

論 文

電気集塵装置における Deutsch の式の修正式の検討 (III)
集塵性能特性曲線上での検討

藤 村 謙 祐*, 赤 崎 正 則**, 足 立 宜 良***

(1987年1月23日受理)

Discussion on the Correction Formula for Deutsch

Formula in an Electrostatic Precipitator (III)

K. FUJIMURA,* M. AKAZAKI** and T. ADACHI***

(Received January 23, 1987)

Collection efficiency characteristics calculated by Matts formula in an electrostatic precipitator (ESP) almost agree with values which calculated by Deutsch formula corresponding individual particle size. However, on the region of small specific collection area (SCA), these characteristic curves show the delicate difference, and according to this difference if Matts formula's constants which reverse calculated from the latter's collection efficiency on the small SCA are used to calculate the efficiency on the large SCA, gross deviation of calculation values occurs between Matts formula and the latter. It is considered that this deviation has relation to the fact that collection data of small SCA ESP have no reliability as the data for scale up use. It is found that occurrence of this difference is prevented by correction of reverse calculated value of constant and apparent migration velocity according to the value of geometric standard deviation and 50 wt% residue diameter of dust particles. This paper shows that these corrections are able to carry out easily by using the several diagrams, and these techniques are also applicable to the new correction formula previously proposed by authors.

1. はじめに

電気集塵装置(以下ESP)を設計する場合には、比集塵面積(以下SCA)が比較的小さい試験用あるいは実用ESPの実測データをもとに必要とされるより大きなSCAの予測計算が行なわれることが多い。この場合、完成後の実測値がこの予測値と大きくはずれることがあり、その原因が定量的に把握しにくいために小さいSCA(以下小SCA)の試験用ESPのデータは大きいSCA(以下大SCA)へのスケールアップ計算用としては信頼性が低いとされてきた。

一方、筆者らは前報(II)¹⁾においてESPの集塵率に関するDeutsch式^{2,3)}の修正式であるMatts式⁴⁾はその定数の値を適切に選ぶならばDeutsch式による粒径別計算法(以下粒径別計算法)と計算結果が全般的にはよい一致を示すことを報告した。しかし、その後両者の関係をさらに詳細に検討した結果、SCAの小さい領域では両者の特性に微妙な違いがあり、そのため粒径別計算法による小SCA値における集塵率をもとにMatts式で計算した大SCA値における集塵率は粒径別計算法の値から外れることがわかった。そしてその外れる度合いはダストの粒径分布特性に支配されるので、そのときのMatts式の定数と見かけの粒子移動速度を粒径分布特性に応じて修正することにより、Matts式による計算値を粒径別計算法のそれと一致させることができることを確認した。これらの解析結果は小SCAのESPのデータは信頼性が低いとされていることと関連があるものと考えられ、この問題解明の糸口の一つではないかと思われる所以報告する。

2. ESPにおけるスケールアップ計算

ESPのスケールアップをする場合の比例則の式とし

* 山口大学工学部生産機械工学科 (755 宇部市常盤台)
Department of Product Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Yamaguchi University,
Tokiwadai, Ube, 755 Japan

** 九州大学大学院総合理工学研究科 (816 春日市春日公園
6-1)
Graduate School of Engineering Science, Kyushu
University, 6-1, Kasuga-Koen, Kasuga, 816 Japan

*** 大分大学工学部電気工学科 (870-11 大分市旦野原 700)
Department of Electrical Engineering, Faculty
of Engineering, Oita University, 700, Dannobaru,
Oita, 870-11 Japan

ては以前はつぎの Deutsch 式^{2,3)}

$$\eta = 1 - \exp\{- (w_D f)\} \quad (1)$$

が用いられた。式中の η は集塵率, w_D はみかけの粒子移動速度 (m/s), f は SCA (s/m) である。しかしこの式はもともと単一粒径のダストを集塵対象としたものであるため広い粒径分布をもつダストを対象とする工業用 ESP に関する計算では誤差が大きいので修正が行なわれ、修正式としてはつぎの Matts 式⁴⁾

$$\eta = 1 - \exp\{- (w_M f)^{K_M}\} \quad (2)$$

がよく用いられる。 w_M はみかけの粒子移動速度 (m/s), K_M は定数である。また筆者らもさきにつぎの修正式を提案した⁵⁾。

$$\eta = 1 - \exp\{- (w_F f)^{(f_0/f)^{K_F}}\} \quad (3)$$

式中の w_F はみかけの粒子移動速度 (m/s), f_0 (s/m) と K_F は定数であり f_0 は通常 30 s/m とし、以下においてはこの式を仮に新修正式と呼ぶ。したがって、(2) または (3) 式の粒子移動速度や定数を既存 ESP のデータからの逆算や経験あるいは前報 (II) で述べたようなダストの粒径分布特性からの推算などにより決定すれば $f \sim \eta$ 曲線を計算できるから必要な SCA 値を知ることができる。また、指定された集塵率を得るのに必要な SCA 値を直接求めたいときには次式により計算すればよい。ただし(5)式は右辺にも変数 f を含んでいるから試行錯誤計算となるが計算機によれば逐次近似的手法で簡単に算出できる。

