

工業塗装における環境対応型塗料及び塗装仕様の開発*

穴沢 靖**

岩手県内の工業塗装における VOC の削減や抑制を図ることを目的に、無溶剤型塗料である粉体塗料や無機塗料の付着性能や防食性能について検討した。その結果、SAICAS 法により、粉体塗料は、溶剤型塗料に比べ 2～3 倍の付着強度を発揮できる塗料であることがわかった。また、無機塗料は、クロムフリー亜鉛メッキ鋼板に対する付着性が良く、亜鉛の犠牲防食効果を生かすことができる塗料であることがわかった。

キーワード：粉体塗料、無機塗料、SAICAS 法、付着強度、クロムフリー亜鉛メッキ鋼板

Development for the coatings of the environment type and the coating specification in the industrial coating

ANAZAWA Yasushi

For the purpose of attempting the reduction and repression of VOC, it was examined about the adhesive property and the anticorrosion property of the powder coating which are solvent-free paint. As for the powder coatings, it was found out that they were the coatings which could show the adhesive strength of 2-3 times in comparison with the solvent paints as that result by the SAICAS method. Moreover, the adhesive property of the inorganic coating that chromium-free electro galvanized steel plate was good, and it was found out about them that they were the coatings which could make use of effect on sacrifice corroding prevention of the zinc.

key words : powder coatings, inorganic coatings, SAICAS method, adhesive strength, chromium-free electro galvanized steel plate

1 結 言

2004 年 5 月 26 日、大気汚染防止法の一部改正が公布され、2 年間の VOC 排出規制の制定作業も終え、2006 年 5 月からの施行が予定されている。いよいよ我が国においても本格的な VOC 排出規制が開始されることになる。この法律が目指す VOC の排出及び飛散の抑制は、規制と事業主の自主的取り組みからなる、いわゆるベストミックスを実現することにある。

VOC が最も多く使用される金属塗装製品製造施設は県内にも数多くあるが、今回の規制対象となる施設は、ごく僅かであり、ほとんどの施設が自主規制の取り組みを行わなければならない状況となっている。しかし、VOC の削減及び抑制を行うためには、これまで使用してきた溶剤型塗料から無溶剤型塗料や水性塗料等への転換を図らなければならない、設備投資等の問題もあり、今回の規制に対応できる施設は少ない状況である。一方、欧州連合 (EU) は、2006 年 7 月に、水銀や鉛など 6 物質の電子機器への使用を禁止する有害化学物質規制 (RoHS 指令) を実施する予定であり、塗料はもちろんであるが、使用される素材も含めた輸出製品規制への対応が急務となってきた。これらの規制に対応するべく、塗料では鉛

フリー塗料、粉体塗料、水性塗料、無機塗料等に転換する製品が多くなってきており、また、電子機器製品の素材に多く使用されている表面処理鋼板等でも、クロムフリー表面処理鋼板が利用されるようになってきている。しかし、規制対応優先で、溶剤型塗料から上記環境対応型塗料の転換を図る際のメリット (塗膜性能) や新たな素材の防食性能比較の技術的データ等はほとんど皆無であり、各種トラブルの発生原因となっている。

そこで、県内工業塗装における VOC の削減や抑制を図ることを目的に、設備的に導入の図りやすい粉体塗装の塗膜性能 (付着性能) について、また、新たな素材であるクロムフリー表面処理鋼板に対する無機塗料の防食性能について検討を行ったので、その内容について報告する。

2 実験方法

2-1 供試材料

供試材料として、0.8×70×150mm の SPCC 鋼板 (日本タクト (株) 製)、0.8×70×150mm の電気亜鉛メッキ鋼板 (国内鋼板製造メーカー 4 社) のクロメート処理したもの 1 種類、クロムフリーのもの 4 種類を用いた。

* 基盤的・先導的技術研究開発事業

** 環境技術部

また、塗装前処理としては、溶剤脱脂、ショットブラスト、リン酸亜鉛処理の3種類を行った。塗料は、無溶剤型塗料として粉体塗料と無機塗料の2種類、溶剤型塗料4種類を用いた。それぞれ供試材料の種類及び記号を表1～3に示す（以下、鋼板名、塗装前処理及び塗料については記号で記す）。

