桧山トンネル粉じん対策散水調査

常陸　了

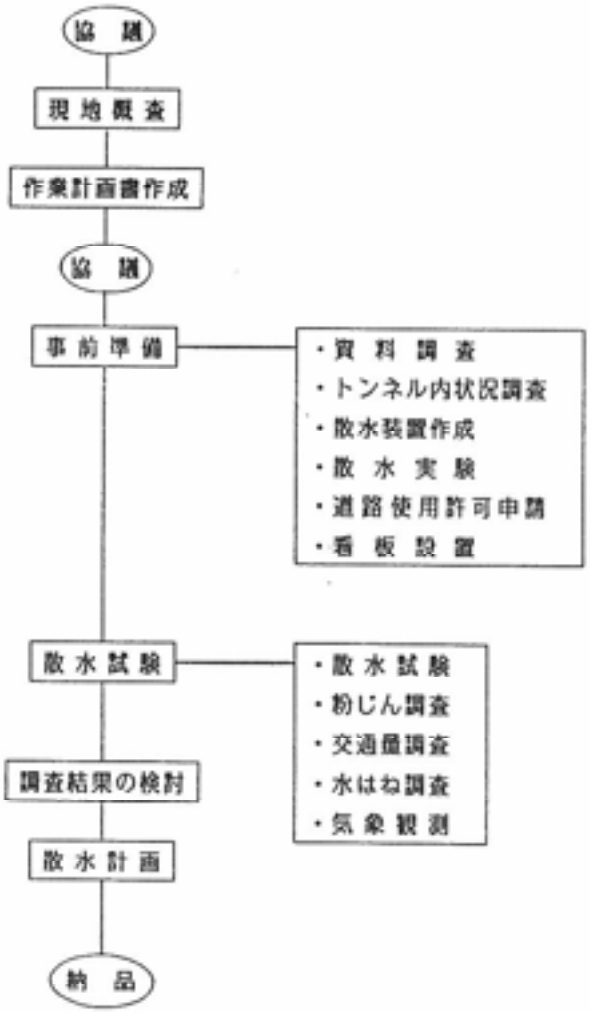
まえがき

空気汚染が問題となっている桧山トンネル内において、その汚染を軽減させるために、トンネル内路面に散水が計画されている。

桧山トンネルの空気汚染は、①一酸化炭素　②窒素酸化物　③粉じん　等が主体となっているが、特にトンネル通行者に不快、不健康感を与えているのは、③粉じんである。

今回の調査は、この粉じんの量を減少させるために、具体的な散水計画の基本的な事項を散水試験により求め、それによって散水計画を行うものである。

・フロー　　・作業内容



I 調査概要

1－1 散水試験

・散水試験

散水を平面図に示す３箇所で実施し、その効果について観測調査する。

1)経過時間

2)水量・水圧

3)水ぬれ範囲・延長

散水効果を左右するファクターとして、散水量、散水延長、散水幅、散水位置等が考えられるが、今回は、散水位置を両坑口付近とし、

散水量

散水延長

の変化による散水効果について試験することとする。

前記試験を第１回の試験とし、その結果に基づいて、有効な散水条件を検討し、その条件下で粉じん調査を併用した第２回の試験を行う。

・粉じん調査　　ハイボリュームエアサンプラー方式により、粉じん濃度について調査する。

・交通量調査　　散水試験中の交通量について調査する。

・水はね調査　　散水による歩道への水はねについて調査する。

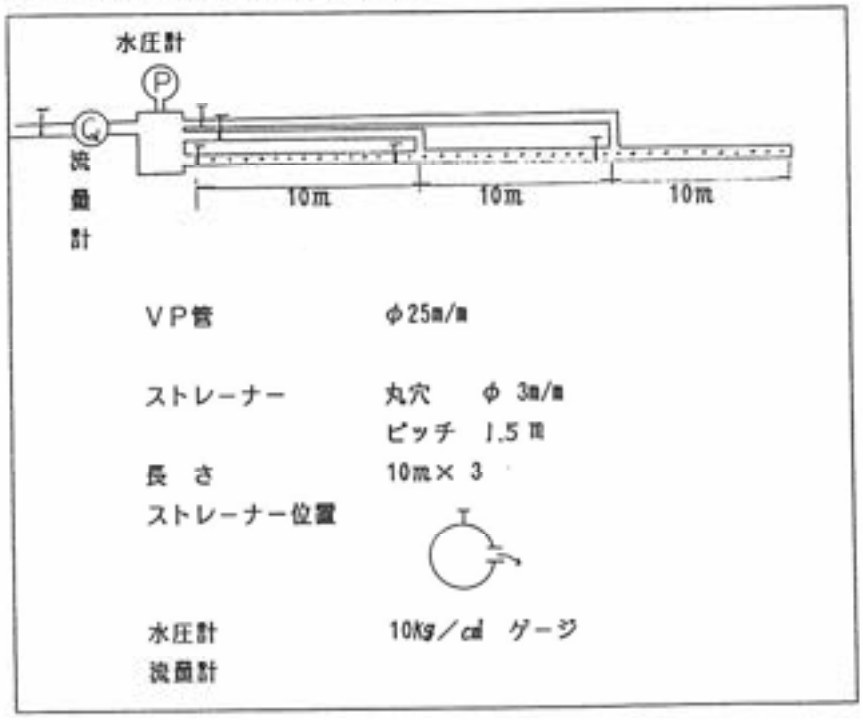
・気象観測　　観測は晴天時とするが、その時の温度、湿度、風向、風速について観測する。

