

溶融亜鉛めっき上の塗装

最新技術と一般注意事項について



社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会

1. はじめに

近年、鋼構造物に高い耐久性を付与するため、あるいは都市部での美観、環境調和、標識や安全表示およびアメニティを求める高級指向に応えるために、溶融亜鉛めっきの上に塗装されることが増えていきます。

この亜鉛めっき上の塗装について、本冊子では、亜鉛めっき上の塗装のメリットをご理解頂き、亜鉛めっき皮膜の特長、白さびと塗装の関係、そしてトラブルの起こりやすい表面状態などをご紹介しながら、トラブルを未然に防止すべく高品質・高耐食の亜鉛めっき上の塗装としてどのような塗装仕様がより適切かという最新技術も含め取りまとめてみました。

本冊子が、溶融亜鉛めっき製品をご愛顧頂いています皆様にとって、何らかのお役に立ちますればこの上ない幸いであります。

2. 亜鉛めっき上の塗装のメリット

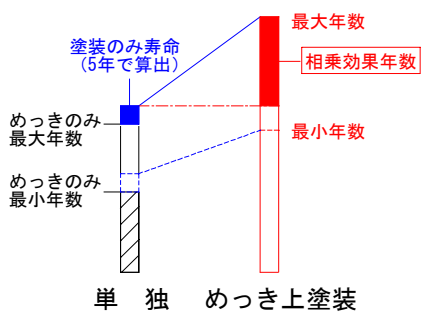
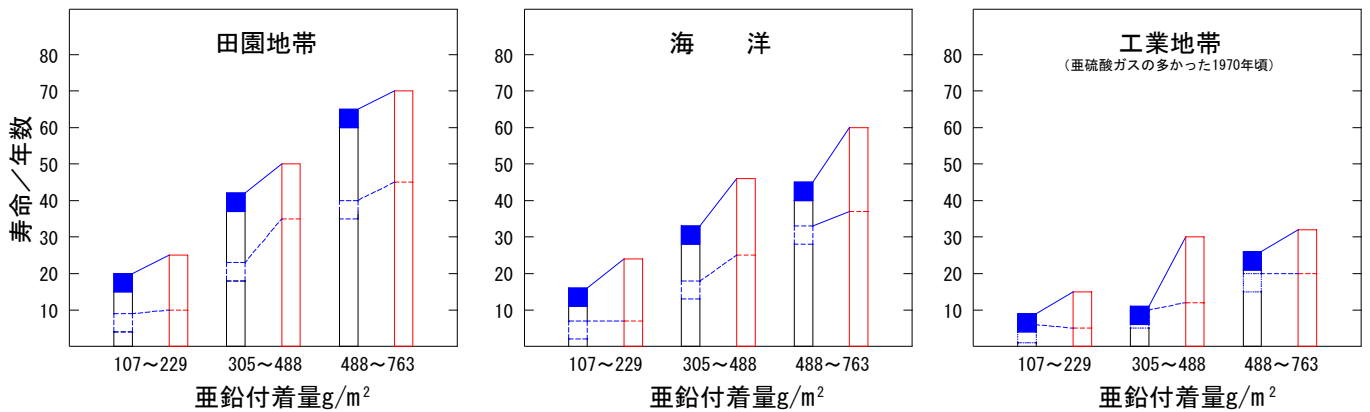
亜鉛めっきと塗装のそれぞれ有する特性(メリット)を組合せる事により、以下の利用目的を達成出来ます。耐久性については、両特性が相乗効果を発揮しますので、寿命は更に延びます。

亜鉛めっき上塗装の主な利用目的

- ① 周囲環境との調和・美観・注意喚起の安全対策(航空障害物の識別)等
- ② 厳しい腐食環境での耐久性の保持
- ③ 補修困難な亜鉛めっき構造物等の耐久性付与

相乗効果

図1 亜鉛めっき単独とめっき上塗装(二重防食方式)との平均耐用年数比較



亜鉛めっき上に適切な塗装[※]を施した場合の耐久性は、亜鉛めっきと塗装の寿命を加えた値よりかなり大きくなります。これは、表面の塗膜がバリアーとなって水・腐食因子をブロックするためです。そして水や腐食因子が透過しましても耐食性のある亜鉛めっきが緻密な保護皮膜を形成し鉄をさびから守るためです。

