塗膜剥離の支配的要因について
About the dominant factor of paint film peeling

大日本塗料株式会社　正会員　○ 山内　健一郎
関西ペイント株式会社　正会員　堀　誠
神東塗料株式会社　秋田　昌紀
株式会社四国総合研究所　西森　修次
株式会社四国総合研究所　大捕 秀基

１．はじめに

屋外鋼構造物における塗膜の防食耐久性は、防食塗膜の遮断性と付着性（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。

既存の防食塗膜は、厚く塗装する程、塗膜剥離し易く、一方で、厚く塗装する程、遮断性は向上する、という一方を立てれば一方が立たず、という関係にある。そこで、防食塗料メーカでは遮断性と付着性（耐剥離性）のバランス取りを行ってきた。特に、屋外鋼構造物用防食塗料においては、剥離事象は致命的となるため、遮断性を犠牲にして、付着性（耐剥離性）を確保する防食塗膜の設計が行われてきた。

昨年開発した線膨張係数を低く設計した塗料は、厚く塗装する程、剥離し難くなるという特性があり、この特性とこれまで塗膜剥離の主要因とされてきた内部応力との関係性を調べたところ、塗膜剥離の支配的要因は線膨張係数にあることが判ったため、その一連の試験について報告する。

２．塗膜剥離の支配的要因について

塗膜剥離は、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・膨張すると塗膜と素地の界面で応力が発生し、塗膜の付着力を上回る応力になると、その箇所から塗膜剥離が発生する。

塗膜の収縮・膨張は、①樹脂の硬化反応によるもの（硬化収縮）と、②温度変化によるもの（熱膨張・収縮）がある。屋外鋼構造物用防食塗膜において、①と②のどちらが支配的に塗膜剥離に影響するか確認する為、以下のような実験を行った。

３．塗膜の硬化反応度が異なる場合の耐剥離性試験

塗膜剥離の支配的要因を確認する為、線膨張係数 α_1 の異なる二種類の強溶剤型変性エポキシ樹脂塗料（厚く塗装すればする程、剥離し易い従来塗膜並みの線膨張係数 $\alpha_1=5.7\times10^{-5}$ [/℃]の供試塗料Ａ、厚く塗装すればする程、剥離し難くなる線膨張係数 $\alpha_1=3.1\times10^{-5}$ [/℃]の供試塗料Ｂ）を試作し、60μm×１回塗り及び 60μm×3 回塗りの試験板を作製した。そして、それぞれについて硬化反応度（硬化収縮の進み具合）に大小の差を与えるため、23℃で 168 時間（硬化収縮小）と、50℃で 1,200 時間（硬化収縮大）の養生を行い、その後に耐剥離性試験（ヒートサイクル試験）を行った。

試験板の作製方法及び試験条件は、素地（SPCC-SD 鋼板 70×150×3.2mm）に容易に剥離する層（ビニル樹脂）を形成し、十分養生をしたのちに供試塗料ＡおよびＢを塗り重ねた。養生後、試験片の上部および下部の 2 箇所に素地まで達する＃型のカットを挿入し、50℃（2h）→ 常温（1h）→ －30℃（2h）→ 常温（1h）を繰り返した。

キーワード　防食塗料、鋼構造物、補修塗装（塗替え）、塗膜剥離、内部応力、線膨張係数、硬化反応速度
連絡先　栃木県大田原市下石上 1382-12 大日本塗料株式会社 構造物塗料 TSG　TEL.0287-29-1917

