

水性エポキシ樹脂塗料の 亜鉛メッキ鋼板適性付与技術について

Application of Water-Based Epoxy Resin Primer to Galvanized Steel Sheet



汎用塗料本部
防食製品技術部
加納 央
Nakaba
Kanou



汎用塗料本部
防食製品技術部
後藤宏明
Hiroaki
Gotou

1. はじめに

溶融亜鉛メッキは鋼の防食方法の一つとして極めて有効であり、長期的な耐食性(防食性)が優れるため、土木関係(橋梁・照明柱・ガードレールなど)、建築関係(工場建屋・階段など)および電力通信関係(送電鉄塔など)に幅広く使用されている。この亜鉛メッキに意匠性(景観を配慮)や更なる長期防食性を付与する目的で塗装が併用される場合がある。これに適用される塗装仕様は種々あるが、防食性・付着性に優れるエポキシ樹脂塗料を下塗に、耐候性(光沢保持性・保色性など)に優れるポリウレタン樹脂塗料、フッ素樹脂塗料を上塗に用いる塗装システムが主流になっている。しかし、表面の活性が非常に高く、表面状態のばらつきが大きい亜鉛メッキ面では、適用する塗料の選定を誤ると塗装後2~3年という短期間で局部的な、場合によっては全面的に亜鉛メッキ面と下塗塗膜の界面での塗膜の自然剥離や著しい付着力の低下現象が認められることもある。溶融亜鉛メッキ鋼板と塗膜との付着安定性について塗料品質面や表面処理方法で検討がなされ¹⁾、現在では品質、施工面とも安定し多数の実績を有している。

一方、塗料業界では昨今の地球温暖化やヒートアイランド対策など環境に関する社会問題への取組として光化学オキシダントおよび浮遊粒子状物質(SPM)の原因物質の一つである揮発性有機化合物(VOC)排出抑制に取り組んでいる。弊社では自動車用塗料や工業用塗料、建築用塗料の水溶性に関する研究開発を長年行ってきており、その技術力を応用し重防食用の水溶性塗料システムの開発を行ってきた。特にVOCの削減、耐水性の向上に注力し、現行溶剤形システムと同等以上の耐久性を有する水性重防食塗料システムを開発した^{2), 3)}。

本技術を生かし、更に亜鉛メッキ鋼板適性に優れる水性重防食塗料システムの開発を行った。表1に示す弊社の水性システムを構成する下塗・上塗の2種類の塗料のうち本稿では下塗について紹介する。

表1 水性亜鉛メッキ面用重防食システム

工程	塗料名	膜厚
上塗	水性フッ素樹脂塗料上塗	30 μ m
下塗 2層目	水性亜鉛メッキ面用 エポキシ樹脂塗料下塗	50 μ m
下塗 1層目	水性亜鉛メッキ面用 エポキシ樹脂塗料下塗	50 μ m
表面処理	全面スリーブブラストを実施する	

2. 機能目標とコンセプト

本開発品は亜鉛メッキ面用塗料として規格化された『鋼道路橋防食便覧』亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂塗料下塗⁴⁾に準じた性能を有し、溶剤形亜鉛メッキ面用塗料と同等以上の長期耐久性を有することを目標とした。

過去に設計された溶剤形亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂塗料の設計方法を以下に示す。

過去に亜鉛メッキ面で起こった溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗塗膜の付着力低下の原因は、次に示す要因によるものと考えられる。

- ①塗膜への水分、腐食性物質の浸透→水分と亜鉛の反応による亜鉛溶解物の生成
- ②経時による収縮応力の増加→われ、ハガレ
- ③塗膜への水分の浸透による局部的な付着性の低下→われ、ハガレ、膨れ

図1に塗膜の劣化モデルを示す。

溶剤形亜鉛メッキ面用塗料の暴露試験結果と塗膜物性値との相関性を確認・検討した結果、上水浸漬試験後の付着性が良好で、かつ塗膜の収縮応力が小さいものが暴露試験で良好な結果であることが分かった。

