

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

隧道等建設工事の現行測定法の検証とアーク溶接等への

新測定法の提案に関する研究

平成21年度 総括・総合研究報告書

主任研究者 名古屋俊士

平成22年（2010）年4月

目 次

I. 総括・総合研究報告書

隧道等建設工事の現行測定法の検証とアーク溶接等
への新測定のプロ案に関する研究

1

名古屋俊士

II. 研究成果の刊行に関する一覧表

厚生労働科学研究費補助金（労働安全総合 研究事業）
（総括） 研究報告書

隧道等建設工事の現行測定法の検証とアーク溶接等への
新測定法の提案に関する研究

研究者代表者 名古屋俊士 早稲田大学理工学術院 教授

研究要旨

現行の隧道工事現場は、隧道等建設工事における粉じん対策に関するガイドラインの施行以降著しく環境が改善されている。ガイドラインは、当時の技術レベル等を考慮して作成された換気能力の確認のための測定法である。そのため粉じん濃度目標レベル3 (mg/m^3) には、防塵マスクへの粉じんの漏れ込み率や作業環境に浮遊する粉じん中の遊離けい酸含有率も考慮されていない。ガイドラインが制定されることにより、環境改善が進んでいる現状において、隧道建設現場における粉じん濃度測定を実施し、粉じん濃度測定位置 50m の検証及び粉じん濃度目標レベル3 (mg/m^3) の改正の必要性等を検証する。さらに、本研究で開発した改良型 PDS-2 粉じん計を発展させメーカーとの共同研究で市販用粉じん曝露濃度計として、LD-6N 粉じん計を開発した。その LD-6N 粉じん計を用いて、粉じん則が改正され、吹き付け作業等々に電動ファン付き呼吸用保護具の着用が義務づけられた事を受けて電動ファン付き呼吸用保護具の有効性を検証する。また、作業者の粉じん曝露濃度調査並びに曝露濃度測定に関して新たな測定法を導入する必要の是非等検証結果をふまえ提言を行う。

アーク溶接作業の場合、作業者への曝露防止対策は進みつつあるが、測定法及びその評価法が確立していないことが、長い年月の間粉じん障害防止総合対策の重点項目になっている原因の一つと考えられる。そのため、溶接現場における粉じん濃度測定法として現行の A 測定及び B 測定に代わる測定法として、C 測定（作業者の肩に測定器を固定した測定）及び B⁺測定（B 測定の欠点を補う測定）の現場適応試験を試み、早急な測定法及び評価法を提言する。さらに、溶接作業現場における大きな問題は、命に直結する CO 濃度測定法が確立しておらず、早急な測定法及び評価法を確立する必要性があることを受けて、測定器の開発及び測定法を提案する。

現在、手持式又は可搬式動力工具による金属等の研ま作業は、粉じん発生源対策を講じることが困難なことから、粉じん障害防止規則上の測定義務がある特定粉じん作業（同規則別表 2 の粉じん作業）から除外されており、同規則では対策が困難な粉じん作業の場合、健康影響の観点から呼吸用保護具を使用すべき作業である別表 3 の粉じん作

業とされている。最近では、手持式又は可搬式動力工具による金属研ま作業で発生している粉じんによる健康影響が示唆されている。しかし、手持ち式又は可搬式動力工具による金属研ま作業で発生している粉じんに関しては、実態調査を含めてほとんど研究されていない。そこで、金属研ま作業に関する基礎データの収集、測定方法の模索等を目的とし、基礎実験及び現場測定を行ったので、ここで報告する。

金属加工現場において切削加工及び研削加工を行う場合、寸法精度の向上・工具寿命の延長等の目的から切削油剤が用いられる。切削油剤は、高速で回転する工具や被削材に接触してせん断を受けたり、加工部で発生する摩擦熱によって蒸発したりすることでミスト化し、作業環境中に飛散することが知られている。切削油剤ミストの有害性として、ミスト吸引による含有化学物質の毒性の他に、水分を含むために油剤中で細菌や真菌などの微生物が繁殖したミストを吸引することにより、呼吸器系の障害が起こる可能性のあることが近年欧米を中心に報告されている。また、微生物が繁殖してしまうと切削油剤としての一次性能の低下、腐敗臭の発生、油剤の液分離等が生じ、金属加工現場の作業環境にも様々な悪影響を及ぼす可能性が考えられる。このようなことから、切削油剤ミストに対する作業環境管理が求められているが、我が国の切削油剤に関する労働衛生上の知見は欧米に比べて極めて少なく、現在国内では許容濃度が3 (mg/m³) に設定されている以外、切削油剤に適合した公的な測定及び評価法が存在していないというのが現状である。そこで、我が国の作業環境に適応した、微生物による汚染も含めた総合的なオイルミストの健康影響防止対策の一環として、公的測定法が未決定である測定及び評価方法を確立すべく、新たなオイルミストの定量法として、重量分析（高濃度用）による「加熱減量法」及び機器分析（低濃度用）による「溶媒抽出—GC/FID 法」の可能性についての検討を行った。

管理濃度の改正により従来よりも低濃度域における測定が求められるようになった。また、リスク評価を実施する場合も低濃度測定が求められる時代となった。そうした、現状を受けて、従来の「直接捕集—吸光光度法」に代わる方法として「粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID 法」を提案した。「粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID 法」が測定対象有機溶剤に対してどれだけの有機溶剤について使用出来るかについて検討した。

特化則の改正により特定化学物質になったニッケル化合物の測定法については、測定法が明確に決められていない。そこで、ニッケル化合物の測定対象であるインハラブル粒子（100 μm、50%cut）に対応する測定法を提示する。さらに、ニッケル化合物の定量法についても併せて検討を行った。

以上、隧道等建設工事に伴う現行ガイドラインの検証、アーク溶接作業に関する新たな測定法の提案、手持式又は可搬式動力工具による金属研ま作業に関する新たな測定法の提案、オイルミスト発生作業場における新たな定量分析法の提案、粒状活性炭管—加熱脱着—GC/FID 法の実用性の検討及びニッケル化合物の測定法及び定量法について検討した結果について報告する。

A. 研究目的

研究の目的は、粉じん則、有機則、ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン（以下、ガイドライン）等で測定が実施されている作業環境の内、法令等施行当時と作業内容の変化及び技術等の向上により現状との間で、若干妥当性を検証しておく必要のある作業環境が存在する。そうした作業環境の代表として、早急な対応が必要な作業環境が、隧道建設工事現場、アーク溶接作業現場、金属研ま作業現場及びオイルミストの発生する研削作業現場である。隧道等建設工事に関しては、ガイドラインが施行され著しく環境が改善され、良好になっているが、改善された状況下で現行の隧道等建設ガイドラインの有効性の確認を行った。粉じん則の改正で新たに電動ファン付き呼吸用保護具の着用が義務づけられたが、その有効性を現場で実証した報告例はないので、新規に開発したLD-6N 粉じん計を用いて、その有効性を検証する。さらに、切羽での作業時の作業者にLD-6N 粉じん計を装着させて粉じん濃度の時間的変動状況測定を行い、作業に伴う粉じん曝露濃度の実態調査を行うと共に曝露濃度測定の意義と測定の評価法について提言することを目的にしている。

