流れの可視化を利用した風力分級器の設計と性能解析

Design and Analysis of a Pneumatic Classifier by Flow Visualization

吉 江 建 一*

Ken-ichi YOSHIE

山 本 英 夫*

Hideo YAMAMOTO

菅 沼 彰*

Akira SUGANUMA

青 木 隆 一*

Ryuichi AOKI

緒 言

風力分級器の性能解析および設計には、装置内の流れのようすを把握することが必要である。われわれは、拡大模型を用いて、流れの可視化を行なった。可視化を行なうにはさまざまな方法があるが、本報では、微小ミストをトレーサーとする方法を用いた。トレーサー法を用いる場合、分級器そのものにトレーサーを流して可視化を行なおうとしても、トレーサー粒子が慣性によって流れからはずれるため、流れを見たことにはならなくなる。拡大模型によって、実機の運転時におけるレイノルズ数の流れを作ると、拡大率 n 倍の模型では、流速 u は $1/n$ となり、代表長さ D_0 は n 倍となるので、粒子慣性パラメーター、 $P = \rho_p D_p^2 u / (18 \mu D_0)$ が $1/n^2$ となる。つまり、 n が十分大きければ、 P が小さくなって、粒子の慣性が無視できるようになるので、トレーサーは流れに追従し、流れを可視化できる。本報では、拡大模型の応用の一例として、Virtual-Impactor 型の分級器の流れ場を可視化した。可視化によって得た情報を用いて、流れ場の数値計算を行なった。そして、粒子の運動方程式から粒子軌跡を算出して、部分分級効率を計算した。この結果と実機の実験結果との比較を行なった。さらに、この可視化装置を用いて分級器の設計を行なう方法について検討した。

1. 可視化の方法および装置

可視化の対象とした、Virtual-Impactor 型の分級器の実機の概略図を Fig. 1 に示す。この装置は含じん気流を上部から導入し、スリットから横側に吹き出すことにより、流路を急激に曲げて、粒子に働く慣性力の差により分級を行なうものである。この装置で、入口風速20

Fig. 1 Schematic view of Virtual-Impactor-type classifier.

m/sec で、カットサイズは、 $\rho_p = 2.8 \text{ g/cm}^3$ で約 $10 \mu\text{m}$ であった。

本報では、実機の10倍の拡大模型をつくり、可視化を行なった。用いたトレーサーミスト*1)の空気力学的中位径は約 $1.7 \mu\text{m}$ であったので、模型内のトレーサーミストは、実機における $0.17 \mu\text{m}$ の微粒子に相当する。したがってトレーサーミストは流れに追従していると考えた。

Fig. 2 に可視化用拡大模型本体の概略図を、Fig. 3 に可視化用実験装置の概略図を示す。模型上面は透明アクリル板を用い、他はベニヤ合板を使用した。側面から水平方向にスリット光を入れることにより、撮影を行なった。流量の測定は熱電対風速計を用いて、 150ϕ の円

昭和57年7月28日受付

*東京大学工学部化学工学科 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)
TEL 03-812-2111

*1 トレーサー用のミストは、加熱ニクロム線上に流動パラフィン液を滴下して発生させた。ミストの粒径は、カスケード・インパクターによって測定した。

Fig. 2 Flow visualizing apparatus.

Fig. 3 Schematic diagram of experimental system.

管内の風速を測ることにより行なった。(円管内の風速と流量の関係は、あらかじめ検定した。)

2. 可視化実験の結果

Fig. 4～5 は含じん気流入口に相当する部分から、ミストを導入した時に得た写真である。白く写っている部分がトレーサである*2)。Fig. 6～7 は Wake の部分に細管でミストを導入した場合*3) の写真である。ミストは Wake 中に滞留し、ちょうど Wake の形に白く光っている。これらの写真から Wake の形状を決めた*4)。その一例を、Fig. 8 に示す。次節で述べる流

*2) 入口導入部分は仕切板にさえぎられて光があたっていないため、ミストは写っていない。

*3) Fig. 6 の2つの白点がミスト導入用細管の位置である。この位置は Wake 形状に変化を与えない場所を選定した。導入ミスト量も Wake 形状を変えない程度に押さえた。

