



176

土木研究所資料

第810号

道路トンネル内浮遊粉じんの実態調査



昭和48年3月

建設省土木研究所

目 次

ま え が き	1
1. 調査目的	2
2. 調査トンネルおよび調査期間	2
3. 調査内容	2
3.1 調査項目	2
3.2 調査方法	3
4. 調査結果	4
5. 考 察	5
5.1 重量濃度について	5
5.2 粒径分布について	5
5.3 組成について	6
ま と め	6

まえがき

道路トンネルの換気に対する従来の考え方は、自動車排出する有害成分により汚染されるトンネル内空気に外部から新鮮空気を供給して希釈することによって通行車両および歩行者等の安全を確保し、そして、希釈された空気を排気塔あるいは坑口からトンネル外に排出し、拡散させる方法を採用している。しかし、この従来の換気方式では、トンネル延長が長くなると膨大な機械換気設備が必要となり、これが道路トンネルの長大化を妨げる一因ともなっている。また、延長が短いトンネルであっても周辺に生活活動地域が近接して存在する場合には、トンネルから排出される汚染空気が問題を起すことがある。このような状況にあって、道路トンネルでは従来のものに替わる新しい換気方式の開発ならびに排気塔、坑口から出る汚染空気の浄化技術の開発に対する強い要請があり、建設省土木研究所においては昭和47年度からトンネル内汚染空気浄化技術の開発を目的とした研究に着手している。

トンネル内空気を汚染している有害物質を大別すると、人体の生理に影響を及ぼす一酸化炭素(CO)、酸化窒素(NO_x)等の有害ガス成分と、通行車両の安全走行のための視距確保に影響を与える煤煙、砂じん等の粒子状浮遊物質の2つを挙げることができる。本報告書は、このうち換気に及ぼす影響が量的に最も大きい粒子状浮遊物質(浮遊粉じん)について、その濃度、粒径分布、組成などを実際のトンネルにおいて調査した結果を報告し、トンネル空気浄化技術(集じん技術)の開発のための基礎資料とするものである。

千葉支所長	市原 薫
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

1. 調 査 目 的

本調査は、道路トンネルにおいて視距障害を引起している浮遊粉じんに関して、その組成、濃度、粒径分布などについて現地実態調査を行ない、トンネル空気浄化装置（集じん装置）の開発に関する資料を得ることを目的としている。

2. 調査トンネルおよび調査期間

調査を実施したトンネルの概要および調査期間を表－1に示す。

表－1 調査トンネルおよび調査期間

トンネル名	トンネル延長 (m)	所 在 地	調査期間	備 考
東 栗 子	2,376	福島県福島市飯坂町 （一般国道13号線）	47年10月31日 ～ 11月 2日	送気半横流式換気
宇 津 之 谷	844	静岡県静岡市宇津之谷 （一般国道1号線）	47年11月 7日 ～ 11月 9日	立坑排気縦流式換気
矢 ノ 川	2,075	三重県尾鷲市賀田町 （一般国道42号線）	47年11月10日 ～ 11月12日	自然換気

3. 調 査 内 容

3.1 調査項目

調査項目および使用した計測器の概要を表－2に示す。

表－2 調査項目および計測器諸元

調査項目	計 測 器 名	測 定 原 理	測定結果として得られる値
粉じんの濃度 および粒径分布	粉 じ ん 計 （スイス・シグリスト社）	光 散 乱	単位体積中の含じん量 (mg/m^3) （連続測定）
	ダストカウンタ （ダン科学）	光 散 乱	単位体積中の粒度別個数 ($\text{個}/\ell$) （測定レンジ：0.5, 1, 2.5, 10 μ 以上）
	カスケードインパクタ （島津製作所）	慣 性 衝 突	単位体積中の粒度別重量 (mg/m^3) （捕集ノズル：6段（0.3～12 μ ））
	ハイボリュームサンブラ （米・スタプレクス社）	ろ 過	単位体積中の含じん量 (mg/m^3)
	煤煙透過率計 （松下電器）	光 透 過	光の透過率（ $\%$ ／100 m） （連続測定）
粉じんの組成	定性および定量分析	—	組成および各成分の割合（重量）
粉じん粒子形状	電子顕微鏡	—	粒子の大きさおよび形状

3.2 調査方法

計測器は、各トンネルの中央付近の路肩部に図-1に示す配置に設置した。測定状況を写真-1に示す。

測定時間は、できるだけ時間的な粉じん濃度の変動が少ない時期を選び、30分間を単位として測定した。なお、換気設備を有するトンネルにおいては、換気量を調節することにより所要の粉じん濃度が継続して得られるよう努めた。

(1) シグリスト粉じん計

粉じん濃度を調査期間中連続測定し、ペン書きレコーダに記録させた。測定レンジは $0 \sim 2 \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ FS}$ を使用した。

(2) ダストカウンタ

粒径 $0.5, 1, 2, 5, 10 \mu$ 以上の各レンジについて粉じん粒子数を測定記録した。サンプリング流量は $1 \text{ l} / \text{分}$ とし、測定時間は各レンジとも1分間とした。

(3) カスケードインパクト

捕集ノズル6段と最終段のろ紙の合計7段階の粒径分布を測定した。サンプリング流量は約 $70 \text{ l} / \text{分}$ (実流量) としたため、各捕集板における50%分離粒子径は $0.3, 0.8, 1.4, 2.7, 6.5, 12 \mu$ (粒子密度 $\rho = 2.0$ と仮定) となる。各捕集板に付着した粉じんの重量は直示天びんにより計量し、粒径分布曲線を求めた。

測定時間は、秤量の精度をあげるためできるだけ長時間をとることとし、粉じん濃度により1時間30分ないし15時間とした。

(4) ハイボリュームサンブラ

サンプリング流量が最大約 $1.2 \text{ m}^3 / \text{分}$ のサンブラ2台により測定した。このうち1台は30分間を測定時間としてサンプリングを行ない、付着した粉じんの重量を総吸引空気量で除して粉じん濃度を求めた。他の1台は、各トンネルにおいて調査期間を通して連続運転し、得られた試料により化学分析を行なった。

(5) 煤煙透過率計(VI計)

粉じん濃度を 100 m 区間の光の透過率により測定した。計測は調査期間中連続して行ない、ペン書きレコーダに記録させた。

(6) 化学分析

各トンネルにおいて採取した粉じんについて、定性および定量分析を行なった。試料の採取場所は次のとおりである。

A：東栗子トンネルの天井ダクト内堆積物

B：宇津之谷トンネル内の非常電話ボックス付着物

C：矢ノ川トンネル内の側壁配管上の堆積物

D：VI計のフィルタに付着した粉じん(3トンネルの粉じんが混合している)

E：ハイボリュームサンブラに付着した粉じん(採取量が少なかったため、3トンネルの試

料を合わせて分析した。

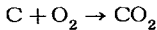
定性分析は、ガスクロマトグラフィによる分光分析を行なった。また、定量分析は次に示す方法によった。

① タール分

一般には多数の成分（ヒドロカーボンの他にタール、環状化合物、無機質等）が含まれているのでベンゼン可溶物として分析した。試料をベンゼン中に投入し、40～50℃で加温した後グラスフィルタ（5～10μ）でろ過しこれを定量した。

② 固形炭素

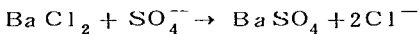
①のタール分定量の際グラスフィルタに付着したベンゼン抽出残渣中の炭素分を燃焼法により測定した。すなわち上記の残渣中にはC、 Al_2O_3 、 SiO_2 等が含まれているが、これ等を酸素気流中で1800℃にて燃焼させると次の反応が起って、 CO_2 を生ずる。



この CO_2 を一定PH値を示す吸収溶液に入れ電量測定（クロマチック法）する。

③ 無水硫酸

大氣中に放出されたイオウ酸化物は空氣中の酸素や粉じんなどにより、 $SO_2 \rightarrow SO_3$ となる。また水分なども関係し硫酸や無水硫酸の形で煤塵に吸着されている。したがって分析は温水で SO_4^{--} イオンとして抽出し定量を行なった。すなわち、水に試料を加え、70～80℃で加温した後5～10μのろ紙でろ過する。ろ液には SO_4^{--} の他に Cl^- 、 NO_3^- 等の陰イオンや Ca^{++} 等の陽イオンも含まれている。このろ液に塩化バリウムの10%水溶液を加えると次の反応によって $BaSO_4$ が生じ白濁する。



この白濁液を比濁法によりその吸光度から SO_4^{--} を定量する。

④ 灰 分

試料を約1000℃の空氣中で燃焼するとC、HC、繊維等は燃焼して気体となり、残る成分は、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、CaO等の無機物質が全部占める。これを定量する。

4. 調 査 結 果

(a) 各トンネルにおけるシグリスト粉じん計濃度と煤煙透過率（仮設定）の相関をプロットしたものを図-2～4に示す。

(b) 図-2～4からシグリスト粉じん計濃度がゼロのときの煤煙透過率（仮設定）の値を求め、これが100%となるように煤煙透過率を補正した結果を図-5に示す。

(c) ハイボリュームサンブラによる粉じん重量の測定結果を表-3に示す。

(d) 表-3の結果のうち採取時間が30分間のデータについて、それと対応する煤煙透過率（30分間平均）との相関を図-6に示す。

(e) 同様に、ハイボリュームサンブラの結果とシグリスト粉じん計濃度（30分間平均）との

相関を図－ 7 に示す。

- (f) ダストカウンタの結果とシグリスト粉じん計濃度との関係を、各測定レンジごとに図－ 8 ～ 1 2 に示す。
- (g) カスケードインパクトによる粒径別粉じん重量測定結果を図－ 1 3 ～ 2 0 に示す。
- (h) 採取した粉じんの定性分光分析結果を表－ 4 に、定量分析結果を表－ 5 に、電子顕微鏡写真を写真－ 2 ～ 6 に示す。

