

塗膜粉塵飛散防止液の開発

○ 中西 功¹⁾
原 直 樹¹⁾
田中 誠央²⁾
井上 哲治²⁾

1. はじめに

鋼橋塗替え工事において、鉛を含有する既存塗膜の剥離作業で作業者が鉛中毒を発症した。そのため、厚生労働省が 2014 年 5 月に各都道府県労働局に対して「鉛等有害物を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について」という文書を通達している。本通達では、鉛等有害物を含有する塗膜の剥離作業は、塗膜粉塵の飛散を抑制するため、湿潤化して行うこと、または、これと同等程度の粉塵濃度まで低減させる方策を講じることを義務付けている。このため、塗膜剥離剤により塗膜を湿潤化して剥離した後に、ブラスト処理またはサンダー掛けによる素地調整が実施されるようになった。しかし、塗膜剥離剤による剥離工法は施工コストが高くなりがちであり、また、全面剥離する素地調整程度 2 種相当を前提としているため、部分剥離の素地調整程度 3 種には適用しにくい。また、近年の環境対応型塗膜剥離剤においても、器具洗浄や拭き取り作業にシンナーを使用した場合は、火災事故を引き起こすリスクがある。

今回報告する塗膜粉塵飛散防止液は、塗膜剥離剤を用いずに、従来のディスクサンダーによる素地調整程度 2 種または 3 種において、粉塵状の微細な塗膜片の飛散浮遊を抑制するための水性湿潤剤である。さらには、素地調整程度 1 種への応用も試みている。

2. 開発内容

2. 1 水性湿潤剤の設計

湿潤化の手段として、水をそのまま塗付する「水湿し」では付着量が不十分であり、多量に塗付しても直ぐに大半が流れ落ちてしまう。さらに、蒸発速度が速いため、素地調整作業に十分な水を被塗物に一定時間保持させることができない。そのため、このような「水湿し」では、既存塗膜の除去作業中に絶えず水をかけ続けることになり現実的ではない。

今回報告する水性湿潤剤(塗膜粉塵飛散防止液)は、水にセルロース系水溶性高分子を溶解させている。これによりゲル状となり、垂直面に塗付しても流れ落ちにくい粘性を有している。また、水とセルロース系水溶性高分子中の親水基との水素結合により、水の蒸発による乾燥を遅らせている。さらに、水に難溶性である高沸点の PPG (ポリオキシプロピレングリコール) 系化合物を加えることで、水が蒸発した後も PPG 系化合物が残留し、湿潤状態が持続する設計としている。水性湿潤剤の湿潤状態持続効果の評価結果を表 1 に示す。また、セルロース系水溶性高分子は、PPG 系化合物の水への分散を補助する界面活性剤としても作用する。これらを強撹拌することにより、水に PPG 系化合物が乳化した分散液を形成し、均一で安定な分散状態を保つこと

1) スズカファイン株式会社 研究開発本部

〒510-0851 三重県四日市市塩浜町 1 番地

2) スズカファイン株式会社 営業本部東京支店

〒132-0025 東京都江戸川区松江 4-25-13

ができる。なお、セルロース系水溶性高分子はもとより、PPG 系化合物は人体に対する危険有害性が少なく、人体への安全性についても十分に配慮した設計となっている。

表 1 水性湿潤剤の湿潤状態持続効果

	2 成分系 (水/セルロース系水溶性高分子)	3 成分系 (水/セルロース系水溶性高分子/ PPG 系化合物)
湿潤性状態持続性	× (40 分程度で表面乾燥)	○