1－2 調査試験方法

散水試験は、第１回試験と第２回試験に分け、更にそれまでに何回かの予備試験を実施する。

1) 散水方法

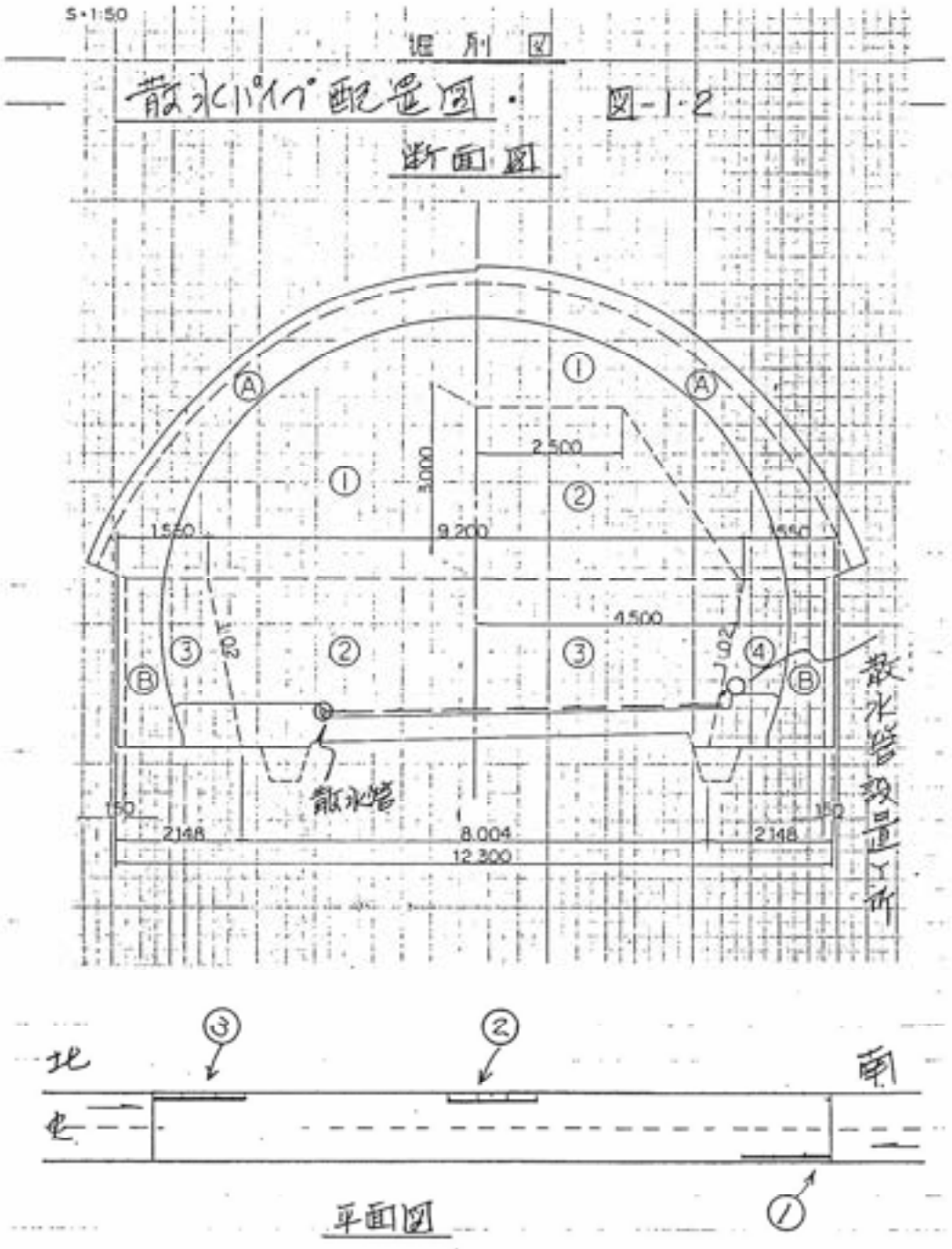
散水は、次の図に示す散水装置を用いる。



図－１．１ 散水装置

散水装置の設置箇所は、両坑口から30m区間及びトンネル中央とし、横断上の位置は、トンネル東側の管理道と、南側坑口の歩道部とする。

散水パイプ設置位置を次の図－１．２に示す。



Ⅱ　調査結果

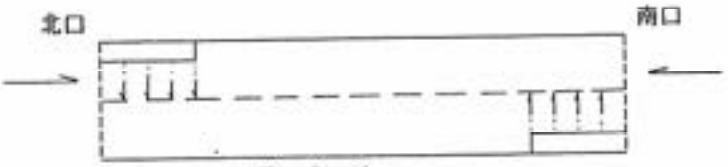
2-1　散水試験

2-1.1　水ぬれ調査　（3月25日火曜日）

散水は図－ 2.1の様にトンネル南側と北側の両坑口において実施し、

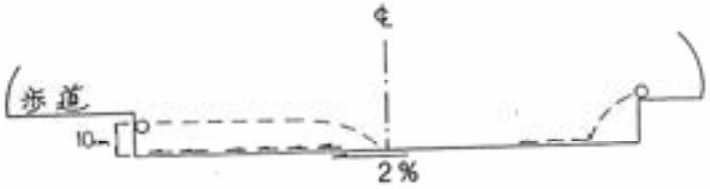
散水時間・散水量・散水延長・水ぬれ長

の相関性について調査検討した。



図－2．1

両側坑口の散水は路面が2％の片勾配であることから、歩道側と管理道側から図－ 2.2の様に実施した。



図－2．2

調査結果を図-2-2-1～図-2-2-4の一覧図に示した。

それに基づいて、1)散水延長、2)散水量について次に整理しまとめる。

1)散水延長（午前中の試験）

図-2-2-1～図-2-2-4から北口午前中の散水結果についてまとめると表-2.1の様になる。表-2.1で示す“水ぬれ度”とは、片側車線毎に水ぬれを生じた部分を全体に対する比率として表したものである。

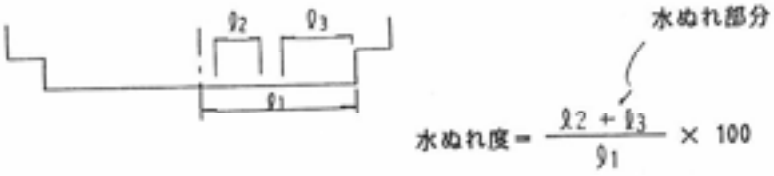


表-2.1から次の事が言える。

散水量（約11ℓ/分）一定として散水延長を、10m，20m，30m と延ばすことにより、散水効果を水ぬれ長で表現すれば、その水ぬれ長は80%水ぬれ度で見れば、80m,140m,175mと増加する傾向を示した。

また散水延長30m として11ℓ/分程度で散水すれば、トンネルのほぼ中央付近まで80%の水ぬれ度の散水効果をもたらすことが出来た。

