

201326012A

厚生労働科学研究費補助金

労働安全総合研究事業

粉じん作業等における粉じんばく露リスクの調査研究

平成25年度総括研究報告書

主任研究者 名古屋俊士

平成 26 年(2014 年)4 月

厚生労働科学研究費補助金

労働安全総合研究事業

粉じん作業等における粉じんばく露リスクの調査研究

平成25年度 統括研究報告書

主任研究者 名古屋俊士

平成26年(2014年)4月

目 次

A. 研究目的	1
B. 研究方法	5
1. 屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じん 作業ばく露リスクの調査研究	5
1.1 目的	5
1.2 測定調査の概要	5
1.3 各作業における粉じんばく露濃度測定結果	7
1.4 まとめ	21
1.5 結論	23
2. 鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスク の調査研究	24
2.1 目的	24
2.2 測定調査の概要	24
2.3 砂型造形作業における粉じんばく露濃度測定結果	26
2.4 まとめ	51
2.5 結論	52
3. 吸引流量低下が個人ばく露粉じん濃度測定計 NWPS-254 の 吸入性粉じん濃度測定に与える影響	53
3.1 目的	53
3.2 相対濃度計 LD-5 及び LD-3K2 の器差確認実験	54
3.3 ダスタチャンバー内における測定台上の濃度均一性確認実験	55
3.4 流量低下が慣性衝突式分粒装置の分粒特性に与える影響	58
3.5 捕集量の増加が流量低下に与える影響	62
3.6 結論	64
4. 粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置の導入への 基礎的研究	66
4.1 目的	66
4.2 小型局所排気装置を用いる漏洩濃度実験	67
4.3 外付け式フードの開口面から距離と風速減衰の関係	68
4.4 外付け式フードの開口面風速とフード周辺漏洩濃度の関係	75

4.5	各種バグフィルター用フィルターの粉じん捕集特性	90
4.6	フィルターの捕集効率実験	96
4.7	フィルターの選定条件	100
4.8	結論	101
E.	結論	103
1.	屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露リスクの調査研究	103
2.	鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスク調査研究	105
3.	吸引流量低下が個人ばく露粉じん濃度測定計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響	106
4.	粉じんに関する局所排気装置等以外の発散抑制装置の導入への基礎的研究	107
F.	健康危機情報	111
G.	研究発表	111
1.	研究論文等	111
2.	研究発表	112
H.	知的財産の出願・登録状況	113

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

粉じん作業等における粉じんばく露リスクの調査研究

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

A. 研究目的

厚生労働省は、労働災害防止のための危害防止基準を確立するため、昭和 47 年に「労働安全衛生法」を施行した。さらに、粉じんの障害防止に特化した法律として、昭和 54 年に「粉じん障害防止規則」を制定した。粉じん則は第 1 条から第 27 条と附則と別表第 1、別表第 2、別表第 3 からなり、別表第 1 に掲げられている作業（以下、「粉じん作業」）、別表第 2 に掲げられている場所が粉じんの発生源であるような作業（特定粉じん作業）を行うには、全体換気装置や局所排気装置などの設備を設置するなどの措置をとる必要がある。また、別表第 3 に掲げられている作業を行う作業員には、呼吸用保護具の着用が義務付けられている。

粉じん則の制定以降、厚生労働省は、粉じん則の周知徹底及びじん肺法との一体的運用を図るため、昭和 56 年度の「第 1 次粉じん障害防止総合対策」から 5 年ごとに粉じん障害防止対策を推進してきた。そして、それぞれの時代の科学的知見や技術の状況に応じ、作業環境管理、作業管理、健康管理等の必要な対策が、逐次講じられてきた。その結果、昭和 55 年当時 6842 人であったじん肺新規有所見労働者が、平成 21 年には 233 人と大幅に減少し、着実に対策の成果がでてきている。しかし、近年では約 200 人で横ばいとなっており、この状態を更なる減少傾向に転じさせる必要性が指摘されている。そのため、じん肺が遅発性疾病であることを鑑みて、有所見者の発生を待たずに各作業の粉じんばく露リスクを改めて見直し、そのような高リスクの作業から優先的に新たな対策を実施する必要性に迫られている。

そこで、本研究では、現行の粉じん障害防止規則において、「粉じん作業」と

して定められた作業の範囲及び事業主の責務として実施が義務づけられた粉じんばく露防止対策の有効性を調査するとともに、今後の省令改正等の必要性を検討する上での基礎となる資料を提供することを目的とする。また、今後新たに、粉じん障害防止規則第 27 条別表 3（呼吸保護具の使用）（以下、別表 3 という。）に追加すべき作業の有無について調査し、ある場合には、その作業における粉じんばく露リスクの調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討する。

