粉体の流動化水平輸送の輸送特性

Transportation characteristics of fluidized powder conveying in a horizontal channel

学 ○山下 純人 (大分高専) 学 廣瀬 智也 (大分高専)
正 尾形 公一郎 (大分高専)

Sumito YAMASHITA, National Institute of Technology, Oita College, 1666 Maki, Oita
Tomoya HIROSE, National Institute of Technology, Oita College
Koichiro OGATA, National Institute of Technology, Oita College

Key Words: Fluidization, Powder conveying, Particle, Fluidizing velocity, Mass flow rate, Solid loading ratio

1. 緒言

一般に、粉体層の底部に均一な空気を送りこむと粒子間力、粒子一壁面間力が低減して流動化が生じ、粉体の流動性が向上することが知られている。この操作を用いた粉体の高濃度輸送方法にエアスライド輸送がある⁽¹⁾。この方法は水平面に対して任意の傾斜角を有する輸送管内で粉体を流動化させて輸送する。粉体の大量輸送が可能で、消費動力や粉体の摩耗が少ないなどの利点はあるが、輸送時の粉体に重力成分を与えるために輸送管に傾斜角を設ける必要があるとされている。加えて、粉体の流動化輸送では水平輸送が原理上不可能と言われており、この輸送方法の使用用途は制限されているのが現状である。そこで、筆者らは流動化を用いた粉体の水平輸送の研究を進めてきた⁽²⁾⁻⁽³⁾。

これまでの研究では、粒子密度がほぼ一定で粒子径の異なる2種類のガラスビーズを用いて、輸送装置の供給容器と輸送管の底部に供給する空気速度を変化させた場合の輸送特性を調査した。その結果、両粒子ともに、供給容器底部へ空気を供給し、輸送管底部へ最小流動化速度以上の空気を与えることで粉体の流動化水平輸送が可能であることが確認された。また、被輸送粉体の粒子径が大きくなると、単位時間当たりの輸送量と混合比が低下することが分かった。しかしながら、粒子密度が異なる粉体の流動化輸送特性の知見は得られていない。

そこで、本研究では、ガラスビーズと粒子径がほぼ同等で粒子密度の異なるPVCを使用して、粉体の流動化水平輸送実験を行った。既報⁽⁴⁾では、供給容器底部への空気速度が一定で輸送管底部に供給する空気速度を変化させた場合の粉体輸送特性を報告した。本報では、供給容器底部の空気速度を変化させた場合のPVCの輸送特性を述べる。

2. 実験方法

Fig.1に流動化水平輸送装置の概略を示す。本輸送装置は粉体供給容器と矩形水平輸送管から成る。供給容器はアクリル製円筒容器で、内径241mm、高さ1000mmである。輸送管もアクリル製で、輸送距離1000mm、1辺30mmの正方形断面である。供給容器底部と輸送管底部には厚さ6mmの多孔材を取り付けている。粉体輸送に使用する空気はコンプレッサで生成し、マスフローコントローラで流量設定を行う。粉体輸送量はロードセルで測定し、供給容器底部、輸送管底部と回収器底部に設置した。圧力測定には圧力センサを使用し、供給容器と輸送管の底部に設置した。供給容器内の粉体層高さはレーザー変位計で測定した。供給容器内と輸送管内の粉体のフローパターンはデジタルビデオカメラで撮影した。

実験は、粉体を供給容器に充てんした後、供給容器底部に空気を供給して粉体層を一時的に流動化させ、粉体層上部を供給容器底部に対して水平にする。その後、流量設定

した空気を供給容器と輸送管の底部に同時に送り込み、供給容器内の粉体が水平輸送管を流れて回収器へ輸送される。

3. 実験条件

本実験では平均粒子直径 $d_p=151\mu\text{m}$ 、真密度 $\rho_p=1382\text{kg/m}^3$ 、最小流動化速度 $u_{mf}=9.0\text{mm/s}$ のPVCを使用した。

Table1に実験条件を示す。表中の M_{pi} は粉体の初期充てん量、 u_h は供給容器底部の空気速度、 u_t は輸送管底部の空気速度を表している。本研究では、 u_h と u_t を u_{mf} で無次元化した値をパラメータとした。また、 u_h と u_t は供給容器と輸送管の底部に供給する空気流量を、それぞれの通過断面積で除した値である。

4. 実験結果と考察

Fig.2に粉体輸送量 M_{pi} の時間変化を示す。輸送粉体はPVC、 $u_h/u_{mf}=0.844$ 、 $u_t/u_{mf}=0.898\sim 3.85$ である。Fig.3に u_h/u_{mf} と u_t/u_{mf} を変化させた場合のPVCの輸送状態の判定結果を示す。ここで、本研究では、既報⁽³⁾と同様にFig.2の粉体輸送量の時間変化の結果からFig.3の輸送判定を行った。まず、Fig.2の $u_h/u_{mf}=0.898$ 、 1.027 の条件では、粉体の輸送は行われているが十分な粉体輸送量が得られていない。このため、十分な流動化輸送が得られない条件として、Fig.3に△で示した。次に、Fig.2の $u_t/u_{mf}=1.283$ 、 1.581 の条件では、空気の供給開始後に粉体輸送量が急速に増加し、徐々に傾きが減少する分布を示す。この輸送特性を輸送の遷移条件としてFig.3に●で示した。また、Fig.2の $u_t/u_{mf}\geq 2.567$ の条件では、粉体輸

