

管材の前方張力付押出加工

清野次郎*・町田基**

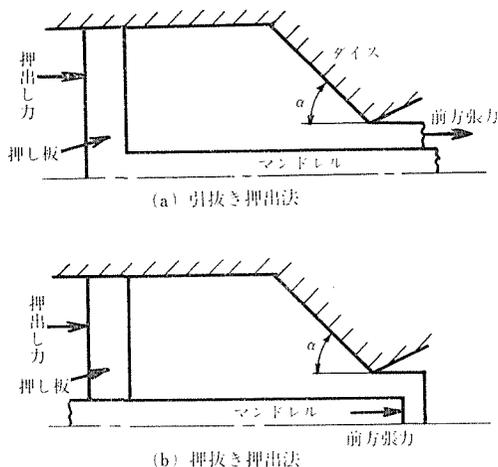
(昭和45年5月30日受理)

1 ま え が き

管材を塑性加工により製作するには、引抜き、押出し、圧延など各種加工法が採用されている。中実材および管材の前方押出加工にかんしては、すべり線場法によって押出圧力の面から種々報告が行なわれているが^{1)~6)}、管材のとくに前方張力を付加したさいにおける報告は少なく、工藤ら⁷⁾の上界解による報告があるのみである。それによると、押出材前方に張力を付加したことにより理論的、実験的に押出圧力の大巾低下を指摘した。

著者らは、この管材前方押出加工において、押出材前方に二通りの張力を付加する方法をとり上げ、これを平面ひずみ問題として扱ひ、すべり線場法⁸⁾によって押出圧力と内部変形を、大きな断面減少率および二種の摩擦条件に対し解析した⁹⁾。一方、鉛材を用いた前方張力付軸対称管材押出実験を冷間低速で行ない、定常押出圧力を断面減少率、ダイス角度、および前方張力の値との関連において調べた。

2 平面ひずみ定常前方押出の解析

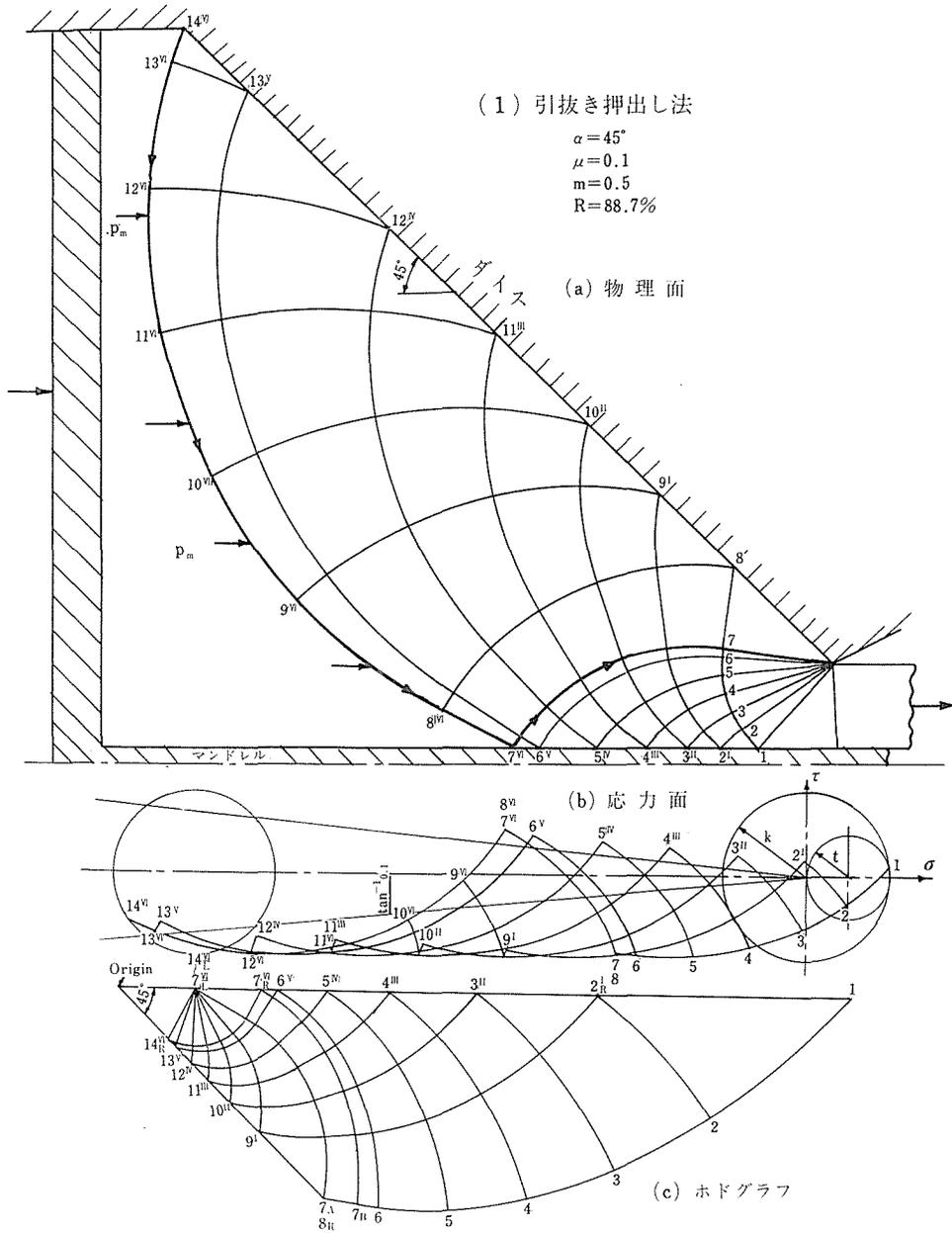


第1図 張力付加方法

管材の押出し口前方より張力を付加するには、二種類の方法が考えられ第1図にそれらを示す。同図(a)は、押出し管材自身を何等かの方法によりマンダレルと無関係に前方より引張る方法で、これを“引抜き押出法”と名付ける。この方法は、押し板とマンダレルと一緒に前方に移動する。(b)は、マンダレルを通して管材先端から張力を付加する方法で“押抜き押出法”と名付ける。この方法では、マンダレルは押し板と無関係に前方に動き得るようになっている。両前方張力付加方法の間には、マンダレル上の摩擦力方

