

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報告書

早稲田大学理工学術院
創造理工学部環境資源工学科
名古屋俊士

1. 目的

粉じん障害防止対策として、厚生労働省は粉じん障害防止規則（以下、粉じん則）を制定している。粉じん則で対象としている作業は別表第一、別表第二、別表第三に示されており、別表第一に掲げられている作業（以下、「粉じん作業」）、別表第二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（以下、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、別表第三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。しかしながら、現在、じん肺の新規有所見者数は約 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、各作業の粉じんばく露リスクを改めて見直す必要がある。そこで、現在は「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ばく露リスク調査を行い、じん肺法施行規則（以下、じん肺則）及び粉じん則改正のために必要な資料を厚生労働省の労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会（以下、じん肺部会）に提供することを目的とする。

2. 測定調査の概要

2.1 粉じん濃度測定法

測定対象とした作業は、鋳物製品の枠に砂をこめ、型をとる砂型造形作業である。作業によって発生する粉じんについて、作業員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。ばく露濃度の測定については「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」に従った。また、測定の方法については LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業員の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業員の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。その装着状況を図 2.1 に示す。



図 2.1 LD-6N デジタル粉じん計の装着状況

本測定で作業者のばく露濃度測定に用いた LD-6N 粉じん計（以下、LD-6N）は、図 2.2 に示すように、LD-6N（相対濃度計）の検出部のヘッド部分に PM4（ $4\mu\text{m}50\%\text{cut}$ ）の分粒が可能な NWPS-245 型個人ばく露粉じん計の分粒装置部分を装着し、吸引口部分については、フィルターホルダー側にあるファンを取り外し、ろ紙ホルダーを取り付け、吸引ポンプを別にすることで一定した吸引流速（ $2.5\text{L}/\text{min}$ ）が得られる様に改良してある。また、こうした改良を加えることで、LD-6N は、1つの粉じん計で相対濃度と質量濃度の同時併行測定を行うことが可能となり、粉じん濃度測定を行いながら質量濃度換算係数（K 値）を求めることが可能な粉じん計である。



図 2.2 LD-6N デジタル粉じん計の外観

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（以下、NW-354）およびデジタル粉じん計 LD-5 型（以下、LD-5）を設置して測定した。NW-354 は慣性衝突方式の分粒装置を装着し、ガラス板にグリスを塗布した衝突板と、吸入性粉じんを捕集するろ紙を用いる。なお、本測定では NW-354 に、ろ紙の直径を標準の 35mm から 25mm に変更するための異型アダプターを取り付けて使用した。なお、吸引流量は $20\text{L}/\text{min}$ である。LD-5 は光源に半導体レーザーを用いた粉じん計である。吸入口は側方から採気する構造で、周囲の光を遮り、風向・風速の影響を抑えかつ落下粉じんの侵入を防止している。吸入用ファンで吸引される試料空気の流れは、エアースリットで仕切られた光散乱部でレーザー光と直角に交差するようになっている。

2.2 砂型造型作業について

砂型造形作業は、人のみが行う場合、機械のみで行う場合、そして大まかな部分を機械が行い、細かな造型を人が行う場合がある。以下、人のみが行う場合の砂型造型作業を「手込め作業」、人と機械により砂型造型作業を行う作業を「半自動造型作業」、機械のみで行う造型作業を「自動造型作業」と記す。手込め作業風景を図 2.3~図 2.5 に、半自動造型作業風景を図 2.6、自動造型作業風景を図 2.7 にそれぞれ示す。なお、図 2.7 に示している作業場では、作業者が中子を鋳型に固定する作業のみを行っており、作業者は造型を行って

いないと判断し、自動造型作業とした。



図 2.3 手込め作業風景



図 2.4 手込め作業風景



図 2.5 手込め作業風景



図 2.6 半自動造形作業風景



図 2.7 自動造形作業風景

3. ばく濃度測定結果の評価方法

3.1 鋳物砂中の遊離けい酸含有率

粉じん作業では、粉じん作業時に発生した吸入性粉じんをろ紙上に捕集した後、捕集された粉じんを X 線回折分析装置を用いた X 線基底標準吸収補正法で定量分析を行うことにより、粉じん中の遊離けい酸含有率（Q）を求めた。その求めた遊離けい酸含有率を管理濃

度の式に代入することで管理濃度（E）を求める。管理濃度の式を式(1)に示す。

$$E = \frac{3}{1.19Q+1} \quad \text{式（1）}$$

※Q：遊離けい酸含有率

3.2 評価方法

評価方法は、個人ばく露濃度の幾何平均値と管理濃度との比較で判断する。つまり、個人ばく露濃度の幾何平均値が管理濃度を超えていれば、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断し、管理濃度以下であれば、呼吸用保護具を着用する必要のない作業と判断する。ただし、複数の作業を測定した場合、じん肺部会の判断基準である「ばく露濃度測定をおこなった作業の総数で管理濃度を超えている作業の数を除した割合が 20%を超えた場合、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断する。」に従って判断した。さらに、作業時にばく露する粉じん濃度と、鋳物砂中の遊離けい酸含有率から算出した管理濃度を比較するため、作業時にばく露する粉じん濃度だけでは造形作業を評価することはできない。そのため、本調査では、管理濃度と幾何平均粉じん濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、作業時の幾何平均粉じんばく露濃度が管理濃度を下回った場合でも、発生する粉じん濃度の時間的変動状況によっては、一時的に粉じんばく露濃度が、管理濃度を超えている場合も想定できるので、その事を考慮して、管理濃度と幾何平均粉じん濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、測定時に 10 分間移動平均値が管理濃度を超える時間帯があった場合は、管理濃度を超えていると評価することとした。ここで、10 分間移動平均値とは、測定開始時間から 10 分間測定して得られた累積粉じん濃度を測定時間の 10 分間で除して求めた平均値である。そのため、10 分間移動平均値を示した図の 1 測定点は、10 分間の平均濃度を示す。

4 砂型造形作業における粉じんばく露濃度測定結果

4.1 手込め作業

4.1(a) 作業場 A における砂型造形作業

作業場 A の概略図を図 4.1 に示す。また、作業場 A における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.1 に、環境濃度の測定結果を表 4.2 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 4.2～図 4.13 にそれぞれ示す。

なお、作業 2、2 回目について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超えているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 16.8%であり、管理濃度は 0.14[mg/m³]である。

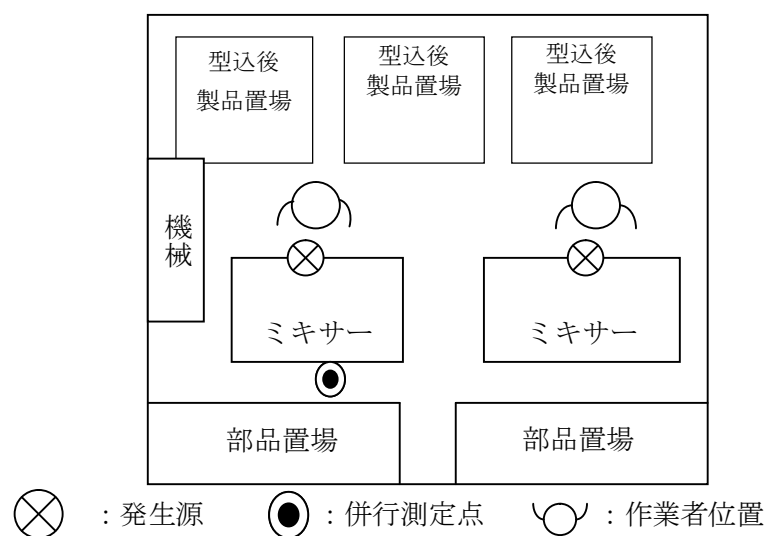


図 4.1 作業場 A の概略図

表 4.1 粉じん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○)
作業者 1、1 回目	0.21	0.14	○
作業者 1、2 回目	0.15	0.14	○
作業者 1、3 回目	0.12	0.14	×
作業者 2、1 回目	0.21	0.14	○
作業者 2、2 回目	0.11	0.14	○*
作業者 2、3 回目	0.08	0.14	×

注 ○* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っているので、
管理濃度を超過していると判断した事例

表 4.2 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
295	0.92	0.16	29	0.0055

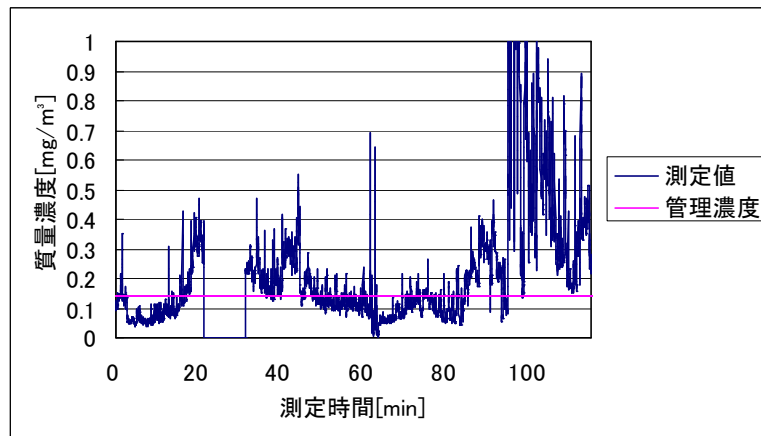


図 4.2 作業場 A における手込め作業者 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動

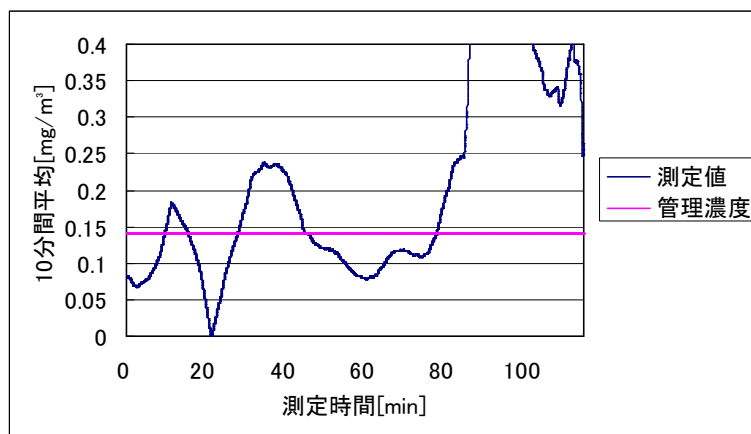


図 4.3 作業場 A における手込め作業者 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

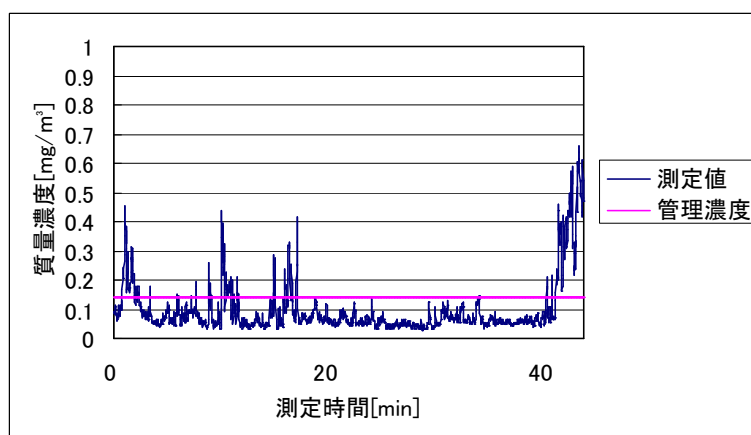


図 4.4 作業場 A における手込め作業者 1、2 回目の粉じんばく露濃度変動

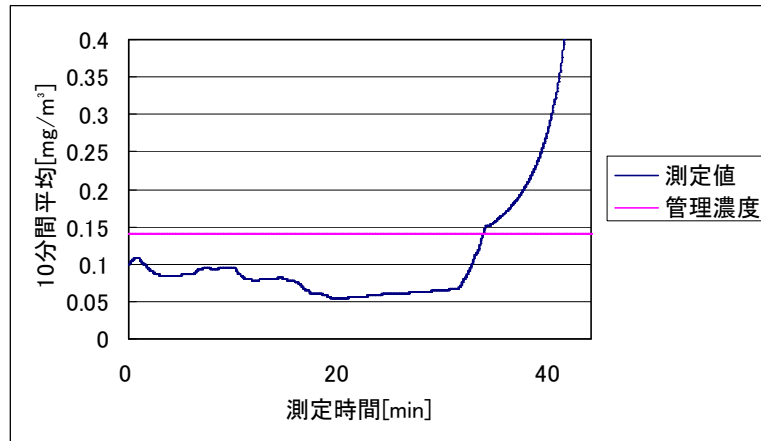


図 4.5 作業場 A における手込め作業者 1、2 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

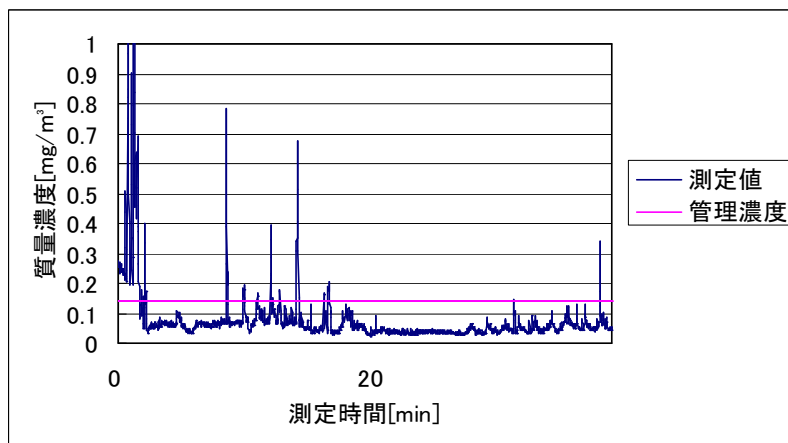


図 4.6 作業場 A における手込め作業者 1、3 回目の粉じんばく露濃度変動

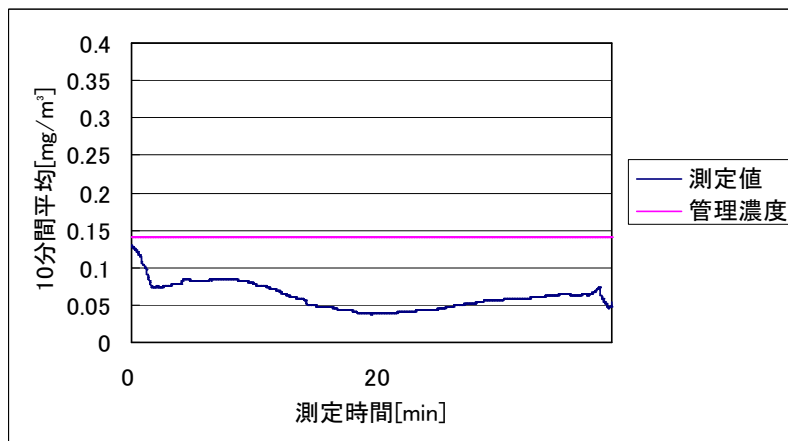


図 4.7 作業場 A における手込め作業者 1、3 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

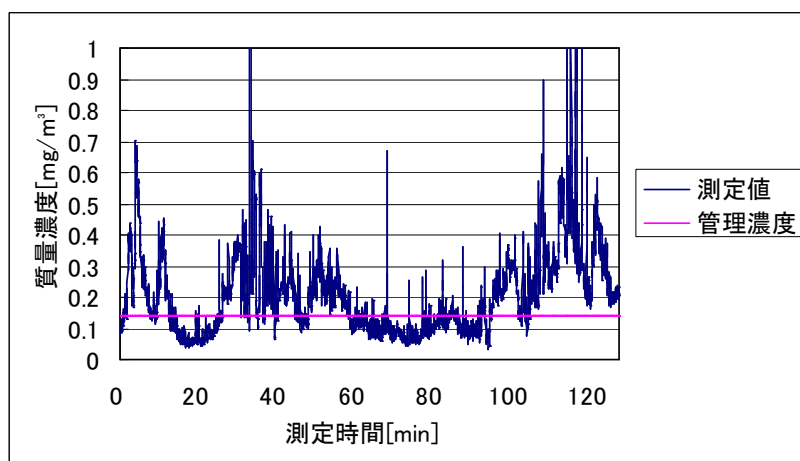


図 4.8 作業場 A における手込め作業者 2、1 回目の粉じんばく露濃度変動

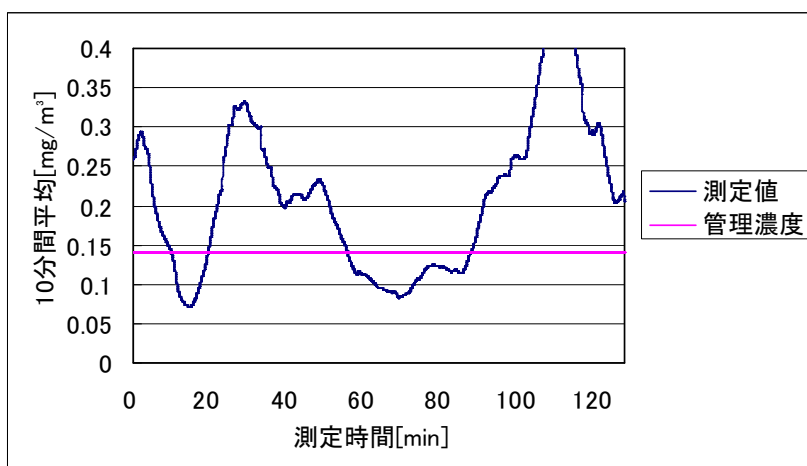


図 4.9 作業場 A における手込め作業者 2、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

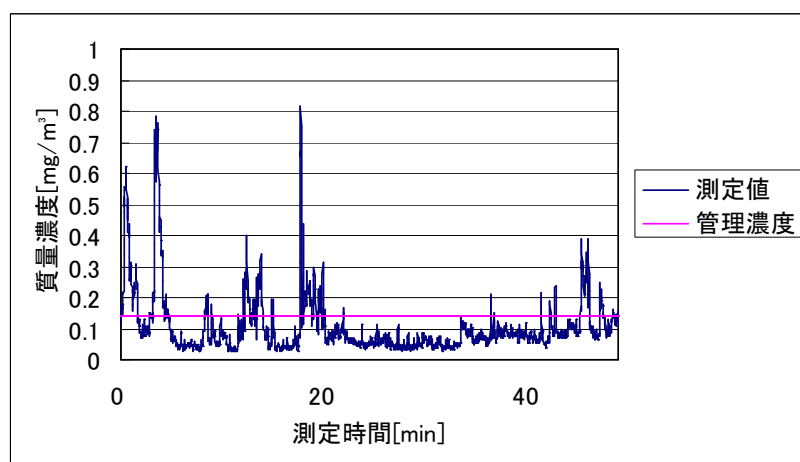


図 4.10 作業場 A における手込め作業者 2、2 回目の粉じんばく露濃度変動

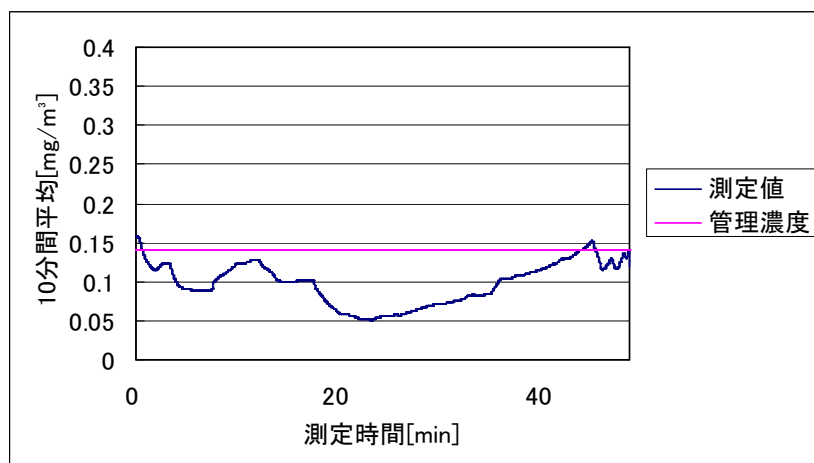


図 4.11 作業場 A における手込め作業者 2、2 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

