

## 湿式造粒 — 押出造粒法

押出造粒法（ペレット造粒法）は、原料粉粒体に造粒促進材と水または液体を添加して、混練機で混合・混練してから、スクリー、プランジャーまたはローラ等を使って、圧力で混練した軟料を強制的に多数の孔を開いている板（スクリーンダイ）を通して、円柱状の形にして、カッターで一定の長さで切断し、粒状にする方法である。湿式造粒法に属する。

押出造粒法で得た粒子はペレット粒子とも呼ばれ、円柱状を呈するが、押出後に整形機を通して、整形すれば、球状に近い粒子を得ることもできる。

押出造粒法の特徴は

- ① 設備導入コストが安く、据置面積が小さくて済む。小規模の肥料製造には適する。
- ② 粒子の粒度がスクリーンダイに開いている孔のサイズに依存するため、粒度の調整が簡単で、粒度分布が狭い。
- ③ 粒子の密度と強度が比較的に高い。繊維質が多く、転動造粒に適しない有機質原料も利用できる。但し、押出軟料の粘度と造粒した粒子の強度を上げるために造粒促進材（ほとんど粘着力の強いもの）を添加する必要がある。また、生産効率を上げ、品質の良い粒子を作るために、混練工程に於いて水の添加量、造粒促進材の添加量を適切に調整し、押出に適宜な軟料を用意しなければならない。
- ④ 造粒工程には、混合・混練、押出、乾燥、篩分け等が必要で、工程数が多く、作業強度が高い。また、造粒促進材の使用量が多く、できた粒子の水分が多く、乾燥に必要な熱エネルギーが多い。スクリーンダイ、カッターなど機材の摩耗も激しい。
- ⑤ 生産能力が小さく、大量生産に向いていない。

我が国では、化成肥料の生産には押出造粒法は転動造粒法に次いで第 2 位の造粒方法である。

押出造粒機は押出方式によってスクリー押出機、プランジャー押出機、ローラ押出機（ディスクペレッターを含む）等に大別されるが、生産効率、製品品質、メンテナンス、消費エネルギー等の面では、スクリー押出機が優れているところが多く、実生産にもスクリー押出機を使用することが多い。

### 一、押出造粒法の原理

押出造粒は原料粉粒体、造粒促進材、水で適宜に配合して混練し、可塑性のある原料（軟料）にしてから孔の開いてあるスクリーンダイを付けてある押出造粒機に投入し、スクリー、プランジャーまたはローラ等で圧力をかけ、軟料を強制的にスクリーンダイの孔から押出し、カッター等で適切な長さで切断して粒状にする方法である。

#### 1. 軟料の可塑性

押出造粒のカギは混練後軟料の可塑性である。軟料の可塑性は原料の物性、添加した水分、内部に含まれる空気に支配される。

原料粉粒体は粘着性のない固いものまたは繊維質が多く、ふかふかのものである場合には、水だけを添加して混練しても可塑性がなくパサパサのものしかできなくて、押出された後、粒子の液架橋力、毛細管負圧、分子間力等の結合力による粒子の形状を維持することができず、崩壊することが多い。従って、原料粉粒体と水だけで混練した軟料が可塑性不足の場合には粘着性の高い物質、例えばベントナイト、リグニンスルホン酸ナトリウム塩、糖蜜、CMC（カルボキシメチルセルロース）、PVA（ポリビニルアルコール）、でんぷん等を造粒促進材として添加する必要がある。肥料分野では、廉価のベントナイト、リグニンスルホン酸ナトリウム塩、廃糖蜜をよく使う。他方、医薬品、食品、触媒などはでんぷんやPVA、CMCを使う。

一方、適宜の水分と空気を有する軟料は押出造粒機で押し出される際に、圧力を受けて、内部の空気が圧縮され、一部の水分が表面に沁み出され、スクリーンダイの孔を通す時に潤滑作用を発揮する。軟料がスクリーンダイを通した後、形成された粒子が常圧に戻され、内部の空気が膨張して、表面に沁み出された水分が再び粒子の内部に吸い込まれ、粒子の表面に水分がなく、互いに付着することもない。粒子内部に毛細管水と空気存在で液架橋が形成され、界面張力と毛細管負圧で粒子の形を保つ。水分不足の場合は、スクリーンダイを通す抵抗が高く、形成された粒子が膨張した時に内部に戻された水分が足りなくて、粒子全体または一部が崩壊し、半割れになることが多い。水分が多すぎる場合は、押し出しやすいが、形成された粒子が膨張しても表面に沁み出された水分を全部吸い込むことができず、粒子が互いに粘着して、塊となることが多い。

## 2. 軟料の圧縮変形

原料粉粒体は混練する際にその一次粒子が無秩序の配置状態となったが、押し出される時に圧力を受け、圧縮され、内部の抵抗力、摩擦力、凝集力の総合作用により変形し、内部の一次粒子が一定の秩序ある配置となり、緻密化される。

乾燥粉体の圧縮変形は、その圧縮応力 $\sigma$ と一次粒子間の空間率 $\varepsilon$ に支配される。その関係は圧縮特性と呼ばれる。

$$k \varepsilon^n = \frac{d\varepsilon}{d\sigma}$$

$k$ : 圧縮係数;  $n$ : 圧縮指数;  $\varepsilon$ : 空間率;  $\sigma$ : 乾燥粉体の圧縮応力

圧縮応力 $\sigma$ を受けた粉体層の圧縮変形量は、圧縮前の層の高さ $L_0$ から圧縮後の高さ $L$ に変化し、その応変度 $\gamma'$ が次の式で示される。

$$\gamma' = \frac{L_0 - L}{L_0} = 1 - \frac{L}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