※ガラス板にアプリケーションを用いて 150 μ m の膜厚で塗付し、9 時間後の湿潤状態を評価。

○: 塗付面を指でさわると、指が濡れた状態になる。×: 塗付面を指でさわると、指が濡れた状態にならない。

2. 2 水性湿潤剤を用いた素地調整

水性湿潤剤を用いた素地調整の手順を表 2 に示す。

表 2 素地調整

工程	塗付量 (kg/m ² /回)	塗回数	塗付工具
1 養生	<ul style="list-style-type: none"> 素地調整作業対象以外の箇所やその周辺で飛散や接触する可能性のある範囲を、使い捨て養生シートなどで養生する。 		
2 水性湿潤剤塗付	0.15~0.25 (素地調整程度 1 種) 0.15~0.25 (素地調整程度 2 種) 0.1~0.2 (素地調整程度 3 種)	1 2~3 1~2	ウールローラー中毛 刷毛
3 素地調整	<ul style="list-style-type: none"> 指定された素地調整種別(1 種、2 種または 3 種)に応じて素地調整を行う。 水性湿潤剤の塗付による塗膜粉塵飛散防止効果が低下した場合は、水性湿潤剤を再度塗付し、素地調整を行う。 		
4 除去・清掃	<ul style="list-style-type: none"> 素地調整後、素地に残った水性湿潤剤と素地に飛散した付着物を、直ちにウエスなどで完全に拭き取り、除去・清掃する。 除去・清掃に使用したウエス類や、素地調整による周囲への飛散物は、使い捨て養生シートとともに処分する。 		

2. 3 水性湿潤剤の塗替え塗膜への影響調査(その1)

素地調整後、素地調整面に水性湿潤剤が残留した場合を想定し、塗替え塗膜の付着性に及ぼす影響を調査した。まず最初に、溶剤脱脂した基材(SPCC-SD)に水性湿潤剤を 0.01、0.05、0.10kg/m² 塗付し、4 時間後の表面状態を評価した。次に、塗替え塗料を塗付し、養生日数を変えての付着性と、耐水試験後の付着性を、水性湿潤剤を使用しない場合と比較した。これらの試験結果を表 3 に示す。

素地調整後の水性湿潤剤の残留量が 0.05kg/m² 以上では、水性湿潤剤が未乾燥の状態ですべて塗替え塗料を塗付することとなり、耐水試験において著しい付着性低下を生じた。ただし、水性湿潤剤の残留量を 0.01kg/m² にすれば、塗替え塗膜の付着性にほぼ影響しない結果が得られた。

なお、鋼板に水性湿潤剤を 0.10kg/m² 塗付した後にウエスで拭き取りをした結果、容易に残留量を 0.01kg

$1/m^2$ 以下にすることができ、実際の施工現場においても十分に達成可能な拭き取りレベルである。

表 3 塗替え塗膜の外観と付着性

下塗り塗料:2 液弱溶剤形変性エポキシ樹脂さび止め塗料、上塗り塗料:2 液弱溶剤形ふっ素樹脂塗料

		①	②	③	④
水性湿潤剤の残留量 (kg/m ²)		無	0.01	0.05	0.10
水性湿潤剤を塗付し、 4 時間後の状態	乾燥状態 ^{※1}	—	△ 指に付着	×	×
	フラッシュさび	—	○	○	○
下塗り塗料を塗付してから 3 時間後の 乾燥状態 ^{※1}		○	○	○	○
塗替え塗膜の付着性 ^{※2}	7 日後	21/25	11/25	24/25	2/25
	44 日後	25/25	25/25	25/25	25/25
耐水性 ^{※3} 7 日間	外観	○	○	○	○
	付着性	25/25	23/25	5/25	0/25

評価基準: (優)○ > □ > △ > × (劣)

※1) 指触評価。 ※2) 鋼道路橋防食便覧付 II -3(30) に準じる。

※3) 鋼道路橋防食便覧付 II -3(28) に準じる。

2. 4 水性湿潤剤の塗替え塗膜への影響調査(その2)