そこで、本年度は、現在「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業として、鋳物工場での砂型造形作業における粉じん曝露リスク調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討した。また、24 年度当研究室が、それまで屋外については粉じん別表第 3 の作業に入らず呼吸用保護具の着用が義務づけられていなかった屋外での岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業について、厚生労働省の入札により受託した「じん肺症例に関する調査研究（屋外での研磨等作業における粉じんばく露の評価）」について、岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業の現場調査を実施しようと試みたが、事業場の協力が得られず、やむなく、実験室での模擬作業での粉じんばく露濃度測定を行い、その成果を厚生労働省のじん肺班に報告した。しかし、現場に即した模擬研磨・ばり取り作業であったが、やはり現場の実態を正確に反映していない可能性が考えられることから、今年度の研究では、事業場に再度協力をお願いして、岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業を行っている屋外作業場において、粉じんばく露濃度測定調査を実施し、作業者の健康被害を防止するための呼吸用保護具着用の必要性について検討を行った。

次に、作業環境測定を実施するにあたり、従来は作業環境測定基準に準じた測定法である A 測定及び B 測定により測定を行い、その結果に基づいて評価を行ってきた。A 測定は、単位作業場所の中に無作為に定めた 5 点以上の測定点における環境空気中の有害物質濃度を測定し、平均的な作業環境の状態を把握するための測定である。B 測定とは、単位作業場所の中で、発生源に近接する場所における作業が行われる場合に、作業が行われる時間のうち、作業者の曝露濃度が最も高くなると思われる時間に、作業が行われる位置において行われる測定である。そのため、溶接作業のように、作業者の周囲で局所的に粉じん濃度が高くなり、作業者が高濃度に曝露してしまっているような作業場において、A 測定及び B 測定は必ずしもその作業場の実態を反映しているとは言えない。そうした状況を踏まえて、平成 22 年 1 月に「職場における化学物質等の今後のあり方に関す

る検討会」が厚生労働省に設置され、危険有害性情報の伝達及び活用の促進、簡便なリスクアセスメント手法の導入、普及及び定着、作業環境測定の評価結果の労働者への周知、管理の促進、局所排気装置の要件の柔軟化、局所排気装置以外の発散抑制方法の導入及びリスクに基づく合理的な化学物質管理の促進等の検討事項と共に、個人サンプラーによる測定の導入に向けた検討も行った。そこで「個人サンプラーによる測定について、当面は、A測定及びB測定による測定では的確な評価が困難と思われる一部の作業を対象にA測定及びB測定に代わる測定として導入することについて検討する必要がある」との結論を受けて、厚生労働省は、中央労働災害防止協会に、作業環境における個人ばく露測定に関する実証的検証事業の「個人ばく露測定に関する検討委員会」を設置して、22年から25年度の4年間にわたり検討を行い、作業環境に個人ばく露濃度測定の導入が現実味を帯びる状況になってきた。そうした状況を受けて、個人サンプラーを用いた粉じん濃度測定について、その正確な運用を検討しておかなければならない状況が生じた。

そこで、個人サンプラーを用いて粉じん濃度測定を行なうにあたり、まず現行では、個人ばく露粉じん濃度測定計NWPS-254（以下、NWPS-254と略す）が、使用されている。NWPS-254は、吸引流量2.5（L/min）で吸引することで吸入性粉じんを正確に測定できる粉じん計である。しかし、個人ばく露濃度測定の様に8時間の連続測定を行う場合、通常の粉じん濃度測定よりフィルターに粉じんが多量に捕集される可能性があり、そのため、圧力損失が上がり吸引流量が2.5（L/min）以下で測定している可能性が考えられる。その場合は、正確な吸入性粉じん濃度測定しているとは言えないので、どこまで吸引流量が低下したら正確な吸入性粉じん濃度測定が出来なくなるかと言った判断基準が提示されていないので、捕集量が増加することにより流量低下が起きた際に、吸入性粉じん濃度測定が正確に出来る基準となる吸引流量は、何（L/min）以上かを検証し、判断基準を作成し、提案する。

次に、有害物質が発生する工場内の作業環境では、作業者の健康と安全を守るために、厚生労働省令において、主に局所排気装置の設置が義務付けられている。局所排気装置には、法令により構造要件や性能要件が定められており、特化物、有機溶剤、鉛、粉じん及び石綿については制御風速方式が、鉛と一部の特化物には抑制濃度方式が定められている。しかし、実際に作業環境測定を行うと、制御風速を満たしているにも関わらず、作業環境が良くない場合がある。また、逆に、

局所排気装置が制御風速を満たしていないにも関わらず、作業環境が良好な場合もある。これは、局所排気装置からの漏洩は制御風速だけでなく、局所排気装置が作業状況と適合しているか否かに大きく左右されるためである。そのため、制御風速は局所排気装置の設計の際には重要なパラメーターとなるが、出来上がった局所排気装置が作業場で有効に稼働しているかどうかは、作業環境測定で評価されるべきであると考えられる。そうした現状を受けて厚生労働省では、23年に「職場におけるリスクに基づく合理的な化学物質管理の促進のための検討会」を設置して、1) 作業環境測定の評価結果の労働者への周知及び2) 局所排気装置等以外の発散抑制方法の導入について検討を行った。その報告を受けて、平成24年4月「有機溶剤中毒予防規則等の一部を改正する省令」により、局所排気装置の設置が義務付けられた作業場において、作業者の安全が確保され、作業場が良好とされる第1管理区分に区分され、かつ所轄労働基準監督署長からの許可を得た場合には、特例として局所排気装置以外の代替措置を取っても良いことになった。つまり、局所排気装置に規定された要件を満たさない装置であっても使用することができ、作業環境測定のみによって作業環境管理を行うことができる。作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。さらに従来の屋外排気を屋内排気にすることで、装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。しかし、このような特例は、粉じん障害防止規則においてはまだ認められていない。

