



072

土 木 研 究 所 資 料

第808号

電気集じん機によるトンネル内空気浄化実験

昭和48年 3 月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室



まえがき

近年、高速道路網計画の推進に伴ない長大なトンネルが多数計画されている。道路トンネルの長大化は、トンネルの換気の観点からは所要換気量・換気風圧の増大、内空断面の拡大、多数の換気用立坑等の建設、換気系の制御などの問題として、換気計画の経済的かつ技術的な困難さを大きくしている。一方、最近、生活環境の保全を目的として大気汚染に対する環境基準が設けられ、強化されつつあり、道路トンネルも汚染物質の2次的発生源として問題となることが考えられる。このような情勢下にあつて、トンネル内空気を汚染している有害物質を除去する技術の開発は、トンネルの長大化ならびにトンネル周辺環境の保全に対処するために有効な手段である。

この資料は、トンネル内汚染物質のうち煤じん（浮遊粉じん）を除去する方法のひとつとして電気集じん機に注目し、室内実験装置を用いてトンネル空気浄化に対する基礎的データの集収および適用性の検討を行なった結果を報告するものである。

昭和48年 3 月

トンネル研究室	室 長	立 石 俊 一
	主任研究員	今 田 徹
	研 究 員	水 谷 敏 則

目 次

ま え が き

1. 実験目的	1
2. 実験装置	1
2-1 電気集じん機	1
2-2 煤じん発生源	2
2-3 浮遊粉じん計測器	2
2-4 その他	2
3. 実験条件および実験期間	2
4. 実験方法	3
4-1 風量調節	3
4-2 粉じん濃度調節	3
4-3 概括実験	3
4-4 総合実験	4
5. 実験結果	4
6. 考 察	6
6-1 処理風速の影響	6
6-2 粉じん濃度の影響	7
6-3 粉じん粒径分布	7
6-4 その他	7
6-5 まとめ	8

1. 実験目的

従来、各種の集じん機が開発されているが、いずれも工場等の排煙処理を目的としており、トンネル空気中の粉じんのように低濃度大風量のものに対する効果は明らかでない。このため、電気集じん機を採り上げ、トンネル内浮遊粉じんに対するこの装置の適用性を、室内模型実験装置により検討した。

トンネル内汚染物質は主として自動車排気ガス中に含まれており、一酸化炭素、窒素酸化物などの生理上の障害を与える有害物質と煤煙などの安全走行のための視距障害となる浮遊粒子状物質により構成される。わが国では、ディーゼル車の混入率が高くトンネル換気設計の現状をみると、後者の煤煙を対象としている場合がほとんどである。また、前者については、排気ガス規制の強化により近い将来現状の排出量の $1/20 \sim 1/30$ (COの場合) に減少することを期待できるが、後者の煤煙についてはその見通しがほとんどない。したがって、現在、将来ともに煤煙等の浮遊粒子状物質はトンネル換気の対象の中心となると考えられる。

空気中に浮遊している粒子状物質を捕集する方法としては、

- ① 重力沈降式 (沈降室)
- ② 慣性除じん (サイクロン、マルチクロンなど)
- ③ ろ過除じん (バッグフィルター、ダストコレクターなど)
- ④ 洗浄除じん (ベンチュリクラバー、サイクロンスクラバーなど)
- ⑤ 電気除じん

などがある。トンネルを対象に考える場合、浮遊粉じんの粒径が非常に小さく(文献1)、所要処理風量も大きいため、微粒子に対しても集じん効率が高く、圧力損失の小さい静電気による集じん装置が原理的にかつ経済的に最も適しているものと判断した。

2. 実験装置

実験に用いた室内模型実験装置を図-1および写真-1～5に示す。各部の主要諸元は次のとおりである。

2-1 電気集じん機

型式：多孔式静電集じん装置(日本工芸工業、マッハ100型)

集じん室(極)：約 $54 \times 54 \times 2,000$ mm(長さ)……64室

放電線(極)：集じん室中央

印荷電圧：最大13KV(DC(-))

電流値：最大150mA

処理風量：最大 $50 \text{ m}^3/\text{分}$ (集じん室内風速 5 m/s)

ダスト払い落とし：パイプレータ方式

2-2 煤じん発生源

トンネル内浮遊粉じんの組成は粒径の比較的大きい砂じんと粒径の非常に小さい自動車排気ガス中のカーボンが主成分である（文献1）。そこで室内実験における擬似トンネル粉じんとしては、集じんが困難であると予想される粒径の小さいカーボンに重点をおくこととし、ディーゼルエンジンのエアコンプレッサーの排気ガスを利用することにした。

エンジン出力：7 6.5 PS

エンジン総排気量：6.1 ℓ

2-3 浮遊粉じん計測器

(1) 粉じん計（スイス、シグリスト社製）

型式：光分散式（15° 方向）……連続測定

測定範囲：0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 mg/m^3 FS

精度： $\pm 0.5\%$

(2) ハイボリウムエアサンプラ（米、スタプレクス社製）

型式：ろ過式

ろ紙形状：20 cm $\times$ 25 cm

吸引流量：0.3 $\sim$ 2 $\text{m}^3/\text{分}$

(3) カスケードインパクト（島津製作所製）

捕集原理：慣性衝突式

捕集板：6段（10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2 μ ）およびろ紙

吸引流量：約70 ℓ/分（実流量）

2-4 その他

処理風量の計測のため、熱線風速計（日本科学工業、アネモマスタ14-2111）およびピラム式風速計（中浅測器）を用いた。

ハイボリウムエアサンプラおよびカスケードインパクトにより捕集した粉じん重量の秤量には直示天びん（秤量200 g，感量0.1 mg）を用いた。

3. 実験条件および実験期間

電気集じん機の性能に影響を及ぼす要因として、粉じんの種類、性状（濃度、粒径、電気抵抗など）および集じん機の仕様（電極の形状・間隔・長さ、電極間通過風速、印荷電圧など）をあげることができる。これらのうち粉じんの種類としては前述（2-2）したようにディーゼルエンジンの排気ガスを用いることとし、実験パラメータとして粉じんの濃度および電極間

