

微小金型による人工粒子の成形技術

神奈川工科大学 工学部 機械工学科

教授 水沼 晋

(平成9年度研究開発助成AF-97021)

1. 研究の目的と背景

粉体の圧縮挙動は、圧密式として知られている各種の式で表現されている。たとえば、Athy の式、Cooper の式、川北の式などである。これらは、金型圧縮やCIPにおける圧力と密度の関係を実験式としてまとめたものである。一方、力学的解析に利用できる式としては、多軸応力と密度の関係式が島らにより得られている。しかし、これらの式に含まれる定数と粉末の諸特性との関係については必ずしも明らかにされていない。今後この関係が解明されていく必要があるが、筆者はそのための新しい手法を提案している。その骨子は「形状・寸法と材質を独立に変化させた形状材質制御粒子（形状制御粒子）と名づけた粒子を用いて、各方向の圧力が測定できる計測金型で圧縮実験を行うことにより、粉末の諸特性と圧縮式との関係を解明する」というものである。

本研究はその実験で使用する形状制御粒子の製造法のうちで金型プレス法により球粒子を作成する方法に関するものである。

2. 形状制御粒子について

線材切断法、金型プレス法、ボールミル転動法、加熱法などを適宜組み合わせることにより形状・寸法および材質を独立に変化させた粒子を作成しこれを形状制御粒子と呼ぶ。また、実粉体を分級することにより得られた形状や材質が均一な粉末も形状制御粒子に含める。図1に形状制御粒子の概念図を示した。

3. 計測金型について

4個の直方体ダイスブロックと先端が直方体の上下パンチを組み合わせるにより、構成された直方体キャビティを持つ金型にロードセルを取り付け、ダイスブロックおよび上下パンチに作用する荷重を測定することにより、被圧縮中の粉体が受ける圧力および摩擦係数を求めるこ

とができるようにした金型である。模式図を図2に示した。

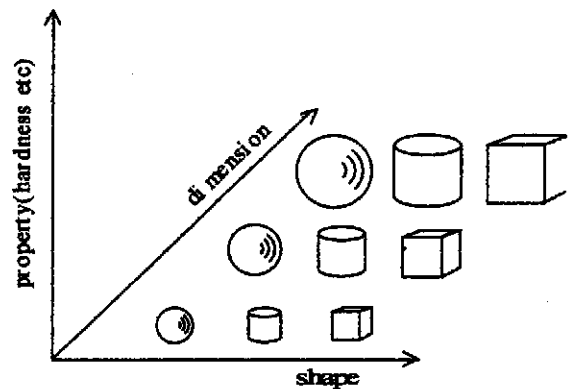


図1 形状材質制御粒子

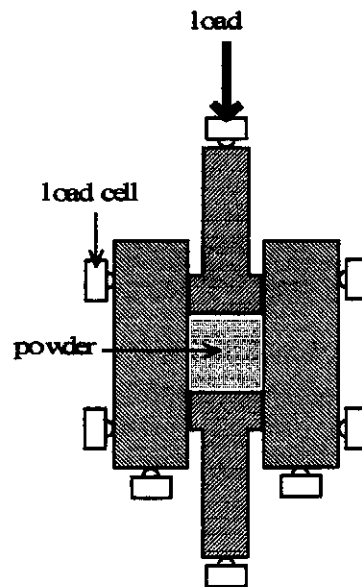


図2 計測金型

4. 実験方法および結果

円形断面の金属線材を軸に垂直に切断することにより

円柱粒子を作成し、これを球金型でプレスし球粒子を作成する。真球度が求められる場合は、この後平行板転動により仕上げ加工を行う。なお、金型プレス時の座屈挙動を詳細に調査するため、平行板圧縮実験も行った。

実験素材として、純アルミニウムおよび半田（63% SnPb）の線材を使用した。

4. 1 球金型による成形

球形キャビティをもつ金型の球直径 (D) を 1.5mm と 0.8mm の 2 種類とした。使用した円柱素材 (円柱粒子) の寸法は、1.5mm 球金型に対しては、素材直径:0.9、1.0、1.1、1.2mm、素材高さ:1.8、1.9、2.2、2.3、2.7、2.8mm である。

