

別添 1

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

石綿含有建材の解体工事現場で作業する労働者の

石綿ばく露状況の評価に関する研究

平成 19 年度 総括研究報告書

社団法人 日本作業環境測定協会

平成 20 (2008) 年 3 月

目 次

I. 総括研究報告

石綿含有建材の解体工事現場で作業する労働者の

石綿ばく露状況の評価に関する研究	1
1. 現場調査	5
2. 繊維状粒子自動計測器による石綿濃度測定 of 検討	21
3. 石綿除去作業中の作業環境測定等におけるサンプリング上の問題点	26

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総括研究報告書

石綿含有建材の解体工事現場で作業する労働者の
石綿ばく露状況の評価に関する研究

主任研究者 小西 淑人 社団法人 日本作業環境測定協会 調査研究部部长

研究要旨：石綿は、不燃・耐熱性、絶縁性、耐薬品性等に優れた性質を持ち、しかも経済性に飛んでいるため、様々な製品に使用されている。国内における石綿の使用量の約80%は石綿スレート、石綿セメント板等の石綿含有建築材料として使用されている。これらの石綿含有建築材料は、そのままでは石綿粉じんを発散することはほとんどないが、施工にあたっての電動工具を用いた切断や、石綿含有建築材料が使用されている建築物の解体・改修等の作業においては石綿粉じんを発散し、これらの作業に従事する労働者の健康障害を引き起こすおそれがある。以前は、吹き付け石綿を使用している建築物の解体等の作業（特定粉じん排出等作業）については規制されていたが、石綿含有建築材料を使用した建築物の解体等に伴う石綿の飛散等については未規制であった。そこで、厚生労働省では「石綿障害予防規則」を制定し、平成17年7月より施行された。この中には、石綿含有建築材料を使用した建築物の解体・改修工事に係る事項についても盛り込まれている。本研究では、石綿含有建築材料を使用した建築物の解体・改修工事に伴う労働者について石綿ばく露濃度等の測定手法を検討するとともに、計測されたデータによる評価手法についても検討をする。

名古屋俊士：早稲田大学 理工学部
環境資源工学科、教授
富田 雅行：ニチアス株式会社 技術本部
環境管理室、室長
鈴木 治彦：社団法人日本作業環境測定協会
精度管理センター、係長
米山 玲児：社団法人日本作業環境測定協会
調査研究部
伊藤千賀子：社団法人日本作業環境測定協会
調査研究部

A. 研究目的

石綿粉じんによる健康障害の防止については、特定化学物質等障害予防規則（以下「特化則」という。）に定める措置および昭和51年5月22日付け基発第408号「石綿粉じんによる健康障害予防対策の推進について」等の通達により、その推進が図られてきた。わが国で産業用に使用されてきた主な石綿の種類は、蛇紋石系石綿（クリソタイル）と角せん石系石綿（クロシドライト、アモサイト）であるが、そのほとんど

は輸入されており、輸入量の95%はクリン
タイルが占めている。国内における石綿の
使用量の約80%は石綿スレート、石綿セメ
ント板等の石綿含有建築材料として使用さ
れているため、建設業においても、建築物
の解体または改修の工事における労働者等
の石綿粉じんへのばく露による健康障害の
防止のための対策が講じられてきた。石綿
含有建築材料は、そのままでは石綿粉じん
を発生することはほとんどないが、施工に
あたっての電動工具を用いた切断や、石綿
含有建築材料が使用されている建築物の解
体・改修等の作業においては石綿粉じんを
発生し、これらの作業に従事する労働者の
健康障害を引き起こすおそれがある。以前
は、吹き付け石綿を使用している建築物の
解体等の作業（特定粉じん排出等作業）に
ついては規制されていたが、石綿を含有す
る建築材料を使用した建築物の解体等に伴
う石綿の飛散等については未規制であった。
そこで、厚生労働省では平成17年2月に
「石綿障害予防規則」を制定し、同年7月
1日より施行した。この中には、石綿含有
建築材料を使用した建築物の解体・改修工
事に伴う労働者についての対策等が盛り込
まれており、当該労働者に対する健康障害
防止に関わる措置等が強化されている。

そこで、本研究では、これまでに従来の
石綿濃度測定方法の改善、即ち、環境空気
中に存在する繊維状粒子のうち、石綿繊維
のみを選別して測定できる方法について、
実用可能な手法を確立した。本方法により
石綿含有建築材料を使用した建築物の解
体・改修工事を行っている作業現場で測定
を実施するとともに、現場で短時間にアス
ベスト濃度の測定が可能なサンプリング装

置、リアルタイムに繊維状粒子を計数する
自動計測器についても検討を行った。

B. 研究方法

(1) 石綿の除去作業時に発生する対象物
質は、通常「石綿」であるが、石綿以外で
除去作業中に発生する測定対象物質として
「粉じん」が考えられる。特に成形板の場
合は、結晶質シリカが含まれていることが
多く、石綿除去作業中においては「粉じん」
についても着目する必要があると考えられ
る。そこで石綿除去作業中において「石綿」
と「粉じん」の両方を測定対象物質とし、
作業環境測定と個人ばく露濃度測定を実施
し、両者の評価結果を比較した。

