

粉じん濃度測定時における試料採取管への 粉じんの沈着

Deposition of particulates in the sampling tube
for measuring the dust concentrations

大歳恒彦* 興嶺清志* 鈴木保美*

Tsunehiko Otoshi, Kiyoshi Okimine and Hiromi Suzuki

1 はじめに

昭和56年6月、国の環境基準に関する規則（環境庁告示第47号）に改正があり、浮遊粉じん濃度測定法に従来の光散乱式デジタル粉じん計に加えて、ピエゾバランス式及びβ線式粉じん計が新たに認められた。測定原理の異なるこれらの方法のいずれにおいても一般的に、試料採取管を用いて試料大気を吸引する点は共通である。また、構造の簡単なハイボリウムエアサンプラーやローボリウムエアサンプラーなどの戸過式のサンプラーと違って、屋外に放置できないので、このような試料採取管は必要不可欠なものである。通常、試料採取管部分をできるだけ短かくする等の方法により管内での粒子の沈着を最小限にとどめようとする努力は払われるが、試料採取管の長さ、形状によってどの程度の粒子の沈着が見込まれるのかといった明確な見通しを持って測定が行われることは少ない。その理由としては第1に、試料採取管への粒子の沈着というような基礎的な問題を取り扱った研究¹⁾がわずかであり、第2に測定される粒子の条件（粒度分布、比重等）によって管内への沈着率も一定ではないことがあげられる。

ここでは比較的、一定な粒度分布で高濃度の粉じんの得られる作業環境において、種々の長さ及び形状の試料採取管を設置し、その前後で粒子濃度の測定を行い、試料採取管内における粒子の沈着について検討を行った。

2 実験装置

オリオンドライポンプ、AC 200V、三相、1.5kW、東洋ゴム工業製トーヨーブラホース、内径1インチ、100

* 日本環境衛生センター 公害部大気課
Air Pollution Laboratory, Department of Environmental Pollution, Japan Environmental Sanitation Center

m. 柴田化学製 AP-638型光散乱式デジタル粉じん計、アンダーセン社製サンプラー 20-000型、塩化ビニール製粉じんサンプリング用ボックス（図1）。

3 実験方法

○実験場所

実験はすべて、鉄及びステンレス材の切断、研磨、曲げ、仕上げなどいわゆる板金作業とアーク溶接の行われる作業場において、実際の作業中に実施した。

○試料採取管の長さ及び形状

試料採取管として、内径1インチでなめらかな表面をもつトーヨーブラホースを用いた。長さ及び形状は表1に示す条件とした。準直線とは、実験を行った作業場の壁に沿うように水平に管を配置し、できるだけ直線部分を多くとった場合である。また、とぐろ巻きでは管の曲がりによる粒子の沈着を調べた。

○試料採取管への粒子の沈着率の測定方法

図2に示すように試料採取管とオリオンポンプを組み合わせて、管内に、一定流量の粉じんを含んだ空気を流通させながら、管の入口及び出口の2点で粉じん濃度の測定を行った。測定には、それぞれ2台のデジタル粉じ

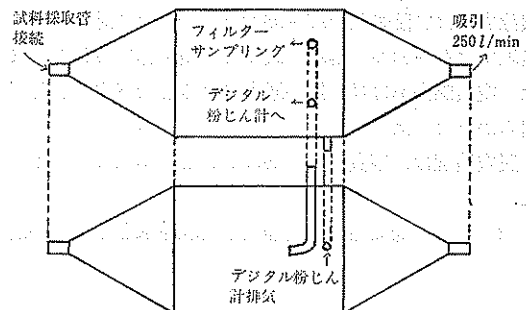


図1 粉じんサンプリング用ボックス

表 1 試料採取管の設置条件

実験 No.	設 置 条 件	吸引量*
1	準直線条件で水平 100 m	250 l/m
2	準直線条件で水平 50 m	〃
3	準直線条件で水平 20 m	〃
4	準直線条件で水平 10 m	〃
5	全長50mのものを直径2mでとぐる巻き2回(垂直)	〃
6	全長50mのものを直径2mでとぐる巻き4回(垂直)	〃
7	全長50mのものを直径2mでとぐる巻き7回(垂直)	〃
8	全長50mのものを床から天井(4m)まで5往復(30cm幅)	〃
9	準直線条件で水平50m(粉じん低濃度)	〃
10	準直線条件で水平50m(粉じん低濃度)	200 l/m

