

電気集じん装置においてダスト粒径分布特性が 集じん性能に及ぼす影響

藤村 謙祐*

Influence of Dust Distribution Character on Collection Efficiency of an Electrostatic Precipitator

Kensuke FUJIMURA

Abstract

In order to apply the Deutsch formula induced on single size particle to a industrial electrostatic precipitator which treats the wide range particle, the correction of Deutsch formula are attempted. As this correction formula Matts formula is well known, and auther had also proporsed new type one. These correction formula has some constant in them, and the value of these constant are estimated to be changed according to difference of distribution factor of dust particle size. The effect of difference of distribution factor to the value of constant of correction formula are caluclated in ditale. From discussion on the results of caluclation, it became clear that (1) caluclated value of constant indicates good agreement to the emprical value for fly ash, but (2) in generally, value of constant must be changed according to value of geometric standard deviation and 50 wt% residue particle diameter of dust, and (3) in order to prevent the occurence of error the value of constant and apparent migration velocity obtained by reverse calculation from collection data of small testing ESP (about 30 s/m under of SCA) must be corrected when these data are used for estimation of collection efficiency on the large size industrial ESP.

1. はじめに

電気集じん装置（以下 ESP）の集じん率に関する比例則としては Deutsch の式があるがこれはもともと単一粒径のダストを集じんするものとして導かれたものでありそのままの形で広い粒径分布をもつダストを集じん対象とする工業用 ESP に関する計算に適用してもよい結果は得られない。そのため Deutsch の式の修正が試みられ修正式としては Matts の式が著名であり筆者もさきに足立とともに別の修正式を提案した。これらの修正式は工業用 ESP の集じん率の計算においては原式に比べれば精度もよく実用されてはいるがいずれも経験値としての定数を含んでおりしたがってある種類のダストに対して用いた定数の値が他の種類のダストに対してそのまま適用できるという保証はない。その主たる理由はこれらの修正式には集じん対象ダストの粒径分布特性が集じん率に及ぼす影響を算入する項が含まれていないためにダストの粒径分布がたとえば定数の値もちがってくるためである。したがっ

てダストの粒径分布特性と定数の値との関係がわかればこの問題は解決するがこの関係についての検討はあまり行はれておらず定数値の決定は専ら実績や経験にもとづくノウハウにゆだねられているのが実状である。筆者は修正式の提案以来この関係の解明について検討を重ねてきたがほぼその目的を達したその過程で従来 ESP においては小形模型による測定データは大形機的设计データとしての信頼性がないとされていた問題についても所見が得られたので併せて報告する。

2. 電気集じん装置の集じん率に関する計算式

2.1 Deutsch の式

ESP の集じん率に関する基本式はつぎの Deutsch の式¹⁾である。

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

式中の η は集じん率(—), w は粒子移動速度 (m/s), f は比集じん面積 (以下 SCA) (s/m) であり f は処理ガス量 Q (m³/s), 集じん面積 A (m²) の比 A/Q である。

(1)式によれば w をパラメータとして任意の f における集じん率を計算できる。しかしながらこの式は集じ

*生産機械工学科

ん対象は単一粒径ダストとして解析的に導かれたものであり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」があるとみなしてこれをw_Dとし

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

として工業用ESPの集じん率の計算に用いられてきた。この場合にw_Dの値は実機の集じん率の測定値ηから

$$w_D = \frac{-\ln(1-\eta)}{f} \quad (3)$$

と逆算により決定される。

2.2 Deutschの式の修正式

2.2.1 Mattsの式

このようにしてESPの集じん率の計算にはDeutschの式が用いられてきたがその計算結果と実測値を比べてみるとf-η特性がDeutschの式ではFig.1のAのように直線となるのに対し実測値はBのようにfが大きくなるにつれてηの上昇が飽和傾向を示す曲線となりあまりよい一致を示さない。これはもともと単一粒径ダストを対象に作られたDeutschの式を粒径分布のあるダストに対して無理に適用したためであることは明らかである。そこでDeutschの式を工業用ESPの特性に合うように修正が試みられその修正式としてはつぎのMattsの式²⁾が著名である。

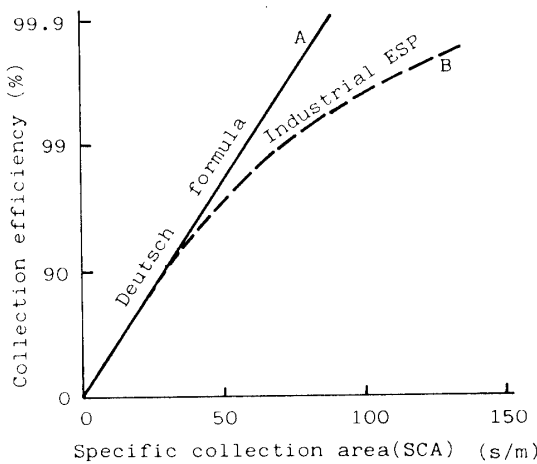


Fig.1 Characteristics of Deutsch formula and performance of industrial ESP

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

ここにw_Mは見かけの粒子移動速度 (m/s), K_Mは定数である。この式は定数K_Mを適切にえらぶことができれば実測値とよく合うので広く使用されているがつぎのような問題点を残している。

