

住宅建築現場における建設労働者の
粉じん曝露に関する検討

外山尚紀 名取雄司 伊藤昭好

別刷

労働科学

第77巻 第7号

2001年7月10日 発行

住宅建築現場における建設労働者の 粉じん曝露に関する検討

外山尚紀* 名取雄司** 伊藤昭好***

DUST EXPOSURE IN A HOUSE CONSTRUCTION SITE

By

Naoki TOYAMA*, Yuji NATORI** and Akiyoshi ITO***

It is well known that workers in construction sites are exposed to organic dust and mineral dust including crystalline silica and asbestos generated by welding, cutting and sanding operations. It is important to investigate the actual conditions of workers' exposure to dust and to discuss the effective preventive measures in each construction site. The purpose of this study was to measure dust concentrations during various kinds of work in a small-size construction site from the beginning to the end of the construction scheme. In order to measure dust concentrations, personal monitoring and laser dust monitoring devices capable of recording time series fluctuations of dust concentrations were applied. The results showed that exposure to respirable dust ranged from 0.17 to 4.22mg/m³ (with a mean of 0.86mg/m³) and total dust ranged from 0.52 to 18.44mg/m³ (with a mean of 3.45mg/m³) for 21 workers sampled. While 29% of the workers were exposed to levels of respirable dust exceeding the occupational exposure limit (OEL; 1mg/m³) recommended by the Japan society for Occupational Health, 14% of the workers were exposed to levels of total dust exceeding the corresponding OEL (4 mg/m³). The records of time series fluctuations of dust concentrations revealed that peaks of dust concentrations were found when carpenters cut plasterboards with an electric saw and the precipitated dust was regenerated into air by dry sweeping and by nailing with compressed air. Precautions are needed to avoid these and similar opportunities for construction workers to be exposed to levels of dust exceeding OEL.

キーワード: 建設労働者; 粉じん曝露; 住宅建設; 換気; 防じん対策

Key words: Construction worker; Dust exposure; House construction; Ventilation; Dust control measures

I. はじめに

建築現場では、溶接、建材の切断や研磨等の粉じんを発生させる作業が行われ、コンクリートの

骨材等に由来する結晶性シリカ、屋根材、内外壁材に含まれるアスベスト、その他の鉱物性粉じんと有機粉じんに作業者は曝露される可能性がある。Lofgren¹⁾は1993年に米国内の建設現場における

* 東京労働安全衛生センター Tokyo Occupational Safety and Health Center

** ひらの亀戸ひまわり診療所 Hirano Kameido Himawari Clinic

*** (財)労働科学研究所 研究部 快適環境研究グループ

Human Work Environment Research Group of the Institute for Science of Labour

コンクリート作業時の吸入性結晶性シリカ個人曝露濃度測定値のうち約93%がOSHAの許容濃度である $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えることを示し、Linch²⁾は1997年に米国内の建設現場における各種作業時の吸入性結晶シリカの個人曝露濃度測定値のうち約35%が同基準値を超えることを示し、またBlute³⁾らは1999年に高速道路建設作業者は吸入性粉じん濃度 $0.06\sim 21.77\text{mg}/\text{m}^3$ 、結晶性シリカ濃度 $0.008\sim 1.64\text{mg}/\text{m}^3$ に曝露していたことを示している。またRiala⁴⁾は建設現場での清掃作業時を中心に粉じん濃度測定を行い、個人曝露で総粉じん濃度平均 $25\text{mg}/\text{m}^3$ (範囲 $1.1\sim 117\text{mg}/\text{m}^3$;以降()内は範囲を示す)、吸入性結晶シリカ濃度平均 $0.45\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.01\sim 2.1\text{mg}/\text{m}^3$)に曝露していることを示した。また、アスベストについてはVermaら⁵⁾が1980年に乾式工法の壁材接合剤による作業者のアスベスト曝露濃度を平均 $6.1\text{f}/\text{cm}^3$ ($0.3\sim 26.5\text{f}/\text{cm}^3$)と示し、国内では花岡ら⁶⁾が外壁材切断・貼り付け作業時にアスベスト濃度平均 $0.94\sim 1.58\text{f}/\text{cm}^3$ 、吸入性粉じん濃度平均 $0.55\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん濃度平均 $1.98\text{mg}/\text{m}^3$ に曝露していたことを示している。防じん対策面では、Thorpeら⁷⁾が舗装スラブ切断時の湿式法と局所排気装置法を検討し有効性を示しており、国内では労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課⁸⁾が石綿曝露防止のための工学的改善として除じん装置、防じん切断マットの効果を示している。

日本では1999年度の建設業におけるじん肺および合併症による業務上疾病の発生病数は452件(トンネル建設工事326件を含む)で、業務上疾病の原因の第一位になっており⁹⁾、また最近では建設業のほとんど全ての職種にじん肺や石綿肺の所見が見られるとの報告がなされている¹⁰⁾。また、じん肺以外にも木造建築工事における死亡災害は1990年から5年間で40%増加しており¹¹⁾小規模の建築工事における安全衛生面での対策が求められている。日本における建設業の特徴としては、

現場の作業者が短期で別の現場に移動する、同一現場であっても作業場が順次移動する、また屋外作業である場合も多く、従来の作業環境測定法による測定、評価、改善が困難であることと、建設業従事者は単独または小規模事業主の占める割合が他産業に比して高く、それら事業主には安全衛生法の諸規定が適用されないという側面を持つ。本研究は単独・小規模事業主が多く働き、対策が比較的普及していないと思われる小規模建築現場に焦点を絞り、住宅建築現場における着工から竣工までの主な粉じん作業について粉じん濃度測定を実施し作業者の曝露の実態を明らかにし、今後の対策を検討することを目的に行った。