$$f = (-\ln(1-\eta))^{1/K_M}/w_M \quad (4)$$

$$f = (-\ln(1-\eta))(f/f_0)^{K_F}/w_F \quad (5)$$

3. 小 SCA の試験用 ESP について

後章で小 SCA の試験用 ESP の特性について試算を行なうのであらかじめ関連事項を検討整理しておく。

3.1 小 SCA の ESP の形態

$SCAf$ (s/m) は集塵面積を A (m^2), ガス流量を Q (m^3/s) とすれば

$$f = A/Q \quad (6)$$

と定義されている。実用機では設計製作における能率上のこともあるって、通常はガス流速はほぼ一定にしておいて一つの集塵室 (区 : section) の SCA が大略 20~30 s/m となるようにその構造寸法を標準化しておき必要な SCA 値は区数の増減によって確保されている。したがって SCA が小さい試験用 ESP は当然区数も少ないことが多い。

3.2 小 SCA の ESP と Matts 式

Matts 式は前報 (II) で検討したように SCA が大きなところで実測値に合うように K_M と w_M をきめると SCA が小さいところでは集塵率を実測値よりも高く算

出する傾向がある。この式はその定数 K_M を適切に選べば粒径別計算法ともよく合うことからみて ESP の集塵特性をよく表わしているとみてよいにもかかわらずこのような結果になる主たる原因はつぎのように考えられる。すなわち、大 SCA の ESP では区数が多いため撃打時などに再飛散したダストの大部分が再捕集されるが、SCA が小さくなっていると区数が少なくなるにつれて再捕集が不十分となり集塵率が低くなっていくものと考えられる。したがって撃打を行なわずガス流速も過大にしない場合にはこのような違いはなくなるはずであり、実際にも小 SCA の ESP で撃打をせずに測定された集塵率は撃打をしたときよりも高い値になることはよく経験される。

なお、実際の運転実績の上では比較的大型サイズの試験機と大型実機との間にも特性の違いがみられることがあり、これは集塵極板のアスペクトレシオおよび機内ガス流速の違いにより捕集ダストの再飛散とその再捕集の度合いが異なるためとして諫早⁶⁾により補正式が与えられている。また ESP 入口におけるダスト濃度が高くなると空間電荷効果のために集塵率は低下する⁷⁾。

3.3 小 SCA の試験用 ESP

以上のように見えてくると ESP の SCA が小さくても

- (1) 電極構造、スパン、印加電圧およびガスとダストの性状は大 SCA の ESP のそれと同等にする。
- (2) 入口におけるダスト濃度は空間電荷効果が生じない範囲に低くする。
- (3) ガス流速は捕集ダストが再飛散しない範囲の低速とする。
- (4) 集塵率の測定は撃打しないで行なう。
- (5) 静電凝集などによる ESP 内における粒径分布変化は無視できると仮定する。

という条件下で運転されるならば、その測定結果は粒径別計算法による計算結果と同等になると見てよいであろう。したがって、以下において小 SCA の試験用 ESP というのはこのような条件下で運転され SCA が大略 30 s/m 以下のものを指すものとする。

4. Matts 式と粒径別計算法の特性の詳細比較

4.1 比較のための計算方法

Matts 式では定数を K_M 、みかけの粒子移動速度を w_M (m/s) および SCA を f (s/m) として次式により通過率 (penetration) P を計算する。

$$P = 1 - \eta = \exp\{- (w_M f)^{K_M}\} \quad (7)$$

また粒径別計算法では前報 (II) で詳述したようにダストの粒径分布は対数正規分布とし、分布特性は幾何標準偏差 σ_g と残滓率が 50 wt% である粒径 D_{50} の一対

の値で表わすことにする。粒径区分は 0.01 (それ以下を含む) から 100 (それ以上を含む) μm の間に 80 のバンドに等分割する。そして粒径分布特性から各バンド内の粒子の重量分布率を求めるとともにバンド内の粒子は单一粒径とみなして各バンドごとに Deutsch 式を適用して集塵量を求め、それらの合計値から集塵率を算出し通過率を求める。なおこの場合の Deutsch 式は(1)式において見かけの粒子移動速度 wD を本来の粒子移動速度 w としたものであり、粒径 D の粒子の w はつぎのようにして求める。

(1) 荷電空間、集塵空間の電界強度を E_0, E_P (esu), ガスの粒度を μ (poise), ダストの粒径を D (cm) とすれば粒子移動速度 w (cm/s) は次式で表わされる⁸⁾.

