

電気集塵装置における Deutsch の式の修正式の検討 (II)

藤村 謙祐*, 足立 宜良**

(1986年1月25日受理)

Discussion on the Correction Formula for Deutsch Formula in an Electrostatic Precipitator (II)

K. FUJIMURA* and T. ADACHI**

(Received January 25, 1986)

In order to apply Deutsch formula for single size particle to an industrial electrostatic precipitator with wide range of particle size distribution, the correction of Deutsch formula are attempted. As this correction formula Matts formula is well known, and we had also proposed other type one. Constants used in these formulas are estimated according to difference of distribution factor of dust particle size. The effect of distribution factor on constants for correction formula are calculated in detail. From discussion on the results of calculation, it became clear that (1) calculated constants indicate good agreement with the empirical value for fly ash, but (2) generally, the constants must be changed according to distribution factor. Suitable constant corresponding to geometric standard deviation and 50 wt% residue particle diameter of dust can be known easily by using diagrams.

1. はじめに

粒径分布をもつダストを集塵対象とする工業用の電気集塵装置(以下ESP)の集塵率に関する計算には単一粒径ダストの集塵率に関するDeutschの式¹⁾の修正式が使用されることが多い。このような修正式としてはMattsの式^{1,2)}が著名であり、筆者らも先年別の式を提案した³⁾。これら修正式は原式に比べると実測データとよく合うようになつたが式中に集塵対象ごとにその値が異なる定数を含んでおりその値の決定には実績や経験を必要とすることが多い。このように定数の値が変化する主たる原因是これらの修正式はダストの粒径分布特性と集塵特性の関係を算入する項をもっていないので粒径分布の違いが定数の値の違いとなって現われるためと考えられる。したがってこれらDeutschの式の修正式を適切に運用するためにはダストの粒径分布特性と定数の値の関係を定量的に明らかにする必要がある。Mattsの式の定数に関してはすでに望月らにより対数正規分布をもつ

フライアッシュについてのモデルEPによる実験およびDeutschの式による数値計算の結果の対比から対数正規分布の幾何平均粒径と幾何標準偏差からほぼその値を推定できることが報告されている⁴⁾。筆者らもさきに修正式を提案以来この点を重要課題と考えて計算を主とした解析、検討を行なってきたが具体的な結果がまとまつたので報告する。

2. Deutsch の式の修正式における課題

2.1 Deutsch の式の修正式

ESPの集塵率に関する基本式としては周知のように次のDeutschの式がある。

$$\eta = 1 - \exp[-(wf)] \quad (1)$$

式中の η は集塵率(—), w は粒子移動速度(m/s), f は比集塵面積(以下SCA)(s/m)であり w をパラメータとして任意のSCAにおける集塵率を計算できる。しかしながらこの式は集塵対象を単一粒径ダストとして導かれたものであるから広い粒径分布をもつダストを対象とする工業用ESPにそのままでは適用できない。そこで w は本来はある大きさの粒子の移動速度であるが一般の粒径分布のあるダストにもそのダストを代表する「見かけの粒子移動速度」があるとみなしこれを w_D として(1)式の w とおきかえて

$$\eta = 1 - \exp[-(w_D f)] \quad (2)$$

として工業用ESPの集塵率の計算に用いられてきた。

* 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

** 大分大学工学部電気工学科(780-11 大分市旦野原)
Department of Electrical Engineering, Faculty of
Engineering, Oita University, Dannoharu, Oita,
870-11 Japan

なおこの w_D は直接に算定はできないので f および η の

実測値から

$$w_D = [-\ln(1-\eta)]/f \quad (3)$$

と逆算によって決定される。

このようにして ESP の集塵率に関する比例則の式としては Deutsch の式として(2)式が用いられてきたが、その計算値と実測値を比べると SCA 対集塵率特性（以下 f - η 特性）が SCA が大きくなるにつれて集塵率が Deutsch の式では直線的に上昇するのに対し、実測値のほうは飽和傾向を示しまるより一致がみられない⁵⁾。このようになるのは粒径分布のあるダストを ESP で集塵すると後段になるほど捕集しにくい小粒径の粒子の含有率が高くなることから推察できる。そのため Deutsch の式を工業用 ESP の特性に合うように修正が行なわれ修正式としてはつぎの Matts の式がよく知られている。

$$\eta = 1 - \exp[-(w_M f) K_M] \quad (4)$$

ここで w_M は見かけの粒子移動速度 (m/s), K_M は定数 (-) である。 K_M の値は集塵対象や SCA の大小などにより異なるがたとえばフライアッシュに対しては SCA が大きい場合には 0.5 とされている¹⁾。また w_M は f と η の実測値から