アーク溶接作業の場合、現行の作業環境測定では、現状の作業環境状況を正確に把握することが難しいことが、アーク溶接作業の対策が遅れている原因の一つと考えられる。そこで、C 測定及びB⁺測定のアーク溶接現場への適応の可能性について検証を行うと共に、その評価方法も併せて提言する。さらに、ガス溶接時に発生し、粉じん

に比べて命に直結するCO 濃度測定法が、通達により公表されているが、通達によるCO 濃度測定法は、現実には作業員への影響を過小評価していると考えられる。そのためには、早急に通達のCO 濃度測定法に変わる新たなCO 濃度測定法の検討する必要があることから、CO 濃度測定法及びその評価法等についても併せて検討した。

手持式又は可搬式動力工具による金属等の研ま作業は、実態調査を含めてほとんど研究されていないので、研ま作業に関する基礎データの収集、測定方法の模索等を目的とし、基礎実験及び現場測定を行ったので、ここで報告する。

金属加工現場において切削加工及び研削加工を行う場合、寸法精度の向上・工具寿命の延長等の目的から切削油剤が用いられるために、作業環境中にオイルミストが飛散する。現在オイルミストに関する公的測定法が未決定である事を受けて、測定及び評価方法を確立すべく、新たなオイルミストの定量法の検討として、重量分析（高濃度用）による「加熱減量法」及び機器分析（低濃度用）としての「溶媒抽出—GC/FID 法」の可能性と、その定量の適用範囲についての検討を行った。

管理濃度の改正に際し、従来より低濃度域における測定が求められ、固体捕集—溶媒脱着—GC/FID 法が用いられ事が多くなる状況にある。その際、脱着溶媒に有害要因を多く含んでいる二硫化炭素が広く用いられているため、それに代わる分析法として「粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID 法」を確立したが、全ての有機溶剤に対しての検証

が済んでおらず、出来るだけ多くの有機溶剤に対する適応性について検討を行った。

特化則の改正により特定化学物質になったニッケル化合物の測定法については、測定法が明確に決められていない。そこで、ニッケル化合物の測定対象であるインハラブル粒子（100 μ m、50%cut）に対応する測定法を提示する。さらに、ニッケル化合物の定量法についても併せて検討を行った。

B. 研究方法

1 隧道等建設現場におけるガイドライン法の検証

1.1 はじめに

本研究の目的は、「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」（以下、ガイドラインと略す）に基づいてトンネル建設現場で実施されている粉じん濃度測定に関して、再度ガイドラインに従った粉じん濃度測定を実施し、ガイドラインにおける粉じん濃度測定法の検証、エアラインマスクの装着の是非及び電動ファン付き呼吸用保護具の有効性の検証、個人曝露濃度測定法等について検討することである。具体的な検証・検討項目としては、以下に示す事項である。

- (1) 測定位置 50m の検証
- (2) 粉じん濃度目標レベル 3mg/m³ の改正の検証
- (3) 質量濃度変換係数の検討
- (4) エアラインマスクの装着の是非
- (5) 電動ファン付き呼吸用保護具の有効性の検証
- (6) 個人曝露濃度測定の検討

(1)では、切羽から 50m 程度離れた位置による粉じん濃度測定がガイドラインにより決められているが、50m よりも 30m の方が粉じん濃度が高いかどうか、また、その測定結果にともない測定位置を 50m よりも切羽に近い 30m の位置にすべきかどうかの検証を行った。

(2)では、現在のトンネル建設工事現場環境が著しく改善しているものの、トンネル建設工事に携わった作業者のじん肺新規有所見者の割合が高いことから、現行ガイドラインに規定されている粉じん濃度目標レベル 3mg/m³ の規制を強化すべきかどうかの検証を行った。また、中小断面のトンネル建設工事現場では、作業スペースが狭いために集塵機や換気設備等の設置が規制されてしまい、粉じん濃度目標レベル 3mg/m³ の達成が困難であるという状況を踏まえて、粉じん濃度目標レベルの検討を行った。

(3)では、現行のガイドラインにおいては、デジタル粉じん計の質量濃度変換係数K値が与えられており、そのK値を用いて粉じん濃度測定を行う。現在市販されているデジタル粉じん計の内、LD-5 及び LD-5D の質量濃度変換係数K値が示されていないために、トンネルに於ける粉じん濃度測定が出来ない状況にある。そこで、50m の測定位置で併行測定を行い、デジタル粉じん計 LD-5 及び LD-5D のK値を求め、早急に告示し、現場で使える様にするための検討を行った。

(4)防じんマスクに変わるマスクとして、エアラインマスクの装着の可能性について、吹き付け作業者にエアラインマスクを

装着し、作業性等を検証し、装着の可否を判断する。

(5) 粉じん則の改正で新たに電動ファン付き呼吸保護具の着用が義務づけられたが、その有効性を現場で実証した報告例はないので、その有効性を検証する。

(6) では、現行のガイドラインが換気装置等による作業環境管理がなされているかどうか評価するための測定であるが、作業者の粉じん曝露濃度の低減対策まで拡大し運用できるのかどうか、さらに、個人曝露濃度測定の導入が必要かどうかについて検討を行った。

1.2 粉じん濃度測定結果からの検証

1.2.1 測定対象トンネルと測定点について

1) 測定対象のトンネル

測定対象のトンネルは、殆どが自動車トンネルであり、鉄道トンネルは3カ所であった。トンネルの大部分が、断面積 $65 \text{ (m}^2\text{)}$ から $80 \text{ (m}^2\text{)}$ のトンネルであった。

2) 測定点の概要

ガイドラインによる粉じん濃度測定の検証のトンネル建設工事現場における各測定点及び併行測定点の概略図を図1.1に示す。

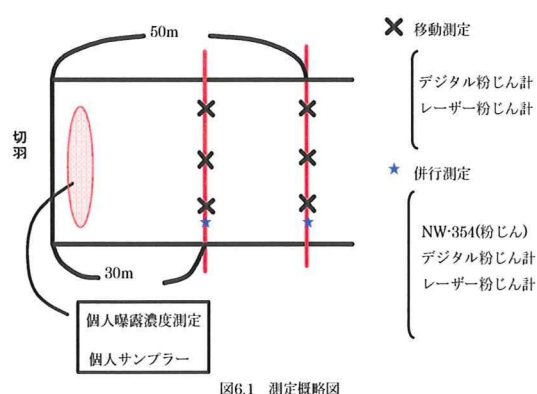


図6.1 測定概略図

図 1.1 測定点の概略図

移動測定に関しては、ガイドラインに規定された粉じん濃度測定方法にしたがって、切羽から坑口へ向かって50m及び30m離れた位置における粉じん濃度測定を同時刻に行った。各測定点の外観図を図1.2及び図1.3にそれぞれ示す。



