

# 31. 電気集塵機による坑内集塵システム

ハザマ：\*芳賀 佳之  
青山機工㈱：石賀 裕  
㈱エルデック：鈴木 幸治

## 1. まえがき

建設工事におけるトンネル、立坑、地下空間、深礎などの作業現場では、掘削施工時の発破後ガスや粉じん、吹付コンクリート作業時に発生する粉じん、重機および工事用車両内燃機関の排気ガス等により坑内空気が汚染されている。こうした作業環境を改善するため、

- ① 坑外の新鮮な空気を送気して拡散する送気方式
- ② 坑内有害物質を坑外に排出する排気方式
- ③ フィルター式集塵機の設置
- ④ 送排気併用方式等による有害物質の除去や拡散、希釈のための換気

を行っている。しかし、これらの方式では大風量を必要とするため換気設備が大型化し、送風機や送気ダクトの設備費の増大、維持管理費・電力料金の増大、騒音対策等の諸問題があった。そこで従来のフィルター式集塵機と全く原理、能力、仕様を異にする小型高性能のノイルフト電気集塵機の応用・開発を行い、従来の換気設備の諸問題を解決する坑内用電気集塵装置の開発を行った。

## 2. 電気集塵機の概要

### 2.1 電気集塵機とフィルター式集塵機

従来、坑内で使用されている集塵機は、主としてフィルター式集塵機で、吹付コンクリート施工時にノズルおよび吹付面から発生する粉じん、機械による掘削時にカッタービットと岩盤との間から発生する粉じんの除去を主対象として使用されているが、

- ① 処理風量の不足による集塵効率の低下
- ② フィルター交換、ダスト排出などの消耗品のメンテナンスと維持に手間がかかる
- ③ 高い静圧を必要とするため、大出力の送風機を使用しているため、電気設備および電力量などが大きくなっている

等の問題があった。

一方、電気集塵機は、放電極と集塵極との間に直流高電圧をかけ、電気集塵機内部を通過する処理気体中に含まれる粉じん（粒子）を帯電させ、逆帯電極性となっている集塵極に付着させるという構造であり、フィルター式集塵機に比べて構造がシンプルで、動力も少なくランニングコストを低く抑えることができ、維持管理が容易である等の利点がある反面、装置が大きい不便があった。

### 2.2 ノイルフト電気集塵機の特長

従来の電気集塵機は、集塵極と放電極の位置が処理体流れ方向に対して並行に配置されていたが、ノイルフト電気集塵機は、流れ方向に対して交差するように配置されたクロスフロー構造である。従来

の電気集塵機の構造上の問題として、集塵極と放電極の上下方向にはスパーク発生を防止するための間隙を設ける必要があり、そこを処理気体が吹き抜け集塵性能を阻害している。ノイルフト電気集塵機は、各集塵極の全周に封止枠を設置して、処理気体の電界域以外の通過を完全に止めることができる構造となっている。さらに、電界強度は放電極近傍から集塵極にかけて高まるが、処理気体が集塵極を通過するとき、その全てが最高の電界強度を通過し、粉じんに対して効果的な荷電がなされる。このように極めて強力な均一な電界が形成され、粉じんに対し効果的に荷電するため集塵性能が高い特徴がある。以上のことから、集塵機内を通過する粉じん気体の滞留距離を従来の電気集塵機の4分1程度と短くても同じ能力が得られ、集塵機の本体容積を小型化できる。この結果、設置場所を幅広く選ぶことができ、高い集塵効率と本体の小型化により使用電力量の減少、省力化を可能とした。表-1に集塵機の種類と特徴を示す。また、図-1にノイルフト電気集塵機と従来型電気集塵機の放電極、集塵極、放電状態模式図を示す。

