張力は素線の変形強度の約50%に相当する。逆張力の効果は逆張力のないときに幅広がり γ の大きいもの (ローラー径が大きく、圧下率の大きいとき) ほど著しく、たとえばローラー径が100 mmφで圧下率40%のときには逆張力を加えないときに7%の幅広がり γ を示すが、約40%の逆張力で1%まで減少してしまう。

2. 引抜き力について

Fig. 4に8mm□の加工材を種々のローラー径で引抜くときの圧下率と引抜き力、引抜き応力、および変形効率の関係を示した。同一の圧下率に対する引抜き力はローラー径が小さいほど大きい、引抜き応力をみると圧下率が20~40%でローラー径に無関係である。このように圧下率に対する引

ス引抜きの場合と同様に逆張力の増加に対して引抜き応力は直線的に増加し、推力は減少する。逆張力仕事は回収される

Fig. 5 Influence of the backward tension on the drawing stress during drawing of 8 mm square bar through flat rollers.

と仮定したときの逆張力増加による引抜き仕事量の減少はダイス推力の減少に表わされるわけであるが、図からわかる

Fig. 4 Drawing force (T_f), drawing stress (t_f) and deformation efficiency (η) during drawing of 8 mm square bar through flat rollers.

D : Roller dia, r_h : reduction in thickness, *: c.f. equation (11).

抜き力と引抜き応力の挙動が異なるのは前述の幅広がり γ の影響であつて、圧下率が同じであつても断面減少率はローラー径の小さいほど大きいためである。引抜き応力がローラー径によらないということは単位の引抜きを行なうのに必要な動力量がローラー径によらないことを示している。変形効率も圧下率が20~40%で約70%であつて、ローラー径によらない。

逆張力の引抜き応力に対する関係をみると (Fig. 5), ダイ

スにダイス推力の減少は僅かであつて、最高約3%にしかならない。

線径が5 mm□のときも、また焼なまし材のときにも上に述べた結果と同じ傾向を示す。

3. 圧下力について

Fig. 6に8mm□の加工材を種々のローラー径で引抜くときの圧下力と平均ローラー面圧力と圧下率の関係を示し

た。圧下力は圧下率とともに初め増加するが、圧下率が約 50% になると逆に減少し始める。また圧下力はローラー径の大きいほど大きい。一方平均ローラー面圧力は圧下率の大きいほど減少する傾向を示して、さらにローラー径の効果は少なく、ほぼローラー径に無関係に一定の値と

Fig. 6 Roller separating force and mean roller pressure during drawing of 8 mm square bar through flat rollers.
 P : roller separating force, $\bar{p}$: mean roller pressure, r_h : reduction in thickness, D : roller dia.

なる。したがって圧下力に対するローラー径の効果はほぼ接触面積によっていることがわかる。

逆張力を加えるとローラー面圧力は著しく減少するが、その効果はローラー径の小さい方が著しい。また Fig. 7 からわかるように平均ローラー面圧力は逆張力の増加とともに直線的に減少し、素線の変形強度の 50% の逆張力でロール面圧力も約 50% の減少となる。

Fig. 7 Influence of the backward stress on the mean roller pressure during drawing of 8 mm square bar.
 $\bar{p}$: mean roller pressure, t_b : backward stress, D : roller dia., r_h : reduction in thickness.

4. 引抜き力と圧下力の関係

引抜中に線に加わっている引張荷重、すなわち引抜き力と逆張力の差と圧下力との比をとってローラーと線との接触

Fig. 8 Relation between the roller separating force and the drawing force during drawing of 8 mm square bar through flat rollers.
 T_f : drawing force, T_b : backward tension, P : roller separating force.

角度に対してプロットしてみると、Fig. 8 に示したように直線関係が得られる。図中の実験点はローラー径 100 mmφ と 52 mmφ、圧下率は 10~50%、逆張力は 0~300 kg に対するもの全てを含んでいる。粗い近似でこの関係を理論的に求めてみると⁽⁴⁾、

$$(T_f - T_b) / P = \phi_1 \quad (1)$$

となる。ここで T_f は引抜き力、 T_b は逆張力、 P は圧下力、 ϕ_1 は接触角である。理論と実験で常数の値は一致しないが、 $(T_f - T_b) / P$ と ϕ が比例関係にあるという点では一致している。この関係はローラー径、線径、圧下率および逆張力などの引抜き条件に無関係に引抜き力と圧下力との関係を与えるものであつて、比較的容易に知れる引抜き力を知ると、圧下力が求められるので、応用上は重要であつて、孔型ローラーの場合にも同様な関係が得られる。

IV. 理論的考察

前節までに角材を平ローラーを通して引抜く場合についての実験結果を述べた。本節ではそれらに対して若干の理論的検討を加えてみよう。前にも指摘したように、引抜き材の厚さと幅の比が 1 に近いときは解析が難かしいが、十分に幅の広い薄い板を平ローラーを通して引抜く場合に問題を限れば、初等的な 2 次元塑性理論を適用して、ローラーダイスの引抜き力、圧下力および平均ロール面圧力に対する

(4) R.Hill: 塑性学, p.200.