2-2 試験片の作成

SPCC鋼板及び表面処理鋼板の上部にハンガー用の直径5mmの穴をあけ塗装前処理を行った。りん酸亜鉛化成被膜処理はスプレー方式で、また、溶剤脱脂は浸漬処理後ウェスでふき取る方法により行った。塗装前処理を行ったSPCC鋼板に、2種類の粉体塗料は直接、また、3種類の溶剤型塗料はそれぞれ専用プライマーサフェーサーを塗布し、乾燥した後に塗装を行い試験片とした。また、表面処理鋼板は、溶剤脱脂処理を行い、溶剤型塗料であるメラミン樹脂塗料と無機塗料の2種類を用いて塗装を行い試験片とした。使用した塗装機は、粉体塗料が静電粉体塗装機（ONODA 製）、溶剤型塗料はエアスプレー塗装機（IWATA 製）を用いた。なお、塗装後、膜厚測定を行い、塗料の種類によってそれぞれ膜厚は異なるが、均一な膜厚（ $\pm 5 \mu\text{m}$ 以内）を形成している試験片のみ実験に供した。

2-3 塗膜の付着性能の測定

2-3-1 ゴバン目テープ法による測定

JIS-K-5400(1990)8.5.2 ゴバン目テープ法により、すき間間隔1mmカッターガイドを用いて行った。

2-3-2 表面界面解析装置（SAICAS 法）による測定

本装置の測定原理は、鋭利な切れ刃を用いてコーティング材料表面部から界面部にかけて連続して切削するもので、コーティング材料の切削力から剪断強度を、界面切削中の力から付着強度を、切削理論を適用して求めるものである。測定の機構としては、直線運動をする試料台と、それと直角方向に直線運動する切れ刃と、切れ刃に発生する水平分力および垂直分力を検知する検知器とからなっており、検知したデータをA/D変換してパソコンに取り込み、データ解析を行うものである。^{1), 2), 3), 4)} 試験機は、サイカスAN型（大日本プラスチック（株）製）を用いた。測定条件として、塗膜の切削速度は240/ μm /min、荷重は0.35kgにより行った。なお、試験室の温度は25℃である。図1に装置写真、図2に切削部拡大写真を示す。

表1 表面処理鋼板の種類

区 分	記号	処 理 方 法
クロメート系	CT	一般クロメート処理
クロムフリー系	ACF	特殊クロメートフリー処理
	BCF	特殊樹脂皮膜処理
	CCF	特殊皮膜処理
	DCF	特殊リン酸亜鉛皮膜処理

表2 塗装前処理の種類

種 類	記号	使 用 材 料
溶 剤 脱 脂	SC	ラッカーシンナー
ショットブラスト	SB	鋼球
リン酸亜鉛被膜処理	ZP	パルボンド N144

表3 塗料の種類

種 類	乾燥温度 (℃)	乾燥時間 (分)	記号
艶有ポリエステル樹脂粉体塗料	180	20	P-GP
艶消ポリエステル樹脂粉体塗料	180	20	P-FP
メラミン樹脂塗料	120	20	M
ポリウレタン樹脂塗料	常温	—	AU
アクリルラッカー塗料	常温	—	AL
無 機 塗 料	110	30	IO

2-4 塩水噴霧試験

各種表面処理鋼板を塗装した後、試験片中央部にクロスカットをカッターで入れ、JIS-Z-2371(1994) 塩水噴霧試験方法により防食性能の比較を行った。試験条件を表4に示す。なお、用いた試験機は、キャス試験機 CASSER-II R-ISO-3（スガ試験機（株）製）である。

表4 塩水噴霧試験の試験条件

項 目	条 件
試験槽内の温度	35 $\pm$ 1 ℃
試験槽内の相対湿度	99～98 %
加湿器の温度	47 $\pm$ 1 ℃
塩水の濃度	5～0.5 w/v%
噴霧用空気の圧力	0.098 $\pm$ 0.02 MPa

3 結果および考察

3-1 塗膜性能の試験結果

3-1-1 ゴバン目テープ法による測定結果

ゴバン目テープ試験は塗膜の付着性を定性的に評価する試験方法であり、JIS 規格として、塗料メーカーや各種塗装製品製造企業において品質管理等に一般的に使用される試験方法である。表5にゴバン目テープ試験を行った結果を示す。

