

DNTコーティング技報

DNT Technical Report on Coatings

No.18

2018年10月発行

DAI NIPPON TORYO

DNTコーティング技報 No.18

CONTENTS

- 社会環境の変化に対応する新しい価値の創造 1
- 技術報文(Technical Reports)
 - 1. 高摩擦有機ジンクリッチペイントの開発 2~9
Development of High Slip Coefficient Type
Organic Zinc-rich Paint
 - 2. 屋外暴露試験片の表面解析による
二層分離形複合樹脂粉体塗料の耐候性評価 10~14
Evaluating Weatherability of Composite Powder Coating with
Two Layer Surface Analysing of Outdoor Exposed Test Piece
 - 3. 鋼管構造物の鋼管内面に適用可能な新しい防食技術 15~21
A New Anti-corrosion Technology for Applying
Its Inner Surface to Steel Pipe Structure
- 技術解説(Technical Reviews)
 - 1. 重防食塗装系の耐候性に関する変遷
～重防食塗装系の上塗りが担う使命～ 22~31
Changes on Weatherability of Heavy-Duty Coating Systems
～A mission for topcoat in heavy-duty coating system～
 - 2. 水性重防食塗料の現状と当社の取り組み 32~37
Present Situation Future Initiatives of Water-borne
Heavy-duty Anticorrosion Coatings
 - 3. プラスチック塗料の動向と今後 38~42
Plastics Coatings Trends and Possibilities
 - 4. 塗膜の耐久性に関する調査・考察 43~47
Investigation and Consideration on Durability of Coating Film
- 新商品紹介(New Products)
 - 1. コンクリート構造物のクリヤーはく落防止システム
「レジガードアクアSDシステム」 48~49
「Resiguard Aqua SD System」
 - 2. 皮脂軟化対策塗料「アクアマリンタックレス」 50~51
「Aqua Marine Tackless」
 - 3. 保温材下腐食抑制塗料「CUIシャット」 52~53
CUI (Corrosion Under Insulation) resistant paint
「CUI SHUT」
 - 4. 環境対応形蛍光顔料「SX-200シリーズ」「NEZ-100シリーズ」 54~55
Environment-Friendly Fluorescent Pigments
「SX-200 Series」「NEZ-100 Series」
- 学協会研究発表・技術講演・論文投稿者名と発表タイトル
(2017年7月～2018年6月) 56~57

社会環境の変化に対応する新しい価値の創造



執行役員
技術開発部門長

佐野 秀二

DNTコーティング技報No.18をご愛読いただき誠にありがとうございます。

2001年にDNTコーティング技報No.1を発行して以来、年1回の発行を継続しております。この18年間は自動車自動走行の実現、スマートフォンの出現、ロボットやAIの発展など我々の身の回りの環境は大きく変化しています。

一方で、国内の生産年齢人口(15歳～64歳)は18年前から現在に至るまで8.5千万人から7.5千万人に減少しており、今後18年でさらに6.5千万人まで減少するとの予測が報告されています(総務省統計局資料)。生産年齢人口の減少により様々な業界で労働力不足が懸念されており、既に労働力確保の対応に追われている業界や企業は少なくはありません。塗料・塗装業界もその波は確実に迫ってきており、今後も塗装施工の省人・工期短縮および長期に渡り保護・美観・機能を維持する長寿命化の需要はさらに高まることは必至と考えております。

このようなお客様の声に応えるべく、省力化・省工程を可能とする塗料や施工工法、長寿命化を可能とする塗料・塗装システムなどをDNTコーティング技報にて紹介してまいりましたので、ご一読いただければ幸いです。

本報においても、建築鉄骨の摩擦接合面と一般面を同塗料で施工できる高摩擦有機ジンクリッチペイント、鉄塔などの鋼管内面の腐食進行防止を短い工期で施工可能な発泡ウレタン充填工法用発泡ウレタンシステムなど『省力化・省工程を可能とする塗料・施工システム』や塗膜表層に高耐候性ふっ素樹脂層を塗膜内部に基材付着安定性を有するポリエステル樹脂層を形成する二層分離形複合樹脂粉体塗料、溶剤系重防食塗装のVOCを大きく低減できる水性重防食塗料システムなど『長寿命化を可能とする塗料・塗装システム』をご紹介しております。さらには、重防食塗装系の耐候性に関する変遷や塗膜の耐久性に関する調査・考察などの解説や新商品紹介も交えて掲載しております。

今後も、社会環境の変化に対応する新しい価値創造に挑み続け、広く社会に貢献してまいります。

読者の皆様には何卒一層のご支援を賜りますようお願い申し上げます。

高摩擦有機ジンクリッチペイントの開発

Development of High Slip Coefficient Type Organic Zinc-rich Paint

技術開発部門 開発部
技術開発第一グループ
Technical Development Division,
Development Department,
Technical Development Group 1



鎌田 由佳
Yuka KAMATA

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 Division,
Protective Coatings Department,
Technical Support Group



松本 剛司
Tsuyoshi MATSUMOTO

要 旨

建築分野における高力ボルト摩擦接合部は一般的に無塗装にて適用される。その場合、摩擦接合面に生じた赤さびが流れさびとなり周辺部位の景観を悪化させることが懸念される。一方、橋梁における摩擦接合部では無機ジンクリッチペイントを適用することが定められている。建築分野および橋梁のいずれにおいても、摩擦接合面に塗装を行う場合、その塗装面において、すべり係数0.45以上を確保することが定められている。一般部に無機ジンクリッチペイントを用いた場合にはミストコート工程が必要となり、有機ジンクリッチペイントを用いた場合には摩擦接合面で塗り分けが必要となり、共に工程が増えることになる。

