ポリマ粉末加圧成形の静的諸特性に関する研究*

松 岡 信 一**

Some Properties of Cold Compaction Molding
of Polymeric Powders

Shin-ichi MATSUOKA

This study of solidifying mechanism of polymeric powder in cold compaction molding, made consideration in light of dynamics based on the results of experiments and explained the mechanism of solidification visually and theoretically. (1) It was shown that the more the compacting pressure is, the more indistinct the boundaries between adjacent particles are made, the wider the fusion spots become, and the higher the strength of the cold compacted products become, and that the dynamically compacted products show markedly better fusion between adjacent particles and much higher strength than the statically compacted ones. (2) Furthermore, among compacting pressure P_c , tensile strength σ_B , and average density of products ρ , empirical

formulae of $\sigma_B = K_3(P_c)^{n_3}$ and $\sigma_B = K_4(\rho)^{n_4}$ were obtained. (3) In various model experiments, the deforming behavior of particles involved in compaction was observed visually, and as a result, with particles crushed greatly in layer with the increase of compacting pressure, an empirical formula of $R = a(P_c)^{-n_5}$ was obtained between the crushed particle ratio R and the compacting pressure P_c , while an empirical formula of $T = b(P_c)^{-n_7}$ was obtained between the thickness of products T and the compacting pressure P_c . (4) Furthermore, it was found that in compaction molding on single punch, particles are crushed more on the punch side than on the die side, while they are evenly crushed generally in compaction molding on both side punch.

Key words: polymeric powder, cold compaction molding, solidifying mechanism, internal structure, model experiment, molding on single punch, both side punch.

1. 緒 言

粉体は、粉末冶金、化学工業、土木工学など関連分野が多く、その諸性質を明確にすることが必要であり、特に、その静力学的特性を知ることは工業上きわめて重要なことである。従来、粉体の力学を取り扱った研究としてクローンやランキン¹⁾の土圧論が代表的なものであり¹⁾、また、Kögler²⁾などの粉体内部の力学的測定についての報告もある。一方、我が国でも古くから研究され、特に圧縮成形に関して、津和ら³⁾⁴⁾、森⁵⁾、川北⁶⁾、長尾⁷⁾、沖本⁸⁾らの多くの報告がある。また最近では粉末冶金等の分野で統計的、確率論的に現象をとらえようとする試みも多くなり、電算機を用いたシミュレーション実験による解析も行われている⁹⁾。更に、このほかにも、いろいろの分野で研究されているが、いずれも異なった分野、目的および条件のもとで解明されているため、粉体の力学的性質を一般的に論ずるには、更に多くの基礎的、かつ系統的な実験研究が必要であると考えられる。

ここで取り扱うポリマ粉末の冷間加圧成形^{***10)11)}についても同様である。この冷間加圧成形品を実用部品と

して利用する場合、成形品の機械的性質が重要なことは言うまでもなく、この成形品の固形成のメカニズムや成形品内部の応力状態を知ることも重要な事柄である。したがって、本研究では、この成形品の安定した機械的強度等を得るための種々の加圧条件による影響などについて検討し、更に、加圧による粉末の固形成の機構などについて模擬実験的、並びに理論的に検討した。これらを具体的に表すと、

- (1) 成形加圧力と、それに伴う成形品密度、板厚及び引張強度との相互関係を明かにする。
- (2) 模型実験等により固形成の機構、並びに加圧に伴う粉末粒子の変形挙動について考察する¹²⁾。
- (3) 固形体（成形品）内部の応力分布及び金型壁面との摩擦などについて基礎的な理論、並びにモデル実験等により明らかにする¹²⁾。

などの項目である。なお、粉末の充てんや圧縮（加圧）の現象を基本的に考察するには、粉末粒子の基礎物性との関係も重要な問題となるが、一応これは別問題と考え、

*** ポリマ (plastics) 粉末を用いて、常温 (冷間) において、金型を用いて粉体の流動性と変形性を活用して、高圧力下で固形体 (成形品) を得る方法で、従来の加熱溶融による粉末成形法と異なり、加圧成形のみで、直接、精密機械部品、あるいは複合材料等を製造できる新しい方法である。

