

スポンジブラスト工法の紹介

宮 崎 香

(株)宮崎塗装工業 代表取締役
本会九州地区委員会副委員長

□ はじめに

塗装の立場からブラストといえば一般的には「サンドブラスト」を指す。

サンドブラストは主に「けい砂」を研削材とする。けい砂は廉価で供給が安定した国産品で、水門を中心とした鋼構造物現場施工の素地調整に広く採用されている。

ところが、「じん肺」の危険性が高いとして ISO では先に規格の対象外となっており JIS と不整合の状態にあったが、2007 年 4 月より JIS のブラスト処理用非金属系研削材から「けい砂」が除外されることが決定した。このため、けい砂に代わる研削材探しが急がれている。代替品の選定にあたっては性能や価格、供給安定性が前提となるが、さまざまな事情から円滑に推移していない。この状況を早急に改善しないと現場ブラスト実務に支障を来す懸念がある。

けい砂の代替品問題が深刻化した背景に、珪砂が JIS(ISO)から除外されることが予想されたにもかかわらず、除外公告以前を含め、関係する研削材製造、流通、施工業者が有効な対応策の検討を急がなかったとする指摘がある。すなわち、JIS から除外されてもその使用に法的な拘束を受けることはないとして楽観的に捉えていたのではないかと。規格外品は公共工事から排除されるし、除外理由が産業疾病に起因するならば、PCB やアスベスト禍を見るまでもなく、環境と健康に重大な影響を及ぼすものとして問題化する可能性が予見された筈である。

一方、先に刊行された『鋼道路橋塗装・防食便覧』で橋梁へのブラスト適用が盛り込まれ、足場、防護など付帯作業の整備を含めた検討も急務となっている。中でも、使用済研削材の足場床上への堆積と回収、研削作業時に発生する微細粉じんの排出、換気、照度の確保など、研削材に関連する問題は裾野が広い。

今般ご紹介するスポンジブラスト工法は原理的には加圧式ブラストであるが、研削材に特徴があり、カットワイヤやアルミナを芯材として周囲をウレタン(スポンジ)でコーティングしたものである。この加工構造により投射後の跳ね返りや研削材の破碎による粉じん発生が著しく軽減されるとともに、施工時の視界確保による作業精度、効率の向上が図られる。このように研削材への二次的加工で機能性を付したものは類例を見ないが、ブラストに関連する問題の解決に寄与するとの期待が大きい。ただし、機械設備など初期投資費用や研削材の価格に割高感があることなど、普及するためには解決すべき課題も少なくない。なお、スポンジブラストは国土交通省の新技术登録(NETIS)済である。

さて、地球規模で環境が論じられる昨今、健康で快適且つ安全な暮らしに市民の関心は深い。

今後、ブラストの適用が拡大され、市街地近傍での施工機会が増えるものと予測される。騒音や粉じんなど副次的に発生するリスクをいかに軽減し環境と共生するかが問われる。その有効な手段のひとつとしてスポンジブラスト工法を提案したい。

