

多軸複合押し加工を応用した粉末材料の

圧密成形に関する研究

東京理科大学 基礎工学部 材料工学科

助手 星野倫彦

(平成4年度奨励研究助成 AF-92030)

1. 緒言

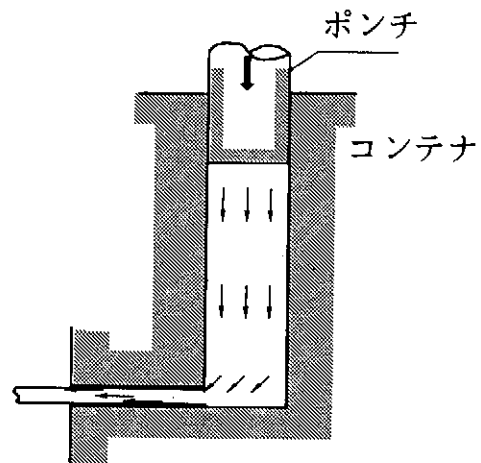
近年、粉末材料製品は、高密度で均一な組織を持つものが求められているが、従来これらの製品を製造する場合には、粉末材料を圧縮成形、焼結し、必要に応じてサイジング、コイニング、熱処理、機械加工を行うという方法が一般的であった。しかし、粉末材料を熱間押し出す際に、高静水圧下で大きな塑性変形を与えれば、金属粉末粒子自身の塑性変形あるいは金属粉末同士の相対すべりにより、相対密度や粉末粒同士の結合を高めることが可能であるとの考えに基づいた研究が行われた。中でも、被加工材にせん断を加えた摩擦押し出し¹⁾や、液相成分を介在させる半熔融押し出し²⁾は、高い相対密度を有する粉末材料製品を得ることができた。

筆者らは、圧密素材から熱間押し出しで直接板材を製造する際に、静水圧による変形だけでなく、せん断変形を付加して粉末粒子同士の相対すべりを生じさせ、製品の相対密度の向上を図ることを試みた。そして、得られた製品の各部の相対密度、組織、機械的性質を調べることで、粉末材料製品の製造にせん断付加押し出しが適するか否かを検討したので報告する。また、プラスチックを用いて押し出し加工中の被加工材の流動状況を観察したので、その結果も合わせて報告する。

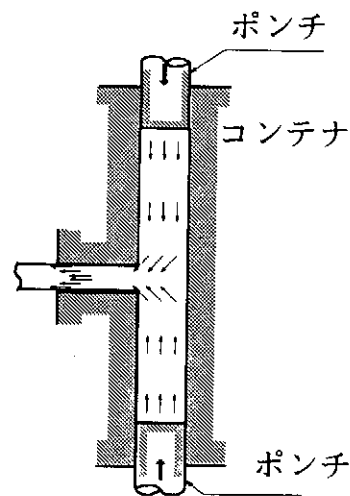
2. プラスチックを用いた予備実験

本年度は、押し出し加工中の被加工材がせん断変形を受ける実験装置を試作し(図1参照)、金属の熱間での変形特性と似ているプラスチックを用いたモデル実験により、流動解析を行った。よく練った白、黒2種類のプラスチックをあらかじめ $\phi 20\text{mm} \times H4\text{mm}$ の円柱ビレットにし、白、黒合わせて25個をコンテナに積層した後、このコンテナを装置に取り付け万能試験機を用いて押し出し速度 $37.5\text{mm}/\text{min}$ で押し出した(図2参照)。今回の実験では製品の板幅を一定(30mm)とし、板厚を2種類(2mm、4mm)、また、板厚2mmのコンテナ2個を対向型に取り付け板厚4mmとしたものの合計3種類(以下、単軸型板厚2mmを板厚2mm、単軸型板厚4mmを板厚4mm、対向型板厚4mmを対向型と呼ぶ)について、せん断ひずみの大きさ、定常状態の有無を調査するための実

