鉱山の粉じん抑制に関する基礎的研究 (第1報)*

——粉じんの帯電性について——

正 会 員 波 止 薫**

正 会 員 遊 佐 周 逸***

Fundamental Studies on Dust Suppression in application of Electrostatic Charge of Dust Particles

Kaoru NAMITOME, and Shûitsu YUSA

We have studied on the attempt to apply the electrostatic charge of dust particles to their suppression and collection.

In order to find out the dust suppressing properties of electrical neutralization, experiments were carried out with many powdered coal and rock materials and two-component mixtures of airborne dusts.

The results are summarized as follows:

- 1) The electrification of dust is affected by not only its chemical composition, but also particle size, water content and velocity in a moment of injection or air pressure for the action, e.t.c.,.
- 2) Many silicates which caused silicosis are negatively charged, on the other hand, harmless dusts are generally electrified with positive charge.
- 3) The floatability of airborne dusts is suppressed by mixing with them the charged-dusts which have polarities opposite.

1. 緒 言

鉱山・炭鉱の坑内においては、掘進・発破・積込・運搬などの作業が行なわれる関係上、坑内発生粉じんを皆無にすることはほとんど不可能のため、今日までいろいろの粉じん抑制の方法が考究されているが、まだ決定的な方式はなく、かつ地上において有効と思われる抑制方法が、そのまま坑内において使用できるとは限らないので、現在なお研究の対象となつてゐる。

坑内における浮遊粉じんの抑制方法として現在広く採用されているのは、撒水法をはじめいろいろの方法があるが、これらの方法は、その捕集条件となつてゐる機構のために、 5μ 以下の微細な粉じんを完全に除去することが非常に困難である。しかし、このような微細な浮遊粉じんが存在する時は、その浮遊粉じん濃度を速やかに低下させて危険濃度以下に抑制することが、鉱山保安および衛生上きわめて重要であると考えられる。

粉じんの落下速度は Stokes の法則によつて知られるように、粒子直径の2乗に比例するので、粉じん粒子の凝集を促進させることは、必然的に粉じん濃度を低下さ

せることになる。この観点から、浮遊粉じん抑制の一方方法として、粉じんの有する静電的性質を利用した抑制法の可能性について、基礎的研究を行なつた。

粉じんの帯電に関する研究には、一般に帯電に伴う危険に関するものが多い。わが国でも正田¹⁾は、粉体の帯電と浮遊性の関係を自由エネルギー曲線から解釈し、粉じんの帯電エネルギーは粉体爆発の熱源としては直接影響しないと述べられているが、積極的な粉じん抑制の対策に関してはほとんど触れられていないようである。

この問題に関しては、ドイツにおいて比較的早くから研究されている。すなわち Funder²⁾は1938年に坑内粉じんを凝集させることにより粉じん抑制が可能であると、坑内採掘により発生した粉じんは電荷を有すると発表した。1955年には Wilhelm Marx³⁾が、正負に帯電した微細粉じんを、泡沫等の作用で凝集させ、これを抑制できる可能性を示している。また最近では Martin Landwehr⁴⁾が、坑内で使用できる Statometer 等の2,3の測定器を考案し、これを使用していろいろの鉱山において粉じんの帯電現象を調べ、静電荷を利用した抑制方法の可能性ならびにその必要性を強く述べてゐる。

以上のように、粉じんの帯電性についてはいろいろの研究があるが、実用化まで進展したものはほとんどない状態である。よつて筆者らはこの目的のために粉じんの有する静電荷を利用した抑制法の基礎研究として、いろ

* 昭和36年6月22日受理 昭和35年度春季大会における講演、一部昭和36年度春季大会にて発表

** 工博 東北大学教授 鉱山学教室

*** 東北大学講師 鉱山学教室

いろいろな種類の粉じんの帯電現象と荷電変化に影響を与える因子を調べ、異符号の粉じんを混合浮遊させた時の荷電変化および粉じんの荷電と遊離珪酸量との関係などについて基礎実験を行なったので、これについて述べる。

2. 実験方法

第1図に実験装置の概略を示す。本装置は静電荷測定部(A・B)、浮遊粉じん落下装置(C)、粉じん飛散装置(E~I)の3つに大別される。コンプレッサより導かれた乾燥空気はGに貯えられ一定圧力とする。つぎにEに一定量の粉じん試料を入れてから、コックFを開いてGの空気を噴流させると試料は攪拌浮遊され、ガラス管Cを通過してBの銅製コンデンサに落下する。BはAの静電電位計のプロープに直接接している。Bに落下した粉じんの電位をAにてよんだのち、Bの試料を秤量する。