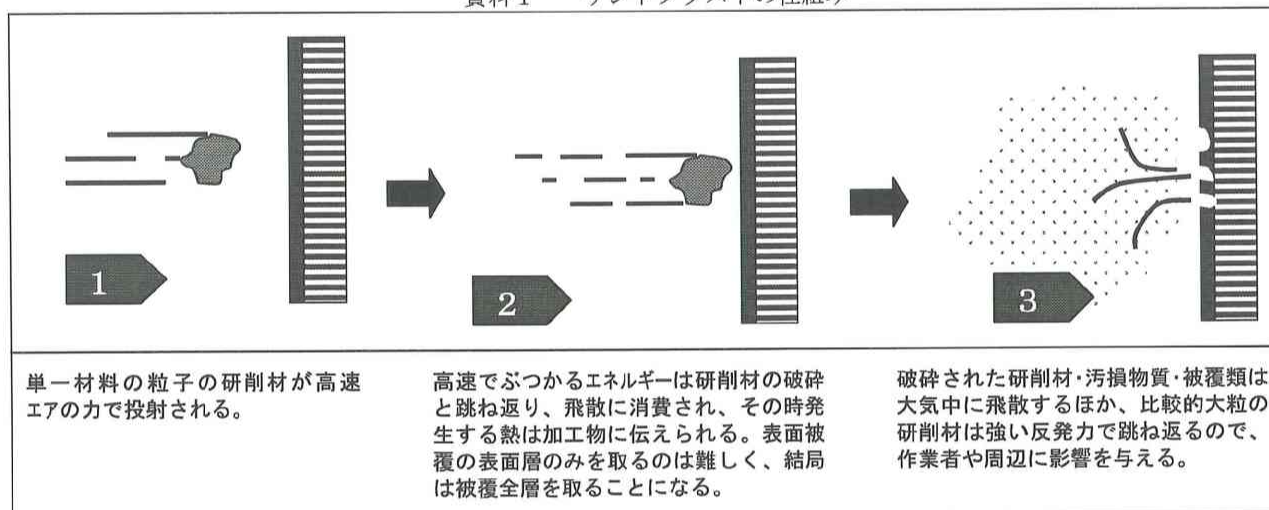
□ スポンジブラストとは？

ブラスト用研削材には、適用対象や施工場所などによりさまざまな選択肢がある。

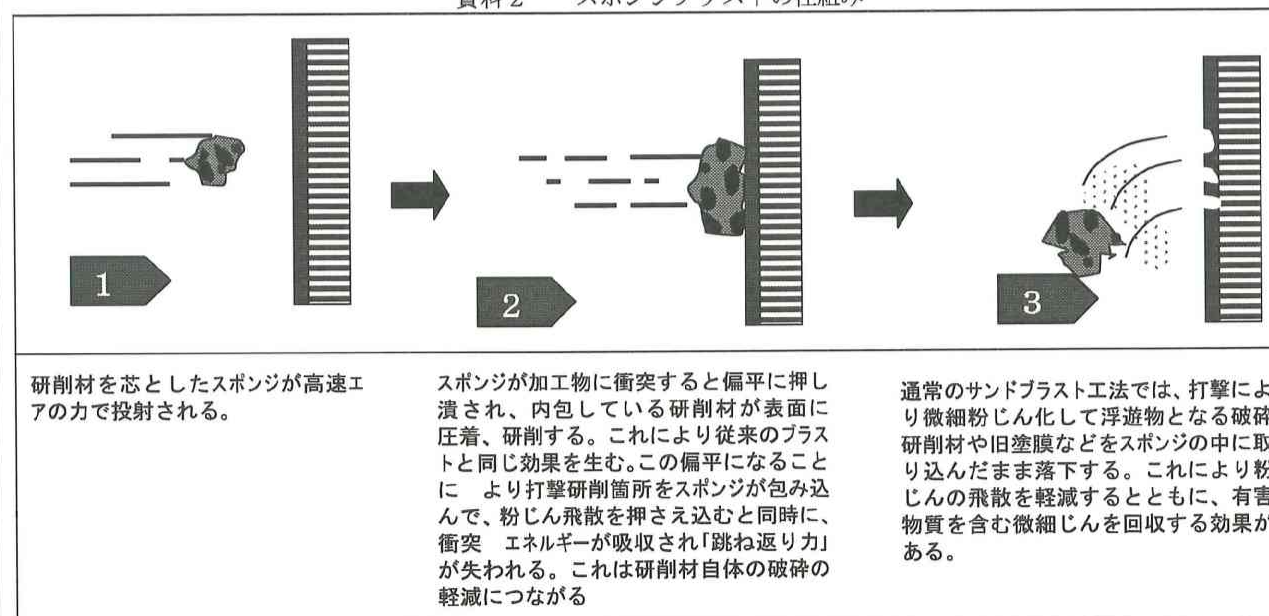
工場における原板および製品ブラスト工程では、経済性や効率性の観点からスチールショットやスチールグリットが一般的である。一方、水門等既設構造物の現場施工においては、経済性や調達容易性、供給安定性からけい砂が広く使用されてきた。ところが、冒頭に述べた事由から、いわゆるサンドブラスト(けい砂使用)に制約が発生し、代替品の選定等、現実的な対応が急務となった。