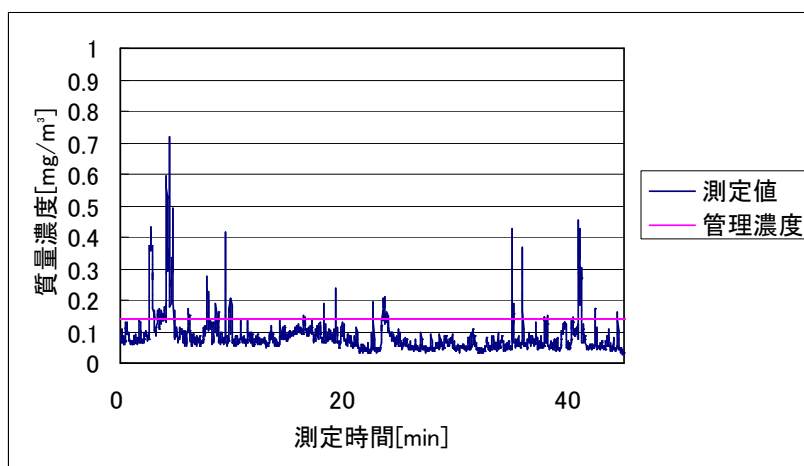


図 4.12 作業場 A における手込め作業者 2、3 回目の粉じんばく露濃度変動

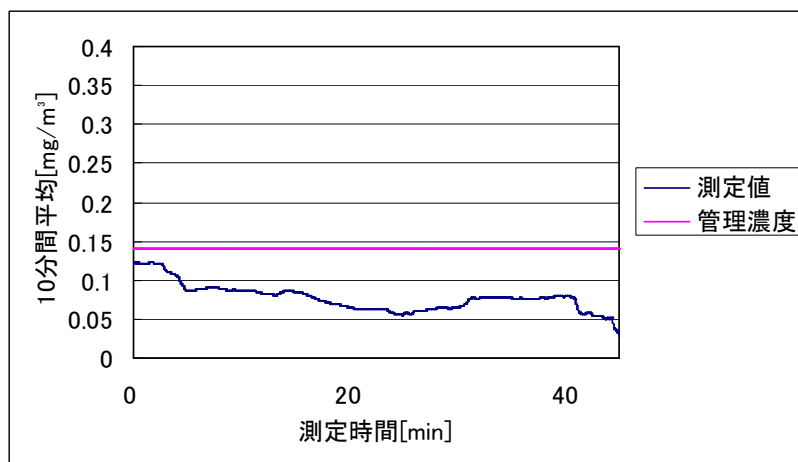


図 4.13 作業場 A における手込め作業者 2、3 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.1(b) 作業場 B における砂型造形作業

作業場 B の概略図を図 4.14 に示す。また、作業場 B における砂型造形作業 1～作業 5 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.3 に、環境濃度測定結果を表 4.4 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 4.15～図 4.24 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 13.2% であり、管理濃度は $0.18[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

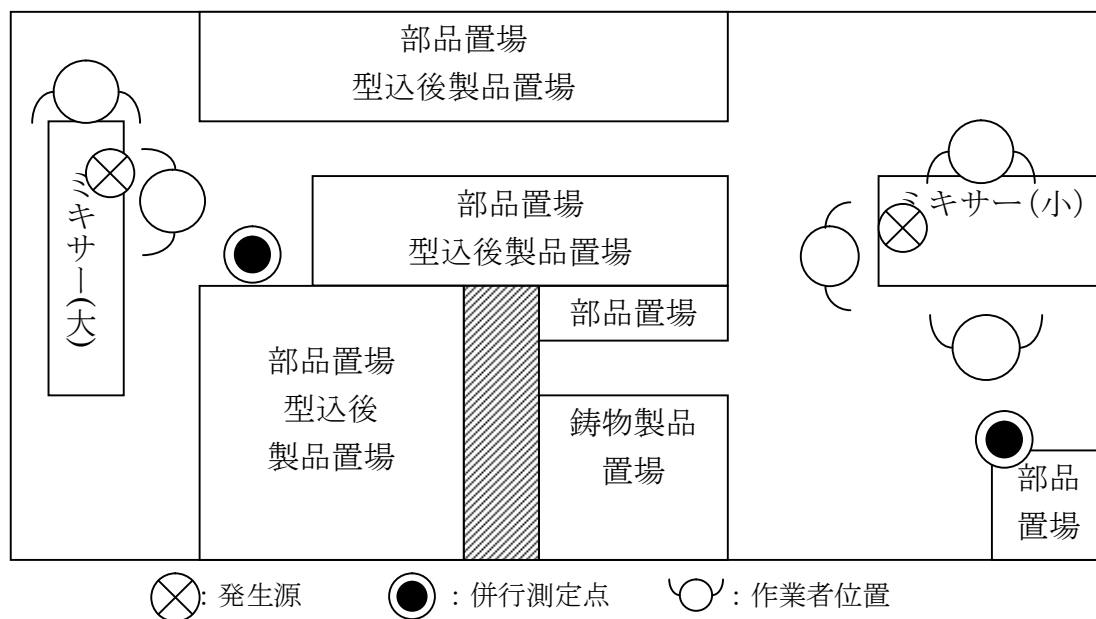


図 4.14 作業場 B での概略図

表 4.3 粉じん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○)
作業 1	0.82	0.18	○
作業 2	0.78	0.18	○
作業 3	0.68	0.18	○
作業 4	4.23	0.18	○
作業 5	1.83	0.18	○

表 4.4 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m^3]	相対濃度 [cpm]	K 値 [$\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$]
105	0.85	0.40	258	0.0016

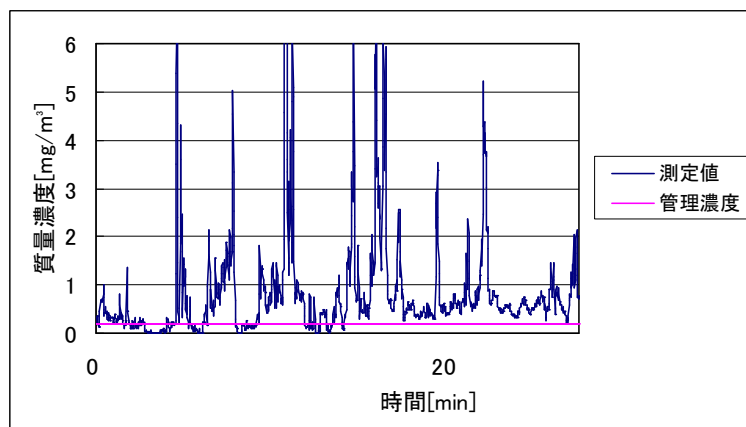


図 4.15 作業場 B における手詰め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

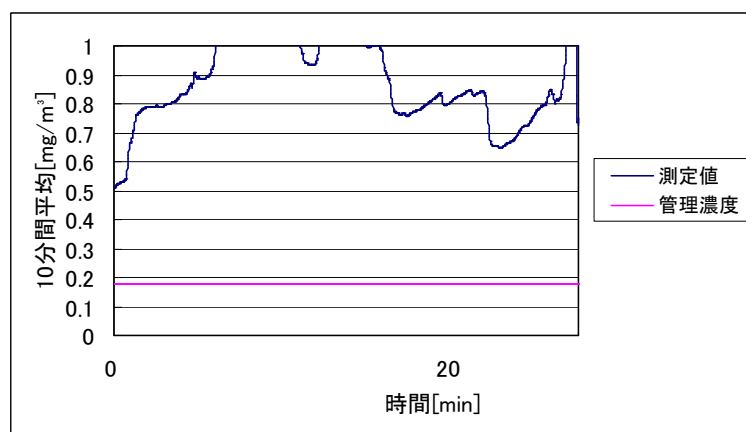


図 4.16 作業場 B における手詰め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

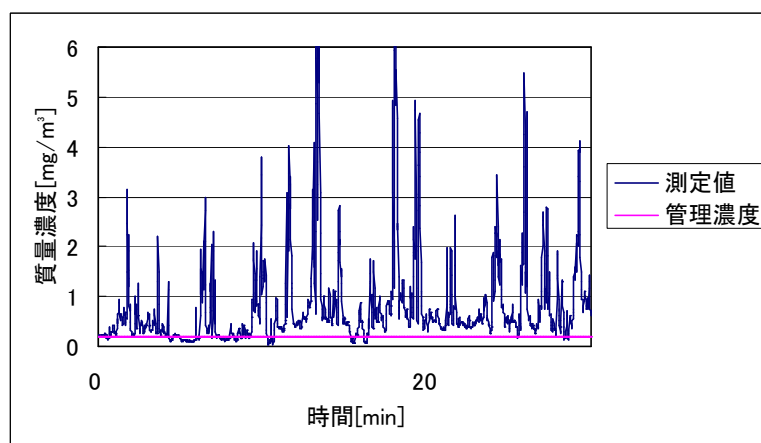


図 4.17 作業場 B における手詰め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

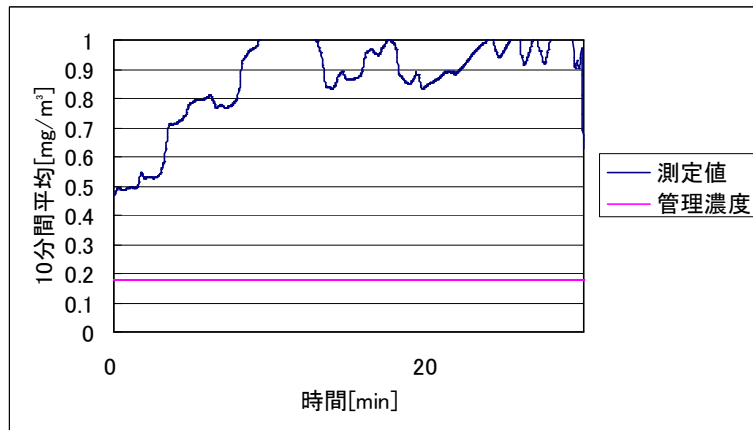


図 4.18 作業場 B における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

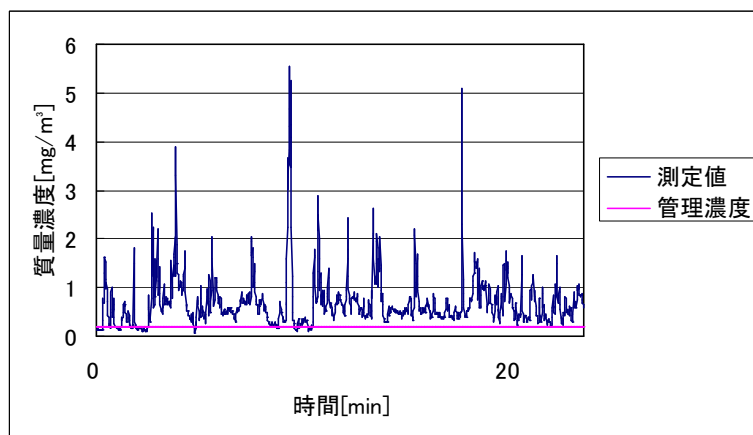


図 4.19 作業場 B における手込め作業者 3 の粉じんばく露濃度変動

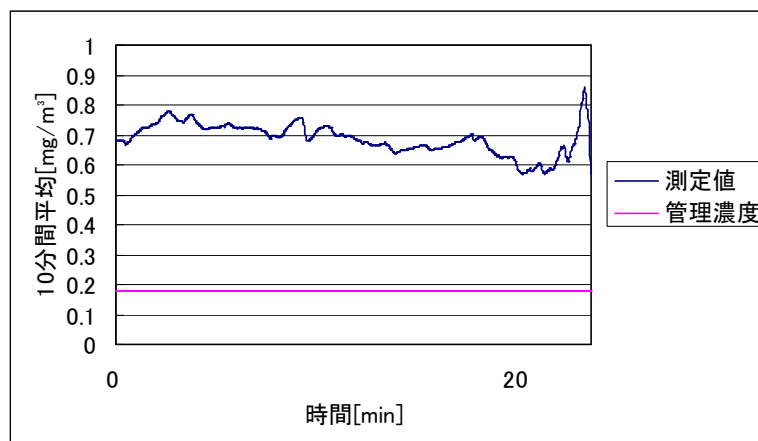


図 4.20 作業場 B における手込め作業者 3 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

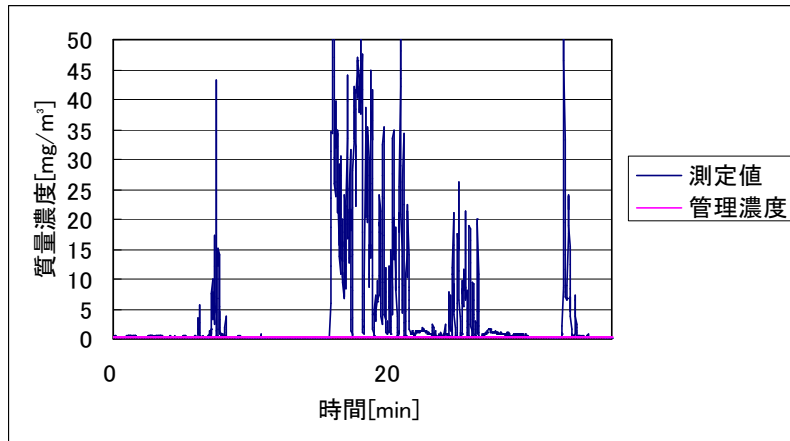


図 4.21 作業場 B における手込め作業者 4 の粉じんばく露濃度変動

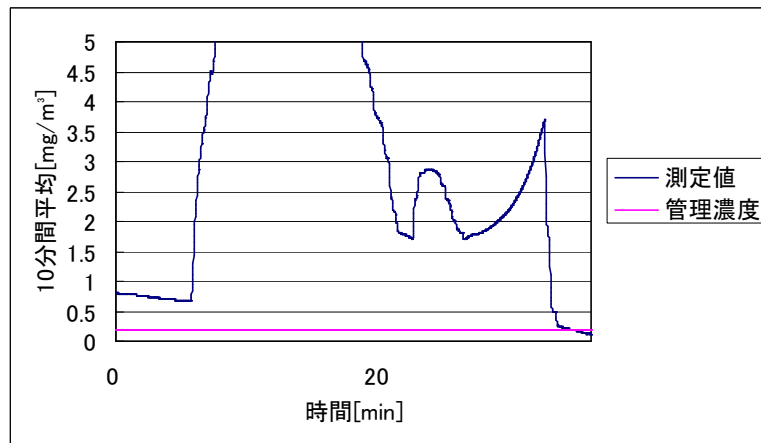


図 4.22 作業場 B における手込め作業者 4 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

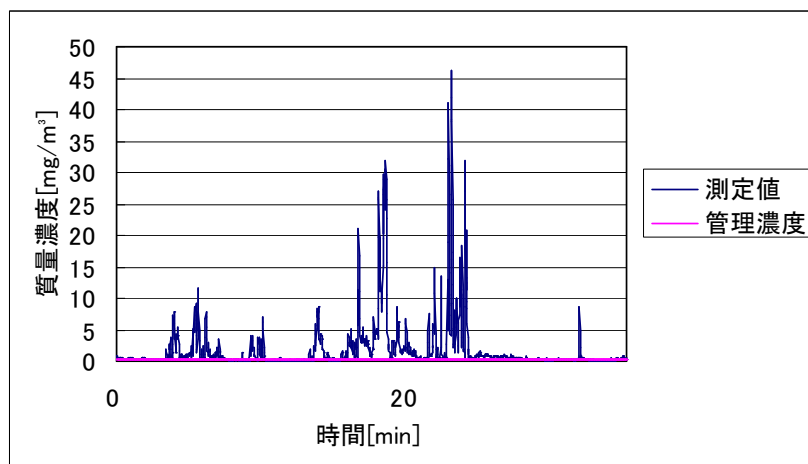


図 4.23 作業場 B における手込め作業者 5 の粉じんばく露濃度変動

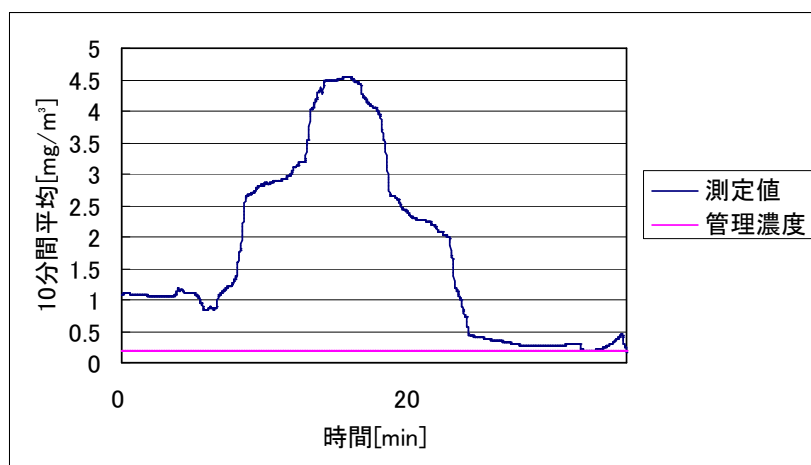


図 4.24 作業場 B における手込め作業者 5 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.1(c) 作業場 C における砂型造形作業

作業場 C の概略図を図 4.25 に示す。なお、今回は作業者に LD-6N を装着することができなかったため、測定者に作業者と似たような動きをしてもらうことで測定を行った。測定風景を図 4.26 に示す。また、作業場 C における砂型造形作業者 1～作業者 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.5 に、環境濃度の測定結果を表 4.6 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 4.27～図 4.30 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 20.9%であり、管理濃度は $0.12[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

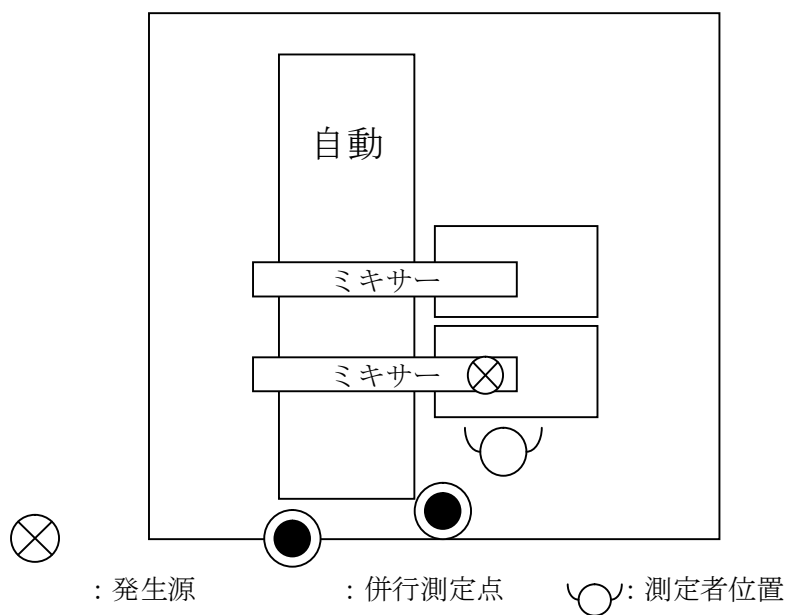


図 4.25 作業場 C の概略図



図 4.26 測定風景

表 4.5 粉じん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○)
作業者 1	0.81	0.12	○
作業者 2	1.39	0.12	○

表 4.6 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
51	0.64	0.63	451	0.0014

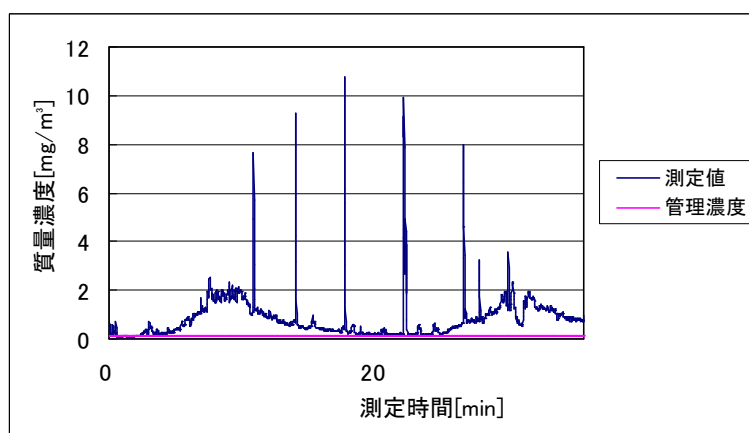


図 4.27 作業場 C における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

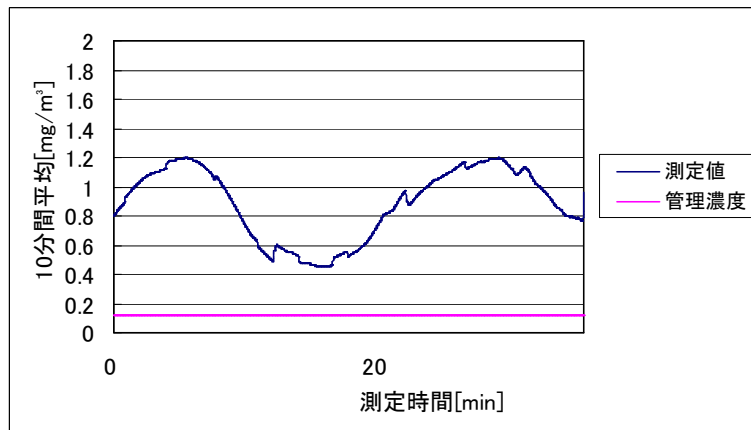


図 4.28 作業場 C における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

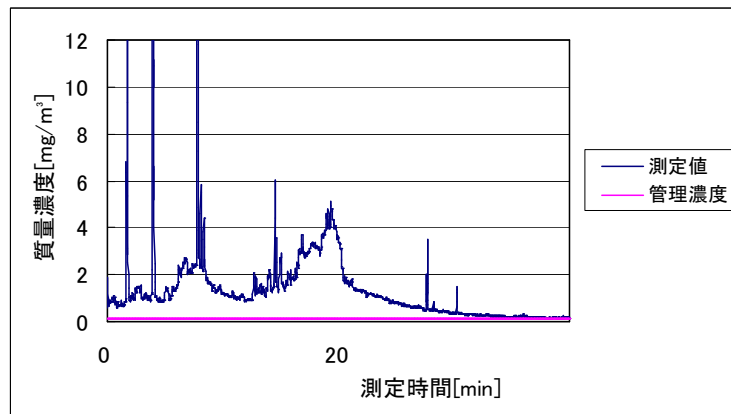


図 4.29 作業場 C における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

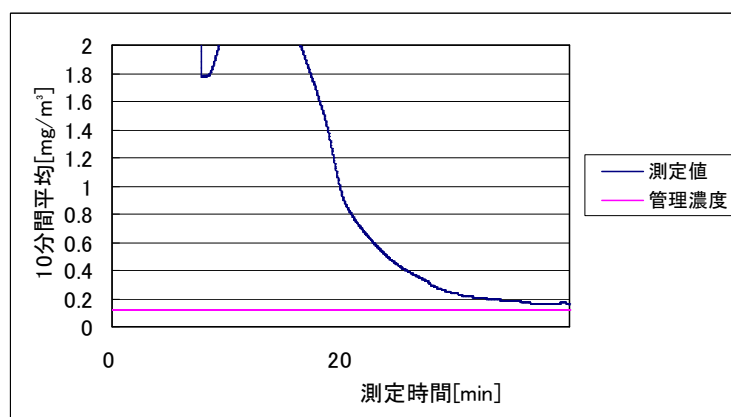


図 4.30 作業場 C における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.1(d) 作業場 D における砂型造形作業