$$w_M = [-\ln(1-\eta)]/K_M/f \quad (5)$$

と逆算して求められる。ただし二つの SCA 値、 f_1 , f_2 における集塵率 η_1 , η_2 が与えられれば通過率を $P_1 = 1 - \eta_1$, $P_2 = 1 - \eta_2$ として K_M を次式により知ることができる。

$$K_M = \ln(\ln P_1 / \ln P_2) / \ln(f_1/f_2) \quad (6)$$

(4)式は定数 K_M を適切に選べば実際の ESP の特性とよく合うので広く実用されているがなお次のような問題点が残っている。

- 1) 定数 K_M の値は集塵対象ダストが違えば異なる値となるがその関係が定量的に明らかでない。
- 2) 同一ダストに対しても SCA が大きい場合と小さい場合では K_M の値が異なりしかも K_M の値の変化に応じて w_M の値も変化する場合も経験される。

このような Matts の式の問題点を少しでも改善するために筆者らはさきに次のような修正式を提案した。以下この式を仮に新修正式とよぶ。

$$\eta = 1 - \exp[-(w_F f)(f_0/f)^{K_F}] \quad (7)$$

式中の w_F は見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 とする。 K_F の値は Matts の式の K_M と同様にダストの種類などにより経験的にきめる必要があり、たとえばフライアッシュに対しては 0.166 としてきた。ただし K_F は SCA の大小によりその大きさを変更する必要はない。 K_F がきまれば w_F は η と f の実測値から次式により逆算でき

その値も SCA の大小にかかわらず一定である。

$$w_F = [-\ln(1-\eta)](f/f_0)^{K_F}/f \quad (8)$$

なお K_F も K_M と同様に二つの SCA 値における集塵率から算定できるが(6)式のような解析的な式は導きにくいので逐次近似法的な数値計算による必要がある。(2)の Deutsch の式、(4)の Matts の式および(7)の新修正式の特性を比較すると図1のようになる。各曲線は SCA が 30 s/m の A 点で Deutsch の式と K_M を 0.75 とした Matts の式および新修正式が、また 100 s/m の B 点で K_M を 0.5 とした Matts の式と新修正式の集塵率が等しくなるようにそれぞれの式の見かけの粒子移動速度をきめて描いたものである。なお新修正式の K_F は 0.166 である。

2.2 Deutsch の式の修正式に残された課題

新修正式により Matts の式の問題点の 2) は一応解決されたが、1) はそのまま残っている。1) の問題が生じた主たる原因は(4)および(7)式ともに粒径分布のあるダストを集塵対象としながら粒径分布特性が集塵率にどのように影響するかを計算する項をもっていない点にあり、そのためそれぞれのダストの粒径分布の違いは定数 K_M あるいは K_F の大きさの違いとなって現われるためと考えられる。したがってこれら修正式をより有効に使用するにはダストの粒径分布特性と定数の値の関係を定量的に明らかにしておく必要がある。この問題について Matts の式に関してはさきに述べたように望月らによる実験をもとにした研究が行なわれているが本報では計算を主とする解析的な方法で検討を行なう。

3. 修正式の定数と粒径分布特性の関係

3.1 ダストの粒径分布特性

工業用 ESP が集塵対象とするダストの大部分は対数

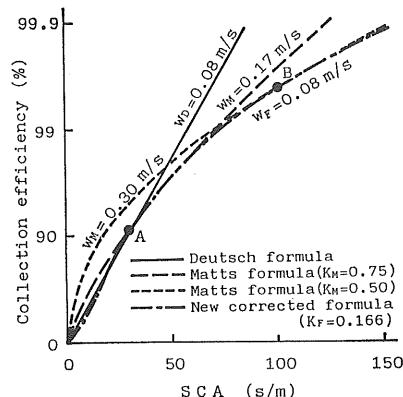


図1 Deutsch, Matts および新修正式の特性の比較

Fig. 1 Comparison of characteristics of Deutsch, Matts and new corrected formula.