そこで、本研究では、粉じん障害防止規則においても同様に、局所排気装置以外の粉じん発散防止抑制装置の使用を可能にするため、制御風速と漏洩濃度の関係やフィルターの捕集特性及び圧力損失等について検討を行った。そのために、小型局所排気装置を作製し、実験室を実際の作業場に想定し、粉じんの環境への漏洩の有無を調べることで、制御風速を下げても作業環境を良好に保つことができることを検証すべく実験を行った。また、従来の屋外排気を屋内排気にする際に、作業場の環境を良好に保つため、適切なフィルターを選別する必要があるため、あわせて、室内排気を前提とした小型局所排気装置に使用するフィルターの粉じんに対する捕集効率及び圧力損失等の実験を行った。

B. 研究方法

1. 屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露リスクの調査研究

1.1 目的

本研究の目的は、岩石及び鉱物を研磨・ばり取りする作業を屋外で行っている工場において、岩石及び鉱物を研磨・ばり取り作業時の作業者のばく露濃度測定を行い、有効な呼吸用保護具を着用することの必要な作業かどうかを判断するための情報を収集することである。なお、実験場では金属の研磨・ばり取り作業及び金属の裁断作業についても測定を実施したが、管理濃度を超える作業の割合が低かったため、本調査では現場作業の測定を実施しなかった。

1.2 測定調査の概要

1.2.1 岩石の研磨・ばり取り作業時の粉じんばく露濃度測定

測定対象とした作業は、主に墓石を製作する工程において花崗岩の表面を、手持式のグラインダーを用いて研ま・ばり取りする作業である。作業によって発生する粉じんについて、作業者のばく露濃度と同時に環境濃度の測定を作業中に行った。ばく露濃度については LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。なお今回用いた LD-6N は粉じんの相対濃度を連続測定するとともに、LD-6N デジタル粉じん計のヘッド部分に個人ばく露質量濃度粉じん計 NWPS-254 の分粒装置を取り付け、且つ、検出部に装着したフィルターに粉じんを捕集することにより吸入性粉じん質量濃度を測定することができるようになっている。また、環境濃度については作業者の周囲 2m 付近の 1~2 箇所において、地上およそ 1m の高さに質量濃度粉じん計 NW-354 および LD-5 デジタル粉じん計を設置して測定した。石材に対する研ま・ばり取り作業の様子を図 1.1 に示す。

墓石等を製作する事業場では、使用目的に応じてある程度加工された花崗岩を使用するため、研磨・ばり取り作業というようにそれぞれの作業を個別に行うのではなく、同時に行う事例が多く見受けられ、本調査においても研磨・ばり取り作業を同時に行っていたので、個別の作業に分けずに測定を行った。



図 1.1 石材に対する研ま・ばり取り作業の様子

1.2.2 鉱物の研磨・ばり取り作業時の粉じんばく露濃度測定

測定対象とした作業は、打設した型枠を外した後のコンクリート製品表面を、手持式のグラインダーを用いて研磨・ばり取りする作業である。作業によって発生する粉じんについて、作業者のばく露濃度と同時に環境濃度の測定を作業中に行った。ばく露濃度については LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。また、環境濃度については作業者の周囲 2m 付近の 1~2 箇所において、地上およそ 1m の高さに質量濃度粉じん計 NW-354 および LD-5 デジタル粉じん計を設置して測定した。コンクリートに対する研磨・ばり取り作業とその測定の様子を図 1.2、図 1.3 および図 1.4 に示す。

コンクリート製品を製作する事業場では、出来るだけばりの出来ない製品を製造する努力を行っている。そのため、コンクリート製品でのばり取り作業は、製品にばりが見つかった時に行う作業になる傾向にある。本調査においても、研磨・ばり取り作業というようにそれぞれの作業を個別に行うのではなく、同時に行う事例がほとんどであったので、研磨・ばり取り作業と個別の作業に分けずに測定を行った。



図 1.2 コンクリートに対する研磨・ばり取り作業の様子



図 1.3 コンクリートに対する研磨・ばり取り作業の測定



図.4 コンクリートに対する研磨・ばり取り作業の測定

1.3 各作業における粉じんばく露濃度測定結果

1.3.1 岩石の研磨・ばり取り作業

1.3.1(a) 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業

作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目および作業 2 回目のばく露測定結果を表 1.1 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 1.5～図 1.8 にそれぞれ示す。

表 1.1 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	管理濃度 (mg/m^3)	管理濃度超え (超えれば○)
1 回目	6.15	0.06	○
2 回目	8.92	0.06	○

また、作業場で採取した粉じんを X 線回折基底標準吸収補正法を用いて粉じん中の遊離けい酸の定量を行った。その結果、粉じん中の遊離けい酸含有率は、41.2% であり、管理濃度は $0.06 (\text{mg}/\text{m}^3)$ である。

