

円筒型サイクロンの分離性能に関する実験

清水 英男*・大原 武*

Experiments on the Performance of Very Small Cyclon as a Separation
(Influence of Inlet Velocity and Dimention)

Hideo SHIMIZU and Takeshi OHARA

Abstract

This paper gives the experimental results on the infufluence of inlet velocity and dimention. Some esults obtained in such experiments are summarized as follows ;

- (1) The drop of collecting efficiency is apt to be ocured in inlet velocity U_i , i. e. 10~20m/s, in-order to make locally very thin water film on the cyclon wall.
- (2) The auther is maximum in dimention $h_1 \times b_1$, i, e, $D/2 \times D/4$ (D is cyclon diameter.), In inlet velocity U_i , i. e. < 20 m/s, the collecting efficiency is affected by height of cyclon h_1 than inlet width b_1 .

1. 緒 言

近年大気汚染が社会的問題として重視されるようになり、集塵装置に多大の関心が寄せられるようになった。集塵装置の1つであるサイクロン関係の研究報告は数多

くあるが、現在までになされたものは、一般に図2に示す標準型サイクロンと呼ばれる円錐部をもつものが大部分をしてめている。この型式のサイクロンについては、大型の場合はもとより、小型のものに対しても、圧力損

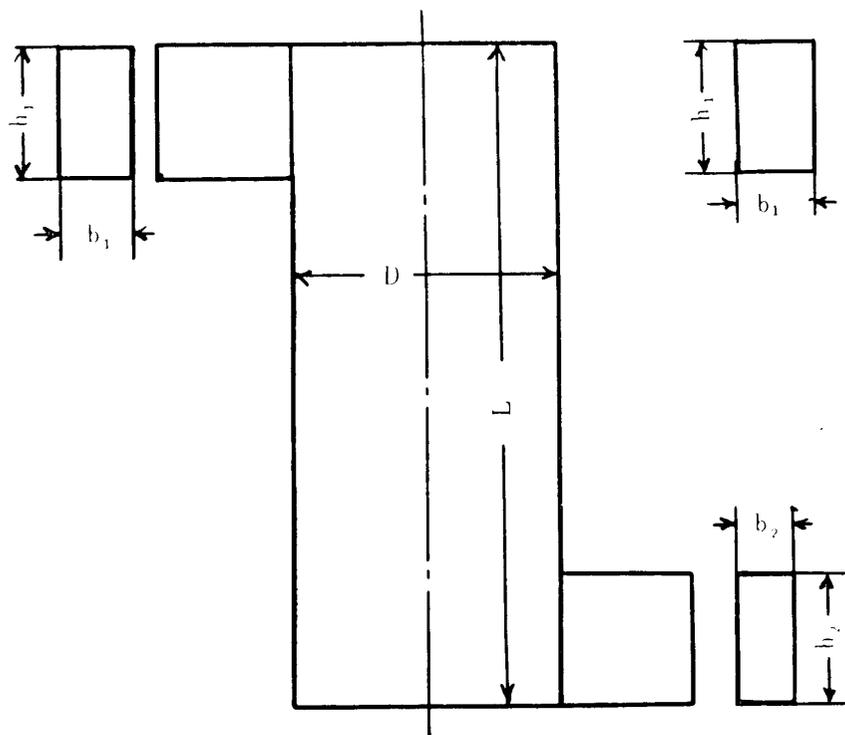


Fig.1 円筒型サイクロン

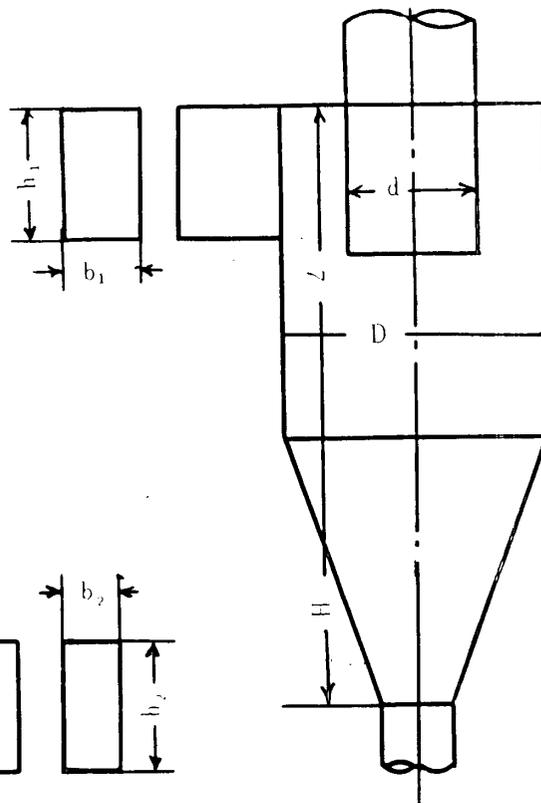


Fig.2 標準型サイクロン

失, 捕集効率など, あらゆる面において, 理論的にも実験的にもかなり研究されている. しかしサイクロン内の流動状態は複雑でその理論も完全ではなく, さらに分散凝集, あるいは壁面との反発等のため, 捕集機構も完全とは言えない, さて円筒型サイクロンは標準型サイクロンと同様に遠心力を利用することによりダストを捕集するものである. すなわち粉体と水をサイクロン接線入口から流入させ, 水はサイクロン内壁面に水膜を作り, これに粉体が当って捕集される訳である. サイクロン捕集効率に影響を及ぼす因子としては, サイクロン長さ, 入口, 出口形状, 入口風速, サイクロン径, 温度, 粘性係数等が考えられるが, 本報は, 円筒型サイクロンの, 入口形状, 入口風速が捕集効率に及ぼす影響について調べた実験結果を報告する.

2. 実験装置および実験方法

図1に示すように円筒型サイクロンは, 透明なアクリル樹脂で製作されており, サイクロン内部の流動状態が観察できるようになっている. またサイクロン形状は, サイクロン長さ $l=115\text{mm}$, サイクロン径 $D=29\phi\text{mm}$ 出口形状 $h_2 \times b_2=20.7 \times 7\text{mm}^2$ とし, 入口形状のみ $h_1 \times b_1=8.7 \times 7\text{mm}^2$, $11.7 \times 7\text{mm}^2$, $14.6 \times 7\text{mm}^2$, $18.5 \times 7\text{mm}^2$, $11.7 \times 8.8\text{mm}^2$, $11.7 \times 5.4\text{mm}^2$ の6通りに変化させて実験した.

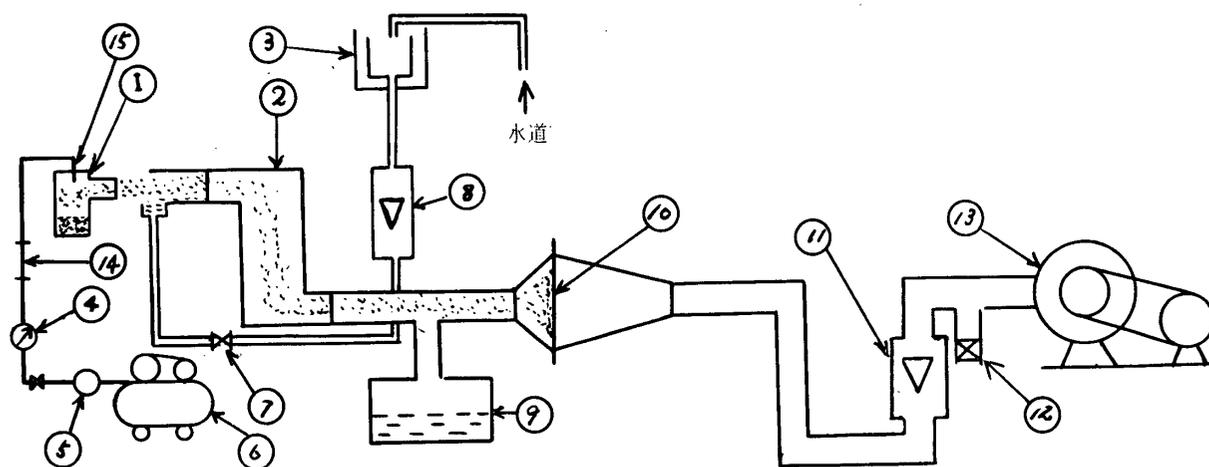
図3に示すごとく全体の装置は, ダスト吹込み装置部, 水量調節部, 空気調節配管部より成っている. ダス