作業場 D の概略図を図 4.31 に示す。また、作業場 D における砂型造形作業者 1 の粉じ

んばく露濃度測定結果を表 4.7 に、環境濃度の測定結果を表 4.8 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 4.32、図 4.33 にそれぞれ示す。
また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 8.5%であり、管理濃度は 0.27[mg/m³]である。

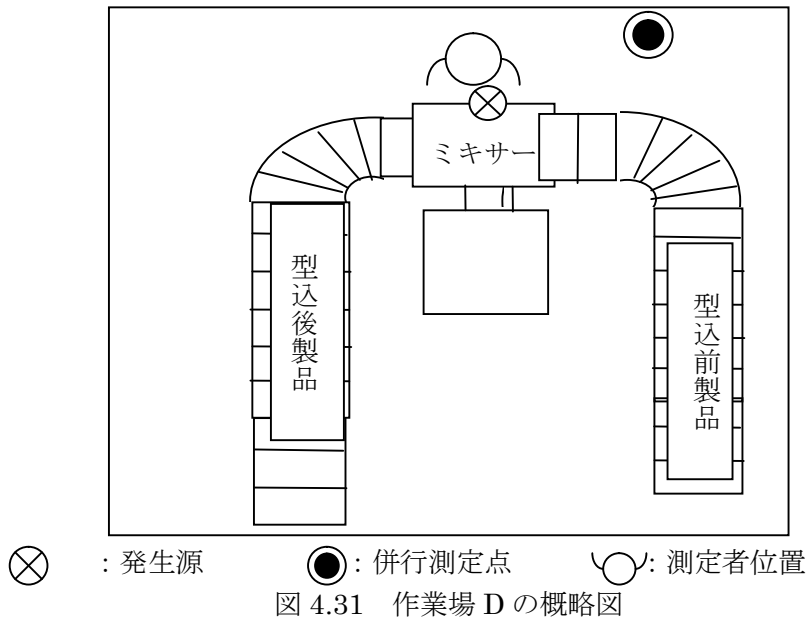


表 4.7 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m³]	管理濃度 [mg/m³]	管理濃度超え (超えれば○)
作業者 1	0.86	0.27	○

表 4.8 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m³/cpm]
135	2.36	0.87	496	0.0018

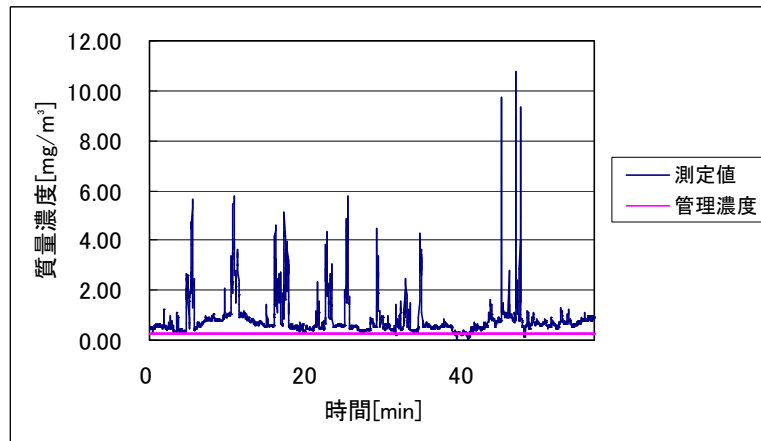


図 4.32 作業場 D における手込め作業 1 の粉じんばく露濃度変動

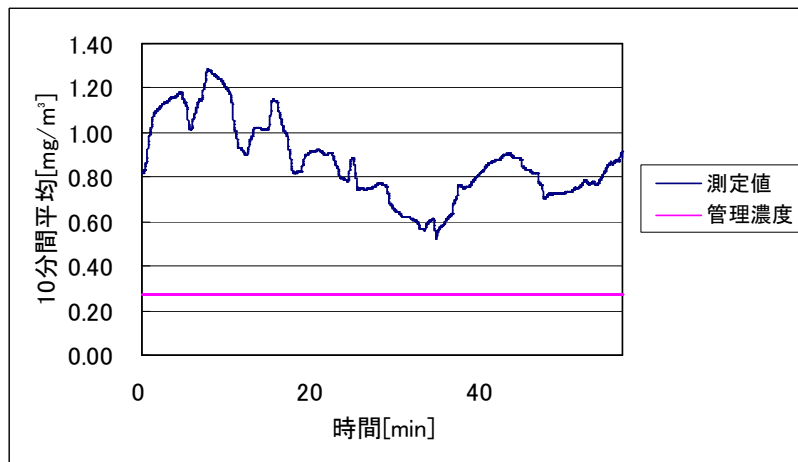


図 4.33 作業場 D における手込め作業 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.1(e) 作業場 E における砂型造形作業

作業場 E の概略図を図 4.34 に示す。また、作業場 E における砂型造形作業 1～作業 3 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.9 に、環境濃度の測定結果を表 4.10 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 4.35～図 4.40 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 3.9%であり、管理濃度は $0.53[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

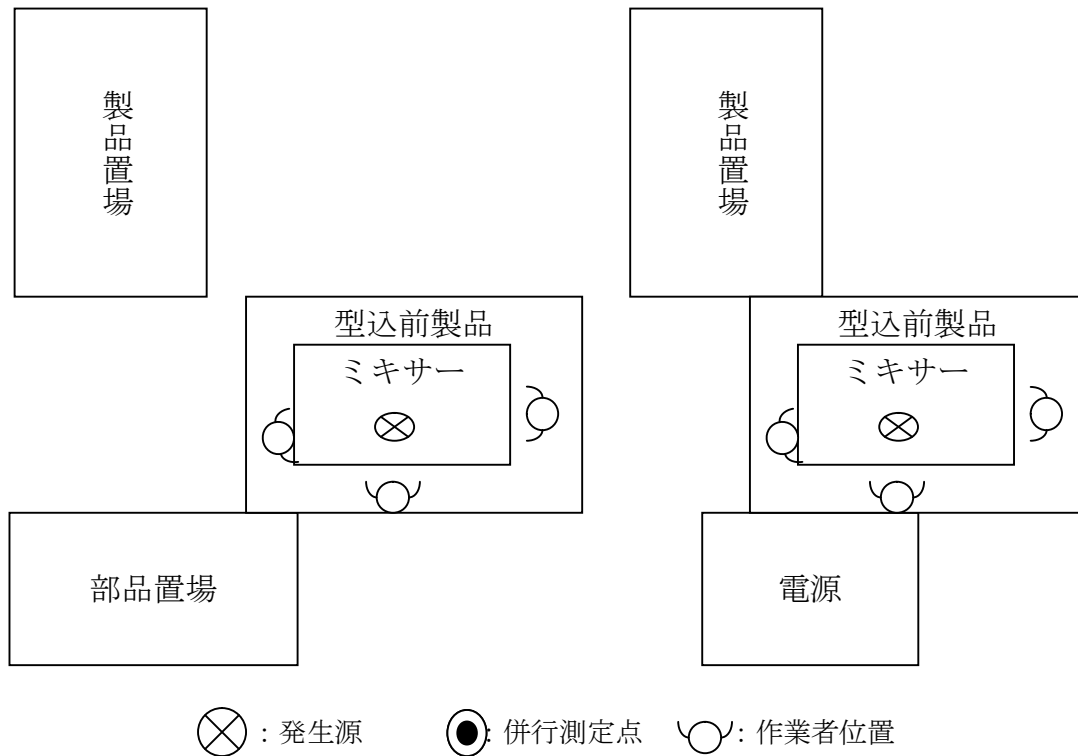


図 4.34 作業場 E の概略図

表 4.9 粉じん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○)
作業者 1	0.84	0.53	○
作業者 2	1.38	0.53	○
作業者 3	1.14	0.53	○

表 4.10 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
105	0.83	0.40	191	0.0021

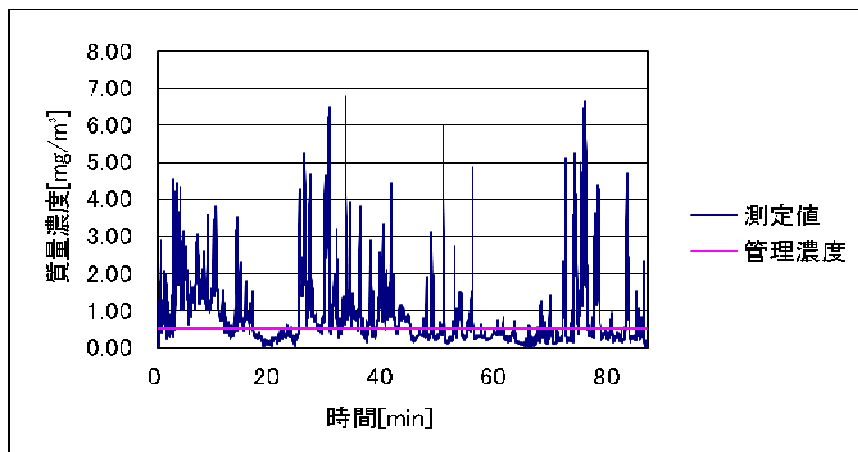


図 4.35 作業場 E における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

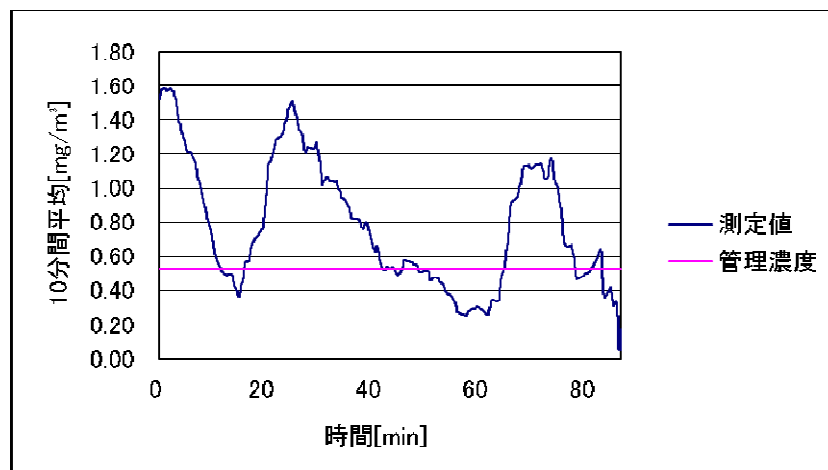


図 4.36 作業場 E における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

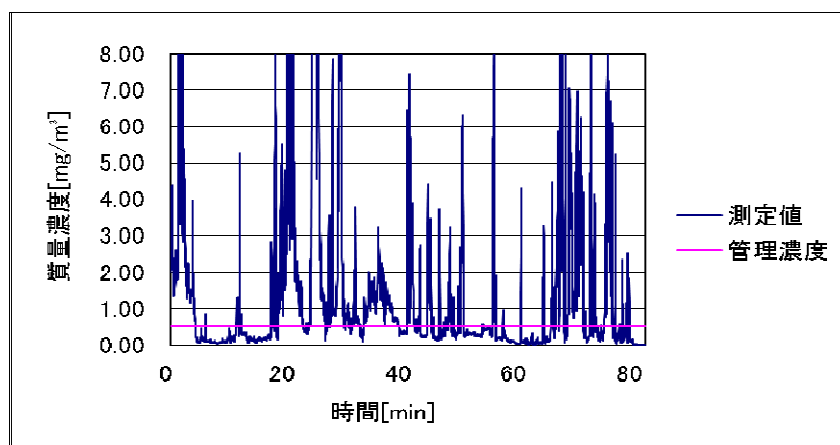


図 4.37 作業場 E における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

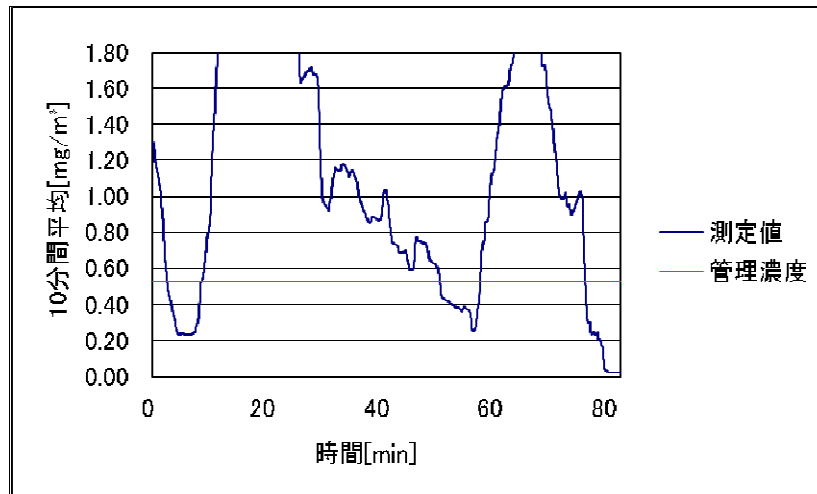


図 4.38 作業場 E における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

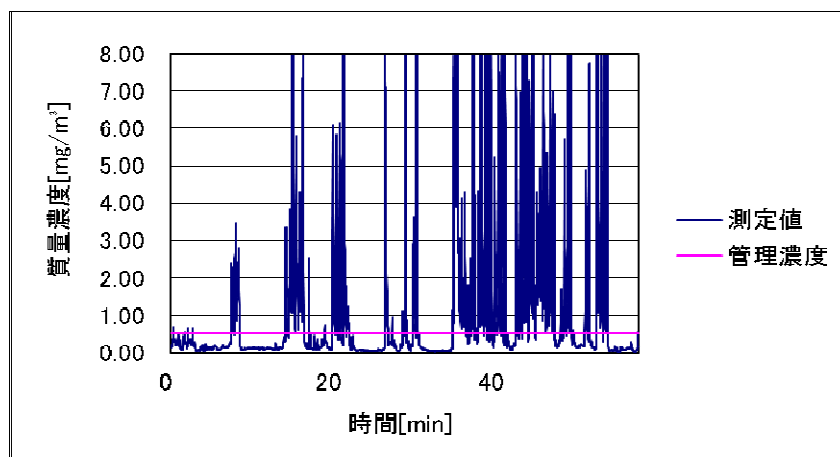


図 4.39 作業場 E における手込め作業者 3 の粉じんばく露濃度変動

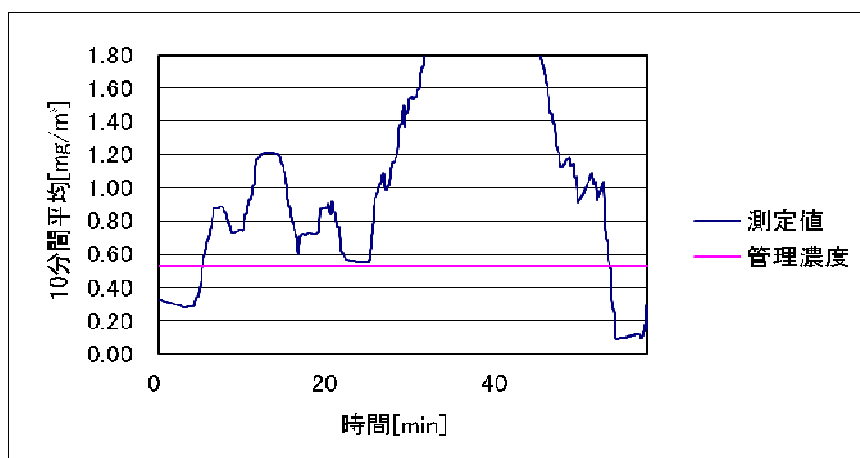


図 4.40 作業場 E における手込め作業者 3 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.1(f) 作業場 F における砂型造形作業

作業場 F の概略図を図 4.41 に示す。また、作業場 F における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.11 に、環境濃度の測定結果を表 4.12 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 4.42～図 4.45 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0%であり、管理濃度は 0.89[mg/m³]である。

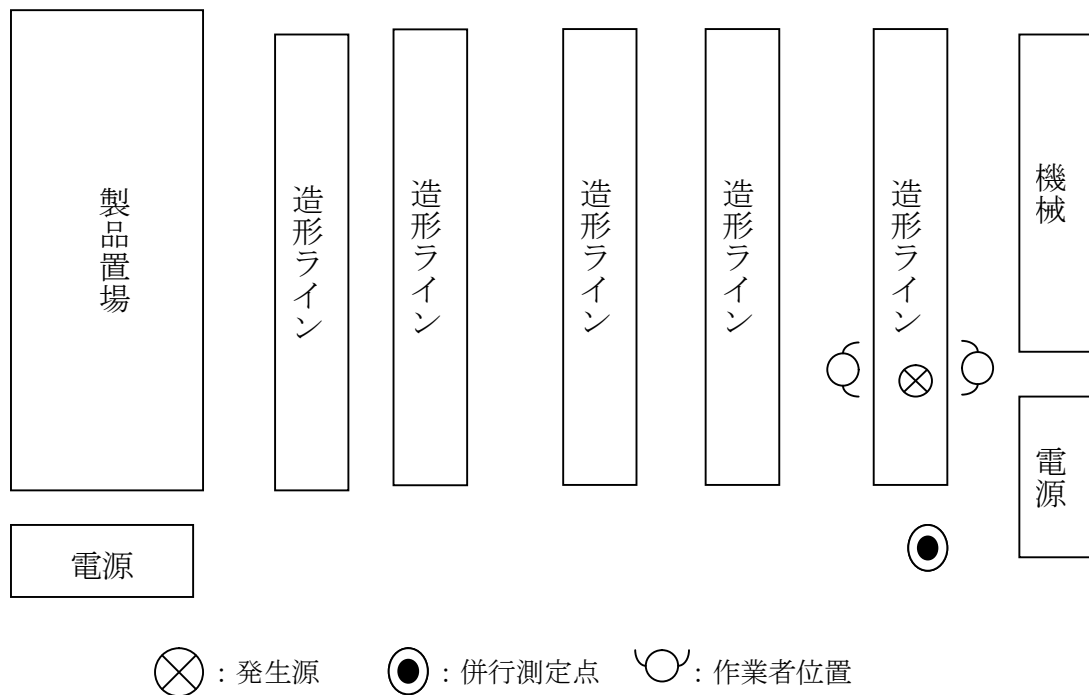


図 4.41 作業場 F の概略図

表 4.11 粉じん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○)
作業 1	0.16	0.89	×
作業 2	0.20	0.89	×

表 4.12 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
209	0.43	0.10	107	0.0010