注) * 25°Cにおける流量

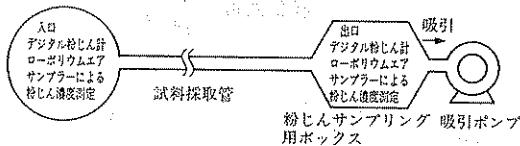


図 2 実験の概要

ん計とローボリウムエアサンプラー(フィルターによる汚過捕集)を用いた。

試料採取管への粉じん粒子の沈着率は入口及び出口の粉じん濃度比から求めた。すなわち、1回の実験(5~8時間)を通じてローボリウムサンプラーでは1検体、デジタル粉じん計では5分間ごとの同時刻のデータを比較して、それぞれ(入口/出口)の比を算出した。なお、ローボリウムエアサンプラーの吸引流量は約20 l/minとし、47 mm 径の石英繊維製フィルターを使用した。

○粉じん粒子の粒度分布測定

アンダーセンサンプラーを用いて試料採取管入口及び出口の粉じん粒子の粒度分布測定を行った。測定は入口について2回、出口について1回、それぞれ3~4日間実施した。

4 結果及び考察

作業時間内の浮遊粉じん濃度はローボリウムエアサンプラーの測定で、約200~800 µg/m³の範囲であった。一般環境と比べるとかなり高濃度であり、また、作業の内容によって時間変化も大きかった。実際には同じ浮遊粉じん濃度において実験することは困難なので、同一の

試料採取管の条件において、高い浮遊粉じん濃度と低い浮遊粉じん濃度の二つの場合において実験を行い、浮遊粉じん濃度と管内への粒子の沈着の関係について調べた。すなわち、準直線50mの条件で、約200 µg/m³(低濃度)の場合と約800 µg/m³(高濃度)の場合についてみると、デジタル粉じん計では低濃度で89%の粒子が通過しているが、高濃度では88%であり、ほとんど差が見られない。これに対して、ローボリウムエアサンプラーの測定では低濃度で90%、高濃度で65%と、大きな差が見られる。ローボリウムエアサンプラーの測定においては浮遊粉じん濃度が異なる——すなわち、粒子の粒径分布も異なると推察される——ことによって同一の試料採取管の条件においても違った結果を示すことがわかる。これに対してデジタル粉じん計では、比較的小さな粒子に高い感度を持つために大きな粒子の多少に関係なく測定できると考えられる。そこで、試料採取管の条件と粒子の沈着の関係についての定量的な検討は、デジタル粉じん計のデータを中心に行うこととした。

a) 試料採取管の長さとの沈着の関係 (準直線条件)

試料採取管の長さとの浮遊粉じん粒子の管内通過率の関係を図3に示した。管内通過率は準直線10mでは96%、準直線20mでは88%、準直線50mでは88%と89%、準直線100mでは73%と、試料採取管の距離が長くなるにつれて通過率も減少する傾向が見られる。これはいずれもデジタル粉じん計のデータであるが、100mの試料採取管では27%の粒子が管内に沈着することにな

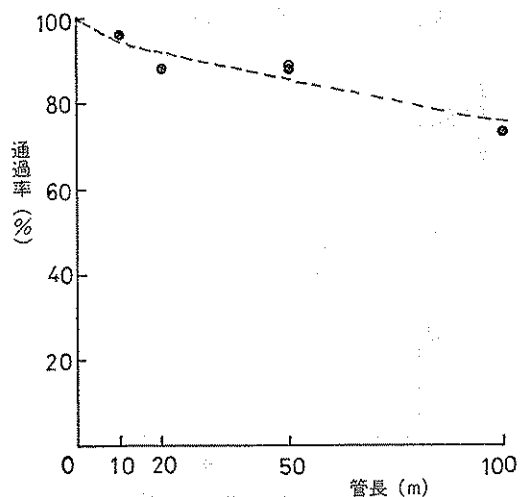


図 3 試料採取管の長さとの浮遊粉じん粒子の管内通過率の関係(水平、準直線条件、流速250 l/m)

