

# 耐はく離性を向上させた防食塗料の開発

Development of Anticorrosion Coating with Improved Peel Resistance

塗料事業部門 構造物塗料事業部  
テクニカルサポートグループ  
Coating Business Div.  
Protective Coatings Dept.  
Technical Support Group



清水 悠平  
Yuhei SHIMIZU



松本 剛司  
Tsuyoshi MATSUMOTO

資材本部 購買部  
Procurement Div.  
Purchasing Dept.



宮下 剛  
Tsuyoshi MIYASHITA

## 要 旨

鋼構造物の維持管理においては塗装による補修が広く適用されており、日本国内に存在する膨大な数の鋼構造物は補修塗装の繰り返しにより延命化が図られてきた。しかしながら、これら鋼構造物の既存塗膜は度重なる補修塗装によって膜厚が著しく過大な状態にあり、塗膜内部の応力増大に起因する自然はく離現象が散見されている。本課題に対して、著者らの研究グループは塗膜の線膨張係数に着目した新たなコンセプトの塗料開発を行った。その結果、塗装することで塗膜の自然はく離現象を抑制可能なこれまでにない全く新しい塗料の開発に成功したので、本報において報告する。

## Abstract

Repair painting has been applied widely to maintenance of steel structure, and it has been tried to maintain a huge amount of steel structures by repetition of repair painting in Japan. However, existing coating film on steel structure become excessively thick by repeated repair painting, as a consequence, a self-peeling phenomenon caused by the increasing of stress inside of coating film is seen. Therefore, our research group developed a paint of novel concept focused on “Linear Expansion Coefficient” of coating film. As a result, we succeeded to develop a novel unprecedented paint which is able to suppress the self-peeling phenomenon by painting.

## 1. はじめに

高度経済成長期を中心に、日本国内では社会基盤として膨大な数の鋼構造物が建設され、現在においてもその多くが供用され続けている。これら鋼構造物の維持管理の手段として、効果的かつ経済的な側面から塗装による補修が幅広く適用されてきた。鋼構造物の補修塗装では、既存塗膜の劣化が顕著である場合や、従来の補修方法では防食機能が維持できないと判断された場合、1種ケレン(ブラスト法)により既存塗膜を完全に除去した後に複層塗りで補修が行われている<sup>1)</sup>。一方で、既存塗膜の劣化程度が軽微であり、防食機能が維持された状態であると判断された場合、もしくは経済性や施工上の制約がある場合、3種ケレンや4種ケレン(動力工具と手工具との併用)による素地調整で既存塗膜を残した状態で補修塗装が行われる。一般的に補修塗装により繰り返し塗り重ねが行われ過剰膜厚となった塗膜は、塗膜内応力の増大により、塗膜はく離のリスクが高まっていくことが知られており、現在供用されている多くの鋼構造物が過剰膜厚となった塗膜のはく離リスクを抱えているのが実情である。鋼構造物の維持管理におけるこの差し迫った課題に対応すべく、著者らの研究グループは塗膜の耐はく離性向上に寄与する防食塗料の開発を行った。そこで本報においては、開発に成功した剥離抑制型弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料とそのメカニズムに関して報告する。

## 2. 塗膜はく離に対する支配的要因<sup>2)</sup>

### 2.1 要因の考察

塗膜のはく離現象は塗膜が収縮・膨張した際に発生する応力によって引き起こされる。すなわち、塗膜が収縮・膨張すると塗膜/素地界面で応力が発生し、応力が塗膜の付着力を上回る場合に塗膜のはく離が発生する。塗膜の収縮・膨張は大別して①塗膜内樹脂の硬化反応に起因するもの(硬化収縮)、②温度変化に起因するもの(熱膨張・熱収縮)がある。

そこでまずは、①および②の要因に関して、いずれが塗膜はく離に対して支配的であるのか検証するため、以下の試験を行った。

### 2.2 試験条件

#### ①供試塗料

一般的な変性エポキシ樹脂塗料を試作し試験に供した。

#### ②試験片の作製

繰り返しの補修塗装によって過剰膜厚となり、自然はく離に至る塗膜を模擬するため、SPCC-SD鋼板(70×150×t3.2mm)に対して、容易にはく離する脆弱なビニル樹脂系塗膜50 $\mu$ mを塗装し試験下地とした。その上に供試塗料を60 $\mu$ m×1回塗り、および60 $\mu$ m×3回塗りにて塗装したものを試験片とした。試験下地のはく離のし易さを図1に示す。



