

2008J6004A

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20年度 総括研究報告書

主任研究者 名古屋俊士

平成21年(2009)年4月

目 次

I. 総括研究報告

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

38

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、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の施行以来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。環境改善された現状において、再度隧道建設現場における粉じん濃度測定を実施し、昨年同様、測定位置 50m の検証、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。粉じん則が改正され、吹き付け作業等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。さらに、昨年開発した改良型 PDS-2 粉じん計を用いて、作業者の粉じん曝露濃度の実態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の是非等検証結果をふまえて将来を見据えた提言を行う。

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 測定及び B⁺ 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居らず、早急な測定法及び評価法を確立する必要性があり、次年度に結びつける測定を行った。

管理濃度の改正により従来より低濃度域における測定が求められ、従来の「直接捕集一吸光光度法」に代わる方法として昨年提案した「粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID」法の測定対象有機溶剤を増やし、その使用の有無を確認する。

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（ $100 \mu\text{m}$ 、50%cut）に対応する測定法を提示する。

以上、隧道等建設工事に伴う現行ガイドラインの検証結果、アーク溶接作業に関する新たな測定法の提案、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、隧道建設工事現場とアーク溶接作業現場である。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、昨年と同様に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と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と共にエアラインマスクについても、昨年同様、装着時の作業等について検討を行った。さらに、切羽での作業者に対して個人曝露粉じん濃度計（NWPS-254型）による曝露濃度測定を昨年行ったが、本年は、作業時の作業者に改良型PDS-2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る。そこで、昨年度の検討結果を踏まえ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を提言するとともに、対策法等についても提示する。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、確立していない事は大きな問題であり、早急に解決しなければならない問題であることから、CO濃度測定についても併せて検討した。

管理濃度の改正により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。

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 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 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実証

(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 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 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 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 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、現場で使用でき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、個人曝露濃度測定を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

トンネルA（新幹線トンネル、全断面積 70m^2 ）、トンネルB（道路トンネル、上半断面積 40m^2 ）、トンネルC（自動車トンネル、全断面積 65m^2 ）、トンネルD（自動車トンネル、上半断面積 70m^2 ）及びトンネルE（自動車トンネル、全断面積 80m^2 ）の5トンネルである。

2) 測定点の概要

ガイドラインによる粉じん濃度測定の実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に示す。

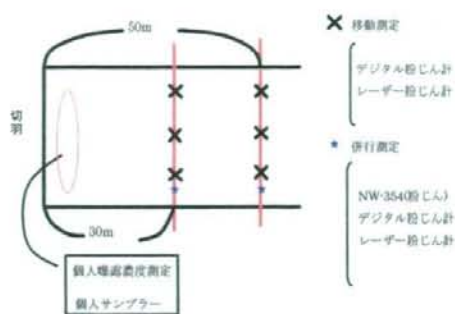


図6.1 測定概略図

図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2及び図3にそれぞれ示す。



図2 30m地点於ける粉じん濃度測定状況



図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、切羽作業員に対しては、改良型PDS-2を作業員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を作業員に装着し、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4に示す。

表1 30mと50mにおける粉じん濃度の比較

トンネル	作業内容	30 mでの粉じん濃度 (mg/m ³)	50 mでの粉じん濃度 (mg/m ³)
A (鉄道トンネル)	2次吹き	7.19	7.83
	ずり積み	0.55	0.64
	2次吹き	4.58	3.28
	2次吹き	3.00	1.36
B (道路トンネル)	2次吹き	3.85	1.49
	ずり積み	11.44	12.31
C (道路トンネル)	2次吹き	1.83	1.66
	ずり積み	12.97	12.05
D (道路トンネル)	2次吹き	1.76	1.71
	ずり積み	13.27	12.46
E (道路トンネル)	2次吹き	0.89	0.63
	ずり積み	2.56	2.59
E (道路トンネル)	2次吹き	0.91	1.48
	ずり積み		

表1より、2次吹き作業時のAトンネル、Bトンネル及びD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、E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？また、風管が断面のどの部分に取り付けられているか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 (mg/m³) 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2に示す。

表2より、断面積が65m²以上の各トンネルにおいて、2次吹き作業時は、最大12.45 (mg/m³) から1.49 (mg/m³) と粉じん濃度範囲は広いが、3 (mg/m³) を下回ったのはAトンネルだけであった。