図 1.2 30m地点於ける粉じん濃度測定状況

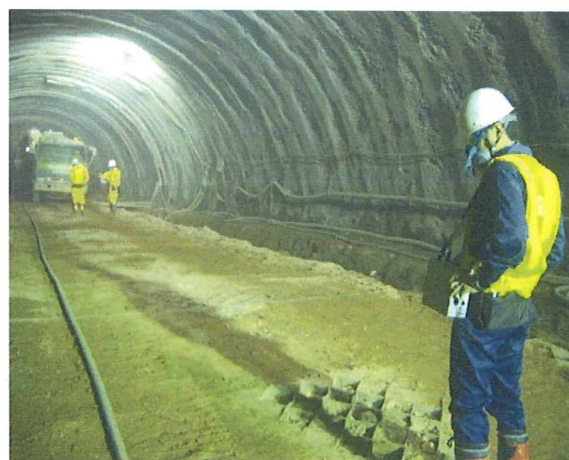


図 1.3 50m地点於ける粉じん濃度測定状況

併行測定は、風管の位置に関係なく、切羽から坑口へ向かって50m離れた位置に測定機器を設置して行った。また、切羽作業者に対しては、改良型PDS-2を作業者に装着してもらうことで作業中の粉じん曝露濃度の時間変動状況の測定を行った。さらに、電動ファン付き呼吸用保護具を装着し

た状態で、改良型PDS-2を作業者に装着し、電動ファン付き呼吸用保護具内の粉じん濃度を測定し、その有効性を検証した。

1.2.2 現行の切羽から50m地点における 測定点の変更の可能性に関する検証

切羽から30m及び50mの各測定点に於ける粉じん濃度測定結果の内、2次吹き作業及びずり積み作業時の結果をまとめて表1.1に示す。ただし、粉じん濃度測定に用いた粉じん計の内、LD-3K2の測定結果をまとめた値である。測定点に於ける測定状況を図1.4に示す。

表1.1 30mと50mにおける粉じん濃度の比較

トンネル	工程	粉じん濃度 (mg/m ³)	
		50m	30m
A (道路)	2次吹き	7.84	7.19
	ずり積み	0.64	0.55
B (鉄道)	2次吹き	11.56	10.60
C (鉄道)	ずり積み	0.20	0.27
D (道路)	2次吹き	12.05	13.27
	ずり積み	1.71	1.76
E (道路)	2次吹き	2.71	2.67
F (道路)	2次吹き	3.28	4.58
	2次吹き	1.36	3.00
	2次吹き	1.49	3.85
G (道路)	2次吹き	6.39	5.90
	2次吹き	4.11	4.28
H (道路)	2次吹き	2.43	2.65
I (鉄道)	2次吹き	4.20	3.96
J (道路)	2次吹き	4.68	5.04
K (道路)	2次吹き	2.38	3.04
L (道路)	2次吹き	2.43	3.26
M (道路)	2次吹き	0.98	2.04
N (道路)	2次吹き	7.70	7.74

表1.1より、2次吹き作業時のAトンネル、Bトンネル、Eトンネル、Gトンネル及びIトンネルの30m地点と50m地点における粉じん濃度は、50m地点に於ける粉じん濃度が高い値を示した。また、Aトンネルにお

いては、ずり積み作業時50m地点が30m地点に比べて高い濃度を示した。それ以外の9のトンネルでは、切羽に近い30m測定点での粉じん濃度が高かった。現時点において、切羽から近い30m地点が必ずしも50m地点より粉じん濃度が高いとは言えない。つまり、各トンネルとも吹き出し換気方式のため、吹き出し風管の位置が、切羽からどのくらいの距離にあるか？風管が断面のどの部分に取り付けられているか？また、集じん機の位置なども重要な要因となる。そのため、各トンネルにより、30mでの粉じん濃度と50mでの粉じん濃度に相違が生じるのであって、切羽に近いからと言って粉じん濃度が高い訳ではない事が明らかとなった。また、現状のトンネルの粉じん濃度測定に関して、吹き付け作業は、従来通り粉じん濃度測定を実施しているが、ずり積み作業時の粉じん濃度に関しては、重機の移動等から測定の危険性も伴うため、ずりの運搬時は立入禁止となっていて事例が多く、測定自体ができない状況下にある。

以上のことから、現時点では、測定位置を50mから30mに変更する確たる理由が認められなかった。



図1.4 測定点での測定状況

1.2.3 現時点における粉じん濃度目標レベルの $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ を引き下げる必要性について

各トンネルにおける 50m 測定点でガイドラインに従った粉じん濃度測定を実施した結果をまとめて表 1.2 に示す。

表 1.2 各トンネルに於ける粉じん濃度

トンネル	作業内容	断面積 m^2	粉じん濃度 $\text{(mg/m}^3\text{)}$
A (道路)	2次吹き	70	7.83
	ずり積み	70	0.64
	2次吹き	70	3.28
	2次吹き	70	1.49
B (鉄道)	2次吹き	40	12.31
	ずり積み	40	1.66
C (鉄道)	2次吹き	65	12.05
	ずり積み	65	1.71
D (道路)	2次吹き	70	12.45
	ずり積み	70	0.63
E (道路)	2次吹き	80	2.59
	ずり積み	80	1.48
F (道路)	2次吹き	66	0.91
G (道路)	ずり積み	75	0.24
H (道路)	2次吹き	70	0.76
	2次吹き	70	0.63
I (鉄道)	2次吹き	66	5.67
J (道路)	2次吹き	70	1.34
	2次吹き	70	1.55
K (道路)	2次吹き	65	2.37
	2次吹き	80	2.38
L (道路)	ずり積み	80	0.31
	2次吹き	70	11.56
M (道路)	ずり積み	70	1.02
	2次吹き	50	0.31
N (道路)	2次吹き	50	0.31

表 1.2 より、断面積が 65m^2 以上の各トンネルにおいて、2次吹き作業時は、最大 $12.45 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ から $0.63 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ と粉じん濃度範囲は広い、 $3 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ を下回ったのは測定した 21 の作業のうち 12 と約 57% であった。

また、ずり積み作業に関しては、吹き付け作業に比べて著しく粉じん濃度は低く、 $1.75 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ から $0.31 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ と全てにおいて、粉じん濃度目標レベルである $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ を下げる状況であった。

一方、中小断面のトンネルに相当する B トンネルでは、

2次吹き時 $12.31 \text{ (mg/m}^3\text{)}$

ずり積み時 $1.66 \text{ (mg/m}^3\text{)}$

であった。大断面トンネルと同様、ずり積み作業に於いては、 $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ 以下であったもの、2次吹き作業時には $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ 以上であり、中小断面においては、粉じん濃度目標レベルの $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ を下回る事は、難しい状況にあることが推測される。ただし、D トンネルは、中断面ではあるが、シールド工法であるために参考までに記載した。