通過風速の2つを採ることとして、下表に示すケースについて実験を実施した。

なお、本実験は昭和48年1月25日～2月5日に実施した。

表-1 実験条件

シグリスト粉じん計濃度 (mg/m^3)		2.0	1.0	0.5	0.2
煙霧透過率* ($\%/100m$)		(5)	20	50	80
電極間通過風速 V_c	5.1 m/s (4/4)	4-a	4-b	4-c	4-d
		4-A	4-B	4-C	4-D
	3.8 m/s (3/4)	3-a	3-b	3-c	3-d
				3-C	
	2.5 m/s (2/4)	2-a	2-b	2-c	2-d
		2-A	2-B	2-C	2-D
	1.3 m/s (1/4)	1-a	1-b	1-c	
				1-C	

注) ・アルファベット小文字はシグリスト粉じん計のみによる概括実験

・アルファベット大文字は各種計測器を用いた総合実験

・*印は文献1による換算値

4. 実験方法

4-1 風量調節

集じん機の電極間通過風速(処理風量)の調節は排風機のダンパの操作により行なった。
処理風量の検定は、あらかじめ吸気側のダクトにおいて熱線風速計を用いて風速測定トラバース(断面を16等分)を行ない、これと排気ダクト内のピラム風速計との対応を求めておき、その後はピラム風速計により、風量の設定を行なった。

4-2 粉じん濃度調節

粉じん濃度の調節はエアコンプレッサーの負荷(圧縮空気の放出量)、排気ガスの供給量ならびに希釈率を変えることによって行ない、シグリスト粉じん計の指示値を濃度設定の基準とした。

4-3 概括実験

表-1に示した条件について集じん効果の概要を把握するため、シグリスト粉じん計のみを用いた実験を行なった。

1回の測定は、入口の濃度が安定したのち処理前側で約2分間、処理後側で約2分間濃度

の計測を行ない、その後再度処理前側で約2分間計測して入口濃度に変化していないことを確認するという方法により実施した。

4-4 総合実験

表-1に示した条件のうち主要なケース（アルファベット大文字のもの）については、2-3に示したすべての粉じん計測器を用いた総合実験を行なった。1回の実験時間は2時間とした（1ケースのみ約10時間の連続実験を行なった）。

- シグリスト粉じん計は、処理前、処理後側について30分間交互に測定を行なった。
- ハイボリウムエアサンプラは、処理前、処理後の両側のダクトに各1台を設置して全時間（2時間）サンプリングを行なった。
- カスケードインパクトは、処理前または処理後のいずれかにおいて2時間のサンプリングを行なった。

なお、1回の実験の終了後、バイブレータにより電極に付着した粉じんを払い落とし清掃した。

5. 実験結果

概括実験の結果の一覧表を表-2に示す。また処理前の粉じん濃度、処理風速と処理後の粉じん濃度の関係を図-2に、それと集じん効率の関係を図-3に示す。総合実験の結果の一覧表を表-3、4に示す。また、各種計測器の測定値による集じん効率を図-4に、カスケードインパクトによる粉じんの粒径分布を図-5、6に示す。なお、集じん効率は次式により求めた。

$$(\text{集じん効率}) = \frac{(\text{処理前粉じん濃度}) - (\text{処理後粉じん濃度})}{(\text{処理前粉じん濃度})} \times 100 (\%)$$

また、各種計測器による粉じん濃度の相関を図-7～9に示す。

表-2 概 括 実 験 結 果

実験番号	シグリスト粉じん計濃度 (mg/m^3)		集じん効率 (%)
	処 理 前	処 理 後	
4-a	1.838	0.197	89.3
4-b'	1.438	0.156	89.1
4-b	0.945	0.14	85.2
4-c	0.485	0.07	85.6
4-d	0.235	0.035	85.1
3-a	1.688	0.111	93.4
3-b'	1.340	0.11	91.8
3-b	1.280	0.10	92.2
3-c	0.485	0.05	89.7
3-d	0.275	0.03	89.1
2-a	1.913	0.058	97.0
2-b	1.325	0.028	97.9
2-c	0.735	0.025	96.6
2-d	0.370	0.02	94.6
1-a	1.925	0.021	98.9
1-b'	1.330	0.016	98.8
1-b	0.990	0.018	98.2
1-c	0.545	0.014	97.4

表-3 総 合 実 験 結 果 (1)

実験番号	シグリスト粉じん計			ハイボリウムエアサンプラ		
	処理前濃度 (mg/m^3)	処理後濃度 (mg/m^3)	集じん効率 (%)	処理前濃度 (mg/m^3)	処理後濃度 (mg/m^3)	集じん効率 (%)
4-A	1.91	0.183	90.4	7.62	1.71	77.6
4-B'	1.45	0.243	83.2	2.31	1.36	41.0
4-B	0.841	0.169	79.9	1.19	0.831	29.9
4-C	0.473	0.06	87.3	1.13	0.458	59.4
4-D	0.209	0.032	84.7	0.765	0.246	67.8
3-C	0.641	0.0405	93.7	1.29	0.238	81.6
2-A'	1.82	0.0415	97.7	5.98	0.306	94.9
2-A	1.81	0.0856	95.3	5.54	0.555	90.0
2-B	0.765	0.0208	97.3	1.67	0.228	86.4
* 2-C'	0.580	0.0123	97.9	3.53	0.125	96.4
2-C	0.472	0.015	96.8	2.57	0.191	92.5
2-D	0.172	0.0025	98.5	0.529	0.156	70.5
1-C	0.515	0.006	98.8	1.64	0.182	88.9
無処理 (4-A)	1.58 (排気側)	—	—	3.80 (吸気側) 3.91 (排気側)	—	—

