

充填層集塵装置に関する研究

—固定層における層内部の集塵特性について—

和田 憲造*・住吉 卓也*・片山 俊宏**
大嶋 宣昭**・堀 雅城**・早野 延男*

Study of a Packed Bed Dust Collector

—Dust Collection Characteristics Inside the Bed in a Fixed Bed—

Kenzou WADA, Takuya SUMIYOSI, Toshihiro KATAYAMA,
Nobuaki OSIMA, Masaki HORI and Nobuo HAYANO

Abstract

In recent years, the collection mechanisms of granular packed beds have been investigated and considered to be a suitable filter for the treatment of high temperature, corrosive and combustible gases. In this report, the filtration performance of the packed beds was experimentally investigated using beds of various thicknesses and varying fluid velocities. Dust collection characteristics inside the bed were estimated, and the effects of the specific deposit of dust on the collection efficiency and on the pressure drop were discussed.

The results show that the dust collection characteristics change with the bed depth and with time duration. The effect of the specific deposit of dust on the collection efficiency is most significant at low fluid velocity.

1. 序 論

近年様々な産業分野で、高温、可燃性あるいは腐食性ガスに対しても有効な集塵装置の開発が望まれている。この目的にあったものとして、固形粒子充填層による集塵が注目されており、研究成果も活発に報告されている^{2),4)}。著者らは以前マイクロシリカダストに対する充填層の基礎的な集塵特性を調べ、各種運転条件が集塵性能に及ぼす影響について検討した^{5),6)}。本報告で

は、より一般的なダストであるフライアッシュを用い、充填層内部の集塵現象についてさらに詳細な検討を行なった。その方法として、充填層を微小な厚さに分割した単位層という概念を導入し、種々の厚さの充填層について実験を行なった。そしてそれらの実験結果を比較することによって、充填層のある任意の深さでの集塵特性を得ることができた。さらにその結果をもとに、層内部における集塵効率及び圧力損失について調べ、粉塵負荷の影響について検討を加えた。同時にろ過流速（空塔速度）が集塵特性に及ぼす影響についても考察を行なった。

*生産機械工学科

**徳山曹達株式会社

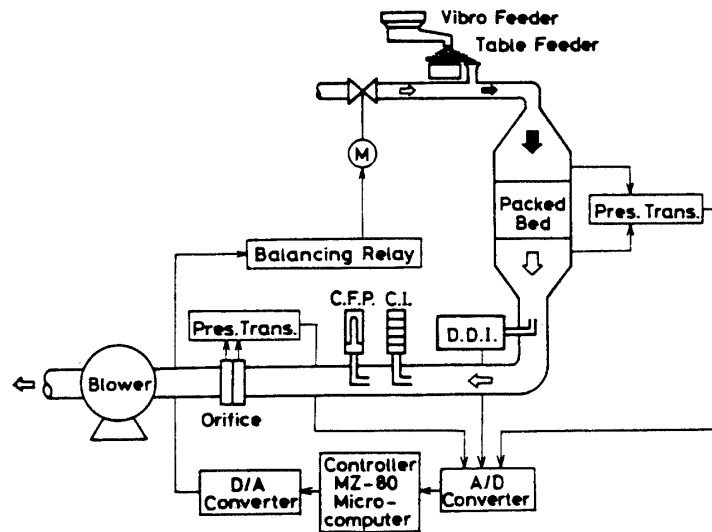


Fig. 1 Experimental apparatus.

Table 1 Properties of the packing medium and the dust.

	packing medium	Dust
	Coke	Fly ash
average diameter [mm]	4.51	11.1×10^{-3}
standard deviation		0.44
void ration	0.686	
particle density [g/cm ³]	1.8	2.18
bulk density [g/cm ³] (aerated)		0.469
(packed)		0.891

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。集塵層本体は直径20cmのアクリルの円筒で作られており、この中に空隙率が一定となるようにろ過媒体を充填し、これにテーブルフィーダから定量供給したダストを通過させることによって集塵を行なった。出口側ダスト濃度は円筒ろ紙 (C.F.P.) 及び光散乱式デジタル粉塵計 (D.D.I.) により測定し、集塵効率を求めた。またカスケードインパクト (C.I.) を用いて透過ダストの粉度分布を求めた。充填層の圧力損失は層前後の圧力差を差圧変換器を用いて検出することにより求めた。実験中はろ過流速が一定となるようにマイクロコンピュータにより流量制御を行なった。実験は充填層の厚さを1cmから20

cmまで11通りに変化させ、5種類のろ過流速について行なった。なおダストとしてはフライアッシュを用い、ろ過媒体としてはコークスを粉砕、分級したものを用いた。それらの物性値を Table 1 に示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 充填層の集塵性能

3.1.1 対数捕集効率

まず充填層の集塵効率の時間的変化を考える上で、集塵効率の表現方法として有効と思われる対数捕集効率を定義する。

充填層をいくつかの薄い層が直列に重なったものとみなし、これらの層の集塵効率をそれぞれ $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ とする。入口側ダスト濃度を C_1 とすると、第1段

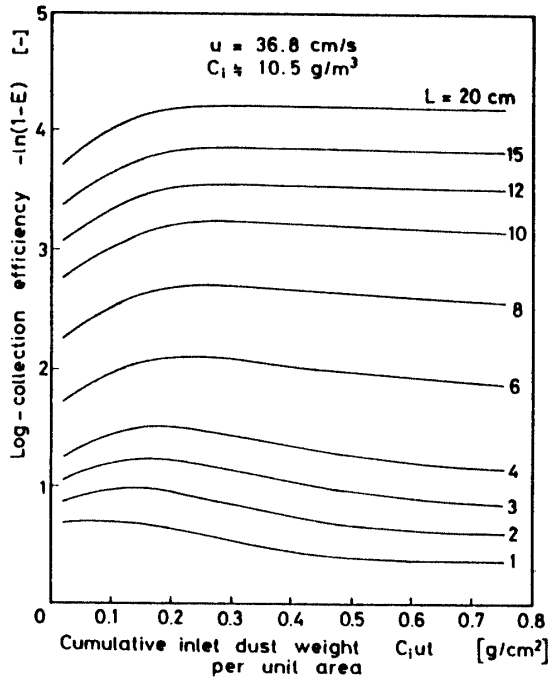


Fig. 2 Transient behavior of the log-collection efficiency with time.