5. 考 察

5.1 重量濃度について

粉じんの重量濃度を直接測定する計測器として、ハイボリュームサンブラとカスケードインパクトを使用し、間接的（光学的）に測定するものとして、シグリスト粉じん計を使用した。これら 3 者のデータを比較すると図－ 2 1 のようになり、シグリスト粉じん計の測定値に比べてハイボリュームサンブラ約 5.7 倍、カスケードインパクトが約 2.3 倍となつてかなりの差が見られる。この原因として、次のことが考えられよう。

- i) 間接測定（シグリスト粉じん計）において、較正用の標準粒子の粒径・形状・色などによる光学的性質が、実測の粉じん粒子のそれと違うことによるもの。（較正用標準粒子としては、白色のポリスチロールラテックスが用いられている）
- ii) カスケードインパクトの場合、各段のノズルのケース壁面に粉じんが付着することによる誤差。
- iii) 測定の位置（高さ）、向きなどによるもの（シグリスト粉じん計とカスケードインパクトは路面から約 1.5 m の高さで車道と直角方向から、また、ハイボリュームサンブラは路肩上でサンプリングした）。
- iv) ろ紙の捕集効率の相違によるもの（ハイボリュームサンブラは 0.3μ で 99.98%、カスケードインパクトは 0.3μ で 99.99%）

5.2 粒径分布について

粉じんの粒径分布は、ダストカウンタ（図－ 8 ～ 1 2）およびカスケードインパクト（図 1 3 ～ 2 0）により測定した。この両者の結果を比較するため、次の操作をした。

ダストカウンタの結果により粒径別の粒子個数を図示すると図－ 2 2 が得られる。ただし、この図はシグリスト粉じん計で 0.5 mg/m^3 の濃度のときのものである。一方、カスケードインパクトの結果から各段の重量%の平均値を算出すると図－ 2 3 の実線のようにになる。この値を各段に相当する粒径の 3 乗値で割り、 1μ における値を相対個数 1 0 0 に規格化して図示すると、同図の点線のようにになる。この図の中に、図－ 2 2 の結果を（ 1μ の個数を相対個数 1 0 0 に規格化して）記入すると 1 点鎖線のようになり、両者の傾向はよく一致する。なお、この操作の途中には、①カスケードインパクトの 5 0 % 分離粒子径およびダストカウンタの表示粒径が実際の粉じん粒径に一致

していること、②カスケードインパクトの各段の粉じんが等しい比重を持っていること、を仮定している。

以上の結果から、トンネル内の粉じんは 0.2μ 以下の粒子をも多く含んでいること、および 0.2μ 以上の粉じん個数はほぼ粒径の 3 乗に反比例して減少していることがわかった。

また、電子顕微鏡の結果（写真－2～6）を調べると、40,000 倍の写真中で約 $1.2 \text{ mm } \phi$ の粒子が多数見出され、これを実寸になおすと約 0.03μ となる。したがって、トンネル内浮遊粉じんの一次粒子はこの辺の大きさにあると考えられ、上述のカスケードインパクトやダストカウンタによる結果を裏付けるものであろう。

なお、カスケードインパクトの捕集板に採取された粉じんを目視観察した結果、上から 3 段目まですなわち 2.7μ （50%分離粒径）以上の粒子は灰色ないし灰黒色であり、下段へいくに従って真黒色に近づいていた。このことから、砂成分が粒径の大きい方に分布し、カーボン粒子が粒径の小さい方にあることが推定できよう。

5.3 組成について

定性分光分析の結果（表－4）に示されるように、検出元素としては、Si が主成分であり、それに次いで Al, Na, Ca, Fe が多い。これらの元素は、 SiO_2 , Al_2O_3 , などの形で土や砂の主成分となっているものであり、トンネル内浮遊粉じんに砂じんが多く含まれていることを示している。

また、定量分析の結果（表－5）からも、灰分すなわち砂じんが 50%以上を占めていることがわかる。試料 D, E は浮遊中の粉じんをろ過により捕集したものであるのに対して、試料 A, B, C はトンネル内に堆積していたものであるため、組成にかなり相違が見られる。さらに、D と E では固型炭素分が 16%～37% で約 2 倍の差があるが、これは試料 D を採取した V I 計のフィルタの目が荒いため、粒径の小さいカーボン粒子が素通りしたためであると推論できる。

ま と め

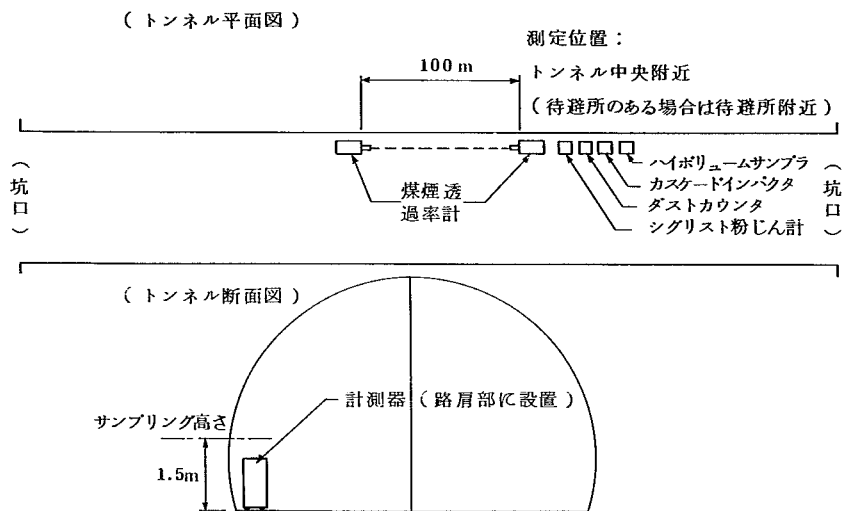
今回、実態調査を実施した 3 トンネルの結果から次のことが明らかとなった。

- ① トンネル内浮遊粉じんの粒径は非常に小さく、 0.2μ 以下の粒子も多く含まれている。
- ② 3 トンネルを平均した浮遊粉じんの重量組成は、砂じん^{（主成分）}が主成分で含有率が約 $\frac{1}{2}$ 、次いでカーボン約 $\frac{1}{3}$ 、残りがタール分やイオウ分である。
- ③ トンネル内浮遊粉じんの粒径分布のうち、粒径の大きい部分は砂じんが主であり、カーボンは粒径が小さい部分に多い。したがって、視距等の問題からみればカーボンの影響が大部分と考えられる。

なお、この種の調査を進めるうえで、今後さらに検討が必要な事項として次のものをあげることができよう。

- ① 粒径が 0.2μ 以下の粒子を適確にとらえる測定法を開発すること。

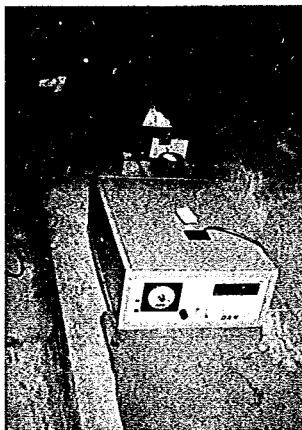
- ② トンネルや交通性状（交通量，車種構成など）の違いによる差異を調査すること。
- ③ 各種の粉じん計相互の誤差を除くこと，あるいは，相関を求めること。



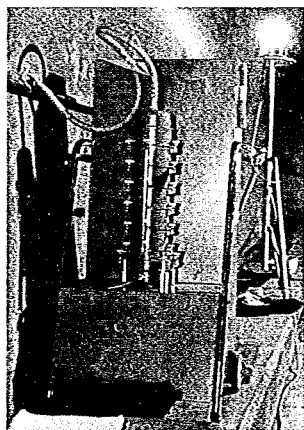
図一 1 計 測 器 配 置 図



(a) シグリスト粉じん計



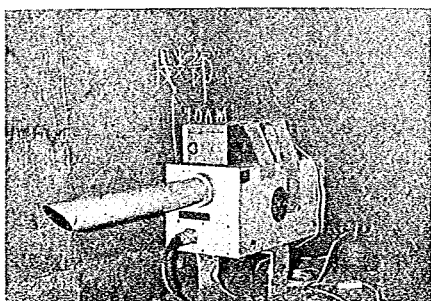
(b) ダストカウンタ



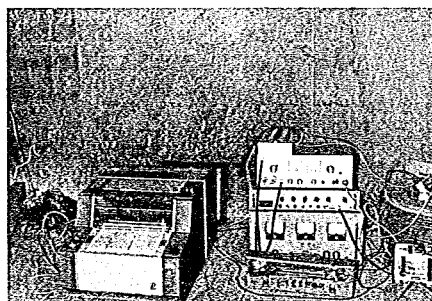
(c) カスケードインパクト



(d) ハイボリュームサンブラ



(e) 煤煙透過率計 (VI計)



(f) レコーダとVI計用増幅器

写真-1 測定状況

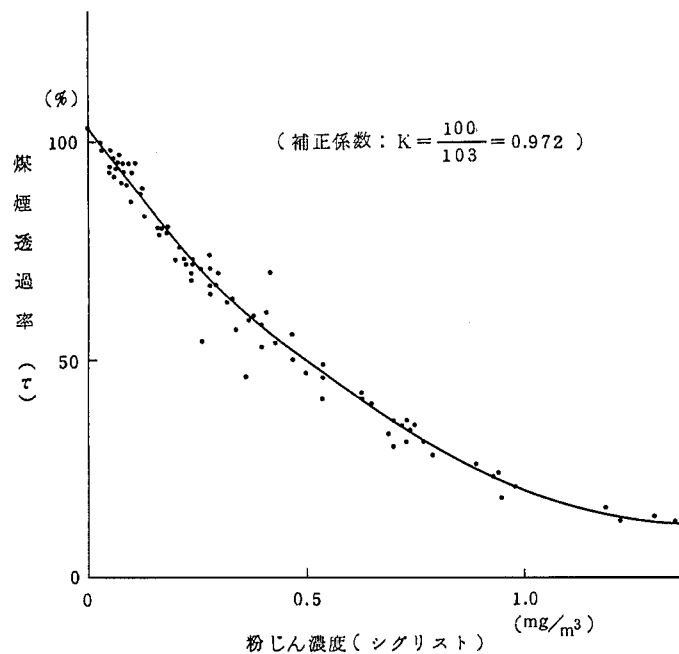


図-2 粉じん濃度と煤煙透過率(仮設定)との関係
(東栗子トンネル)