II. 方 法

粉じん濃度測定は神奈川県横浜市に1999年7月から2000年2月にかけて施工された鉄骨造地上2階地下1階総床面積 150m^2 の住宅を建築する現場において実施した。粉じん測定に際して施主・設計者・工務店の三者の全面的な協力が得られた。着工から完成までの粉じんを発生させる作業の全ての測定を目指し、設計者と工務店の協力により事前に粉じんを発生させる作業を特定した。図1に示すように、測定の期間は1999年6月15日(コントロールのみ)から2000年2月9日、実際の測定日数は12日間で、11月以前の基礎工事では鉄工、造作工事に入って大工、左官などが内外壁、天井、床を仕上げていき、仕上げ工事で塗装や壁紙張りが行われた。測定を行った職種は塗装工、造作大工、鉄工、サッシ工、左官の5職種で、測定を行った作業は溶接、石膏ボード加工(図2)、ラムダ(外壁材)加工、木毛セメント板加工、粉体投入、清掃、釘打ちの作業と一部その混在であった。粉じんの測定方法は、個人曝露濃度測定として労研TR個人サンプラー(柴田科学、吸引流量 $1.5\text{L}/\text{分}$)、定点濃度測定として労研TRサンプラー(柴田科学、吸引流量 $20\text{L}/\text{分}$)とレーザー粉じん

| | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 |
|-------|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|
| 基礎工事 | | | | | | | | | |
| 造作工事 | | | | | | | | | |
| 仕上げ工事 | | | | | | | | | |
| 測定日 | ↑ | | ↑ | | ↑ | | ↑ | ↑↑ | ↑↑↑ |

図1 工事の工程

計(柴田科学, LD-1H)およびデータロガー(グラム, LT-6C)を使用した。定点における粉じん濃度の時間的変動は定点での質量濃度とレーザー粉じん計の計数値から質量濃度変換係数を求め、記録データを質量濃度に換算した。また、作業の状態を把握するため、個人サンプラーを着けた作



図2 石膏ボードを電動丸鋸で切断する大工

業者を対象に5分ごとの作業内容を記録するタイムスタディーを行い、部分的にビデオ撮影も行った。さらに作業点、測定点、作業場の密閉状況、風速、風向、気温、湿度、保護具の使用状況を記録した。粉じん中の遊離けい酸含有率は試料採取量の多い試料3点についてX線回折装置による基底標準吸収補正法により分析を実施した結果、平均2.7%(2.0~3.1%)であった。したがって本研究では吸入性粉じん中の遊離けい酸含有率を10%未満とし、日本産業衛生学会許容濃度の勧告(2000-2001)3-1のⅡ, Class 2に基づき、吸入性粉じん 1 mg/m^3 、総粉じん 4 mg/m^3 の許容濃度勧告値(以降OELと記す)を参考基準とした。

III. 結 果

A. 個人曝露濃度

塗装工、造作大工、鉄工、サッシ工、左官の5職種について21回の測定を行った(表1)。測定時間は26~195分間であった。吸入性粉じん濃度では6測定値、29%がOELの数値を超え、総粉じん濃度では3測定値、14%がOELの数値を超えた。ただし、本研究の測定時間はいずれも8時

表1 個人曝露濃度測定データ一覧

| No. | 測定日 | 粉 じ ん 濃 度 | | 測定時間 (分) | 職種 | 作業の内容 | 風速 (m/sec) | 天候 | 気温 (°C) | 湿度 (%) |
|-----|------------|-----------|-------|-------------|------|-----------|---------------|----|------------|-----------|
| | | 吸引性 | 総 | | | | | | | |
| 1 | 1999/8/23 | 1.04 | ※ | 83 | 鉄工 | 溶接 | 0.1~0.2 | 晴れ | 31.5~35.5 | 48~65 |
| 2 | 1999/10/27 | 0.41 | 1.54 | 65 | 鉄工 | 溶接作業周辺 | 0.5~3.5 | 雨 | 16.5 | 67 |
| 3 | 1999/10/27 | 1.33 | 1.83 | 40 | 鉄工 | 溶接 | 0.5~3.5 | 雨 | 16.5 | 67 |
| 4 | 1999/12/9 | 0.17 | 0.52 | 154 | サッシ工 | 溶接補助 | 0.1~1.2 | 晴れ | 11.0~16.0 | 38~39 |
| 5 | 1999/12/9 | 0.43 | 1.08 | 154 | サッシ工 | 溶接 | 0.1~1.2 | 晴れ | 11.0~16.0 | 38~39 |
| 6 | 2000/1/18 | 0.27 | 2.63 | 195 | 大工 | 石膏ボード切断 | 0~1.0 | 晴れ | 7.5 | 32 |
| 7 | 2000/1/18 | 2.56 | 4.36 | 26 | サッシ工 | 溶接 | 0~1.0 | 晴れ | 7.5 | 32 |
| 8 | 2000/1/27 | 0.23 | 2.07 | 58 | 左官 | 粉体投入 | 0.1~1.2 | 晴れ | 4.5~8.0 | 27~35 |
| 9 | 2000/1/29 | 4.22 | 18.44 | 30 | 左官 | 粉体投入 | 0~0.1 | 晴れ | 5 | 41 |
| 10 | 2000/2/4 | 0.36 | 2.63 | 185 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 7.5~12.0 | 23~44 |
| 11 | 2000/2/4 | 0.22 | 1.78 | 90 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 7.5~12.0 | 23~44 |
| 12 | 2000/2/4 | 0.17 | 1.97 | 78 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 7.5~12.0 | 23~44 |
| 13 | 2000/2/4 | 0.41 | 2.05 | 65 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 7.5~12.0 | 23~44 |
| 14 | 2000/2/4 | 0.2 | 1.69 | 67 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 7.5~12.0 | 23~44 |
| 15 | 2000/2/8 | 1.02 | 3.86 | 183 | 大工 | 石膏ボード切断 | 0~0.1 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |
| 16 | 2000/2/8 | 1.76 | 6.7 | 174 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |
| 17 | 2000/2/8 | 0.24 | 0.85 | 141 | 塗装工 | 石膏ボード切断周辺 | 0~0.1 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |
| 18 | 2000/2/8 | 0.7 | 3.73 | 134 | 大工 | 木工 | 0.1~0.5 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |
| 19 | 2000/2/8 | 0.6 | 2.95 | 122 | 大工 | 石膏ボード切断 | 0.1~0.5 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |
| 20 | 2000/2/9 | 0.95 | 5.11 | 197 | 大工 | 石膏ボード手切断 | 0~0.1 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |
| 21 | 2000/2/9 | 0.68 | 3.24 | 185 | 大工 | 木工 | 0~0.1 | 晴れ | 10.5~15.5 | 27~38 |