①壁に吹き付け材が吹き付けてある建物の壁
を撤去する作業の現場調査

測定対象物質を「石綿」として、サンプ
リングポンプを使用し、定点測定を実施し
た。また、従来の個人ばく露濃度測定を実
施するとともに、ろ過捕集方法に相対濃度
計を接続して作業者の時間経過毎のばく露
状況が把握できるようなサンプリングを実
施し、総繊維数濃度を求めた。

②測定対象物質を「粉じん」として1点
でろ過捕集方法と相対濃度計による併行測
定を実施し、定点測定は相対濃度計を使用
して作業場内を計測した。

(2) 繊維状粒子自動計測器による石綿濃
度測定の実験調査の実施による検討

リアルタイムに繊維状粒子を計数する自
動計測器を2機種使用し、通常のPCM法
と比較検討を行った。

①F-1

②FS-1

C. 研究結果

(1) 壁に吹付け材が吹付けてある建物の壁を撤去する作業の現場調査

①測定対象物質を「石綿」として、サンプリングした場合の分析結果

同じ作業場所で2回実施したが、2回とも作業環境測定による管理区分が第3管理区分、個人ばく露濃度測定の結果も管理濃度(150(F/L))を超える結果であった。

②測定対象物質を「粉じん」として、サンプリングした場合の分析結果

2回とも作業環境測定による管理区分は、第1管理区分であったが、個人ばく露濃度測定結果においては、1回目が管理濃度

(3.0mg/m³)より低い結果であったが、2回目は、管理濃度を超える結果であった。

③作業者の時間経過毎のばく露状況が把握できるような結果の収集

PCM法により計測した総繊維数濃度と相対濃度計で1秒毎に記憶させたデータの総数の相対濃度の平均を算出し、総繊維数濃度変換係数(F/L/mg/m³)=総繊維数濃度/相対濃度を求めた。

サンプリング時間中の1秒後毎の相対濃度に総繊維数濃度変換係数を掛けて総繊維数濃度(F/L)を求めた。この係数を掛けることによって作業者の時間経過毎のばく露状況を把握することが可能になった。

また、作業中の作業内容をビデオに撮影することで、画像データと総繊維数濃度の関係は、PEDイメージングシステムを使用することで、画像中にリアルタイムの繊維数濃度の合成を行うことが可能になった。

(2) 繊維状粒子自動計測器による石綿濃度測定の実地調査の実施による検討

①F-1

PCM法との繊維数濃度関係は、平均値の値と比較するとF-1の数値の方が約35倍高めに示す傾向があった。

②FS-1

PCM法との繊維数濃度関係は、平均値の値と比較するとFS-1の数値の方が約1.6倍高めに示す傾向があった。

(3)石綿除去作業中の作業環境測定におけるサンプリング上の問題点

石綿除去作業中に石綿の飛散を防止する方法として、「散水」や「石綿飛散防止剤」を噴霧しながら作業をすることが有効な方法であるが、吹付け石綿を除去する工法として、鉄骨に吹付けられている石綿に高圧力の水をあてて剥離する「ウォータージェット工法」がある。

ウォータージェット工法による剥離作業は、水を噴射するノズルを使用し、水圧を利用して除去作業を行なう作業である。この工法の場合、作業者のタイベックに吹付け石綿が混ざった水しぶきを浴び、かなり激しく汚れ、地面は水浸しの状況であった。

① 作業者にサンプラーを装着する場合の問題点

この工法では作業者のタイベックに吹付け石綿が混ざった水しぶきを浴び、かなり激しく汚れるため、作業員へのサンプリング装置の装着は困難である。

② 定点測定する場合の問題点

作業員は、鉄骨に吹付けられた石綿に水を噴射しながら移動して剥離作業を行なう。このため定点での測定は、測定機器が水を被り測定自体が困難である。

D. 考察

今回研究の結果、吹付け材の除去作業中の測定方法としては、測定対象物質としては「石綿」を測定することが有効であることがわかった。ただし、石綿を測定する場合は、メンブランフィルターに粒子状物質が付着しすぎたり、繊維状粒子が多く付着しすぎた場合、計測誤差の原因になるため、サンプリング流量、時間を考慮してサンプリングする必要がある。結晶質シリカが含まれている成形板の場合は、「粉じん」として計測しても「石綿」と同様の管理区分が得られるのではないかと思われる。

繊維粒子自動計測器による結果とPCM法と結果の関係については、今回2機種ともPCM法と比較すると高い値が得られた。PCM法と比較すると安全側にシフトしている結果であったが、ある程度の濃度範囲にあるべきであると考えられる。このため、複数の機種を同時に使用して、実験室や、様々な現場で比較実験を実施して結果を確認する必要があるとともに、自動計測器のメンテナンスやキャリブレーションについても検討する必要があると思われる。

現場調査の目的

石綿の除去作業時に発生する対象物質は、通常「石綿」であるが、石綿以外で除去作業中に発生する測定対象物質として「粉じん」が考えられる。特に成形板の場合は、結晶質シリカが含まれていることが多く、石綿除去作業中においては「粉じん」についても着目する必要があると考えられる。そこで石綿除去作業中において「石綿」と「粉じん」の両方を測定対象物質として、作業環境測定と個人ばく露濃度測定を実施し、両者の評価結果を比較した。