乾燥粉体が圧縮応力 $\sigma$ を受けた際に、ある時間を経てその変形と圧縮応力が平衡となった時点の対数応変 $\varepsilon$ と応変度 $\gamma^n$ の積は圧縮応力 $\sigma$ となる。

$$\sigma = k_f \gamma^n$$

粉体とその充填した容器の壁と摩擦力、粉体内部摩擦力を考慮して、圧力を受けた前後の粉体層の高さ変化の微分値を取り出して考察すれば、 $k_f$ が変化するが、 $n$ が一定値を保つことが明らかになった。従って、 $L_0$ が非常に小さくて、0に近づいている時に、層内各部位の圧縮応力が完全一致で、 $k_f$ が $k$ となった。この時、

$$\sigma = k \gamma^n$$

粉体に対して圧縮を受けた際に圧縮応力と応変度との関係は、次の3段階に分けられる。

圧縮応力を受けたが、固体一次粒子間の摩擦力と凝集力が強く、空間が圧縮されたが、粒子の配置位置がまだ変化されていない段階では

$$\sigma = k_1 \gamma' \quad (n_1 = 1), \quad 0 < \gamma' < \gamma'_1$$

圧縮応力が摩擦力と凝集力を超えて、固体一次粒子が移動して、その抵抗力で圧縮に対抗する段階では

$$\sigma = k_2 \gamma'_2 + d_2, \quad \gamma'_1 < \gamma' < \gamma'_2$$

圧縮応力がさらに高くなり、固体一次粒子が移動し、新たに配置状態になった。新の配置状態にある粒子間の摩擦力が圧縮応力と相当して、それ以上に粒子の移動と配列が起きない段階では

$$\sigma = k_3 \gamma'_3 + d_3, \quad \gamma'_2 < \gamma'$$

湿潤した粉体の圧縮応力を受けた際にその応変度の変化は図1に示す。

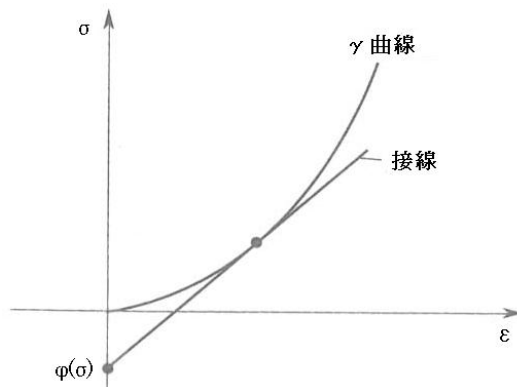


図1. 圧縮応力を受けた粉体の応変度とその空間率との関係

$\sigma$ — $\gamma$  曲線上の一点でその曲線と接触する接線と引き、その下端に $\sigma$ 軸との交点 $\varphi(\sigma)$ として、その $\sigma$ — $\gamma'$  曲線の一般微分形式が

$$\sigma = \left( \frac{d\sigma}{d\epsilon} \right) \gamma' - \varphi(\sigma)$$

$\varphi(\sigma)$ と $\sigma$ の関係は実験でその値を得ることができる。上記の計算式を使えば、一定の圧力を受けた軟料の圧縮変形の変化を推測することができる。

### 3. 固—液系内の粉体粒子の流動

液体流動時に現した粘性は液体内部が発生した分子間の摩擦力に由来したものである。その液体流動時に内部摩擦力の強さの係数は粘度で示す。

純粋の液体は外部からの力作用で連続的に流動変形を行い、その変形速度（流動速度勾配） $D$  とそれが生じたせん断応力 $\tau$ が正比例となり、その比例係数が粘性率 $\mu$ で示す。このような液体はニュートン流体と呼ばれる。

一方、液体に多数の固体粒子を含む場合は、ニュートン流体と異なり、その変形速度（速度勾配）がせん断応力に比例しないで、ある程度の固定抵抗を有する。外部からのせん断応力がその固定抵抗を超えない限り、液体は流動しない。このような液体は非ニュートン流体と呼ばれ、液体を流動させるに必要な外力は降伏強度と呼ばれる。図 2 は各種流体の流動速度勾配とせん断応力との関係を示す。

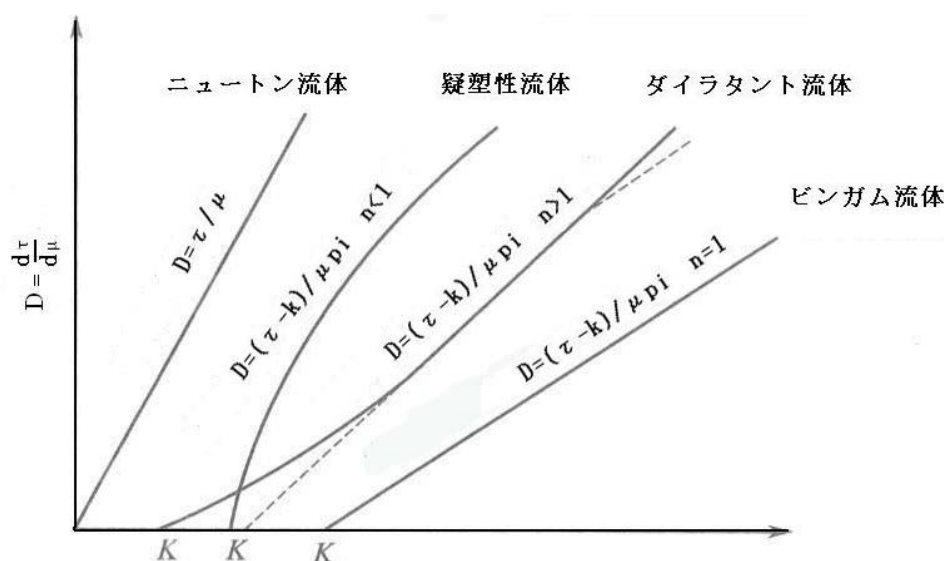


図 2. 各種の流体の流動速度勾配とせん断応力との関係

流動速度勾配  $D$  と降伏強度値  $k$  を超えたせん断応力 $\tau$ との関係は下記の式で示す。

$$D = \frac{1}{\mu_{pi}} (\tau - k)^n$$

$\mu_{pi}$  : 塑性粘度 ( $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ ) ;  $k$  : 降伏値

$D$  が最大になった際にその指数  $n = 1$  となり、ビンガム流体と呼ばれる。化学肥料を原料とする化成肥料を押出造粒を行う場合は、原料粉粒体と造粒促進材、水で混練した軟料は大体ビンガム流体の特性を現す。一方、有機化成肥料を作る際に使う繊維質の多い有機原料では、混練した軟料は粒子間に液架橋の形成により摩擦力が増大し、膨張性を現し、擬塑性流体になることが多い。通常、湿潤した原料粉粒体のせん断実験を行い、その  $D - \tau$  関係で膨張性の有無を確認する。

一方、実際の押出造粒時に軟料のせん断応力の加え方は下記の 2 種に分けられる。

- ① スクリーンダイから押出せん断応力： 軟料がスクリー、プランジャーまたはローラ

からの圧力により流動してスクリーンダイの孔を通して、押出されるせん断応力である。このせん断応力と流動速度勾配の関係は、まず実験により軟料の流動曲線（ $D-\tau$ 関係）を求め、流体の種類と流動原理を分析し、その流動変形計算式、特に降伏値、粘性率定数を確定して、圧力  $p$  と流量  $Q$  との関係を算出することで実生産に必要な最小圧力値を確定する。