スポンジブラストは1990年代に実用化された技術である。在来の研削材をウレタンスポンジで包み込む発想は斬新であり、微細粉じんの発生抑止や打撃時の衝撃緩衝によるノズル操作者の負担軽減、研削材の繰り返し使用が可能なことによる廃棄物発生量の軽減や経済性、更に作業時の粉じん発生低減に伴う視認性と施工精度の向上、作業者の装備軽装化による負担軽減など、多くの導入メリットを提唱している。

資料1 サンドブラストの仕組み



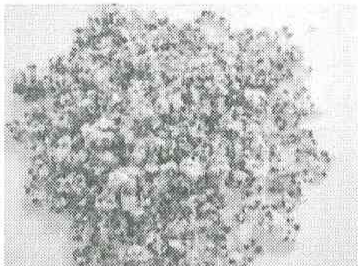
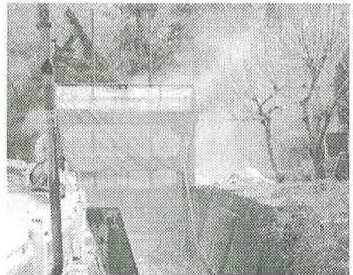
資料2 スポンジブラストの仕組み



前ページ資料 1 および 2 に示すように、サンドブラストとスポンジブラストの大きな相違点は、打撃衝突に伴う研削材の破碎や旧塗膜、錆等異物の微細(粉)じんの発生にある。副次的に浮遊じんの減少による視界の改良と施工精度向上への寄与、研削材の繰り返し使用による廃棄物発生量の低減などの効果も認められる。

下にサンドブラストとスポンジブラストの比較写真を示す。

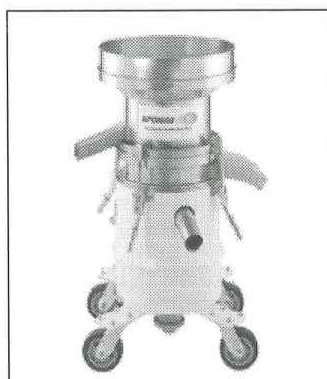
資料 3 比較写真

項 目	サンドブラスト	スポンジブラスト
研 削 材		
	宇部けい砂(5号A)	スポンジ研削材グレー(アルミナ芯材)
設 備		
	リモコン型サンドブラスト機(厚地鉄工製)	スポンジブラスト機本体+分離機(右)
作 業 状 況		
	白煙状況を示すのは「粉じん」	右の人物のすぐ直下で作業中
作業員装備		
	ガラス窓付エアラインマスク	不織布製被りマスク(プラスチック窓付)

資料4 スポンジブラスト作業の流れ



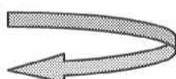
スポンジブラスト機本体



分離機(リサイクラー)



除湿型 100PS コンプレッサー



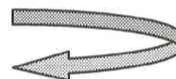
スポンジ研削材



研削材をブラスト機に投入



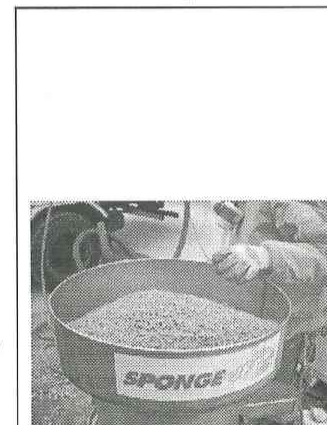
ブラスト投射作業



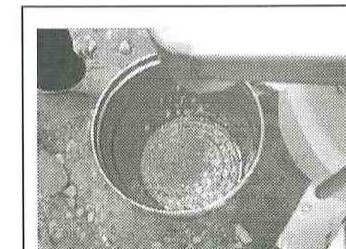
研削廃材等集塵(手作業)