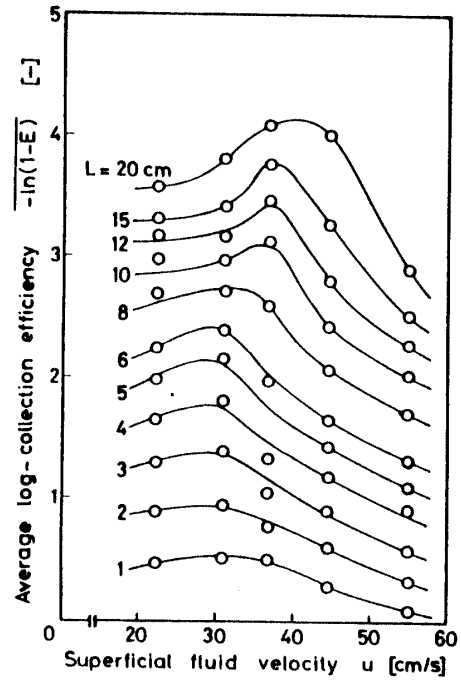


Fig. 3 Relationship between the average log-collection efficiency and the superficial fluid velocity.

目の層を通過したダストの濃度 C_1 は次式のようになる。

$$C_1 = C_i (1 - E_1)$$

さらに第2段目の層を通過したダストの濃度 C_2 は、

$$C_2 = C_1 (1 - E_2) = C_i (1 - E_1) (1 - E_2)$$

となる。同様に第 n 段目の層を通過したダストの濃度 C_n は

$$C_n = C_i \prod_{k=1}^n (1 - E_k) \quad (1)$$

となる。したがって n 段の層が直列に重なった充填層全体の透過率 $1 - E$ は次式で与えられる。

$$1 - E = \frac{C_n}{C_i} = \prod_{k=1}^n (1 - E_k) \quad (2)$$

ここで集塵効率 E に対して、 $-\ln(1 - E)$ を対数捕集効率と呼ぶことにすると、(2)式より対数捕集効率は

$$-\ln(1 - E) = -\sum_{k=1}^n \ln(1 - E_k) \quad (3)$$

と表せる。したがって充填層全体の対数捕集効率は各要素におけるそれらの和としてとらえることができ、層厚さの影響をより直観的に把握できるという点で集塵効率 E を用いるよりも便利である。

一例として Fig. 2 にろ過流速を $u = 36.8 \text{ cm/s}$ として層厚さ L をパラメータとして運転時間の経過に対する対数捕集率 $-\ln(1 - E)$ の変化の様子を示す。横軸には運転時間を表すものとして積算侵入ダスト量 C_{1ut} をとっている。対数捕集率は運転開始直後から上昇し

始めるが、最大値に達すると後は徐々に低下を始める。最大値に達するまでの時間は層厚さの大きいものほど長くなる傾向がみられる。このことから集塵効率は層内の各深さで一定ではなく、運転時間の経過とともに集塵に参与する部分がしだいに充填層の奥に移行していくことが予想される。

Fig. 3 に平均対数捕集率 $-\ln(1 - E)$ とろ過流速 u の関係を層厚さ L をパラメータとして示す。ここで平均対数捕集率とは、Fig. 2 において積算侵入ダスト量 C_{1ut} がある値 (本実験では 0.7 g/cm^2 とした) に達するまでの対数捕集率の時間的平均値である。本研究ではろ過流速および層厚さをパラメータとして実験を行っていることから、それぞれの実験値の比較を行なうための基準として充填層内に侵入したダストの量のある一定値をとり、それに達するまでを積算し平均した値を使用することにした。それぞれの層厚さについてみると、平均対数捕集率はろ過流速に対して山形の曲線を描き、ある流速で最大値をとることがわかる。

充填層における集塵のメカニズムは慣性衝突が支配的であると考えられる。ろ過流速が高くなると、ダスト粒子は慣性力のため気流から離脱しやすく、ろ過媒体に接触する機会が多くなり、そのため効率は上昇する。しかし、同時にダスト粒子の持つ運動エネルギーもろ過流速が高まるにつれて増大するため、媒体表面に

において粒子のはねかえりが生じるようになり、また気流の掃流力により既に付着しているダストの再飛散も頻繁に生じるため、これによる効率の低下が生じる。結果として、集塵効率は慣性衝突と再飛散の両方の効果のバランスのとれたある流速で最大値をとることになる。この流速は各層厚さに対して一定ではなく、層が厚くなるほど高流速側に移動する傾向がみられる。これは層厚さが大きい場合ほど、再飛散したダスト粒子が充填層のさらに深いところで再び捕集されるため、比較的高い過流速でも再飛散の影響が表れにくいことが原因と思われる。