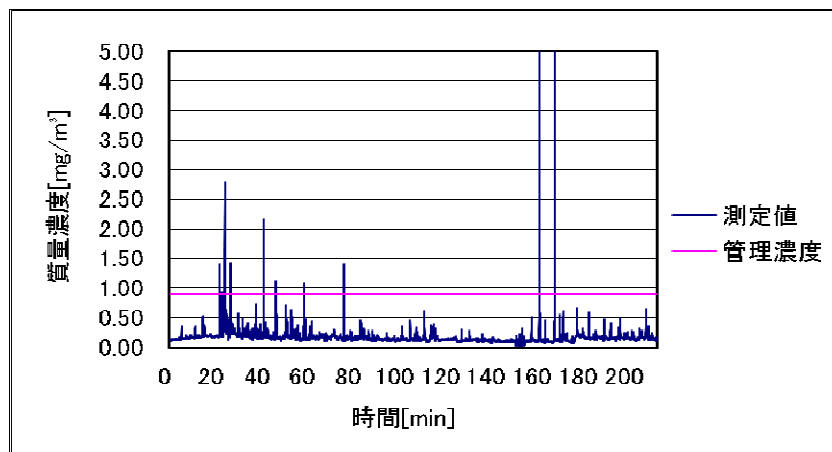


図 4.42 作業場 F における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

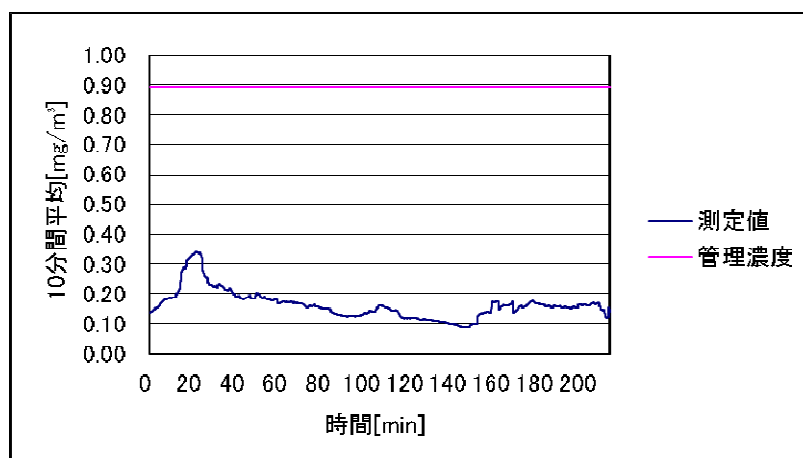


図 4.43 作業場 F における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

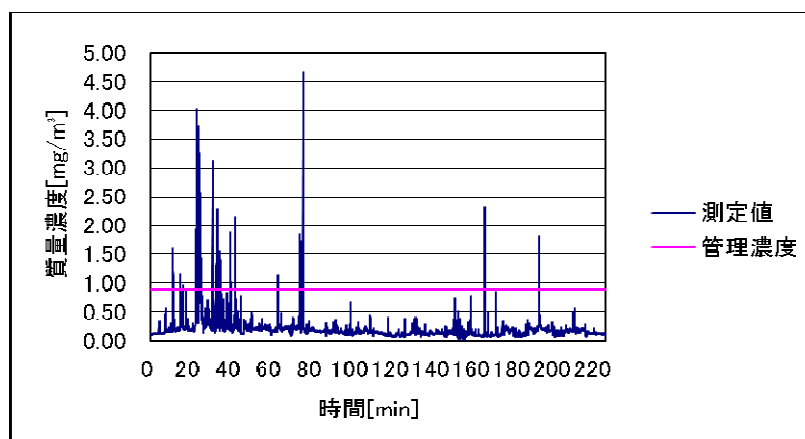


図 4.44 作業場 F における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

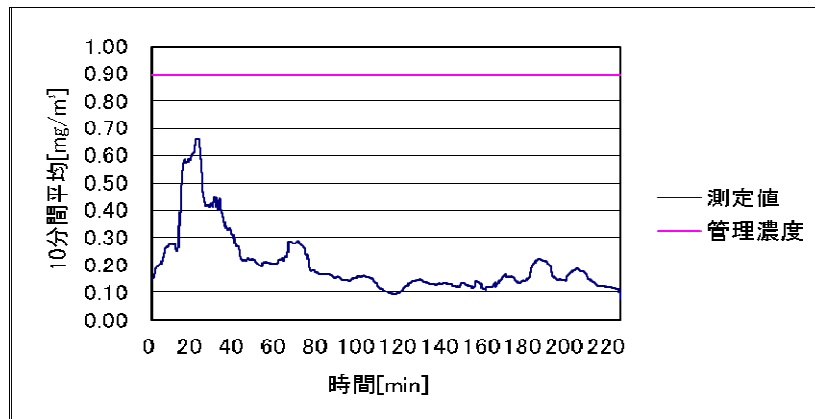


図 4.45 作業場 F における手込め作業者 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.1(g) 作業場 G における砂型造形作業

作業場 G の概略図を図 4.46 に示す。また、作業場 G における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.13 に、環境濃度の測定結果を表 4.14 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 4.47～図 4.50 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 15.5%であり、管理濃度は $0.15[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

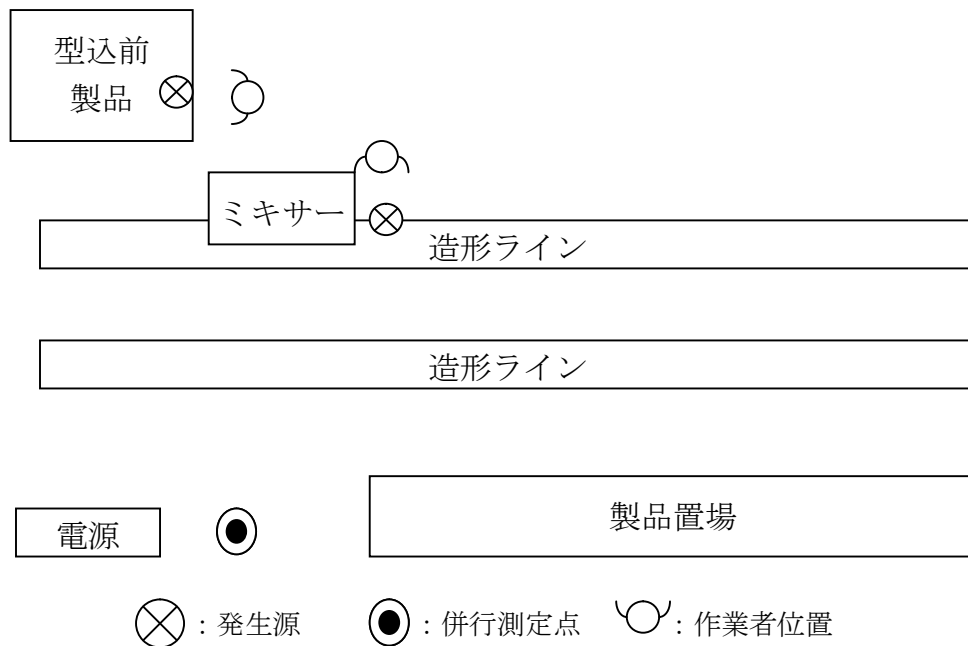


図 4.46 作業場 G の概略図

表 4.13 粉じん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○)
作業者 1	3.50	0.15	○
作業者 2	0.88	0.15	○

表 4.14 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
60	1.54	1.29	639	0.0020

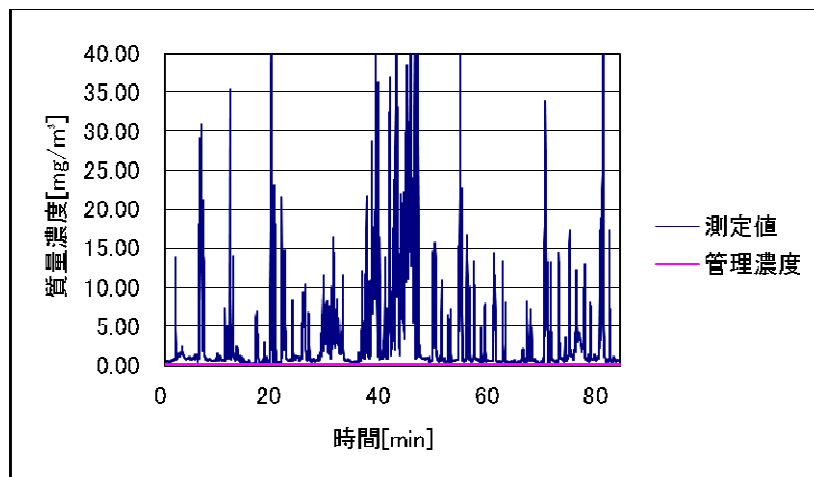


図 4.47 作業場 G における手込め作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

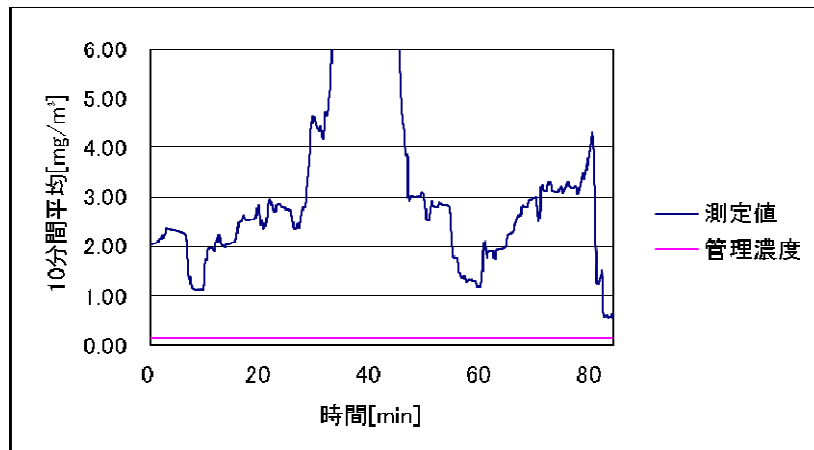


図 4.48 作業場 G における手詰め作業 1 粉じんのばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

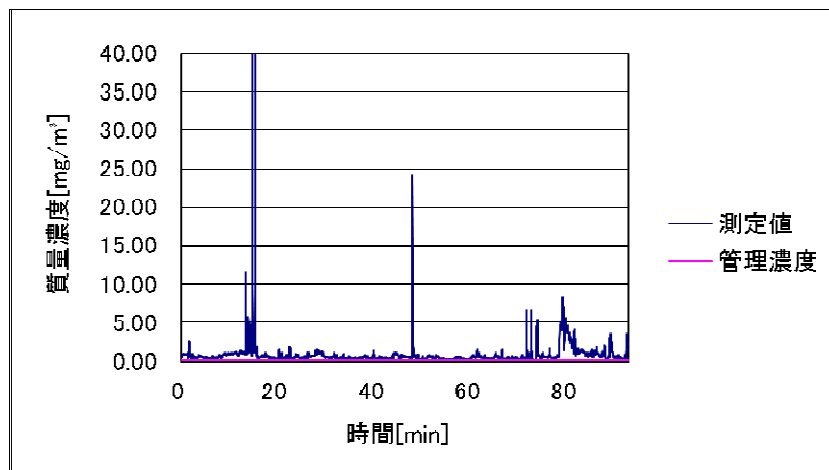


図 4.49 作業場 G における手詰め作業 2 の粉じんばく露濃度変動

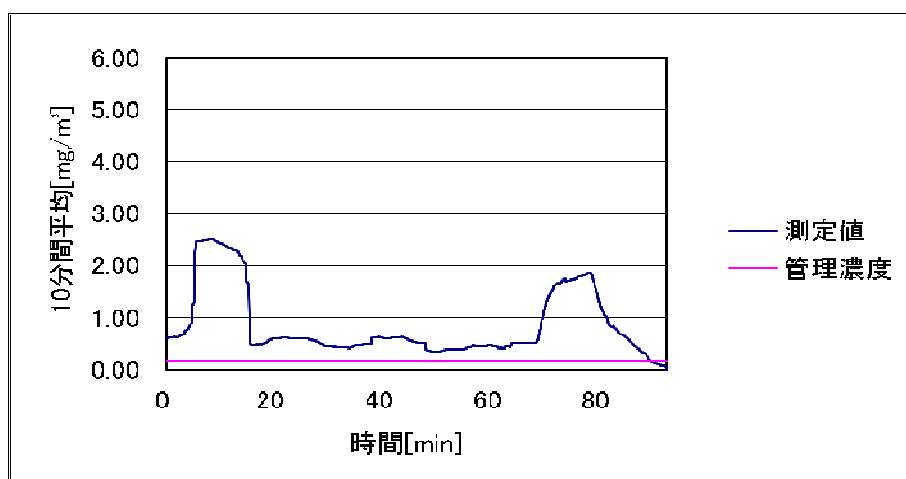


図 4.50 作業場 G における手詰め作業 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.2 半自動造形作業

4.2(a) 作業場 H における砂型造形作業

作業場 H の概略図を図 4.51 に示す。また、作業場 H における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.15 に、環境濃度の測定結果を表 4.16 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 4.52～図 4.61 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 11.0%であり、管理濃度は $0.21[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

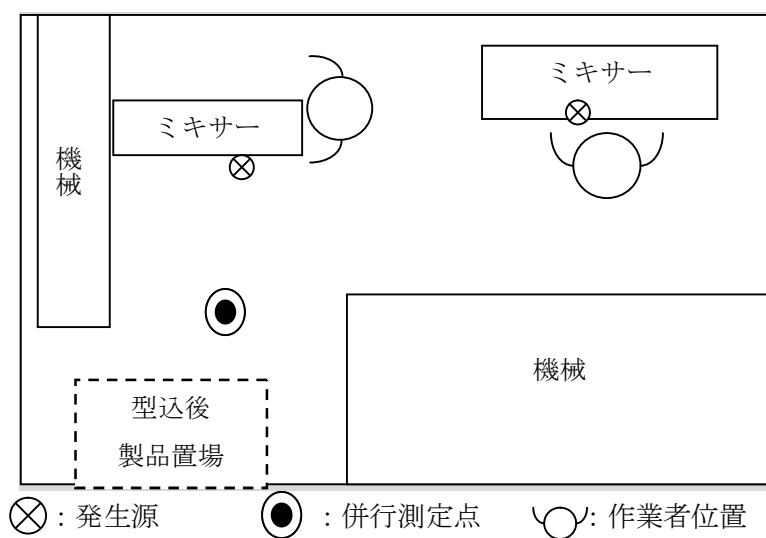


図 4.51 作業場 H の概略図

表 4.15 粉じん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○)
作業者 1、1 回目	1.08	0.21	○
作業者 2、1 回目	0.63	0.21	○
作業者 2、2 回目	0.42	0.21	○
作業者 2、3 回目	0.61	0.21	○
作業者 2、4 回目	0.76	0.21	○

表 4.16 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
159	1.28	0.40	121	0.0033

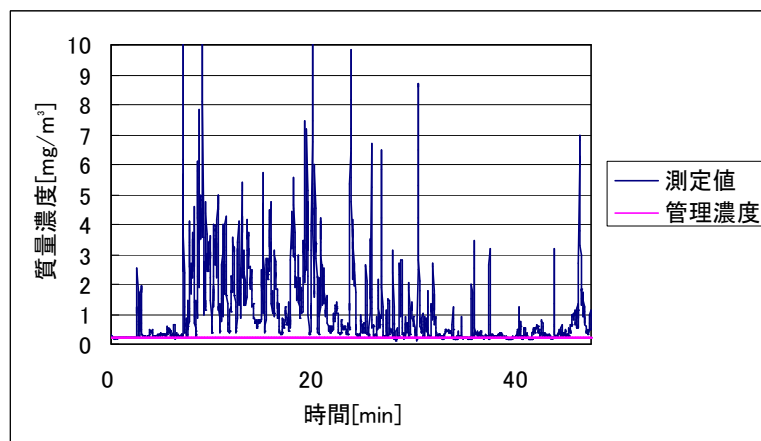


図 4.52 作業場 H における半自動造形作業者 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動

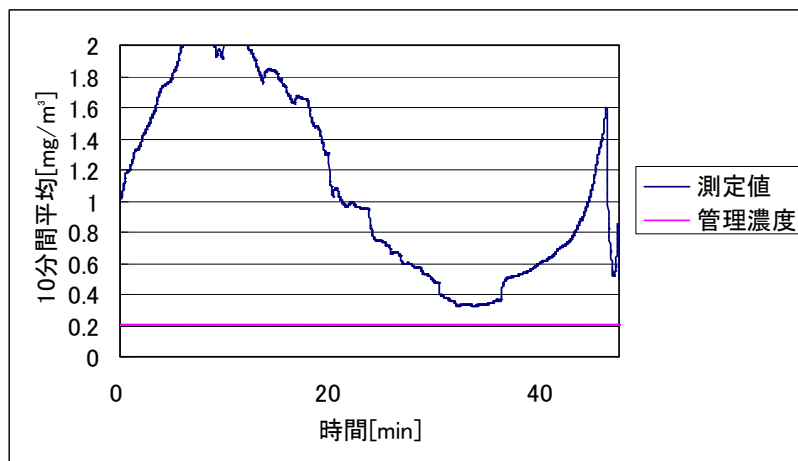


図 4.53 作業場 H における半自動造形作業者 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

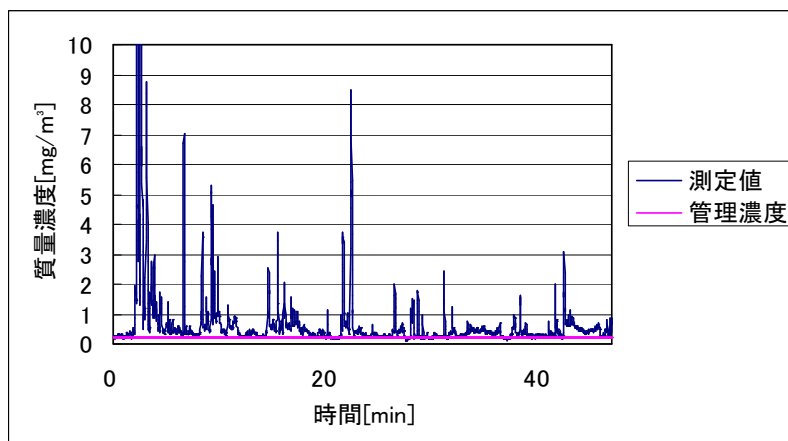


図 4.54 作業場 H における半自動造形作業者 2、1 回目の粉じんばく露濃度変動

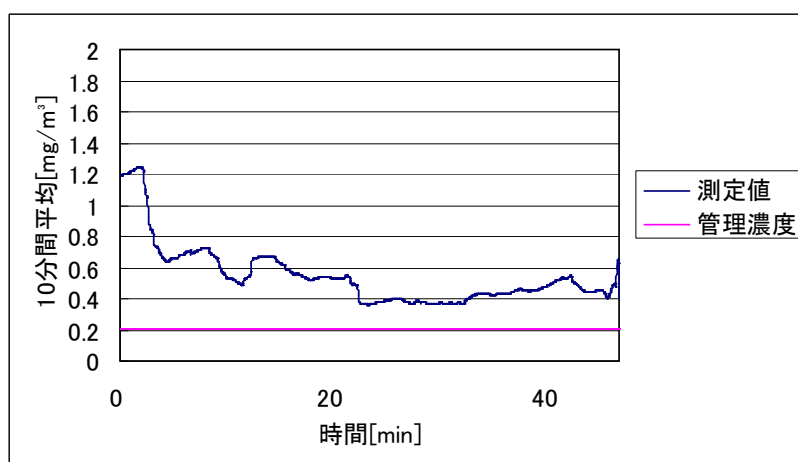


図 4.55 作業場 H における半自動造形作業者 2、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

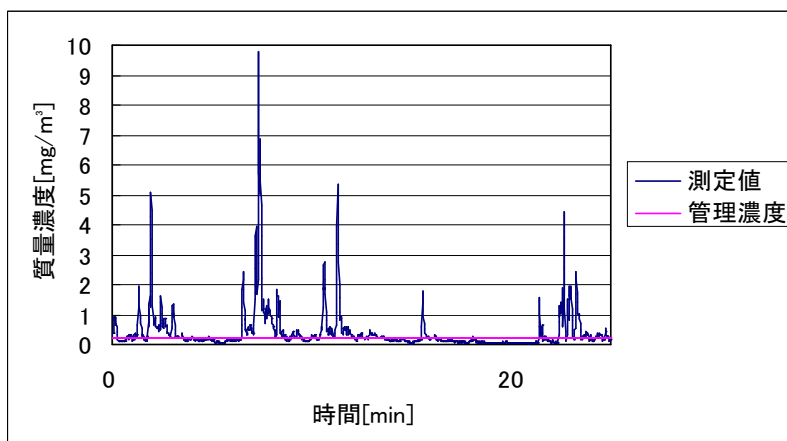


図 4.56 作業場 H における半自動造形作業者 2、2 回目の粉じんばく露濃度変動

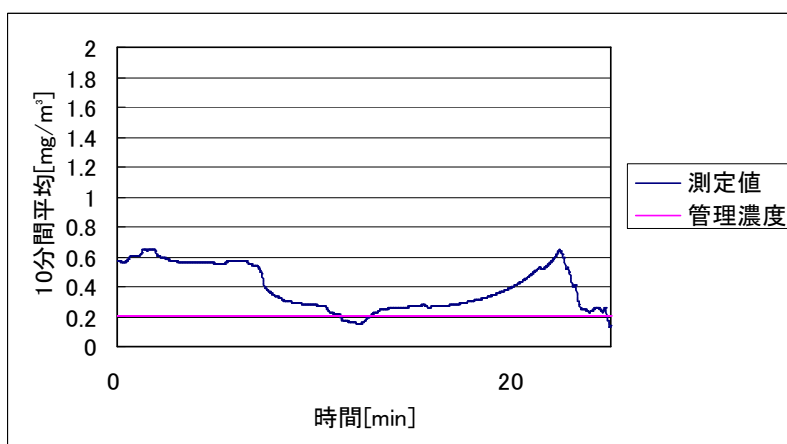


図 4.57 作業場 H における半自動造形作業者 2、2 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

