

非ニュートン流体のスクリー・エクストルーダ による押し出し

The Extrusion of Non-Newtonian Material by a Screw-Extruder

平塚 幸哉*
Kôsai Hiratsuka

堀口 徳夫*
Norio Horiguchi

長江 一則*
Kazunori Nagae

内 容 梗 概

粘度曲線が $dv/dy = \alpha\tau^n$ であらわされるような非ニュートン流体をエクストルーダで押し出す際のスクリー特性および所要動力を、見かけ粘度を用いて線形化して計算する方法について検討した。

高分子の吐出量を与える見かけの粘度は、スクリーみぞ内の流体の平均ずり速度における微分粘度で、所要動力を与える見かけ粘度は真の粘度で近似して、実用上十分な精度のあることがわかった。

実際のスクリーエクストルーダで熔融高分子を押し出したときの特性を調べるために、スクリー径 30 mm, ネジのピッチ 30 mm, スクリュー全長 630 mm, 圧縮比 2 のエクストルーダを用いてポリエチレンの押し出し実験を行ない、スクリー特性および所要動力を測定し、実測値が理論値とかなり良く一致することを確かめた。

1. 緒 言

スクリーエクストルーダによる熔融高分子の押し出し過程については、熔液がニュートン流体である場合⁽¹⁾はもとより、種々の非ニュートン特性を持つ場合についても計算が行なわれている。たとえばずり速度 $G = dv/dy$ とせん断応力 τ との関係が $G = \alpha\tau^n$ であるときは松本氏ら⁽²⁾が、 $G = \alpha\tau^n$ のべき乗則のときは服部氏⁽³⁾が、 $G = \eta(\tau + \beta\tau^3)$ の Rabinowitch 式には吉田氏⁽⁴⁾、Deffauen⁽⁵⁾が、 $G = (\tau - \kappa B)/\eta$ の Bingham 式については森氏⁽⁶⁾⁽⁷⁾が計算結果を発表している。

粘度曲線が非線形ของときは計算結果が簡単な数式では表わせず、すべての報告では流量、ずり速度、圧力こう配などを無次元化して得た二ないし三個の変数のグラフにまとめ、図式計算する方法を採用している。

これらの方法をみぞ深さが変化する実際のエクストルーダに適用しようとする、計算が複雑になるので、実用上からは簡単な近似解法が望ましい。本報告では $G = \alpha\tau^n$ の特性を持つ非ニュートン流体が押し出されるときの見かけ粘度を求めて近似計算する方法を検討した。

エクストルーダ内の流れを理想化して求めた理論解が実際の特性を与えるかどうかを確かめるため、スクリー断面が三段に変化するエクストルーダでポリエチレンの押し出し実験を行ない、スクリー特性、回転トルクの計算値と実測値との比較を行なった。

2. 押し出しの理論式

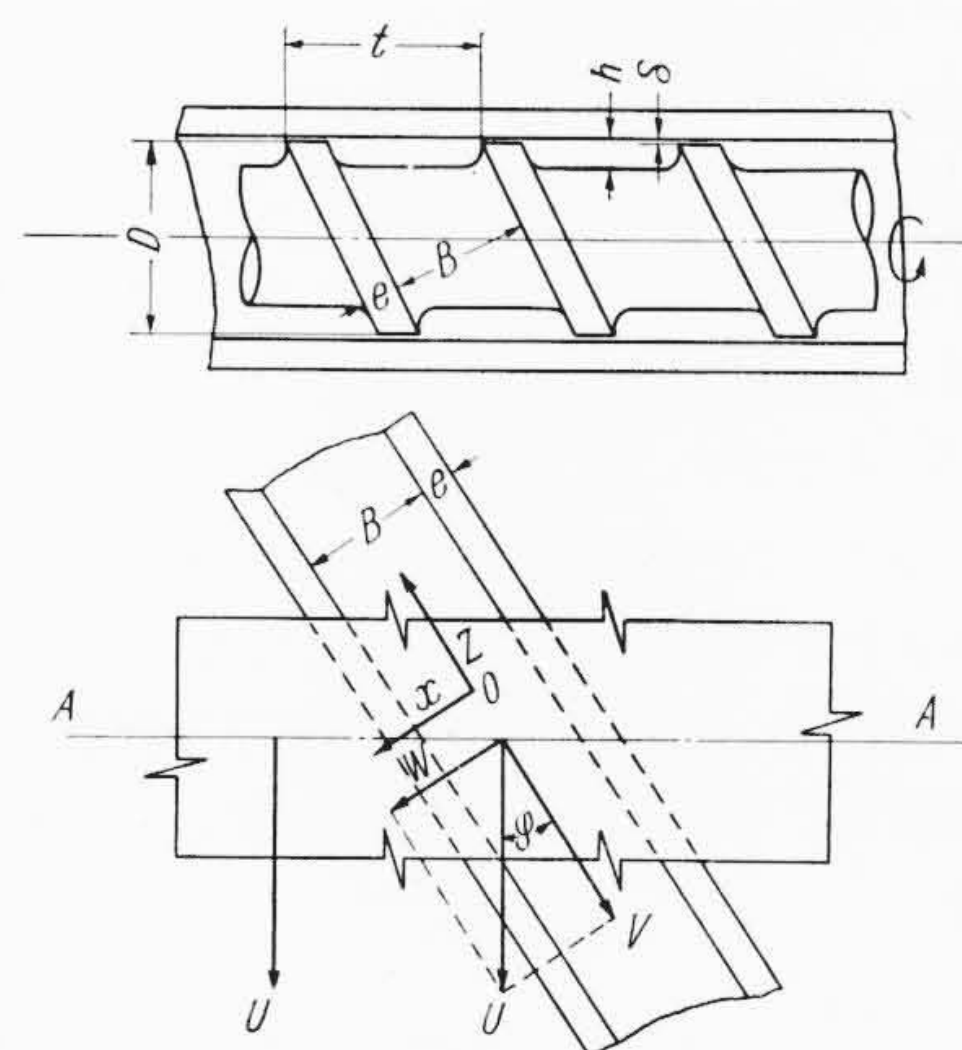
2.1 ニュートン流体押し出しの理論式

スクリー・エクストルーダ内の熔融高分子の流れ機構を明らかにするため、第1図に示すように、スクリーを軸方向に切断し、平面に展開して考える。みぞの深さ方向に y 軸、みぞと平行に z 軸を取り、みぞ幅を B 、みぞ深さを h 、液の粘度を η 、 z 軸に沿っての圧力こう配を $\xi = dp/dz$ 、流体の z 方向の流れ速度を v 、外筒とスクリーとの相対速度を V とする。みぞの深さに比べてみぞ幅が大きいものとし、みぞ幅方向の速度変化を無視して、一次元流れと仮定すると、みぞ断面を流れる熔融高分子の体積流量 Q は、

$$Q = \int_0^h B v dy = \frac{VBh}{2} - \frac{Bh^3}{12} \xi \dots\dots\dots (1)$$

となる⁽¹⁾。(1)式の右辺の第一項は推進流れ (drag flow)、第二項は背圧流れ (pressure flow) と呼ばれているものであって、これら

* 日立製作所笠戸工場



第1図 スクリュー形状およびその展開図

をそれぞれ Q_D , Q_P で表わすことにする。

スクリーが一条ネジで歯幅 $e=0$ である場合を考えると、スクリー外径を D 、ネジのピッチを t 、ねじれ角を φ 、スクリー軸方向に測った長さを λ 、全長を L 、回転数を N として(1)式を書き替えると、

