

環境遮断性に優れた剥離抑制型塗料の開発

(株)四国総合研究所 化学バイオ技術部 坂口 聡彦
(株)四国総合研究所 化学バイオ技術部 大捕 秀基
(株)四国総合研究所 化学バイオ技術部 西森 修次
(現：アルファ塗料研究所)

キーワード： 防食塗料
鋼構造物
塗膜剥離
線膨張係数
環境遮断性

Key Words : Anti-corrosion paint
Steel structure
Coating peeling
Coefficient of linear expansion
Environmental barrier properties

Development of Peel-Suppressing Paint with High Barrier Propertie

Shikoku Research Institute, Inc., Chemical and Biological Technologies Department
Toshihiko Sakaguchi, Hideki Otori and Shuji Nishimori

Abstract

Two factors that determine the durability of anticorrosion coatings are adhesion and barrier properties. For adhesion, lowering the coefficient of linear expansion of the coating film is effective. Furthermore, by focusing on the coefficient of linear expansion of the coating film, it is now possible to achieve both adhesion and barrier properties, which have conventionally been in a trade-off relationship. Therefore, we have developed a new paint with environmental barrier properties equivalent to those of paints for underwater areas, in addition to its peel suppressing function. In this paper, we report a comparison of the performance of the developed product with that of conventional products.

1. はじめに

屋外構造物における長期の防食耐久性は、防食塗膜の長期の遮断性と長期の付着性（耐剥離性）で決まる。すなわち、長期間屋外環境に曝された後の遮断性が高ければ高い程、付着性（耐剥離性）が高ければ高い程、その防食塗膜の防食耐久性は優れている。

我々はこれまで、実機で散見される塗膜剥離に対応するため、長期付着性維持の観点から複数の塗料メーカーと共同で検討を行い、その成果として、塗膜の温度変化に対する寸法安定性を示す物性値である線膨張係数 α を低減するというアプローチで設計した剥離抑制型塗料（以下、低 α 塗料と略す）を開発した^{1,2)}。

今般、この線膨張係数に着目した塗膜剥離抑制型塗料の塗料設計をさらに改良し、従来塗料に比べ、遥かに遮断性に優れ、かつ塗膜剥離を抑制した、長期防食耐久性に優れた塗料（以下、高遮断低 α 塗料と略す）を開発した。本稿では、高遮断低 α 塗料の性能評価試験結果について報告する。

2. 高遮断剥離抑制型塗料の開発

塗膜剥離に影響を及ぼすと考えられる塗膜物性としては、線膨張係数、ガラス転移温度、弾性率が挙げられる。従来の設計手法では、塗膜内応力の緩和を目的としてガラス転移温度や弾性率を低減させることが多かったが、これは同時に塗膜の遮断性の低下を招くことも多いため、防食塗膜の設計としては望ましくない面もあった。

一方、塗膜の線膨張係数を下げる手法では、塗膜内応力の緩和が可能であり、かつ環境遮断性の低下を必ずしも伴わない。

以上の知見を踏まえ、線膨張係数を低減して剥離抑制機能を確保しつつ、遮断機能を可能な限り向上させた高遮断低 α 塗料（図1）を開発した³⁾。

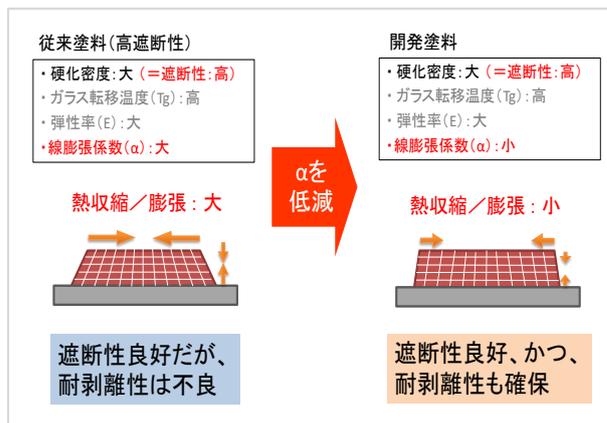


図1 高遮断性を有する剥離抑制型塗料

3. 高遮断剥離抑制型塗料の性能評価

本稿では、高遮断低 α 塗料のうち、特に鋼構造物の塗替え補修の下塗としての適用を想定した弱溶剤タイプ（弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料）の性能について述べる。