$$w = E_0 E_P D / 4\pi\mu \quad (8)$$

(2) この式の右辺の D 以外の変数は ESP の運転条件に関するものであるからまとめて

$$k = E_0 E_P / 4\pi\mu \quad (9)$$

とし、この k を粒子移動速度係数と呼ぶことにし、使用単位を E_0, E_P は kV/cm, μ は poise として(9)式を書きかえると

$$k = 0.884 \times 10^{-6} \times (E_0 E_P / \mu) \quad (1/s) \quad (10)$$

となり、さらに λ をガスの平均自由行程 (μm), A_C を定数として Cunningham の補正項を追加するとともに D, w の単位を $\mu\text{m}, \text{m/s}$ とすると(8)式はつぎのようになる。

$$w = k D \{1 + A_C (2\lambda/D)\} \quad (11)$$

(3) 運転条件により E_0, E_P は 2.5~4.0 kV/cm, μ は $(1.8 \sim 3.0) \times 10^{-4}$ poise の間の値をとるとすると k の最大変化範囲は 0.018~0.079 l/s となるからこのほぼ中央値をとって k の値は 0.05 l/s とし、また λ と A

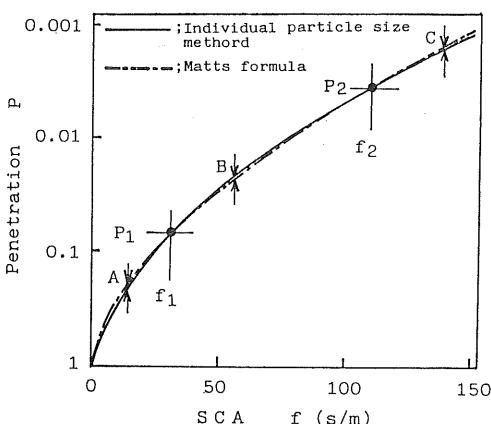


図 1 粒径別計算法と Matts の式の特性曲線の対比

Fig. 1 Comparison of characteristic curve between calculation method corresponding individual particle size and Matts formula.

もそれぞれ $0.1 \mu\text{m}$ および 0.86 として(11)式により粒径 D に対する粒子移動速度 w を計算する。

4.2 比較方法

Matts 式と粒径別計算法の特性の比較はつぎの手順で行なう。

(1) 与えられた σ_g と D_{50} の値に対応する粒径分布に対して粒径別計算法により SCA が $0 \sim 150 \text{ s/m}$ の間の通過率 P を計算して図 1 の実線のような粒径別計算法による $f \sim P$ 曲線をつくる。

(2) その $f \sim P$ 曲線上の 2 点をえらびそれらの SCA 値 f_1, f_2 および通過率 P_1, P_2 から次式により Matts 式の K_M, w_M を逆算する。

$$K_M = \ln(\ln P_1 / \ln P_2) / \ln(f_1 / f_2) \quad (12)$$

$$w_M = (-\ln P_1)^{1/K_M} / f_1 \quad (13)$$

なお(13)式中の P_1, f_1 は P_2, f_2 としてもよい。

(3) K_M, w_M を用いて(7)式により図 1 の一点鎖線のような Matts 式による $f \sim P$ 曲線をつくる。

(4) 両 $f \sim P$ 曲線の特性を比較検討する。

4.3 比較結果

以上の操作を σ_g, D_{50}, f_1 および f_2 のそれぞれの値を変えて行なった結果、つぎのことがわかった。

(1) 両曲線は図 1 に示すとく厳密には一致せず、SCA が f_1 よりも小さいところでは A, f_1 と f_2 の中間では B そして f_2 よりも大きいところでは C のようなずれがある。しかし f_1 を 40, f_2 を 120 s/m 前後とすればこれらのずれはきわめて小さくなり、B, C は実質的には無視できまた A も Matts 式を通常目的に使用するかぎり問題にならない程度に小さくなる。そこで以下においては SCA が 40 s/m のときの f_1 を f_{1A} , 120 s/m のときの f_2 を f_{2A} で表わし、 f_{1A}, f_{2A} に対する K_M, w_M を K_{MA}, w_{MA} で表わすこととする。

(2) しかし、 K_M と w_M を逆算するときの SCA を小さくして A のずれの発生している領域内の値とした場合はつぎのように様相が違ってくる。すなわちこの領域内の二つの SCA 値を f_{1B}, f_{2B} とし f_{1B}, f_{2B} に対応する K_M, w_M を K_{MB}, w_{MB} で表わすことになると、たとえば図 2 のように f_{1B} が $10, f_{2B}$ が 20 s/m で σ_g が $3.15, D_{50}$ が $4 \mu\text{m}$ のときの K_{MB} と w_{MB} を逆算すると 0.588、および 0.211 m/s となり、これで Matts の $f \sim P$ 曲線を描くと図 2 中の点線の曲線となる。そしてこの点線は図に示されているように SCA が大きくなるにつれて実線(粒径別計算法)から大きくなっていることを示す。