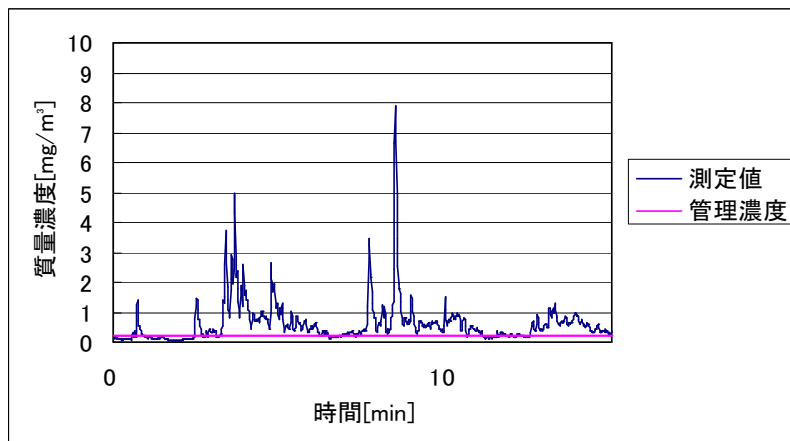


図 4.58 作業場 H における半自動造形作業者 2、3 回目の粉じんばく露濃度変動

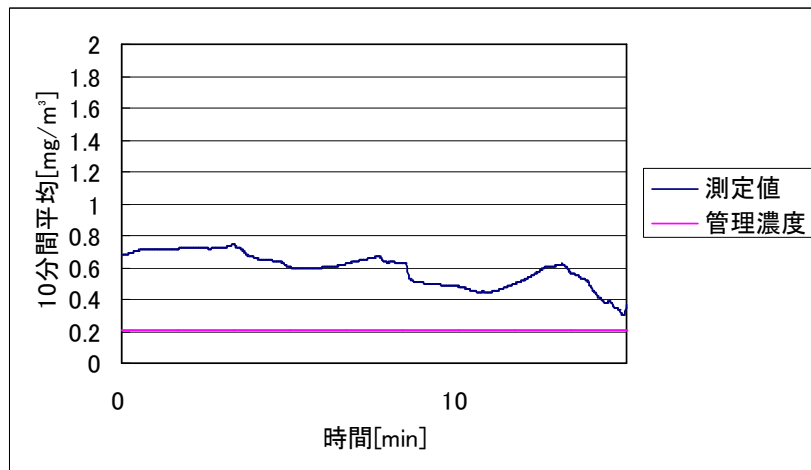


図 4.59 作業場 H における半自動造形作業者 2、3 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

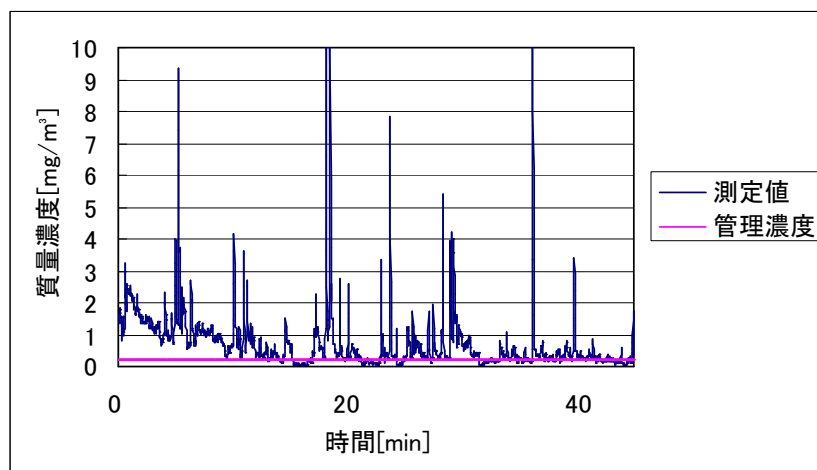


図 4.60 作業場 H における半自動造形作業者 2、4 回目の粉じんばく露濃度変動

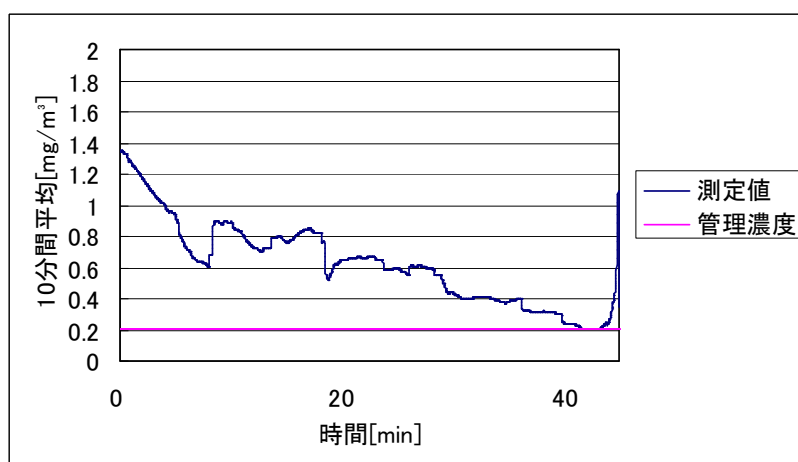


図 4.61 作業場 H における半自動造形作業 2、4 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.2(b) 作業場 I における砂型造形作業

作業場 I の概略図を図 4.62 に示す。また、作業場 I における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.17 に、環境濃度の測定結果を表 4.18 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 4.63～図 4.70 にそれぞれ示す。

なお、作業 2、1 回目について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超過しているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 17.8% であり、管理濃度は $0.14[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

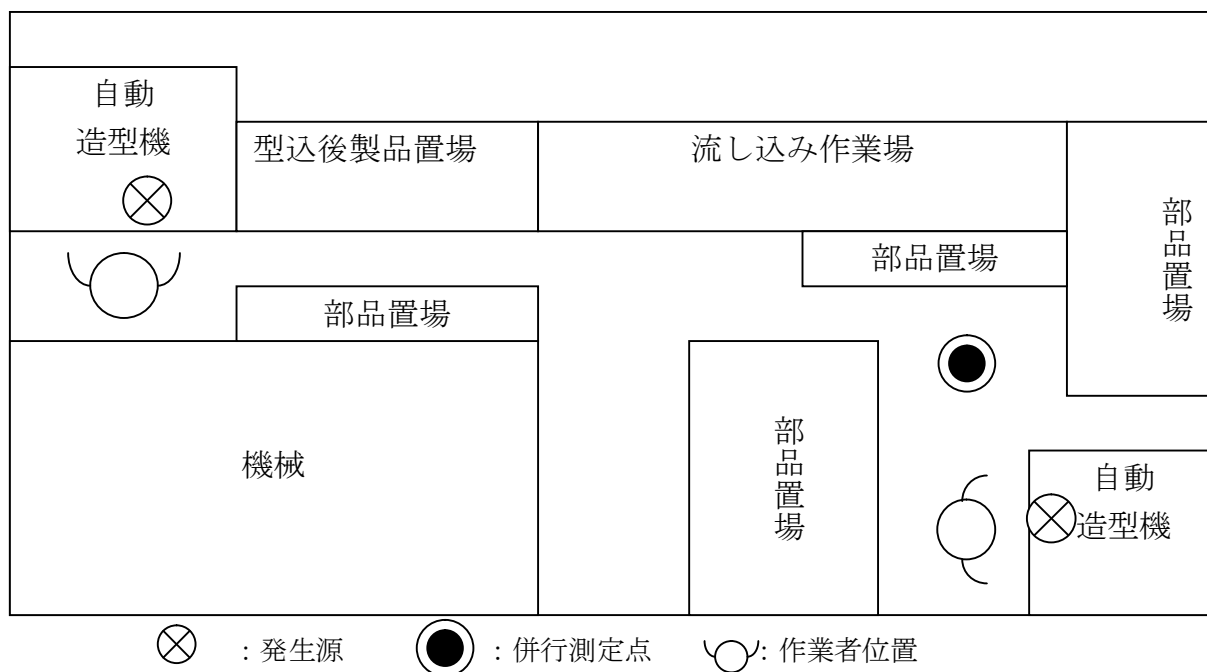


図 4.62 作業場 I の概略図

表 4.17 粉じん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○)
作業者 1、1 回目	0.18	0.14	○
作業者 1、2 回目	0.66	0.14	○
作業者 2、1 回目	0.13	0.14	○*
作業者 2、2 回目	0.23	0.14	○

注 ○* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っているので、管理濃度を超えていると判断した事例

表 4.18 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
131	0.55	0.21	156	0.0013

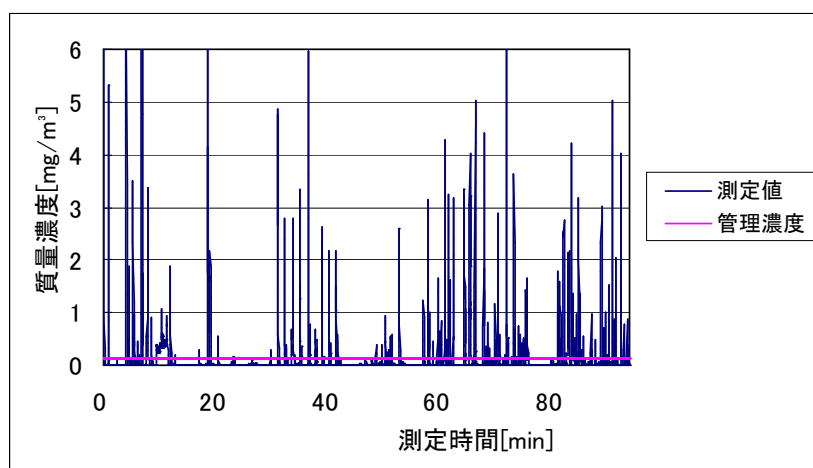
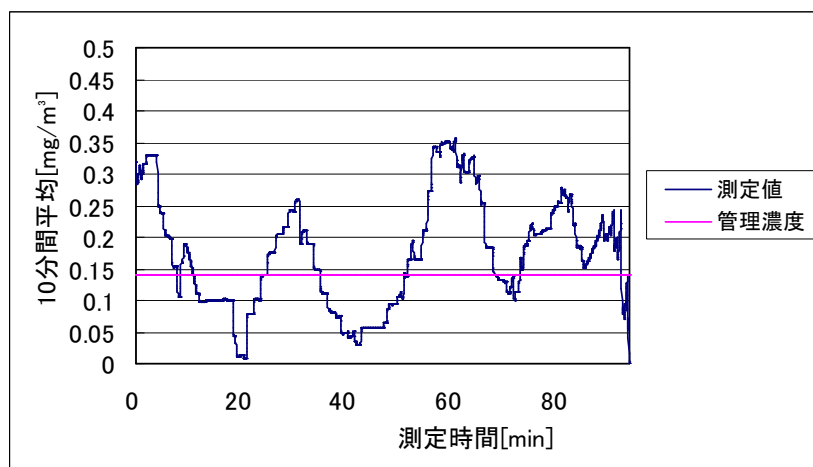


図 4.63 作業場 I における半自動造形作業者 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動

図 4.64 作業場 I における半自動造形作業者 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

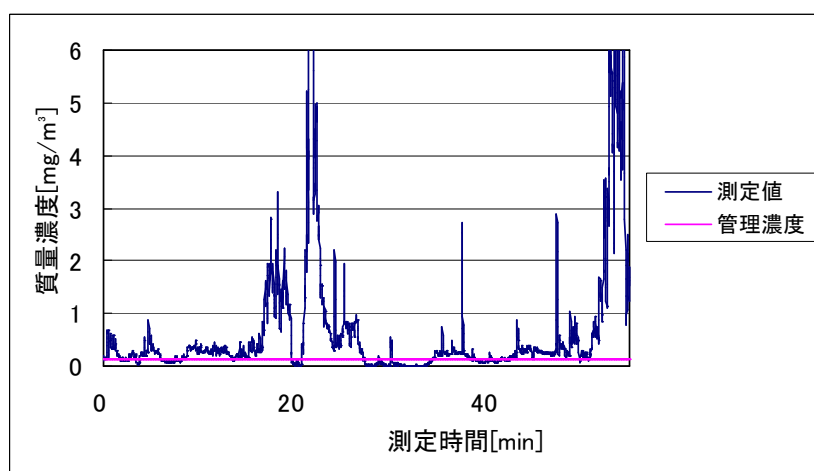


図 4.65 作業場 I における半自動造形作業者 2、1 回目の粉じんばく露濃度変動

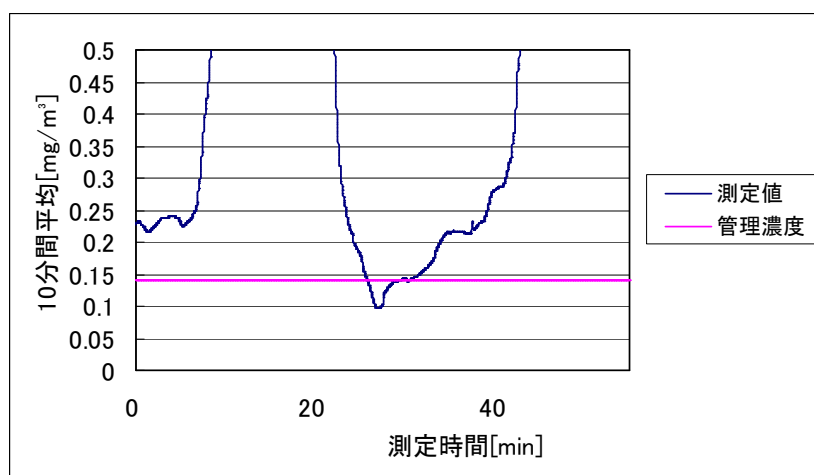


図 4.66 作業場 I における半自動造形作業者 2、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

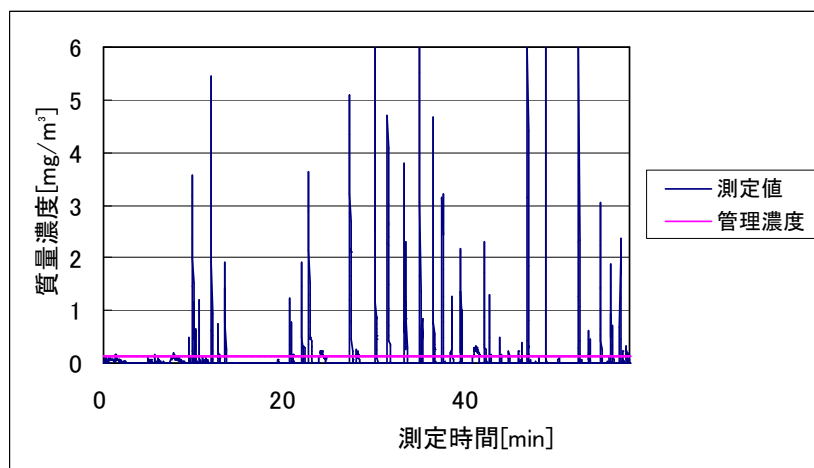


図 4.67 作業場 I における半自動造形作業者 1、2 回目の粉じんばく露濃度変動

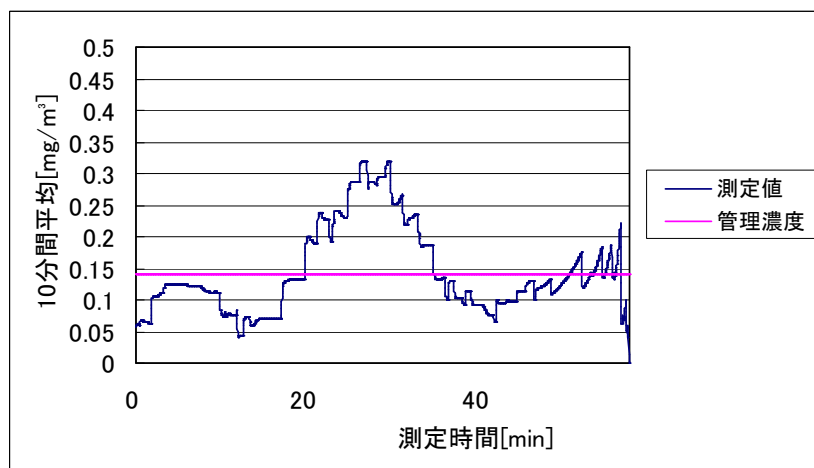


図 4.68 作業場 I における半自動造形作業者 1、2 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

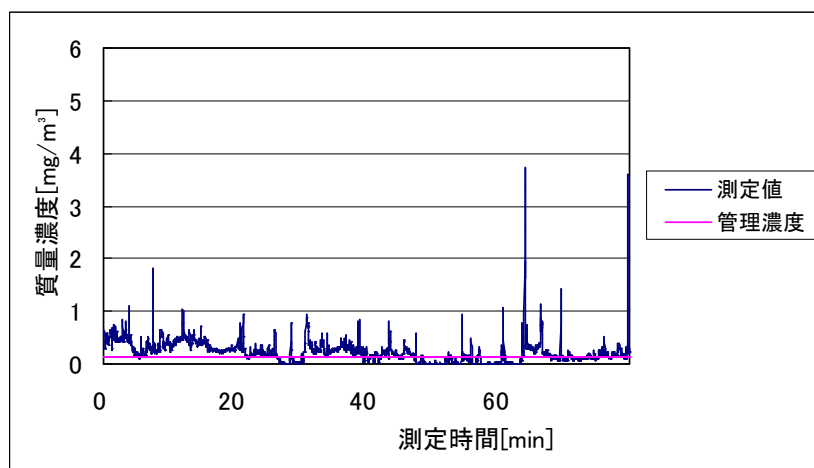


図 4.69 作業場 I における半自動造形作業者 2、2 回目の粉じんばく露濃度変動

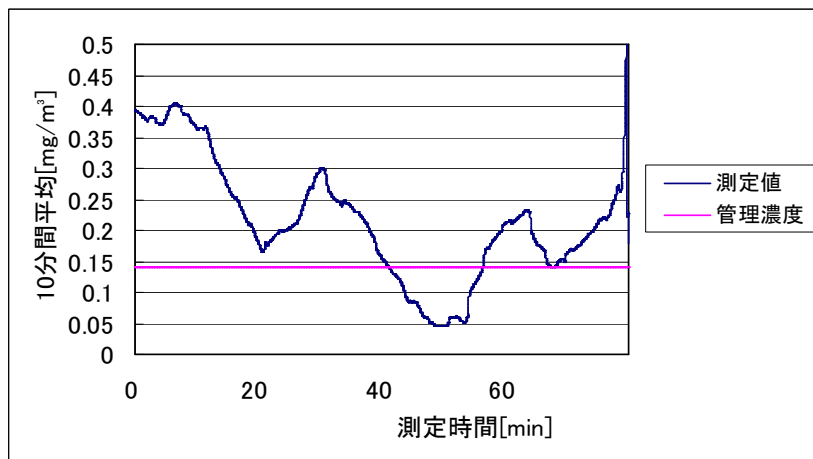


図 4.70 作業場 I における半自動造形作業 2、2 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.2(c) 作業場 J における砂型造形作業

作業場 J の概略図を図 4.71 に示す。また、作業場 J における砂型造形作業 1 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.19 に、環境濃度の測定結果を表 4.20 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 4.72～図 4.75 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 8.5%であり、管理濃度は 0.27[mg/m³]である。

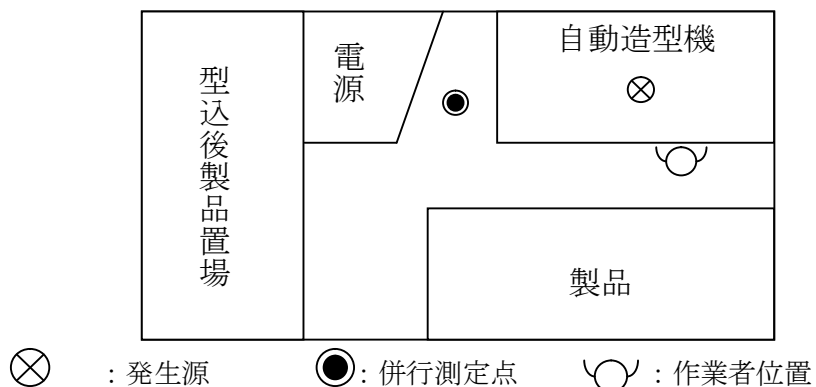


図 4.71 作業場 J の概略図

表 4.19 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m³]	管理濃度 [mg/m³]	管理濃度超え (超えれば○)
作業 1、1 回目	0.36	0.27	○
作業 1、2 回目	0.43	0.27	○