引抜条件の影響を解析することができる。以下にその結果を前節の実験結果と対比しつつ述べよう。

理論の出発点として、初等理論で普通使われているつぎの仮定をおく。

(a) 十分に幅の広い帯板を平ローラーを通して引抜く場合を取扱う。したがって平面歪問題として扱うことができる。

(b) 材料の変形は均一な平行変形であつて、変形領域はロール入口面から出口面までである。

(c) 塑性条件として von Mises の条件を採用する。

(d) ロールと材料との摩擦はクーロン摩擦であつて、摩擦係数は一定とする。

(e) 材料の加工硬化、材料とローラーの弾性変形はないものとする。

Fig.12 に変形領域での幾何学的関係と材料に作用している力を図示した。図を参照しながら、ここで以下に使う記号をまとめておく。

D : ロールー直径, f : 材料中に作用する長手方向の力, ϕ : 接触弧上の角座標(出口で零), G : 単位幅当りのローラートルク, h : 板の厚さ, k : 材料の変形強度, μ : 摩擦係数, P : 単位幅当りの圧下力, $\bar{p}$: 平均ローラー面圧力, r_n : 圧下率, ρ : 摩擦角, s : ロールー法線応力, T_f : 単位幅当りの引抜力, t_f : 引抜応力, T_b : 単位幅当りの逆張力, t_b : 逆張力応力, +: 出口と中性点の間を示す添字, -: 中性点と入口の間を示す。○: 入口を示す, n : 中性点を示す。1: 出口を示す。

Fig.9 で斜線を引いた微小体積要素に作用する水平力の釣合と塑性条件とから、上述の仮定を考えるとつぎの水平力に関する方程式が得られる。

Fig.9 Stress arising in strip between rollers.

$$\frac{df}{d\phi} = D \left(\frac{f}{h} + k \right) \cos \phi \tan(\phi \pm \rho) \quad (2)$$

この式は線型だから解はつぎのように書き下せる。

(i) 出口と中性点の間では

$$f^+(\phi) = Z^+ \left[\int_0^\phi \frac{B^+}{Z^+} d\phi + T_f \right] \quad (3)$$

(ii) 中性点と出口の間では

$$f^-(\phi) = Z^- \left[\int_\phi^{\phi_1} \frac{B^-}{Z^-} d\phi + T_b \right] \quad (4)$$

$$\text{ここで } Z^\pm = \exp \left\{ \int A^\pm d\phi \right\}$$

$$A^\pm = \frac{D}{h} \cos \phi \tan(\phi \pm \rho)$$

$$B^\pm = Dk \cos \phi \tan(\phi \pm \rho) \quad \text{である。}$$

(3) 式および (4) 式の積分は初等的には行なえないから、出口および入口からそれぞれ数値的に計算を進め、

$$f^+(\phi) = f^-(\phi) \quad (5)$$

となる ϕ を見出す。これが中性点の座標 ϕ_n であり、出口と中性点の間では $f^-(\phi)$ を、中性点と入口の間では $f^+(\phi)$ の値を採用すると全接触弧にわたる水平力の分布が求められる。ロール法線応力 $s(\phi)$ は $f(\phi)$ からつぎのように求められる。

$$s(\phi) = \frac{f/h + k}{1 + \gamma \tan \phi} \quad (6)$$

ここで複号は出口と中性点の間では-を、中性点と入口の間では+をとる。ロール法線応力分布が上のようになると、ロール駆動トルク G と圧下力 P はそれぞれつぎのように求められる。

$$G = 2\mu R^2 \left(\int_0^{\phi_n} s^+ d\phi - \int_{\phi_n}^{\phi_1} s^- d\phi \right) \quad (7)$$

$$P = R \left\{ \int_0^{\phi_1} s \cos \phi d\phi - \int_0^{\phi_n} \mu s^+ \sin \phi d\phi + \int_{\phi_n}^{\phi_1} \mu s^- \sin \phi d\phi \right\} \quad (8)$$