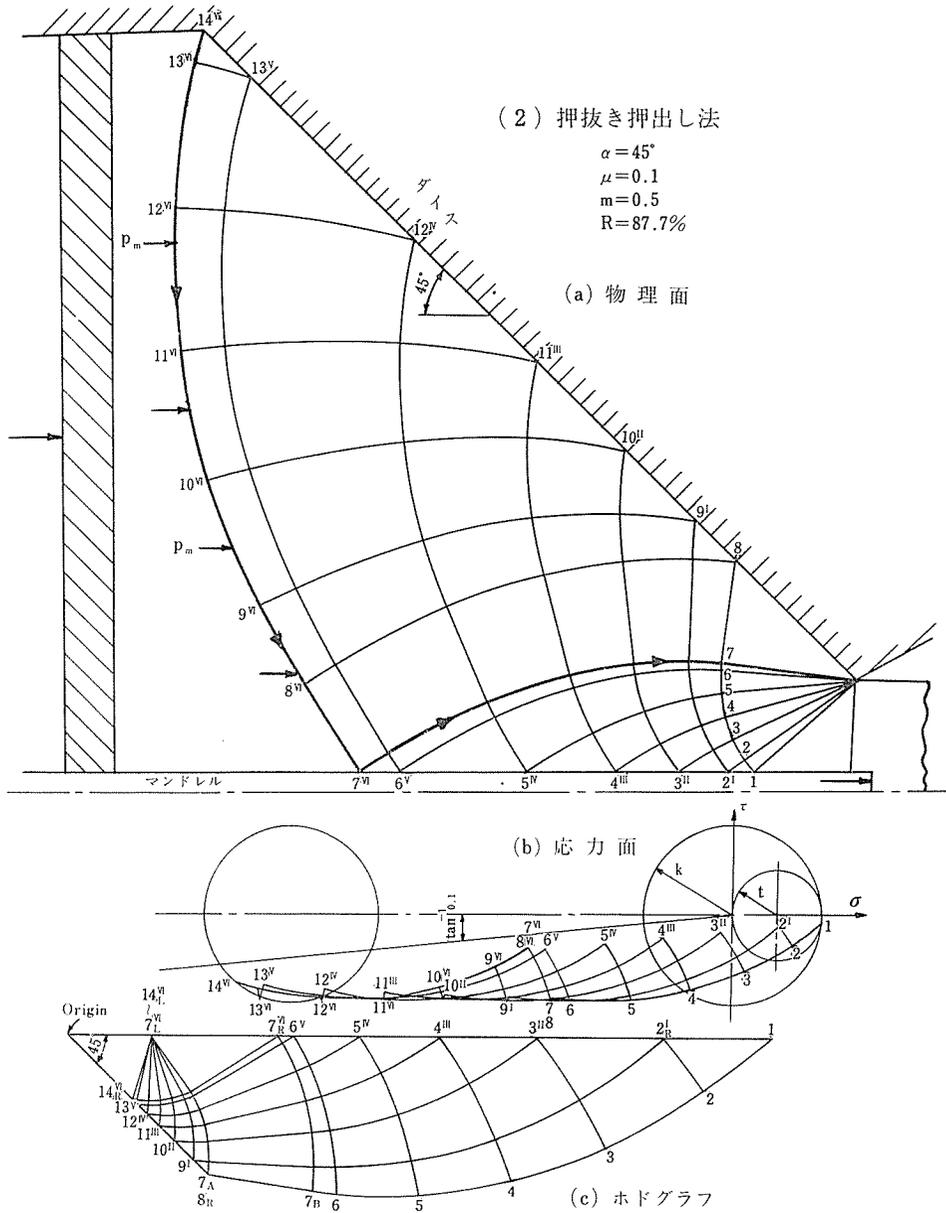
* 精密工学教室 助教授

** 精密工学教室 技官

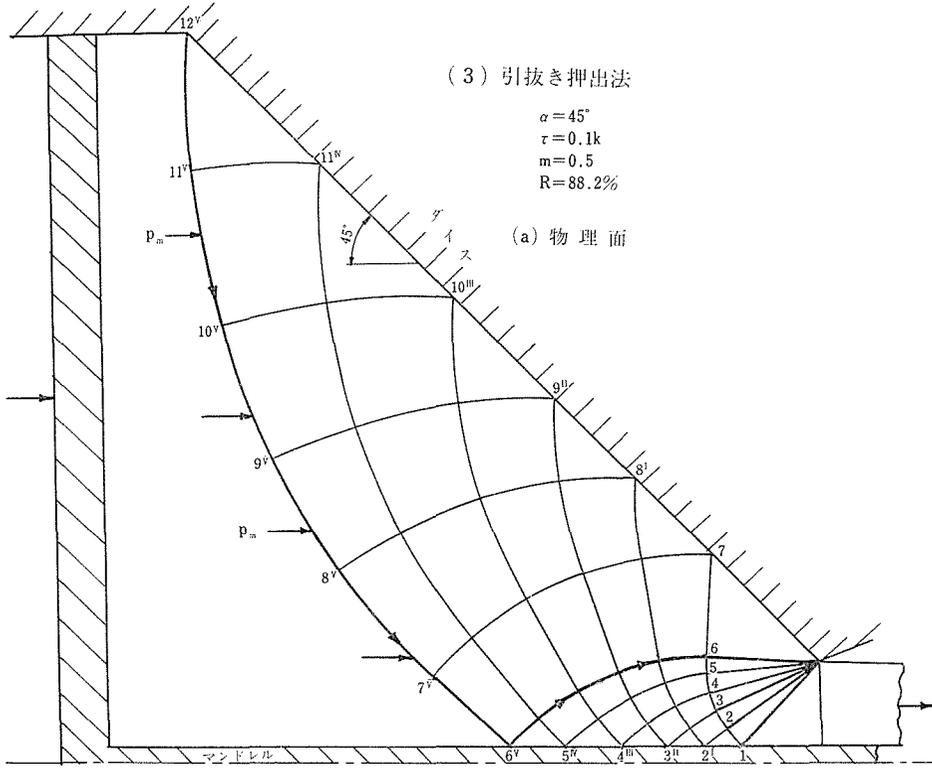


(1)