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 h \cos \varphi \sin \varphi}{2} N - \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12 \eta} \left(\frac{dP}{d\lambda} \right) \dots\dots\dots (1-a)$$

が得られる。スクリー特性すなわち圧力上昇 P 、吐出量 Q 、回転数 N の間の関係は (1-a) 式を λ に関して積分することによって求められる。たとえばみぞ深さ、粘度およびねじれ角が一定のときには、

$$P = \frac{6 \pi D L \eta}{h^2 \tan \varphi} N - \frac{12 \eta}{\pi D h^3 \sin^2 \varphi} Q \dots\dots\dots (2)$$

みぞ深さが h_1 から h_2 まで直線的に変化するときには、

$$P = \frac{6 \pi D L \eta}{h_1 h_2 \tan \varphi} N - \frac{6 (h_1 + h_2) \eta}{\pi D h_1^2 h_2^2 \sin^2 \varphi} Q \dots\dots\dots (2-a)$$

となる。

スクリーを回転させるに必要な動力はみぞ内の流体の抵抗による動力 Z_1 と、歯と外筒間の流体の抵抗による動力 Z_2 とに分けて計算することができる。

みぞに沿っての微小長さ $d\lambda$ 部分の消費動力 dZ_1 は

$$dZ_1 = \frac{f \pi^3 D^3 \eta N^2}{h} d\lambda + \frac{Q_P}{\cos^2 \varphi} dP \dots\dots\dots (3)$$

となる⁽⁸⁾。 f は有効みぞ幅とピッチとの比である。実際の計算には次式のように書き直したほうが便利である。

$$dZ_1 = \frac{f\pi^3 D^3 \eta N^2}{h} \left(1 + \frac{3}{\cos^2 \varphi} \frac{Q_P}{Q_D}\right) d\lambda \dots\dots\dots (3-a)$$

同様に dZ_2 は歯厚を e 、外筒と歯先のすき間を δ とすると

$$dZ_2 = \frac{\pi^2 D^2 e \eta N^2}{\delta \sin \varphi} d\lambda \dots\dots\dots (3-b)$$

と書ける。みぞ深さ、粘度、ねじれ角が一定のときの全所要動力は (3-a)、(3-b) 式を加えて積分して

$$Z = \frac{f\pi^3 D^3 L N^2}{h} \eta \left(1 + \frac{3}{\cos^2 \varphi} \frac{Q_P}{Q_D}\right) + \frac{\pi^2 D^2 e L N^2 \eta}{\delta \sin \varphi} \dots\dots\dots (4)$$

みぞ深さが h_1 から h_2 まで直線的に変化するときには

$$Z = \frac{f\pi^3 D^3 L N^2}{\bar{h}_L} \eta \left(1 + \frac{3\zeta}{\cos^2 \varphi} \frac{Q_P}{Q_D}\right) + \frac{\pi^2 D^2 e L N^2 \eta}{\delta \sin \varphi} \dots\dots\dots (4-a)$$

となる。ただし $\bar{h}_L$ は $h_1 h_2$ の対数平均、 ζ は 1 に近い修正係数である。

2.2 $G = \alpha \tau^n$ の場合の理論式

多くの熔融高分子の粘度曲線はベキ乗則

$$G = \alpha \tau^n \dots\dots\dots (5)$$

で良く近似できることが知られている⁽⁹⁾。ここで α 、 n は高分子の種類によって定まる定数である。

粘度曲線が (5) 式で表わされる流体の押し出し計算はすでに服部氏が行なっている⁽³⁾。 $\tau=0$ の面すなわち応力中立面を y 座標の原点に選べば、面 y のせん断応力は $\tau = \xi y$ となる。応力中立面から外筒壁面までの距離を h_1 、スクリー表面までの距離を h_2 と置き、吐出量 Q および圧力こう配 ξ を h_1 、 h_2 の関数として表わすと、次の関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{1}{a^{n+1} - b^{n+1}} \left[\frac{n}{n+2} (a^{n+2} \pm b^{n+2}) \pm a^{n+1}b + ab^{n+1} \right] \\ K_2 &= \left(\frac{n+1}{a^{n+1} - b^{n+1}} \right) \frac{1}{n} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_1 \equiv \frac{Q_P}{Q_D} = \frac{Q_P}{\frac{BhV}{2}}, \quad K_2 \equiv \frac{h\xi}{\left(\frac{V}{\alpha h}\right)^{\frac{1}{n}}}, \quad a = \frac{h_1}{h} \dots\dots\dots (7)$$

ただし $b=1-a$ ($a < 1$)、 $b=a-1$ ($a \geq 1$) で $a \geq 1$ のとき、複号は負の値をとる。

服部氏は K_1 対 a 、 K_2 対 a のグラフを作成し、図式計算からスクリー特性を求める方法を提案している。

3. 見かけ粘度による近似計算法

3.1 見 かけ 粘 度

前章に述べた図式計算法は厳密ではあるけれども、運転条件によって吐出量、吐出圧がどのように変るか見通しをつけにくい。ニュートン流体の場合のスクリー特性、所要動力などはたとえば (2-a)、(4) のような簡単な式で与えられる。非ニュートン流体の場合にも、適当な粘度 η_a を定義して、これらの式からスクリー特性あるいは所要動力を計算する方法が考えられる。このような粘度 η_a を見かけの粘度と呼ぶことにする。

見かけの粘度はスクリー回転数、みぞ深さ、圧力こう配などの関数であるけれども、もし見かけ粘度の近似値が粘度曲線 $G=f(\tau)$ から簡単に計算できるものであれば、見かけ粘度を用いて非ニュートン流体を線形化して計算する方法は実用性が高いといえる。以下

見かけの粘度がどのように表現できるかについて検討することにする。

3.2 スクリュー特性を与える見かけ粘度

スクリーみぞを流れる流体のみぞ深さ方向のせん断応力分布 $\tau(y)$ は次式で与えられる。

$$\tau(y) = \tau_0 + \left(y - \frac{h}{2}\right) \xi$$

ここで τ_0 はずり速度 V/h に対応するせん断応力 ($\xi=0$ のときのせん断応力) である。スクリーみぞを流れる粘度曲線 $G=f(\tau)$ の熔融高分子の流量 Q は

$$Q = B \int_0^h v dy = B \int_0^h \int_0^y \frac{dv}{dy} \cdot dy = B \int_0^h \int_0^y f\left\{\tau_0 + \left(y - \frac{h}{2}\right) \xi\right\} dy \dots\dots\dots (8)$$

となる。(8) 式を ξ に関して展開すると

$$Q \doteq \frac{1}{2} BVh - \frac{Bh^3 f'(\tau_0)}{12} \xi \dots\dots\dots (8-a)$$

となって、ニュートン流体の流れ式 (1) と比較すると、 ξ が小さいときには、見かけ粘度 $\eta_a = 1/f'(\tau_0)$ であることがわかる。

粘度曲線を $G=f(\tau)$ とすると粘度は $\eta = \tau/G = \tau/f(\tau)$ 、微分粘度は $\eta_D = d\tau/dG = 1/f'(\tau)$ となるから、 $1/f'(\tau_0)$ はせん断応力 τ_0 における、いい替えればずり速度 V/h における微分粘度を表わす。特に $f(\tau) = \alpha \tau^n$ のときには $\eta_D = \frac{1}{n} \eta$ であるから、 ξ が小さいときの見かけ粘度の近似式は

$$\eta_a = \frac{1}{n} \eta \dots\dots\dots (9)$$

で与えられる。

(9) 式は圧力こう配 ξ が大きいとき、したがって背圧流れ Q_P が大きいときには成り立たない。この近似式が Q_P/Q_D のどの範囲まで適用できるかを調べてみる。