Aの静電電位計は横河製の真空管電位計(VM-401)で、入力インピーダンスが $10^{14}\Omega$ 程度のきわめて高い入力抵抗をもった直流電圧計で、電圧を測定する際にはほとんど電流を必要とせず、したがって被測定対象にほとんど変化を与えないで電位が測定できる。感度はフルスケールで $-3\sim+3V$ で、倍率器を使用することによって10倍、100倍にすることができる。

試料としては石炭、砂岩など各種の粉じんを用いたが、いずれも鉄乳鉢で粗粉碎してのちにボールミルで微粉碎し、恒温槽で低温乾燥したのちに、各粒度別にデシケータに入れて十分乾燥させて実験に供した。試料は数カ月間貯蔵しておくと、作製直後に有した粒度、帯電性など変化が生ずるので、以下の実験により求められた帯電性などは、一定期間保存したものをを用いたが、その電位の絶対値は実験期日により異なるものがある。これは貯蔵中に粒子構成に変化が生じているためと思われる。

実験は温度 $10\sim15^{\circ}C$ 、湿度 $65\sim80\%$ の室内条件で行

A. 真空管電位計 B. コンデンサ C. ガラス製粉じん落下装置
D. バッファー E. 試料入ノズル F. コック G. 空気ビン
H. 圧力計 I. コック J. 乾燥器

第1図 浮遊粉じん静電荷測定装置略図

第2図 粉じん量と帯電曲線

第3図 噴出圧力と帯電曲線

なつた。

3. 単一粉体の帯電

3.1 浮遊粉じん量と帯電

第2図に浮遊落下した粉じんの粉じん量と電位の関係を示す。粉じんを飛散させるGの圧力は $+160\text{mm Hg}$ で、縦軸には正負の電位、横軸には粉じん量を表わしている。Eに供給する試料の粉じん量を 0.1g から 0.5g まで変えてコンデンサに落下させると、粒子の浮遊状況により電位は変るが、正負の符号は一定しており、かついずれもほぼ直線的に変化する。このため以下の実験においては、各種粉じんとも5~10回の測定値の平均値をとって、帯電状態を単位重量当りの電位で表わす。

3.2 噴出圧力と帯電

第3図に粉じんを飛散浮遊させるための粒子噴出圧力変化と帯電の関係を示す。試料は石炭 $100\sim200\text{mesh}$ と、砂岩 $100\sim200\text{mesh}$ 、 $250\sim325\text{mesh}$ の3種類を用いて行なつた。いずれも噴出圧力が大になるにつれて電位も増大している。このことから実験では試料の浮遊状況に応じて、 14 、 16 、 18cm Hg のうちいずれかに決めて帯電の測定を行つた。

3.3 試料の含有水分量と帯電

第4図に試料の含有水分量と帯電の関係を示す。すなわちデシケータに入れて十分に乾燥させた試料のうち、石炭 $65\sim100\text{mesh}$ 、赤平岩粉 -200mesh 、塩化ナトリ

第4図 含有水分と帯電曲線

第5図 粒度と帯電曲線

ウム -200mesh の3種類をとり、これを110°Cの恒温槽に入れて30minごとにそれらの電位を測定した。いづれの試料も500mgを用いて行なつたが、2時間後の重量減少率は1%以内であつたので、デシケータで十分乾燥されていると認められた。この乾燥試料を用いて以下の実験も行なつた。

帯電が正に表われる赤平岩粉、塩化ナトリウムはいずれも乾燥されるにつれて電位は減少しているが、初めの30min間の変化は以後のそれより大である。負に帯電する石炭は時間の経過とともに負帯電が増大している。

3.4 粉じんの粒度と帯電

第5図には粉じんの粒度変化が帯電にいかなる影響を与えるかを表わしている。粉じん試料としては、磐崎炭、赤平炭、山陽無煙炭の3種類の炭じんと石城砂岩を用いた。図よりいづれの粉じんも、その帯電は粒度に非常に影響をうけることが分かる。すなわち3種の炭じんと、+200meshの粗いものは負の電位が多く、細くなるにつれて正になるか、または正に近づく。−200meshについて考えると揮発分の少ないものほど正の電位が大きくなる傾向がある。

磐崎炭においては非常に負の電位が大であつて、−300meshの細かいものになるにつれて負の電位が減少している。磐崎炭が他の石炭にくらべて負の帯電傾向が強いのは、揮発分が多いのと石炭中に含まれている黄鉄鉱などの影響によるものと思われる。