験を行った。得られた製品の流れを解析するために図3のように切断し、全体像と切断部を写真撮影した。なお潤滑には、プラスチックが溶けないグリースを用い、ダイス面とポンチを潤滑した。



a) 単軸型



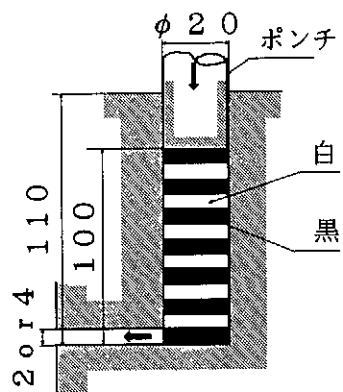
b) 二軸対向型

図1 押し出し実験概略図

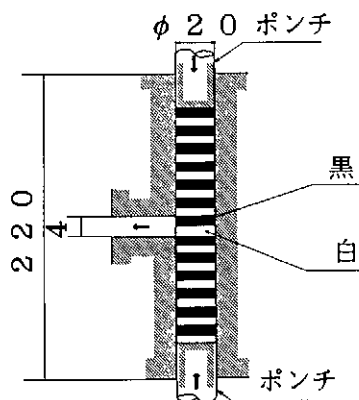
3. 予備実験結果及び考察

図4に製品の全体写真を示す。プラスチックの流動状態は各層が三日月状になっている。これは、ビレットが円柱状であるのと、ダイス側面との摩擦により製品側面が遅れて出てきたためであると考えられる。目視で観察する限り、各製品とも真っ直ぐであって各層の幅もほぼ定常な状態で押出されているが、図5のように各層ごとの先端から先端までの長さを測定すると、各製品とも流動状態にバラツキがあるのがわかる。板厚4mm、対向型は、板厚2mmに比べバラツキが小さく、対向型は定常な状態が他に比べて長く持続されているのがわかる。このデータでみる限り対向型の製品が最も良好であるといえる。図6のダイス入口部分の断面をみると、各製品ともデッドメタルが現れているが、

その面積の平均は、板厚4mm、対向型、板厚2mmの順に、それぞれ31.7、40.0、59.0mm²と大きくなっている。これにより板厚4mmの場合には最もスムーズに流動し、せん断が最も小さくなっていると思われる。対向型、特に板厚2mmの場合は、被加工材がダイス入口部分にたどり着く前にデッドメタルに突き当たり、円柱ビレット底面が斜めに变形している。図7の製品の横断面をみると、対向型の横断面は、2枚の板厚が必ずしも定常状態ではないことがわかる。しかし図8に示したように、せん断ひずみによって生じる各層の傾き θ を求めると、対向型は、他よりも安定していることがわかる。これは、単軸型の場合にはダイス底面の摩擦が製品に影響するのに対し、二軸対向型にはそれがないので、せん断が理想に近い状態で生じたものと考えられる。