(1)w_M, K_Mの値は集じん率の実測値からの逆算あるいは実績, 経験により決める必要がある。

(2)たとえw_M, K_Mの値がきまってもその値はSCAの限られた範囲にしか適用できない。たとえばフライアツシュの集じんではK_Mは通常SCAの大きいところで0.5小さいところで0.75前後の値となるとされておりしかも同一ダストに対してもw_Mの値はK_Mの値の変化につれて変化する。

2.2.2 新修正式

このようなMattsの式の問題点を改善するためにさきに筆者は足立とともにつぎのような修正式を提案した³⁾。以下この式を仮に新修正式と呼ぶ。

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

式中のw_Fは見かけの粒子移動速度 (m/s), f₀ (s/m)とK_F(-)は定数でありf₀は通常30s/mとする。w_FとK_FはMattsの式と同様に実測値からの逆算できめる必要があるが一旦きまってしまうとSCA値により修正する必要はない。(2)のDeutschの式, (4)のMattsの式および(5)の新修正式を対比するとFig.2のようになる。

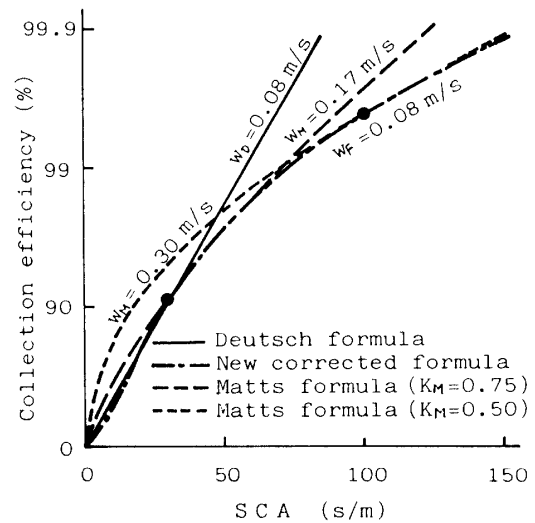


Fig.2 Comparison of characteristics of Deutsch, Matts and new corrected formula

新修正式によりMattsの式の問題点の(2)は解決されたが(1)はそのまま残っている。(1)の問題の生じた主たる原因は(4), (5)式ともに粒径分布をもつダストを集じん対象としながら粒径分布特性が集じん率に及ぼす影響を算入する項を表面上は持っておらず粒径分布特性の影響分は定数K_MあるいはK_Fの値に含ませてあるにもかかわらず粒径分布特性とK_MあるいはK_Fの値との関係が解明されていないことである。

3. Deutsch の式の修正式の定数とダスト粒径分布特性の関係

3.1 粒径別計算法

ESP の集じん率の基本的な計算法としては(1)の Deutsch の式をベースにした粒径別計算法がありこれは計算過程は煩雑ではあるが理論的根拠も明確で一定条件のもとでは信頼性も高いので以下においては各修正式の特徴、精度などは粒径別計算法の計算値を基準に検討する。この計算法の骨子はつぎのとおりである。

3.1.1 粒径分布特性の表示方法

工業用 ESP の集じん対象ダストの粒径分布は一般に対数正規分布に属するものが多いので粒径分布はすべて対数正規分布として計算をする。対数正規分布はよこ軸を対数目盛とした確率紙上でよこ軸を粒径 D (μm) たて軸を残滓率 R (wt%) としたとき Fig. 3 の A-A のような直線で表示される。そして R が 50 および 15.86wt% である粒径をそれぞれ D₅₀ および D_{15.86}、質量規準の幾何標準偏差を σ_g とすると

$$\sigma_g = \frac{D_{15.86}}{D_{50}} \quad (6)$$

となる。したがって直線 A-A は D₅₀ と σ_g の値が与えられれば決定されるから以下においては粒径分布特性は D₅₀ と σ_g の 1 組の値によって表示することにする。

3.1.2 粒径分布の検討範囲

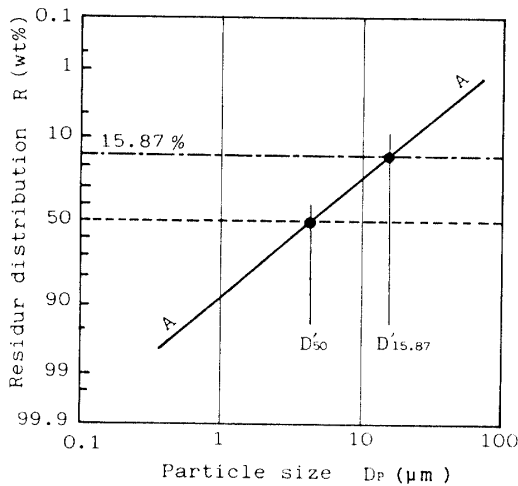


Fig. 3 Representation of logarithmic normal distribution

粒径分布特性を表はす D₅₀ と σ_g の値はどの範囲まで変化させる必要があるかをきめておく必要がある。文献^{4),5),6)}に報告されている ESP の集じん対象とされている各種ダストの粒径分布を整理してよこ軸を D₅₀ たて軸を σ_g としてプロットしたところ Fig. 4 のようになった。図中の黒点はフライアッシュ、白点はフライ