ト吹込み装置は, 径 $40\text{mm}\phi$, 高さ 70mm の円筒容器の上蓋に内径 $0.8\text{mm}\phi$ のノズルが取り付けられてあり, 容器内に入れたダストに, ノズルから出る噴流をあて, ダストを噴霧状態にしてサイクロンに送り込む, ダスト吹込み量の調節はコンプレッサーの減圧弁によりノズルから出る噴流の空気流量を変えることにより調節した. またダストの吹込量は吹込み前後の円筒容器を直示天秤で計り, その差により吹込量を求めた.

水量の調節は, 水量を一定に保つためオーバーフロータンクを使用し, 水量はフローメーターで読みとり二方コックにより調節した.

空気調節部は, 入口風速を読みとるフロメーターと風速を調節するバルブ, ダストを捕集するフィルターから成っている. サイクロンの空気流入方式としては, プロワーなどによる, 圧送方式と真空ポンプなどによる吸込方式があり, 捕集効率において両者の相違は, 吸込方式の方がわずかに良く, 傾向は同じになると言う報告はみられるが¹⁾, 本報は, 真空ポンプによる吸込方式により実験を行なった.

上記方法により調節された, ダスト, 空気, 水は, サイクロン接線入口より流入し, 水はサイクロン内面に水膜を形成する. ダストはこの水膜に衝突して付着し捕集される. 捕集されたダストと水は, サイクロン出口管に取り付けられたタンクに入る. 捕集されないダストは, 空気と共にサイクロン出口管より出てフィルターにて捕集される. フィルターとして NO5A-12 $\frac{1}{2}$ CM の



1. タルフ吸込装置
2. 供試サイクロン
3. オーバーフロータンク
4. 圧力計
5. 減圧弁
6. コンプレッサー
7. 12バルブ
8. 11フローター
9. タンク
10. フィルター
13. 真空ポンプ

