研究報告

円錐ロータ型遠心風力分級機の特性

Classification Performance of a Centrifugal

Conical Rotor Air Separator

河崎 正直* 田中 善之助**

Masanao Kawasaki Zennosuke Tanaka

井伊谷 鋼一**

Koichi Iinoya

1. 緒言

乾式分級機としてサブシープ領域の分級機には種々のものがあるが、通常はセメント工業などのようにそのプロセス専用に設計され、しかも運転条件も定まったものが多い。しかし一般に分級機としては種々の原料粉体に対し、いろいろの操作条件で効率よく運転できることが望ましい。分級機を比較するに際して、現在のところまだ分級性能を示す十分な表示法も定まっていないうし、分級機のパフォーマンスまたは特性を示すデータの公表はあまり多くない。

本報告は円錐ロータ型遠心空気分級機をサブシープ領域で実験し、その性能を明らかにするとともに、分級機のパフォーマンス表示方法を検討したのでここに報告する。

2. 実験装置および方法

本実験に用いた円錐ロータ型エアセパレータは図1に示すように、パイロットプラントスケールのもので、実験装置の概略を図2に示す。粉体はテーブルフィーダで定量供給され、分散機に空気流とともに入り、カクハン翼によって気流中に充分分散され、円錐ロータ型エアセパレータで細粉と粗粉に分級される。細粉の大部分はサイクロンで捕集し、残部はバッグフィルタで捕集する。一方粗粉はセパレータの下部から直接取り出す。

分級機中における分級機構は次の通りである。気流中に分散した粒子は分級機下部より入り、ケーシングとロータの間の環状部を上昇する。ロータには幅30mm、長

さ270mmの羽根が20枚対称に取り付けてあり、環状部の気流に回転を与える。粒子は環状部を通る際に遠心力をうけ、粗粒子はケーシング上に捕集され、粗粉出口へ、細粒子は気流とともにロータ上面を通して中央の出口管からサイクロンに至り分離される。

本実験に使用した粉体は鋳物用けい砂8号 ($10\mu < D_p < 200\mu$, $\rho_p = 2.7 \text{ g/cm}^3$) で、その粒度分布を図3に示す。

図1 円錐ロータ型遠心風力分級機

昭和46年9月8日受理

* (株) 栗本鉄工所産機設一部 (〒558 大阪市住吉区柴谷町4-3)
TEL

** 京都大学工学部化学工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

1 - 31 11

①フィードホッパー ②テーブルフィーダ ③入口ノズル
④分散機 ⑤供試分級機 ⑥サイクロン ⑦ブロウ

図2 実験装置フローシート

図3 原料粒度分布 (けい砂8号)

実験は各パラメータを次の範囲で変化させ、208回行なった。

- ロータ回転数 $N=0\sim480$ rpm
- 風量 $Q=10, 15, 20$ m³/min
- 粉体混合比 $m=0\sim1.2$ (kg-Solid/kg-Air)
- スリーブ高さ $h=0, 5, 10$ cm
- ロータ上部クリアランス $H=5.2, 8.0, 10.8$ cm
- ロータ上面に羽根 (100×100mm, 8枚) を取り付けた場合の影響

実験に際してはロータ上面への粉体の堆積による誤差が起らないよう充分注意した。粗粉および細粉の粒度測定は主として標準ふるいによるふるい分け法によったが、必要なものに対しては沈降天秤法を用いた。測定値は粉体供給速度と供給時間、粗粉と細粉重量および空気流量であり、空気流量は分散機の前で入口ノズルによって測定した。粉体供給量は1回の測定に対し、2~30kgで、供給時間は1~4minである。なおサイクロンの捕集効率は99.3~99.7%であるので、バッグフィルタに捕集される量は無視した。

3. 実験結果および検討

分級機としては希望する粒子径で分離できること、および分級効率のよいことが重要である。さらに高濃度で運転が可能で、動力消費の少ないことも望ましい。本分級機の重要な条件である分離粒子径に着目すれば、その定義には種々のものがあるが、平衡粒子径を用い遠心力による粒子の沈降速度がストークスの法則に従うとして、ケーシングとロータ間の環状部を上昇する気流速度との関連性より理論式を導くと次式が得られる。