3.1.2 圧力損失

圧力損失は運転時間の経過ともない大きく増加していく傾向を示し、充填層内部での粉塵負荷の影響は圧力損失に対してははっきりと表れる。Fig. 4はろ過流速 $u = 44.6 \text{ cm/s}$ の場合について、層厚さ L をパラメータとして圧力損失 ΔP を積算侵入ダスト量 C_{iut} に対して描いたものである。圧力損失は粉塵負荷の増大による流体抵抗の増大のため、運転中は常に上昇をつづける。厚い層では圧力損失は徐々に上昇して行くが、薄い層の場合その上昇が頭打ちになる傾向が若干ではあるがみることができる。これは薄い層においては集塵効率が低下するにつれ、粉塵負荷の増加が頭打ちになるためと考えられる。

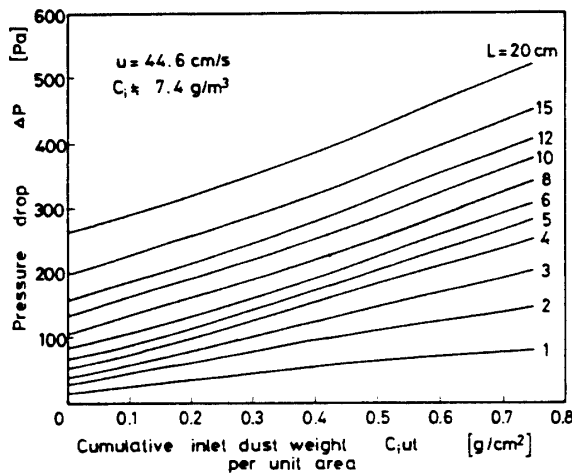


Fig. 4 Transient behavior of the pressure drop with time.

3.2 集塵効率に関する解析的検討

3.2.1 単位層効率

繊維層フィルタの集塵効率を考える際に一般に用いられる対数透過則¹⁾は、集塵層全域において集塵が一樣

に行なわれること、すなわちすべての捕集要素の集塵効率が一定であることを前提条件としている。しかし固形粒子充填層による捕集の場合、Fig. 2に示されているような層厚さ L による集塵特性の違いは、層内部において深さによりその特性が異なることから生じており、したがって対数捕集率をそのまま適用することはできない。層内で集塵特性が一様でないことの原因としては、ダストが多分散であること及び粉塵負荷が層内で分布を持つことが上げられる。そこでこれらが集塵効率に及ぼす影響について検討を行なうため、層深さによって各要素の集塵特性が変化する場合には対して、対数捕集率を拡張して、集塵効率を層深さに対する連続関数として表現することを考える。

いま微小厚さ Δx を持つ層の集塵効率が $\eta \cdot \Delta x$ と表せるとしたとき、この η を単位層効率 [cm^{-1}] と呼ぶことにする。層表面から深さ x の地点におけるダスト濃度を $C(x)$ として、微小区間 $[x, x + \Delta x]$ における物質収支を考えると次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \eta \cdot \Delta x &= \frac{C(x) - C(x + \Delta x)}{C(x)} \\ &= -\frac{1}{C(x)} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} \cdot \Delta x \end{aligned} \quad (4)$$

$$\therefore \int_0^x \eta dx = -\ln \frac{C(x)}{C_1} = -\ln \{1 - E(x)\} \quad (5)$$

ここで $E(x)$ は充填層入口から深さ x までの集塵効率である。単位層効率 η は一般に層内で一定でなく

$$\eta = -\frac{\partial}{\partial x} \ln \{1 - E(x)\} \quad (6)$$

と表せ、対数捕集率の層深さによる微分値として求めることができる。

各運転時間ごとに、対数捕集率を層厚さに対して数値微分することによって求めた単位層効率 η を Fig. 5に示す。この図は η の層深さ x に対する分布が運転時間の経過とともに変化する様子を、比較的低過流速の低い場合 ($u = 22.7 \text{ cm/s}$) と高い場合 ($u = 55.0 \text{ cm/s}$) について比べたものである。運転開始当初 η は充填層の浅いところで高い値をとり、層内に深くはいるにつれて減少する傾向を示す。しかし運転時間が経過すると η はある深さで極大値をとるようになる。極大値をとる位置は運転時間の経過とともに層の奥へと移動し、また極大値は層の奥へはいるほど低い値となる。このような η の時間的変化は、時間の経過とともに層内で増加する粉塵負荷の影響の現れであると考えられる。そして粉塵負荷が充填層の浅い部分に集中するため、 η の時間的変化も浅いところで特に顕著に現われる。

単位層効率 η の示す分布はろ過流速によって異なり、

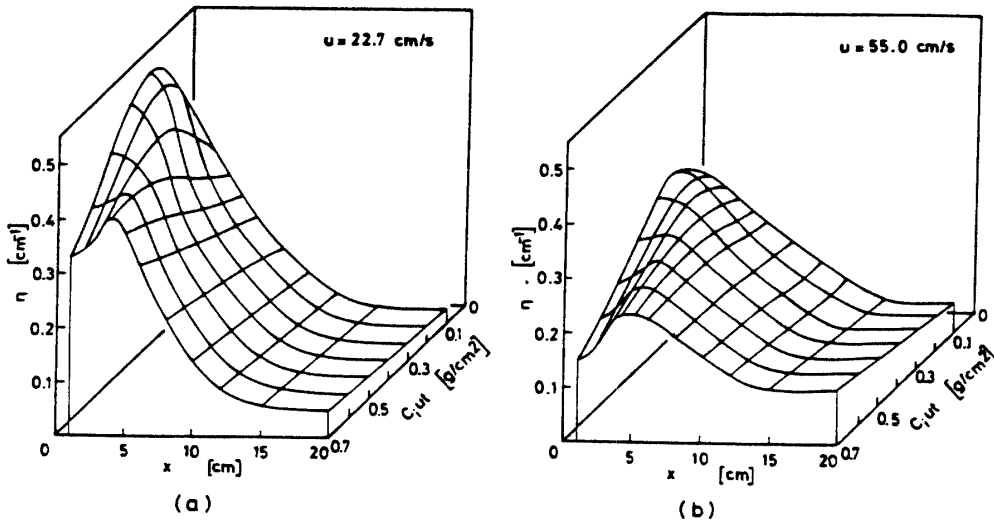


Fig. 5 Transient behavior of the collection efficiency of the unit layer.