表－２．１　３月２５日北口での散水試験結果

経過時間（分）	散水時間（分）	散水量（ℓ/分）	散水延長（m）	水ぬれ長（m）		交通量（台／30分）
				100%	80%	
0	15	3.6	10	0	30	
15	〃	6.4	〃	25	55	
30	〃	11.2	〃	50	80	
45	〃	10.8	20	80	140	300
60	〃	11.6	30	105	175	∫
75	〃	11.1	〃	150	220	400
90	10	17.1	〃	160	250	
100	〃	〃	〃	170	290	
110	〃	〃	〃	180	295	
120	15	14.6	〃	190	310	
135	〃	19.5	〃	200	310	
150	〃	19.9	〃	200	320	
165						

（％表示は水ぬれ度）

2)散水量（午後の試験）

散水延長を30m として散水量を12.4ℓ/分から19.9ℓ/分まで段階的に変化させ、散水試験を実施した。

散水量を増やしていくと、散水量の増加と伴に水ぬれ長が延びていく傾向を示した。しかし、20ℓ/分前後の散水量になると水ぬれ長はあまり増加せず、300台／30分の交通量により水ぬれ度80%の区間長が270m程でバランスを保った。

その後は散水量が減少しても水ぬれ区間長は減少せず、9ℓ/分程の散水量でもその効果は持続した。

午前中の試験では、17ℓ/分～20ℓ/分程の散水量でバランスを保ち、水ぬれ度80%の区間長は約300mに達した。午前中の総散水量は約 1000 ℓ でバランスに達したが、昼の試験では1500ℓの総散水量によりバランスに達した。

表－２．２　散水量と水ぬれ長のバランス

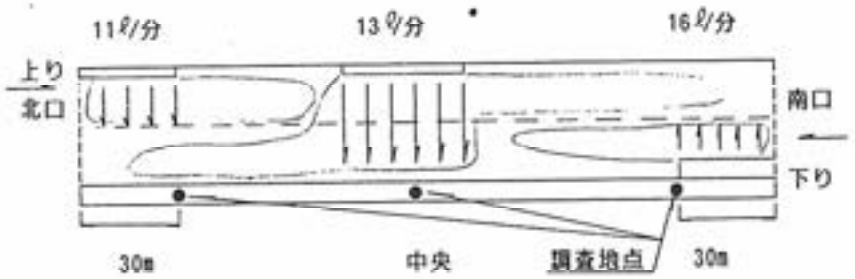
試験時(3/25)	気　温	散　水　量	総散水量	水ぬれ長
午　前	6.6℃	17ℓ～20ℓ/分	1000	約300m
午　後	13.5℃	20　ℓ/分	1500	約270m