る。また、ローボリウムエアサンプラーによる測定ではこれらの値と同じか、あるいは低めの通過率を示しているが、データは若干ばらついた。

b) 試料採取管の曲がりと粒子の沈着の関係

試料採取管の途中の曲がりによる影響を見るために、全長50mの管に直径2mの円形の部分を2個、4個及び7個つくり、実験を行った。この結果を図4に示した。曲がりのない準直線では通過率が88~89%なのに対して、曲がり2回では82%、曲がり4回では79%、曲がり7回では77%と、曲げの部分の多いほど粒子の通過率は低くなっている。曲がりの回数は初めて2~4回が最も通過率に影響するが、その後はあまり影響がなくなるようである。

また、全長50mの管を床と天井の間に配管し、約30cm幅で5往復した場合には粒子の通過率は80%となり、これは直径2mの曲げ回数2~4回と同程度の粒子の沈着となった。

c) 粉じん粒子の粒度分布測定

試料採取管入口及び出口における粒度分布の測定結果を図5、図6に示した。試料採取管入口の粒度分布は1、2回目で若干異なるが、最も大きなピークは粒径4~5 μm にある。また、1 μm 以下にもピークらしいものがある。一般に機械的作業から生じる粒子は大気中で4~5 μm の粒度のものが安定して存在するようになる

といわれており、板金作業場の特質をとらえたものと考えられる。また、第1回目及び第2回目の期間中ともアーク溶接が行われており、小さな粒径における濃度の上昇の原因とも考えられる。

試料採取管(50m準直線)出口では4~5 μm にあったピークはほとんどなくなり、2 μm 以下の粒子が中心になっている。管内における大きな粒子の沈着が顕著に見られる。また、2 μm 以下の小さな粒子については減少が見られない。

d) 計算式²⁾による粒子の通過率の推定

本実験の結果を評価するために計算式によって、粒子の通過率を推定してみる。直線でなめらかな管内での粒子の除去は重力沈降(1)及び拡散(2)によって生じ

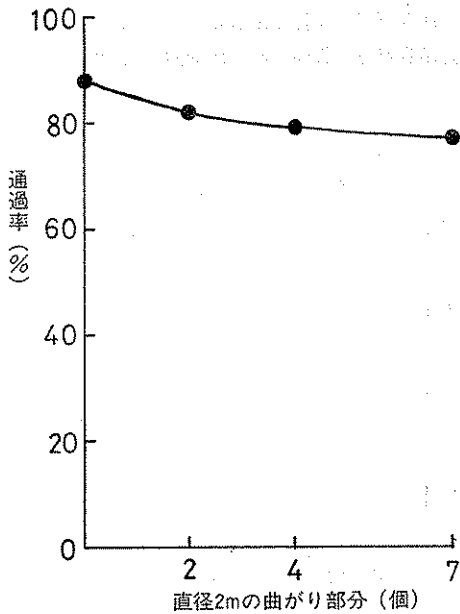


図4 試料採取管の曲がりと浮遊粉じん粒子の管内通過率の関係(全長50m, 流速250 l/m)