* 9時間30分連続運転の平均

表-4 総合実験結果(2)

実験番号	カスケードインパクト・粉じん重量 (mg)								粉じん濃度 (mg/m ²)	備 考
	捕集板番号および50%分離粒子径*							総重量		
	① 12 μ	② 6.5 μ	③ 2.7 μ	④ 1.4 μ	⑤ 0.8 μ	⑥ 0.3 μ	ろ 紙			
4-A	0.4	0.1	0.4	1.0	3.6	4.4	34.0	43.9	5.08	処 理 前
4-B'	0.7	0.5	0.6	0.2	0.6	0.4	3.4	6.4	0.76	処 理 後
4-B	0.4	0.1	0.5	0.3	0.5	0.4	3.7	5.9	0.70	〃
4-C	1.0	0.3	0.4	0.1	0.3	0.2	1.1	3.4	0.41	〃
4-D	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	1.6	2.4	0.29	〃
3-C	0.4	0.3	0.8	0.5	0.2	0.1	1.5	3.8	0.43	〃
2-A'	0.4	0.2	0.8	0.2	0.1	0.1	2.9	4.7	0.55	〃
2-A	0.3	0.5	0.2	0.2	0.3	0.3	4.3	6.1	0.73	〃
2-B	0.1	0.2	0.2	<0.1	0.4	0.2	—	—	—	〃
2-C' {	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.5	7.8	9.5	1.13	処 理 前
	0.4	0.0	0.1	<0.1	0.2	0.2	3.5	4.5	0.154	処 理 後
2-C	0.1	0.2	0.2	0.2	<0.1	0.2	2.3	3.3	0.39	〃
2-D	0.5	0.3	0.2	0.2	<0.1	<0.1	0.5	1.7	0.20	〃
1-C	<0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	1.6	2.6	0.32	〃
無処理 (4-A)	0.6	0.5	0.4	0.6	2.0	2.5	11.7	18.3	2.16	排気側

* 粉じん粒子密度 $\rho = 2.0$ と仮定

6. 考 察

6-1 処理風速の影響

処理風速(集じん電極間通過風速)の影響は、図-2~4により、処理風速が低いほど集じん効率が良く、この実験機では、 $V_c = 2.5 \sim 3.8 \text{ m/s}$ を境として急激に変化していることが判る。これは陰極に荷電された粉じん粒子が陽極の引力によって極板に到達するまでの時間と集じん電極を通り過ぎてしまうまでの時間に関係するものであり、静電集じん機の原理からいっても風速が低いほど集じん効果は上がるものといえよう。このように処理風速は集じん効果に著しい影響を与えていることが明らかとなった。

表-5 処理風速と集じん効率

処 理 風 速 V _c	シグリスト粉じん計による 集じん効率	ハイボリウムエアサンプラ による集じん効率
5.1 m/s	80～90%	30～78%
3.8	89～94	～82～
2.5	94～98	70～96
1.3	97～99	～89～

6-2 粉じん濃度の影響

処理する汚染空気の濃度の影響を見ると、図-3, 4に示すように処理前の粉じん濃度が高いほど集じん効率がやや高くなっている。このことは、同量の粉じん（総重量）を集じんするためには、なるべく濃くなったものを処理した方が能率が良いことを意味している。しかし、図-2に示すように処理する汚染空気の濃度が高いことは集じんしきれずに排出されてしまう粉じん量が多いこと、すなわち、集じん機出口側濃度が高くなることを意味し、排気口における濃度を抑えるという観点からは望ましくない。

6-3 粉じん粒径分布

粉じんの粒径から電気集じん機の効果を見ると図-5, 6に示すとおりである。処理前の粉じん（ディーゼルエンジンの排気ガス）の粒径分布は、高濃度の場合には（1.5～2.0 mg/m³シグリスト）、0.3～1.4 μの粒子もいく分か含まれているが、重量的には、0.3 μ以下のものが約80%以上を占めている。これに対して、処理後の粉じん粒径分布では、0.3 μ以下の粒子が割合からみると処理前と同様に多いが、重量的には減っており、しかも粒径の小さなものにおいて顕著である。このことから、電気集じん機が1 μ以下の微粒子の粉じんに対して有効であることが明らかとなった。また一旦捕集されて凝集した粉じんが再飛散することが心配されたが、カスケードインパクトによる粒径分布測定結果では、その気配は見られなかった。

6-4 そ の 他

集じん機を9時間30分連続して運転した結果（2-C'）では、経時的な集じん効果の劣化は全く見られなかった。

各回の実験後バイブレータにより極板を加振した結果の観察によれば集じん極板に付着した粉じんをかなり払い落とせること、ならびに払い落とされた粉じんの中には大きいもので1～2 mm程度のものが見られることが判った（写真-6）。

集じん機運転中に排気側でかなり強いオゾン臭があった。

なお、吸気ダクト側では排気ガスが十分均一に希釈されずに、ら線状に流れる状態がみら

れたこと、粉じんの計測法としてシグリスト粉じん計およびカスケードインパクトはダクト中央からサンプリング（不等速吸引）したが、ハイボリウムエアサンブラはダクト側壁より直角方向に吸引したこと（ダクト風速最大 3 m/s ）、などが測定値にばらつきを与えたことが懸念される。



写真-6 電極に付着した粉じんを
払い落した状況

6-5 ま と め

以上の結果を総合すると、

① 集じん電極の性能（形状寸法、印荷電圧等）と関係して適切な処理風速を選定すれば、低濃度においても90%以上（シグリスト粉じん計では95%以上）の集じん効率を得ることが可能である。