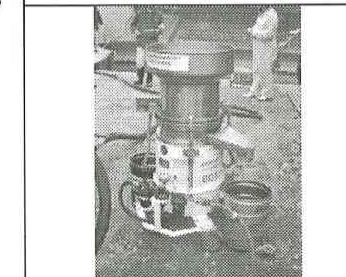
研削廃材集塵(掃除機)



研削ダストを含む研削廃材の分離機(リサイクラー)への投入



分離機作動状況



左：ダスト、右：再利用可能

資料5 代表的非金属系研削材の特性

研削材の種類	形状	粒度 範囲	モース 硬さ	見掛け 密度	再使用性 (破碎率)	粉 塵 発生量	効 率	経済性	消耗量	仕上げ状態
けい砂(砕石)	G	ばらつき 大	650 以上	2.5~2.7	無 77~90	多大 (167)	4~8	安価	多	ガーネットより劣る。 付着物が多い。
ガーネット	G& S	規格内	7.5~8	4.0~4.1	有 46	少 (28)	11~14	中	少	けい砂より良。付着物少。飛散 粒子が赤褐色で目立つ。
銅スラグ	G	ばらつき 大	6~7 Hk580~950	3.3~3.9	有 61	中	—	安価	中	黒色点状突き刺りが多く、Sa2 以上の仕上げ面は困難。
熔融アルミナ褐色(A)	G	規格内	9 Hk2050	3.76	有 34	極少	20~30	高価	少	清浄面は得られるが、突き刺さ りが多い。
熔融アルミナ白色(WA)	G	規格内	9 Hk2070	3.80	有 24	極少	20~30	極高価	少	仕上がり面はスチールグリッ トより清浄。

- ※1. 非金属系研削材は開放(オープン)での使用が多い。
- ※2. 回収・再使用(可能なもののみ)にあたっては磁力回収装置は適用されない。すべてバキューム(吸引)装置と手作業による集塵・回収なので、労務コストが嵩む。
- ※3. 使用済(回収)研削材は打撃により損耗を受けるため、再使用にあたっては有効使用率が著しく低下する。それでも再使用を行う場合は、目減り分に新規品を補充する必要がある。
- ※4. 硬さは「モース硬度」により示す。
- ※5. 見掛け密度の単位は(kg/d m³) ISO による。
【参考】 見掛け密度：研削材粒子の不均質部及び内部に存在する(表面に口を開かない)欠陥としての空隙部を含む粒子全体の平均密度。
- ※6. 効率：黒皮を Sa2(Commercial)以上まで仕上げる場合に要する単位時間当たりの処理面積(m²/h)。
- ※7. 再使用性：リサイクルの可能性および基材あたりの再使用可能な回数。基材の硬さ HRC40~50 以下の場合。「AWS」(American Welding Society:全米溶接協会)
- ※8. 破碎率：元の粒度からプラストによって許容できない粒度に減少した割合(%)。
- ※9. 粉塵発生量測定値(mg/m³)は実験例による数値。おおよそ、けい砂：ガーネット比で6：1程度。

資料6 既設構造物改修におけるプラスト研削材の評価

研削材の種類	形状	再使用性 (破碎率)	粉 塵 発生量	効率	経済性	消費量	流通	仕上げ状態
けい砂(砕石)	G	無	多大	悪	安価	多	易	ガーネットより劣る。付着物 が多い。
ガーネット	G& S	有 やや困難	少	普通	中	少	易	けい砂より良。付着物少。飛 散粒子が赤褐色で目立つ。
銅スラグ	G	有 やや困難	中	—	安価	中	易	黒色点状突き刺りが多く、 Sa2 以上の仕上げ面は困難。
スポンジプラスト(グレー)	G	有 —	極少	良	高価	少	難	表面に付着物等が少ない。均 一な粗さが付けられる。

