

平成 21 年度厚生労働省委託事業
トンネル建設工事における個人ばく露濃度測定等推進事業
検討委員会報告書

平成 22 年 3 月

(社) 日本作業環境測定協会

目 次

1. 趣旨・目的.....	1
2. 検討委員会.....	1
2.1 トンネル建設工事における個人ばく露濃度測定等推進検討委員会.....	1
2.2 委員会の開催状況.....	2
3. 事業の検討項目.....	2
4. ばく露限界と個人ばく露濃度測定.....	3
4.1 ばく露限界の考え方.....	3
4.2 ばく露限界を指標とした測定手法.....	4
4.3 本事業で検討した個人ばく露濃度測定方法と評価方法.....	5
5. トンネル建設工事現場調査の実施.....	9
5.1 個人ばく露濃度測定・分析方法.....	9
5.2 個人ばく露濃度測定に付加するために実施した測定.....	12
5.3 分析方法.....	14
6. トンネル建設工事現場調査の実施結果.....	16
6.1 個人ばく露濃度の測定結果.....	17
6.1.1 Aトンネルの測定結果.....	17
6.1.2 Bトンネルの測定結果.....	23
6.1.3 Cトンネルの測定結果.....	31
6.1.4 Dトンネルの測定結果.....	38
6.1.5 個人ばく露濃度測定結果まとめ.....	46
6.2 個人ばく露濃度測定に付加するために実施した測定結果.....	50
6.2.1 屋外作業等のガイドラインに準じた測定方法.....	50
6.2.2 切羽から50m地点における測定結果.....	54
6.2.3 粒度分布測定結果.....	56
6.2.4 ずい道建設工事ガイドラインに基づく測定結果.....	57
7. 個人ばく露濃度測定結果による評価.....	60
7.1 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果からの評価.....	60
7.2 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果からの評価.....	61
7.3 評価結果一覧表.....	61

7.3 評価結果一覧表.....	62
8. 考察.....	63
8.1 個人ばく露濃度測定方法について.....	63
8.2 個人ばく露濃度測定結果の評価方法について.....	67
8.3 「個人ばく露濃度測定」と現行「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測定」との比較検討.....	68
8.4 「地下工事における粉じん測定の指針」に基づく場の測定方式の有効性の検討.....	69
9. まとめ.....	70
付 録.....	71
付録1. 現場調査記録用紙.....	72
付録2. トンネル建設工事現場における個人ばく露濃度測定協力者.....	80
参考資料.....	84

1. 趣旨・目的

作業者個人の粉じんばく露状況を的確に把握し必要な対策を講ずることができる測定方法について、個人ばく露濃度測定による検討を進め、トンネル建設工事におけるより効果的な粉じん測定の一層の推進を図ることを目的とした。このため学識経験者、トンネル建設工事関係者、作業環境測定機関に所属する労働衛生の専門家による検討委員会を設置し、トンネル建設工事における個人ばく露濃度測定を行い、測定方法、評価方法の検討を行った。

2. 検討委員会

2.1 トンネル建設工事における個人ばく露濃度測定等推進検討委員会

表1に示す検討委員会を設置して、検討項目を審議した。

表1 トンネル建設工事における個人ばく露濃度測定等推進検討委員会名簿

	氏名	所 属
委 員 長	名古屋 俊士	早稲田大学理工学術院 創造理工学部
委 員	小西 淑人	前(社)日本作業環境測定協会 調査研究部部長 (現)エフアンドエーテクノロジー研究所
	芹田 富美雄	(社)日本作業環境測定協会 精度管理センター
	田村 三樹夫	(財)上越環境科学センター
	吉田 哲	中央労働災害防止協会 九州安全衛生サービスセンター
	小松 敏彦	前田建設工業㈱ 土木事業本部
	長沢 教夫	㈱間組 土木事業本部
	松原 利之	飛島建設㈱ 土木事業本部
オブザーバー	柏葉 清志	経済産業省 原子力安全・保安院 石炭保安室
	山田 智	経済産業省 原子力安全・保安院 石炭保安室
	佐々木 喜八	国土交通省 総合政策局 建設施工企画課
厚生労働省	亀澤 典子	労働基準局安全衛生部環境改善室長
	徳田 剛	労働基準局安全衛生部環境改善室 副主任中央労働衛生専門官
	小西 啓之	労働基準局安全衛生部環境改善室係長

(順不同 敬称略)

2.2 委員会の開催状況

表 2 のとおり 4 回、検討委員会を開催した。

表 2 委員会の開催状況

開催日	実施内容
第 1 回 平成 21 年 7 月 29 日(水)	1. 現行規制の状況と研究の方向性について 2. 個人ばく露濃度測定の実状と課題 3. その他
第 2 回 平成 21 年 8 月 31 日(月)	1. トンネル現場における粉じんの測定方法について 2. 現場調査の選定について 3. その他
第 3 回 平成 22 年 1 月 12 日(火)	1. トンネル建設工事現場調査結果報告 2. トンネル建設工事現場調査結果報告に基づくトンネル建設工事現場における個人ばく露濃度測定方法および個人ばく露評価方法の検討 3. その他
第 4 回 平成 22 年 2 月 17 日(水)	1. 事業報告書(案)について 2. その他

3. 事業の検討項目

設置した検討委員会において、以下の項目について検討を行うとともに、現場調査方法および測定されたデータの解析を行った。

- (1) 個人ばく露濃度測定方法および評価方法の開発及び検討
- (2) 「個人ばく露濃度測定」と現行「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に基づく測定、屋外作業等における作業環境測定管理に関するガイドラインに基づく測定等との比較検討」
- (3) 「地下工事における粉じん測定の指針」に基づく測定方式の有効性の検討
- (4) トンネル建設工事現場調査による検証

4. ばく露限界と個人ばく露濃度測定

4.1 ばく露限界の考え方

有害物に対する労働者のばく露影響は、高濃度ばく露による急性中毒と低濃度長期ばく露による慢性中毒に大別されるが、環境有害物モニタリングの観点からみた測定結果の評価の対象としては、主として慢性中毒の場合をその対象としている。一般に、生体が有害物にばく露すると、ばく露の程度が小さいときにはその個体に現れる変化は軽微であるが、ばく露の程度が大きくなるに従って個体に起きる影響が次第に大きく激しいものになる。このように個体差がないと考えた個人について、環境因子の質的な影響を個体のレベルのみに注目していくのが量-影響（作用）関係である。しかし、疫学の進歩により、生体影響の現れ方に個体差があることがわかってきてからは、いろいろな反応性をもっている人たちの集団についてある特定の影響、例えばある症状を示す人の割合に注目する、量-反応関係も考慮されるようになった。個人ばく露濃度測定結果の評価指標（判断基準）として使用されているばく露限界は、量-影響（作用）関係と量-反応関係をもとに決められている。

現在、米国の ACGIH により提案されているばく露限界である TLV (Threshold Limit Value) は次のように定義されている。

「TLV は、諸物質の気中濃度に関するもので、ほとんどすべての労働者が毎日繰り返しばく露を受けても有害な影響を受けることはない信じられる条件を示すものである。しかし、個人の感受性は幅広い差異があるため、閾値（しきいち）以下の濃度でも、物質によっては少数の労働者は不快感を経験するかもしれないし、また、より少数の労働者は、既存の身体的条件の悪化または職業性疾患の進展に悪影響を受けるかもしれない」

TLV には次の三つのカテゴリーがある。

1. TLV - C (天井値 : Ceiling, ceiling value)

この濃度は瞬間的にも超えてはならない濃度であり、刺激性ガスなどに設定されている。

2. TLV - STEL (短時間ばく露限界, Short term exposure limit)

1 日の、どの 15 分間の時間荷重平均もこの値を超えてはならない。また TLV-TWA を超えない場合でも TLV - TWA を超え、TLV - STEL 以下の高濃度は 1 回に 15 分を超えて継続してはならず、1 労働日中に 5 回以上繰り返されてはならない。また、1 回の高濃度ばく露と次の高濃度ばく露との間には少なくとも 60 分の濃度の低い時間間隔が必要であるとしている。

3. TLV - TWA (時間荷重平均, Time weighted average)

時間荷重平均として示されたばく露限界を意味し、ほとんどすべての労働者が毎日繰り返しばく露を受けても悪影響をもたらすことがない、通常 1 日 8 時間、週 40 時間の正規労働時間中の時間荷重平均濃度である。

日本産業衛生学会ではばく露限界を許容濃度として勧告しており、許容濃度の基本的な考え方は ACGIH の思想を取り込み、次のように定義されている。

「ここにいう許容濃度とは、労働者が有害物に連日ばく露する場合に、当該有害物の空気

中濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に悪影響がみられない濃度である。ただし、個人の有害物への感受性は個人ごとに異なるので、この数値以下でも、ある特別の労働者にとっては、不快、潜在的異常状態の悪化および職業病の防止に役だたぬこともある。」

許容濃度には2つのカテゴリーがある。

1. 時間荷重平均濃度

1日8時間、週40時間程度の労働時間中に、肉体的に激しくない労働に従事する場合のばく露濃度（呼吸保護具を装着していない状態で、労働者が作業中に吸入するであろう空気中の当該物質の濃度）の算術平均値がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の影響がみられないと判断される濃度である。

2. 最大許容濃度（天井値）

作業時間中のどの時間をとっても、ばく露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪影響がみられないと判断される濃度である。

4.2 ばく露限界を指標とした測定手法

(1) 時間荷重平均濃度を指標とした測定方法

時間荷重平均濃度を指標とした測定は、一般的には濃度レベルに応じて作業場または作業単位ごとに何回かの濃度測定を行い、その平均濃度とその濃度における滞在時間の積の合計を総労働時間で除して求められる。一方、ばく露量を上記のような間接的な方法ではなく、直接的に8時間にわたって個人サンプラーまたは個人携行用累積ばく露指示装置で測定することもできる。しかし、長時間にわたる累積ばく露量は、量-影響関係が濃度と濃度パターンに関係なく、累積ばく露量で決まる場合には都合がよいが、あるレベル以上の濃度への短時間ばく露が生体影響をもたらすような場合には使用できない。

(2) 短時間ばく露限界濃度を指標とした測定方法

短時間ばく露限界濃度を指標とした測定は、単独での測定では困難であり、時間荷重平均濃度測定と一緒に実施する必要がある。測定にあつたては、次の①から④の全ての条件を満たすことが必要である。

- ① 1日の労働時間内の平均濃度が TLV-TWA を超えているかどうか。
- ② TLV-TWA を超える高濃度ばく露が1日に何回あるか。
- ③ 高濃度ばく露と次の高濃度ばく露の間の間隔は何分間か。
- ④ 1日の労働時間内の15分間の時間荷重平均濃度がどの時間であっても算出できる。

(3) 天井値を指標とした測定

天井値の定義を完全に満足する測定を行うためには、連続的に極めて短時間ごとの濃度を測定することが必要である。

4.3 本事業で検討した個人ばく露濃度測定方法と評価方法

トンネル建設工事における測定対象物質である、粉じんに対するばく露限界値は、ACGIHは吸入性結晶質シリカ（ α -石英、クリストバライト、トリジマイト）濃度として $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ の TLV-TWA を設定している。日本産業衛生学会では、吸入性結晶質シリカ濃度として $0.03\text{ mg}/\text{m}^3$ の許容濃度、吸入性粉じんとしては、粉じんの種類によって、例えば、遊離けい酸含有率が 10%未満（第2種粉じん）の場合は $1\text{ mg}/\text{m}^3$ の許容濃度を設定している。これらは、いずれも時間荷重平均としての設定値である。

ACGIH の TLV-TWA を指標とした場合の測定および評価方法は米国の NIOSH から 1977 年に「Occupational Exposure Sampling Strategy Manual」として公表されており、日本産業衛生学会からは 2005 年 9 月に NIOSH の手法を参考にして「作業環境測定システム」を公表している。

そこで本事業では、これらを参考に、ばく露限界として粉じんの時間荷重平均濃度を指標とした個人サンプラーを使用した個人ばく露濃度測定方法と評価方法について検討するとともに、当該手法に類似した「屋外作業場等における作業環境管理に関するガイドラインについて」（平成 17 年 3 月 31 日付基発第 0331017 号）による方法についても合わせて検討を行った。

現場調査を実施したトンネル建設工事現場において、ばく露限界として粉じんの時間荷重平均濃度を指標とした測定を実施するため、作業者に個人サンプラーを呼吸域に装着し、1 労働日（8 時間）測定を必要とした。

(1)ばく露限界として時間荷重濃度を指標とした個人サンプラーを使用した個人ばく露濃度測定結果の評価方法(概要)

評価指標は TLV-TWA とし、粉じんとしての質量濃度ではなく、結晶質シリカの質量濃度で時間加重平均（TLV-TWA）は $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ と設定されている。

判定文書の比較となる指標については、許容ばく露限界値（PEL）、アクションレベル（AL）、許容ばく露限界値の 1/2 の濃度等を用いて、「ばく露濃度測定結果」による評価を行う場合と、ばく露濃度測定に用いたサンプリング方法や分析方法、ばく露測定結果等から得られた情報を元に「統計解析による評価」を行う場合があり、それらの評価結果から、いずれも、当該作業によるばく露抑制対策の実施、従事する作業者に対して継続してばく露測定が必要であるか否かの判断基準とする判定文書を作成することとなる。

1)ばく露濃度測定結果による評価方法

ばく露測定によって得られた測定値を以下の通り当てはめて評価する。

- i) $AL > \text{ばく露濃度測定値}$
- ii) $\text{ばく露濃度の測定値} > PEL$
- iii) $AL < \text{ばく露濃度の測定値} < PEL$

評価結果が、i)であった場合、それ以後の測定を行う必要は無い。ii)であった場合、ばく露防止のための対策を実施するとともに、ばく露測定濃度の測定を頻繁に行い、その効果の確認を行い、改善されるまでくり返し対策と測定を繰り返す。iii)であった場合、それ以後、定期的にばく露測定を実施する必要が有る。

2) 統計解析による評価

測定により得られたばく露濃度が、正確に真のばく露濃度と同じであることはほとんど無く、測定値と真のばく露濃度との乖離は、サンプリング・分析による誤差および作業時間における作業環境濃度の変動からきていると考えられる。

このため、統計的方法によって選択される信頼性レベル(95%として)で、真のばく露濃度を含む信頼限界区間(上方信頼限界；UCL および下方信頼限界；LCL)を計算により求めて、以下の通り評価する。

クラス分け	定 義	統計的範囲
A 基準不適合ばく露状態	測定結果に基づき、95%の信頼度で、労働者のばく露が基準値を超えている。	$LCL(95\%) > \text{基準値}$
B 過剰ばく露の可能性	個々の労働者のばく露が C または A に該当しないもの	
C 基準に適合しているばく露状態	測定結果に基づき、95%の信頼度で、労働者のばく露が基準値以下である。	$UCL(95\%) \leq \text{基準値}$

・ 8 時間 TWA 基準に対するばく露の判定方法

それぞれを以下のとおりとした時に下式により LCL(95%)および UCL(95%)を求める。

i) 全時間による測定値：(X)

ii) 8 時間 TWA 基準：(STD)

今回の対象物質である結晶質シリカの(STD)=0.025(mg/m³)

iii) サンプリング・分析に伴う変動係数：(CVt)

ばく露測定の対象物質ごとに NIOSH において定められている。

レスピラブルダストの場合、分析上の CV：CV_A=0.09、サンプリングポンプの CV：CV_p=0.05 と設定されている。

$$CV_t = \sqrt{(CV_p)^2 + (CV_A)^2}$$

以上より今回の調査方法による CVt は、

$$CV_t = \sqrt{(0.05)^2 + (0.09)^2}$$

$$\approx 0.10$$

iv) 実測ばく露平均(x)：

$x = X / STD$ (基準値を 1 として単一の尺度で比較するため行う)

v) 上方信頼限界

$$LCL(95\%) = x - (1.645)(CV_t)$$

vi) 下方信頼限界

$$UCL(95\%) = x + (1.645)(CV_t)$$

- (2) 「屋外作業場等における作業環境管理に関するガイドラインについて」(平成 17 年 3 月 31 日付基発第 0331017 号) による測定結果の評価方法(概要)

各測定点(作業)ごとに、測定値と管理濃度等とを比較して、測定値が管理濃度等を超えるか否かにより行うため、遊離けい酸含有率を求め、管理濃度の式に代入して粉じんの管理濃度を求める。

- (3) 日本産業衛生学会の「作業環境測定システム」

評価方法 (概要)

評価指標としては、学会が勧告する許容濃度が用いられる。

吸入性結晶質シリカ濃度として 0.03 mg/m^3 、吸入性粉じんとしては、粉じんの種類によって、例えば、遊離けい酸含有率が 10%未満(第 2 種粉じん)の場合は 1 mg/m^3 の許容濃度を設定している。ただし、吸入性粉じんの定義は、 $5 \mu\text{m}$ 、50%カットであり、欧州規格委員会(CEN)、作業環境測定基準等で定められている $4 \mu\text{m}$ 、50%カットとは異なるものである。

1) 1 次スクリーニング

1 次スクリーニングの目的は、作業環境中に放出された化学物質の濃度が、評価基準値(アクションレベル: AL 値)以下であるかどうかを確認することである。使用する測定機器は、簡易測定機器に限定することなく、リアルタイムモニタリング機器や測定可能な機器を広く利用する。測定箇所は作業者の呼吸域において最も濃度が高くなる 1 点を測定する。なお、 $\text{AL 値} = 0.3 \times \text{許容濃度(PEL: 許容ばく露限界値)}$ とする。

2) 2 次スクリーニング

2 次スクリーニングの目的は、作業環境改善に結びつく測定と評価である。測定方法は、作業者の呼吸域において最も濃度が高くなる 1 点の測定が義務付けられる。

この測定に次のいずれかを組み合わせる。

①個人サンプラー

②リアルタイムモニタリング

また、A 測定と B 測定が実施されている場合には、2 次スクリーニングの結果として利用できる。

3) 個人サンプラーによる測定器の概要

個人サンプラーによる測定では、被測定者の数(n)は、グループ内(N)でばく露濃度が高い作業者が推定できる場合は、その者を含めて、次の表による。推定できない場合は、ランダムに次の表による。

N	1	2	3-7	8-12	13-17	18-22	23-27	28-32
n	1	2	3	4	5	6	7	8

なお、

- ①測定時間は各人 2 時間以上とする。

②評価基準は各測定値を許容濃度(PEL)と比較する。

③評価結果の取り扱いは、

- ・測定値>許容濃度(PEL)の場合
作業環境改善を実施し、2次スクリーニングを実施する。
- ・ $AL \leq \text{測定値} \leq \text{PEL}$ の場合
定期的 2 次スクリーニングを実施する。
- ・測定値<AL の場合
定期的 1 次スクリーニングを簡易化して実施する。

5. トンネル建設工事現場調査の実施

5.1 個人ばく露濃度測定・分析方法

切羽における作業者の個人ばく露粉じん濃度測定を行うための適切な計測器を選定し、作業者がそれらの計測器を身につけたときに作業の妨げとならないための、装着法を検討し、以下のとおりの方法で測定を実施した。

(1)測定方法

- ① 原則として、切羽における作業者のうち、吹付けオペレーター及び吹付けオペレーター補助者を含むその他の作業者数名に装着した。
- ② 調査日の作業開始時に、測定者が計測器をそれぞれの作業者に装着させるとともに計測器の稼働を開始した。計測器稼働開始時刻を作業開始時刻とし、そこから8時間(休憩時間含み、休憩時間は計測器を装着したままとした)計測することとし、8時間経過時まで作業者が装着していた計測器を、測定者が停止させて回収した。(計測器停止作業が切羽作業を妨げることの無いように切羽作業の区切りの良いタイミングで停止、回収を行った。)

なお、装薬・発破時においては、現場との打合せにより安全性を重視し、その時間帯は作業者より計測器を回収して、発破点火場所に集めておき(計測器は稼働させたまま)、作業再開後、再び作業者へ装着して計測を続けた。

- ③ 計測器を装着した切羽作業者の計測開始時から計測終了時までのタイムスタディを記録し、計測器から得られたデータと合わせて確認することにより、作業内容別にばく露した粉じん濃度の変動を確認することとした。

(2)切羽作業者の個人ばく露濃度測定に使用した機器等

- ① 10 mm ナイロン Dorr Oliver サイクロン付サンプラー(写真 1)

10 mm ナイロン Dorr Oliver サイクロン方式の分粒装置付のサンプラーで、分粒特性は吸入性粉じんとして $3.5\mu\text{m}$ 50%カットであるが、米国 ACGIH の TLVs^R and BEIs^R の「付録 D」粒子状物質サンプリングのための分粒装置の基準書の中で、ISO/CEN の吸入性粉じん ($4\mu\text{m}$ 、50%カット) のデータと、ほぼ近似していることが判明し同等のカット特性として取り扱われている。

使用するろ紙は 25 mmφ で毎分 1.7L の吸引流量でサンプリングを行う。このサンプラーにサンプリングポンプ、ろ紙ホルダーを連結してサンプリングユニットとし、作業中の粉じんの平均濃度を測定した。



写真 1 10 mm ナイロン Dorr Oliver サイクロン付サンプラーの概観

②相対濃度計(LD-2 型：柴田科学㈱) (粉じん環境測定用リアルタイム相対濃度計)

作業環境測定用として市販されている相対濃度計のうち、個人ばく露濃度測定に使用可能な小型化された粉じん計として写真 2 に示す LD-2 型を用いた。原理は暗箱中の浮遊粉じんにレーザー光を照射したとき、粉じんの系(粒径分布、比重、光学的性質、形態等)が同じなら粉じんによる散乱光量が質量濃度に比例することを利用している。この粉じん計には、データロガーが内蔵されており、1 秒毎のリアルタイムデータや測定時間に対応したデータを得ることが可能であり、リアルタイムデータは、測定終了後、PC に出力することによりグラフ化して記録できる。

③ろ過捕集用フィルター(T60A20：東京ダイレック株式会社)

10 mm ナイロン Dorr Oliver サイクロン付サンプラーに使用するろ紙は 25 mmφ のテフロンバインダーフィルターを用いた。なお、捕集した粉じん量を求めると同時に、粉じん中の遊離けい酸含有率を X 線回折分析方法(基底標準吸収補正法)を用いて測定するため、予め、使用するフィルターを金属標準板(AL)に重ねて、遊離けい酸および金属標準板(AL)における X 線のバックグラウンド回折強度を計測し、天秤感度 0.01mg の天秤を用いて、フィルターの重量を求めたものを準備した。



写真 2 相対濃度計 (LD-2 型) の概観

④ろ過捕集用サンプリングポンプ(Gilair5：米国 Gilian)

10 mm ナイロン Dorr Oliver サイクロン付サンプラーにろ過捕集用フィルターをセットして、毎分 1.7L の吸引流量でサンプリングを行うため、予め、基準流量計を用いて吸引流量を校正した状態のサンプリングポンプを準備した。これにより、目的の吸入性粉じん (4 μ m、50%カット) を得ることができると同時に、測定時間中の捕集空気量を正確に求めることができる。

⑤ 個人ばく露濃度測定等専用ベスト(装着例；写真3および4)

①から④の測定機器を組み合わせ、専用ベストに装着し、これを作業者が着用した。

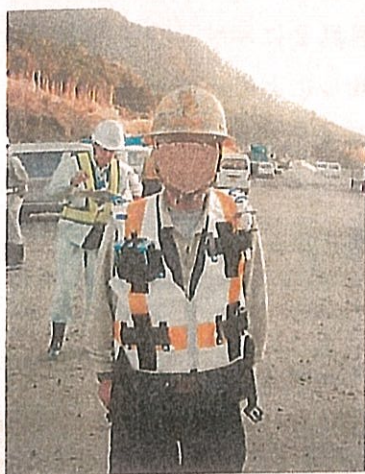


写真3 サンプラー装着例前方



写真4 サンプラー装着例後方

5.2 個人ばく露濃度測定に付加するために実施した測定

5.2.1 屋外作業等のガイドラインに準じた測定方法

測定は、屋外作業場等において取り扱う有害物質の濃度が最も高くなる作業時間帯において、高濃度と考えられる作業環境下で作業に従事する労働者に個人サンプラーを装着して行う。サンプリング方法（概要）は以下(1)から(2)の通りである。

(1) 測定時間

測定点における試料空気の採取時間は、別表第1に掲げる管理濃度又は基準濃度（以下「管理濃度等」という。）の10分の1の濃度を精度良く測定でき、かつ、生産工程、作業方法、当該物質の発散状況等から判断して、気中濃度が最大になる時間帯を含む10分間以上の継続した時間とすること。

(2) 試料採取方法及び分析方法

試料採取方法及び分析方法は、測定の対象となる物質の種類に応じて作業環境測定基準(昭和51年労働省告示第46号)に定める試料採取方法及び分析方法とすること。

具体的には、[5.1]の測定で得られた切羽作業時間中における粉じん質量濃度と粉じん連続データ等より、作業者ごとに、「作業時間(8時間)中の個人ばく露粉じん質量濃度」と「吹付け作業時間における個人ばく露粉じん質量濃度」を求めた。

5.2.2 切羽から50m地点における測定・分析方法

切羽から50m地点で、作業者に装着する機器と同様の機器を使用して、[5.1]の測定と同期して測定を行い、個人ばく露等の測定結果と比較検討するためのデータを得た。また、ずい道建設工事中に発生する粉じんの粒径分布測定を実施した。

(1) 個人サンプラーによる測定等

[5.1]の測定と同じ計測器(計測器をセットしたベスト)を切羽より50m地点(実際には50m前後の地点であり、現場との打合せにより安全性を考慮して決定)に設置した三脚(台座付)上にハンガーを用いて固定して、[5.1]の測定と同じ時間帯に計測器を稼働させた。

なお、発破時においては、現場との打合せにより安全性を重視し、その時間帯は計測器を回収して、発破点火場所に集めておき(計測器は稼働させたまま)、作業再開後、再び元の場所へ設置して計測を続けた。

(2) 粒度分布測定

国際統一規格(ISO7708)に合致した、以下の分粒装置付のろ過捕集装置等を用いた粉じんの質量濃度測定結果から、トンネル建設工事現場における粉じんの粒度分布を求めた。

① レスピコンパーティクルサンプラー(写真5)

1993年に欧州規格委員会(CEN)で4 μ m、50%カット特性を有する分粒装置を使用して測定された粉じんを吸入性粉じんとして取り扱っており、その後国際統一規格(ISO7708)に合致した分粒装置付サンプラーである。吸引性粉じん(100 μ m、50%カット)、咽頭通過性粉じん(10 μ m、50%カット)吸入性粉じん(4 μ m、50%カット)の3段階のカット特性の粉じんの質量濃度を同時に測定す

ることが可能である。

使用するろ紙は、37 mmφ のセンターに 4 mmφ の穴あきのろ紙を 2 枚と 37 mmφ のろ紙 1 枚の計 3 枚をフィルターホルダーに充てんして毎分 3.11 L の吸引流量でサンプリングを行なう。