1. 作業概要

壁に吹付け材が吹付けてある建物の壁を撤去する作業である。作業者は電動式ケレン棒またはケレン棒を使用して外壁を取り壊していく作業であった。作業者は2名で1名が除去作業で、もう1名は石綿の飛散を防止するために水を噴霧する作業と落下した吹付け石綿を袋詰めする作業を実施していた。作業場の概要を写真1～写真6に示した。



写真1

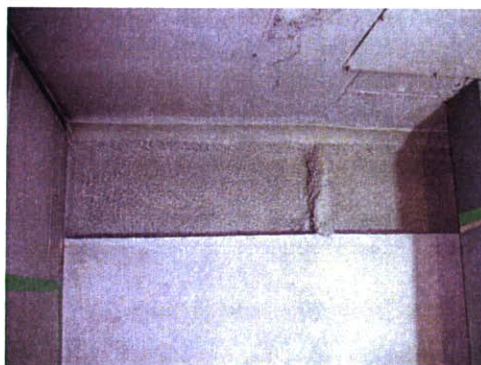


写真2



写真3



写真4



写真5



写真6

2. サンプルング方法

2.1 総繊維数濃度測定のためのサンプルング

サンプルング方法は、作業環境測定基準に従って実施した。養生室内を単位作業場所として、1 単位作業場所あたり測定点を6とした。φ25mmの白色メンブランフィルター（ミリポア社製）をろ過材としてカウル付オープンフェイスホルダーに充填し、Gilair 5（日本カノマックス㈱）（写真7）のポンプを使用して0.2L/minの吸引速度で連続した10分間測定した。なお、石綿除去作業前の養生内の測定は、5L/minの吸引速度で連続した10分間測定した。測定点の概略図を図1、図2に示した。

2.2 粉じん測定のためのサンプルング

サンプルング方法は、単位作業場所の1点を併行測定点に設定し、ろ過方法集として、多段平行板式分粒装置（C-30型：異形アダプター付属）を使用して9.6L/minの流量でろ過捕集を実施した。使用したポンプは、Aircon2（日本カノマックス㈱）、ろ紙は、φ25mmのT60A20（東京ダイレック）を使用した。