赤平炭、山陽無煙炭は粗い炭じんのときは負に帯電するが、微細粉じんになるにつれて正に遷移する。

砂岩の粒度別帯電変化をみると、石炭の場合とは明らかに反対に、粒度が細くなるにつれて負の電位が高くなり、その変化も、粒度と比例の関係にある。このような微粒子の方が粗粒子より静電荷が大きく表われるのは、微粒子の比表面積は、粗粒子のそれに比較して相当大きいために、表面電荷の発生も多くなるためと考えられる。また砂岩と石炭の帯電が異なるのは、砂岩の比重が大きいので、石炭に比して浮遊性も安定しているものと思われる。

3.5 石炭以外の各種粉じんの帯電

第6図は石炭以外の−200meshの各種粉じんの帯電傾向を棒線グラフに示したものである。石炭は粒度により正負に帯電が遷移するが、一般粉じんはそれぞれ固有の正負の帯電を有している。すなわち炭酸塩、塩化物などは正に帯電し、珪酸塩などのように人体に有害とみられる粉じんは一般に負の帯電傾向がみられる。

3.6 粉じんの遊離珪酸と帯電

前節に述べた粉じんの人体に対する有害性を調べるために、粉じんの遊離珪酸量と帯電の関係を図示したのが第7図である。粉じん中の遊離珪酸の定量は房村²⁾と同様の方法によって行なつた。遊離珪酸の定量にも帯電の測定にも、−200meshの乾燥試料を用いた。第7図をみると、粉じんの遊離珪酸量と帯電の間には、とくに比例的な関係はないようであるが、珪肺を生ずる可能性の

第6図 各種粉じんの帯電

第7図 遊離珪酸量と帯電

ある粉じんには明らかに負帯電の傾向がみられ、Landwehr の結論⁹⁾と一致する。これは粉じんの帯電現象を左右する因子に粉じんの付着性、凝集性、浮遊性などのいろいろな因子が影響するために、遊離珪酸量のみと比例しないものと考えられる。

4. 混合粉体の帯電

4.1 混合比と帯電

正負に帯電する2種類の粉じんを混合して浮遊させた場合、異符号の粉じんの表面電荷の授受が行なわれて粒子の付着が生じ、電気的にも中和されるものと考えられる。第8図は縦軸に電位をとり、横軸に重量比による混合比をとつたときに、2種類の粉じんの帯電の中和状態がいかに変化するかを表わしている。試料は顕著に正負に表われた赤平岩粉と赤平炭 100~200mesh ならびに 200~250mesh、炭酸カルシウムと長石 および塩化ナトリウムと粘土岩粉の混合粉体を用いた。

赤平粉と赤平炭の混合粉体の帯電曲線を見ると、両曲線ともほぼ同じ傾向の曲線を示しており、正負の粒子が混合比に比例して中和するものと仮定して直線で結んだ点に近い所において中和している。すなわち正に帯電する岩粉と、負に帯電する石炭の粒子が電気的に付着して中和が行なわれ、その中和も混合比にほぼ比例しているものと考えられる。食塩と粘土岩粉の帯電曲線も全く同様に考察される。

炭酸カルシウムと長石の帯電曲線では、非常に負の帯電傾向が強く表われているので、混合比に比例して互いの粒子が凝集して電気的に中和しているとは認めがたく、長石の影響のみ目立っている。これは長石はその粒子相互間ならびに長石粒子とガラス管壁との付着性が、炭酸カルシウムのそれに比べて非常に大きいためと思われる。

4.2 混合粉体の粒度と帯電

(a) 同一粒度の粉体の混合

第8図 各種混合粉体の帯電曲線

第9図 山陽無煙炭(A)と砂岩(B)の等粒度別混合粉体の帯電曲線

第10図 砂岩(B) 100~200mesh と 200~250, 250~325mesh の粒度の山陽無煙炭 (A)との混合粉体の帯電曲線

山陽無煙炭と砂岩の、粒度の等しい粒子を混合して浮遊させた場合、その帯電曲線がいかなる形を示すかについて、200~250mesh, 250~325mesh, -325mesh の3種類について実験を行なった結果を第9図に示す。いずれの曲線も混合比に比例して中和は行なわれず、正に帯電する石炭の影響が強く出ている。これは砂岩と石炭の比重が、それぞれほぼ2.6と1.4であるため、等粒度の粒子の個数は同じ重量ならば石炭は砂岩に比べて約2倍の個数をもっていることになり、そのためもし電気的中和が異符号をもつ粒子の付着、凝集により生ずると考えると、正帯電をもつ石炭粒子のうち、中和せずに正のまま残留する粒子があるはずである。すなわち比重の相違から生ずる粒子数の差違によって、石炭粒子のもつ正帯電の影響が強く表われたからではないかと思われる。