参考文献: J.F.H.Von EijnsbergenのDuplex System 「鋼構造物の溶融亜鉛めっき」No.8

※適切な塗装とは

亜鉛は化学的に活性な金属であるため、めっき表面の素地調整が重要であり、またプライマーとの適合性も重要です。これら基本仕様を満足した塗装を適切な塗装と言います。(→第6章「どうい組合わせが重要か」)

表1 亜鉛めっき単独とめっき上塗装(二重防食方式)との適用環境比較

防食法	劣化因子/ 劣化促進因子	環境	
		飛来塩分量が少ない環境 ←	→ 飛来塩分量が多い環境
亜鉛めっき	水、酸素/ 塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲	
めっき上の塗装		適用可能範囲	

3. 溶融亜鉛めっき皮膜

(1) 亜鉛めっき皮膜の特長

- ① 鉄鋼に対する防食皮膜として、雨風や直射日光にさらされる大気中で優れた耐食性を示します。亜鉛めっきの表面には緻密な保護皮膜が生成し、腐食の進行をおさえます。また、亜鉛めっき皮膜になんらかの理由でキズ(鉄素地の露出)が生じましても、亜鉛の電気化学的な防食作用(犠牲防食作用)により露出部は腐食されないという長所があります。
- ② 亜鉛めっき皮膜は鉄と亜鉛の合金層と、その上の純亜鉛層により形成されていますが、合金層により鉄素地との密着性が極めて強固です。従って、衝撃や摩擦などで容易に剥離することはありません。

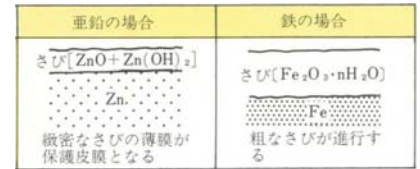


図2 亜鉛の保護作用

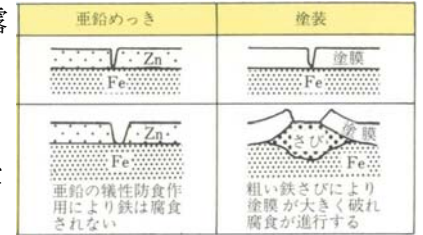
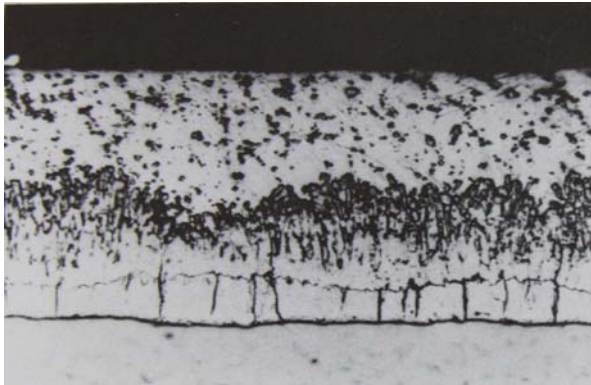


図3 亜鉛の犠牲防食作用

(2) 亜鉛めっき皮膜の組織

亜鉛めっきが信頼できるのは、その皮膜構造に起因します。めっき皮膜の断面を見ますと、溶融亜鉛と鉄素地の反応で形成された合金層(金属間化合物)と、その上に付着する純亜鉛層で構成されます。

通常めっき条件で観察される皮膜組織は、写真1に見られるように、外面の方から亜鉛浴と同一成分の純亜鉛層(イータ層)と鉄素地に向かっての合金層(ツェータ層・デルタワン層・ガンマ層)で構成されます。



- イータ層 純亜鉛層 Hv70
- ツェータ層 柱状 Hv150
- デルタワン層 柵状 Hv200以上
- 鉄素地

写真1 めっき皮膜の断面組織
Hv (ビッカース硬度, 数値は一例)

- ① η(イータ)層: この層は六方晶系に属し、亜鉛浴と同一成分で鉄含有量は0.03%程度です。この層は被めっき製品を亜鉛浴から引き上げる際に、製品表面に付着します。イータ層は純亜鉛ですので初期表面は光沢があり、製品肉厚などの関係で結晶模様が出ることがあります。