なお式の導入に際しては、田中³⁾らがセメント用エアセパレータについて求めた報告を参考にした。(付録参照)。

$$d_{pe} = \frac{8350}{N} \sqrt{\frac{a\mu Q}{l\rho d_m(d_m^2 - d_o^2)}} \quad \dots\dots(1)$$

- ここで
- d_{pe} : 分離粒子径 [cm]
 - N : ロータ回転速度 [rpm]
 - a : 粒子の沈降距離 [cm]
(=羽根の上下周端とケーシングの間隙)
 - μ : 空気の粘度 [g/cm·sec]
 - Q : 風量 [m³/min]
 - l : 羽根の高さ [cm]
 - ρ : 粒子の真比重 [g/cm³]
 - d_m : ロータ平均径 [cm]
 - d_o : ロータ平均径部のケーシング直径 [cm]

しかし、この(1)式では $D_{pe} < 20\mu$ でしかも $N > 100$ rpm の時に対して、誤差30%以下で適用でき得るのみで、全テスト結果には適用できない。これは粒子が上昇気流中で重力による沈降の影響を受けるためと考えられる。

そこでテスト結果より実験式を求めると次式が得られた。

$$D_{pe} = k \frac{G^{3/4} W^{1/4} H^{1/4}}{N} \quad \dots\dots(2)$$

ここで D_{pe} : 平衡粒子径 [ミクロン]
 G : 風量 [kg/min]
 W : 粉体供給速度 [kg/min]
 H : ロータ上面とケーシングとの間隔 [cm]
 N : ロータ回転速度 [rpm]
 k : 定数300 [microns/kg-cm^{1/4}]

(2)式はまた次のようにも表わせる。

$$D_{pe} = k \frac{Gm^{1/4} H^{1/4}}{N} \quad \dots\dots(3)$$

ここで m : 混合比 [kg-Solid/kg-Air]

(2)式を定性的に説明すれば、風量 Q が増加すれば、ロータとケーシング間の風速が増加し、分離粒子径が大きくなる。またロータの位置を下げて上部間隔 H を増加させると、ロータとケーシング側壁との間隙を減少させる

図4 回転速度による平衡粒子径の変化

図5 混合比による平衡粒子径の変化

ため、風速の増加を生じるとともに、ケーシング上部での慣性による捕集を減少させ、同じく分離粒子径を増大させる。一方粉体供給速度 W の増加は、混合比が大きくなって粒子の回転速度が減少し、分離粒子径を増大させるものと考えられる。また分離粒子径が回転速度 N に逆比例するのは、遠心力(N^2 に比例)の増加が分離粒子径 D_{pe} を減少させるためであり、粒子の運動に対してストークスの抵抗法則($D_{pe}^2 N^2 = \text{一定}$)がほぼ適用できる領域であることから、定量的に説明できる。

図4および図5に、回転速度および混合比による分級平衡粒子径の変化を示す。

図6に実験値と(2)式による計算値との比較を示す。この図から(2)式は $\pm 15\%$ 程度の範囲内で実験値と一致しており、充分実用できる。(2)式が適用できるということは、本分級機においては回転速度の調節により簡単に分離粒子径を選定できることを示す。ただし(2)式は回転速度については $N > 100$ rpmを適用範囲とし、定数 k は装置のサイズなどによる装置定数と粒子密度の関数である。また図6からわかるように分級平衡粒子径が10~80ミクロンの範囲の分級が可能である。なおスリーブ高さ h によって平衡粒子径は変化しないことを図7に示す。

つぎに分級効率についてのべると、一般に分級効率は使用粉体や運転条件によって変化するので、効率値のみによって分級機の性能を一義的に表現することは困難であり、通常はある運転条件での部分分離効率曲線や、原料、粗粉および細粉の分級粒度分布の例をあげるのが普通である。しかしここではすでに報告した分級効率線図^{4,5)}を用いて図8に全実験結果を示す。この図から本分級機は比較的小さな分離粒子径($D_{pe} = 20 \sim 40$ ミクロン)に対する分級機としてニュートン効率 μ_n が40~60