② 造粒容器内のせん断応力： 軟料が造粒容器に投入して、スクリーやプランジャーにより前へ押し進みむせん断応力である。スクリーの場合は回転前進により速度、圧力、消費エネルギーの面ではすべてプランジャーより優れたため、実生産によく使われる。スクリーを例にしてそのせん断応力の計算が下記の通りである。

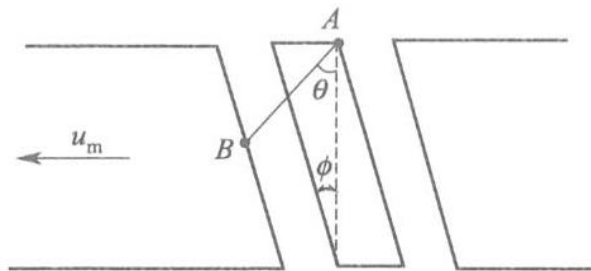


図 3. 押出用スクリーの展開図

図 3 に示すのはスクリーの展開図である。A 点にある原料はスクリーの回転により B 点に移動されるが、B 点とスクリー回転軸の軸方向垂直線との夾角  $\theta$  が移動角と呼ばれる。移動角  $\theta$  が判明されれば、回転軸方向への原料移動速度  $\mu_m$  が次の式から計算できる。

$$\mu_m = \frac{\pi D N \tan \theta \tan \phi}{\tan \theta + \tan \phi}$$

$\mu_m$ ：原料移動速度 (mm)；  $D_s$ ：スクリー外径 (mm)；  $N$ ：スクリー回転数 (r/min)；  
 $\phi$ ：スクリー角

もし、スクリーの溝深さ  $h_s$  および原料の密度  $\rho_m$  が分かれば、スクリーが入っているシリンダー内に於ける押出流量  $Q$  が次の式から計算できる。

$$Q = \pi D_s^2 h_s (D_s - h_s) \frac{\tan \theta \tan \phi}{\tan \theta + \tan \phi} N \rho_m$$

一方、スクリーを回転推進するには必要な推力はシリンダー内のせん断応力に等しいであるため、せん断応力を求めれば、スクリー形押出機の推力を推測することができる。

$$\tau = \mu_{pi} \gamma$$

$\tau$ ：せん断応力；  $\mu_{pi}$ ：軟料の塑性粘度；  $\gamma$ ：せん断速度 (1/s)

せん断速度  $\gamma$  は下記の式で求められる。

$$\gamma = \frac{\pi D N}{60 h}$$

$D$ ：シリンダーの内径 (mm)；  $N$ ：スクリー回転数 (r/min)；  $h$ ：シリンダー内径とスクリー外周との距離 (mm)

総せん断歪量 TS は

$$TS = \gamma t$$

$\gamma$  : せん断速度 (1/s) ;  $t$  : 滞留時間 (s)

従って、せん断応力 $\tau$ は混練した軟料の塑性粘度 $\mu_{pi}$ とせん断速度 $\gamma$ に比例して、塑性粘度が高いほどまたはせん断速度が速いほど必要なせん断応力が強くなる。また、総せん断歪量 TS を構成する軟料の滞留時間 $t$ は押出機の処理能力により変化する。従って、軟料を押し出すに必要なエネルギーは主にせん断速度 $\gamma$ に支配する。

## 二、 混練

転動造粒と違って、原料粉粒体がそのまま押出造粒に使えない。まず、各種の原料を処方通りに混合して水を加えて混練機で一定の塑性を有する軟料を混練する。混練した軟料を押出機に投入して押出造粒に供する。

混練機はバッチ式と連続式に分けるが、バッチ式混練機は原料粉粒体と造粒促進材を投入してから水を添加して、強く練り合わせた後、運転を止め、できた軟料を取出して押出造粒に供する。連続式混練機は電動フィーダで予め混合した原料を機械の片側に投入し、電磁弁で水の添加量を制御して、ロータやスクリーで原料と水を混合しながら練り、均一にできた軟料をもう片側から排出して押出造粒機に供給する。混練機と押出機を一体とする設備もある。

### 1. バッチ式混練機

バッチ式混練機は図 4 に示すようにホッパーから原料と水を投入し、ウェイトにより原料を混練容器（ケーシング）内に押込む。互いに逆回転する 2 本のロータが原料を噛み込み、ロータの間およびロータとケーシング間で発生するせん断力を原料に加え、混合・混練を行う。混練が終了すると排出口の扉が開き、混練した軟料を排出する。なお、ロータ 1 本の小型バッチ式混練機もある。

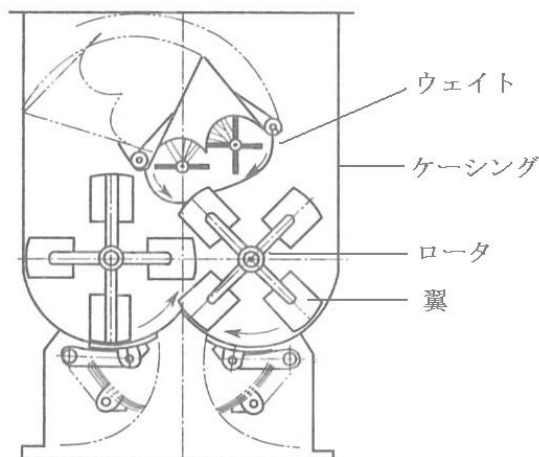


図 4. バッチ式混練機の構造概略図

バッチ式混練機の混練メカニズムは下記の 2 点に集約することができる。

① 回転するロータとケーシングの壁面との間に発生せん断作用により、原料、造粒促進材と水が混合され、その凝集した塊が破碎され、新の断面の出現と濡れ面積の拡大により造粒促進材と水が次第に原料に分散される。その過程を繰り返し、均一に混練される。

せん断力はロータ翼の先端とケーシング壁面の隙間（チップクリアランスと呼ばれる）に最大となるので、その寸法が重要である。また、ロータ翼先端の幅、翼作用面の形状、翼数もせん断力を影響する重要なパラメーターである。