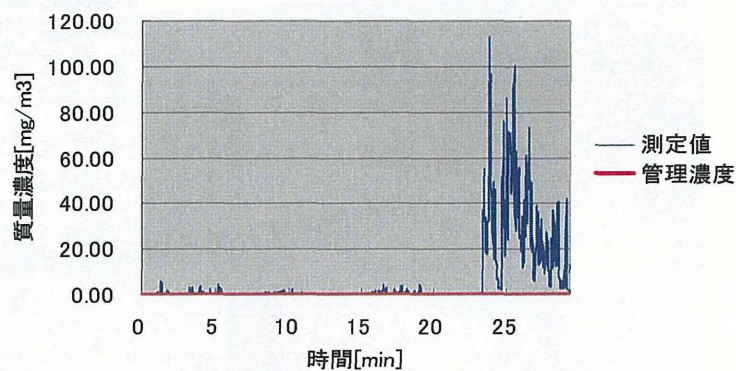


図 1.5 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動

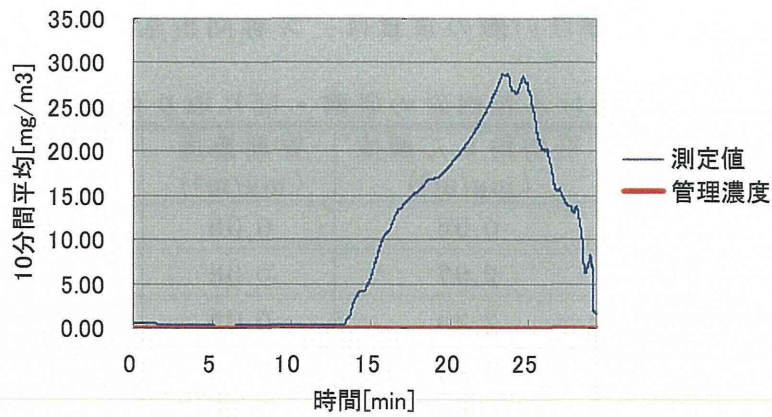


図 1.6 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動（10 分間移動平均値）

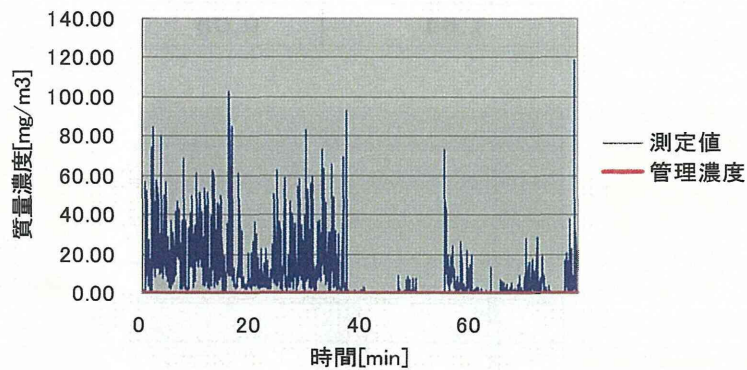


図 1.7 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動

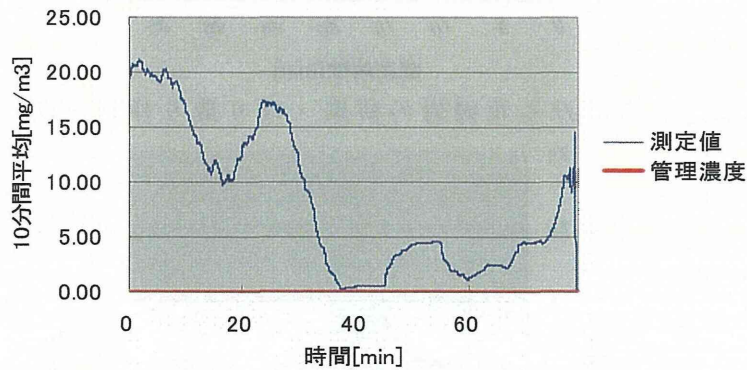


図 1.8 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動（10 分間移動平均値）

1.3.1(b) 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業

作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目～作業 8 回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表 1.2 に示す。また、ばく露濃度の変動状況及びその 10 分間移動平均を各作業ごとにそれぞれ図 1.9～図 1.24 に示す。また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、30.6%であり、管理濃度は $0.08 \text{ (mg/m}^3\text{)}$

である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.2 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	管理濃度 (mg/m^3)	管理濃度超え (超えれば○)
1 回目	0.98	0.08	○
2 回目	2.97	0.08	○
3 回目	2.35	0.08	○
4 回目	2.95	0.08	○
5 回目	1.60	0.08	○
6 回目	1.11	0.08	○
7 回目	3.34	0.08	○
8 回目	1.64	0.08	○