- ②ろ過捕集用フィルター(T60A20：東京ダイレック株式会社)

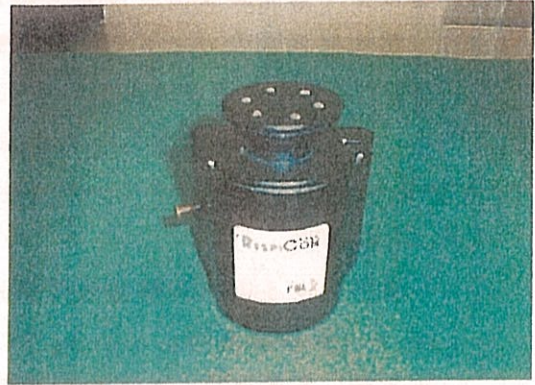


写真 5 レスピコンパーティクルサンプラーの概観

レスピコンパーティクルサンプラーに使用するろ紙は 35 mmφ のテフロンバインダーフィルターを 3 枚用いる。そ

それぞれのフィルター上に捕集した粉じん量を求めるため、予め、天秤感度 0.01mg の天秤を用いて、フィルターの重量を求めたものを準備した。

- ③ろ過捕集用サンプリングポンプ(Gilair5：米国 Gilian)

レスピコンパーティクルサンプラーにろ過捕集用フィルターをセットして、毎分 3.11 L の吸引流量でサンプリングを行うため、予め、基準流量計を用いて吸引流量を校正した状態のサンプリングポンプを準備した。これにより、目的の粉じんを得ることができると同時に、測定時間中の捕集空気量を正確に求めることができる。

- (3) ずい道等建設工事ガイドラインに基づく測定

個人ばく露濃度測定と現行「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に基づく測定」との比較検討のため、切羽作業のうち、吹き付け作業時間帯に「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に基づく測定(以下「ガイドライン測定」とする。)を行った。

- ①測定方法

相対濃度計を使用して切羽から 50m 地点の 3 点(両端と中央)の粉じんの相対濃度を測定し、ガイドラインに示されている質量濃度変換係数(K 値)を掛けて粉じん質量濃度を求めた。

- ②ガイドライン測定に用いた計測器

- 1) 相対濃度計(LD-3K2 型：柴田科学㈱)

ガイドライン測定に用いる場合の質量濃度変換係数(K 値)がガイドラインにより「0.002[mg/m³]」と定められている。

- 2) 相対濃度計(LD-2 型：柴田科学㈱)

[5.1]の測定に用いた相対濃度計と同じ。

5.3 分析方法

[5.1]および[5.2]の測定を実施した後、計測結果記録の確認、計測器にロギングされたデータの処理および分析操作によりデータを確認する必要があるため、データ処理装置、分析機器等を準備して以下の処理を行った。

(1) 天秤(ME215P 型: ザルトリウス)

① 粉じん質量濃度[mg/m³]

読取限界が0.01mgの電子天秤を用いて、各々の測定においてろ過捕集に使用するフィルター(T60A20)の使用前と粉じん捕集後の重量を計測した。その差から求めた捕集粉じん量[mg]と捕集時の流量[L/min]および測定時間[min]から粉じん質量濃度[mg/m³]を求めた。

② 切羽作業中に発生する国際統一規格(ISO7708)に合致した分粒装置付サンプラーによる粉じん質量濃度[mg/m³]と吸入性粉じんの割合(%)

レスピコンパーティクルサンプラーにより捕集したフィルターも①と同様の処理を行うことにより、吸引性粉じん(100 μm、50%カット)、咽頭通過性粉じん(10 μm、50%カット)、吸入性粉じん(4 μm、50%カット)の3段階のカット特性によって分粒された粉じんの質量濃度[mg/m³]を求め、捕集した粉じん(切羽作業時間に発生した粉じん)中の吸入性粉じん(4 μm、50%カット)の占める割合を確認した。

(2) X線回折分析装置(XRD-6100 型: 憊島津製作所)

① 遊離けい酸含有率[%]の測定

ろ過捕集により粉じんを捕集したろ過捕集用フィルターを天秤で秤量し、得られた粉じん量[mg]を確認後、当該粉じんの定性分析を行い、その後、定量分析により、遊離けい酸含有率[%]を基底標準吸収補正方法により測定した。

これにより、作業者がばく露した粉じん中の遊離けい酸含有率[%]と切羽から50m地点における粉じん中の遊離けい酸含有率[%]を求めた。

分析条件は以下のとおり

表 3 X線回折分析装置の分析条件

測定条件	定性分析	定量分析
対陰極	Cu	
管電圧(kV)	40	40
管電流(mA)	40	30
走査速度(°/min)	1.0	0.5(1/2)
発散スリット(°)	1	
散乱スリット(°)	1	
受光スリット(mm)	0.3	

② 結晶質シリカ濃度[mg/m³]

得られた遊離けい酸含有率[%]と(1)で求めた粉じん質量濃度[mg/m³]から、結晶質シリカ濃度[mg/m³]を求めた。

(3) 粉じん相対濃度連続測定データ処理ソフトおよび粉じん質量濃度連続データ図作成ソフト

① 粉じん質量濃度の連続データ

相対濃度計(LD-2型)のデータロガー機能を用いて、1秒毎の相対濃度値を保存できるように設定し計測を実施した。測定終了後、相対濃度計(LD-2型)に付属する専用のソフトを用いてPCに出力し、この1秒毎のデータから1分間の平均値を算出し、その相対濃度に、ろ過捕集で得た粉じん質量濃度の関係から求めた質量濃度変換係数(K値)を乗じて質量濃度を求め、これを縦軸に、横軸に計測時間(作業時間)を取り、粉じん質量濃度の連続データグラフを作成して可視化した。

② 作業別の粉じん質量濃度

①の粉じん相対濃度等から求めた粉じん質量濃度の連続データ(グラフ)と、別に記録した作業者、切羽作業全体のタイムスタディ、ろ過捕集により求めた粉じん質量濃度等のデータから、切羽作業における粉じん質量濃度、吹付け作業時における粉じん質量濃度等を推定した。

6. トンネル建設工事現場調査の実施結果

平成 21 年 10 月から 12 月に表 4 に示す 4 現場において現場調査を実施した。今回実施したトンネル建設工事現場調査の対象とした 4 現場の概要は表 4 およびトンネルごとの実施結果に示す概略図のとおりである。

表 4 現場調査対象トンネル一覧表

トンネル名	Aトンネル	Bトンネル	Cトンネル	Dトンネル
場 所	島根県雲南市	三重県北牟婁郡	三重県尾鷲市	秋田県鹿角郡
用 途	道路	道路	道路	道路
地 質	花崗岩	砂岩 頁岩	花崗斑岩	凝灰岩・泥岩
内空断面(m ²)	88.8	74.9	76.7	73.9
工区全長(m)	3100	2271	1686	1624
調査時の進捗状況 (m)	600	750	750	1150
掘削工法	NATM	NATM	NATM	NATM
掘削方法	発破	発破	発破	発破
運搬方式	タイヤ	タイヤ	タイヤ	タイヤ
換気方法	送気+集塵機	送気+集塵機	送気+集塵機	送気+集塵機
送風機能力(m ³)	1500	2000	2000	2000
集塵機能力(m ³)	2400	2400	2400	2600
ガイドラインによる 測定結果 (直近の測定)	評価値<3mg/m ³ 評価値≥3mg/m ³	評価値<3mg/m ³ 評価値≥3mg/m ³	評価値<3mg/m ³ 評価値≥3mg/m ³	評価値<3mg/m ³ 評価値≥3mg/m ³
切羽作業者の人数	6	6	5	6
調査日程	10/14(水)~16(金)	10/28(水)~30(金)	11/25(水)~27(金)	12/2(水)~4(金)

6.1 個人ばく露濃度の測定結果

6.1.1 Aトンネルの測定結果

平成 21 年 10 月 15 日に実施したAトンネルの測定結果は以下の通りであった。

6.1.1.1 Aトンネルの概要

Aトンネルの概略図を図 1 に示した。

測定対象とした切羽での1サイクルの作業概要は、穿孔作業、装薬作業、ずり積み作業、ずり出し作業、吹付け作業、ロックボルト作業の順であった。

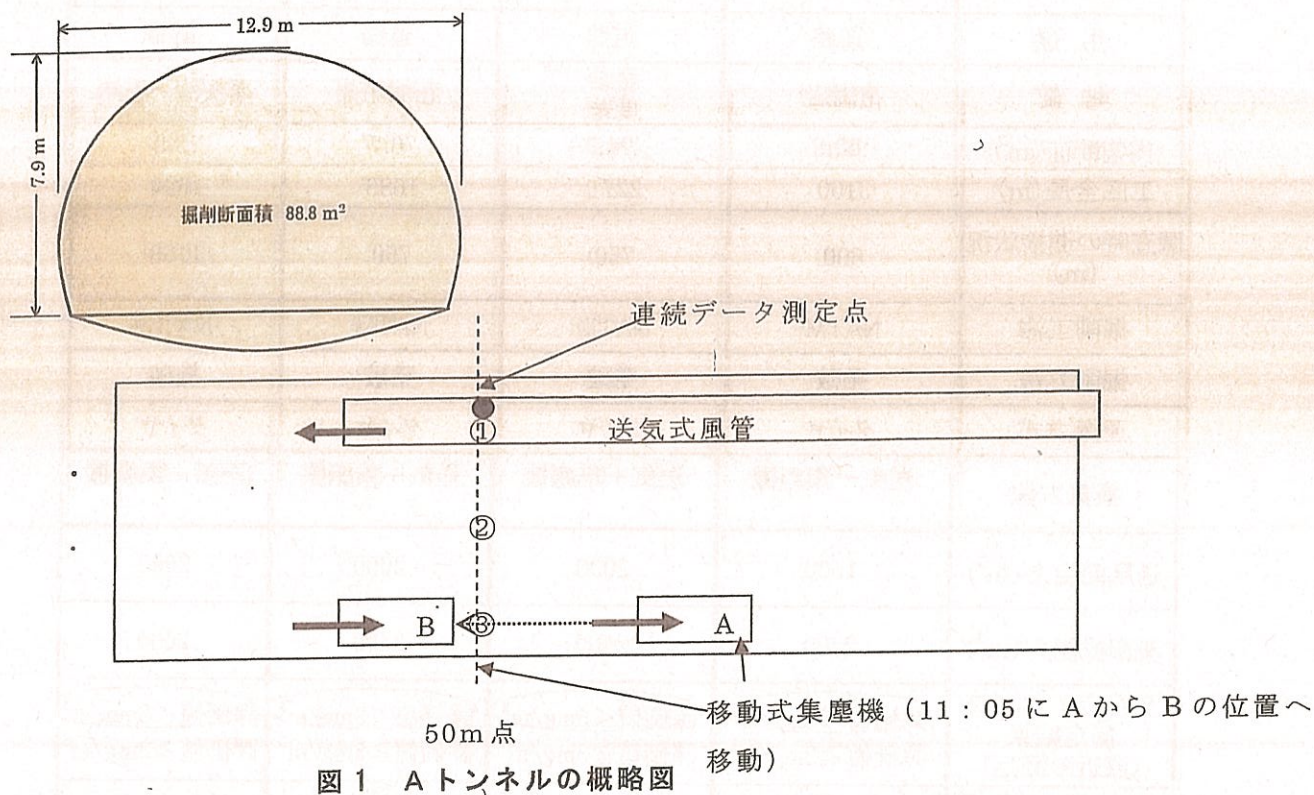


図 1 Aトンネルの概略図

6.1.1.2 遊離けい酸含有率測定結果

表 5 に遊離けい酸含有率の測定結果を示した。

表 5 遊離けい酸含有率(個人ばく露)

作業者No	遊離けい酸含有率(%)	平均値(%)	標準偏差	変動係数(%)
A1	4.5	5.5	1.56	28.4
A2	6.3			
A3	6.3			
A4	5.4			
A5	3.0			
A6	7.4			

6.1.1.3 管理濃度

管理濃度の式 $E = 3.0 / (1.19Q + 1)$ に 6.1.1.2 の遊離けい酸含有率を代入して計算した結果を表 6 に示した。

表 6 管理濃度(個人ばく露)

作業者No	管理濃度[mg/m ³]	平均値[mg/m ³]	標準偏差	変動係数[%]
A1	0.47	0.42	0.13	31.5
A2	0.33			
A3	0.33			
A4	0.40			
A5	0.66			
A6	0.32			

6.1.1.4 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

切羽作業者の作業時間中(8 時間)のばく露粉じん質量濃度の測定結果を表 7 に示した。
表 7 より 6 人のばく露粉じん質量濃度は 0.074~0.78 mg/m³ で、変動係数は 78.5% であった。

表 7 個人ばく露粉じん質量濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中						作業者の主な作業概要
	採取粉じん量 (mg)	採取空気量 (m ³)	粉じん/質量濃 度(mg/m ³)	粉じん/質量濃度 平均値(mg/m ³)	粉じん/質量濃度 の標準偏差	粉じん/質量濃 度の変動係数 (%)	
A1	0.13	0.83	0.16	0.32	0.25	78.5	ブレーカー、吹付け補助
A2	0.18	0.83	0.22				ホイールローダー、吹付け補助等
A3	0.32	0.83	0.39				火薬運搬、ミキサー
A4	0.06	0.81	0.074				ずり出しダンプ
A5	0.65	0.83	0.78				ずり積み、その他重機オペ
A6	0.24	0.83	0.29				吹付けオペ

6.1.1.5 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果

[6.1.1.2]の遊離けい酸含有率と[6.1.1.4]のろ過捕集により得られた質量濃度から結晶質シリカ濃度を求めた。その結果を表8に示した。

表8 個人粉じんばく露結晶質シリカ濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん 量(mg)	採取空気量 (m ³)	結晶質シリカ 濃度 (mg/m ³)	結晶質シリカ 濃度の平均 値(mg/m ³)	結晶質シリ カ濃度標準 偏差	結晶質シリカ 濃度の変動 係数(%)
A1	0.13	0.83	0.0071	0.016	0.0079	49.9
A2	0.18	0.83	0.0136			
A3	0.32	0.83	0.0243			
A4	0.06	0.81	0.0067			
A5	0.69	0.83	0.0235			
A6	0.24	0.83	0.0202			

6.1.1.6 個人ばく露粉じん質量濃度の連続測定結果

相対濃度計(LD-2型)のロギングされたデータから算出された、1 分間毎の相対濃度に、ろ過捕集で得た粉じん質量濃度から求めた質量濃度変換係数(K 値)を乗じて、質量濃度を求め、これを縦軸とし、時間(作業時間)を横軸とした、粉じん質量濃度のグラフを作成した。また、作業者ごとに記録しているタイムスタディから作業時間中の作業内容をグラフ内に記入した。これにより、作業状況による粉じんばく露の変動が確認できる。

図 2 から図 4 に、作業者 A1 から A2 および A4 の連続データを示した(作業者 A3 および A5 から A6 については連続データ欠測のためグラフ無し)。また、参考として図 5 に切羽より 50m 地点における連続データを示した。(作業者 A3 (吹きつけオペレーター)の吹付け作業時の粉じん質量濃度連続データが欠測したため、本項における 50m 地点における粉じん質量濃度連続データとの重ね合わせグラフは、無しとした。)

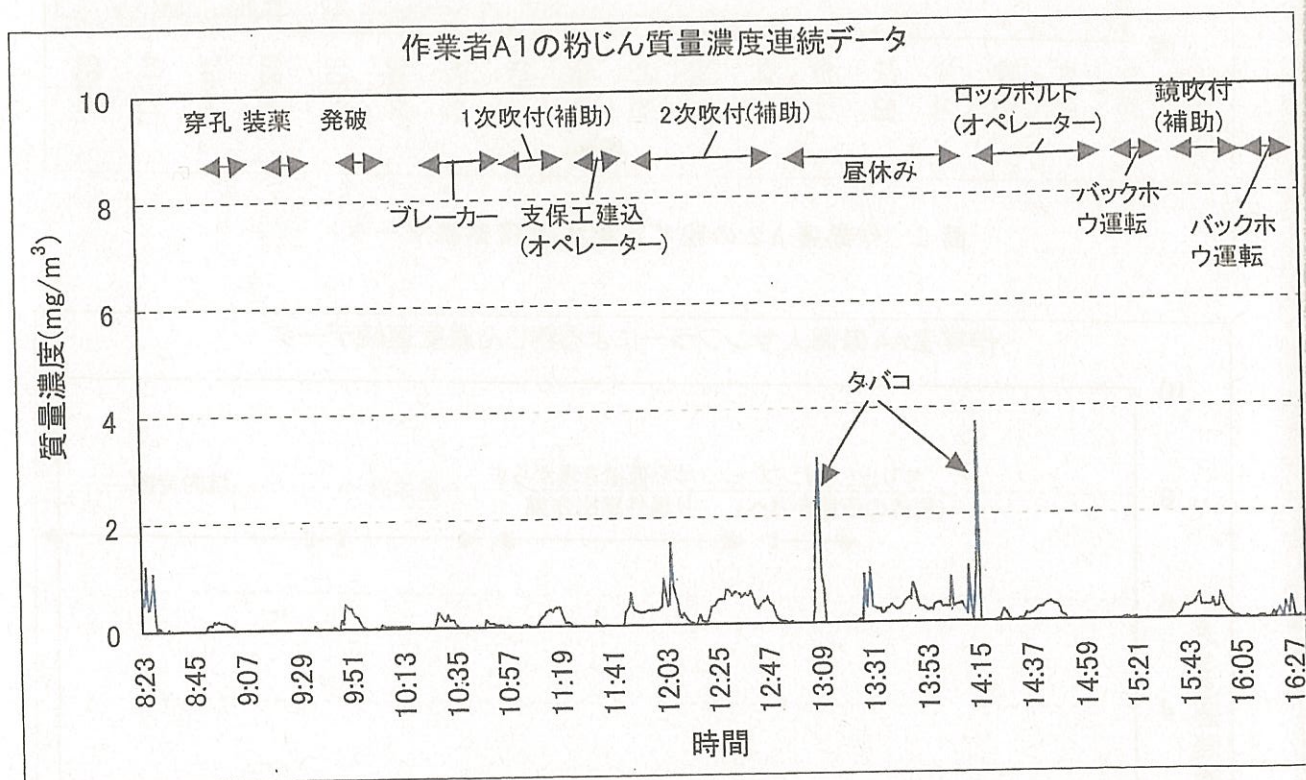


図 2 作業者 A1 の粉じん質量濃度連続データ

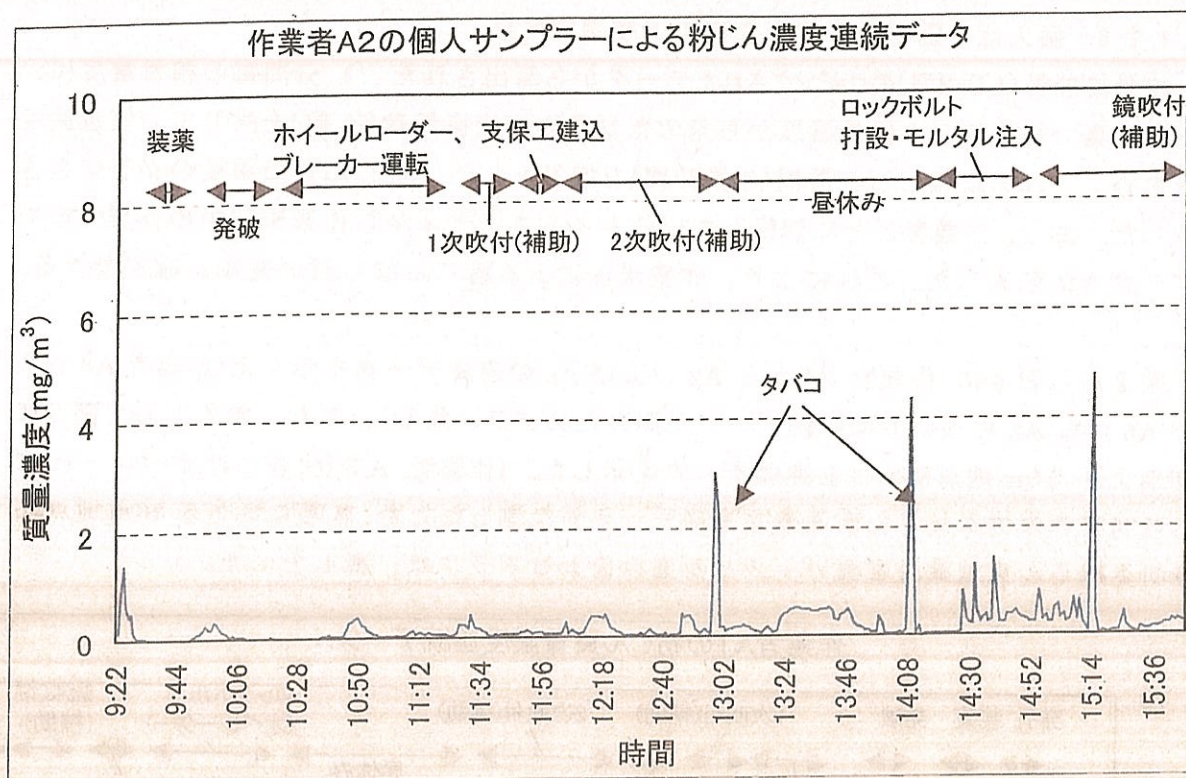


図3 作業者A2の粉じん質量濃度連続データ

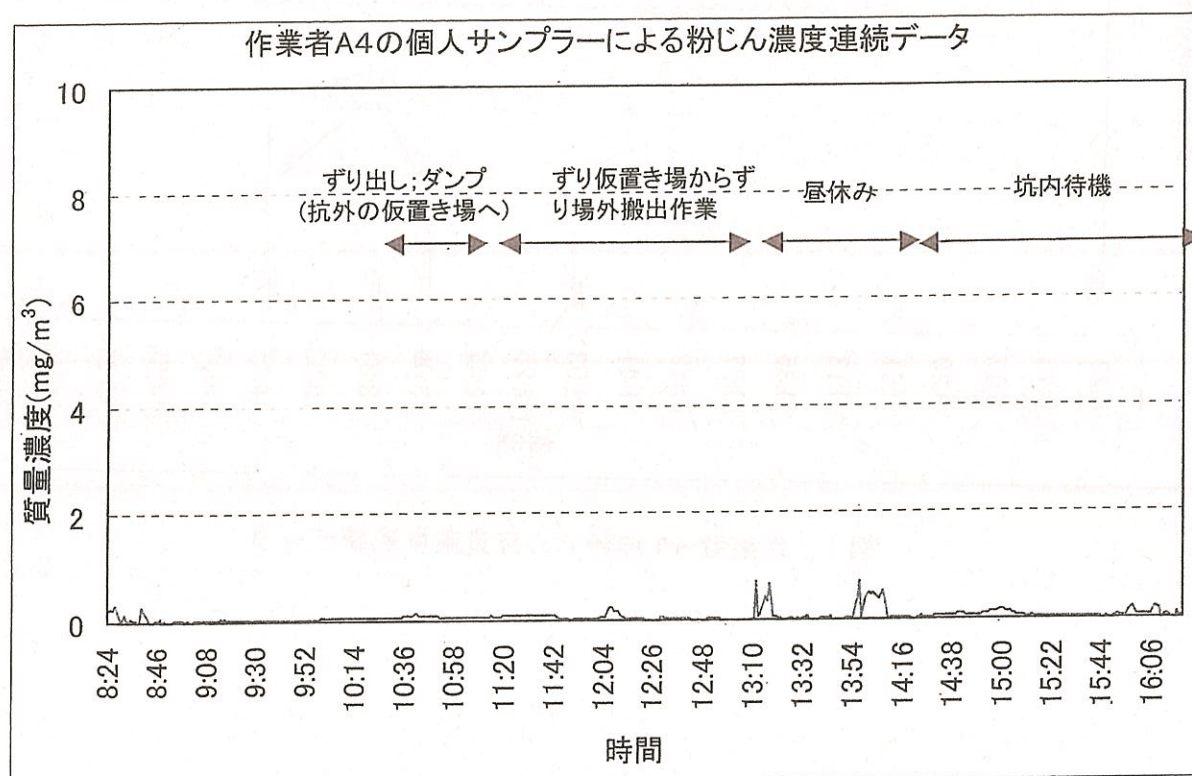


図4 作業者A4の粉じん質量濃度連続データ

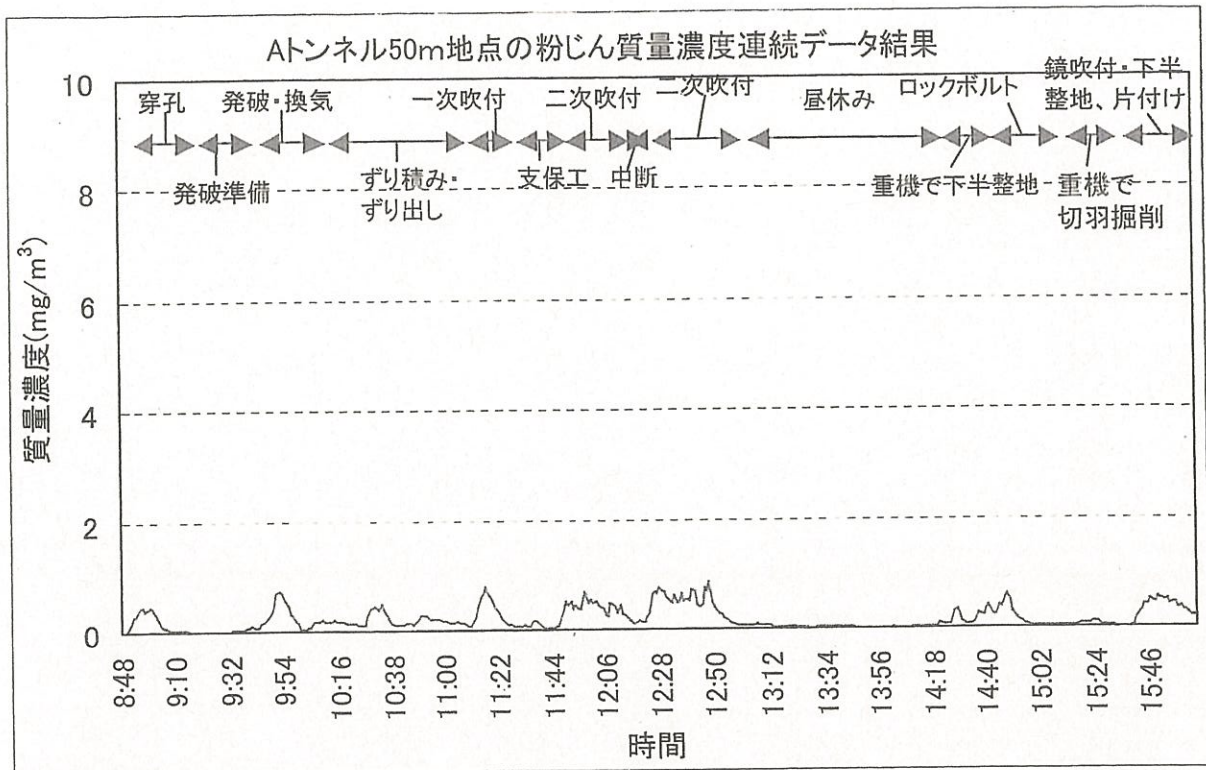


図5 50m地点の粉じん質量濃度連続データ

6.1.2 Bトンネルの測定結果

平成 21 年 10 月 29 日に実施したBトンネルの測定結果は以下の通りであった。

6.1.2.1 Bトンネルの概要

Bトンネルの概略図を図 6 に示した。

測定対象とした切羽での1サイクルの作業概要は、穿孔作業、装薬作業、ずり積み作業、ずり出し作業、吹付け作業、ロックボルト作業の順であった。

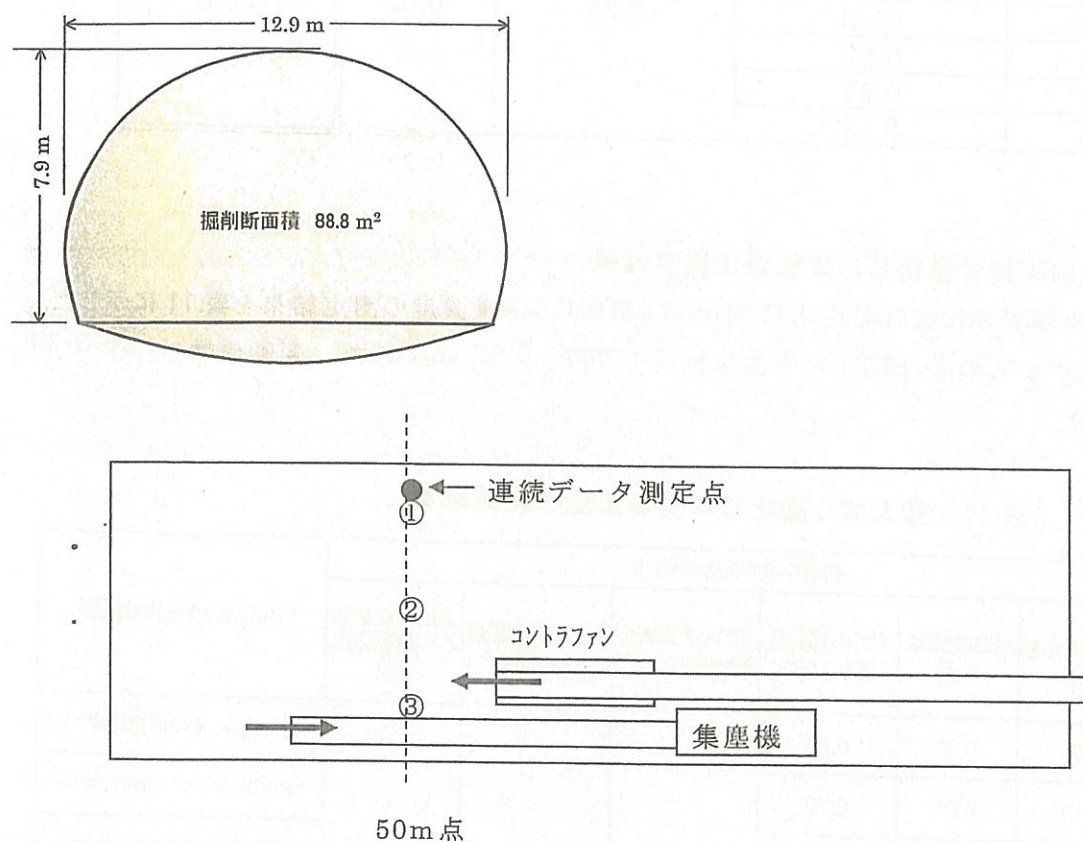


図 6 Bトンネルの概略図

6.1.2.2 遊離けい酸含有率測定結果

表 9 に遊離けい酸含有率の測定結果を示した。

表 9 遊離けい酸含有率(個人ばく露)