アッシュ以外のダストでありこれらの分布状態からみて D₅₀ は 0.16~25 μm, σ_g は 1.6~5.0 つまり A-B-C-D の一点鎖線の枠内、フライアッシュに限定すれば D₅₀ は 3.5~7.0, σ_g は 2.3~3.7 つまり E-F-G-H の点線の枠内を変化範囲とする。

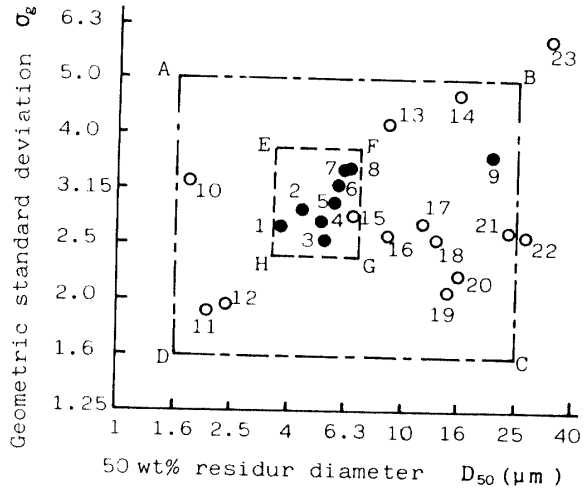


Fig. 4 Distribution of D₅₀ and σ_g value on the typical dust

3.1.3 計算手順

Table 1 Make-up of particle size band

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

(1) 粒径帯域の分割 (粒径バンドの設定)

粒径の分布帯域を Table 1 のように等比的に No. 0 から No. 80 の 81 のバンドに分割し No. 0 のバンドには $0.0106\mu\text{m}$ 以下の全てを含め No. 80 には $95\mu\text{m}$ 以上の全てを含める。表中の各数値は標準数^{7),8)}で示してあるが標準数の最後の桁の数値は丸められておりそのまま計算に用いると誤差の原因となるので実際の計算では丸める前の数値を用いる。

(2) 粒径分布率の計算

与えられた D_{50} , σ_g の値に対応する粒径分布率つまり No. 0 から No. 80 の各バンド内に全体の何 wt% の粒子が含まれているかを正規分布関数を用いて計算する。この場合実際の数値計算には Hastings の近似式の戸田らによる修正式⁹⁾を用いる。

(3) 粒子移動速度の計算

各バンド内の粒子の大きさは等しくその粒径はバンドの上下限粒径の等比的平均値であるとして次式¹⁰⁾により粒子移動速度を計算する。ただし No. 0, No. 80 の平均粒径は 0.01 および $100\mu\text{m}$ とする。

$$w = \frac{E_0 E_P D}{4\pi\mu} \left(1 + A \frac{2\lambda}{D} \right) \quad (7)$$

式中の w は粒子移動速度 (cm/s), E_0 は荷電空間における電界強度 (esu), E_P は集じん空間における電界強度 (esu), D は粒子直径 (cm), μ はガスの粘度 (poise), λ はガスの平均自由行程 (cm) および A は定数で $A = 1.25 + 0.42 \exp(-0.87D/\lambda)$ である。なお右辺の () 内は Cunningham の補正項である。(7)式は

$$w = kD \left(1 + A \frac{2\lambda}{D} \right) \quad (8)$$

$$k = \frac{E_0 E_P}{4\pi\mu} \quad (9)$$

と書きかえることができ k は ESP の運転条件が変わらなければ一定である。したがって以下においては ESP の平均的運転条件から推算して D の単位を μm としたとき k の値は 0.05 1/s で一定とする。

(4) 集じん率の計算

各バンド内のダスト粒子の移動速度がきまれば希望の SCA 値 f を指定して各バンドごとの集じん率を(1)式により計算しそれを(2)項で求めた各バンドの分布率にかけて全バンドにわたり集計すればその SCA 値における集じん率 η となる。したがって f の値を逐次変えて η を求めることにより与えられた D_{50} , σ_g に対する粒径別計算法による $f-\eta$ 曲線ができる。

3.2 Matts の式の定数と粒径分布特性の関係

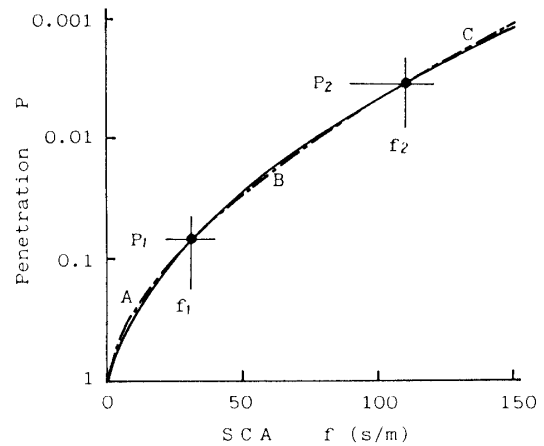


Fig. 5 General characteristics of Matts formula

Matts の式による $f-\eta$ 曲線は粒径別計算法による $f-\eta$ 曲線とよく似た形をしているので前者を一点鎖線、後者を実線で表はすと一般に Fig. 5 のように f が 0 , f_1 および f_2 の 3 点で交わり各交点での両者の η は同じ値になる。そしてこの場合の Matts の式の K_M および w_M の値は f_1, f_2 における η の値を η_1, η_2 としたがつて通過率を $P_1 = 1 - \eta_1, P_2 = 1 - \eta_2$ として次式により逆算できる。

$$K_M = \frac{\ln(\ln P_1 / \ln P_2)}{\ln(f_1 / f_2)} \quad (10)$$

$$W_M = \frac{(\ln P_1)^{1/K_M}}{f_1} \text{ または } \frac{(\ln P_2)^{1/K_M}}{f_2} \quad (11)$$