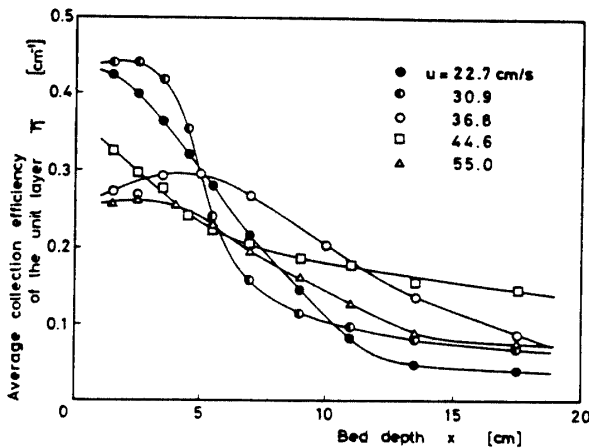


Fig. 6 Distribution of the average collection efficiency of the unit layer.

流速の低い方が η の層深さに対する変化の度合いが大きい。またその時間的変化も流速が低いほど大きくなる傾向がみられる。

Fig. 6 はろ過流速をパラメータとして平均単位層効率 $\bar{\eta}$ を層深さ x に対して描いたものである。ここで平均単位層効率 $\bar{\eta}$ とは平均対数捕集率の場合と同様に、積算侵入ダスト量 C_{dut} がある値 (0.7 g/cm^3) に達するまでの単位層効率 η の時間的平均値であり、(6)式を時間平均することにより次式から求めることができる。

$$\bar{\eta} = -\frac{\partial}{\partial x} \overline{\ln\{1-E(x)\}} \quad (7)$$

ろ過流速が低い場合ほど $\bar{\eta}$ は充填層の入口付近で高い値をとり、層深さに対して急激に低下する傾向がある。層の深くでは非常に低い値となるため、充填層に

よる集塵を低ろ過流速域で行なう場合、ある程度以上層厚さを増しても集塵効率の大幅な上昇は期待できないといえる。これに対してろ過流速の高い場合、入口付近の $\bar{\eta}$ はそれほど高くないものの、層深さに対する減少の度合いは小さく、比較的なだらかな分布を示す。つまり充填層の浅い部分を通じたダストも層の深い部分で捕集されるため、層厚さが増すことによって集塵効率は大きく上昇する。Fig. 3 に示したように厚い層ほど高いろ過流速で平均対数捕集率が最大値を示すという現象は、上述のような理由によるものと解釈できる。

3.2.2 ダストが多分散であることの影響

単位層効率が層深さによって異なる理由の一つとして、ダストが粒度分布を持つことが考えられる。フライアッシュのように多分散のダストを集塵の対象とする場合、ダスト粒径により捕集率が異なるため、層深さによって透過するダストの粒度分布は変化する。したがって単位層効率もまた層深さによって異なった値をとる。

そこで充填層内部における捕集率のダスト粒径による違いを調べるために、層内部において微小厚さを持つ要素の部分捕集率を表現するものとして単位層部分捕集率 η_{tr} [cm^{-1}] を定義する。層深さ x の地点で微小厚さ Δx を持つ要素 $[x, x + \Delta x]$ の部分捕集率が $\eta_{tr} \cdot \Delta x$ と表せるとすると、 η_{tr} は厚さ x を持つ層の部分捕集率 $E_{tr}(x)$ と次のような関係にある。

$$\int_0^x \eta_{tr} dx = -\ln\{1-E_{tr}(x)\} \quad (8)$$

このとき深さ x における透過ダストの粒径分布関数を $f(x)$, 入口側ダストのそれを f_1 とすると次のような関係が成り立つ.

$$1 - E_{tr}(x) = \frac{f(x) \cdot C(x)}{f_1 \cdot C_1}$$

ところで $C(x)/C_1$ は層表面から深さ x までの区間の透過率 $1 - E(x)$ に等しいことから次式のようになる.

$$1 - E_{tr}(x) = \frac{f(x)}{f_1} \{1 - E(x)\} \quad (9)$$

したがって(8), (9)式より単位層部分捕集効率 η_{tr} は次式で表される.

$$\eta_{tr} = -\frac{\partial}{\partial x} \ln \left\{ \frac{f(x)}{f_1} \{1 - E(x)\} \right\} \quad (10)$$

しかし各層厚さの充填層についてその透過ダストの粒度分布を正確に測定することは困難である. また数値微分を行なう際にもその誤差を無視できないため, ここでは特に η_{tr} が充填層内で一定で時間的にも変化しないと仮定して次式により η_{tr} を求めることにする.

$$\eta_{tr} = -\frac{1}{L} \ln \left\{ \frac{f(L)}{f_1} \{1 - E(L)\} \right\} \quad (11)$$