$K_1 \equiv Q_P/Q_D$ 、 $K_2 \equiv h\xi(V/\alpha h)^{-1/n}$ の間の関係 $K_2 = \varphi(K_1)$ は $a = h_1/h$ をパラメータとして (7) 式で与えられている。ニュートン流体 ($n=1$) の場合には $K_1 = \frac{1}{6}$ 、 $K_2 = h\xi/6 \left(\frac{V}{\alpha h}\right)$ であって、式中の α は流動性、すなわち粘度の逆数となっている。

$n \neq 1$ のときにも見かけ粘度を導入すれば同じ形の式に書くことができる。すなわち

$$K_1 = \frac{1}{6} \cdot \frac{h\xi}{\eta_a \cdot \frac{V}{h}} \dots\dots\dots (10)$$

一方ずり速度 V/h における微分粘度は $G = \alpha \tau^n$ であるから

$$\eta_D = \frac{1}{n} \eta = \frac{1}{n} \cdot \frac{\left(\frac{V}{\alpha h}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(\frac{V}{h}\right)}$$

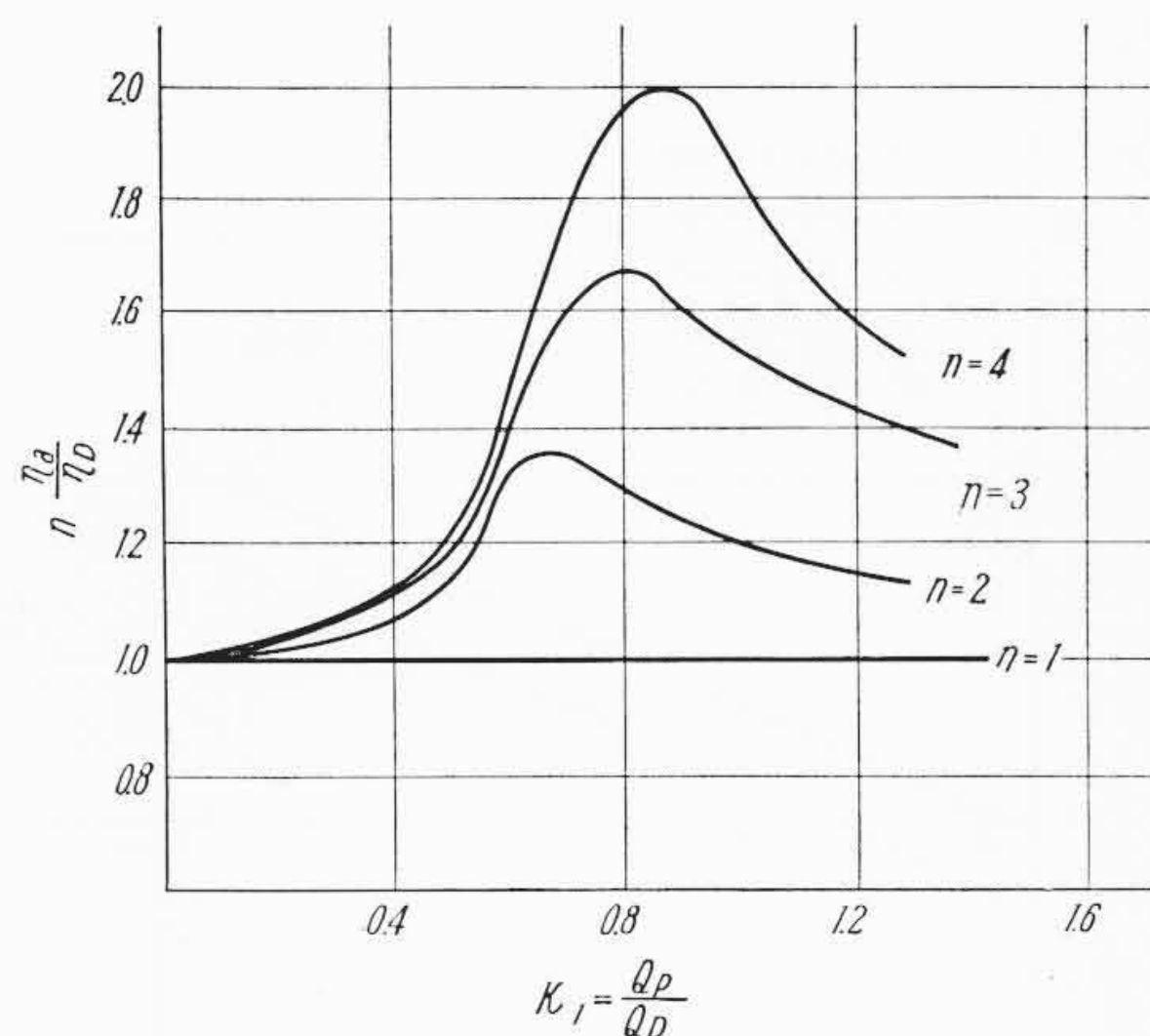
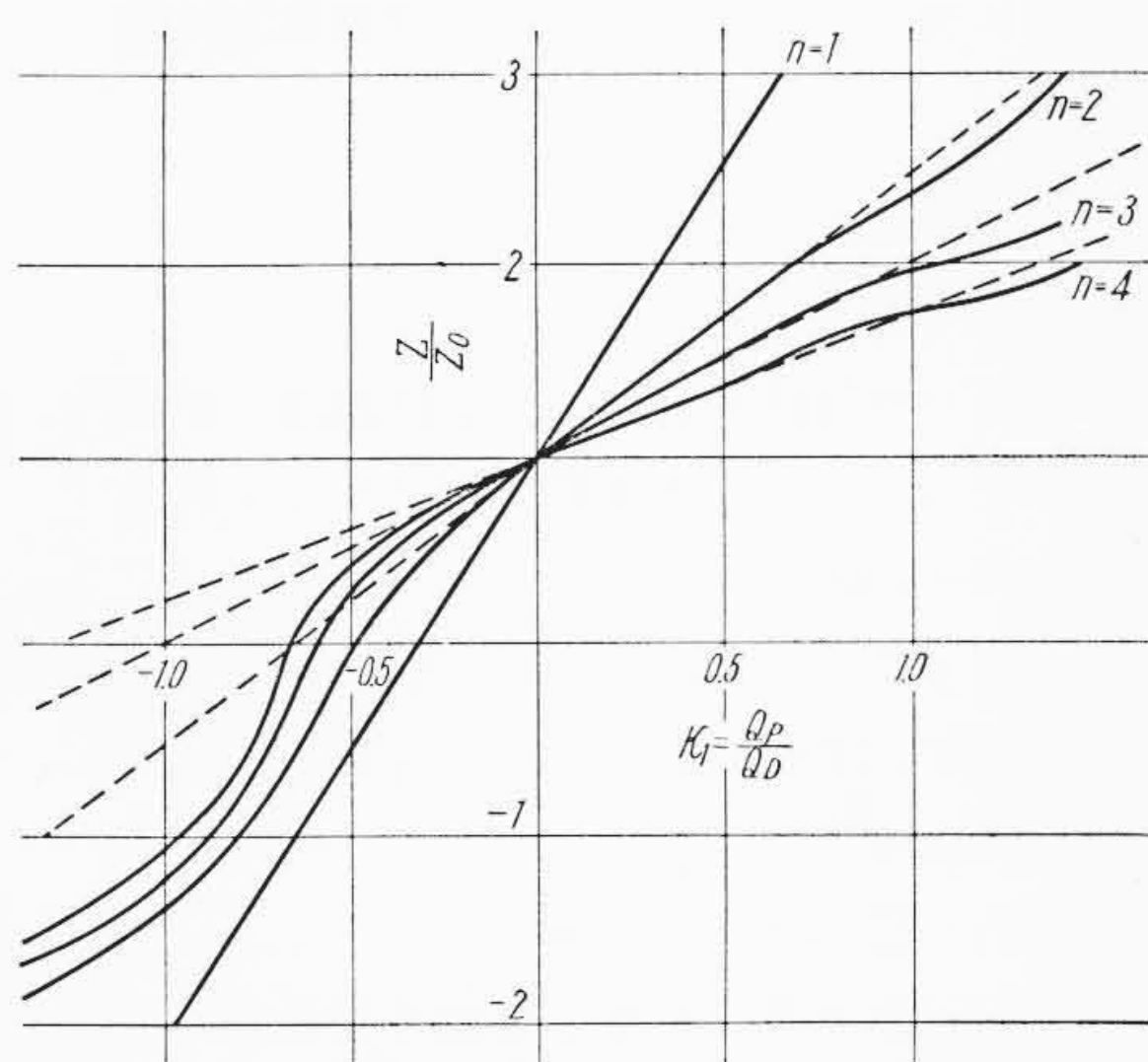
となる。(10) 式を η_D 、 K_2 を用いて書き替えると、見かけ粘度の厳密解