表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 (mg/m ³)
A (鉄道トンネル)	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 (道路トンネル)	2次吹き	40	12.31
	ずり積み	40	1.66
C (道路トンネル)	2次吹き	65	12.05
	ずり積み	65	1.71
D (道路トンネル)	2次吹き	70	12.45
	ずり積み	70	0.63
E (道路トンネル)	2次吹き	80	2.59
	ずり積み	80	1.48

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 (mg/m³) から0.63 (mg/m³) と全てにおいて、粉じん濃度目標レベルである3.0 (mg/m³) 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 (mg/m³)

ずり積み時 1.66 (mg/m³)

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 (mg/m³) 以下であったものの、2次吹き作業時には3.0 (mg/m³) 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 (mg/m³)

を下回る事は、難しい状況にあることが推測される。

昨年度の測定と合わせて考えると、中小断面のトンネルでは、粉じん濃度目標レベル $3\text{mg}/\text{m}^3$ 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 $3\text{mg}/\text{m}^3$ を達成することが困難な現場が多いのが現状と考える。

今後、さらにトンネルにおける測定数を増やし検証していく必要があるが、現時点に於いて、粉じん濃度目標レベルである $3.0 (\text{mg}/\text{m}^3)$ を、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 5 に示す。



図 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 3 に示す。

表 3 相対濃度計 LD-5 及び LD-5D の 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
	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 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、散乱方式等と同じある 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において、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。本年は、空気を供給するコンプレッサーを使用せず、空気ポンベを使用することで検討を行った。

本年度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、空気ポンベから空気を供給するタイプである。吹き付け作業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次吹き付け作業時が全面型エアラインマスクで、2次吹き付け作業時が半面型エアラインマスクである。

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4に示す。



図6 全面型エアラインマスク（ZAL-CS）の装着の様子

表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	ポンベの設置・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	ホースやポンベの管理が大変
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7及び図8のようにポンベを管理する人、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、空気ポ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、複数の空気ポ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7 ポンベの管理者



図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 $2.5(1/\text{min})$ 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できる粉じん計である。また、作業者への改良型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10に、データローガ部分の装着状況を図11にそれぞれ示す。



図9 改良型PDS-2の外観図



図 10 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



図 11 データーローガ部分の装着状況

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 12 に、吹き付け作業の様子を図 13 にそれぞれ示す。ただし、図 13 の左側の作業員が、補助作業員、右側の作業員が、吹き付け作業員である。



図 12 測定現場の概略図



図 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員は、2人である。1人は、吹き付け作業員で、もう1人は吹き付け作業員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員である。

呼吸用保護具の各作業員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 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 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員に、興研(株)製電動ファン付き呼吸用保護具は、吹き付け操作員に装着させ、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

一次吹き作業、支保工作业及び二次吹き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。

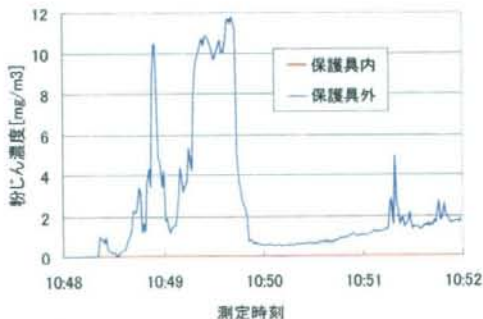


図15 二次吹き付け（10:48～10:52）作業時の電動ファン付き呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図

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(株)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16に示す。

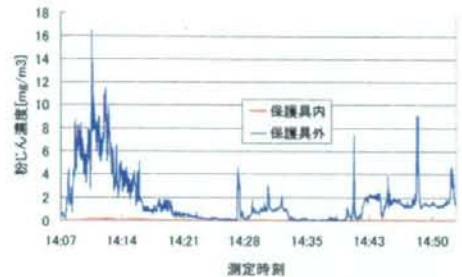


図16 一次吹き付け作業及び二次吹き付け作業（14:07～14:53）時の電動ファン付き呼吸用保護具内外の粉じん濃度の時間変動状況図

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16の興研(株)製電動ファン付き呼吸用保護具については、一次吹き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(株)製プ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、はじめプ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、著しく低い相対濃度であり、漏れ等を議論するレベルの濃度ではない。