両 $f-\eta$ 曲線間には当然 SCA が 0 から f_1 の間では A, f_1 から f_2 の間では B, f_2 以上では C のようなずれがあるが試算の結果 $f_1 = 40, f_2 = 120 \text{ s/m}$ 前後とすることによりこれらのずれはきわめて小さくなり A はわずかに残るが B, C は無視できる程度であり Matts の式を通常の目的で使用するかぎり両曲線は一致しているとみなしてよい。したがって与えられた D_{50}, σ_g の値において粒径別計算法に合致する Matts の式の K_M と w_M の値は $f_1 = f_{1A} = 40, f_2 = f_{2A} = 120 \text{ s/m}$ において(10), (11)式により逆算したものとしこれを K_{MA}, w_{MA} とする。このようにして D_{50} が 1.6 から $25\mu\text{m}$ までの 7 点, σ_g が 1.6 から 5.0 までの 6 点のそれぞれの組合せに対応する K_M と w_M を計算した結果が Table 2 と Table 3 である。したがって Matts の式の定数と見かけの粒子移動速度はダストの粒径分布特性に応じて Table 2 および Table 3 のような値とすればよいことになる。また集じん対象をフライアッシュにしほれば Fig. 4 の E-F-G-H の枠内に該当する K_M は Table 2 の点線の

枠内の6個となりいずれも0.5に近い値で平均値は0.5である。このことは従来から経験的に Matts の定数はフライアッシュに対しては SCA の大きいところでは0.5前後にすれば実績と合う¹¹⁾とされてきたことと符合する。なお Table 2, Table 3 は SCA の十分に大きな領域における K_M , w_M を示しているから SCA が小さくなれば K_M は表中の値よりも大きくなる方向に修

正しそれにつれて w_M も変更する必要がある。

Table 2 の K_M の値は D_{50} , σ_g の関数として次式で計算できる。計算誤差は Table 2 に対して $\pm 2.5\%$ 以内である。

$$K_M = 0.545 (\log_{10} \sigma_g)^{-0.25} (D_{50})^{-0.155} \quad (12)$$

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。

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

σ_g	$1/\sigma_g$	50 wt% residue diameter $D_{50} (\mu\text{m})$						
		1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
5.00	0.200	0.553	0.516	0.480	0.448	0.419	0.392	0.369
4.00	0.250	0.572	0.532	0.494	0.460	0.429	0.401	0.376
3.15	0.317	0.600	0.557	0.515	0.479	0.445	0.415	0.388
2.50	0.400	0.639	0.591	0.546	0.506	0.469	0.435	0.407
2.00	0.500	0.692	0.641	0.591	0.546	0.505	0.468	0.435
1.60	0.625	0.772	0.720	0.665	0.615	0.568	0.524	0.486

Table 3 Value of w_M corresponding to D_{50} and σ_g

σ_g	$1/\sigma_g$	50 wt% residue diameter $D_{50} (\mu\text{m})$						
		1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
5.00	0.200	0.085	0.128	0.204	0.336	0.579	1.048	1.910
4.00	0.250	0.091	0.140	0.233	0.398	0.717	1.360	2.595
3.15	0.317	0.097	0.156	0.269	0.481	0.907	1.816	3.658
2.50	0.400	0.103	0.170	0.306	0.571	1.132	2.390	5.089
2.00	0.500	0.106	0.180	0.336	0.650	1.348	2.998	6.742
1.60	0.625	0.105	0.180	0.340	0.672	1.440	3.341	7.885

3.3 新修正式の定数と粒径分布特性

新修正式の特性は SCA が約 80s/m 以上と大きい場合に粒径別計算法したがって Matts の式と近似的に合致し SCA が小さくなるにつれて Matts の式よりも η が低くなり実機の特性と合うようになっている。したがって粒径分布特性に応じた定数値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値から逆算する必要がありその SCA 値は 100 および 120 s/m とする。また逆算に際しては Matts の式では (10), (11) 式により直接に計算できたが新修正式ではこのような解析的な解は導きにくいので計算機による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粒径分布特性に対応した新修正式の定数 K_F と見かけの粒子移動速度 w_F の値を Table 4, Table 5 に示す。Table 4 から新修正式の定数 K_F もダストの粒径分布に応じてかなり変化することがわかるが集じん対象をフライアッシュに限定すれば Matts の式と同