写真2 光沢のあるめっき外観 x1

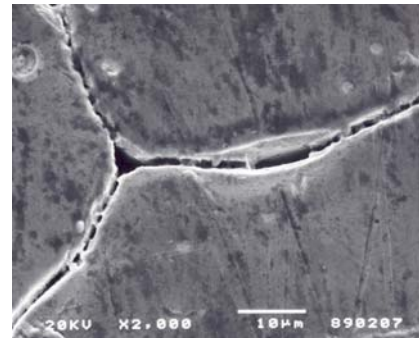


写真3 結晶粒界 電子顕微鏡 x2000

- ② ζ(ツェータ)層: この層は単斜晶系に属し、皮膜層中で最も顕著な結晶をもち、柱状組織です。この結晶は他の層と比べると対称性が低く、互いに強固に結合していないので、この間に亀裂を生じることがあります。FeZn₁₃と考えられ、鉄の含有量は6%程度です。この層まで腐食が進むと、斑点状に赤褐色を呈することがあります。しかし表層の純亜鉛は消失してしまっても合金層は残っていますので耐食性はまだ保有されています。
- ③ δ₁(デルタワン)層: めっき皮膜の最深内部に見られる層で、緻密で複雑な六方晶系の構造をもち、柵状層とも呼ばれ、靱性・延性に富んでいます。上のツェータ層と互いに混晶している部分がありますが、FeZn₇という化合物と考えられ、亜鉛に固溶した鉄の含有量は7~11%です。硬度は、ビッカース硬度で200以上、ヤスリを当てると鉄に近い感触があります。
- ④ γ(ガンマ)層: 鉄素地に接した層で、非常に薄く顕微鏡でも明瞭に観察できないことがあります。その結晶構造は、立方晶系で、Fe₃Zn₁₀という化合物と考えられています。

4. 塗料の付着を阻害する因子

(1) 白さびが塗装に与える影響

以前、トタン屋根を塗装するには半年位経ってからのの方が良いと言われてきました。しかし、そこに白さびが発生していると、それを巻き込み密着が阻害され塗膜が剥がれることがしばしばあります。



写真4 白さびの外観

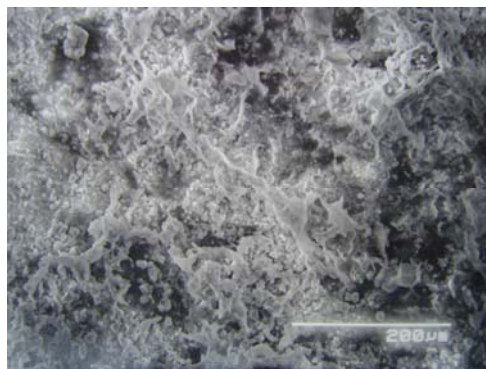


写真5 白さびの拡大組織

めっき面に亜鉛めっき用エポキシプライマーを塗装をする場合、当然白さびは無い方が良く、白さびが生じていた場合は研削処理(ワイヤーブラシ, スチールタワシ, サンドペーパーなどで付着物を人力で除去。著しい白さび付着などのため人力での除去が困難であればカップブラシ, ペーパーディスク, サンダーなどの電動工具で除去、ただしめっき皮膜を削り過ぎないこと)が必要です。

工場塗装におけるりん酸塩処理工程の中に、酸洗工程があれば軽度の白さびは除去可能です。しかし、めっき面が腐食され白さびが固着していると、白さびを除去したつもりでも部分的に残存し、その後のりん酸塩処理で全面一様に反応しないこともあります。

そのようなことから、めっき後に塗装を計画されているのであれば、めっき製品を風通しの良い屋内で保管し、白さびを発生させずに塗装工程へ移行することが良いのです。

(2) 白さび防止対策と塗装の関係

① クロム酸による白さび防止処理

塗装する前に、めっき製品を長期保管(概ね3カ月以上)するため、白さび防止を目的としてクロム酸処理を施すことがあります。白さびを極力抑え、出てしまった白さびは研削タワシで除去します。

しかし、長期保管しない場合(概ね1~3カ月)は、クロム酸処理は無い方が良いのです。というのは、クロム酸処理の後は水洗を行わないため、クロム酸の液残りや溜まった部分はクロム酸過剰となり、密着不良を招くことがあります。したがって一般的に塗装する場合は、クロム酸処理しないケースが多いのです。

りん酸塩処理のような化成処理を施す場合、クロム酸皮膜が化成反応の障壁となるためりん酸皮膜の生成を妨げます。クロム酸皮膜をきれいに除去することは難しいので、りん酸塩処理を塗装素地とする場合は、クロム酸処理を避け、めっき後は出来るだけ早く、りん酸塩処理します。