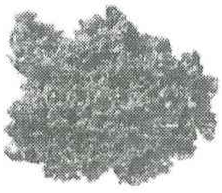
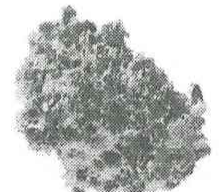
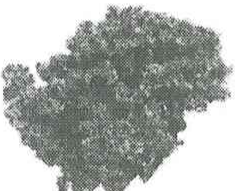
- ※1. 上記各製品とも流通は複数の商社ルートあり。価格に変動がある。特にガーネットの供給市場には問題がある。
- ※2. けい砂は2007年4月より JIS 規格から除外される。ただし、使用が禁止されるわけではない。
- ※3. スポンジプラスト用研削材は使い切り(1回使用)の場合はコストが非常に高い。数回の再利用を行うことで施工価格を抑えることが可能。再使用に伴うコストの問題については後段にて詳述する。
- ※4. スポンジプラスト研削材は専用機器でのみ使用が可能。従って、専用機械を所有していることが施工の前提条件となる。

スポンジブラストの研削材は、カットワイヤーや褐色アルミナ、スターブラストなど、それ自体が単体で研削材となるものを芯材とし、周囲を天ぷらの衣を厚付けするようにウレタン樹脂で包み込んだものである。

「芯」となる素材の種類によりカットワイヤーはレンガ色、褐色アルミナはグレーと黒のぶち色など、スポンジの外観色を変えることで識別の便が図られている。

以下にスポンジブラスト用研削材を紹介する。

資料7 スポンジブラスト用研削材(汎用性の高いもの)

	研 掃 材 品 名	Red Sponge Media(レッド)
	芯 材	スチールグリット
	適 用	深層さび、厚膜型塗層
	あ ら さ	4mil(約100 μ m)
	平均リサイクル	6回(メーカーカタログ)
	研 掃 材 品 名	Silver Sponge Media(シルバー)
	芯 材	褐色アルミナ(酸化アルミニウム)
	適 用	船舶、プラント
	あ ら さ	3mil(約75 μ m)
	平均リサイクル	7回(メーカーカタログ)
	研 掃 材 品 名	Brown Sponge Media(ブラウン)
	芯 材	スターブラスト(Dupont 社製品)
	適 用	薄膜、軽めの下地目粗し
	あ ら さ	2mil(約50 μ m)
	平均リサイクル	6回(メーカーカタログ)

上記以外にも2種類、大別すると計5種類のスポンジ研削材がある。サビ、塗膜、ライニング等の除去のほか、煤煙で汚れた鉄道トンネル内面の清掃、銅像の汚れ落としなど用途に応じた選択肢がある。写真入で紹介した3種類が主に鋼構造物向けであるが、いわゆる「芯材」のサイズを変えることにより、研削能力や「あらさ」付けをコントロールが出来、溶射への適用も視野に含まれる。加工応用の随意性と経済性などから「シルバー」の需要が最も多い。

後段の資料9にて説明しているが、スポンジブラストの特長のひとつに研削材の再利用が挙げられる。

資料4の写真のように使用済スポンジ研削材は人力や簡易掃除機での集塵が可能で、その際に発生する微細(粉)じんの巻き上げによる二次的汚染が軽減される。従って、素地調整後の検査受領前の清掃や足場床土への使用済研削材の堆積による荷重負担の解消がけい砂等に比べると容易とのメリットがある。

資料8 スポンジブラストとサンドブラストとの比較－1

	スポンジブラスト		サンドブラスト(けい砂)	
	型 式	100HP	型 式	AT-100
型 式	寸 法	H1, 270×W740×L1, 150	寸 法	H1, 400×W700×L950
	タンク容量	113リットル	タンク容量	120リットル
	空重量	218kg	空重量	110kg