そこで、摩擦接合部にも適用できる有機ジンクリッチペイントの開発に着手した。すべり係数に影響を及ぼす因子について検証し、塗膜中に含まれる顔料の粒度分布をコントロールすることが重要であることを見出した。

検証結果をもとに「高摩擦有機ジンクリッチペイント」を開発した。

Abstract

Frictional joint with high strength bolts are not coated for architectural field in general. In this case, it would be concerned to impair scenery around the architecture due to red rust generated at frictional joint surface becomes to flow rust. One the other hand, inorganic zinc-rich paint shall be applied at frictional joint surface for steel bridges. For both architectural structures and steel bridges, slip coefficient at frictional joint surface shall be more than 0.45 if any coating systems would be applied. Generally, mist coat process shall be conducted in case the inorganic zinc-rich paint applied for general surface of steel structure, and would be necessary to Paint the frictional joint surface in case the organic zinc-rich paint applied for the general surface. Both cases lead to increase the number of production process.

Therefore, we launched to develop an organic zinc-rich paint which could be applied not only the general surface but also the

frictional joint surface. We investigated factors to be influenced and then we found it is important to control the particle size distribution of all pigments included in the paint film. Based on verification of these results, we developed the “High slip coefficient type organic zinc-rich paint”.

1. はじめに

鋼構造物の接合には、高力ボルトによる摩擦接合が用いられる。大型鋼構造物の摩擦接合部において、建築分野では「鋼構造接合部設計指針」¹⁾により、すべり係数0.45以上の確保が定められ、その方法として「浮さびを除去した赤さび面」「ブラスト処理面(Rzjis50μm以上)」「無機ジンクリッチペイント」とすることが挙げられている。橋梁では「道路橋示方書・同解説」²⁾により、摩擦接合面の処理方法として「無機ジンクリッチペイント」を適用することですべり係数0.45以上を確保できるとされている。

建築分野で一般的に適用されている「浮さびを除去した赤さび面」「ブラスト処理面」は、摩擦接合面にて生じた赤さびが流れさびとなり周辺部位の景観を悪化させることが懸念される(図1)。そのため、長期美観性が

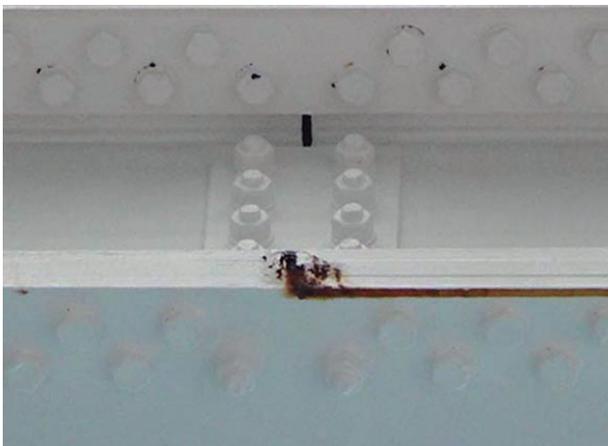


図1 摩擦接合部からのさび汁流出例

求められる大型の鋼構造物では、摩擦接合面に無機ジンクリッチペイントが適用される。一般部に無機ジンクリッチペイントを適用した場合にはミストコート工程が必要となるため、VOC (Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)削減や工期短縮の観点から、一般部に有機ジンクリッチペイントが塗装されることがある。この場合、摩擦接合面と一般部の塗り分けが必要となるため、多くの工数が必要となる(図2)。

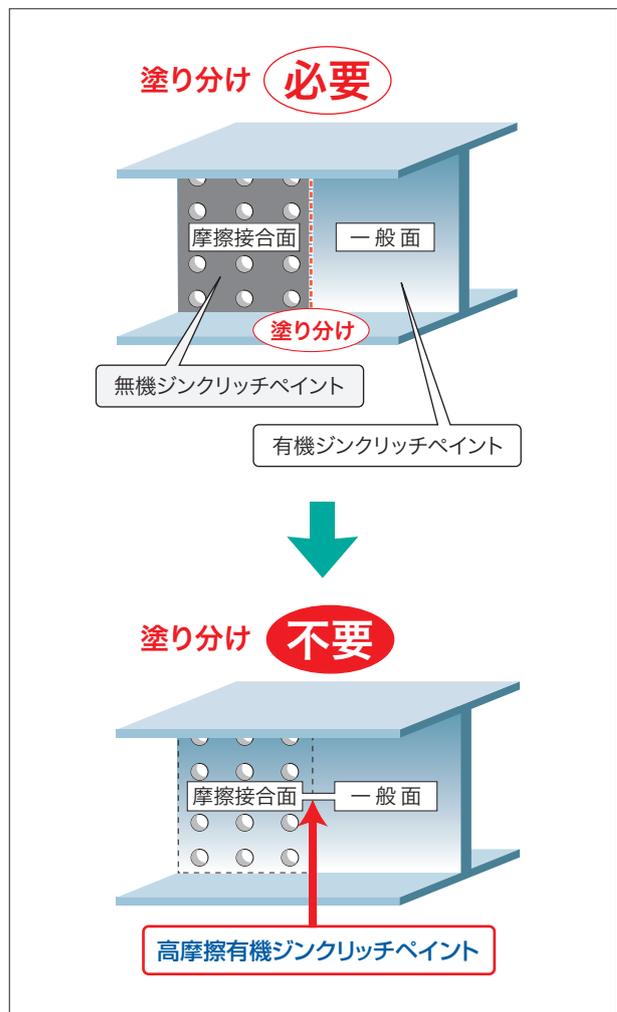


図2 摩擦接合部への塗装イメージ

そのため、すべり係数0.45以上を確保し、摩擦接合面に適用可能な有機ジンクリッチペイントが市場で求められていた。同要求を満足する「高摩擦有機ジンクリッチペイント」を開発したため、その開発検討結果について報告する。