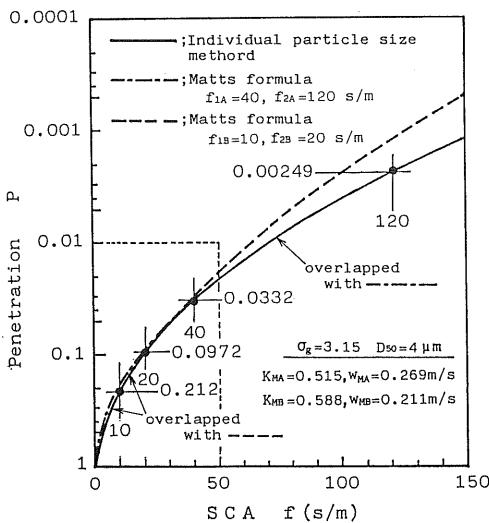


図 2 K_M , w_M を逆算するときの SCA の大小による特性の違い

Fig. 2 Effect of SCA value to the reverse calculated K_M and w_M .

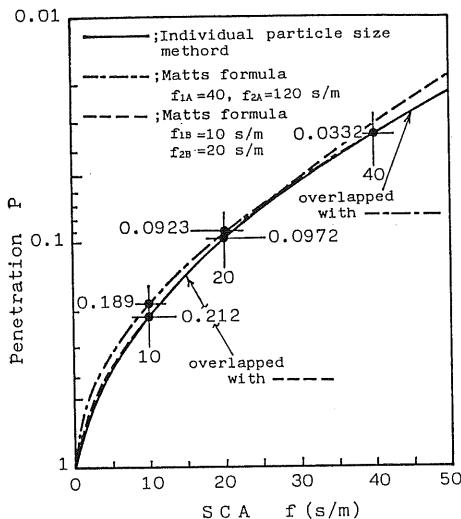


図 3 図 2 の左下隅部の拡大図

Fig. 3 Extended view of Fig. 2.

(3) この間の状況をさらに詳しく検討するために図 2 の f が $0 \sim 50$ s/m, P が $1 \sim 0.01$ の範囲(左下隅の点線で区切った部分)を拡大してみると図 3 のようになる。図から Matts の曲線を SCA の大きいところまで粒径別計算法と一致させるには、 K_M と w_M の値は $f_{1A}=40$, $P_{1A}=0.0322$ と $f_{2A}=120$, $P_{2A}=0.00249$ から逆算した値である $K_{MA}=0.515$, $w_{MA}=0.269$ m/s でなければならず、したがって $f_{1B}=10$, $f_{2B}=20$ s/m における通過率は一点鎖線上の値である 0.189 と 0.0923 でなければならない。ところがこれに対し上記においては実線

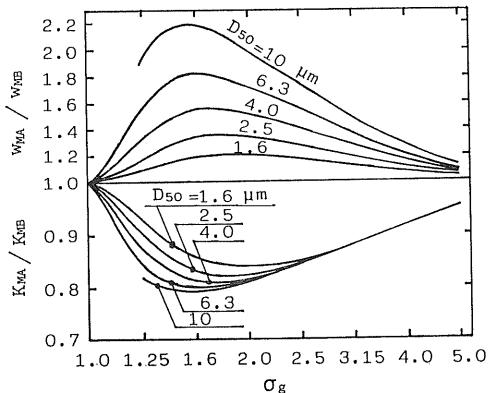


図 4 σ_g と D_{50} が変化した場合の K_{MA}/K_{MB} および w_{MA}/w_{MB} の変化の状況

Fig. 4 Value of K_{MA}/K_{MB} and w_{MA}/w_{MB} corresponding σ_g and D_{50} .

上の値である 0.212 と 0.0972 を用いて逆算したために K_M は 0.588, w_M は 0.211 m/s となって上述の差が発生したことがわかる。

なおこのように粒径別計算法と Matts 式で SCA の小さいところで特性に違いができるのは粒径別計算法の計算精度が不十分なためである可能性もある。そこで粒径の分割を上記では $0.01 \sim 100 \mu\text{m}$ の間を 80 分割しているのに対して 40 および 160 分割した場合も試算してみた。しかし結果はいずれも同様な傾向であり、数値上では 40 分割と 80 分割では若干の差があるが 80 分割と 160 分割では実質的な差は認められなかった。

またこの差の発生傾向が粒径分布特性の違いによって変化するものであるか否かも調べておく必要がある。そのため σ_g と D_{50} の値を変えた場合に K_{MA} と K_{MB} および w_{MA} と w_{MB} の比がどのように変わるかを計算したところ図 4 のようになった。図は σ_g が 1 から 5 の範囲を示しているが実際の集塵対象ダストは約 1.6 以下のものは少ないので、実用上は σ_g が小さいほどまた D_{50} が大きいほど差の発生度合いは顕著になるとみてよいであろう。