② 粒径 $1 \sim 0.3\ \mu$ 以下の粉じんも捕集可能である。

以上のことが明らかとなり、電気集じん機はトンネル内浮遊粉じんに対して十分適用可能であると判断された。

なお、今後解決しなければならない課題として、次のものがあげられよう。

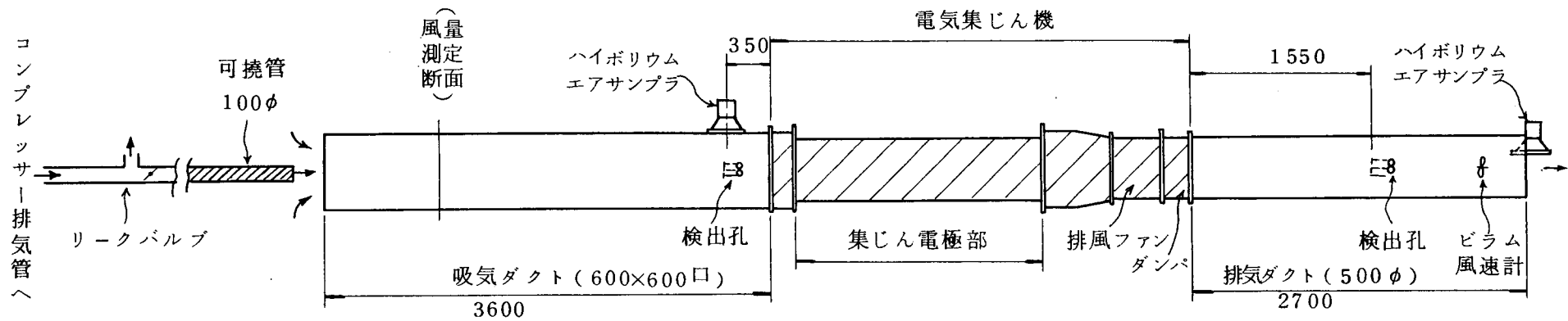
- ① 効率的なトンネル用電気集じん機的设计，製作。
- ② 集じん電極板に付着した粉じんの2次処理法の検討。
- ③ 高圧放電によるオゾン発生の抑制法の検討。