2. 実験

2.1 すべり試験

2.1.1 試験体

試験体の形状・寸法を図3に示す。試験鋼材は溶接構造用圧延鋼材SM490A(素地調整:グリットブラスト[ISO Sa2 ½以上、Rzjis 70µm以下])、ボルトはS10T-M22トルシア形高力ボルトを用いた。

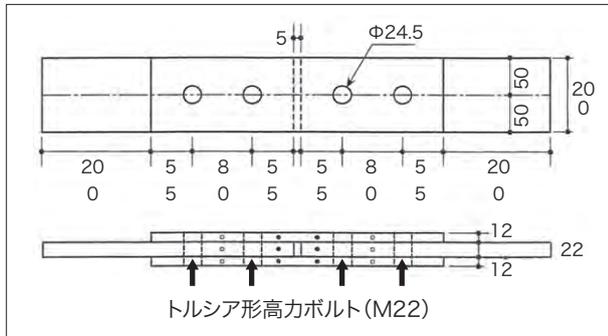


図3 すべり試験体の形状・寸法

2.1.2 試験体の作製

試験鋼材の両面に供試塗料を乾燥膜厚75µmとなるようにエアースプレーにて塗布し、23°C/50%RH環境にて1ヵ月間養生後にボルト締付けを行った。

2.1.3 すべり係数の測定

事前にリラクセーション試験を実施し、ボルト締付け後、72時間程度で軸力の低下は収まることを確認した。その結果から、すべり試験はボルト締付けから72時間以上経過した後に行った。試験体を万能引張試験機UH-2000kN XR(島津製作所製)に取付け、すべりが発生するまで徐々に荷重を載荷し、試験体のけがき線がずれた時点をすべり点とし、この時のすべり荷重を記録した。

すべり係数は、次式により算出した。導入軸力は、ボルトの製品検査証明書の値を用いた。

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N}$$

μ :すべり係数, P:すべり荷重(kN), m:摩擦面数(=2), n:ボルト本数(=2), N:ボルト初期導入軸力(kN)



図4 すべり試験の状況

2.2 供試塗料

試験に使用した塗料を表1に示す。

表1 供試塗料

塗料	標準膜厚	略称
高摩擦有機ジンクリッチペイント(開発品)	75µm	HF
試作塗料(A~N)	75µm	A~N
有機ジンクリッチペイント	75µm	EP
無機ジンクリッチペイント	75µm	IOZ

2.3 高摩擦有機ジンクリッチペイントの開発

2.3.1 開発の目標

- すべり係数0.45以上
- JIS K 5553 2種の品質を有する
- 塗装作業性が良好
- 複層膜における上塗塗膜の外観が良好

2.3.2 設計

有機ジンクリッチペイントは、エポキシ樹脂と硬化剤、亜鉛末、溶剤を主成分として成る防錆塗料である。

すべり係数に影響を及ぼす可能性のある以下の4つ

の因子について検討を行うこととした。設計のイメージを図5に示す。

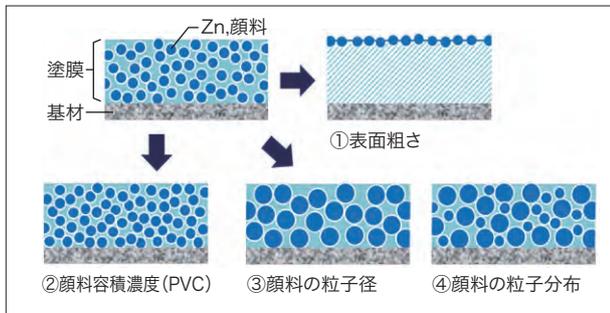


図5 設計イメージ

①表面粗さ

接合部の表面を粗くする(凹凸を付ける)ことにより、接触面の噛み合いが強まると考えた。一方で、過大な表面粗さは、塗膜外観を損ねる可能性がある。

②顔料容積濃度(PVC)