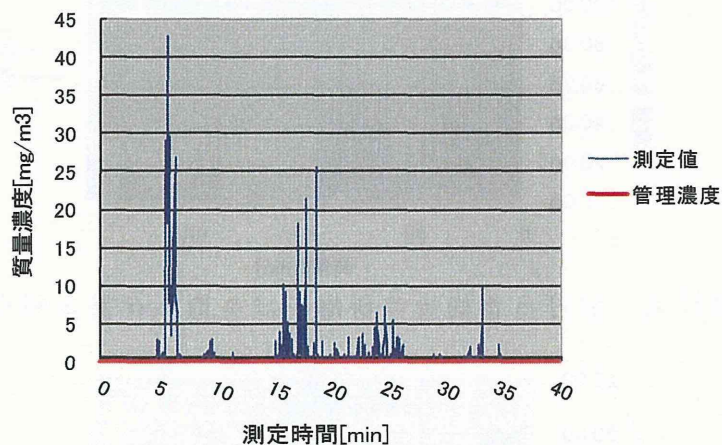


図 1.9 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動

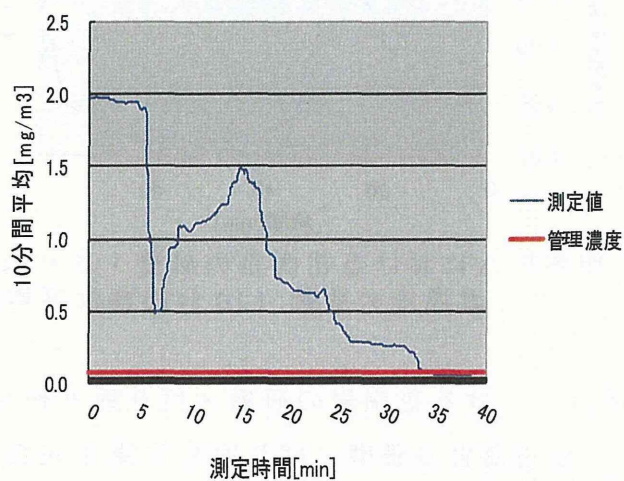


図 1.10 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

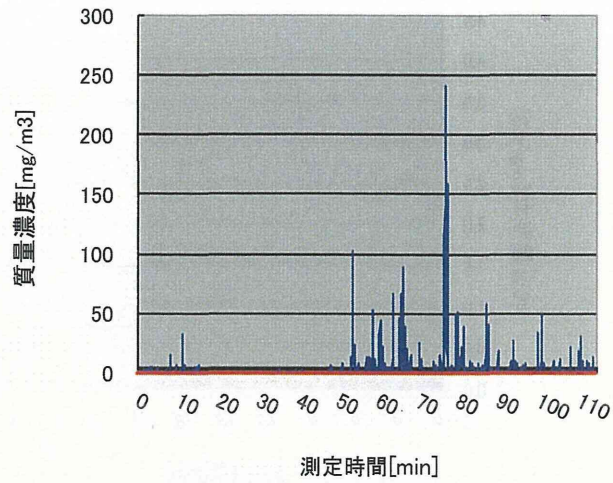


図 1.11 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動

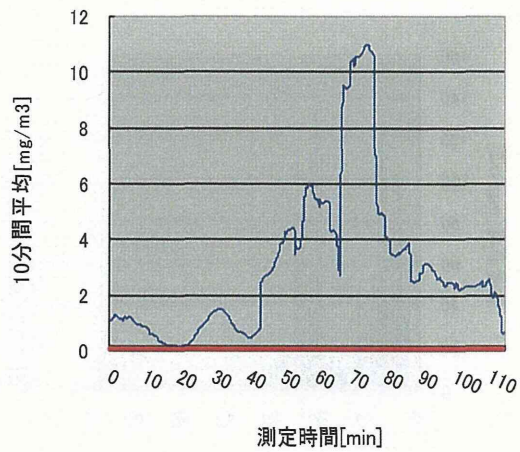


図 1.12 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

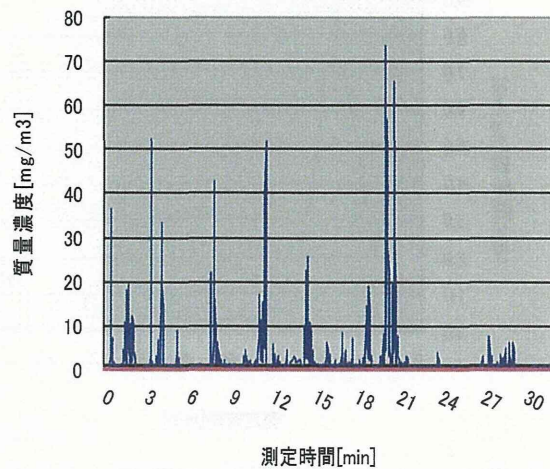


図 1.13 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 3 回目のばく露濃度の変動

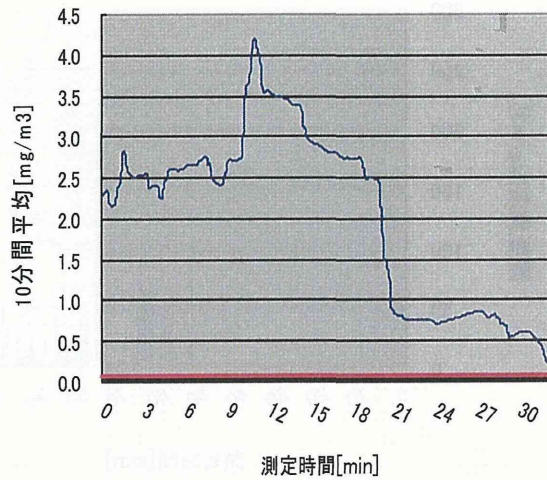


図 1.14 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 3 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