② ロータ翼が回転軸線に対してらせん状にねじれているので、投入された原料は軸方向に押されて流れが生じる。また、2 本のロータの間も混練原料の受渡が発生し、ケーシング内の流れが一層複雑となる。この流れが活発であれば、ケーシング内のマクロ的な分配が進み、上記のせん断作用と共に混練原料の均一性が向上する。ロータ翼の長さ、翼が回転軸に対するねじり角及び翼数がケーシング内の混練原料の流れに影響する重要なパラメーターである。

## 2. 連続混練機

連続混練機の構造概略は図 5 に示す。2 軸のロータとそれを内蔵するケーシング、モーター、減速機等により構成される。後方の投入口から投入された原料、造粒促進材と水は、回転するロータにより軸線に沿って前方へ押されながら、互いに異なる方向に回転する 2 本ロータの間およびロータとケーシング壁面の間で発生するせん断力により混合・混練を行う。混練された軟料は前方の排出口から排出される。

連続混練機の混練メカニズムはバッチ式混練機とほぼ同じである。

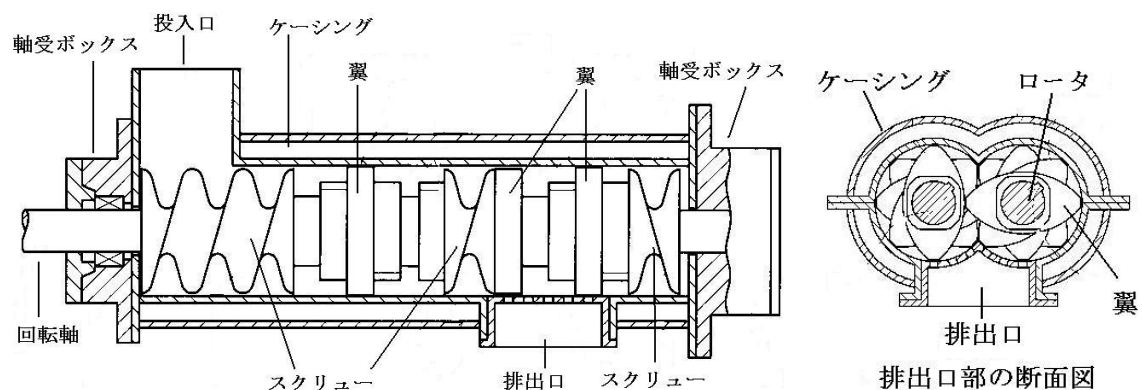


図 5. 2 軸連続混練機の構造概略図

## 3. 造粒促進材と水が押出造粒への影響

押出造粒は転動造粒と異なり、混練した軟料自身の粘着力が造粒後の粒子品質を支配する。原料粉粒体の溶解度が低く、粘着性が不足または繊維状の原料が多くふわふわ状態では混練した軟料の粘度が低く、スクリーンダイを通して押し出されても粒状を保つことが

出来ず、半割れになることが多い。このような欠点を補うために造粒促進材の添加は非常に有効である。

化成肥料の押出造粒によく使う造粒促進材はベントナイト、廃糖蜜、リグニンスルホン酸ナトリウム塩等である。造粒促進材の選択は次の要領で行う。原料粉粒体の粒度が細かく、嵩密度が軽く、水溶性が低く、粘度がほとんどない場合は、造粒促進剤を粘性の強いものを選び、使用量も多くする。原料の疎水性成分が多い場合は界面活性のあるものを選ぶ。原料には水溶性成分が多く、一定の粘度を有する場合は、造粒促進材を使用せず、水だけで行うこともある。なお、通常の場合は廉価のベントナイトがよく使われる。

混練した軟料の粘度は造粒促進材の添加量、混練時間、混練温度と一定の相関関係がある。概して同じ原料でも造粒促進材の添加量が多く、混練時間が長いほど軟料の粘度が高くなる。混練温度が高いほど軟料の粘度も高くなる。なお、粘度の高い軟料は押出造粒後の粒子の硬度も高い。図 6 はベントナイトを造粒促進材として添加した量と押出造粒後の粒子の硬度との関係を示す実験結果である。ベントナイトの添加量が多いほど造粒後の粒子の硬度も高くなる。

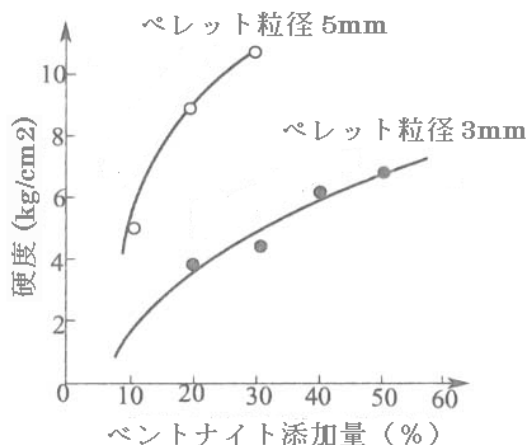


図 6. ベントナイトの添加量と造粒後粒子硬度との関係

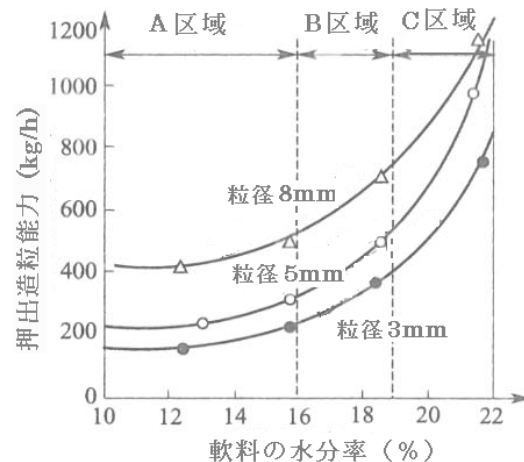


図 7. 軟料の水分と押出造粒能力との関係

一方、水の添加量は混練後の軟料の水分率を支配し、押出造粒効率、造粒した粒子の品質、造粒機の摩耗に影響を及ぼす。図 7 は軟料の水分率と押出造粒能力との関係を示す実験結果である。概して水分不足の場合 (A 区域) は生産能力が低く、できた粒子が円柱状ではなく、粉々で半割れの状態が多く、造粒効率が悪く、スクリーンダイ、カッターの摩耗も激しい。水分が適宜の場合 (B 区域) は生産能力が上がり、特に造粒効率が良くなり、できた粒子が円柱状で、一定の硬度があり、形態が揃っている。水分が過剰の場合 (C 区域) は生産能力がさらに上がったが、スクリーンを通った粒子の水分が多く、柔らかく変形し、互いに粘着することもあり、造粒効率が逆に悪くなる。特に水分過剰の場合は、後続の乾燥、篩分け工程では熱エネルギーの消費量増、粒子の固結による篩分け後製品率の低下に