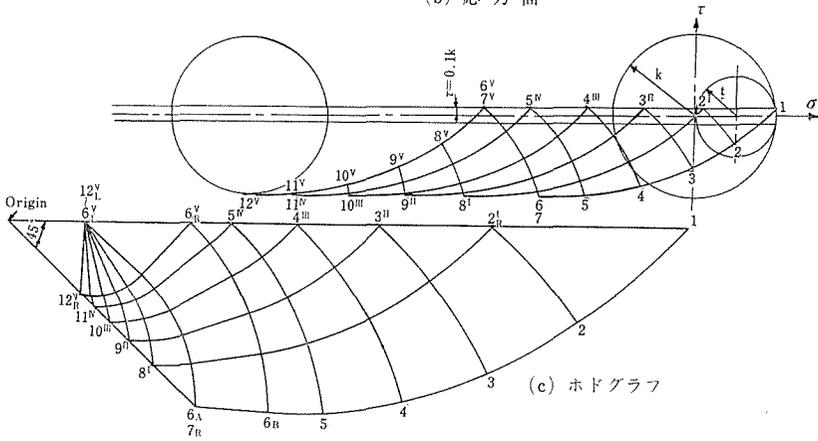
第2図 すべり線場解



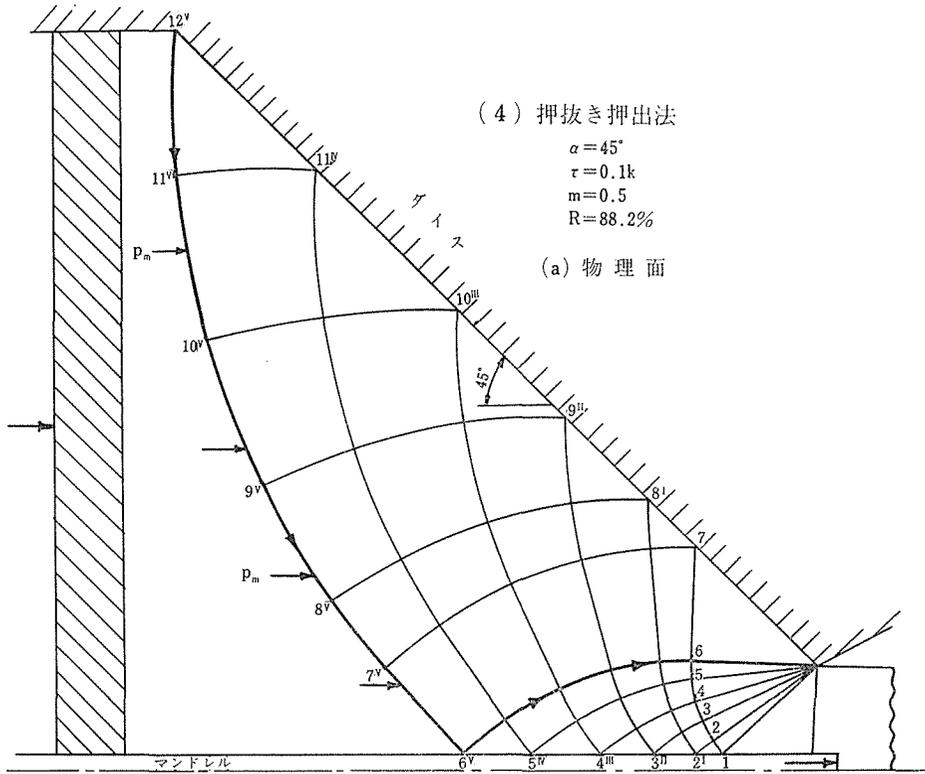
第2図の2 (2)



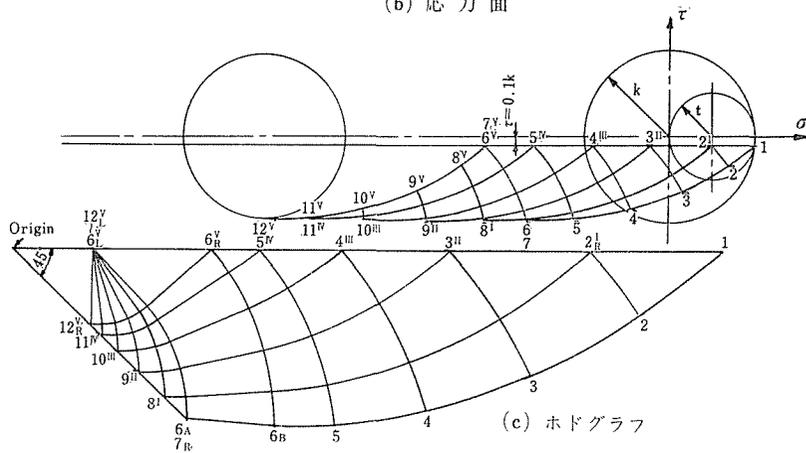
(b) 応力面



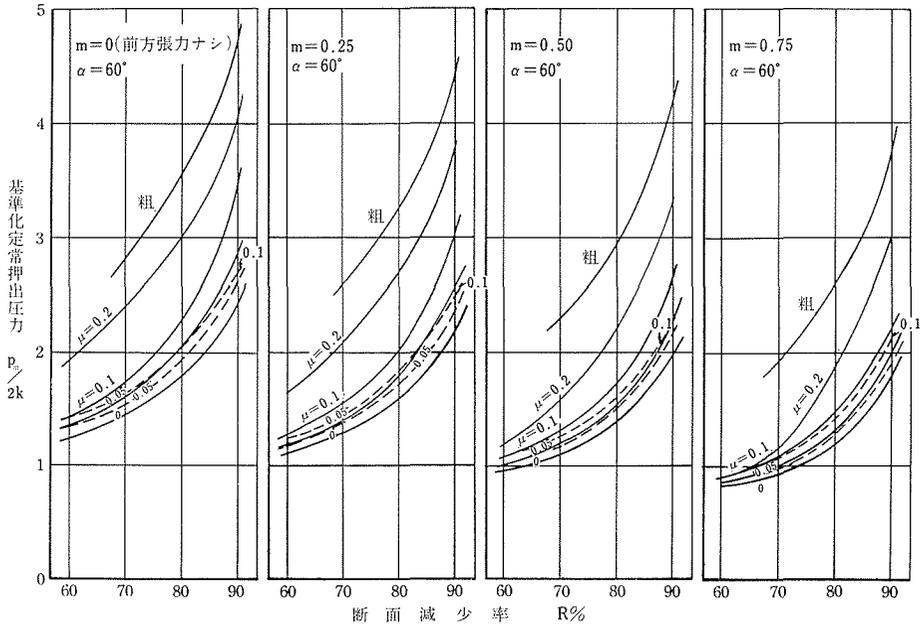
第2図の3 (3)