また、併行測定点とA測定、B測定の相対濃度の測定は、LD-3K2型粉じん計（柴田科学㈱）（写真8）を使用して実施した。サンプルング状況を写真9に示した。



写真7 使用したサンプルングポンプ



写真8 使用した相対濃度計

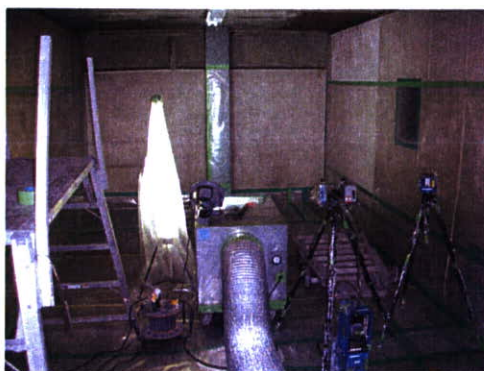


写真9

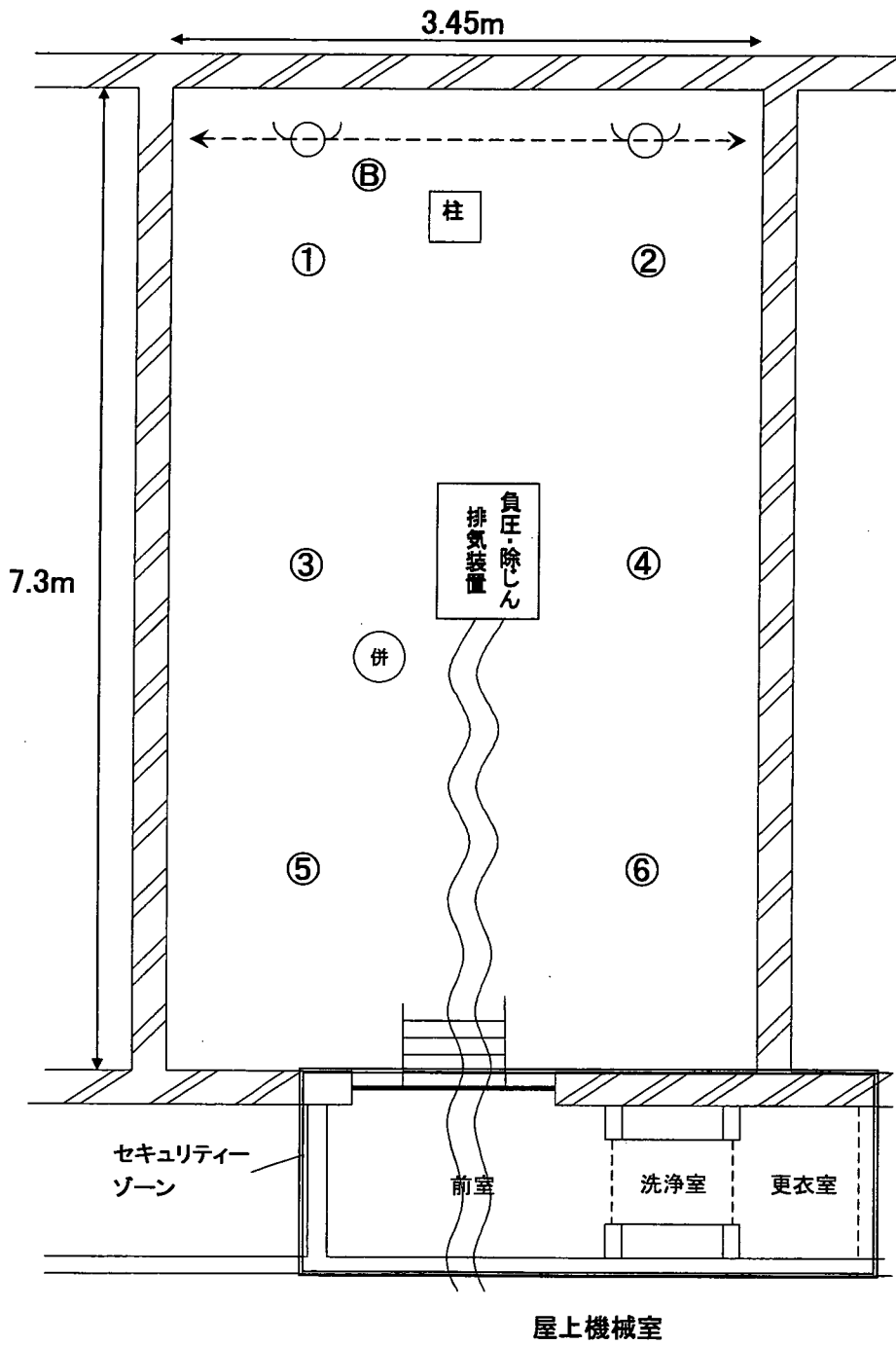


図1 概略図（作業環境測定点）

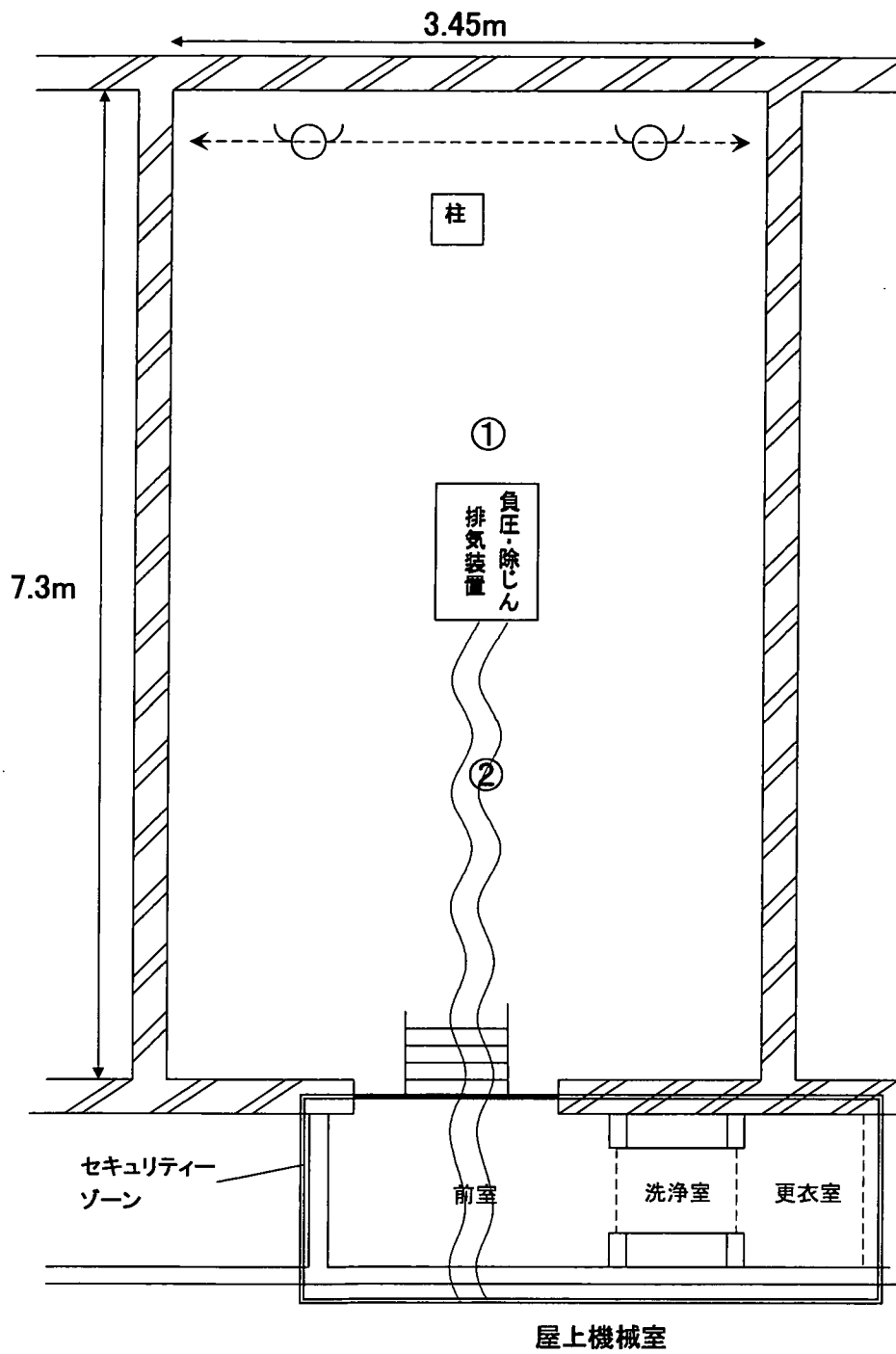


図2 概略図（建築改修工事管理指針による測定）

2.3 個人ばく露濃度測定のためのサンプリング

作業者の呼吸域付近の繊維数濃度を測定するために作業者にサンプラーを装着したベストを着てもらい個人ばく露濃度測定を行った。なお、通常の個人ばく露濃度測定は①までの系列で、サンプリングポンプとろ過捕集器具（メンブランフィルター）であるが、作業者の時間経過ごとの濃度変動を把握するために図 3 に示すとおり、ろ過捕集方法の前に LD-2 型粉じん計（柴田科学株）を接続し、粉じん計に取り込んだ粒子や繊維状物質がメンブランフィルターに捕捉されるようにした。

相対濃度計は取り込んだ粒子や繊維状物質を 1 秒毎に記憶させる機能設定にして、相対濃度計による測定を併せて実施した。

写真 10 に作業者に装着した時の写真を示した。

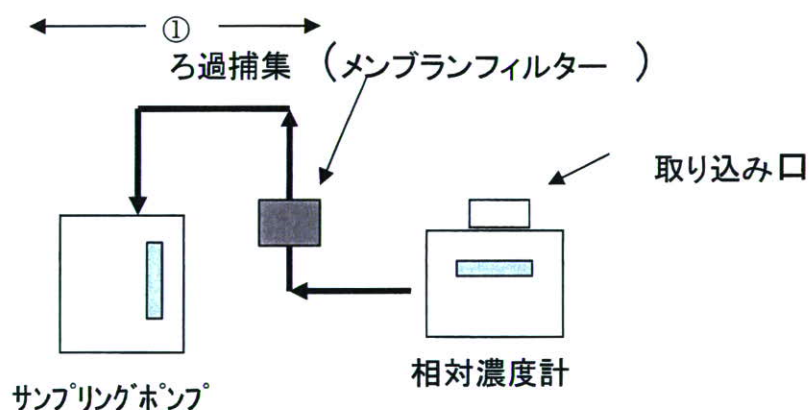


図 3 サンプリング系統図



写真 10

3. 分析方法

サンプリング後の試料の分析方法は、次のとおり実施した。

3.1 石綿濃度の分析

サンプリング後のフィルターの前処理方法及び計数分析方法は、J AWE法^{※1}により実施した。(※1 社団法人 日本作業環境測定協会が発行している作業環境測定ガイドブック 1 鉱物性粉じん関係に記載の方法)