つながるので、注意が必要である。

混練後の軟料を両手で強く縋り合わせて親指サイズの紐状にして、軟料表面に水の沁み出すことがなく、粉々に寸断することもない状態が最適といわれる。

### 三、 スクリュー押出造粒機

スクリーン押出造粒機は操作が簡単、調整が容易、消費エネルギーが少なく、メンテナンスも容易という特徴があり、化成肥料の押出造粒によく使われる。

スクリーン押出造粒機はモーターと減速機、スクリーン、シリンダー、多数の孔のあるスクリーンダイ、粒子を切断するカッター等から構成される。シリンダーの前端にスクリーンダイを装着した部分は造粒室と呼ばれる。軟料を投入口からシリンダーに投入して、スクリーの回転推進力により軟料を圧縮しながら造粒室へ押し進み、スクリーンダイの孔から押出してからカッターで一定の長さで切断して、円柱状の粒子にする。そのメカニズムは図 8 に示す。

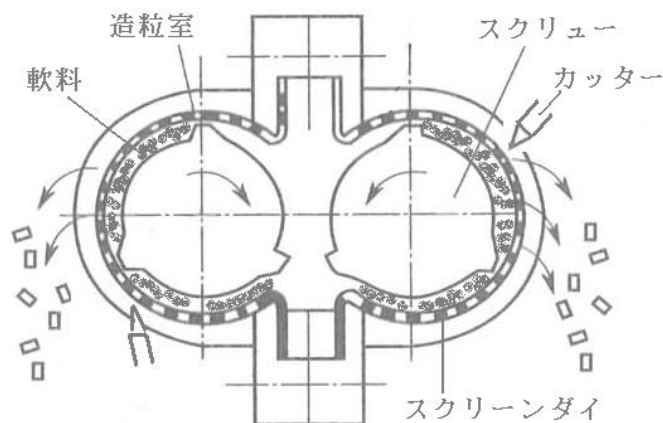


図 8. 2 軸スクリーン押出造粒機の押出メカニズム

スクリーンは 1 軸と 2 軸のものがある。1 軸スクリーンは押込む圧力が高く、押出で得た粒子の密度が高いが、シリンダーと造粒室の容積が小さく、生産能力が低い。一方、2 軸スクリーンは投入口での軟料の詰まり現象を克服するほか、シリンダーと造粒室の容積が大きく、スクリーンダイの面積も広く、造粒能力が高い。

スクリーン押出機は押出すスクリーンダイの設置位置によりフロント押出式とサイド押出式の 2 種類に大別される。

#### 1. フロント押出式造粒機

フロント押出式造粒機のスクリーンダイが押出造粒機の造粒室前端に装着するものである。1 軸スクリーンの場合はほとんどで、スクリーのらせん角が小さく、押出す力が強く、固い軟料でも押出すことができる。押出された粒子をカットするカッターはスクリーンの回転軸から延伸したらせん状カッターで、スクリーの回転に伴い、スクリーンダイの表面に沿ってカットする内部方式と外部のモーターでファンカッターを回転してカットする外

部方式の 2 種類がある。押出圧力が強いいため、スクリーンダイが厚く、孔のサイズがやや大きい。孔の形が円状のほか、その他の形状にすることもできる。フロント押出式造粒機の構造概略は図 9 に示す。

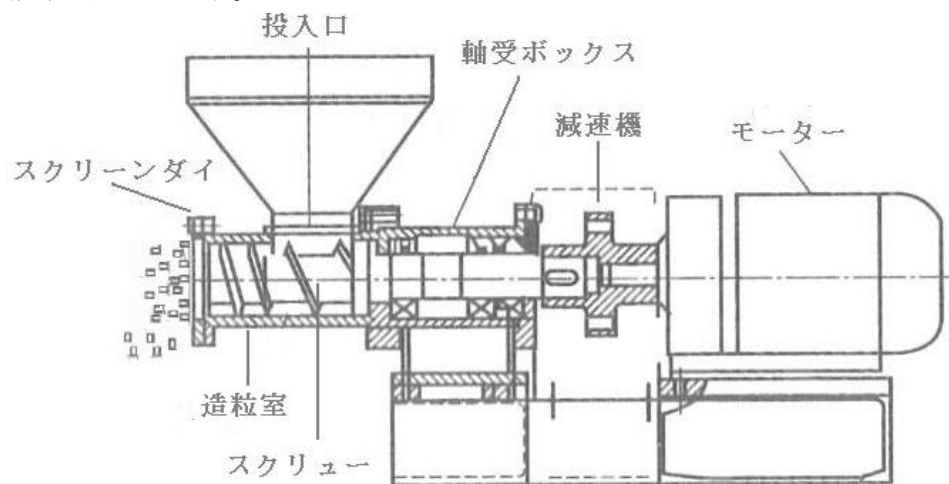


図 9. 1 軸スクリーンフロント式押出造粒機の構造概略

フロント押出式造粒機が造粒した粒子は直径がやや大きく、硬度が高い。但し、押出する際に圧力の関係で軟料の温度が上昇することがあり、熱変性または熱による粘度が急に高くなる原料を使用する場合は注意が必要である。

## 2. サイト押出式造粒機

スクリーンダイが押出造粒機の造粒室両側に装着するものである。スクリーンが 2 軸のものが多い。スクリーンのらせん角が大きく、押出す力が弱いため、軟料の可塑性が重要である。押出された粒子をカットするカッターは回転式または上下昇降式である。軟料はスクリーンのせん断応力で造粒室両側のスクリーンダイから押出され、その押出方向がスクリーン回転軸との角度が直角で、スクリーンダイに当たる圧力が弱いため、スクリーンダイの面積が広く、厚さも薄くて済み、孔を通す抵抗が小さく、生産効率が高い。小さな粒径の粒子も造粒できる。但し、スクリーンダイから押出せん断応力が弱く、できた粒子の強度がやや低い。もし、硬度の高い粒子を造粒したい場合は、スクリーンダイの厚さを増やして、孔から押出せん断応力を増大させることが有効である。サイト押出式造粒機の構造概略は図 10 に示す。