様に Table 4 中の点線で囲まれた 6 個の数値となりその平均値は 0.170 でこれは筆者らがフライアッシュに対して推奨してきた 0.166⁹⁾ にきわめて近い。なお新修正式の定数および見かけの粒子移動速度は SCA 値によって変化しないから Table 4, Table 5 の値は任意の SCA 値に対して用いてよい。

Table 4 の K_F の値は D_{50} , σ_g の関数として次式により計算できる。Table 4 に対する計算誤差は $\pm 3\%$ 以内である。

$$K_F = a (\log_{10} (D_{50}))^u \sigma_g^v \quad (13)$$

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

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 $a = 0.125$, $b = 0.17$, $c = 0.36$, $x = 0.35$, $y = 0.1$

適用範囲は (12) 式と同様である。

Table 4 Value of K_F corresponding to D_{50} and σ_g

σ_g	$1/\sigma_g$	50 wt% residue diameter $D_{50} (\mu\text{m})$						
		1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
5.00	0.200	0.184	0.189	0.194	0.197	0.198	0.200	0.200
4.00	0.250	0.172	0.178	0.183	0.186	0.188	0.189	0.190
3.15	0.317	0.158	0.164	0.169	0.172	0.175	0.176	0.177
2.50	0.400	0.140	0.147	0.152	0.156	0.159	0.161	0.162
2.00	0.500	0.117	0.125	0.131	0.136	0.140	0.142	0.144
1.60	0.625	0.086	0.095	0.103	0.109	0.114	0.118	0.121

Table 5 Value of w_F corresponding to D_{50} and σ_g

σ_g	$1/\sigma_g$	50 wt% residue diameter $D_{50} (\mu\text{m})$						
		1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
5.00	0.200	0.044	0.052	0.062	0.073	0.087	0.102	0.118
4.00	0.250	0.047	0.057	0.070	0.083	0.100	0.118	0.139
3.15	0.317	0.052	0.065	0.080	0.098	0.119	0.144	0.171
2.50	0.400	0.058	0.074	0.095	0.118	0.147	0.181	0.218
2.00	0.500	0.066	0.087	0.114	0.148	0.188	0.238	0.293
1.60	0.625	0.076	0.104	0.144	0.193	0.257	0.337	0.429

4 電気集じん装置のスケールアップに関する検討

4.1 スケールアップに関する問題点

ESPの小さいSCAにおける集じんデータから大きいSCAにおける集じん率を予測計算するいわゆるスケールアップ計算には大別して(1)SCAが大略40s/m以上の大形の試験機または小形実機のデータを使う場合と(2)SCAがこれよりもさらに小さい実験室規模の小形試験機のデータによる場合がある。(1)の場合はDeutschの式の修正式などの比例則が無難に適用できまたスケールアップの比率も小さいこともあってかなりよい精度の予測が可能である。しかるに(2)の場合には予測値に大きな誤差を伴うことが多くそのため小型試験機のデータはスケールアップ用としては信頼できないとされ試験機は競って大形化されてきた。

このようにSCAがとくに小さい領域の集じんデータにもとづくスケールアップ計算の誤差が大きいのはたんにスケールアップの比率が大きいためだけではなくもっと基本的な原因があると思われるので以下においてこの観点からESPの比例則の式の特性を再検討してみる。

4.2 SCAの小さい領域におけるMattsの式の特性

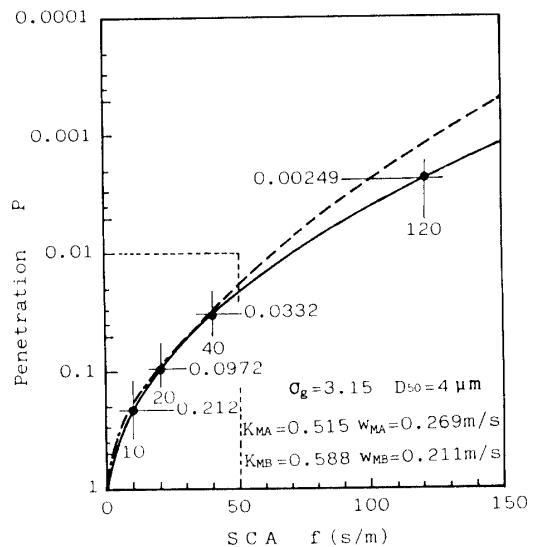


Fig. 6 Characteristic curve of Matts formula based on K_{MB} and w_{MB} which reverse calculated from penetration on the small SCA

3.2項で述べたようにMattsの式の定数 K_M をSCAが40および120s/mにおける粒径別計算法による集じん率から逆算してきめることにより両者の $f-\eta$ 曲線はSCAが40s/m以下でわずかのずれが残るが全体的にはきわめてよい一致を示す。40s/m以下の残ったずれも小さいので実用上は無視してよいようにみえるが場合によってはつぎのような問題を生じることがある。