前述の試験結果から、水性湿潤剤の残留量を $0.01\text{kg}/\text{m}^2$ に設定し、塗替え塗膜の防錆性に及ぼす影響を調査した。また、水性湿潤剤の拭き取りをより確実にするため、アルカリ水による拭き取りの効果も評価した。アルカリ水は、水性湿潤剤中のセルロース系水溶性高分子を膨潤する性質を有する。このため、水性湿潤剤が乾燥して皮膜化してもアルカリ水で速やかに再溶解させることができる。アルカリ水としては、アルカリ腐食性がマイルドなセスキ炭酸ナトリウム(炭酸ナトリウムと重曹の複塩)の 2% 水溶液(pH 約 10)を用いた。

試験手順として、まず、溶剤脱脂した基材(SPCC-SD)に水性湿潤剤を $0.01\text{kg}/\text{m}^2$ 塗付した後、アルカリ水による拭き取りの有無を比較した。また、水性湿潤剤を塗付せずにアルカリ水による拭き取りも実施した。次に、塗替え塗装では、防食下地として有機ジンクリッチペイントの有無で、塗替え塗料を塗付した。これらの試験結果を表 4 に示す。

標準の付着試験では、全て良好な結果となった。耐水試験では、全て外観に異常は見られず、付着性もほぼ良好な結果となった。サイクル腐食性(216 時間)では、平面部での錆・膨れは全て合格する結果となったが、クロスカット部においては有機ジンクリッチペイントを使用した方が良好な結果となった。水性湿潤剤を塗付しない場合、アルカリ水による拭き取りの有無で、塗膜性能の差異はほとんど見られなかった。しかし、水性湿潤剤を塗付した場合、アルカリ水による拭き取りを実施しない条件では、サイクル腐食性試験におけるクロスカット部からの膨れの進行が促進した。一方、アルカリ水による拭き取りを実施する条件では、クロスカット部からの膨れの進行が、水性湿潤剤を塗付しない場合と同程度であった。

以上の結果より、水性湿潤剤の残留量を $0.01\text{kg}/\text{m}^2$ にすれば、塗替え塗膜の品質低下をかなり抑制できることが確認できた。さらに、残留した水性湿潤剤をアルカリ水で拭き取ることにより、水性湿潤剤の影響がほぼ

無くなることも確認できた。また、アルカリ水による拭き取りは、水性湿潤剤の除去を容易にするだけでなく、フラッシュさびを生じにくくさせる効果も期待できる。

なお、水性湿潤剤の残留量が $0.01\text{kg}/\text{m}^2$ 程度であれば、塗替え塗膜の品質にさほど影響を及ぼさなかった理由としては、水性湿潤剤の成分に帰因すると推定される。水性湿潤剤は、不揮発成分としてセルロース系水溶性高分子と PPG 系化合物を含有しているが、耐水性低下の主原因となるセルロース系水溶性高分子はほんの僅かしか含有していない。また、水に難溶性である PPG 系化合物は、有機ジンクリッチペイントや溶剤形変性エポキシ樹脂さび止め塗料に溶解するため、これらを塗装後に塗料中に拡散し、基材との界面での残留量が減少すると考えられる。

表 4 塗替え塗料の塗膜性能

下塗り塗料:2 液弱溶剤形変性エポキシ樹脂さび止め塗料、上塗り塗料:2 液弱溶剤形ふっ素樹脂塗料

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
水性湿潤剤の残留量 kg/m^2		—	—	0.01	0.01	—	—	0.01	0.01
アルカリ水による拭き取り		—	有	—	有	—	有	—	有
有機ジンクリッチペイント塗付		—	—	—	—	有	有	有	有
塗替え塗膜の付着性 ^{*1} 7日後		25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25
耐水性 ^{*2} 7日間	外観	○	○	○	○	○	○	○	○
	付着性	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	25/25	23/25	25/25
サイクル 腐食性 ^{*3} 216 サイクル	平面部	さび	○	○	○	○	○	○	○
		膨れ	○	○	○	○	○	○	○
	クロス カット部	さび	○>□	○>□	○>□	○>□	○	○	○
		膨れ	△	△	×	△	○<□	□	△-×