PVCを大きくすることにより、すべり係数が大きくなるとされている³⁾。

③顔料の粒子径

大粒子径の顔料を用いることにより、引張力に対する抵抗となると考えた。

④顔料の粒度分布

大～小粒子径の顔料を用いることにより、すべり係数が大きくなると考えた。

なお、「顔料」は、亜鉛末を含む。本報では、亜鉛末とその他の顔料に分けた。

2.3.3 表面粗さ

i) すべり試験体の10点平均粗さ(Rzjis/JIS K 1994)を接触式表面粗さ計SJ-301(ミットヨ製)にて、計測した。

ii) レーザー顕微鏡VK-X150(キーエンス製)にて、表面の粗さ状態を観察した。

2.3.4 上塗塗膜の外観

重防食塗装仕様を想定し、供試塗膜の上にエポキシ樹脂下塗塗料、ふっ素樹脂塗料用中塗塗料、ふっ素樹脂上塗塗料を塗り重ね、得られた複層膜について外観を評価した。

3. 結果

試作塗料A～Nについて、結果を表2に示した。顔料は、亜鉛末と亜鉛末以外の顔料(他顔料)に分類した。

表2 試作塗料の特長とすべり係数

試作塗料	PVC [%]	顔料の平均粒子径		Rzjis [μm]	すべり係数	上塗りの外観
		亜鉛末	他顔料			
A	60	● 小	無	9.1	0.39	○
B	60	● 中	無	19.9	0.44	○
C	60	●● 小, 大	無	25.4	0.49	×
D	60	●● 中, 大	無	22.2	0.53	×
E	60	● 小	● 中	23.2	0.42	△
F	65	● 小	無	12.5	0.41	○
G	65	● 小	● 小	20.5	0.48	○
H	65	● 小	● 中	20.0	0.43	○
I	65	● 小	● 大	22.4	0.44	×
J	70	● 小	無	10.8	0.43	○
K	70	● 小	●● 小, 大	23.9	0.50	×
L	70	● 小	● 小	21.2	0.44	○
M	70	● 小	● 中	18.7	0.50	○
N	75	● 小	● 中	22.6	0.49	○

4. 解析

すべり係数に影響を及ぼす可能性のある4つの因子について、すべり係数および、上塗塗膜の外観から解析を行った。

4.1 塗膜の表面粗さ

接触式の表面粗さ計にて得られた表面粗さRzjisとすべり係数の関係性を図6に示す。全体的にはRzjisが大きくなるにつれ、すべり係数も大きくなる傾向が見られた。図7に示した測定結果のように、粗さのチャートには規則性がなく、測定箇所により値が大きく変化していた。

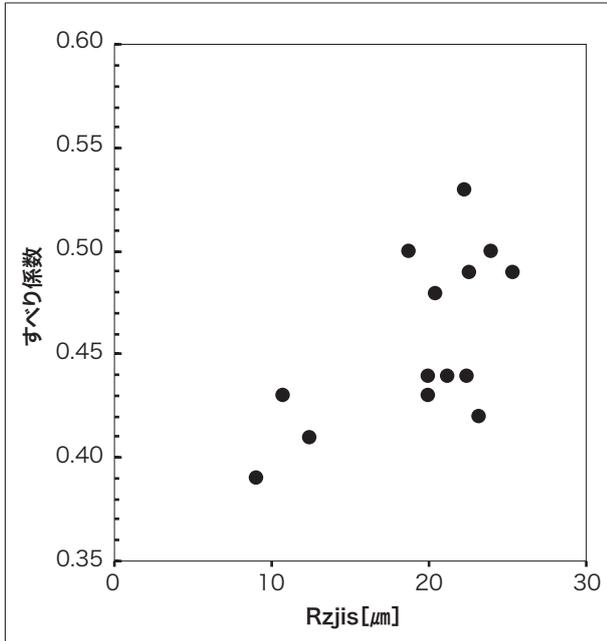


図6 すべり係数と表面粗さの関係

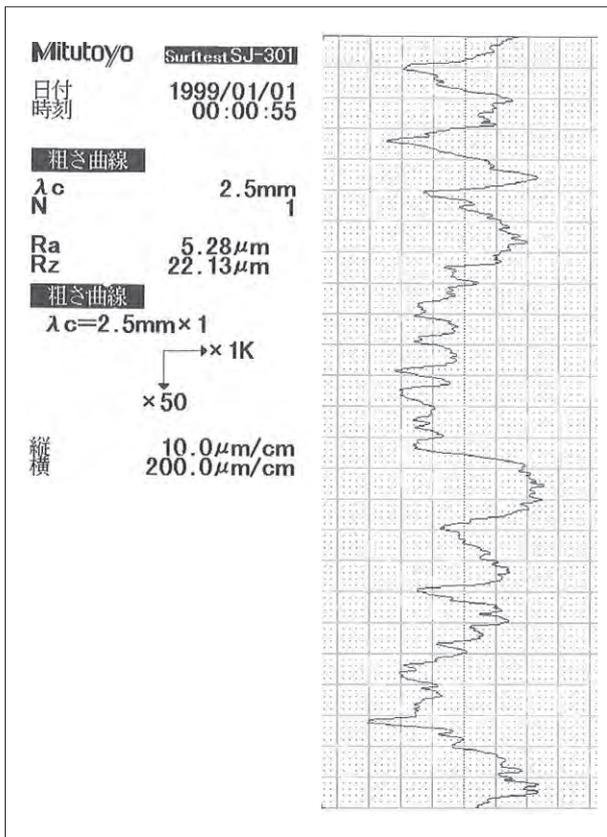


図7 接触式表面粗さ測定例

次に、レーザー顕微鏡にて表面の粗さを観察した結果を図8に示す。試作塗料Aに比べ、BやKの表面は粗く、すべり係数もAより大きくなった。しかし、BはKの表面状態に類似しているにもかかわらず、すべり係数0.45を満たさなかった。以上のことから、塗膜の表面粗さとすべり係数には相関が認められなかった。一方、上塗塗料まで塗り重ねたときの外観は、Bは良好であったのに対し、大粒子径の顔料を含むKは不良であった。