作業者No.	遊離けい酸含有率(%)	平均値(%)	標準偏差	変動係数(%)
B1	15.8	13.4	5.47	40.9
B2	8.0			
B3	19.0			
B4	9.0			
B5	8.6			
B6	19.8			

6.1.2.3 管理濃度

管理濃度の式 $E = 3.0 / (1.19Q + 1)$ に 6.1.2.2 の遊離けい酸含有率を代入して計算した結果を表 10 に示した。

表 10 管理濃度(個人ばく露)

作業者No.	管理濃度 (mg/m ³)	平均値(mg/m ³)	標準偏差	変動係数(%)
B1	0.15	0.20	0.08	38.3
B2	0.29			
B3	0.13			
B4	0.26			
B5	0.27			
B6	0.12			

6.1.2.4 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

切羽作業者の作業時間中(8時間)のばく露粉じん質量濃度の測定結果を表 11 に示した。
表 11 より 6 人のばく露粉じん質量濃度は 0.057~0.87 mg/m³ で、変動係数は 46.5[%]であった。

表 11 個人ばく露粉じん質量濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間) 中						作業者の主な作業概要
	採取粉じん量 (mg)	採取空気量 (m ³)	粉じん質量濃 度 (mg/m ³)	粉じん質量濃度 平均値(mg/m ³)	粉じん質量濃度 の標準偏差	粉じん質量濃 度の変動係数 (%)	
B1	0.75	0.86	0.87	0.66	0.31	46.5	ずり積み、その他重機オペ
B2	0.61	0.87	0.70				ずり出しダンプ、吹付けオペ
B3	0.75	0.86	0.87				ずり積み、吹付け補助等
B4	0.64	0.86	0.77				ずり出しダンプ
B5	0.58	0.86	0.67				ずり出しダンプ、ミキサー
B6	0.05	0.87	0.057				吹付け補助、装薬、場外

6.1.2.5 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果

6.1.2.2の遊離けい酸含有率と6.1.2.4のろ過捕集により得られた質量濃度から結晶質シリカ濃度を求めた結果を表12に示した。

表12 個人ばく露結晶質シリカ濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん 量(mg)	採取空気量 (m ³)	結晶質シリカ 濃度 (mg/m ³)	結晶質シリカ 濃度の平均 値(mg/m ³)	結晶質シリ カ濃度標準 偏差	結晶質シリカ 濃度の変動 係数(%)
B1	0.75	0.861	0.137	0.083	0.057	69.2
B2	0.61	0.867	0.056			
B3	0.75	0.864	0.165			
B4	0.64	0.862	0.069			
B5	0.58	0.863	0.058			
B6	0.05	0.871	0.011			

6.1.2.6 個人ばく露粉じん質量濃度の連続測定結果

相対濃度計(LD-2型)のロギングされたデータから算出された、1 分間毎の相対濃度に、ろ過捕集で得た粉じん質量濃度から求めた質量濃度変換係数(K 値)を乗じて、質量濃度を求め、これを縦軸とし、時間(作業時間)を横軸とした、粉じん質量濃度のグラフを作成した。また、作業員ごとに記録しているタイムスタディから作業時間中の作業内容をグラフ内に記入した。これにより、作業状況による粉じんばく露の変動が確認できる。

図 7 から図 12 に作業員 B 1 から B 6 の連続データを示した。また参考として、図 13 に切羽より 50m 地点における連続データを、図 14 に吹付けオペレーターであった作業員 B 2 と切羽から 50m 地点の粉じん質量濃度連続データを重ね合わせたグラフを示した。

