

トンネル建設工事における相対濃度計等を用いた
粉じん濃度測定に係る実証試験報告書

早稲田大学理工学術院
創造理工学部環境資源工学科
教授 名古屋俊士

2014. 9. 30

1. はじめに

トンネル建設工事における相対濃度計等を用いた粉じん濃度測定に係る実証試験の目的は、①動力を用いて鉱物等を掘削する場所における作業、②動力を用いて鉱物等を積み込み、又は積み卸す場所における作業及び③コンクリート等を吹き付ける場所における作業での粉じん濃度測定の有効性を検証するものである。

検証は、切羽付近での作業に支障を来さず、かつ、粉じん濃度測定者（以下「測定者」という）の安全が担保されるという条件を満足した状況下で、切羽付近の作業環境下の粉じん濃度を正確に測定できるかどうかを確認するとともに、科学的に十分な安定した標準的なデジタル粉じん計の質量濃度変換係数 K 値を求めることができるかの確認である。

実証試験を行う各作業場所は、以下の作業を行っている場所とする。ただし、測定者の安全を確保することが困難な場合は、安全が確保できる場所で粉じん濃度の測定を行う。

ア 動力を用いて鉱物等を掘削する場所における作業（掘削作業）

イ 動力を用いて鉱物等を積み込み、又は積み卸す場所における作業

（積み込み又は積み卸し作業）

ウ コンクリート等を吹き付ける場所における作業（コンクリート等吹き付け作業）

なお、実証試験を行ったトンネルは、NATM 工法的高速道路トンネル 2 箇所である。

※K 値（質量濃度変換係数）＝（粉じん濃度（単位：mg/m³）） / （相対濃度（cpm））

2. 測定方法

2.1 測定点の概要

切羽における掘削作業（図 2.1 参照）、積み込み又は積み卸し作業（図 2.2 参照）及びコンクリート等吹き付け作業（図 2.3 参照）時の測定を計画していたが、作業への支障及び測定者の安全が担保できないことから、現場担当者と相談の上、それらの作業に支障ない場所と現場の係員が測定者に付き添い安全を確認するという条件等を総合的に判断して、質量濃度変換係数 K 値を求める併行測定（ろ過捕集方法の装置とデジタル粉じん計を用いる測定）を実施した。また、測定点として切羽に最も近い場所（以下「切羽付近」）という。）として切羽より 20m 離れた場所に三脚（約 70cm）を設置し、各種粉じん濃度測定器を三脚に取り付け並べた後、併行測定を開始し、掘削作業及び積み込み又は積み卸し作業及びコンクリート等を吹き付け作業が終了するまで測定を行った。併行測定の外観図を図 2.4 に示す。



図 2.1 掘削作業の状況



図 2.2 積み込み又は積み卸し作業の状況



図 2.3 コンクリート等吹き付け作業の状況

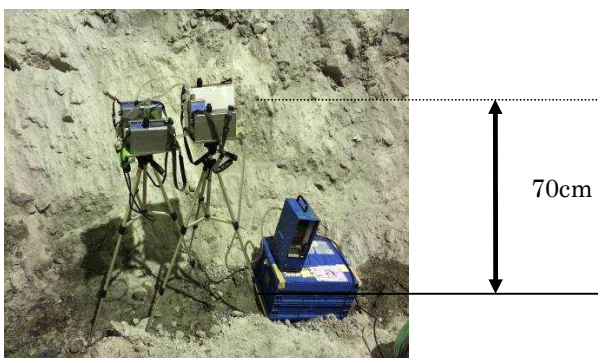


図 2.4 20m地点における併行測定の外観図

当初、質量濃度変換係数 K 値は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及びコンクリート等吹き付け作業を個別に測定し、それぞれ質量濃度変換係数 K 値を求める予定であったが、測定者の安全など各作業に分けて測定を行うことが困難な現場の状況から、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及びコンクリート等吹き付け作業を一連の作業としてまとめて測定を行った。

また、20m地点の測定点での併行測定と並行して、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及びコンクリート等吹き付け作業を行っている時、切羽から 20m離れた測定点及び 50m離れた測定点でも、デジタル粉じん計を用いて相対濃度を求め、ガイドラインに規定されている粉じん濃度測定を行う計画であったが、積み込み又は積み卸し作業時は、頻繁に重機の運搬移動があり危険なため、安全に配慮して、今回は測定を行わなかった。切羽から坑口へ向かって 20m 及び 50m 離れた各測定点の粉じん濃度測定の外観図を図 2.5 及び図 2.6 にそれぞれ示す。図 2.6 の手前の白いヘルメットを被った測定者が 50m位置での測定者で、その前方遠くに見えるのが 20m位置での測定者（矢印）である。