© Japan Society of Civil Engineers

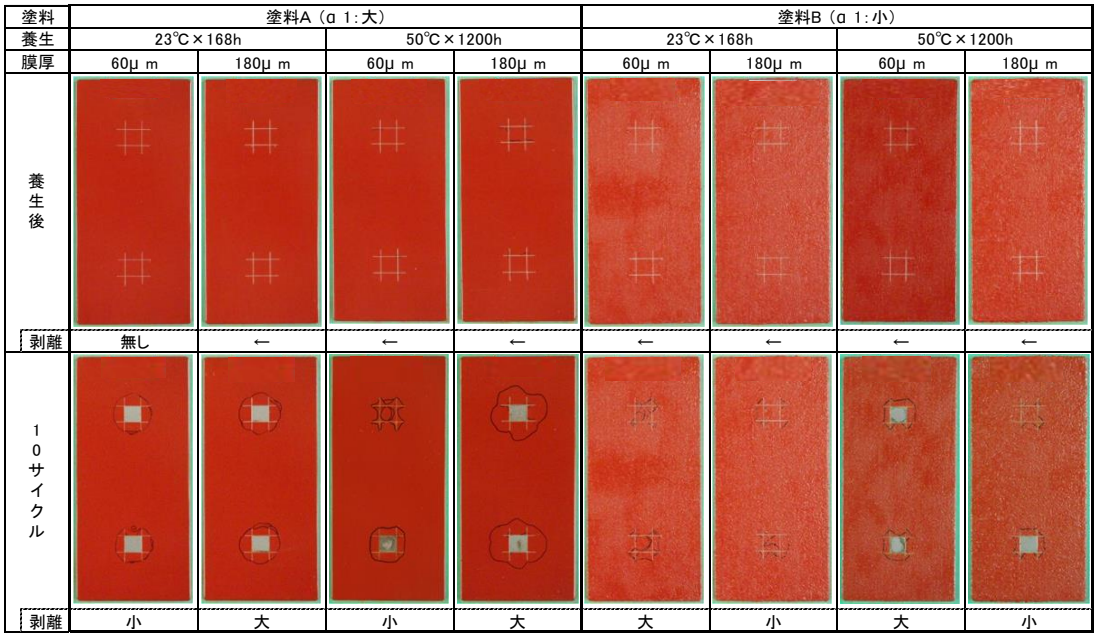

図１　耐剥離性試験結果

ヒートサイクル試験前（各養生条件を終えた後）の塗膜外観の塗膜剥離状態を確認すると、50℃×1,200 時間の養生を行った仕様を含め、全ての仕様で顕著な剥離は発生していなかった。ヒートサイクル試験１サイクルで塗膜が実際に 50℃になる時間は約 1 時間であることから、50℃×1,200 時間の養生によって、ヒートサイクル 1,200 サイクルと同等の硬化反応が進んだものと考えられる。

次に、各養生を終えた試験片をヒートサイクル試験に供じ、10 サイクル後の塗膜外観を見ると、線膨張係数の大きい供試塗料Ａは顕著な剥離が起こっており、膜厚が厚い程、剥離程度が大きかった。しかし、硬化条件の違いによる差は軽微であった。線膨張係数の小さい供試塗料Ｂでは、供試塗料Ａに比べて剥離は小さいものの、軽微な剥離が起こっており、膜厚が厚い程、剥離程度が小さかった。そして、供試塗料Ａと同様、硬化条件の違いによる剥離程度の差も軽微であった。

これらの事より、①の樹脂の硬化反応による硬化収縮は、②の温度変化による熱膨張・収縮に比べ、塗膜剥離に対する影響は軽微であり、少なくとも屋外鋼構造物用防食塗膜における塗膜剥離の影響は、②が支配的であることが確認された。

これまで、塗膜の硬化収縮応力の増大によって、塗膜剥離が発生するような表現がなされることが多かった。しかし、これらの結果から実環境で起こる屋外鋼構造物用防食塗膜の剥離は、昼夜間、季節間の温度差で生じる熱膨張・収縮の繰り返しによって、塗膜剥離が発生するのが主要因であると考えられる。

４．まとめ

塗膜は、塗膜の遮断性と素地との付着性が高い程、防食耐久性が高いと言われる。しかし、長期にわたり共用してきた鋼構造物は何度も補修塗装が行われ、膜厚が増すことで塗膜の遮断性が大きくなる一方、付着力の低下による塗膜剥離の危険性が高まってきている。そして、この塗膜剥離の主要因はこれまで内部応力の増大によると論じられてきた。しかし、今回行った試験の結果から、塗膜剥離の原因は、硬化反応による内部応力の増大より、塗膜の温度変化による熱膨張･収縮、すなわち線膨張係数が支配的な主要因であることが判った。

参考文献

1）関西鋼構造物塗装研究会編『塗る』（2014 年）
2）西森修次：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, 第 38 回防錆防食技術発表大会予稿（2018 年）

© Japan Society of Civil Engineers