中小断面のトンネルでは、粉じん濃度目標レベル 3mg/m^3 を満たすために必要な口径の風管または必要な本数の風管の設置、必要な容量を備えた集じん装置の設置等が施工上困難である。また、粉じん濃度を希釈するために送気風量を増やすと作業性の問題等が生じると考えられるため、粉じん濃度目標レベル $3 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ を達成することが困難な現場が多いのが現状と考える。

ガイドライン制定時に決められた粉じん濃度目標レベルである $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ は、あくまでも、トンネル作業時に換気状況を確認するための濃度であり、その濃度には防じんマスクの漏れ込み等健康影響に関する要素は盛り込まれていない。そうした、換気技術の確認のための目標濃度であることの趣旨を受けて、現場では、その濃度の達成に向かって現在努力している所である。また、ガイドライン設定時と異なり、粉じん則の改正により、電動ファン付き呼吸保護具の装着が義務付けられ、後述するが、その有効性が証明された。粉じん濃度目標

レベルである $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ は、換気技術の向上に寄与し、その濃度以下にすべく努力しているトンネルもまだ 40% 近くある現状を考えると、より厳しい低い濃度の変更する状況にはないと考えられる。

1.2.4 質量濃度変換係数 K 値について

ガイドラインにおける粉じん濃度測定以外に、併行測定による LD 系相対濃度計の質量濃度変換係数の検討を行った。切羽から 50m 地点の併行測定点の概要を図 1.5 に示す。



図 1.5 併行測定の外観図

LD 系相対濃度計の内、LD-3K₂ については、昨年の併行測定の結果から、質量濃度変換係数 K 値を「0.002」にすることを提案して、その結果、粉じん則の改正時、LD-3K₂ の K 値が 0.002 となった。本年度は、市販されている相対濃度粉じん計の内、LD-5 及び LD-5D の質量濃度変換係数 K 値が決められていないために、ガイドラインの粉じん濃度測定に使用できない状況にある。そこで、LD-5 及び LD-5D の質量濃度変換係数 K 値を求める目的で併行測定を行った。併行測定

時の粉じん濃度は慣性衝突式 NW-354 型ローボリューム・エアサンプラーにて測定を行った。測定結果を表 1.3 に示す。

表 1.3 相対濃度計 LD-5 及び LD-5D の
質量濃度変換係数 K 値

トンネル	作業内容	粉じん濃度 (mg/m ³)	LD-3K2	LD-5	LD-5D
A (鉄道トンネル)	ずり積み	1.09	0.0019	0.0023	0.019
	2次吹き	7.56	0.0021	0.0028	0.020
	2次吹き	7.90	0.0036	0.0028	0.021
B (道路トンネル)	ずり積み	1.00	0.0011	0.0012	0.012
	2次吹き	9.63	0.0021	0.0023	0.021
C (道路トンネル)	2次吹き	2.53	0.0019	0.0021	0.022
D (道路トンネル)	2次吹き	3.98	0.0031	0.0032	0.038
	2次吹き	0.63	0.0016	0.0017	0.021
平均値			0.0022	0.0023	0.021

表 1.3 より、LD-5 及び LD-5D の K 値の測定値が少なく、今後測定値を増やして議論する必要があるが、LD 系相対濃度計の K 値が、LD-3K₂ の K 値と LD-5 の K 値には、相関関係があり、同じ傾向を示している。そこで、現行の LD-3K₂ の K 値が 0.002 ある事を考えると、散乱方式等が同じある LD 系相対濃度計である LD-5 の K 値は、「K=0.002」が妥当なように思われる。また、LD-5D は、LD-5 の感度が 1/10 の機種であることから「K=0.02」が妥当なように思われる。

1.2.5 エアラインマスクの着用について

トンネル B の吹き付け作業者にエアラインマスクを装着して作業して貰い、作業性、作業時の安全性等についてアンケートを行った。昨年度は面体とコンプレッサーをつなぐエアラインを 120m まで延ばし、出来るだけ切羽から離れた場所に空気を供給するコンプレッサーを設置してその作業性を確認したが、コンプレッサーを坑内に設置し、その作業性等をアンケートにより検証した。アンケートを実施した結果、エアライ

ンが長く、作業性も悪いし、重機等の運搬道の横を通るため、重機への巻き込みが無いように注意をするなど、エアラインマスクの装着を否定する結果が得られた。次に、空気を供給するコンプレッサーを使用せず、空気ボンベを使用することで検討を行った。

使用したエアラインマスクは重松製作所（以下、重松）製で、全面型（ZAL-CS）と半面型（ZAL-BW）で、空気ボンベから空気を供給するタイプである。吹き付け操作者にエアラインマスクの装着を行い、使用後に使用者と現場管理者にアンケートを行うことで、装着の具合、使い勝手などを調査し、有効性の検証を行った。全面型エアラインマスク（ZAL-CS）の装着の様子を図1.6に示す。装着作業者のエアラインマスクの装着状況は、1次吹付け作業時が全面型エアラインマスクで、2次吹付け作業時が半面型エアラインマスクである。

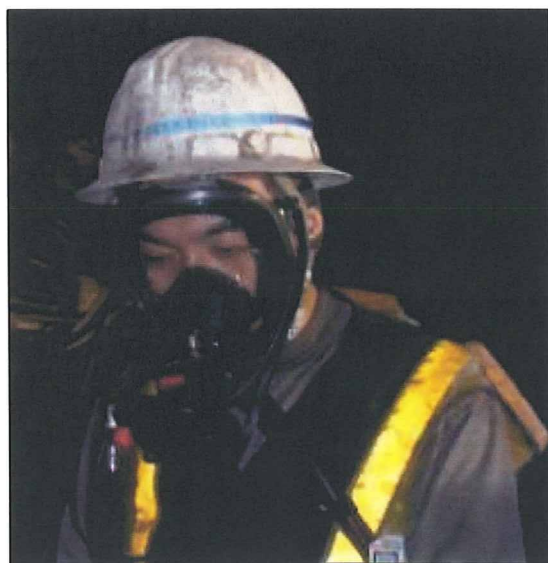


図1.6 全面型エアラインマス（ZAL-CS）の装着の様子

測定終了後にエアラインマスクを装着して作業を行った作業者に対してエアラインマスクの装着具合、装着時の作業性などのアンケートを実施したので、その結果を整理したものを表1.4に示す。

表1.4 エアラインマスク使用に関するアンケート結果

使用者	現場管理者
全面形の面体が重いし、左右の視界をさえぎる	ボンベの設置・取り換えが大変
半面形に比べて全面形は、湾曲して見にくい	ホースやボンベの管理が大変
ホースが足に絡まないか気になる	故障時に防護機能を果たさない
使用したくない	