Fig. 3 全体装置図

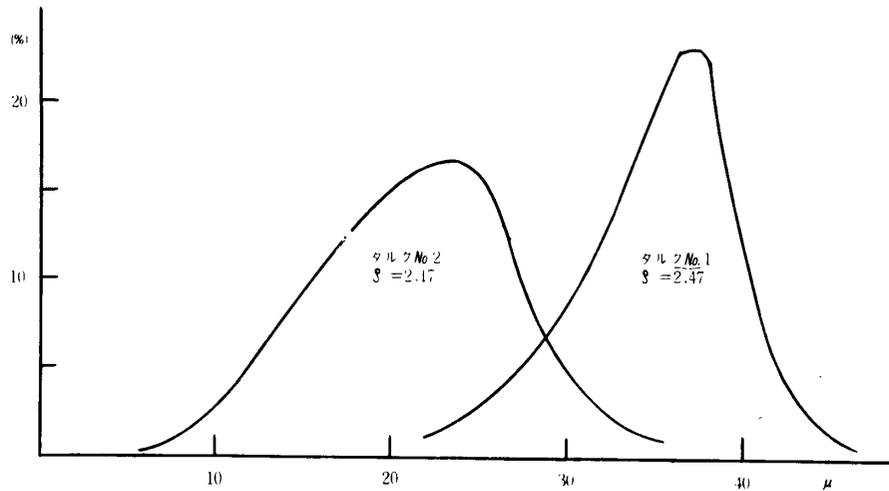


Fig. 4 タルク粒度分布

口紙を用いた。ダストの付着した口紙を900°Cにて電気炉内で焼却し定量分析した。ダストとしてはタルクを使用し図4にその粒度分布が示してある。

3. 実験結果および考察

混合比と捕集効率の関係を図5に示してある。混合比の小さい領域に、わずかに効率の低下がみられる。多くの粒子が流体中を運動する場合、粒子同志が、凝集、分散、崩解、凝集と云ったサイクリックな過程をくり返しながら運動していると考えられる。凝集によりみかけの粒子径が大きくなり、混合比が増加すると捕集効率が大きくなると考えられるが、はっきりした理由は分らないのが現状である。以下の実験は、捕集効率が大体一定に

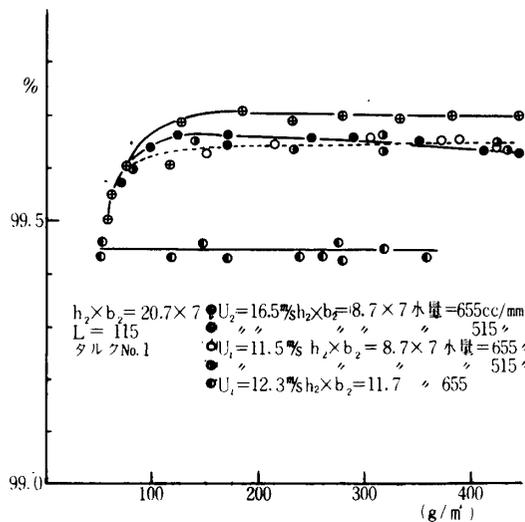


Fig. 5 混合比の影響

なると考えられる。【混合比が100g/m³以上について検討する。

1) 入口風速が捕集効率に及ぼす影響

サイクロン入口では、空気、水、ダストが同時に流れており、空気の通過する有効断面積が不明であるため、入口風量 Q_2 、サイクロン入口面積を $h_1 \times b_1$ とすると、入口風速 $U_i = Q/h_1 \times b_1$ で定義し、みかけの流速をサイクロン入口風速とする。図6、7に示すものは、入口風速を変化させ、入口形状をパラメーターにした実験である。水量 $Q_1 = 655 \text{ cc/min}$ の場合、 $U_i = 10 \sim 20 \text{ m/s}$ で効率の低下した部分がみられる、この理由として考えられることは、サイクロン内壁に形状される水膜

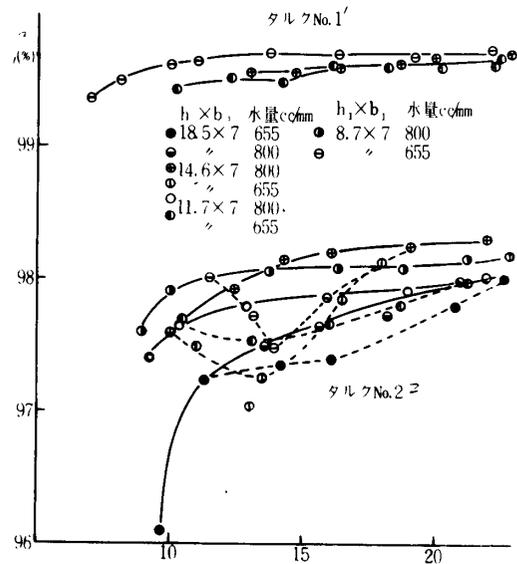


Fig. 6 入口風速のとの捕集効率の関係 (パラメータ 入口高さ)