正規分布に属するとされているので以下においてはダストの粒径分布はすべて対数正規分布とし、Rosin-Rammler 分布に関しては割愛する。

3.1.1 粒径分布特性の表示方法

対数正規分布の表示方法つまり数式的な取扱い方は一般的のものと同じであるが記号の定義も含めて要点をまとめると次のとくである。

対数正規分布は横軸を対数目盛の粒径 $D_p(\mu\text{m})$ 、縦軸を確率目盛の残滓率 $R(\text{wt}\%)$ としたグラフ用紙上では図2のA-Aのように直線で表わされる。そして R が 50 および 15.86 wt% である粒径をそれぞれ D_{50} および $D_{15.86}$ とし質量基準の幾何標準偏差を σ_g で表わすと

$$\sigma_g = D_{15.86}/D_{50} \quad (9)$$

なる関係が成立する。したがって直線 A-A の位置は σ_g と D_{50} の値が与えられれば決定するから以下においては対数正規分布の分布特性は σ_g と D_{50} の1組の値によって表示することにする。

3.1.2 σ_g と D_{50} の分布範囲

今後検討を進める上で σ_g と D_{50} は大略どの範囲までその値を変化させてみる必要があるか目安をつけておく必要がある。そこで文献⁶⁻⁸⁾に報告されている集塵対象ダストの粒径分布特性値を整理して横軸を D_{50} 、縦軸を σ_g としてプロットしたところ図3のようになった。図中の添記番号が1から8までおよび14の黒点はライアッシュでありその他の白点の発生源は次のとおりである。数字は図中の添記番号を示す。

9: 製鋼用電気炉, 10: 硫酸ミスト, 11: 黒液回収ボイラ, 12: セメント工場粘土ドライヤ, 13: 都市ごみ焼却炉, 15: ごみ焼却炉(二次集塵機入口), 16: 硫酸工場(ダスト), 17: セメント工場キルン, 18: セメント工場石灰石ドライヤ, 19: 転炉, 20: 鋳鉄用キルン

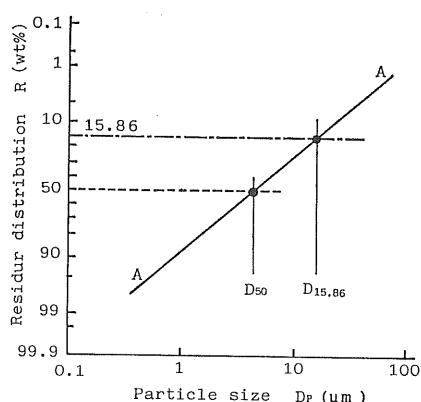


図2 対数正規分布の表示

Fig. 2 Representation of logarithmic normal distribution.

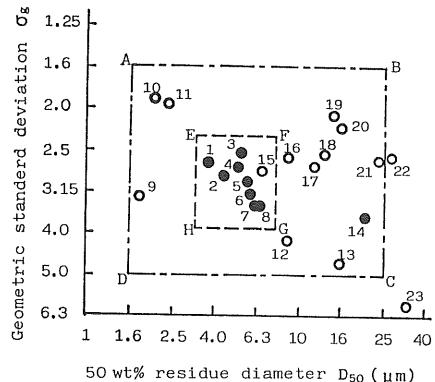


図3 代表的なダストの σ_g と D_{50} の値

Fig. 3 Value of σ_g and D_{50} for typical dust.

ューポラ, 21: 骨材ドライヤ, 22: セメント工場キルン, 23: 都市ごみ焼却炉

サンプル数も少ないのでこれだけでは確定はできないがサンプルの各点の分布状況および粒径のあまり大きいかまたは小さいところは除外するとすると検討範囲としては大略 σ_g が 1.6 から 5.0, D_{50} が 1.6 から 25 μm つまり図3中的一点鎖線の枠 A-B-C-D 内が適当ではないかと考えられる。また対象をライアッシュに限定すれば σ_g が 3.15, D_{50} が 5.0 の点をほぼ中心とする点線の枠 E-F-G-H 内となる。

以上の範囲は実用上の見地からみたものであるが(4)および(6)式はダストが单一粒径つまり σ_g が 1 のときには当然 Deutsch の式(1)と同じになり K_M は 1 にまた K_F は 0 となるはずであるが以下に述べる計算方法でもそのような結果となることを確認する意味も含めて σ_g の変化範囲は 1.0 から 5.0 までとする。

3.2 粒径別計算法

ESP の集塵率の基本的な計算法としては粒径別計算法があり、これは周知のように概略つきのような手順で行なわれる。

- 1) ダストの粒径分布の全区間を一定粒径幅の多数の帯域(バンド)に分割し、集塵対象ダストの粒径分布特性から各バンド内に全体の何%(重量パーセント)のダストが含まれているかを算出する。
- 2) 各バンド内のダストは単一粒径とみなして Deutsch の式(1)を用いて各バンドごとの集塵率を計算する。
- 3) 各バンドごとに 1), 2) の結果をかけ合わせたものを合計してこれを全体の集塵率とする。