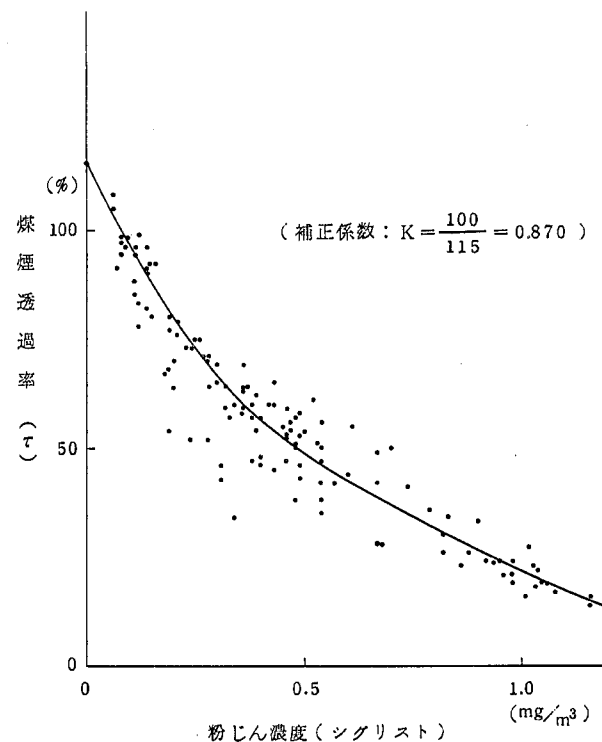


図-3 粉じん濃度と煤煙透過率(仮設定)との関係
(宇津之谷トンネル)

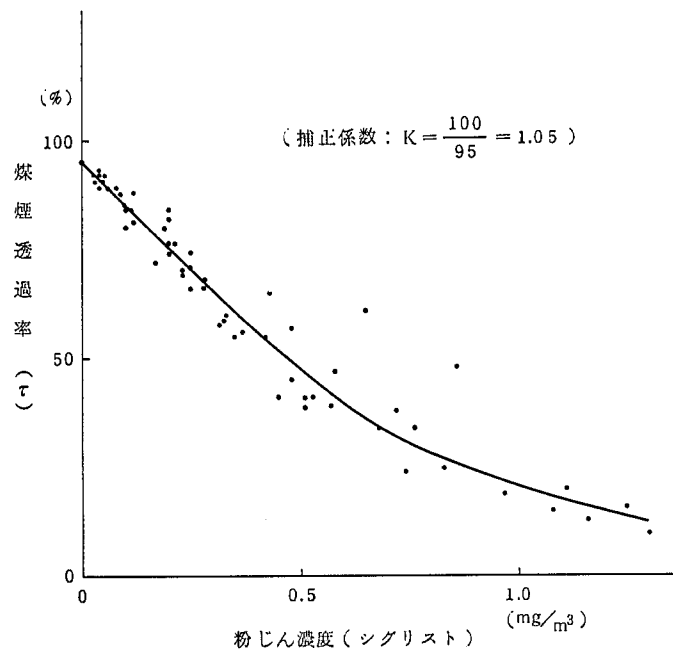


図-4 粉じん濃度と煤煙透過率(仮設定)との関係
(矢ノ川トンネル)

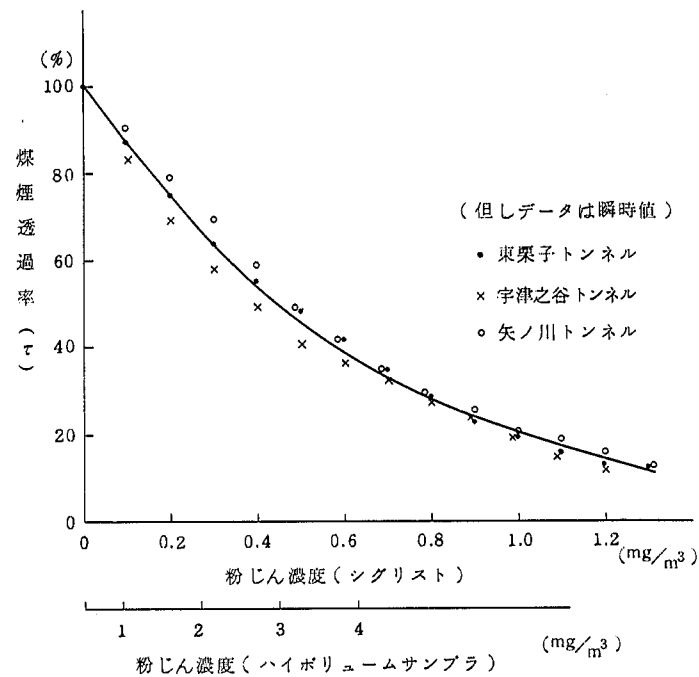


図-5 粉じん濃度と煤煙透過率との関係

表-3 ハイボリューム サンプラによる測定結果

順	トンネル名	開始時刻	測定時間 (分)	流 量 (静 圧)	単位体積当りの 粉じん重量 (mg/m^3)	煤煙透過率(%)
1	東 栗 子	10/31 15:31	1187			
2		11/1 10:07	30	31.5	3.67	35
3		10:40	30	31.5	4.38	27
4		11:18	337			
5		11:22	30	35	2.15	64
6		11:55	30	35	2.32	63.5
7		12:28	30	34	1.97	64
8		13:01	30	34	2.63	57
9		13:36	30	34	2.91	63.5
10		14:09	30	34.5	3.44	44
11		14:42	31	32	3.77	33.5
12		15:17	30	34.5	2.36	59
13		15:50	30	33	3.10	47.5
14		16:23	30	33	4.14	54
15	宇 津 之 谷	11/7 19:00	1030			
16		11/8 9:22	30	34	2.69	51
17		9:55	30	34	3.25	43
18		10:30	30	33	3.75	29
19		11:05	30	33	2.10	39
20		11:40	30	34	3.05	55
21		13:00	30	33	3.03	47
22		12:15	193	29.5	2.75	
23		13:40	30	33	3.03	56
24		14:15	30	33	3.50	43.5
25		14:50	30	33	3.67	35.5
26	矢 ノ 川	11/10 13:42	1268			
27		13:53	30	26	1.72	83
28		14:32	30	30.5	1.31	90.5
29		15:04	30	30	1.26	82
30		16:54	26	31	1.63	72.5
31		17:23	30	30	1.26	79
32		17:56	22	30.5	0.84	91.5
33		18:23	30	31	0.87	93.5
34		18:56	30	30.5	0.73	89
35		(19:30)	801	29.5	0.52	—
36		11/11 8:54	30	29.5	2.20	85.5
37		9:25	30	30	2.39	68
38		9:57	30	27.5	3.17	49.5
39		10:28	30	27.5	3.29	33.5
40		11:00	30	29	2.48	69
41		11:32	30	28	3.16	53