以上の検証結果から、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 17 に示す。



図 17 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員毎に変動するため、理想的には測定されていない他の作業員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、対象作業員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 (図 9 参照) を作業員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。

* Eトンネルの吹き付け操作者に改良型PDS-2を装着させ、吹き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18に示す。また、粉じん曝露濃度の測定結果を図19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 $3.0 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ とした。



図18 改良型PDS-2による作業者の粉じん曝露濃度測定状況

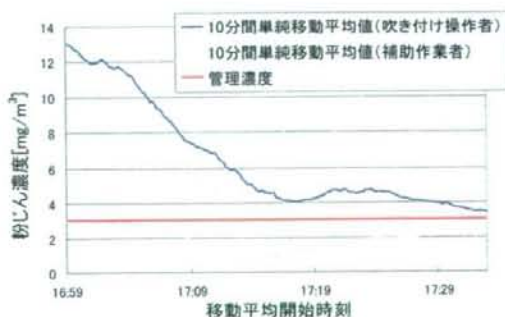


図19 10分間単純移動平均値と管理濃度の比較図

また、Bトンネルでも吹き付け操作者に改良型PDS-2を装着させ、吹き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20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21に示す。

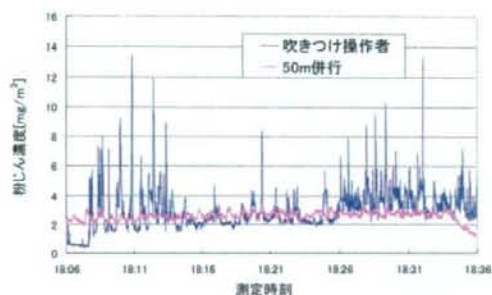


図20 改良型PDS-2による吹き付け作業者の粉じん曝露濃度の時間変動

図20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。

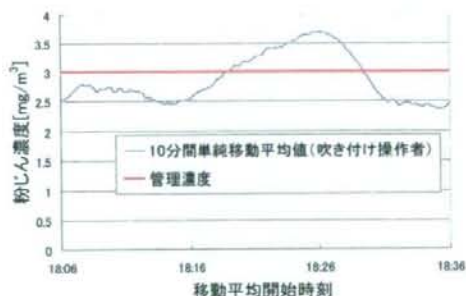


図21 10分間単純移動平均と管理濃度の比較図

図19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21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。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。ゆえに、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相当であり、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。

今後、トンネルにおける個人曝露濃度測定の意義を再考しから、再度、トンネル建

設作業時の曝露濃度を行うかを定める必要があると考える。

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22及び図23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。

