

特 別 寄 稿

モルタル研削作業中のけい酸ばく露評価 及び工学的対策

Assessment of Silica Exposure and Engineering Controls During Tuckpointing

安井省侍郎*

米国においては、多くの場合、作業環境の評価のために場の測定に加えて個人ばく露評価を行い、それによって作業方法の改善や工学的対策の効果の評価等を実施している。個人ばく露評価の1つの手法として、リアルタイムモニタリングとビデオ録画を組み合わせた詳細タスクばく露分析(Detailed Task—Exposure Analysis)の手法が、最近広く行われるようになってきている。本稿は、この手法の適用と効果について日本の読者に紹介するため、筆者がハーバード大学公衆衛生学大学院在学中に従事し、米国ACGIH発行のジャーナル“Applied Occupational and Environmental Hygiene”誌に掲載された論文¹⁾を、著者らの承諾を得て和訳・加筆訂正したものである。

1. はじめに

建設業における遊離けい酸へのばく露は、いまだに大きな問題となっている。この報告では、欧米諸国で広く行われている煉瓦壁のメンテナンス作業中に実施される煉瓦のモルタル目地の修復作業(Tuckpointing)に着目し、作業中の遊離けい酸のばく露について評価するとともに、ばく露低減のための工学的対策として開発された粉じん吸引システムの有効性について検討を行う。

肺胞に到達する粒径の遊離けい酸(吸入性遊離けい酸)は、じん肺症を引き起こす。さらに、米国労働衛生専門家会議(ACGIH[®])はけい酸を発がん性の疑いがある物質(suspected human carcinogen)とみなし、

米国家毒性学プログラム(NTP)および米国立労働安全衛生研究所(NIOSH)はけい酸を潜在的な発がん性物質(potential occupational carcinogen)に分類している。NIOSHは全米で100万人を超える労働者がじん肺のリスクにさらされ、そのうちの多数は建設労働者であると推定している²⁾。

吸入性遊離けい酸に対するNIOSHの勧奨ばく露限度(REL)、ACGIH[®]の敷居限度値(TLV[®])は、0.05 mg/m³である。一方、建設業での遊離けい酸を含む吸入性粉じんに対する米国労働安全衛生庁(US OSHA)の許容ばく露限度(PEL)は、1立方フィート当たりの粉じん数(mppcf)で表され、次の式により計算される。

$$PEL = 250 \text{ mppcf} / (\% \text{ silica} + 5)^2$$

しかしながら、この限度基準のために必要な測定機器はすでに一般的に使用されなくなっているため、この限度基準は事実上適用不能な状況にある。このため、OSHAの監督官は通常、建設業界に対しても一般産業向けの吸入性けい酸のPELを適用している¹⁾。このPELは、測定された粉じん濃度と、それに占める遊離けい酸の割合により、次の式で計算される。

$$PEL = 10 \text{ mg/m}^3 / (\% \text{ quartz} + 2)$$

%quartz: 粉じんの中に占める結晶遊離けい酸の割合)

本論文では、より新しいけい酸の健康影響の知見を反映して設定されているNIOSH RELとACGIH TLV(0.05 mg/m³)を評価基準として採用してばく露評価を行う。

今日、建設労働者は、なんらの工学的対策なしに恒

*厚生労働省群馬労働局安全衛生課長

常にけい酸含有粉じんにはばく露している。煉瓦壁モルタル目地研削作業者は、OSHA PEL の 17—116 倍、NIOSH REL の 212—4300 倍もの高濃度けい酸含有粉じんにはばく露しているとの報告もある²⁾。NIOSH によると、機械駆動でない空気ろ過式の呼吸用保護具は、NIOSH REL の 10 倍以上の高濃度な粉じんにはばく露する労働者には勧められないとしている²⁾。したがって、上記のような例の場合は、ばく露低減のためには呼吸用保護具に加え工学的対策が必要となる。OSHA も、規制物質へのばく露低減能力を強化するために、工学的対策の実施を求めている²⁾。