Fig.1 Experimental apparatus

Table 1 Experimental conditions

Initial mass of powder M_{pi} [kg]	11
Fluidizing velocity of vessel u_h/u_{mf} [-]	0~1.519
Fluidizing velocity of channel u_t/u_{mf} [-]	0.898~3.85

送量の時間変化の分布形に変化が見られなくなる。この輸送特性は既報^{(2)・(3)}と同様であり、円滑な輸送が可能な条件として Fig.3 に○で示した。さらに、粉体輸送が行えなかった条件は Fig.3 に×で示した。

Fig.3 の結果から、本実験で使用した PVC も既報^{(2)・(3)}と同様に、供給容器底部に空気を供給し、なおかつ輸送管底部に最小流動化速度以上の空気を供給する条件で円滑な流動化水平輸送が可能であることが確認された。

Fig.4 に単位時間当たりの最大輸送量 G_{smax} と輸送管底部の空気速度 u_f/u_{mf} の関係を示す。ここで、供給容器底部の空気速度 u_f/u_{mf} も変化した。図中の G_{smax} は各実験の輸送開始から 2.5 秒ごとの輸送量の傾きの最大値である。図より、 u_f/u_{mf} が一定の条件では、 G_{smax} は $u_f/u_{mf}=1 \sim 1.6$ の条件で u_f/u_{mf} の増加とともに増加し、その後は G_{smax} の大幅な増加は見られない。また、 G_{smax} の大幅な増加が見られない領域では、 u_f/u_{mf} の増加とともに G_{smax} が増加し、 $u_f/u_{mf} > 1$ の条件では G_{smax} が同等の値を取る傾向を示した。

Fig.5 に輸送管底部の空気速度 u_f/u_{mf} と供給容器底部の空気速度 u_h/u_{mf} を変化した場合の最大混合比 m_{max} を示す。ここで、 u_f/u_{mf} と u_h/u_{mf} の変化は Fig.4 と同一である。また、最大混合比は単位時間当たりの最大輸送量を輸送時に供給した空気的全質量流量で除した値であり、これは粉体の輸送効率として考えることができる。図より、 m_{max} は $u_f/u_{mf}=1 \sim 1.6$ の条件で急激に増加することが確認できる。その後、 m_{max} は $u_f/u_{mf}=1.6$ 付近で最大値を取り、 u_f/u_{mf} の増加とともに減少する傾向を示す。また、 $u_f/u_{mf} \geq 0.844$ の条件において、 m_{max} の u_f/u_{mf} に対する分布形が類似する傾向が確認された。

Fig.2 Time histories of the mass of transported powder (PVC, $u_h/u_{mf}=0.844$)

Fig.3 The state of powder conveying of PVC with the fluidizing velocity at the bottom of the vessel and the channel

これらの結果は、本輸送装置の供給容器と輸送管の底部へ供給する空気速度を増加させても、必ずしも輸送効率が増加する訳ではないことを意味している。さらに、本実験条件の範囲内では、 $u_h/u_{mf}=1.266$, $u_f/u_{mf}=1.581$ の条件で輸送効率の最大値を示し、その値は 400 程度で高濃度輸送が実現できていることが確認された。

5. 結言

本研究では、輸送装置の供給容器と輸送管の底部に供給する空気速度を変化させた場合の PVC 粉体の流動化水平輸送実験を行い、次の結果が得られた。

- (1) PVC においても、供給容器底部に空気を供給した状態で、輸送管底部に最小流動化速度以上の空気を供給すると円滑な流動化水平輸送が実現できることが分かった。
- (2) 供給容器や輸送管の底部へ供給する空気速度を増加させても、単位時間当たりの最大輸送量や最大混合比は必ずしも増加しない傾向が確認された。

参考文献

- (1) Klinzing, G. E. et al., Pneumatic conveying of solids, Chapman and Hall, 340-347 (1999)
- (2) Ogata et al., *Advanced Powder Tech.*, 23-6, pp.761-770 (2012)
- (3) 廣瀬・山下・尾形, 混相流シンポジウム 2014 講演論文集 on USB, D233, pp.1-2(2014)
- (4) 山下・廣瀬・尾形, 日本機械学会九州学生会第 45 回卒業研究発表講演論文集, No.148-2, pp.413-414(2014)

Fig.4 Relationship between the maximum mass flow rate of PVC powder and the fluidizing velocity at the bottom of the vessel and the channel of the PVC

Fig.5 Relationship between the maximum solid loading ratio of PVC powder and the fluidizing velocity at the bottom of the vessel and the channel