文献1： 市原，立石，今田，水谷「道路トンネル内浮遊粉じんの実態調査」

土木研究所資料，第810号，昭48.3

文献2： 大気汚染研究全国協議会「除塵装置ハンドブック」昭38.3

〔実験装置配置平面図〕



〔検出孔詳図〕

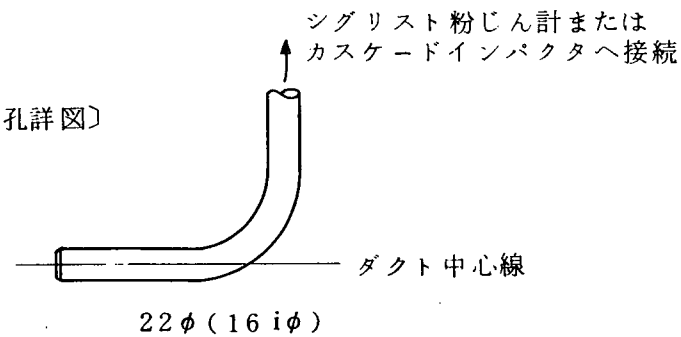


図-1 電気集じん機室内実験概要図

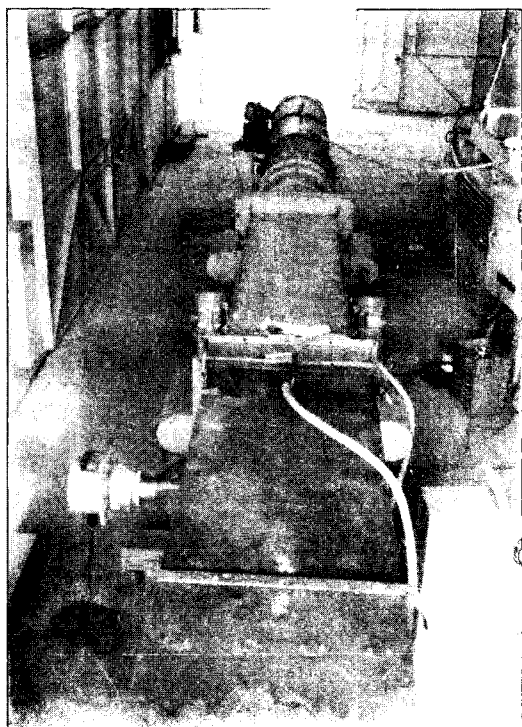


写真-1 実験装置

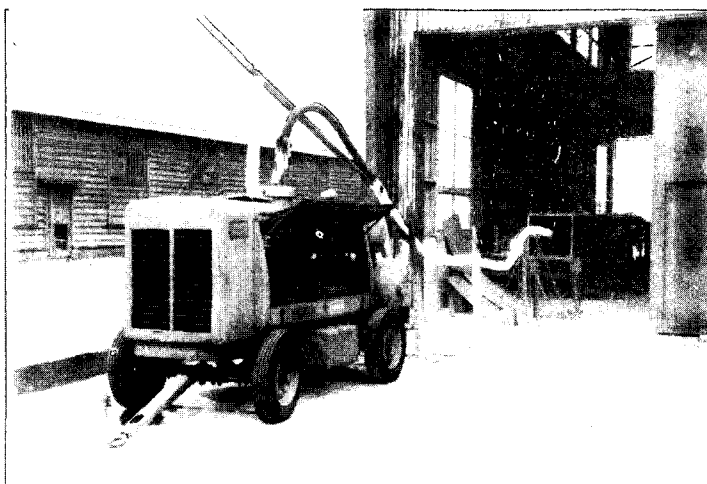