	長 所 ・ 短 所	評価判定	長 所 ・ 短 所	評価判定
品 質	・粉じんの発生が少ないので、作業中の視界が良好。ブラスト投射面の状況を把握しながら作業ができるため、仕上がり精度が高い。 ・スポンジで塩化物を吸着、クリーニングができる。 ・研削材の種類が豊富で、施工対象により効率的な組合せが選択可能。	◎	・研削材が破碎し、粉じんが大量に発生するため視界が妨げられ、作業中の仕上げ精度の確認が困難。	○
施工性	・スポンジでコーティングしているため、投射による研削材の跳ね返りが少なく、作業員の装備が軽装化が可能で作業性が向上する。 ・仕上げ精度を把握しながら作業が行えるので、手直しが発生せず効率が良い。 ・粉塵の発生が少ないため、飛散防護対策が軽減できる。 ・屋内外の別を問わず、施工対応範囲が広い。	◎	・研削材の跳ね返りが大きいため、作業員の保護具が重装備となり、作業性が低下する。 ・仕上げ精度の確認がブラスト作業を中断または終了後でないと出来ないため、手直しが発生するなど効率が悪い。 ・粉じんの発生が大きいため、大掛かりな飛散防護対策が必要。 ・粉じんの発生量、規模が大きいため、箱桁内面等密閉部や屋内での適用に不向き。	△
研 削 速 度	・有効投射範囲が狭く、やや遅い。 ・スポンジを含むため研削材の粒度が大きく、投射時の研削効率が珪砂に比べ低下。	△	・投射面積が広く、研削材がダイレクトに当たるため速い。 ・投射された研削材が微細に破碎され四散するため、床面以外では作業上の障害とならない。	◎
安全性	・投射した研削材が跳ね返る力をスポンジが吸収する。 ・研削した旧塗膜や付着物等廃棄物をスポンジが取り込むので、有害物質の拡散を抑止する。	○	・投射した研削材が直接跳ね返るため危険。 ・研削した旧塗膜や付着物等有害物質を含むおそれのあるものが研削材と一緒に破碎・細じん化するため、有害物質の拡散が懸念される。	×
環 境	・粉じん発生が少ないので作業環境が改善される。 ・作業現場周辺への環境負荷が低減できる。	○	・粉じんが多く発生するため、作業員への健康不安(じん肺等)がある。 ・市街地での作業には不向き。	×

資料9 スポンジブラストとサンドブラストとの比較－2

スポンジブラストの現場施工適用データより引用

型 式	スポンジブラスト		サンドブラスト(けい砂)	
	型 式	100HP	型 式	AT-100
	寸 法	H1, 270×W740×L1, 150	寸 法	H1, 400×W700×L950
	タンク容量	113 リットル	タンク容量	120 リットル
	空重量	218kg	空重量	110kg