*4) Wake の形状は、細管でミストを Wake 内へ入れた時と、入れない時の両方の写真を、それぞれグラフ上にうつ

Fig. 4

Fig. 5

Photographs of visualized flow. (Main flow)

Fig. 6

Fig. 7

Photographs of visualized flow. (Wake)

れの計算を差分法で行なう都合上、Wake の境界は、一部階段状に設定した*5)。

3. 部分分級効率の計算

3.1 計算方法

V.I. 内部の流れ場は、次の仮定に従って、S.O.R. 法を用いて計算した。この流れ場中に、一個の粒子を投入した時の軌跡を、運動方程式から求めた。運動方程式の解は、Runge-Kutta 法によって数値計算して求めた。各粒径ごとに、粒子が粗粒側に入る初期位置の限界を求

しとて決めた。後流側では、ミストの拡散で境界がぼやけるので、そこでは、両者の平均的な位置に境界を定めた。

*5) 計算には、Wake 境界を差分近似で階段状にした分の打ち切り誤差が若干含まれるであろう。

Fig. 8 One example of shape of wake

め、部分分級効率を算出した。

≫仮定≪

- 1) Wake 内部は剛体とみなす。
- 2) 主流 (Wake 以外の流れ) は、Potential 流とみなす。
- 3) 入口の流れは一様とする。

≫基礎式≪

$$\text{流れ: } \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (\text{連続の式}) \quad \dots\dots(1)$$

粒子の運動方程式: 水平方向:

$$P \frac{d^2 \bar{x}}{dt^2} = \left(\frac{d\bar{x}}{dt} - \bar{V}_x \right) \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{鉛直方向: } P \frac{d^2 \bar{y}}{dt^2} = \left(\frac{d\bar{y}}{dt} - \bar{V}_y \right) + \frac{\rho_p D_p^2 g}{18 \mu u_0} \quad \dots\dots(3)$$

$$\bar{x} = x/D_0, \quad \bar{y} = y/D_0, \quad \bar{t} = t/(u_0/D_0)$$

$$\bar{\phi} = \phi/Q, \quad P = \rho_p D_p^2 u_0 / (18 \mu D_0)$$

3.2 計算結果

実機を使った実験は、タルク粒子 ($D_{p50} = 9.5 \mu\text{m}$, $\rho_p = 2.8 \text{ g/cm}^3$) を用い、入口風速 20 m/sec で行なったものである³⁾。Clean-Air 同伴用仕切板位置 D_{cl} は 6 mm (Fig. 3 参照), $Q_{cl} = Q_c = 0.72 \text{ m}^3/\text{min}$, $R_d = D_0/D_c$ を 1.0 および 1.2 とした。 ($D_c = 12 \text{ mm}$) この実験条件と同じレイノルズ数の流れを可視化して、前節の手順で計算した部分分級効率が、Fig. 9 の点線および一点破線である。グラフ上に示された点は、実験値である。計算結果は、実験値とほぼ一致していることがわかる⁶⁾。このような簡便な方法によって、Fig. 9 に示す

Fig. 9 Partial classification efficiency.

程度の精度で分級器の性能の解析を行なえることがわかった。

4. 分級器の設計への拡大模型による流れの可視化の利用の例

われわれは、V.I. の分級原理を生かして、より高性能の分級装置を開発中である。この一環として、はく離のない安定した流れ場をもつ装置が、よい性能をもつであろうと考えて、それは如何なる形状となるかを探索した。

はく離の有無を調べるには、拡大模型による流れの可視化は、簡便で、有効な方法であると考えられる。そこで V.I. 内のエッジを丸めたり、ダクトの形状を変えた

Fig. 10 One example of shape of classifier and its main flow.

*6) Wake 内部を剛体と仮定して、流れ場を解くやり方は、かなり思い切った方法である。しかし、文献2)の中で行なわれている例を見ても、実験値と計算値の一致は割合良いようである。乱流混合や、入口導入部の壁付近の境界層の効果を考えに入れれば、さらに一致が良くなるものと考えられる。

りして、流下方向への流れの拡大のしかたが少なくなるようにし、はく離のない形状を拡大模型を使って、流れをみながら探索した。Fig. 10 はその結果得た形状の一例である。図からわかるように、流れははく離がなく安定している。このように、拡大模型による流れの可視化が、分級器の設計に応用可能であることがわかった。