写真-2 煤じん発生源

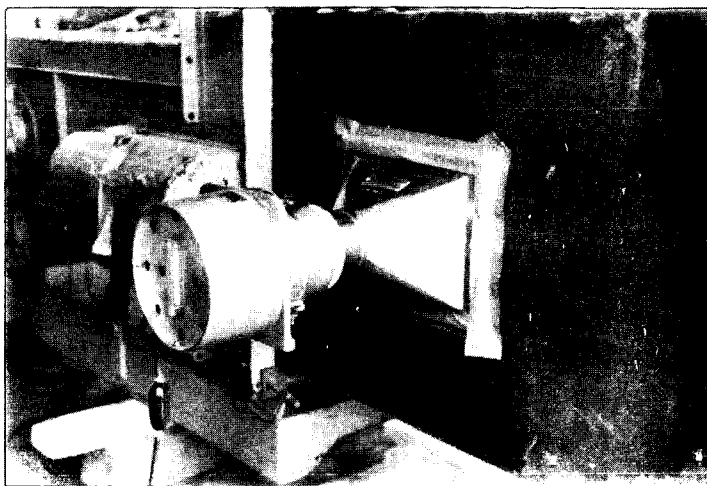


写真-3 ハイポリウムエアサンプラ



写真-4 シグリスト粉じん計

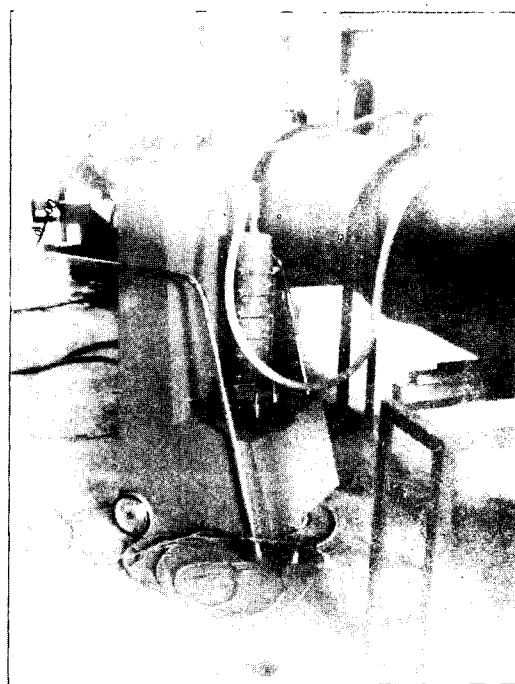


写真-5 カスケードインパクト

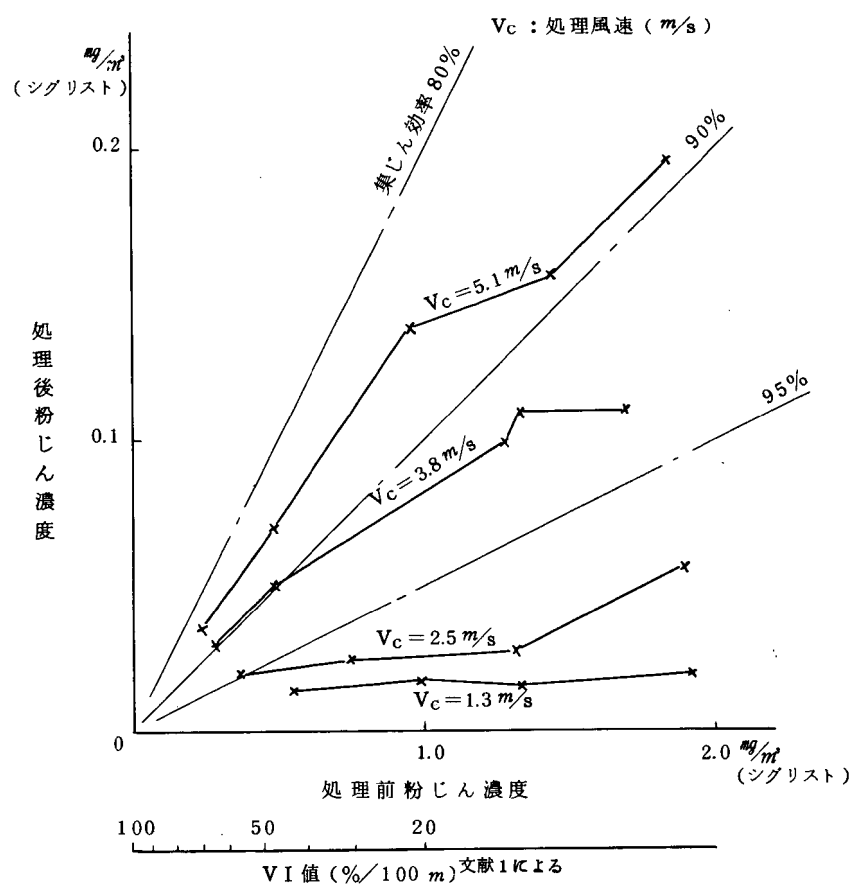


図-2 集じん機出口側濃度

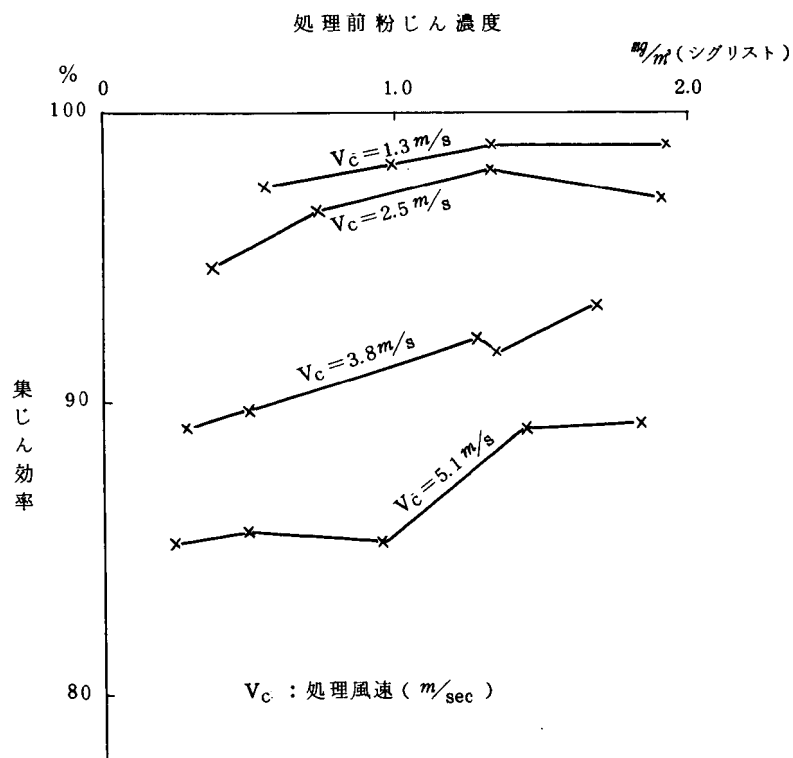


図-3 集じん効率 (概活実験による)