表-1 集塵機の種類と特徴

分類	適用原理	実用上の捕集粒径	圧力損失	利用例
遠心力集塵	気流の旋回運動に伴う粒子の遠心力	数 $\mu\text{m}$ 程度	100mmAq程度以下	サイクロン マルチサイクロン
洗浄集塵	液滴あるいは液膜と衝突または接触させ捕捉する。	0.1 $\mu\text{m}$ 程度	数100mmAqに達することがある	'ベンチュリースクラハ' サイクロンスクラハ'
ろ過集塵	ろ材を通して、ろ過分離する。	1 $\mu\text{m}$ 程度	150mmAq程度	バグフィルタ
電気集塵	粒子を高電圧で荷電させることによる静電沈降	0.01 $\mu\text{m}$ 程度	10~20mmAq	燃焼排ガス捕集 空気洗浄装置

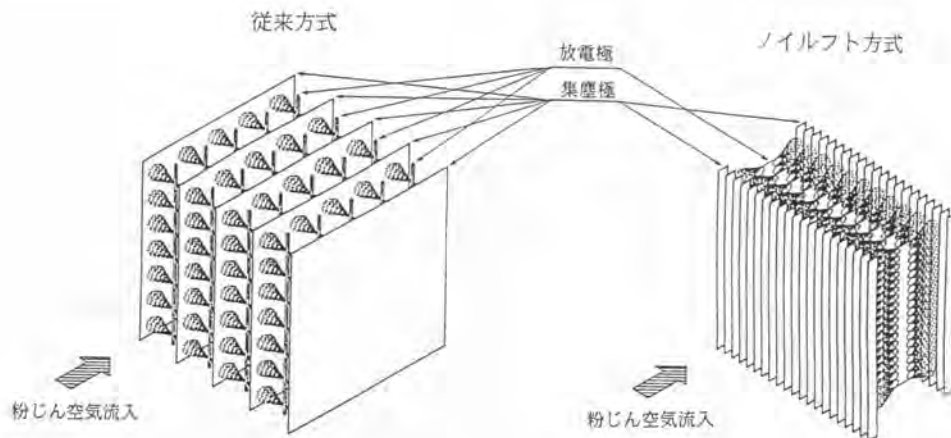


図-1 放電極、集塵極、放電状態模式図

### 3. 集塵装置の開発

#### 3.1 予備試験

##### (1) 目的

電気集塵機のひとつは工業用に使用され、トンネル工事等で発生する粉じんを電気集塵機により効果的に集塵し、作業環境を大幅に改善する技術は確立されておらず、小型、高効率、省力化された坑内用電気集塵装置の開発が課題となっている。坑内用電気集塵装置の開発に先だて、坑内で発生する粉じんの物性、特に吹付コンクリート作業時に発生する粉じんの集塵極への付着、剥離性についての把握と、電圧・電流・機内流速等の電気集塵機の基本データ採取を目的に予備試験を行った。試験用電気集塵装置は2tトラックに搭載し、移動を容易にした。図-2に予備試験用電気集塵装置の概要図を示す。