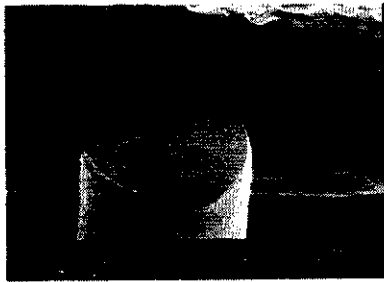


図3 プレス用素材 (アルミニウム円柱粒子)

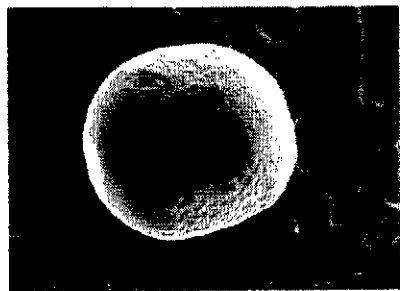


図4 金型成形後の形状 (アルミニウム、素材高さ 2.2mm)

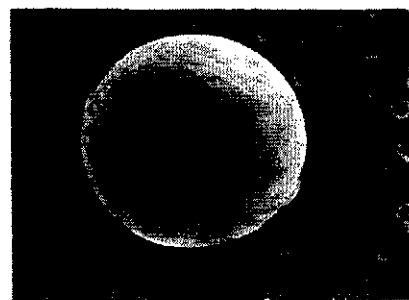


図5 金型成形後の形状 (アルミニウム、素材高さ 2.3mm)



図6 金型プレス時の座屈の例 (アルミニウム)

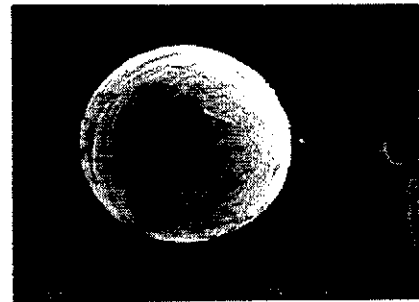


図7 平行板転動仕上げ後の形状の例 (アルミニウム)

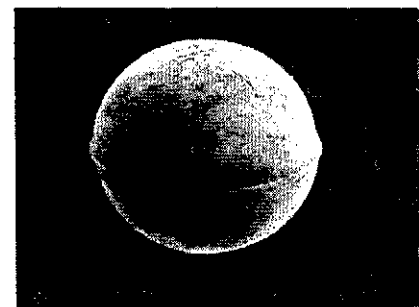


図8 金型成形後の形状 (ハンダ、素材高さ 2.2mm)

また、0.8mm 球金型に対しては、素材直径:0.4、0.5、0.6mm、素材高さ:1.3、1.4、1.9、2.1、2.2mm である。

成形挙動のいくつかの例を図3～図7の写真で示す。図3は直径1mmのアルミニウム線材をせん断により切断し作成した円柱粒子の端面のSEM写真である。図4および図5は直径 $d=1.0\text{mm}$ 、高さ $h=2.2\text{mm}$ および $d=1.0\text{mm}$ 、 $h=2.2\text{mm}$ のアルミニウム円柱粒子を直径 $D=1.5\text{mm}$ の球金型で成形した粒子を示している。金型底面 (上下2つ割り金型の天地方向) は図4ではほぼ左右方向、図5ではほぼ上下方向である。嚙出し方向はそれに対して直角方向である。図4では天地方向に未充填部が見られるが、水平方

向にも未充填であり噴出しは見られない。図5でも天地方向の未充填部があるが、水平方向には噴出しが生じている。図6は素材である円柱粒子の細長比が大きいときの金型圧縮中に生じる坐屈現象の例である。図7は、やや噴み出しが生じている球金型成形後の粒子を平行板転動により仕上げ加工した後の外観を示している。噴出しおよび未充填部がなくなり良好な球形状になっているのがわかる。図8はハンダの球金型により成形後の形状を示している。アルミニウムとほぼ同様の現象が見られる。