次に、コンクリート等吹き付け作業に関しては、重機等の移動等が無いことから、デジタル粉じん計を作業前に設置し相対濃度測定を行うのであれば、比較的安全についての配慮が軽微で済むとの判断から、特にお願いしてコンクリート等を吹き付け作業に支障がない、切羽付近に、デジタル粉じん計 2 台を設置して、吹き付け作業時の粉じん濃度測定の可能性を検証するための粉じん濃度測定を行った。



(コンクリート等吹き付け作業時)

図 2.5 20m地点における粉じん濃度測定状況



(掘削作業時)

図 2.6 50m地点における粉じん濃度測定状況

2.2 測定機器

粉じん濃度測定に使用した測定機器及び使用目的は、下記のとおりである。

1) デジタル粉じん計

LD-3K2 (切羽付近、併行測定、20m測定点)

LD-5 (併行測定、50m測定点)

LD-5D (併行測定)

LD-6N (併行測定)

2) 質量濃度粉じん計

慣性衝突式ローボリュームサンプラーNW-354 型 (併行測定)

3. 測定結果

3.1 高速道路トンネル建設工事1 (三重県鈴鹿市)

3.1.1 測定現場の状況

測定現場の抗口付近の外観を図 3.1 に示す。また、換気方式は送気・排気式で、排気は風管ではなく集じん機を用いて、粉じんを除去した空気を出口側に排気している。



図 3.1 測定現場の抗口付近の外観

3.1.2 測定位置

測定点の位置を図 3.2 に示す。

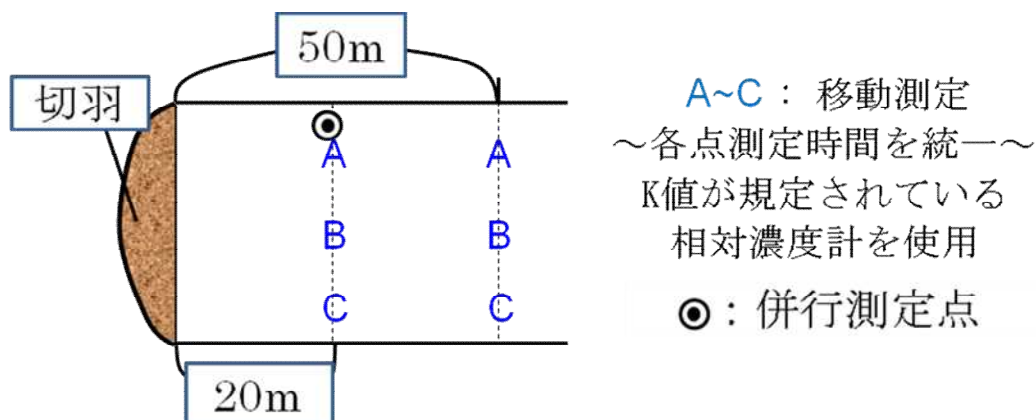


図 3.2 測定点概略図

3.1.3 20m地点における各デジタル粉じん計の質量濃度変換係数 K 値

切羽から 20m地点に併行測定点を設定し、各種デジタル粉じん計と慣性衝突式ローボリュームサンプラーNW-354 型を用いて併行測定を行い、各種デジタル粉じん計の質量濃度変換係数 K 値（以下「K 値」という）を求めた。その結果は、下記のとおりである。ただし、K 値は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及び吹き付け作業時の一連の作業で求めた値である。

LD-3K2	0.0069 (mg/m ³ /cpm)
LD-5	0.0063 (mg/m ³ /cpm)
LD-5D	0.028 (mg/m ³ /cpm)
LD-6N	0.0032 (mg/m ³ /cpm)

K 値は、粒径依存性があり、一般的に粒径が大きくなると K 値は大きくなる傾向にある。そのため、切羽に近い 20m地点の粉じんの粒径は、50m地点での粉じんの粒径に比べて大きいことから、20m地点の K 値は、50m地点での K 値に比べて大きくなる。ただ、20m地点の粉じん粒径は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及び吹き付け作業ごとに時々刻々粉じん濃度とともに変化をすること、併せて風管からの吹き出し気流の影響などを受けてトンネル断面の粉じん濃度が不均一になる等が考えられることから、併行測定点の位置によっても変化する可能性がある。

