ダブルレット型吸込みノズルの空気輸送特性に及ぼす 張出し長さの影響

C113

池口 昌宏[○] (鹿児島大院), 福原 稔 (鹿児島大), 片野田 洋 (鹿児島大)
飯野 直子 (鹿児島大), 亀田 昭雄 (鹿児島大)

Effect of Extension Length on Pneumatic Conveying Characteristics of Doublet Type Suction Nozzle

Akihiro Ikeguchi, Minoru Fukuhara, Hiroshi Katanoda,
Naoko Iino and Akio Kameda

ABSTRACT

In the pneumatic transportation, the authors propose that the effective and stable feeding of the particles can be attained by inserting the injection pipe at the center of the suction nozzle. In this paper, we examined the effect of extension length on the nozzle performance. As a result, it was found that the nozzle performance can be raised by extending the injection pipe. The various flow patterns particles obtained by different extension length were clarified by the flow visualization near the suction nozzle.

Key words : Pneumatic conveying, Suction nozzle, Multi-phase flow

1. まえがき

著者らは、空気輸送法を用いた粉粒体輸送の供給器としてダブルレット型粉粒体吸込みノズルを提案している。これは、粉粒体沈積層の流動化を促進するために、吸込み管内の同軸上に噴流吹出し管を備えたノズルである。これまでに粉粒体輸送の高効率化と安定化を目的として、吹出し流によるノズル性能の向上の効果⁽¹⁾や、通気性に乏しい粉体に有効であること⁽²⁾、管径比の影響⁽³⁾などが報告されている。本報では、粉粒体沈積層内の深い位置から噴流を吹出すために吹出し管を従来のものより鉛直下方に延長した張出し管を用い、張出し長さを様々変化させた実験を行った。その結果、張出し長さが粒子輸送特性に及ぼす影響が定量的に明らかになった。またノズル近傍の可視化実験を行い、張出し長さが粒子沈積層の流動様相に与える影響を視覚的に明らかにした。

2. 実験装置および方法

Fig.1に実験装置の概略図を示す。吹出し噴流は、送風機より送られた空気が吹出し管③より供試容器⑦内の粒子沈積層⑥に鉛直下向きに吹き出される。この噴流により流動化された粒子は、吸込みノズル④より吸い込まれ、セパレータ⑨によって空気と分離された後、回収タンク⑩に回収され、実験終了後に計量される。

Fig.2にノズル部分の概略図を示す。本装置は可視化実験も同じ装置で行うことを考慮しているため、円形吸込みノズルを半割にしたものを透明アクリル板に取り付けた半円筒ノズルを用いた。ノズル寸法は、吸込み管内径を $D_s=100\text{mm}$ 、および吹出し管内径を $D_f=20\text{mm}$ とし、張出し管の長さ L_f を D_s で除し無次元化した値 L_f/D_s を、1.2, 1.5, 1.8と変化させる。ノズル性能について調査するためにノズル下端よりセンサ高さ H を220mmとして圧力

センサ⑧を取り付け、粒子回収中の吸込みノズルの圧力を測定した。本実験のノズルは固定式であるので、ノズル外周部に粒子供給調整器⑤を取付け、ノズル端面を常に粒子層表面に接するようにし、粒子をノズル下方へ連続供給できるようにした。また吸込み流と吹出し流の各流量は、送風機の回転数を変化させて調節を行い、それぞれオリフィス流量計 (Fig.1-②, ⑫) の差圧より算出した。本実験では実験開始前に一定量の回収粒子を供試容器の粒子供給調整器外周部に入れておき、測定中に供

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Schematics of doublet type suction nozzle

試容器外部から粒子を追加しないようにした。回収粒子には平均粒子径 $d_p=0.06\text{mm}$ （密度 2520kg/m^3 ）の球形ガラスビーズを用いた。吸込み空気流量は粒子の浮遊速度を十分に満足する $Q_s=0.35\text{m}^3/\text{min}$ とし、吹出し空気流速 U_i を変化させて実験を行った。粒子回収時間は、粒子が十分に連続供給されている範囲とした。