$$\eta_a = \frac{n}{6} \cdot \frac{K_2}{K_1} \eta_D \dots\dots\dots (10-a)$$

が得られる。第 2 図は $K_1 \equiv Q_P/Q_D$ と η_a/η_D との関係を $n=1, 2, 3, 4$ の場合について求めたものである。

Q_P/Q_D が大きくなると、見かけ粘度は微分粘度より大きくなる。しかし $n \leq 4$ の範囲では $\eta_a = \eta_D$ なる近似式は誤差が 10% まで許される場合には $|Q_P/Q_D| \leq 0.4$ まで、20% まで許される場合には $|Q_P/Q_D| \leq 0.5$ まで適用できる。

エクストルーダの設計のとき、スクリー特性を支配する計量段で Q_P/Q_D を零に近くなるように計画するのが普通であるから、(10) 式の近似式で実用上十分であるといえる。

第2図 $\eta_a = \frac{1}{n} \eta$ なる近似式の適用範囲

第3図 トルク計算の際の吐出量と見かけ粘度の関係

3.3 所要動力を与える見かけ粘度

所要動力の計算は、ねじり角 $\varphi=0$ の簡単な場合を例にとって行なうことにする。圧力こう配がなければ、流体のずり速度 dv/dy は非ニュートン流体のときも、ニュートン流体と同じようにみぞ深さに無関係な一定値 V/h を取る。したがって $\xi=0$ のときの所要動力を与える見かけ粘度は、ずり速度 V/h における粘度と一致する。すなわち

$$\eta_a = \eta \quad \dots\dots\dots (11)$$

圧力こう配が存在するときの外筒壁面のせん断応力 τ は

$$\tau = \xi h_1 = ha \quad \dots\dots\dots (12)$$

と書ける。(12) 式を $\xi=0$ のときの外筒壁面のせん断応力 τ_0 および K_2 を用いて書き替えると次式が得られる。

$$\tau = aK_2\tau_0 \quad \dots\dots\dots (12-a)$$

圧力こう配が存在するときと存在しないときの所要動力をそれぞれ Z , Z_0 と書くと

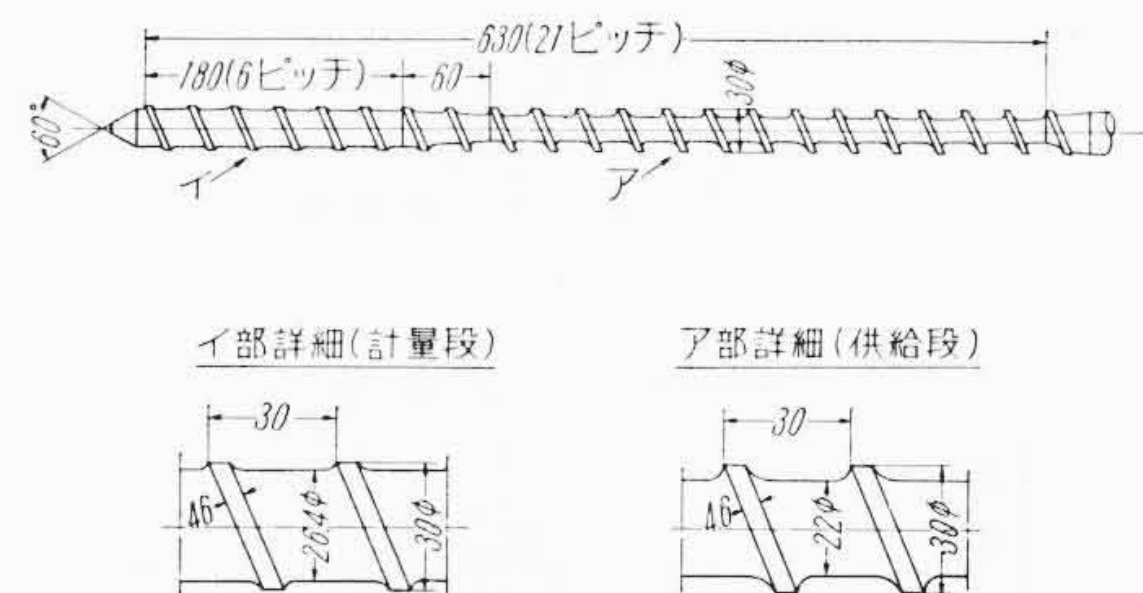
$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{\tau}{\tau_0} = aK_2 \quad \dots\dots\dots (12-b)$$