3.1.4 20m及び50mの測定点における各作業別粉じん濃度測定結果

掘削作業時の 20m及び50m測定点における相対濃度及び質量濃度の測定結果を表 3.1 及び表 3.2 にそれぞれ示す。ただし、20m 測定点では、LD-3K2 を、50m 測定点では、LD-5 を用いて測定を行った。また、20m 測定点における K 値は、今回併行測定で求めた 0.0069

($\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$) を用い、50m 測定点における K 値は、ガイドライン（平成 20 年 2 月改正）で規定している値である $0.002 (\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm})$ を用いて質量濃度を算出した。

なお、一連の掘削作業時等においても発じんの状況が変化するので、作業時間全体を 5 回に分けて各測定点で 1 分ずつの測定を行い、その平均を求めて評価した。同じくコンクリート等吹き付け時は 4 回に分けて各測定点で 1 分ずつの測定を行い、その平均を求めて評価した。

表 3.1 掘削作業時の 20m 及び 50m 測定点における相対濃度

測定時間	測定位置	A[cpm]	B[cpm]	C[cpm]	平均値[cpm]
10:03～	20m	2002	1823	2682	2169
10:06	50m	2314	2261	1639	2071
10:15～	20m	3172	2103	1536	2270
10:18	50m	2479	2821	1720	2340
10:30～	20m	150	154	314	206
10:33	50m	287	150	280	239
11:05～	20m	9891	12659	12635	11728
11:08	50m	6074	7789	11079	8314
11:15～	20m	3264	5229	6338	4944
11:18	50m	3623	3620	3835	3693

表 3.2 掘削作業時の 20m 及び 50m 濃度

測定時間	測定位置	A[mg/m^3]	B[mg/m^3]	C[mg/m^3]	平均値[mg/m^3]
10:03～	20m	13.81	12.58	18.51	14.97
10:06	50m	4.63	4.52	3.28	4.14
10:15～	20m	21.89	14.51	10.60	15.67
10:18	50m	4.96	5.64	3.44	4.68
10:30～	20m	1.04	1.06	2.17	1.42
10:33	50m	0.57	0.30	0.56	0.48
11:05～	20m	68.25	87.35	87.18	80.93
11:08	50m	12.15	15.58	22.16	16.63
11:15～	20m	22.52	36.08	43.73	34.11
11:18	50m	7.25	7.24	7.67	7.39

吹き付け作業時の 20m 及び 50m 測定点における相対濃度及び質量濃度の測定結果を表 3.3 及び表 3.4 にそれぞれ示す。

表 3.3 吹き付け作業時の 20m 及び 50m 測定点における相対濃度

測定時間	測定位置	A[cpm]	B[cpm]	C[cpm]	平均値[cpm]
14:00～	20m	824	1624	1484	1311
14:03	50m	1063	1421	1319	1268
14:10～	20m	2594	2393	2269	2419
14:13	50m	2595	2295	2145	2345
14:20～	20m	2766	2739	2745	2750
14:23	50m	2597	2454	2497	2516
14:30～	20m	217	166	132	172
14:33	50m	380	231	166	259

表 3.4 吹き付け作業時の 20m 及び 50m 測定点における質量濃度

測定時間	測定位置	A[mg/m ³]	B[mg/m ³]	C[mg/m ³]	平均値[mg/m ³]
14:00～	20m	5.69	11.21	10.24	9.04
14:03	50m	2.13	2.84	2.64	2.54
14:10～	20m	17.90	16.51	15.66	16.69
14:13	50m	5.19	4.59	4.29	4.69
14:20～	20m	19.09	18.90	18.94	18.98
14:23	50m	5.19	4.91	4.99	5.03
14:30～	20m	1.50	1.15	0.91	1.18
14:33	50m	0.76	0.46	0.33	0.52

各作業別の 20m 及び 50m の測定点における粉じん濃度測定結果をまとめて表 3.5 に示す。

表 3.5 各作業別の 20m 及び 50m の測定点における粉じん濃度

測定位置	掘削作業時の粉じん濃度 [mg/m ³]		吹き付け作業時の粉じん濃度 [mg/m ³]	
	20m	50m	20m	50m
A	(25.50)	5.91	(11.40)	3.32
B	(30.32)	6.66	(11.94)	3.20
C	(32.44)	7.42	(11.43)	3.06
平均	(29.42)	6.66	(11.47)	3.19
R.S.D[%]	(12.08)	11.33	(3.93)	3.98