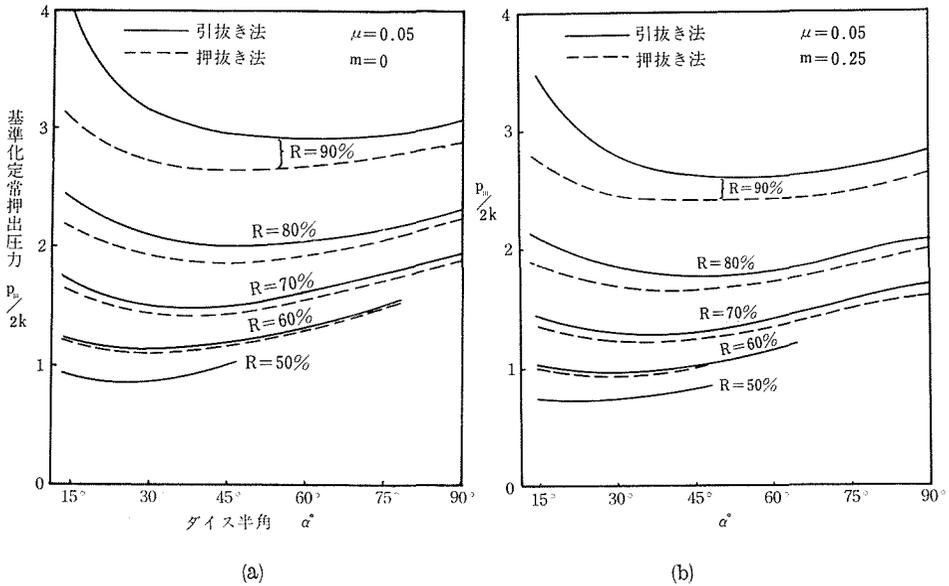
(b) 応力面



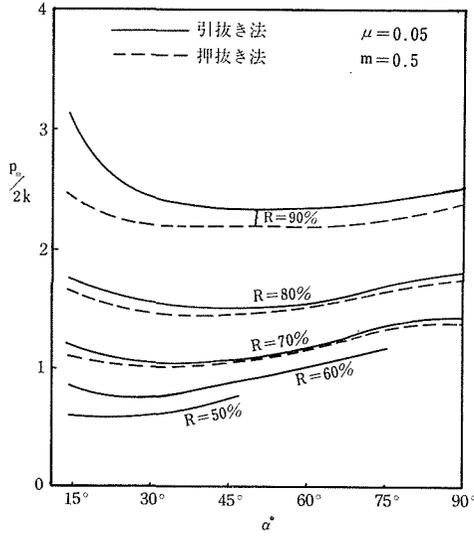
第2図の4 (i)



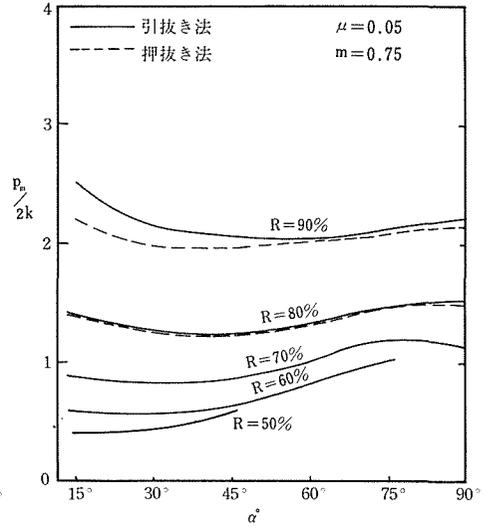
第3図 すべり線場法により得られた定常前方押出圧力と断面減少率の関係
 $\alpha = 60^\circ$ (実線は引抜き法, 点線は押抜き法)



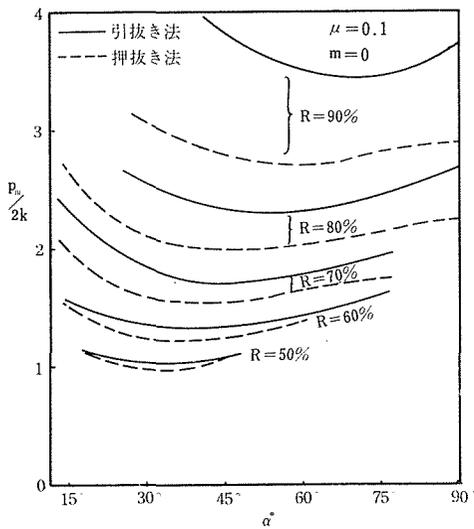
第4図 すべり線場法により得られた定常押出圧力とダイス半角との関係
 (クーロン摩擦)



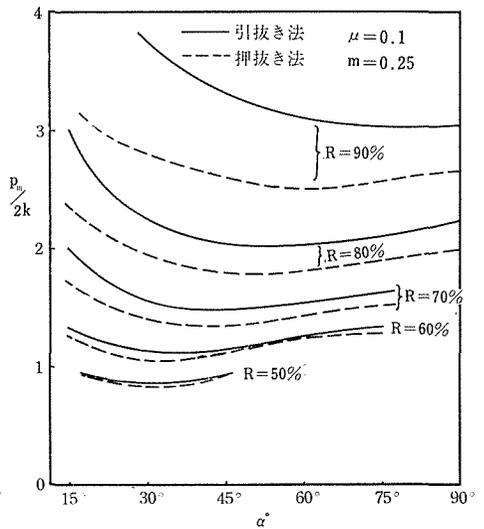
(c)



(d)

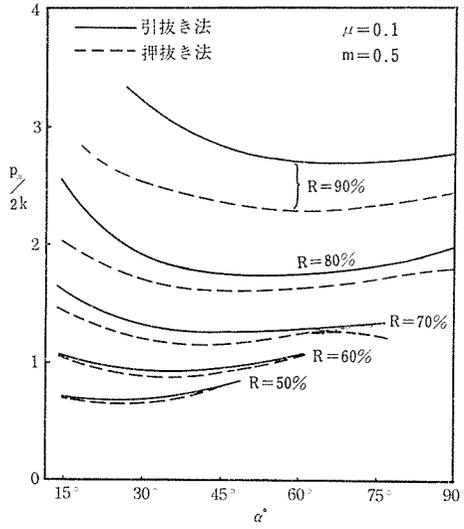


(e)

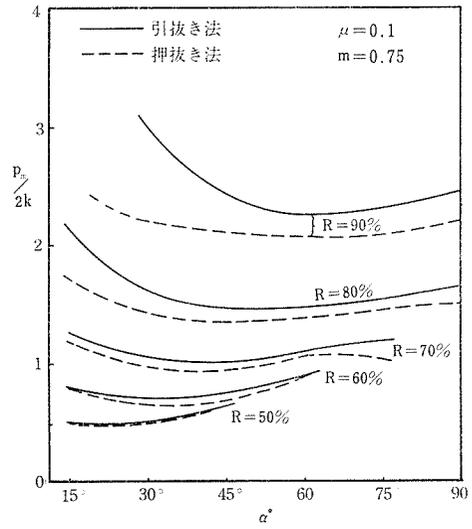


(f)

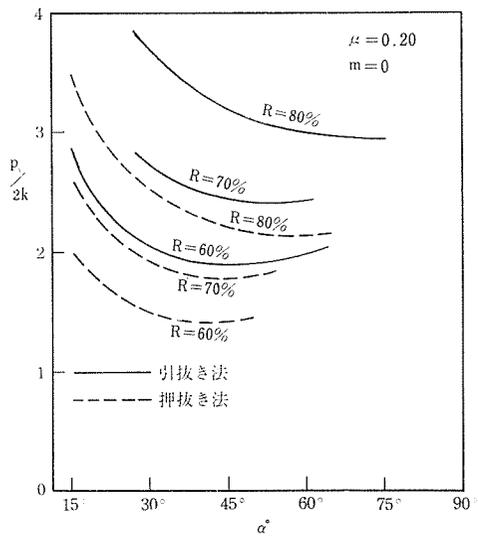
第4図の2



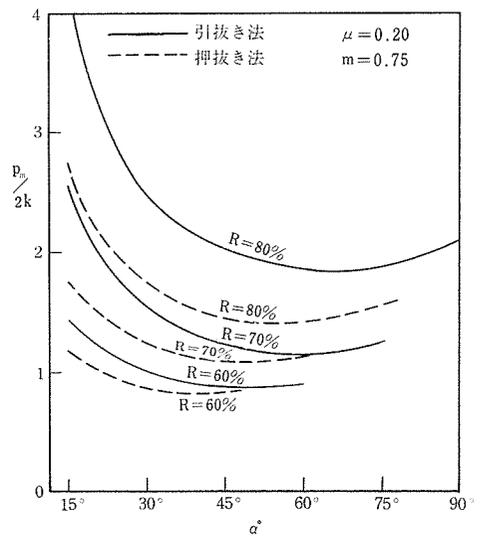
(g)