3.1 付着性（剥離抑制性能）

開発塗料等の長期における剥離抑制性能の評価として、各塗膜の線膨張係数及び耐剥離性試験結果を表1に示した。

表1 塗膜の線膨張係数測定結果及び耐剥離性試験結果

	開発塗料				従来塗料	
	高遮断低 α 塗料		低 α 塗料		従来屋外向け塗料	
塗膜の線膨張係数 ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)	2.89		2.50		3.94	
耐剥離性試験結果 (試験片外観 (※1))	塗装仕様	単膜系	塗装系	単膜系	塗装系	塗装系
	サイクル数	30サイクル	30サイクル	30サイクル	10サイクル	10サイクル

※1 各試験片8か所あるカット部からの剥離範囲を黒マジックで示した。

耐剥離性試験は、株式会社高速道路総合技術研究所殿発行「NEXCO 試験方法第4編 構造関係試験方法」に規定される試験法 443-2020「塗料の耐はく離性試験方法」^{4,5)}に基づき実施した*。

従来塗料は僅か 10 サイクル時点で著しい塗膜剥離を生じ、一方、高遮断低 α 塗料や低 α 塗料は、30 サイクル後においても試験経過に伴う剥離の進展が極めて小さく、塗膜耐久性を決める要素の一つである長期の付着性を高水準で維持可能であることを確認できた。

* 2023年10月のNEXCO要領改訂において、本試験方法は「試験法443-2023」に更新されている。更新後の試験法を適用した場合も、本稿記載の結果と同傾向の結果が得られる。

表2 塗膜の水蒸気透過量測定結果

開発塗料	従来塗料	
	従来屋外向け塗料	従来没水部向け塗料
高遮断低 α 塗料	9.24	1.12

(g/(m²・24h))

3.2 遮断性

(1) 塗膜の水蒸気透過量測定

開発塗料等の遮断性能の指標として、各塗膜の水蒸気透過量を測定した結果を表2に示した。

なお、水蒸気透過量の測定方法については、JIS Z 0208「防湿包装材料の透湿度試験方法（カップ法）」に準じて行い、評価対象となる塗膜片に関してはいずれも乾燥膜厚200 μ mとした。

測定結果より、高遮断低 α 塗料は従来没水部向け塗料と同等の低い透過性、すなわち優れた遮断性を示し、水蒸気の透過を従来屋外向け塗料の1/10以下に低減していることを確認した。

(2) 腐食促進試験

また、遮断性向上による塗膜性能への影響を評価するために、供試塗料3種について各種腐食促進試験を2020年から順次実施している³⁾。試験仕様を表3に示した。

表3 各種腐食促進試験の試験仕様

試験種	試験条件	供試膜厚	試験時間
① 耐湿性（連続結露法）	JIS K5600-7-2 回転式 50°C/95%RH以上	120 μ m	10080h(14か月)
② ③ イオン交換水浸漬	JIS K5600-6-1 方法1（浸漬法） 液温 23°C 液温 60°C	120 μ m	7920h(11か月)
		120 μ m	7920h(11か月)
④ ⑤ 塩水浸漬	JIS K5600-6-1 方法1（浸漬法） NaCl 5%aq. 液温 23°C NaCl 5%aq. 液温 60°C	120 μ m	7920h(11か月)
		120 μ m	2520h(3.5か月)
⑥ 複合サイクル防食性	JIS K5600-7-9 付属書1 サイクルD 塩水噴霧、湿潤、乾燥 (30°C~50°C、6h/サイクル)	60 μ m(※1)	6120h(8.5か月)
⑦ 耐中性塩水噴霧性	JIS K5600-7-1 35°C、5%aq.	60 μ m(※1)	6120h(8.5か月)
⑧ 暴露防錆性	NEXCO試験法404 沖縄県伊計島	120 μ m(※2)	未評価(2021年下旬から暴露)