上記塗膜物性を得るには表2に示す手法で塗料配合の改良が有効であり、本設計手法を水性塗料へ適用することを試みた。

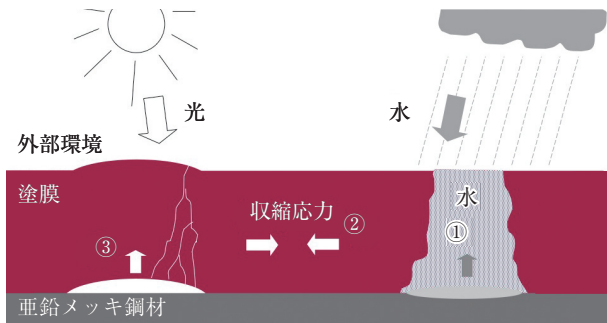


図1 塗膜の劣化モデル

表2 溶剤形亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂塗料の設計思想

目的	手法
①亜鉛メッキ層の劣化抑制	防錆顔料の配合
②耐水性向上	樹脂の親水性成分の削減、造膜性向上
③収縮応力低減	可塑剤、高分子量樹脂の併用

表3 防錆顔料添加による pH 緩衝能及び亜鉛の溶解量

	酸性水溶液		塩基性水溶液	
	pH	溶解量(mg/m ²)	pH	溶解量(mg/m ²)
防錆顔料なし	2	4150	12	1660
防錆顔料 A	4	700	12	240
防錆顔料 B	8	20	9	10

- ・酸性水溶液は 0.01 N の塩酸水溶液、塩基性水溶液は 0.01 N の水酸化ナトリウム水溶液を用いた。
- ・各水溶液に防錆顔料を 3% 添加した後、ディスパーで攪拌し、20℃、48 時間静置した上澄み液を試験液として供試した。防錆顔料を添加した後の pH 及び溶融亜鉛メッキ鋼板を 48 時間浸漬した後の亜鉛溶解量を測定した。

3. 水性亜鉛メッキ面用塗料の設計手法

3.1 亜鉛メッキ層の劣化抑制

亜鉛は両性金属であるため強酸、強アルカリの水溶液には急激に溶解する。このため亜鉛メッキが有効な耐食性を示すのは pH6~12.5 の範囲であるといわれている⁵⁾。

一方、亜鉛メッキ層は暴露により酸性物質や塩基性物質の影響を受けることが考えられる。水性塗料に適した防錆顔料を配合することにより亜鉛メッキ層近傍の pH を緩衝し亜鉛の溶出、劣化を抑制することが重要と考えた。

そこで防錆顔料の水スラリーを作成し、pH 緩衝能及び亜鉛の溶解量を測定した。結果を表3に示す。表中で酸性水溶液は 0.01 N の塩酸水溶液、塩基性水溶液は 0.01 N の水酸化ナトリウム水溶液を用いた。各水溶液に防錆顔料を 3% 添加した後、可変速ディスパーで攪拌し、20℃、48 時間静置した上澄み液を試験液として供試した。防錆顔料を添加した後の pH 及び溶融亜鉛メッキ鋼板を 48 時間浸漬した後の亜鉛溶解量を測定した。その結果、防錆顔料を添加すると pH が中性寄りになり亜鉛溶解量が低減した。特に防錆顔料 B を用いると pH が 9 前後に緩衝され非常に亜鉛が溶解されにくくなった。このことから塗膜の防食性は向上すると考えられる。

3.2 耐水性向上

弊社では水性重防食塗料の課題の一つである耐水性の向上に注力し、①コアシェル構造を有するエポキシエマルションを用い親水性成分の低減と収縮応力の発生を緩和させ、②疎水性の高いエマルション型硬化剤を用い、③最適な造膜助剤、可塑剤を適用することで水性塗料でも溶剤形エポキシ樹脂塗料と同等以上の耐水性が得られることを確認している³⁾。当技術を活用し亜鉛メッキ面でも良好な耐水性を有する水性下塗料の設計を行った。

表4 『鋼道路橋防食便覧』 亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂塗料下塗試験結果

項目	要求性能	結果	
成分	混合塗料中の加熱残分	55%以上	◎
	混合塗料中の溶剤不溶物	30%以上	◎
塗料性状	容器の中の状態	かき混ぜたとき堅い塊がなく一様になる	◎
塗装作業性	塗装作業性	刷毛塗りで塗装作業に支障がない	◎
	乾燥時間 (h)	16 以下	◎
	ポットライフ (h)	5 以上	◎
塗膜性能	塗膜の外観	正常である	◎
	耐おもり落下性 (デュボン式)	300 mm の高さから 300 g のおもりを落としたとき塗膜に割れハガレが生じない	◎
	耐屈曲性 (マンドレル)	直径 10 mm の折り曲げに耐える	◎
	基盤目試験	20/25 (耐水性試験後) 以上かつ分類 1 以下 (通常試験)	◎
	耐水性	水に 168 時間浸したとき異常がない	◎
	上塗り適合性	フッ素樹脂塗料用中塗りを塗り重ねたとき支障がないこと	◎
	耐塩水噴霧性	168 時間の塩水噴霧に耐える	◎