(h)

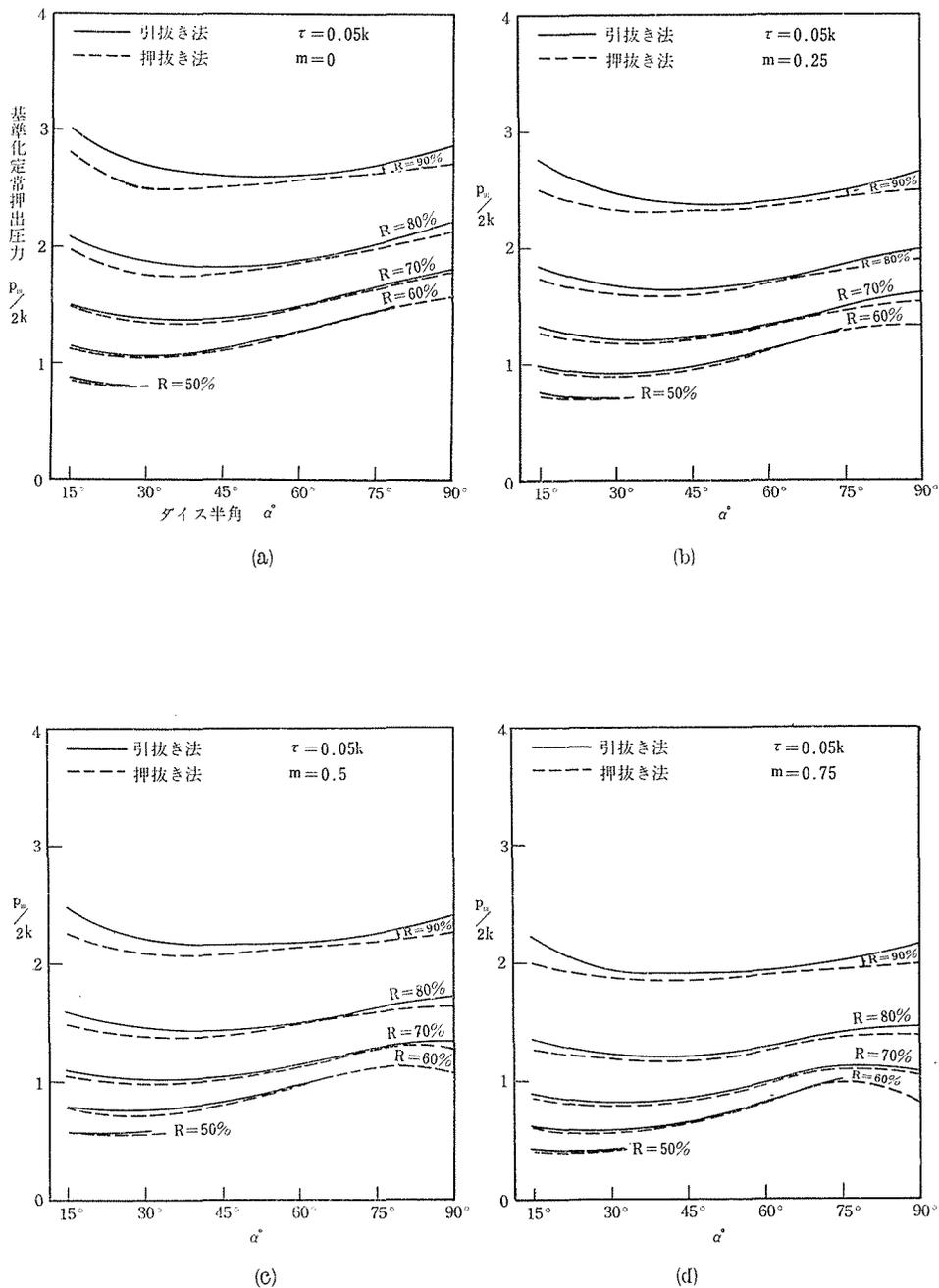


(i)

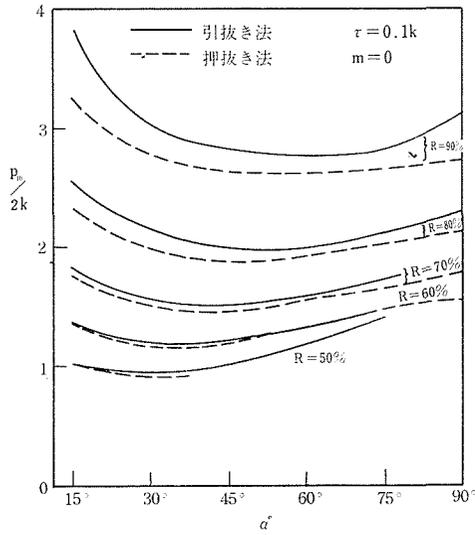


(j)

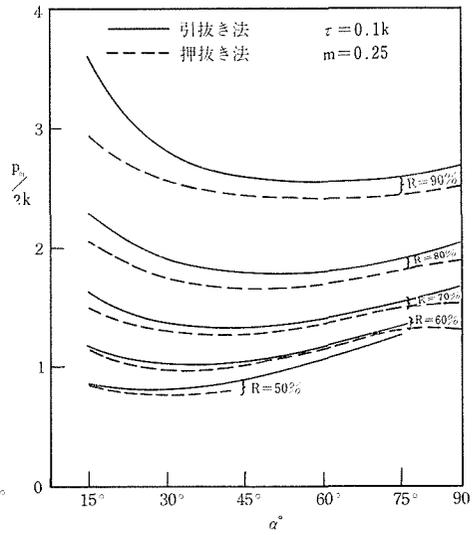
第4図の3



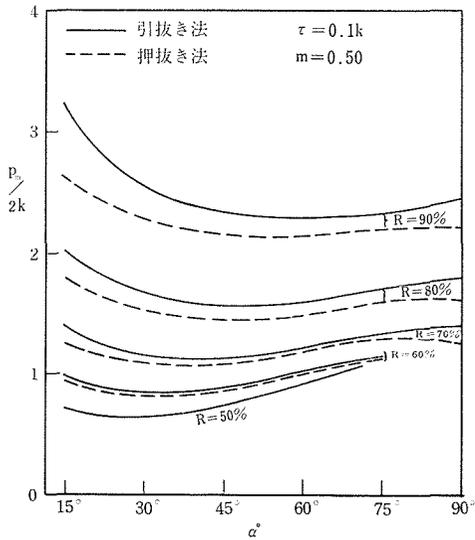
第5図 すべり線場法により得られた定常押出圧力とダイス半角との関係
(摩擦応力 τ 一定)