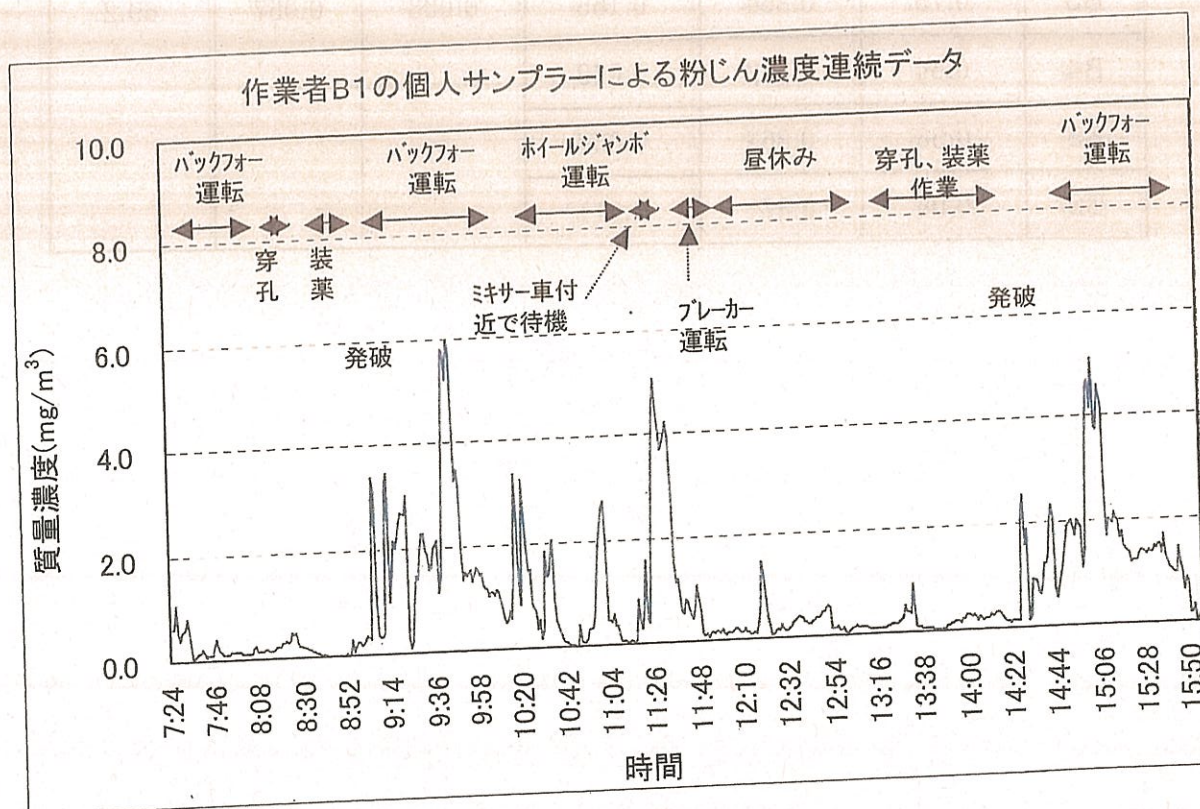


図 7 作業員 B 1 の粉じん質量濃度連続データ

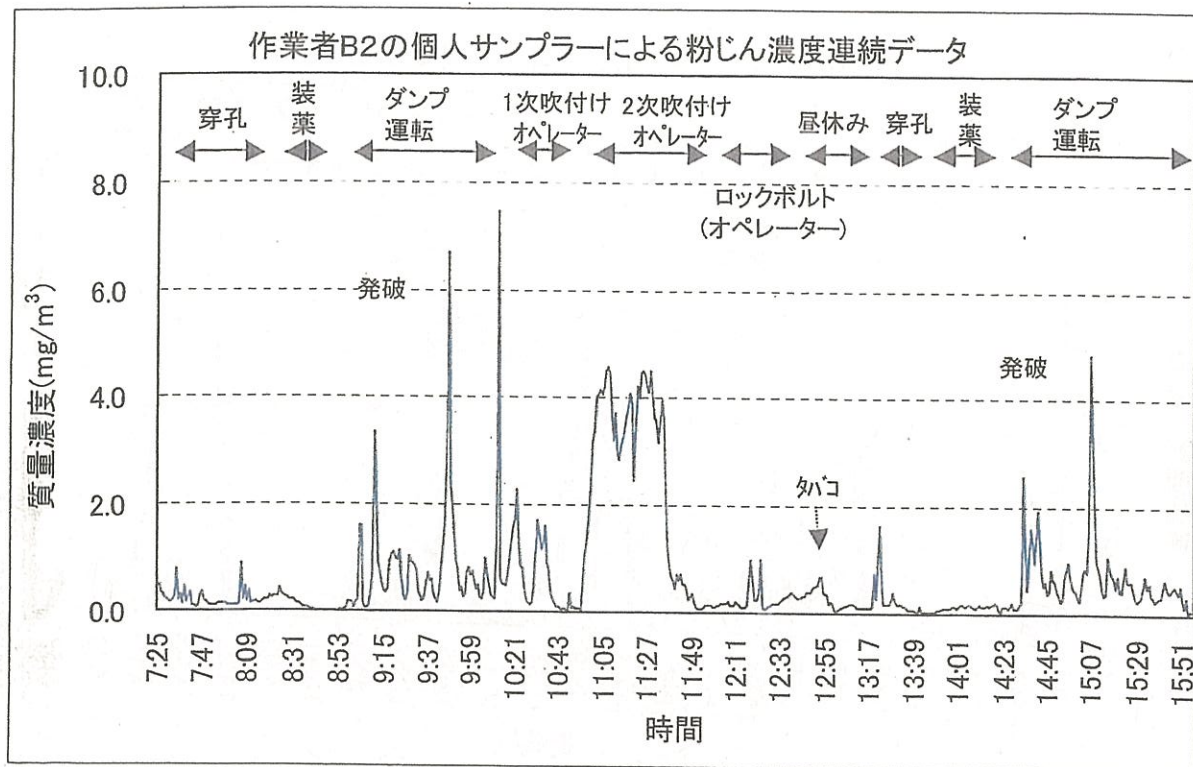


図 8 作業員B2の粉じん質量濃度連続データ

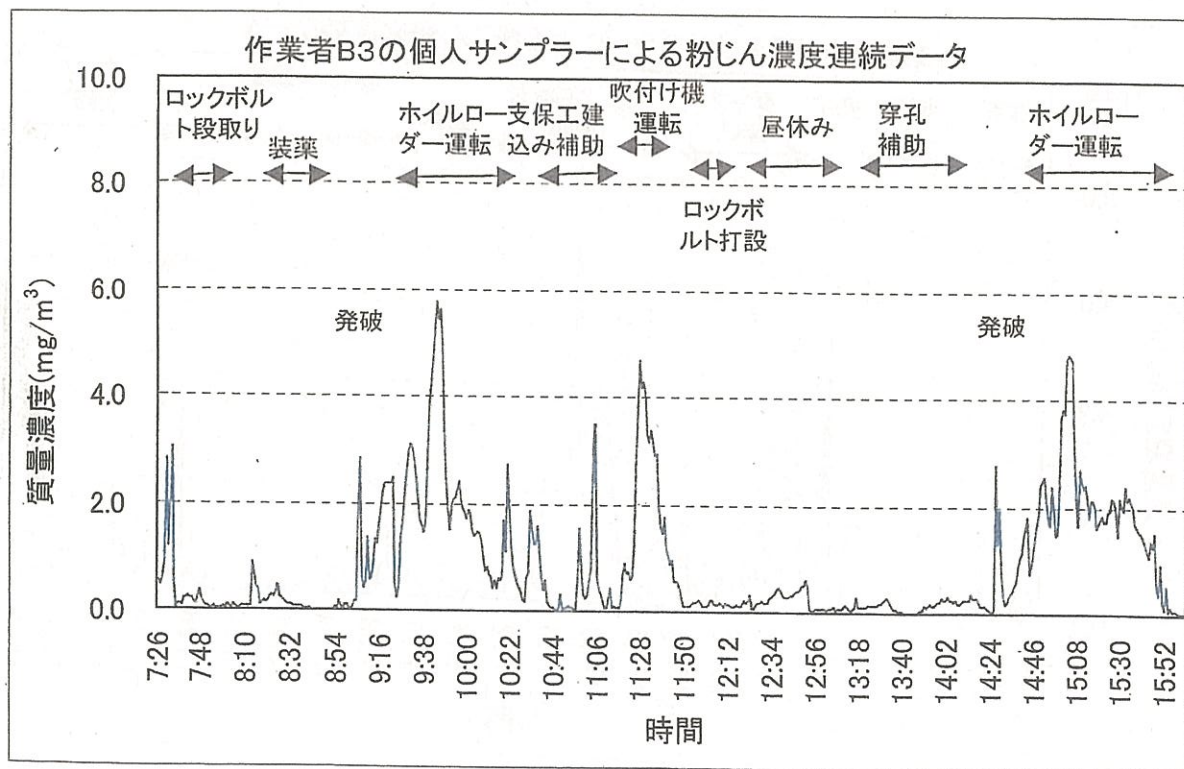


図 9 作業員B3の粉じん質量濃度連続データ

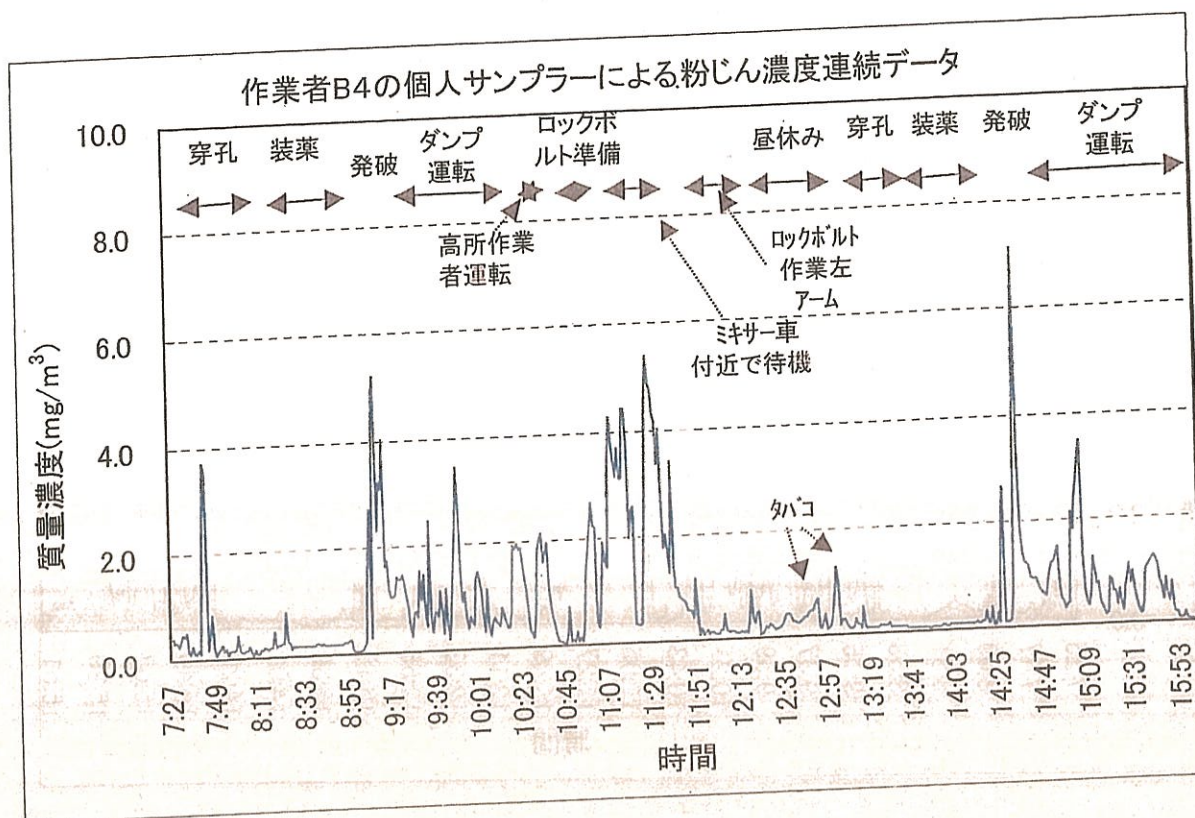


図 10 作業員B4の粉じん質量濃度連続データ

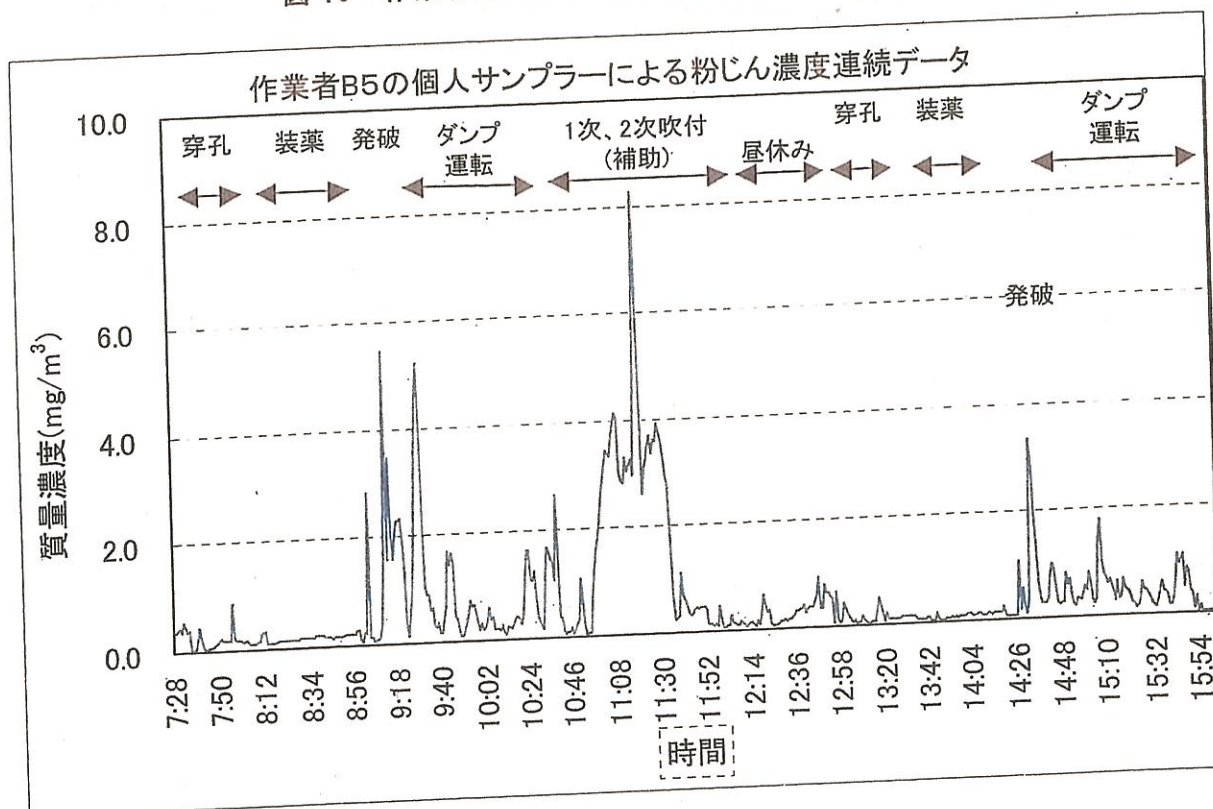


図 11 作業員B5粉じん質量濃度連続データ

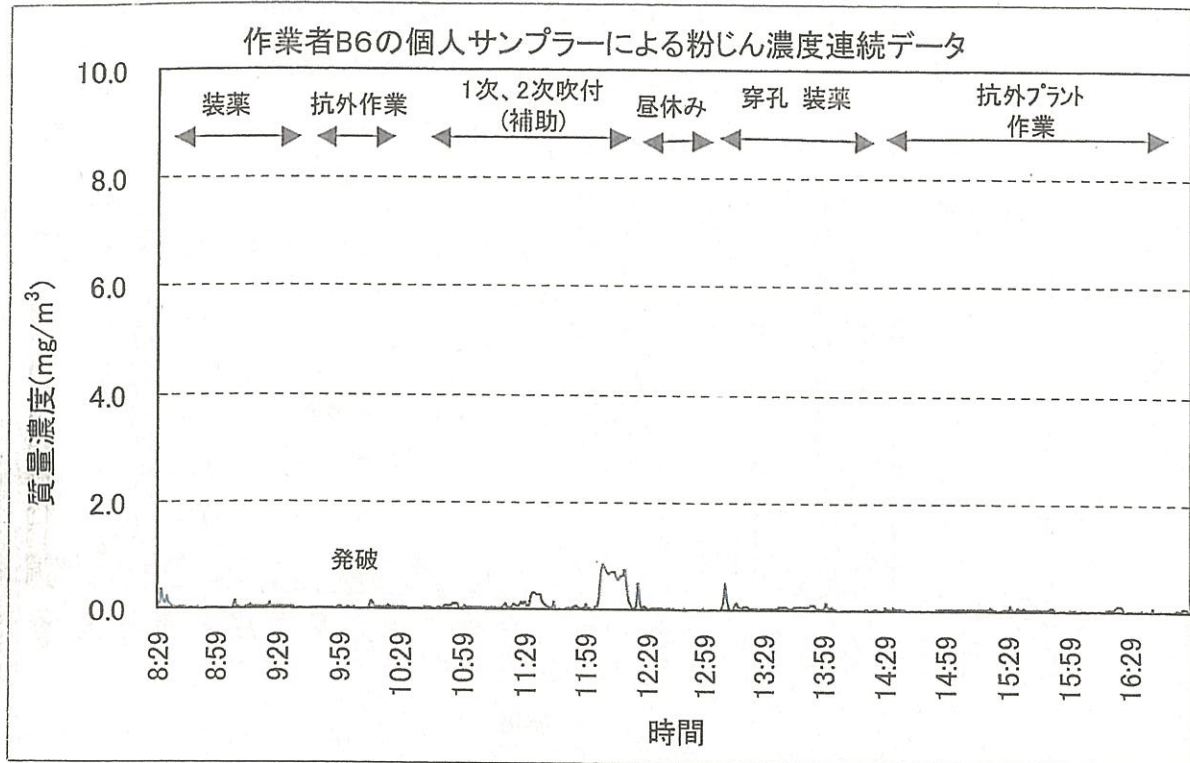


図 12 作業者B6 じん質量濃度連続データ

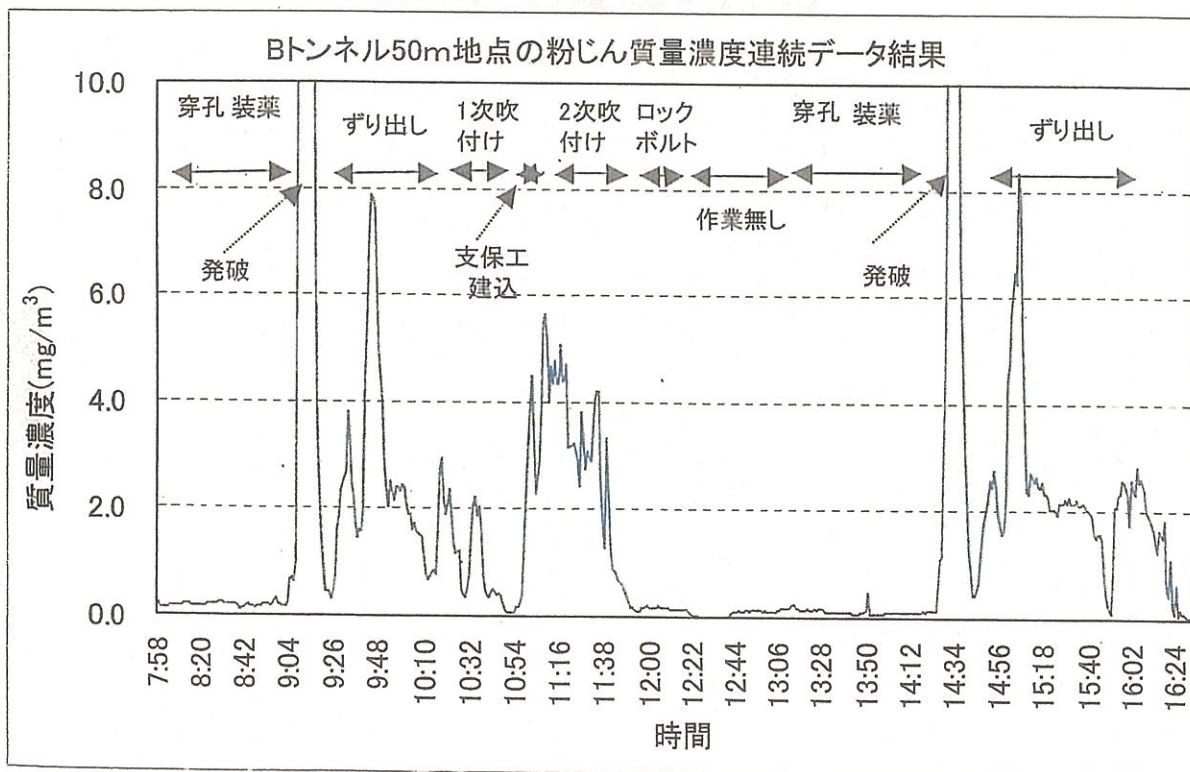


図 13 50m地点の粉じん質量濃度連続データ

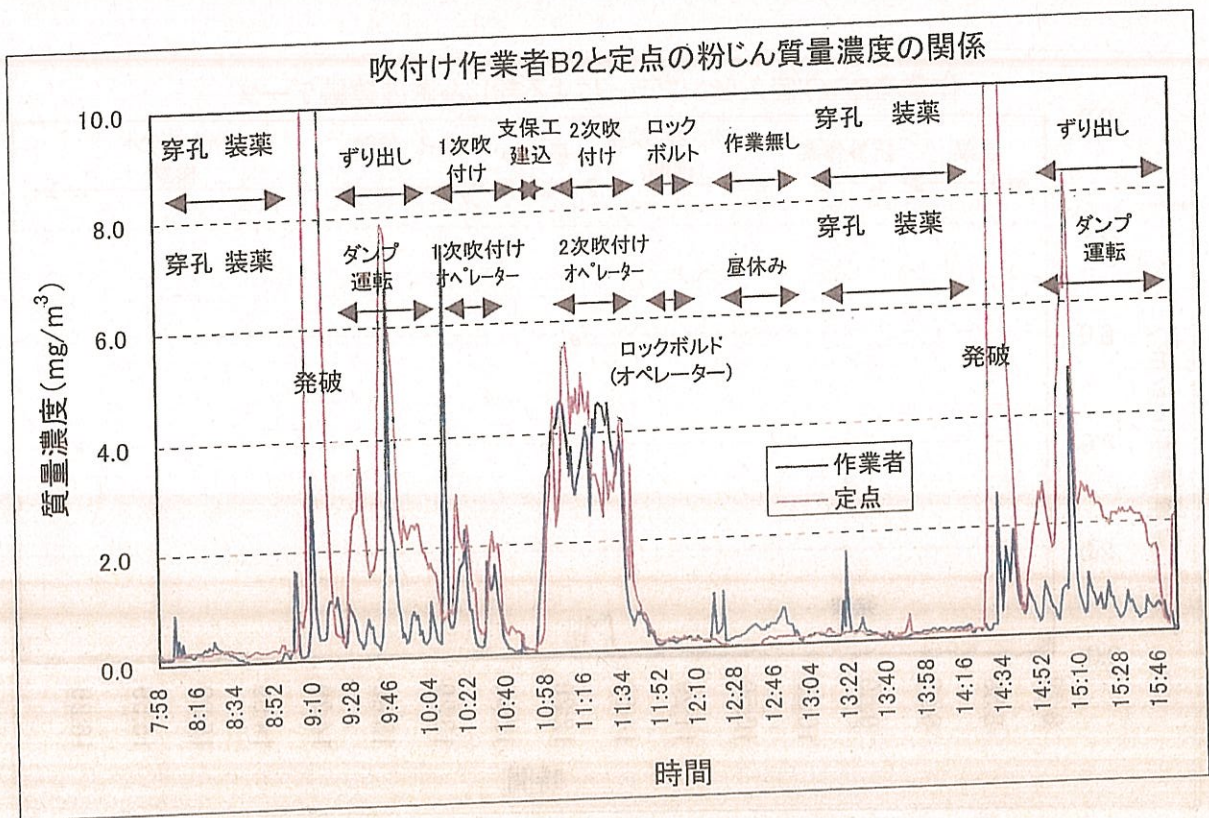


図 14 吹付けオペレーター作業を行った作業者B2と50m地点の粉じん質量濃度連続データの関係

6.1.3 Cトンネルの測定結果

平成 21 年 11 月 26 日に実施したCトンネルの測定結果は以下の通りであった。

6.1.3.1 Cトンネルの概要

Cトンネルの概略図を図 15 に示した。

測定対象とした切羽での1サイクルの作業概要は、穿孔作業、装薬作業、ずり積み作業、ずり出し作業、吹付け作業、ロックボルト作業の順であった。

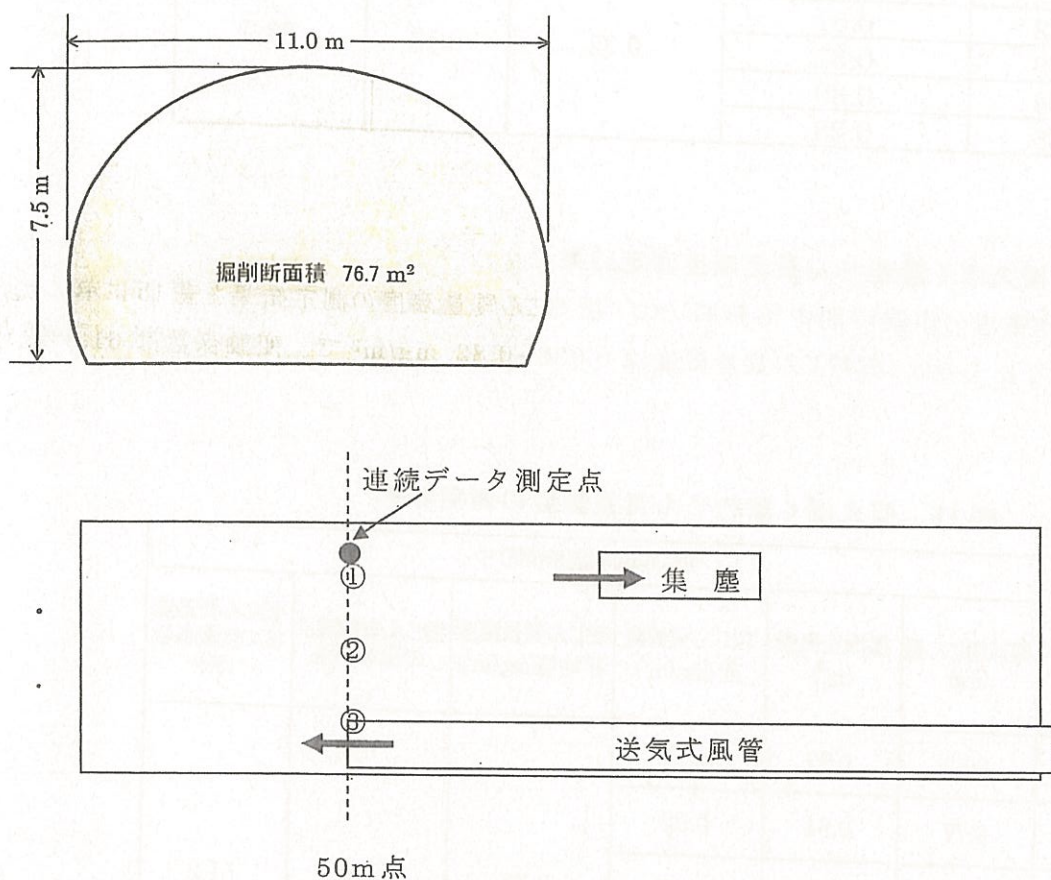


図 15 Cトンネルの概略図

6.1.3.2 遊離けい酸含有率測定結果

表 13 に遊離けい酸含有率の測定結果を示した。

表 13 遊離けい酸含有率 (個人ばく露)

作業者No.	遊離けい酸含有率(%)	平均値(%)	標準偏差	変動係数(%)
C1	13.4	8.1	3.35	41.4
C2	4.1			
C3	7.4			
C4	7.5			
C5	8.1			

6.1.3.3 管理濃度

管理濃度の式 $E = 3.0 / (1.19Q + 1)$ に 6.1.3.2 の遊離けい酸含有率を代入して計算した結果を表 14 に示した。

表 14 管理濃度(個人ばく露)

作業者No.	管理濃度(mg/m ³)	平均値(mg/m ³)	標準偏差	変動係数(%)
C1	0.18	0.32	0.12	38.0
C2	0.51			
C3	0.31			
C4	0.30			
C5	0.28			

6.1.3.4 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

切羽作業者の作業時間中(8時間)のばく露粉じん質量濃度の測定結果を表 15 に示した。表 15 より 5 人のばく露粉じん質量濃度は 0.032~0.82 mg/m³ で、変動係数は 61.2% であった。

表 15 個人ばく露粉じん質量濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん量 (mg)	採取空気量 (m ³)	粉じん質量濃 度(mg/m ³)	粉じん質量濃度 平均値(mg/m ³)	粉じん質量濃度 の標準偏差	粉じん質量濃 度の変動係数 (%)
C1	0.62	0.99	0.63	0.48	0.29	61.2
C2	0.77	0.94	0.82			
C3	0.41	0.98	0.42			
C4	0.48	0.99	0.49			
C5	0.03	0.95	0.032			

6.1.3.5 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果

6.1.3.2 の遊離けい酸含有率と 6.1.3.4 のろ過捕集により得られた質量濃度から結晶質シリカ濃度を求めた結果を表 16 に示した。

表 16 個人ばく露結晶質シリカ濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん 量(mg)	採取空気量 (m ³)	結晶質シリカ 濃度 (mg/m ³)	結晶質シリカ 濃度の平均 値(mg/m ³)	結晶質シリ カ濃度標準 偏差	結晶質シリカ 濃度の変動 係数(%)
C1	0.62	0.99	0.084	0.038	0.029	77.7
C2	0.77	0.94	0.034			
C3	0.41	0.984	0.031			
C4	0.48	0.988	0.037			
C5	0.03	0.95	0.0026			

6.1.3.6 粉じん質量濃度連続データ結果

相対濃度計(LD-2型)のロギングされたデータから算出された、1 分間毎の相対濃度に、ろ過捕集で得た粉じん質量濃度から求めた質量濃度変換係数(K 値)を乗じて、質量濃度を求め、これを縦軸とし、時間(作業時間)を横軸とした、粉じん質量濃度のグラフを作成した。また、作業員ごとに記録しているタイムスタディから作業時間中の作業内容をグラフ内に記入した。これにより、作業状況による粉じんばく露の変動が確認できる。

図 16 から図 20 に作業員 C1 から C5 の連続データを示した。また、参考として図 21 に切羽より 50m 地点における連続データを図 22 に吹付けオペレーターであった作業員 C2 と切羽から 50m 地点の粉じん質量濃度連続データを重ね合わせたグラフを示した。