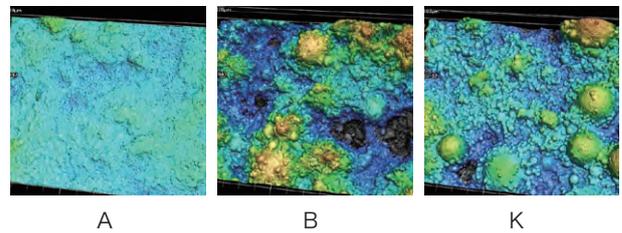


図8 表面粗さ(レーザー顕微鏡)

4.2 顔料容積濃度の影響

すべり係数と顔料容積濃度(PVC)の関係を図9に示す。すべり係数とPVCの相関は認められなかった。

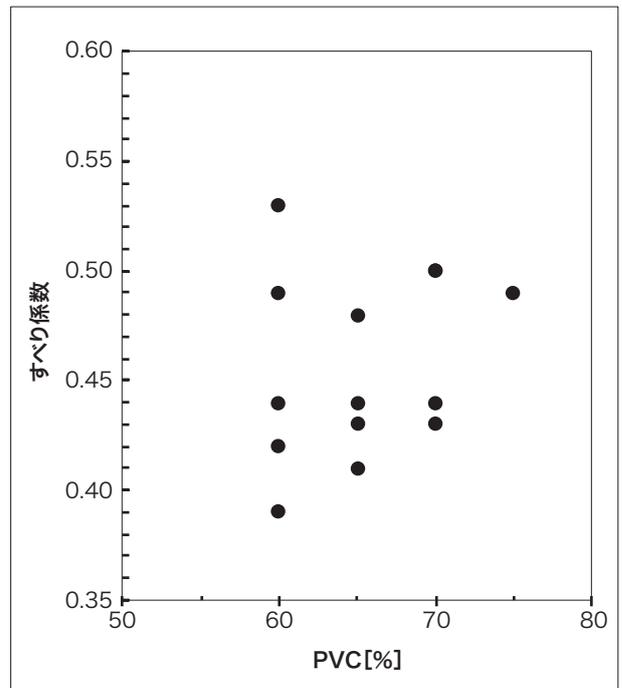


図9 すべり係数とPVCの関係

4.3 顔料の粒子径の影響

粒子径の大きな顔料を用いた場合に、すべり係数の向上が認められた。ただし、試作塗料Iのように、大粒子径の顔料を含んでいても、すべり係数0.45を下回るものも存在する。上塗塗膜の外観は、大粒子径の顔料を含む場合に悪化した。すべり係数や上塗塗膜の外観として、顔料の大きさ、或いは量に適切な範囲があると考えられる。

一般に顔料の粒子径とは、平均粒子径(d50)のことを指し、顔料によって粒度分布が異なる。すなわち、同じ平均粒子径であっても、最大粒子の大きさや、一定サイズ以上の粒子の量は異なる。すべり係数および上塗塗膜の外観は、大粒子径の顔料の影響を強く受けていると考えられる。

4.4 顔料の粒度分布の影響

顔料の粒度分布に着目し、10 μ m以上の粒子の含有量とすべり係数の関係を図10に示す。検証した因子の

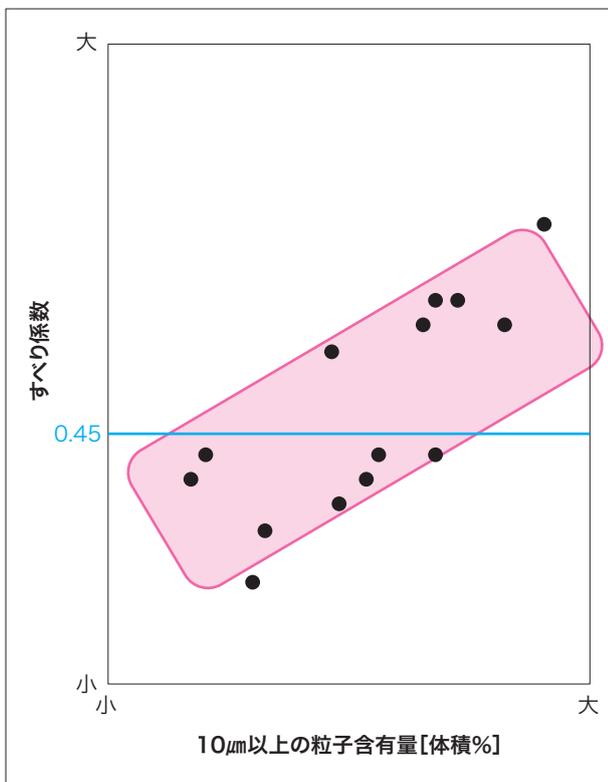


図10 すべり係数と粒度分布の関係

中で最も相関性のある結果が得られた。一方で、バラツキを含むため、顔料の粒度分布以外の因子も影響していると考えられる。

4.5 解析まとめ

4つの因子について、すべり係数との関係性を解析した結果、顔料の粒度分布が最も相関性が高い因子であることがわかった。

大粒子径の顔料割合を増やすことは、すべり係数を大きくするために有効だが、上塗塗膜の外観が悪くなる傾向がある。本検討では、上塗外観を損なわず、すべり係数0.45を満足し得る粒度分布が存在することがわかった。