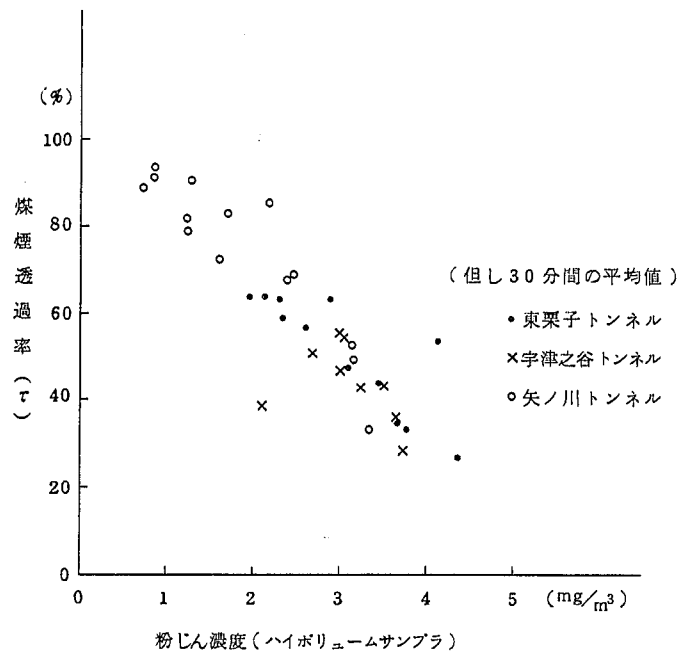


図-6 粉じん濃度と煤煙透過率との関係

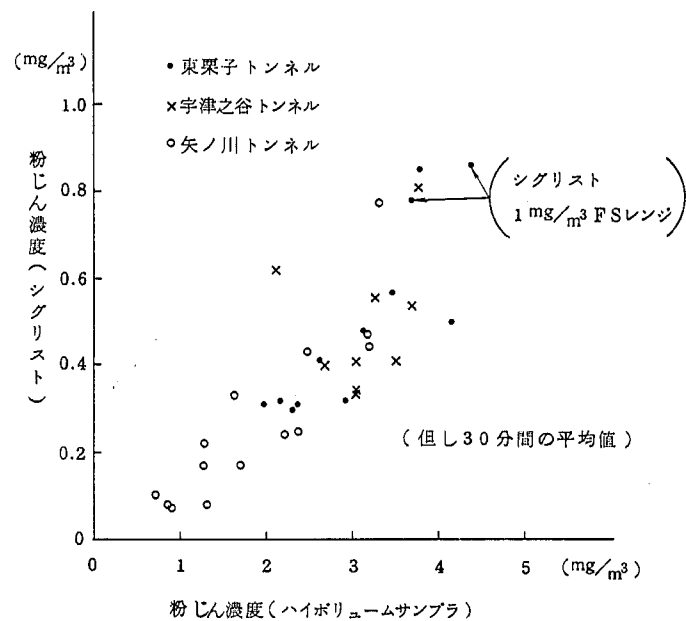


図-7 ハイボリュームサンブラとシグリスト粉じん計の指示比較

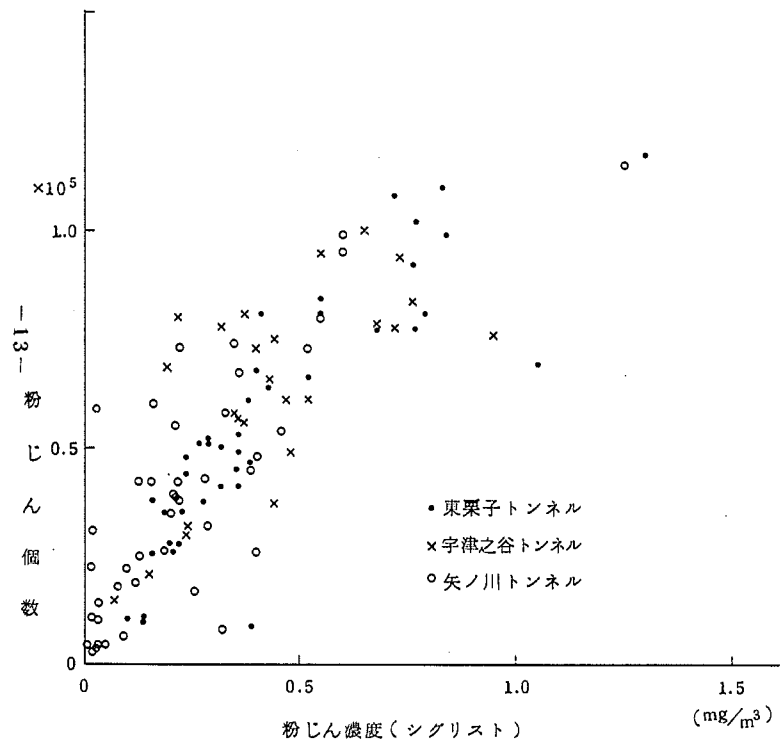


図-8 粉じん濃度と粉じん個数
($d=0.5\mu$ 以上)

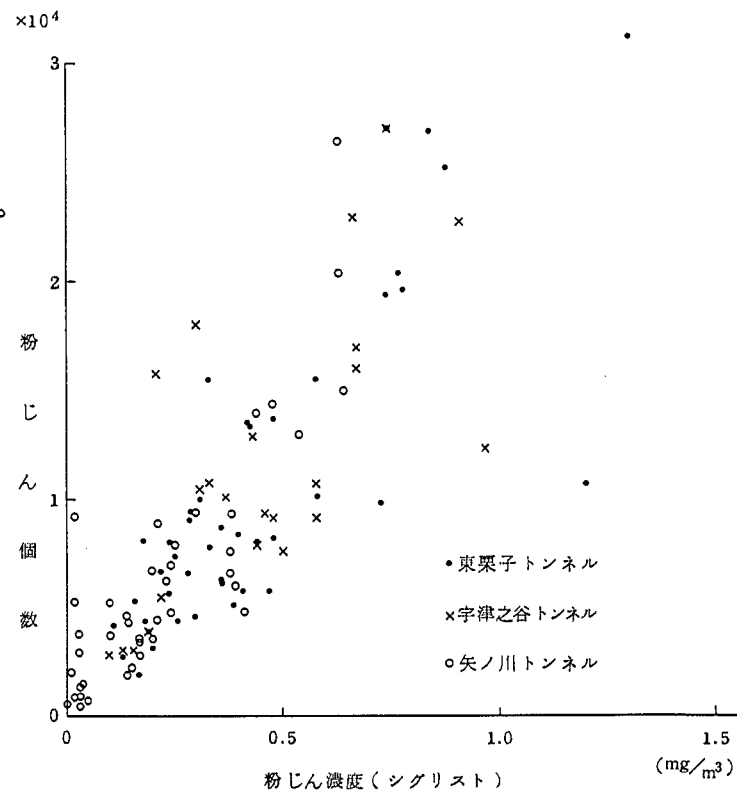


図-9 粉じん濃度と粉じん個数
($d=1.0\mu$ 以上)

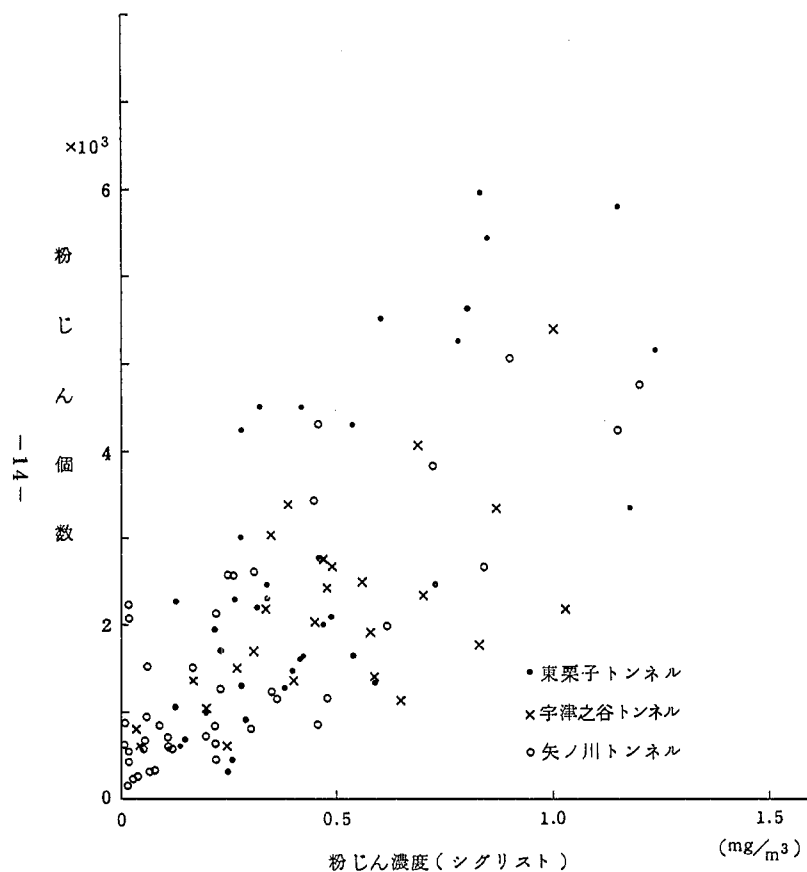


図-10 粉じん濃度と粉じん個数
($d = 2.0 \mu$ 以上)

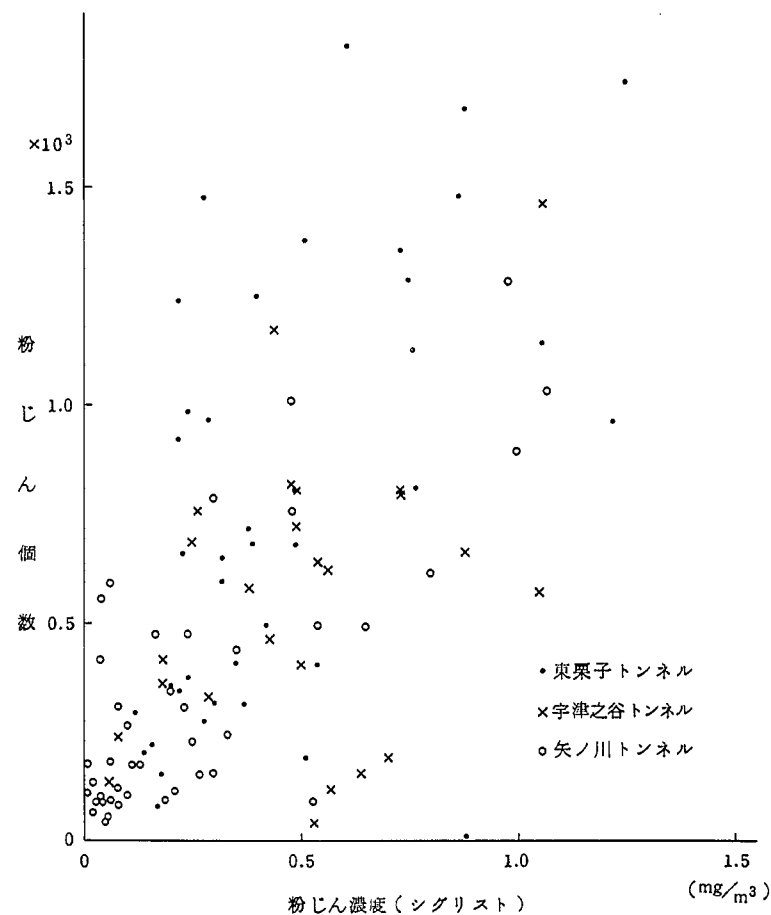


図-11 粉じん濃度と粉じん個数
($d = 5.0 \mu$ 以上)