エアラインマスク使用に関するアンケート結果、まず、送気マスクを使用する場合は、装着者だけでなく、図1.7及び図1.8のようにボンベを管理する人、ホースを管理する人が必要で、エアラインマスク使用時に携わる人数が多く、人件費が高くなる可能性がある。また、慣れるまで風量調整が不便だということがあげられる。さらに、空気ボンベ一本の使用時間に限界があり、作業時間が長くなる場合は、複数の空気ボンベを予めセットしておかなければならない等の煩わしさと費用の問題がある。最後に、安全面を考慮した使い勝手の面からみても、使用したくないと意見があった。

以上のことから、エアラインマスクは、防じん効果とは別に、作業者にとっても、また現場管理者にとっても使い勝手の良い呼吸用保護具とは言えないことが明らかとなった。



図 1.7 ポンベの管理者

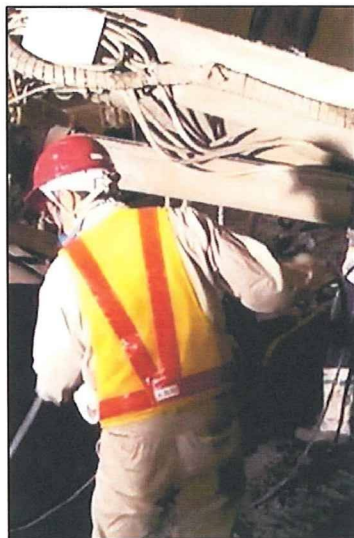


図 1.8 ホースの管理者

1.2.6 電動ファン付き呼吸用保護具の有効性の検証

検証を行ったトンネル工事場所は、Bトンネルで、施工方法が NATM 法である。

1) 測定方法の概要

電動ファン付き呼吸用保護具の有効性を検証するために用いた測定器は、粉じんの質量濃度と相対濃度の時間変動が同時に測

定できる改良型 PDS-2（柴田科学社製）を使用した。改良型 PDS-2 の外観図を図 1.9 に示す。改良型 PDS-2 は、ヘット部分に NWPS254 型を取り付け、吸引流量 $2.5 (l/min)$ で吸引することで、相対濃度計測部分（中央部）の下部に取り付けたフィルター上に吸入性粉じんを採取し、併せて、質量濃度変換係数（K 値）も同時に求めることが出来る粉じん計である。また、作業員への改良型 PDS-2 装着状況と呼吸用保護具内粉じん濃度測定状況を図 1.10 に、データーログ部分の装着状況を図 11 にそれぞれ示す。



図 1.9 改良型 PDS-2 の外観図

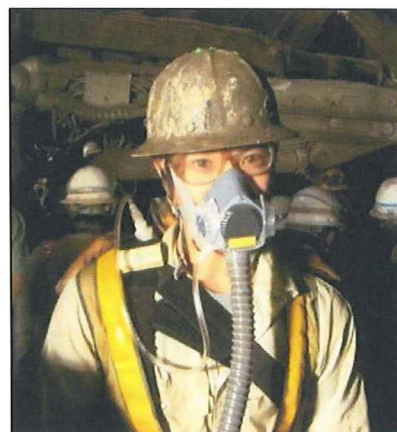


図 1.10 作業員への改良型 PDS-2 装着状況
呼吸用保護具内粉じん濃度測定状況

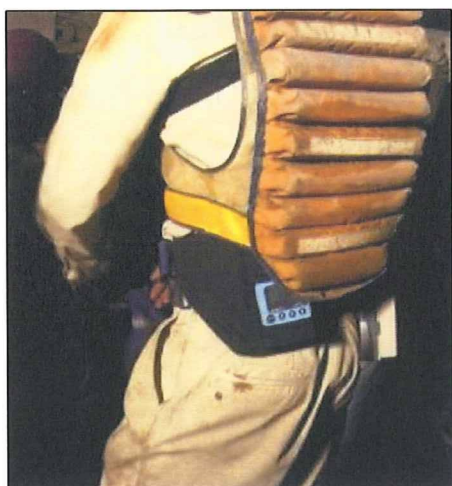


図 1.11 データーログ部分の装着状況

2) 測定場所の概要

一次吹き付けと二次吹き付けを行った測定現場の概略図を図 1.12 に、吹き付け作業の様子を図 1.13 にそれぞれ示す。ただし、図 1.13 の左側の作業者が、補助作業者、右側の作業者が、吹き付け作業者である。

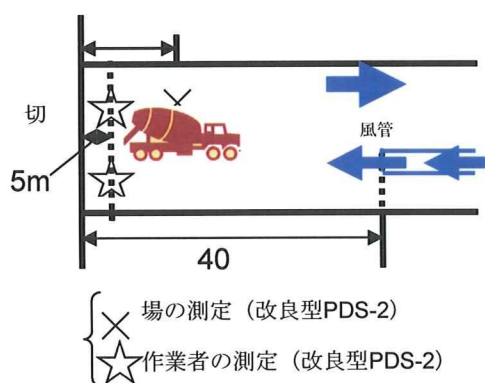


図 1.12 測定現場の概略図



図 1.13 吹き付け作業の様子

3) 電動ファン付き呼吸保護具装着状況

各呼吸用保護具の測定対象作業者は、2人である。1人は、吹き付け作業で、もう1人は吹き付け作業者が作業をしやすいように吹き付け用チューブを持つ等の補助作業を行う補助作業者である。

呼吸用保護具の各作業者に対する装着状況は、(株)重松製作所製電動ファン付き呼吸用保護具の装着状況を図1.10に、興研(株)製電動ファン付き呼吸用保護具装着状況をそれぞれ図1.14に示す。また、重松製電動ファン付き呼吸用保護具は、二次吹き付け作業時の補助作業者に、興研(株)製電動ファン付き呼吸用保護具は、吹き付け操作者に装着させ、呼吸用保護具内の粉じん濃度の測定を行った。



図 1.14 興研(株)製電動ファン付き呼吸用保護具装着状況

4) 検証結果

一次吹き付け作業、支保工作业及び二次吹き付け作業が一連の作業として行われたが、個々では、一次吹き付け作業と二次吹き付け作業を分けて既述する。

二次吹き付け（10:48～10:52）作業時、重松製作所製の電動ファン付き呼吸用保護具を補助作業者に装着させ呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図を図15に示す。ただし、呼吸用保護具の外の粉じん濃度は、切羽から15m離れた地点に改良型PDS-2を設置して測定を行った結果である。

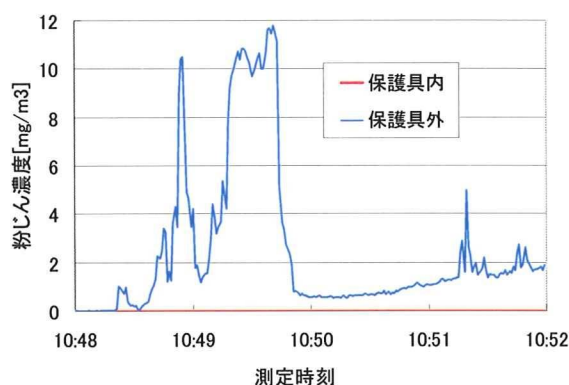


図1.15 二次吹き付け（10:48～10:52）作業時の電動ファン付き呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図