建設作業におけるばく露は、単位作業(タスク, task)と密接な関係がある²⁾。煉瓦壁モルタル目地研削作業においても、けい酸個人ばく露は、作業者が実施する単位作業の内容によって大きく異なる。このため、適切なばく露評価および工学的対策の設計には、それぞれの単位作業がどの程度ばく露量全体へ寄与しているのかを理解することが不可欠である。モルタル研削作業の単位作業ごとのばく露を分析するためには、直読式のリアルタイムモニターと、ビデオテープ録画を同時に行う「詳細タスク—ばく露分析」が有効である²⁾。

以上を踏まえた本研究の目的は以下のとおりである。

(1) 工学的対策の効果の評価

工学的対策を実施した場合と実施しない場合の吸入性粉じんの個人ばく露濃度の比較による。

(2) 個々の単位作業のばく露全体への寄与度の確定

モルタル研削作業中の詳細タスク—ばく露分析による。

(3) 工学的対策への改善提言

モルタル研削作業中の詳細タスク—ばく露分析結果と工学的対策の施されたグラインダーを使用した作業員のコメントの分析による。

(4) 呼吸用保護具の適合性評価

ばく露分析結果と建設現場で広く用いられる使い捨てタイプの半面防じんマスクの防じん能力の比較による。

2. 分析対象となる作業内容の詳細

煉瓦壁モルタル目地の補修作業は、煉瓦壁や石積み壁のモルタル目地をグラインダーで削り取り、そこに新しいモルタルを充填する作業である。研削深さは、

一般的に 4 分の 3 インチ (約 1.9 cm) 程度である。けい酸含有粉じんに対するばく露は、ほとんどがモルタル目地の研削時に発生するため、本報告では研削作業に注目して分析を行った (図 1 参照)。

米国においては、5 インチ程度のダイヤモンド刃を使用する手持ち式のグラインダーが最も広くこの作業で用いられている。本報告においては、ばく露評価と工学的対策の評価を行うために、以下の 4 つの機器の組み合わせによるシナリオを設定した。

(1) シナリオ 1

Metabo 社製 5 インチダイヤモンド平刃グラインダー (図 2 参照。以下「平刃グラインダー」という) のみ。

(2) シナリオ 2

平刃グラインダーに、集じん覆い(シュラウド) (図 2 参照) を装着したもの。集じん覆いは、高効率粉じ



図 1 典型的なモルタル目地修復作業のための研削作業



図 2 集じん覆い(シュラウド)付きダイヤモンド平刃グラインダー

ろ過 (HEPA) フィルターを装着した高性能集じん機 (Dust Director High Power Vacuum System, Industrial Contractor's Supplies 社製) に吸引ホースで連結されている (図3参照)。なお, 吸引風速については, 吸引ホース内で毎分約 2,500 フィート (約 760 m/min), 集じん覆いの入り口から 2 フィート (約 60 cm) 付近で毎分約 1,500 フィート (約 460 m/min) で