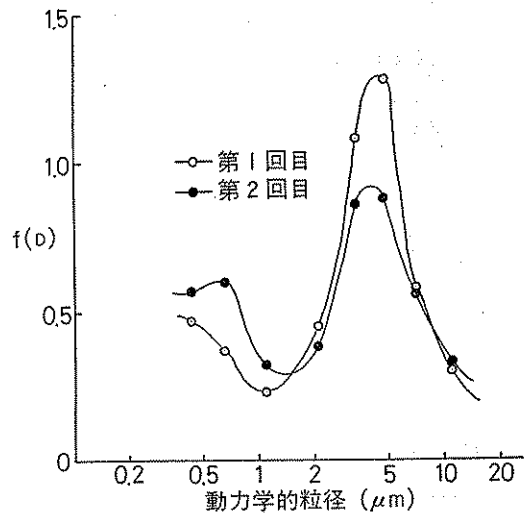


図5 試料採取管入口における粒度分布

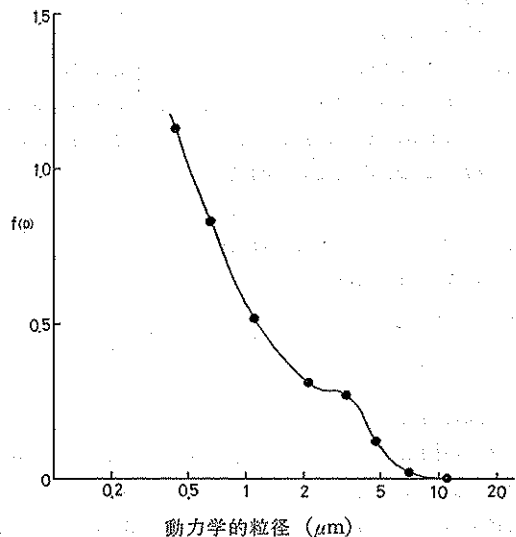


図6 試料採取管出口における粒度分布

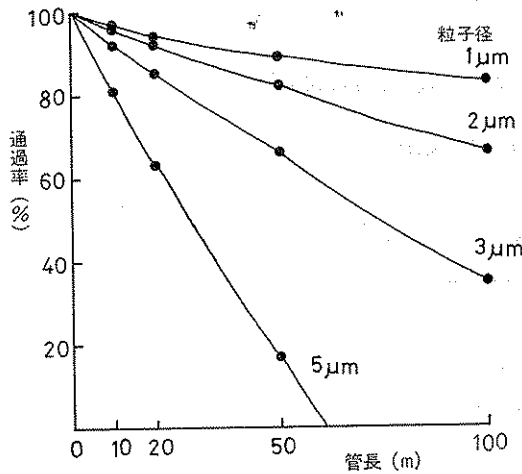


図7 重力沈降及び拡散による粒子の除去 (計算値, 流速 250 l/m)

る。なお、管内の流れは層流、粒子の密度は1.0と仮定した。

$$\eta_0 = 1 + \frac{1}{\pi} (\sin\beta - \beta) \dots \dots \dots (1)$$

$\cos \beta = V_s t \cos\phi / 2R$, V_s = 粒子の重力沈降速度, t = 滞留時間, R = 円管半径 (1.27 cm), ϕ = 円管軸と水平との傾き

$$\frac{n(x)}{n_0} = 1 - 2.56\mu^{2/3} + 1.2\mu + 0.177\mu^{4/3} + \dots \dots (2)$$

$\mu = DX / \bar{U}_x R^2$, D = 拡散係数, \bar{U}_x = 管内流速 (823 cm/s), X = 管長

粒径 1 ~ 5 μm の粒子について、管長 10 ~ 100m の管内での通過率を実験条件 (流速 250 l/m) にあてはめて計算した結果を図7に示した。大きな粒子ほど沈着し、5 μm 以上の粒子は 100m の管ではまったくなくなる。これに対して、1 μm の粒子は 100m の管でも約90%が通過する。

この図と実験結果 (図3) を比較すると、粒径 2 μm の粒子の計算値と同じような傾向が見られる。実際には

4 ~ 5 μm の粒子が多いのでもう少し通過率は低くなってもよいはずであるが、計算値よりも通過率の高くなった原因としては次のことが考えられる。すなわち、実験条件では管内の流れが乱流になっており、一度沈着した粒子の再飛散が考えられること、及び、デジタル粉じん計の感度が小さな粒子に高いために小さな粒子の挙動に影響されたことの2点である。

5 まとめ

試料採取管を用いて粉じんを採取する際の管内への粒子の沈着について検討を行った。試料採取管の長さが増すにつれて、また、管の途中に曲がりの部分が多くなるにつれて、粒子の通過率は減少した。特に大きな粒子についての沈着は小さな粒子に比べて顕著であった。

本実験はアロカ株式会社委託調査として行われたものである。御指導、御協力をいただいた同社の徳武正昭氏ならびに八重樫新治氏に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 興 重治: 大気分析におけるサンプリング I, エアロゾル, p 107, 講談社.
- 2) 高橋幹二: 基礎エアロゾル工学, p 58, p 96, 養賢堂.

Summary

Evaluation was made for the deposition of particulates in the sampling tube while the air including particulates was passing through the tube. Length and curves of the tube were important factors which affect the deposition of particulates; increasing the length and number of the curves in the tube brought the deposition of particulates. More deposition was observed for coarse than fine particulates.