次に、一次吹き付け（14:07～14:13）及び二次吹き付け作業（14:26～14:53）の間の時間帯（14:14～14:26）は支保工の作業中である。作業時の吹き付け作業者に興研製電動ファン付き呼吸用保護具を装着させ呼吸用保護具内の粉じん濃度測定をした結果を図1.16に示す。

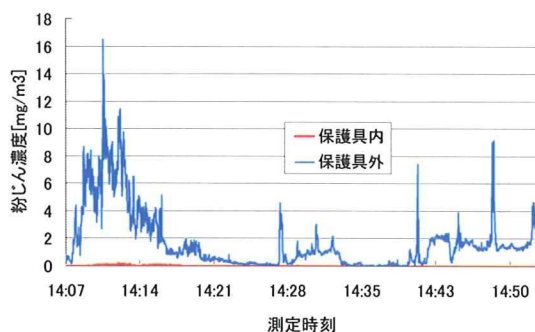


図1.16 一次吹き付け作業及び二次吹き付け作業（14:07～14:53）時の電動ファン付き呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図

図1.15から、(株)重松製作所製電動ファン付き呼吸用保護具については、呼吸用保護具内に粉じんは、測定されず、防護機能を果たしていることがわかった。それに対して図1.16の興研製電動ファン付き呼吸用保護具については、一次吹き付け作業時に電動ファン付き呼吸用保護具内に著しく低い粉じん濃度が確認された。これは、作業者は、通常(株)重松製作所製の送気式電動ファン付き呼吸用保護具を使用しているが、測定時は興研製ブレスレスポンズ形電動ファン付き呼吸用保護具を装着しマスク内の粉じん濃度を測定したため、はじめブレスレスポンズ形電動ファン付き呼吸用保護具に慣れていないため、最初空気が送り込まれてこないことにとまどい、電動ファン付き呼吸用保護具を口元から外して、ファンの稼働を確認していた時に外から粉じんが漏れ込んだ可能性が考えられる。いずれにしても、著しく低い粉じん濃度であり、漏れ等を議論するレベルの濃度ではない。

次に、吹き付け作業時、興研製電動ファン付き呼吸用保護具をオペレータに装着し

て測定をした結果を図1.17に示す。吹き付け時間は9時49分から54分までの5分間行われた。切羽周辺の粉じん濃度は $2.0 \sim 13 \text{ mg/m}^3$ が計測された。操作者はS社製半面形を装着した。マスク内の粉じんは、 1 mg/m^3 以下ではあるが、常時計測された。最初は殆ど粉じん濃度は確認されないが、9時50分前当たりから粉じん濃度が確認されだした。その濃度変動は、PAPRの面体外の濃度に似た変動状況をしめした。これは、電動ファンの電池が充電不足のためファンの回転不足が生じ、結果として面体内に十分な陽圧が得られなかったため、通常の防じんマスクと同じ防じん効果しか示さなかったと考える。また、通常作業者が装着しているマスクと違ったタイプのマスクを装着したため、マスクの装着に慣れていないことも、漏れの原因の一因と考えられる。このことより、PAPRの装着時に仮に電池容量が不足しても、通常の防じんマスクと同等な精度であることが分かる結果となった。下記の図は、通常の防じんマスクであれば、十分な防じん効果を示したといえる。

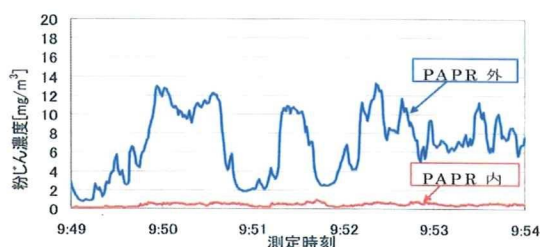


図1.17 二次吹き付け作業時の電動ファン付け呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図

先の吹き付け作業時に補助者は重松製作所製フード形を装着した。重松製作所製フード内の粉じん濃度は検知されず、適切に装着されれば有効であることが確認された。装着した重松製作所製フードは、図1.18に、装着状況を図1.19に示した。

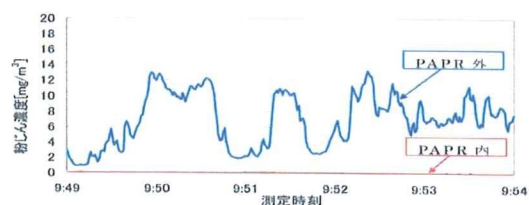


図1.18 二次吹き付け作業時のフード形呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図



図1.19 重松製作所製フード



図1.20 重松製作所製フード装着時の作業状況

次に、吹き付け作業時、興研(株)製電動ファン付き呼吸用保護具をオペレータに装着して測定をした結果を図1.21に示す。吹き付け作業は、10時36分に開始し、11時28分に終了したが、吹き付けホースの詰まりやコンクリートミキサー車の入替えなどによる中断が2回あり、実働時間は42分であった。切羽周辺の粉じん濃度は、吹き付け作業中は常時 4 mg/m^3 以上であり、最高は 20 mg/m^3 を超えていた。操作者はK社製半面形を装着した。マスク内の粉じん濃度はきわめて低いものであるが、2回目の中断後 1 mg/m^3 を測定しているのは、作業開始にあたっての作業指示のためマスクを少し外したためと思われる。それ以降はほとんど計測されていない。

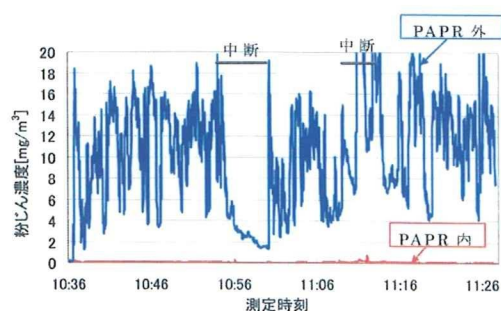


図1.21 二次吹き付け作業時の電動ファン付き呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図

吹き付け作業者と補助作業者の延べ14名の作業者に電動ファン付き呼吸保護具を装着させ、その有効性について検証を行った結果、一部、作業時に会話をするために面体を口から外す場合を除いて、電動ファン付き呼吸用保護具の粉じんに対する有効性が実証された。

1.2.7 個人曝露濃度測定について

昨年度は、作業者に個人サンプラーNWPS-254 測定器を装着させ、作業時間中に曝露する粉じん濃度測定を行った。その時の粉じん曝露濃度測定状況を図 1.22 に示す。