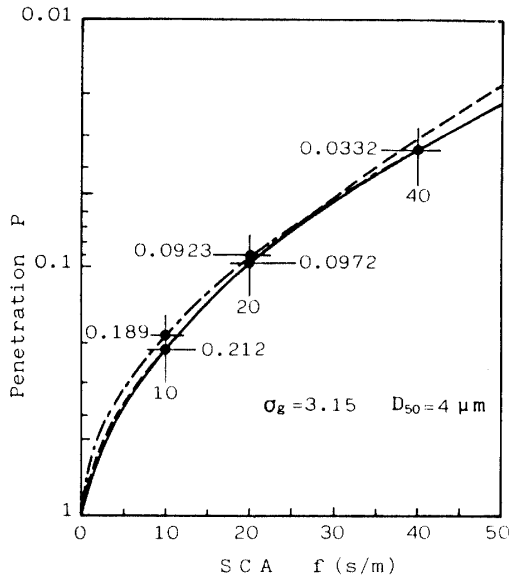


Fig. 7 Partial details of Fig. 6

たとえば Fig. 6 の実線は $D_{50}=4\mu\text{m}$, $\sigma_g=3.15$ に対応する粒径別計算法の $f-\eta$ 曲線で一点鎖線は SCA が 40 (以下 f_{1A} で表はす) および 120s/m (以下 f_{2A} で表はす) の粒径別計算法の η 値から逆算した K_M , w_M (以下 K_{MA} , w_{MA} で表わす) を用いた Matts の式の $f-\eta$ 曲線であるがこれにさらに SCA が 10 および 20s/m (以下 f_{1B} および f_{2B} で表わす) の粒径別計算法の η 値から逆算した K_M , w_M (以下 K_{MB} , w_{MB} で表わす) により Matts の式の $f-\eta$ 曲線を記入すると点線の曲線となり前二者は全般的によく合致しているが点線の曲線は前二者と大きくはずれている。このようになった原因を詳しく調べるため図 6 の f が 0~50, P が 1~0.01 の範囲を拡大してみると図 7 のようになる。この図から Matts の式を 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 は K_{MA} つまり 0.515, w_M は w_{MA} つまり 0.269 でなければならずしたがって SCA が f_{1B} の 10 および f_{2B} の 20 における通過率は一点鎖線上の値である 0.189 および 0.0923 でありこの値で K_M , w_M を逆算すれば当然 K_{MA} と w_{MA} が得られる。しかし f_{1B} , f_{2B} での逆算は粒径別計算法の値から逆算せねばならないから通過率は実線上の値の 0.212, 0.0972 を用いることになりその結果 $K_M=K_{MB}=0.588$, $w_M=w_{MB}=0.211$ と K_{MA} , w_{MA} と異なる値となり $f-\eta$ 曲線は点線のように粒径別計算法の実線と大きくはずれることになる。試算の結果この誤差は D_{50} が $1.6\sim 25\mu\text{m}$, σ_g が $1.6\sim 5.0$ の範囲では D_{50} が大きいほどまた σ_g が小さいほど大きくなる傾向がある。

このように同じ粒径別計算法の $f-\eta$ 曲線から逆算しても K_{MA} と K_{MB} および w_{MA} と w_{MB} はちがう値とな

るが D_{50} と σ_g の 1 組の値に対しては K_{MA} と w_{MA} および K_{MB} と w_{MB} の値はそれぞれ 1 組ずつしかなくつまりこれらの値は 1 対 1 対応である。したがってあらかじめ D_{50} と σ_g の必要範囲の値に対して K_{MA} , K_{MB} および w_{MA} , w_{MB} の値を計算しておけば K_{MB} を K_{MA} に w_{MB} を w_{MA} に読みかえるつまり修正することができ修正された K_M および w_M を用いれば大きい SCA の値の η を誤差なく計算することができる。 D_{50} , σ_g に対応する K_{MA} と K_{MB} の値を Table 6 に w_{MA} と w_{MB} の値を Table 7 に示す。

Table 6 Value of K_{MA} (upper) and K_{MB} (lower) corresponding to D_{50} and σ_g

σ_g	50 wt% residue diameter $D_{50}(\mu\text{m})$						
	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
5.0	0.553	0.516	0.480	0.448	0.419	0.392	0.369
	0.579	0.540	0.502	0.469	0.438	0.410	0.385
4.0	0.572	0.532	0.494	0.460	0.429	0.401	0.376
	0.524	0.581	0.539	0.502	0.468	0.436	0.409
3.15	0.600	0.557	0.515	0.479	0.445	0.415	0.388
	0.682	0.635	0.588	0.547	0.508	0.471	0.440
2.5	0.639	0.591	0.546	0.506	0.469	0.435	0.407
	0.749	0.670	0.649	0.602	0.558	0.516	0.481
2.0	0.692	0.641	0.591	0.546	0.505	0.468	0.435
	0.842	0.776	0.724	0.673	0.624	0.577	0.535
1.6	0.772	0.720	0.665	0.615	0.568	0.524	0.486
	0.903	0.865	0.819	0.770	0.719	0.666	0.618

Table 7 Value of w_{MA} (upper) and w_{MB} (lower) corresponding to D_{50} and σ_g