	長 所 ・ 短 所	評価判定	長 所 ・ 短 所	評価判定																													
施 工 効 率 (廃棄物 発生量)	・研削材の再使用ができ、廃棄物発生量が軽減される。	○	・大量の研削廃材(けい砂)が廃棄物として発生する。	×																													
	☐ モデルケース(施工条件)		☐ モデルケース(施工条件)																														
	・施工規模：300㎡		・施工規模：300㎡																														
	・既塗装系：長油性フタル酸 サビ止め 35μm 中塗 30μm 上塗 25μm (計 90μm)		・既塗装系：長油性フタル酸 サビ止め 35μm 中塗 30μm 上塗 25μm (計 90μm)																														
	☐ 研削材		☐ 研削材																														
	・名 称：シルバー(褐色アルミナ)		・名 称：国内産けい砂																														
	・使用量 18.2kg/㎡ (18.2kg/袋入)		・使用量 20.0kg/㎡ (30kg/袋入)																														
	☐ 再生使用率 90%		☐ 再生使用率 —																														
	☐ 再生回数 7回(8回使用)		☐ 再生回数 0回																														
	・研削材新品 1 袋(18.2kg)の再生利用による有効重量(kg)																																
<table><tr><th></th><th>再利用重量</th><th>不採用重量</th></tr><tr><td>1 回目(新品)</td><td>18.2</td><td>0</td></tr><tr><td>2 回目</td><td>16.4</td><td>1.8</td></tr><tr><td>3 回目</td><td>14.7</td><td>1.6</td></tr><tr><td>4 回目</td><td>13.3</td><td>1.5</td></tr><tr><td>5 回目</td><td>11.9</td><td>1.3</td></tr><tr><td>6 回目</td><td>10.8</td><td>1.2</td></tr><tr><td>7 回目</td><td>9.7</td><td>1.1</td></tr><tr><td>8 回目</td><td>8.7</td><td>1.0</td></tr><tr><td>合 計</td><td>103.7kg</td><td>9.5kg</td></tr></table>		再利用重量	不採用重量	1 回目(新品)	18.2	0	2 回目	16.4	1.8	3 回目	14.7	1.6	4 回目	13.3	1.5	5 回目	11.9	1.3	6 回目	10.8	1.2	7 回目	9.7	1.1	8 回目	8.7	1.0	合 計	103.7kg	9.5kg			
	再利用重量	不採用重量																															
1 回目(新品)	18.2	0																															
2 回目	16.4	1.8																															
3 回目	14.7	1.6																															
4 回目	13.3	1.5																															
5 回目	11.9	1.3																															
6 回目	10.8	1.2																															
7 回目	9.7	1.1																															
8 回目	8.7	1.0																															
合 計	103.7kg	9.5kg																															
・再生しない場合、300㎡に必要な研削材使用量は 18.2kg/㎡×300㎡=5,460kg		300㎡に必要な研削材使用量は 20.0kg/㎡×300㎡=6,000kg																															
・再生により 5,460kg÷103.7kg≒53 袋																																	
・廃棄物の発生量は 18.2kg×53 袋=964.6kg 964.6kg÷300㎡≒3.22kg/㎡ (塗膜、素地重量含まず)		・廃棄物の発生量は 6,000kg 20kg/㎡ (塗膜、素地重量含まず)																															

施 工
効 率
(廃棄物
発生量)

次ページに橋梁への適用を考慮した現場ブラスト作業の問題点、ならびにスポンジブラスト、サンドブラストにおける適用評価を一覧化した。

資料 10 現場ブラスト作業の主な問題点と適用評価

項 目	具 体 的 内 容	適 用・評 価	
		スポンジブラスト	サンドブラスト
騒 音	コンプレッサー運転時の駆動音	×	×
	研削材をブラスト機に投入する際の発生音	○(1)	×
	研削材のホース搬送音	○(1)	×
	研削材投射時の「風切り」音	×(2)	△
	研削材衝突時の打撃音	△(3)	×
	コンプレッサー、ブラスト機の運転停止に伴う空気放出音	×	×
	送・排風機運転に伴う騒音	×	×
	使用済研削材等の回収時に発生する騒音	△	×
粉 じ ん	研削材の打撃時に生じる、研削材自体の破碎による細じん	○	×
	研削材の打撃で除去された旧塗膜や錆による微細粉じん	○	×
足 場	足場上での機材設置(4)	無	無
	使用済研削材の堆積による影響(5)	△	×
	防護および補強対策(6)	△	×
	照度の確保(7)	△	×
	研削廃材及び粉じんの回収(8)	△	×
第 三 者	粉じんによる影響	○	×
	騒音による影響	×	×
作 業 者	装備の負担	○	×

