705

縦渦誘起による粉粒体空気輸送の高効率化

Improvement of Pneumatic Transpotation of Powder and Grain by introducing Longitudinal Vortices

> 正 山下新太郎(岐阜大) 正 井上 吉弘(岐阜大) 山本 路広(山本機械)

Shintaro YAMASHITA, Gifu University, 1-254 Yanagido, Gifu Yoshihiro INOUE, Gifu University, 1-254 Yanagido, Gifu Michihiro YAMAMOTO, Yamamoto Machinery, 4-174-1 Kurono Minami, Gifu

Key Words: Pneumatic Transpotation, Longitudinal Vortex

はじめに

粉粒体の空気輸送は,産業界で素材搬送に広く用いられ, 高速大量輸送,防塵・防爆,衛生的,省スペース・低コスト などの長所から,実用上重要な技術である。この課題は,粉 粒体の搬送量対空気流量をいかに大きくするか,つまり所望 の搬送量に対していかに所要動力を低減させるかにある。こ れまでにも様々な工夫がなされてきたが,空気流動との関連 で粉粒体の挙動のどの部分にどのような操作を加えるのか, という基本的な立脚点が明確でない。

いま,適当な粒子層に流体を流す場合を考えることにすれ ば,流体速度と粒子層で生じる圧力差との関係から,粒子の 運動は,固定層,流動層,分散粒子群としての運動,そして, 単一粒子としての運動,と分類できる。ここで,高濃度輸送 は流動層に対応し,低濃度輸送は分散粒子群の運動に対応す る。粒子の集団,すなわち粒子群の運動はいくつかの流動様 式に分類され,気流速度,混合比,重力のような力学的条件 と,粒径や管径などの幾何学的条件によって規定される。流 動様式は圧力損失に深く関連する。

空気輸送における全圧力損失 Δp_i は、流体流動に伴う損失 Δp_g と粒子の存在による付加圧力損失 Δp_s によって、 $\Delta p_i = \Delta p_g + \Delta p_s$ のように表される。空気の圧縮性を考慮しな い場合、空気の保有するエネルギーは、概ね運動エネルギー と圧力エネルギーの和となり、粒子輸送に伴うエネルギー 費は圧力損失となって現れる。そして、単位時間当たりのエ ネルギー消費量すなわち所要動力は、 $E_L = \Delta p_i Q_g$ で評価され る。ここで、 Q_g は空気の体積流量である。全圧力損失 Δp_i も また、空気流量に依存して変化し、通常使用領域では空気流 量の増加とともに大きくなることを考慮すれば、所要動力の 低減化には所要空気流量の減少が重要であり、また圧力損失 係数を小さくする必要もある。

本試験では,粉粒体空気輸送の高効率化を実現するための 流力的装置の1つとして,高速低濃度圧送式輸送装置におい て,縦渦を発生するためのフィンを内蔵した管("縦渦誘起 管"と呼ぶ)を固気混合部の上流に装着し,粉粒体輸送に要 する所要動力や閉塞速度に関する性能試験を行う。ここで用 いた縦渦誘起管モデルには4種類のものがある。何れのタ イプも基本的には管軸方向に軸を持つ,いわゆる縦渦を発生 させるものであり,図1に模式図を示す。この縦渦発生方法 から,各モデルを単渦発生管モデル(SW),らせんリブモデル (SR),テトラ渦発生管モデル(VT),そして回転羽根モデル (RV)と呼び,前3モデルの形状を図2に示す。

粉粒体空気輸送の運転に際しては,所望の種々条件をクリ アするだけでなく,安定した輸送条件の確保と省エネルギー が重要となる。前者は空気流速度の増加によって保証され, 逆に後者は空気流速度の減少によって達成され,すなわち, 両者は相反した運転条件を要求することとなる。本可能性試 験で開発・実用化を目指す縦渦誘起管は,空気流量を増加さ せることなく,管内流れの中に予め各種の縦渦を導入し,輸 送管内の粉粒体を撹拌するものであり,本試験でその達成程 度を明らかにする。