(b) 諸粒度の粉体の混合

第10図は砂岩と山陽無煙炭の粒度の異なる粉じんを混合し浮遊させた時の帯電曲線を表わしている。すなわち砂岩 100~200mesh に対し、山陽無煙炭 200~250mesh, 250~325mesh を混合浮遊させた場合の帯電曲線の変化を示している。粒度の異なる時も、同一粒度の混合の場合

A : 250~325mesh

B : 64~100mesh, 100~200mesh, 200~250mesh

第11図 山陽無煙炭の粒度別に混合したときの帯電曲線

合と同じく、石炭の影響が強く出ているが、前者の場合は後者ほど強くはなく、かつ中和の点を考えると、混合比に比例する点に近づく傾向がみられる。これは粒度が異なるため、粒子の表面積の相違による表面電荷の影響によるものと考えられる。

(c) 石炭のみの粒度別の混合

第11図には山陽無煙炭を粒度別に混合し浮遊させた時の帯電曲線を示している。すなわち無煙炭250~325meshに対し 200~250mesh, 100~200mesh, 65~100meshの無煙炭を混合したものである。200~250mesh と 250~325mesh のものは、それぞれ 100% の時の電位がほとんど変わらないため、これを混合浮遊した時の帯電曲線もほぼ水平直線となり、変化が認められないのは当然である。100~200mesh の時は混合比に比例しているが、65~100mesh の混合の時はそれが 100% の時より 75% の混合比の場合の方が負帯電が大きくなっている。これは同成分の粗い粒子と細かい粒子を混合する場合、粒子の大きいものは浮遊させる時の摩擦、衝突などのいろいろの帯電条件の影響をうけやすいためと思われる。

5. 総 括

以上の実験結果を総括すると次のようになる。

(1) 粉じんはそれを飛散浮遊させる時の粒子噴出圧

力により帯電状態は変化し、圧力が大きいほど帯電も増加する。

(2) 粉じんはその化学成分、含有水分のみならず、粉じんの粒度により帯電が非常に影響される。すなわち炭じんは粗いものは負、細かいものは正に帯電することが多い。

(3) 粉じんはそれぞれ特有の帯電傾向を示し、炭酸塩、塩化物のように人体に無害のものは正に、珪肺の原因と考えられる珪酸塩などのように有害と思われるものは一般に負に帯電する傾向を示すものが多い。

(4) 明らかに正負に帯電する二成分系の粉体を混合浮遊させると、電気的に中和が生じ抑制効果がみられる。

以上の実験結果より考えてみると、粉じんの帯電方法、浮遊方法、付着凝集機構などについてさらに追究してみると、粉じん抑制にその静電荷を利用する可能性が、十分に解明されそうである。

本研究を行なうにあたり、有益な御助言と御援助を賜った当教室の関係各位に心から感謝の意を表する。また実験に御協力をいただいた工学士森田実、大山致知両君ならびに試料を御提供下さった各鉱業所の各位に厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) 疋田強：粉体爆発に関する研究，工火協誌，第10巻，第4号，148~159頁
- 2) Funder, L.: Ermittlung Ursache und Bedeutung des Ionengehaltes der Grubenwetter, Bergakademie Clausthal-Zellerfeld 1938.
- 3) W. Marx: Neue Wege zur Feinststaubbekämpfung; Bergbau-Rundschau, Nov. 1955. S. 622~623.
- 4) M. Landwehr: Untersuchungen über die electrostatische Aufladung von Stäuben in Bergwerksbetrieben, Staub 18~9, 1958 S. 269~279.
- 5) 房村信雄：防爆岩粉中の遊離珪酸，早大鉱山学科研究報告，第3巻第54号，10~15頁
- 6) 例えば上掲 4) の S. 279.

正 誤 表

77巻 880 号所載の伊藤・柳ヶ瀬・杉之原「熔融珪酸鉛の表面張力」について、下記のような誤りがありましたので訂正します。ページ

896	右	上20
		21
		24
		25
		27
		28
		32

誤
半径を $\dot{r}$ とし
 $\rho = \rho' - 2\pi r \gamma / g$
 $\gamma = \frac{(aW_m - b\rho')g}{l - 2\pi rb}$
 $2\pi rb$ について
 $2\pi rb = 0.0000655$
であるから $2\pi rb$ は
 $W_m \rho'$ および ρ' を

正
半径を r とし
 $\rho = \rho' + 2\pi r \gamma / g$
 $\gamma = \frac{(aW_m - b\rho')g}{l + 2\pi rb / \dot{V}}$
 $2\pi rb / \dot{V}$ について
 $2\pi rb / \dot{V} = 0.000143$
であるから $2\pi rb / \dot{V}$ は
 W_m および ρ' を