※積み込み又は積み卸し作業については安全に配慮して測定できず。() は参考値。

表 3.1 より、掘削作業時の相対濃度は、20m地点よりも 50m地点の方が高い値を示す時間帯もあった。しかし、表 3.2 の質量濃度では、20m地点での全ての値が 50m地点よりも高い値を示した。これは、20m地点の K 値が、50mの K 値より大きかったためである。

同様に、吹き付け作業時も相対濃度（表 3.3）は、20m地点よりも 50m地点の方が高い値を示す時間帯もあった。しかし、表 3.4 の質量濃度では、20m地点での全ての値が 50m地点よりも高い値を示した。これも、20m地点の K 値が、50mの K 値より大きかったためである。

表 3.5 より、50m 地点よりも 20m 地点の方が粉じん濃度の平均値が大きい値を示したが、個々の相対濃度を比べた場合、必ずしも 20m 地点の方が粉じん濃度が高いわけではない。これは、作業内容及び吹き出し風管の位置等により、20m 地点と 50m 地点の相対濃度の差は異なるが、K 値により結果として 20m地点での粉じん濃度は高くなる。

また、前述のように K 値は、併行測定点の位置によっても変化する可能性があり、今回、併行測定点は、切羽に向かって右側の壁際に設置したが、仮に、その時同時に左側の壁際に設置したとしたら、今回の K 値と違った K 値が求まる可能性がある。このことは、表 3.1 及び表 3.3 の相対濃度が測定点 A、測定点 B 及び測定点 C ごとで時間帯により異なることから分かる。

3.1.5 吹き付け作業時の切羽から抗口に向かって 5 m の位置に設置した LD-3K2 の状況

切羽から 5 m 離れた地点に設置した測定点で、L-D3K2 及び吹き付け作業時に飛散する水滴等の影響を防止する目的で L-D3K2 の吸引口にミゼットインピンジャーを取り付けた 2 台のデジタル粉じん計を並行に置き、吹き付け作業時の粉じん濃度測定を行い、切羽付近における吹き付け作業時の粉じん濃度測定の可能性について検証を行った。また、本来は、デジタル粉じん計と NW-354 型を測定点に設置し、併行測定により、各デジタル粉じん計の質量濃度変換係数 K 値を求めることも測定に目的に入っていたが、安全性等を考えて、電源を必要とする NW-354 型の測定の許可が下りなかったため、デジタル粉じん計だけの測定となった。そのため、粉じん濃度は、相対濃度で求めた。

測定時間は、26.8 分で、各粉じん計の相対濃度測定結果は下記のとおりである。

相対濃度計 LD-3K2	264961 (count)	13618 (cpm)
LD-3K2+インピンジャー	62087 (count)	2317 (cpm)

水滴等の影響を防止する目的で L-D3K2 の吸引口にミゼットインピンジャーを取り付けたデジタル粉じん計 LD-3K2 と、通常の LD-3K2 での濃度測定結果を比較すると、LD-3K2 の吸引口にミゼットインピンジャーを取り付けたデジタル粉じん計 LD-3K2 の方が低い相対濃度を示しており、測定器のセメントの付着も著しく、単に水滴の影響のみで無く、測定器への吹き付けコンクリートの跳ね返りの影響により測定精度が保てなかったことも考えられる。

これは、水滴防止のためのミゼットインピンジャーに吹き付け作業時の粉じんも捕集されたため、低い粉じん濃度を示したと考えられる。さらに、ミゼットインピンジャーを取り付けていないデジタル粉じん計の場合、水滴をカウントしている可能性も考えられ、結果として、両測定器による相対濃度の測定結果に大きな違いが生じたと考えられる。

測定終了時のデジタル粉じん計の状況を図 3.3 に示す。また、各デジタル粉じん計の粉じん吸引口の拡大図を図 3.4 に示す。



図 3.3 デジタル粉じん計の測定終了後の状況図



図 3.4 各デジタル粉じん計の粉じん吸引口の拡大図

図 3.3 及び図 3.4 より、LD-3K2 の吸引口部分及びインピンジャーの先端部分にコンクリートが付着し、粉じん濃度測定値への影響が懸念されるとともに、吸引口を塞ぐように付着したセメント粉じんは、デジタル粉じん計の故障の直接の原因になる可能性が十分に考えられる。ただし今回は、吸引口を塞ぐように付着したセメント粉じんがあるにもかかわらず粉じん濃度の測定ができていることから、測定開始時から吸引口を塞ぐように付着したセメントにより測定が難しくなるまでの間の粉じん濃度の測定結果と考えられる。