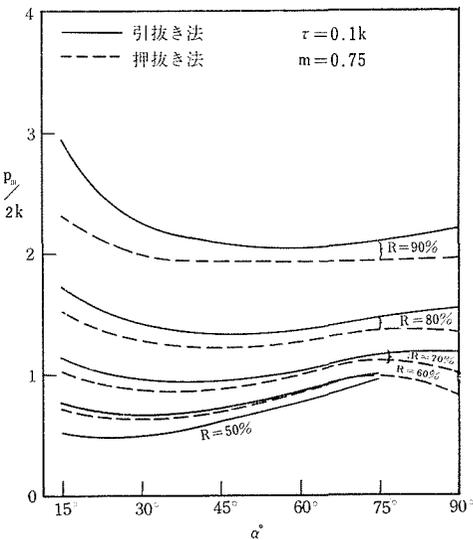
(e)



(f)



(g)



(h)

第5図の2

向が異なるのみである。解析にあたって前方張力 $2t$ は、管材の一様せん断降伏応力 k の2倍まで加えることが理論上可能であり、 $2t/2k = m$ なる量によって張力を示した。また、工具と管材間の摩擦条件は、ダイスおよびマンドレル上に同一のクーロン摩擦 μ (0.05, 0.1, 0.2, sticking) が働くとき、摩擦応力 $\tau = nk$ ($n = 0.05, 0.1$) が一定の両条件を検討した。

解析方法は、管材押し口の境界すべり線が直線であるようなすべり線場と、Prager の応力面の助けを借りてえがき、得られた押し圧力はダイス全巾面にわたる平均押し圧力 p_m をもって示した。

解析に用いたおもなすべり線場解の例を第2図に示す。(1)と(3)は引抜き押出法、(2)と(4)は押抜き押出法、それぞれダイス半角 $\alpha = 45^\circ$ 、前方張力 $m = 0.5$ で、(1)と(2)は摩擦係数 $\mu = 0.1$ 、(3)と(4)は摩擦応力 $\tau = 0.1k$ である。いずれも(a)物理面(すべり線場)、(b)Pragerによる応力面、(c)ホドグラフである。

ダイス半角 $\alpha = 60^\circ$ における前方張力 m (0, 0.25, 0.5, 0.75)、引抜きおよび押抜き両張力、摩擦係数 μ (0, 0.05, 0.1, 0.2 および sticking) などが押し圧力におよぼす影響を、断面減少率 R に対し第3図に示す。 $R = 60\%$ 以上においては、前方張力が大になるに従い押し圧力は次第に低下し、両張力法の差がみられなくなる。

冷間で押しを行なうさいに考えられる摩擦係数 ($\mu = 0.05, 0.1, 0.2$) に対し、両張力方法が押し圧力におよぼす影響を、ダイス半角 α に対し解析した結果は、第4図(a)~(j)に示す。また、一定摩擦応力 ($\tau = 0.05k, 0.1k$) における同様な結果は、第5図(a)~(h)に示す。

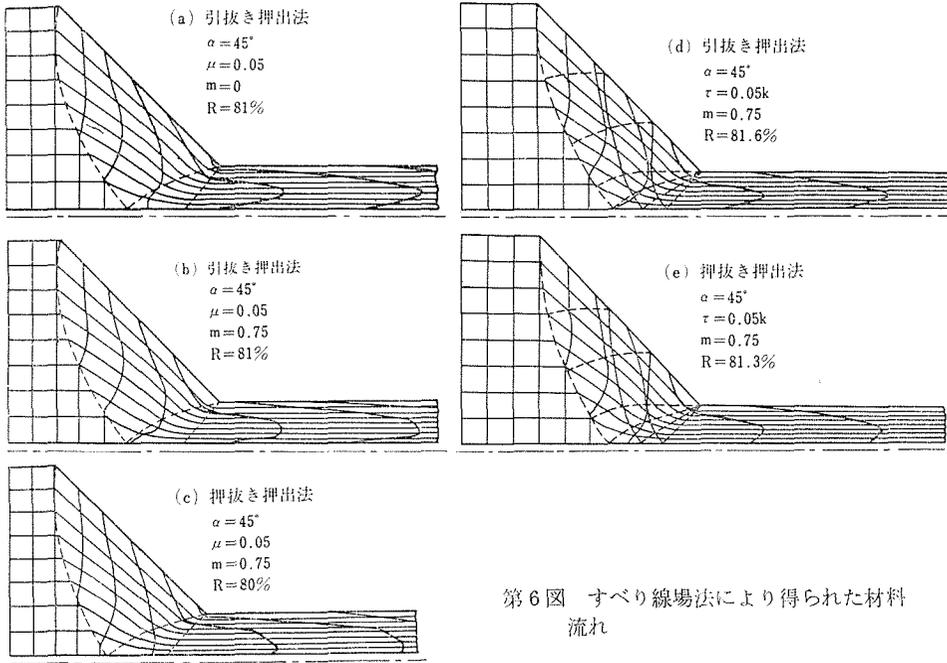
解析結果より、良好な摩擦での断面減少率50~60%の押し圧力には、両張力方法の差はみられないが、 $\mu = 0.1 \sim 0.2$ の摩擦に近づくと、押抜き法の有効なことが示される。 $R = 50 \sim 60\%$ における最適ダイス角は、検討した範囲内では約30°近辺に存在した。断面減少率一定のもとでの押し圧力の最低を示す最適ダイス角は、張力が大になると共にダイス角の大なる方へ移り、かつ最適ダイス角の範囲が広がる傾向にある。

材料流れの見地より、クーロン摩擦と一定摩擦応力の両者同程度の条件を比較するとき、押抜き押出法が引抜き押出法よりやや一様な流れになることが第6図よりみられた。デッドメタル発生は、押抜き法が同様に有利であり両押出法とも張力が大になるほどデッドメタルが発生しにくいことがわかった。

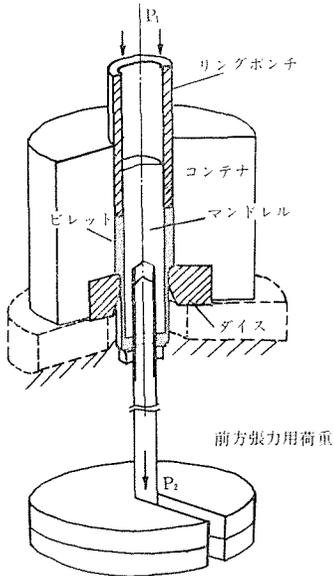
3 軸対称前方張力付押出実験

押し実験に用いた材料は工業用純鉛で、これを適当な棒状に溶解し後方押出加工によって外径15mm、内径10mmおよび11mmの底付円筒素管を作成した。素管が前方押出用円すいダイスに最初接触する部分は、あらかじめダイス角に合わせて切削しておき、ダイス面上の潤滑膜を素管のかどで破らないよう考えた。