求めた η_{tr} をダスト粒径 D_p に対して描いたものを Fig. 7 に示す. この図は両者の関係を両対数をとって表し直線近似したものである. 粗大なダスト粒子ほど η_{tr} の値は高く, 効率よく捕集されているのがわかる. このため層内に深く侵入するほど気流中には粒径の小さな

ダストが残されるようになる. したがって前述したように単位層効率 η は層の浅い部分で高い値をとり, 層内の深い部分では減少するものと考えられる. また η_{tr} はろ過流速 36.8 cm/s で最も傾きの大きい直線となっており, ダスト粒径によって捕集率が大きく異なることを示している. これよりも流速が高くて低くても直線の傾きは小さくなっている. ろ過流速が低い場合はダスト粒子のもつ慣性力が小さく, 比較的大きな粒子も媒体に接触することなく透過するため, この傾きは小さくなる. 流速の増加にともない慣性衝突効果が高まるにつれ直線の傾きは大きくなるが, ある程度以上に流速が高くなると粗い粒子が再飛散を生じるようになるため, 再びその傾きが小さくなるものと思われる.

直線の傾きが小さい場合, ダストが層内に奥深く侵入してもその粒度分布の変化が少ないため, 単位層効率は層深さに対して変化の乏しい, ならかな分布を示すはずである. このことは Fig. 6 において示したように, ろ過流速が高い場合にはほぼ成立しているが, 流速が低い場合はむしろこれに反する傾向がみられる. 実際に単位層部分捕集率 η_{tr} と入口ダスト粒径分布関数 f_1 との関係から単位層効率 η の分布を数値計算によって求めてみると, ろ過流速の高い場合 ($u = 44.6, 55.0 \text{ cm/s}$) には Fig. 6 に示した実験結果とよく一致することを確認している. 一方流速の低い場合については, η_{tr} の特性から η の分布を十分に説明することはできない. これは η_{tr} が層内で一定かつ時間的にも変化しないと仮定し, η_{tr} を平均化したためと考えられ, 特に低ろ過流速域に関しては, 単位層効率を変化させるもう一つの要因として粉塵負荷の影響を考慮する必要がある.

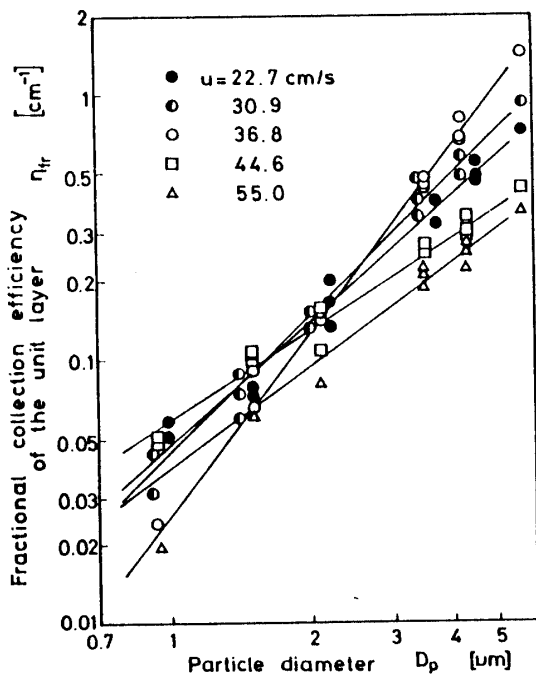


Fig. 7 Fractional collection efficiency of the unit layer.

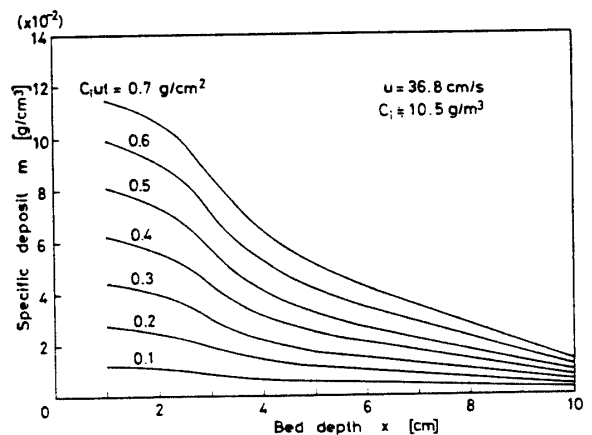


Fig. 8 Distribution of the specific deposit of dust.