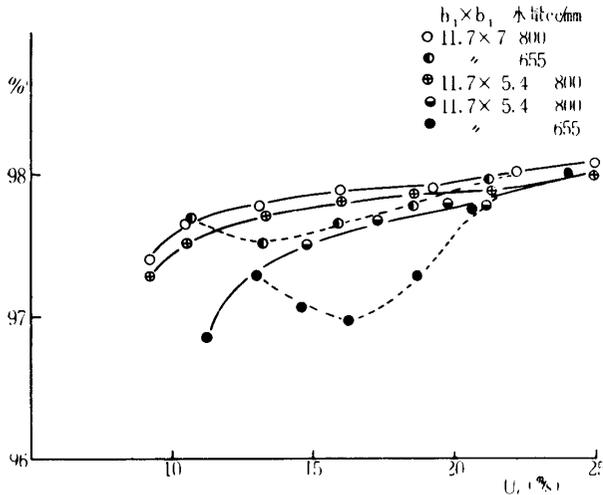


Fig. 7 入口速度と捕集効率の関係 (パラメーター入口巾)

が捕集効率に悪影響を及ぼしていると考えられる。以後この水膜の悪影響を、水膜の不安定さと呼ぶことにする。安定さとしては、水膜が厚く、水膜の水流速が速いことが一因子と考えられ、混合比の大小も間接的に関係するように思われる、水量を増加すると水膜が厚くなることは、筆者らが実験より確かめている²⁾。図6, 7の実線は水量 $Q=800\text{cc/min}$ に増加させたときの実験値で、この場合水量の少ない場合に起る $U_i=10\sim 20\text{m/s}$ での効率の低下の現象はなくなっており、これ以上水量を変化させても効率はほとんど変化しなかった。また水膜厚さの分布状況が図8に示してあるが、局部的にうすい部分が存在し、この部分の厚さは、大体 0.2mm 程度である。第8図のサイクロン内面へのタルクの付着状況と比較してみると、水膜のうすい部分をタルクが通過し付着している状態が分り、ダストコーティングもこのうすい水膜附近に起り易く発達していく状態も観察できる。入口風速 U_i の変化による水膜の状態の変化が肉眼でも観察できる。以上のことから、入口風速 $U_i=10\sim 20\text{m/s}$ での捕集効率低下を起す原因としては、水膜の不安定さによるもので、それも局部的にうすい水膜によるものではないかと考えられる。この部分についての研究は今後の問題である。

$U_i > 20\text{m/s}$ では水膜は安定していると考えられ、水量の極端に少ない場合は別として、水量の大小には関係なく捕集効率は大体一定値を示す。

$U_i < 10\text{m/s}$ では水膜が形成されにくく、強制的に水膜を作る方法を取った場合は別として、サイクロン径 $D=30\text{mm}\phi$ に対しては、 $U_i > 10\text{m/s}$ がサイクロンの使

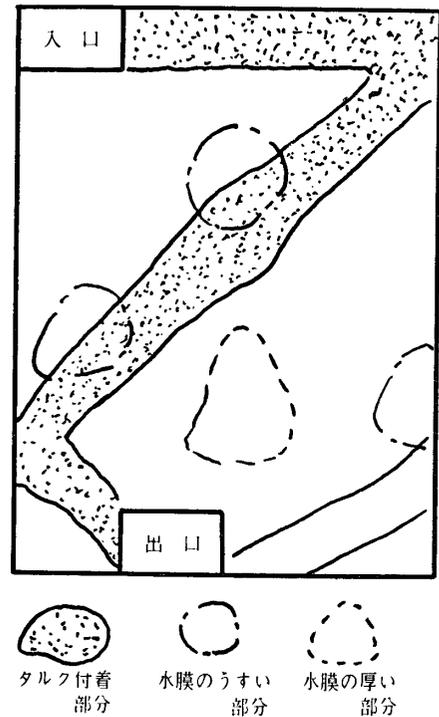


Fig. 8 サイクロン内壁のタルク付着、水膜厚さの分布

用範囲と考えられる。

ここで入口風速 $U_i < 20\text{m/s}$ に対して簡単な解析を行なってみる。サイクロン内で粒子の受ける力は、遠心力がその主をなし重力の数千から数万倍におよぶものがあり、本実験においても、 10^4m/s^2 前後の遠心力を受けていると考えられる。本実験で用いたタルクの粒度分布より考えて、ストークスの領域か、またはストークスの領域からアレン領域のせん移域を運動するものとしてさしつかえないと思われる。円管内の粒子の分布は、粒子の比重、風速、混合比により、管断面で一様に分布しないという報告はあるが、本実験では、サイクロン入口において一様に分散された分散吹込みと仮定した。ストークスの式より

