

# 水性重防食用塗料下塗りの開発

Development of a Water-Based Primer for Protective Coatings



汎用塗料本部  
防食技術開発部  
豊岡静香  
Shizuka  
Toyooka



汎用塗料本部  
防食製品技術部 (東京)  
小金井 勇  
Isamu  
Koganei

## 1. はじめに

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り組みに関心が高まっている。例えば、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) 排出抑制を目的として、2004年5月大気汚染防止法が改正され、2006年4月1日より施行されている。

この大気汚染防止法の改正に伴い、弊社でも環境保全や作業者の安全確保、塗替え塗装仕様への適用を目的に、トルエン、キシレン等のPRTR法該当有機溶剤を含まないミネラルスピリット等を使用した弱溶剤形塗料<sup>1)</sup>を上市している。しかしながら、VOC排出量の観点からは弱溶剤形塗料は従来の塗料とほとんど変わらない。

塗料でVOC排出量を削減する方法は、無溶剤化、低溶剤化、水性化の3点が挙げられる。重防食塗料を適用する橋梁やプラント等の大型構造物における施工面を考えると低溶剤化が現実的な方法であるが、安全面や環境保全の面では水性化が最も有効な方法である。水性化の有効性については独立行政法人土木研究所と塗料メーカー6社による「鋼構造物のVOC削減に関する共同研究」<sup>2)</sup>で報告されている。

しかしながら、水性塗料を重防食市場へ展開するには、下記に示すような課題がある。

- 1) 樹脂を水分散するには、親水性の高い乳化剤が必要である。塗膜内に残存した乳化剤は吸水しやすく、溶剤形塗料と比較すると一般的に耐水性が劣る傾向にある。
- 2) 溶媒である水は一般的に用いられる有機溶剤と比べて揮発しにくいので、特に低温や高湿度条件では乾燥が遅くなる。
- 3) 乾燥が遅くなると、塗装時あるいは塗装直後に降雨や結露等水分の作用を受けやすく、塗膜の溶出やふくれ等の不具合が懸念される。
- 4) 塗料中に水を含むため、鋼材面に直接塗装した場合、点錆 (フラッシュラスト) が発生しやすい。
- 5) 溶剤形塗料に比べて塗装作業性がやや劣り、膜厚を確保することが難しい。

弊社では自動車用塗料や工業用塗料、建築用塗料の水性化に関する研究開発を長年行って来ており、その技術力を応用し重防食用の水性塗料システムの開発を近年行っている<sup>3)</sup>。今回前述した課題について改良を試み、溶剤形塗料システムと同等の性能を有し、鋼材面に直接塗装可能な水性

表1 弊社水性重防食塗料塗装システムの1例

工程	塗料名	標準 使用量 (g / m <sup>2</sup> )	塗 装 方 法	塗装間隔 (20℃)	標準シンナー 希釈率 (重量比)	
現 場	素地調整	3種ケレン ※さびの発生した箇所は除去すること。		直ちに	上水 0~10%	
	第1層 (補修)	水性エポキシ樹脂塗料下塗り	240			ハケ・ローラー
	第2層 (全面)	水性エポキシ樹脂塗料下塗り	240	ハケ・ローラー	24時間~10日	上水 0~10%
	第3層 (全面)	水性エポキシ樹脂塗料下塗り	240	ハケ・ローラー	24時間~10日	上水 0~10%
	第4層 (全面)	水性エポキシ樹脂塗料中塗り	140	ハケ・ローラー	24時間~10日	上水 0~10%
	第5層 (全面)	水性ふっ素樹脂塗料上塗り	120	ハケ・ローラー	24時間~10日	上水 0~10%

重防食塗料システムの開発を行った。表1に示す弊社の水性重防食塗料システムを構成する下塗り・中塗り・上塗りの3種類の塗料のうち、本報では重防食塗料において最も重要な『防食機能』を担う下塗りの開発と性能について紹介する。