* 原稿受付 昭和57年9月24日。昭和54年度精機学会秋季大会学術講演会 (昭和54年10月11日) にて発表。

** 正 会 員 東京大学工学部 (東京都文京区本郷7-3-1)

Fig. 1 Schematic view of tool for cold compaction molding on single punch (a) and both side punch (b)

ここでは粉末加圧成形の一般的な力学的特性のみについて検討した。

2. 実験方法

本実験に用いた成形工具の概略を図1に示す。加圧装置は、50 tf 油圧式試験機（加圧速度 $3.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ）である。また、慣用の片押成形法（図1(a)）に対して、コンテナ浮動式の両押成形法（図1(b)）についても比較検討した。その際に用いた浮動用ばねは、ばね定数 $3.2 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-1}$ のものである。なお、成形方法については、特に断らない限り、一般的な片押成形法を採用し、詳細に検討した。

加圧成形試験に用いた粉末は、結晶性樹脂5種と非晶性樹脂2種であり、その特性を表1に示す。また、加圧成形の際の加圧力などの測定は、図1のポンチあるいはダイス（下部ポンチ）の側面に貼り付けたストレインゲージを利用して行った。

3. 実験結果と考察

3.1 成形加圧力と成形品密度及び引張強さの関係

図2(a)及び(b)は、中密度PE及びAN粉末加圧成形品について、加圧力と成形品密度、板厚及び引張強さの関係を示す。いずれの成形品についても加圧力約20

(a) Products of MD-PE powders

(b) Products of AN powders

Fig. 2 Relation between compacting pressure P_c , average density of products ρ , thickness of products T and tensile strength σ_B of cold compacted products made of MD-PE powders

$\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ 程度までは加圧力の増大とともに密度や引張強さも増加するが、これを境に加圧力が増大しても、あまり大きな変化は認められないことが分かる。これらは、加圧力の小さい領域 ($0.5 \sim 20 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$) では1

Table 1 Properties of polymeric powders used for cold compacting test

Description		Molecular weight ($\times 10^4$)	Average granular size μm
Crystalline polymer	High density polyethylene (HD-PE)	4.0	50-80
	Medium density polyethylene PICW-25 (MD-PE)	5.3	8
	Polypropylene (PP)	27.0	39-88
	Polytelefutalet (PTFE)	8.5	40-70
	Polyphenylene sulfide (PPS)	10.0	10
Amorphous polymer	Polyvinylchloride 135 J (PVC)	7.5	1
	Acrylonitrile A (AN)	10.0	35-40

本の直線で表現することができるが、加圧力が增大すると1本の直線で表現することはできない。すなわち、第1段階の初期加圧としての直線（傾きが1に近いもの）、および第2段階として飽和状態に近づく直線とに分けられる。また、同一粉末成形品において、それぞれの2直線（ $P_c-\rho$, P_c-T , $P_c-\sigma_B$ ）の交点は、ほぼ同一の加圧力付近であり、各粉末固有の定数と考えることができる。また引張強さが密度と密接な関係を持つことも分かる。更に、この定数は粉末の組成に加えて粒径、粒子表面状態および含水量などによって決定されるものと考えられる。

先に示した第1段階は、粉末粒子にかなりの自由度があり、空隙の消滅が進行しつつ変形が徐々に伝播している段階であり、第2段階は空隙もほとんどなくなり密な状態になっているものと考えられる。この状態で密度は最高で熔融成形品の90%前後となり、これ以上加圧力を増しても密度の増加は極端に少ない。このことは、その他の樹脂についても同様の傾向である。