表 4.20 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m³/cpm]
76	0.40	0.26	208	0.0013

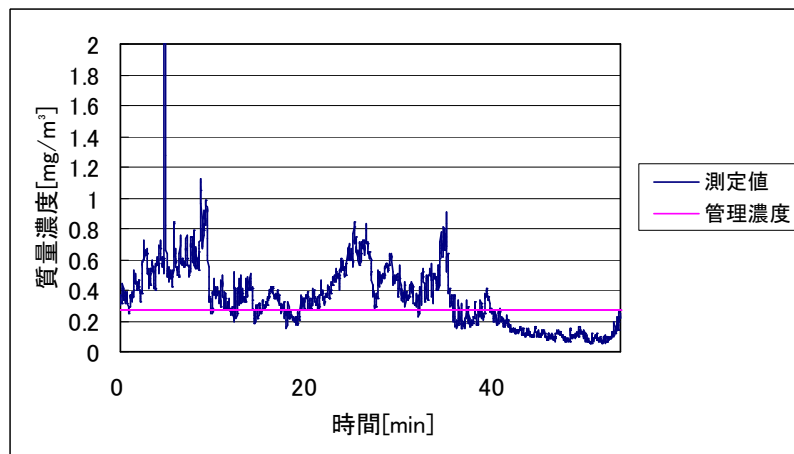


図 4.72 作業場 J における半自動造形作業 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動

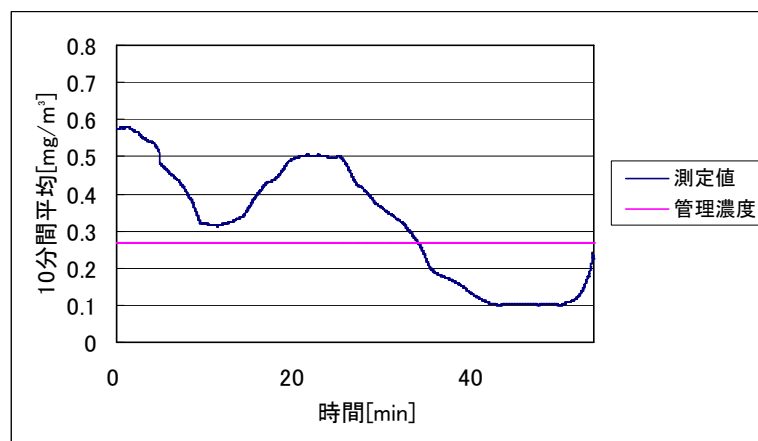


図 4.73 作業場 J における半自動造形作業 1、1 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

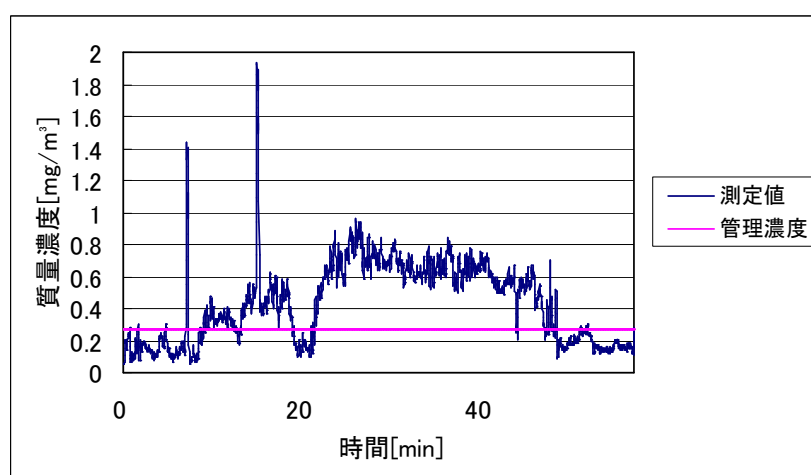


図 4.74 作業場 J における半自動造形作業 1、2 回目の粉じんばく露濃度変動

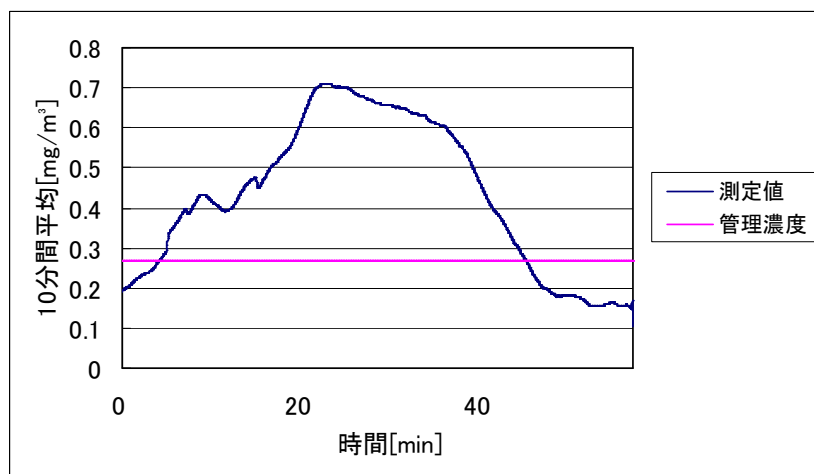
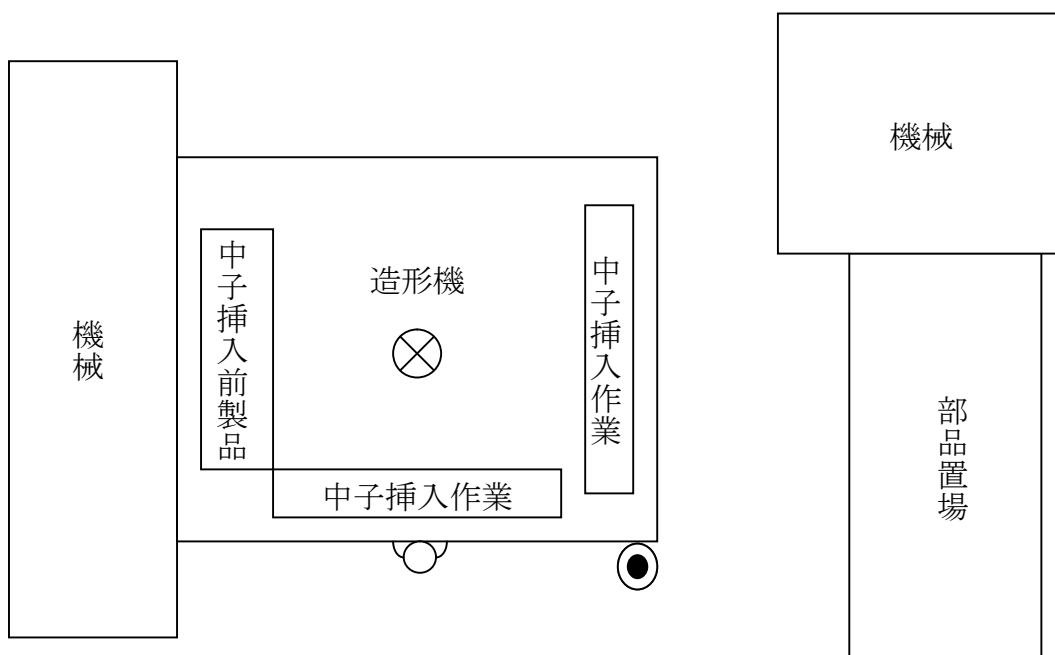


図 4.75 作業場 J における半自動造形作業 1、2 回目の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.2(d) 作業場 K における砂型造形作業

作業場 K の概略図を図 4.76 に示す。また、作業場 K における砂型造形作業 1 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.21 に、環境濃度の測定結果を表 4.22 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 4.77、図 4.78 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 17.6% であり、管理濃度は $0.14[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。



⊗ : 発生源 ⊙: 併行測定点 ○: 作業者位置

図 4.76 作業場 K の概略図

表 4.21 粉じん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○)
作業者 1	0.04	0.14	×

表 4.22 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
110	0.09	0.04	3.0	0.0131

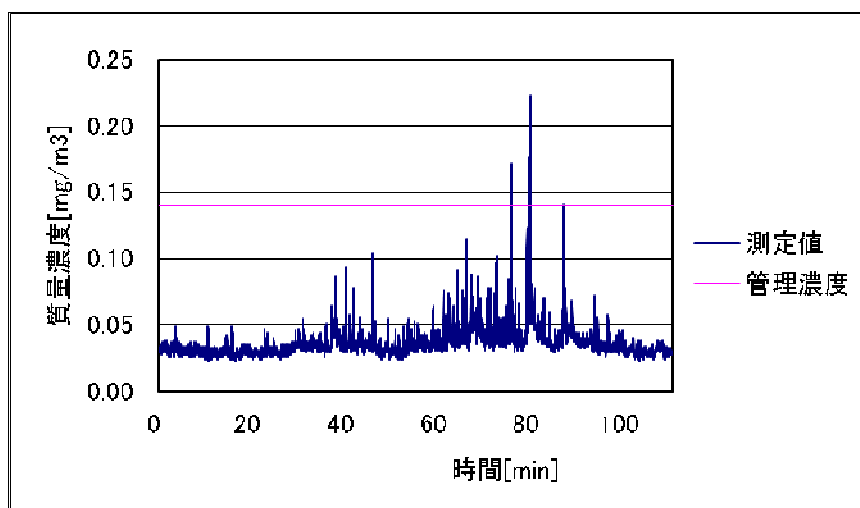


図 4.77 作業場 K における半自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

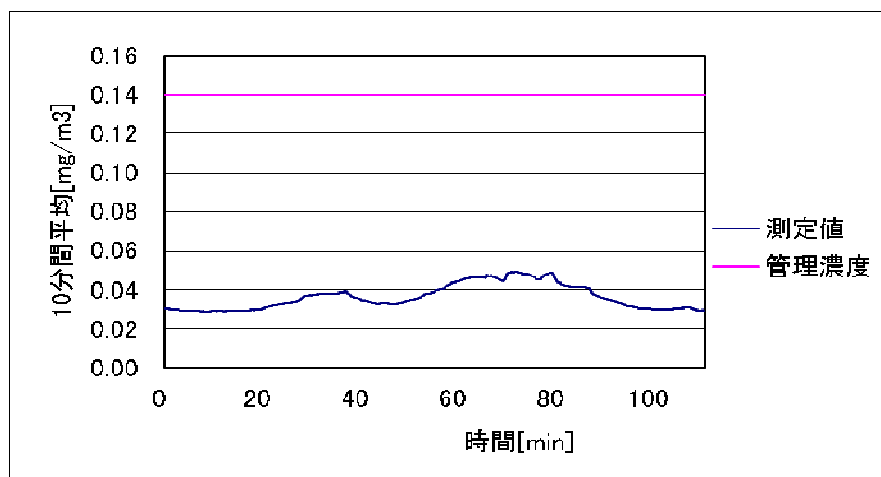


図 4.78 作業場 K における半自動造形作業 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.2(e) 作業場 L における砂型造形作業

作業場 L の概略図を図 4.79 に示す。また、作業場 L における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.23 に、環境濃度の測定結果を表 4.24 に示す。ただし、測定中に LD-5 に不具合が生じたため、相対濃度及び K 値に関しては求めることができなかった。ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 4.80～図 4.83 にそれぞれ示す。また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0%であり、管理濃度は 0.90[mg/m³]である。

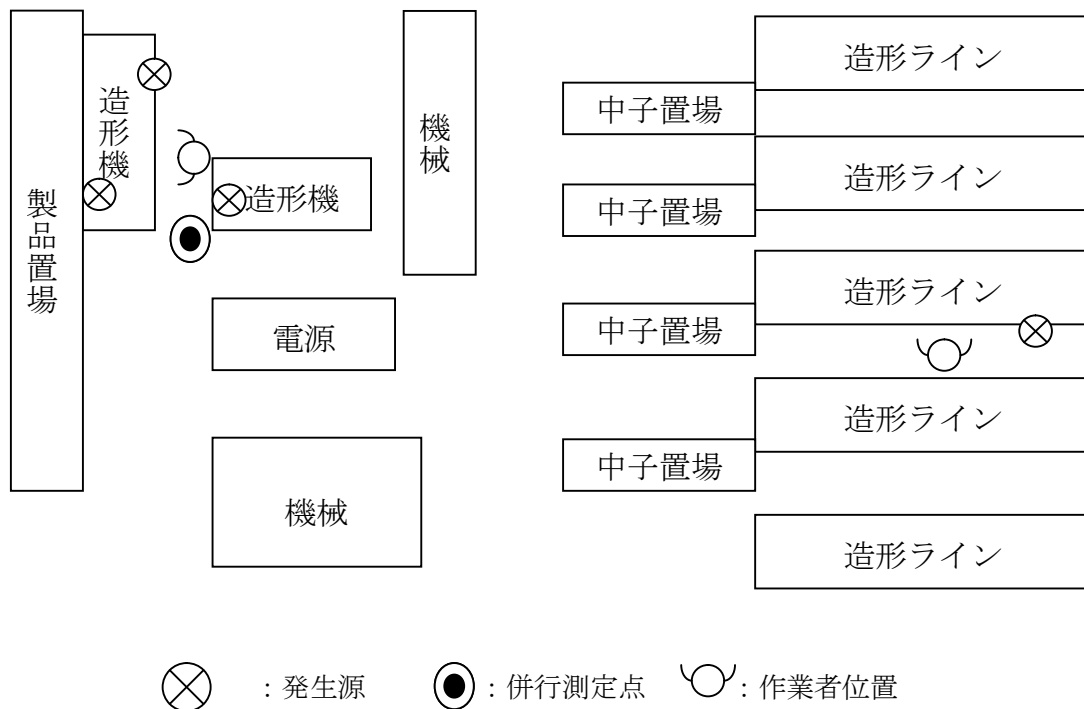


図 4.79 作業場 L の概略図

表 4.23 粉じん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○)
作業者 1	2.19	0.90	○
作業者 2	2.33	0.90	○

表 4.24 環境測濃度定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
111	1.81	0.82	N.D.	N.D.

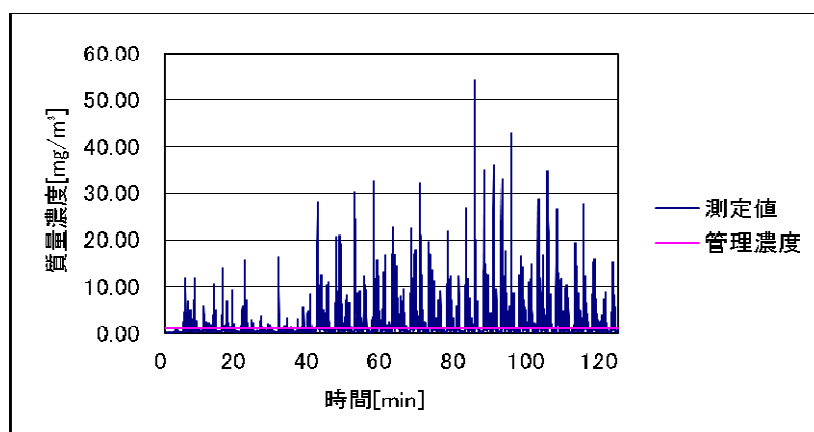


図 4.80 作業場 L における半自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

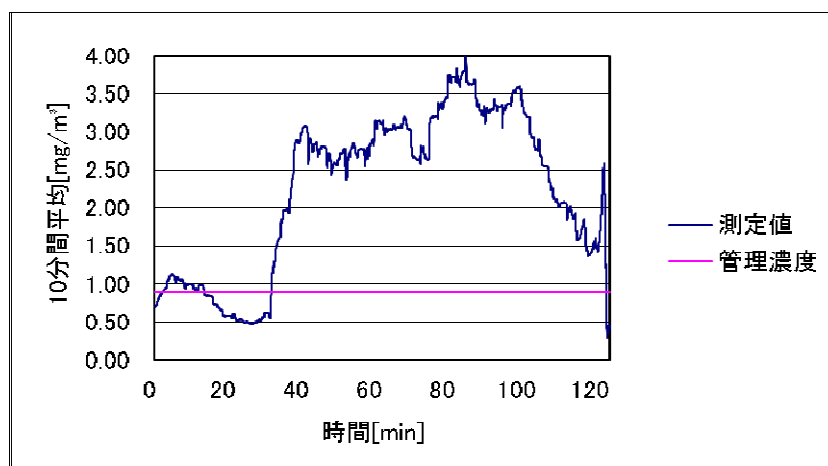


図 4.81 作業場 L における半自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

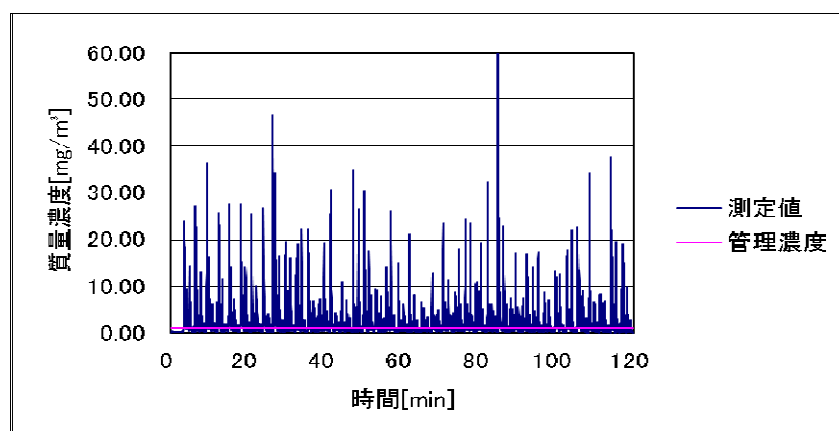


図 4.82 作業場 L における半自動造形作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

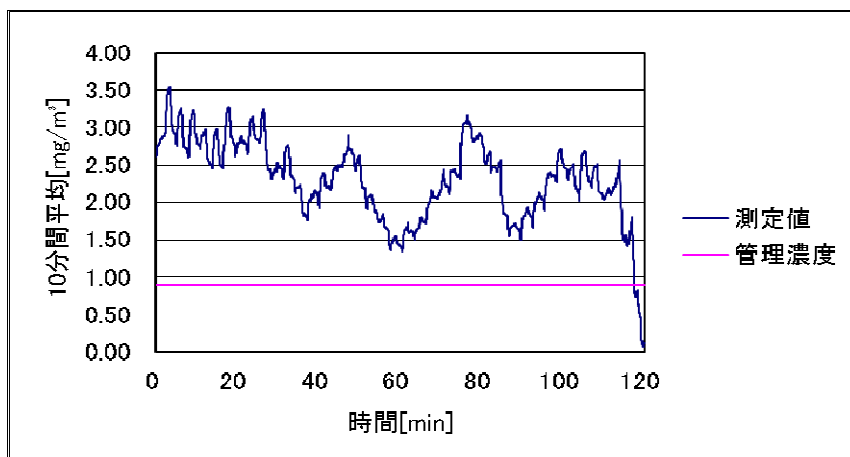


図 4.83 作業場 L における半自動造形作業 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.2(f) 作業場 M における砂型造形作業

作業場 M の概略図を図 4.84 に示す。また、作業場 M における砂型造形作業 1 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.25 に示す。なお、今回は環境濃度測定が行えなかったため、ばく露測定の結果のみ示す。また、ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 4.85、図 4.86 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 7.7% であり、管理濃度は $0.30[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

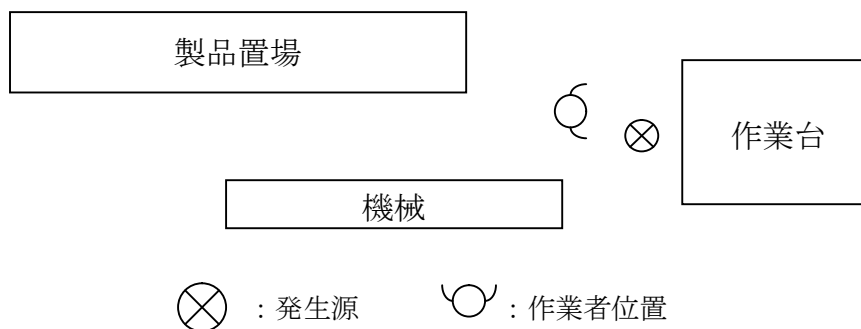


図 4.84 作業場 M の概略図

表 4.25 粉じん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○)
作業 1	0.35	0.30	○