試験結果

実験装置の製作と予備実験 本試験は、図3に示す圧送 式の高速低濃度輸送装置を用いて行った。輸送管には、呼び 径50の透明塩化ビニールパイプ(平均内径 D = 52 mm, 長 さ2 m)を用いた。粒子流量 G_s は、ダンパの開口数によっ て0.123, 0.252, 0.386 kg/s の3段階で調整した。一方、 空気流量 Q_g の高精度測定のため流量測定部を設け、孔径 d= 32 mmの薄刃オリフィスを用いた。これらより、混合比 $m=G_s/G_g$ (G_g :空気質量流量 = $\rho_g Q_g$)で最大10までの広 範囲にわたる特性試験を可能とした。供試粒子は、ポリスチ レン系の樹脂粒子 エスレンビーズHA(積水化成品工業製): 粒径 1.2 - 2.0 mm (平均 1.6 mm)であり、真密度 ρ_s =1000 kg/m³、かさ密度 650 kg/m³、浮遊速度 5.4 m/s である。

各モデル圧力損失係数の比較 まず、空気単相流での縦 渦誘起管の圧力損失を調べた。その結果、損失係数($\zeta_{model} = \Delta p_{model} / (\rho V_m^2/2)$)の形で縦渦誘起管の圧力損失を示せば、 SW、SR、VTの順に、 $\zeta_{model} = 1.232$, 0.224, 1.168となる。SW とVT modelの損失係数は僅差であるが、SW model が最も大 きく、SR model はその約 18 %にとどまっている。

旋回速度成分の横断面内分布 縦渦誘起管によって形成 される流れ場を調べるために、5孔管による平均速度ベクト ルの測定を行った。図4に、SW model下流500 mm の位置で の横断面内旋回速度ベクトルマップを示す。図より、流れの 旋回の様子をよく見て取ることができる。また、SR と VT model については、本実験から定常的に認知し得るほどの旋 回速度成分を検出することができず、今後、非定常成分の検 出も含む試験法の改善やフィン形状の最適化を含めて、継続 的な検討が必要である。

縦渦誘起管がない場合の輸送特性 まず, 輸送管内の粒

日本機械学会東海支部岐阜地区講演会講演論文集('01.9.15) Na013-2

子運動の様子を観察するために可視化を行い,続いて圧力損失の試験を行い,全圧力損失,付加圧力損失,圧力損失比等 を *l* = 2 m と 6 m について調べた。

これらの結果を代表して、図5に圧力損失比 Δ*p*_s/Δ*p*_g を、 横軸に混合比 *m* をとって示す。実験点は、輸送管長に依らず よく一致しており、さらに浮遊輸送に対応する範囲(高流速 域)では1本の曲線上にまとまるようである。この領域から 外れ、圧力損失最小気流速度近傍では、混合比だけでなく気 流速度あるいは粒子流量の影響を受けるようになる。

縦渦誘起管による輸送特性の改善 最後に、縦渦誘起管 を装着した場合の粒子混入試験を行った。輸送管長1=6 mの 場合の付加圧力損失を、図6に示す。図より、粒子流量 G.=



図1 縦渦導入模式図



(a) SW-model



(b) SR-model



(c) VT-model





0.123 と 0.252 kg/m³ において、縦渦誘起管による圧力損失の低減化が達成されている。

しかし、本試験結果には期待されただけの効果が充分に現 れておらず、これは導入された旋回流の強さあるいは乱れ強 さと供試粒子の浮遊速度との不適合が原因と考えられる。

おわりに

- (1) 試験装置の設定と試験データの不確かさを改善した。
- (2) 静止型縦渦誘起管3モデルを試作した。
- (3) 縦渦誘起管の圧力損失係数の試験,並びに,旋回速度成 分の測定を行った。
- (4) 静止型縦渦誘起管を用いた粒子輸送試験より,付加圧力 損失低減化を確認した。



図4 SW model 下流の旋回速度ベクトルマップ



図5 縦渦誘起管がない場合の圧力損失比