また同図より、加圧力 P_c 、成形品密度 ρ 、成形品板厚 T 、および引張強さ σ_B の間には、

$$\rho = K_1 P_c^{n_1} \quad (1)$$

$$T = K_2 P_c^{n_2} \quad (2)$$

$$\sigma_B = K_3 P_c^{n_3} \quad (3)$$

の関係が本実験の範囲内で近似的に成り立つことが分かる¹³⁾。更に式(1)と式(3)、及び式(2)と式(3)より、

$$\sigma_B = K_4 \rho^{n_4} \quad (4)$$

$$\sigma_B = K_5 T^{n_5} \quad (5)$$

の各関係式が得られる。これから、密度 ρ に対する引張強さ σ_B 、及び板厚 T に対する引張強さの各値をプロットした一例（AN粉末成形品の場合）を図3に示す。この図から、成形品密度が増大し板厚が減少するにつれて、成形品の引張強さは単調に増加することが分かる。したがって成形品の密度、あるいは同一形状のものであれば板厚を測定することによって成形品の引張強さの値が推定できることが分かる。このことは、ほかの樹脂についても全く同様である。なお、表2に、各種粉末成形品における式(1)～式(5)の定数 K , n の値を示す。

Fig. 3 Relation between average density of products ρ , thickness of products T and tensile strength σ_B of cold compacted products made of AN powders

3.2 粉体の固形成のメカニズム

ポリマ粉末の冷間加圧成形における固形成の機構については、次のように考えられる。

図4(a)のように、ダイス内に装てんされた粉末粒子A, B, C, ..., W, X, Y, ...が、ポンチによって加圧され、最終的に同図(c)のごとくA'', B'', C'', ..., W'', X'', Y'', ...に変形する。この間、例えば粒子Mと、その隣接粒子との接触面 $a_1, b_1, c_1, \dots$ が、加圧力の増大とともに同図(b)を経て、最終的に同図(c)のごとく、その接触面積が広がる。当然のことながら、この面に作用する加圧力も大きくなり、粒子は弾性、更に塑性変形を生じる。成形品内部の粒子は一般に粒径及び形状が異なるため、接触面の圧力は必ずしも等しくなく、全粒子は同一の変形をしないし、また流動も生じると推察される。このため接触面両側で粒子相互にかなりの相対的なすべりが生じる。したがって、この相対的なすべりと高い接触面圧力のために、接触面上でかなりの摩擦熱が発生し、粒子表面はかなり高温となり、更に加圧による粒子の塑性変形に基づく発熱も加わるため、接触面における温度は予想以上に高くなり局部的に熔融状態が生じる。その一例を図5に示す。

これは、レプリカ法によって得られた電顕写真であり、同図Aは、加圧方向に垂直な横断面における写真で、成形加圧力が増加するにつれて粒子間の溶着面積は幾分増

Table 2 Empirical formula and values of various compacted products

Empirical formulae	$\rho = K_1 P_c^{n_1}$		$T = K_2 P_c^{n_2}$		$\sigma_B = K_3 P_c^{n_3}$		$\sigma_{BL} = K_L P_c^{n_L}$		$\sigma_B = K_4 \rho^{n_4}$		$\sigma_B = K_5 T^{n_5}$	
	K_1	n_1	K_2	n_2	K_3	n_3	K_L	n_L	K_4	n_4	K_5	n_5
MD-PE·PICW 25	0.77	0.05	7.87	-0.06	45.84	0.14	53.78	0.008	101.20	3.0	2.35×10^8	-5.03
PVC·135 J	0.75	0.19	6.67	-0.18	3.15	1.17	66.72	0.05	19.23	6.24	0.69×10^8	-6.48
PPS	0.71	0.18	9.82	-0.15	0.50	1.43	21.18	0.22	8.05	8.02	1.910×10^8	-9.66
AN·A	0.57	0.19	8.86	-0.18	6.05	0.99	100.2	0.11	109.67	5.2	1.05×10^8	-5.53

注1) P_c の単位は $\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$

注2) L は、グラフの水平部分の直線（飽和状態に近づく直線のこと）の値を示す

Fig. 4 Variation of deformation of contacting surfaces between adjacent powder particles under increasing pressure
(a) Before compacting pressure, (b) Halfway compacting pressure, (c) Finish compacting pressure