(4) このように両者の間には特性に微妙な違いはあるが (σ_g, D_{50}) の 1 組の値に対しては (K_{MA}, w_{MA}) および (K_{MB}, w_{MB}) の値も 1 組ずつしかない。つまりこれらは 1 対 1 対応であるから σ_g と D_{50} の必要な範囲の値についてそれらに対応する K_{MA} , K_{MB} および w_{MA} , w_{MB} の値をあらかじめ計算しておけば K_{MB} を K_{MA} に w_{MB} を w_{MA} に換算して修正することができる。したがって Matts 式で大きな SCA における集塵率を求める場合にはこの修正値つまり K_M の値としては K_{MA} , w_M の値としては w_{MA} を用いれば上述のような差の発生は

表 1 σ_g , D_{50} に対応する K_{MA} (上段) と K_{MB} (下段) の値Table 1 Value of K_{MA} (upper) and K_{MB} (lower) corresponding σ_g and D_{50} .

σ_g	50 wt% residue diameter D_{50} (μm)			
	1.6	4.0	10	25
5.0	0.553 0.579	0.480 0.502	0.419 0.438	0.369 0.385
4.0	0.572 0.524	0.494 0.539	0.429 0.468	0.376 0.409
3.15	0.600 0.682	0.515 0.588	0.445 0.508	0.388 0.440
2.5	0.639 0.749	0.546 0.649	0.469 0.558	0.407 0.481
2.0	0.692 0.824	0.591 0.724	0.505 0.624	0.435 0.535
1.6	0.772 0.903	0.665 0.819	0.568 0.719	0.486 0.618

表 2 σ_g , D_{50} に対応する w_{MA} (上段) と w_{MB} (下段) の値Table 2 Value of w_{MA} (upper) and w_{MB} (lower) corresponding σ_g and D_{50} .

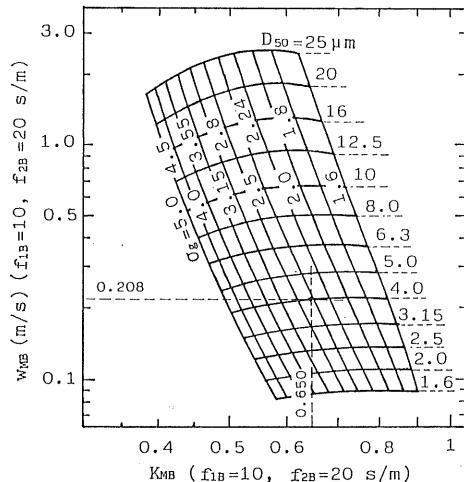
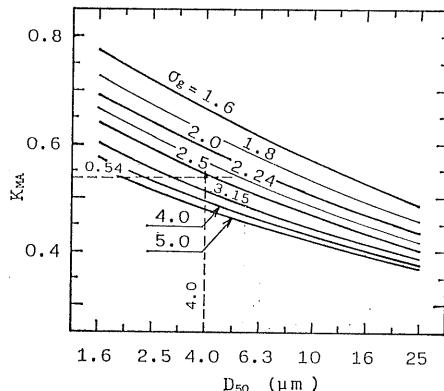
σ_g	50 wt% residue diameter D_{50} (μm)			
	1.6	4.0	10	25
5.0	0.085 0.083	0.204 0.192	0.579 0.521	1.910 1.645
4.0	0.091 0.085	0.233 0.201	0.717 0.566	2.595 1.870
3.15	0.097 0.086	0.269 0.211	0.907 0.614	3.658 2.131
2.5	0.103 0.088	0.306 0.218	1.132 0.654	5.089 2.377
2.0	0.106 0.089	0.336 0.222	1.348 0.675	6.742 2.539
1.6	0.105 0.089	0.340 0.221	1.440 0.660	7.885 2.483

防ぐことができる。 f_{1B} が 10, f_{2B} が 20 s/m のときの σ_g , D_{50} に対応する K_{MA} と K_{MB} の値を表 1 に w_{MA} と w_{MB} の値を表 2 に示す。

5. 小SCA の試験用 ESP の測定データからのスケールアップ計算

5.1 Matts 式を使用する場合

以上の検討は粒径別計算法と Matts 式の間にについてのものである。しかし、3.2 節で検討したように特定の

図 5 K_{MB} , w_{MB} から σ_g と D_{50} を求める図表Fig. 5 A graph to obtain the value of σ_g and D_{50} from K_{MB} and w_{MB} .図 6 σ_g , D_{50} から K_{MA} を求める図表Fig. 6 A graph to obtain the value of K_{MA} from σ_g and D_{50} .