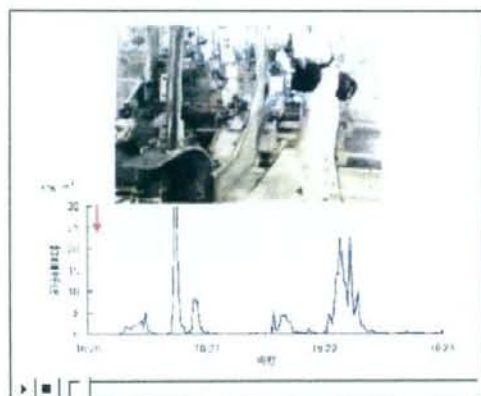


図22 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

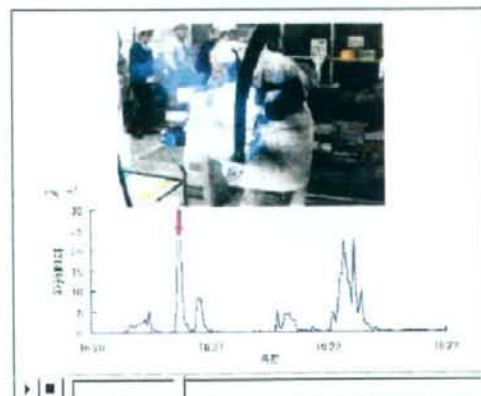


図23 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

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23)と横向き(図22)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、作業者自身によってプッシュプル気流が遮られていることが原因の一つであることが確認できる。図22及び図23に示すように粉じん測定と同時に作業状況の撮影を行えば、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でき、赤の矢印の移動に従ったビデオとビデオ画面が動くシステムである。このことにより、溶接作業と粉じん濃度変動状況の関係を作業者に示すことにより、防じん対策の確認作業者の意識向上と曝露濃度の低減化に効果を発揮する国内外にない独創的なシステムである。また、最近では、諸外国においてもこのような方向でPIMEXなどの測定/表示システムが開発され、VEM(Video exposure monitoring)として各国のOccupational Hygienistらに用いられている。そこで、このシステムの有効性を検証できたが、さらに使い勝手の良いシステムにするために環境負荷モニタリングシステムの検討を行った。使い勝手を良くすることで、作業者に対する有効な教育や、粉じん対策に対する適切な評価を通した、より実効性のある対策の選択を期待することができる。

2.1.2 環境負荷モニタリングシステムの概要

本システムにおける表示画面例を図24及び図25にそれぞれ示す。図24や図25

のように作業の様子を撮影した動画と有害物濃度などの時系列グラフとを同時に表示し、グラフ上には動画の進行に伴って移動するスライダを配置した。このスライダは任意の時刻に移動させたときに、その時点の画像を同期表示するようにプログラムされている。この機能により例えば、作業内容に対応した曝露の変化を把握できるとともに、高濃度に曝露している時点の前後で、どのような作業状況であったかを容易に確認することができる。

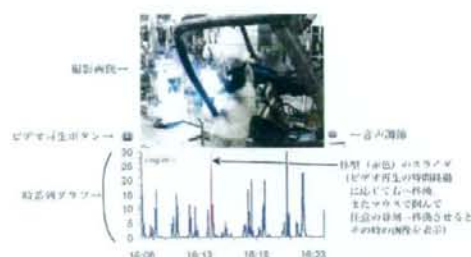


図 24 環境負荷可視化システム画面の概要

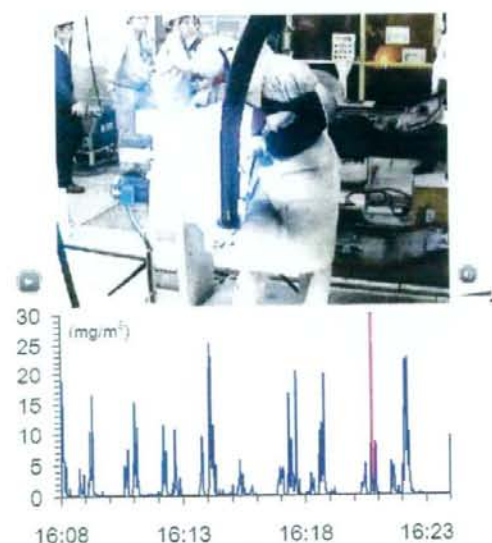


図 25 溶接作業に対する画面表示例

作業の様子撮影についてはデジタルビデオカメラなどを用いて、作業内容や労働者の姿勢、有害物の流れなどができるだけ把握できるように撮影することが有用であると考えられる。また時系列グラフを得るためにはデータロガーを用いた、連続測定器による測定が必要である。

2.1.3 環境負荷モニタリングシステムを用いた粉じん濃度測定への応用

本システムを実際の作業現場へ適用した例として、溶接作業場においてヒューム濃度を測定する個人サンプラーとして改良型 PDS-2 を労働者に装着し、溶接作業中の労働者呼吸域付近の粉じん濃度を 1 秒間隔で連続測定するとともに、その作業の様子を撮影した。この作業場の工程は輸送用機器のフレーム溶接工程であり、下降流式のブッシュ型換気装置が稼働していた。なお労働者は溶接作業経験が比較的浅い若手作業員で、フィットテスターにより密着性を確認した防じんマスクおよび保護衣類を着用し、手持ちの溶接用保護面を使用していた。

改良型 PDS-2 は労働者の肩の上に取り付けて、屋外ガイドラインに沿った方法³⁾で測定した。また撮影は測定中にデジタルビデオカメラを用いて行った。測定で得られた値とビデオによる映像とを本システム上で同期表示させ、労働者及び現場監督者に提示した。