Fig. 5 Electron micrographs showing internal structure of cold compacted products of PVC under various static compacting pressures
Section A; Vertical to compacting direction, Section B; Parallel to compacting direction

加していることが分かる。この点、同図Bの加圧方向に平行な縦断面における写真では、加圧力の増加に伴い、粒子は層状に大きく押しつぶされ、粒子間の溶着状態が向上していることが確認される。

このようにして、粒子の接触面に熔融状態が生ずれば、分子鎖の拡散により相接する粒子間の境界面は局部的に消失し、溶着により一層強固な結合を生じる。更に加圧力の増大とともに局部溶着箇所の数が増え、またこれらの面積が広くなり、大きな結合強さを持った固形体

を得ることができる。それには粉末粒子が細かく、また加圧力や加圧速度の大きい方が有利である¹⁰⁾¹¹⁾。

3.3 模擬実験による粉末粒子の変形挙動

カラー粉末を用いて、加圧に伴う粉末粒子の変形挙動を視覚的に観察し、成形過程を明らかにすることを試みた。図6は、通常の片押成形(図1(a))とばねを用いた模擬両押成形(図1(b))の両工具によって得られた成形品の断面(加圧方向に平行な縦断面)について、無差別に粉末粒子を選別してその寸法を測定し、粒子のつぶれ

Fig. 6 Effects of compacting pressure on deformation of powder particles

具合の比 R^* と加圧力の関係を累積度数分布で表したものである¹²⁾。これより、加圧力が増加するにつれて全体に粒子は層状に大きく押しつぶされていることが分かる。他方、加圧力の小さい成形品は押しつぶされている粒子は全体的にみてもわずかであり、また押しつぶされ方も小さいために、ほとんどの粒子が元の状態に近い形状を呈している。このように加圧力の小さいうちは広い範囲にわたって R が分布しているが、次第に R の小さいものが現れ始め、加圧力の増加に伴って分布の幅も狭くなることが分かる。また、片押成形品に比べて両押成形品の方が、全体的によく押しつぶされ分布の幅も狭くなることが分かり、結果的に強固な結合を有する成形品を得ることができる。図 7 にその一例を示す。

以上のことから、実際の粉体中でも加圧力の小さい場合は、粒子の蓄積されつつあるエネルギーを回転、あるいは粒子間相互のずれ等に費やすが、場所によってはそのような自由の無くなった粒子から降伏して塑性変形を開始し、加圧力が大きくなると、その動きが全体に広がり、やがて変形が終了して密な状態が得られるものと考えられる。更に、図 6 のそれぞれの成形品について、加圧力 P_c と粒子のつぶれ具合の比 R の平均値及び板厚 T の関係を調べたものを図 8 に示す。いずれの成形品についても加圧力 P_c と板厚 T 及び P_c と粒子のつぶれ具合の比 R は、ほぼ直線で表され、ともに次式の関係が成立することが分かる^{12)~14)}。

$$R = a \cdot P_c^{-n_R} \quad (6)$$

$$T = b \cdot P_c^{-n_T} \quad (7)$$

ここで、 P_c : 加圧力 ($\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$)、 T : 板厚 (mm)、 a 、 b : 比例定数、 n_R 、 n_T : 指数である。なお、このカラー粉

* 図中に示すように縦方向寸法 (加圧方向と同方向) b と横方向寸法 (加圧方向に直角方向) a の比 (b/a) をいう。

Fig. 7 Hardness distribution of cold compacted products (AN) of molding on single punch and both side punch

Fig. 8 Relation between compacting pressure P_c , thickness of products T and ratio of vertical and parallel of powder particles R

Table 3 Values of empirical formula

	$R = a \cdot P_c^{-n_R}$		$T = b \cdot P_c^{-n_T}$	
	a	n_R	b	n_T
Molding on single punch	0.74	0.076	9.0	0.1056
Molding on both side punch	0.78	0.071	9.3	0.105