サンプリング終了後のφ25mm 白色メンブランフィルターは4等分した。

また、計数分析に使用した機器は、オリンパス BX51である。

(1) 総繊維数濃度

総繊維数濃度の分析は、φ25mm の白色メンブランフィルターをスライドガラスに載せ、アセトン蒸気発生装置によりアセトン蒸気で透明化した。その後、トリアセチンで固定して×40 倍の対物レンズを装着した位相差顕微鏡を使用して総合倍率400 倍で計数分析を実施した。

分析条件は、ろ紙の有効径が直径 22mm、計数視野の直径は 0.3mm、計数した視野数は 50 である。

3.2 粉じん濃度の分析

併行測定点より相対濃度計の相対濃度とろ過捕集方法による質量濃度を求め、質量濃度変換係数 (K 値) = 質量濃度 / 相対濃度を求めた。この質量濃度変換計数 (K 値) に A 測定、B 測定で計測した相対濃度を掛けて質量濃度を求めた。

3.3 個人ばく露濃度測定

(1) 総繊維数濃度

総繊維数濃度の分析は、φ25mm の白色メンブランフィルターをスライドガラスに載せ、アセトン蒸気発生装置によりアセトン蒸気で透明化した。その後、トリアセチンで固定して×40 倍の対物レンズを装着した位相差顕微鏡を使用して総合倍率400 倍で計数分析を実施した。

分析条件は、ろ紙の有効径が直径 22mm、計数視野の直径は 0.3mm、計数した視野数は 50 である。

(2) リアルタイム計測の分析

3.3 (1) で計測した総繊維数濃度と相対濃度計で 1 秒毎に記憶させたデータの総数の平均相対濃度を算出し、総繊維数濃度変換係数 ($f/cm^3/mg/m^3$) = 総繊維数濃度 / 相対濃度を求めた。サンプリング時間中の 1 秒後毎の相対濃度に総繊維数濃度変換