3.3 収縮応力低減

3.2 項の手法は収縮応力の発生緩和に対しても有利である。耐水性を留意しながら低収縮応力塗膜の設計を目指した。

4. 塗膜性能

4.1 規格適性

『鋼道路橋防食便覧』亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂塗料下塗⁴⁾は、亜鉛メッキ面用エポキシ樹脂系重防食塗料下塗の要求性能を規定したものである。表4に示す通り、本開発品はこれらの規格に適合する性能を有している。さらに市場において多くの実績がある溶剤形塗料と比較しても同等の性能を有している。

4.2 防食性

防食性の評価として沿岸部の厳しい環境である弊社暴露試験場(千葉県南房総市)で屋外暴露試験を実施した。素材はJIS H8641「溶融亜鉛めっき」HDZ55を用い、表1に示す工程で今回開発した水性重防食システムを塗装した。

暴露試験は塗面に水が滞留しやすい水平置きで行った。試験板にはあらかじめ一部鋼材素地まで達するカットを入れ、一般部の外観観察、付着強度測定及びカット部の膨れ幅の測定を行った。暴露5年後の結果を写真1に示す。

水性塗料において防錆顔料を添加した効果は歴然であり、亜鉛メッキ鋼板のみならず鉄板(サンドブラスト板)でも防食性が大きく向上している。

また、開発した水性重防食塗料システムは溶剤形塗料システムと比べ、カット部の膨れ幅は小さく、腐食が進行しにくいことがわかる。沿岸部の5年暴露試験ではむしろ溶剤形塗料よりも優れた防食性を有することが確認された。

4.3 塗膜物性

亜鉛メッキ面用水性エポキシ樹脂塗料の塗膜物性を表5に示す。

本開発品は溶剤形と比較して吸水率はやや高いが収縮応力、応力緩和性とも優れており亜鉛メッキ面用塗膜に必要な物性を有している。

表5 塗膜物性

項目	水性開発品	溶剤形	
	亜鉛メッキ面用	亜鉛メッキ面用	鉄部用
動的ガラス転移温度(°C)	75	75	90
収縮応力(MPa)	0.3	0.9	1.4
応力緩和性(半減期/min)	6	500	100000<
吸水率(%)	10	6	6
透湿度(g/m ² ・24h)	7	5	3

塗膜作成条件：乾燥膜厚=60μm(単膜)、23℃ RH50%-30日

		水性開発品	溶剤形現行	比較 水性
		防錆顔料有り	防錆顔料有り	防錆顔料なし
亜鉛メッキ鋼板	カット部			
	膨れ幅	3 mm	5 mm	7 mm
	付着試験面			
	付着強度	4.0 MPa	3.0 MPa	1.0 MPa(素地~)
	一般部	膨れなし	膨れなし	膨れ
(参考) 鉄板 (サンドブラスト板)	カット部			
	膨れ幅	6 mm	14 mm	18 mm

写真1 屋外暴露試験5年後の結果

5. おわりに

重防食用塗料市場における水性化は、建築用塗料市場や工業用塗料市場と比べると、防食性・施工性・経済性の観点から実用化は遅れているが、地球環境保護や作業者の健康・安全対策への意識が高まっている現状から、将来的には需要拡大が大いに期待される。

特に表6に示すように、溶剤形塗料システムと比較すると水性塗料システムのVOC排出量の削減率は約90%と非常に高いレベルを示す。

今後も鋭意開発を行い、市場において幅広く認知されることを期待すると同時に地球環境保全に貢献していきたい。

参考文献

- 1) “鋼橋等塗装基準・同解説”、p.30、本州四国連絡橋公団(1994)
- 2) 澤田英典、長島清二、富田賢一：防錆管理、**42**(9)、318-322(1998)
- 3) 豊岡静香、小金井勇：塗料の研究、**155**、53-57(2013)
- 4) “鋼道路橋防食便覧”、II-172、日本道路協会(2014)
- 5) “溶融亜鉛めっきの耐食性”、日本鋳業協会鉛亜鉛需要開発センター、
<http://www.jlzda.gr.jp/mekki/pdf/youyuu.pdf>
(参照 2014/6/4)

表6 VOC 排出量

工 程	塗料 樹脂系	膜厚 (μ m)	VOC 排出量 (g/m ²)	
			水性塗料 システム	溶剤形塗料 システム
上塗	フッ素	25	2.9	29.1
下塗 2層目	エポキシ	50	6.2	65.2
下塗 1層目	エポキシ	50	6.2	65.2
合計		125	15.3	159.5
水性塗料システムのVOC排出量削減率(%)				90.4