となる。 $K_1 \ll 1$ のときには近似的に

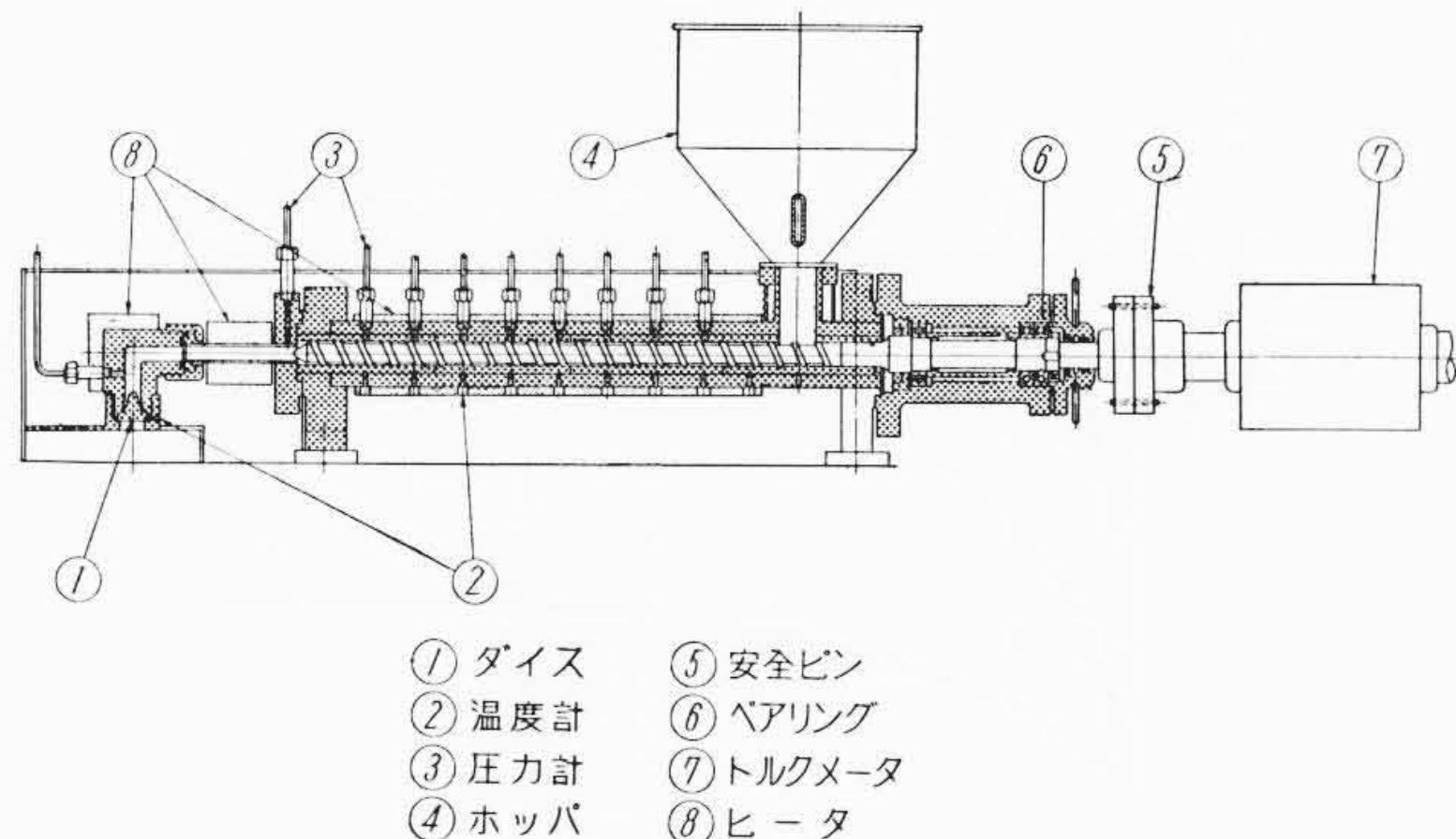
$$\frac{Z}{Z_0} = aK_2 = 1 + \frac{3}{n} K_1 \quad \dots\dots\dots (12-c)$$

という関係がある。第3図の実線は(12-b)式から求めた Z/Z_0 と $K_1 = Q_P/Q_D$ との厳密な関係を、点線は(12-c)から求めた近似解を示したものである。第3図からわかるように(12-c)式 Q_P/Q_D は広い範囲に適用できる近似式となっている。

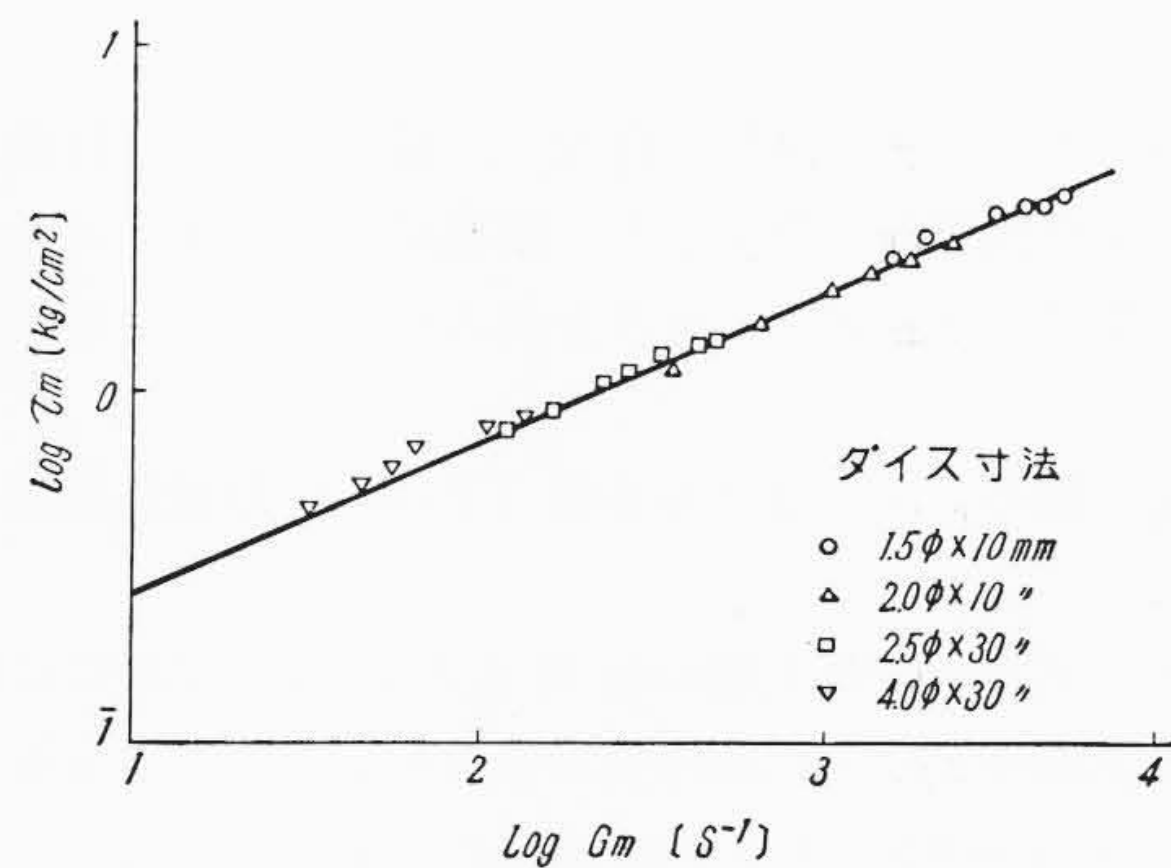
以上の結果から Q_P の影響による所要動力の増加まで見かけ粘度に含めて考えて $Z_1 = f\pi^3 D^3 L N^2 \eta_a / h$ と置くと



第4図 スクリュー形状およびその寸法



第5図 実験装置

第6図 ダイス壁面のせん断応力 τ_m と見かけのずり速度 G_m との関係 (ダイス温度 220°C)

$$\eta_a = \left(1 + \frac{3}{n} \frac{Q_P}{Q_D}\right) \eta \quad \dots\dots\dots (12-d)$$