条件下で運転される小SCA の試験用 ESP の特性が粒径別計算法のそれと同等であるとすれば、上記の SCA が f_{1B} および f_{2B} のときの粒径別計算法の特性値は小SCA の試験用 ESP の測定値におきかえることができる。ただし実際の試験ではダストの粒径分布特性をいちいち測定することは繁雑であるために集塵率したがって通過率のみが測定されることが多い。そのような場合のスケールアップ計算は図 5 以下のグラフを用いてつぎの手順により行なえばよい。

- (1) 小SCA の試験用 ESP の $f_{1B}=10$, $f_{2B}=20$ s/m における通過率 P_{1B} , P_{2B} の測定値から(12), (13)式により K_{MB} , w_{MB} を逆算する。
- (2) その値から図 5 により σ_g と D_{50} を求める。
- (3) その σ_g と D_{50} に対応する K_{MA} を図 6, w_{MA} を

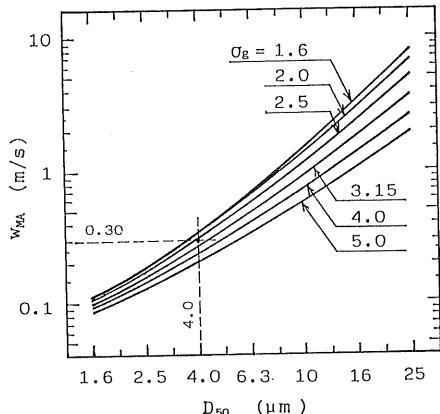
図 7 σ_g, D_{50} から w_{MA} を求める図表

Fig. 7 A graph to obtain the value of w_{MA} from σ_g and D_{50} .

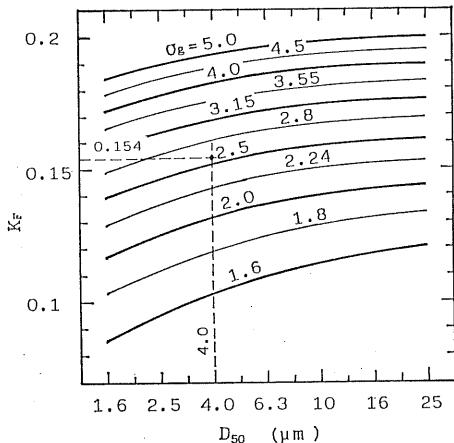
図 8 σ_g, D_{50} から K_F を求める図表

Fig. 8 A graph to obtain the value of K_F from σ_g and D_{50} .

図 7 により求めこれを K_M, w_M とする。

- (4) この K_M, w_M を用いて(2)式または(4)式によりスケールアップ計算を行なう。

なおこのようにして求められた K_M と w_M の値は SCA が十分に大きな領域（大略 80 s/m 以上）に適用すべきと考えられる。

5.2 新修正式を使用する場合

新修正式は Matts 式ではその特性を実際の工業用 ESP に合わせるために K_M, w_M の値を SCA の大きさによって修正を要するという不便を解消することを一つの目的に提案されたものである。したがって、小 SCA の試験用 ESP の作動範囲のように SCA の小さいところでは 粒径別計算法 したがって小 SCA の試験用 ESP とは特性が大きく違っている。そのため Matts

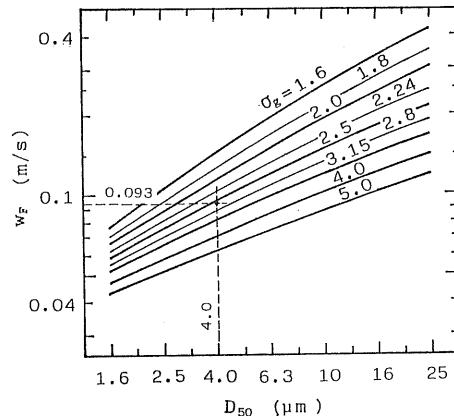
図 9 σ_g, D_{50} から w_F を求める図表

Fig. 9 A graph to obtain the value of w_F from σ_g and D_{50} .

式の場合のように f_{1B}, f_{2B} における通過率から直接にその走数 K_F とみかけの粒子移動速度 w_F を決めることはできない。しかし、その $f \sim P$ 特性が SCA の大きいところでは Matts 式と同等になることを利用してつぎのようにきめることができる。

- (1) 小 SCA の試験用 ESP の $f_{1B}=10, f_{2B}=20 \text{ s/m}$ における通過率 P_{1B}, P_{2B} から(12), (13)式により Matts 式の K_{MB} と w_{MB} を逆算する。
- (2) その値から図 5 により σ_g と D_{50} を求める（ここまで Matts 式の場合と同じである）。
- (3) その σ_g と D_{50} に対応する K_F と w_F を図 8 と図 9 により求める。
- (4) この K_F と w_F を用いて(3)または(5)式によりスケールアップ計算を行なう。

なお当然この K_F と w_F は SCA の大小によってその値を変更する必要はない。

5.3 計算例

試験用 ESP によりあるダストの集塵試験をして SCA が 10 および 20 s/m における集塵率がそれぞれ 80 および 92% であったとき、このダストを 99.8% の集塵率で捕集するのに必要とする SCA の大きさを求めてみる。

