サイクロン分離器の分離効率*

Efficiencies of Cyclone Dust Collectors

上 滝 具 貞**

Tomosada Jotaki

富 田 侑 嗣**

Yuji Tomita

吉 田 幸 一**

Kouichi Yoshida

1. 緒 言

サイクロン分離器の分離効率は、ほかの機械のように固有の値はなく、供試粉体の粒度分布と部分分級効率に依存すると考えられる。したがって分離効率は、サイクロン分離器の形状、寸法、運転状態および、分離しようとする粉体の粒度分布を factor としてもつことになる。本報では、分離前の粒度分布を Rosin-Rammler 分布と仮定した場合のサイクロン分離器の分離効率の式の作成を試みた。

2. 最小捕集径

粉体を含んだガスがサイクロン分離器の内・外筒間に一様分布して流入した場合、理論的な分離効率は、最小

捕集径と分離すべき粉体の粒度とから求められるはずである。一般に、サイクロン分離器の最小捕集径は、そのサイクロン分離器で完全に捕集できる粉体の中で最小径のものを意味するものであるが、サイクロン分離器の各半径位置に対して、最小の捕集粒径が存在するわけで、ここでは、各半径位置における最小の捕集粒径を最小捕集粒径と呼ぶことにする。

いま、サイクロン分離器内に流入する粒子群は内・外筒間で一様に分布されて流入するものとし、これが遠心力によって分離されるとすると、図1に示すように外筒壁近くにある粒子群は、外筒壁までの距離が短いので分離速度が小さい小粒子までも容易に壁面に到達するため捕集することができるが、内筒近くに流入した粒子群は、外筒壁までの運動距離が長く、分離速度が大きい大粒子しか到達できないため、最小捕集径は大きくなる。

3. 理論解析

外筒からの距離 x と、最小捕集径 δ_{0x} との関係は、Rosin¹⁾, First²⁾ らによって発表されているが、実際とはかなり異なり、上滝ら³⁾ による次式が実際とよくあうようである。すなわち

$$\delta_{0x} = 20e^{-0.152u_i} \left(1.633 - 0.0133u_i - \frac{x}{r_2 - r_1} \right)^{-2.66} \quad [\mu]$$

ただし u_i : サイクロン入口速度 [m/s]
 r_2 : 外筒半径 [cm]
 r_1 : 内筒半径 [cm]

ここでは、解析を容易にするため、近似的に最小捕集径 δ_{0x} を次のように表わすことにする。

$$\delta_{0x} = ax^k \quad \dots\dots(1)$$

図1 粒子の分離状態図

昭和47年7月31日受理

* 日本機械学会九州学生分会にて発表(1971年3月 福岡)

** 九州工業大学機械工学科粉体工学研究室

(〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1) TEL 093-871-1931

ただし a, k : 定数

x : 外筒壁から半径方向への距離

このことは、後の例で示すように、実験によりほぼ妥当であることが、確かめられている。また供試粉体の累積粒度分布を $R(\delta)$ とすると、サイクロン分離器の分離効率 η は、

$$\eta = \frac{1}{b} \int_0^b R(\delta_{ox}) dx \quad \dots\dots(2)$$

ただし b : 内・外筒間の距離 ($=r_2-r_1$)

で表わされることになる。

いま、

$$R(\delta) = 100 \exp(-\lambda \delta^m) \quad (\lambda, m \text{ は定数}) \quad \dots\dots(3)$$

とし、(2)式に、(1)式および(3)式を代入すると、サイクロン分離器の分離効率は、一般に次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{100}{b} \int_0^b \exp(-\lambda a^m x^k) dx \\ &= \frac{100}{b} \int_0^b \exp(-Ax^K) dx \quad [\%] \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

ここで、 $A = \lambda a^m$ 、 $K = km$ は、供試粉体の粒度分布および、使用サイクロンの形状、寸法および、運転状態によって決まる定数である。

(4)式は、このままでは解きがたいので級数による近似解を求めると、サイクロン分離器の分離効率 η は、

$$\eta = 100 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-Ab^K)^n}{n!(nK+1)} \quad \dots\dots(5)$$

図2 使用サイクロン分離器の寸法

となり、2～3項で収束する収束性のよい式で求まる。したがって、定数 A, K が一般的に求まり、供試粉体の粒度分布がわかれば、サイクロン分離器の分離効率はただちに求まることになる。

4. 例題⁴⁾

ガラスビーズおよび、消石灰による実験結果の一例を次に示す。ただし使用した接線流入型式のサイクロン分離器の形状寸法は、図2に示す通りである。

(最小捕集径 δ_{ox}) - (外筒からの距離 x) との関係式は、図式解法³⁾により、実用範囲 ($u_i \leq 20$ m/s) では次式で表わされる。

$$\delta_{ox} = (-0.385u_i + 9.92) \times 10^{-10} x^{6.314} \quad (u_i \leq 20 \text{ m/s})$$