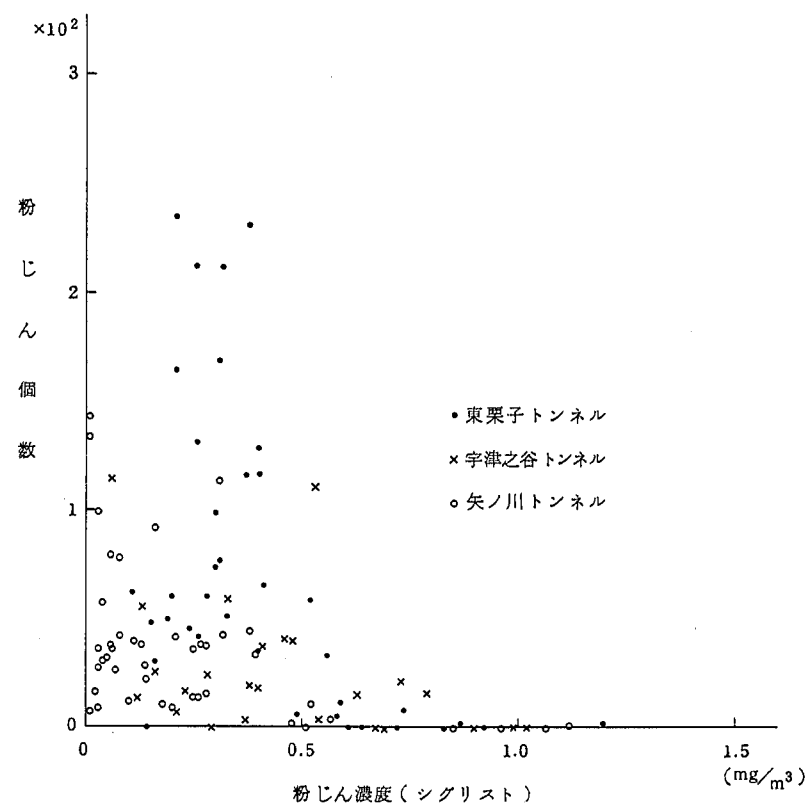


図-12 粉じん濃度と粉じん個数
($d=10\mu$ 以上)

測定場所：東栗子トンネル西側待避所付近

測定時間：昭和47年10月31日17時00分から930分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板 順	1	5.8	○ シグリスト粉じん計 0.27 mg/m ³ (10/31 17時00分～11/1 8時30分の平均値) ○ ハイボリュームサンプラ 1.7 mg/m ³ (10/31 15時31分～11/8分間)
	2	1.3	
	3	1.9	
	4	1.5	
	5	2.8	
	6	2.1	
ろ 紙		14.1	
合 計		29.4	
吸引空気量 (m ³)		65.6	
粉じん濃度 (mg/m ³)		0.45	

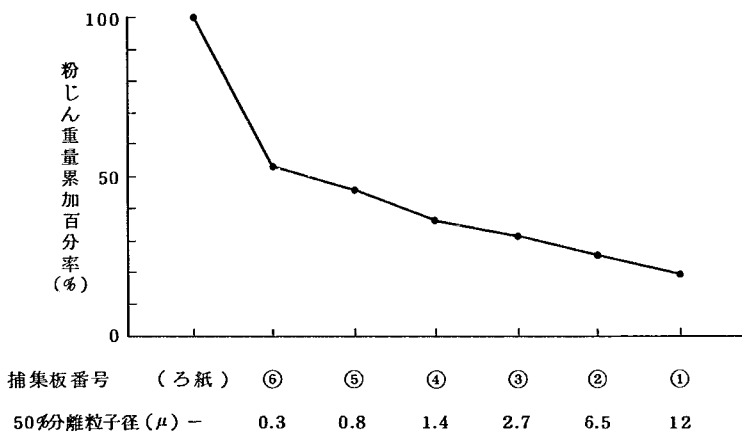


図-13 カスケードインパクタの測定結果

測定場所：東栗子トンネル西側待避所付近

測定時間：昭和47年11月1日8時45分から120分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板 毎	1	1.0	○シグリスト粉じん計 0.59 mg/m ³ (8時45分~10時45分の平均値) ○ハイボリュームサンブラ (該当なし)
	2	2.9	
	3	0.2	
	4	0.7	
	5	1.1	
	6	0.8	
ろ 紙		3.1	
合 計		9.7	
吸引空気量 (m ³)		8.59	
粉じん濃度 (mg/m ³)		1.13	

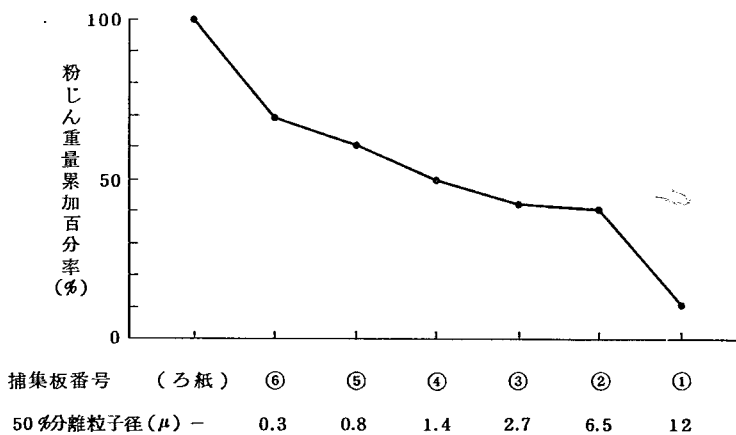
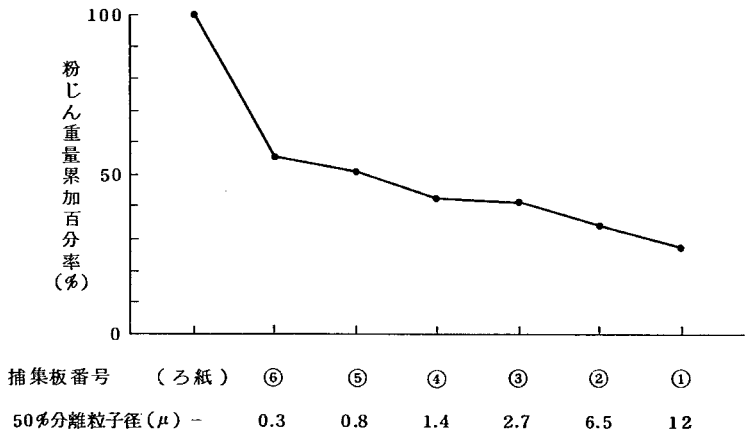


図-14 カスケードインパクタの測定結果

測定場所：東栗子トンネル西側待避所付近

測定時間：昭和47年11月1日15時17分から90分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板 の	1	2.4	○シグリスト粉じん計 0.48 mg/m ³ (15時17分～16時47分の平均値) ○ハイボリウムサンブラ 3.2 mg/m ³ (15時17分～96分間)
	2	0.6	
	3	0.6	
	4	0.1	
	5	0.8	
	6	0.4	
ろ 紙		4.1	
合 計		8.9	
吸引空気量 (m ³)		6.47	
粉じん濃度 (mg/m ³)		1.38	



図ー 1 5 カスケードインパクトの測定結果

測定場所：宇津之谷トンネル立坑付近

測定時間：昭和47年11月7日17時34分から900分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板	1	6.2	シグリスト粉じん計 0.44 mg/m^3 (11/7 17時34分~11/8 8時34分の平均値) ハイボリュームサンブラ (該当なし)
	2	4.6	
	3	3.6	
	4	2.6	
	5	4.6	
	6	4.1	
ろ 紙		31.1	
合 計		56.7	
吸引空気量 (m^3)		62.9	
粉じん濃度 (mg/m^3)		0.90	

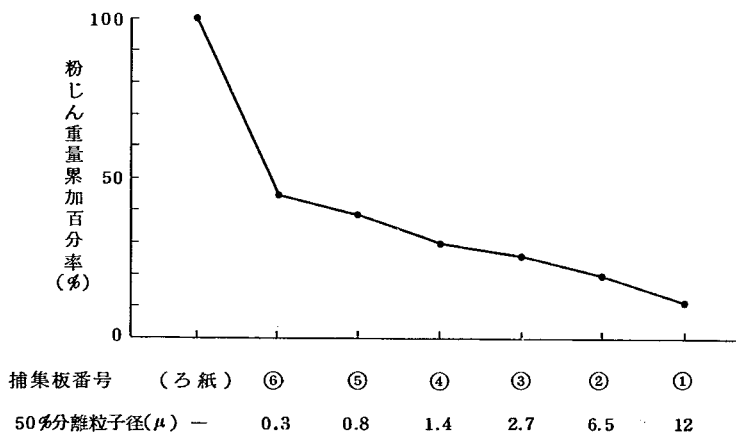


図-16 カスケードインパクトの測定結果

測定場所：宇津之谷トンネル立坑付近

測定時間：昭和47年11月8日11時48分から206分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板 の	1	3.1	○シグリスト粉じん計 0.48 mg/m ³ (11時48分～16時00分の平均値) ○ハイボリュームサンブラ 3.3 mg/m ³ (11時40分～220分間)
	2	2.2	
	3	0.8	
	4	0.8	
	5	1.5	
	6	0.8	
ろ 紙		3.1	
合 計		12.2	
吸引空気量 (m ³)		14.1	
粉じん濃度 (mg/m ³)		0.87	

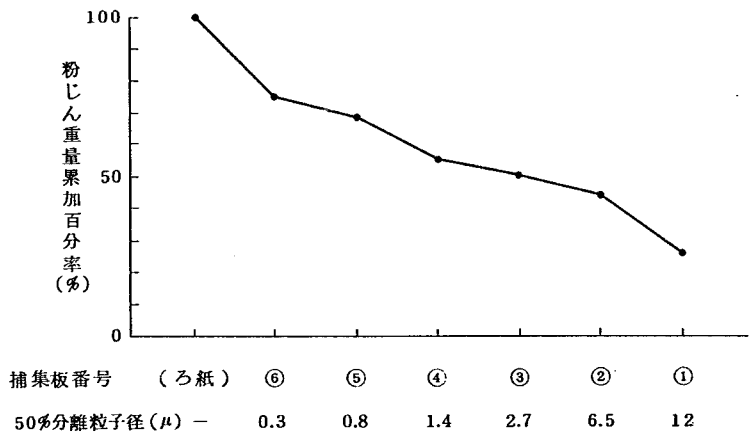


図-17 カスケードインパクトの測定結果

測定場所：矢ノ川トンネル中央付近

測定時間：昭和47年11月10日10時35分から300分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板 の	1	1.7	○シグリスト粉じん計 0.22 mg/m^3 (12時7分～15時35分の平均値) ○ハイボリウムサンブラ 1.3 mg/m^3 (13時53分～121分間)
	2	0.5	
	3	1.3	
	4	1.0	
	5	1.9	
	6	1.6	
ろ 紙		10.1	
合 計		18.0	
吸引空気量 (m^3)		18.9	
粉じん濃度 (mg/m^3)		0.95	