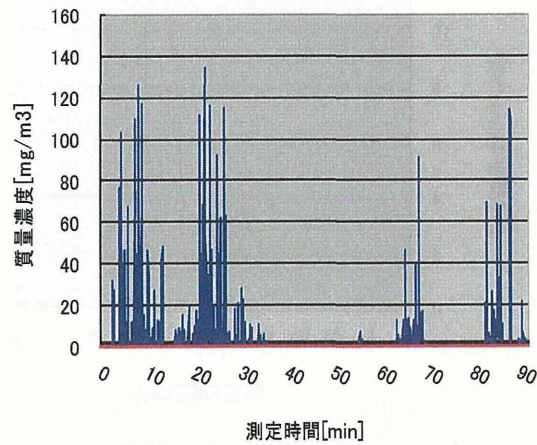


図 1.15 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 4 回目のばく露濃度の変動

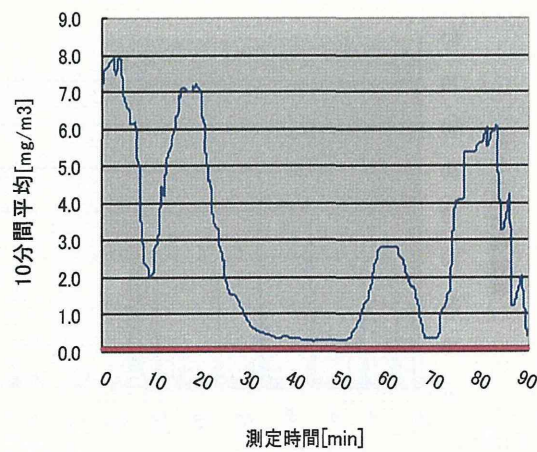


図 1.16 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 4 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

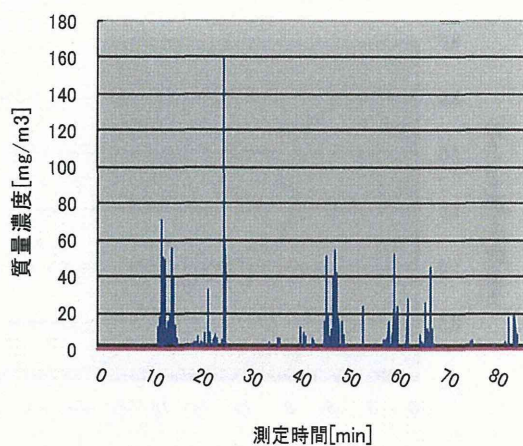


図 1.17 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 5 回目のばく露濃度の変動

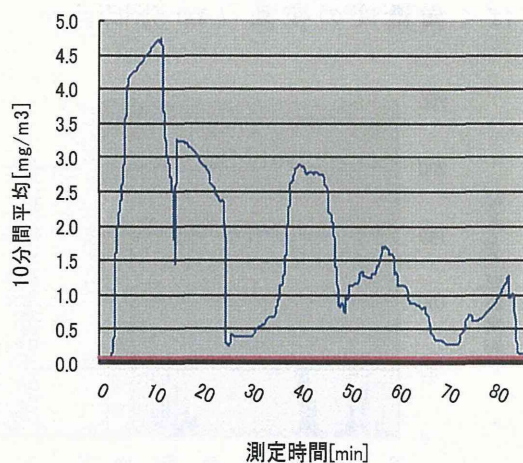


図 1.18 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 5 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

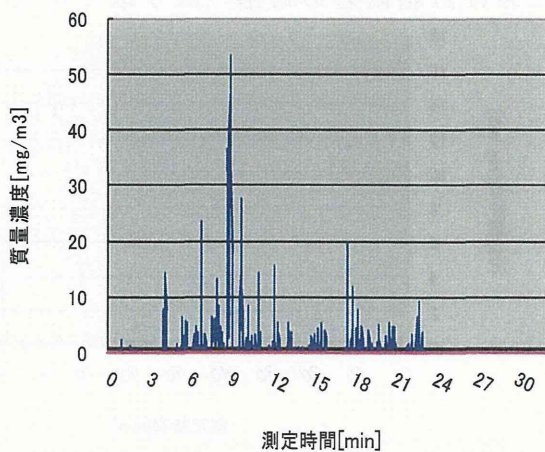


図 1.19 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 6 回目のばく露濃度の変動

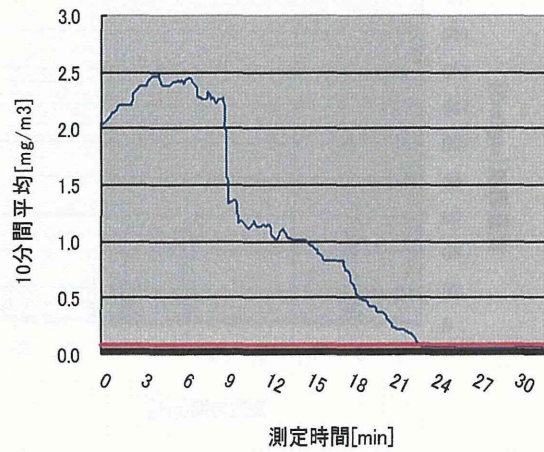


図 1.20 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 6 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