3.2 高速道路トンネル建設工事 2 (大阪府茨木市)

3.2.1 測定現場の状況

測定現場の抗口付近の外観を図 3.5 に示す。また、換気方式は送気式とエアカーテン方式の組み合わせ方式である。エアカーテン方式は、図 3.6 に示すように、風管からの送风量 (1762m³/min) より集じん装置による排风量 (2114m³/min) を多くなるように风量調整することで、多くなった风量 (352m³/min) を切羽方向への気流の流れにすることで集塵機の後方にエアカーテンを作る。その結果、切羽付近の粉じんをエアカーテン後方抗口方面のずい道内に流れ出すのを防ぐ方式である。本現場では、切羽より 30m離れた地点にエアカーテンができていた。



図 3.5 測定現場の抗口付近の外観

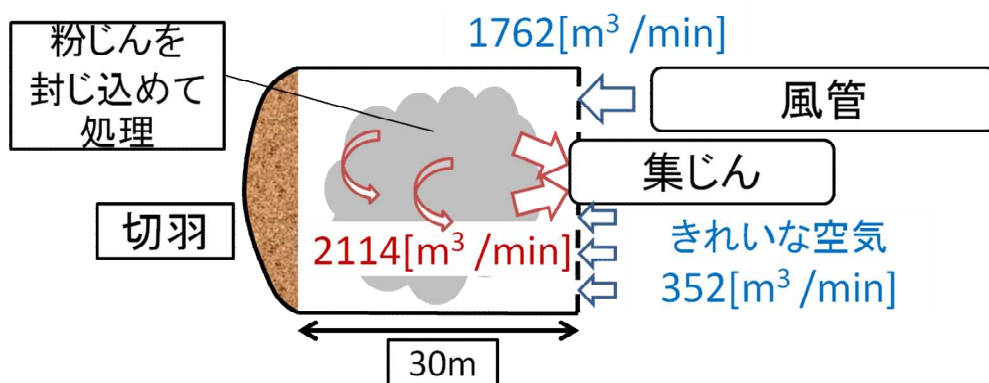


図 3.6 エアカーテン方式の概要

3.2.2 測定位置

測定点の位置を図 3.7 に示す。

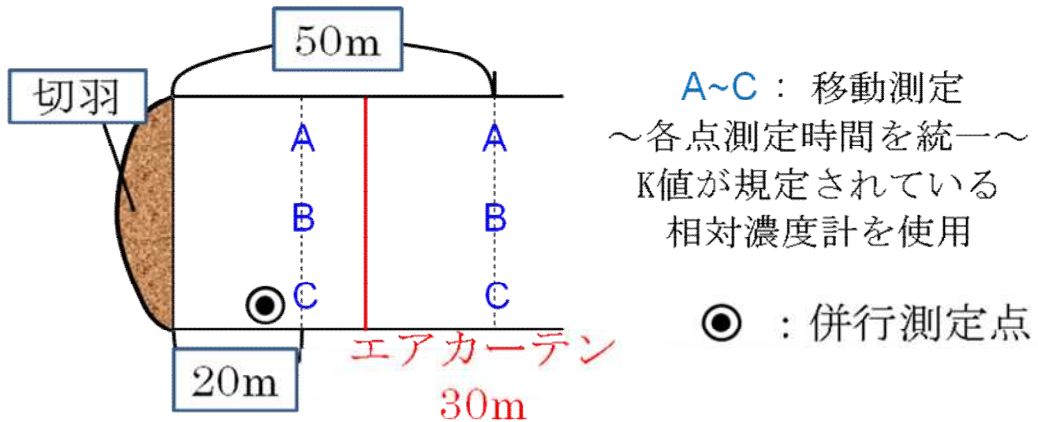


図 3.7 測定点概略図

3.2.3 20m地点における各デジタル粉じん計の K 値

切羽から 20m地点に併行測定点を設定し、各種デジタル粉じん計と慣性衝突式ローボリュームサンプラーNW-354 型を用いて併行測定を行い、各種デジタル粉じん計の K 値を求めた。その結果は、下記のとおりである。ただし、K 値は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及び吹き付け作業時の一連の作業で求めた値である。

LD-3K2	0.0027 (mg/m ³ /cpm)
LD-5	0.0032 (mg/m ³ /cpm)
LD-5D	0.033 (mg/m ³ /cpm)
LD-6N	0.0037 (mg/m ³ /cpm)