図1 試験下地のはく離のし易さ

また塗装完了後、塗膜に対して鋼材まで達する#形のカットを施し、以下の養生を行った。カットの施工状況を図2に示す。

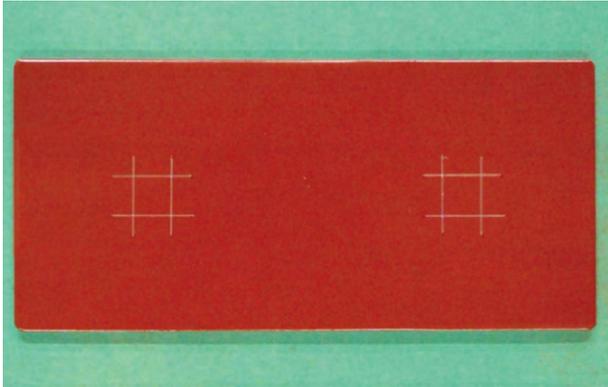


図2 カット施工状況

### ③試験片の養生条件

塗装完了後の試験片の養生条件は、23°C×168時間(7日間)、および50°C×1200時間(50日間)の2水準とした。

### ④試験方法

養生完了後の試験片を50°C(2時間)→常温(1時間)→-30°C(2時間)→常温(1時間)を繰り返すヒートサイクル試験10サイクルに供した。

## 2.3 試験結果

ヒートサイクル試験後の塗膜の変状状態を表1に示す。ヒートサイクル試験前:養生条件によらず、いずれの塗膜に関しても変状は生じていなかった。

ヒートサイクル試験後:養生条件の異なるいずれの塗膜に関しても塗膜はく離が発生し、両者とも膜厚の増加にともなってはく離の状態が悪化する傾向を認めた。

表1 ヒートサイクル試験結果

養生条件		23°C×168時間		50°C×1200時間	
膜厚		60μm×1回塗り	60μm×3回塗り	60μm×1回塗り	60μm×3回塗り
初期 (養生完了後)	塗膜外観				
	変状状態	変状無し	変状無し	変状無し	変状無し
10サイクル	塗膜外観				
	変状状態	はく離小	はく離大	はく離小	はく離大

## 2.4 支配的要因の推定

上記の試験結果より、塗膜はく離に対して支配的な要因は前述した②温度変化に起因する塗膜の熱膨張・熱収縮であり、①塗膜内樹脂の硬化反応に起因する硬化収縮と比較し、影響度がはるかに大きいことがわかった。従って、実環境下で発生する塗膜のはく離現象については、昼夜間・季節間の温度差で生じる熱膨張・熱収縮の繰り返しによる応力が強く関与しているものと推定した。

## 3. 塗膜の耐はく離性向上手法<sup>3)~8)</sup>

### 3.1 設計のアプローチ

前述した検証試験の結果から、②温度変化に起因する塗膜の熱膨張・熱収縮に焦点を当て、塗膜はく離に影響を及ぼす塗膜内応力を考察した。

鋼構造物に塗装された塗膜は、供用されている環境の影響を受け、常に温度変化を生じている。温度変化が $T_1$ から $T_2$ の範囲で生ずるとした時、塗膜の熱膨張・熱収縮による応力 $\sigma$ は式(1)で表すことができる。

$$\sigma = \int_{T_1}^{T_2} \alpha \cdot E dT = \int_{T_1}^{T_g} \alpha_1 \cdot E_1 dT + \int_{T_g}^{T_2} \alpha_2 \cdot E_2 dT$$

式(1)

式(1)において、 $T_g$ は塗膜のガラス転移温度を示し、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ はそれぞれガラス領域およびゴム領域における塗膜の線膨張係数を示す。また、 $E_1$ 、 $E_2$ はそれぞれの領域における塗膜の弾性率を示す。ここで、 $\alpha_1 < \alpha_2$ 、 $E_1 \gg E_2$ であることから、式(1)は式(2)のように簡略化される。

$$\sigma \doteq \int_{T_1}^{T_g} \alpha_1 \cdot E_1 dT$$

式(2)