評価基準: (優)○>□>△>×(劣)

※1) 鋼道路橋防食便覧付 II-3(30)に準じる。 ※2) 鋼道路橋防食便覧付 II-3(28)に準じる。

※3) 試験方法は、JIS K 5600-7-9(サイクル D)に準じる(JIS K 5551 の試験時間 120 サイクル)。

周辺部から 10mm 以内とクロスカット部の両側 4mm 以内は平面部の評価対象外。

3. 粉塵濃度低減効果

3. 1 ディスクサンダーによる素地調整

水性湿潤剤の粉塵発生抑制効果を定量化するため、素地調整作業時の粉塵濃度を測定した。実験場の見取り図を図 1、素地調整作業時の様子を写真 1 に示す。試験板は、基材(SGCC-SD、900mm×900mm)に溶剤形エポキシ樹脂さび止め塗料を下塗りし、合成樹脂調合ペイントを上塗りしたものを用いた。粉塵濃度測定は株式会社山梨県環境科学検査センターに委託し、粉塵濃度をハイボリューム・エアサンプラー(柴田科学製 HV500)および光散乱デジタル粉塵計(日本カノマックス製 MODEL3442)を用いて 3ヶ所で測定した(測定 No.1~No.3)。

試験は、湿潤処理なしの“未処理”、試験板に水を散布した“水湿し”、水性湿潤剤を塗付した“湿潤剤処理”の 3 種類で実施した。水湿しは、試験体表面に霧吹きで水が滴る程度まで噴霧して素地調整作業を実施した。また、湿潤剤処理は、水性湿潤剤をウールローラーで $0.11\sim 0.14\text{kg}/\text{m}^2$ 程度塗り付け、ディスクサンダ

一(研磨紙#60)を用いて素地調整作業を実施した。素地調整の作業時間はいずれも 3 分間とした。

測定 No.1～No.3 の地点において、素地調整開始から 3 分間に発生した塗膜粉塵をハイボリウム・エアサンプラーにより捕集し、粉塵濃度を測定した結果を表 5 に示す。また、この粉塵濃度を用い、これらと同地点において光散乱デジタル粉塵計で測定した粉塵相対濃度 (CPM) から質量濃度換算係数 (K 値 = 粉塵濃度 / CPM) を算出し、粉塵計の計測値から換算した経時濃度変化を図 2 に示す。