5. 開発品の性能評価

以上の結果より、顔料の粒子径を最適となるようにコントロールし、高摩擦有機ジンクリッチペイント(開発品、以下HFと示す)を得た。得られた塗料について、各種評価を実施した。

5.1 すべり試験

リラクゼーション試験の結果を図11に示す。ボルト締め後、72時間程度で全ての試験体の軸力低下は収

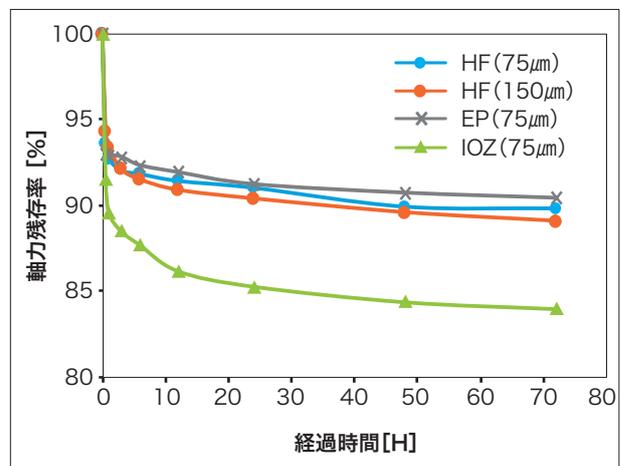


図11 すべり試験における軸力残存

まった。HFの軸力減少率は10%程度であり、無機ジンクリッチペイント (IOZ) より軸力減少率が小さかった。

すべり試験の結果を表3に示す。また、すべり係数と膜厚の関係をプロットした結果を図12に示す。HFは、IOZと同様に、すべり係数0.45を満足することを確認した。標準膜厚である75 μm の場合にすべり係数が最も大きく、膜厚が増大するにつれ、すべり係数が緩やかに小さくなり、150 μm (標準 \times 2倍) までは0.45を超えていたが、240 μm (標準 \times 3倍以上) では0.45を下回った。また、55 μm (標準 \times 0.7倍) でも0.45以上を満たす。

表3 すべり試験結果

	膜厚 [μm]	締付け軸力 [kN]	すべり荷重 [kN]	すべり係数
HF	55	223	414	0.46
	75	226	485	0.54
	147	228	434	0.48
	240	224	389	0.43
EP	80	224	361	0.39
	138	223	382	0.38
IOZ	79	225	559	0.59
	125	223	510	0.58

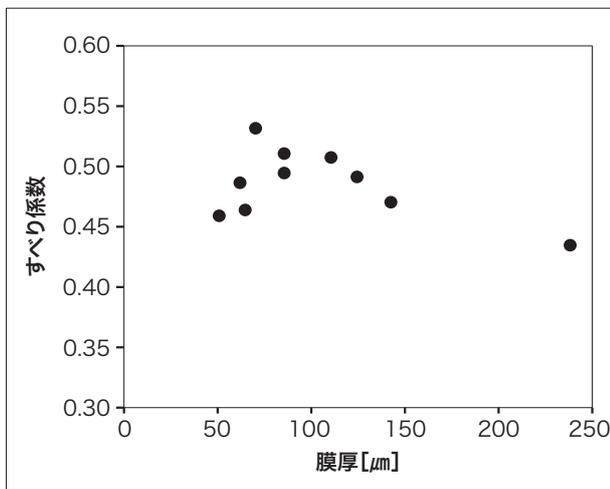


図12 すべり係数と膜厚の関係 (開発品)

5.2 塗装作業性

●ラボ試験塗装

塗料を均一に混合し、さらに希釈シンナーを用いて適正粘度 (10P以下; リオン粘度計) となるように希釈し、エアレス塗装機にてブリキ板上に塗装を行った。塗装条件を表4、塗装状況を図13に示す。霧化性は良好で、塗装作業性に問題はなかった。

表4 エアレス塗装条件

	試験塗装 (実験室)	塗装現場での施工
日時	2016年6月27日	2017年7月19日
温湿度	28°C50%RH	32°C71%RH
塗料粘度	8.5 ps	14 ps
チップ	#521	#415
吐出圧	70 psi	90 psi



図13 塗装状況 (実験室)

●塗装現場での施工

実部材に、表4の条件で塗装業者による施工を行い、施工性を評価した。塗装後の実部材の外観を図14に示す。塗装作業性には問題なく、仕上がり外観も良好であった。

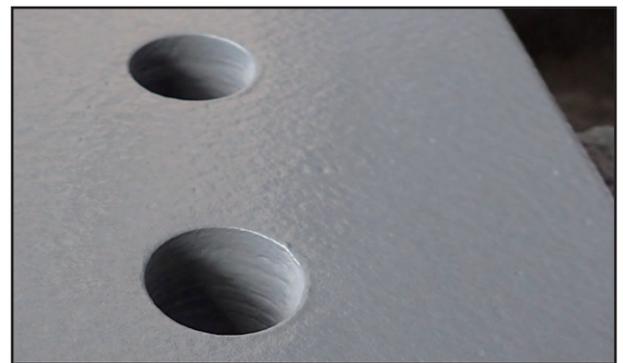


図14 実施工板の外観

5.3 塗料の性状および性能試験

JIS K 5553 2種に定められている項目を評価した結果を表5に示す。HF(開発品)は、JIS K 5553 2種の品質を有することが確認された。

表5 塗料の性状および性能評価結果

項目	品質	HF結果
容器中での状態	かき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になること	合格
塗膜外観	塗膜の外観が正常であること	合格
ポットライフ	5時間で使用できること	合格
耐衝撃性 (500g×500mm)	衝撃によって割れおよびはがれが生じないこと	合格
厚膜性	厚塗り性に支障がないこと	合格
耐塩水噴霧性	塩水噴霧(240h)に耐えること	合格
耐水性	イオン交換水(240h)に浸したとき異常がないこと	合格
混合塗料の加熱残分%	75以上	合格
加熱残分中の金属亜鉛%	70以上	合格
屋外暴露耐候性	2年間の試験でさび、割れ、はがれおよび膨れがないこと	合格