式(2)より、応力 $\sigma$ を低減させるためには、ガラス転移温度 $T_g$ 、線膨張係数 $\alpha_1$ 、弾性率 $E_1$ を小さくすることが有効であることがわかる。応力低減という観点から、従来の防食塗料に対する設計では $T_g$ や $E_1$ を下げる手法が多く用いられてきたが、一般的に本手法は塗膜の環境遮断性を低下させる傾向にある。そこで著者らの研究グループは、塗膜内応力の低減に対し有効な第三のパラメータである線膨張係数 $\alpha_1$ に着目した設計アプローチにより、はく離抑制機能を有し、かつ高い環境遮断性を示す新たな塗料の開発に着手した。

### 3.2 線膨張係数

線膨張とは温度変化に応じて物体の寸法が変化(膨張・収縮)する現象であり、温度が $1^\circ\text{C}$ 上昇した時に生じる線膨張の変化を線膨張係数で表す。線膨張係数は物質固有の数値であり、物質の種類により大きく異なる。代表的な素材の線膨張係数を表2に示す。

表2 種々素材の線膨張係数

線膨張係数 [ $10^{-5}/\text{K}$ ]			
鉄		1.2	
一般的な塗膜		鉄の5~6倍	
代表的な素材の線膨張係数			
素 材	線膨張係数 [ $10^{-5}/\text{K}$ ]	素 材	線膨張係数 [ $10^{-5}/\text{K}$ ]
アルミニウム	2.4	ニッケル	1.3
金	1.4	ポリエチレン	18.0
銀	1.9	ポリカーボネイト	7.0
銅	1.7	エポキシ塗膜	6.5
亜鉛	3.3	ウレタン塗膜	9.7

種々素材の中で鉄は線膨張係数が小さく、温度変化に対する寸法安定性に優れる素材といえる。一方で、一般的な塗膜の線膨張係数は鉄の5倍以上高い数値を示し、温度変化に応じて大きく寸法が変化する材料であるといえる。

## 4. 塗膜の線膨張係数とはく離現象の 相関性

前項では温度変化に晒される環境において、塗膜の線膨張係数を低減することで耐はく離性の向上が見込めるとの仮説を導いた。本仮説を検証するため、変性エポキシ樹脂塗料一般品（線膨張係数 $\alpha_1$ =大）、および意図的に線膨張係数を低減させた変性エポキシ樹脂塗料開発品（線膨張係数 $\alpha_1$ =小）を試作し、同様のヒートサイクル試験に供した。試験の詳細を以下に報告する。

### 4.1 試験条件

#### ①供試塗装仕様

数多くの鋼構造物に対して、実際に適用されてい

る防食塗装仕様<sup>9)</sup>を参考に表3に示す5種類の塗装仕様を試験に供した。

#### ②試験片の作製

2.2 ②と同様の方法で作製したビニル樹脂系塗膜50 $\mu$ mを試験下地とし、各塗装仕様を塗り重ね、以下条件にて養生を行った。

#### ③試験片の養生条件

養生条件は23 $^{\circ}$ C $\times$ 168時間(7日間)の1水準とした。

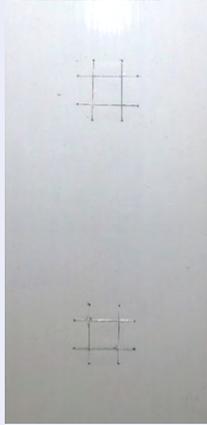
#### ④試験方法

養生完了後の試験片に対して、鋼材まで達する#形のカットを施し、50 $^{\circ}$ C(2時間) $\rightarrow$ 常温(1時間) $\rightarrow$ -30 $^{\circ}$ C(2時間) $\rightarrow$ 常温(1時間)を繰り返すヒートサイクル試験に供した。なお、試験サイクル数は前項試験の10倍に相当する100サイクルとした。