- (1) サンドブラスト用けい砂は多角形のグリット状なので、ホース等との接触があり、スポンジよりも発生音が大きい。
- (2) スポンジブラストは芯材(研削材)にスポンジをコーティングしているので体積が嵩むため、投射時の抵抗が大きい。
- (3) スポンジブラストは芯材(研削材)にスポンジをコーティングしているので、打撃による衝撃が緩やか。
- (4) 通常は足場上に機械等は置かない。ただし、バキューム式装置の場合は足場上に設置が必要。
- (5) 使用済研削材の堆積による足場への荷重負担。比重が大きいけい砂の堆積はスポンジ研削材に比べ嵩張らないが、集中して堆積する場合、足場床材や吊チェーンへの負担は大きい。
- (6) 研削材の破碎・微細粉じん化に伴う足場外への飛散防止、および使用済研削材の集中荷重による強度確保を行うため、足場や防護の構造を厳重にする必要がある。粉じんの発生や比重の観点からサンドブラストのリスクがより大きいと判断する。
- (7) 作業中の足場内は粉じんの飛散防護のため、ほぼ密閉状態となるので照度の確保が必要である。外側から採光できない内部の照明は粉じんの影響を考慮した防爆型が適当であるが、研削材の破碎粉じんの発生頻度が高いサンドブラストのリスクが高い。
- (8) サンドブラストの場合、研削材の再利用を行わないため、回収=廃棄でよい。しかし、足場上等に堆積した研削廃材は比重が大きいため「掃き集め」は困難で、エアによる「吹き集め」も微細粉じんを巻き上げるため適当ではない。この場合、バキュームホースにより吸塵する方法があるが、研削廃材等がホース内を高速で擦過するため、ホース内面の損耗が大きい。これを避けるため、通常は研削廃材に含水させて吸塵するが、足場上の作業では困難が伴う上、コストが嵩む。スポンジ研削材の場合、堆積が大きく、比重が小さいため、集塵は比較的容易であるが、微細粉じんの集じんに関しては掃除機の使用が必要である。

□ ま と め

これまで鋼道路橋の塗装メンテナンスにあたっては、昭和 46 年に第一版が上梓された『鋼道路橋塗装便覧』がバイブル的存在を占めてきたが、このたび内容を一新して『鋼道路橋塗装・防食便覧』が発刊された。「塗装」に加えて「溶融亜鉛めっき」や「金属溶射」といった金属被覆や、「耐候性鋼材」が取り上げられており、防食方法の多様化と LCC に照らした鋼橋の長寿命化などの現実が汲み取られた極めて実用的な内容である。特に、上記の防食方法に不具合が生じた場合の対応策として「塗装」が推奨されていることは、塗装実務に携わる者として意を強くしている。

さて、『鋼道路橋塗装・防食便覧』塗装編の内容で目を引かれるのは、塗装系の集約と素地調整におけるブラストの適用である。第二次大戦後から高度経済成長期にかけて整備された鋼道路橋では、すでに材齢 50 年を超えるものが少なくない。この間、通行量増加に備えた床版補強や落橋防止などの耐震対策に加え、塗装による維持投資が複数回行われ塗装系の変遷もあった。今回、実橋へのブラスト適用が具体的に示されたことは、架橋当初から残存する塗膜に加え、累積した塗替え塗膜を含めた塗装のリセットと位置付けられる。ここに「ジンクリッチ+エポキシ+ふっ素」の長期防食塗装系を適用することで、基材保護の LCC が再構築されるものと考えている。

実橋へのブラスト施工に際しては、予算もさることながら、実務的に検証を加えるべき課題が多い。

しかしながら、腐食による架け替えなど大型投資を招く事態に陥らないためには、ブラストと長期防食塗装系を組み合わせたメンテナンスが必要である。

さて、けい砂の使用が困難な情勢に加え、代替品と目されるガーネットはすべて輸入品であり、需要の増加に伴う品薄や価格高騰など安定供給に不安が出ている。この背景には、ISO 規格からのけい砂除外に素早く反応したヨーロッパや中近東にインド、スリランカ産出品が多く供給されている事実がある。加えて、安価で供給量が多いと云われた中国産は品質精度にバラツキが大きい上に、価格や供給体制が不安定との指摘がある。こうした事情を受け、ガーネットの輸入に消極性を示す大手商社もあり、安定供給等は予断を許さない状況にある。

サンドブラストとの比較検証で優れた成果を示すスポンジブラストは、研削材自体は輸入品であるが価格、量とも安定的な供給が見込まれる。スポンジブラスト工法は、イニシャルコストは小さくないものの、普及に伴いコストが収斂され価格の安定化が進むことが期待される。

コスト低減化は時代の要請であるが、割高感があっても環境負荷や健康不安を招かず、高い施工精度を提供できる新工法の導入もまた時代の要求に応えるものと考えている。