この様に、朝と昼とでは気温の違いにより散水効果に違いが見られる。

2-1.2　粉じん調査　（3月31日月曜日）

この調査は、散水により低下した粉じん濃度を調べ、散水前の粉じん濃度と比較することにより、散水効果について検討するものである。

第1回調査をふまえて散水場所は図-2.3に示すようにトンネル両坑口と中央付近とし、散水量は北口からそれぞれ11ℓ/分，13ℓ/分，16ℓ/分程度とした。



図－2．3

各散水装置の水ぬれ分担区域は、上の図のように

北口散水箇所		上り車線の北半分
中央	〃	上り車線の南半分
		下り車線の北半分
南口	〃	下り車線の南半分

となる。前述した水量で散水すればトンネル内道路面のほぼ全域を充分に濡らすことが可能である。

この様な散水方法により、散水、乾燥を繰返しながら粉じん濃度の変化について観測調査した。

その散水パターンは次に示す通りである。

7:30	8:30	10:00	12:00	13:00	14:30	16:30	17:30	19:00
BG	散水	乾燥	BG	散水	乾燥	BG	散水	

BG：乾燥時の測定
散水：散水30分後からの測定

粉じん濃度の調査は、散水前と散水後の状態について観測し、それらについて比較検討することとした。

調査結果をまとめて次の表-2.3に示した。

表－2．3 粉じん調査結果表

時間区分	粉じん 時間	地点	10ミクロンカット粉じん(mg/m) 終点	中央	起点	全粉じん(mg/m) 終点	中央	起点	水ぬれ率% 上り	下り
1	乾	8:13 ～ 8:28	3.90	4.28	0.48	10.73	11.87	2.06		
2		9:05 ～ 9.15	0.36	1.09	1.34	1.51	4.52	5.57	82	60
3	湿	9:32 ～ 9:47	0.52	1.83	1.14	2.15	7.61	4.73		
4		9:48 ～10:00	0.21	0.48	0.60	0.86	1.99	2.48		
5		12:05 ～12:15	0.69	3.36	2.18	2.48	11.99	7.78		
6	乾	12:20 ～12:30	0.62	2.15	1.32	2.23	7.67	4.70		
7		12:40 ～12:50	1.91	6.19	2.00	6.82	22.11	7.15		
8		13:35 ～13:45	0.53	1.20	1.31	1.70	3.84	4.21	60	10
9	湿	13:50 ～14:00	0.64	1.14	1.45	2.07	3.65	4.65	60	27
10		14:10 ～14:20	0.53	0.85	0.98	1.70	2.73	3.14	66	15
11	乾	14:48 ～15:05	1.08	2.25	2.78	2.86	5.98	7.37		
12	燥	15:30 ～15:40	0.51	1.64	2.11	1.36	4.35	5.61		
13	中	16:00 ～16:10	0.60	－	1.85	1.59	－	4.91		
14		16:35 ～16:45	0.61	2.16	2.66	1.33	4.72	5.81		
15	乾	16:50 ～17:00	1.59	4.58	4.59	3.48	10.00	10.03		
16		17:10 ～17:20	0.74	1.80	2.63	1.62	3.92	5.75		
17		18:05 ～18:15	0.47	0.85	1.05	1.51	2.73	3.36	74	59
18	湿	18:20 ～18:30	0.59	1.18	1.31	1.88	3.80	4.21		
19		18:35 ～18:45	0.69	1.50	1.27	2.21	4.80	4.06		

散水前の粉じん濃度は、散水を止めた後２時間の乾燥時間を設け、路面が乾燥した状態で測定した。

散水後の粉じん濃度は、表－ 2.3の右端に示した水ぬれ状況下で測定した。

ここでいう水ぬれ率とは、「水ぬれ度80%以上」の状態が上下車線を合せた全路面に対して占める比率で示す。

今回の調査は、朝、昼、晩と３回実施したが、昼の水ぬれ率は上下線合せて40%程度と低い。朝晩では散水１時間後に100 %の水ぬれ率に達し、昼に比べて散水効果が高い。

Ⅲ 考 察

3-1 散水延長と散水効果

散水試験において、散水区間延長を10m,20m,30m と延ばすことにより、水量をほぼ一定（11ℓ/分）とした場合、40m,60m,90m と全路面がぬれた区間長は延びていく傾向を示している。路面の水ぬれは、車輌交通により車の流れの方向に延びていくもので、時間の経過とともに延びていく状況にあることから、散水区間長を延ばすことだけが水ぬれ区間長の延びた原因とはならないが、その傾向は確認出来た。

つまり、一定水量で散水する場合、散水区間長を長くする方が水ぬれ長さは長くなることが明らかとなった。

しかし、それが長すぎると一孔当たりの散水量が少なすぎて片側車線幅全面をぬらせなくなる。これは散水時の交通量とのバランスで決まることであり、今回の試験結果によれば、 350～ 400台／30分の交通量であれば