##### (2) 予備試験結果

##### a) 粉じん物性の把握

剥離性：集塵極上に堆積した粉じんは、軽い槌打で剥離が確認された。  
 固化性：集塵極上に堆積した粉じんに水を加えても固化の現象はみられない。

##### b) 集塵率

図-3に機内流速と集塵率を示す。

集塵率と集塵機内流速を見ると、

流速 1.0 m/sec 4ユニット荷電で 85%

流速 1.0 m/sec 3ユニット荷電で 72%

流速 1.75m/sec 2ユニット荷電で 75%

流速 1.75m/sec 1ユニット荷電で 63%

となっているが、3ユニットが2ユニットより集塵率が悪いのは、入口濃度が低かった為に相対的に集塵率が低く出たと考えられる。

粉じんの測定はレーザー粉じん計2台を使用して入口、出口ダクトで同時にサンプリングをし、荷電ユニット数、機内流速を変えて測定を行った。

##### c) 粉じんの粒子

集塵極に捕集された粉じんの粒子を電子顕微鏡で5百倍～5千倍に拡大して撮影すると、数μmの粒子も凝集さ

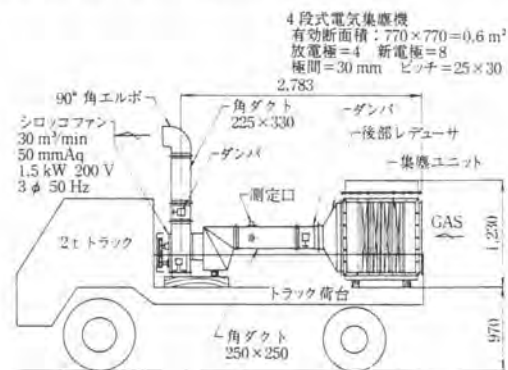


図-2 予備試験用電気集塵装置

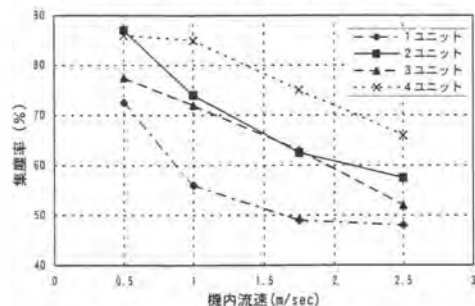


図-3 機内流速と集塵率

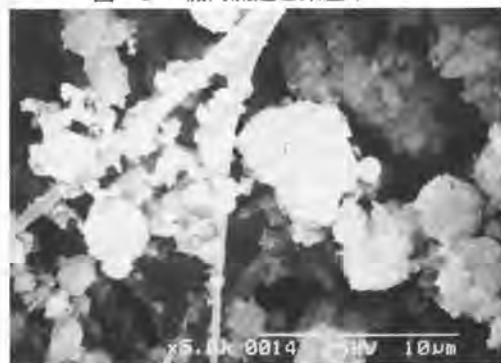


写真-1 電子顕微鏡写真(5000倍)

れていることが観察された。写真-1に電子顕微鏡写真を示す。

#### d) 電気集塵機から発生するオゾンの影響

オゾンは特有の臭いを有する微青色の気体で、酸素の1.5倍の比重をもち、沸点 $-112.3^{\circ}\text{C}$ 、融点は $-251.4^{\circ}\text{C}$ で水にわずかに溶け化学的には酸素に似ているが、酸素よりも強い酸化作用をもち銀、水銀を酸化するが、化学的に不安定で分解しやすく、酸素を放出するが、トンネル内では、 $\text{NO}_x + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$  となり無害であることが解ってきている。今回の予備試験において出口ダクト内でガス検知管によりオゾンを測定し、次の値が得られた。

4ユニット荷電、機内風量  $18\text{m}^3/\text{min}$  で  $0.8\text{ppm}$

2ユニット荷電、機内風量  $90\text{m}^3/\text{min}$  で  $0.1\text{ppm}$

これが坑内換気量  $1,000\text{m}^3/\text{min}$  の大気に放出された場合

$18\text{m}^3/\text{min} \times 0.8\text{ppm} / 1,000\text{m}^3/\text{min} = 0.014\text{ppm}$

$90\text{m}^3/\text{min} \times 0.1\text{ppm} / 1,000\text{m}^3/\text{min} = 0.009\text{ppm}$

となり、環境基準値  $0.06\text{ppm}$  以下となる。

#### e) 電気集塵機から排出される静電気の影響

静電気は自然界にごく普通に存在しており、極めて多種多様の弊害や事故などの原因となる場合がある。特にトンネル工事における発破作業では電気雷管を使用しており、漏洩電流も含めてその有無を確認する必要がある。又、電気集塵機から排出される静電気を無くするため、静電気の遮へい措置をとっている。これは静電界の閉じ込めであって、接地した金網で覆い遮へい材としている。

電気雷管は、 $0.6\text{mA}$  以上の電流が流れると爆発を起すが、 $0.3\text{mA}$  以下であれば発火しない。 $0.1\text{mA}$  以下は安全といわれている。高電圧を使用する機器では誘導電流の発生が懸念され、各機器の接地を確実に取り、他の配線を近づけないことで、予備試験を実施した。