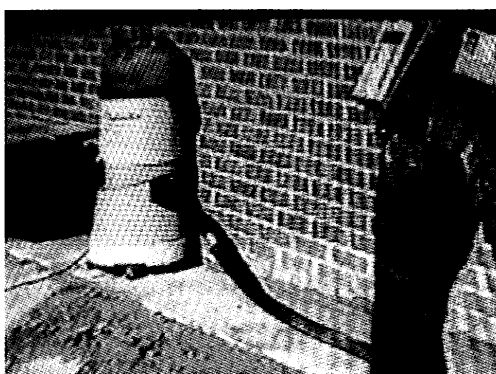


図3 集じん用 HEPA フィルター付きバキューム



図4 モルタルレーキグラインダー

あった。

(3) シナリオ 3

Dewalt 社製タングステンカーバイド針装着レーキグラインダー (図4参照, 以下「レーキグラインダー」という) のみ。

(4) シナリオ 4

レーキグラインダーに, 上記 (2) の集じんシステムを装着したもの。

表1にシナリオの一覧を示す。

3. 測定方法および使用機材

研削作業に熟練した作業員が採用され, それぞれのシナリオでモルタル研削作業を行った。本研究では, フィルターを用いた集積サンプリングと, リアルタイム測定を併用して個人ばく露の測定を同時に行った。2つの測定は, それぞれの結果を比較対照可能とするために測定時刻等をそろえて実施された。集積サンプリングは, サンプリング時間中の全体の時間荷重平均 (time-weighted average : TWA) 濃度を測定した。個人ばく露サンプリングは, 10 mm ナイロンサイクロン (Dorr Oliver 社製) と 37 mm カセット式ポリ塩化ビニル (PVC) フィルター (5 μm 孔径) を 36 インチのポリ塩化ビニルチューブでつなぎ, それらを 1.7 l/min に校正された Gilian 社製の空気サンプリング用ハイボリュームポンプにつないで実施した。ポンプは作業員の腰に装着し, サイクロンは作業員の襟元に, 作業員の呼吸範囲内にできるだけ近づけるように装着した。同じ作業員がすべてのシナリオで測定対象となった。作業員は, 3M 社製 GVP シリーズのベルト装着型の機械駆動式空気濾過呼吸器を, エア・サブライマスクにつないで使用していた (図1参照)。この呼

表1 工学的対策評価のためのシナリオ一覧

シナリオ No.	使用機器	付属品	工学的対策	研削対象物
1	ダイヤモンド平刃グラインダー (Metabo)		未実施	モルタル
2	ダイヤモンド平刃グラインダー (Metabo)	集じん覆い (シュラウド)	実施	モルタル
3	モルタルレーキグラインダー (DeWalt)		未実施	モルタル
4	モルタルレーキグラインダー (DeWalt)	集じん覆い (シュラウド)	実施	モルタル

吸用保護具の指定保護指数 (Assigned Protection Factor: APF) は 25 であった。APF が 25 であるということは、ばく露限度の 25 倍の濃度の吸入性粉じんばく露に対しても、十分な防護を与えられることを意味している。

集積サンプリングに加え、詳細タスクばく露分析のためにリアルタイムモニタリングが実施された。この測定方式では、直読式リアルタイムばく露モニタリング機器を用いたばく露測定と、ビデオ録画を同時に実施する。作業員の粉じんばく露測定は、PM₁₀ (粒径が 10 μm 以下の粉じん) のばく露を測定するために、10 μm 用粒径選別インパクターを装着した TSI 社製 DustTrack Model 8520 リアルタイム・エアロゾルモニターを用いて行われた。ビデオ録画は、サンプリングと同時進行で実施され、作業員の作業内容をすべて録画した。録画された映像から、作業員の研削姿勢などを分析し、主な単位作業(タスク)を特定した。リアルタイムモニタリングの結果とビデオ映像をシンクロさせることで、それぞれのタスクでの時間加重平均濃度を求めることができる。同時に、それぞれのタスクでのばく露が全体ばく露に占める割合を計算することが可能である⁸⁾。

また、本報告では使用していないが、Anderson らは、詳細タスクばく露分析のプレゼンテーションの手法として、ビデオ画面の中にリアルタイムなばく露濃度を棒グラフによりリアルタイムで表示する手法を提言している。これは、リアルタイムモニタリングの測定結果をソフトウェアを用いて棒グラフとして映像化し、それを録画された作業時の映像に合成することで実現される(図5にばく露濃度計を合成されたビデオ画面のイメージを示す)。この手法により、どの単位作業を行うときにばく露が高くなるのかを視覚的にとらえることも可能となり、作業員の教育や、事業者にはばく露の深刻さを理解させるのに非常に有効な手段