② その他の白さび防止処理

アクリル樹脂クリヤーで白さび防止した面に、亜鉛めっき用エポキシプライマーを塗装しますと、所期の密着性が得られません。ブラスト処理がなされるとしても樹脂クリヤーは避けましょう。

(3) 溶融亜鉛-アルミニウム合金めっきの上の塗装

5%アルミニウム系の溶融亜鉛-アルミニウム合金めっきの上に塗装を施す適用例が多くなっています。合金めっきには、5%Al-Znと、5%Al-1%Mg-Znの2種類があります。通常の亜鉛めっき上の塗装と比較しますと、長期密着性に優れるので、塗装欠陥やキズから進展する塗膜劣化を抑えます。

また、高温焼付塗装を施す場合、ピンホールやブリストア(写真7)発生が少ないという長所もあって、建築部材や高欄など景観商品への適用が増えています。



写真6 通常の亜鉛めっき(左)と合金めっき(右)



写真7 塗装面に発生したブリストア

5. トラブルが起こりやすい亜鉛めっきの表面状態

亜鉛めっき表面と塗膜との付着性には、めっきの表面状態が影響することが知られています。表2に、めっき表面状態が塗膜付着性に影響する要因およびその対策をまとめました。

表2 めっき表面状態が塗膜付着性に影響する要因と対策

No.	項目	要因	対策
(1) 加工工程での汚染	① めっき工程で、発生・付着するもの。	腐食性の強い塩化物を含む亜鉛灰、かすびき及びフラックス残渣。	やすりやサンダーできれいに除去する。
	② めっき後の工程、機械加工時などで付着するもの。	油脂類、ペイント及びグリースなど。	溶剤で洗浄又はふき取る。
(2) 白さび	めっき表面が急激に腐食されると緻密で安定な保護皮膜は形成されず、嵩張った亜鉛の腐食生成物(白さび)を生成する。	白さび(4. (1)参照) 白さびは脆弱で亜鉛表面との付着も悪い。とくに、大気中の飛来塩分や亜硫酸ガスなどを含む白さびは、塗膜の付着性を著しく低下させる。	ワイヤーブラシやサンドペーパーなどで注意深く除去する。 亜鉛めっき製品の適切な保管方法は、通風を良くし、屋外では雨天の時はシートで覆い、晴天になればシートを除いて良く乾燥させる。
(3) 浴の組成	亜鉛めっき浴中には亜鉛地金中の不純物以外に微量の添加金属が含まれる。	アルミニウム、鉛、ニッケル、ビスマス	アルミニウムは塗料の付着性に悪影響はない。 鉛、ニッケル、ビスマスについては有力な報告はない。
(4) 塗装場所の状況	① 気象条件 降雨や湿度の高い日は、被塗面に水気が付きやすく、また結露もしやすい。	被塗面に水分が付着しているとはじきあるいは発泡、膨れの原因になる。一方、やけ(*)表面は多孔質なため、その部分に極微量の水気が残ることがある。 焼付型塗装の場合、焼付け時の加熱により水分が気化し、塗膜が押し上げられてブリストアが発生する。	塗装は雨天の日や湿度の高い時は出来るだけ避ける。 焼付型塗装の場合、焼付けを行う前に被塗装材を加熱(空焼き、例えば200℃・60分)して水分を蒸発させる。
	② 環境条件 海岸地帯や工業地帯、温泉地帯では腐食性物質が付着しやすい。	海塩粒子、酸、アルカリなどの付着。	付着した海塩粒子、酸、アルカリなどは水洗できれいに除去する。

(*)やけについて

3項.(2)では、光沢のある亜鉛めっき皮膜の構造について述べましたが、肉厚の厚い形鋼では合金層が発達しすぎ、純亜鉛層(イタ層)が存在しない「やけ」と呼ばれる現象が現れます。写真8の黒ずんでいる部分がやけです。また、鋼材の化学成分で普通鋼(SS400)ではシリコン(Si)量が0.01~0.02%で通常めっき外観が得られるのに対し、高シリコン鋼(例:Si0.38%, Mn1.42)などでは合金層が異常に発達し、光沢が無くつや消しの「やけ」となることがしばしばあります。