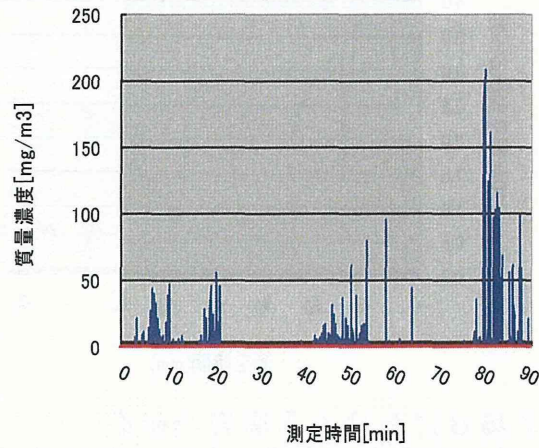


図 1.21 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 7 回目のばく露濃度の変動

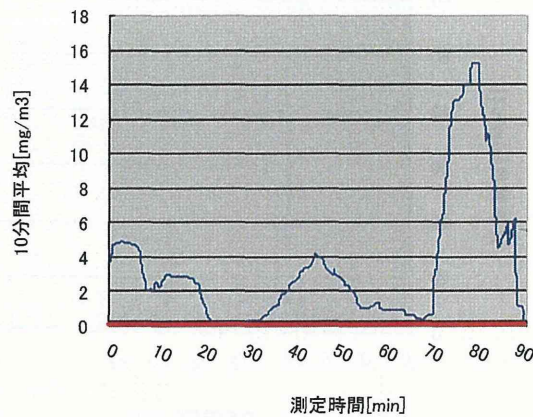


図 1.22 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 7 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

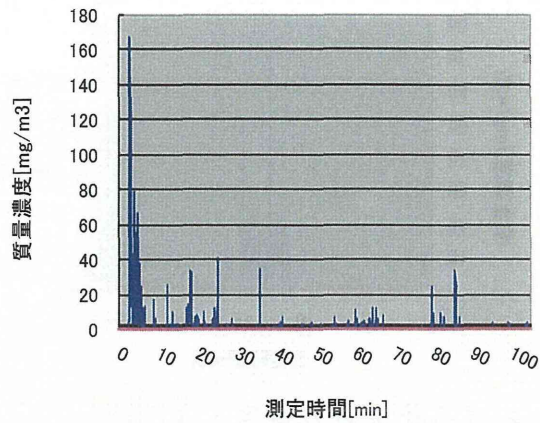


図 1.23 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 8 回目のばく露濃度の変動

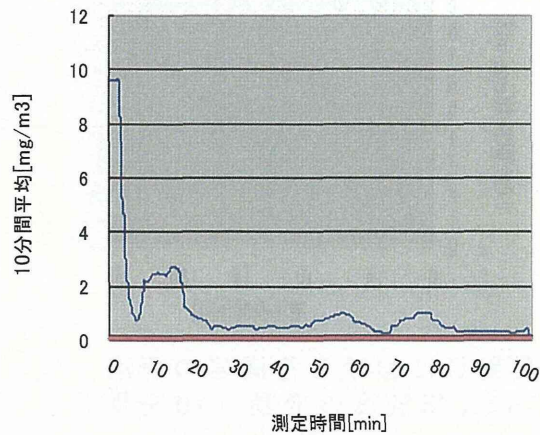


図 1.24 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 8 回目のばく露濃度の変動（10 分間移動平均値）

1.3.1(c) 作業場 C における花崗岩の研磨・ばり取り作業

作業場 C における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表 1.3 に示す。また、ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均をそれぞれ図 1.25 及び図 1.26 に示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、42.6%であり、管理濃度は 0.058 (mg/m³) である。ただし、遊離けい酸の定量は、X 線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.3 作業場 C における花崗岩の研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 (mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	管理濃度超え (超えれば○)
1 回目	3.75	0.058	○

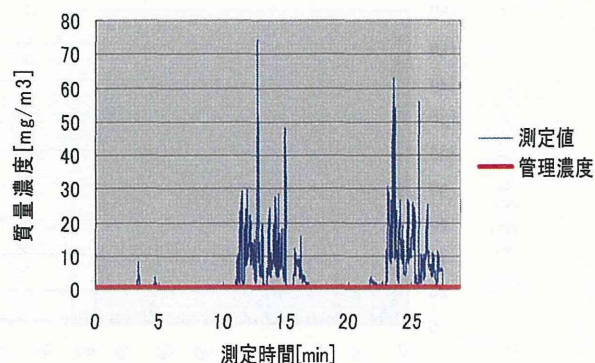


図 1.25 作業場Cにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業1回目のばく露濃度の変動

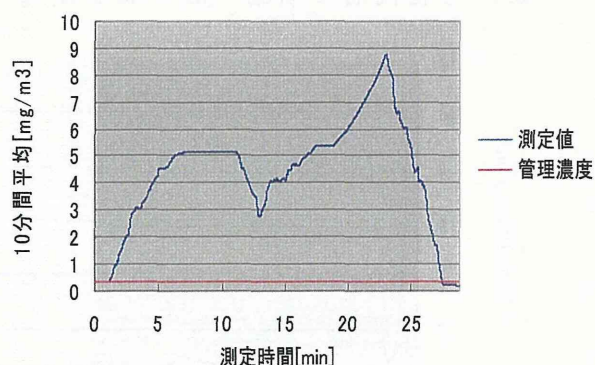


図 1.26 作業場Cにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業1回目のばく露濃度の変動（10分間移動平均）