末成形品における各々の値は表 3 のようであった。

これらのことから、粒子のつぶれ具合の比の変化は、板厚の変化、すなわちひずみの大きさや加圧力の増減と対応し、これまでつぶれ具合の比から定性的に推論してきた場所による応力の違いなどについて裏付けができたことになる。また、理想的には、この R の値は加圧力

Fig. 9 Principal stress trajectory and slip line on compaction molding of powders

の増加とともに小さくなるはずであるが、粉体の自重及び粒子間引力等が作用するため、本実験の範囲内で成立するものと考えられる。また、式(6)及び式(7)の関係から実用範囲内(数百 kgf~数十 tf)では、 T 、 P_c 及び R のいずれかの値が分かればほかの値が推定できることが分かり、実用化に際して有力な実験式になるものと思われる。

3.4 粉末加圧の静力学的性質

3.4.1 理論式に基づく金型内の粉体圧の検討

金型内における粉体の応力状態を検討するため、最も一般的な Janssen の理論を適用した¹⁵⁾。

すなわち、図 10 の概要図において、垂直応力が断面で一様な場合では、

$$\frac{P_2}{P_1} = e^{-\frac{2}{r} \mu K h} \quad (8)$$

となり、成形時における粉体内の垂直圧力は、粉末の高さ(深さ)が増加するにつれて指数的に減少することが分かる。一方、すべり線場理論による解析法⁵⁾¹⁶⁾を応用して、サイクロイドすべり線図を描くと図 9 のようになる。図中の実線がすべり線、また鉛直方向及び水平方向の破線が主応力線である。更に応力の強さを調べるためサイクロイドすべり線場¹⁶⁾における主応力線の性質を利用して変形し整理すると、

$$\frac{P_2}{P_1} = e^{-\frac{K}{r} h} \quad (9)$$

であることが計算され、前者と同様の結果が得られた。ここで、 P_1 : ポンチの加圧力、 P_2 : ダイスに働く力(あるいは粉体がダイスから受ける反力)、 r : コンテナ半径、 h : 粉末充てん高さ、 μ : 摩擦係数、 K : 定数である。以上のようにして得られた式(8)及び式(9)に、実際

Fig. 10 Comparison of theoretical values

Fig. 11 Relation between thickness of products T and P_2/P_1 of cold compacted products made of HD-PE, PP, AN, PTFE and PVC powders

の粉末成形品、すなわち PVC 粉末成形品を例として、 $r=25$ mm、 $\mu=0.3$ 、 $K=0.33$ を代入して、粉末充てん高さ h に対する P_2/P_1 の値を例示したものを図 10 に示す。この結果から、粉末の充てん高さ、すなわち充てん量が大きくなるほど、粉体中の応力は減少することが分かる。

なお、両押成形法及び動的成形法による力学的考察は次報にゆずる。

3.4.2 実際の粉末加圧成形による検討

代表的なプラスチック粉末 5 種類について、実験的に P_2/P_1 を測定し、式(8)の理論値と比較したものを図 11 に示す。いずれも実験値と理論値の傾向はほぼ一致し、板厚の増加により P_2/P_1 は減少することが分かる。ただし、減少の割合が直線的であるのは、この程度の板厚では $2\mu K h$ は r の $1/4 \sim 1/10$ 程度であり、したがって、 $e^{-(2/r)\mu K h}$ の展開式の 2 次以降の項は微小とみなせるためと考えられる。また、いずれの成形品についても、片押成形法に比べ、比較のために試みた両押成形法の方が、この直線の傾きも幾分小さく、 P_2/P_1 も全体に 1 に近づ

Fig. 12 Principal stress trajectory and isochromatic line on modeling materials (Photoelastic fringe pattern)

くことが分かる。これらより、特に両押成形では、式(8)における μ の値が変化、すなわち減少したことを意味するもので、両押成形法による方がコンテナ壁との摩擦の影響が少なくなるものと考えられる。また、理論値と実測値の差は、式(8)を算出する際、垂直圧力は同一水平面上で一定であることや、 K の値が板厚(深さ)に無関係であるとしたことによる影響であると考えられる。なお、PTFEがほかの粉末に比べて異なる要因として、摩擦係数が非常に小さいため、いずれの成形法についても金型壁面との摩擦の影響が極端に少なく、全体に1に近づくことが考えられる。