a) 単軸型



b) 二軸対向型

図2 ビレット積層図

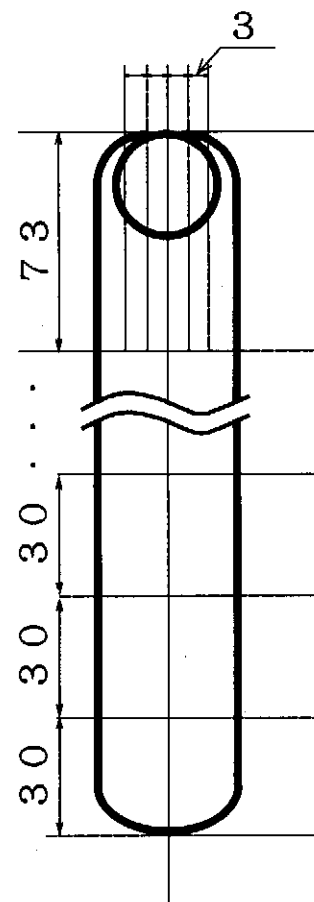


図3 製品切断位置

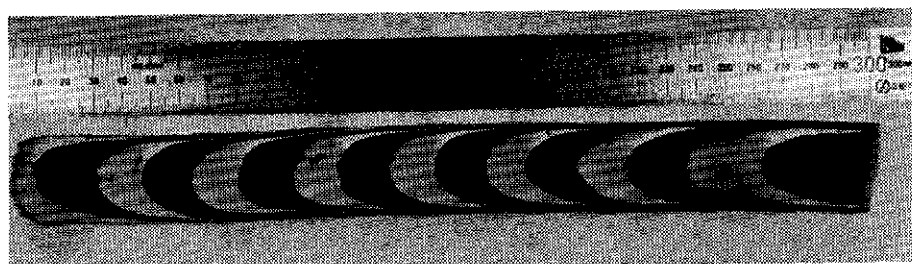


図4 プラスティシン押し製品（上面写真）

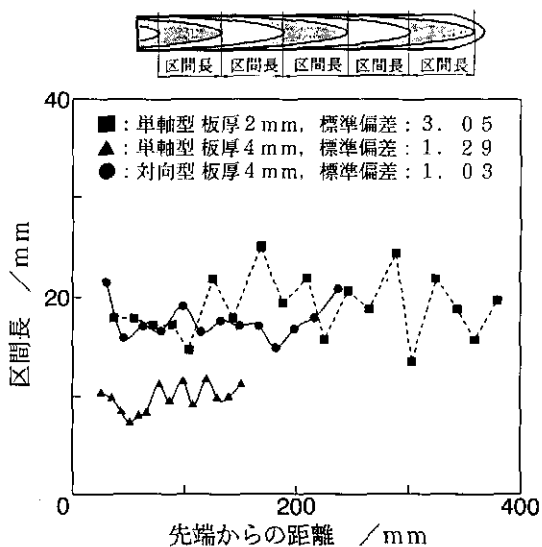
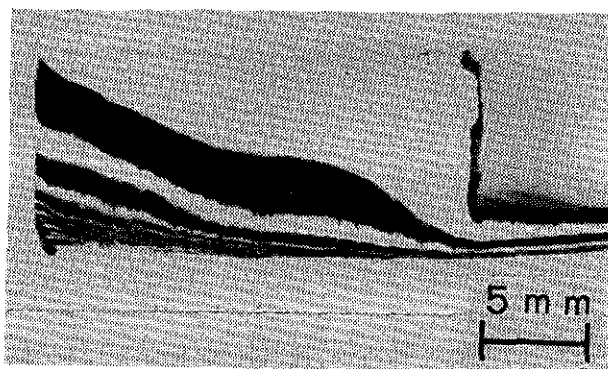
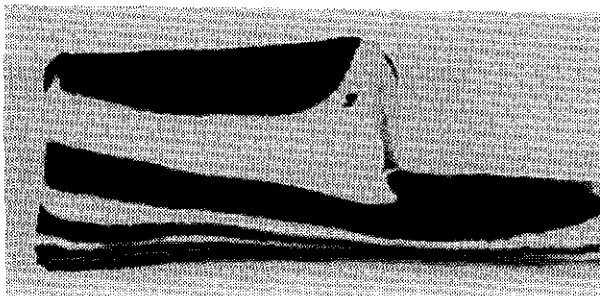


図5 各製品の区間長の分布



(a) 単軸型 板厚 2mm



(b) 単軸型 板厚 4mm



(c) 単軸型 板厚 4mm

図6 押し残りピレットの縦断面写真

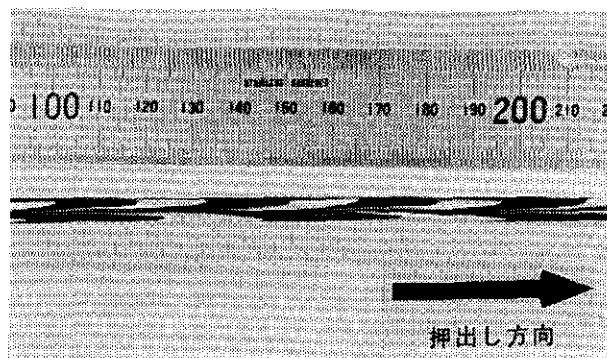


図7 プラスティシン押し出し製品 (対向形側面写真)