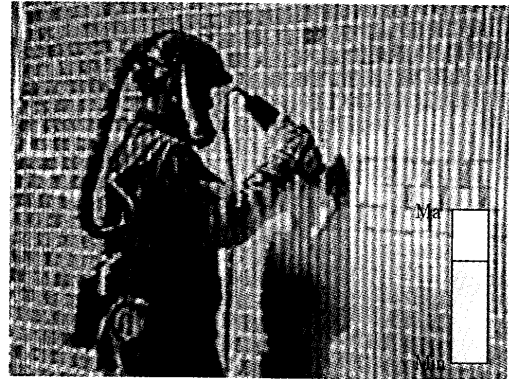


図5 ビデオ画面上に合成されたばく露濃度インジケーター

であるとされている⁸⁾。

サンプリング試料は、米国ペンシルバニア州モンロービルの RJ Lee Group 社に送られ、そこで分析された。吸入性粉じんサンプルは、NIOSH Method 0600 に従って分析された。次に、サンプルは、NIOSH Method 7500 に従い、X線を使用して結晶遊離けい酸が分析された。検出限界は、0.005 mg quartz であり、測定範囲は 0.059—0.59 mg/m³ であった。

4. 結 果

4.1 集積サンプリングによる吸入性けい酸の個人ばく露測定結果

集積サンプリングによる、吸入性粉じんと遊離けい酸の個人ばく露の時間加重平均濃度を表2に示す。シナリオ1を除き、すべての吸入性遊離けい酸の濃度は検出限界以下であった。サンプリング時間が限られていたため、検出限界は、わずかに NIOSH REL (0.05 mg/m³) よりも高かった。工学的対策のなされていない平刃グラインダーは、サンプリング時間の時間加重平均で 2.84 mg/m³ の吸入性遊離けい酸粉じんを発生させた(シナリオ1)。一方、工学的対策を施すと、

表2 集積サンプリングによる吸入性粉じん、遊離けい酸の個人ばく露測定結果 (NIOSH Method 7500)

シナリオ No.	使用機器	工学的対策	サンプリング時間 (min)	吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	遊離けい酸濃度 (mg/m ³)	RELに対する超過率 (RELの倍数)
1	平刃グラインダー	未実施	15	13.3	2.84	57
2	平刃グラインダー	実施	50	<1.17	<0.059	<1.2
3	レーキグラインダー	未実施	5	12.8	<0.59	<11.8
4	レーキグラインダー	実施	27	<2.17	<0.11	<2.2

けい酸濃度は検出限界未満の $<0.059 \text{ mg/m}^3$ となり(シナリオ2)、遊離けい酸の低減率は98%以上となった。レーキグラインダーについては、工学的対策により吸入性粉じんを少なくとも83%低減できることが分かった。しかし、サンプリング開始後5分後に発生したグラインダーの不具合のためサンプリング時間が不足し、遊離けい酸濃度が検出限界以下となって低減率を算出することはできなかった(シナリオ3および4)。

4.2 リアルタイムモニタリング結果および遊離けい酸濃度の推定

DustTrakを使用したリアルタイムモニタリングの結果を表3に示す。工学的対策による吸入性粉じん濃度の低減率は、平刃グラインダー(シナリオ1および2)で97.9%、レーキグラインダー(シナリオ3および4)で97.4%と非常に高い数値を示した。平刃グラインダーの低減率は、表2に示される集積フィルターのデータ(シナリオ1および2)による遊離けい酸の低減率(98%以上)とほぼ一致したことから、レーキグラインダーの遊離けい酸の低減率も、粉じん濃度の低減率(97.4%)とほぼ一致すると推測される。