σ_g	50 wt% residue diameter $D_{50}(\mu\text{m})$						
	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
5.0	0.085	0.128	0.204	0.336	0.579	1.048	1.910
	0.085	0.122	0.192	0.309	0.512	0.923	1.645
4.0	0.091	0.140	0.233	0.398	0.717	1.360	2.595
	0.085	0.126	0.201	0.329	0.566	1.024	1.870
3.15	0.097	0.156	0.269	0.481	0.907	1.815	3.658
	0.086	0.130	0.211	0.350	0.614	1.138	2.131
2.5	0.103	0.170	0.306	0.571	1.132	2.390	5.089
	0.088	0.134	0.218	0.367	0.654	1.238	2.377
2.0	0.106	0.180	0.336	0.650	1.348	2.998	6.742
	0.089	0.135	0.222	0.375	0.675	1.297	2.539
1.6	0.105	0.180	0.340	0.672	1.440	3.341	7.885
	0.089	0.136	0.221	0.370	0.660	1.263	2.483

以上は Matts の式と粒径別計算法の間での検討であるが小形の ESP においてガス流速を過大にせずかつ植打も行わない場合の運転条件は粒径別計算法の計算条件とほとんど同等とみられることから粒径別計算法による計算データをこの小形の ESP の測定データにおきかえても同様な結果が得られるものと考えられる。そしてこのことにより従来から小形 ESP の測定データによるスケールアップ計算に誤差が生じていたことも理解できその対策法もおのずから明らかとなる。

4.3 スケールアップ計算の手順

f_{1B} が10, f_{2B} が20s/mの小型 ESP の集じんデータをもとにスケールアップ計算する場合の手順はつぎのよむうにすればよい。なおこの場合 Table 6, Table 7 は実際の計算には使いにくい点があるのでこの表をもとに作成した Fig. 8 以下を用いる。

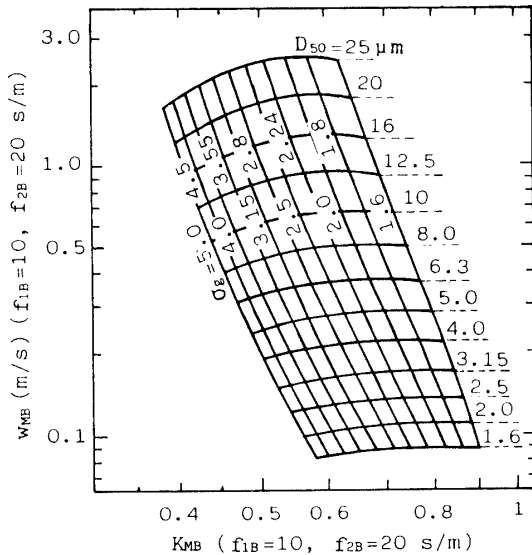


Fig. 8 Diagram for determine D_{50} and σ_g from K_{MB} and w_{MB}

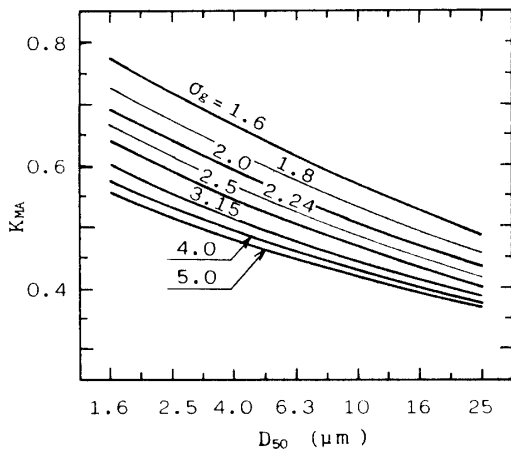


Fig. 9 Diagram for determine K_{MA} from D_{50} and σ_g

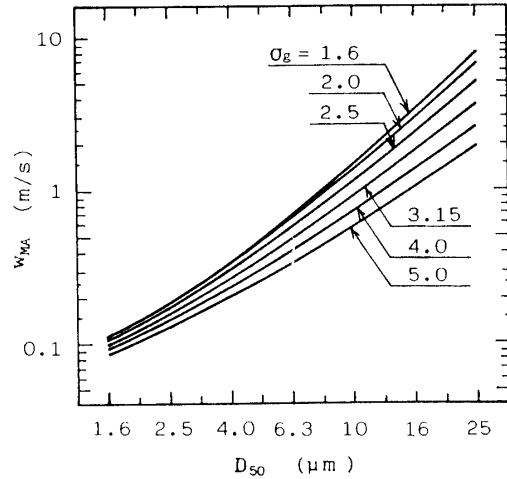


Fig. 10 Diagram for determine w_{MA} from D_{50} and σ_g

4.3.1 Matts の式を用いる場合

(1)小形 ESP の $f_{1B}=10, f_{2B}=20$ s/m における通過率 P_{1B}, P_{2B} から (10), (11) 式により K_{MB}, w_{MB} を逆算する。
 (2)その逆算値から Fig. 8 により D_{50} と σ_g の値を求め

る。
 (3)その D_{50}, σ_g に対応する K_{MA} を Fig. 9, w_{MA} を Fig. 10 から求める。

(4)Matts の式の K_M, w_M の値を K_{MA}, w_{MA} として与えられた SCA における集じん率を計算する。

(5)SCA が大略 80s/m より小さい領域に対しては SCA 値に応じて K_M を大きい (1 に近づく) 方向に修正する。ただしこの修正には多分の経験を必要とする。