以上のように、円柱粒子を球金型で圧縮成形するとき発生する形状不良は坐屈、噴出し、未充填の3種類であることがわかる。この形状不良が生じない成形範囲について実験結果に基づいて以下に考察する。

図9および図10はそれぞれアルミニウムおよびハンダの坐屈限界を示している。

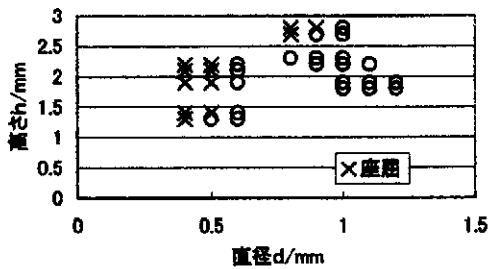


図9 球金型成形における坐屈限界 (アルミニウム)

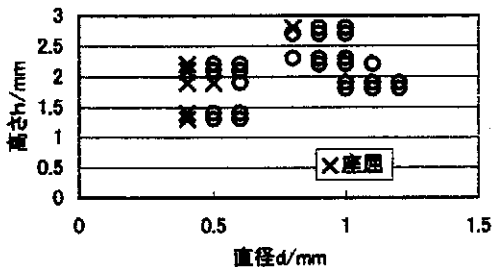


図10 球金型成形における坐屈限界 (ハンダ)

これらの図から、坐屈が生じる限界の細長比 (=素材高さ/素材直径) は一定ではなく直径が小さくなるにつれ急激に小さくなるのがわかる。この坐屈限界を直径が小さい方へ外挿すると直径が 0.2mm~0.3mm 程度で高さが

0mm になるので、このあたりが円柱粒子を用いた場合に金型成形により球を成形できる限界であると予想される。

図11および図12はそれぞれアルミニウムおよびハンダにおける噴出しに対する素材の寸法条件の影響を示している。×印の場合に噴出し量が 0mm 以上になる。

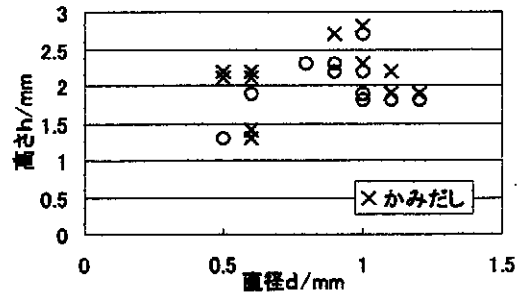


図11 球金型成形における噴出し限界 (アルミニウム)

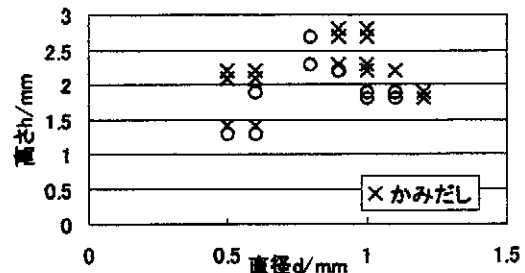


図12 球金型成形における噴出し限界 (ハンダ)

これらと図9、図10とを比較すると、噴出し限界と坐屈限界はほぼ同じ程度の寸法条件で生じることがわかる。ところで、噴出しについては、金型のキャビティ部の孔型形状を工夫し逃がし部分を設けることにより、実質的な噴み出し限界をかなり向上させることができると考えられる。また、噴出しに関しては、直径が小さくなると急激に噴み出し限界高さが低下するという事は考えにくい。これら2つのことを考慮すると、球の直径が 1.5mm 以下の小球の成形性においては、噴み出し限界よりも坐屈限界が支配的であることがわかる。