2.1.4 結果および考察

今回測定を行なった作業場では、約 3 分 20 秒毎に部材の溶接及び、手持ちグラインダーによる表面研磨の一連の作業が繰り返

されていた。粉じん濃度の測定値は作業内容が変わる毎に、短時間に大きく変動した。

粉じん濃度の連続測定グラフと作業の撮影画像とを同期表示させて観察すると、作業内容や作業姿勢によって測定値の高い場合と低い場合とが観察された。例えば図 25 に示すような作業内容および姿勢においては毎回、粉じん濃度が著しく上昇していた。またこのように粉じん濃度が特に高くなる前後の作業状況を観察すると、作業性を考慮して回転させた車体フレームや、労働者自身によってブッシュブル気流が遮られていることが原因の一つであると考えられた。これらの結果は作業動作の見直しと労働者への教育に生かされた。

この例の他にも、測定に用いる機器を適切に選択することにより、多くの作業現場への本システムの活用が可能であると考えられた。

2.1.5 まとめ

改良型 PDS-2 のような機器を利用し、モニタリングデータとビデオ撮影画像とを同期させて表示することによって、同じ測定時間でより多くの情報を提示することが可能となると考えられる。このシステムを利用して、作業内容や作業場の状況と環境測定結果との関係を労働者や現場管理者へ示すことにより、より実効性のある職場改善対策の選択や労働者の意識向上、曝露濃度の低減化に効果を発揮できると考えられる。なお本システムは「環境負荷可視化システムおよび環境負荷可視化プログラム」として特許出願中である。

2. 2 C 測定及び B⁺ 測定の検証

2.2.1 C 測定及び B⁺ 測定の概要

C 測定とは、改良型 PDS-2 を測定者の肩に固定して、作業者近傍のヒューム濃度を測定するという方法である。C 測定の状況を図 26 に示す。



図 26 C 測定の外観図

一方、B 測定が、常に現場の状況を正しく評価していない訳ではなく、どれだけ作業環境測定士が作業者の呼吸域まで近づいて測定できるかにかかっている。つまり、溶接作業の場合、溶接フェームの飛散、放射熱及び紫外線と作業者の動きが作業環境測定士が、近づけない現状があるからである。つまり、現在、溶接作業現場で自主的に実施されている B 測定は、図 27 及び図 28 に示すように、デジタル粉じん計やレーザー粉じん計等の相対濃度計を測定者が持ち、作業者に接近した状態で行なうか、測定器を三脚等に固定して、作業者近傍に設置するという方法をとっている。しかし、溶接作業者付近で測定を行なおうとすると、作業の邪魔になるとともに、測定者に

も危険が伴う。また、測定者の安全を考慮して測定器を三脚等に固定した場合には、測定器を置く位置によって測定値及び評価が大きく変わってしまうため、作業場の現状を的確に把握できない場合が多い。



図 27 B 測定実施時の外観①



図 28 B 測定実施時の外観②

そこで、改良型 PDS-2 の軽量かつ小型である点と、測定によって K 値も求められる点に着目し、図 29 に示すように、伸縮可能なポールの先に改良型 PDS-2 の検出部を固定したものを測定者が操作することで、作業者近傍（呼吸域）のヒューム濃度測定を行なうという測定法を B⁺測定と言う。

行った。その内、代表的な 2 例について報告する。



図 29 B⁺測定の測定状況図

2.2.2 B⁺測定及びC測定の実用試験
各溶接作業場において、C測定及びB⁺測定を行い、溶接現場の測定法としての適応性と共に測定結果の評価法も含めた検討を
1) 自動溶接機を 3 台を一人で操作している作業者の粉じん曝露濃度

C 測定の粉じん曝露濃度時間変動状況を図 30 に示す。また、10 分間の積算粉じん濃度の時間変動状況を表す新たな評価法である 10 分間移動平均値の結果を図 31 に示す。

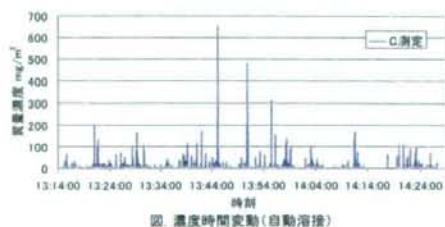


図 30 濃度時間変動(自動溶接)