表3 供試塗装仕様

仕様No.	仕様1	仕様2	仕様3	仕様4	仕様5	
塗装仕様	下塗り	開発品 60 $\mu$ m	開発品 60 $\mu$ m $\times$ 2回塗り	開発品 60 $\mu$ m $\times$ 6回塗り	一般品 60 $\mu$ m	一般品 60 $\mu$ m $\times$ 6回塗り
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用 中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料用 中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料用 中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料用 中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料用 中塗 30 $\mu$ m
	上塗り	ふっ素樹脂塗料 上塗 25 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料 上塗 25 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料 上塗 25 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料 上塗 25 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料 上塗 25 $\mu$ m
	総膜厚	115 $\mu$ m	175 $\mu$ m	415 $\mu$ m	115 $\mu$ m	415 $\mu$ m

表4 ヒートサイクル試験結果

仕様No.	仕様1	仕様2	仕様3	仕様4	仕様5
塗膜外観					
変状状態	カット部のみ 割れ発生	変状なし	変状なし	全面に著しい割れ・ はく離発生(20サイクル)	全面に著しい割れ・ はく離発生(5サイクル)

## 4.2 試験結果

ヒートサイクル試験後の塗膜の変状状態を表4に示す。

変性エポキシ樹脂塗料一般品を適用した仕様4および仕様5に関して、仕様4は20サイクル時点で、仕様5はわずか5サイクル時点で塗膜全体の著しい割れおよびはく離現象を認めた。また、膜厚の増加にともなって塗膜のはく離現象も促進される傾向を確認した。本傾向はこれまでの通説<sup>10)</sup>どおり、実際の鋼構造物において、過剰膜厚となった既存塗膜が膜厚増加にともなって自然にはく離する現象を再現しているものと考ええる。

一方で、線膨張係数の小さい変性エポキシ樹脂塗料開発品を適用した塗装仕様である仕様1に関しては、100サイクル経過後においてもカット施工部周辺にわずかに割れが発生したのみであり、顕著なはく離抑制効果を示した。また、仕様1と比較し、膜厚を増加させた仕様2および仕様3においては、一切の塗膜変状を認めず、はく離抑制効果がさらに向上している傾向を確認した。

## 4.3 結果の考察

試験結果より、線膨張係数を低減させた塗料を塗り重ねることで、脆弱な塗膜（過剰膜厚となり、付着力の低下した既存塗膜を模擬）に対して、はく離抑制効果を付与できることがわかった。また、はく離抑制効果は低線膨張係数塗膜の膜厚の増加にともない向上していくといった従前の通説を覆す傾向を確認した。

前述のとおり、塗膜のはく離現象に対して支配的な要因は温度変化に起因する塗膜の熱膨張・熱収縮である。線膨張係数を低減させた開発品は温度変化に対する寸法安定性に優れ、熱膨張・熱収縮による寸法変化が小さいという特長を有している。このため、寸法変化の大きい旧塗膜上に開発品を塗り重ねた場合、旧塗膜の熱膨張・熱収縮による寸法変化が抑制され、旧塗膜を含む塗膜全体の寸法安定性が向上する。これにより、塗膜全体の応力が低減され、結果としてはく離抑制効果を発現しているものと考ええる。また、開発品の膜厚が増加することで、旧塗膜を含む塗膜

全体の寸法変化を抑制する効果が高まり、はく離抑制効果が向上したものとする。(図3、図4)