図 1.22 個人サンプラー (NWPS-254 型) 装着時の様子

個人サンプラーNWPS-254 測定器を用いた粉じん曝露濃度測定では、作業を行ってる時間帯の濃度測定であり、仮に、吹付け作業で高濃度に曝露しても、吹付け作業以外の低い粉じん濃度に曝露している時間帯が著しく長時間の場合は、結果として、低い粉じん曝露濃度結果を得ることになる。また、曝露濃度測定法は、本来8時間の測定結果を用いて評価する測定である。曝露濃度は、測定する日によって変動するため、この方法では測定していない日の曝露濃度を超えている危険性を評価することはできない。また、曝露濃度は同一作業場内でも作業者毎に変動するため、理想的には測定

されていない他の作業者の曝露濃度が基準値を超える危険性について評価しておく必要がある。そのためには、対象作業者全員に個人サンプラーを装着させて測定する必要がある。

また、曝露濃度は先にも述べたように8時間の測定が必要であるが、トンネル建設作業でそれだけ長時間の測定を行うことは難しい状況にある。このように、曝露濃度をいつ測定し、どのように評価するかを決めて測定しないと、ただ単に、曝露濃度測定をした結果としか残らないことになる。

そこで、本年度は、改良型 PDS-2 を作業者の肩の位置に固定して、粉じん曝露濃度の時間的変動状況の測定を行い、個人曝露濃度測定法として妥当であるか、また、その意義について検討した。

個人曝露濃度測定に使用した改良型 PDS-2 を測定結果の評価方法は、屋外ガイドラインによる測定結果評価法を参考にして評価法を考えた。屋外ガイドラインでは、測定時間を10分以上とし、その結果を用い、管理濃度と比較することで評価をおこなっている。そこで、評価法は、開始1秒から10分経過までの積算された粉じん濃度を600（1秒×10分）で除すことで、10分間単純移動平均値を求め、その10分間単純移動平均値が、管理濃度を超えている場合は、管理が悪いと評価することとした。この結果を以降、10分間単純移動平均値として記述する。

吹付け操作者に改良型 PDS-2 を装着させ、吹付け作業時粉じん曝露濃度測定を行った。その時の測定状況を図 1.23 に示す。また、粉じん曝露濃度の測定結果を図 1.24 に

示す。ただし、縦軸は10分間単純移動平均値である。また、吹き付け作業時の粉じんは、セメントが主成分であることから、粉じん中の遊離けい酸含有率を0%、つまり、管理濃度を3.0（ mg/m^3 ）とした。



図 1.23 改良型 PDS-2 による作業者の粉じん曝露濃度測定状況

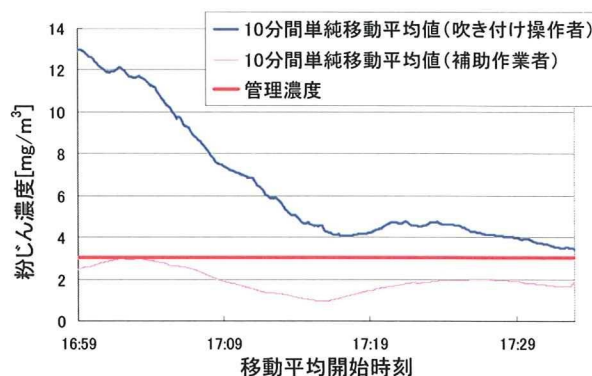


図 1.24 10分間単純移動平均値と管理濃度の比較図

また、吹付け操作者に改良型 PDS-2 を装着させ、吹付け作業時粉じん曝露濃度測定を行った。その時の粉じん濃度の時間変動状況測定結果を図 1.25 に示す。ただし、参考に切羽から50m地点の濃度変動状況も併せて示した。また、その時の10分間単純移動平均値と管理濃度の比較図を図 1.26 に示す。

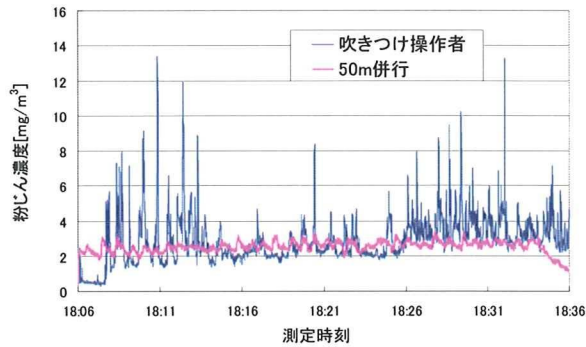


図 1.25 改良型 PDS-2 によるき付け作業者の粉じん曝露濃度の時間変動

図 1.25 より、吹き付け操作者の方は粉じん濃度の時間変動が激しく、50m の併行測定では変動がゆるやかであることがわかる。

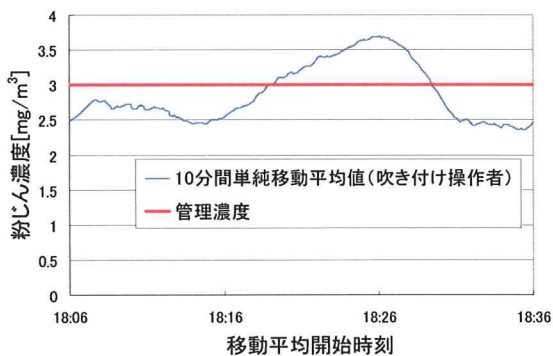


図 1.26 10 分間単純移動平均と管理濃度の比較図

図 1.26 は、吹き付け操作者及び補助作業者のいずれも管理濃度を超える時間帯は認められなかった。一方、図 1.25 は、吹き付け操作者において管理濃度の $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超える時間帯が認められた。

最後に、吹き付け作業時にオペレーターと補助作業者に改良型 PDS-2 を装着して、それぞれの曝露濃度測定を測定し、その結果を図 1.27 に示す様に 10 分間単純移動平均値として表した。図 1.27 より、管理濃度の $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超える時間帯が認められ、吹き付

け作業時には、高濃度の粉じんに曝露しており、この作業現場においても他の作業現場と同様な状況であることが明らかになった。

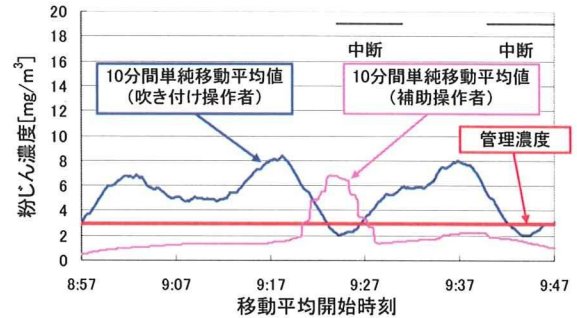


図 1.27 吹き付け作業時に於けるオペレーターと補助作業者の曝露濃度の 10 分間単純移動平均値と管理濃度の比較図

本来ならばこの時、屋外ガイドラインの表記に従い、呼吸用保護具の使用や換気状態の改善などの対策をする必要がある。しかし、換気の確認は現行のガイドラインによって、その測定法が明記されている。また、呼吸用保護具に関しては、粉じん則の規定に従い、吹き付け操作者は、電動ファン付き呼吸用保護具を着用している。よって、測定結果を元に評価を行い、その評価が基準値である管理濃度以上であったとしても、対策をする余地はもはやないと考える。さらに、電動ファン付き呼吸用保護具の有効性は検証されている現状に於いてはなおのことである。