表5 ゴバン目テープ法による測定結果（点）

前処理 \ 塗料	P-GP	P-FP	M	AU	AL
SC	2.7	2.5	1.3	1.1	1.0
SC+SB	4.2	4.1	1.8	1.4	1.0
ZP	5.2	5.2	2.3	1.6	1.4

2種類の粉体塗料はいずれの前処理を行った場合でも評価点10点となり、いずれの前処理でも良い付着性を示した。溶剤型塗料において、MはSCで8点、AUはSCとSC+SBで4点、ALではいずれの処理でも4点となり、前

処理の種類よりも塗料の種類により差が大きく出る結果となった。

粉体塗料、メラミン塗料は熱硬化性塗料で、ポリウレタン樹脂塗料、アクリルラッカー塗料は常温硬化塗料である。一般的に、熱硬化性塗料は橋かけ反応により、三次元の網目構造を持つ塗膜物性に優れた高分子塗膜が得られることが知られており、前処理の種類に関係なく良い付着性が得られることが確認できた。

3-1-2 SAICAS 法による測定結果

SICAS 法による付着強度の測定においては、前述したように塗膜－素材間の界面を切削することが重要な要素となっていることから、1枚の試験片を測定するごとに、切削部の残存塗膜や残存被膜の有無についてマイクロスコップで観察を行った。図3にP-GPの切削後の観察写真を示す。いずれの観察結果から残存塗膜や残存被膜が観察されないことから、界面切削を行ったことが確認できる。



図1 表面界面物性測定装置



図2 表面界面物性測定装置の切削部

塗料の種類による付着強度の測定結果を塗装前処理方法別にまとめた結果を表6に示す。

塗料の種類では、P-GPが2.7～5.2kgf/cm、P-FPが2.5～5.2kgf/cm、Mが1.3～2.3kgf/cm、AUが1.1～1.6kgf/cm、ALが1.0～1.4kgf/cmとなり、2種類の粉体塗料P-GP、P-FPがいずれの塗装前処理でも付着強度の値が高い結果を示し、次いで溶剤型塗料のM、AU、ALの順で付着強度の値が低くなる結果が得られた。また、前処理方法では、いずれの塗料でもZP処理が高い付着強度の値を示し、SC処理が低い値を示す結果となった。この結果はゴバン

目テープ試験と同様の傾向を示す結果となっている。

りん酸亜鉛化成被膜処理は、金属と腐食液のある条件下で化学反応させ、濃度分極、陰陽分極などによって、その金属の表面に固有成膜のある難溶性の腐食生成物を生成させるものである。その生成した皮膜は水やその他の腐食環境から下地の金属を保護し、塗膜との付着性を向上させることができることから、各種金属塗装製品の塗装前処理として広く一般的に取り入れられている処理方法であり、その有効性が確認できた。

3-1-3 定性的な付着性（ゴバン目テープ法）と定量的な付着性（SAICAS法）の評価の比較

図4に、SAICAS法の付着強度の測定結果にゴバン目テープ試験の評価点を重ねた結果を示す。

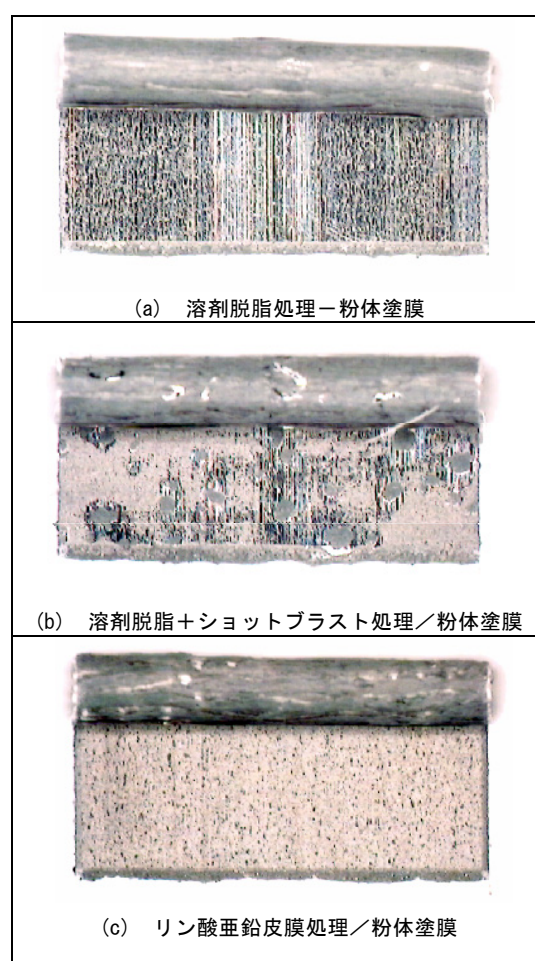


図3 粉体塗膜の切削観察写真

表6 SAICAS法による付着強度の測定結果(kgf/cm)