写真8 亜鉛めっきのやけ

6. どういう組合せが重要か

(1) 塗装前処理

亜鉛めっき面に残って、塗膜付着を阻害するのは、一般的なよごれ、油脂、白さびなどがあります。これらは、塗装前に化学的処理や物理的処理により除去しなくてはなりません。亜鉛めっきの上に阻害物質が付着したまま塗装しますと、これが原因となって塗膜が剥がれることがあります。このことは、亜鉛めっき面に限らず鉄鋼面でも同じことが言えます。

化学的処理としては、よく用いられるのがりん酸塩処理であり、物理的処理としては研削仕上があります。

① 化学的処理

一般的によく用いられているのがりん酸塩(りん酸亜鉛)処理です。これはもっぱら工場塗装に適用されています。

亜鉛めっき面の阻害物質は、工場できれいに除去され、りん酸亜鉛浴中で緻密なりん酸亜鉛結晶(写真9)を生成します。これは化学的に極めて安定しており、優れた塗装下地とされています。

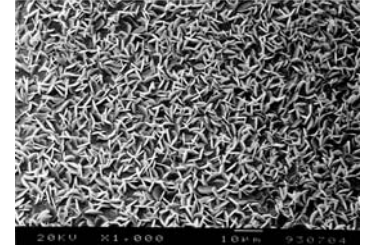


写真9 りん酸亜鉛皮膜の電子顕微鏡写真

② 物理的処理

本質的には鉄鋼の場合と違いはありません。ただし、亜鉛めっき層の厚さ、亜鉛の軟らかさなど配慮する必要があります。油脂やグリースなどの汚れがあった場合は、溶剤洗浄で除去します。

その後、研削作業に入りますが、作業方法としては以前よりワイヤーブラシ、スチールタワシ、サンドペーパーおよび電動工具などが用いられてきました。

しかし最近では、スweepブラストが普及しています。これは、めっき表面の付着物を高度に除去するとともに、表面粗度を確保しますので、プライマー塗膜の内部応力(縮重合)による密着低下を防止します。一方、ブラスト処理を行うときの注意点として、粒度の細かい研削材を選び、投射角度や距離に注意しましょう。めっき皮膜がはく離しないこと、研削し過ぎないことが大切です。また、ブラスト時は、相対湿度が高くめっき鋼材と気温の温度差が大きいとめっき表面が結露しツヤ消し状(白さび)になるターニング現象が生じます。このため湿度が高いときのブラストは避けましょう。

●スweepブラストの定義

スweepブラストは、亜鉛めっき面に対する塗料の付着安定性を確保することであり、(亜鉛めっき面のすべり性能確保を目的とする場合もあります)、表面に生成される物質や付着物を除去するとともに適度な粗さを付加させるもの。

●スweepブラスト前の処理

ブラスト前に、油脂や水分などブラストで除去できない有害付着物は予め取り除くこと。なお、油脂分が含浸した部分は素地まで除去すること。

●スweepブラスト処理

拡大鏡なしで、表面に見える油、グリース、泥土、およびさび、異物が無いこと。更に、表面粗さを有して平滑な面がないこと。

●スweepブラスト後の処理

ブラスト処理後は、表面は十分に清掃してブラストによるダストや研削材を完全に除去すること。

●判定

判定は標準見本と対比して行う。

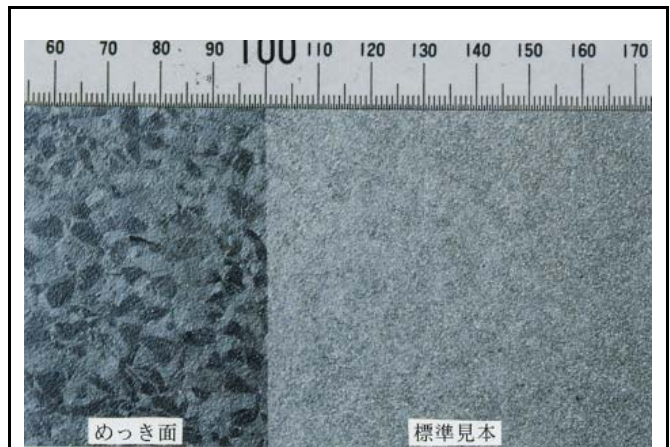


写真10 めっき面のスweepブラスト後の外観

<おことわり> 上記写真は、参考写真であり標準見本(判定用写真)ではありません。「スweepブラスト処理見本写真」:(社)日本橋梁建設協会では、過剰見本、標準見本、不足見本が掲載されていますので判定にはそれら正規の見本と比較してください。