結 言

V. I. 型風力分級器を例にとって、拡大模型による流

れの可視化が分級器の性能解析に利用できることを示した。また、はく離のない安定した流れをもつ分級器形状の探索を例にとって、拡大模型による流れの可視化が、分級器の設計に利用できることを示した。

Nomenclature

D_0 : width of inlet duct	[mm]	u_0 : initial velocity at inlet duct	[m/sec]
D_e : width of outlet duct of coarse side	[mm]	V_x : stream velocity of x -direction	[m/sec]
D_{e1} : width of inlet duct of clean air	[mm]	V_y : stream velocity of y -direction	[m/sec]
D_f : width of outlet duct of fine side	[mm]	x : horizontal coordinate	[m]
L : slit length	[mm]	y : vertical coordinate	[m]
g : gravitational acceration	[m/sec ²]	μ : viscosity of air	[m/kg·sec]
P : particle inertia parameter	[-]	ρ_p : density of particle	[kg/m ³]
Q : gas flow rate	[m ³ /sec]	ϕ : stream function	[m ³ /min]

引 用 文 献

- 1) 浅沼強編：「流れの可視化ハンドブック」浅倉書店(1977)
- 2) 宇敷建一，久保清和，井伊谷鋼一：化学工学論文集，3，172(1977)
- 3) 吉江建一，山本英夫，菅沼彰，青木隆一，化学工学協会第46年会要旨集 B107(1981)
- 4) 吉田英人，藤井謙治，米本良行，増田弘昭，井伊谷鋼一：化学工学論文集，4，419(1978)

Author's Abstract

Design and Analysis of a Pneumatic Classifier by Flow Visualization

by

Ken-ichi YOSHIE, Akira SUGANUMA, Hideo YAMAMOTO and Ryuichi AOKI

(Dept. of chem. Eng. Univ. of Tokyo)

This paper describes of a method for the design and analysis of a pneumatic classifier by flow visualization, using a magnified model.

For the design and analysis of a pneumatic classifier, it is necessary to know the flow field. Flow visualization by small mist tracer is an easy way to know a flow field.

If tracer particles are thrown into the actual classifier, particles deviate from the stream by inertia force. So it is not possible to look at the real flow.

However, using a sufficiently magnified model, tracer particles do not deviate from the flow. It then becomes possible to investigate the real flow.

A model, 10 times larger than the virtual-Impactor type classifier was made. And using the results of the flow visualisation, the shape of the wake was determined.

It is assumed that the wake is a rigid body, and the main flow is the potential flow. By the S.O.R. method, it is possible to calculate the flow field. By solving one particle's dynamic equation, it is possible to obtain the trajectory of the particles of each diameter and the partial classification efficiency. These calculated results are in approximate agreement with the experimental results.

Afterwards, using the magnified model, a search for the shape of a classifier which has good characteristics is undertaken. One example of a classifier which was searched for is shown.

研究速報

含じん気流中に置かれた障害物上への粉じんの堆積と再飛散

Deposition and Repulsion of Dust Particles Impacted on an Obstacle Setting in a Dusty Gas Flow

大島 敏男*
Toshio OSHIMA

廣田 満昭*
Mitsuaki HIROTA

森下 弘之*
Hiroyuki MORISHITA

有本 健司**
Kenji ARIMOTO

1. 緒 言

含じん気流中に置かれた障害物上への粉じんの堆積・再飛散現象は、慣性集じん性能を支配する重要な問題である。気流中の粒子の障害物への衝突に関しては多くの研究が行なわれ、慣性パラメータと衝突確率の関係が種々の形状の障害物について求められている。一方、衝

突した粒子が障害物上に捕捉されるか反発飛散するかについては、粉体の付着性や流動性などの性質と密接な関係があると予測されるが、この問題に関する研究は少なく¹⁾、特に粉体堆積物上への粉体の付着・再飛散現象を粉体物性の測定値と関係づけた研究は見当たらない。

著者らは、さきにエキスパンドメタルによる集じん実験において、粉体の種類により捕集効率が極端に異なる

Fig. 1 実験装置

昭和57年7月28日受付

*姫路工業大学産業機械工学教室 (〒671-22 姫路市書写2167)

TEL 0792-66-1661

**三菱東石油工業(株)