塗料 前処理	P-GP	P-FP	M	AU	AL
SC	10	10	8	4	4
SC+SB	10	10	10	4	4
ZP	10	10	10	10	4

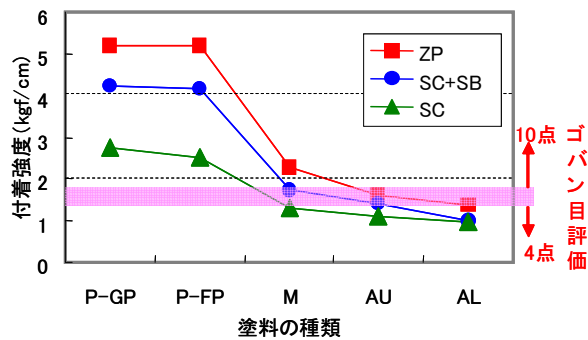


図4 付着性評価の比較

SAICAS法で、1.6kgf/cm以上の付着強度が得られているものが、ごばん目テープ試験では10点となっており、それ以下の付着強度だと10点以下の評価点となっている。また、MのSC+SB処理では、付着強度が1.8kgf/cmで10点となっており、SC処理で付着強度が1.3kgf/cmで4点となっている。

これらのことから、1.6kgf～1.8kgfの付着強度の範囲が、各種塗膜が正常に被塗物に付着しているか、いないかの境界線になっているものと考えられる。また、ゴバン目評価10点といっても、塗装前処理及び塗料の種類により付着強度で2～3倍の違いがあることがわかる。

これまで塗膜の付着性の評価方法として広く一般的に行われているゴバン目試験の評価点数については、どの程度の付着強度となっているのか、その定量的な付着強

度との関係等が明確にされておらず、非常に曖昧な評価方法として使用されてきた。

一方、塗膜の付着強度を定量的に測定する方法として、アドヒージョンテスター法が用いられてきたが、塗膜表面に接着した密着子の接着強度以上の高い付着強度を有する塗膜の評価ができないのが欠点であった。

また、粉体塗料は塗膜を形成する際、硬化不良の原因となる空気中の酸素の影響を受けないようなパラフィンワックス等が配合され、それが密着子の接着強度の低下を招く原因となり、定量的な付着強度の測定はこれまで難しい状況であった。しかし、今回、SAICAS法により、各種塗膜の付着強度を定量的に評価できたことから、ゴバン目試験における評価点数の意味合いが明らかになったと考えられる。また、無溶剤型塗料である粉体塗料は溶剤型塗料に比べ、高い付着強度を発揮する塗料であることが明らかとなった。

3-1-4 塩水噴霧試験

亜鉛メッキ鋼板のクロメート処理は、亜鉛の白錆を抑制する安価な防錆処理方法として行われ、これまで広く家電製品などに用いられてきた。

しかし、最近、環境問題による規制等により、クロムフリーの表面処理鋼板が各メーカーより場市され、各種製品に利用されるようになってきていることから、従来のクロメート処理した亜鉛メッキ鋼板とクロムフリーの亜鉛メッキ鋼板の防錆性能について比較を行った。