## 2. 機能目標とコンセプト

本開発品は重防食塗料の代表的な規格 JIS K 5551 : 2008 「構造物用さび止めペイント」の C 種 1 号に準じた性能を有することを目標とした。本開発では水性塗料の課題の一つである、耐水性の低下に着目し、低下要因の仮説検証を行い耐水性の向上を目指した。

## 3. 耐水性向上の考え方

### 3.1 エマルション組成の最適化

エポキシ樹脂を水に分散する方法として、①エポキシ樹脂を自己乳化型に変性する、例えば多塩基酸のエステル化によるカルボキシル基の導入やアクリル変性樹脂によるカルボキシル基の導入、②乳化剤を用いてエポキシ樹脂を水分散させる等<sup>4)</sup>がある。

疎水性の高いエポキシ樹脂を安定的に水分散させるためには、多くの乳化剤が必要となるが、前述の通り塗膜中に乳化剤が残存すると耐水性の低下が懸念される。そこで乳化剤の残存を防ぐために、基体成分樹脂(コア部)と乳化成分樹脂(シェル部)で形成されるコアシェル構造を有するエポキシエマルションを開発した。エマルションのモデル構造を図1に示す。

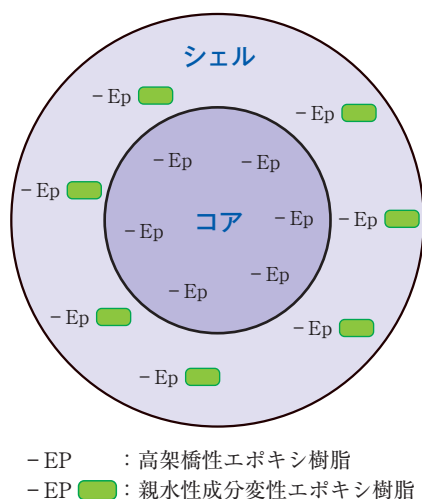


図1 コアシェル構造のエポキシエマルションのモデル構造

コア部のエポキシ樹脂には架橋性の高い構造を有するものを採用することで、緻密な塗膜を形成させ、環境遮断性に優れた設計とした。

一方、エポキシエマルション粒子を水溶媒中で安定に保持させるため、シェル部は親水性成分で変性したエポキシ樹脂

を用いた。このシェル層も硬化剤と反応して塗膜の架橋構成成分となるため、優れた防食性と耐水性を発揮することが期待できる。加えて、樹脂を変性して柔軟な塗膜とし、内部応力の発生を緩和させることにより、塗膜の鋼材面への付着力も向上させている。

### 3.2 硬化剤の選定

アミン硬化剤もエポキシエマルション同様に水性塗料用として水希釈型にするには様々な方法が提案されている。旧来より、アミンを酸で中和し水溶性を付与する方法等が用いられていたが、酸が塗膜中に残存した場合、耐水性の低下や腐食性物質としての作用があり実用的ではなかった。近年は、親水性成分を骨格に持つアミン硬化剤が開発され、親水部が架橋構造に固定され水を塗膜に取り込むことも少ないため、耐水性が向上するとの報告<sup>5)</sup>がある。

弊社において各タイプの硬化剤を評価した結果を概略して表2に示す。親水性成分の多い水溶性型や親水性成分がやや少なく水溶性溶剤に溶解する水溶性溶剤希釈型の硬化剤は、塗膜中で吸水し易く耐水性は十分ではなかった。一方、エマルション型は耐水性、防食性、ポットライフに優れていることが確認された。これはエマルション型硬化剤の疎水性の高さに起因すると考えられる。

表2 各タイプ硬化剤の評価結果

確認項目	水溶性溶剤希釈型	水溶性型	エマルション型
エポキシエマルションとの相溶性	○	○	○
硬化性	○	○	○
防食性	×	×	○
ポットライフ	×~○	×~○	○
耐水性	×	×	○