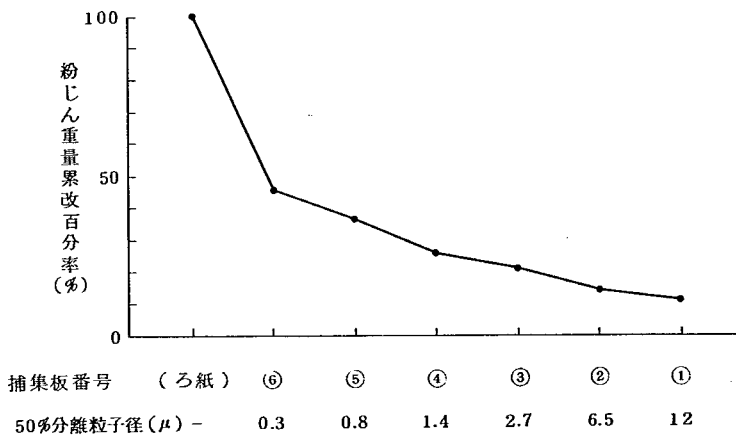


図18 カスケードインパクタの測定結果

測定場所：矢ノ川トンネル中央付近

測定時間：昭和47年11月10日17時20分から9時42分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板 の	1	1.4	○シグリスト粉じん計 0.10 mg/m ³ (11/10 17時20分～11/11 9時20分の平均値) ○ハイボリュームサンプラ 0.52 mg/m ³ (11/10 19時30分～8時10分間)
	2	0.9	
	3	0.4	
	4	0.9	
	5	1.6	
	6	1.4	
ろ 紙		13.1	
合 計		19.6	
吸引空気量 (m ³)		66.2	
粉じん濃度 (mg/m ³)		0.30	

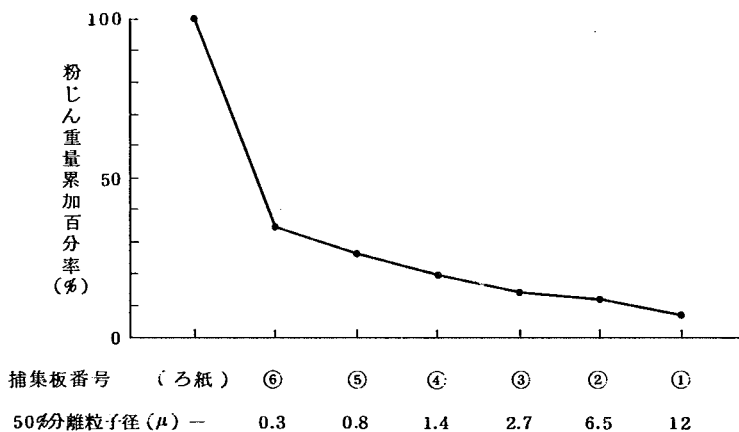


図-19 カスケードインパクタの測定結果

測定場所：矢ノ川トンネル中央付近

測定時間：昭和47年11月11日9時53分から120分間

		粉じん量 (mg)	備 考
捕 集 板	1	1.4	○シグリスト粉じん計 0.52 mg/m ³ (9時53分～12時00分の平均値) ○ハイボリュームサンブラ 3.0 mg/m ³ (9時57分～12時5分間)
	2	0.9	
	3	0.4	
	4	0.5	
	5	0.8	
	6	0.8	
ろ 紙		6.1	
合 計		10.8	
吸引空気量 (m ³)		8.50	
粉じん濃度 (mg/m ³)		11.27	

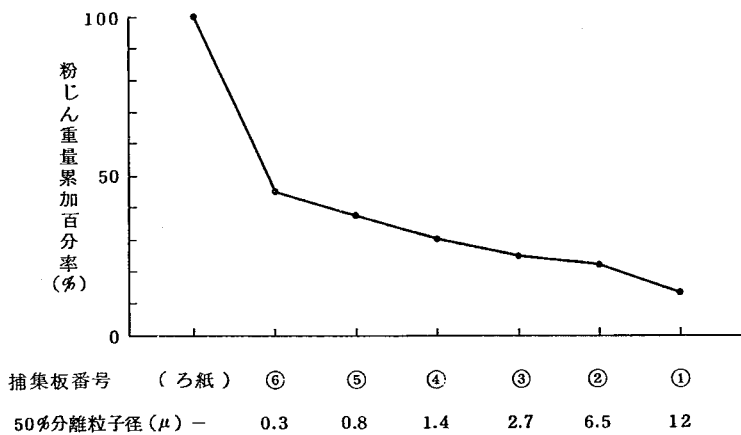


図-20 カスケードインパクトの測定結果

表-4 定性分光分析結果

3.4 Mエバート型 分光器 回折格子：600本/mm 次数：1 スリット巾15μ，電極間隙3mm							試料名 検出元素	1	2	3	4	5	6							
								A (東栗子 トンネル)	B (宇津之谷 トンネル)	C (矢ノ川 トンネル)	D (VI計)	E (ハイポリウム サンブラ)								
分析条件							1	2	3	4	5	6	Ag	—	<WWW	—	<WWW	<WWW		
露光時間(sec)							10	#	#	#	#			Al	SS	SS	SS	SS	SS	
CO-DC-ARC (280V)	A	10	#	#	#	#		As	—	—	—	—	—							
								B	—	—	—	WWW	<WWW	WWW						
UNI-ARC FULL, HALF (280V)	A							Ba	WWW	WWW	WWW	WWW	WWW							
								Bi	—	—	—	—	—	—						
I-G AC-ARC S.S. (280V)	A							Ca	S	M	S	S	S							
								Cd	—	—	—	—	—	—						
SPARK	PRI.V							Co	WWW	WWW	<WWW	<WWW	<WWW							
								Cr	WW	W	WW	WW	WW	WW						
	L							Cu	WW	WW	WW	WW	WW							
	C							Fe	S	S	M→S	M→S	M→S							
	Ω							K	W	W	W	W	W							
	A							Mg	M	M	M	M	M							
	BREAK HALF							Mn	W	W	W	W	W							
								Mo	WWW	WWW	—	—	—							
	AC-ARC (2,400~ 4,800V)	A							Na	S	S	S	S	S						
									Ni	WW	WW	WWW	WWW	WWW						
乾板								AGFA 34B50		P	—	—	—	—	—	—				
現像液								Fuji Rendol		Pb	W	W	WW	W	W					
定着液								Fuji-Fix		Sb	—	—	—	—	—					
備考								Si	SSS	SSS	SSS	SSS	SSS							
								Sn	<WWW	WWW	<WWW	<WWW	WWW							
								Ti	W	W	WW	WW	WW							
								V	WW	WW→W	WWW	WWW	WWW							
								Zn	WW	WWW	WWW	WW	WW							
								記	SSS. SS. S. M. W. WW. WWW. <WWW. (主成分) 多い ← 中等 → 少ない (痕跡)											
								号	—：全く認めない /：判定不能又は困難											

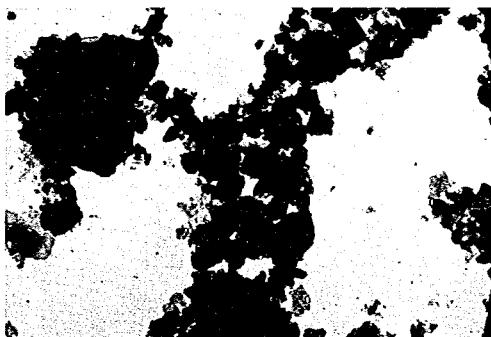
表-5 定量分析結果

試験方法		タール分			重量法	
		固型炭素分			電量測定法	
		無水硫酸			吸光光度法	
		灰分			重量法	
試料名 (No.)	A (東栗子トンネル)	B (宇津之谷トンネル)	C (矢ノ川トンネル)	D (VI計)	E (ハイポリウムサンブラ)	
試験項目						
タール分(%)	1.6	2.1	3.8	6.4	10.6	
固型炭素分(%)	5.1	6.1	7.3	16.0	37.0	
無水硫酸(SO ₃)(%)	14.5	9.5	36.2	8.1	17.1	
灰分(%)	83.6	85.3	65.0	67.9	50.1	
(備考)						
なお、無水硫酸〔SO ₃ 〕含有率は、吸光光度法により、定量したSO ₄ ²⁻ より換算して求めた。						

写真一 2 電子顕微鏡写真(試料A:東栗子トンネル)

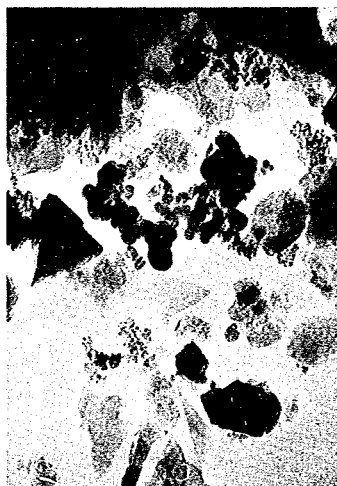
0 2 4 (μ)

$\times 5000$

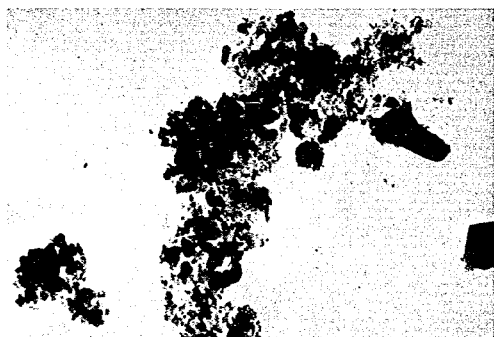


0 0.5 1.0 (μ)