散水区間長　30m
散水量　10ℓ/分以上

で、片側車線幅全面を充分にぬらすことが可能であった。

3-2　散水量と散水効果

散水試験時に、その水量が増加することにより

①通行車輌の車輪部分で水しぶきがあがる。

②歩道側に表流水が集まる為、歩道への水はねが発生する。

③単車の運転者の足元がぬれる。

などの弊害が発生した。

そこでこれらの弊害を考慮し、粉じん対策として有効な最少散水量についての検討が必要となった。

散水試験の結果によれば、散水量と粉じん濃度の関係は図-3.1の様にまとめることが出来る。

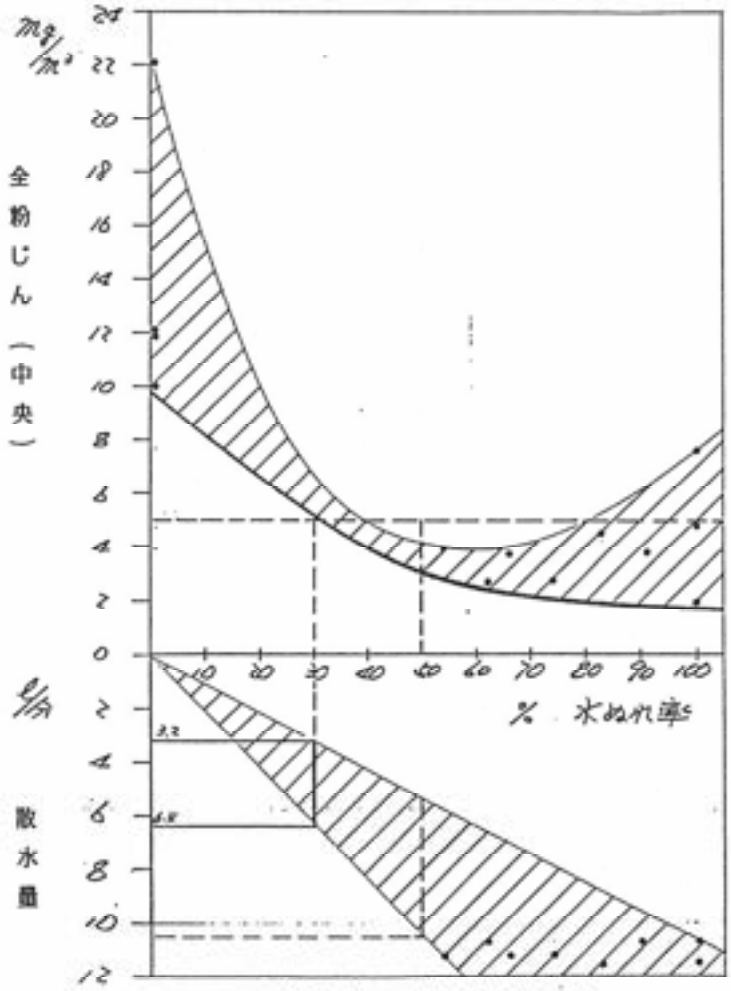


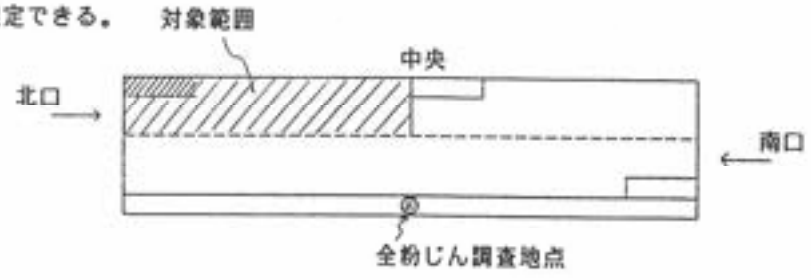
図-3.1　全粉じんと散水量

これは、第２回散水試験結果（３月３１日）に基づくもので、充分なデーター数とはいえないが、目安として

全粉じん濃度と水ぬれ率

散水量と水ぬれ率

の関係を図-3.2に示す範囲についてまとめたものであり、それらの関係は図-3.1の斜線部のように推定できる。



図－３．２

降雨の状況は日によって様々であるが、調査期間中のトンネル内調査結果から推定すると、降雨時の路面状況は水ぬれ率80%以上の散水状況に匹敵するものと考えられた。

図-3.1によれば、その水ぬれ率80%以上の場合の全粉じん濃度は 2～5mg/m³となっている。したがって、(降雨時にはトンネル内の大気環境が良好であることから)全粉じん濃度が 2～5mg/m³程度に改良される散水が行われれば、今回の対策として充分な効果が期待できるものと考えられる。

散水量の有効最小値を考えて、図 3-1の水ぬれ率30%に注目すれば、適正な散水量は 3.2～ 6.4 ℓ/分となる。これが、春季における散水装置１基当りの適正な散水量と考えられる。

また、第２回散水試験の北口での散水で、朝と昼の散水効果に違いが見られた。(図-3.2参照)

(試験時には11.0～11.5 ℓ/分　散水延長30m)

朝 8:30 ～10:00	(トンネル内気温10℃)	
30分後	110m(100%)	170m (80%以上)
60分後	242m(100%)	
昼13:00 ～14:30	(トンネル内気温12℃)	
30分後	80m (100%)	120m (80%以上)
60分後	120m(100%)	170m (80%以上)

この様に、水ぬれ度 100%に注目すれば午前中での実験では、１時間後にトンネル中央部まで水ぬれが広がったが、昼の試験では気温の上昇によって、散水効果が減少し１時間後の水ぬれ長は120m程であった。これはぬのほぼ半分程の水ぬれ長に相当する。

晴天日には車のタイヤが天日によって熱せられたアスファルト舗装を通ってトンネル内に入ってくることや、気温の上昇と湿度の低下により散水路面の乾燥が促進されるためと考えられる。

今回の散水試験は、昼の気温が12℃～13℃の春さきの気候で実施したものであり、夏には気温が上昇し30℃以上の気温となることもあることから、春季より散水量を増加させる必要があるものと考えられる。

仮に真夏の気温を33℃、春季の気温を12℃とすると、約 2.8倍の気温の違いとなる。しかし、散水を朝夕のラッシュ時を中心とした計画として考えれば、その時の気温はそれ程高くなく、夏季でも23℃前後であるものと予想される。(図-3.2参照)

そこで、今回調査時の気温を12℃、真夏時の朝の気温を23℃として、その約倍の温度差が散水効果を半減させるものと仮定すると、前述した適正な散水量の約２倍の散水量が必要となる。