また、表2では検出限界を下回ってしまった平刃グラインダーの遊離けい酸の濃度を次のように推測した。表3のシナリオ1での粉じん濃度が 36.42 mg/m^3 であったとき、表2のシナリオ1での遊離けい酸濃度が 2.84 mg/m^3 であったことから、DustTrakの粉じん濃度の約7.8%が集積フィルターでの遊離けい酸濃度に該当することが推定される。この比率を表3のシナリオ2の粉じん濃度(0.78 mg/m^3)にあてはめると、シナリオ2での遊離けい酸濃度は 0.061 mg/m^3 と推測される。この数値はNIOSH REL(0.05 mg/m^3)を若干上回っており、工学的対策を実施しても依然として、呼吸用保護具の使用が必要であることが分かった。

なお、平刃グラインダー使用時(シナリオ1および2)とレーキグラインダー使用時(シナリオ3および4)の研削したモルタルの成分は異なるため、シナリオ1での比率をシナリオ3および4にあてはめることはできず、レーキグラインダー使用時の遊離けい酸濃度を推測することはできなかった。

4.3 平刃グラインダー使用時における詳細タスク一ぱく露分析結果

平刃グラインダー使用時における吸入性粉じんの経時的なばく露を図6(工学的対策未実施、シナリオ1)に示す。この結果から分かるように、ばく露は経時的に非常にバラツキがあり、短く、かつ極めて濃度の高いばく露ピークが多数発生していることが分かる。詳細タスク一ぱく露分析は、このようなピークがどのような単位作業(タスク)を行っているときに発生しているかを明らかにすることができる。研削作業のタスクは、水平方向のモルタル目地の研削作業と、垂直方向のモルタル目地の研削作業の2種類に大別される。水平方向の研削作業は、グラインダーを目地に差し込んでから、1m程度目地に沿って研削を行う。研削方向によって、右から左の研削(HL)、左から右の研削(HR)、そして同じ場所での繰り返し研削(HP)に分類される。垂直方向のモルタル目地はおおむね5cm程度の長さであり、グラインダーを目地に差し込むとすぐに研削を終了し、次の目地に移るという作業を繰り返す。垂直方向の研削作業は、グラインダーを上向きにして研削する場合(VU)と、グラインダーを下向きにして研削する場合(VD)(図5参照)の2つに分類される。

作業状況の録画画像を子細に観察すると、工学的対策未実施(シナリオ1)でグラインダーを上向きに使用すると、刃の回転によって研削くずが上向き方向に排気されるため、粉じんを含む空気は壁沿いに上方に流れ、直接作業者の呼吸領域に直接吹き付けること

表3 リアルタイムモニタリングによる吸入性粉じん濃度および遊離けい酸の推定濃度

シナリオ No.	使用機器	工学的対策	ばく露時間(sec)	吸入性粉じん濃度(mg/m^3)	低減率(%)	推定遊離けい酸濃度(mg/m^3)
1	平刃グラインダー	未実施	858	36.42	—	—
2	平刃グラインダー	実施	2901	0.78	97.9	0.06
3	レーキグラインダー	未実施	209	24.07	—	—
4	レーキグラインダー	実施	1474	0.62	97.4	—