前方張力付押出実験装置は、第7図に示される。コンテナ内径は15mm、ダイス面は円すい面で、出口直径 d_1 、円すい半角 α 、マンドレル径 d_2 および断面減少率は第1表に示す。工具表面の粗さは1Sから3Sで仕上げた。



第6図 すべり線場法により得られた材料流れ



第7図 前方張力付押出実験装置概略図

第1表 使用工具寸法と断面減少率(%)

| ダイス半角 α | 15° | 15° | 30° | 30° | 45° | 45° |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ダイス径 d_{1mm} | | | | | | |
| マンドレル径 d_{2mm} | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 |
| 10 | 45 | 65 | 45 | 65 | 45 | 65 |
| 11 | 54 | 78 | 54 | 78 | 54 | 78 |

注：コンテナ内径は15mm

張力を付加する方法は、マンドレル先端に素管底部を通して一定張力が押し出し口前方向へかかるよう重錘をつるした。この付加方法は押抜き法になる。

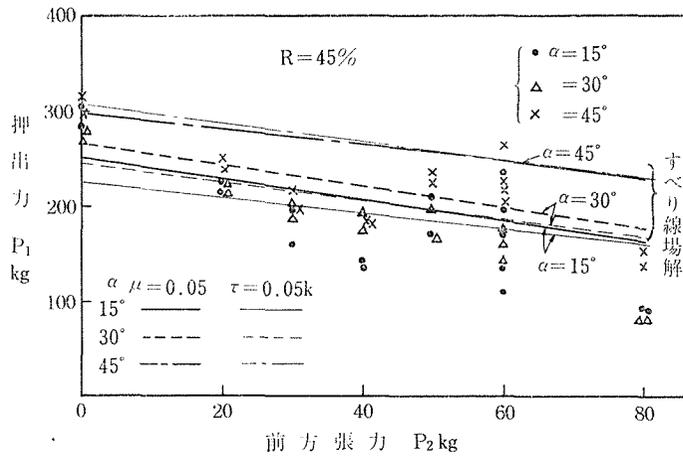
潤滑剤は、ラノリンを使用した。実験はすべて15 ton 万能材料試験機を用い、前方押し出し用リングポンチの前進速度は約0.2mm/secになるよう調節した。押し出し荷重とストロークの関係は、試験機の自記々録装置によった。

押し出し実験における荷重とストロークの関係は、次の

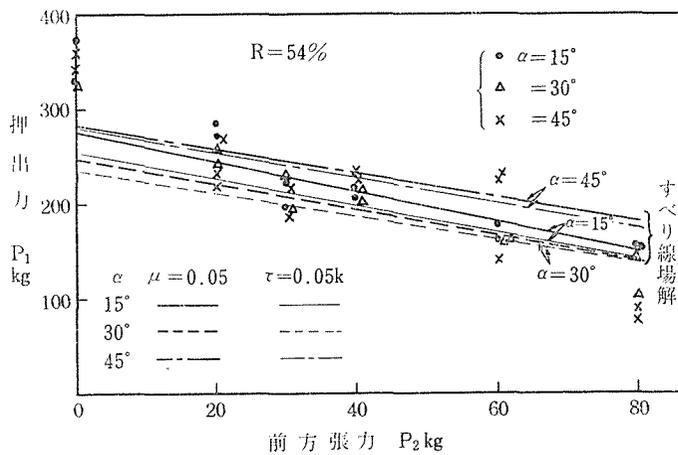
ような三つの場合が起ったが、それぞれによって定常押出荷重を決めた。すなわち、押出中ほぼ一定の押出荷重を示す低断面減少率の押出においては、その一定押出荷重。押出初期がやや高く、押出し進行と同時に徐々に低下する中断面減少率の押出においては、その最終荷重。第3は、ストローク後半においてリングボンチとコンテナ間にバリ発生による圧力上昇がみられるときは、その直前の最低荷重。

4 実験結果とその検討

各断面減少率 R に対するダイス半角 α の押出力 P_1 におよぼす影響は、第8図に示され

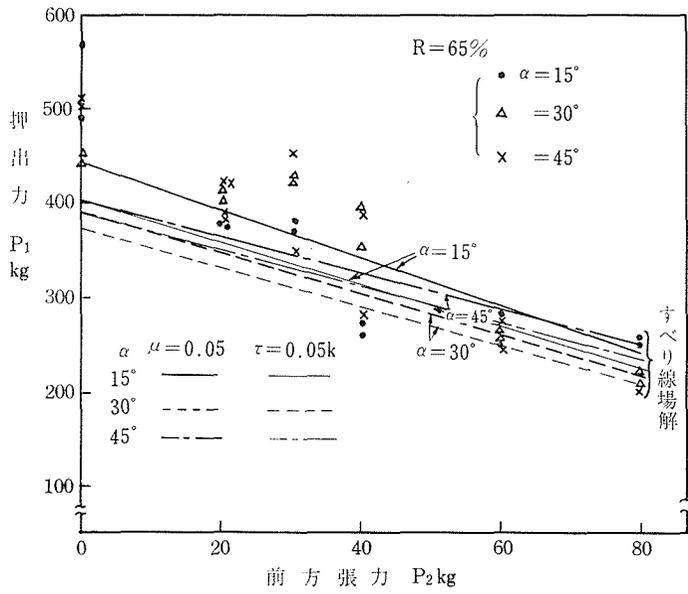


(a)

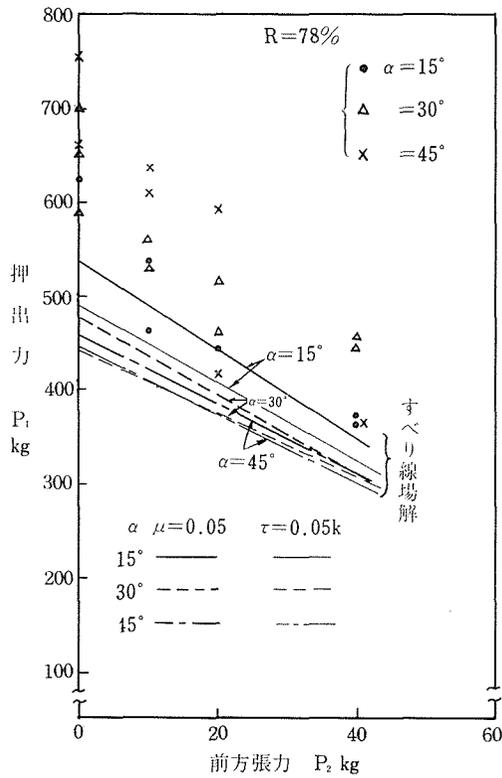


(b)

第8図 鉛材の管の前方張力付押出実験結果



(c)