### 3. 2 実証試験

予備試験の結果をもとに、 $800\text{m}^3/\text{min}$  クラスの実証試験機にて実際の工事への適用性を検討することとした。集塵装置の寸法は、幅  $4.4\text{m}$ 、高さ  $1.85\text{m}$ 、奥行  $1.33\text{m}$ 、重量  $1.68\text{ton}$  とコンパクトであるので、トンネル天端に吊り下げる方式とした。また、粉じん気体のバイパスを防止する遮閉用カーテン（シート）は、トンネル天端から集塵機本体底部までの上部については固定式に、車両通過部の集塵機本体底部から路盤までの下部は開閉式とした。集塵機本体のトンネル天端への吊り下げは、天端の4カ所のアンカーにより支持している。集塵装置取り付け開始から全作業完了まで所要時間は6時間であった。使用機械として4tonクレーン付きトラック、高所作業車を用いた。図-4に実証試験装置配置図を示す。また、図-5に集塵装置の運転による坑内の浮游粉じんの濃度分布状況を示す。その結果、集塵機の下側に取り付けたカーテンを閉めた場合、集塵機の切羽側と坑口側では、坑口側が75%の低下、カーテンを解放した場合には52%の粉じん量の低下が測定され、集塵装置の効果が確認された。またコロナ放電で発生するオゾン ( $\text{O}_3$ ) については、発生量が微量で異臭、刺激もなく、通常の坑内換気の中で十分に拡散されており、排気ガス中の  $\text{NO}_x$  と反応し、酸素 ( $\text{O}_2$ ) に変化するので問題とならない程の微量であった。