※ 熱で衝突板のシリコングリスが溶けたため秤量不能。

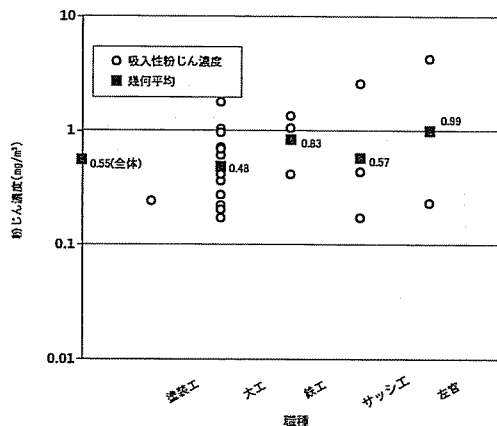


図 3 職種別個人曝露濃度 (吸入性粉じん)

間未満であり、OELと直接比較することはできない。そこで参考のためにOELの数値と比較することとした(以下同じ)。吸引性粉じん濃度で算術平均 $0.86\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.55\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.17\sim 4.22\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度で算術平均 $3.45\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $2.50\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.52\sim 18.44\text{mg}/\text{m}^3$)であった。また、総粉じん中の吸入性粉じんの含有率は平均26.3% ($8.6\sim 72.6\%$)であった。職種別の結果を図3に示す。

B. 定点での粉じん濃度

溶接、石膏ボード加工、ラムダ加工、木毛セメント板加工、粉体投入、清掃、釘打ちの作業と一部その混在作業について30回の測定を行った。結果を図4に示す。測定時間は17~128分間であった。粉じん濃度は吸引性粉じん濃度で算術平均 $0.93\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.33\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.06\sim 5.60\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度で算術平均 $3.04\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $1.27\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.1\sim 16.85\text{mg}/\text{m}^3$)であった。

ロガーデータを質量濃度に換算するための質量濃度換算係数は平均 $0.0023\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$ ($0.0008\sim 0.01\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$)であった。また、総粉じん中に吸入性粉じんの占める割合は平均30.4% ($11.1\sim 83.3\%$)であった。

C. 各職種と作業について

1. 造作大工

建築現場における造作大工(型枠大工と区別するため造作大工というが以下単に大工と記す)の作業は、外壁、内壁、天井、床の材料を加工して設置する、また窓、戸の木枠を作製し取り付ける

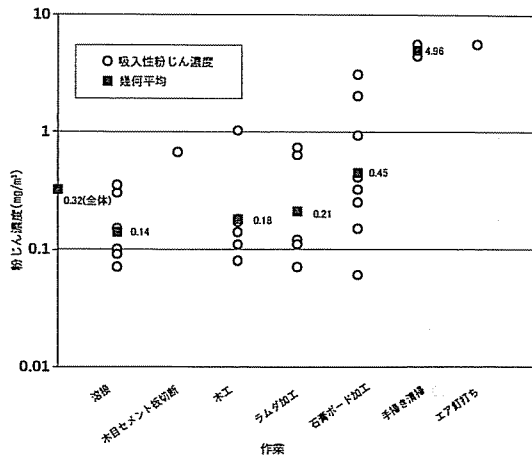


図 4 定点での粉じん濃度 (吸入性粉じん)

作業が中心で、同時に下地や断熱材を入れていく。電気、水道、ガスなどの設備工が順次配管、配線を行うためそれらの職種との調整も行う。今回の現場では外壁は専門の外壁工が行った。他の各職は作業の進展に応じて現場に来て作業を進めるが大工は棟上から仕上げまで毎日現場で作業を行う。大工の作業は主に外壁設置後に行われ、屋内作業とみなせる。窓ガラスの設置前後の違いまたその開閉状況によって、屋内の換気の状態は変化するが、戸外の風の影響も受けていた。今回は2名から3名の大工が作業を行い、今回測定を実施した大工の作業は、①木工、②石膏ボード加工、③木毛セメント板加工、④圧搾空気による釘打ちの4作業で個人曝露濃度は12回の測定を行い、2つの測定値が吸入性粉じん濃度でOELの数値を超えた。個人曝露濃度では吸引性粉じん濃度で算術平均 $0.61\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.48\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.17\sim 1.76\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度で算術平均 $3.20\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $2.93\text{mg}/\text{m}^3$ ($1.69\sim 6.7\text{mg}/\text{m}^3$)であった。なお今回測定を実施した作業について、作業者は全員、防じんマスクなどの呼吸用保護具を着用してしなかった。これは他の職種の作業者についても同様であった。

a. 大工による木工

大工による木工は窓と戸の枠を作成し取り付けの作業で、枠用加工された材料を切断し額縁様に組み、既に取り付けられているサッシ等にはめ込み固定する。1~2名がこの作業を行った。4測

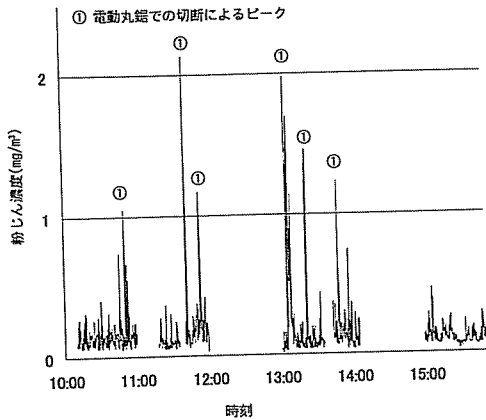


図5 吸入性粉じん濃度の時間的変動(1)
大工による木工(2/4 10:10-15:50)

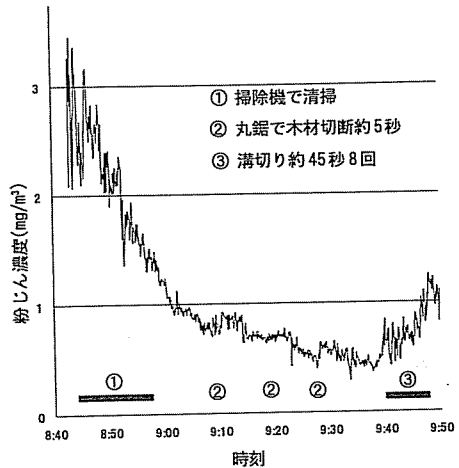


図6 吸入性粉じん濃度の時間的変動(2)
大工による木工(2/8 8:43-9:50)