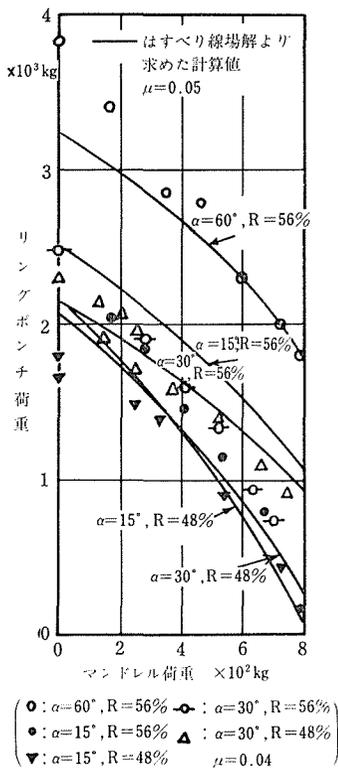


(d)

る。張力 P_2 の増大にともなう押出力 P_1 の低下は、工藤ら⁷⁾の Al に対する報告と同様顕著に認められた。ダイス半角の押出力 P_1 に対する影響は、張力 P_2 の増大にかかわらず各断面減少率において $\alpha = 15^\circ \sim 30^\circ$ が僅か低く、 $\alpha = 45^\circ$ がやや高い傾向にあった。

平面ひずみ押出のすべり線場解析結果は、軸対称問題にかなり定性的対応があることが知られている。そこで、平面ひずみと軸対称両押出しで、同一ダイス角、断面減少率のさい、定常押出の基準化圧力 $p_m/2k$ が同一となる対応法(1)²⁾によって押抜き押出法の解析結果を換算した。このさいに用いた工業用純鉛の圧縮加工速度 0.2mm/sec での平均変形抵抗 Y_m は 2.8kg/mm^2 で、 $2k_m \approx 3.2\text{kg/mm}^2$ である。

第8図には、このような方法で $\mu = 0.05$ と、摩擦応力 $\tau = 0.05k$ 一定の両摩擦条件の場合について計算した軸対称管材の定常押出力 P_1 を、各ダイス半角に対してプロットした。いずれの摩擦条件でも、低断面減少率をのぞき全般に実験結果は理論結果よりやや高くなっており、とくに断面減少率の大なる所でその差が大きくなっている。二つの摩擦条件を比較すると、断面減少率の大なる所では、 $\tau = 0.05k$ が $\mu = 0.05$ の摩擦状態より実験との差が幾分大きいことがわかる。高い断面減少率で理論結果が実験結果より低いことは工藤ら^{1,2)}が Al 棒材押出加工において述べていることと一致する。



第9図 工藤ら⁷⁾による Al の管の前方張力付押出実験結果と著者らの理論結果との比較

押出圧力に対するダイス半角の影響について $R=45\%$ と 54% において実験結果と理論結果はよき一致を示しているが、それより大なる断面減少率においては一致を示していない。

第9図は、工藤ら⁷⁾の Al にかんする前方張力付管材押出し実験結果に、著者らのすべり線場解より求めた押出力を示す。このさいの換算法は、前述の鉛に対する場合と同じ対応法(1)により、加工硬化の補正は Hill¹⁰⁾の方法によった。 Al に対する実験と著者らの理論結果は、断面減少率が低いためかよく一致した。

材料流れにかんし、 $\alpha = 30^\circ$ 、 $R = 45\%$ で張力のない鉛の管材押出しと、 40kg 張力をかけたときの半割り試片上の網目より観察した結果は、ダイス側に明瞭な張力効果とみられる横線の曲りの小さいのがみられた。これは、張力による摩擦力の低下のためと思われる。第6図に示された平面ひずみ解析結果から得られた流線と観察された結果は定性的に一致した。

5 結 論

管の平面ひずみ押出における加工圧力と材料流れにかんするダイス角度、摩擦条件、張力付加方法および前方張力の影響を断面減少率90%までにわたりすべり線場法によって解析を行なった。

これらの結果と前方張力を付加した鉛の軸対称押出実験結果から、押出圧力を最低にするところの最適ダイス角度にかんする定性的な一般則が見出された。すなわち、最適ダイス角度は、断面減少率と摩擦が増大するにしたがい増加する。そして、50%から60%までの断面減少率に対する最適ダイス半角は、約 30° である。これらの傾向は、中実材とか管の前方押出解析結果に非常に似ている。

理論と鉛の冷間押出実験の比較において、前方張力を付加した管の軸対称押出における加工圧力は、もし摩擦条件が知られているならば、平面ひずみ解析の結果から計算することが可能であることを示す。

本研究の一部は工業技術院機械試験所にて行ない、そのさいに種々御世話になった中村 虔一前部長、高橋裕男課長ならびに横浜国大工藤英明教授に、また電子計算機の使用に御便宜をはかっていただいた本学後藤克也教授、実験に協力いただいた中川政也君（現川崎重工）に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) 工藤英明, 田中英司, 高橋裕男: 第13回塑性加工連合講演会前刷集(1962), 97.
- 2) 工藤英明, 高橋裕男, 篠崎吉太郎, 田中英司: 日本機械学会誌, 第67巻, 第542号(1964), 392.
- 3) 工藤英明, 高橋裕男, 篠崎吉太郎: 第15回塑性加工連合講演会前刷集(1964), 17.
- 4) 高橋裕男, 篠崎吉太郎, 工藤英明: 第16回塑性加工講演会前刷集(1965), 213.
- 5) W. Johnson: J. Mech. Phys. Solids, 3, (1955), 218.
- 6) H. Kudo and H. Takahashi: Annals of the C. I. R. P. Vol. XIII (1965), 73.
- 7) 工藤英明, 篠崎吉太郎, 三谷修三: 第19回塑性加工連合講演会前刷集(1968), 77.
- 8) W. Johnson and H. Kudo: The Mechanics of Metal Extrusion, (1962), Manchester Univ. Press.
- 9) 清野次郎: 第20回塑性加工連合講演会前刷集(1969), 425.
- 10) R. ヒル: 塑性学, (昭29), 培風館.

Summary

Extrusion of Cans with Front Tension

Jiro SEINO and Motoi MACHIDA

(Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering)

The effects of die angle, frictional condition, tensile method and front tension on the working pressure and metal flow in plane strain extrusion of cans are analysed by means of the slip-line field method for reduction of area up to 90 percent.

From these results and from the experimental results of the axisymmetrical extrusion of lead with front tension, a general qualitative law on the optimum die angle which minimizes the working pressure is established; this states that the optimum die angle increases with reduction and friction, and the angle for reduction of area from 50 percent to 60 percent is about 30° . These tendencies are very similar to the analytical results of the forward extrusion of bars and cans.

A comparison between the theory and an experiment on cold extrusion of lead indicates that the working pressure in the axisymmetrical extrusion of tubes with front tension can be calculated from the result of the plane-strain analysis if the frictional condition is known.