K 値は、粒径依存性があり、一般的に粒径が大きくなると K 値は大きくなる傾向にある。そのため、切羽に近い 20m地点の粉じんの粒径は、50m地点での粉じんの粒径に比べて大きいことから、20m地点の K 値は、50m地点での K 値に比べて大きくなる。ただ、20m地点の粉じん粒径は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及び吹き付け作業ごとに時々刻々粉じん濃度とともに変化をすること、併せて風管からの吹き出し気流の影響などを受けてトンネル断面の粉じん濃度が不均一になる等が考えられることから、併行測定点の位置によっても変化する可能性がある。

3.2.4 20m及び 50mの測定点における各作業別粉じん濃度

掘削作業時の 20m及び 50m測定点における相対濃度及び質量濃度の測定結果を表 3.6 及び表 3.7 にそれぞれ示す。ただし、20m 測定点では、LD-3K2 を、50m 測定点では、LD-5 を用いて測定を行った。また、20m 測定点における K 値は、今回併行測定で求めた 0.0027

($\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$) を用い、50m 測定点における K 値は、ガイドライン (平成 20 年 2 月改正) で規定している値である $0.002 (\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm})$ を用いて質量濃度を算出した。

一方、吹き付け作業時の測定について、B 地点はミキサー車等の移動があり、測定者の安全確保のため測定できなかった。また、積み込み又は積み卸し作業についても同様に測定者の安全確保のため測定自体が不可能であった。

なお、一連の掘削作業時等においても発じんの状況が変化するので、作業時間全体を 4 回に分けて各測定点で 1 分ずつの測定を行い、その平均を求めて評価した。同じくコンクリート等吹き付け時は 4 回に分けて各測定点で 1 分ずつの測定を行い、その平均を求めて評価した。

表 3.6 掘削作業時の 20m 及び 50m 測定点における相対濃度

測定時間	測定位置	A[cpm]	B[cpm]	C[cpm]	平均値[cpm]
10:03~ 10:06	20m	2058	1702	2267	2009
	50m	574	597	553	575
10:10~ 10:13	20m	1034	1102	1126	1087
	50m	167	143	238	183
10:18~ 10:21	20m	799	1207	789	932
	50m	188	93	346	209
10:33~ 10:36	20m	1248	2452	2292	1997
	50m	156	260	120	179

表 3.7 掘削作業時の 20m 及び 50m 測定点における質量濃度

測定時間	測定位置	A[mg/m^3]	B[mg/m^3]	C[mg/m^3]	平均値[mg/m^3]
10:03~ 10:06	20m	5.56	4.60	6.12	5.42
	50m	1.15	1.19	1.11	1.15
10:10~ 10:13	20m	2.79	2.98	3.04	2.94
	50m	0.33	0.29	0.48	0.37
10:18~ 10:21	20m	2.16	3.26	2.13	2.52
	50m	0.38	0.19	0.69	0.42
10:33~ 10:36	20m	3.37	6.62	6.19	5.39
	50m	0.31	0.52	0.24	0.36

吹き付け作業時の 20m 及び 50m 測定点における相対濃度及び質量濃度の測定結果を表 3.8 及び表 3.9 にそれぞれ示す。

表 3.8 吹き付け作業時の 20m 及び 50m 測定点における相対濃度

測定時間	測定位置	A[cpm]	B[cpm]	C[cpm]	平均値[cpm]
13:45～	20m	2003		995	1499
13:48	50m	893		861	877
13:52～	20m	1023		964	994
13:55	50m	734		583	659
14:01～	20m	976		991	984
14:04	50m	783		632	708
14:07～	20m	648		738	693
14:10	50m	416		614	515

表 3.9 吹き付け作業時の 20m 及び 50m 測定点における質量濃度

測定時間	測定位置	A[mg/m ³]	B[mg/m ³]	C[mg/m ³]	平均値[mg/m ³]
13:45～	20m	5.41		2.69	4.05
13:48	50m	1.79		1.72	1.75
13:52～	20m	2.76		2.60	2.68
13:55	50m	1.47		1.17	1.32
14:01～	20m	2.64		2.68	2.66
14:04	50m	1.57		1.26	1.42
14:07～	20m	1.75		1.99	1.87
14:10	50m	0.83		1.23	1.03