- (1) Matts 式による場合

$$\begin{aligned} f_{1B} &= 10 \text{ s/m}, \quad f_{2B} = 20 \text{ s/m} \\ P_{1B} &= 1 - 0.80 = 0.2 \\ P_{2B} &= 1 - 0.92 = 0.08 \end{aligned}$$

であるから(12), (13)式により

$$K_{MB} = \ln(\ln 0.20 / \ln 0.08) / \ln(10/20) = 0.650$$

$$w_{MB} = (-\ln 0.20)^{1/0.65} / 10 = 0.208 \text{ m/s}$$

となりこの K_{MB} と w_{MB} の値に対応する σ_g と D_{50} の

値を図5から求めると

$$\sigma_g = 2.6, D_{50} = 4.0 \mu\text{m}$$

となる。したがって図6および図7から

$$K_{MA} = 0.54, w_{MA} = 0.30 \text{ m/s}$$

が求まるから集塵率が 99.8% となる SCA の大きさはこの K_{MA} の値を K_M , w_{MA} の値を w_M として(4)式により

$$f = [-\ln(1 - 0.998)]^{1/0.54}/0.30 = 98.2 \text{ s/m}$$

となる。

(2) 新修正式を用いる場合

σ_g と D_{50} を求めるまでは Matts 式の場合と同じであるから

$$\sigma_g = 2.6, D_{50} = 4.0 \mu\text{m}$$

であり、図8および図9により

$$K_F = 0.154, w_F = 0.093 \text{ m/s}$$

となる。したがってこれを式(5)に入れると

$$f = [-\ln(1 - 0.998)]^{(f/30)^{0.154}}/0.093$$

となるが右辺にも f を含んでおり試行錯誤計算となるので計算機で計算してみると

$$f = 95.4 \text{ s/m}$$

となった。Matts 式を用いた場合とは約 3% の違いがあるがこれは図表の読みとり誤差とみてよいであろう。なお、ちなみに以上のような補正を行なわずに Matts 式で $K_{MB} = 0.650$, $w_{MB} = 0.208 \text{ m/s}$ から直接に集塵率が 99.8% となる SCA 値を求めてみると

$$f = [-\ln(1 - 0.998)]^{1/0.65}/0.208 = 79.9 \text{ s/m}$$

となる。

5.4 f_{1B} が 10 s/m, f_{2B} が 20 s/m でないときの処置
 以上の検討においては f_{1B} は 10 s/m, f_{2B} は 20 s/m としてきたが実際の測定データではこのとおりの SCA 値になつてないこともある。このような場合には厳密には図5のグラフはそのときの SCA 値に対応したものに作り直すべきである。しかし試算の結果によると f_{1B} が 10 s/m, f_{2B} が 20 s/m と比べてあまり大きくちがつていないときには図5をそのまま使用してもあまり大きな誤差は出ない。たとえばフライアッシュの粒径分布にはほぼ相当する σ_g が 2.5 と 3.15, D_{50} が 4.0 と 6.3 μm において f_{1B} が 8 と 12.5, f_{2B} が 16 と 25 s/m となった場合の逆算された K_{MB} の値は表3のようになり, f_{1B} が 10, f_{2B} が 20 s/m のときとの違いは 2% 以内である。また w_{MB} のほうも同様にして 3% 以内である。

6. まとめ

粒径別計算法と Matts 式との特性を詳細に比較検討してつぎの結果を得た。

表 3 f_{1B} が 10, f_{2B} が 20 s/m から外れた場合の逆算された K_{MB} の値

Table 3 Reverse calculated value of K_{MB} in case of $f_{1B} \neq 10$ and $f_{2B} \neq 20 \text{ s/m}$.

f_{1B}	f_{2B}	$\sigma_g = 2.5$		$\sigma_g = 3.15$	
		D_{50}	4.0	6.3	4.0
10	20	0.649	0.602	0.588	0.547
10	16	0.658	0.611	0.596	0.553
10	25	0.640	0.593	0.581	0.540
8	20	0.659	0.611	0.597	0.554
12.5	20	0.639	0.593	0.581	0.539
12.5	16	0.648	0.602	0.587	0.546
8	25	0.649	0.603	0.589	0.547

f_{1B}, f_{2B} : s/m D_{50} : μm

(1) Matts 式の $f \sim \eta$ 特性は定数 K_M の値を適切にえらべば粒径別計算法のそれと全般的にはかなりよい一致を示すけれども SCA の小さいところでは両者に微妙な違いがある。

(2) その違いのために、SCA の小さいところにおける粒径別計算法の集塵率から逆算した Matts 式の定数とみかけの粒子移動速度を用いて大きな SCA における集塵率を求めるとき、その値は粒径別計算法のそれよりも高くなる傾向がある。そしてその傾向はダストの粒径分布特性に大きく依存し、 σ_g が約 1.6 以上においては σ_g が小さいほどまた D_{50} が大きいほど顕著である。