定日で作業が認められ、うち1測定日はサッシ工による溶接作業と混在し、2測定日は石膏ボード加工と混在した。個人曝露濃度は8回測定し、石膏ボード加工と混在した1つの測定値が吸入性粉じん濃度でOELの数値を超え、吸入性粉じん濃度で算術平均 $0.56\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.42\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.17\sim 1.76\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度で算術平均 $2.98\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $2.67\text{mg}/\text{m}^3$ ($1.69\sim 6.7\text{mg}/\text{m}^3$)であった。

4測定日のうち枠作りの木工以外に発じん作業が行われなかった1測定日の作業点から約2mの定点で測定した吸入性粉じん濃度の時間的変動を図5に示す。1日を通じて比較的低濃度に抑えられている。

木工で最も高い個人曝露濃度を示したのは、吸入性粉じん濃度 $1.76\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん濃度 $6.7\text{mg}/\text{m}^3$ でこのときの定点での吸入性粉じん濃度の時間的変動を図6に示す。作業点と測定点との距離は1~3mで大工1名が建材を移動させながら家庭用掃除機で清掃を行った後、切断と溝切を頻繁に行った。建材の移動と清掃で $2\text{mg}/\text{m}^3$ を超える粉じん濃度を示し、5~10秒程度の短時間の切断では濃度の上昇は見られず、45秒程度の溝切を数回行くと徐々に濃度が上がり $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

b. 大工による石膏ボード加工

内壁と一部の天井は石膏ボード(吉野石膏、 $910\text{mm}\times 1820\text{mm}\times 12.5\text{mm}$)を使用しており、3名

の大工のうち1~2名がこの作業を行った。使用工具は電動丸鋸(防じん装置なし)、ヤスリ、ハンドカッター、ビス打機で、電動丸鋸またはハンドカッターで材料を切断し、ヤスリで面取りをし、巾木へビス止めを行う。切断は電動丸鋸かハンドカッターを使用するが、ハンドカッター使用の場合発じんは少ないが電動丸鋸よりも切断に時間がかかり仕上がりが劣るため、ほとんどの切断は電動丸鋸を使用していた。石膏ボード加工は4測定日に確認されたが、1日は最も作業が多く電動丸鋸が終日使用された。他の1日は短時間の電動丸鋸による切断、他の2日はハンドカッターで切断が行われた。作業者の個人曝露濃度は4回の測定を行い、1つの測定値が吸入性粉じん濃度でOELの数値を超え、吸入性粉じん濃度で算術平均 $0.71\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.63\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.27\sim 1.02\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度で算術平均 $3.64\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $3.52\text{mg}/\text{m}^3$ ($2.63\sim 5.11\text{mg}/\text{m}^3$)であった。

個人曝露濃度の最高値は吸入性粉じん濃度で $1.02\text{mg}/\text{m}^3$ で、風速 $0\sim 0.1\text{m}/\text{s}$ の屋内で約3時間に10から15秒間の電動丸鋸による切断を11回行ったときのもので、このときの作業点から1~2mの場所での吸入性粉じん濃度の時間的変動の一部を図7に示す。2回の15秒程度の切断により最高 $16\text{mg}/\text{m}^3$ を超える粉じん濃度を示し、 $1\text{mg}/\text{m}^3$ にまで下がるのに5分間以上かかっている。

石膏ボード加工時の定点での粉じん濃度の最高

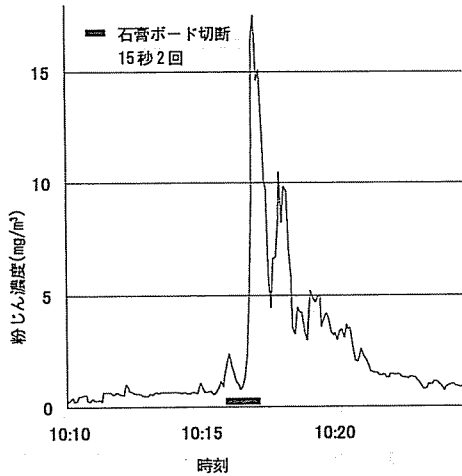


図7 吸入性粉じん濃度の時間的変動(3)
大工による石膏ボード加工(2/8 10:10-10:25)

値は $3.1\text{mg}/\text{m}^3$ であった。これは風速 $0.1\sim 0.5\text{m}/\text{s}$ の屋内で20分間に3回の切断を行った際のもので、このときの作業点から $1\sim 2\text{m}$ の場所での吸引性粉じん濃度の時間的変動を図8に示す。最高値は $20\text{mg}/\text{m}^3$ を超えている。また、第2のピークと第3のピークとの間に $1\text{mg}/\text{m}^3$ 程度の小ピークが認められるが、これはボードにヤスリをかけて壁面にビス止めする際の発じんによるものであった。

石膏ボードのハンドカッターによる切断と取り付け作業は個人曝露濃度について1測定を行い、吸入性粉じん濃度 $0.95\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん濃度 $5.11\text{mg}/\text{m}^3$ という電動丸鋸使用時のそれと比べて低くない測定値を示した。この時の作業点から $1\sim 3\text{m}$ の場所での吸引性粉じん濃度の時間的変動の一部を図9に示す。最高値 $12\text{mg}/\text{m}^3$ 程度のピークは加工時にボードを移動させた際の再発じんによるもので、これは前日に石膏ボードを電動丸鋸で切断した時の粉じんが十分に清掃されずに床に堆積していたものが再発じんしたものである。ヤスリかけによっても $2\text{mg}/\text{m}^3$ を超える発じんが見られた。

c. 大工による釘打ち

釘打ちにはコンプレッサーで圧搾した空気をエアガンに送り込み空気圧で釘を押し出す装置を使用していた。釘打ち自体は新たな粉じんを発生さ

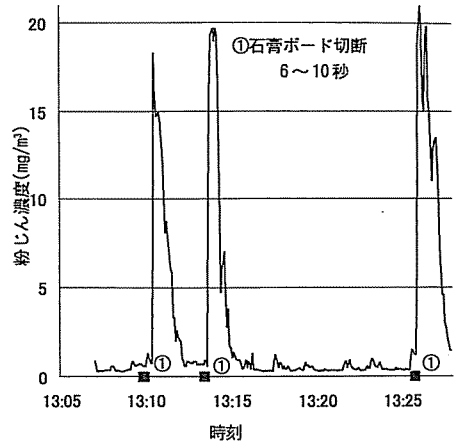


図8 吸入性粉じん濃度の時間的変動(4)
大工による石膏ボード加工(2/8 13:07-13:27)