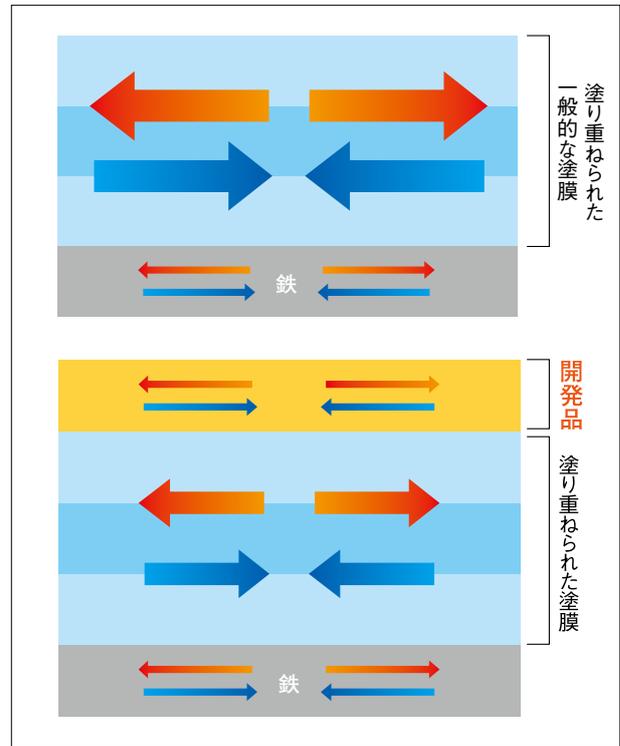


図3 開発品による寸法変化抑制

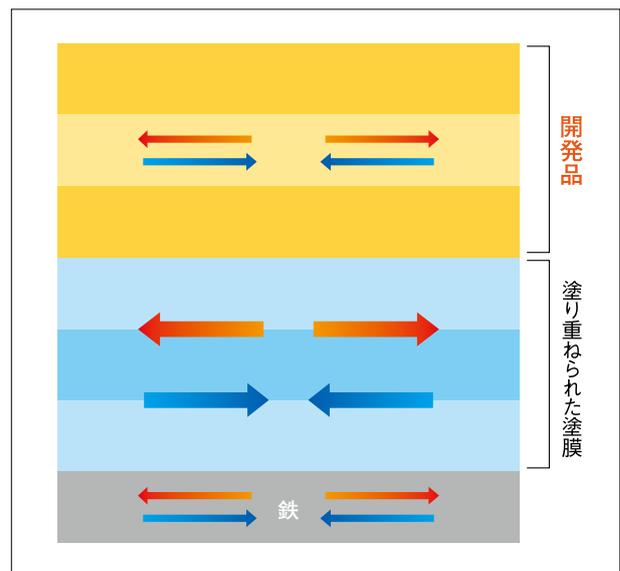


図4 開発品の膜厚増加に伴う抑制効果向上

(注) 図中における   は伸縮の大きさを表す。

## 5. 開発品の品質

塗膜内応力 $\sigma$ を低減する手法として、ガラス転移温度 $T_g$ 、線膨張係数 $\alpha_l$ 、弾性率 $E_l$ を小さくすることが有効であるが、 $T_g$ および $E_l$ を下げる手法は一般的に塗膜の環境遮断性を低下させる傾向にあることを既に述べた。本項では線膨張係数を低減させた開発品の品質に関して、変性エポキシ樹脂塗料の品質規定において最も代表的な規格の一つである日本産業規格(JIS)に準じて報告する。加えて防食塗料の耐久性を考察する上で、特に注視すべき環境遮断性の良否に関して考察を行っていく。

### 5.1 日本産業規格 品質項目適合性の評価

開発品は、鋼構造物の補修塗装にて数多くの実績を有する弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗に分類される塗料であることから、日本産業規格 構造物用さび止めペイント JIS K5551:2018 C種 1号・2号に規定される種々品質項目に対する評価試験を行った<sup>11)</sup>。なお、比較塗料として変性エポキシ樹脂塗料一般品についても同様の試験を行った。結果を表5に示す。

試験結果より、いずれの品質項目においても開発品は良好な性能を示し、弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗として、十分な品質を有していることを確認し