係数を掛けて総繊維数濃度 (f/cm^3) を求めた。

なお、時間経過毎の総繊維数濃度の関係を図に示すとともに、作業中の作業内容をビデオに撮影することで、画像データと総繊維数濃度の関係をPEDイメージングシステム（ウエスト）を使用して画像中にリアルタイムの繊維数濃度の合成を行った。

4. 結果

4.1 測定対象物質を「石綿（総繊維数濃度）」と「粉じん」とした場合の測定結果

石綿除去作業前の総繊維数濃度の測定結果を表1に示した。表1より、2点の幾何平均値は、0.88 (f/cm³) であった。

次に石綿除去作業中の養生内の作業環境測定結果等を表2～表5に示した。表2は、測定対象物質を「石綿（総繊維数濃度）」と「粉じん」とした場合の1回目の結果を示した。

表2より、「石綿（総繊維数濃度）」として測定した場合、A測定の幾何平均値は、1.63 (f/cm³) で、B測定値は、0.53 (f/cm³)、個人ばく露濃度は、0.85 (f/cm³) であり、作業環境測定結果からは、第3管理区分、個人ばく露濃度結果は、E<0.85 で管理濃度を超えていた。

また、「粉じん」として測定した場合、A測定の幾何平均値は、0.20 (mg/m³) で、B測定値は、0.58 (mg/m³)、個人ばく露濃度は、0.85 (mg/m³) であり、作業環境測定結果からは第1管理区分で、個人ばく露濃度結果はE>1.33 で管理濃度以下であった。

表4より、「石綿（総繊維数濃度）」として測定した場合、A測定の幾何平均値は、7.57 (f/cm³) で、B測定値は、28.82 (f/cm³)、個人ばく露濃度は、9.75 (f/cm³) であり、作業環境測定結果からは、第3管理区分、個人ばく露濃度結果は、E<9.75 で管理濃度を超えていた。

また、「粉じん」として測定した場合、A測定の幾何平均値は、0.83 (mg/m³) で、B測定値は、2.36 (mg/m³)、個人ばく露濃度は、0.85 (mg/m³) であり、作業環境測定結果からは第1管理区分で、個人ばく露濃度結果はE<3.73 で管理濃度を超えていた。

今回は石綿含有建築材料が吹付け材のため、結晶質シリカ(石英、トリジマイト、クリストバライト)が含まれていなかったため、遊離けい酸含有率が0%のため、管理濃度が3.0 (mg/m³) であったため、「石綿」と「粉じん」では作業環境測定による管理区分に違いが見られたが、成型板の場合は結晶質シリカが含まれていることが多いため、管理濃度が低くなり、石綿を評価する管理区分と同様の結果が得られるのではないかと考えられる。

4.2 作業環境測定と建築改修管理指針による測定結果

石綿除去作業中のよう場内の測定として、作業環境測定ではA測定点は、5点以上としているが、建築改修工事管理指針（平成19年年度版（下巻）財団法人建築保全センター）では、2点としている。表3と表5に建築改修工事管理指針に基づいた2点の結果を示した。

表2より作業環境測定結果の幾何平均値は1.63 (f/cm³) で、表3の幾何平均値は1.67 (f/cm³) であった。

また、表4より作業環境測定結果の幾何平均値は7.57 (f/cm³) で、表5の幾何平均値は11.2 (f/cm³) であった。2回目のデータで約1.5倍の違いがあったものの表2と表4の幾何標準偏差の数値から判断すると各A測定のバラツキは大きいほうではないので、建築改修工事管理指針による2点による測定でも十分に養生内の濃度状況を判断することが可能であると思われる。

4.3 個人ばく露濃度の経時変化の測定結果

個人ばく露濃度の測定結果については、表2、表4に示したが、この測定結果は、時間加重平均値としての結果のため、短時間の高濃度作業を見逃してしまう恐れがある。

そこで図1～図3は、経時変化による総繊維数濃度の石綿除去作業者の個人ばく露濃度の関係を示した。

総繊維数濃度の経時変化を求めるために、粉じん計で得られた相対濃度を繊維数濃度に変換するため、表6に示した繊維数濃度変換係数を算出し、繊維数濃度を求めた結果である。

図4～図6は、粉じんの石綿除去作業者の個人ばく露濃度の経時変化を示した。瞬時値では、管理濃度の3 (mg/m³)を超えている作業時間がかなりあることがわかる。

表1 作業前の養生内の測定結果

測定点	総繊維数濃度 (f/cm ³)
1	0.84
2	0.93

表2 石綿除去作業中の測定結果

1 回目			
		総繊維数濃度 (f/cm ³)	質量濃度 (mg/m ³)
A 測 定	1	1.31	0.37
	2	1.31	0.22
	3	1.89	0.20
	4	2.13	0.26
	5	1.70	0.16
	6	1.60	0.12
B測定		0.53	0.58
K値			0.0010
M		1.63	0.20
σ		2.00	2.17
E A ₁		0.513	0.74
E A ₂		0.208	0.28
管理濃度 (E)		0.15	3
管理区分		第3管理区分	第1管理区分
個人ばく露 濃度測定		0.85	1.33 ※
測定結果の評価		E < 0.85	E > 1.33