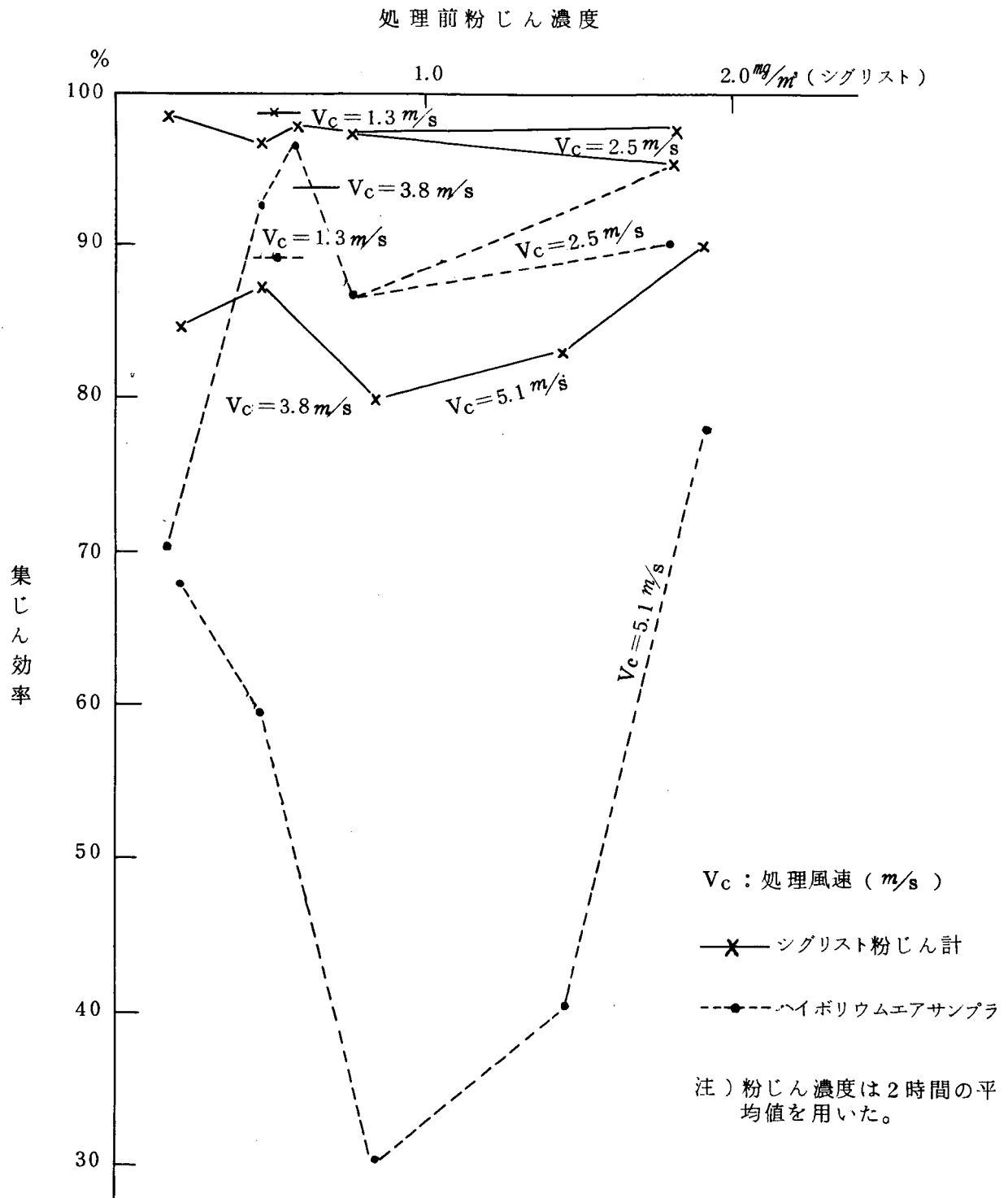


図-4 集じん効率（総合実験による）

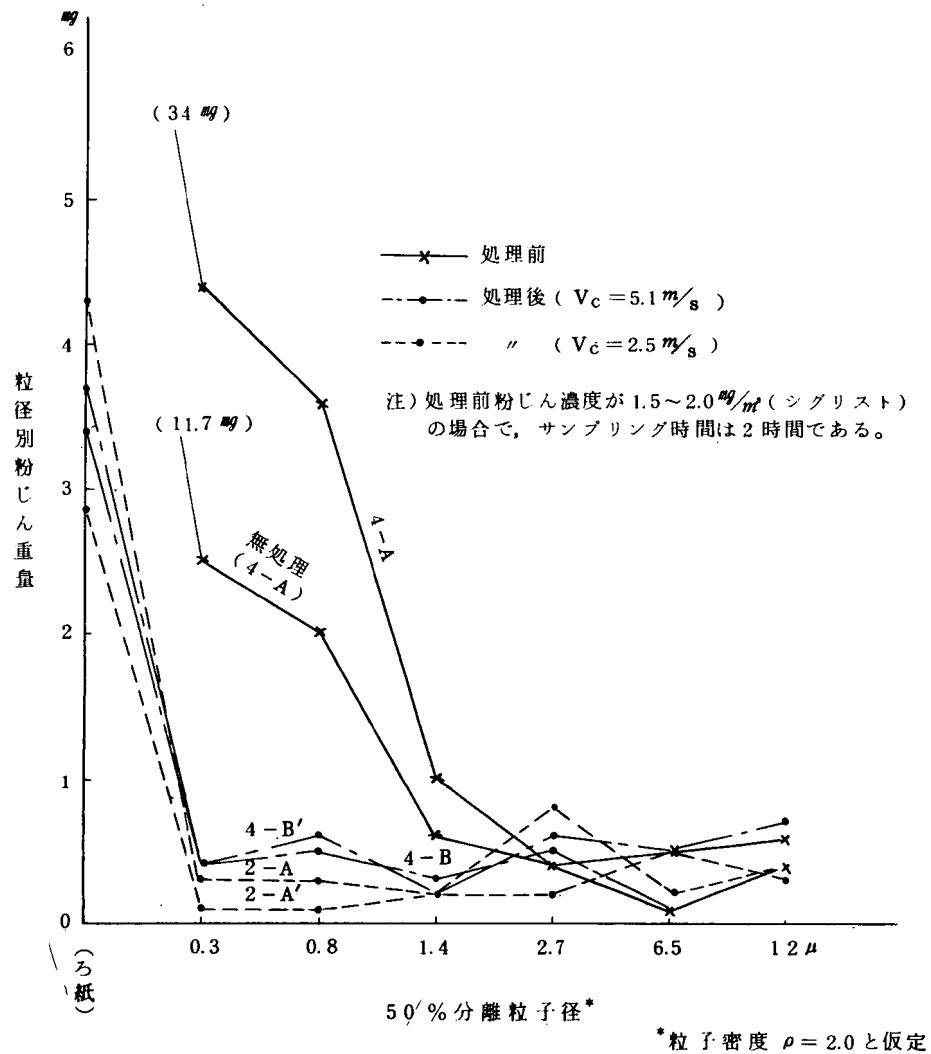


図-5 粉じん粒径分布(1)

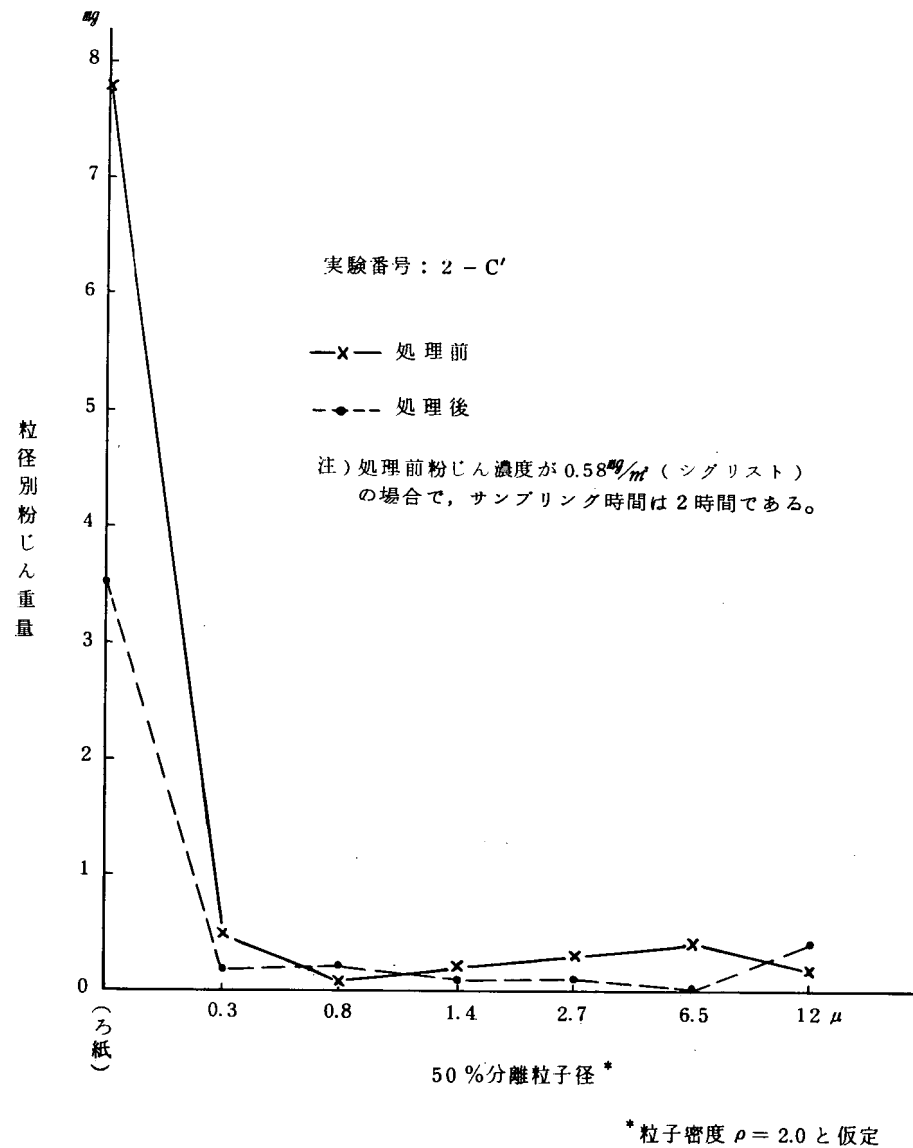


図-6 粉じん粒径分布(2)