	クロメート処理		クロムフリー処理			
	CT	ACF	BCF	CCF	DCF	
SST24H						
SST48H						

図5 亜鉛メッキ鋼板の塩水噴霧試験（24、48時間）の結果

	クロメート処理	クロムフリー処理			
	CF	ACF	BCF	CCF	DCF
M					
IO					

図6 亜鉛メッキ鋼板における溶剤型塗料と無機塗料の塩水噴霧試験（240時間）結果

図5にクロメート処理、クロムフリー処理亜鉛メッキ鋼板の塩水噴霧試験（裸耐食性）24時間後、48時間後の結果を示す。

クロメート処理のCTは、24時間でクロメート皮膜が脱落し始め、48時間でほとんどなくなるが、白錆は発生せず、まだ皮膜の防錆効果が残っていることがわかる。一方、クロムフリー処理では、24時間でACF、CCFより赤錆が発生し、BCF、DCFでは被膜の脱落が見られた。また、48時間では、ACF、BCF、CCFともに全面に赤錆が発生した。DCFではわずかに被膜が残存し、表面はCTよりも荒れた状態であるが、白錆、赤錆の発生は見られずCTと同等の防錆性能を示した。ACF、BCF、CCFにおいては、赤錆が発生する前に、亜鉛の犠牲防食効果により発生する白錆が全く見られなかったことから、クロムフリー処理が亜鉛メッキ被膜の防食性能に影響を与えているものと思われる。従って、腐食環境において、素材をそのまま使用したり、製品の裏側などの未塗装部が多いような時は、これまでのクロメート処理鋼板とその防食性がかなり異なることから、クロムフリー処理鋼板を使用する場合、事前に素材の裸耐食性能を調査しておくことが必要である。

図6に溶剤型塗料のMと無機塗料であるIOを塗布した亜鉛メッキ鋼板にクロスカット入れ、240時間の塩水噴霧試験を行った結果を示す。Mを塗布したCT、

DCFではクロスカット部より白錆が発生し、亜鉛の犠牲防食効果が發揮されていることがわかる。また、クロスカット部の膨れ幅は2mmで、周辺部には小粒の塗膜の膨れも発生し、CTよりもDCFの膨れ数が多かった。ACF、BCF、CCFでは、クロスカット部より赤錆が発生し、その膨れ幅は3～5mmとなり、周辺部では大粒の塗膜の膨れが発生した。

一方、IOを塗布したCF、CCF、DCFでは、クロスカット部より白錆が発生し、その膨れ幅は1mmで、周辺部の塗膜の膨れの発生は認められなかった。また、ACF、BCFでは、クロスカット部より赤錆が発生し、クロス交点の膨れ幅が3mmとなった。周辺部にはわずかに塗膜の膨れも発生した。腐食の傾向としては、溶剤型塗料でも無機塗料でも、素材の裸耐食性と同様の傾向を示し、ACF、BCF、CCFでは亜鉛の犠牲防食効果は見られず、DCFがクロメート処理と同等の防食性を示した。また、溶剤型塗料では無機塗料よりも塗膜の膨れが多く発生し、塗膜の付着性も劣る傾向を示した。これらのことから、亜鉛メッキ処理鋼板を溶剤型塗料で塗装する場合、クロメート処理、クロムフリー処理に関係なく、付着性の良い塗料の選定が重要であると思われる。また、無機塗料は、付着性が良く、亜鉛の犠牲防食効果を生かすことができる塗料であることがわかった。

4 結 言

岩手県内の工業塗装における VOC の削減や抑制を図ることを目的に、設備的に導入の図りやすい粉体塗装の付着性能について、また、クロムフリー表面処理鋼板に対する無機塗料の防食性能について検討を行い、以下の結果を得た。

- (1) SAICAS 法により、各種塗膜の付着強度を定量的に評価することで、ゴバン目試験における評価点数の物理的意味合いが明らかとなった。
- (2) 無溶剤型塗料である粉体塗料は、溶剤型塗料に比べ 2～3 倍の付着強度が得られる塗料である。
- (3) 環境対応型クロムフリー亜鉛メッキ処理鋼板は、その処理方法により、素材自体の防錆性能やその後の塗装における付着性能や防錆性能に大きな差がある。
- (4) 無機塗料は、クロムフリー亜鉛メッキ鋼板に対する付着性が良く、亜鉛の犠牲防食効果を生かすことができる塗料である。

文 献

- 1) 半田隆夫, 斉藤博之, 高沢壽佳: 「第 42 回腐食防食討論会講演集」, p403, 腐食防食協会 (1995)
- 2) 半田隆夫, 野路文男, 高沢壽佳: 塗装工学, Vol. 31, No3, p105 (1996)
- 3) 西山逸雄, 島本幸三: 塗装工学, Vol. 24, No3, p 101 (1989)
- 4) 西山逸雄: 塗装技術, No4, p 112 (1995)