評価基準

○：問題なし、×：実用性なし

### 3.3 造膜助剤の適用

重防食用塗料は常温乾燥形であり、寒冷地以外は四季を通じて塗装される。よって、水性塗料はいかなる塗装環境においても乾燥時の造膜性に支障がでないようMFT (Minimum Film Forming Temperature: 最低造膜温度) をコントロールする必要がある。エマルション組成の軟質化では、造膜性は向上するが表面乾燥性や耐水性が低下するため、エマルション粒子の融着を補助する可塑剤や造膜助剤を検討した。適切な造膜助剤を最適量添加することにより、表面乾燥性、耐水性を低下させることなく実用上問題のない造膜性が得られた。造膜助剤有無による塗膜表面の造膜状態の違いを位相差顕微鏡で観察した結果を写真1に示す。

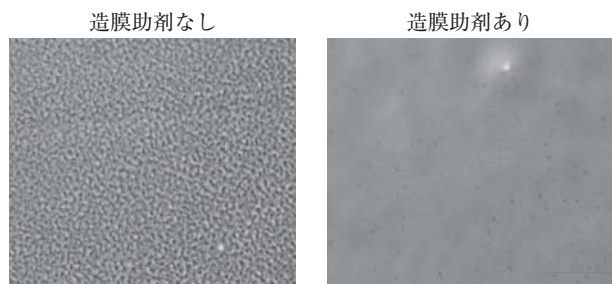


写真1 位相差顕微鏡による表面状態の観察結果

## 4. 塗膜性能

### 4.1 耐水性向上の検証

水性重防食用塗料下塗り(開発品A、B、C)の3種類と溶剤形エポキシ樹脂塗料(商品名:エスコ)の40℃温水浸漬試験を行い、耐水性を比較した。水性重防食用塗料下塗

りは前章で述べた耐水性向上手法により、ふくれが発生するまでの期間は、2週間(開発品A)から3ヶ月間(開発品B)へと大幅に向上し、溶剤形エポキシ樹脂塗料(大気部用)と同等の耐水性を有していることを確認した。更に開発品Cは7ヶ月間ふくれの発生がなく、溶剤形エポキシ樹脂塗料(没水部用)と同等の耐水性を示した(表3)。

また、橋梁やプラント等大型構造物は屋外で塗装されるため、塗装直後の降雨や結露等の影響を受けやすい。そこで塗装後短時間で、水が塗膜へ及ぼす影響を確認した。表4に示す通り、本開発品は溶剤形塗料と同等の初期耐水性を有しており、実用上問題のないことが判った。

### 4.2 JIS K 5551:2008「構造物用さび止めペイント」C種1号適性

JIS K 5551:2008「構造物用さび止めペイント」のC種1号は、汎用的なエポキシ樹脂系重防食用塗料下塗りの要

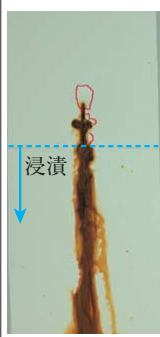
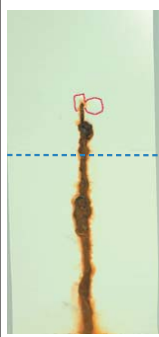
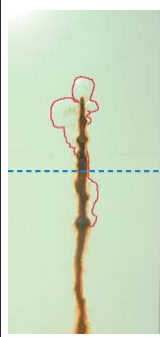
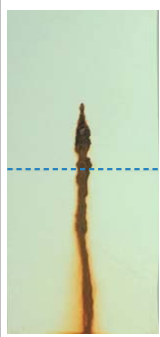
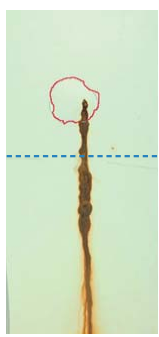