(3) 一方、本文の 3.3 項で述べた仮定が成立する範囲の運転条件下では小 SCA の試験用 ESP の特性は粒径別計算法のそれと同等とみなされることから、前項のことは從来から小 SCA の試験用 ESP の測定データは大 SCA 機へのスケールアップ計算用としては信頼性が低いとされていた原因の一部と考えられる。

(4) したがって小 SCA の試験用 ESP のデータをもとに大 SCA 機の性能を Matts 式により予測計算する場合には、そのデータから逆算された定数とみかけの粒子移動速度をそのまま使用しないで図 5～図 7 を用いて修正した値を用いる必要がある。

(5) 新修正式を用いる場合も同様にして図5および図8、図9を用いて定数とみかけの粒子移動速度の適切な値を知ることができる。

小 SCA の試験用 ESP の測定データは大 SCA 機へのスケールアップ用としては信頼性が低いといわれながらその原因がつかみにくかった理由の一つは本文で検討したように実際と予測値との差の発生傾向がダストの粒径分布特性に大きく依存していてつねに一定の比率ではなかつたためではないかと考えられる。もちろん、差の

でる原因是他にもあるであろうがこの一見規則性がなかった部分が解析計算上ではあるが見当がつけば、他の原因はそれをさし引いて検討できるから究明も進めやすくなるのではないかと思われる。できるだけ小さい SCA の試験機のデータをもとに信頼性のあるスケールアップ計算ができるることは能率的にも経済的にも好ましいことであり、はやくそのようになることを期待する次第である。

おわりに本研究についてご支援ご指導をいただいた早野延男(山口大学教授)、大久保利一(大分大学助手)ならびに研究発表講演会⁹⁾の席上で貴重なご討論、ご助言をいただいた学会員の諸氏に深く感謝する。

記号説明

A : 集塵面積 (m^2)

A_C : Cunningham の補正項中の定数

D : ダスト粒子の粒径 (cm , μm)

D_{50} : 残滓率が 50 wt% であるダスト粒子の粒径 (μm)

E_0 , E_P : 荷電空間、集塵空間の電界強度 (esu , kV/cm)

f : 比集塵面積 (SCA) (s/m)

f_0 : 新修正式中の定数 (s/m)

f_1 , f_2 : 任意の二つの SCA 値で $f_1 < f_2$ とする (s/m)

f_{1A} , f_{2A} : SCA 値がそれぞれ 40, 120 s/m である f_1 , f_2

f_{1B} , f_{2B} : 任意の二つの SCA 値であるが、いずれも大略 30 s/m 以下であり $f_{1B} < f_{2B}$ とする (s/m)

K_M , K_F : Matts 式、新修正式の定数

K_{MA} : (f_{1A}, P_{1A}) , (f_{2A}, P_{2A}) から逆算した K_M

K_{MB} : (f_{1B}, P_{1B}) , (f_{2B}, P_{2B}) から逆算した K_M

k : 粒子移動速度係数

P : 通過率 ($=1-\eta$)

P_1 , P_2 : SCA が f_1 , f_2 における通過率

P_{1A} , P_{2A} : SCA が f_{1A} , f_{2A} における通過率

P_{1B} , P_{2B} : SCA が f_{1B} , f_{2B} における通過率

Q : ガス流量 (m^3/s)

w : 粒子移動速度 (cm/s , m/s)

w_D , w_M , w_F : Deutsch, Matts 新修正式における見かけの粒子移動速度 (m/s)

w_{MA} : (f_{1A}, P_{1A}) , (f_{2A}, P_{2A}) に対応する Matts 式の見かけの粒子移動速度 (m/s)

w_{MB} : (f_{1B}, P_{1B}) , (f_{2B}, P_{2B}) に対応する Matts 式の見かけの粒子移動速度 (m/s)

η : 集塵率

λ : ガスの平均自由行程 (μm)

μ : ガスの粘度 (poise)

σ_g : 集塵対象ダスト粒子の幾何標準偏差

参考文献

- 1) 藤村謙祐, 足立宜良: 静電気学会誌, 10 (1986) 177
- 2) W. Deutsch : Ann. Phys., 68 (1922) 335
- 3) 静電気学会編: 静電気ハンドブック, p. 507, オーム社 (1981)
- 4) S. Matts : Proc. of CSIRO Conf. on Electrostatic Precipitator, 3-1 (1978)
- 5) 藤村謙祐, 足立宜良: 静電気学会誌, 6 (1982) 313
- 6) 諸早典夫: 静電気学会講演論文集 '86, p. 59, 静電気学会 (1986)
- 7) 諸早典夫: 静電気学会講演論文集 '86, p. 63, 静電気学会 (1986)
- 8) H.J. White : Industrial Electrostatic Precipitation, p. 156, Addison-Wesley, Massachusetts (1963)
- 9) 藤村謙祐, 足立宜良: 静電気学会講演論文集 '85, p. 216, 静電気学会 (1985)