$\times 40000$



$\times 5000$



$\times 40000$



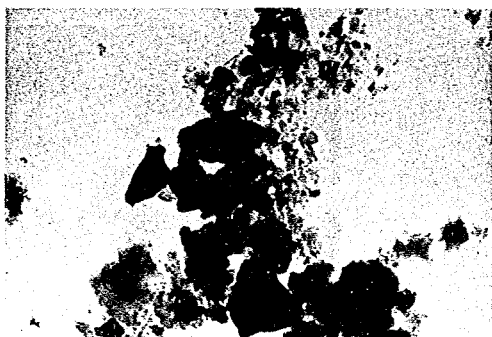
$\times 5000$



写真一 3 電子顕微鏡写真(試料B:宇津之谷トンネル)

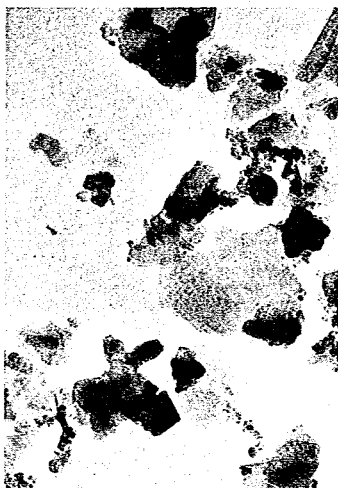
0 2 4 (μ)

$\times 5000$

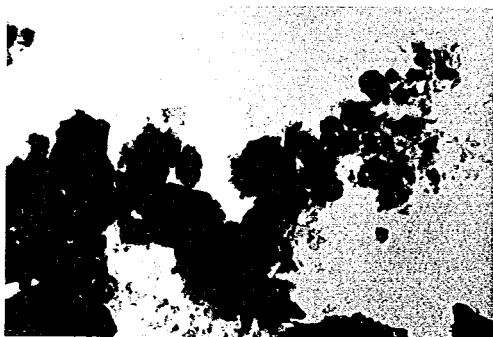


0 0.5 1.0 (μ)

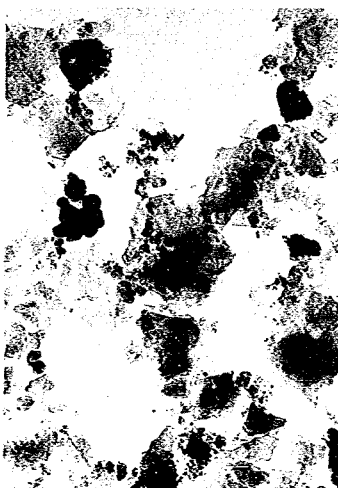
$\times 40000$



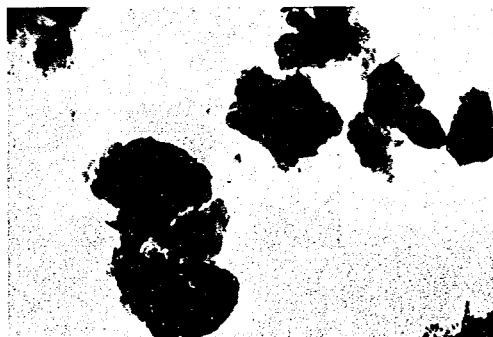
$\times 5000$



$\times 40000$



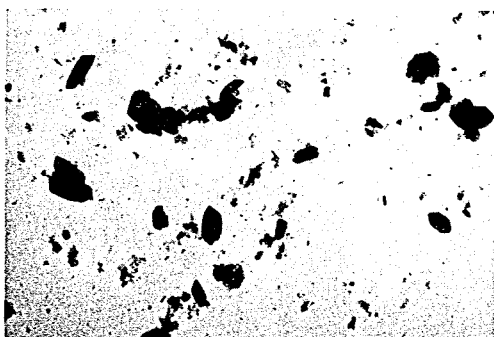
$\times 5000$



写真一4 電子顕微鏡写真（試料C：矢ノ川トンネル）

0 2 4 (μ)

$\times 5000$

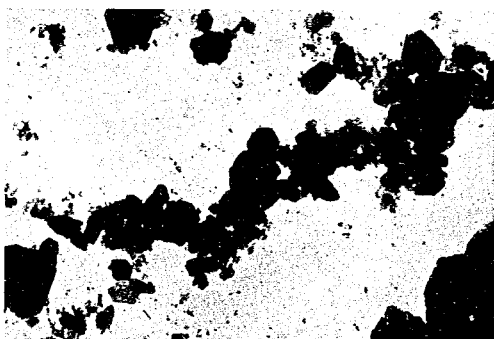


0 0.5 1.0 (μ)

$\times 40000$



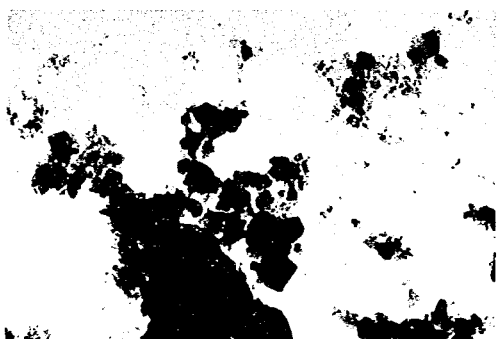
$\times 5000$



$\times 40000$



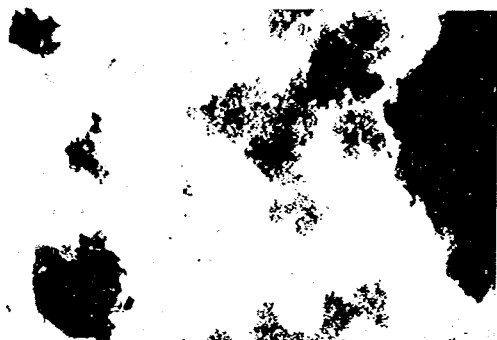
$\times 5000$



写真—5 電子顕微鏡写真（試料D：煤煙透過率計）

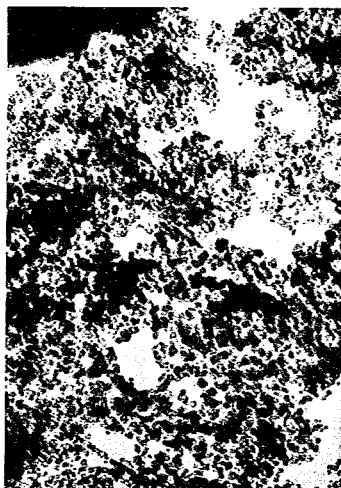
0 2 4 (μ)

$\times 5000$

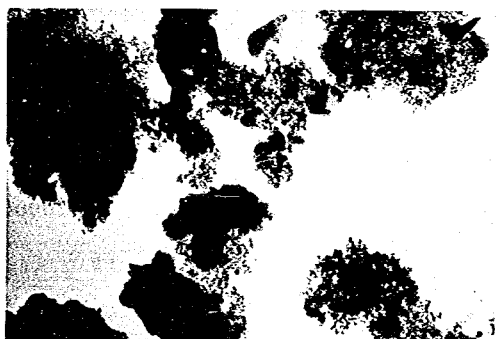


0 0.5 1.0 (μ)

$\times 40000$



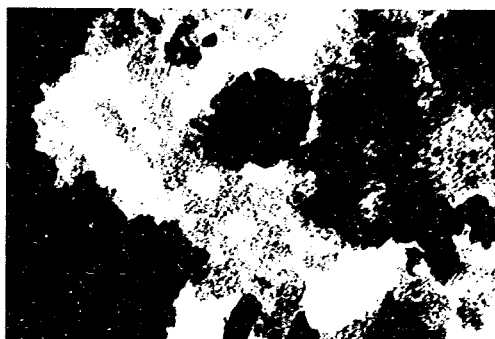
$\times 5000$



$\times 40000$



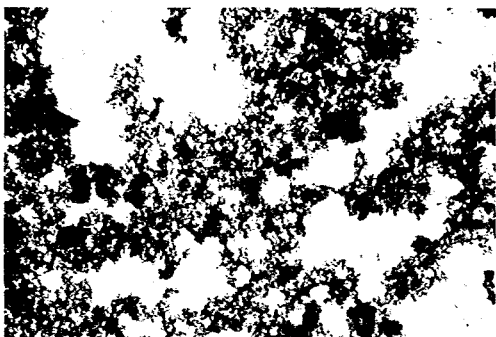
$\times 5000$



写真—6 電子顕微鏡写真（試料E：ハイポリウムサンブラ）

0 2 4 (μ)

$\times 5000$

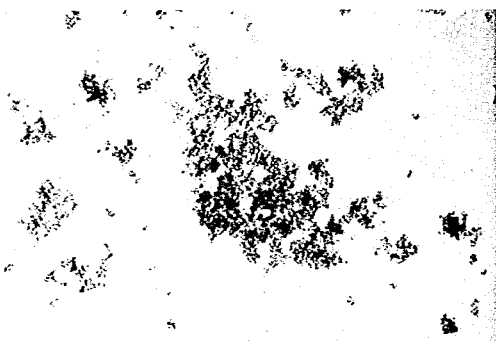


0 0.5 1.0 (μ)