表5 JIS K5551:2018 C種1号・2号 品質試験結果

項目		品質	開発品	一般品(比較塗料)
容器の中の状態		かき混ぜた時、堅い塊がなくて 一樣になる	主剤・硬化剤ともにかき混ぜた時 堅い塊がなくて一樣になる	主剤・硬化剤ともにかき混ぜた時 堅い塊がなくて一樣になる
半硬化乾燥性	23℃	16時間以内	16時間以内に半硬化する	16時間以内に半硬化する
	5℃	24時間以内	24時間以内に半硬化する	24時間以内に半硬化する
塗装作業性		支障がない	支障がない	支障がない
塗膜の外観		正常である	正常である	正常である
ポットライフ	23℃	5時間	5時間で利用できる	5時間で利用できる
	5℃	5時間	5時間で利用できる	5時間で利用できる
たるみ性		たるみがない	たるみがない	たるみがない
上塗り適合性		支障がない	支障がない	支障がない
耐おもり落下性		割れ及びはがれがない	割れ及びはがれがない	割れ及びはがれがない
付着性		分類1又は分類0	分類0	分類0
耐熱性	塗膜の外観	外観が正常である	正常である	正常である
	付着性	分類2、分類1又は分類0	分類0	分類0
サイクル腐食性		さび、膨れ、割れ及び はがれがない	さび、膨れ、割れ及び はがれがない	さび、膨れ、割れ及び はがれがない
塗膜中の鉛の定量 (質量分率%)		0.06以下	0.06以下 (検出限界以下)	0.06以下 (検出限界以下)
塗膜中のクロムの定量 (質量分率%)		0.03以下	0.03以下 (検出限界以下)	0.03以下 (検出限界以下)
屋外暴露耐候性		さび、膨れ、割れ及び はがれがない	試験中 (但し、同様の暴露試験から一般 品と優位差ないことを確認済み)	さび、膨れ、割れ及び はがれがない

た。また、環境遮断性の良否に関連するサイクル腐食性の試験結果についても、一般品同等以上の性能を有していた。なお、開発品については同塗料規格の認証取得を今後計画している。

## 5.2 環境遮断性に関する考察<sup>12)</sup>

塗装鋼が腐食環境に曝される際の塗膜の劣化プロセスは、おおよそ次のように進行するとされている<sup>13)</sup>。

- ①腐食性物質の塗膜への浸透・拡散と塗膜/鋼界面への集積
- ②浸透・拡散した腐食性物質による塗膜/鋼界面での腐食反応の開始
- ③腐食生成物による塗膜の付着力低下と、これによる膨れ・さびの発生

Mengesら<sup>14)</sup>は塗膜寿命を腐食性物質が鋼面に到達するまでの時間(腐食誘導期間=塗膜厚の二乗に比例)と腐食性物質が鋼面に到達した後、付着破壊が生じるまでの時間(腐食進展期間=塗膜欠陥が表面化するまでの期間)の和で説明しており、腐食性物質が鋼表面に到達するまでの時間をできるだけ延長し、さらに付着力を確保することが塗膜の長期耐久性の維持に繋がるとしている(式3参照)。

$$L = t^2 / 6D + \tau$$

L : 耐用期間      D : 拡散係数 (mm<sup>2</sup>/sec)  
 t : 膜厚 (mm)      τ : 付着力その他の要因

式3 塗膜耐久性に関する  
 G. Menges, W. Schneiderらの関係式

式3中のD(拡散係数)は酸素、水、塩化物イオンなどの腐食性成分が塗膜中に侵入し、内部に拡散する度合いを単位面積当たりの時間で示した値である。また、腐食性成分が鋼面に到達しても、塗膜の付着力が維持されている間は鋼界面への腐食性成分の滞留や横方向への拡がりは妨げられるので致命的な欠陥には至らない(腐食誘導期間)。しかし、塗膜の付着不良が生じた段階で付着不良部へ腐食性成分が滞留し、徐々に腐食を生じていく。そのため、鋼表面に腐食性成分が到達した後、膨れや発錆など外観上の欠陥と

して表面化するまでの塗膜付着性が維持されている期間(腐食進展期間)をτとしている。

一方で、Guruviah、BaumannおよびFunkeらは、塗膜の透湿度は大きくても、酸素透過性は必ずしも大きいとは限らず、酸素の透過性が腐食反応の律速条件と成り得ることを報告している<sup>15)~17)</sup>。つまり、金属の酸化反応(さびの発生・進行)に必須となる成分である酸素の遮断性の良否が塗装仕様の耐用年数を大きく左右すると推定している。

これら既往の研究成果を総括すると、①腐食性成分である酸素の拡散速度の遅い(=酸素遮断性に優れる)塗膜層を有し、かつ②鋼表面への付着力に優れた塗装仕様が耐用年数の長い優れた塗装仕様であると言える。

前述のとおり開発品を適用した塗装仕様については、はく離抑制効果を有する塗装仕様、すなわち塗膜内応力が低減されることで塗膜付着力の低下が抑制される塗装仕様であるため、上記②の要件については一般品以上の性能を有しているといえる。