3.4.3 模型を用いた光弾性試験による検討¹²⁾

図12は、ポリウレタンの円板状試料($\phi=10$ mm, $t=5$ mm)を用いて、金型内での単軸圧縮における光弾性試験の結果を示す。同図(a)~(c)は模型金型の寸法をいろいろ変化させて模擬成形を試みた。これらより、いずれについても試料とコンテナ内壁との間の摩擦の影響が大きいたことが分かる。また別に行った直径2 mmのガラス球を用いた加圧成形試験の結果でも同様な傾向を示した。このように、装てんする試料の高さ(深さ)が低いと、前述の摩擦の影響は少ないが、逆に高さが高くと、その影響も大であることが確認された。したがって、この実験からも、コンテナ壁面との摩擦の増減は、試料の高さに依存することが類推される。なお、これら

は加圧初期の現象であるが、実際の粉末加圧成形についても同様の傾向であると推測できる。また、同図の主応力線と、図9のすべり線場理論から得られた主応力線とがほぼ一致することが分かる。更に、図12より同一高さのものでも中心部分と側面近傍では、中心部分の応力が増大し、またポンチ側に比べてダイス側のそれは減少する。一方、試料の高さが低いと両者の差はほとんど見られませんが、逆に高くなると顕著になる。このことは図10で示した応力の減少が充てん高さに依存することと同様である。

4. 結 論

ポリマ粉末加圧成形における基礎的な種々の実験を試みた結果、次のことが明らかになった。

- (1) いずれの粉末加圧成形品についても、加圧力 P_c が増大するにつれて引張強さ σ_B も増大し、実験式 $\sigma_B = K_3(P_c)^{n_3}$ で近似できることが分かった。更に、成形品密度 ρ と引張強さ σ_B の間には $\sigma_B = K_4(P_c)^{n_4}$ の関係式が成立する。
- (2) (1)の関係式が得られたことにより、成形品密度及び加圧力などの条件がわかれば、その製品の引張強さを概算することができる。
- (3) 模擬実験等から、冷間加圧成形品における粉末粒子の固化のメカニズムについて理論的にある程度説明することができた。
- (4) モデル実験から、片押成形よりも両押成形の方が、加圧力は内部までほぼ均一に伝達し有効に作用する。
- (5) カラー粉末による模擬実験から、加圧力の増加に伴い、粉末粒子は層状に大きく押しつぶされる。このつぶれ具合の比 R と加圧力 P_c の間には、 $R = a(P_c)^{-n_R}$ の実験式が成立する。
- (6) 通常の片押成形品では、加圧に伴う成形品内部の粒子の変形は下部ポンチ側より上部ポンチ側の方がよく押しつぶされているが、加圧力の大きい成形品、あるいは両押成形品においては全体に平均して押しつぶされている。
- (7) 片押成形法に比べて両押成形法の方が、コンテナ壁面との摩擦の影響が少ない。また、その摩擦の増減は、試料粉末充てん高さに依存することが分かった。