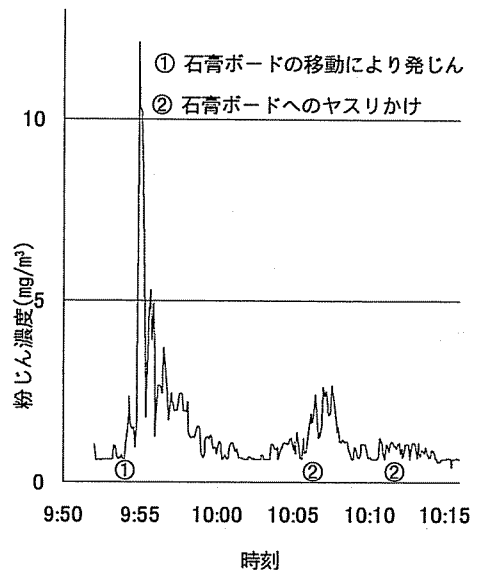


図9 吸入性粉じん濃度の時間的変動(5)
大工による石膏ボード加工(2/9 9:52-10:16)

せないが、エアガンの先端から余剰の空気が噴出するため、使用状態によっては再発じんを発生させることがある。今回の現場では清掃が行われていない地下室で床面へ巾木を固定するために釘打ちが行われ、その作業のために地下室に保管されていた断熱材を移動させた。定点での測定値は24分間平均で吸入性粉じん $5.6\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん

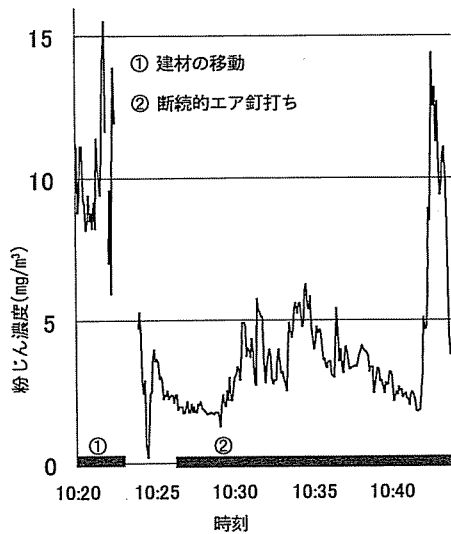


図 10 吸入性粉じん濃度の時間的変動 (6)
大工による釘打ち (2/1 10:20-10:44)

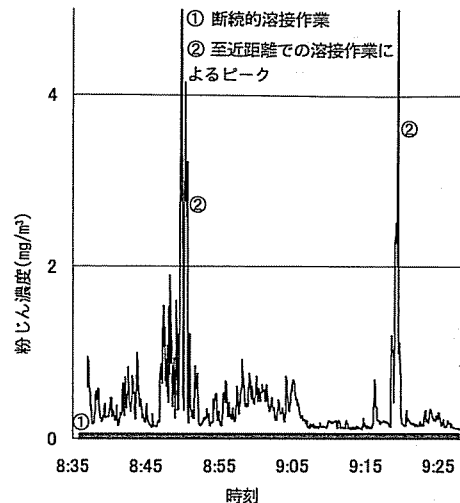


図 11 吸入性粉じん濃度の時間的変動 (7)
鉄工による溶接 (8/23 8:37-9:27)

12.4mg/m³ という本研究での測定のうちで最も高い粉じん濃度を示した。この時の作業点から1~3mの場所での吸引性粉じん濃度の時間的変動を図10に示す。釘打ちの準備のための断熱材の移動で10mg/m³を超える粉じん濃度を示し、1m程度の近い場所での釘打ちでも10mg/m³を超え、24分間の測定中はほとんど2mg/m³を超える粉じん濃度を記録した。

2. 鉄工とサッシ工によるアーク溶接作業

アーク溶接（以下溶接と記す）は鉄工1名から4名による基礎部分や鉄骨部での作業とサッシ工2名によるアルミサッシの取り付けで行われた。個人曝露濃度は6回の測定を行い、3つの測定値が吸入性粉じん濃度でOELの数値を超え、吸入性粉じん濃度で算術平均0.99mg/m³、幾何平均0.69mg/m³（0.17~2.56mg/m³）、総粉じん濃度で算術平均1.87mg/m³、幾何平均1.47mg/m³（0.52~4.36mg/m³）であった。

a. 鉄工による溶接作業

鉄工の作業は屋外作業として、2日間測定され、そのうち1日は①基礎のみの状態での基礎へのアングル取り付け作業、他の1日は②鉄骨柱への仮屋根、仮床の取り付け作業をそれぞれ測定した。鉄工の個人曝露濃度は3回の測定を行い、2つの測定値が吸入性粉じん濃度でOELの数値を超え、