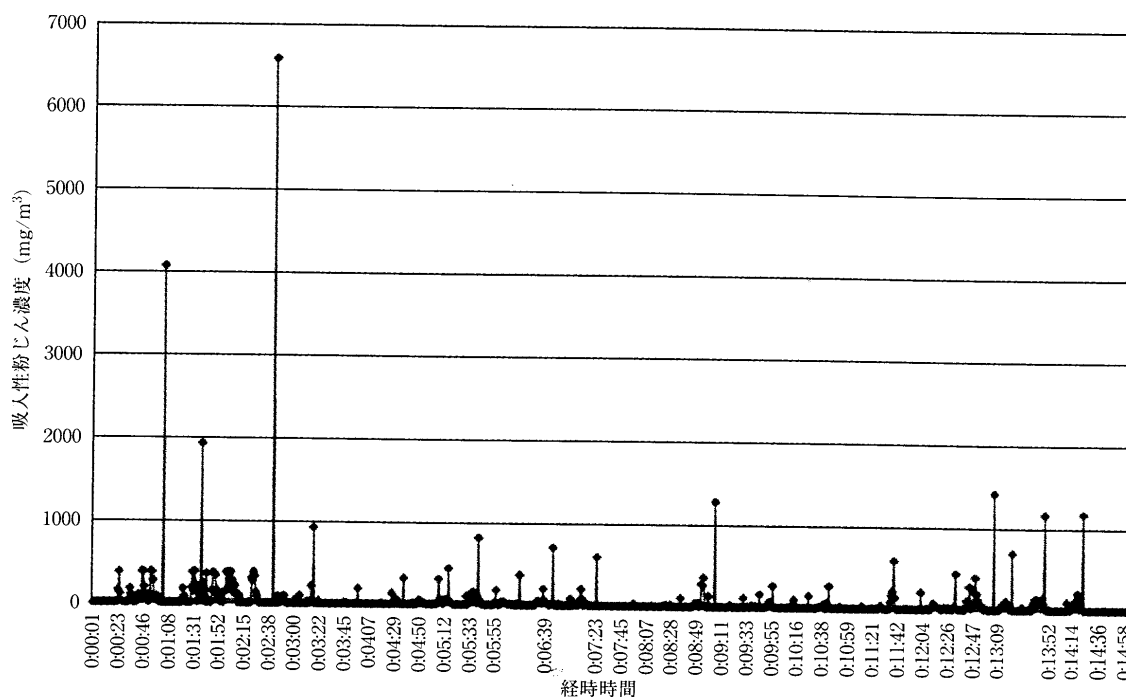


図6 リアルタイムモニタリング測定結果（工学的対策未実施，シナリオ1）

はあまり見られなかった。一方、グラインダーを下向きに使用すると、粉じんを含む排気は下向きに作業者の体に向かって吹き付けた。また、水平方向の研削では、粉じんによる排気が作業員の上半身全体を白く包んでいるような状態となっていた。工学的対策実施（シナリオ2）での垂直研削では、作業者は常にグラインダーを下向きに使用していた。これは、上向きにすると排気ホースが作業を妨害するためである。また、水平研削時には、排気ポンプを移動させたり、排気ホースを調整したりするなど、調整・準備に時間がとられていた。

工学的対策未実施の場合（シナリオ1）の詳細タス

クーばく露分析の結果を表4に示す。これによると、粉じん濃度の比較では、水平研削（HR、HL）は、垂直研削（VD、VU）のおおむね3倍の時間荷重平均濃度を示し、垂直上向き研削（VD）は垂直下向き研削（VU）のおおむね倍の時間荷重平均濃度を示した。ばく露量については、水平研削は作業時間の78.6%しか占めていないにもかかわらず、全ばく露量の93.4%を占めた。一方、垂直研削は作業時間の21.5%を占めているにもかかわらず、全ばく露量のわずか6.5%を占めるにすぎなかった。

工学的対策実施時（シナリオ2）のタスクばく露分析の結果を表5に示す。これによると、工学的対策

表4 詳細タスクばく露分析結果（工学的対策未実施，シナリオ1）

タスクID	タスク内容	ばく露時間(sec)	時間荷重平均ばく露濃度(mg/m ³)	全ばく露時間に占める割合(%)	全ばく露量に占める割合(%)
	バックグラウンド	19	0.12		
HL	水平研削(左方向)	491	44.42	57.2	69.8
HR	水平研削(右方向)	142	47.25	16.6	21.5
HP	水平研削(小刻み繰り返し)	41	16.83	4.8	2.2
VD	垂直研削(グラインダー下向き)	118	13.92	13.8	5.3
VU	垂直研削(グラインダー上向き)	66	6.01	7.7	1.3
	合計	858	36.42	100	100