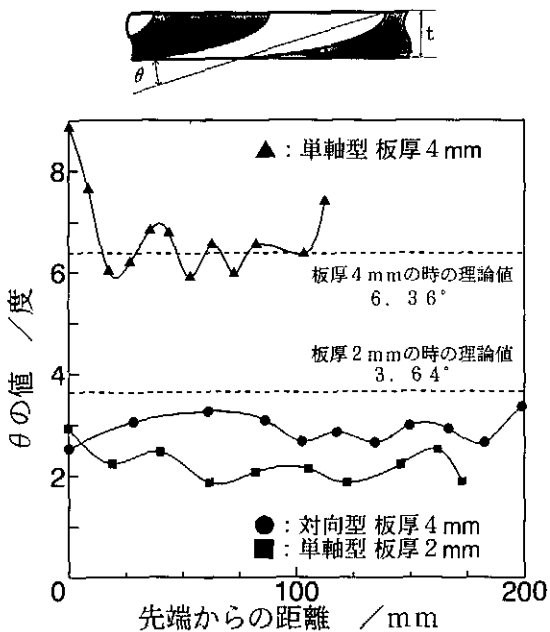


図8 各製品の θ 値の分布

4. 金属粉末を用いた実験

実験装置は、予備実験と同様のもの(単軸型)を用い、実験試料として、純アルミニウム・アトマイズ粉末(-250mesh)と鉛・アトマイズ粉末(-200mesh)を用いた。試料はアルミニウム粉末を196MPa(2tf/cm²)、鉛粉末を49MPa(0.5tf/cm²)で予備圧密したもの(h10mm×φ20mm)をコンテナに挿入した。製品の板厚が2mmの場合は図9(a)のように、4mmの場合は図9(b)のように試料を充てんし押し出しを行った。押し出しは、アルミニウム粉末の場合は熱間押し出し(工具ごと650°Cに加熱し30分保持)、鉛粉末の場合は冷間押し出し(常温)で行った。アルミニウム、鉛のどちらも板厚2mm、4mmの平板を製造し、板幅はいずれも30mmとした。押し出し製品は、各部における密度を測定するとともに、組織観察を行った。押し出されたアルミニウム押し出し製品の機械的性質の評価として引張り試験と硬さ試

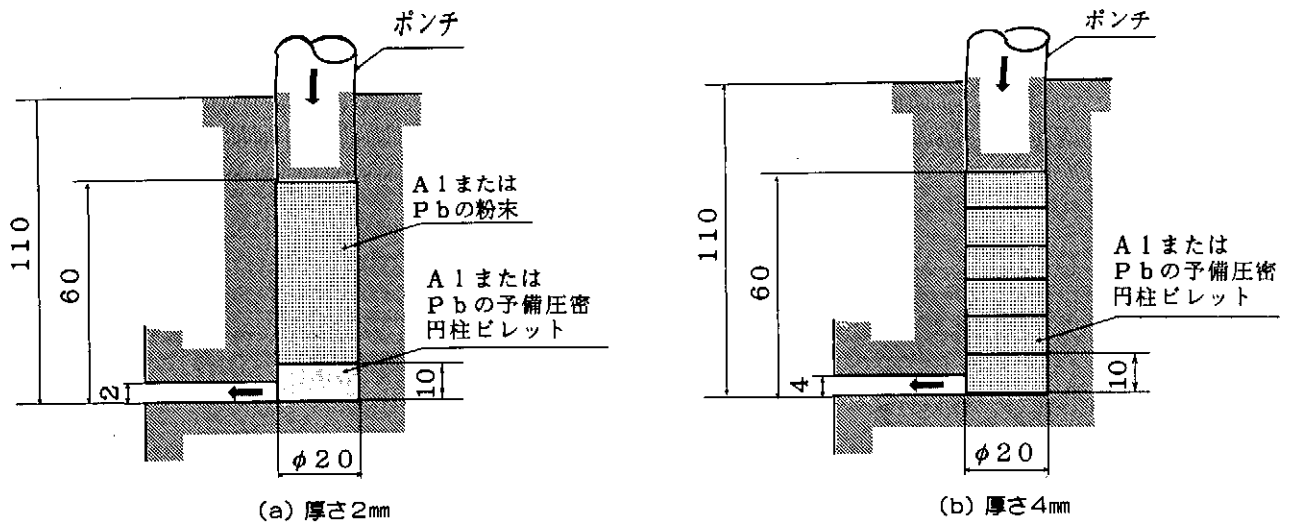


図9 ビレット積層図(厚さ4mm用)

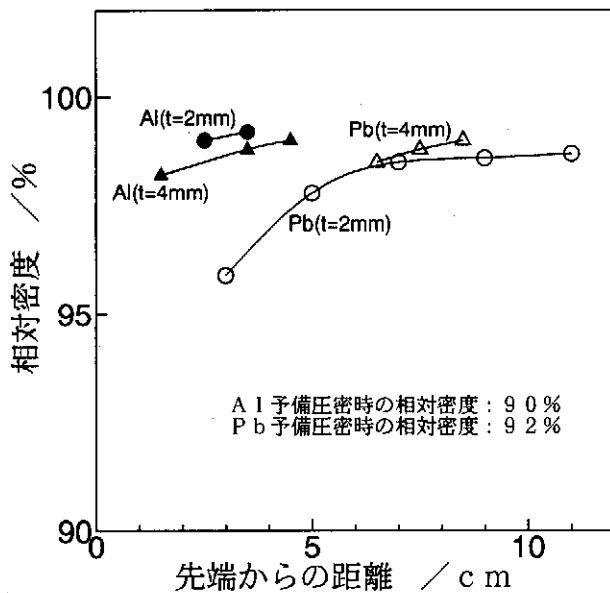
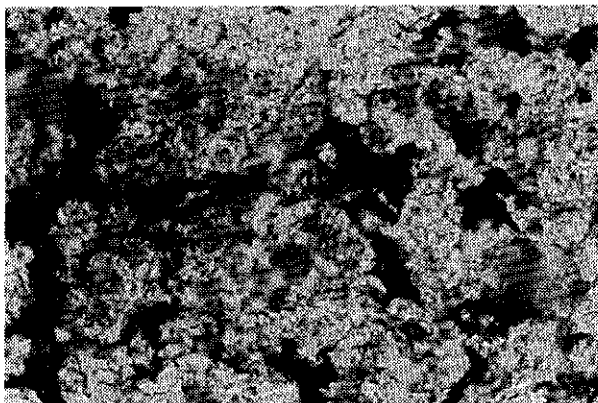