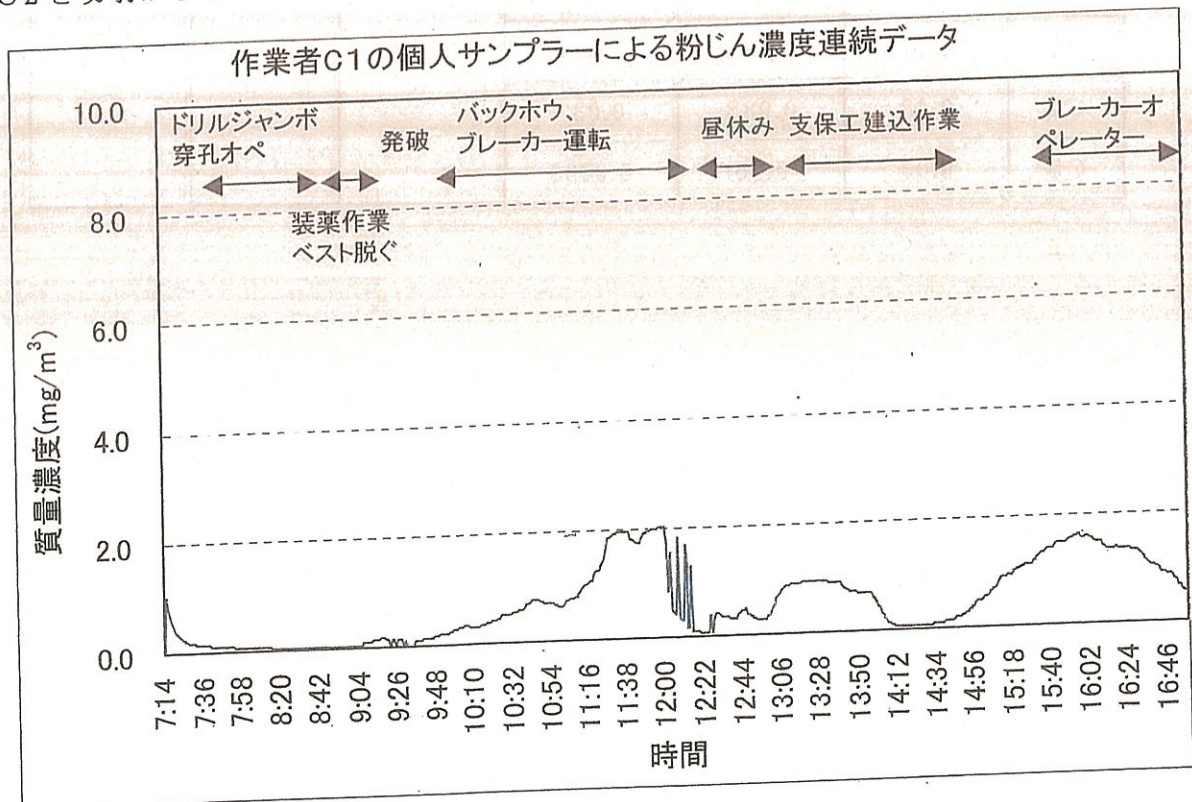


図 16 作業員 C1 の粉じん質量濃度連続データ

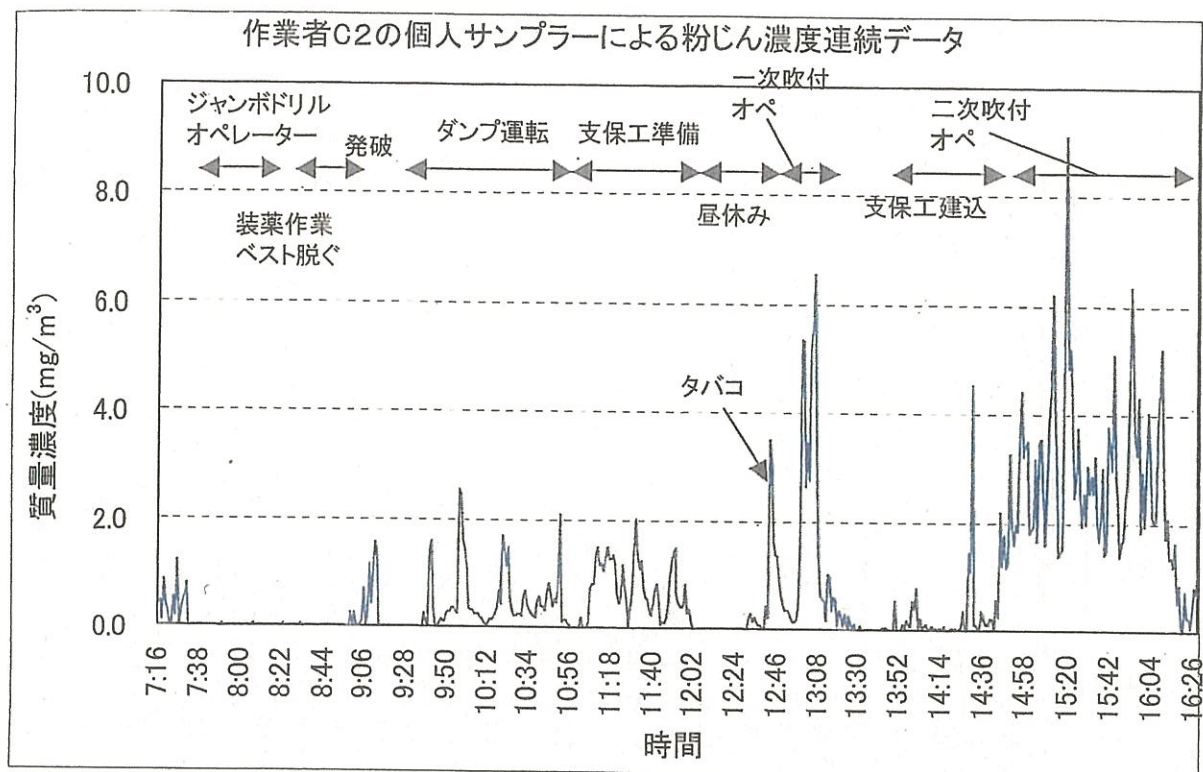


図 17 作業員C2の粉じん質量濃度連続データ

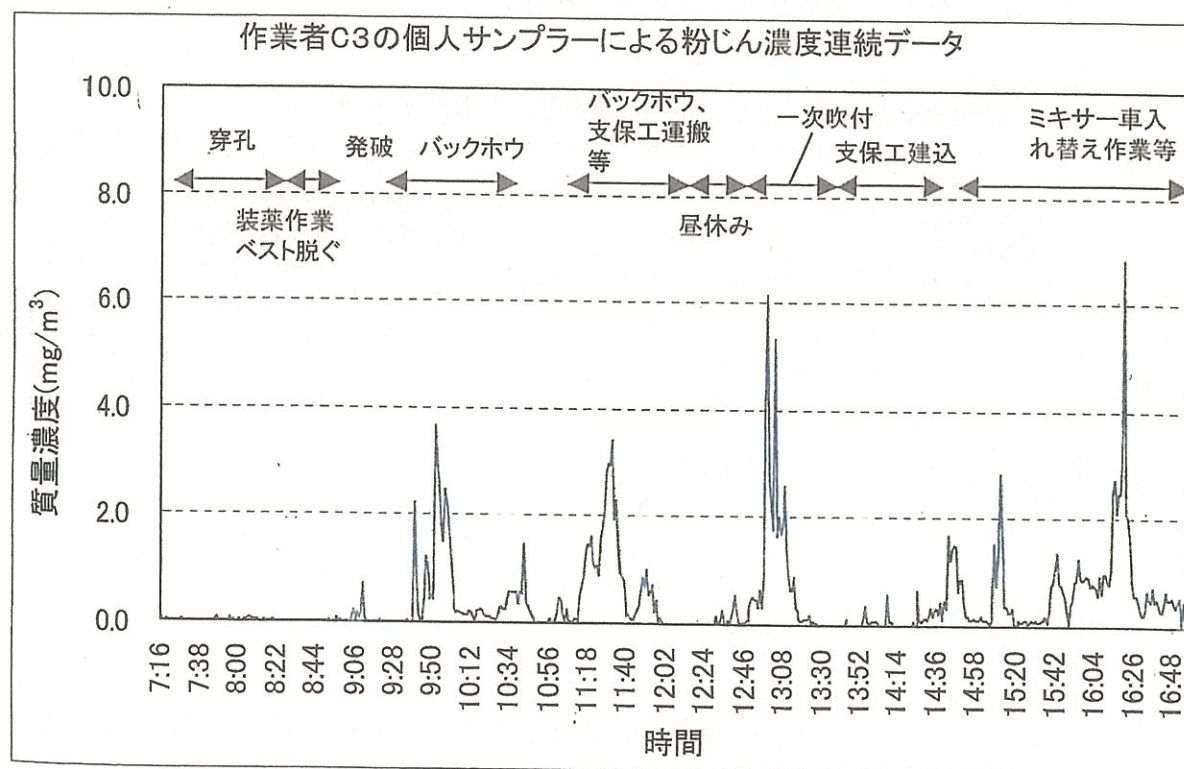


図 18 作業員C3の粉じん質量濃度連続データ

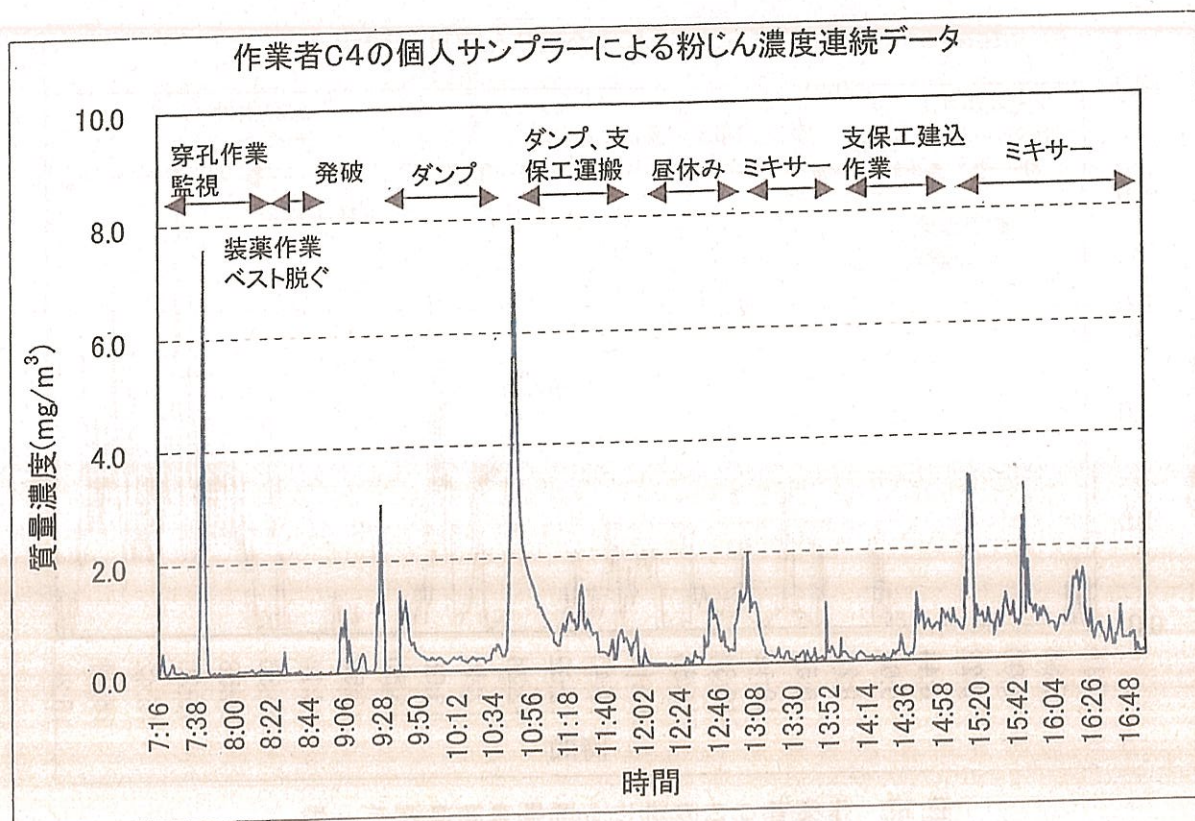


図 19 作業員C4の粉じん質量濃度連続データ

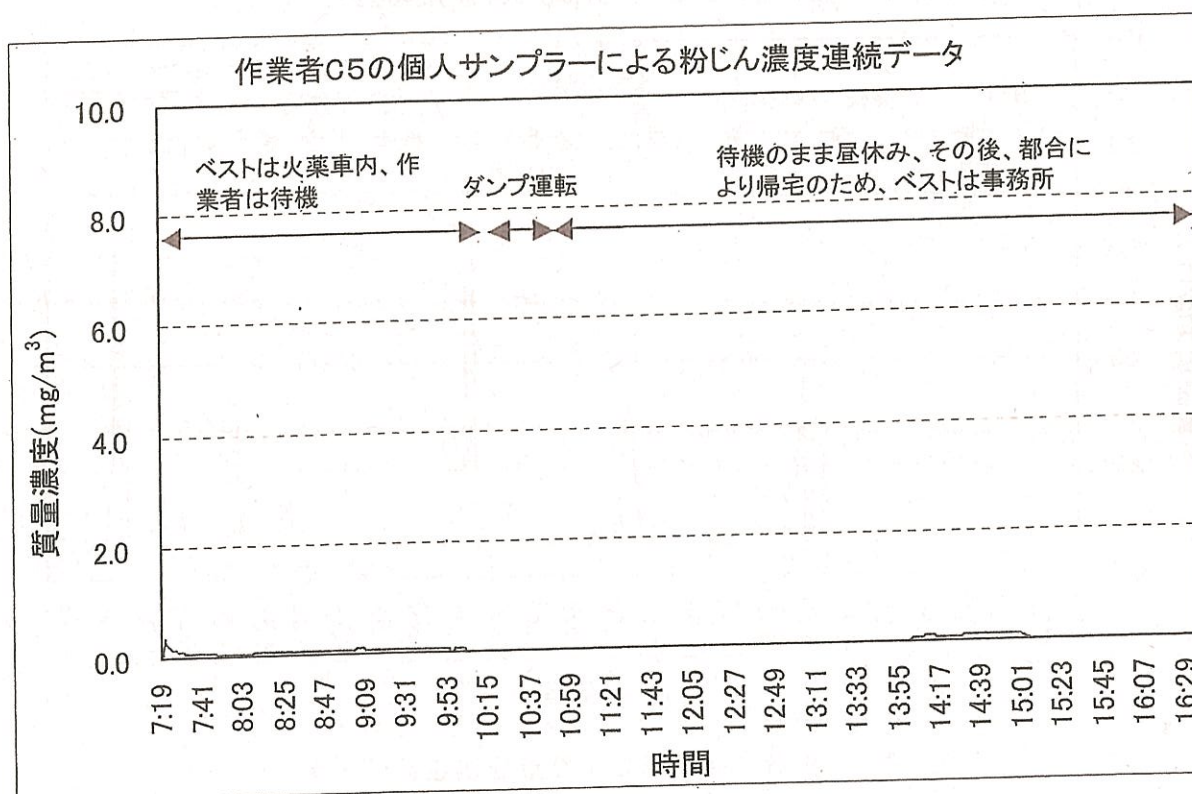


図 20 作業員C5粉じん質量濃度連続データ

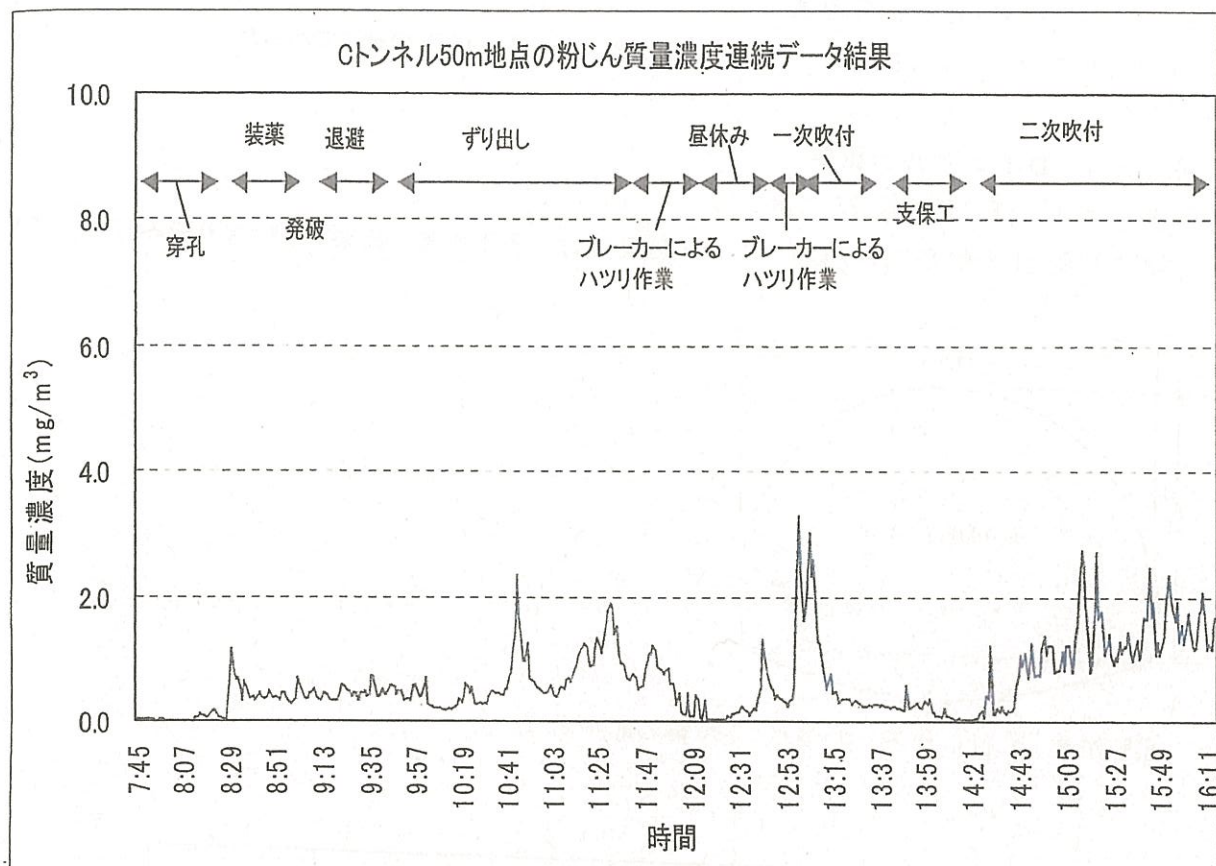


図 21 50m地点の粉じん質量濃度連続データ

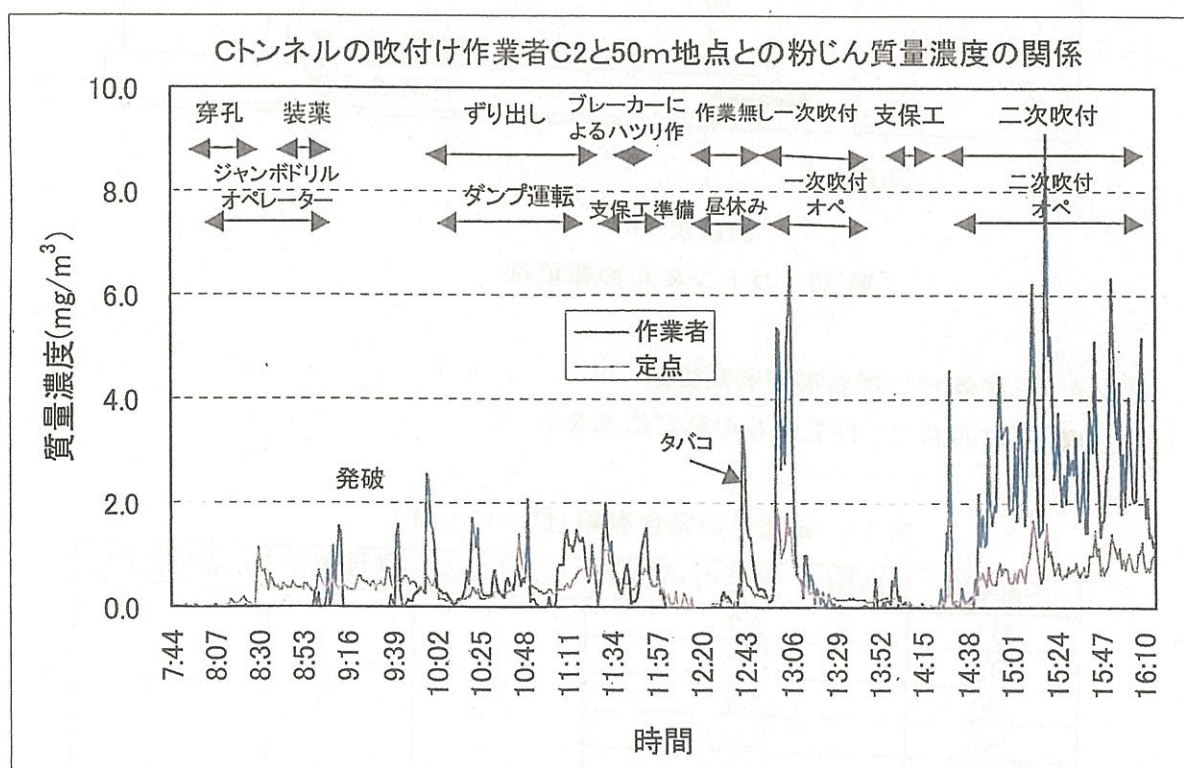


図 22 吹付けオペレーター作業を行った作業者C2と50m地点の
粉じん質量濃度連続データの関係

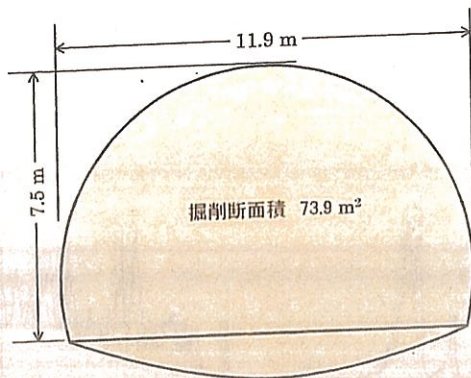
6.1.4 Dトンネルの測定結果

平成 21 年 12 月 3 日に実施したBトンネルの測定結果は以下の通りであった。

6.1.4.1 Dトンネルの概要

Dトンネルの概略図を図 23 に示した。

測定対象とした切羽での1サイクルの作業概要は、穿孔作業、装薬作業、ずり積み作業、ずり



出し作業、吹付け作業、ロックボルト作業の順であった。

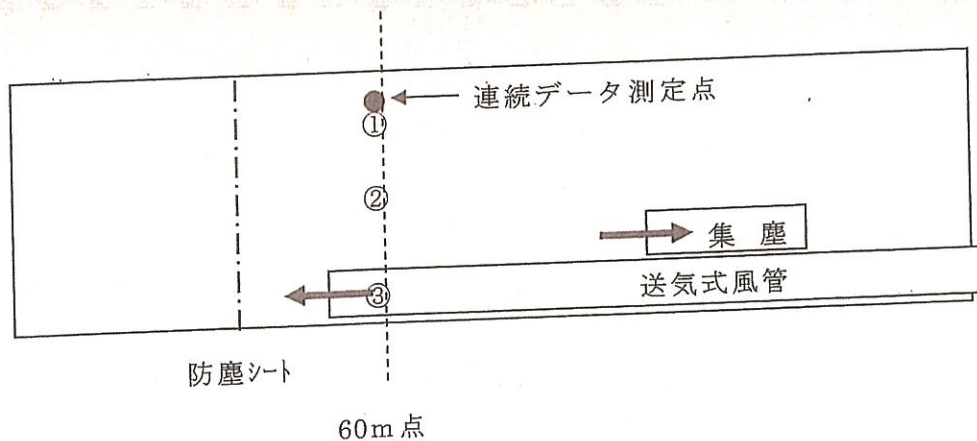


図 23 Dトンネルの概略図

6.1.4.2 遊離けい酸含有率測定結果

表 17 に遊離けい酸含有率の測定結果を示した。

表 17 遊離けい酸含有率(個人ばく露)

作業者No.	遊離けい酸含有率(%)	平均値(%)	標準偏差	変動係数(%)
D1	9.7	8.2	3.87	47.5
D2	10.2			
D3	3.6			
D4	13.1			
D5	3.4			
D6	8.9			

6.1.4.3 管理濃度

管理濃度の式 $E = 3.0 / (1.19Q + 1)$ に 6.1.4.2 の遊離けい酸含有率を代入して計算した結果を表 18 に示した。

表 18 管理濃度(個人ばく露)

作業者No.	管理濃度(mg/m ³)	平均値(mg/m ³)	標準偏差	変動係数(%)
D1	0.24	0.35	0.18	53.3
D2	0.23			
D3	0.57			
D4	0.18			
D5	0.59			
D6	0.26			

6.1.4.4 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

切羽作業者の作業時間中(8時間)のばく露粉じん質量濃度の測定結果を表 19 に示した。表 19 より 6 人のばく露粉じん質量濃度は 0.22～1.22 mg/m³ で、変動係数は 55.4% であった。

表 19 個人ばく露粉じん質量濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中						作業者の主な作業概要
	採取粉じん量 (mg)	採取空気量 (m ³)	粉じん質量濃 度(mg/m ³)	粉じん質量濃度 平均値(mg/m ³)	粉じん質量濃度 の標準偏差	粉じん質量濃 度の変動係数 (%)	
D1	0.89	0.83	1.08	0.84	0.46	55.4	ブレーカー、吹付けオペ
D2	0.98	0.82	1.19				ずり積み重機
D3	1.01	0.83	1.22				吹付け補助
D4	0.22	0.82	0.27				ダンプ、ミキサー
D5	0.87	0.84	1.03				ずり積み、吹付け
D6	0.18	0.83	0.22				ダンプ

6.1.4.5 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果

6.1.4.2 の遊離けい酸含有率と 6.1.4.4 のろ過捕集により得られた質量濃度から結晶質シリカ濃度を求めた結果を表 20 に示した。

表 20 個人ばく露結晶質シリカ濃度の測定結果

作業 者 No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん 量(mg)	採取空気量 (m ³)	結晶質シリカ 濃度 (mg/m ³)	結晶質シリカ 濃度の平均 値(mg/m ³)	結晶質シリ カ濃度標準 偏差	結晶質シリカ 濃度の変動 係数(%)
D1	0.89	0.83	0.105	0.060	0.042	70.6
D2	0.98	0.82	0.121			
D3	1.01	0.83	0.044			
D4	0.22	0.82	0.035			
D5	0.87	0.84	0.035			
D6	0.18	0.83	0.019			

6.1.4.6 個人ばく露粉じん質量濃度の連続測定結果

相対濃度計(LD-2型)のロギングされたデータから算出された、1 分間毎の相対濃度に、ろ過捕集で得た粉じん質量濃度から求めた質量濃度変換係数(K 値)を乗じて、質量濃度を求め、これを縦軸とし、時間(作業時間)を横軸とした、粉じん質量濃度のグラフを作成した。また、作業者ごとに記録しているタイムスタディから作業時間中の作業内容をグラフ内に記入した。これにより、作業状況による粉じんばく露の変動が確認できる。

図 24 から図 29 に作業者 D 1 から D 6 の連続データを示す。また、参考として図 30 に切羽より 60m 地点における連続データを、図 31 に吹付けオペレーターであった作業者 D 1 と切羽から 60m 地点の粉じん質量濃度連続データを重ね合わせたグラフを示す。