表5 詳細タスクばく露分析結果（工学的対策実施，シナリオ2）

タスクID	タスク内容	ばく露時間(sec)	時間荷重平均ばく露濃度(mg/m ³)	全ばく露時間に占める割合(%)	全ばく露量に占める割合(%)
BG	バックグラウンド(研削作業前)	71	0.54		
HL	水平研削(左方向)	2076	0.50	71.6	46.3
HR	水平研削(右方向)	114	0.77	3.9	3.9
VD	垂直研削(グラインダー下向き)	475	1.52	16.4	31.9
P	準備・調整	236	1.71	8.1	17.9
	合計	2901	0.78	100	100

表6 詳細タスクばく露分析結果（レーキグラインダー使用時，シナリオ3および4）

工学的対策		ばく露時間(sec)	時間荷重平均ばく露濃度(mg/m ³)	全ばく露時間に占める割合(%)	全ばく露量に占める割合(%)
未実施	バックグラウンド	41	0.29		
	研削作業	209	24.07		
実施	バックグラウンド	20	0.25		
	研削作業	1197	0.53	80.1	68.8
	準備・調整	277	1.02	18.5	30.7
	合計	1474	0.62	100	100

により、粉じんばく露の時間荷重平均濃度は約98%の減少を示した。さらに、工学的対策実施時には未実施時とは逆に、垂直研削が水平研削の2-3倍のばく露濃度となった。これは、垂直研削時の吸引式粉じん回収システムの効率性が水平研削時に比較して低かったことを示している。このため、垂直研削は作業時間の16.4%しか占めていないにもかかわらず、全ばく露量の31.9%を占めることとなった。さらに興味深い結果として、グラインダーの調整・作業準備中のばく露濃度は単位作業（タスク）の中で最も高く、作業時間の8.1%で全ばく露量の17.9%を占めたことがあげられる。

4.4 レーキグラインダー使用時のタスクばく露分析結果

表6に、工学的対策実施時（シナリオ3）、未実施時（シナリオ4）の結果を一括して示す。レーキグラインダー使用時には、単位作業（タスク）を分類することができなかったため、研削時と準備時の区分のみ行っている。工学的対策未実施のばく露濃度は24.07 mg/m³であり、工学的対策により約98%のばく露低減が実現された。一方、準備時間中のばく露濃度が高く、作業時間の18.5%で全ばく露量の30.7%を占め

ていることも明らかとなった。

5. 考 察

集積サンプリングによる個人ばく露分析結果によると、工学的対策を実施しないモルタル研削作業は、NIOSH RELの57倍もの濃度のばく露をもたらすことが分った。建設労働者が通常使用する使い捨ての半面防じんマスクは、指定保護指数（APF）が10であり、NIOSH RELの10倍の濃度のばく露までしか耐えられないため、この高濃度ばく露下では労働者の健康障害を防止することはできない。われわれが今回評価した集じんシステムによる工学的対策は、ばく露を98%低減させることができるが、工学的対策を実施しても遊離けい酸ばく露の時間荷重平均濃度はNIOSH RELをわずかながらも超えた。このため、工学的対策を実施している場合でも、労働者は、OSHA呼吸用保護具基準（29.CFR 1910.134）を満たす呼吸用保護具を使用する必要がある。また、呼吸用保護具の使用が不要になるように、ばく露濃度がRELを下回るまで工学的対策の効率性をさらに高める必要がある。

平刃グラインダー使用時の詳細タスクばく露分析の結果から、吸引粉じん回収システムは全体としては

約98%のばく露低減をもたらすが、垂直研削に対しては水平研削と比較して効果が低いことが分かった。工学的対策実施時、垂直研削は水平研削のおよそ2倍のばく露をもたらす(シナリオ2)。一方、工学的対策未実施では、グラインダーの下向き使用時(VD, 表6)は上向き使用時(VU)の約2倍のばく露を発生させた。この原因としては、下向きに使用するとグラインダーの刃の回転による研削くずを含む排気が作業員の呼吸範囲に到達しやすいことが推定される。特に、工学的対策実施時には吸引ホースの関係上、作業員はグラインダーを常に下向きに保持しており、これが垂直研削時の工学的対策の効率を下げる原因の1つとなっていることが推定される。