$$V_r = K \frac{\rho_p \delta^2}{18\mu} F \quad (1)$$

V_r : 粒子の半径方向速度 δ : 粒子径

F : 粒子に働く力 μ : 気体粘性係数

ρ_p : 粒子の比重 K : 定数 (10^{-8})

粒子に働く力を遠心力とし他の力を無視して、粒子の接線速度を V_θ とすると

$$F = V_\theta^2 / r \quad (2)$$

気流の接線速度 $U_\theta \doteq V_\theta$ とおき(1)に(2)式を代入する。

$$V_r = K \frac{\rho_p \delta^2 U_\theta^2}{18\mu r} \quad (1)$$

上式を δ^2 について整理すると

$$\delta^2 = \frac{18\mu r V_r}{K \rho_p U_\theta^2} \quad (3)$$

気流の内向き速度 U_r と粒子の外向き速度 V_r とが等しいとき粒子は移動しないことになり、そのときの粒径を δ_c とし、これを限界粒子径と言うことにすれば

$$\delta_c^2 = \frac{18\mu r U_r}{K \rho_p U_\theta^2} \quad (3)'$$

U_θ , U_{r1} , U_i の間には標準型サイクロンと同様に次の関係があることを実験により筆者らは、確かめている。

$$U_\theta = K_1 U_i \quad (4)$$

$$U_r = K_2 U_i \quad (5)$$

自由うず範囲内では、 $0.5 < K_1 < 0.8$, $0.3 < K_2 < 0.5$ であるが、サイクロン中心より、入口断面中心までの距離 $r = 1 \text{ cm}$ で $K_1 = 0.7$, $K_2 = 0.4$ を得た。(5), (4)式を(3)式に代入

$$\delta_c^2 = \frac{18\mu K_2 r}{K K_1 \rho_p U_i}$$

$$\therefore \delta_c = \sqrt{\frac{18\mu K_2 r}{K K_1 \rho_p U_i}} \quad (6)$$

限界粒子径が小さくなると、捕集効率の増加は当然であり、入口風速 U_i が大きくなれば、 δ_c は小となるし、比重が大きくなれば δ_c は小となるこの両者の傾向は、図6に示すように実験的にも確かめられる。

(6)式に対して数値計算した結果を図9に示す。実験値と、数値計算結果の相違は、理論値の方が傾斜が急であり、入口風速 U_i の影響が大である。これは実験値の方に、サイクロン出口管路での捕集を考慮せず、出口管路

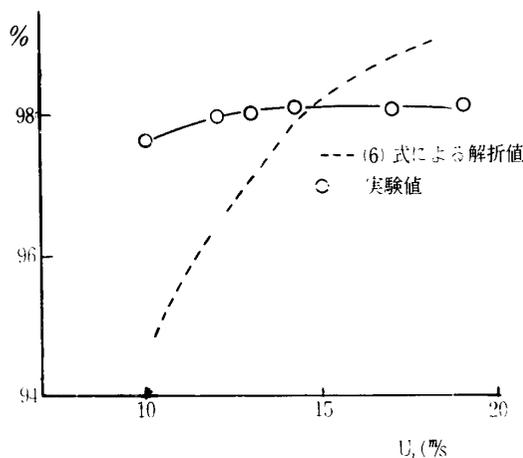


Fig. 9 (6)式の解析結果と実験値との比較 (実験値は $h_1 \times b_1 = 14.6 \times 7$ 水量800cc/minの場合)