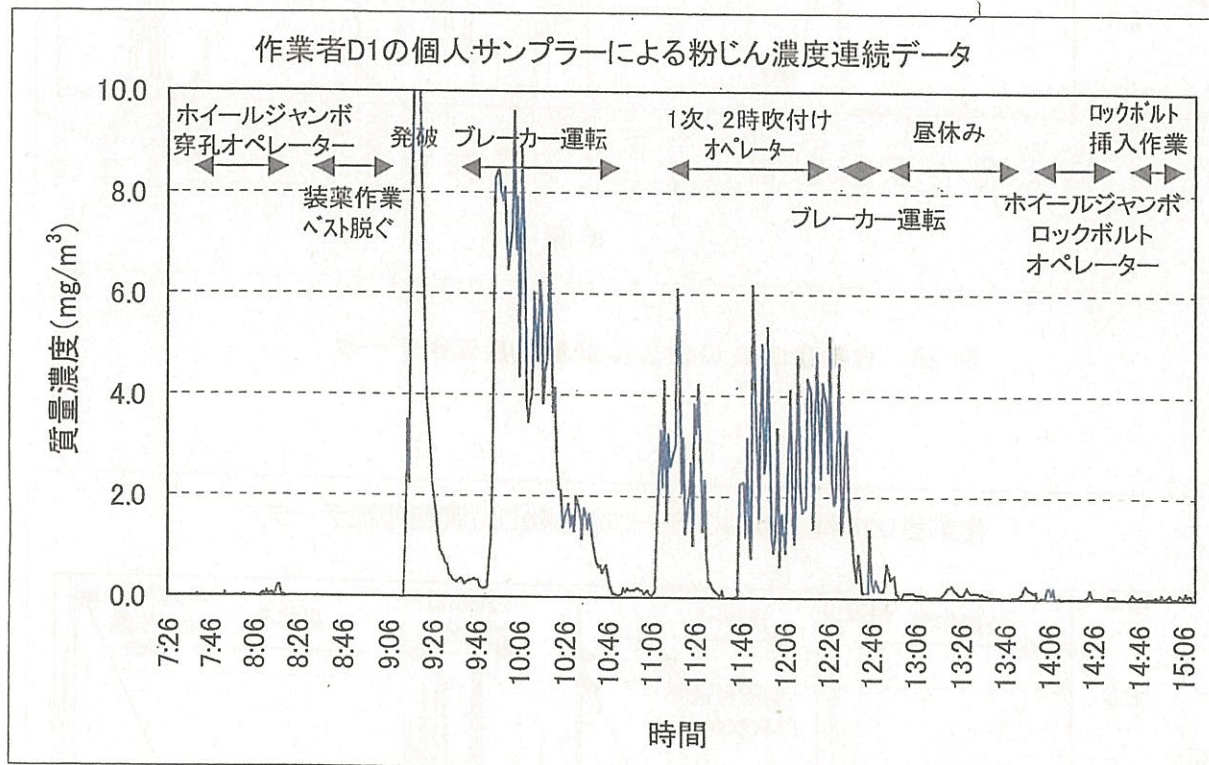


図 24 作業者 D 1 の粉じん質量濃度連続データ

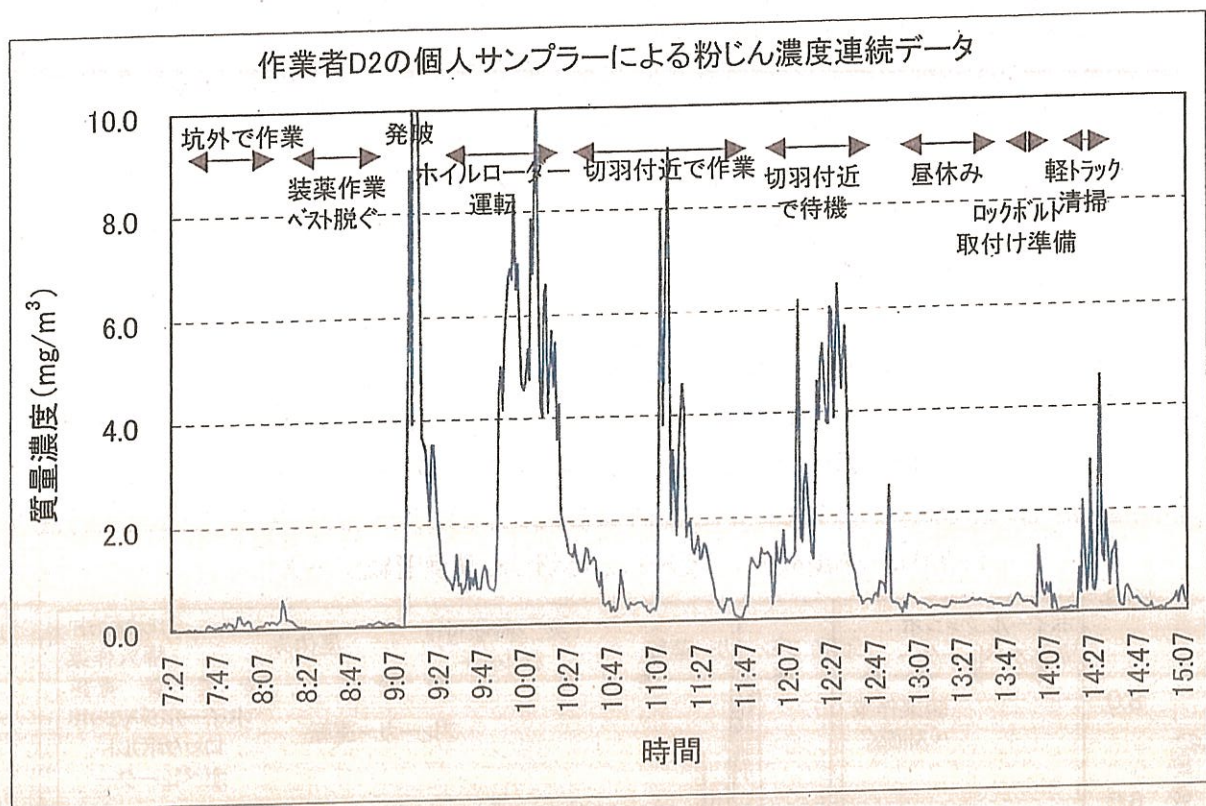


図 25 作業員 D 2 の粉じん質量濃度連続データ

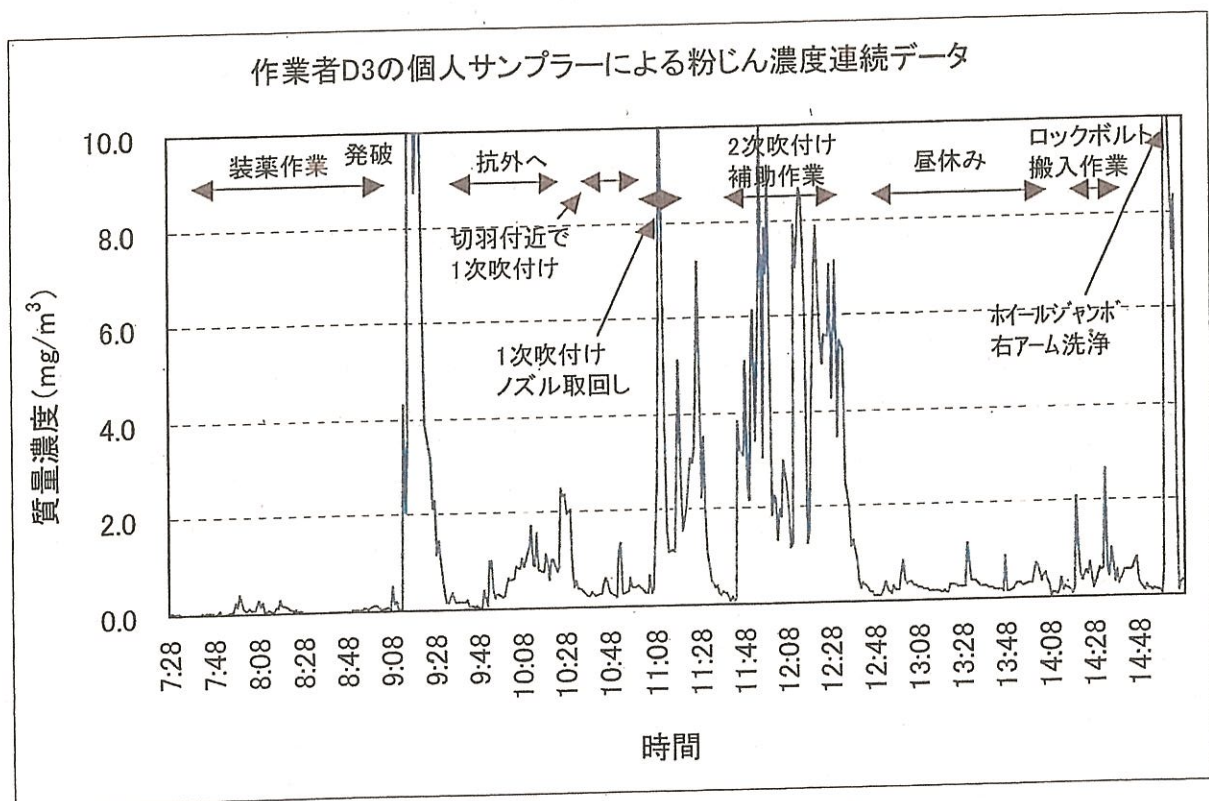


図 26 作業員 D 3 の粉じん質量濃度連続データ

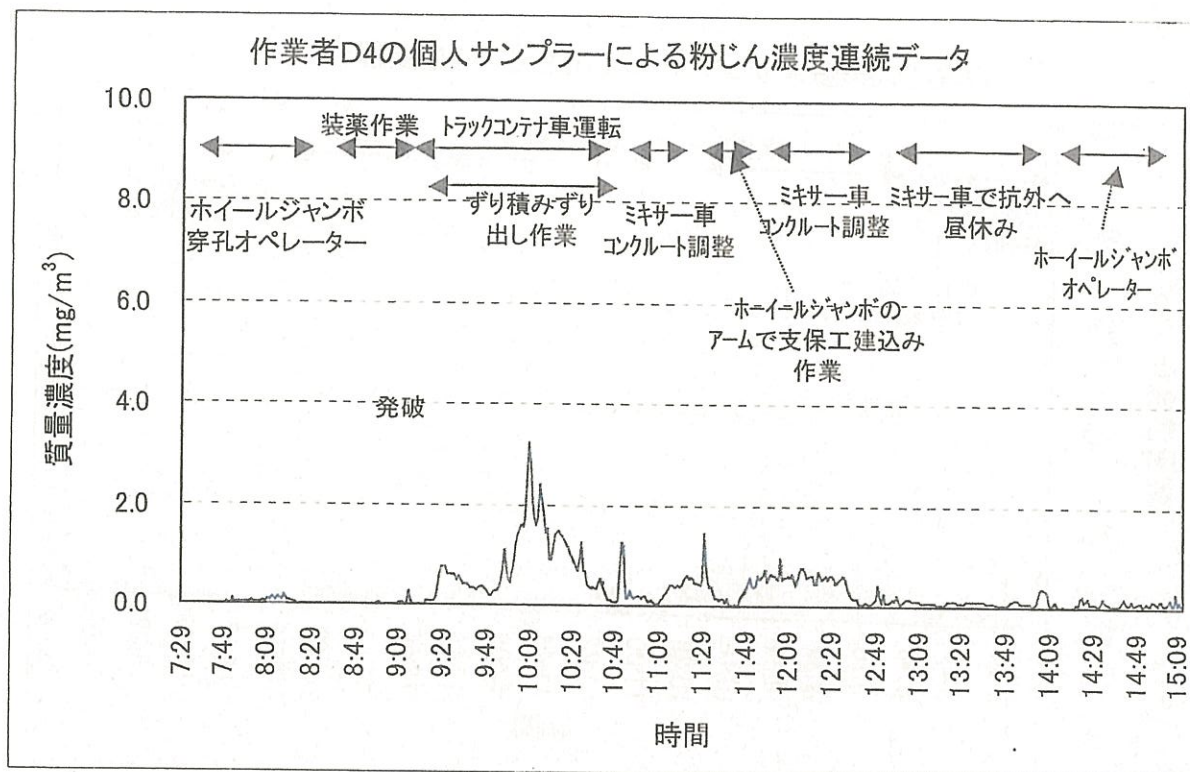


図 27 作業者D4の粉じん質量濃度連続データ

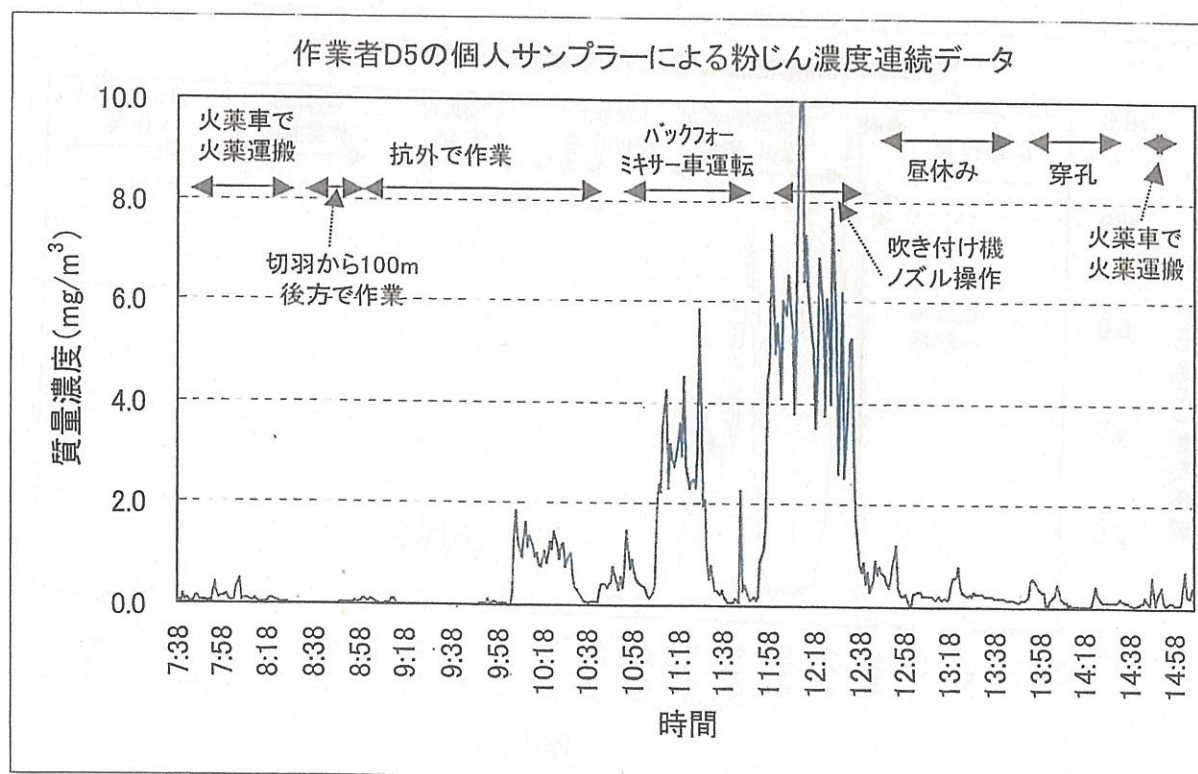


図 28 作業者D5粉じん質量濃度連続データ

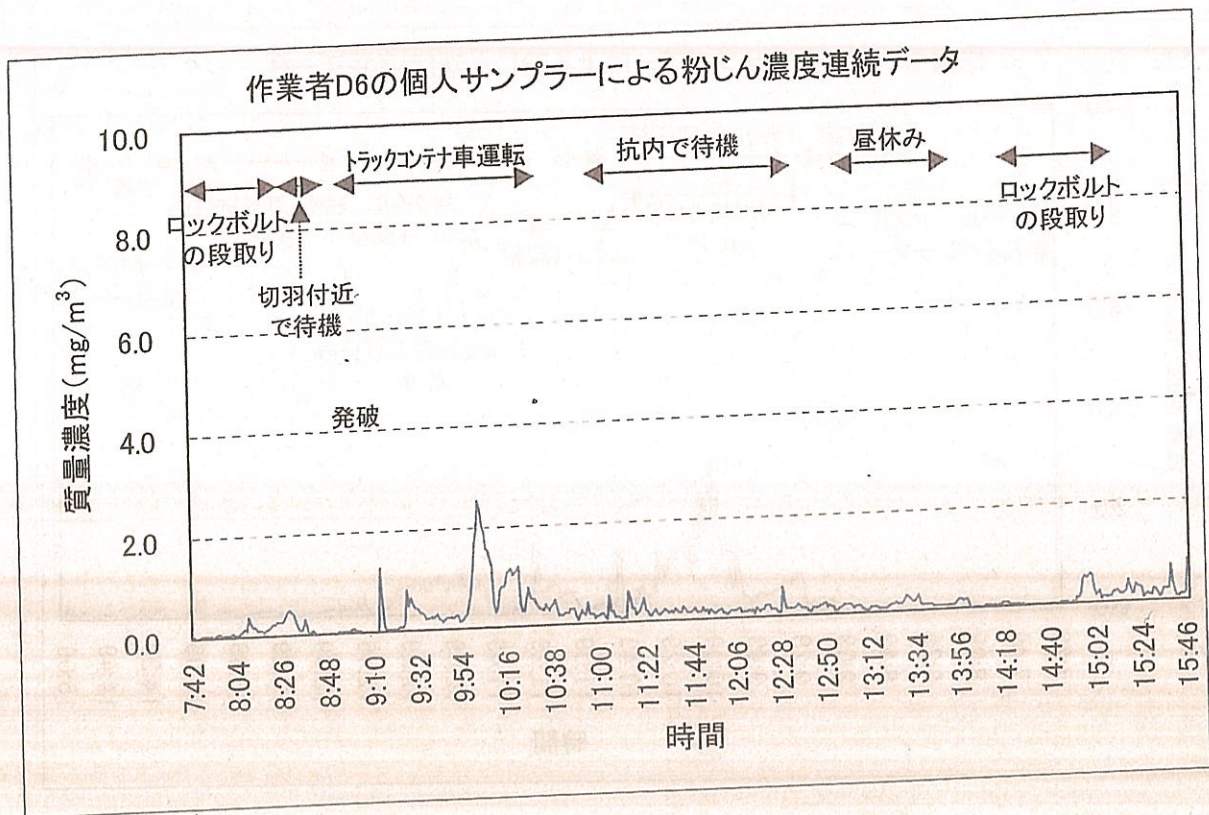


図 29 作業者D6じん質量濃度連続データ

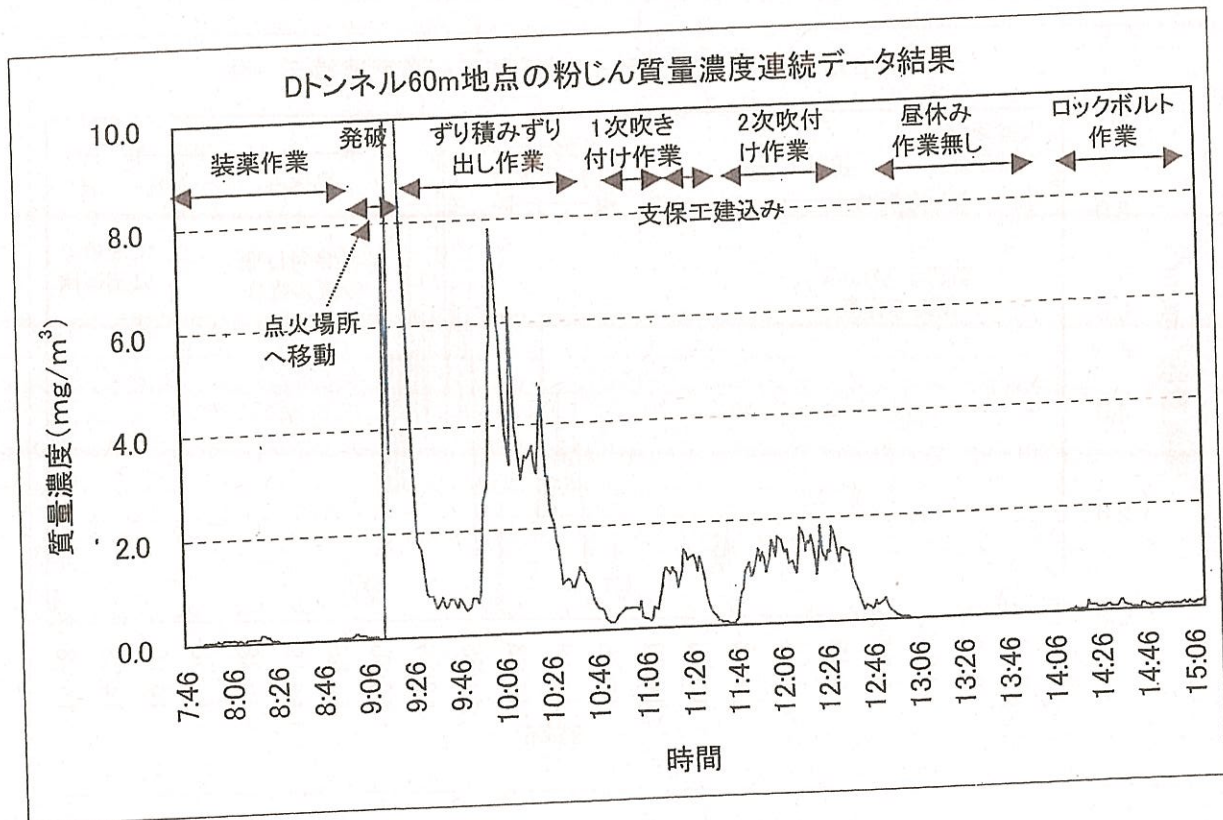


図 30 60m地点の粉じん質量濃度連続データ

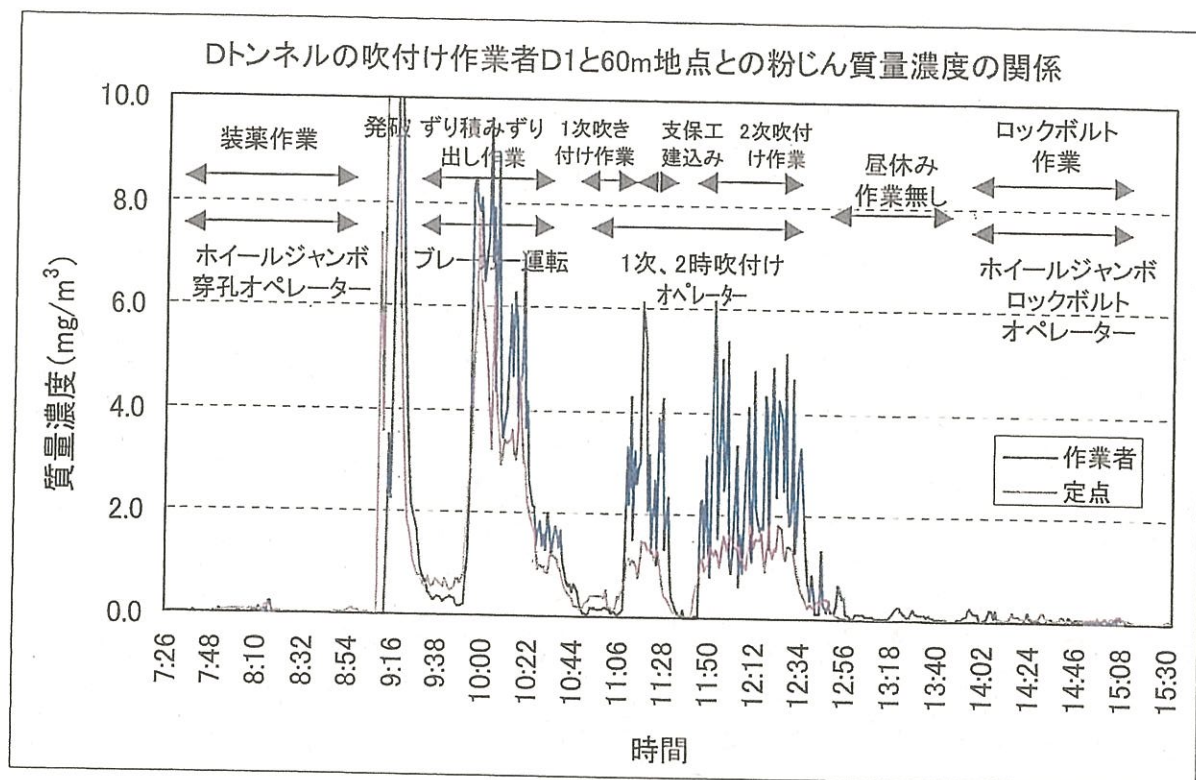


図 31 吹付けオペレーター作業を行った作業者D1と60m地点の粉じん質量濃度連続データの関係

6.1.5 個人ばく露濃度測定結果まとめ

AトンネルからDトンネルの各種測定結果を比較し、その傾向を確認するために各測定結果を以下の通り取りまとめた。

6.1.5.1 遊離けい酸含有率測定結果

表 21 に遊離けい酸含有率の測定結果を示した。

表 21 遊離けい酸含有率(個人ばく露)

作業者No.	遊離けい酸含有率(%)	平均値(%)	標準偏差	変動係数(%)
A1	4.5	5.5	1.56	28.4
A2	6.3			
A3	6.3			
A4	5.4			
A5	3.0			
A6	7.4			
B1	15.8	13.4	5.47	40.9
B2	8.0			
B3	19.0			
B4	9.0			
B5	8.6			
B6	19.8			
C1	13.4	8.1	3.35	41.4
C2	4.1			
C3	7.4			
C4	7.5			
C5	8.1			
D1	9.7	8.2	3.87	47.5
D2	10.2			
D3	3.6			
D4	13.1			
D5	3.4			
D6	8.9			
作業者全体		8.8	3.56	39.6

6.1.5.2 管理濃度

管理濃度の式 $E = 3.0 / (1.19Q + 1)$ に作業者の遊離けい酸含有率を代入して計算した結果を表 22 に示した。

表 22 管理濃度(個人ばく露)

作業者No.	管理濃度(mg/m ³)	平均値(mg/m ³)	標準偏差	変動係数(%)
A1	0.47	0.42	0.13	31.5
A2	0.33			
A3	0.33			
A4	0.40			
A5	0.66			
A6	0.32			
B1	0.15	0.20	0.08	38.3
B2	0.29			
B3	0.13			
B4	0.26			
B5	0.27			
B6	0.12			
C1	0.18	0.32	0.12	38.0
C2	0.51			
C3	0.31			
C4	0.30			
C5	0.28			
D1	0.24	0.35	0.18	53.3
D2	0.23			
D3	0.57			
D4	0.18			
D5	0.59			
D6	0.26			
作業者全体		0.32	0.13	40.3

6.1.5.3 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

切羽作業者の作業時間中(8時間)のばく露粉じん質量濃度の測定結果を表23に示した。表23より23人のばく露粉じん質量濃度は0.032~1.22mg/m³で平均値は0.58mg/m³、標準偏差は0.33、変動係数は60.4%であった。

表23 個人ばく露粉じん質量濃度の測定結果

作業者 No.	切羽作業時間(8時間)中						作業者の主な作業概要
	採取粉じん量 (mg)	採取空気量 (m ³)	粉じん質量濃度 (mg/m ³)	粉じん質量濃度 平均値(mg/m ³)	粉じん質量濃度 の標準偏差	粉じん質量濃度 の変動係数 (%)	
A1	0.13	0.83	0.16	0.32	0.25	78.5	ブレーカー、吹付け補助
A2	0.18	0.83	0.22				ホイールローダー、吹付け補助等
A3	0.32	0.83	0.39				火薬運搬、ミキサー
A4	0.06	0.81	0.074				ずり出しダンプ
A5	0.65	0.83	0.78				ずり積み、その他重機オペ
A6	0.24	0.83	0.29				吹付けオペ
B1	0.75	0.86	0.87	0.66	0.31	46.5	ずり積み、その他重機オペ
B2	0.61	0.87	0.70				ずり出しダンプ、吹付けオペ
B3	0.75	0.86	0.87				ずり積み、吹付け補助等
B4	0.64	0.86	0.77				ずり出しダンプ
B5	0.58	0.86	0.67				ずり出しダンプ、ミキサー
B6	0.05	0.87	0.057				吹付け補助、装薬、場外
C1	0.62	0.99	0.63	0.48	0.29	61.2	ずり積み、その他重機オペ
C2	0.77	0.94	0.82				ずり出しダンプ、吹付けオペ
C3	0.41	0.98	0.42				ずり積み、ミキサーその他
C4	0.48	0.99	0.49				ずり出しダンプ、ミキサー
C5	0.03	0.95	0.032				ずり出しダンプ
D1	0.89	0.83	1.08	0.84	0.46	55.4	ブレーカー、吹付けオペ
D2	0.98	0.82	1.19				ずり積み重機
D3	1.01	0.83	1.22				吹付け補助
D4	0.22	0.82	0.27				ダンプ、ミキサー
D5	0.87	0.84	1.03				ずり積み、吹付け
D6	0.18	0.83	0.22				ダンプ
作業者全体				0.58	0.33	60.4	

6.1.5.4 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果

6.1.5.1 の遊離けい酸含有率と 6.1.5.3 のろ過捕集により得られた質量濃度から結晶質シリカ濃度を求めた結果を表 24 に示した。表 24 より 23 人の結晶質シリカ濃度は 0.0026 ~ 0.165 mg/m³ で平均値は 0.049 mg/m³、標準偏差は 0.034、変動係数は 66.9% であった。

表 24 個人ばく露結晶質シリカ濃度の測定結果

作業 者 No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん 量(mg)	採取空気量 (m ³)	結晶質シリカ 濃度 (mg/m ³)	結晶質シリカ 濃度の平均 値(mg/m ³)	結晶質シリ カ濃度標準 偏差	結晶質シリカ 濃度の変動 係数(%)
A1	0.13	0.83	0.0071	0.016	0.0079	49.9
A2	0.18	0.83	0.0136			
A3	0.32	0.83	0.0243			
A4	0.06	0.81	0.0067			
A5	0.69	0.83	0.0235			
A6	0.24	0.83	0.0202			
B1	0.75	0.861	0.137	0.083	0.057	69.2
B2	0.61	0.867	0.056			
B3	0.75	0.864	0.165			
B4	0.64	0.862	0.069			
B5	0.58	0.863	0.058			
B6	0.05	0.871	0.011			
C1	0.62	0.99	0.084	0.038	0.029	77.7
C2	0.77	0.94	0.034			
C3	0.41	0.984	0.031			
C4	0.48	0.988	0.037			
C5	0.03	0.95	0.0026			
D1	0.89	0.83	0.105	0.060	0.042	70.6
D2	0.98	0.82	0.121			
D3	1.01	0.83	0.044			
D4	0.22	0.82	0.035			
D5	0.87	0.84	0.035			
D6	0.18	0.83	0.019			
作業者全体				0.049	0.034	66.9

6.2 個人ばく露濃度測定に付加するために実施した測定結果

6.2.1 屋外作業等のガイドラインに準じた測定方法

(1) 吹付け作業中の個人ばく露粉じん質量濃度

作業者に装着した計測器から得た粉じん濃度の連続データから吹付け作業時間帯のデータを抽出し、吹付け作業時間中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度を求めた。

AトンネルからDトンネルの測定結果および一覧表を表 25～表 29 に示す。表 29 より 16 名の粉じん質量濃度の範囲は $0.18 \sim 5.58 \text{ mg/m}^3$ で平均値は 1.78 mg/m^3 、標準偏差は 1.45、変動係数は 81.6% であった。(吹付け作業時の計測データを採用しなかった 7 名を除く)

なお、BトンネルとDトンネルについては、タイムスタディおよび連続データの確認結果より、吹付け作業時間は一次吹付けと二次吹付け作業は、ほぼ連続していたため、分離せず一作業としてまとめた。

表 25 A トンネルの吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

作業者No.	吹付け作業時間(分)		ばく露粉じん質量濃度 (mg/m ³)		ばく露粉じん 質量濃度平均 値(mg/m ³)	ばく露粉じん 質量濃度標 準偏差	ばく露粉じん 質量濃度標 変動係数(%)
	一次	合計	一次	合計(時間 加重平均)			
	二次		二次				
A1	11:10～11:20	92	0.26	0.29	0.24	0.08	33.1
	11:43～13:05		0.29				
A2	11:10～11:20	92	0.08	0.18			
	11:43～13:05		0.20				

表 26 B トンネルの吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

作業者No.	吹付け作業時間(分)		ばく露粉じん質量濃度 (mg/m^3)		ばく露粉じん 質量濃度平均 値(mg/m^3)	ばく露粉じん 質量濃度標 準偏差	ばく露粉じん 質量濃度標 変動係数(%)
	一次	合計	一次	合計(時間 加重平均)			
	二次		二次				
B1	10:51～11:54	63	1.17	1.17	1.79	0.59	33.2
B2		63	2.42	2.42			
B3		63	1.15	1.15			
B4		63	2.02	2.02			
B5		63	2.20	2.20			

※一次と二次吹付け作業は、ほぼ連続していたため作業時間は一括とした。

表 27 C トンネルの吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

作業者No.	吹付け作業時間(分)		ばく露粉じん質量濃度 (mg/m ³)		ばく露粉じん 質量濃度平均 値(mg/m ³)	ばく露粉じん 質量濃度標 準偏差	ばく露粉じん 質量濃度標 変動係数(%)
	一次	合計	一次	合計(時間 加重平均)			
	二次		二次				
C1	12:50~13:10	105	0.52	0.97	1.37	0.99	72.3
	14:45~16:10		1.07				
C2	12:50~13:10	105	2.21	2.84			
	14:45~16:10		2.99				
C3	12:50~13:10	105	1.91	0.78			
	14:45~16:10		0.52				
C4	12:50~13:10	105	0.85	0.87			
	14:45~16:10		0.88				

表 28 D トンネルの吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

作業者No.	吹付け作業時間(分)		ばく露粉じん質量濃度 (mg/m ³)		ばく露粉じん 質量濃度平均 値(mg/m ³)	ばく露粉じん 質量濃度標 準偏差	ばく露粉じん 質量濃度標 変動係数(%)
	一次	合計	一次	合計(時間 加重平均)			
	二次		二次				
D1	11:00~12:53	113	3.63	3.63	3.73	1.86	49.9
D2		113	3.72	3.72			
D3		113	5.58	5.58			
D4		113	0.75	0.75			
D5		113	4.97	4.97			

表 29 吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度測定結果一覧表

表 29 吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度

作業者No.	吹付け作業時間(分)		ばく露粉じん質量濃度 (mg/m ³)		ばく露粉じん 質量濃度平均 値(mg/m ³)	ばく露粉じん 質量濃度標 準偏差	ばく露粉じん 質量濃度標 変動係数(%)			
	一次	合計	一次	合計(時間 加重平均)						
	二次		二次							
A1	11:10～11:20	92	0.26	0.29	0.24	0.08	33.1			
	11:43～13:05		0.29							
A2	11:10～11:20	92	0.08	0.18						
	11:43～13:05		0.20							
B1	10:51～11:54	63	1.17	1.17	1.79	0.59	33.2			
B2		63	2.42	2.42						
B3		63	1.15	1.15						
B4		63	2.02	2.02						
B5		63	2.20	2.20						
C1	12:50～13:10	105	0.52	0.97	1.37	0.99	72.3			
	14:45～16:10		1.07							
C2	12:50～13:10	105	2.21	2.84						
	14:45～16:10		2.99							
C3	12:50～13:10	105	1.91	0.78						
	14:45～16:10		0.52							
C4	12:50～13:10	105	0.85	0.87						
	14:45～16:10		0.88							
D1	11:00～12:53	113	3.63	3.63	3.73	1.86	49.9			
D2		113	3.72	3.72						
D3		113	5.58	5.58						
D4		113	0.75	0.75						
D5		113	4.97	4.97						
作業者全体					1.78	1.45	81.6			

(2) 相対濃度計 LD-2 型の質量濃度変換係数(K 値)

今回の調査で実施した個人ばく露濃度測定の方法は、サンプリングや分析の際に専門的知識が必要であることなどで、分析結果を得るまでには多くの時間を要する。このため特別な準備の必要なサンプリング法、分析方法によらず、現場担当者が簡易に測定でき、かつ測定結果を直ぐに対策へ結びつけることが出来るような、個人ばく露濃度測定方法を検討する必要があると考えられる。

そこで、現在のずい道等建設工事におけるガイドラインの測定と同様に、作業者に粉じん計のみを装着させ、使用する粉じん計の機種別に適切な質量濃度変換係数(K 値)を示すことができれば、その現場担当者が簡易に測定を実施することも可能であると考え、個人ばく露濃度測定に用いた相対濃度計から得られた相対濃度とろ過捕集により得られた質量濃度との関係から、質量濃度変換係数(K 値)を求めた(全作業時間中の相対濃度データがある作業者のみ)。トンネルごとに比較検討できるよう一覧表(表 30)とした。なお、LD-2 型は、校正に用いる校正粒子による質量濃度変換係数(K 値)0.001(mg/ m³/cpm)が与えられており、計測値が質量濃度表示となっていて、単位表示は(mg/ m³)である。このため、「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」に示されている質量濃度変換係数(K 値)の単位表示(mg/ m³/cpm)と同じ単位表示で表内に示した。

表 30 LD-2 型粉じん計の全作業時間の質量濃度変換係数 (K 値)

トンネル名		K 値 (mg/m ³ /cpm)	平均値	50m 地点 (併行測定)の K 値 (mg/m ³ /cpm)
A トンネル	作業者 A1	0.0008	0.0009	0.0010
	作業者 A2	0.0006		
	作業者 A4	0.0010		
	作業者 A5	0.0010		
B トンネル	作業者 B1	0.0012	0.0012	0.0015
	作業者 B2	0.0012		
	作業者 B3	0.0013		
	作業者 B4	0.0014		
	作業者 B5	0.0012		
C トンネル	作業者 C1	0.0012	0.0012	0.0006
	作業者 C2	0.0014		
	作業者 C3	0.0018		
	作業者 C4	0.0011		
	作業者 C5	0.0005		
D トンネル	作業者 D1	0.0008	0.0009	0.0013
	作業者 D2	0.0012		
	作業者 D3	0.0014		
	作業者 D4	0.0006		
	作業者 D5	0.0010		
	作業者 D6	0.0007		
平均値		0.0011		0.0011
最小値		0.0005		0.0006
最大値		0.0018		0.0015

6.2.2 切羽から 50m 地点における測定結果

切羽作業者の粉じんばく露測定結果との関連を参考に確認するため、切羽作業者に装着したものと同一、計測器(計測器をセットしたベスト)を切羽より 50m(注:Dトンネルのみ 60m地点で測定した。以下同様とする。)地点に設置した三脚(台座付)上にハンガーを用いて固定して、[5. 1]の測定と同じ時間帯に計測器を稼働させた。

6.2.1.1 連続データ測定点

連続データ測定は、切羽より 50m 地点とした。それぞれの測定点は 6.1 トンネルごとの測定結果に示す「トンネル概略図」における「連続データ測定点」において実施した。

6.2.1.2 遊離けい酸含有率測定結果

表 31 に A トンネルから D トンネルの 50m 地点における遊離けい酸含有率の測定結果を示した。

表 31 遊離けい酸含有率測定結果

トンネルNo.	遊離けい酸含有率(%)	平均値(%)	標準偏差	変動係数(%)
A	6.4	8.5	2.12	25.1
B	10.7			
C	9.8			
D	6.9			

6.2.1.3 管理濃度

管理濃度の式 $E = 3.0 / (1.19Q + 1)$ に 6.2.1.2 の遊離けい酸含有率を代入して計算した結果を表 32 に示した。

表 32 管理濃度

トンネルNo.	管理濃度(mg/m ³)	平均値(mg/m ³)	標準偏差	変動係数(%)
A	0.35	0.29	0.06	22.6
B	0.22			
C	0.24			
D	0.33			

6.2.1.4 粉じん質量濃度測定結果

切羽より50m地点における粉じん質量濃度の測定結果を表33に示した。表33より粉じん質量濃度は0.14~1.74 mg/m³で、変動係数は88.5%であった。

表 33 粉じん質量濃度の測定結果

トンネル No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん量 (mg)	採取空気量 (m ³)	粉じん質量濃度 (mg/m ³)	粉じん質量濃度 平均値(mg/m ³)	粉じん質量濃度 の標準偏差	粉じん質量濃度 の変動係数 (%)
A	0.10	0.74	0.14	0.84	0.74	88.5
B	1.46	0.84	1.74			
C	0.29	0.87	0.33			
D	0.95	0.83	1.15			

6.2.1.5 結晶質シリカ濃度

切羽より50m地点における結晶質シリカ濃度の測定結果を表34に示した。表34より結晶質シリカ濃度は0.009~0.186 mg/m³で、変動係数は66.8%であった。

表 34 結晶質シリカ濃度の測定結果

トンネル No.	切羽作業時間(8時間)中					
	採取粉じん 量(mg)	採取空気量 (m ³)	結晶質シリカ 濃度 (mg/m ³)	結晶質シリカ 濃度の平均 値(mg/m ³)	結晶質シリ カ濃度標準 偏差	結晶質シリカ 濃度の変動 係数(%)
A	0.10	0.74	0.009	0.097	0.065	66.8
B	1.46	0.84	0.186			
C	0.29	0.87	0.032			
D	0.95	0.83	0.079			