ただし δ_{ox} : [μ]; u_i : [m/s], x [mm]

なお、本実験で得られた定数を表1、2に示す。

ここで、最小捕集径: $\delta_{ox} = ax^k$ (a, k は定数)

累積粒度分布: $R(\delta) = 100 \exp(-\lambda \delta^m)$ (λ, m は定数)

これら定数を使って(5)式により分離効率 η を求め、それらを実験値と比較すると、表3のようになり、ほぼ1%の誤差で、実験値と一致することが確かめられた。

5. 結 論

サイクロン分離器の分離効率を、供試粉体の粒度分布

表1 定数 a, k の値

入口速度 u_i	10 m/s	15	20
a	6.14×10^{-10}	3.96×10^{-10}	2.22×10^{-10}
k	6.314		

表2 定数 λ, m の値

試料	ガラスビーズ	消石灰
定数 λ	0.0013	0.0066
m	2.00	1.327

表3 実験値と理論値との比較

入口速度 u_i (m/s)		10	15	20
ガラスビーズ	実験値	93.77%	97.96	98.11
	理論計算	92.85	96.40	98.76
消石灰	実験値	93.2	95.6	97.2
	理論計算	93.90	96.36	98.21

図3 分離前後の頻度分布図

を、もちいて理論的に求めた。すなわち

$$\eta = 100 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-Ab^K)^n}{n!(nK+1)}$$

ただし $A = \lambda a^m$; $K = km$

で分離効率を求めることがわかった。これが実験により確かめられたが、定数 A , K は、供試粉体の粒度分布および、使用サイクロンの形状、寸法、運転状態によって決ってくるもので、これらの定数が一般的に、それら factor の関数として表わされねばならない。これら factor の関数を求めるためには、粒径が 20μ 以下の粒子が、サイクロン分離器の分離効率にきいてくるので、供試粉体の分離前後の粒度分離の精密な測定が必要である。 20μ 以下の微粒子を多量に含んだ粉体のときは、粒度分布の測定法により、必ずしも一致した数値を与えずまたその測定結果より分離前後の粒度分布を比較して、(最小捕集粒径 δ_{ox}) - (外筒壁からの距離 x) との曲線を求めるためには、よほどの精度を要することになる。

そこで、 A , K を一般的にもとめることは、粒度分布の測定精度いかによることになり、その点が本計算法の主眼点になる。

6. 付 録

図1において、(ABCD を底面とする三角柱状の立体) と (AEFCD を底面とする立体) との比が分離効率に相当するわけである。後者の立体の体積の求め方は、 π 方

向に積分して求める方法と、 δ (粒子径) 方向に積分して求める方法の通りが考えられる。本報は、前者の立場にたつものであるが、次に後者の場合についてのべる。後者の場合、前述の $(x - \delta_{ox})$ 曲線、すなわち曲線 AEF は、粒径 δ_{ox} に対して JIHG の中 EKHG が捕集されることを示すわけであるから、部分捕集効率の曲線に相当することになる。さらに図3のように分離前後のひん度分布を示すと、部分分級効率 η_δ は

$$\eta_\delta = \frac{f_c}{f_i} \times 100 \quad [\%] \quad \dots\dots(6)$$

となる。ここで、 $\eta_\delta = 1 - \exp(-\alpha\delta^n)^{5)}$ と表わされる、よって、全体としての効率は、

$$\eta = \int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} f_c d\delta = \int_0^\infty f_i \eta_\delta d\delta \quad \dots\dots(7)$$

となる。本報と同様、累積分布 R を

$$R = 100 \exp(-\lambda\delta^m)$$

とおくと、

$$f_i = \frac{-dR}{d\delta} = 100\lambda m \delta^{(m-1)} \exp(-\lambda\delta^m)$$

となる。したがって

$$\eta = \int_0^\infty f_i \eta_\delta d\delta = \int_0^\infty 100\lambda m \delta^{(m-1)} e^{-\lambda\delta^m} (1 - e^{-\alpha\delta^n}) d\delta \quad [\%] \quad \dots\dots(8)$$

となって、効率 η が求まることになる。

結局、(8)式は、全く同じものの積分を違った見方から行なったもので、実質的には、本報と全く同じものである。

(8)式は、 $0 \sim \infty$ までの無限積分であるのに対し、本報の(4)式は、 $0 \sim b$ までの有限積分であり、計算もまた容易である。

引 用 文 献

- 1) V.D.I., 76~433, Mar. (1932)
- 2) A.S.M.E., 49~A~127, Dec. (1949)
- 3) 上滝ら：粉粒, No. 15 (1970)
- 4) 吉 田：機械学会九州学生会, 第2回卒業研究発表会講

演前刷集 (昭46. 3)

- 5) "公害防止の技術と法規 (大気編)" p. 150, 産業公害防止協会 (1972)