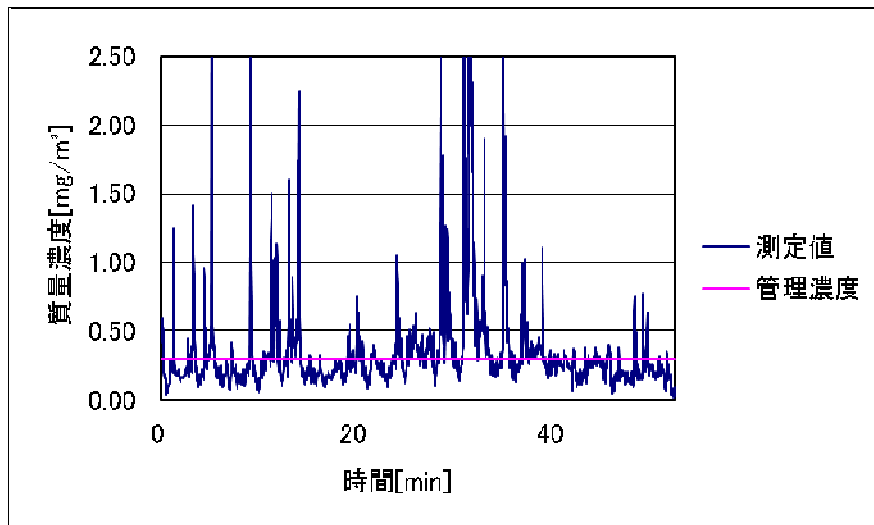


図 4.85 作業場 M における半自動造形作業 1 の粉じんばく露濃度変動

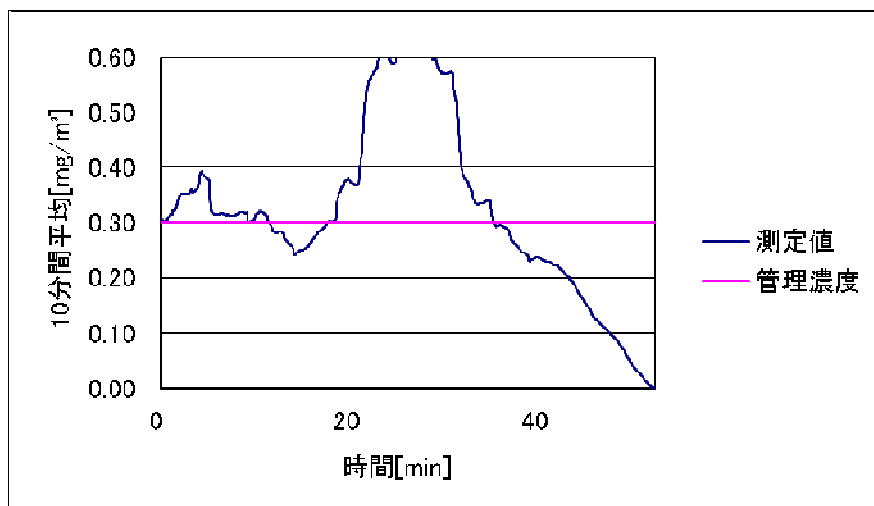


図 4.86 作業場 M における半自動造形作業 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.3 自動造型作業

4.3(a) 作業場 N における砂型造形作業

作業場 N の概略図を図 4.87 に示す。また、作業場 N における砂型造形作業 1～作業 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.26 に、環境濃度の測定結果を表 4.27 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 4.88～図 4.91 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 14.4%であり、管理濃度は $0.17[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

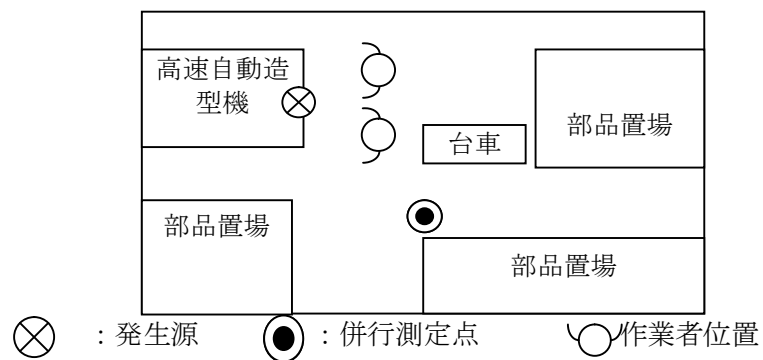


図 4.87 作業場 N の概略図

表 4.26 粉じん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○)
作業者 1	0.58	0.17	○
作業者 2	0.77	0.17	○

表 4.27 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
191	1.08	0.28	59	0.0048

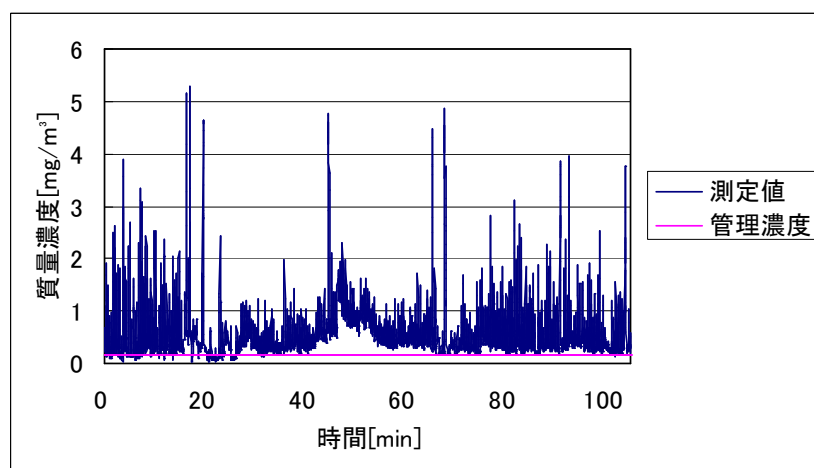


図 4.88 作業場 N における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

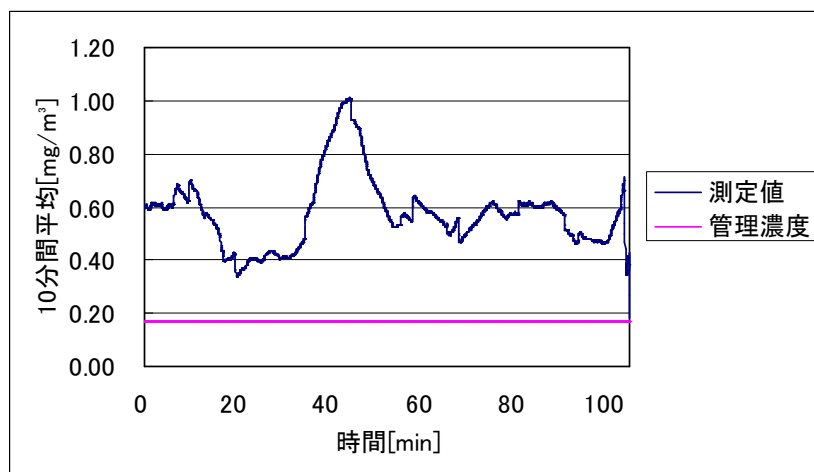


図 4.89 作業場 N における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

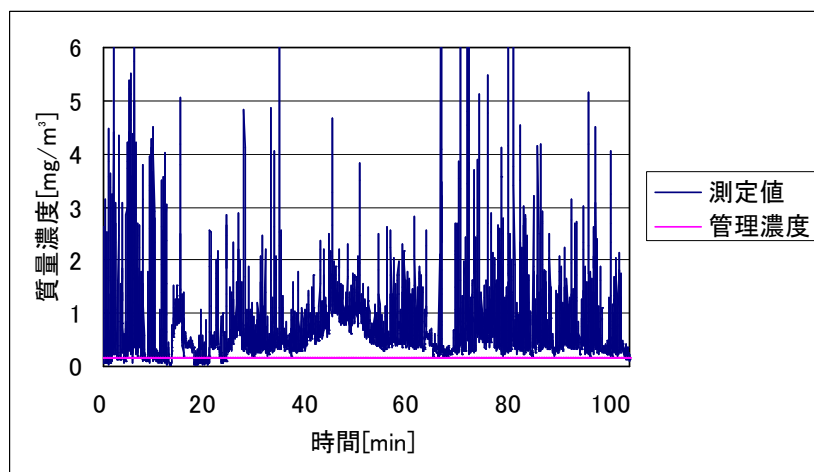


図 4.90 作業場 N における自動造形作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

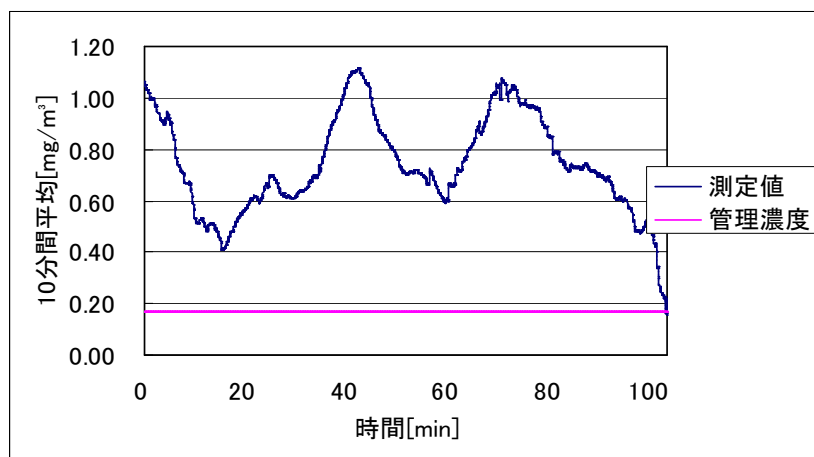


図 4.91 作業場 N における自動造形作業者 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.3(b) 作業場 O における砂型造形作業

作業場 O の概略図を図 4.92 に示す。また、作業場 O における砂型造形作業 1～作業 3 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.28 に、環境濃度の測定結果を表 4.29 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 4.93～図 4.98 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 9.4%であり、管理濃度は 0.25[mg/m³]である。

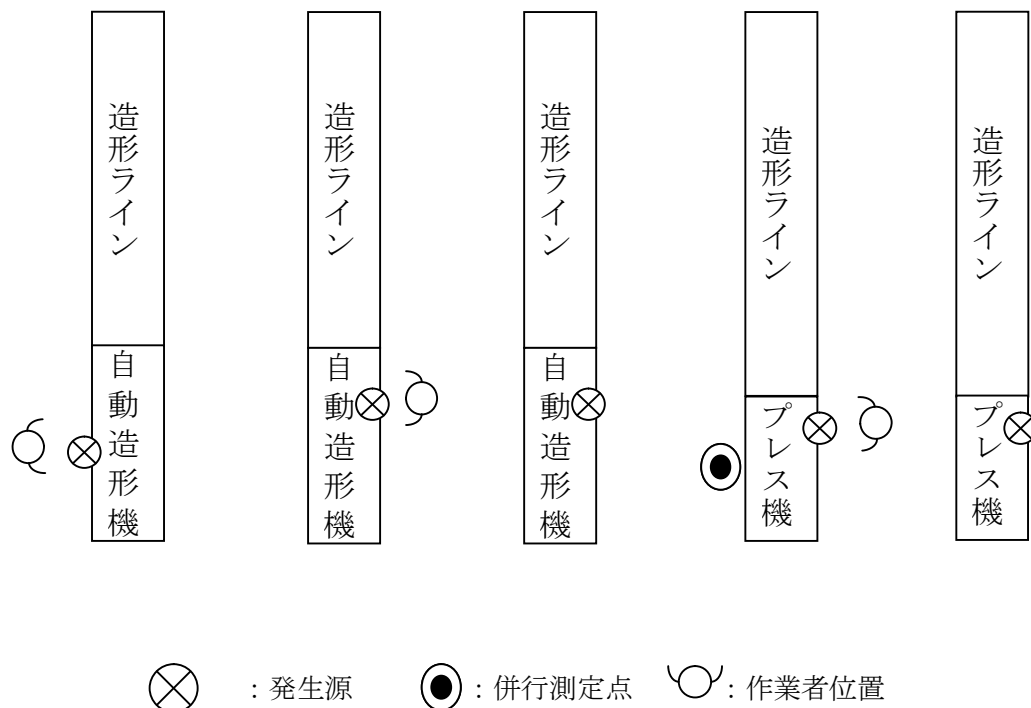


図 4.92 作業場 O の概略図

表 4.28 粉じん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○)
作業 1	0.28	0.25	○
作業 2	0.10	0.25	×
作業 3	0.96	0.25	○

4.29 環境測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
173	0.37	0.11	42	0.0025

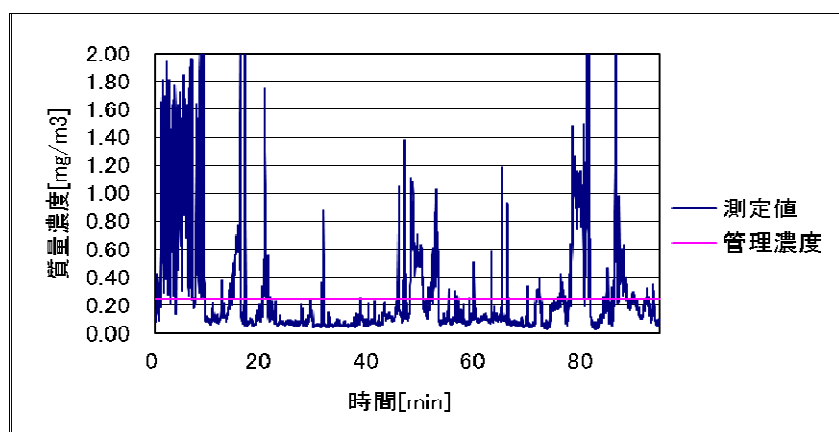


図 4.93 作業場 O における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

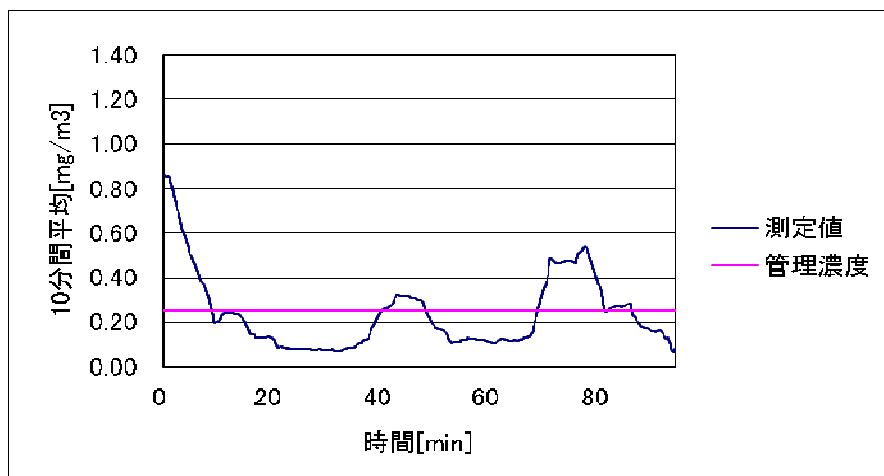


図 4.94 作業場 O における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

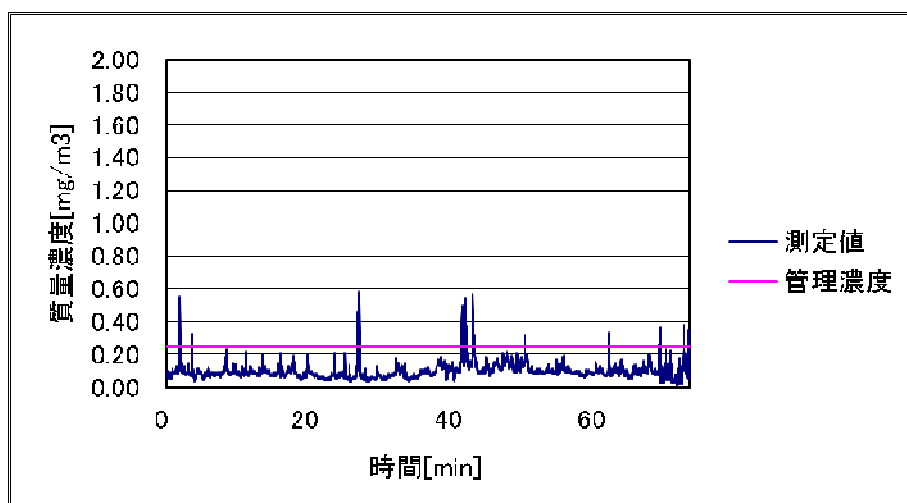


図 4.95 作業場 O における自動造形作業者 2 の粉じんばく露濃度変動

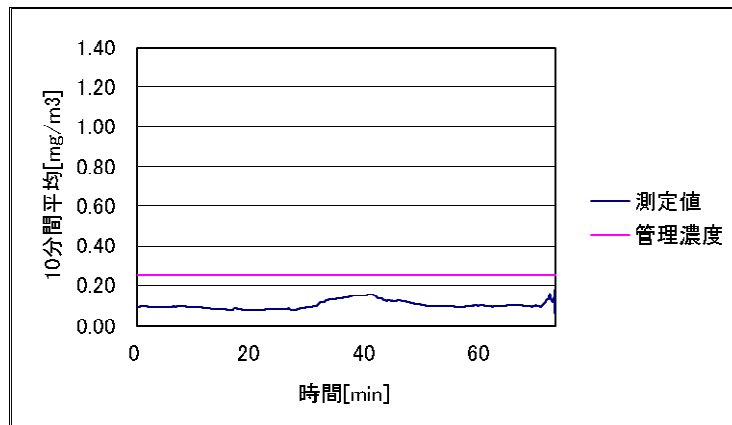


図 4.96 作業場 O における自動造形作業者 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

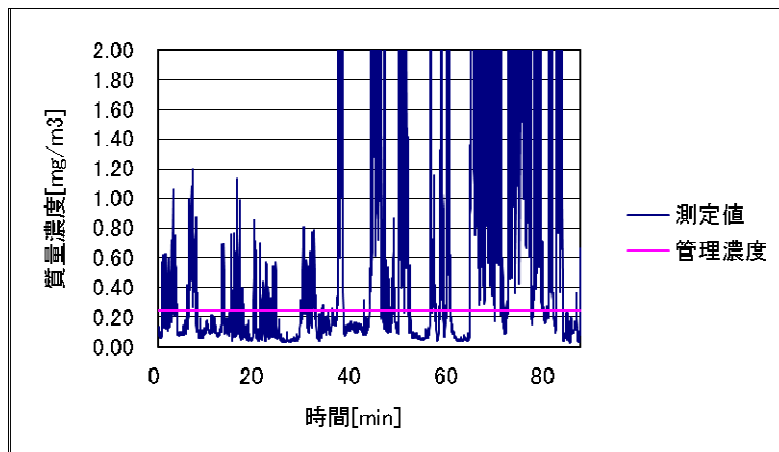


図 4.97 作業場 O における自動造形作業者 3 の粉じんばく露濃度変動

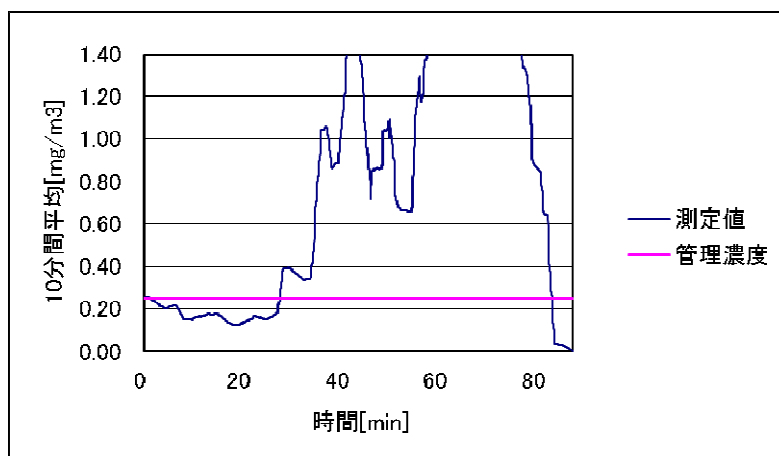


図 4.98 作業場 O における自動造形作業者 3 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.3(c) 作業場 P における砂型造形作業

作業場 P の概略図を図 4.99 に示す。また、作業場 P における砂型造形作業の作業員 1 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.30 に、環境濃度の測定結果を表 4.31 に示す。ただし、測定中に LD-5 に不具合が生じたため、相対濃度及び K 値に関しては求めることができなかった。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 4.100、図 4.101 にそれぞれ示す。なお、作業員 1 について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超えているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 17.3%であり、管理濃度は 0.14[mg/m³]である。

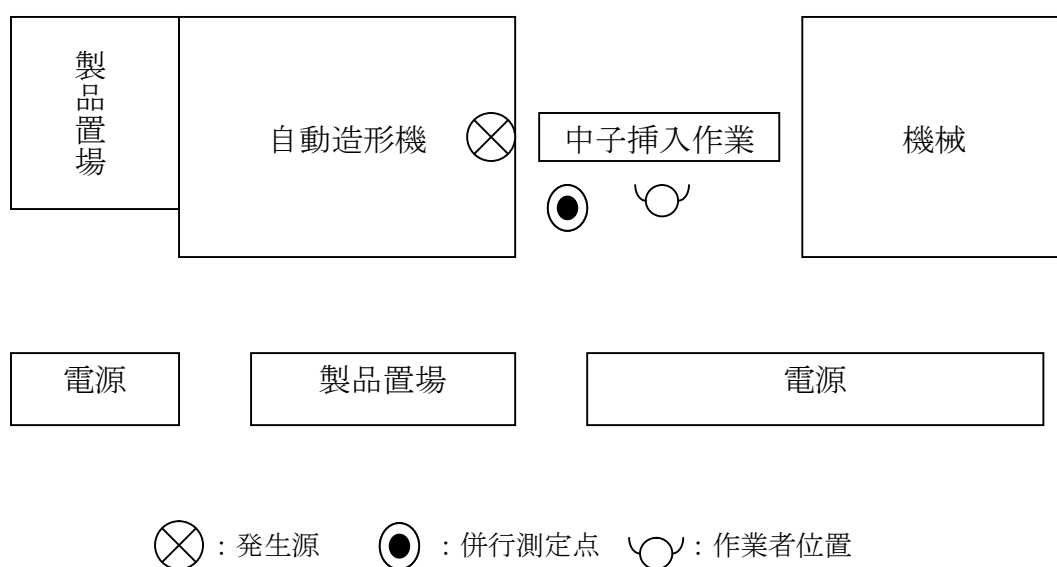


図 4.99 作業場 P の概略図

表 4.30 粉じん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○)
作業員 1	0.12	0.14	○*

注○* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っているため、管理濃度を
超えていると判断した事例

表 4.31 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
122	0.66	0.27	N.D.	N.D.