6.2.1.6 粉じん質量濃度の連続測定結果

6.1に示すAトンネルからDトンネルの「個人ばく露粉じん質量濃度の連続測定結果」参照。

6.2.3 粒度分布測定結果

レスピコンを使用して、切羽から 50m 地点における粉じんの粒度分布測定を実施した結果は、A トンネルから D トンネルの測定結果および一覧表を表 35～表 39 に示した。総粉じんに対する吸入性粉じんの割合は 12.3% から 18.8% であり、4 つのトンネルで発生している粉じん中の吸入性粉じんの割合の平均は 15.7% で、標準偏差は 3.27 で変動係数は 20.8% であった。

表 35 A トンネルのレスピコンによる粉じんの粒度分布測定結果

粒 径	質量濃度(mg/m ³)	割合(%)
吸入性粉じん(4μm 50%カット)	0.195	12.3
咽頭通過性粉じん(10μm 50%カット)	0.544	34.4
吸引性粉じん(100μm 50%カット)	0.841	53.2
総粉じん	1.58	100.0

表 36 B トンネルのレスピコンによる粉じんの粒度分布測定結果

粒 径	質量濃度(mg/m ³)	割合(%)
吸入性粉じん(4μm 50%カット)	2.449	16.1
咽頭通過性粉じん(10μm 50%カット)	5.172	34.0
吸引性粉じん(100μm 50%カット)	7.570	49.8
総粉じん	15.2	100.0

表 37 C トンネルのレスピコンによる粉じんの粒度分布測定結果

粒 径	質量濃度(mg/m ³)	割合(%)
吸入性粉じん(4μm 50%カット)	0.828	18.8
咽頭通過性粉じん(10μm 50%カット)	1.638	37.2
吸引性粉じん(100μm 50%カット)	1.941	44.0
総粉じん	4.41	100.0

表 38 D トンネルのレスピコンによる粉じんの粒度分布測定結果

粒 径	質量濃度(mg/m ³)	割合(%)
吸入性粉じん(4μm 50%カット)	1.837	13.7
咽頭通過性粉じん(10μm 50%カット)	4.11	30.7
吸引性粉じん(100μm 50%カット)	7.458	55.6
総粉じん	13.4	100.0

表 39 レスピコンによる粉じんの粒度分布測定結果一覧

粒 径	Aトンネル	Bトンネル	Cトンネル	Dトンネル
吸入性粉じん(mg/m ³) (4μm50%カット)	0.195	2.499	0.828	1.837
咽頭通過性粉じん(mg/m ³) (10μm50%カット)	0.544	5.172	1.638	4.11
吸引性粉じん(mg/m ³) (100μm50%カット)	0.841	7.57	1.941	7.458
吸入性粉じんの割合(%)	12.3	16.1	18.8	13.7

6.2.4 ずい道建設工事ガイドラインに基づく測定結果

LD-3K2 型 (柴田科学(株)) の相対濃度計 (質量濃度変換係数 K 値: $0.002[\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}]$) を使用して 50m 地点の粉じんの相対濃度を測定し、ガイドラインの K 値を掛けて質量濃度を求めた。吹付け作業時に測定した結果を表 40～表 44 に示した。測定点は 5.1 トンネルの概略図内の①から③である。

① A トンネルの測定結果

A トンネルでは吹付け作業時間中に 2 回のガイドライン測定を実施できた。いずれも平均粉じん濃度は $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていなかった。

表 40-1 A トンネルの吹付け作業の粉じん濃度測定結果 (1 回目)

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m^3)	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	評価区分
A	11:52～12:12	測定点①	508.5	1.02	0.76	評価値 < 3 (mg/m^3)
		測定点②	448.7	0.90		
		測定点③	176.4	0.35		

表 40-2 A トンネルの吹付け作業の粉じん濃度測定結果 (2 回目)

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m^3)	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	評価区分
A	12:27～12:47	測定点①	411.0	0.82	0.63	評価値 < 3 (mg/m^3)
		測定点②	271.3	0.54		
		測定点③	266.6	0.53		

② B トンネルの測定結果

B トンネルでは吹付け作業時間中に 1 回のガイドライン測定を実施できた。平均粉じん濃度は $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。しかしながら、調査以前の定期測定においては粉じん目標レベルを超えていないことから、調査時の発じん状況に応じた送気ダクト、排気ダクトの位置の調整によるものと考えられたため、その後の適切な調整により解決できるものである。

表 41 B トンネルの吹付け作業の粉じん濃度測定結果

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m^3)	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	評価区分
B	10:56～11:16	測定点①	1933.8	3.87	5.68	評価値 > 3 (mg/m^3)
		測定点②	3499.2	7.00		
		測定点③	3080.8	6.16		

③ C トンネルの測定結果

C トンネルでは吹付け作業時間中に 2 回のガイドライン測定を実施できた。いずれも平均粉じん濃度は $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていなかった。

表 42-1 C トンネルの吹付け作業の粉じん濃度測定結果 (1 回目)

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m^3)	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	評価区分
C	14:50~15:10	測定点①	650.1	1.30	1.34	評価値<3 (mg/m^3)
		測定点②	663.0	1.33		
		測定点③	687.6	1.38		

表 42-2 C トンネルの吹付け作業の粉じん濃度測定結果 (2 回目)

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m^3)	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	評価区分
C	15:16~15:36	測定点①	695.1	1.39	1.55	評価値<3 (mg/m^3)
		測定点②	791.0	1.58		
		測定点③	838.5	1.68		

④ D トンネルの測定結果

D トンネルでは吹付け作業時間中に 1 回のガイドライン測定を実施できた。平均粉じん濃度は $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていなかった。

表 43 D トンネルの吹付け作業の粉じん濃度測定結果

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m^3)	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	評価区分
D	11:46~12:06	測定点①	961.6	1.92	2.37	評価値<3 (mg/m^3)
		測定点②	1330.1	2.66		
		測定点③	1261.8	2.52		

⑤ AトンネルからDトンネルの測定結果一覧

吹付け作業時に測定した結果(全トンネル)を表 44 に示した。トンネル全体の平均粉じん濃度は $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていなかった。

表 44 吹付け作業の切羽から 50m地点の粉じん濃度測定結果

トンネル No.	測定時間(分)	測定点	相対濃度 (cpm)	質量濃度 (mg/m ³)	平均粉じん 濃度 (mg/m ³)	評価区分
A	11:52~12:12	測定点①	508.5	1.02	0.76	評価値<3 (mg/m ³)
		測定点②	448.7	0.90		
		測定点③	176.4	0.35		
A	12:27~12:47	測定点①	411.0	0.82	0.63	評価値<3 (mg/m ³)
		測定点②	271.3	0.54		
		測定点③	266.6	0.53		
B	10:56~11:16	測定点①	1933.8	3.87	5.68	評価値>3 (mg/m ³)
		測定点②	3499.2	7.00		
		測定点③	3080.8	6.16		
C	14:50~15:10	測定点①	650.1	1.30	1.34	評価値<3 (mg/m ³)
		測定点②	663.0	1.33		
		測定点③	687.6	1.38		
C	15:16~15:36	測定点①	695.1	1.39	1.55	評価値<3 (mg/m ³)
		測定点②	791.0	1.58		
		測定点③	838.5	1.68		
D	11:46~12:06	測定点①	961.6	1.92	2.37	評価値<3 (mg/m ³)
		測定点②	1330.1	2.66		
		測定点③	1261.8	2.52		
トンネル全体					2.06	評価値<3 (mg/m ³)

⑥ 個人ばく露濃度測定と現行「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に基づく測定」との比較検討結果

個人ばく露濃度測定と現行「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に基づく測定」との比較検討のために、以下の 1) ~ 3) の測定結果を比較した。

1) 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

2) 吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度測定結果

3) ずい道建設工事ガイドラインに基づく測定結果(AトンネルからDトンネルの測定結果一覧)

切羽作業者の吹付け作業時間中の個人ばく露粉じん質量濃度の平均値は $1.78\text{mg}/\text{m}^3$ 、切羽から 50m地点における吹付け作業の粉じん濃度の平均値が $2.06\text{mg}/\text{m}^3$ と今回の調査結果では個人ばく露粉じん濃度がやや低い値であった。

これは、50m 地点においては常時、ほぼ定点における連続測定を続けていたが、作業者については、全員が全時間坑内にいたわけではなく坑内作業時間の違い、作業位置等によるばく露粉じん濃度にばらつきが見られたことが原因のひとつであると考えられる。

7. 個人ばく露濃度測定結果による評価

7.1 個人ばく露結晶質シリカ濃度測定結果からの評価

(統計解析による評価)

4.3(1)の評価方法による結果は以下のとおりとなった。

(1)A トンネル

作業者 No.	結晶質シリカ濃度 (全時間による測定値:X) (mg/m)	実測ばく露平均: x (mg/m ³)	上方信頼限界 LCL(95%)	下方信頼限界 UCL(95%)	クラス分け
A1	0.0071	0.28	0.120	0.449	C
A2	0.0136	0.54	0.380	0.709	C
A3	0.0243	0.97	0.808	1.137	B
A4	0.0067	0.27	0.104	0.433	C
A5	0.0235	0.94	0.776	1.105	B
A6	0.0202	0.81	0.644	0.973	C

(2)B トンネル

作業者 No.	結晶質シリカ濃度 (全時間による測定値:X) (mg/m)	実測ばく露平均: x (mg/m ³)	上方信頼限界 LCL(95%)	下方信頼限界 UCL(95%)	クラス分け
B1	0.137	5.48	5.316	5.645	A
B2	0.056	2.24	2.076	2.405	A
B3	0.165	6.60	6.436	6.765	A
B4	0.069	2.76	2.596	2.925	A
B5	0.058	2.32	2.156	2.485	A
B6	0.011	0.44	0.276	0.605	C

(3)C トンネル

作業者 No.	結晶質シリカ濃度 (全時間による測定値:X) (mg/m)	実測ばく露平均: x (mg/m ³)	上方信頼限界 LCL(95%)	下方信頼限界 UCL(95%)	クラス分け
C1	0.084	3.36	3.196	3.525	A
C2	0.034	1.36	1.196	1.525	A
C3	0.031	1.24	1.076	1.405	A
C4	0.037	1.48	1.316	1.645	A
C5	0.0026	0.10	-0.061	0.269	C

(4)D トンネル

作業者 No.	結晶質シリカ濃度 (全時間による測定値:X) (mg/m)	実測ばく露平均: x (mg/m ³)	上方信頼限界 LCL(95%)	下方信頼限界 UCL(95%)	クラス分け
D1	0.105	4.20	4.036	4.365	A
D2	0.121	4.84	4.676	5.005	A
D3	0.044	1.76	1.596	1.925	A
D4	0.035	1.40	1.236	1.565	A
D5	0.035	1.40	1.236	1.565	A
D6	0.019	0.76	0.596	0.925	C

7.2 個人ばく露粉じん質量濃度測定結果からの評価

4.3(2)の評価方法による結果は以下のとおりとなった。

(1)A トンネル

作業者 No.	粉じん質量 濃度(mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価区分	備考
A1	0.16	0.47	区分1	
A2	0.22	0.33	区分1	
A3	0.39	0.33	区分2	管理濃度を超過している
A4	0.074	0.4	区分1	
A5	0.78	0.66	区分2	管理濃度を超過している
A6	0.29	0.32	区分1	

(2)B トンネル

作業者 No.	粉じん質量 濃度(mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価区分	備考
B1	0.87	0.15	区分2	管理濃度を超過している
B2	0.70	0.29	区分2	管理濃度を超過している
B3	0.87	0.13	区分2	管理濃度を超過している
B4	0.77	0.26	区分2	管理濃度を超過している
B5	0.67	0.27	区分2	管理濃度を超過している
B6	0.057	0.12	区分1	

(3)C トンネル

作業者 No.	粉じん質量 濃度(mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価区分	備考
C1	0.63	0.18	区分2	管理濃度を超過している
C2	0.82	0.51	区分2	管理濃度を超過している
C3	0.42	0.31	区分2	管理濃度を超過している
C4	0.49	0.30	区分2	管理濃度を超過している
C5	0.032	0.28	区分1	

(4)D トンネル

作業者 No.	粉じん質量 濃度(mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価区分	備考
D1	1.08	0.24	区分2	管理濃度を超過している
D2	1.19	0.23	区分2	管理濃度を超過している
D3	1.22	0.57	区分2	管理濃度を超過している
D4	0.27	0.18	区分2	管理濃度を超過している
D5	1.03	0.59	区分2	管理濃度を超過している
D6	0.22	0.26	区分1	

7.3 評価結果一覧表

指標 トンネル名	結晶質シリカ濃度		粉じん質量濃度			ガイトラインによる測定結果 (3mg/m ³)
	評価指標： TLV-TWA (PEL) 0.025mg/m ³		屋外作業等におけるガイトラインによる評価指標：管理濃度 E	ずい道等建設工事現場におけるガイトラインによる評価指標：(3mg/m ³)		
Aトンネル	クラス A	0名	区分 1	4名	6名 評価値 < 3 (mg/m ³)	評価値 < 3 (mg/m ³)
	クラス B	2名				
	クラス C	4名	区分 2	2名		
Bトンネル	クラス A	5名	区分 1	1名	6名 評価値 < 3 (mg/m ³)	評価値 > 3 (mg/m ³)
	クラス B	0名				
	クラス C	1名	区分 2	5名		
Cトンネル	クラス A	4名	区分 1	1名	5名 評価値 < 3 (mg/m ³)	評価値 < 3 (mg/m ³)
	クラス B	0名				
	クラス C	1名	区分 2	4名		
Dトンネル	クラス A	5名	区分 1	1名	6名 評価値 < 3 (mg/m ³)	評価値 < 3 (mg/m ³)
	クラス B	0名				
	クラス C	1名	区分 2	5名		

8. 考察

8.1 個人ばく露濃度測定方法について

選定した測定方法は、以下の(1)および(2)の2種類の方法である。本事業の検討項目にも挙げられている簡易な測定方法による個人ばく露濃度測定についての検討のために、(1)と(2)の測定方法のための測定装置を作業者に装着した。

(1)ろ過捕集による個人ばく露濃度測定方法(粉じん質量濃度測定)

ろ過捕集による個人ばく露濃度測定方法としては、計測器にサイクロン式ろ過捕集装置とサンプリングポンプを組み合わせる方法、あるいは、慣性衝突式ろ過捕集装置(例として NWPS-254 型: 柴田科学(株))とサンプリングポンプを組み合わせる方法の2種類がある。本測定では、サイクロン式ろ過捕集装置とサンプリングポンプを組み合わせる方法により、作業時間(8時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$ を求めた。

各トンネルにおける計測結果からは、切羽作業者が作業時間(8時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$ は、作業者ごとにばらつきのあることが認められた。また、ろ過捕集で得られた粉じんの遊離けい酸含有率(%)についてもX線回折分析方法により個々に求めたが、同一トンネル内の同じ作業時間帯において得られた粉じんであっても、ばらつきが認められた。

これは、併せて計測した相対濃度計による粉じん連続データと作業者ごとに記録したタイムスタディを比較すると、作業者の作業内容、作業内容ごとの作業時間、切羽内での作業位置、移動状況等が各人で大きく異なっていたことが大きな要因であると考えられた。

このことから作業者が作業時間(8時間)中にばく露したと考えられる粉じんについては、同じ系(粒径分布、比重、光学的性質、形態等)の粉じんであるとは限らないことが考えられた。

(2)相対濃度計による個人ばく露濃度測定方法(粉じん相対濃度測定)

相対濃度計による個人ばく露濃度測定に使用できる測定器として、データロガー機能を備えており、かつ相対濃度計の中でも比較的、小型、軽量である LD-2 型(柴田科学(株))、PDS-2 型(柴田科学(株))と、相対濃度計で個人サンプラーとしての使用が可能である LD-6 N(柴田科学(株))の3機種がある。本測定では、その内の LD-2 型を相対濃度計による個人ばく露濃度測定器として使用した。

作業者が1日の作業時間(8時間)中にばく露した粉じん質量濃度のみでなく、その連続データを得るために、サイクロンろ過捕集装置とほぼ同位置に相対濃度計の採取口が位置するように装着用ベストに LD-2 型をセットした。ろ過捕集による個人ばく露濃度測定方法では作業時間(8時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$ の平均値は判るが、作業時間(8時間)中に粉じんばく露の濃度が変動する状況については判らない。今回の調査に LD-2 型による計測を加えることで、作業内容、作業時間ごとにばく露したと考えられる粉じん質量濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$ の変動

する様子を示すデータが得られた。これにより切羽作業において最も発じん量が多くなると考えられる吹付け作業時の粉じんばく露の状況やその質量濃度を確認することができた。

(3)問題点

今回の現場調査で採用した測定方法による計測実施時の状況確認及び作業員への計測器の装着感、作業性等についての口頭による意見や感想、別途集計した作業員へのアンケートを確認した結果から、個人ばく露濃度測定等を行うために切羽作業員に計測器を装着して測定を行う場合は、以下の点が問題であると考えられる。

①作業員への負担

(1)の計測器については、比較的小型軽量で有る点を考慮に入れて選定したが、口元付近にはサイクロン式のろ過捕集装置と相対濃度計、腰周辺にセットされているサンプリングポンプによる違和感(重量、出っ張り)が作業員の負担となっていたようである。また、(2)の相対濃度計についても、相対濃度計の中では小型の機種を選定したが、身につけた際の重量の問題、違和感等は残ったようであった。

②安全性の問題

ろ過捕集装置とサンプリングポンプは口元から腰まで接続チューブにより連結せざるを得ないが、このチューブも作業の妨害とならない様に配慮して、専用ベストにそれらの機器を装着し、安全性の確保につとめたため、今回の調査において問題は発生しなかった。しかしながら、作業員にとっては作業中に何らかの突起物に引っかかり、測定失敗となつてはならないと余計な気遣いをさせると同時に安全性に対する不安を感じさせていたようである。このため、通常作業とは違った動きや制限が出てしまっていたと考えられる。

また、全てのトンネルにおいて装束作業時から発破終了までの間は、計測器の防爆の問題を考慮してベスト(計測器をセットした)を脱がざるを得ず、その後、再度、着用した。その間のばく露粉じん質量濃度等についてはデータが得られないといった問題があった。なお、作業時間中の着脱の手間もまた、作業員への負担となった。

③測定方法

i) 計測器の維持管理、準備、調整について

これらの計測器を用いて個人ばく露濃度測定を行うためには、適切に維持管理されている計測器を計測条件に合わせて準備、調整を行う必要があり、これは、今回の調査では作業環境測定士が対応した。

トンネル建設工事現場内に、計測に使用する精密機器の維持管理、あるいは計測準備を行う場所と、それらに適切に対応できる作業環境測定士等の人材の確保が必要と考える。また、現場でこれらの対応が出来たとしても、計測器を作業員に装着し、計測器をスタートさせたら作業終了の時間までそのまま良いのではなく、作業中の各作業員に通常作業時と違う状況下で作業を行わせることとなる

ため、切羽内での作業時間中、作業を妨げることなく計測状況を確認する必要もあると考える。特に今回の測定でも、比較的状况確認が簡単にできた昼休みはもちろん、作業時間中にも、測定値に影響が考えられる喫煙が認められたが、それらが見落とされれば、粉じん濃度として計測器が捉えてしまうことにより、計測値に誤差が生じる可能性があり注意が必要である。

その後の測定結果を出すまでの測定データの処理、分析を伴う作業をも考慮した場合、すべてを現場において対応することは非常に難しいと考えられる。特にろ過捕集した粉じんを秤量するための天秤設備の設置および整備・校正、X線回折装置の設置・整備を行うには、計測機器も含めて管理するための設備が必要になるため、現場においてこれらの設備投資や管理は困難であると考えられる。

ii) 測定時間

粉じんばく露測定として作業時間(8時間)中をターゲットとして昼休みも含み計測器を装着したが、計測時間が長いため作業員への負担も大きい。また、相対濃度計を用い、その場ですぐに測定結果が得られる測定方法と違って、計測データの解析、分析操作等を行うことが必要なため、結果が出るまで長い時間が必要とされる。仮に粉じんばく露質量濃度が非常に高かったといった結果が判明しても、トンネル建設工事は日々進行しているため作業員はその間、粉じんばく露防止の対応がされないままばく露を受け続けることとなる。

iii) トンネル建設工事現場の特殊性

個人ばく露濃度測定による有害物質のばく露管理は、通常は工場内の製造現場などで毎日行われる有害物質を取り扱う作業管理が目的であり、原則として同じ作業員は毎日、同じ作業を同じ時間だけ連続しているといった前提のもとに行われている。しかしながら、トンネル建設工事現場、今回の現場調査を実施した山岳トンネル工事は、基本的に同じ工種の繰り返しである作業であると考えられるが、作業中の個人ばく露状況の実際は、工事の諸状況の変化や日内変化、日間変化の要因が相互に複雑に関係しあって、少し違った場所でのデータにも大きな差が出るものと考えられ、今回の現場調査により得られた粉じん濃度連続データのグラフもそれを示している。その都度、違う状況になり、同じ状態を再現することも出来ない。これは次に具体的に示す、ア) 日内変動、イ) 日間変動の要因からも明らかである。

ア) 同じ日に同じ工程の作業をしている作業員や作業員間でも粉じんばく露状況は大きく違う。(日内変動)

- ・換気による空気の流れと粉じん発生の位置関係により差が出る。特に切羽近傍や集塵機が位置する付近では、かなり大きな差が考えられる。
- ・同じ吹付け作業でも、吹付け初めの急結材を添加するタイミングにより大きく変わる。
- ・粉じん低減剤の添加時刻と実際の吹付け時刻の差の違いで発生粉じん量に差が出る。吹付け時刻を予測して添加しているため、トラブルなどにより時刻に差が出る。

- ・発破の装薬量の差で粉じん量が変化し、その都度の待機時間によりばく露状況が違ふ。
- ・同じ人が同じ工程の作業をしても、位置する場所がその都度違ふ。
- ・同じ日の同じ工程でも、違ふ作業につくこともある。

イ) 日間変動により、作業員や作業員間でも、粉じんばく露状況は大きく違ふ。

- ・掘進に伴って、換気設備の位置関係を同じように管理できない。一般に、風管延長(10mか 20m)毎に位置を管理しているので、その間の数日の日間変動が発生する。
- ・切羽の岩種、湧水などの変化、坑内走路路盤の湿潤状態の変化による粉じん系(粒径分布、比重、光学的性質、形態等)の変化が発生する。

このような状況から、ある作業日に個人ばく露濃度測定を行い、さらに無作為に別の作業日で個人ばく露濃度測定を実施したときの得られるデータについては、適切な作業管理において、先に記した工場内の製造現場などにおける状況とは大きく異なることが考えられるため、必ずしもその後の作業管理、ばく露防止対策に有効な情報が得られていると言えない可能性が高いと考えられる。

④ 相対濃度計による個人ばく露濃度測定方法について

今回の現場調査実施結果からは、作業時間(8時間)中の以下1)および2)から、現場調査を行ったトンネルおよび切羽作業者ごとに質量濃度変換係数(K値)を求めた。

1) LD-2型で得られた粉じん相対濃度測定結果

2) ろ過捕集による個人ばく露濃度測定により得られた粉じん質量濃度測定結果

このデータ収集結果から求めた質量濃度変換係数(K値)を確認する限り、切羽作業において相対濃度計を使用して、個人ばく露濃度測定を行う場合に使用する質量濃度変換係数(K値)は $0.001[\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}]$ 程度が妥当であると考えられる。

しかしながら、トンネル現場の特殊性の項でも記したとおり、作業者各人における質量濃度変換係数(K値)には、ばらつきが認められた。しかし、さらに各種条件下で実測データの収集し、切羽作業における相対濃度計の質量濃度変換係数(K値)の精度確保したうえで定めることができれば、ろ過捕集方法による個人ばく露濃度測定方法と同等以上の精度をもった測定方法として、採用できる可能性があると考えられる。

なお、相対濃度計による個人ばく露濃度測定を実施するに当たっても、すでに記した問題点については、ろ過捕集方法による個人ばく露濃度測定方法同様のため、質量濃度変換係数(K値)の問題をクリアしただけでは難しいと考える。

8.2 個人ばく露濃度測定結果の評価方法について

今回の現場調査においては、NIOSH マニュアルに準じて、1日の作業時間(8時間)を測定時間として、計測器を作業者に装着してもらい測定を続けた。この測定結果から、作業時間(8時間)中の作業者がばく露したと考えられる「粉じん質量濃度」[mg/m³]と「結晶質シリカ濃度」[mg/m³]を得た。これらは、本検討項目のために、測定して得られたデータが、既存の評価方法に組み込めるように考慮したものである。

その上で、トンネル建設工事現場における個人ばく露濃度測定結果を評価するに当たって適切な評価方法を検討するため、作業者ごとに得られた測定値を以下に記す既存の評価方法により評価し、結果を確認した。

- (1) ばく露限界として時間荷重濃度を指標とした個人サンプラーを使用した個人ばく露濃度測定結果の評価方法 (NIOSH「Occupational Exposure Sampling Strategy Manual」の評価方法および日本産業衛生学会「作業環境測定システム」に基づく評価方法) に基づく評価 (指標は TLV-TWA の PEL(許容ばく露限界値))
- (2) 「屋外作業場等における作業環境管理に関するガイドラインについて」 (平成17年3月31日付基発第0331017号) に基づく評価 (指標は管理濃度)
- (3) 「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に基づく測定」の評価方法に基づく評価 (指標は 3mg/m³)

ただし、(3)のずい道等工事現場におけるガイドラインの測定法は、個人ばく露濃度測定器を用いた測定ではなく、本測定の趣旨とは異なる測定である。(3)の測定は、あくまでも参考として記述するものである。

(1)の評価方法に基づく評価を行うために、得られた測定結果から求めた作業時間(8時間)中の作業者がばく露したと考えられる「結晶質シリカ濃度」[mg/m³]は、ろ過捕集による個人ばく露濃度測定により得た粉じん質量[mg]中の遊離けい酸含有率[%]をX線回折装置により定量分析した結果と測定により捕集した空気量[m³]との関係より、作業者ごとに求めたものである。結晶質シリカ濃度[mg/m³]は、作業中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度[mg/m³]だけではなく、その粉じん中の遊離けい酸含有率[%]により大きく変わり、同一トンネル内の切羽作業者であっても、作業内容、作業位置等から、ばく露したと考えられる粉じんの系が異なると考えられ、ばらつきが認められた。

また、(2)の評価方法に基づく評価を行うために、ろ過捕集による個人ばく露濃度測定により得た粉じん質量[mg]中の遊離けい酸含有率[%]をX線回折装置により定量分析した結果から、この評価方法の指標となる管理濃度[mg/m³]を、作業者ごとに求めた。その結果、作業者ごとの個人ばく露濃度測定により得た粉じん質量[mg]中の遊離けい酸含有率[%]が異なるため、管理濃度[mg/m³]も一定の数値とはなっていない。これは、結晶質シリカ濃度[mg/m³]同様の理由により異なるものである。