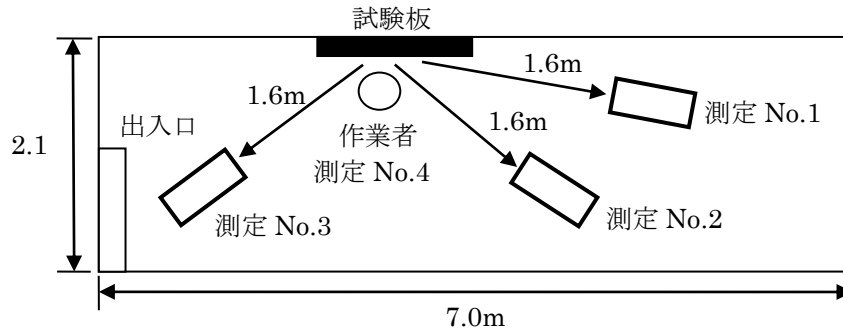


図 1 素地調整作業時の見取り図

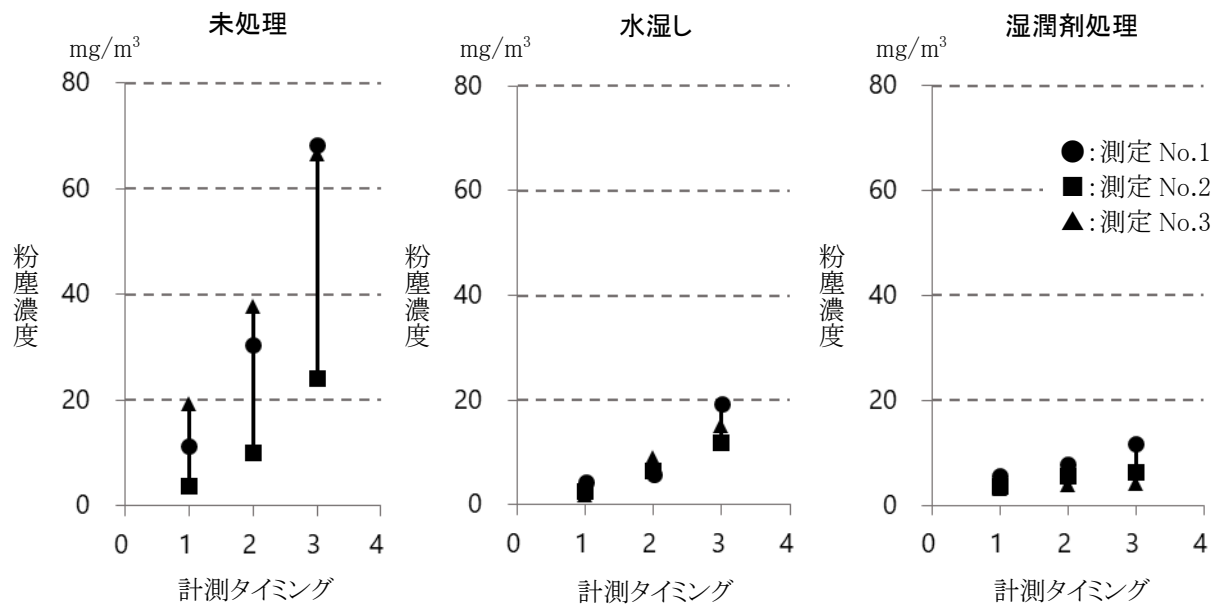


写真 1 素地調整作業

表 5 ハイボリウム・エアサンプラー (柴田科学製 HV500) による素地調整開始から 3 分間の平均粉塵濃度 (mg/m³)

	測定 No.1	測定 No.2	測定 No.3	平均値
試験前濃度	0.3	0.3	0.3	0.3
未処理	36.6	12.6	41.1	30.1
水湿し	9.9	6.7	8.8	8.5
湿潤剤処理	8.4	5.1	3.6	5.7

吸引速度: 約 500L/分、吸引時間: 3 分間



1: 素地調整開始直後から 30 秒間、2: 開始 1 分後から 30 秒間 3: 開始 2 分後から 30 秒間

図 2 デジタル粉塵計(日本カノマックス製 MODEL3442)による粉塵濃度経時変化

表 5 に示すように、測定 No.1~No.3 の地点においては、未処理の粉塵濃度と比べて、水湿しでは約 30% に低減でき、湿潤剤処理では 20% 未満まで低減できた。3ヶ所の測定地点のうち、測定 No.2 における粉塵濃度がやや低めであったが、これはおそらく作業により粉塵が遮られた影響によるものと考えられる。

図 2 に示すように、上記と同地点におけるデジタル粉塵計を用いた粉塵濃度測定でも、未処理による粉塵濃度と比べて、湿潤剤処理では 20% 未満まで粉塵発生を抑制する効果が確認できた。また、素地調整時間 3 分間での粉塵濃度の経時変化では、いずれの条件でも素地調整時間が長くなるほど粉塵濃度が増加する傾向が見られたが、未処理に比べると湿潤剤処理の方が粉塵濃度の上昇傾向が顕著に減少している。これは、素地調整時間が長くなるほど未処理と湿潤剤処理の粉塵発生量の差が大きくなることを意味している。