表3 スweepブラスト条件の一例

研削材	ブラスト処理用非金属系研削材
空気圧	0.3~0.4MPa
投射	距離約1m, 角度30~45° 程度 時間数秒(1~4秒)
ブラスト程度	軽く掃く(スweep)程度。めっき面の光沢が無くなる程度。

表4 研削材の例

スピネル系研削材が良く用いられています。		
JIS規格	種類	記号
ブラスト処理用 非金属系研削材	オリビンサンド	N-OL
	熔融アルミナ	N-FA
JIS Z 0312	ニッケルスラグ	N-NI
	その他6種類	N-***

(2) プライマー塗装

亜鉛めっき上塗装で重要な点は、めっき面と塗膜との付着力の強さです。プライマーは付着性を強固にするために適用します。プライマーには以前よりエッチングプライマーや他のプライマーが用いられてきました。しかし最近では、亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料(プライマー)の指定が圧倒的です。

① 亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料(プライマー)

一般に、エポキシ樹脂塗料は、エポキシ樹脂を主成分とする主剤とアミンやポリイソシアネートなどを主成分とする硬化剤からなる2液形塗料です。使用直前に主剤と硬化剤とを混合して使用します。エポキシ樹脂塗料は、耐薬品性、耐食性、密着性、硬さ、強靱性などの点で、他の塗料に卓越しているといえます。大型構造物などの長期防食として広範囲に適用されるゆえんです。2液形エポキシ樹脂塗料は、縮重合反応によって、緻密で強固な塗膜を形成していきますが、その際塗膜に内部応力が発生します。塗膜間の結合力が、塗装下地との付着力よりも大きい場合は、隙間を生じることがあります。したがって、亜鉛めっき面用の下地塗装としては、塗料に内部応力緩和剤を入れる必要があり、塗料メーカーでその処理をしたのが「亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料・下塗」なのです。また、塗装前処理に、りん酸亜鉛処理かスイートブラスト処理を行ってれば、内部応力も緩和・分散されますので耐久性はより向上します。

(3) 上塗り塗料の種類と性質

上塗り塗料は、塗装系の最後になりますので、ばく露される環境の影響を直接受けます。つまり、外部で使用される場合は、直射日光、雨水、塩害、薬品、蒸気などの影響を、また建物などの内部でも湿気、結露水の影響を受けます。これらの環境に十分耐えるとともに、水や酸素、あるいは塩素、亜硫酸ガスなどの腐食性物質の透過をできるだけ抑えて、亜鉛めっき鋼構造物などを腐食から守らなければなりません。上塗り塗料としては各種ありますが、ここではポリウレタン樹脂系、ふっ素樹脂系について述べます。

① ポリウレタン樹脂塗料

耐候性が非常に優れているほか、耐水性、耐薬品性、耐磨耗性などにも優れています。用途としては、長期防食性、意匠性の要求される橋梁、タンク、プラント類の外表面や大型建造物の鉄骨類などでエポキシ樹脂塗料の耐候性の悪さを補う形でエポキシ系の上塗りとして使用されることが多くあります。ただし、ポリウレタン樹脂塗料は、水分の影響を受けやすい(発泡して塗膜にブリストアが残る)ので、多湿時の塗装には注意が必要です。

② ふっ素樹脂塗料

ふっ素樹脂は、炭素原子とふっ素原子との強い結合力により、耐熱性、耐薬品性、耐候性に優れています。加えて非粘着性、撥水性、低摩擦性、電気絶縁性も高いなど物理特性にも優れています。用途としては、長期耐食性、高耐候性など優れた特長から、高層ビル、橋梁、自動車、電車、船、飛行機など広範囲に使用されています。ふっ素樹脂塗料は、高価という感覚があるかもしれませんが、塗替え期間を長く設定できるので、ライフサイクルコストでは優位とされています。

(4) 主要な塗装系

新設亜鉛めっき面と劣化亜鉛めっき面のそれぞれについて、また長期耐食性の塗装仕様の例を示します。塗装仕様の選択は、塗装の目的と周囲の塗装系との調和を考慮することが大切とされています。