※1 塗装系も供試したが、いずれの試験片も一般部変状無しのため本稿では割愛
 ※2 有機Zn 75 μ m層あり

表4 各種腐食促進試験における耐久時間

試験種	耐久時間(※1)			倍率【A/B】(※2)
	高遮断低 α 塗料【A】	従来屋外向け塗料【B】	従来没水部向け塗料	
① 耐湿性	> 10080h	720h	> 10080h	> 14.0倍
② イオン交換水浸漬(23°C)	> 7920h	> 7920h	> 7920h	-
③ イオン交換水浸漬(60°C)	> 7920h	720h	2160h	> 11.0倍
④ 塩水浸漬(23°C)	> 7920h	720h	> 7920h	> 11.0倍
⑤ 塩水浸漬(60°C)	> 2520h	720h	720h	> 3.5倍
⑥ 複合サイクル防食性	5040h	2160h	3960h	2.3倍
⑦ 耐中性塩水噴霧性	3600h	720h	1440h	5.0倍

※1 「>」は、まだ変状が無く当該耐久時間以上の結果が期待できることを示す。
 ※2 「-」は、高遮断低 α 塗料と従来塗料の差が確認されておらず、現時点では比較不可であることを示す。

試験片はブラスト処理鋼板（寸法：70×150×t3.2mmまたは150×300×t3.2mm、除錆度：ISO Sa2 1/2以上、表面粗さ：Rzjis25 μ m）を使用し、各塗料をエアスプレー塗装にて24時間間隔で塗装した。最終層塗装完了後、23℃/50%RH環境下にて7日間養生し試験片とした。また、試験片の裏面及び周囲は、試験に影響がないよう評価塗料で塗り包んだ。

各種促進試験結果として、高遮断低 α 塗料及び従来屋外向け塗料の耐久時間を表4に示した。ここで耐久時間とは、試験片一般部において塗膜変状（錆または膨れ）が認められた試験時間である。なお、試験⑧（屋外暴露防錆性）については、まだ評価結果が得られていないため省いた。

高遮断低 α 塗料は、遮断性の目標とした従来没水部向け塗料と同等以上、また、従来屋外向け塗料と比較して非常に優れた耐久性を示した。

4. 高遮断剥離抑制型塗料の錆面耐久性

4.1 遮断性と塗膜劣化速度の関係

既往の報文⁶⁾において、遮断性が異なる種々の塗装仕様（表5）について、錆面に適用した場合の塗膜劣化速度が検討されている。

表5 各検討仕様の水蒸気透過量

仕様	総膜厚 (μ m)	水蒸気透過量 ($g/(m^2 \cdot 24h)$)
従来仕様	200	1.8819
従来仕様(厚膜)	340	1.2251
従来仕様(超厚膜)	480	1.1999
環境遮断仕様	220	1.0483
環境遮断仕様(厚膜)	350	0.8336

水蒸気透過量測定は JIS Z 0208 に準じて実施

具体的には、著しく腐食した実機鉄骨部材を切り出したものを試験片素地として用い、従来塗料、錆浸透性塗料、環境遮断性塗料を組み合わせた各種塗装仕様の防食性を比較したところ、環境遮断性を高めた仕様が特に防食性良好（腐食進展速度が遅い）との結果が示されている。さらに、錆面塗装においては、塗膜の水蒸気透過量と塗膜劣化速度には正の相関がみられることが報告されている（図2）。

以上を踏まえると、本稿で扱う高遮断低 α 塗料についても錆面適用時の耐久性が優れるものと考えられ、試験で確認することとした。

4.2 錆鋼板素地を適用した腐食促進試験

本稿で扱う高遮断低 α 塗料を錆面に塗装した場合の腐食耐久性を塩水噴霧試験により確認した。

試験片素地としては、ブラスト鋼板を20か月間にわたって屋外暴露した錆鋼板に対して4種ケレン相当処理（錆取りたわしを用いた手ケレン）を適用して素地調整したもの（写真1右側）を用いた。ケレン後の錆厚は40 μ m程度であった。