この計算法は実際にはかなり煩雑ではあるが理論的根拠も明確で信頼性も高くかつダストの粒径分布特性に対応した集塵率を得られるので、以下においてはこの計算

法による計算データを基準にして修正式の特性を検討することにする。

3.2.1 粒径分布帯域の分割（バンドの設定）

粒径の全分布帯域を表1のように No. 0 から No. 80 の 81 個のバンドに分割しその内訳は No. 0 には 0.0106 μm 以下、No. 80 には 95 μm 以上のすべてを含め、0.0106 から 95 μm の間は標準数列^{9,10)}に準じて等比的に 79 のバンドに分割する。なお標準数は有効数字が 3 術に丸められているのでそのままの値を計算に用いると誤差の原因となるおそれがあるので実際の計算では丸める前の計算値を用いる。

3.2.2 粒径別分布率の計算

与えられた粒径分布の特性値 σ_g , D_{50} に対応する粒径別分布率つまり No. 0 から No. 80 の各バンド内にそれぞれ全体の何 wt% の粒子が含まれているかを標準正規分布関数によって計算する。なお実際の数値計算では次の Hastings の近似式の戸田らによる修正式¹¹⁾を使用する。この式の絶対誤差は 1.3×10^{-7} をこえないとされている。

$$\Phi(u) \doteq 1 - \frac{1}{2} (1 + d_1 u + d_2 u^2 + d_3 u^3 + \dots + d_6 u^6)^{-1/6} \quad (10)$$

表1 粒径バンドの構成

Table 1 Make up of particle size band.

| Band No. | Border diameter (μm) | Mean diameter D_m (μm) |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 0.0106 | 0.0100 |
| 1 | 0.0118 | 0.0112 |
| 2 | 0.0132 | 0.0125 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 20 | 0.106 | 0.100 |
| 21 | 0.118 | 0.112 |
| 22 | 0.132 | 0.125 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 40 | 1.06 | 1.00 |
| 41 | 1.18 | 1.12 |
| 42 | 1.32 | 1.25 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 60 | 10.6 | 10.0 |
| 61 | 11.8 | 11.2 |
| 62 | 13.2 | 12.5 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 78 | 85.0 | 80.0 |
| 79 | 95.0 | 90.0 |
| 80 | 100 | 100 |

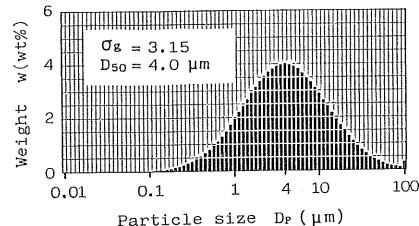


図4 対数正規分布の粒径分布の計算例

Fig. 4 Calculated example of particle size distribution belong to logarithmic normal distribution.

ただし、 $\Psi(u)$: u に関する標準正規分布関数、 $u \geq 0$,
 $d_1=0.0498673470$, $d_2=0.0211410061$,
 $d_3=0.0032776263$, $d_4=0.0000380036$,
 $d_5=0.0000488906$, $d_6=0.0000053830$

このようにして求めた粒径別分布率のグラフの例を図4に示す。

3.2.3 粒子移動速度の計算

各バンド内のダスト粒子の大きさは平均粒径 D_m に等しいとし、 D_m はそのバンドの上下限粒径の等比的中心値とする。ただし No. 0, No. 80 のバンドの D_m は 0.01, 100 μm とみなす。(1) 式中の粒子移動速度 w (単位は cm/s とする) は荷電空間、集塵空間の電界強度を E_o (esu), E_p (esu), ガスの粘度を μ (poise), 粒径を D_m (cm) とすると次式で計算できる¹²⁾.

$$w = E_o E_p D_m / 4\pi\mu \quad (11)$$

この式の右辺の D_m 以外の変数はダスト粒子の粒径の違いが集塵率に及ぼす影響を検討する場合には当然それぞれ一定の値を保つべきであるからこれらをまとめて $k = E_o E_p / 4\pi\mu$ (12)

として k を粒子移動速度係数とよぶことにし、さらに A , λ を定数として Cunningham の補正項を追加すると (11) 式は次のようにまとめられる。

$$w = k D_m \left(1 + A \frac{2\lambda}{D_m} \right) \quad (13)$$

ここで使用単位を変更し、 E_o と E_p は kV/cm, D_m は μm , μ は poise として (12) 式を書きかえると

$$k = 0.884 \times 10^{-6} \times (E_o E_p / \mu) \quad (1/s) \quad (14)$$

となる。したがって ESP の運転条件の違いにより E_o と 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 となるから以下においてはこのほぼ中央値をとつて k の大きさは 0.05 1/s としました A と λ もそれぞれ 0.86, 0.1 μm として計算することとする。