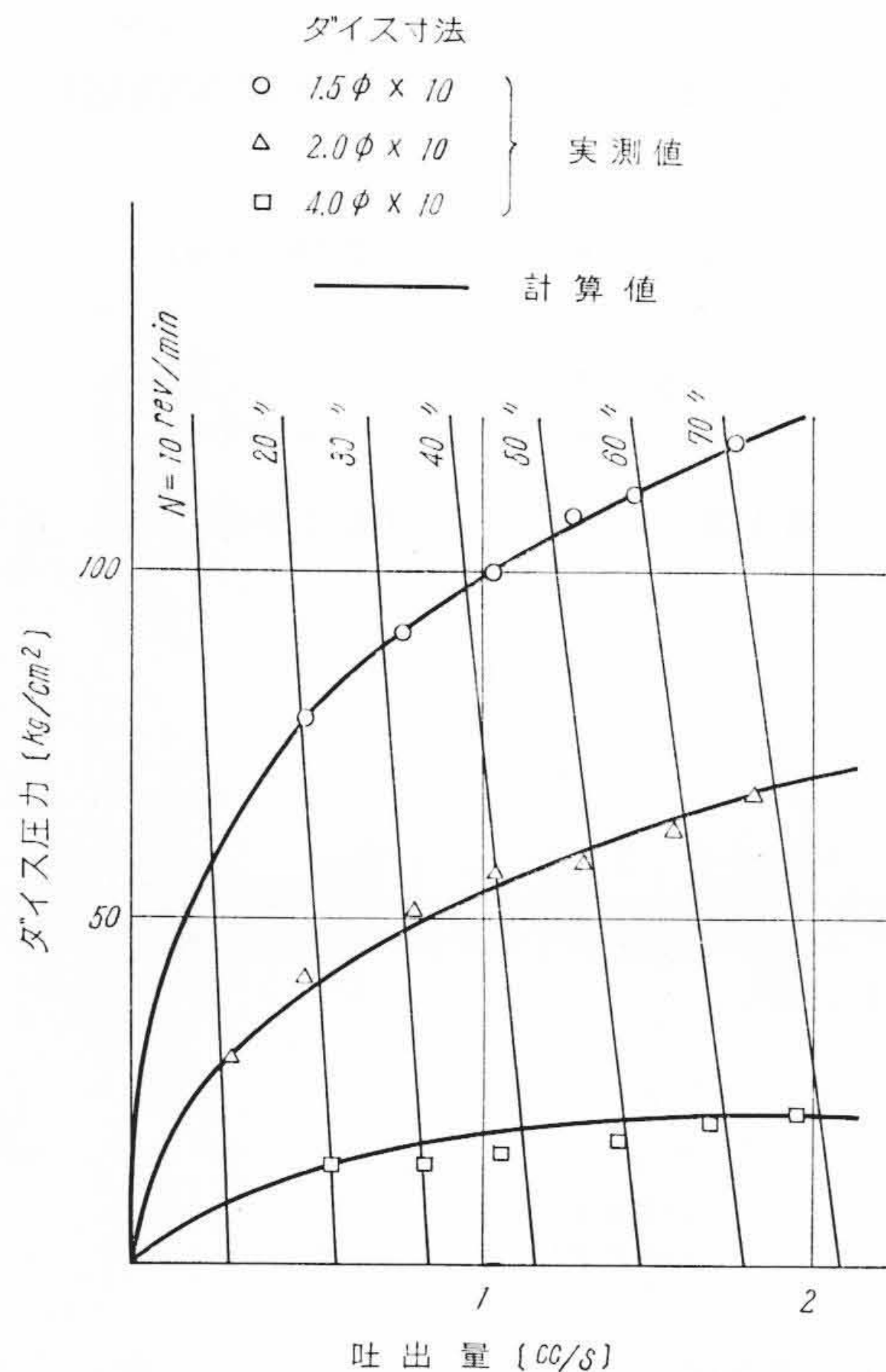
で見かけ粘度の近似式が与えられる。

4. 実験装置および実験方法

前章で見かけ粘度を用いた近似解法が良い精度を持つことがわかったので、次に実際のエクストルuder内の熔融高分子の流れが仮定通りになっているかを確かめるため、ポリエチレンの押し出し実験を行なった。

実験に使用したスクリーは第4図に示すように外径30mm、ピッチ30mmの一条ネジ形で、全長630mm(21山) $L/D=21$ のもので、ホッパは先端から600mm(20山)の位置にある。スクリーのみぞ断面はホッパ中心から12山までは深さ4mmの供給段(feed section)、次の2山は深さが直線的に変化する圧縮段(compression section)、最後の6山は深さ1.8mmの計量段(metering section)となっている。スクリー歯先と外筒壁面のすき間は9/100mmである。

第5図に装置の概略図を示す。スクリー回転数は無段変速機により7~70 rev/minの間で連続的に変えられる。高分子に所定の温度分布を与えるため外筒およびダイス部に合計10個の電熱器を取



第 7 図 スクリュー特性の計算値と実測値の比較

り付け、スライダックで調整を行ない、温度分布は外筒およびダイスに埋め込んだ熱電対で測定した。熔融高分子の圧力はいったんプランジャで受けシリコングリースを封入したブルドン管圧力計に伝えた。

スクリュー軸のトルクは共和無線 TP-16 A 形抵抗線式トルク計で測定した。

実験はスクリュー軸の先端から 12 山の温度を 220°C に保って行なった。供試高分子は昭和油化製ポリエチレン，“ショウレックス-9” 6,000, M. I.=0.9, 密度 0.96 g/cm³ のものである。

5. 実験結果および検討

5.1 熔融ポリエチレンの粘度

熔融ポリエチレンの粘度はダイスの細管を流れる液の吐出量 Q とダイス圧力 P とから計算した。ダイスの半径を R , 長さを L とすると、ダイス壁面のせん断応力 τ_m , 見かけのずり速度 G_m は

$$\tau_m = \frac{RP}{2(L+\nu R)} \quad G_m = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

となる。 ν は細管の端末修正数であって、 $\nu=2$ と仮定して計算した⁽¹⁰⁾。第 6 図は 220°C における G_m [s⁻¹], τ_m [kg/cm²] の関係を示したもので、実験式にまとめると $G_m=178\tau_m^{2.50}$ となる。ダイス壁面の真のずり速度を $f(\tau_m)$ とすると

$$\frac{f(\tau_m)}{\tau_m} = \phi_a \left(1 + \frac{1}{\phi_a} \cdot \frac{d \log \phi_a}{d \log \tau_m} \right) \quad \text{ただし } \phi_a = \frac{G_m}{\tau_m} \quad (13)$$