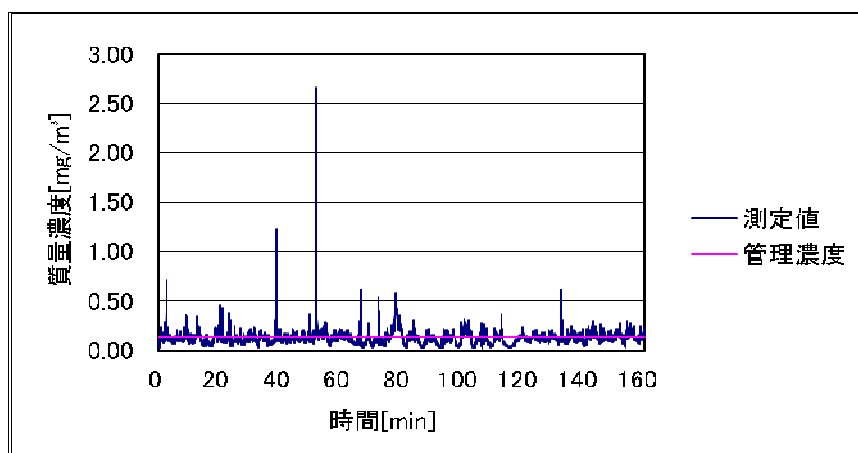


図 4.100 作業場 P における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

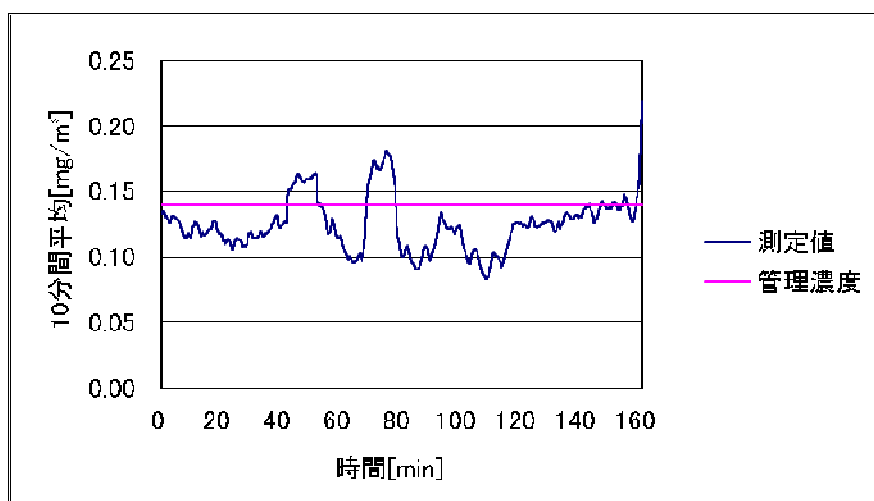
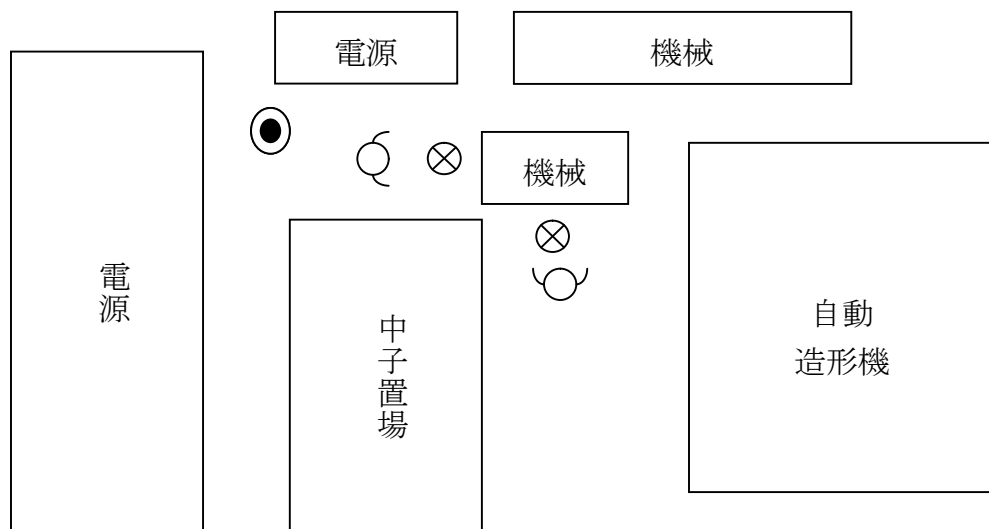


図 4.101 作業場 P における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.3(d) 作業場 Q における砂型造形作業

作業場 Q の概略図を図 4.102 に示す。また、作業場 Q における砂型造形作業者 1～作業者 2 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.32 に、環境濃度の測定結果を表 4.33 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 4.103～図 4.106 にそれぞれ示す。なお、図 4.105、図 4.106 においては、1 秒ごとの測定値でなく 1 分間ごとの測定値を用いている。また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 15.0%であり、管理濃度は $0.16[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。



⊗ : 発生源 ● : 併行測定点 ⌢ : 作業者位置

図 4.102 作業場 Q の概略図

表 4.32 粉じん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○)
作業者 1	0.05	0.16	×
作業者 2	0.04	0.16	×

表 4.33 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
166	0.12	0.04	39	0.0009

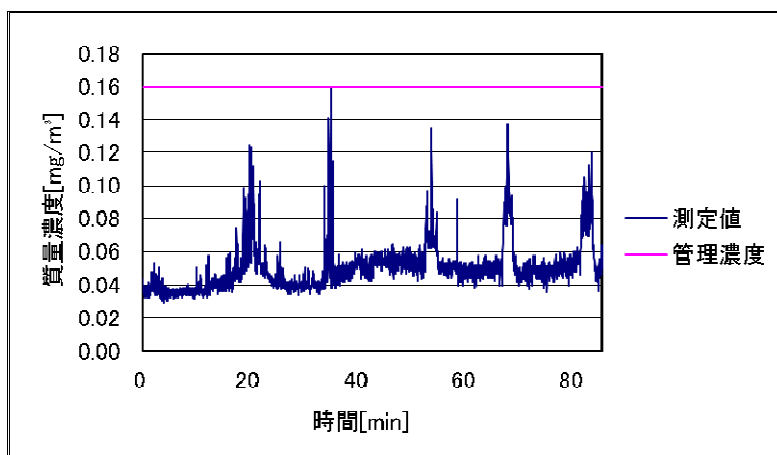


図 4.103 作業場 Q における自動造形作業 1 の粉じんばく露濃度変動

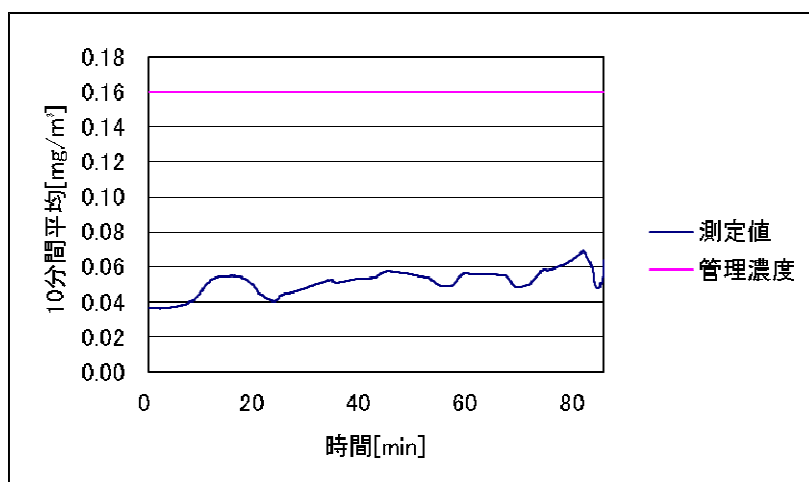


図 4.104 作業場 Q における自動造形作業 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

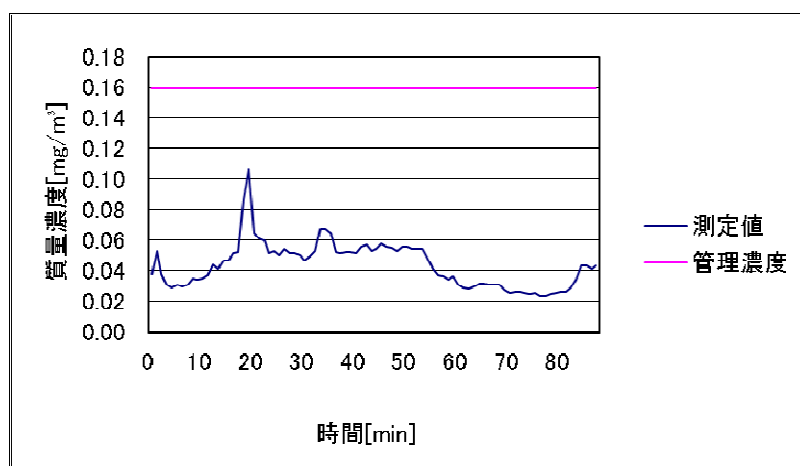


図 4.105 作業場 Q における自動造形作業 2 の粉じんばく露濃度変動

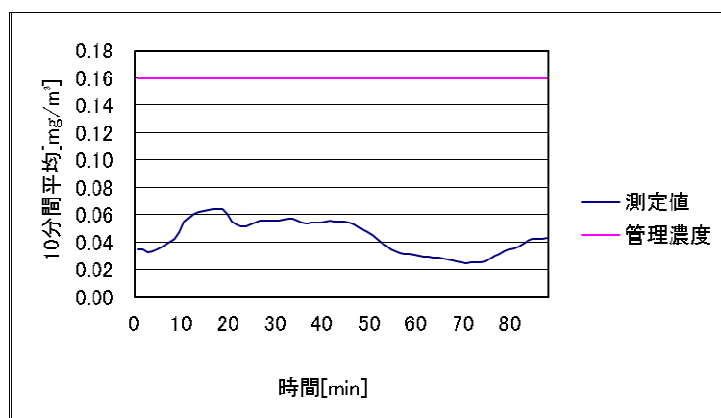


図 4.106 作業場 Q における自動造形作業 2 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.3(e) 作業場 R における砂型造形作業

作業場 R の概略図を図 4.107 に示す。また、作業場 R における砂型造形作業 1 の粉じんばく露濃度測定結果を表 4.34 に、環境濃度の測定結果を表 4.35 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 4.108、図 4.109 にそれぞれ示す。

なお、作業 1 について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超えているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 8.1%であり、管理濃度は $0.28[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

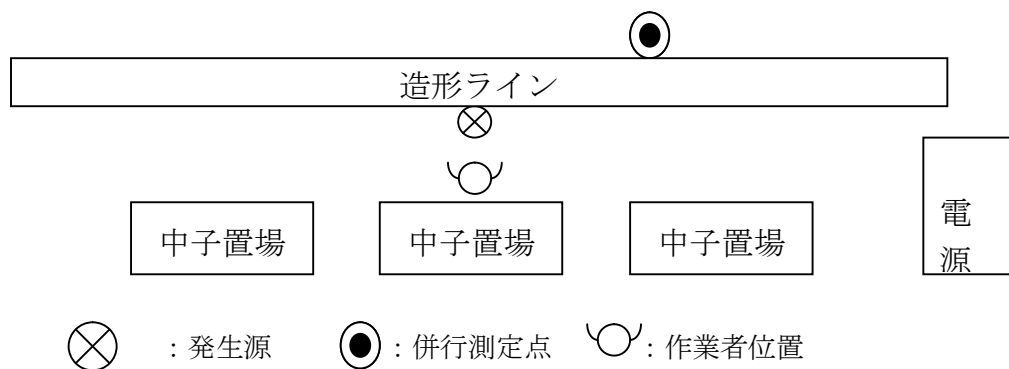


図 4.107 作業場 R の概略図

表 4.34 粉じん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○)
作業 1	0.25	0.28	○*

注○* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超えていると判断した事例

表 4.35 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m ³]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m ³ /cpm]
112	0.77	0.34	161	0.0021

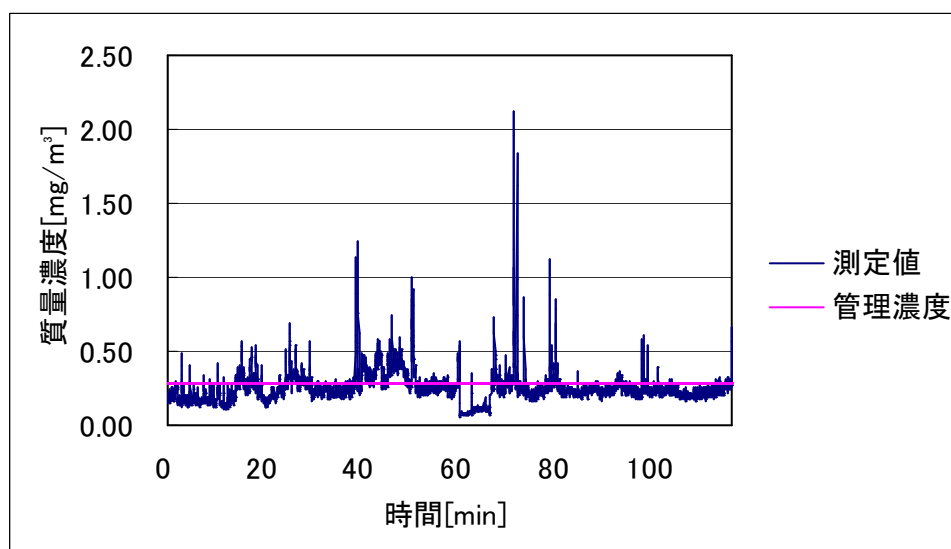


図 4.108 作業場 R における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動

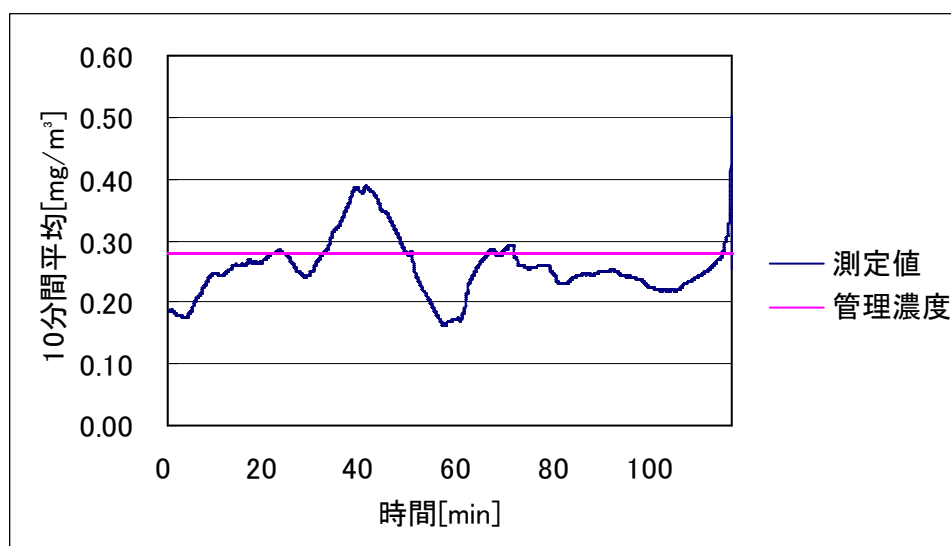


図 4.109 作業場 R における自動造形作業者 1 の粉じんばく露濃度変動
(10 分間移動平均値)

4.4 まとめ

本調査で行った砂型造形作業時のばく露濃度測定結果を表 4.36 に示す。

表 4.36 砂型造形作業時の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業内容	幾何平均 [mg/m ³] (幾何標準偏差)	濃度範囲	管理濃度 [mg/m ³]	管理濃度 超えの割合	
手込み作業	0.97 (1.09)	4.23~0.08	0.12~0.89	81%	17/21
半自動造形作業	0.69 (0.98)	2.33~0.04	0.14~0.90	93%	14/15
自動造型作業	0.36 (0.88)	0.96~0.04	0.14~0.28	67%	6/9

1) 手込み作業

本研究での、手込み作業は、表 4.36 に示すように 81%(17/21 作業)の作業で管理濃度を超えており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超えなかった作業場では、使用している鋳物砂が適度の水分を保水できる特殊な構造の鋳物砂のために環境中への飛散があまり認められなかった。この鋳物砂に関しては、特許等の関係で詳細を知ることは出来なかった。それ以外の作業場では、使用している鋳物砂の遊離けい酸含有率が低い鋳物砂を用いていた。これらの工夫により、作業者のばく露濃度を低く押さえることや管理濃度を高くすることは、有効な対策の一つと考えられる。

2) 半自動造形作業

本研究での、半自動造形作業は、表 4.36 に示すように 93%(14/15 作業)の作業で管理濃度を超えており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超えなかった作業場では、堆積粉じんの除去を定期的に行ったり、砂を扱う場所以外には砂が舞わないよう砂を扱う場所周辺を防じん板等で囲んだりしていた。これらの工夫により、作業者のばく露量は低くなっていることから、このような対策も有効であると考えられる。

3) 自動造型作業

本研究での、自動造形作業は、表 4.36 に示すように 67%(6/9 作業)の作業で管理濃度を超えており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超えなかった作業場では、堆積粉じんの除去を定期的に行い、堆積粉じんがほとんど見られなかった。また、鋳物砂の遊離けい酸含有率を低くすることで管理濃度を高くする対策が取られていた。遊離けい酸含有率の低い鋳物砂を使用すると、鋳物製品の不良を起こす要因の一つになることもあり、高度な技術が要求されるので、一般の鋳物工場ではなかなか実行できない対策である。

5 結論

砂型造形作業場として、手込め作業、半自動造形作業及び自動造型作業を行っている 18 事業場で 45 の造形作業の個人ばく露濃度測定を行った。作業によりばく露量の幾何平均値には差がみられるものの、作業方法によらずほとんどの作業でばく露濃度の 10 分間平均値が管理濃度を上回っていることが明らかとなった。

現在、鋳物工場における砂型造型作業は、粉じん則で粉じん作業に指定されていないが、本研究で現場調査を行い、新たに粉じん作業に指定すべきか検証した結果、ほとんど全ての砂型造型作業で管理濃度を超過していることが明らかになったので、粉じん則を改正し、「粉じん作業」とし、種々の衛生工学的な対策を講じることが適切な措置と考える。

さらに、砂型造型作業は、手込め作業に代表される様に作業者の呼吸域上部の鋳物砂供給用落とし口から、鋳物砂を作業者の手元の鋳型枠に落とすため、作業者の呼吸域を鋳物砂が落下するので、粉じんに曝露する機会が多い作業である。しかし、砂型造型作業は、外付け式フード等の局所排気装置を用いた防じん対策が困難な作業と考えられるので、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第三の作業にすることが適切な措置と考える。

また、鋳物工場での砂型造形作業以外の、鋳物工場の製造作業（鋳込み作業、型ばらし作業、仕上げ 作業等）への常時従事者は、従前よりじん肺健康診断の受診が法令によって規定されていることもあり、砂型造形作業についてもじん肺健康診断を実施し、粉じん障害の早期発見に努めることが必要である。