3.2.4 集塵率の計算

各バンド内の粒子移動速度が (13) 式により求まるか

ら任意の SCA 値における各バンドごとの集塵率は(1)式により算出でき、これらをさきに求めた各バンドの粒径別分布率にかけたものを全バンドにわたり集計するとその SCA 値における集塵率となる。したがって SCA 値を逐次変えて同様な計算をくりかえすことにより与えられた σ_g , D_{50} の値に対する $f\text{-}\eta$ 曲線が得られる。

3.3 Matts の式の定数と粒径分布特性の関係

Matts の式(4)による $f\text{-}\eta$ 曲線は粒径別計算法のそれとよく似た形をしており、前者を一点鎖線、後者を実線で表わすと一般に図5のように SCA が f_1 および f_2 の2点で交わり当然これらの交点においては両者の集塵率は等しい。したがってこの場合の Matts の式の定数 K_M は f_1 , f_2 における粒径別計算法による集塵率を η_1 , η_2 したがって通過率を $P_1=1-\eta_1$, $P_2=1-\eta_2$ として(6)式により算出できる。両曲線の間には SCA が f_1 以下には A, f_1 と f_2 の間には B, f_2 以上には C のようなずれがある。しかし試算の結果これらのずれは f_1 を 40, f_2 を 120 s/m 前後とすることにより少なくとも SCA が 150 s/m 以下においてはきわめて小さくなり、B, C のずれは実質的には無視でき A も通常は問題にならない程度になることがわかった。したがってこの場合は Matts の式は粒径別計算法と実用上一致した特性を示すとみなされるから、与えられた σ_g と D_{50} の値において $f_1=40$, $f_2=120$ s/m における粒径別計算法の通過率 P_1 , P_2 から(6)式により計算した K_M の値をその σ_g , D_{50} に対応する Matts の式の定数の値とみなすこととする。

このようにして σ_g の 1.0 から 5.0 までの 8 点に対して D_{50} がそれぞれ 2.5, 6.3 および 16 μm のときの K_M を求めると表2のようになる。この表から次のことがわかる。

- 1) Matts の式の定数 K_M は σ_g または D_{50} が変化する、つまりダストの粒径分布が変わるとかなり大

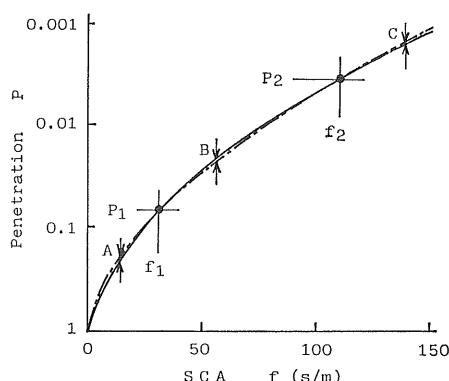


図5 Matts の式の一般的な特性

Fig. 5 General characteristic of Matts formula.

表2 σ_g と D_{50} に対応する K_M の値

Table 2 Value of K_M corresponding to σ_g and D_{50} .

| σ_g | D_{50} (μm) | | |
|------------|----------------------------|-------|-------|
| | 2.5 | 6.3 | 16 |
| 1.0 | 1.000 | 1.000 | — |
| 1.25 | 0.867 | 0.772 | — |
| 1.6 | 0.720 | 0.615 | 0.523 |
| 2.0 | 0.641 | 0.546 | 0.467 |
| 2.5 | 0.591 | 0.506 | 0.435 |
| 3.15 | 0.557 | 0.479 | 0.415 |
| 4.0 | 0.532 | 0.460 | 0.401 |
| 5.0 | 0.516 | 0.448 | 0.392 |

きく変化する。

- 2) σ_g が 1 つまりダストが单一粒径のときは K_M は 1 となり Matts の式は Deutsch の式(1)と同じ計算結果となる。
- 3) 集塵対象をフライアッシュに限定した場合の σ_g と D_{50} は図3の枠 E-F-G-H 内の値となったが表2中でこの枠内に入る σ_g は 2.5 と 3.15, D_{50} は 6.3 μm でありその K_M は 0.506 と 0.479 となっている。この値は従来からフライアッシュに対して SCA が大きい場合には K_M を 0.5 前後にすればよいとされていたこととよく符合している。