4.3.2 新修正式を用いる場合

D_{50} と σ_g を求めるまでは Matts の式と同じでつぎのような手順になる。

(1)Matts の式の場合の (1)~(3) により D_{50} と σ_g を求める。

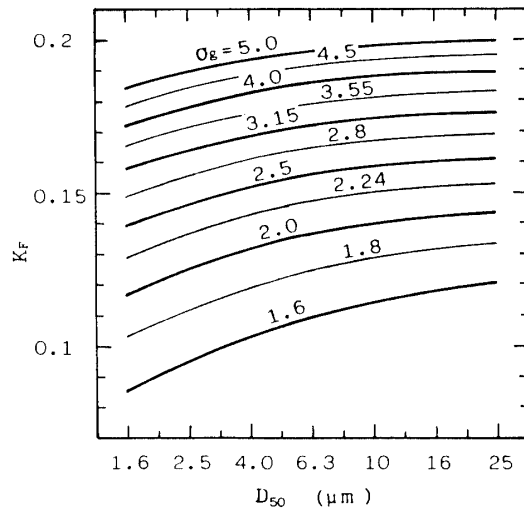


Fig. 11 Diagram for determine K_F from D_{50} and σ_g

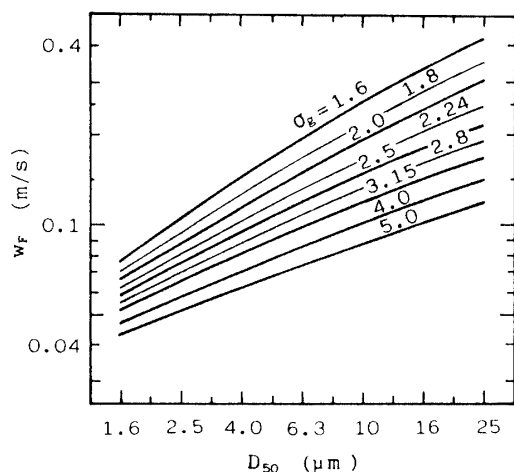


Fig. 12 Diagram for determine w_F from D_{50} and σ_g

(2) Fig. 11 により K_F を Fig. 12 により w_F を求める。 f_0 は 30s/m とする。

(3) この K_F と w_F の値で新修正式により与えられた SCA における集じん率を算出する。

(4) K_F と w_F の値は SCA の大小によって修正する必要はない。

5 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中の定数の値と集じん対象ダストの粒径分布特性の関係を粒径別計算法による計算データをベースに検討しつぎの結果を得た。

(1) Matts の式は粒径別計算法と特性を合はせるには定数 K_M はダストの粒径分布特性に応じて Table 2 のように変える必要がある。Table 2 中でフライアッシュの粒径分布特性に対応する K_M の値は従来から経験的に用いられていた値の 0.5 とよく符合している。

(2) 新修正式の定数 K_F もダストの粒径分布特性に応じて Table 4 のように変える必要があるがフライアッシュに該当する表中の K_F の値は筆者らが推奨してきた値の 0.166 にきわめて近い。

(3) 表 2 の K_M 、表 4 の K_F の値はダストの粒径分布特性値の D_{50} および σ_g の関数として (12)、(13) 式で計算できる。

(4) Matts の式と粒径別計算法の集じん率特性には SCA の小さい領域において微妙なちがいがありその領域内で粒径別計算法または小形 ESP の集じん率をもとに逆算した定数を用いて大きい SCA における集じん率を予測計算すると誤差を生じる。この誤差は D_{50} が 1.6~25 μm 、 σ_g が 1.6~5.0 の範囲では D_{50} の大きいほどまた σ_g の小さいほど大きい傾向がある。

(5) この誤差は Fig. 8~Fig. 10 を用いて Matts の式の定数 K_M を修正することにより防ぐことができる。また新修正式についても Fig. 8, Fig. 11 および Fig. 12 を用いて同様に誤差を生じない定数 K_F の値をきめることができる。

おわりに本研究に際してご支援ご指導をいただいた足立宣良(大分大学教授)、大久保利一(大分大学助手)ならびに早野延男(本学教授)の諸氏に深く感謝する。

参考文献

- 1) W. Deutsch: Ann. Physik., 68, 335 (1922)
- 2) S. Matts: Proc. of CSIRO Conf. on Electrostatic Precipitator, p3-1 (1978)
- 3) 藤村謙祐, 足立宣良: 静電気学会誌 6, 312 (1982)
- 4) 松本俊次: 電気集塵装置. 日刊工業新聞社 (昭50)
- 5) 大野長太郎: 除じん・集じんの理論と実際オーム社 (昭53)
- 6) Jack R. McDonald and Alen H. Dean: A Manual for the Use of Electrostatic Precipitations to Collect Fly Ash Particles, Southern Research Institute, 164, (1980)
- 7) 日本規格協会; 日本工業規格 JIS Z8601 標準数 (1954)
- 8) 藤村謙祐: 日本設計製図学会誌, 125, 1 (1985)
- 9) 柴田義貞: 正規分布, 7 東京大学出版会 (1981)
- 10) Harry j. white; Industrial Electrostatic Precipitation, 156 (1963)
- 11) 静電気学会編: 静電気ハンドブック, オーム社 507 (昭56)

(昭和60年10月15日 受理)