各作業別の 20m 及び 50m の測定点における粉じん濃度測定結果をまとめて表 3.10 に示す。

表 3.10 各作業別の 20m 及び 50m の測定点における粉じん濃度

測定位置	掘削作業時の粉じん濃度 [mg/m ³]		吹き付け作業時の粉じん濃度 [mg/m ³]	
	20m	50m	20m	50m
A	(3.47)	0.54	(3.14)	1.41
B	(4.36)	0.55		
C	(4.37)	0.63	(2.49)	1.35
平均	(4.07)	0.57	(2.81)	1.38
R.S.D[%]	(12.74)	8.84	(16.32)	3.49

※積み込み又は積み卸し作業については安全に配慮して測定できず。() は参考値。

本作業場の換気方式が送気式とエアカーテン方式の組み合わせ方式のため、切羽より 30 m 地点にエアカーテンができることから、エアカーテンの内部にある 20m 地点の粉じん濃度は、切羽における作業状況に直接影響を受ける。一方、50m 地点の粉じん濃度は、エアカーテンの外側にあることから、エアカーテンにより切羽からの粉じん飛散影響を直接受けない。そのために 20m 地点と 50m 地点では、著しく粉じん濃度が異なる結果になった。

表 3.10 より、各作業別の全ての測定点において、30m 地点のエアカーテンより切羽に近い 20m 地点の方が、50m 地点より粉じん濃度の値が大きい値を示した。

3.2.4 吹き付け作業時の切羽から抗口に向かって 10m の位置に設置した LD-3K2 の状況

切羽から 10m 離れた地点に設置した測定点で、L-D3K2 及び L-D3K2 の吸引口にミゼットインピンジャーを取り付けた 2 台のデジタル粉じん計を並行に置き、吹き付け作業時の粉じん濃度測定を行い、切羽付近における吹き付け作業時の粉じん濃度測定の可能性について検証を行った。また、本来は、デジタル粉じん計と NW-354 型を測定点に設置し、併行測定により、各デジタル粉じん計の K 値を求めることも測定に目的に入っていたが、安全性等を考えて、電源を必要とする NW-354 型の測定の許可が下りなかったため、デジタル粉じん計だけの測定となった。そのため、粉じん濃度は、相対濃度で求めた。

測定時間は、27.1 分で、各粉じん計の相対濃度測定結果は下記のとおりである。

相対濃度計 LD-3K	20847 (count)	769 (cpm)
LD-3K2+インピンジャー	14688 (count)	542 (cpm)

水滴等の影響を防止する目的で L-D3K2 の吸引口にミゼットインピンジャーを取り付けたデジタル粉じん計 LD-3K2 は、通常の LD-3K2 に比べて、低い相対濃度を示した。

測定終了時のデジタル粉じん計の状況を図 3.8 に示す。



図 3.8 デジタル粉じん計の測定終了後の状況図

第2現場（大阪府茨木市）の吹き付け作業時の飛散粉じん濃度は、20m地点においても、当該測定点においても第1現場（三重県鈴鹿市）の吹き付け作業時の飛散粉じん濃度に比べて、低濃度であった。また、第1現場で見られたようなセメント粉じんのデジタル粉じん計の吸入口への付着は認められなかったものの、相対濃度測定結果が10m地点の値よりも20m地点の値の方が大きくなっているなど、10m地点での測定についてセメント粉じん等の飛散がデジタル粉じん計の測定精度に影響を与えていることが考えられる。

4. K値について

前述のように、一般的にK値は、粒径依存性があり、粒径が大きくなるとK値は大きくなる。そのため、切羽に近い20m地点の粉じんの粒径は、発生源に近く50m地点での粉じんの粒径に比べて大きくなることから、20m地点のK値は、50m地点でのK値に比べて大きくなる。ただ、20m地点の粉じん粒径は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及び吹き付け作業ごとに時々刻々粉じん濃度とともに粉じん粒径も変化をすること、さらに、風管からの吹き出し気流が切羽面に吹き付けられ、抗口方向に戻った気流がトンネル断面の粉じん濃度分布に影響を与える。つまり、風管の位置及び切羽断面のどの部分に吹き出し気流が当たるか、また、その時の切羽断面の形状などにより、抗口方向に戻る気流の方向性が異なり、加えて、切羽断面のどの部分を掘削しているか、どの部分にセメント等を吹き付けているかによっても粉じんの発生する場所も異なるため、発生する粉じんもその気流の影響を受ける。さらに、掘削や吹き付け用大型重機の作業位置によっても、抗口方向に戻る気流の流れに影響を与える等、切羽からの複雑な気流の流れが、切羽後方のトンネル断面の粉じん濃度分布に大きな影響を与えることが考えられる。そのため、ずい道の右側壁に併行測定点をとるか左側壁に併行測定点を取るかによってもK値は変化する可能性がある。つまり、併行測定点を切羽に向かって右側の壁際に設置した場合と左側の壁際に設置した場合では違ったK値が求まる可能性がある。