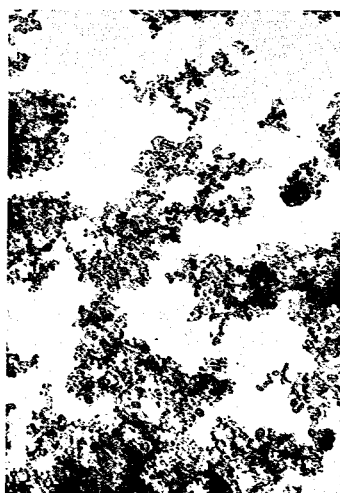
$\times 40000$



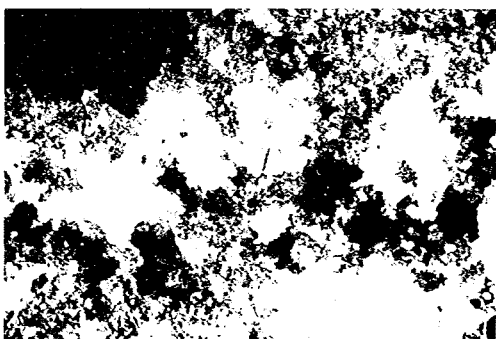
$\times 5000$



$\times 40000$



$\times 5000$



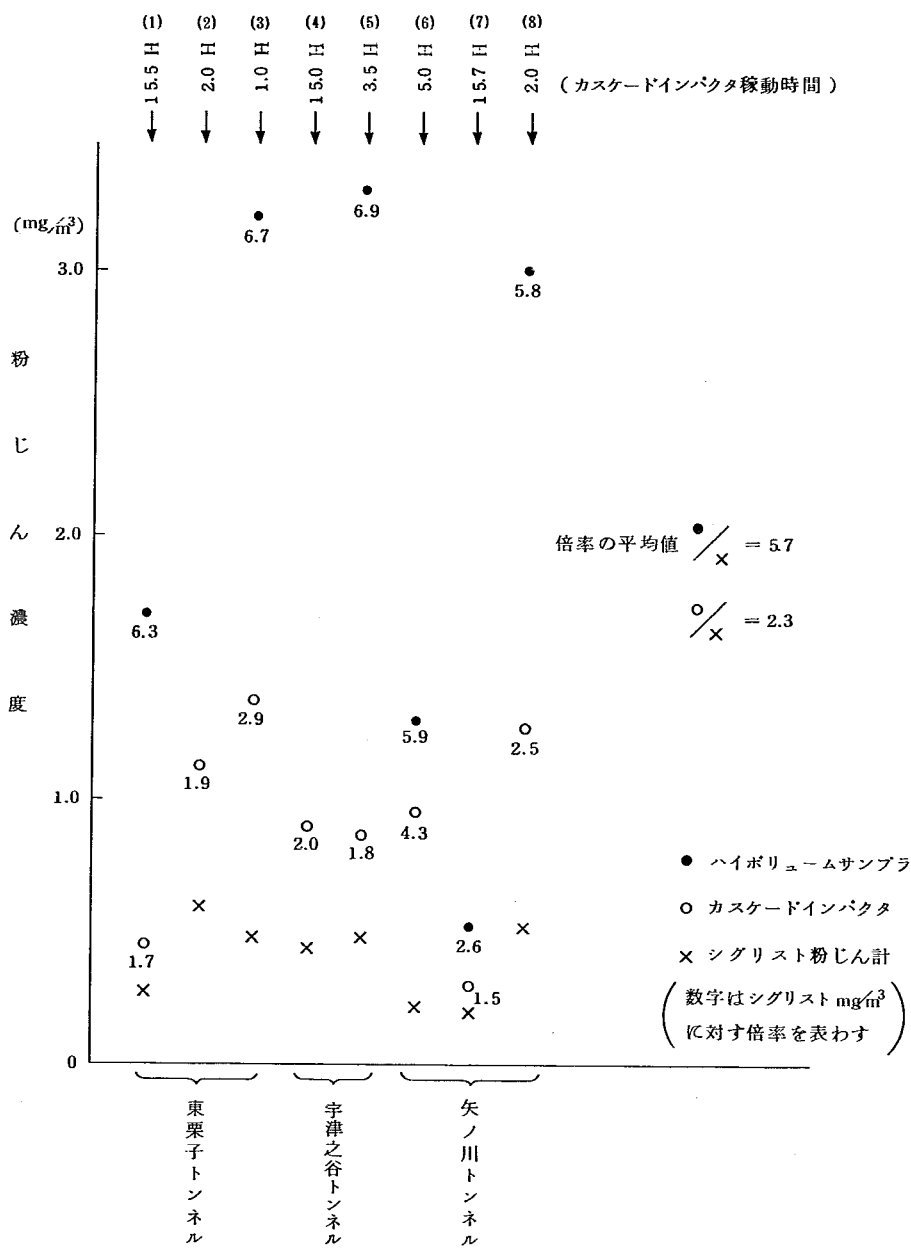


図-21 各測定器による粉じん濃度の比較

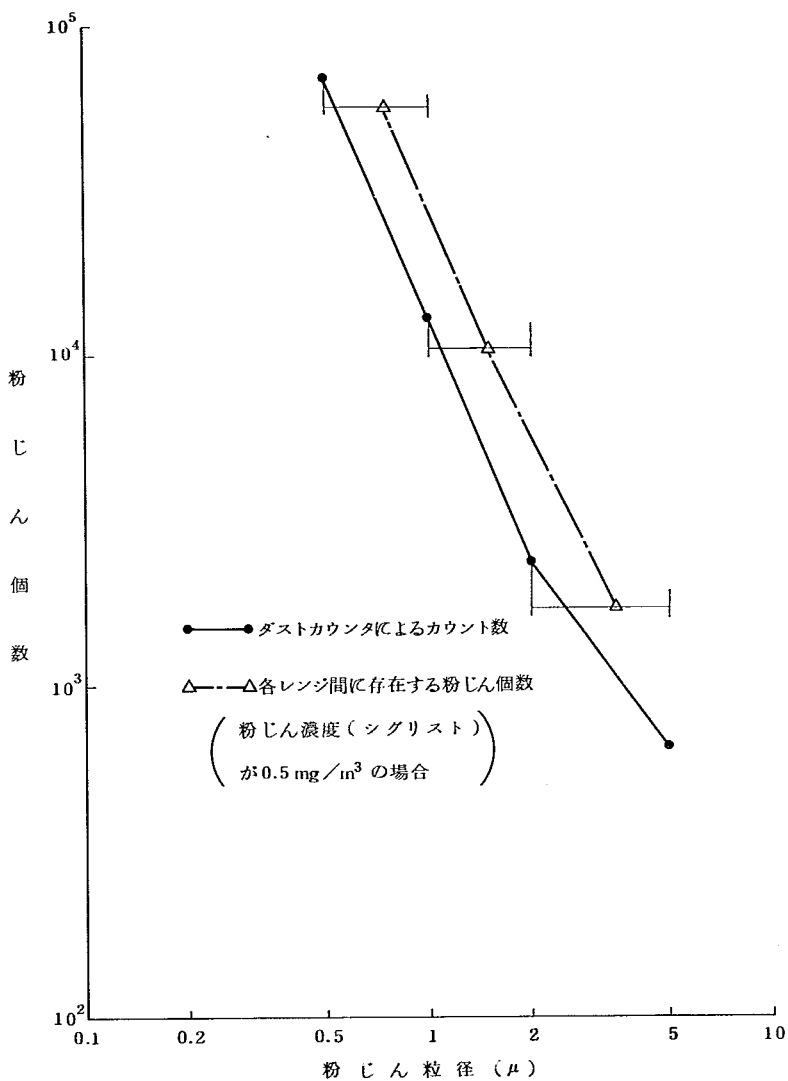


図-22 粒径別粉じん個数 (ダストカウンタ)

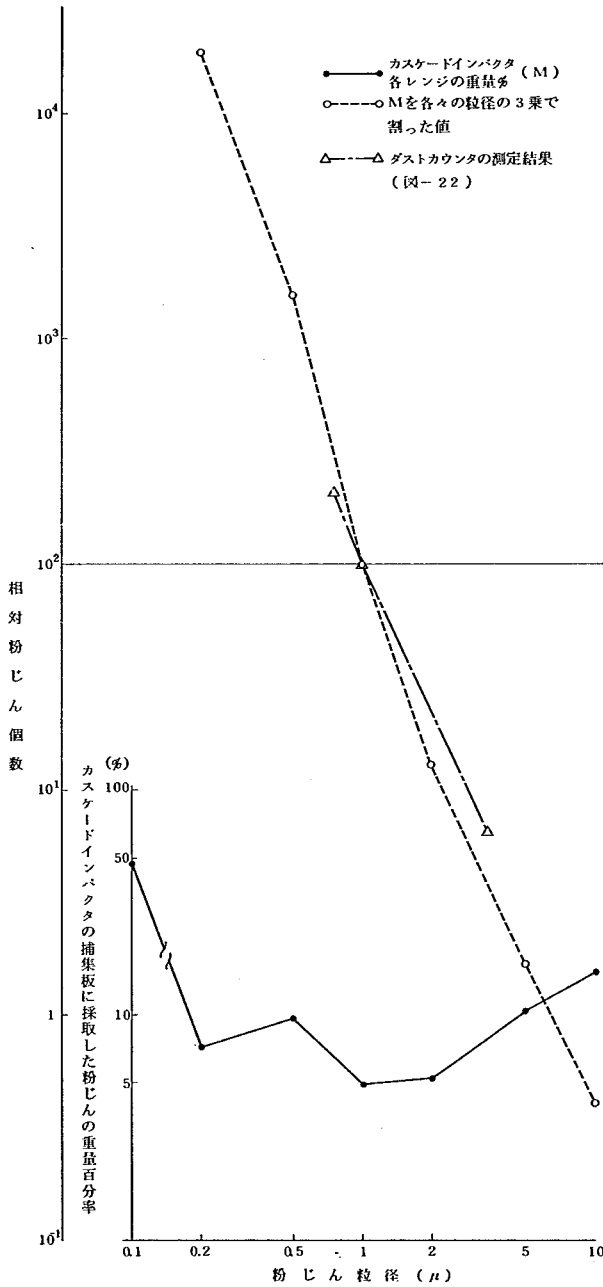


図-23 カスケードインパクトによる見かけの相対粉じん個数

道路トンネル内^浮粉遊粉じんの
実態調査

土木研究所資料第810号
昭和48年3月

市原 薫，立石 俊一
今田 徹，水谷 敏則

要 旨

道路トンネルにおいて視距障害を引起している
浮遊粉じんの組成，濃度，^粉粉径分布などに関する
現地実態調査の結果をまとめたものである。