終わりに、御指導いただいた前田禎三東京大学名誉教授に感謝します。

参 考 文 献

- 1) ソコロフスキー (星野 和, 佐藤健吉訳): 土のような粉粒体の力学, オーム社 (1964).
- 2) F.Kögler: Verfestigung Pulver beim Preßgießen, Bautechnik Heft, **29**, 5, (1927) 1.
- 3) 津和秀夫, 明田勇蔵: 粉末金属部品の成形に関する研究, 精密機械, **29**, 12 (1963) 39.
- 4) 明田勇蔵, 津和秀夫: 粉体の圧縮成形理論, 精密機械, **35**, 12 (1969) 7.
- 5) 森 芳郎: 粉体工学, IV, 日刊工業新聞社 (1958).
- 6) 川北公夫: 粉体圧縮式に関する考察, 材料科学, **7**, 3 (1970) 30.
- 7) 長尾高明: 粉体静力学の研究, 日本機械学会論文集, (2部), **33**, 246 (1967) 229.
- 8) 沖本邦郎, 大矢根守哉, 島 進: 金属粉末の圧縮成形に関する研究, 粉体および粉末冶金, **22**, 6 (1975) 177.
- 9) 梅屋 薫, 原 隆一: 粉体の圧縮ならびに剪断における二次元モデルによる観察, 日本學術振興会第 136 委員会研究会資料 (1975) 1.
- 10) T.Maeda & S.Matsuoka: Study on Cold Compaction Molding of Polymeric Powders, J.Fac.Engg., Univ.Tokyo B, **33**, 2, (1975) 191.
- 11) T.Maeda & S.Matsuoka: The Cold Compaction Molding of Plastics Powders, Bull. JSPE, **9**, 1, (1975) 23.
- 12) 前田禎三, 松岡信一: プラスチック粉末の加圧成形のモデル実験による一考察, 昭和 54 年度 精機学会 秋季大会 學術講演会講演論文集 (1979) 537.
- 13) 前田禎三, 松岡信一, 大古田 誠: プラスチック粉末の冷間加圧成形に関する研究, 昭和 54 塑性加工春講論 (1979) 57.
- 14) 松岡信一, 前田禎三: ポリマ粉末加圧成形のモデル実験による一考察, 塑性と加工, **22**, 251 (1981) 1252.
- 15) 種谷真一: 粉体のレオロジー, レオロジー, **82** (1975) 82.
- 16) 森 芳郎: 粉体の塑性応力に就て(その1), (その2), 応用力学, **4**, 22, **4**, 23 (1956) 42, 73.

情 報

工作機械の輸入増加

最近, 米国や欧州からわが国に対して工作機械の輸入拡大を求める声が強まっているが, 57 年の鍛圧機械を含む工作機械類の輸入額 (CIF ベース) はさらに増加し, ついに 500 億円の大台に乗せたことが明らかになった。これは日本工作機械輸入協会が通関統計をもとにまとめた実績によるもので, 前年に比べて 15.17% 増の 548 億 2100 万円に拡大した。昨年に限らず, ここ数年間の工作機械の輸入は着実に増大しており, その意味ではむしろ欧米から評価されてもいいところである。

昨年の輸入額のうち工作機械の合計は 435 億 8500 万円で前年比 12.84% 増, 鍛圧機械は 112 億 3700 万円で 25.16% 増であった。機種別には旋盤類が 62 億 7500 万円, フライス盤類 35 億 1200 万円, 各種研削盤 156 億 5300 万円, 歯切り盤類 85 億 8800 万円 などとなっている。

一方, 国別には, 米国が 154 億 6100 万円と前年比 38.3% の大幅増を示し, 西独を追い抜いて トップ に躍り出

た。2 位は西独で 153 億 8000 万円の同 2.2% 増, 3 位はスイスで 102 億 9500 万円の同 2.1% だった。欧州共同体 (EC) 全体では, 190 億 7500 万円で同 8.0% 増である。

このように輸入機が増大したのは為替レートの円安傾向も影響しているが, ここ数年間は着実な増加基調にある。かつて全盛を誇ったこともある輸入工作機械は 40 年には年間 75 億円までダウンし, その後一進一退が続いたが, 52 年以降再び増勢に転じ, 同年 157 億円, 53 年 196 億円, 54 年 262 億円, 55 年 382 億円, 56 年 386 億円と伸び, 昨年は 435 億円にまで増えた。鍛圧機械も同様の傾向にある。

欧米の工作機械メーカーの間では, わが国の市場開放努力に対する不満が根強く, 輸入拡大を求める声強いが, 現実には工作機械の輸入額は拡大一途にあるわけである。このため, 欧米の非難はある意味では筋違いともいえ, わが国としてもこうした実績を逆に強調していく努力が必要といえよう。 (服部 敏夫)