そこで本報においては、式3におけるD(拡散係数)と耐用年数の関係に着目し、腐食反応速度を支配する酸素に対する遮断機能について、弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料一般品を比較とし酸素透過速度の測定を行った。測定結果を表6に示す。

表6 各塗料の酸素透過速度

塗料名	酸素透過速度 [cc・60μm/m <sup>2</sup> /day]
開発品	48
弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料一般品	48

酸素透過速度の測定結果より、いずれの塗料についても優位差は認めなかった。従って、線膨張係数に着目した設計アプローチにより開発された本塗料は、従来技術においては両立することが困難であった「塗膜内応力の低減による耐はく離性の付与」と「高い環境遮断性」を併せ持つ、これまでにない優れた防食塗料であると考えられる。

## 6. 開発品適用による効果

塗膜は補修塗装により膜厚が増加すると環境遮断性が向上していく。一方で、厚膜化により塗膜内応力が増加していくことで、塗膜の付着力は徐々に低下していく。補修塗装の繰り返しにより厚膜化した塗膜は、いずれ塗膜内応力が下地との付着力を上回り、塗膜の割れやはく離などの変状に至る(図5)。本現象は従来の塗料を適用している限り避けられないため、これを未然に防ぎ健全な防食状態を維持する目的で、ブラスト法などによる定期的な塗膜の全面除去が必要となる。

しかし、線膨張係数が低く塗膜のはく離抑制効果を有する開発品を適用した場合、厚膜化による塗膜の環境遮断性向上は同様であるが、厚膜化するほどはく離抑制効果が高まるという特長を有していることから、旧塗膜を含む塗膜全体の付着力は維持される。従って、塗膜の全面除去を伴わない素地調整(3種ケレンや4種ケレン)を実施する補修塗装においても、塗膜のはく離の危険性を回避あるいは延引することが可能になると考える(図6)。

## 7. まとめ

供用後繰り返し補修塗装が行われ過剰膜厚となった鋼構造物が抱えている維持管理上の課題に対して、塗り重ねることで塗膜の自然はく離を抑制できるはく離抑制型弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料を開発した。また、本塗料の開発検討の中で以下の知見を見出した。

- ①塗膜のはく離現象に影響を及ぼす支配的な要因は、温度変化に起因する塗膜の熱膨張・熱収縮である。
- ②塗膜の応力理論に基づく考察から、線膨張係数の小さい塗膜を塗り重ねることで、温度変化に対する塗膜の寸法安定性が向上し、脆弱な付着性を示す旧塗膜に対してはく離抑制効果を付与できる。
- ③はく離抑制効果は開発塗料の膜厚増加にともなう向上する傾向にあることから、開発塗料を鋼構造物の補修塗装に適用していくことで、長期的なはく離抑制効果が期待できる。
- ④開発塗料は変性エポキシ樹脂塗料一般品と同等の環境遮断性を示し、かつ塗膜内応力の増加に起因する塗膜の付着力低下を抑制する機能を有

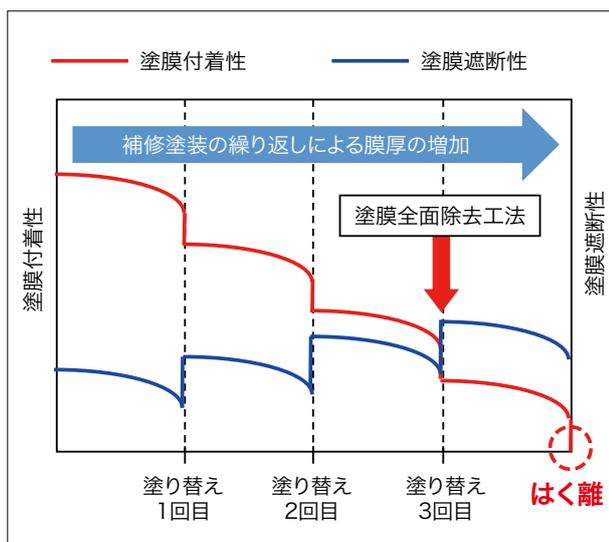


図5 塗膜の付着性/遮断性推移モデル  
(従来品適用時)