未充填部の大きさは、未充填部の投影円の直径 (未充填部長さ) を球の直径で除した値の%表示で表す。

図13および図14はそれぞれアルミニウムとハンダの場合の未充填部長さを40%を境として表示したものである。図9~図12と詳細に比較することにより、坐屈

限界や噴出し限界の近くであれば、著しい未充填は生じないことがわかる。したがって、未充填現象が良好な形状を得るための条件に対して影響することはないといえる。

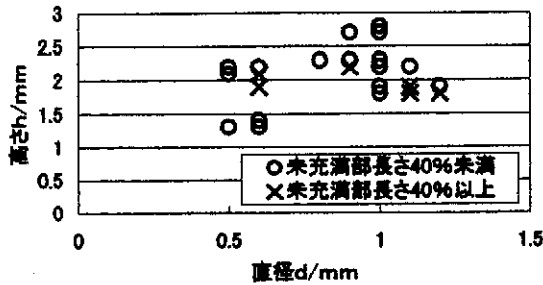


図 13 球金型成形における未充填部 (アルミニウム)

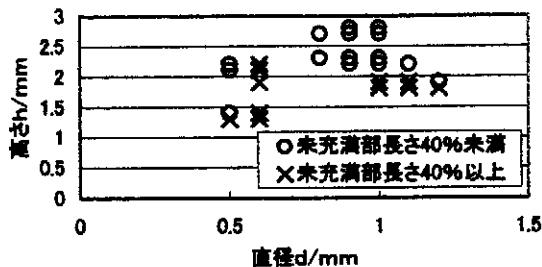


図 14 球金型成形における未充填部 (ハンダ)

以上の実験結果より球形状を過不足なく成形できる円柱粒子は、坐屈限界から決定することができ、たとえば、1.5mm 直径の球を成形する場合には、アルミニウム、ハンダいずれでも、

素材直径 $d = 0.9\text{mm}$ 、素材高さ $h = 2.7\text{mm}$

であることがわかる。

4. 2 平行板による円柱の圧縮

前節に示したように、球の寸法が定まると、適正な素材寸法が定まるが、この結果をより小さい球の成形条件にそのまま外挿してよいかどうかをより詳細に検討しておく必要がある。そのために、坐屈現象をより検討しやすくするために、球金型は使用せず平行板で円柱粒子を圧縮することにした。

図 15 および図 16 にアルミニウムおよびハンダの場合の実験結果を示す。

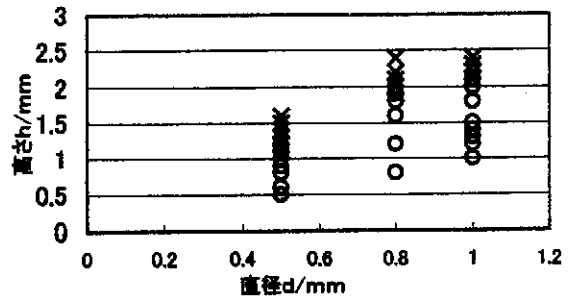


図 15 平行板圧縮における坐屈限界 (アルミニウム)

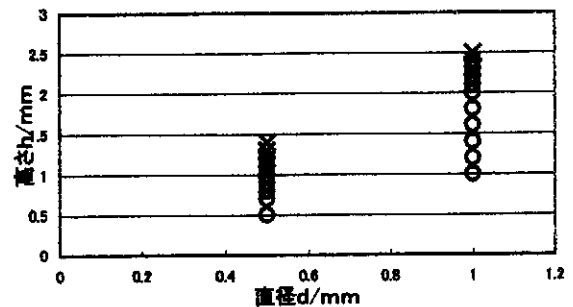


図 16 平行板圧縮における坐屈限界 (ハンダ)

ハンダの場合にはデータ不足により座屈限界が直線か曲線か判断できないが、アルミニウムの場合には上に凸な曲線であり、球金型による圧縮の場合と定性的に一致している。この坐屈限界線を小さい径の方に外挿すると、球金型と同様に直径が 0.3mm 程度となる。ただ、この結果はデータの外挿により得られたものであるため、今後より多くのデータを蓄積するとともに塑性坐屈の視点にたつ理論的検討が必要である。

5. 結び

球金型を用い、円柱粒子から直径 1.5mm 以下の小球を作成する技術の概要がほぼ明らかになった。今後、各種材料にもこの方法を応用していくとともに、この方法を拡張して各種形状材質制御粒子の作成技術を確認していく予定である。

6. 謝辞

本研究は、天田金属加工機械技術振興財団の研究助成により遂行されたことを記し、謝意を表します。