水性湿潤剤の効果は、東京都内A橋でのディスクサンダーによる素地調整実験で実際に確認した。水性湿潤剤を塗付しなかった場合を写真 2、塗付した場合を写真 3 に示す。水性湿潤剤を塗付しないと粉塵状の微細な塗膜片が著しく発生したのに対して、水性湿潤剤を塗付すると粉塵はほとんど生じなかった。

その後、2 年前に NETIS 登録したことで相まって、水性湿潤剤に関する問合せが増えてきており、採用実績も各地で広がりつつある。



写真 2 水性湿潤剤なし



写真 3 水性湿潤剤あり

3. 2 ブラストによる素地調整

ディスクサンダーによる素地調整で、水性湿潤剤の塗膜粉塵飛散防止効果が実証されたため、次に、極東メタリコン工業株式会社の協力を得て、ブラスト工法による素地調整程度 1 種への応用を試みた。

まず、三重県内と千葉県内の道路鋼橋において、実際に水性湿潤剤を用いてブラストによる素地調整を試行した。その時の、水性湿潤剤を塗付している様子を写真 4 に、ブラスト作業中の様子を写真 5 に示す。結果として、ブラスト作業中の研削材に由来する粉塵発生量はそれほど低減できなかったが、一方で、ブラスト作業直後の浮遊粉塵が、水性湿潤剤を用いることで速やかに沈降し、視界が開けやすくなることが判明した。



写真 4 Moistop K の塗付



写真 5 ブラスト作業

上記の結果を踏まえ、極東メタリコン工業株式会社の施設内において、ブラスト作業時の粉塵濃度を測定し、水性湿潤剤の粉塵発生抑制効果を調査した。試験体は、基材にふっ素樹脂系塗料で防食塗装された鋼板（膜厚 300～350 μm 、600mm×900mm）を用いた。水平に設置した塗装鋼板に、手前から斜め奥方向にブラストし（研削材：フェロニッケルスラグ）、約 5 分間で全面的塗膜を除去した。粉塵濃度は、デジタル粉塵計（柴田科学製 LD-6N）を用い、ブラスト作業開始から終了までの 5 分間と、その後 5 分が経過するまで合計 10 分間測定した。測定結果を図 3 に示す。