図10 粉末押し出し製品の相対密度

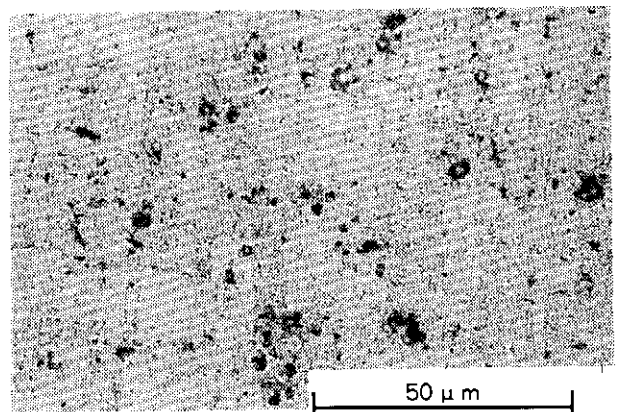
験を行った。引張りの試験片は、押し出し製品(板厚4mm)の中央部をフライス盤により切削加工し、試験片の寸法は、JIS金属材料引張り試験片の5号試験片を参考にして、板厚3.0mm、幅5.0mm、平行部長さ15.5mmとした。同じ寸法の試験片をアルミニウム溶製材で作製し、引張り強さと引張りひずみの比較を行った。引張り速度は2.0mm/min、引張り方向は製品の押し出し方向と同じとした。硬さ試験片は、押し出し製品の中間部を切り出し、測定面を研磨して用いた。同様なものをアルミニウム溶製材で作製し、硬さの比較を行った。硬度はロックウェルFスケールを選び、測定位置は、中心部と両端部の3点とした。

5. 金属粉末押し出し実験結果及び考察

図10は押し出し製品の各部における相対密度を示す。定常状態における相対密度は、アルミニウムと鉛の板厚2mm、4mmともに100%近くになっており、よく圧密されているのがわかる。図11(a)はアルミニウムの予備圧密したものと、図11(b)はアルミニウム押し出し製品(板厚4mm)の組



(a) 予備圧密したアルミニウム粉末ビレット



(b) 押し出し製品(単軸型板厚4mm)

図11 組織写真

織写真であるが、押出すことにより粒子間の空隙がかなり減少している。図12はアルミニウム押し製品(板厚4mm)のコンテナ軸を含む縦断面の組織写真であるが、ダイス入口で試料にせん断が加わっており、ダイス内部では、押し出し方向に対しほぼ平行に流れているのがわかる。また粒子が押し出し方向に展伸しているが観察され、そのアスペクト比は2.5であった。同様に、板厚2mmのアルミニウム押し製品のアスペクト比は2.5であり、板厚4mmのときと同じように粒子が展伸していると考えられる。

図13はアルミニウム押し製品とアルミニウム溶製材(圧延材)の応力-ひずみ曲線図である。押し出し製品の応力-ひずみ曲線は、純アルミニウムの焼純材のものに近い。表1はアルミニウム製品(板厚4mm)とアルミニウム溶製材

の引張り試験の結果を示す。製品の引張り強さは、溶製材に比べると少し劣っているが、純アルミニウムとしては十分な引張り強さが得られている。これは、強せん断により粒子同士が圧着したためである。伸び(引張り破断ひずみ)は、溶製材よりもかなり大きい。これは熱間押し出しの後、製品が焼きなまされ、軟化した状態であることと、粒子が展伸し組織が微細化されたためだと考えられる。表2はアルミニウム押し製品(2mmと4mm)とアルミニウム溶製材の硬さ試験の結果を示す。押し出し製品は、焼きなまされているのでアルミニウム溶製材に比べ少し軟らかいが、粒子同士の強い圧着と、組織が微細化したことにより十分な硬さが得られたと考えられる。