スクリーンダイの厚さと孔の直径、スクリーンダイの開孔率はスクリーン押出機の生産能力に大きく影響を及ぼす。それは軟料をスクリーンダイに通す際の抵抗が主な要因である。図 11 の実験結果に示すように、スクリーンダイが薄いほど、孔の直径が大きいほど、開孔率が高いほど、生産能力が高くなる。

サイト押出造粒機の生産効率が高く、消費エネルギーも少ないため、肥料の押出造粒はスクリーン式サイト押出造粒機を使う場合が多い。

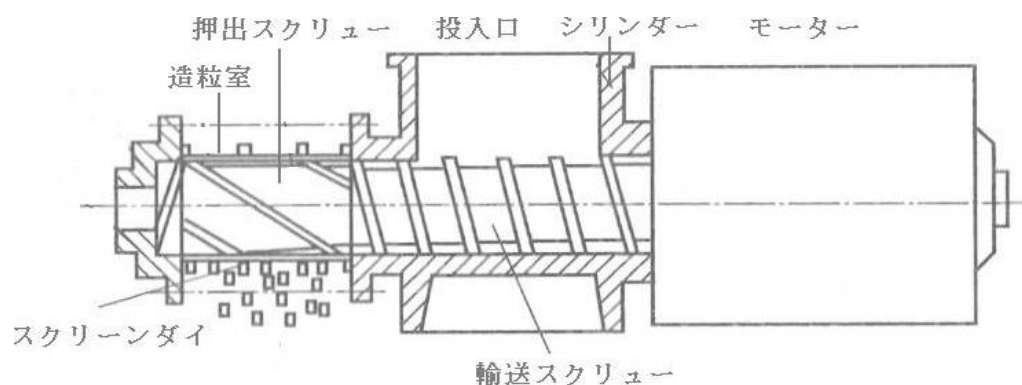


図 10. サイト押出式造粒機の構造概略

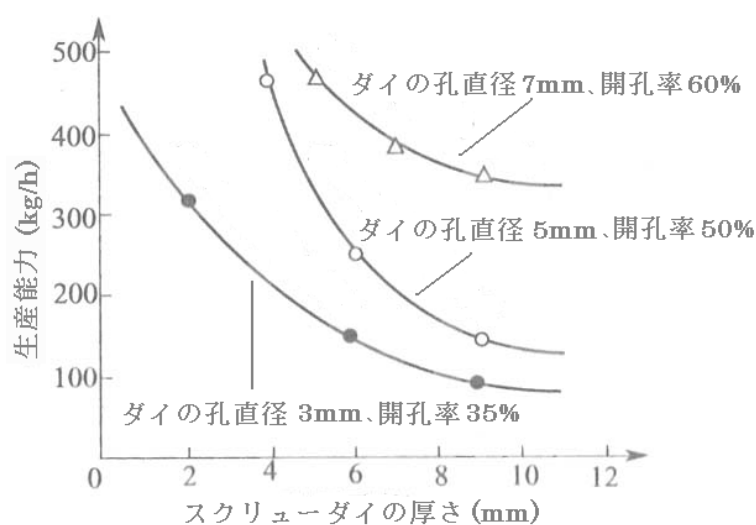


図 11. スクリュー押出機のダイの厚さ、孔の直径および開孔率が生産能力との関係

あるメーカーのパフレットに掲載されるスクリーン押出造粒機の型番と規格が表 1 に示す。

表 1. スクリュー押出造粒機の型番と規格

| スクリーン<br>軸数 | 型番     | モーター<br>出力(kW) | 回転数<br>(r/min) | スクリーン<br>直径(mm) | 生産能力<br>(kg/h) |
|-------------|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1 軸スクリーン    | LY-60  | 2.2~5.5        | 0~131          | 60              | 5~25           |
|             | LY-120 | 7.5~15         | 0~131          | 120             | 30~200         |
| 2 軸スクリーン    | LY-160 | 7.5~15         | 0~360          | 160             | 60~600         |
|             | LY-180 | 11~22          | 0~360          | 180             | 200~1200       |
|             | LY-240 | 15~22          | 0~360          | 240             | 300~1500       |
|             | LY-360 | 22~45          | 0~360          | 360             | 500~2000       |

#### 四、ローラ押出造粒機

ローラ押出造粒機は、モーターと減速機等の駆動機構、ローラ、シリンダー、スクリーンダイ、カッターから構成されたものである。シリンダーの前方が広がり、円柱状の造粒室となる。造粒室の中にあるスクリーンダイが独立のものである。

ローラ押出造粒のメカニズムは次の通りである。混練した軟料はフィーダとスクレーバーにより造粒室に投入され、ローラおよびスクリーンダイの回転によりスクリーンダイの壁に付着し、ローラの圧力によりスクリーンダイに押込まれ、孔を通して、回転カッターに一定の長さにカットされ、円柱状の粒子となる。スクリーン押出造粒機に比べ、造粒した粒子の硬度がやや低い場合が多い。

スクリーンダイの壁に付着している軟料層はローラの回転により供給区域、圧縮区域、押出区域の 3 つに分けられる。供給区域に於いて、ローラからの圧力がなく、軟料は遠心力とスクレーバー（スクレーバーがない場合もある）によりスクリーンダイの壁に厚く付着され、軟料層を形成する。圧縮区域に於いて、ローラとスクリーンダイとの間に形成された圧力角が軟料層の摩擦角より小さいため、軟料層がローラの回転と同期して、押出区域に移動しながら圧縮され、密度が高くなる。ローラとスクリーンダイとの隙間がさらに狭くなって、ローラからの圧力が軟料とスクリーンダイの孔との摩擦力を超えた時点で、押出区域に入り、軟料がスクリーンダイの孔から押出される。なお、圧縮区域と押出区域は合わせて造粒区域と呼ばれる。図 12 はローラと軟料との関係を示すものである。