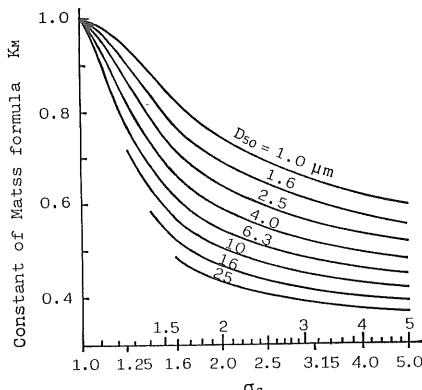
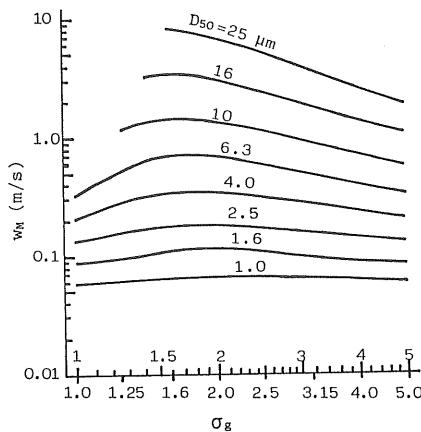
周知のようにフライアッシュに対して K_M が 0.5 前後となるのは SCA が大略 80 s/m 以上の大きい場合でありこれより小さくなれば 0.75 前後まで大きくする必要がある。この K_M の値の変化と表2における K_M の値の変化はまったく別の現象であり上記3)からもわかるように表2の K_M の値はいずれも SCA が十分に大きい領域に適用すべきであり SCA が小さくなればフライアッシュのときと同様に修正が必要である。

表2は計算点数も少ないのでさらに詳しく計算した結果を図表化したのが図6である。また K_M は次式によつても計算でき誤差は $\pm 2.5\%$ 以内である。

$$K_M = 0.545 (\log \sigma_g)^{-0.25} D_{50}^{-0.155} \quad (15)$$

ただし適用範囲は $1.6 \leq \sigma_g \leq 5.0$, $1.6 \leq D_{50} \leq 25 \mu\text{m}$ である。

なお指定された σ_g と D_{50} に対応する K_M がわかればそのときの見かけの粒子移動速度 w_M も計算できその値は図7のようになる。したがってこの K_M と w_M により Matts の式で $f\text{-}\eta$ 曲線を計算することはきわめて容易であるがこの曲線は煩雑で計算量も多いためにコンピュータの援用なしには実際には実施が困難な粒径別計算法で求めた曲線と同等なものである。ただし図表の作成

図6 σ_g と D_{50} から K_M を決定する図表Fig. 6 Diagram for determining K_M from σ_g and D_{50} .図7 σ_g と D_{50} から w_M を決定する図表Fig. 7 Diagram for determining w_M from σ_g and D_{50} .

および読み取り誤差などのため多少は精度は悪くなるが通常の検討用としては支障ないであろう。

3.4 新修正式の定数と粒径分布特性の関係

新修正式の特性は図1にも示したように SCA が約 80 s/m 以上と大きい場合に Matts の式したがって粒径別計算法に、また小さくなると Deutsch の式に近似するようになっている。したがって粒径分布特性に応じた定数 K_F を決定する場合には SCA の大きいところでの粒径別計算法の計算データから逆算する必要があり、その SCA 値を 100 および 120 s/m とする。また逆算に当たっては前述のごとく Matts の式における(6)式のような簡単な計算式は導きにくいので逐次近似法的な数値計算による必要がある。このようにして求めたダストの粒径分布特性に対応する新修正式の定数 K_F の値を表3に示す。この表から次のことがわかる。

表3 σ_g と D_{50} に対応する K_F の値Table 3 Value of K_F corresponding to σ_g and D_{50} .

| σ_g | D_{50} (μm) | | |
|------------|----------------------------|-------|-------|
| | 2.5 | 6.3 | 16 |
| 1.0 | 0.000 | 0.000 | — |
| 1.25 | 0.046 | 0.063 | — |
| 1.6 | 0.095 | 0.110 | 0.119 |
| 2.0 | 0.125 | 0.136 | 0.142 |
| 2.5 | 0.147 | 0.156 | 0.161 |
| 3.15 | 0.164 | 0.172 | 0.176 |
| 4.0 | 0.178 | 0.186 | 0.189 |
| 5.0 | 0.189 | 0.197 | 0.200 |

1) 新修正式の定数 K_F の値もダストの粒径分布特性に応じてかなり大きく変化する。

2) σ_g が 1 つまり单一粒径に対しては K_F は 0 となりしたがって(6)式中のべき項 $(f_0/f)K_F$ は 1 となって新修正式は Deutsch の式(1)と同じになる。

3) 集塵対象をフライアッシュに限定した場合を Matts の式のときと同様に對比してみると表中の該当する K_F の値は 0.186 と 0.172 でありこれは筆者らが推奨してきた値の 0.166 に近くまた 0.166 となる点は図3の枠 E-F-G-H の中に存在する。