1.3.2 鉱物の研磨・ばり取り作業

1.3.2(a) 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業

作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業1回目～作業3回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表1.4に示す。また、ばく露濃度の時間的変動状況及び10分間移動平均値の図を図1.27、図1.28、図1.29、図1.30、図1.31及び図1.32にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、7.0%であり、管理濃度は $0.32 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.4 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 (mg/m^3)	管理濃度 (mg/m^3)	管理濃度超え (超えれば○)
1回目	2.89	0.32	○
2回目	3.50	0.32	○
3回目	7.06	0.32	○

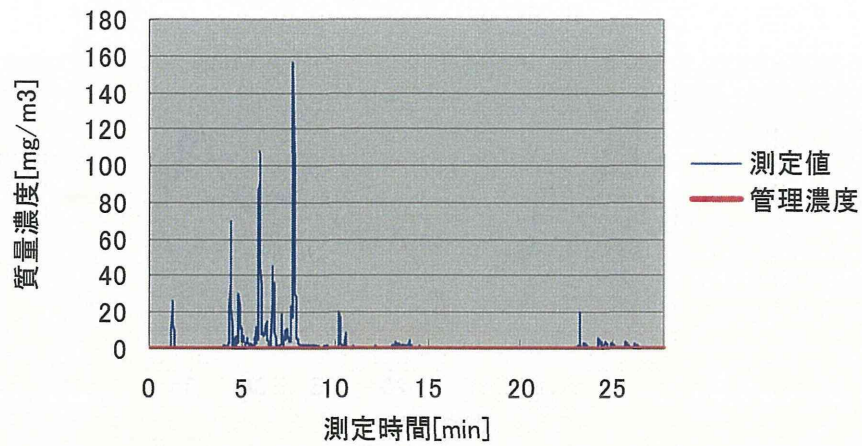


図 1.27 作業場 D におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目の曝露濃度の変動

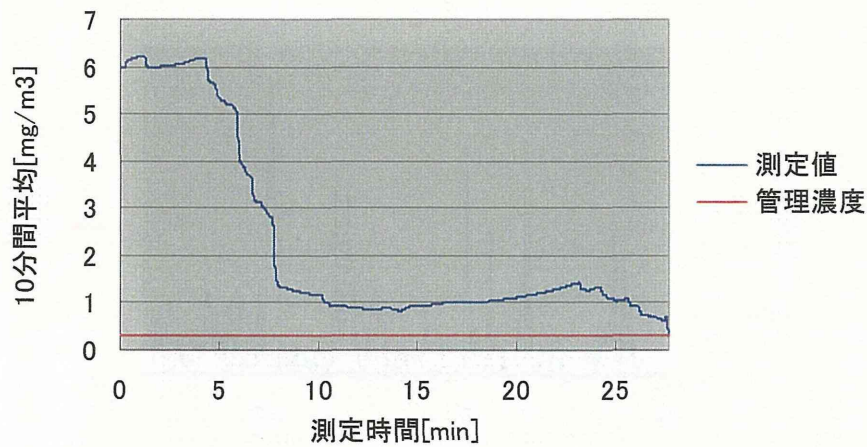


図 1.28 作業場 D におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

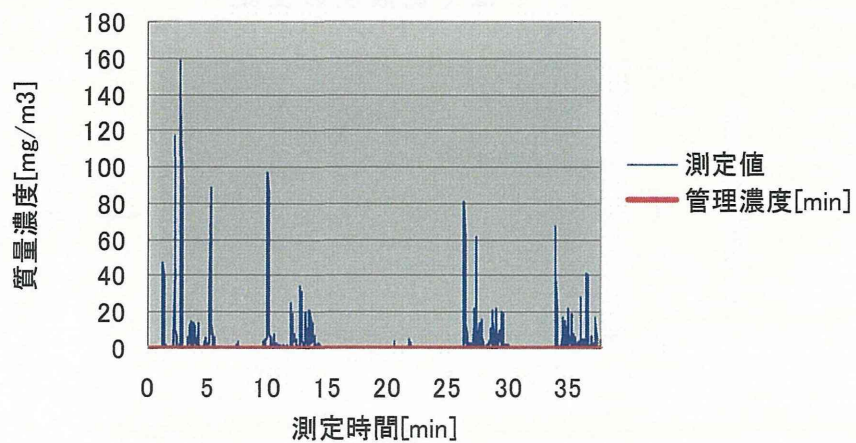


図 1.29 作業場 D におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 2 回目の曝露濃度の変動