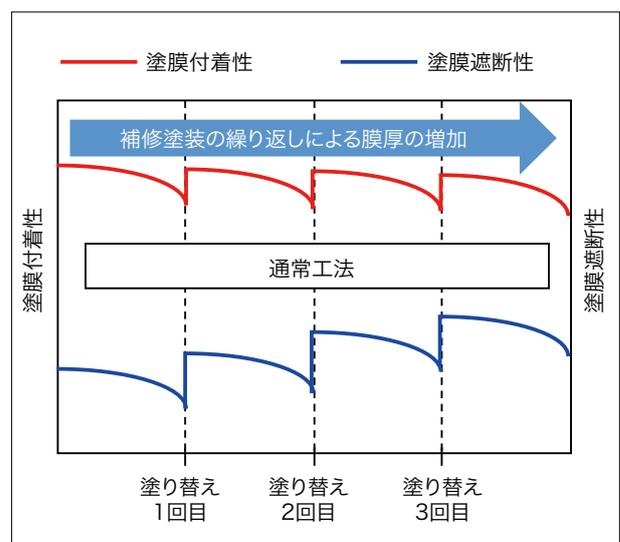


図6 塗膜の付着性/遮断性推移モデル  
(開発品適用時)

することから、従来の塗装仕様と比較し鋼構造物の耐久性向上に貢献することができる。

## 8. 終わりに

今回開発した剥離抑制型弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料は、経済性に優れた「塗装」という手段によって、現在供用されている多くの構造物が抱えている維持管理上の課題を解決し得る性能を有している。

また、本技術は新設・塗り替え用途問わず、様々な塗料種へ応用展開していくことができ、あらゆる構造物の維持管理に対する常識を一新し得る可能性をも秘めている。当社は開発塗料の製造・提供を通して、高齢化を迎えつつある鋼構造物のさらなる長期供用とライフサイクルコスト低減を実現し、今後も幅広く社会に貢献していきたいと考えている。

## 9. 謝辞

本開発品は株式会社四国総合研究所殿、関西ペイント株式会社殿、神東塗料株式会社殿と当社の共同研究により得た成果です。関係者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) 公益財団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，  
P. P.II-111-120, 2014
- 2) 第41回鉄鋼塗装技術討論会発表予稿集  
「線膨張係数に着目した塗料の今後の展望」  
P.37-46, 2018.11
- 3) 第38回防錆防食技術発表大会講演予稿集

- 「劣化旧塗膜の剥離を抑制する  
新型変性エポキシ樹脂塗料の開発」  
P.25-28,2018.7
- 4) 第39回防錆防食技術発表大会講演予稿集  
「線膨張係数に着目した塗料の今後の展望について」  
P.103-107,2019.7
- 5) 土木学会第73回年次学術講演会  
「耐はく離性を向上させた防食塗料の開発  
(耐はく離性に寄与する因子)」  
I-036, P.71-72,2018.8
- 6) 土木学会第73回年次学術講演会  
「耐はく離性を向上させた防食塗料の開発  
(線膨張係数の閾値検討)」  
I-037, P.73-74, 2018.8
- 7) 第41回鉄鋼塗装技術討論会発表予稿集  
「塗膜はく離に影響する因子の考察および  
塗膜はく離抑制塗料の開発」P.27-30, 2018.11
- 8) 第41回鉄鋼塗装技術討論会発表予稿集  
「線膨張係数に着目した塗料の実用展開」  
P.31-36, 2018.11
- 9) 公益財団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，  
P.II-118, 2014
- 10) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：  
鋼構造物塗装設計施工指針，P.III-18, 2013
- 11) 一般財団法人日本規格協会：  
JISハンドブック30塗料，P.667-686, 2019
- 12) 大日本塗料株式会社：  
DNTコーティング技報No.18, P.43-47, 2018
- 13) 山崎曜：表面技術 超厚膜塗装技術の現状と問題  
点, Vol.46, No.6, 1995
- 14) G. Menges & Schneider : Kautschuk und  
Gummi Kunststoffe, 25, (5), 213, 1972
- 15) S. Guruviah : J. O. C. C. A., 53[8],  
669-67, 1970
- 16) K. Baumann :  
Plaste und Kautschuk, 19, 455-461, 1972
- 17) W. Funke : Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev.,  
17[1], 50-53, 1978