吸入性粉じん濃度で算術平均0.93mg/m³、幾何平均0.83mg/m³（0.41~1.33mg/m³）、総粉じん濃度で算術平均1.69mg/m³、幾何平均1.68mg/m³（1.54~1.83mg/m³）であった。①の作業は地上構造物がない状態で約4m掘り下げた基礎部分の壁面へ作業員1名が鋼製アングルを溶接していく作業で風速は0.1~0.5m/sであった。この溶接作業員が83分間に33回の20秒以内の溶接を行った時の個人曝露濃度は吸入性粉じん濃度で1.04mg/m³であった。この作業の2~6mの定点での粉じん濃度の時間的変動の一部を図11に示す。②の作業は鉄骨柱と一部天井、床が設置された状態で4名の作業員が鉄骨柱に鋼製の床を溶接し、それに伴いアセチレンガス溶断とグラインダー切断の作業も行われた。風速は0.5~3.5m/sであった。このときの個人曝露濃度2つの測定値のうち高濃度を示したのは40分間に20秒程度の溶接を8回行った作業員のもので、吸入性粉じん1.33mg/m³、総粉じん1.83mg/m³を示した。周囲でも溶接、溶断、切断作業が行われていた。

b. サッシ工による溶接作業

サッシ工は鉄骨部が完成した部分からアルミサッシ枠の位置を決めて溶接していく作業を行った。搬入と位置決めに60~90分間、溶接に15~20分間を要し、溶接作業は短時間に集中的に行われて

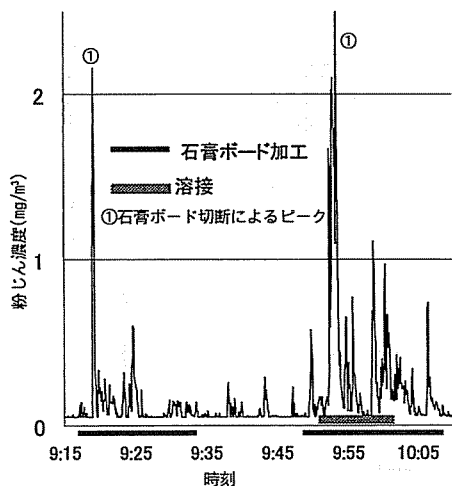


図 12 吸入性粉じん濃度の時間的変動 (8)
溶接と石膏ボード加工 (1/18 9:15-
10:10)

いた。サッシ工の個人曝露濃度測定は3回行い、1つの測定値が吸入性粉じん濃度でOELの数値を超え、吸入性粉じん濃度で算術平均 $1.05\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.57\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.17\sim 2.56\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度で算術平均 $1.99\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $1.35\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.52\sim 4.36\text{mg}/\text{m}^3$)であった。吸入性粉じん濃度 $2.56\text{mg}/\text{m}^3$ の最高値を示した作業は26分間に5~10秒間の溶接を26回行ったもので、他の2測定(吸入性粉じん濃度 $0.17\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.43\text{mg}/\text{m}^3$)は154分間中20分間溶接作業を行ったものであった。サッシ工は鉄工ほど溶接作業の頻度は多くないが溶接作業中は高濃度の粉じんに曝露している。また、サッシ工は鉄工の溶接作業と大工の天井用ボード加工と同時に作業を行っており、大工のボード加工と混在したときの吸入性粉じん濃度の時間的変動を図12に示す。ボードの電動丸鋸による切断と取り付けに溶接作業が加わることで粉じん濃度が上昇している。

3. 左官

この現場では左官1名が外壁1階部分のモルタル塗り作業を屋外において行っていた。モルタルはセメントに砂と水を混合させ壁面などに塗るものだが、今回の工事では既調合品(カドヤ工業、モルミックス、25kg詰め)を使用し、全ての作業は1名により行われた。モルタルの粉体投入は8~10分間に水を加えながら3袋を投入しており、

このときの個人曝露濃度の2つの測定値は吸入性粉じん濃度 $4.22\text{mg}/\text{m}^3$ と $0.23\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん濃度 $18.4\text{mg}/\text{m}^3$ と $2.07\text{mg}/\text{m}^3$ であった。前者は個人曝露濃度の最高値だが、もうひとつの測定値とは18倍の大きな差が現れた。これは測定時間の差(30分間に対して58分間)と風速($0\sim 0.1\text{m}/\text{s}$ に対し $0.1\sim 1.2\text{m}/\text{s}$)、更に風向の違いによるものと思われる。

4. ラムダ工

2階部分の外壁にはラムダ(昭和電工建材)を使用し1名の作業者が屋外で切断、取り付けを行った。取り付け作業は外壁と足場の間の狭い空間で行われるため個人サンプラーを使用することが出来ず、切断時の作業点から2~5mの定点での測定のみ実施した。2日間測定した5つの測定値の吸引性粉じん濃度は算術平均 $0.33\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.21\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.07\sim 0.73\text{mg}/\text{m}^3$)、総粉じん濃度は算術平均 $1.43\text{mg}/\text{m}^3$ 、幾何平均 $0.99\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.35\sim 3.59\text{mg}/\text{m}^3$)であった。

5. 塗装工

塗装工は個人曝露濃度について1回測定し、職種別では最も低い濃度、吸入性粉じん濃度 $0.24\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん濃度 $0.85\text{mg}/\text{m}^3$ の結果を得た。これは大工の石膏ボード切断からの距離2~8mでの天井へのパテ塗り作業で、自ら粉じん作業は行っていない。

6. 清掃

現場には家庭用掃除機と箒、ちり取りが置かれており、清掃が随時行われた。清掃に関する測定は定点のみ3回の測定行い、うち1つの測定は家庭用掃除機による清掃、2つの測定は箒とちり取りによる手掃き清掃の測定を行った。

家庭用掃除機による清掃を行った時の吸入性粉じん濃度の時間的変動は図6の前半部分に示されている。大工1名によっておこなわれ、清掃開始8分後から測定を開始しており、板材の移動も同時に行っている。濃度は $3\text{mg}/\text{m}^3$ に達しているが、これは板材の移動による発じん、掃除機の排気による発じん、また、吸引した粉じんがフィルターから漏れていることによる発じんが考えられる。

手掃き清掃を行った際の2つの測定値は①吸入性粉じん濃度 $5.56\text{mg}/\text{m}^3$ 、総粉じん濃度 16.9

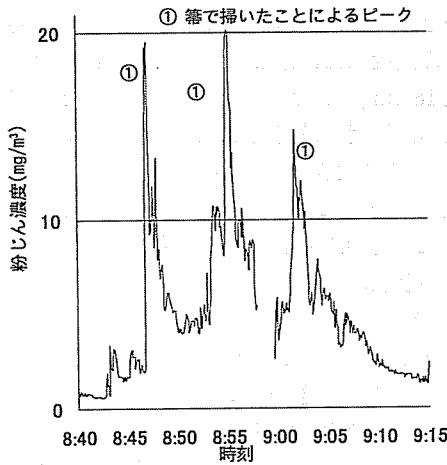


図 13 吸入性粉じん濃度の時間的変動 (9) 手掃き清掃 (2/9 8:40-9:15)