図 30 粉じん曝露濃度の時間変動状況

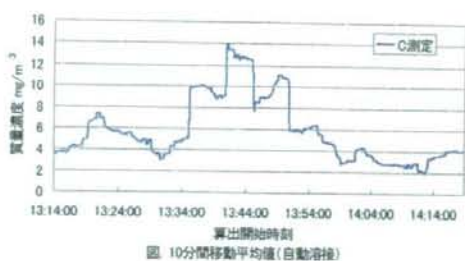


図 31 10 分間移動平均値の時間変動状況
 図 30 より、作業者は自ら溶接を行っていないが自動溶接機の始動や調整の際に粉じん濃度に曝露する実態が明らかになった。また、図 31 より、すべての時間帯に於いて管理濃度の 3 (mg/m^3) を超えていることが明らかとなった。

2) 狭隘な溶接作業場での溶接作業時の粉じん曝露濃度

狭隘な溶接作業場で C 測定及び B+ 測定を行った。その作業時の B+ 測定状況を図 32 に示す。その溶接作業時の粉じん曝露濃度の時間変動状況を図 33 に示す。また、10 分間の積算粉じん濃度の時間変動状況を表す新たな評価法である 10 分間移動平均値の結果を図 34 に示す。

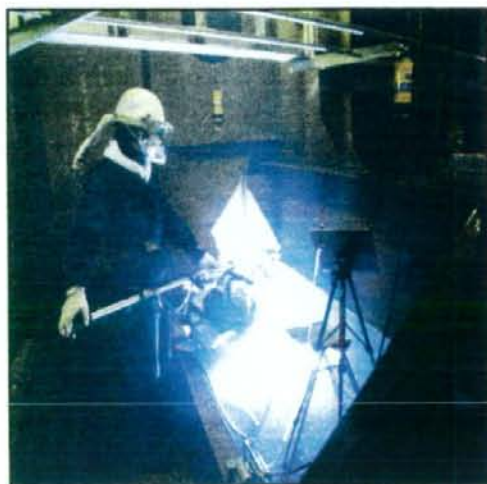


図 32 溶接作業時、B+ 測定状況図

図 32 及び図 33 より、狭隘な溶接作業場のため換気が悪く、内部に粉じんが滞留しやすく、結果として高濃度曝露になる。

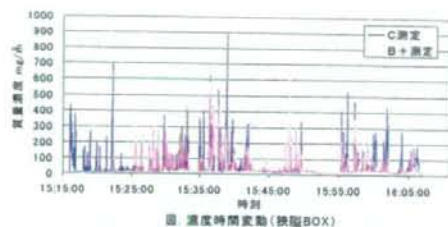


図 33 溶接作業時の粉じん曝露濃度の時間変動状況

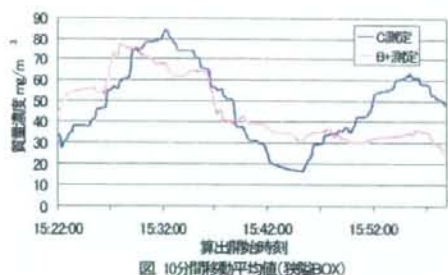


図 34 10 分間移動平均値の時間変動状況

3) B+ 測定及び C 測定の比較

各種溶接作業場で B+ 測定及び C 測定を同時に行った結果を図 5 に示す。

表 5 各種溶接作業場の B+ 測定及び C 測定

測定箇所	測定内容	測定時刻	相対濃度 $\text{cpm} \times 10^2$	質量濃度 mg/m^3	K値 $\times 10^{-2}$
組立①	C測定	13:28~14:27	5.73	54.55	9.52
	B+測定	13:47~14:31	3.27	29.00	8.88
狭隘BOX①	C測定	15:15~16:09	4.67	44.81	9.60
	B+測定	15:22~16:11	4.76	39.84	8.36
狭隘BOX②	C測定	10:18~10:50	4.02	34.32	8.54
	B+測定	10:20~10:51	5.37	44.00	8.19
組立②	C測定	13:10~13:57	5.26	51.23	9.74
	B+測定	13:30~13:58	3.05	29.57	9.71

表 5 から、肩に固定された C 測定が、B+ 測定に比べて常に高濃度を示す訳でもなく、作業所の風の流れ、作業姿勢などが深く関わっていると考えられる。