表3 40℃温水浸漬試験結果

	水性重防食用塗料下塗り			溶剤形塗料	
	開発品A	開発品B	開発品C	大気部用 エスコ	没水部用 エポマリンJW
ベース樹脂	コアシェル構造 エポキシエマルジョン	コアシェル構造 エポキシエマルジョン	コアシェル構造 エポキシエマルジョン	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂
硬化剤	水溶性型アミン	エマルジョン型アミン	エマルジョン型アミン	アミン	アミン
造膜助剤	—	造膜助剤A	造膜助剤B	—	—
40℃温水浸漬 ふくれ発生日数	2週間	3ヶ月	7ヶ月以上	3ヶ月	7ヶ月以上

#### ＜試験条件＞

黒皮鋼板(SS400)をサンドブラスト処理した鋼板にスプレー塗装。乾燥膜厚100 $\mu$ m $\times$ 3回塗り。  
室温7日間養生後、40℃温水に浸漬する。

表4 塗装直後の水が塗膜へ及ぼす影響

	水性重防食用塗料下塗り(開発品B)			溶剤型塗料(エスコ)		
	3時間	5時間	24時間	3時間	5時間	24時間
塗装後水浸漬までの時間	3時間	5時間	24時間	3時間	5時間	24時間
引き上げ直後の塗膜状態	△	○	○	△	○	○
引き上げ翌日の塗膜状態	△	○	○	△	○	○
引き上げ7日後 + 塩水噴霧試験1200時間						

#### ＜評価基準＞

○：問題なし △：白化、ツヤ引け ×：溶出、ふくれ

#### ＜試験条件＞

磨き軟鋼板に塗装3時間、5時間、24時間後に水に2時間半没。引き上げ直後と引き上げ24時間後の塗膜状態を目視評価。  
引き上げ7日後、試験面に一部鋼材に達するカットを入れ、防食性(塩水噴霧試験)を確認する。

表5 JIS K 5551:2008「構造物用さび止めペイント」C種1号 試験結果

項目	規格	水性	溶剤
容器の中の状態	かき混ぜたとき、堅い塊がなくで一樣になる。	合格	合格
半硬化乾燥性	半硬化乾燥している。	合格	合格
塗装作業性	支障がない。	合格	合格
塗膜の外観	正常である。	合格	合格
ポットライフ	規定時間後、使用できる。	合格	合格
たるみ性	たるみがない。	合格	合格
上塗り適合性	支障がない。	合格	合格
耐衝撃性	割れ及びはがれがない。	合格	合格
付着性	分類1又は分類0。*	合格	合格
耐熱性	外観が正常である。試験後の付着性試験で分類2、分類1又は分類0。*	合格	合格
サイクル腐食性	さび、膨れ、割れ及びはがれがない。	合格	合格
塗膜中の鉛の定量 (質量分率%)	0.06 以下。	合格	合格
塗膜中のクロムの定量 (質量分量%)	0.03 以下。	合格	合格
屋外暴露耐候性	さび、膨れ、割れ及びはがれがない。	合格	合格

\*規格

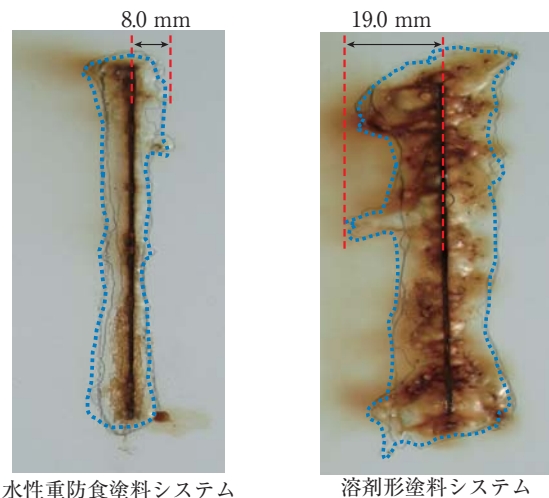
分類	説明
0	カットの縁が完全に滑らかで、どの格子の目にもはがれがない。
1	カットの交差点における塗膜の小さなはがれ。 クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に5%を上回ることはない。
2	塗膜がカットの縁に沿って、及び/又は交差点においてはがれている。 クロスカット部分で影響を受けるのは明確に5%を超えるが15%を上回ることはない。