とサイクロン本体を合せた捕集効率を取っておるためであると考えられる。管路で捕集効率は、サイクロン入口風速が小さいほど、大きくなることは、固気二相流などの文献³⁾などにみられる。また筆者らもタルクNo. 1を使用して実験した結果、同じ傾向を得ている。ゆえに管路に対しての捕集を補正してやれば全体的にわずかに実験値は小さくなると考えられ、グラフの傾斜はもっと急になるものと考えられる。今後の問題としてはもっと捕集機構を明確にし、理論的に解析していきたいと考えている。

2) 入口形状の捕集効率に及ぼす影響

サイクロン入口形状は、サイクロン内の流動状態を左右する、一つの因子であり、処理風量に対しても大切な役割をするため、捕集効率との関係を調べる大きな要素である。

図10は安定した水膜に対して実験したもので、入口形状の代表として入口面積を横軸にとっている。

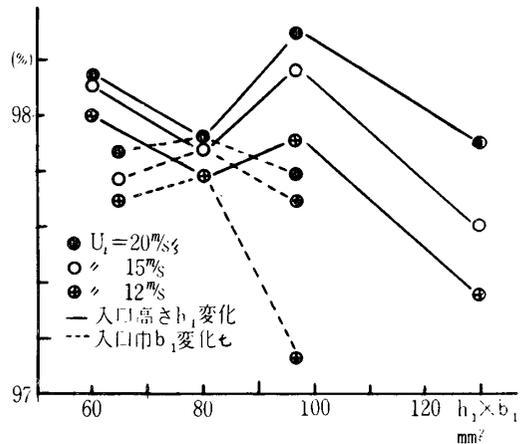


Fig. 10 入口面積と捕集効率の関係

この図より、入口面積が大なるにつれて、捕集効率は速度の影響を受け易く、また捕集効率も低下する傾向にある。これは接線速度の増加割合より、軸方向速度の増加割合の方が、大きくなるためと考えられる。

実線で示される入口高さの変化については、 $h_1 \times b_1 = 14.6 \times 7 \doteq 100 \text{ mm}^2$ で最高効率を示し、点線で示す入口巾変化については $h_1 \times b_1 = 11.7 \times 7 = 80 \text{ mm}^2$ で最高効率を示すことから入口の最適形状は $h_1 \times b_1 = 14.6 \times 7$ 附近にあると思われる。これは標準型サイクロンに対して従来より使用されている寸法割合 $h_1 \times b_1 = \frac{b}{2} \times \frac{b}{4}$ と比較して大体良い一致をしている。

4. 結 言

1) 入口風速 $U_i=10\sim 20\text{m/s}$ で効率の低下を起し易く入口形状が大きくなるにつれてその傾向は著しくなる, これは局部的にうすい水膜が形成されることもその一因と考えられる.

2) 入口形状が大きくなるほど, 捕集効率は速度の影響を受け易く, 入口形状 $h_1 \times b_1 = 146 \times 7 \div \frac{D}{2} \times \frac{D}{4}$ で捕集効率は最高となるが $U_i > 20\text{m/s}$ では, 入口巾の影響はほとんどない.

本研究にあたり御指導下さった本校川上靖助教授, ならびに故山口大学上岡豊教授に感謝すると同時に上岡豊

教授のご冥福を祈る.

5. 文 献

- 1) 井伊谷: 日本機械学会論文集 Vol 18, 69, P. 42—48
- 2) 上岡, 大原, 川上, 清水: 日本機械学会講演会 186 ('67—11)
- 3) たとえば: 日本機械学会誌 Vol. 72, 611 (69)
- 4) 上滝: 日本機械学会誌論文集 Vol. 23, 133 ('57)
- 5) W. Borth, Chem, Img. Techn 30—3 (1958)
- 6) 神保, 粉体工学研究会誌 (S. 41—2)

(昭和46年9月20日受理)