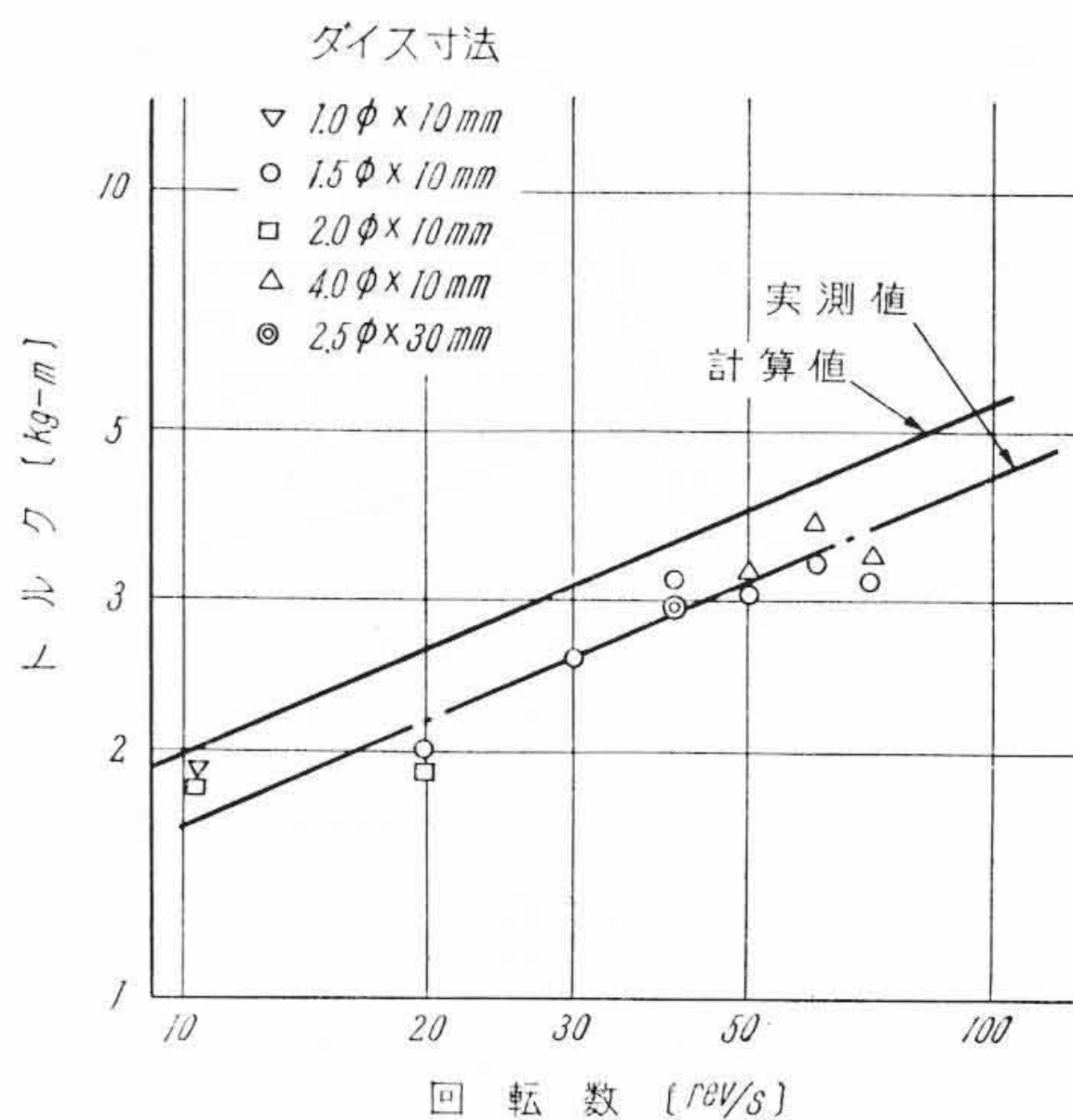
の関係がある⁽¹¹⁾。(13) 式から粘度を計算すると

$$\eta = 0.113 G^{-0.60} \quad [\text{kg}\cdot\text{s}/\text{cm}^2] \quad (14)$$

が得られる。220°C における粘度は (14) 式を用いた。

供給段で温度が変化している部分では、熔融が 150°C で始まり、未熔融の部分はスクリュー特性および所要動力に影響しないものと仮定した。150°C から 220°C の間の粘度は

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}}, \quad E = 7.2 \text{ kcal/mol}^{(12)}$$



第 8 図 トルクの計算値と実測値の比較

という実験式から推定した。

5.2 スクリュー特性

スクリュー特性の計算はスクリューを供給段、圧縮段、計量段の 3 部に分けて行なった。この小区間のスクリュー特性

$$P_i = \alpha_i N - \beta_i Q \quad (15)$$

は (2), (2-a) 式の η に、スクリューみぞ内の流体の平均ずり速度 V/h における微分粘度を代入することによって求められる。全体としてのスクリュー特性は

$$P = \sum P_i = \sum \alpha_i N - \sum \beta_i Q \quad (15-a)$$

となる。 α_i, β_i を計算するに必要な有効みぞ幅 B は次のようにして求めた。供給段、計算段ではまず $B_1 h$ が真のみぞ断面積に等しくなるような仮想みぞ幅 B_1 を求め、歯の側面の影響を補正するために $B = B_1 - 0.63 h$ とした⁽¹³⁾。圧縮段の有効みぞ幅は簡単のため供給段、計量段の代数平均とした。

第 7 図はスクリュー特性の計算値および実測値を求めたもので、両者はかなり良く一致している。

5.3 押し出しの所要トルク

押し出しの際にスクリューに働くトルクを計算するため、全トルクを計量段、圧縮段、供給段のみぞ部の抵抗によるトルク T_1, T_2, T_3 と、歯幅部の抵抗によるトルク T_4 とに分けた。計算例として $N=1$ rev/s, $P=0$ および $P=100$ kg/cm² のときの各部のトルクを第 1 表に示した。

トルクは粘度と回転数の積に比例する。粘度はずり速度、したがって回転数の -0.60 乗に比例するから、トルクは回転数の 0.40 乗に比例することになる。

第 8 図はトルクの実測値と計算値との比較を行なったものであって、実測値は計算値より 20% ほど低くなっているが、回転数の約 0.4 乗に比例している。

以上スクリュー特性、トルクの実測値は計算値とかなり良く一致しており、熔融高分子の押し出し計算に、本報で述べた方法が利用

第 1 表 スクリューに作用するトルクの分布状態

区 間	ト ル ク (kg-m)	
	$P=0 \text{ kg/cm}^2$	$P=100 \text{ kg/cm}^2$
T_1	0.81	1.00
T_2	0.25	0.29
T_3	1.23	1.34
T_4	2.24	2.24
合 計	4.53	4.87

できることが確かめられた。計算値と実測値とが完全に一致しない理由として、高分子の温度が外筒の温度と一致していないこと、粘度をずり速度の大きい範囲で測定して外そうしたための誤差があること、スクリーの有効みぞ幅の決定に問題があること、粉体部、半熔融部等今回の計算で無視した部分の影響などが考えられる。今後これらの問題についての検討を続ける計画である。

6. 結 言

ずり速度とせん断応力との関係が

$$\frac{dv}{dy} = \alpha \tau^n$$

で与えられる熔融高分子をスクリー・エクストルuderで押し出す場合に、見かけ粘度を用いてスクリー特性、消費動力を計算する方法について述べ、精度の高い見かけ粘度の近似式が簡単な形で表わされることを示した。