ところがローラーダイスの場合には (3) 式に含まれている T_f , すなわち引抜力の値は未知であるから、上述の計算を直ちに行なうことはできない。これを定める条件として

$$G = 0 \quad (9)$$

すなわち、ローラーは駆動されておらず自由に転動していることを表わす条件がある。そこで T_f の値を適当に仮定して上の計算を進め、(7) 式から G を算出してみる。そのとき一般に G の値は零にはならないが、初めに T_f の値を上手に選べば零の近くにある。そこで T_f の値を若干変えて再び計算を繰返すという近似法で十分の精度で G が零となる T_f の値を見出せば、これが求める引抜力である。このようにして T_f が求まると、上にあげた式を使つて、与えられたローラー径、板厚、圧下率、摩擦係数および後方張力の下での引抜力、圧下力あるいはロール法線応力分布などが計算できる。

数値解を述べる前に、近似解に簡単にふれておこう。接触角が小さく(すなわち、板厚が薄く圧下率の小さいとき)、 $\sin \phi \approx \phi$ の程度の近似が許される場合には、基礎方程式 (2) は解析的に解けて、引抜応力はつぎの簡単な式で与えられる†。

$$t_f/k = \Delta h/h_0 \quad (10)$$

† 誘導は省略するが、R.Hill: 塑性学の p.191 以下の取扱いに、 $G=0$ の条件を入れると比較的簡単に導びける。なお圧下力については解析的な解は出ない。

ここで、 $\Delta h = h_1 - h_0$ である。

(10) 式の意味は引抜応力はローラー径、板厚あるいは摩擦係数の影響を受けず圧下率のみによるということである。摩擦損失のない理想変形のときの引抜応力は、

$$t_f/k = \ln(h_0/h_1) \quad (11)$$

で与えられるが、これを $h_0 - h_1 \ll 1$ として展開すると(10)式と一致する。すなわち、帯板のローラー引抜では圧下率の小さい範囲では理想変形とみなせるほど摩擦損失が小さいのである。ここで使った近似と同程度の近似は帯板圧延理論でも穴ダイス引抜理論でも使われているが、それらの場合には圧下率の小さいときでもなお摩擦損失があるという結果になる。このことはローラー引抜ではローラー転動の効果によって損失が少なくなることを示している。

つぎにより圧下率の大きい場合についても検討を進め、同時に圧下力に関する情報を得るために近似を入れないで数値計算を行なった結果を述べる。計算に使用した数値はつぎの通りである。ローラー径: $2R = D = 100$, 板厚: $h_0 = 1, 4, 10$, 摩擦係数: $\mu = 0.05, 0.1, 0.15$, 逆張力: $t_b/k = 0, 0.1, 0.3$, 圧下率: $\Delta h/h_0 = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ である。計算結果は Fig. 10 以下に図示した。

Fig. 10 Drawing stress during drawing of wide strip through flat rollers (calculated). Yield stress: 1 kg/mm, Roller dia.: 100 mm, friction coefficient: 0.1, r_h : reduction in thickness, h_0 : initial thickness.

ローラー径板厚比の引抜応力に対する影響 (Fig. 10) は僅かであるが、板厚比の大きいほど引抜応力は大きく、また圧下率の大きいときほど影響が大きい。この結果は前の実験結果を定性的に説明している。摩擦係数が大きくなると引抜応力は増大し (Fig. 11), その効果は圧下率の大きいほど大きくなる。

圧下力は接触面積と平均ローラー圧力の積で表わされるが、接触面積は圧下率の増加とともに拋物線的に増加するのに対し、平均ローラー圧力は Fig. 12 に示すように圧下率の増加とともに減少する。また平均ローラー圧力は Fig. 13 に示すように板厚比にほとんどよらない。したがって

Fig. 6 に示されているように圧下力が板厚によって大きく変わるのとは大部分は接触面積の効果である。平均ローラー

Fig. 11 Influence of the friction coefficient on the drawing stress during drawing of wide strip through flat rollers (calculated). D : Roller dia., h_0 : initial thickness, r_h : reduction in thickness, Yield stress: 1 kg/mm.

Fig. 12 Mean roller pressure during drawing of wide strip through flat rollers. D : Roller dia., h_0 : initial thickness, γ : friction coefficient, Yield stress: 1 kg/mm.

