

## 第6章 偏析の基礎と解析およびトラブル対策

### 第1節 粉体の取り扱いにおける偏析現象

フルード工業株式会社

小波 盛佳

#### 1 粉粒体の偏析とは

粉粒体の偏析とは、混合物中の物性の近似した粉粒体同士が集合し、偏在することである。偏析と呼ぶときは、「混合」と対比して避けるべき現象として扱われている。一方、分離は工学の分野では分離操作のようにそれを目的として行うのが一般的であるが、一般用語としては避けたい側から好ましい側まで幅広く使われている。ただ、偏析という用語はあまり知られていないため、粉体の専門家でない人に対しては、「粉体の分離・偏析」という言葉で説明する方が分かりやすい。

製品が粉粒体の混合品を原料にしている場合は、成分の偏りが問題になりやすい。粉粒体プラントが完成し製造を開始した後に、初めてこの問題が生じて対策が必要になることがある。筆者は、プラントにおける数件の偏析トラブルについて課題の提示を受け、その対策を示してきた。偏析現象はさまざまな場面で起こり、それぞれのメカニズムは必ずしも明らかにされていないが、現象を把握して対症的に解決できることも多い。ここでは、偏析の基本的な事項について概説し、プロセス中の偏析現象を明らかにして、防止対策を講じるために実例を挙げて示す。

#### 2 偏析を生じる物性

偏析を生じる物性には次のようなものがある。

- ①粒子径の差：大粒子と小粒子の間で生じる。
- ②密度の差：高密度粒子と低密度粒子の間で生じる。
- ③形状の違い：形状が異なる粒子同士の間で起こる。本稿では形状度の厳密な定義には言及せず、球に近いものを単に球形度が高いと表現する。
- ④その他：反発係数、内部・壁摩擦特性、静電気帯電性の差によるものなどがある。

これらの中で粒子径と密度による偏析がよく知られており、また形状による偏析のトラブルも多くみられる。

#### 3 偏析を起こさせる運動と力

粉粒体混合物の偏析は、層の表面で生じる表層偏析、層の内部で起こる槽内偏析およびそれらの組み合わせとして論じられる<sup>1)</sup>ことや、固体同士の相対運動に伴う偏析が振動と

せん断に分けて説明される<sup>2)</sup>ことがあるが、実際の場面では偏析の原因はさらに広範にわたる。

粉粒体プロセスや機器内で問題となる偏析は、特定の箇所だけで起きるとは限らない。混合と同様に局所偏析と全体偏析の2段階で起こるとみられる場合もある。具体的に言えば、パーコレーション（percolation すりぬけ、浸透）などによる部分的な偏析によって層全体の中で局所的に成分の異なる部分が生じる局所偏析と、流路が概ね定まった流動状態において高速側に次第に大粒子が増えていくような全体偏析である。それらを数値で明確にすることは難しいが、現実には局所偏析はわずかな振動などでも起こりやすく、それがその後の工程で全体偏析となって表れることも多いようである。

本節では、実際に起こる偏析の具体的な対策を考えることを目的として、偏析を引き起こす運動や力を挙げて記述する。

### 3.1 転動による偏析

粉粒体が堆積層または傾斜壁の表面で転がるときは、粒子によって転がりやすさの差がある。そのために、転がりの開始地点からの距離の差による物性の差、すなわち偏析が生じる。この現象は、大粒子、球形粒子が遠方に移動する、すなわち貯槽内や水平床上における堆積層であれば辺縁部まで転がりやすいことに表れている。密度の高低もいくらか影響する。

また、図1に示すように、質量の大きい粒子が小さい粒子を押しつけながら移動して遠方に移動することに起因して偏析を生じることがある。この場合、高密度粒子、大径粒子、高球形度粒子は転がり流路の主な流れに乗って下方に移動する。一方、低密度、小径粒子、低球形度粒子は粉粒体層の表面部に残留するか、転がり流路から脇に押しつけられるかしやすい。

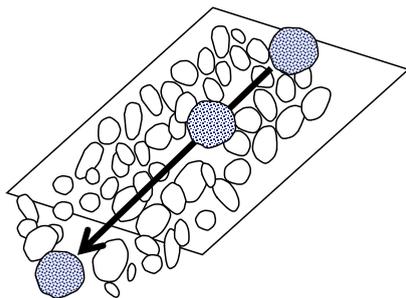


図1 傾斜板上での転がり

さらに、粒子が転がりながらパーコレーションによって偏析すると考えると、小径粒子、高密度粒子、高球形度粒子は層の下側に移動することで、結果として転がり開始点付近か

ら水平方向には移動しにくい。すなわち、円錐形の堆積層であれば中央部にとどまりやすい。

実際に粒子が堆積層上を移動するとき、多くの作用が重なって複雑な偏析が生じている。この転動による偏析は、供給時に積み上がっていく場合の堆積層表面と、排出時に堆積層が次第に減っていく場合の滑り線付近の両方で同様に生じる。実際の現象では、供給時に大径の球形粒子が遠くまで転がる様子がよく観察される。図2は回転型の堆肥製造装置から排出された堆積物の偏析の様子である。



図2 堆積時の大小粒子偏析

### 3.2 振動による偏析

パーコレーションは、粉粒体層が静置されている場合でも、わずかな振動や衝撃で生じうる。層を形成している粒子間の間隙より径が小さい粒子は、力のバランス次第ではその間隙を縫って下方へ移動しうる（図3-a）。

粉粒体層に流動化までには至らない程度の振動が与えられて粒子が運動している場では、パーコレーションによる偏析が生じやすくなる（図3-b）。これは、粒子間の間隙が一時的に大きくなり、また粒子間の摩擦が見かけ上小さくなることで、粒子の相対的な移動が容易になるからである。この現象は、速度の小さい粉粒体の移動層内でも同様に生じる。

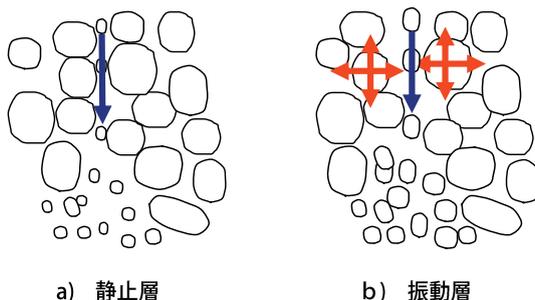


図3 振動場でのパーコレーション