※ 2 LD-3K2型とLD-2型は、原理が同じであるため、参考値としてLD-3K2型の併行測定点のK値を使用して算出した。

表3 建築改修工事管理指針による測定

測定点	総繊維数濃度 (f/cm ³)
1	1.31
2	2.13
平均値	1.67

表4 石綿除去作業中の測定結果

2回目			
		総繊維数濃度 (f/cm ³)	質量濃度 (mg/m ³)
A 測 定	1	5.92	1.37
	2	14.55	0.81
	3	6.88	0.53
	4	8.63	0.58
	5	5.72	0.96
	6	6.45	0.95
B測定		28.82	2.36
K値			0.0011
M		7.57	0.83
σ		2.13	2.13
E A ₁		26.18	2.85
E A ₂		10.07	1.09
管理濃度 (E)		0.15	3
管理区分		第3管理区分	第1管理区分
個人ばく露 濃度測定		9.75 ※1 (10.73、7.51)	3.73 ※2
測定結果の評価		E < 9.75	E < 3.73

※1 総繊維数濃度の個人ばく露濃度測定結果は、2データの時間加重平均値とした。

※2 LD-3K2型とLD-2型は、原理が同じであるため、参考値としてLD-3K2型の併行測定点のK値を使用して算出した。

表5 建築改修工事管理指針による測定

測定点	総繊維数濃度 (f/cm ³)
1	14.55
2	8.63
平均値	11.2

表6 繊維数濃度変換係数

No.	繊維数濃度変換係数 (f /cm ³ /mg/m ³)	総繊維数濃度 (f /cm ³ /mg/m ³)	相対濃度 (mg/m ³)
1	0.70	0.93	1.33
2	2.16	10.71	4.95
3	3.76	8.24	2.19