面圧力に対する逆張力の影響を Fig. 14 に示した。平均ローラー面圧力は逆張力の増加とともに直線的に減少してこれも実験結果と定性的に一致している。

以上述べた圧下力と平均ローラー圧力の挙動は前に示した実験結果と理論の結果とが定性的に一致している。しかし実験値の挙動の方がいくぶん複雑であるが、この点をさらに検討するためにはローラー面圧力の測定および不均一変形を考慮した理論的取扱が必要であるが、これは他に報告⁽⁵⁾したのでここではこれ以上立入らないことにして、

(5) 五弓, 大久保, 土滝: 塑性と加工, 3(1962), 73.

ただ引抜力、圧下力および平均ローラー圧力の大局的な挙動がこの論文で取扱っている程度の初等理論で理解できる

Fig. 13 Mean roller pressure during drawing of wide strip through flat rollers (calculated). D : Roller dia., μ : friction coefficient, r_h : reduction in thickness, h_0 : initial thickness, Yield stress: 1 kg/mm.

ことを指摘するにとどめる。

V. 結 言

ローラーダイスの力学的特性を明らかにするために平ローラー引抜について実験と理論の両面から解析を加えてきたが、それらを総合して実用ローラーダイスの開発に対してつぎのような指針が得られる。ローラダイスにとって重要な量である引抜力、圧下力、平均ローラー面圧力および幅広がりに対する引抜条件—ローラー径、線径、圧下率、逆張力、摩擦係数—の影響を上述の結果から表にしてみると、Table 1 のようになる。

Table 1 Relations between drawing conditions and drawing parameters.

Drawing condition (A) Drawing parameter (B)	Roller dia.	Wire dia.	Reduction per pass	Backward tension	Friction coefficient
Power consumption	×	×	×	×	+
Roller separating force	+	+	+	—	+
Mean roller pressure	×	×	—	—	+
Spread	+	—	+	—	+

×: no correlation between A and B.

+: B increases with increasing A.

—: B decreases with increasing A.

引抜に必要な動力消費はローラー径、線径、圧下率および逆張力には無関係であるが、摩擦係数は小さいほど小さい。ローラーダイス装置に要求される強度を決める圧下力はローラー径、線径および圧下率が大きいほど大きくなるが、逆張力を加えると小さくなり、摩擦係数は大きいほど大きくなる。ローラーの寿命に関係する平均ローラー面圧力はローラー径、線径とは無関係であるが、圧下率と逆張力が大きいほど小さくなり、摩擦係数が大きいほど大きくなる。幅広がりとはローラー径の大きいほど大きく、線径が

大きいほど小さく、圧下率が大きいほど大きく、逆張力が大きいほど小さくなる。幅広がりとは摩擦係数の関係について

Fig. 14 Influence of the backward stress on the mean roller pressure during drawing of wide strip through flat rollers (calculated). D : roller dia., μ : friction coefficient, h_0 : initial thickness, r_h : reduction in thickness, yield stress: 1 kg/mm².

ては本研究では取上げなかったが、圧延の場合と同様に摩擦係数が大きいほど大きいものと思われる。

以上の結果から能率の良い実用ローラーダイスを設計するためにはローラー径は出来るだけ小さく選り圧下力を小さくして装置を小型軽量とし、幅広がり小さくして能率の良い孔型の使用を可能とするのがよいことになる。線径はローラーダイスを使用する伸線工程によつて決まるものであるが、線径が大きいほど圧下力が大きくなって装置が大

型化するので、ローラーダイスを適用する線径の範囲を区切って比較的細い線に使用する小型のものと、太い線に使用する大型のもの（必要とあればもつと段階をつけてもよい）に分けて設計するのが良いであろう。圧下率は Table 1 からは小さい方が圧下力が小さく幅広がりも小さいので有利ではあるが、ローラーダイスの目的が本来大きい減面率で引抜きを行なうものであるから装置をそれに耐えるように設計すべきである。また圧下率が大きいほど平均ローラー面圧力が下がるが、これは平ローラー引抜の場合のこと

であつて、後報で述べるように孔型ローラーの場合は加工度が大きいほど大きくなる。したがつて平均ローラー面圧力を有効に下げる方法は逆張力付加しかなく、ローラー面圧力がローラーとして使う工具鋼の強度の限界に近いことを考えると、逆張力付加はローラーダイスにおいてもなお重要である。ローラーダイスは前に述べたように摩擦損失は少ないが、摩擦係数は小さいほど良いのであつて、ローラーダイスでも潤滑になお留意する必要がある。しかし潤

滑剤としては孔ダイスの場合とは異なるものがローラーダイスに適していると考えられるのでその点は今後検討を要する。

以上にローラーダイスの基本的な力学的特性について述べて、実用ローラーダイスの開発の指針を明かにしたが、それらにもとづく実用装置の開発とその性能については後にあらためて報告することにする。