なお K_F の大きさは前述のように SCA の大小によって変化しないから表3の値は任意の SCA 値に適用できる。表3はデータ数も少ないのでさらに詳しく述べた結果を図7に示す。また K_F は次式でも計算でき誤差は ±3% 以内である。

$$K_F = a(\log D_{50}) u \sigma_g v \quad (16)$$

$$u = b \sigma_g - x, \quad v = c D_{50} - y$$

ただし $\sigma_g \leq 2.3$ では $a = 0.077, b = 0.35, c = 1, x = 1, y = 0.075$

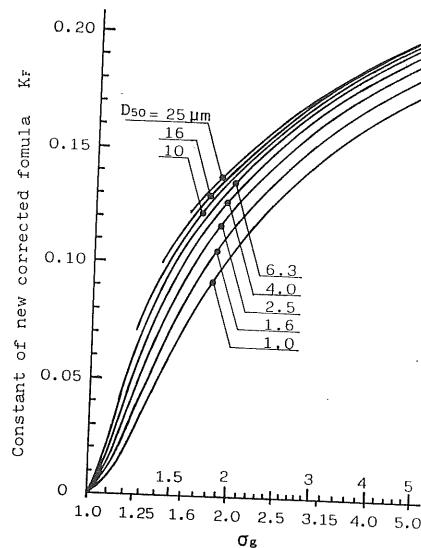
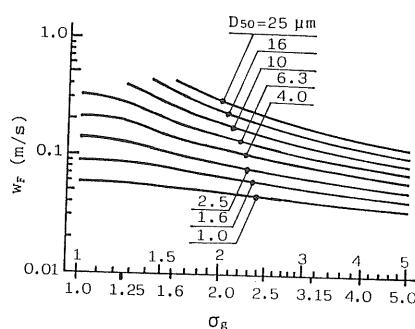
$\sigma_g > 2.3$ では $a = 0.125, b = 0.17, c = 0.36, x = 0.35, y = 0.1$

とし適用範囲は $1.6 \leq \sigma_g \leq 5.0, 1.6 \leq D_{50} \leq 25 \mu\text{m}$ である。

なお Matts の式における図7と同様に図8の K_F に對応する新修正式の見かけの粒子移動速度 w_F は図9により求めることができる。

3.5 粒子移動速度係数 k の値が変化した場合について

今までの検討では(14)式で定義した粒子移動速度係数 k の値は 0.05 で一定としてきた。しかし ESP の実際の運転条件下では必ずしも 0.05 となるとは限らない。そこで k の値を 0.05 を中心に 0.025 から 0.1 ま

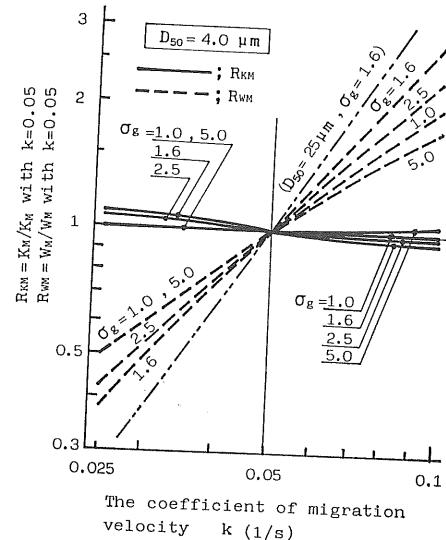
図8 σ_g と D_{50} から K_F を決定する図表Fig. 8 Diagram for determining K_F from σ_g and D_{50} .図9 σ_g と D_{50} から w_F を決定する図表Fig. 9 Diagram for determining w_F from σ_g and D_{50} .

で変化させた場合に Matts の式の定数 K_M と見かけの粒子移動速度 w_M がどのように変化するかを σ_g が 1~5, D_{50} が 1.6~25 μm の範囲について計算した。その結果の一例が図 8 であり、横軸は k 、縦軸は下記の R_{KM} および R_{WM} である。

$$R_{KM} = (\text{任意の } k \text{ における } K_M) / (k=0.05 \text{ における } K_M)$$

$$R_{WM} = (\text{任意の } k \text{ における } w_M) / (k=0.05 \text{ における } w_M)$$

図 8 は D_{50} が 4 μm の場合であるが 1.6 から 25 μm の範囲内では R_{KM} は図 8 の値と同等もしくはより 1 に近い値であり、 R_{WM} のほうは D_{50} が大きくなると変化が大きくなる傾向があり D_{50} が 25 μm で σ_g が 1.6 の場合を図中に二点鎖線で示してある。これらの結果から印加電圧その他の運転条件により k の値が 0.05 から変

図10 k の値の変動が K_M と w_M に与える影響Fig. 10 Effect of fluctuation of k to K_M and w_M .