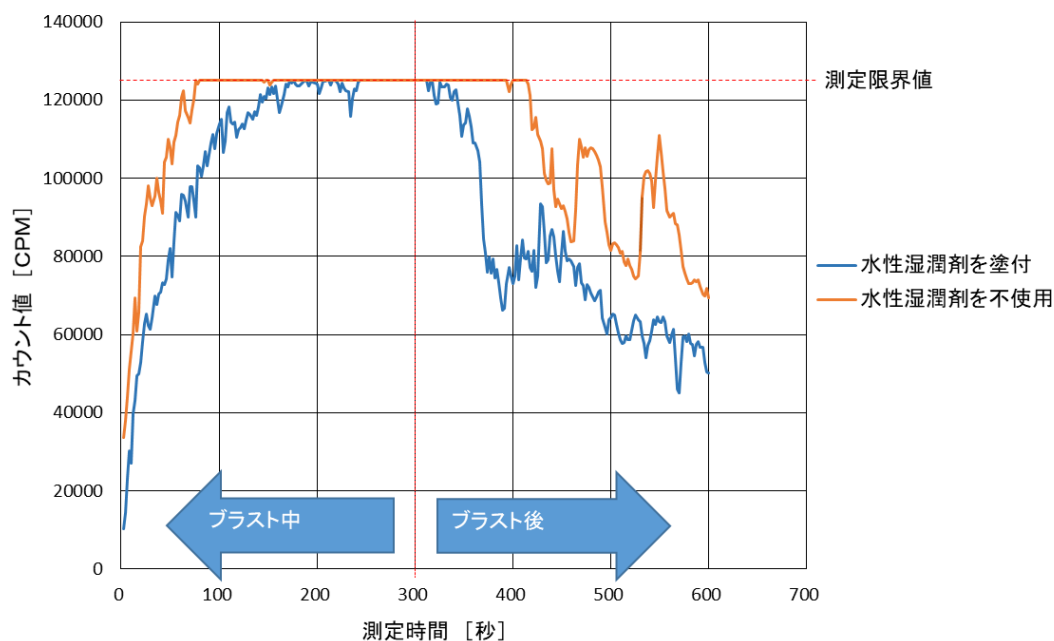


図 3 ブラスト作業における粉塵濃度

ブラスト作業では、破碎した研削材も飛散するため、夥しい量の粉塵を発生するが、中でも水性湿潤剤を使用した場合は、粉塵発生量を低減できることを体感できた。このことは図 3 からも明らかであり、ブラスト開始後の粉塵濃度上昇が遅延されており、また、ブラスト作業終了後からの粉塵濃度降下が促進されている。

このように、水性湿潤剤を用いることで浮遊粉塵の沈降が早められる理由としては、粉塵発生量が抑制されるのではなく、粉塵の粒子サイズが大きくなることにより、重量が増して沈降しやすくなり、粉塵の浮遊時間が短縮され、飛散範囲が狭まることによると推定される。これは、ディスクサンダーによる素地調整において、水性湿潤剤を用いることで粉塵濃度が低減されることにも当てはまる。

3. 3 その他の素地調整への応用

塗装鋼材の素地調整工法として、ディスクサンダーやブラスト以外に、素地調整程度 1 種相当とされるブラスト面形成電動工具があり、G-TOOL 株式会社の協力を得て、水性湿潤剤の有用性を確認した。さらに、コンクリート素地面のディスクサンダーによる素地調整についても応用を検討した。表 6 に試験結果のみを示す。

塗装鋼板のブラスト面形成電動工具による素地調整では、水性湿潤剤の使用が粉塵濃度低減に有効であることを確認できたが、低減率は 67%にとどまった。これは、ブラスト面形成電動工具による粉塵発生量がもともと少ないことと、測定地点まで粉塵が浮遊飛散しにくかったことによると考えられる。

コンクリート板のディスクサンダーによる素地調整では、水性湿潤剤を使用することで粉塵濃度が 30%に低減にされ、水性湿潤剤の有用性が確認できた。

表 6 ハイボリウム・エアサンプラー(柴田科学製 HV500)による素地調整開始から 1 分後の粉塵濃度(mg/m³)

試験基材	素地調整工具	粉塵濃度 mg/m ³		低減率 %
		水性湿潤剤 不使用	水性湿潤剤 使用	
塗装鋼板	ブラスト面形成電動工具	1.5	1.0	67
コンクリート板	ディスクサンダー(研磨紙#40)	79.6	23.9	30

測定距離:1.2m、吸引速度:約 500L/分、吸引時間:1 分間

4. まとめ

最近になり、環境対応型塗膜剥離剤による塗膜剥離工法が急速に普及しているが、インフラ整備に要する予算は有限であるため、安全性を確保しながら施工コストが安価となる素地調整工法の開発は、今後も必要不可欠である。また、塗替え塗膜の耐用年数とメンテナンス周期を長期化できるブラスト工法においても、施工時の粉塵対策は、作業者や近隣環境への負荷低減から重要な課題となっている。

今回報告した水性湿潤剤は、素地調整時の粉塵濃度を低減させるものであるが、まだまだ改良すべき点も多く、粉塵発生を皆無にできる特効薬でもない。しかしながら、インフラ整備は待ったなしで推し進める必要があるため、費用対効果の点でベターな選択肢として役立てればと考える。

謝辞

水性湿潤剤の開発にあたり、多くのご助言をいただいた建設塗装工業株式会社の関係者を始め、各種試験にご協力いただいた本報記載の方々に深く感謝いたします。