6. まとめ

すべり係数に影響を及ぼす因子として、塗膜に含まれる顔料の粒度分布が重要であることを見出した。また、すべり係数0.45を満たすと共に、従来の有機ジンクリッチペイントと同等の品質を有する高摩擦有機ジンクリッチペイントを開発した。本開発品は、摩擦接合部と一般部の塗り分けが不要であるため、作業性の向上・工数の削減が期待できる。

参考文献

- 1)日本建築学会:鋼構造接合部設計指針(2012)
- 2)日本道路協会:道路橋示方書(Ⅱ鋼橋編)・同解説(2017)
- 3)特開2004-26972

屋外暴露試験片の表面解析による 二層分離形複合樹脂粉体塗料の耐候性評価

Evaluating Weatherability of Composite Powder Coating with Two Layer Surface Analysing of Outdoor Exposed Test Piece



塗料事業部門 金属焼付塗料事業部
テクニカルサポートグループ
Coating Business Division,
Metal Baking Coatings Department,
Powder Coating Technical Support Group

北川 将司
Masashi KITAGAWA

要 旨

本報では、二層分離形複合樹脂粉体塗料を含む粉体塗料を塗布した試験片について、硬化塗膜の断面構成の確認と共に、沖縄での屋外暴露耐候性試験(36ヶ月)での塗膜表面状態の解析により、塗膜構成が耐候性に与える影響について検討した。

その結果から、以下のようなことがいえる。(1)二層分離形複合樹脂粉体塗料では、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料と比較して、硬化塗膜表面におけるチタンの検出が少ない(2)二層分離形複合樹脂粉体塗料は、36ヶ月間の屋外暴露試験において、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料を上回る高い光沢保持率を示した。(3)36ヶ月の屋外暴露試験を実施した二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜では、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜よりも、塗膜劣化に伴う多孔質化などの表面状態における変化は軽微であった。

Abstract

In this report, effect of the coating film composition on the coating weatherability is discussed on cross-sectional observation of the coating film and 36-month-outdoor exposure test results in Okinawa on some kinds of powder coating test pieces including two layer separation type composite resin powder coating.

Main results are as follows. (1) Titanium from the coating film surface of the composite resin powder coating is detected lesser than the thermosetting fluorocarbon and the isocyanate hardening type polyester powder coating. (2) The two layer separation type composite resin powder coating has higher gloss retention than thermosetting fluorocarbon and isocyanate hardening type polyester powder coating in 36-month-outdoor exposure test. (3) The composite resin powder coating surface more slightly changes than the thermosetting fluorocarbon and the isocyanate hardening polyester in the 36-month-outdoor exposure test.

1. はじめに

現在、地球規模での環境問題への急速な関心の高まりから、各分野において環境に配慮した商品開発や技術革新が進められている。これは、塗料業界においても決して例外ではなく、従来の溶剤系塗料からVOC (Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)の含有量が少ない水系塗料、ハイソリッド塗料や粉体塗料への転換が活発になっている。

なかでも、金属外装建材(カーテンウォール)向けのアルミニウム合金材料の表面仕上げには長らく、工場における加熱硬化形塗装が施されてきたが、近年は粉体塗料の適用が検討されており、その研究成果が多数報告されている^{1)および2)}。

特に、当社は塗膜表層には顔料を含まない耐候性に優れるふっ素樹脂層、下層には塗膜物性に寄与するポリエステルとふっ素樹脂の混合層で構成される二層分離形複合樹脂粉体塗料を開発しており、その耐候性に関する検討を継続している³⁾。

本報では、硬化塗膜の断面構成を確認するとともに、屋外暴露耐候性試験を実施した塗膜の表面状態を解析して、塗膜の構成が耐候性に与える影響について検討する。

2. 実験

2.1 試験片の作製

試験片の作製条件を表1に示す。

粉体塗料は、3種類とも白色・つや有りで作製した。

試験片はアルミニウム合金板材A1100Pを素地として6価クロム系化成皮膜処理を施し、所定の膜厚と加熱条件で作製した。

表1 評価対象塗料の概要

評価対象塗料	膜厚(μm)	加熱条件
二層分離形 複合樹脂粉体塗料	60±10	190°C×20分
熱硬化形 ふっ素樹脂粉体塗料	60±10	190°C×20分
イソシアネート硬化形 ポリエステル粉体塗料	60±10	180°C×20分

2.2 層構成の解析

層構成の観察は、断面構造および塗膜表面を走査型電子顕微鏡(日立ハイテクノロジーズ社製超高分解能分析走査SU-70型)を用いて実施した。また、塗膜の表面を走査型電子顕微鏡で観察した後、X線回折法(オックスフォード・インストルメンツ社製 電子顕微鏡用分析装置および波長分散型X線分析装置 INCA Energy)を適用して、顔料成分であるチタン元素を分析した。