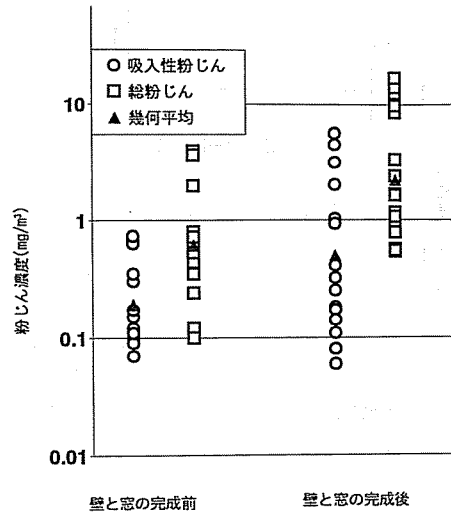


図 14 作業場の密閉状況と粉じん濃度

mg/m³と②吸入性粉じん濃度 4.43mg/m³, 総粉じん濃度 9.73mg/m³で, 現場監督 1 名によって約 20 分間行われた清掃に対する測定である。このときの吸入性粉じん濃度の時間的変動を図 13 に示す。清掃中は 5 mg/m³ を超える粉じん濃度を示し, 箒で掃くことにより 15mg/m³ を超える粉じんを確認した。Riala⁴⁾ は手掃き清掃を行う場所での粉じん濃度測定から総粉じん濃度の算術平均 15mg/m³ (18 測定値) と, 本研究での手掃き清掃総粉じん濃度は算術平均 13.3mg/m³ とこれに近い測定値を示している。

7. 工事の進行と粉じん濃度

図 1 に示した工事の進行にしたがって内部の密閉性が高まり換気が妨げられる。6 月下旬から測量が始まり, 基礎のコンクリートや鉄骨の作業が 11 月中旬までに終了し, 11 月中旬から 2 月上旬にかけて内外壁工事が行われ, 徐々に開口部が塞がれていき, 1 月終わりにガラスが入り, それ以降は一部開口部があるが 4 辺を壁に囲まれた屋内空間で作業が行われた。壁とガラスが全て取り付けられた 2 月 1 日を境にしてそれ以前と以降の粉じん濃度を比較して図 14 に示した。1 月 31 日以前の定点での吸入性粉じん濃度で算術平均 0.27 mg/m³, 幾何平均 0.19mg/m³ (0.07~0.73mg/m³), 総粉じん濃度で算術平均 1.09mg/m³ 幾何平均 0.61mg/m³ (0.1~3.59mg/m³) に対し, 2 月 1 日以降では吸入性粉じん濃度で算術平均 1.44

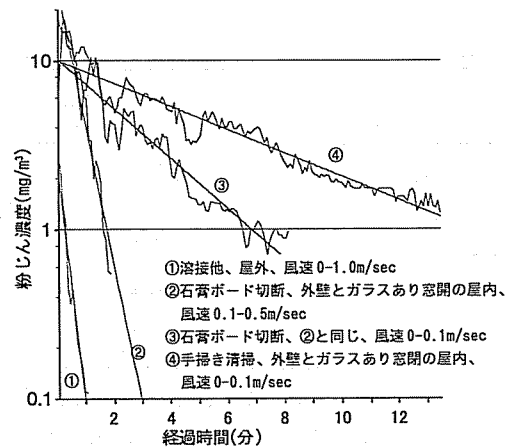


図 15 換気条件による吸入性粉じんの減衰の違い

mg/m³, 幾何平均 0.50mg/m³ (0.06~5.6mg/m³), 総粉じん濃度で算術平均 4.53mg/m³, 幾何平均 2.21mg/m³ (0.54~16.85mg/m³) であった。

また換気条件により粉じん濃度が減衰する様子の違いを図 15 に示す。①は溶接と石膏ボード切断, 屋外で風速 0~1.0m/s 時, ②は石膏ボード切断, 屋内で風速 0.1~0.5m/s 時, ③は石膏ボード切断, 屋内で風速 0~0.1m/s 時, ④は手掃き清掃, 屋内で風速 0~0.1m/sec 時であった。完全混合と仮定した場合の換気回数 (回/h) は①1004②577③20.4④9.6 相当であった。屋外では拡散によって短時間で濃度が低減するが, 屋内では気流の状

況により数分間から10分以上十分な減衰が見られない。

IV. 考 察

A. 作業者の粉じん曝露

本研究では個人曝露濃度の測定を軸にしながら、特徴的な発じんについて時間的変動を記録して曝露の実態の把握を試みた。対象となった建築現場では溶接、グラインダー研磨、各種建材の加工と取り付け、粉体の投入、清掃、圧搾空気による釘打ちの粉じん作業が確認された。これら作業は逐次完成へ向かい密閉性が変動する構造物内で随時、任意の場所で単独あるいは複数が同時進行していた。このような建築現場での作業者の粉じん曝露の実態は複雑であり、本研究の測定結果はその1例にすぎない。

個人曝露濃度では吸入性粉じんが29%が、総粉じんが14%がOELの数値を超えた。石膏ボード加工を行う大工、溶接作業を行う鉄工とサッシ工、ミキサーに粉体を投入する左官は作業中の平均で吸入性粉じんがOELの数値を超える可能性がある。とりわけ溶接と粉体投入は屋外作業であるにもかかわらず一部に高い濃度を確認した。粉じん作業が複数種行われており、密閉状況も逐次変化するため吸入性粉じん個人曝露濃度の幾何標準偏差は2.50で比較的大きなばらつきを示した。

定点における時間的変動では、屋内での石膏ボード取り付け時に電動丸鋸での切断で最大10mg/m³を超える吸入性粉じん濃度を示した。また、このように発生した粉じんが堆積し、清掃や材料の移動、エア釘うちによって再発じんすることが確認された。とりわけ手掃き清掃とエア釘打ちは本測定で最も高いレベルの粉じん濃度を示した。

