

(第12回) 2016年度・研究助成報告

研究題名	ADEMシミュレーションによる粉体圧縮成形における粉化・圧密挙動の解析
研究期間	2016年4月1日～2018年3月31日
研究機関・所属 研究者名	東北大学多元物質科学研究所 石原真吾

1. 2016 (2017) 年度研究成果の概要

本研究では、圧縮成形過程における粒子挙動を解析し、成形体の微構造制御ならびに原料粉体の性状から成形体の特性を予測するためのシミュレーションモデルとして ADEM(Advanced Distinct Element Method)の開発を行った。

単粒子圧縮シミュレーションでは、ADEMにおける連結バネ定数および最大ひずみの2つのパラメータが単粒子の圧縮特性に及ぼす影響について検討を行い、連結バネ定数はヤング率に、最大ひずみは靱性に相当することがわかった。圧縮特性の異なるクラスター粒子を直径の異なる円筒容器に充填して圧縮した際の挙動をシミュレートし、単粒子の圧縮特性と粒子群の圧縮特性の関係について解析を行った。単粒子の圧縮強度が小さいほど、圧縮成形時の粉化率が大きくなり、また、円筒容器径が小さいほど粉化率が大きくなった。移動壁近傍の充填層上部において粒子が破碎されやすく、圧縮時の充填層の応力には分布があり、初期の充填構造によって局所的に応力が高くなる場合があることがわかった。

2. 助成期間内での研究成果の概要

1. はじめに

粉体の圧縮成形は、金属やセラミックス等の原料粉末を押し固める操作であり、原料粉末を適切な形状や構造を有した成形体に加工するために行われている。材料の高機能化が著しい昨今では、圧密過程での粒子の破碎や変形を伴う複雑な粒子挙動を制御し、成形体に所望の性状を発現させることが求められている。本研究では、圧密過程における粒子挙動を解析し、原料性状から成形体の特性を予測するためのシミュレーションモデルとして ADEM(Advanced Distinct Element Method)の開発を行った。

2. シミュレーション方法および単粒子の破碎特性

非球形粒子の運動挙動や、破碎、粉化挙動を表現可能なシミュレーションモデルとして ADEMの開発を行った。ADEMでは、球形の構成粒子の集合体としてクラスター粒子を表現し、構成粒子同士を連結バネで接続することにより相互作用力を計算する手法である。外力によって連結バネが破断された後は、構成粒子は離散体としてふるまう。粒子や壁の接触に関する力の計算は離散要素法に基づいて計算を行うこととした。

単粒子の破碎特性を把握するため、単粒子圧縮シミュレーションを行った。クラスター粒子の形状は球形とし、クラスター粒子径を50 μmとした。その他の計算条件を Table 1 に示す。予備検討から連結バネ定数と最大ひずみが破碎特性に大きな影響を及ぼしたため、

これら二つのパラメータを変化させてクラスター粒子を一軸圧縮した際の圧縮強度を Fig.1 に示す。連結バネ定数が増加するほど、また、最大ひずみが増加するほど圧縮強度が増加することがわかる。今回計算を行った条件では、連結バネ定数が 10 N/m、最大ひずみ 0.10 のとき圧縮強度が 5 MPa、連結バネ定数が 5 N/m、最大ひずみ 0.10 のとき圧縮強度が 3 MPa であった。

Table 1 Simulation conditions of compressive test of single particle

Primary particle size	[mm]	1.0
Compressive velocity	[mm/min]	10
Joint-spring coefficient	[N/m]	1~10
Maximum strain	[-]	0.01~0.10
Number of primary particles	[-]	410

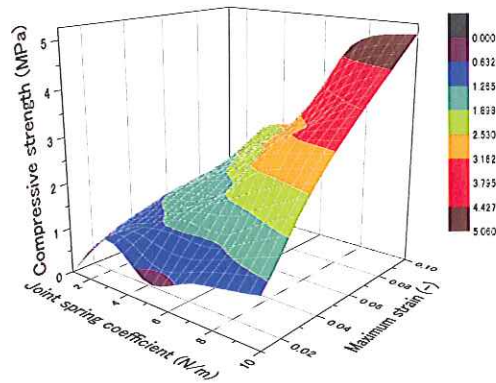


Fig.1 Compressive strength as a function of joint spring coefficient and maximum strain.