図6 平衡粒子径の計算値と実験値の比較

図 7 平衡粒子径におよぼす下部スリーブ高さの影響

図 8 分級効率線図⁵⁾

%程度であり、実用性のあるものとする。他形式の分級機については詳細な性能があまり発表されていないので、比較は困難であるが、ほかの形式と比べて³⁾、同等またはそれ以上の性能があるといえよう。参考のため結果の一例を RRS 線図を用いて図 9 に示す。

本分級機はかなり濃厚な混合比 ($m=1.2$)⁵⁾まで使用が可能で、濃厚なために効率が著しく低下することは認められなかった。また分離粒子径をさらに大きくするためには、風速を上げるとともに、ケーシング上部を円錐状にする方法などが考えられる。

なお、ロータ上面に放射状に高さ 100 mm、長さ 100 mm の羽根 8 枚を取り付けた実験を行なったが、側面羽根が支配的であり、上面羽根のみの場合には平衡粒子径は大きくなり、効率がわずかに低下するとともに、平衡粒子径は N の 1 乗ではなく、ほぼ $-1/2$ 乗に比例することが認められた。

図 9 分級結果の一例

4. 結 言

円錐ロータ型遠心風力分級機についてけい砂 8 号を用いて実験を行ない、平衡粒子径について(2)式の実験式を得るとともに、分級性能について検討を行なった。

本分級機の特長としては消費動力が少なく、処理能力の大きいことがあげられよう。また、回転速度の調節により分級粒子径を簡単に変え得る。

付 録

粒子はロータと同一回転すると仮定し、粒子の遠心沈降速度 V_m はストークスの法則に従うとすると、次式で表わせる。

$$V_m = \frac{d_{pc}^2 \rho d_m \omega^2}{36 \mu} \quad \dots\dots(1a)$$

粒子が遠心沈降する水平距離を a とし、羽根高さを l 、上昇気流の平均速度を u_m とすると次式を満足する D_{pe} が分離径と考えられる。

$$\frac{a}{V_m} = \frac{l}{u_m} \quad \dots\dots(2a)$$

ここで

$$u_m = \frac{\frac{1}{60} \times Q \times 10^6}{\frac{\pi}{4} (d_m^2 - d_0^2)} \quad \dots\dots(3a)$$

とする。

(1a), (2a) および (3a) 式より(1)式を得る。

記 号		記 号	
a	: 粒子の遠心沈降距離 [cm]	m	: 混合比 [kg-Solid/kg-Air]
d_m	: ロータ平均直径 [cm]	N	: 回転速度 [rpm]
d_0	: ロータ平均直径のケーシング直径 [cm]	Q	: 風量 [m ³ /min]
d_{pe}	: 分離粒子径 [cm]	u_m	: ロータとケーシング間の上昇気流平均速度 [cm/sec]
D_{pe}	: 分離粒子径 [microns]	V_m	: 遠心力による粒子の平均沈降速度 [cm/sec]
D_{pe}	: 平衡粒子径 [microns]	W	: 粉体供給速度 [kg/min]
G	: 風量 [kg/min]	μ	: 気体粘度 [g/cm•sec]
h	: 下部スリーブ高さ [cm]	ρ	: 粒子密度 [g/cm ³]
H	: ロータ上面とケーシングとの間隔 [cm]	ω	: ロータの角速度 (= $\pi N/30$) [rad/sec]
k	: 定数 [microns/kg•cm ^{1/4}]		
l	: 羽根の高さ [cm]		

引 用 文 献

- 1) 古川晋三: 産業機械, No. 131, 50 (1961)
- 2) 河崎正直: 産業機械, No. 161, 8 (1964)
- 3) 田中達夫, 桑野健, 川合清一: 化学工学, 21, 798 (1957)
- 4) 田中善之助, 井伊谷鋼一: 化学工学協会第 33 年会講演要旨集 No. E203 249 (1968)
- 5) Tanaka, Z. and Iinoya, K.: *J. of Chem. Eng. of Japan*, 3, 259 (1970)