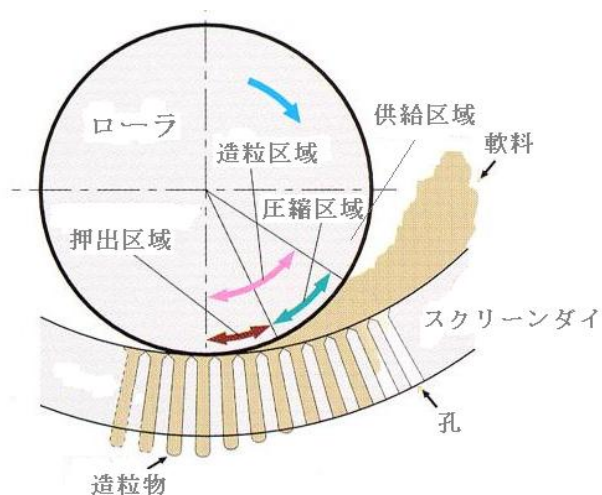


図 12. ローラ押出造粒のメカニズム

この 3 つ区域の範囲は主に造粒室に供給された軟料の量により変化する。軟料供給量が不足する際に供給区域にある軟料層が薄いため、圧縮区域が狭くなる。圧縮区域での圧縮量が足りなくて、押出区域も狭くなり、押出される粒子の量も減り、生産効率が下がる。一方、軟料供給量が多すぎる場合には供給区域に積もった軟料層が厚くなり、最終に造粒室を充満し、供給口から溢れるほか、ローラの回転抵抗が高まり、駆動装置とローラが故

障する恐れがある。

ローラ押出造粒機は、ローラの位置により内ロータ式と外ロータ式に大別される。また、押出用スクリーンダイの形状によりリングスクリーンダイ（円筒状のスクリーンダイ）とディスクダイ（円盤状のスクリーンダイ）に分けられる。

### 1. 内ローラ式造粒機

内ローラ式押出造粒機は造粒室にリングスクリーンダイが設置され、モーターの駆動で回転する。スクリーンダイ内側の中央にローラ軸があり、2～数個のローラが放射状に取付けられ、スクリーンダイ内壁との摩擦によって自転する。スクリーンダイの外壁に2～数本の刃状カッターが設置され、カッターが回転しない。通常、機種設計、製造とメンテナンスの関係で、スクリーンダイだけが回転して、ローラはスクリーンダイとの摩擦で自転するが、ローラ軸を回る公転をしないスクリーンダイ回転式が主流である。一部の大型機種ではローラも公転するものもある。

内ローラ式造粒機のローラ回転と押出造粒のメカニズムは図 13、構造概略は図 14 に示す。

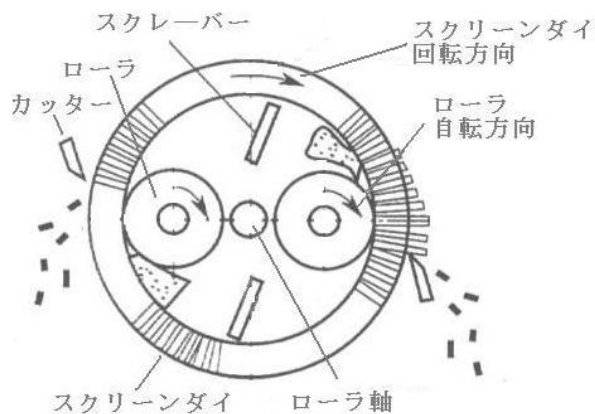


図 14. 内ローラ式造粒機の押出造粒メカニズム

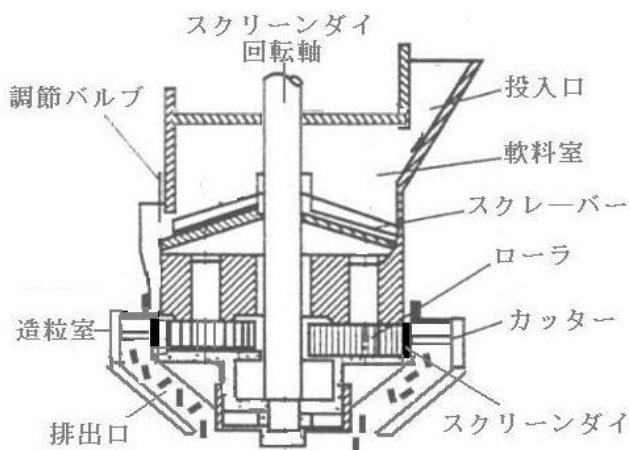


図 14. 縦式内ローラ式造粒機の構造概略

混練した軟料をフィーダによりシリンダーに投入され、重力によりシュートを通り、スクレーパーに分けられ、均一にスクリーンダイに供給される。駆動機構によりスクリーンダイが回転する。ローラ軸に取付けられている数個のローラがスクリーンダイとの摩擦で自転する。軟料はローラとスクリーンダイとの間に挟み込まれ、スクリーンダイの孔から押出され、円柱状のペレットに成形される。ペレットはスクリーンダイの外壁に密着しているカッターにより適当の長さに切断され、下へ落下し、排出される。

## 2. 外ローラ式造粒機

外ローラ式押出造粒機は造粒室の中央にリングスクリーンダイが設置され、モーターの駆動で回転する。スクリーンダイ外側に2～数個のローラが放射状に取付けられ、スクリーンダイ外壁との摩擦によって回転する。スクリーンダイの内壁に2～数本の刃状カッターが固定されている。構造上、スクリーンダイだけが回転して、ローラはスクリーンダイとの摩擦で自転するスクリーンダイ回転式が主流である。

造粒室に投入された軟料はローラとスクリーンダイとの間に挟まれ、ローラの回転圧力によりスクリーンダイの孔からスクリーンダイの内側に押出され、カッターで切断され。円柱状の粒子となる。ただし、ローラの圧力によりスクリーンダイが変形しやすく、生産効率も悪いため、ほとんど実用されなかった。

外ローラ式造粒機のローラ回転と押出造粒の様子は図15に示す。

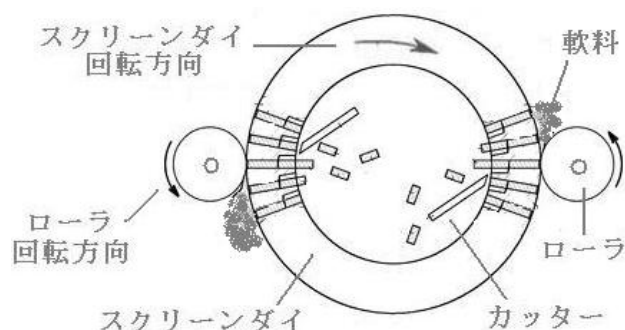


図15. 外ローラ式造粒機の押出造粒メカニズム

## 3. ディスクダイ造粒機

ディスクダイ造粒機は、スクリーンダイが丸く厚い板状で、造粒室の底に固定されている。造粒室の下に駆動機構があり、堅形シャフトがディスクダイの中央部を貫通して上部に突き出し、ローラ軸を回転させます。固定スクリーンダイの上に2～数個のローラが設置され、ローラ軸の回転により公転しながらスクリーンダイとの摩擦で自転する。ディスクダイの下にファンカッターが設置されている。