春から夏にかけて、特に白っぽい服装が多くなるにつれ、粉じんよりも水しぶきによる服のよごれが苦になることも予想されることから、散水量は多少少なめにすることが良策と思われる。

以上の検討結果から、春夏秋冬の散水に関して、次に示す水量を目安として散水すれば、弊害が少なく有効な散水効果が得られるものと考えられる。

冬季には凍結の問題があることから、やや散水量を増やすとか、昼夜の散水をする等の配慮が必要であろう。

中央の散水装置については、上下車線をぬらす目的があることから、表-3.1より 散水量を多くする必要がある。

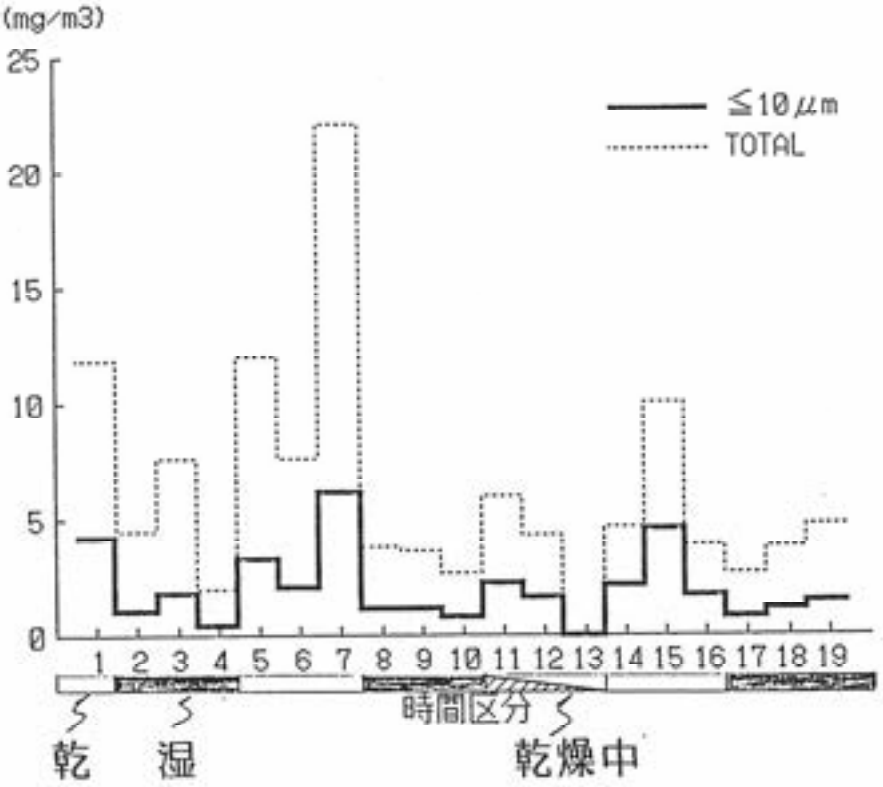
その追加水量は 2～3 ℓ/分程度で充分と思われる。

表－３．１　散水装置１基当りの適正な散水量の目安

春 秋 冬	3.2～ 6.4 ℓ/分
夏	6.4～12.8 ℓ/分

3-3散水による粉じん濃度の低下

散水前の粉じん濃度と、散水後の粉じん濃度を測定して、散水効果を調査した。その結果から気象等の影響を受けにくい中央部の調査結果について図-3.3に示した。表-3.2には、粉じん濃度の高い昼の時間帯の観測記録について示した。



図－3-3粉じん濃度の経時変化

表－３・２　粉じん調査結果表

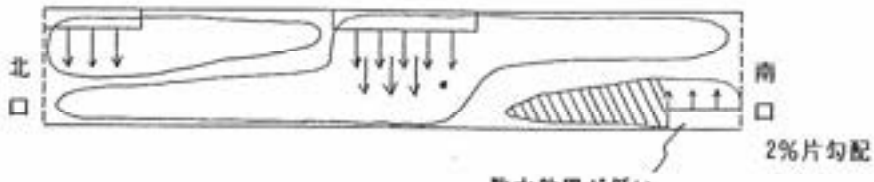
時間区分	時間	粉じん発生地点	10ミクロンカット粉じん(mg/m³) 終点	中央	起点	全粉じん(mg/m³) 終点	中央	起点	水ぬれ率 %	
5	乾	12:05 ～12:15	0.69	3.36	2.18	2.48	11.99	7.78		
6	乾	12:20 ～12:30	0.62	2.15	1.32	2.23	7.67	4.70		
7	乾	12:40 ～12:50	1.91	6.19	2.00	6.82	22.11	7.15		
8	湿	13:35 ～13:45	0.53	1.20	1.31	1.70	3.84	4.21	60	10
9	湿	13:50 ～14:00	0.64	1.14	1.45	2.07	3.65	4.65	60	27
10	湿	14:10 ～14:20	0.53	0.85	0.98	1.70	2.73	3.14	66	15