求性能を規定したものである。表5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。更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。

#### 4.3 ばくろ防食性

沿岸部の厳しい環境である弊社ばくろ試験場で屋外ばくろ試験を実施した(ふっ素仕様)。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、一般部の外観観察及びカット部のふくれ幅の測定を行った。ばくろ3年後のカット部周辺状態の結果を写真2に示す。

水性重防食塗料システムは溶剤形塗料システムと比べ、カット部のふくれ幅は大幅に小さく、腐食が進行しにくいことがわかる。一般部においては水性重防食塗料システムと溶剤形塗料システムとの間に有意差は認められなかった。沿岸部の3年ばくろでは、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。



＜塗装仕様＞

下塗り60 μm～中塗り30 μm～上塗り25 μm

板:黒皮鋼板(SS400)をサンドブラスト処理した鋼板

写真2 ばくろ試験結果

#### 4.4 施工実績

JRの橋梁の塗替え塗装<sup>6)</sup>や、東京都環境局の低VOC化推進活動<sup>7)</sup>における採用など、重防食塗料市場においても水性化が年々広まりつつある。加えて、施工実績数も年々増加しており、今後更に水性重防食用塗料の普及が期待される。

防食塗膜として重要な性能の一つである長期耐久性を調べるために、経年後の塗膜状態を実施工物件で調査した。一般的に、鋼構造物の中で添接部はその複雑な形状ゆえに膜厚が不均一になりがちであり、写真3に示すように早期に腐食等の劣化が発生し易い。添接部を弊社の水性重防食塗料システムで施工した約5年経過後の状態を観察した結果、写真4に示す通り、良好な状態を保持していた。水性重防食塗料システムは、十分に長期の耐久性が期待できる。

但し、一般に水性塗料は溶剤形塗料と同等の塗装作業性を付与させることが難しく、膜厚確保が必須の重防食市場において、塗装作業性の更なる向上が水性塗料を普及させる大きなポイントになるであろうと考える。



写真3 腐食劣化した添接部



写真4 水性重防食塗料システム施工の添接部

#### 5. おわりに

水性重防食用塗料はVOC排出量削減に効果的で環境にやさしい塗料である。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排出量の低減率は約84%である。

一方で、水性塗料は気温や湿度等の環境に左右され易いので、溶剤形とは異なる施工管理が必要である。

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。

本報で紹介した水性重防食用塗料は、水性塗料の課題であった耐水性を大幅に向上させた品質である。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。

表6 VOC排出量

工程	塗料樹脂系	膜厚(μm)	VOC排出量(g/m <sup>2</sup> )	
			水性塗料システム	溶剤形塗料システム
下塗り1層目	エポキシ	60	7.5	48.4
下塗り2層目	エポキシ	60	7.5	48.4
中塗り	エポキシ	30	3.8	23.3
上塗り	ふっ素	25	5.4	31.5
合計		175	24.2	151.6
VOC排出量削減率(%)			84	—

#### 参考文献

- 1) 松田光司、上島正男：塗料の研究、**140**、59-65 (2003)
- 2) “鋼構造物塗装のVOC(揮発性有機化合物)削減に関する共同研究報告”、独立行政法人土木研究所(2010)、共同研究報告所第411号、Ⅲ-1～Ⅲ-253
- 3) 澤田英典、長島清二、富田賢一：防錆管理、**42** [9]、318-322 (1998)
- 4) 関西ペイント技術本部：“水性塗料の基礎と最新技術”、327-336、コーティングメディア(2001)
- 5) “総説エポキシ樹脂 第1巻 基礎編I”、145-146、エポキシ技術協会(2003)
- 6) “鋼構造物塗装設計施工指針”、89-97、財団法人鉄道総合技術研究所(2005)
- 7) “低VOC塗装における各事業者の取組事例”、東京都環境局ホームページ、[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air\\_pollution/voc/low\\_voc\\_painting/case.html](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/voc/low_voc_painting/case.html) (参照 2013/05/28)