(1)および(2)の評価方法に基づく評価については、測定結果から求められたそれぞれの評価値((1)の評価方法では「結晶質シリカ濃度」[mg/m³]、(2)の評価方法では「粉じ

ん質量濃度[mg/m^3])をそれぞれの指標(TLV-TWAのPEL(許容ばく露限界値)、管理濃度)により評価を行うことは、作業としては可能であるが、トンネル建設工事現場における個人ばく露を管理するために、これらの評価方法および評価指標を用いることが必ずしも適切であるとは言えない。

この理由としては、(1)の評価方法に基づく評価と(2)の評価方法に基づく評価については、その評価結果は、粉じんの系が大きく関連してくることから、トンネル工事現場の特殊性の項でも記したように、粉じんの発生源としては、例えば、吹付けコンクリート施工時の急結材やセメント粉体飛散、穿孔時のくり粉や発破時の碎屑物の浮遊、車両走行によるほこり等多種に及ぶ。特に地山性状に起因するものについては、その組成まで制御することは不可能である。このように粉じんの発生源が多種に及ぶ現状で、粉じんの粒径に加え組成までを考慮し、トンネル建設工事現場における個人ばく露濃度測定において、トンネル内と全く環境の異なる評価基準、指標を採用することで定量的な粉じん管理(評価)が正しく行われるとは言えないと考えられる。

なお、(3)の評価方法に基づく評価(指標は[$3\text{mg}/\text{m}^3$])との関連も併せて確認した結果、作業時間(8時間)中の粉じん質量濃度[mg/m^3]は目標粉じんレベルである $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていない状況であった。

現状では、(3)の評価においては評価指標「目標粉じんレベル[$3\text{mg}/\text{m}^3$]」といった数値が示されているが、これとは別に個人ばく露濃度測定における指標を求める方法を定めたとしても、(1)および(2)の評価方法は個人により判定基準が異なり、各人で単純に比較ができないなど、分りづらく混乱を招く恐れがある。また、これらは一度の測定・分析により求めたものが、その後の個人ばく露濃度測定に用いることができず、その都度、測定・分析により求める必要があり、数値も必ずしも一定ではない可能性が高く、管理をする上で非常に複雑となる。

このことから、(3)のガイドラインの目標粉じん濃度レベルと同じ様な個人ばく露濃度測定における目標粉じん濃度レベルのような指標を定める必要は、無いと考える。

8.3「個人ばく露濃度測定」と現行「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測定」との比較検討

今回現場調査を行った4つのトンネルのうち、トンネルBを除いては、吹付け作業時の粉じん質量濃度(平均値)と作業時間(8時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度(平均値)は、近似した数値が得られ相関が認められた。しかしながら、個々に作業内容の異なる作業者の、作業時間(8時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度の平均値をとることが、切羽作業者すべてを代表する数値と言えない。

また、換気方式が給気方式か排気方式かによって、更に集塵機の吸気ダクトの吸い込み位置が切羽から50mより坑口側か切羽側かによっても、切羽周辺と切羽から50m地点の粉じん濃度との相関が著しく異なると考える。

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においては、切羽から50m地点における粉じん質量濃度の $3\text{mg}/\text{m}^3$ といった目標粉じんレベルは、測定に使用する相対濃度計の機種ごとに、吹付け作業時間中の質量濃度[mg/m^3]との相関により、

質量濃度変換係数(K 値)が定められている。トンネル A～D までの個人ばく露濃度測定データから求めた相対濃度計(LD-2)の質量濃度変換係数(K 値)には、かなりのばらつき(最大値 0.0018、最小値 0.0006)が認められていた。この理由は、すでに記したとおり、作業者ごとに作業内容、作業位置等が異なるためであると考えられる。

また、現行「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」で LD-2 型と同様の感度を持つ相対濃度計に定められている質量濃度変換係数(K 値)と比較したところ、若干低めの質量濃度変換係数(K 値)であった理由についても、ばらつきの要因と併せて、切羽から 50m 地点と切羽付近では発生している粉じんの粒径分布に大きな違いがあるためと考えられる。

このため、現行「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」の定点測定で相対濃度計の機種ごとに定めている質量濃度変換係数(K 値)のような値として、個人ばく露濃度測定において使用する相対濃度計に一定の質量濃度変換係数(K 値)を与えることが適切であるとは言えない。

個人ばく露濃度測定と「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測定」に関して、本来の目的と異なる測定法から導かれた結果を結びつけることに無理があり、測定結果からは、吹付け作業時の切羽から 50m 地点における粉じん質量濃度と作業時間(8 時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度に相関があると結論付けることはできず、現状の切羽から 50m 地点における粉じん質量濃度をもって、作業者が作業時間(8 時間)中にばく露したと考えられる粉じん質量濃度の管理に結びつけることは難しいと考える。

8.4 「地下工事における粉じん測定の指針」に基づく場の測定方式の有効性の検討

今回現場調査に協力してくれた 4 つのトンネル工事現場すべてが「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」に規定された測定方法で管理している。

「地下工事における粉じん測定の指針」に基づく場の測定方式を実施する場合、現状のトンネル建設工事現場における切羽付近は、立入り禁止区域に該当し、仮に測定時のみ立入りを許可したとしても、測定者の危険性はもちろん、作業性を考慮した場合、計測器を設置する場所の制限も生じる可能性が高い。通常の道路断面程度(掘削断面積 60m² 以上)での吹付けコンクリート施工時に限れば、機械配置により多少の移動の必要はあるものの、切羽から 50m 位置であれば測定が実施可能であるが、いずれにせよ、「地下工事における粉じん測定の指針」とおりの測定を実施することは現実的ではない。

これらの点は今回の個人ばく露濃度測定を実施する上でも同様のことが言える。測定者は、測定時間中に切羽付近に常駐し、作業者ごとに測定器が作業の妨げになっていないか注視したり、適切な測定が行われているか否か、測定中の作業内容、計測状況等を観察する必要がある。また、装薬作業時に装備を外す場合も作業者自身が行うことにより計測器に不具合が生じる可能性も考えられる。

このため、現状では、計測器を作業者に装備させた後に測定終了まで、測定者が全く関知しないで済ませられるとは言えないため、切羽付近における計測は非常に難しい面がある。

9. まとめ

個人ばく露濃度測定は、作業者が作業時間帯を含む8時間にばく露した粉じん濃度を知る手段として行う測定法で、直接個人ばく露濃度を把握することが出来る優れた測定法である。しかし、個人ばく露濃度測定は、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ばく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、個人ばく露濃度測定結果(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ばく露濃度(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、個人ばく露濃度測定結果(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ばく露濃度(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、個人ばく露濃度測定の場合、単純に個人ばく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、こうした目的に合った個人ばく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「作業環境測定システム」、或いは一部の研究者の論文として報告されている「粉じんばく露濃度の評価方法(労働科学、Vol75、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られる。

このことは、個人ばく露濃度測定全般について言えることである。つまり、個人ばく露濃度測定は、個人ばく露濃度測定機器の選定並びに取り扱い、測定データの処理、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粉じんの資格を持った第一種作業環境測定士(作業環境測定法施行規則別表第1号の作業場(鉱物性粉じん))と同等以上の能力が必要である。

ずい道等建設工事現場における個人ばく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できる、優れた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かは、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の中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、目的にあった測定方法及び評価方法を選定し個人ばく露濃度測定を実施する必要があると考える。

付 録

1. 現場調査記録用紙

- (1)個人ばく露濃度測定用記録用紙
- (2)個人ばく露濃度測定用作業内容記載用紙
- (3)作業工程記載用紙
- (4)50m地点における粉じん併行測定およびガイドライン定点測定
記録用紙
- (5)50m地点における連続測定記録用紙
- (6)個人ばく露濃度測定用作業内容確認用紙
(アンケート部分含む)

2. トンネル建設工事現場における個人ばく露濃度測定協力者(切羽作業者)へのアンケート集計結果

個人ばく露濃度測定用記録用紙（サイクロン+ポンプおよびLD-2）

現場名：

測定日	平成	年	月	日
-----	----	---	---	---

（1）個人ばく露濃度測定：サイクロン+ポンプおよびLD-2

No.	作業者名	ろ紙No.	LD-2の製造No.	ポンプNo.	測定時間
					時 分 ～ 時 分（分間）
作業内容	穿孔・装薬、発破、ずり積み・ずり出し、支保工建て込み コンクリート吹付け ロックボルト（ ）				
備考					

（2）個人ばく露濃度測定：サイクロン+ポンプおよびLD-2

No.	作業者名	ろ紙No.	LD-2の製造No.	ポンプNo.	測定時間
					時 分 ～ 時 分（分間）
作業内容	穿孔・装薬、発破、ずり積み・ずり出し、支保工建て込み コンクリート吹付け ロックボルト（ ）				
備考					

（3）個人ばく露濃度測定：サイクロン+ポンプおよびLD-2

No.	作業者名	ろ紙No.	LD-2の製造No.	ポンプNo.	測定時間
					時 分 ～ 時 分（分間）
作業内容	穿孔・装薬、発破、ずり積み・ずり出し、支保工建て込み コンクリート吹付け ロックボルト（ ）				
備考					

個人ばく露濃度測定用記録用紙（サイクロン+ポンプおよびLD-2）

現場名：

測定日	平成	年	月	日
-----	----	---	---	---

個人ばく露濃度測定用作業内容記載用紙（トンネル名： 平成 年 月 日）
 （作業者氏名： ） （ベスト番号： ）

時間/分	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
時											
時											
時											
時											
時											
時											

作業工程記載用紙 (トンネル名:)

平成 年 月 日)

時間/分	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
世											
世											
世											
世											
世											
世											
世											
世											
世											

50m地点における粉じん併行測定およびガイドライン定点測定記

録用紙

50m地点ガイドラインによる測定方法

(現場名 :

)

併行測定に関する記載項目

粉じん計型		切羽右側①	中央 ②	切羽左側③
LD - 3K 2 製造No.				
測定 時間 (分)	1 回目	: ~ :	: ~ :	: ~ :
	2 回目	: ~ :	: ~ :	: ~ :
	3 回目	: ~ :	: ~ :	: ~ :
相対濃度 計読取值	1 回目			
	2 回目			
	3 回目			
計数値 (cpm)	1 回目			
	2 回目			
	3 回目			
K 値 (0.002)	1 回目			
	2 回目			
	3 回目			
作業内容		コンクリート吹付け コンクリート 1 次吹付け コンクリート 2 次吹付け		

測定日	平成 年 月 日				
測定時間	時 分 ~ 時 分 (分間)				
C - 3 0	流 量	ろ紙No.	前質量(mg)	後質量(mg)	採じん量 (mg)
	9.6L/min				
	採気量 (m³)		質量濃度 (mg/m³)		
レスピコン	レスピコンNo.	ポンプNo.	ろ紙No. (上)	ろ紙No. (中)	ろ紙No. (下)

併行測定に関する記載項目

粉じん計型	LD-2	LD-3K2	3423	3442	
製造No.					
相対濃度計読取值					
測定時間 (分)					
計数值 (cpm)					
作業内容	コンクリート吹付け コンクリート 1 次吹付け コンクリート 2 次吹付け 穿孔・装薬、発破、ずり積み・ずり出し、支保工建て込み（ ロックボルト ） ろ過捕集方法と時間が異なる場合は、ここに記入下さい。				

50m地点における連続測定記録用紙

連続データ記入項目

連続データ用		レスピコン連続データ	
サイクロン用 ろ紙No.		レスピコン No.	
ポンプNo.		ポンプNo.	
測定時間	時 分 ～ 時 分	測定時間	時 分 ～ 時 分
LD-2 製造No.		ろ紙No.(上)	
ロガー	時 分	ろ紙No.(中)	
測定時間	～ 時 分	ろ紙No.(下)	
作業内容	コンクリート吹付け コンクリート 1 次吹付け コンクリート 2 次吹付け 穿孔・装薬、発破、ずり 積み・ずり出し、支保工建て込み（ ロックボルト ()		

個人ばく露濃度測定用作業内容確認用紙

測定当日の貴殿の作業内容の概略を以下に記載して下さいますようお願いいたします。（覚えて
いる範囲で結構です。）

（作業者氏名： _____ ）

当日実施した作業内容：該当項目に○印を記入して下さい。

吹付けペレータ、吹付け補助、重機の運転作業、監視、装薬、その他（ _____ ）

時間	作業内容
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	
時 分～ 時 分	

1. 個人ばく露濃度測定機器を装着して作業した感想（複数回答可）

（ ） 装着した時に重たいと感じた。

（ ） もう少し軽いと違和感無く、作業ができると思われた。

（ ） 特に違和感がなく、通常通りの作業ができた。

（ ） 作業をするにあたって、違和感があり、作業の邪魔である。

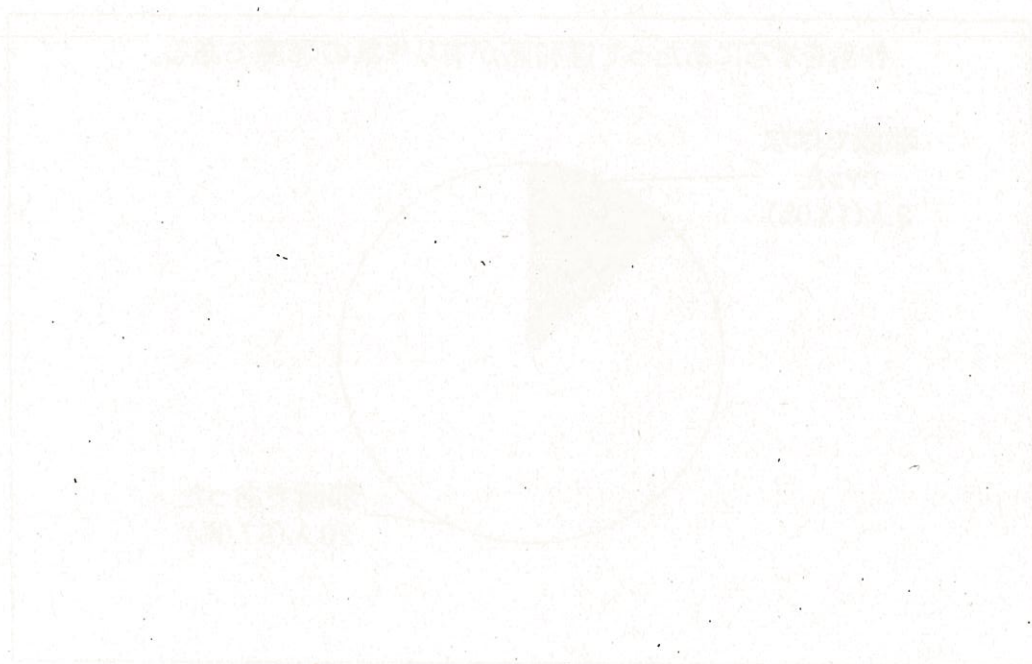
（ ） 今回装着したことによって普段どおりの作業ができなかった。

他に意見がありましたら、参考までにお聞かせ下さい。

ご協力ありがとうございました。

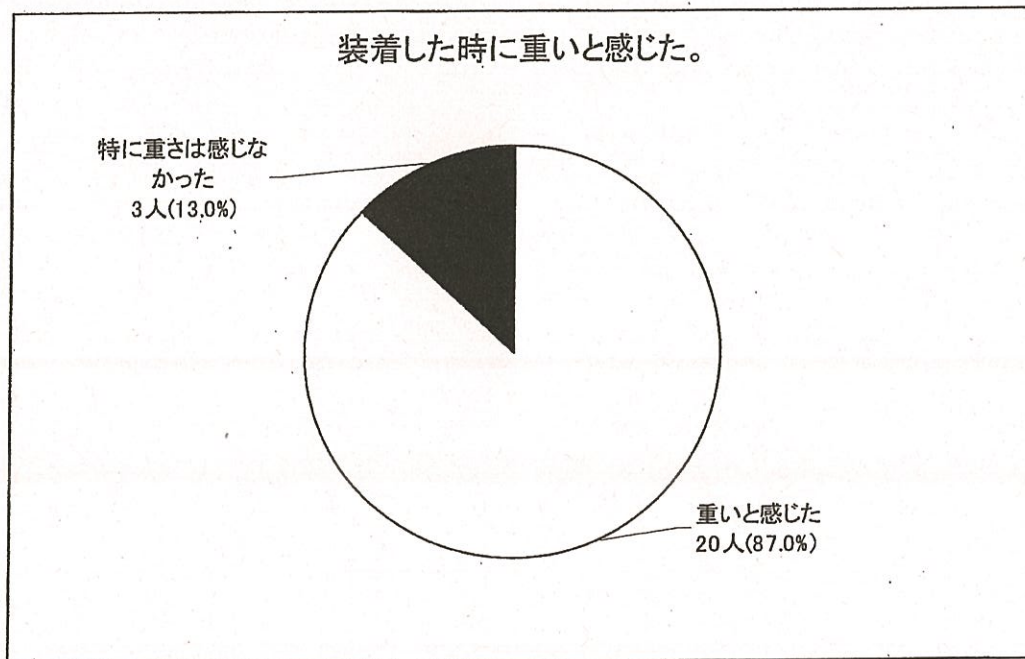
付録2. トンネル建設工事現場における個人ばく露濃度測定協力者

(切羽作業)へのアンケート集計結果

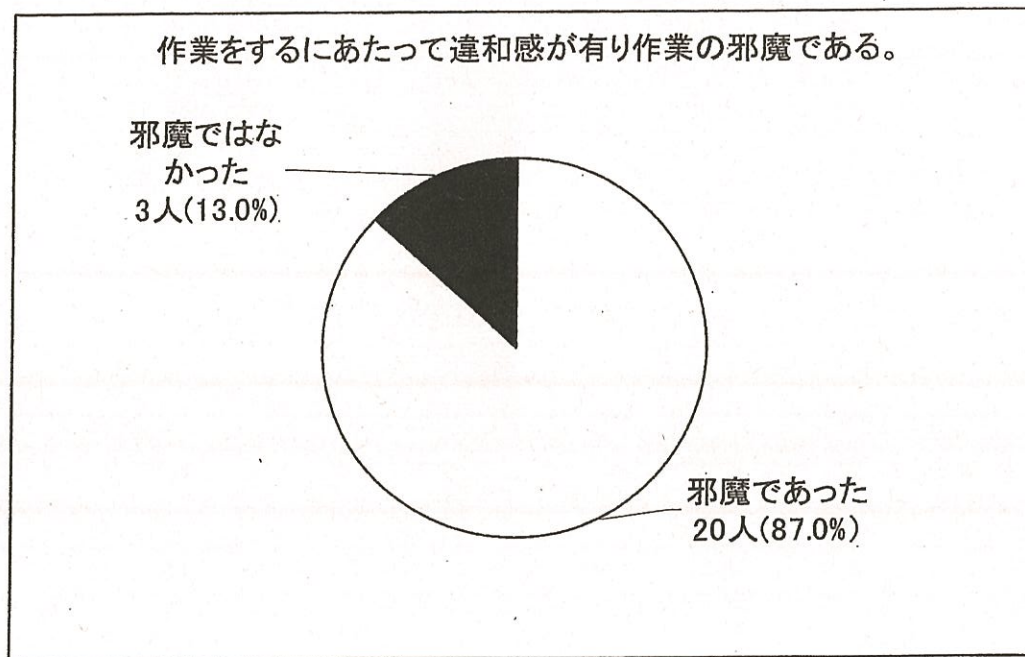


今回の現場調査を協力いただいた作業者の方に、個人サンプラーを装着したことに対するアンケートを行い、以下の通り回答を得た。

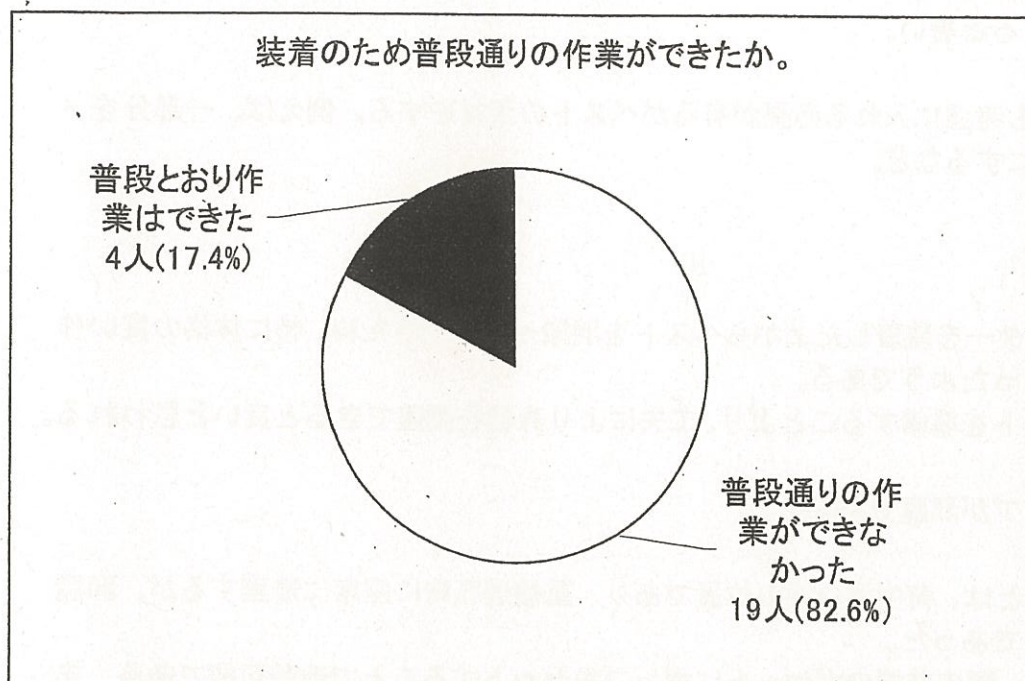
1. 装着した時に重いと感じたか？



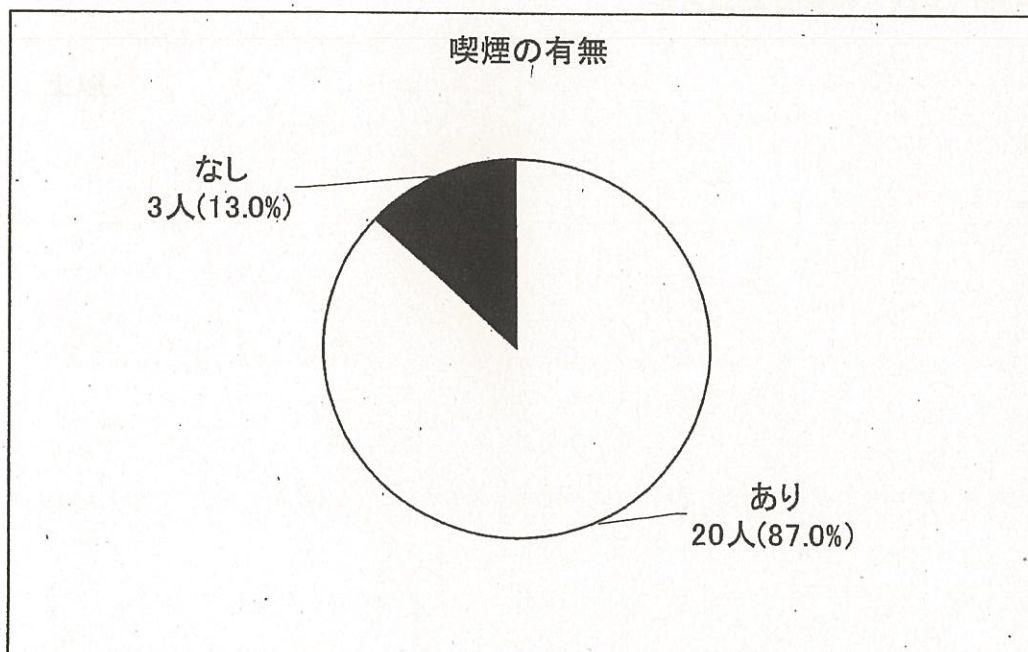
2. 作業をするにあたって違和感が有り作業の邪魔であったか？



3. 装着をしていたが普段通りの作業ができたか？



4. 喫煙の有無



5. その他の直接の意見

(1) ベストを着用すると暑い。

対策：強度の面も考慮に入れる必要が有るがベストの素材をする。例えば、一部分をメッシュ素材にするなど。

(2) 小さくてきつい。

対策：プロテクターを装着した上からベストを羽織ってもらうため、特に体格の良い作業にはきつかったようである。

大きさ別にベストを準備することより、工夫により身幅を調整できると良いと思われる。

(3) 腰の位置のポンプが邪魔である。

対策：腰の位置とは、背中側の腰の位置であり、重機運転時に座席に着座するが、邪魔になるとのことであった。

これについては、腰の前側のポケットにポンプをセットすることで改善可能である。また、ポンプの重さによりポケットに入れたポンプが体にしっかりと固定されないで、落ちることは無いが、作業者は気になっていたようである。ポンプ位置は体の横(の腰)の位置でも構わないといった意見もあった。

以上

ずい道等建設工事現場における測定方法の考え方の比較

測定方法	測定の概要	測定実施者	測定実施者の危険性	測定実施者がすぐに測定結果が得られるか。	評価指標	評価区分	結果が得られるまでの時間	対策、改善
建炎防方式による測定 「地下工事における粉じん測定」による測定	切羽から5m、10、15m地点で、各3点ずつ合計9点を、ろ過捕集方法で実施する。	作業環境測定機関	非常に高い	×	管理濃度	作業環境評価基準に従った方法	長い	結果が判明した時には、当時の測定地点より、先を掘削しているのを、対策や改善にあまり役立てられない。
個人サンプラーによる測定 (NIOSHによる方法) (屋外ガイドライン測定による方法)	作業者の口元付近にサンプラーを着着してろ過捕集方法で実施する。	作業環境測定機関	低い	×	ばく露濃度 評価値 管理濃度	NIOSHのマニュアルに基づき評価する 管理濃度と比較	長い	結果が判明した時には、当時の測定地点より、先を掘削しているのを、改善対策や改善にあまり役立てられない。作業方法を改善するには有効な指標である。
ずい道等工事現場におけるガイドラインによる測定	切羽から50m地点で3点測定する。測定機器は、ガイドラインでK値(質量濃度変換数)が示されている粉じん計を使用して行う。	現場担当者	低い	○ その場で結果が判明	3mg/m ³	3mg/m ³ と比較する。	短い その場で対応可能	送気、排気、ファンの風量を調製することにより、その場で対策を講ずることが可能である。

平成 21 年度厚生労働省委託事業
トンネル建設工事における個人ばく露濃度測定等推進事業
検討委員会報告書

平成 22 年 3 月 31 日発行

(社) 日本作業環境測定協会
〒108-8372 東京都港区芝 4-4-5
三田労働基準協会ビル 3 階
電話 03-3456-0444