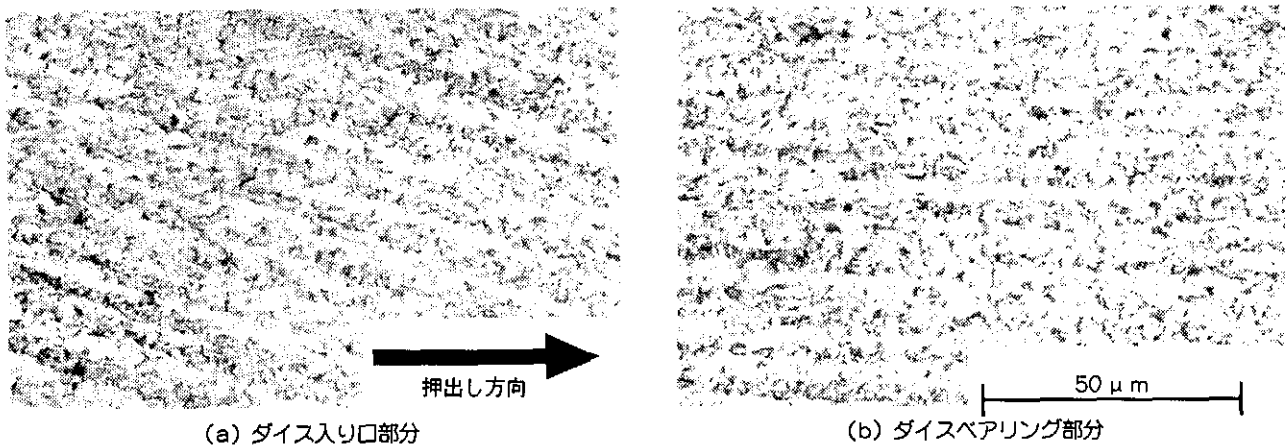


図12 押し出し製品の縦断面写真(NaOHでエッチング)

表1 引張試験の結果

	引張り強さ /MPa	破断ひずみ(伸び) /%
押し出し製品 (板厚4mm)	122	34.5
溶製材 (A1100)	140	21.2

表2 硬さ試験の結果

		硬さ H_{RH}
押し出し製品 (板厚2mm)	中心部	48
	端部	49
押し出し製品 (板厚4mm)	中心部	53
	端部	51
溶製材 (A1100)		65

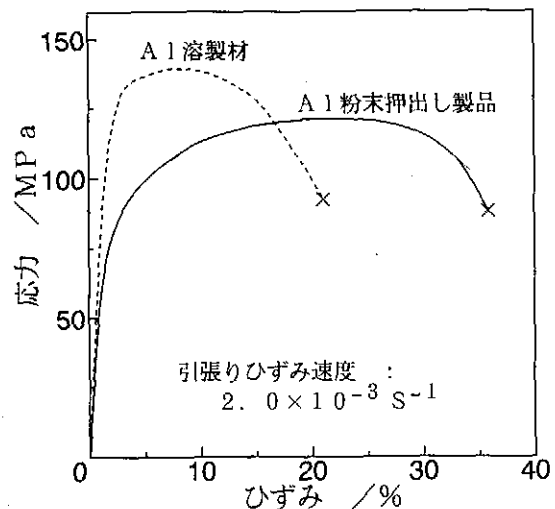


図13 応力-ひずみ曲線図

6. 結 論

- (1) 粉末製品の押出し加工において、二軸対向型は、定常状態の持続性、製品に付加されるせん断ひずみの状態において単軸型よりも優れている。
- (2) 本実験で得られた粉末製品はアルミニウム溶製材と同様な強さを得られたことから、本実験方法は、粉末から圧密成形する場合に適した方法であるといえる。
- (3) 圧密成形製品は高密度で微細な組織をもち、延性に優れた製品であるので加工性が増し、二次成形しやすい。

7. 参考文献

- 1) 中村 保・田中繁一・平岩正至・今泉晴樹・加藤 剛：
平3塑性加工春季講演論文集、(1991)、271～274.

8. 本助成による研究発表論文

- 1) 星野倫彦・小原嗣朗：第44回塑性加工連合講演会、
(1993)、683～686.