混練した軟料は造粒機の上部から投入され、固定されたディスクダイと回転するローラとの間に挟み込まれ、最高  $150\sim 200\text{kg/cm}^2$  の圧力で加圧され、ディスクダイの孔から押出され、円柱状のペレットに成形される。押出されたペレットは設置されているファンカッ

ターにより一定の長さに切断され、下へ落下し、排出される。

ディスクダイ造粒機の特徴はディスクダイが厚くて、固定されているため、高い圧力を受けることができる。水分の少ない軟料でも押出造粒することができる。ディスクダイが固定されているため、故障が少なく、メンテナンスが容易である。現在、肥料造粒のほか、木片や木屑などをペレット化して RDF 燃料にすることや各種廃棄物の減容固化装置として広く応用されている。

ディスクダイ造粒機のパッシュ造粒メカニズムは図 16 に示す。

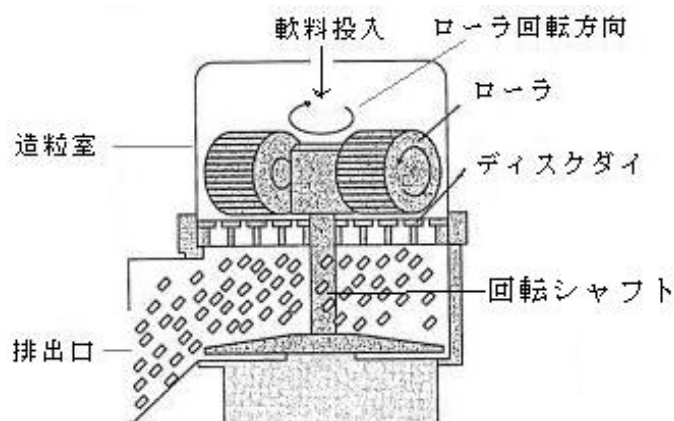


図 16. ディスクダイ造粒機のパッシュ造粒メカニズム

#### 4. ツインダイ造粒機

ツインダイ造粒機は周壁の厚い円筒状のスクリーンダイが 2 本 1 組で、スクリーンダイの外側を対向密接に接触させた状態に設置され、それぞれ向い合うように回転する。スクリーンダイの内側には刃状カッターを設けている。

駆動装置で 2 本のスクリーンダイを回転させ、混練した軟料をスクリーンダイの間に投入して、回転するスクリーンダイに挟まれ、圧力によりスクリーンダイの孔から押出され、円柱状のペレットに成形される。押出されたペレットはスクリーンダイ内側にあるカッターにより一定の長さに切断され、排出される。

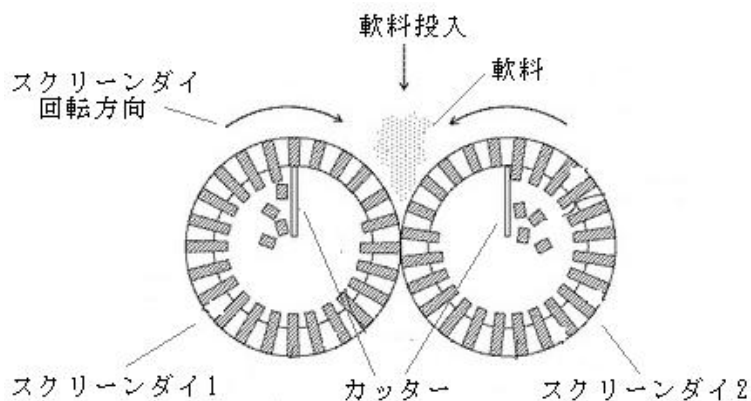


図 17. ツインダイ造粒機の造粒メカニズム

ツインダイ造粒機の特徴は構造が簡単で、2本の円筒ダイにより押出造粒効率がやや高い。但し、押出す圧力が低いため、水分の多い軟料が必要である。また、ダイの摩耗が激しく、メンテナンス費用がかかる。一部の柔らかい有機肥料や土壌改良材の造粒に使われる。

ツインダイ造粒機の押出造粒メカニズムは図 17 に示す。

## 五、プランジャー押出造粒機

プランジャー押出造粒機は、モーターと油圧機、ピストン機構、シリンダー、プランジャー、スクリーンダイ、カッター等から構成されたものである。シリンダーの前方にスクリーンダイを取付けている部分は造粒室と呼ばれる。造粒室にスクリーンダイの取付く位置によりフロント式とサイト式に分けられる。フロント式がほとんどである。

プランジャー押出造粒のメカニズムは次の通りである。混練した軟料は圧力でシリンダーに投入された後、プランジャーのピストン運動により造粒室に押込まれ、ピストンの圧力でスクリーンダイの孔を通して、円柱状のペレットに形成される。回転するファンカッターに一定の長さにカットされ、粒子となる。

プランジャー押出造粒機の特徴は、油圧装置を使うため、圧力の調整が容易である。シリンダーに軟料の残りがほとんどなく、シリンダーとピストン部が簡単で綺麗にクリーニングできる。また、素材に不純物の混入を防ぐことが簡単にできる。

しかし、スクリーン押出造粒機に比べ、シリンダーとスクリーンダイに耐圧性が要求される。また、ピストン運動に消費エネルギーが多く、造粒した粒子の硬度がやや低く、生産能力も低いため、一部の農薬製剤を除き、肥料造粒には使われていない。

プランジャー押出造粒機の造粒メカニズムは図 18 に示す。

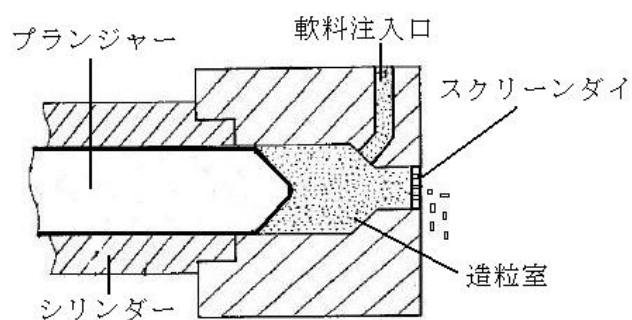


図 18. プランジャー押出造粒機の造粒メカニズム