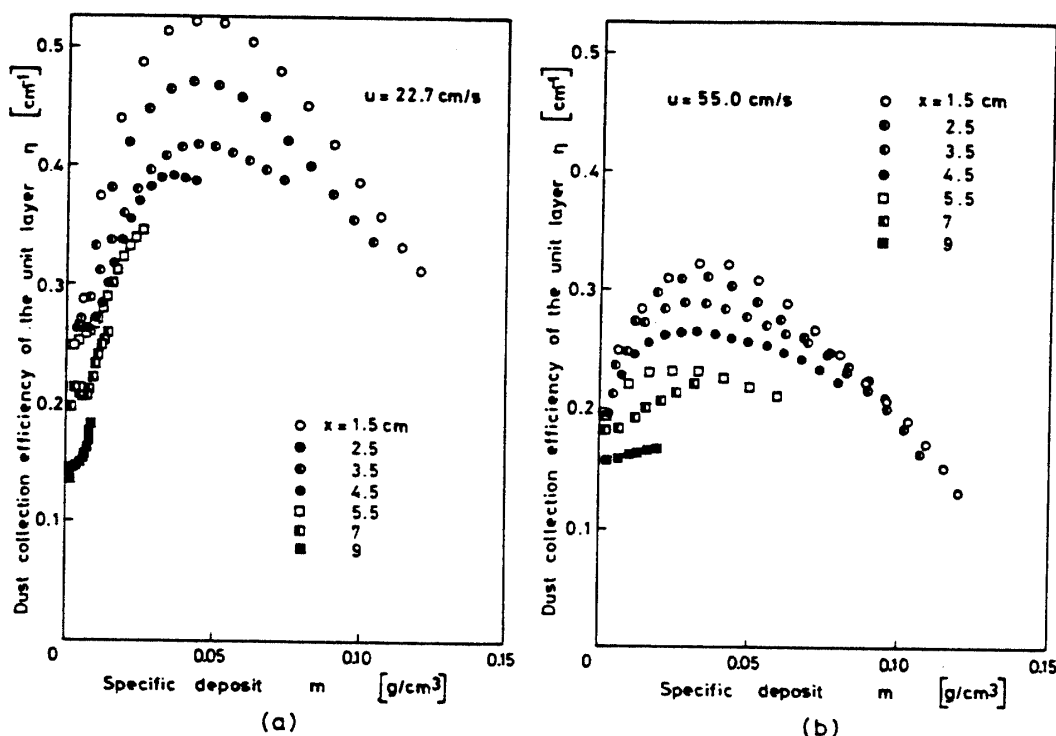


Fig. 9 Effect of the specific deposit of dust on the collection efficiency of the unit layer.

3.2.3 粉塵負荷が集塵効率に与える影響

粉塵負荷 m （ここでは粉塵負荷という用語を、充填層内の単位体積当りの捕集ダスト重量という意味で用いる）は、集塵効率 E から次のようにして求めることができる。

$$m = \frac{\partial}{\partial x} \int_0^t C_{1u} E dt \quad (12)$$

一例としてろ過流速 $u = 36.8 \text{ cm/s}$ の場合について、粉塵負荷の層深さに対する分布を Fig. 8 に示す。粉塵負荷は充填層の浅いところに集中し、運転時間の経過とともに増加しているのがわかる。

2種類のろ過流速について、粉塵負荷 m の分布と単位層効率 η の分布 (Fig. 5) をもとに両者の関係を描いたものが Fig. 9 である。侵入ダストの粒度分布が層深さによって異なるため、 η を m のみの関数として決定することはできず、同じ粉塵負荷量に対しても層の深いところほどは低い値を示している。しかしそれぞれの深さについてみると、単位層効率 η は粉塵負荷 m に対して山形の曲線を描いていることがわかる。つまりダストがいくらか媒体に付着している状態の方が効率は高いが、ある程度以上粉塵が堆積すると逆に効率は低下するということができる。

初期における効率の上昇は、媒体表面に付着した粉塵によって気流中のダストがさえぎられ、捕集される効果によるものと考えられる。粉塵の堆積が進み、層内の空隙が減少すると、層内を通過する含塵ガスの流速が上昇するため、慣性衝突効果が高まり効率はさらに向上する。しかしろ過流速が高くなりすぎると、ダスト粒子は再飛散を起こすようになり、その結果効率は低下し始める。最終的には気流がかなりの高流速で吹き抜ける細い経路が層内に残り、集塵の用をなさなくなると予想される。

粉塵負荷による単位層効率の変化は、Fig. 9 に示されているように、ろ過流速の低い場合に特に顕著に現われる。つまり低流速の場合ほど粉塵負荷が効率に及ぼす影響は大きいということが出来る。このため前述したように、層内部における単位層効率の分布を充填層の部分捕集率のみに着目して解釈しようとするとき、低ろ過流速の場合には十分な説明が得られなかったものと思われる。このようにろ過流速によって単位層効率に及ぼす粉塵負荷の影響に違いが生じる理由としては、媒体間に形成されるダスト層の状態がろ過流速により異なることが考えられる。ダスト層の状態については、圧力損失に関する考察からさらに詳細に検討してみることにする。

3.3 圧力損失に関する解析的検討

3.3.1 清浄層の圧力損失

固形粒子充填層の圧力損失を説明する方法の一つとして毛細管モデルがある。厚さ L を持つ清浄層の充填層を、直径 d_e 長さ L_e の均一な細管が多数並んだものと考え、この充填層を流体が通過するときの圧力損失 ΔP_0 は Fanning の式³⁾より次のように表せる。

$$\frac{\Delta P_0}{L} = 4\lambda \left(\frac{\rho v_e^2}{2} \right) \cdot \frac{1}{d_e} \cdot \frac{L_e}{L} \quad (13)$$

ここで ρ は流体の密度、 v_e は細管内を流体が透過する速度である。(ろ過流速 u との混同を避けるため、充填層内部を透過する気体の流速を表すときには記号 v を用いることにする) 管摩擦係数 λ は、本研究のように流速の範囲があまり広くない場合には次式で近似される⁷⁾。

$$\lambda = K' \cdot Re^n = K' \left(\frac{\rho \cdot v_e \cdot d_e}{\mu} \right)^n \quad (14)$$