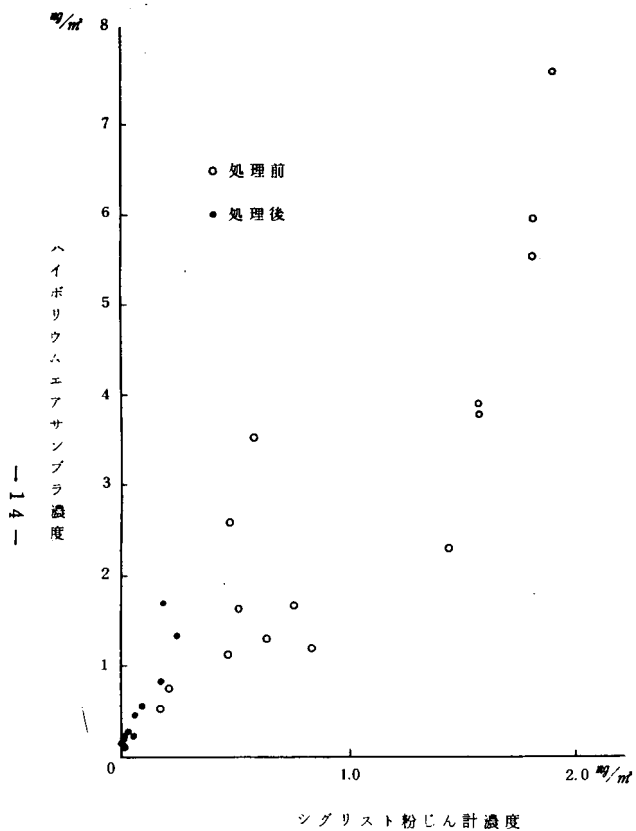


図-7 粉じん計測器の相関(1)

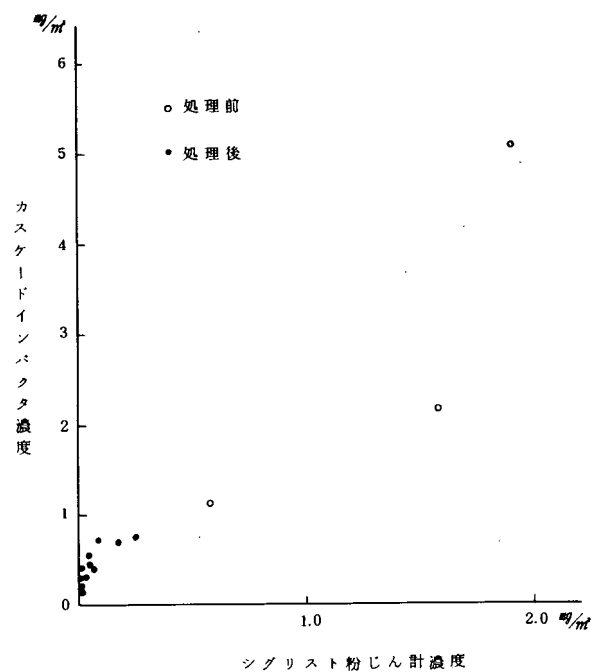


図-8 粉じん計測器の相関(2)

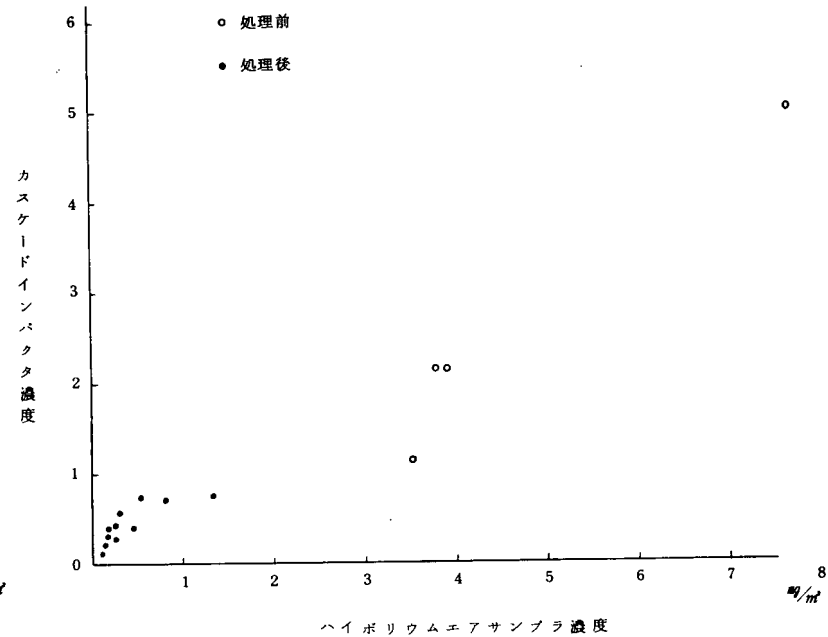


図-9 粉じん計測器の相関(3)

電気集じん機によるトンネル内 1)
空気浄化実験 後事故調査結果よりー

土木研究所資料第 808 号
昭和 48 年 3 月

キーワード

立石 俊一, 今田 徹
水谷 敏則

道路トンネル, 換気, 空気浄化, 電気集じん機

要旨 この資料は, 道路トンネル内を汚染している浮遊粉じんに対する
電気集じん機の適用性について, 室内実験により検討したものである。

郵便はがき

は 十
い 円
っ 切
て 手
下 を
さ

2 8 0 - □ □

千葉市穴川四丁目一二番五二号

建設省土木研究所 千葉支所

トンネル研究室

行

No. 072

No. 072

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 808 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印