3. 粉体層圧縮成形シミュレーション

単粒子圧縮試験により圧縮強度が明らかとなっているクラスター粒子を径の異なる円筒容器にそれぞれ充填し、圧縮した際の挙動を解析した。計算条件を Table 2 に示す。Fig.2 には容器径 300 mm における圧縮前後の様子を示す。圧縮荷重の増加により、粉体層の各所で破砕が起きていることがわかる。Fig.3 に、各条件における粉化率と圧縮荷重の関係を、Fig.4 に荷重-変位曲線を示す。ここでクラスター粒子が 3 個以下の破砕片を粉と定義し、全体の粒子数に対する粉の粒子個数の割合を粉化率とした。容器径が小さいほど、荷重に対する粉化率の値は大きくなった。これは壁の影響であると考えられ、容器径が小さいほど壁の影響により粒子が拘束されるためであると考えられる。また、単粒子の圧縮強度が小さいほど粉化率が大きくなることがわかる。

Table 2 Simulation conditions of compressive test of particles in a drum chamber

Primary particle size [mm]	[mm]	1.0
Compressive velocity [mm/min]	[mm/min]	10
Joint-spring coefficient [kN/m]	[kN/m]	5, 10
Maximum strain [-]	[-]	0.10
Drum diameter [mm]	[mm]	200, 300, 400
Frictional coefficient [-]	[-]	0.5



(a) Before compress



(b) After compress

Fig.2 Compressing behavior of cluster particles

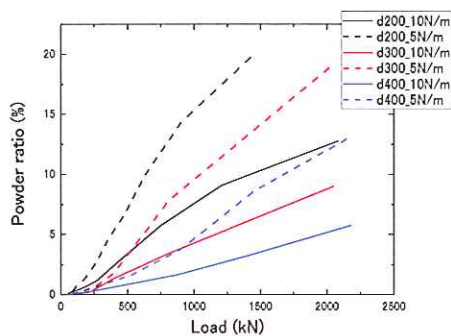


Fig.3 Powder ratio as a function of load

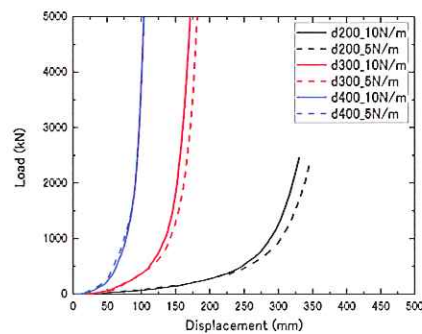


Fig.4 Load-displacement curve with different diameter of cylinder

4. まとめ

単粒子の破碎特性から粉体層の圧縮成形における粒子挙動を予測するためのツールとして ADEM を構築し、円筒容器における粒子群の圧縮シミュレーションを行った。その結果、圧縮強度が大きいほど粉化率は小さくなった。また、円筒容器の径が小さいほど粉化率が大きくなる結果が得られた。これらの結果は今回使用した計算条件における結果であるので、今後は摩擦係数などの影響を明らかにすること、また実験結果との比較を進めることで、モデルの実用性が高まるものと期待できる。

3. 研究発表

学会発表

1. Shingo Ishihara, Junya Kano, Modeling and simulation of particle breakage considering internal structure, APT2017, Jul, 2017, Taiwan
2. 石原真吾, 加納純也, 内部構造を考慮した粒子破碎のシミュレーション, 2017年度粉体工学会春期研究発表会, 2017年5月, 東京