表-3.2から散水効果についてみてみると、表-3.3に示すように12～14%の濃度の低減が見られた。

表－３．３

	散水前	散水後	濃度の低減率
全粉じん	22.11 mg/m³	2.73 mg/m³	12%
浮遊粒子状物質	6.19 mg/m³	0.85 mg/m³	14%

この散水時の水ぬれ率は、上下車線合せて40%程度であり、必ずしも充分な散水状態であったとは言えないが、粉じん濃度の低減については非常に効果的であった。表-2.3に示した下り車線の水ぬれ率が低いのは、南口の散水場所が歩道側であり、路面の勾配との関係で散水効果が低い為である。これは、散水量を増加させると散水方法の関係で単車等への被害が発生するため、有効な散水が出来なかったからである。



図－３．４

本工事ではこの点を踏まえて、南口においては道路センターからの散水方式にすべきと考えられる。

Ⅳ　散水計画

4-1　調査結果のまとめ

散水試験により、次の点が明らかとなった。

1)散水装置を両坑口及びトンネル中央部に設置し、同時に散水することで車輌走行効果によりトンネル内路面全域を充分に濡らすことができる。

2)散水により粉じんの濃度が当初の12～14%に低下することから、この方法により充分な効果が期待できる。

3)散水量は、この春季においては両坑口で 3.0～ 6.5ℓ/分程度、中央部で 5.0～ 8.5ℓ/分程度で充分である。

4)朝と昼の気温の違いや日照の違いにより、散水効果が異なる事から、四季の変化による散水効果の違いが予想される。

5)冬季には、散水装置や路面の凍結の問題が考えられる。

6)トンネル北口の湧桝の水量は75ℓ/分であり、計画散水量（10～40ℓ/分）に対して充分水量が期待できる。

7)散水量が多い場合は、歩道側に水の流れができ、大型車の車輪による水はねが発生する。道路の両側の白線部分には粉じんによる高まりが出来ており、その影響で水の流れが車道側に寄っている。その事も水はねを発生しやすい要因となっている。

8)轍だち部分はすり減っており、特に両坑口付近のアスファルト舗装部分の凹みが著しい。そのため降雨時や散水時に水たまりで水がはねたり、車輌通過時の振動により、ダンプカー等の積載物（土砂等）が落下したりする。

9)トンネル内及びその前後の制限速度は40Km/hであるが、速度違反車がかなり走行している。

4-2 散水計画及びそれに伴う対策

散水試験結果に基づいて、粉じん対策の為に次の様な散水計画を考える。

1)散水装置は、トネル内3箇所とする。（図－1参照）

- 北口　管理道側　　30m 区間
- 中央　〃　　〃
- 南口　道路センター　　〃

2)散水水量

		夏季
・北口	： 3～ 6.5ℓ/分	6.5～13ℓ/分
・中央	： 5～ 8.5ℓ/分	8.5～15ℓ/分
・南口	： 3～ 6.5ℓ/分	6.5～13ℓ/分

実施状況を見て検討が必要。

3)水源

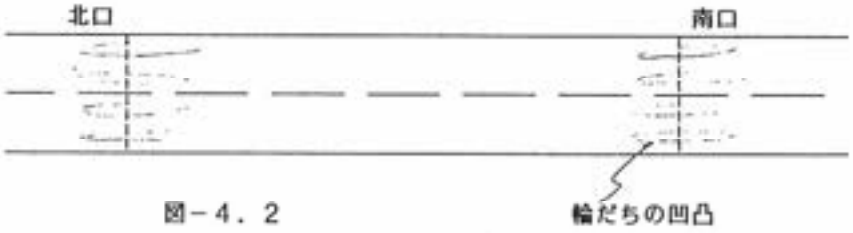
- トンネル北坑口付近の管理道側（東側）にある集水桝よりポンプアップして利用する。
- 水量は75ℓ/分程度望める。