今回測定を行った第2現場のK値は、掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及び吹き付け作業時の一連の作業で求めた値である。第1現場と第2現場のそれぞれの測定地点で求めたK値を比較すると、第1現場の方が高い値を示しており、このことから、同一の測定地点であっても、現場の状況によってバラツキがあることが分かった。

本来、換気方式から考えた場合は、第1現場の送気・排気方式に比べて、第2現場のような切羽付近の作業時に発生した粉じんを封じ込める送気式とエアカーテン方式の組み合わせた換気方式の方が20m地点の粉じん濃度は高くなる傾向にあるが、今回はそうして傾向とは違った結果になった。これは、隧道岩盤の岩質や含水率、切羽での掘削方式、換気方式など現場の作業状況が、複雑にからみあって粉じんが発生するので、同様な作業を行っているような現場であっても発生粉じん量やK値が著しく異なることは、トンネル現場においては一般的によくあることである。本測定では、掘削作業及び吹き付け作業時に発生した粉じん量が、第1現場の方が第2現場に比べて著しく多かった。ただし、第2現場

だけで見ると、20m 地点と 50m 地点との差は顕著に現れており、エアカーテンの効果は認められる。

そのため、そうした影響を大きく受けやすいため 20m地点で併行測定を行い、科学的に十分な安定した K 値を求めることは難しいと考える。さらに、今回の 2 現場においても K 値に相違が出たように、今後多くの現場で仮に 20m地点で併行測定を行ったとしても、ガイドライン（平成 20 年 2 月改正）で規定しているような、どのトンネル現場においても使用できるような科学的に十分な安定した標準的な K 値を求めることは困難と考える。

5. まとめ

切羽における掘削作業、積み込み又は積み卸し作業及びコンクリートを吹き付け作業時の測定は、今回の 2 現場においては、切羽付近として切羽から 20m 地点での、デジタル粉じん計による相対濃度測定については一定の結果を示すことができた。

一方、現場担当者と相談の上、それらの作業に支障ない場所と現場の係員が測定者に付き添い安全を確認するという条件等を総合的に判断して、切羽より 20m離れた地点に併行測定点を設けて K 値を求めたものの、測定場所等に依存してバラツキが大きいため、科学的に十分な安定した標準的な K 値を求めることは困難であった。

したがって、今回は、20m地点でデジタル粉じん計による相対濃度を求めることはできたが、K 値については、20m地点では、先にも説明したように、作業に伴う粉じん濃度及び粉じん粒径の変動、風管の位置及び風管からの吹き出し気流の風速などの影響を受けてトンネル断面の粉じん濃度が不均一になる等の影響を大きく受けやすく、同様な作業を行っているような現場であっても発生粉じん量が著しく異なることから、ガイドライン（平成 20 年 2 月改正）で規定しているようななどのトンネルでも使用できる科学的に十分な安定した標準的な K 値を 20m地点で求めることは現状では困難と考える。

6. その他

トンネル建設工事現場によっては、重機の移動範囲が異なる等も考えられるので、現場毎に測定者の安全の確保について十分に留意し測定を行う必要があると考える。

トンネル工事における一般的な粉じん濃度の困難性については、下記の事項が考えられる。

- ① 作業に伴う粉じん濃度及び粉じん粒径の変動、風管の位置や風管からの吹き出し気流の風速などの影響を受けてトンネル断面の粉じん濃度が不均一になど影響を大きく受けやすいことから、科学的に十分な K 値が安定しないこと。
- ② 吹き付け作業時の切羽直前（5～10m）では、デジタル粉じん計等測定機器が激しく汚れるなど精度への影響が著しく、また機器への影響としても、その都度校正の必要が生じ、コストが増すとともに、校正を行っている間はデジタル粉じん計が使用できないため、粉じん濃度測定に支障を来すこと。

- ③ 測定を安全に行うための位置は、重機の移動等を考慮して切羽より 20mが限界であること。
- ④ 併行測定等は、作業環境測定士が行う必要があり、測定して結果が出るまでに時間を要し、かつ、トンネルは時々刻々と掘進することで測定時の作業環境の評価には結びつかないこと。また、その定量にはコストがかかること。