3. 実験結果および考察

Fig. 3に流速比と混合比の関係を示す。横軸には吹出し流速を吸込み空気流速で除した値である流速比 U_i/U_s をとり、縦軸には回収粒子質量流量 G_p を吸込み空気質量流量で除した値である混合比 m をとる。Fig.3より混合比はいずれの張出し長さでも流速比が高くなると上昇し、ある点以降は減少する傾向を示す。また、張出し管の長さが長いほど全体にわたり高い値を示すことがわかる。

Fig.4に流速比 $U_i/U_s=15$ における可視化画像を示す。この可視化画像から、張出し管を設置することで吹出し流を粒子沈積層のより深い位置から出すことができ、流動化領域が広がり、それにより多くの粒子の流動化を促進していることがわかる。これより吸込みノズルへの粒子の流入量が増え、混合比が増加するというメカニズムを確認することができた。

Fig.5に (a) $L_i/D_s=0$ 、 $Q_i/Q_s=1.26$ と (b) $L_i/D_s=1.8$ 、 $Q_i/Q_s=0.65$ の可視化画像を示す。どちらの画像も同程度、粒子沈積層を掘り下げていることがわかる。(a)においては、深く掘り下げるために、吹出し空気流量を大きくする必要があるが、それにより流動化領域が拡大し過ぎて吸込みノズル直下の粒子を吹き飛ばし、流入を阻害してしまう。それに対し、(b)では吹出し空気流量を大きくしなくても深く掘り下げることができるため、阻害せずに効率よく粒子の輸送ができていることがわかる。これにより張出し管を設置することで、粒子の流入を阻害せずに粒子沈積層を掘り下げることができ、効率よく粒子の回収をすることができる様子が確認できた。

ノズル効率 η は粒子の得たエネルギーを損失エネルギーで除した値であり、次式で表される。

$$\eta = \frac{G_p g H}{Q_s \Delta P_s + Q_i \Delta P_i} \quad \dots (1)$$

ここで、 g は重力加速度、 Q_i は吹出し空気流量、 ΔP_s は吸込みノズル全圧損失、 ΔP_i は吹出し管全圧損失である。

Fig. 6に各張出し長さにおける流速比とノズル効率の関係を示す。張出し長さが長くなるほどノズル効率が上昇していることがわかる。このノズル効率が上昇した要因は混合比が大きく増加したのに対し圧力損失（図略）があまり上昇しなかったことによる。

4. むすび

ダブルレット型吸込みノズルについて、吹出し管の張出し長さが粒子輸送特性に及ぼす影響を調べた結果、以下の結論を得た。

(1) 吹出し管を鉛直下方向へ延長した張出し管を設置

Fig. 3 Relation between loading ratio and velocity

(a) $L_i/D_s=0$ (b) $L_i/D_s=1.8$

Fig. 4 Visualization images ($U_i/U_s=15$)

(a) $L_i/D_s=0$, $Q_i/Q_s=1.26$ (b) $L_i/D_s=1.8$, $Q_i/Q_s=0.65$

Fig. 5 Visualization images

Fig. 6 Relation between nozzle efficiency and velocity ratio

することにより、従来の装置より混合比を上昇させることができる。

- (2) 上記の現象は吹出し位置が深いため、流動化領域を広くすることができ、また、従来の装置に比べ阻害を起こさずに深く掘り下げることができることが可視化画像より明らかになった。
- (3) 張出し管を設置することでノズル効率が上昇する。

参考文献

- (1) 野崎・堀之内・福原・李, 粉体工学, 34 (1997), 400-404.
- (2) 加藤・他4名, 可視化情報, Vol. 19, Suppl. No. 2 (1999), 333-334.
- (3) 大牟礼・他5名, 可視化情報, Vol. 26, Suppl. No. 1 (2006), 121-122.