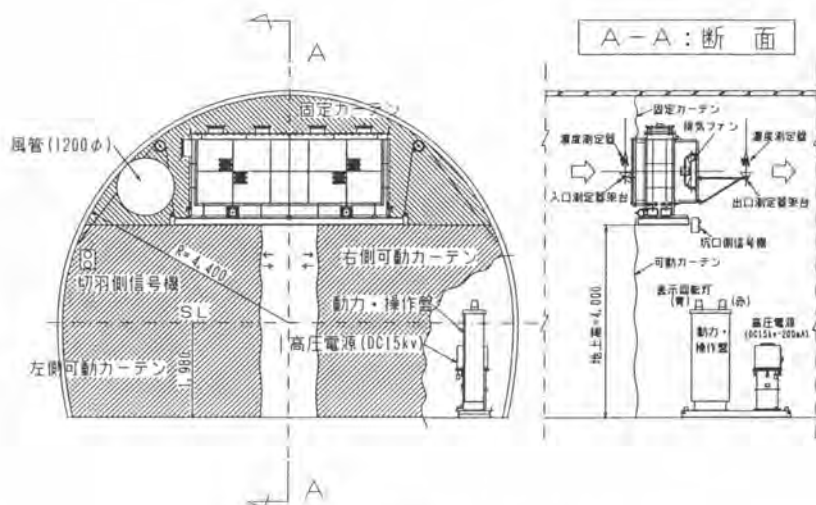


図-4 実証試験装置配置図

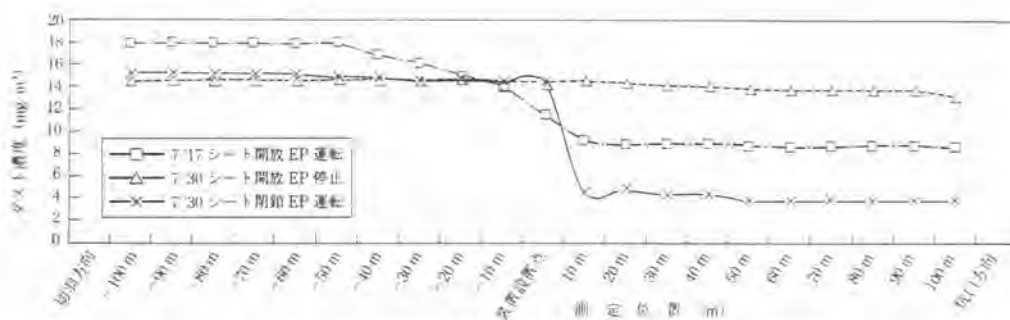


図-5 集塵装置の運転時の浮游粉じんの濃度分布

#### 4. 適用および実用性

今回の実証実験を行った結果、電気集塵装置の設置、移設等について特別な電気配線や電気設備の容量増大は必要なく、設置スペースによる施工性や他作業への支障や障害は特に生じなかったが装置の設置、撤去に5～6時間を要し、トンネルの進行に伴って装置を移設する必要がある。また、坑外から坑内への換気風量と電気集塵機の処理風量に差があり、切羽からのずり運搬時、頻繁なダンプトラックの往来により粉じん空気の流れ防止用に設けたカーテンを閉鎖する事ができず、粉じん空気が坑内全体に拡散する現象が生じた。これを防止するためには、電気集塵機の処理風量を送風機換気風量より多くし、電気集塵装置設置個所付近にエアーカーテンを発生させて、粉じん空気の流れを防止する必要があるが、この風量を電気集塵装置では、従来の送風機より小さい動力で容易に発生させることができる。

予備試験および実証試験の結果を基に、処理風量  $1,500\text{m}^3$  の車載式電気集塵機を製作し現場へ適用することとした。装置の仕様および全体図を図-6に、電気集塵機本体、坑内への据え付け状況を写真-2に示す。

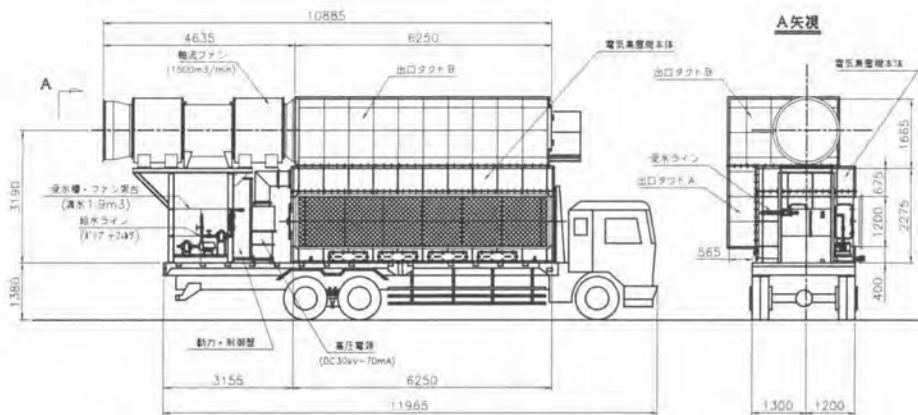


図-6 車載式電気集塵機全体図



写真-2 電気集塵機坑内設置状況

## 5. あとがき

従来、電気集塵機は大型であり主な用途として火力発電所、鉄鋼、ガス、製紙、セメント、焼却炉等大規模工場等における集塵に使用されていたが、小型化することにより、これまで使用されなかった部分に用途が広がっている。トンネル工事等における換気設備は作業環境の改善向上から、ますます大風量、大出力の傾向にあって、省エネ、コストダウンとはかけ離れたものとなっている。

今回、共同開発した車載式集塵装置は8月中旬に1号機を導入したばかりであり、いまだ開発途上の機械である。今後、現場において多くのデータを収集し、より小型で高効率の装置へと改良を重ねていく必要がある。

この電気集塵装置を使用することにより、従来のトンネル換気設備に対する概念が変われば幸いである。現在、建設業界では盛んにISO9000Sを取得しており、既に次の段階であるISO14000Sの導入に向けて進んでおり、環境保全の意味からも、こうした高性能集塵機の開発は意義あるものである。

最後に、この装置の開発にあたり、ご支援、ご指導頂いた多くの方々に厚く御礼申し上げます。