工事の進行に伴い建物内部の機密性が高まり、壁の完成後の定点での吸入性粉じん濃度平均はOELの数値を超えた。屋内での粉じんの発生源は主に石膏ボード、次いで木材によると思われ、石膏ボードなどのパネルタイプの乾燥壁は住宅や事務所の建築に広く使用されており、屋内での加工には注意が必要である。

粉じん作業は作業者の任意の場所で随時行われており、管理されていなかった。また、排気装置などの対策は行われておらず、国家検定合格の標

章の付いた防じんマスクを使用している作業者は確認されなかった。

遊離けい酸含有率は吸入性粉じんの一部を分析し、最大で3.1%との結果を得たが、これは今回測定中にコンクリート等遊離けい酸含有率の高い建材の加工が行われなかったために低めの含有率を示していると考えるのが妥当である。Lofgren¹⁾、Linch²⁾、Riala³⁾は建設作業者の高い結晶性シリカ曝露を報告している。アスベスト曝露、有機粉じんと鉱物性粉じんの比率等と共に粉じんの成分分析は今後の課題としたい。

B. 改善すべき課題

1. 工程管理：粉じん作業の場所と時間を管理し、一定の場所と時間内で粉じん作業を行い、その範囲内で現実的な対策が必要である。材料を現場外の対策済の作業場で予め切断しておくことが効果的と思われるが、現場内に粉じん作業場所を設置して吸じん装置、呼吸用保護具等防じん対策を行い、また、定期的に業務用掃除機により清掃を行い再発じんを防止することも検討すべきと思われる。

2. 工学的改善：建材の電動工具による切断では局所排気装置の使用と切断方法の工夫により粉じんの飛散を抑えることができる。局所排気装置は工具メーカーが建設現場で使用可能なものを製造しており、多くの機種は業務用掃除機を兼用している。Thorpeら⁷⁾は作業現場での舗装スラブ切断時に排気装置を使用することで吸入性粉じんを90%以上減少させることを示している。切断方法の工夫は、材料の下面への粉じんの飛散を防ぐために、防じんマットまたはヤレ材を下に敷き、出刃を最小にする。労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課⁸⁾は防じんマットの使用により発じんを90から95%減少させることができるとしている。

3. 防じんマスクの使用：主に冬季に工事が行われたにもかかわらず、作業員の中で国家検定に合格した取り替え式防じんマスクを使用していた者はおらず、確かにマスクの着用による作業員への負担は大きいものと推測される。しかし、ガーゼマスクを使用している作業員は多く見られ、国家検定合格の標章のついた使い捨て式防じんマスクを着用することは不可能ではないと思われる。

4. 建築現場の特徴に応じた対策：以上1.~3.の対策は必要かつ実現可能と思われるが、今回測定を行った建築現場ではこれらの対策は実施されていないかった。建設現場には、臨時の作業場所であること、作業者が流動的であること、安全衛生法の適用外である独立または小事業主が多いこと等の安全衛生上の対策を困難にしている独特な要因があると思われる。今回の現場でも作業者の大半（少なくとも大工、鉄工、左官、ラムダ工、塗装工）は下請けの事業主であった。今後は建設業のこうした特徴と慣習を考慮した粉じんを含む安全衛生対策が実行されるべきと思われる。

V. まとめ

建築現場での作業者の粉じん曝露の実態を把握し改善を進めるために作業現場での粉じん濃度測定を実施した。個人曝露濃度測定では吸入性粉じん29%、総粉じん15%がOELの数値を超えた。大工、鉄工、サッシ工、左官は作業中平均で吸入性粉じんがOELの数値を超える可能性がある。石膏ボードの加工では電動丸鋸による切断時に高濃度の発じんが確認され、エアによる釘打ちおよび手掃き清掃による再発じんが見られた。本研究のような小規模の建築現場では粉じん対策が充分に行われておらず、これは建設現場に特有の要因に起因していると思われる。したがって今後は建築現場の特徴と慣習を考慮した粉じん対策が必要である。

謝辞

全面的にご協力をいただいた施主、設計事務所、工務店、そして現場での測定に協力していただいた建築職人の皆さんに謝意と敬意を表します。本研究はじん肺・ア

スベストじん肺被災者救済基金からの助成により行われたものであり関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) Lofgren D. Silica exposure for concrete workers and Masons. *Appl Occup Environ Hyg.* 1993; 8(19): 832-836.
- 2) Lynch K. Crystalline Silica Dust Exposure: Compliance in the Construction Industry. *Appl Occup Environ Hyg.* 1997; 12(9): 577-580
- 3) Blute NA, Woskie SR, Greenspan CA. Exposure characterization for highway construction. Part I: Cut and cover and tunnel finish stages. *Appl Occup Environ Hyg.* 1999 Sep; 14(9): 632-41.
- 4) Riala R. Dust and quartz exposure of Finnish construction site cleaners. *Ann Occup Hyg.* 1988; 32(2): 215-220.
- 5) Verma DV, Middleton CG. Occupational exposure to asbestos in the drywall taping process. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1980; 41(4): 264-269.
- 6) 花岡知之, 海老原勇. 建設労働者のアスベスト曝露実態. *労働科学* 1998; 74: 407-414.
- 7) Thorpe A, Ritchie AS, Gibson MJ, Brown RC. Measurements of the effectiveness of dust control on cut-off saws used in the construction industry. *Ann Occup Hyg.* 1999; 43(7): 443-456.
- 8) 労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課編. 改訂石綿含有建築材料の施工における作業マニュアル—石綿粉じんばく露防止のために—. 東京: 建設業労働災害防止協会, 1997: 36-42.
- 9) 労働省労働基準局編. 労働衛生のしおり. 東京: 中央労働災害防止協会, 2000: 282-283.
- 10) 名取雄司, 平野敏夫, 外山尚紀. 建設労働者の胸部レントゲン写真に関する検討. *産衛誌* 2001; 43: 385.
- 11) 東京労働基準局監修, 東京木造家屋等低層住宅建築工事安全対策協議会編. 作業者のための低層住宅建築工事の安全. 東京: 労働基準調査会, 1997: 8.

(受付: 2001年6月8日)