μ は流体の粘度、 K' 及び n は実験的に決定される定数である。(14)式を(13)式に代入すると次式が得られる。

$$\frac{\Delta P_0}{L} = K \cdot v_e^{n+2} \cdot d_e^{n-1} \quad (15)$$

ここで K は K' 、 n などを含む定数である。細管の直径

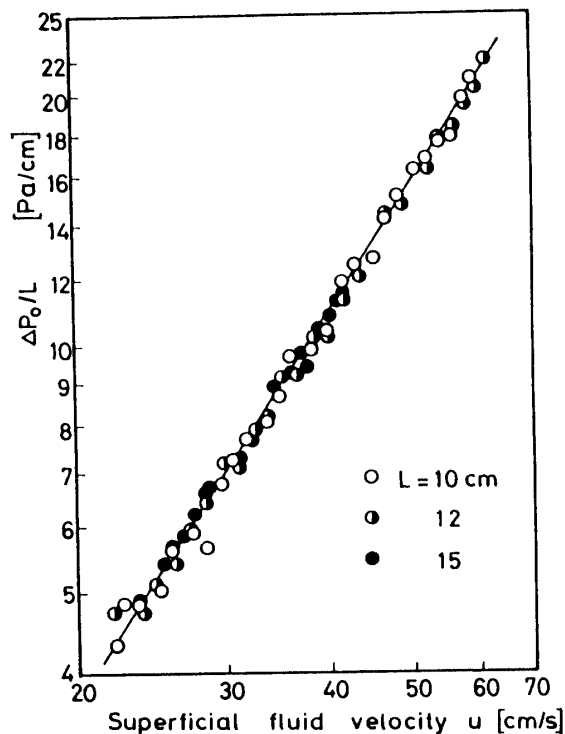


Fig. 10 Relationship between the pressure drop through the clean bed and the superficial fluid velocity.

d_e は充填媒体の大きさ、形状、充填層の空隙率等の関数と考えることができるが、本研究では同一の媒体を一定の空隙率で充填したものを対象としているので、 d_e は定数として扱うことができる。また層内を透過する流速 v_e はろ過流速 u より大きい値をとるが、 u に比例すると考えられる。したがって(15)式は次式のように表すことができる。

$$\frac{\Delta P_0}{L} \propto u^{n+2} \quad (16)$$

Fig. 10に清浄層の単位厚さ当りの圧力損失 $\Delta P_0/L$ とろ過流速 u の関係を両対数グラフに示す。両者は良好な直線関係を有し、これより n の値は $n = -0.43$ となった。一般に指数 n の値は層流状態で -1 、完全な乱流状態で 0 となることが知られているが⁷⁾、本実験の流速範囲はその中間域にあると考えられる。

3.3.2 粉塵負荷時の圧力損失

集塵効率と同様に圧力損失もまた粉塵負荷の影響を受けて変化するため、層深さの関数として記述する必要がある。微小区間 $[x, x + \Delta x]$ における圧力損失は $\partial \Delta P / \partial x \cdot \Delta x$ と表されるから、ここでは単位層圧力損失 Δp を圧力損失の層深さによる微分値と定義する。

$$\Delta p = \frac{\partial \Delta P}{\partial x} \quad (17)$$

粉塵負荷時の充填層のモデルとして、前述の毛細管の内壁にダストが一様に付着することによって、ひとまわり小さな円管が形成されたものを考える (Fig. 11)。

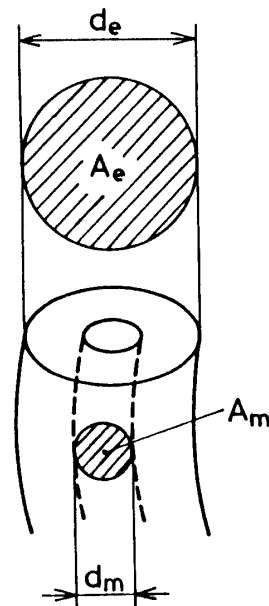


Fig. 11 Channel with the dust loading.

粉塵負荷が増大するとこの円管の断面積は小さくなり、管径の縮小にともなう流体抵抗の増大と、管内を透過する流速の上昇のため、圧力損失が高くなるものと考えられる。この粉塵負荷時の円管の断面積を A_m 、清浄時の細管の断面積を A_e として、両者の比を

$$\alpha = A_m/A_e \quad (18)$$

とおくと、粉塵負荷時の管径 d_m 、透過流速 v_m は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} d_m &= d_e \cdot \alpha^{1/2} \\ v_m &= v_e \cdot \alpha^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

ここで d_e 、 v_e はそれぞれ清浄時の管径及び透過流速である。粉塵負荷時の単位層圧力損失 Δp は(15)式と同様に考えて

$$\begin{aligned} \Delta p &= \frac{\partial \Delta p}{\partial x} = K \cdot v_m^{n+2} \cdot d_m^{n-1} \\ &= K \cdot v_e^{n+2} \cdot d_e^{n-1} \cdot \alpha^{-(n+5)/2} \\ &= \frac{\Delta p_0}{L} \alpha^{-(n+5)/2} \end{aligned} \quad (20)$$

となる。したがって管断面積比 α は

$$\alpha = \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{-2/(n+5)} \quad (21)$$

として求めることができる。ただし Δp_0 は清浄時の単位層圧力損失 $\Delta p_0/L$ である。 α は仮想的な値であるが、媒体間におけるダストの付着状態を知る上で、一つの指針を与えるものと考えられる。