工学的対策実施時では、グラインダーと吸引式粉じん回収システムの調整や準備中に、比較的高濃度のばく露が見られた。表5および表6の結果は、工学的対策実施時においては、調整・準備作業中の方が実際の研削作業時よりも高いばく露をもたらすことを示している。このばく露は、明らかにグラインダーや粉じん回収システムの中、あるいは労働者の保護衣に堆積している粉じんが飛散することによって発生するものである。工学的対策をより効果的にするためには、この調整・準備作業によるばく露に対して十分な注意を払う必要がある。

6. 提 言

じん肺の予防のため、モルタル研ま作業における工学的対策の実施が強く勧められる。実施される工学的対策は、作業員のばく露をNIOSH RELを下回る濃度まで引き下げることができる能力を持つ必要がある。もしこれが不可能である場合には、建設現場で通常使用される半面使い捨てマスク(APF 10)の許容範囲内となるように、少なくともRELの10倍を超えることがない濃度までばく露を低減できる工学的対策を実施すべきである。

垂直研削時の吸引式集じんシステムを改善するためには、集じん覆い(シュラウド)の再設計が必要である。グラインダーの刃による排気の流れがばく露濃度に大きく影響することが詳細タスクばく露分析から示唆されるので、集じん覆いの再設計により、排気が作業員の呼吸範囲内に到達しないような工夫が必要である。

粉じん回収システムの耐久性と使いやすさの改善も必要である。これにより、システムの調整・準備作業を減らし、ばく露をさらに減少させることが可能となる。本研究に従事した作業員も、回収システムが装着されたグラインダーの使いにくさを指摘していた。例えば、吸引ホースやバキュームは重く、動かしづらいため、作業員は作業をしばしば中断してポンプなどを移動させる必要があった。また、レーキグラインダーは作業を開始してからわずか5分で部品がはずれ、使用不能となった。これらの機器の耐久性と使いやすさの改善の必要性は明らかである。

引用文献

- 1) Yasui S., Susi P., McClean M., Flynn M., Herrick R. Assessment of Silica Exposure and Engineering Controls During Tuckpointing. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* Vol. 18 No. 12, 977-984, 2003.
- 2) Dear, J. A. : Memorandum for Regional Administrators : Special Emphasis Program (SEP) for silicosis. U. S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC (May 2, 1996)
- 3) Code of Federal Regulations : 29 CFR 1926.55 : Gases, Vapors, Fumes, Dusts, and Mists. U. S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC
- 4) Nash, T. N. ; Williams, D. R. : Occupational Exposure to Crystalline Silica During Tuckpointing and the Use of Engineering Controls. *Appl Occup Environ Hyg* 15 (1), 8-10, 2000.
- 5) National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators Certified Under 42 CFR 84 ; DHHS (NIOSH) Publication No. 96-101. NIOSH, Washington DC (January 1996)
- 6) Code of Federal Regulations : 29 CFR 1910.134 : Respiratory Protection. U. S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC.
- 7) Susi, P. ; Goldberg, M. ; Barns, P. ; et al. : The Use of a Task-Based Exposure Assessment Model (T-BEAM) for Assessment of Metal Fume Exposures During Welding and Thermal Cutting. *Appl Occup Environ Hyg* 15 (1), 26-38, 2000.
- 8) Anderson, I. A. ; Rosen, G. : Detailed Work Analysis for Control of Exposure to Airborne Contaminants in the Workplace. *Appl Occup Environ Hyg* 10 (6), 537-544, 1995.