個人曝露濃度測定は、作業者が作業時間帯を含む 8 時間に曝露した粉じん濃度を知る手段として行う測定法で、直接個人曝露濃度を把握することが出来る優れた測定法

ある。しかし、個人曝露濃度測定は、測定結果がある基準濃度を超えているような場合にどのような状況でその個人曝露濃度が得られたか分からないため対策に結びつきにくいという一面を持っている。また、個人曝露濃度測定結果（8時間）は、測定する日によって変動するため、この方法では、測定しない日の個人曝露濃度（8時間）が基準値を超える危険性を評価することは出来ない。さらに、個人曝露濃度測定結果（8時間）は、同一作業場内でも作業者毎に変動するため、理想的には、測定されていない他の作業者の個人曝露濃度（8時間）が基準値を超える危険性についても評価しておく必要がある。そのため、個人曝露濃度測定の場合、単純に個人曝露濃度測定結果を基準値と比較して良し悪しを評価するのではなく、NIOSH マニュアルの評価方法のように測定結果を統計処理して、測定していない時間帯についても評価しておく必要がある。

現在、NIOSH マニュアルの評価方法以外にこうした目的にあった個人曝露濃度評価法としては、日本産業衛生学会の作業環境測定検討委員会が提案している「作業環境システム」、或いは一部の研究者の論文として報告されている「粉じん曝露濃度の評価方法（労働科学、Vol175、No7）」などがある。いずれにしても、それらの測定及び評価法を用いた測定を行う場合、専門的な知識が必要であり、「ずい道等建設工事現場における粉じん対策に関するガイドライン」のように現場の作業者に任せることは出来ないと考ええる。

このことは、個人曝露濃度測定全般について言えることである。つまり、個人曝露濃度測定は、個人曝露濃度測定機器の選定並びに取り扱い、測定結果の処理、精度良い粉じん濃度を得るための高度な専門的技術、粉じん中の遊離けい酸の定量分析などどれをとっても第1種の粉じんの資格を持った作業環境測定士が必要である。

隧道等建設工事現場における個人曝露濃度測定法として、本研究で示した相対濃度計と質量濃度計を組み合わせたリアルタイムの粉じん濃度変動状況把握手法は、現場の状況をリアルタイムに把握出来る素晴らしい測定方法であることが明らかとなった。しかし、その結果をどのような評価法を用いて現場に活かすは、測定を担当するであろう作業環境測定士と現場の作業場を預かる現場担当者間で綿密な打ち合わせの元に、本研究報告で示した結果を参考に、目的にあった測定法及び評価法を選定し個人曝露濃度測定を実施する必要があると考える。何回も繰り返すけれど、トンネル作業現場において、粉じん曝露濃度測定を実施し、屋外ガイドラインによる測定及びその評価法を適用しても意味がないと考える。これは、屋外ガイドラインに限らず、他の個人サンプラーによる測定及びその評価法を適用しても、電動ファン付き呼吸用保護具を着用している以上、同等の結果となる。つまり、屋外ガイドラインをトンネル内の粉じん濃度測定にそのまま適用することは不適當であり、個人サンプラーによる測定を採用するためには、その目的と評価方法の設定が重要な課題であると言える。

以上のように、個人曝露濃度測定及びその評価を行っても、その成果をどのように使用するか、の意義を何処に求めるかの明確な答えを得ることが出来なかった。

2 溶接作業環境における粉じん濃度測定からの知見

昨年は、溶接作業現場において作業環境測定基準に従ったA測定及びB測定を実施した。また、吸入性粉じんの質量濃度の変動が測定可能な改良型 PDS-2 の開発を行ない、現場適応を行なうとともに、測定結果を活用した評価方法についての検討を行ない、A測定及びB測定は、特にA測定において、溶接作業の現場を正確に評価する方法でないことが明らかになった。また、改良型 PDS-2 を用いた測定の応用として、改良型 PDS-2 を測定者の肩に直接固定して、作業者近傍のヒューム濃度を測定するというC測定法を考案し、さらに、伸縮棒に改良型 PDS-2 を固定し、より溶接作業者の呼吸領域を測定できるB⁺測定を提案した。また、改良型 PDS-2 で測定した濃度変動データとビデオ画像との同期システムの確立などを行なうことで、作業者教育や作業環境管理、作業管理への適用に関する有効性を報告した。本年度は、それらの結果を踏まえ、C測定及びB⁺測定の検証を行うと共に濃度変動データとビデオ画像との同期システムの改良を行った。また、改良型 PDS-2 を用いた粉じん濃度測定の応用として防じんマスクの有効性の検証も行った。また、ガス溶接作業時の発生するCO濃度の現状は把握のための測定法の検討と問題点についても検討した。

2.1 改良型 PDS-2 を用いた粉じん濃度測定の応用

2.1.1 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示した事例

作業内容や作業姿勢、ヒュームの流れ等より多くの情報が把握できるように、溶接作業者をデジタルビデオカメラで撮影し、その画面上に曝露濃度のグラフを同時に表示する手法を考案した。その一例を図 2.1 及び図 2.2 に示す。今回測定を行なった製造ラインでは、約 3 分 20 秒毎に一連の作業が繰り返されており、作業場内は下降流型のプッシュプル型換気装置が稼動していたが、各サイクルにおける濃度レベルには大小が見られた。

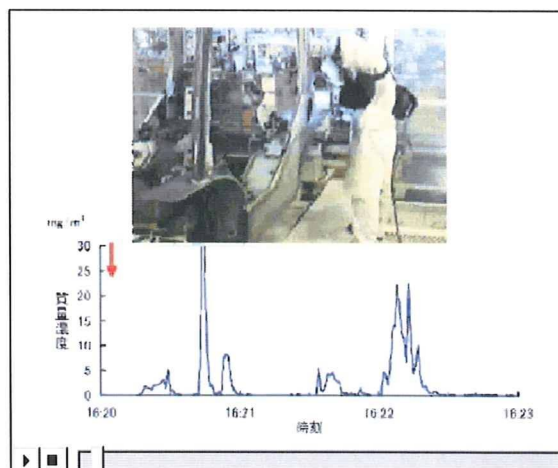


図 2.1 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

濃度変動のグラフと作業風景の画像記録を同画面上に表示させて観察すると、まず、溶接姿勢が下向きの場合（図 2.2）と横向き（図 2.1）の場合とで曝露する濃度に差があることがわかる。また、曝露濃度が特に高くなる瞬間を見てみると、作業性を考慮して回転させた車体フレームや、作業者自身