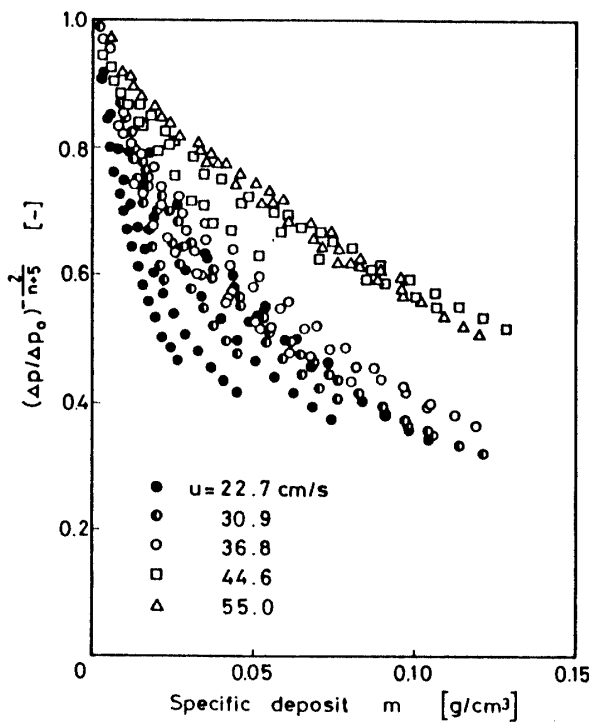


Fig. 12 Relationship between α and the specific deposit of dust.

Fig. 12に α と粉塵負荷 m の関数を示す。 α は $n = -0.43$ として(21)式より求めたものである。同じ粉塵負荷量に対しても、ろ過流速が高い場合ほど α の値は高くなる傾向がみられる。これはモデルとして考えたダスト層による円管の断面積が大きくなることを意味している。すなわち高流速の場合、媒体表面上に捕集されたダストがより密に付着した形で堆積するために、粉塵負荷が増しても層内には比較的大きな空隙が残るものと考えられる。これに対しろ過流速の低い場合には、ダスト層があまり密ではなく、粉塵が媒体間を埋めてしまうために、低粉塵負荷状態においても流体抵抗が大きくなる。

前述したような、ろ過流速の低い場合ほど粉塵負荷の集塵効率に及ぼす影響が大きくなるという現象は、このようなダストの付着状態に関係するものと思われる。つまりろ過流速の低い時ほど同一粉塵負荷量に対しても層内に残される空隙が少なく、高流速の場合と比べて流体の経路が確保されていないために、ダスト粒子によるさえぎり効果が高く、また透過流速 v_m の上昇により慣性衝突効果が高まるため、粉塵負荷の増加に対して効率は最初大きく向上する。しかしこの場合媒体間に形成されるダスト層が密に凝集されていないため、透過流速が上昇するとダスト層は崩れて再飛散を生じやすい。このため集塵効率の粉塵負荷に対する変化は、ろ過流速の低い場合に特に顕著に現われるものと考えられる (Fig. 9)。

4. 結 論

充填層集塵に関する研究を通じて以下の結果を得た。

- (1) ある厚さの充填層に対し、集塵効率の時間的平均値が最大となるろ過流速が存在する。またこの流速は層厚さが増すほど高流速側に移動する。(Fig. 3)。
- (2) 単位層効率は層深さに対して分布を持ち、この分布は粉塵負荷の影響を受け、運転時間の経過とともに変化する。またろ過流速の低い場合ほど、単位層効率は層深さに対しても時間的にも大きく変化する分布を示す (Fig. 5)。
- (3) ダストであるフライアッシュが多分散であるため、単位層効率は充填層の入口近くで高い値をとる (Fig. 6)。ろ過流速の高い場合には、部分捕集率と入口側ダストの粒度分布との関係から、単位層効率の分布をある程度予測することが可能である。
- (4) 粉塵負荷の集塵特性に及ぼす影響は、ろ過流速の低い場合ほど顕著に現われる (Fig. 9)。これは媒体間に形成されるダスト層の状態が、ろ過流速によ

て異なることに起因すると思われる (Fig. 12).

使用記号

A	=cross-sectional area of pipe	[cm^2]
C	=dust concentration	[g/cm^3]
D_p	=diameter of dust particles	[μm]
d	=diameter of pipe	[cm]
E	=dust collection efficiency	[—]
E_{fr}	=fractional collection efficiency	[—]
f	=function of particle size distribution	[μm^{-1}]
L	=thickness of packed bed	[cm]
m	=specific deposit of dust	[g/cm^2]
Re	=Reynolds number	[—]
t	=time	[s]
u	=superficial fluid velocity	[cm/s]
v	=fluid velocity	[cm/s]
x	=bed depth	[cm]
α	=cross-sectional area ration of pipe	[—]
ΔP	=pressure drop	[Pa]
Δp	=pressure drop of the unit layer	[Pa/cm]
η	=collection efficiency of the unit layer	[cm^{-1}]
η_{fr}	=fractional collection efficiency of the unit layer	[cm^{-1}]
λ	=coefficient of pipe friction	[—]

μ = fluid viscosity [Pa·s]

ρ = fluid density [g/cm^3]

<Subscripts>

e =no-load

i =ingoing

m =under load

0 =clean bed

<Superscripts>

— =average value

参 考 文 献

- 1) 伊井谷鋼一・荒川正文・神保元二・三輪茂雄, “粉体の物性と工学”, p. 181, 化学同人 (1967)
- 2) 狩野 武・伊東勝之, 粉体工学会誌, 18, 476 (1981)
- 3) 三輪茂雄, “粉体工学通論”, p. 81, 日刊工業新聞社 (1981)
- 4) Y. Mori, and K.Iinoya : Proceedings of International Symposium on Powder Technology '81, Kyoto, p. 557 (1982)
- 5) K. Wada, Y. Nishiyama, N. hayano and T. Jotaki : International Chemical Engineering, 24, 135 (1984)
- 6) 森 英利, 粉体工学会誌, 19, 551 (1982)
- 7) 渡辺治夫, 粉体工学会誌, 19, 511 (1982)

(昭和63年4月15日受理)