供試塗料は、弱溶剤形の高遮断低 α 塗料と従来変性エポキシ樹脂塗料、また、強溶剤形の高遮断低 α 塗料と従来エポキシ樹脂塗料の計4種とした。

塗装は、弱溶剤形については60 μ m×2回（1day1coat）、強溶剤形については120 μ m×1回にて行った。

塗装後、2週間の常温養生を行い、塩水噴霧試験（JIS K 5600-7-1）に供した。

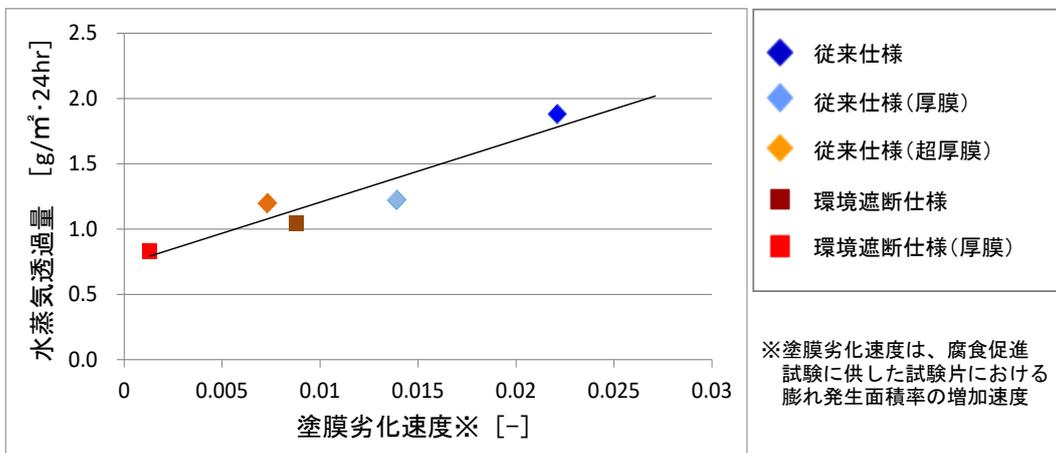


図2 塗膜の水蒸気透過量と劣化速度の関係

表 6 腐食促進試験結果（塩水噴霧 2000h）



写真 1 4種ケレン鍍鋼板

供試塗料	高遮断低 α 塗料		従来(変性)エポキシ塗料	
	弱溶剤形	強溶剤形	弱溶剤形	強溶剤形
試験片 外観				
錆	無し	無し	顕著	有り
膨れ	若干有り	無し	顕著	有り

腐食促進試験として実施した塩水噴霧試験（試験時間：2000時間）の結果を表6に示した。

高遮断低 α 塗料は、弱溶剤形は若干の膨れのみ、強溶剤形は変状無しであり、比較的良好な状態を保っていた。一方、従来変性エポキシ樹脂塗料については、弱溶剤形、強溶剤形ともに錆・膨れがみられ、特に弱溶剤形塗料の変状が顕著であった。高遮断低 α 塗料は、特に鍍面用の塗料として有用であることが示唆された。

5. まとめ

塗膜の線膨張係数に着目した塗料設計により、高遮断剥離抑制型塗料（高遮断低 α 塗料）を開発した。高遮断低 α 塗料の性能評価として、付着性（耐剥離性）や遮断性を確認したところ、従来屋外向け塗料と比較して優れた結果を示した。さらに、鍍板素地を用いた腐食促進試験を行い、高遮断低 α 塗料の優れた鍍面耐久性を示唆する結果を得た。

【謝辞】

高遮断低 α 塗料は、大日本塗料株式会社殿と当社の共同開発品です。また、本稿3.は株式会社高速道路総合技術研究所殿との共同研究成果、4.1は三菱ケミカル株式会社殿との共同研究成果です。関係各位のこれまでの精力的な活動に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 清水悠平：耐はく離性を向上させた防食塗料の開発，大日本塗料株式会社 DNT コーティング技報 No.19（2018）
- 2) 西森修次：線膨張係数に着目した塗料の今後の展望，（一社）日本鋼構造協会，第41回鉄構塗装技術討論会発表予稿集（2018）
- 3) 山内健一郎：高遮断性を有する剥離抑制型変性エポキシ樹脂塗料の開発，（一社）日本鋼構造協会，第44回鉄構塗装技術討論会発表予稿集（2021）
- 4) NEXCO 試験方法 第4編 構造関係試験方法 令和2年7月，東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)（2020）
- 5) 関島竜太：NEXCO はく離抑制型変性エポキシ樹脂塗料下塗（P-28）～試験法 443-2020 塗料の耐はく離性試験方法～，（一財）日本塗料検査協会，日塗検ニュース No.142（2021）
- 6) 東 貴也：鍍面塗装に於ける劣化因子の考察および最適な塗装方法の提案，（一社）日本鋼構造協会，第41回鉄構塗装技術討論会発表予稿集（2018）