① 新設亜鉛めっき面の塗装仕様<ポリウレタン樹脂塗料>・・・工場塗装とすることが良い

表5 新設亜鉛めっき面の塗装仕様

工程	塗料名	塗装回数	塗装方法	塗料使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20℃)	
素地調整	スィープブラスト処理(ISO Sa1), (あるいは、りん酸塩処理)				※1, ※2	4時間以内 (7日以内)	
第1層	亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料 下塗	1	スプレー (はけ)	200 (160)	40		1～10日
第2層	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	1	スプレー (はけ)	170 (140)	30		
第3層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	1	スプレー (はけ)	140 (120)	25	1～10日	

※1:スィープブラスト処理の判定は、スィープブラスト処理見本写真と対比して行う。

※2:りん酸亜鉛処理の場合は、処理後7日以内に第1層目を塗装する。りん酸処理槽の大きさはメーカーへ問合せ。

② 新設溶融亜鉛めっき面用塗装仕様<ふっ素樹脂塗料>・・・工場塗装とすることが良い

表6 新設溶融亜鉛めっき面用外面塗装仕様

工程	塗料名	塗装回数	塗装方法	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20℃)
前処理	スィープブラスト処理(ISO Sa1), (あるいは、りん酸塩処理) ※1, ※2					4時間以内 (7日以内)
第1層	亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料下塗	1	スプレー	200	40	
第2層	ふっ素樹脂塗料用中塗	1	スプレー	170	30	
第3層	ふっ素樹脂塗料上塗	1	スプレー	140	25	

※1:スィープブラスト処理の判定は、スィープブラスト処理見本写真と対比して行う。

※2:りん酸亜鉛処理の場合は、処理後7日以内に第1層目を塗装する。りん酸処理槽の大きさはメーカーへ問合せ。

③ 劣化亜鉛めっき面への補修塗装仕様

塗替え塗装は、塗膜のばく露される環境が塗替え後も変わらないので、従来は旧塗装と同じ性能を有する塗装系を一般的に選定していましたが、しかし、塗装のLCC、環境対策、景観上の配慮などの観点から、より耐久性の優れた塗装系にするほうが有利かつ合理的と考えられるようになりました。

水漏れ、飛来塩・融雪剤、亜硫酸ガスなどが影響した厳しい環境下にたまたまさらされ、赤さびが混入した状態(写真11)となった場合、補修方法としては、鉄素地に対する塗替えと見なし、素地調整1種→有機ジンクリッチペイント・弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗2回→弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗→弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗の塗装系に変更する方が良いでしょう。

また、全面に赤さびが出ているような状態には至っていないけれども、合金層の腐食でやや薄い赤褐色を呈した状態(写真12)であった場合、補修塗装としては、素地調整程度1種で、亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料下塗を用いた塗装系(表7)を適用します。赤さび混入の状態(写真11)になる前に補修塗装することが長寿命につながるのです。

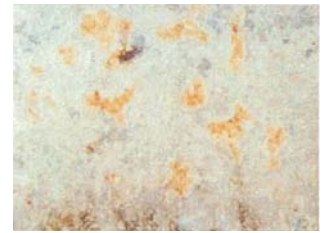


写真11 赤さび混入の事例



写真12 合金層腐食の事例

表7 赤さびが出る前の補修塗装系 スプレー

塗装工程	塗料名	使用量(g/m ²)	塗装間隔
素地調整	1種 ※1		4時間以内
下塗	亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料下塗	200	
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1～10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	1～10日

※1:素地調整程度1種であるがブラストグレードはISO Sa1とする。

7. まとめ

溶融亜鉛めっき上の塗装は、注意点が多く取り扱いが難しいと思われるかも知れませんが、仕様書や基準書に沿って「適切な塗装」を行えば、高い信頼性と満足のいく耐久性を得ることは難しいことではありません。

亜鉛めっき上塗装のメリットをご理解頂き、高品質の溶融亜鉛めっき上塗装が、皆様のお役に立つことを願ってやみません。

社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会

技術・技能検定委員会

<編集協力> 大日本塗料株式会社

参考文献 ①鋼道路橋塗装・防食便覧:(社)日本道路協会 ②スィープブラスト処理見本写真:(社)日本橋梁建設協会

表紙写真の説明:海岸近くの標識柱に採用されている溶融亜鉛めっき上の塗装、後方は明石海峡大橋 2006/5 印刷