化すると見かけの粒子移動速度 w_M は大きく変化するが定数 K_M は大きな変化はしないことがわかる。また新修正式の場合は細部の傾向や数値は図 10 と異なる点はあるが全体では同様なパターンを示す。以上のことから今まで提示した K_M および K_F の数値データは ESP の運転条件の通常の変化範囲においてはそのまま使用しても大きな支障はないとしてよいことになる。

4. まとめ

Deutsch の式の修正式である Matts の式および筆者らが提案した新修正式の定数の値と集塵対象ダストの粒径分布特性の関係を、粒径分布は対数正規分布として粒径別計算法による計算データを基準に検討し、次の結果を得た。

- (1) ダストの粒径分布特性が違うと Matts の式の定数 K_M は表 2、新修正式の定数 K_F は表 3 のように大きく変化する。
- (2) 算出された定数 K_M および K_F の値はフライアッシュに対する実績値とよい一致を示す。
- (3) 本報告における計算法によれば σ_g が 1 つまり单一粒径ダストに対しては K_M は 1、 K_F は 0 となり Matts の式も新修正式も单一粒径ダストを対象とした Deutsch の式と同じ計算結果が得られる。
- (4) σ_g と D_{50} の値に対応する K_M と w_M の大きさは図 6 または (15) 式と図 7、また K_F と w_F の大きさは図 8 または (16) 式と図 9 により簡単に求められる。
- (5) 定数 K_M 、 K_F に対する粒子移動速度係数 k の値

の変動の影響は小さいので提示した K_M , K_F の値は ESP の運転条件が変わってもそのまま用いて大きな支障はない。

おわりに本研究に際してご支援, ご指導をいただいた赤崎正則(九州大学教授), 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¹³⁾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

- D_m : 粒径バンド内の平均粒径 (μm)
- D_p : ダスト粒子の直径 (粒径) (μm)
- $D_{15.86}, D_{50}$: 残滓率が 15.86, 50 wt% である粒径 (μm)
- E_o, E_p : 荷電空間, 集塵空間における電界強度 (esu または kV/cm)
- f : 比集塵面積 (SCA) (s/m)
- f_0 : 新修正式中の定数 (s/m)
- K_M, K_F : Matts の式, 新修正式の定数 (—)
- k : 粒子移動速度係数 ($1/\text{s}$)
- P : ダストの通過率 (—)
- R : 残滓率 (wt%)
- R_{KM} : 任意の k の値での K_M と k が 0.05 のときの K_M の比 (—)
- R_{WM} : 任意の k の値での w_M と k が 0.05 のときの w_M の比 (—)

w : Deutsch の式の粒子移動速度 (cm/s または m/s)

w_D, w_M, w_F : Deutsch の式, Matts の式, 新修正式の見かけの粒子移動速度 (cm/s または m/s)

η : 集塵率 (— または %)

μ : ガスの粘度 (poise)

σ_g : 質量規準幾何標準偏差 (—)

$\Phi(u)$: 標準正規分布関数 (—)

参考文献

- 1) 静電気学会編: 静電気ハンドブック, p.507, オーム社 (1981)
- 2) S. Matts: Proc. of CSIRO Conf. on Electrostatic Precipitator, 3-1 (1978)
- 3) 藤村謙祐, 足立宜良: 静電気学会誌, 6 (1982) 313
- 4) 望月美彦, 福沢邦之, 渋谷貞雄: 静電気学会講演論文集'83, p.282, 静電気学会 (1983)
- 5) 滝本 健: 静電気学会誌, 3 (1979) 228
- 6) 松本俊次: 電気集塵装置, p.125, 日刊工業新聞社 (1975)
- 7) 大野長太郎: 除じん・集じんの理論と実際, p.29, オーム社 (1978)
- 8) J.R. McDonald and A.H. Dean: A Manual for the Use of Electrostatic Precipitation to Collect Fly Ash Particles, p. 164, Southern Research Institute, Alabama (1980)
- 9) 日本規格協会: 日本工業規格 JIS Z8601 標準数 (1954)
- 10) 藤村謙祐: 日本設計製図学会誌, 125 (1985) 1
- 11) 柴田義貞: 正規分布, p.7, 東京大学出版会 (1981)
- 12) H.J. White: Industrial Electrostatic Precipitation, p.156, Addison-Wesley, Massachusetts (1963)
- 13) 藤村謙祐, 足立宜良: 静電気学会講演論文集'84, p.79, 静電気学会 (1984)