非ニュートン流体の押し出しの理論式の適用性を確かめるため、径 30 mm, $L/D=21$ のエクストルuderでポリエチレンの押し出し

実験を行ない、スクリー特性とトルクとを測定し、計算値と比較した。

比較の結果両者がかなり良く一致することがわかり、本報告で述べた方法が、ポリエチレンの押し出しの計算に十分利用できることが確かめられた。

参 考 文 献

- (1) Carley et al: I. E. C., 45, 974 (1953)
- (2) 松本 et al: 化学工学, 21, 208 (昭 33)
- (3) 服部: 機論, 25, 23 (昭 34)
- (4) 吉田 et al: 化学工学, 21, 366 (昭 32)
- (5) Deffauen: I. E. C., 51, 817 (1959)
- (6) 森 et al: 化学工学, 18, 221 (昭 29)
- (7) 森 et al: ibid, 19, 9 (昭 30)
- (8) Mallouk et al: I. E. C., 45, 982 (1953)
- (9) Bernhardt: Processing of Thermoplastic Materials Ra' inhold (1959) 554-679
- (10) Bogley: J. Appl Phys, 28, 624 (1957)
- (11) Krieger et al: ibid, 23, 147 (1952)
- (12) Phillippoff: J. Polymer Sci. 21, 205 (1956)
- (13) Rowell et al: Engineering. 126, 249 (1928)



特 許 と 新 案



特 許 第 275874 号

ビー・ハンソン

高電圧油入ケーブルの絶縁油循環方法

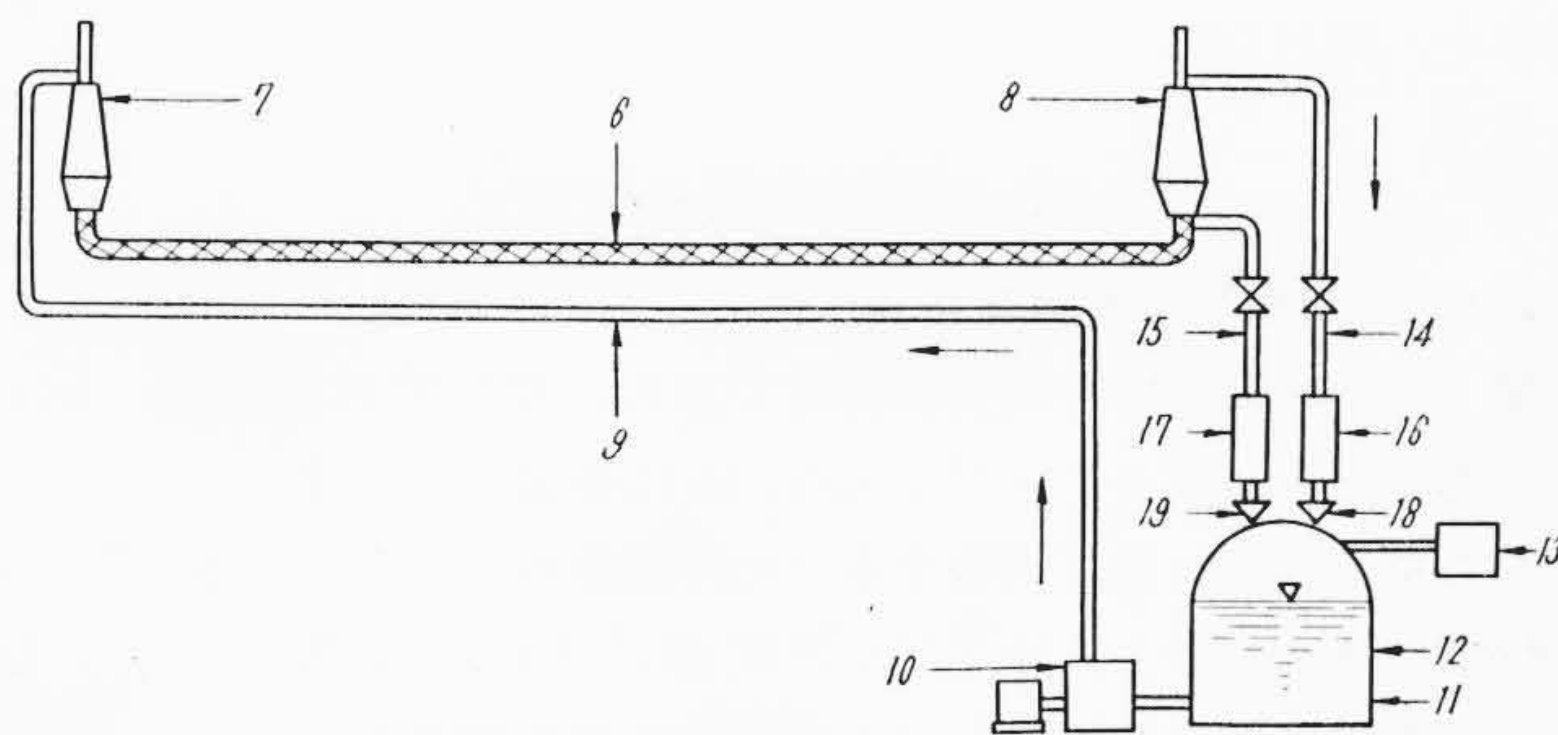
この発明は、ケーブルに形されているところの、ケーブル導体中央の油通路と、絶縁体周上の油通路との、双方に、絶縁油を加圧循環させる場合、双方に油圧差が生ずるように、絶縁油をケーブル通過後の帰環途上において、油流を制御するようにした、絶縁油循環方法に関するものである。

この発明に用いられる油入ケーブルは、第2図に例示され、1は導体、2は絶縁体、3は鉛被、4は導体中央油通路、5は絶縁体周上油通路である。

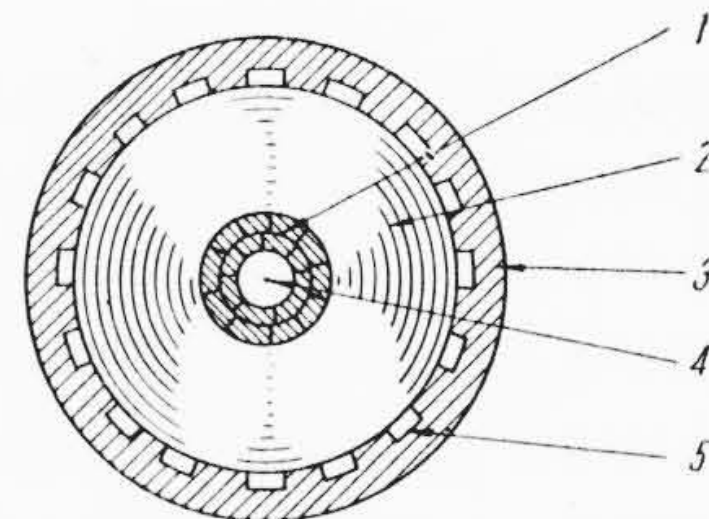
油循環装置は、第1図に例示され、6は油入ケーブル、7、8はケーブル終端部、9は油送管、10はオイルポンプ、11はタンク、12は絶縁油、13は真空ポンプ、14は導体側油復帰管、15は外周側油復帰管、16, 17はフィルター、18, 19は絞り装置である。この場合、フィルター16, 17は絶縁油が、ケーブル6内を循環中に拾集した不純物を除去するために設けてある。また、導体側油復帰管14の絞り装置18は、外周側油復帰管15の絞り装置19より、絞り度合を大きくして、導体中央油通路4の油圧を、外周油通路5の油圧より高く保持することにより、絶縁体2の厚さ方向に油を透過させ、絶縁体中に含まれている不純物を、絶縁油により拾集させている。

この発明によれば、絶縁油は循環することにより一定の脱ガス、冷却および不純物の除去が可能となり、さらに絶縁油をケーブル絶縁体の厚さ方向に流しているから、ケーブル絶縁の電気的性能を飛躍的に向上させることができる。

(斎 藤)



第 1 図



第 2 図