4)散水時間は朝夕のラッシュ時を含む昼の時間帯とする。

5)トンネル内歩道部のガードレールに水はね防護用板を設置する。

図－4．1

6)両坑口付近の道路面の凹凸を補修する。

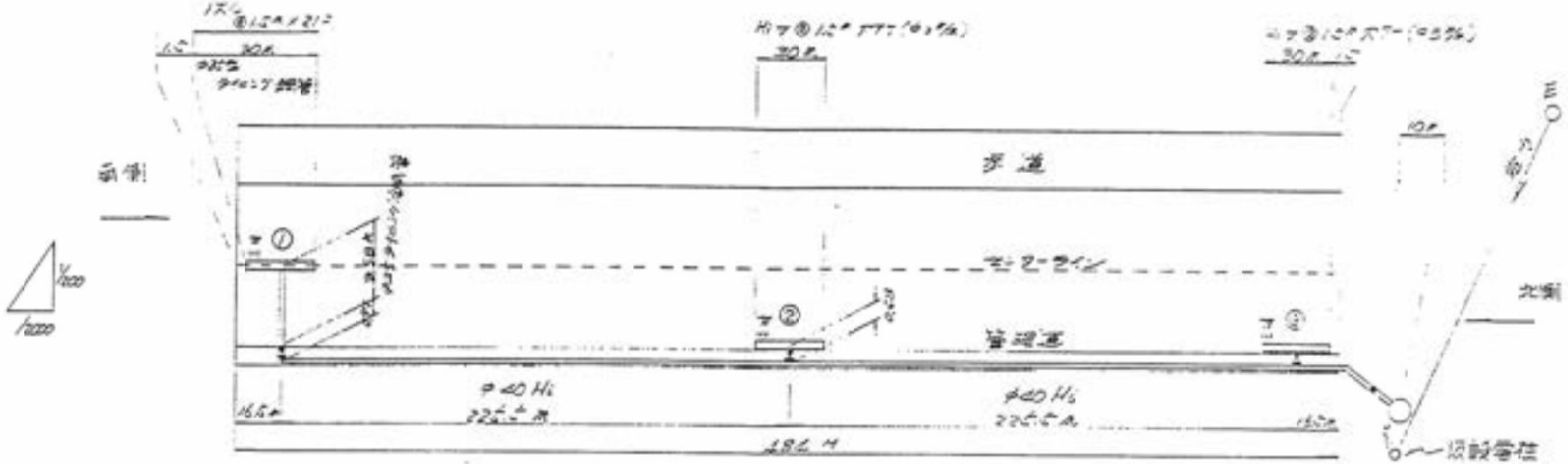


図－4．2

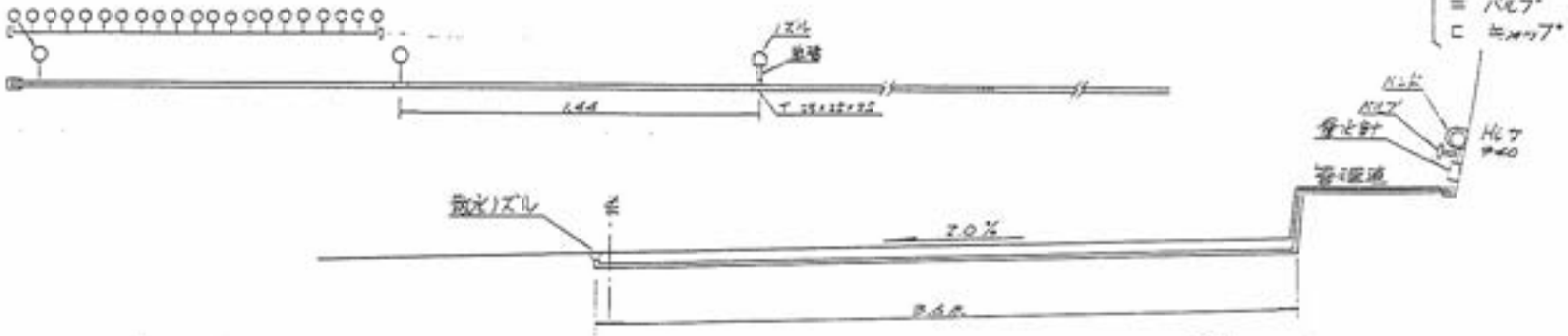
7)トンネル内に堆積した土砂や粉じんを定期的に清掃除去する。

8)トンネル近辺の制限速度は40Km/hであるが、そのスピードを厳守させる為の看板を両坑口に設置する。

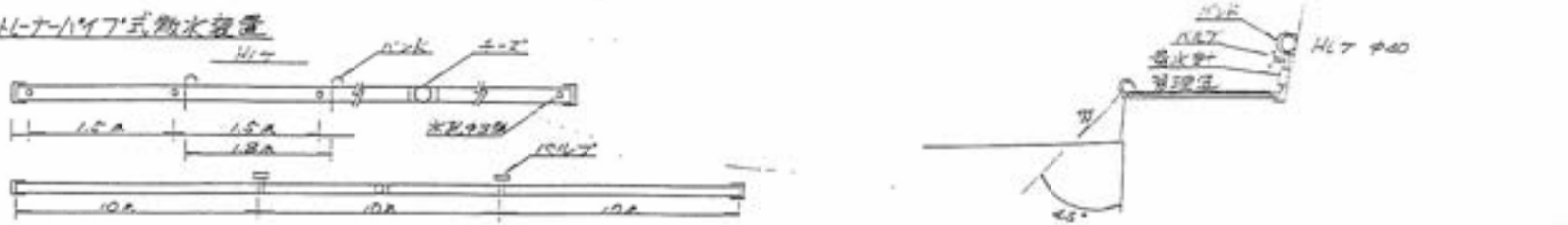
図-5.1 旭山トンネル散水計画図



① ノズル式散水管渡



②③ スパイラルパイプ式散水装置



あとがき

今回の散水試験の結果、粉じん濃度は、現状に即した散水計画によって平常の濃度の12～14%程度にまで低減し、歩行者がトンネル内を通行するのに害のない程度の大気環境が確保できるものと考えられる。

しかし、散水により全てが改善されることにはならず、いくつかの新たな問題が発生する。例えば、ダンプカー等の大型車輌の通行による水しぶきの発生や、水たまりからの水はねである。これによる歩道通行者や車輌等への害が避けられない問題として残る。

歩道側への水はね防護板の設置や散水量の調整により、それらの害が発生しないような対策を検討してはいるが、日々移り変わる気象変化にその都度対応することは極めて困難な事である。また、排気ガス等の微小粒子（粒径2μm以下）は、路面状態には影響を受けないため、散水後もほとんど変化しない。

この様に、トンネル内の環境はかなり改善されるが、まだ完全とはいえない。現状の単眼トンネルから複眼トンネルに改良されれば、交通換気によりトンネル内の大気汚染は大幅に改善されるものと思われるが、特にそれまではトンネル内を走行する車が速度制限を守るとか、車輌・歩行者に対して注意をはらうなど相互に協力しあい、気持ちよい通行ができるよう努めることが大切なことと考えられる。