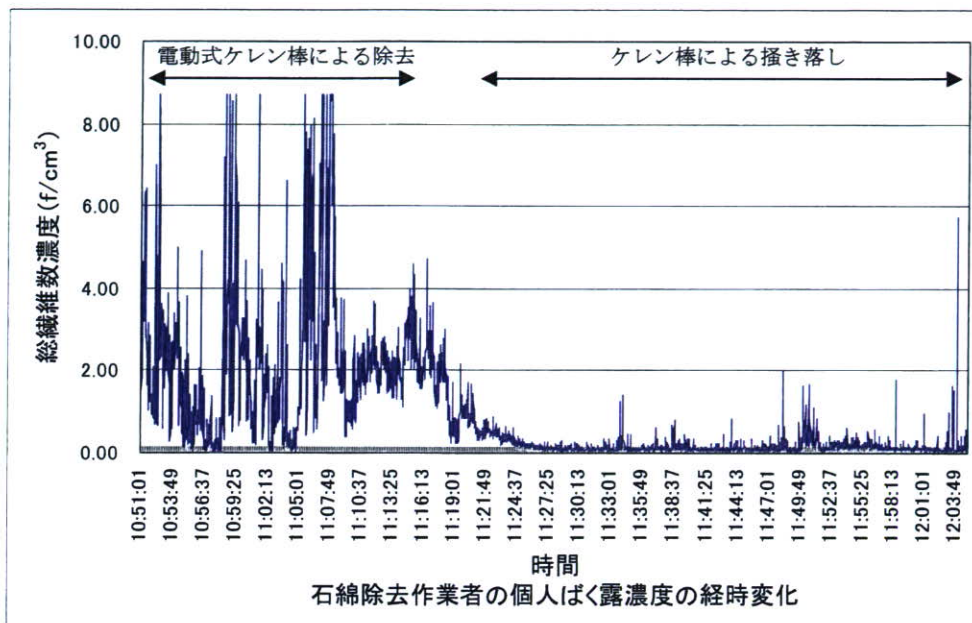


図1 石綿除去作業者の個人ばく露濃度の経時変化（総繊維数濃度）

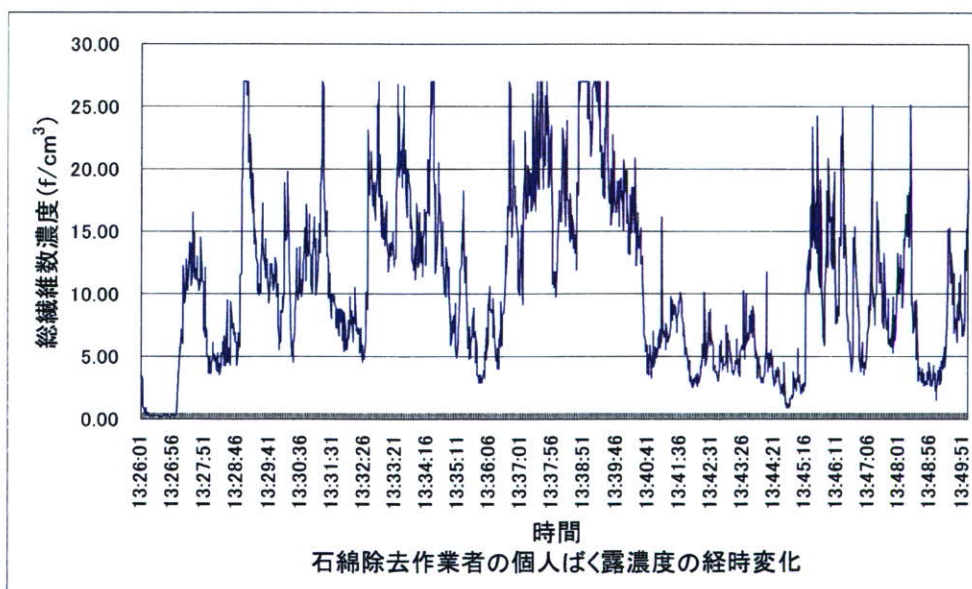


図2 石綿除去作業者の個人ばく露濃度の経時変化（総繊維数濃度）

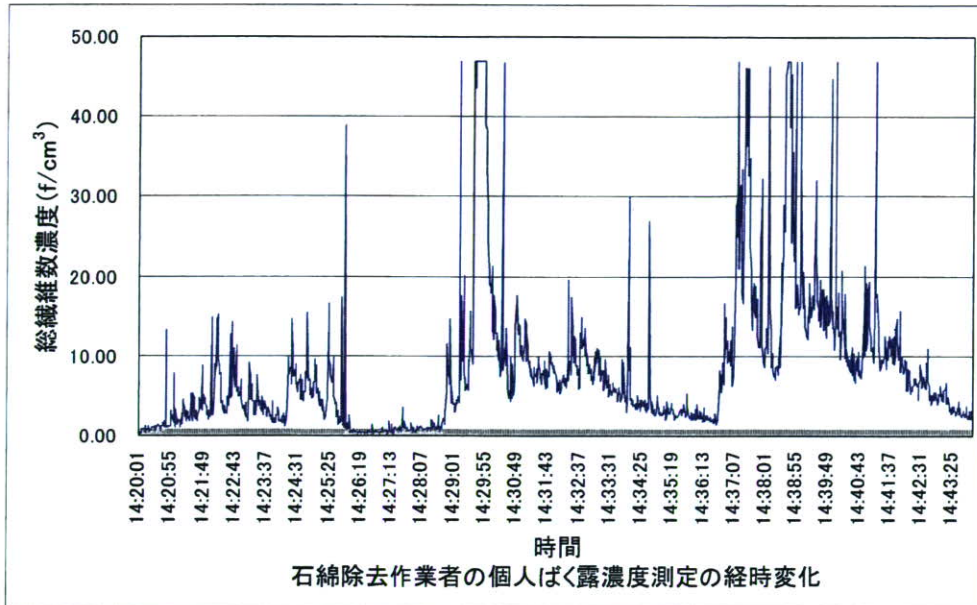


図3 石綿除去作業者の個人ばく露濃度の経時変化（総繊維数濃度）

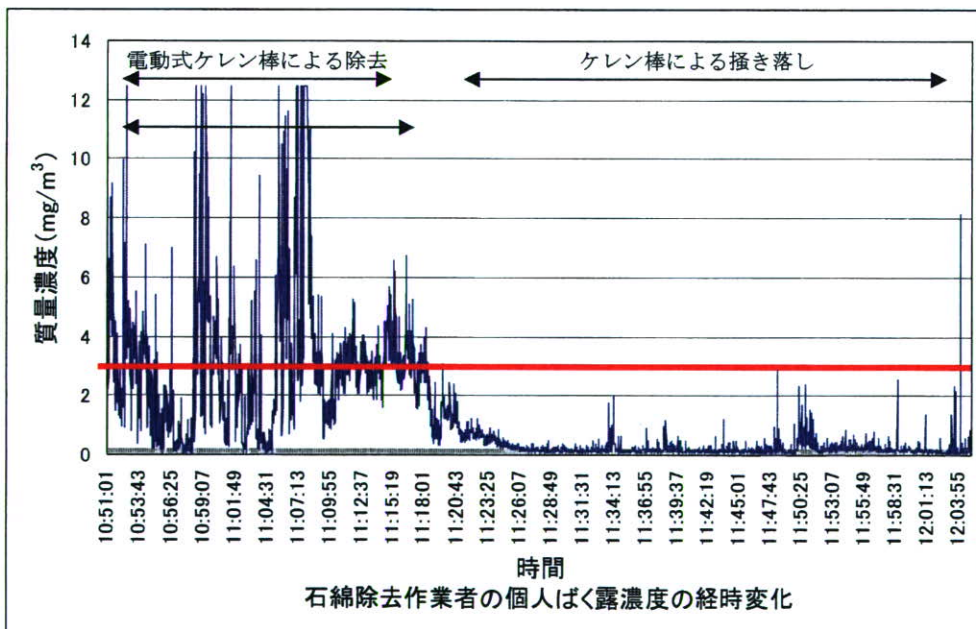


図4 石綿除去作業者の個人ばく露濃度の経時変化（粉じん）