2.3 屋外暴露試験

屋外暴露耐候性試験は、沖縄本島中部に位置する伊計島において2012年から開始して、36ヶ月間実施した。なお、暴露架台は海岸から約20m離れた位置に設置している。

2.4 屋外暴露後の試験片に対する表面解析

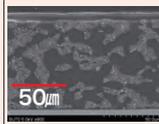
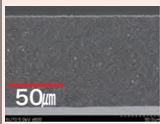
屋外暴露後の試験片を水洗した後、走査型電子顕微鏡で観察を実施した。また、X線回折によって顔料成分であるチタン元素の元素分析についても評価した。

3. 結果と考察

3.1 層構成の解析結果

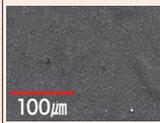
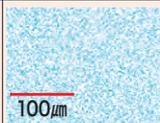
試験片の硬化塗膜の断面を走査型電子顕微鏡で観察した結果を表2に示す。

表2 硬化塗膜の断面観察

評価対象	二層分離形 複合樹脂 粉体塗料	熱硬化形 ふっ素樹脂 粉体塗料	イソシアネート 硬化形 ポリエステル 粉体塗料
走査型 電子顕微鏡 による観察			

また、塗膜の表面を走査型電子顕微鏡で観察し、さらにX線回折法を適用して、チタン元素を分析した結果を表3に示す。

表3 硬化塗膜の表面観察

評価対象	二層分離形 複合樹脂 粉体塗料	熱硬化形 ふっ素樹脂 粉体塗料	イソシアネート 硬化形 ポリエステル 粉体塗料
走査型 電子顕微鏡 による観察			
チタン元素			

二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜は、表層部に厚さ10 μ m程度の顔料を含まないふっ素樹脂層、および塗膜下層部に顔料を含んだポリエステルとふっ素樹脂の混合層が形成されており、二層が分離した構

造が確認できた。また、チタン元素は、塗膜表層部には少ないと判断する。

一方、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜は全層にわたって、樹脂の中に顔料が均一に分散していることが確認できる。また、塗膜表層部にも、チタン元素が含まれている。

3.2 屋外暴露試験結果

沖縄での36ヶ月間の屋外暴露試験をした際の光沢保持率における経時変化を図1に示す。

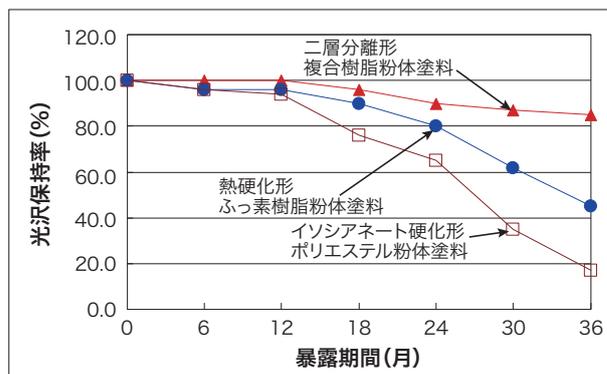


図1 屋外暴露試験における光沢保持率の経時変化

二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜は、暴露36ヶ月を経過した後も80%以上の光沢保持率を示している。一方、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料の硬化塗膜は、36ヶ月経過後の塗膜は40%程度の光沢保持率であり、二層分離形複合樹脂粉体塗料と比較すると、低い値となっている。さらには、イソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜は24ヶ月経過後で60%程度、36か月経過後の後では20%以下となり、顕著な光沢低下が認められた。

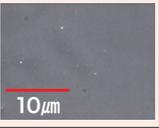
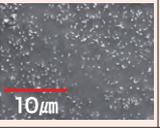
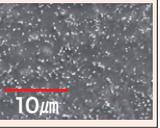
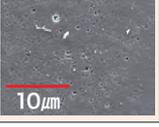
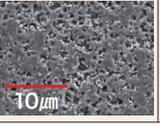
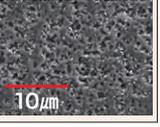
3.3 屋外暴露試験後の試験片に対する表面解析結果

そこで、屋外暴露試験後の試験片に対する表面解析を実施すると共に、試験前の試験片の表面解析結果と比較することで、暴露前後の塗膜表面状態の変化について検討した。

3.3.1 表面観察結果

屋外暴露前後の塗膜表面を走査型電子顕微鏡で観察した結果を表4に示す。

表4 屋外暴露前後の硬化塗膜表面

評価対象	二層分離形 複合樹脂 粉体塗料	熱硬化形 ふっ素樹脂 粉体塗料	イソシアネート 硬化形 ポリエステル 粉体塗料
屋外暴露前			
屋外暴露 36ヶ月 経過後			

二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜は、屋外暴露の前後において塗膜劣化に伴う多孔質化などの表面状態における変化が軽微であり、耐候性が優れていると判断する。

一方、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料とイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜は、屋外暴露によって表面状態が著しく変化しており、酸化チタン顔料粒子の露出や表面の多孔質化が確認できたことから、顕著な塗膜劣化が生じているものと考えられる。

すなわち、上記に示す塗膜劣化の差異が、3.2屋外暴露試験結果で報告している光沢保持率の差となっているものと推定される。

3.3.2 表面解析結果

これを裏付けするため、屋外暴露が終了した塗膜表面を水洗した後、X線回折によってチタン元素の元素分析を実施した結果を図2に示す。

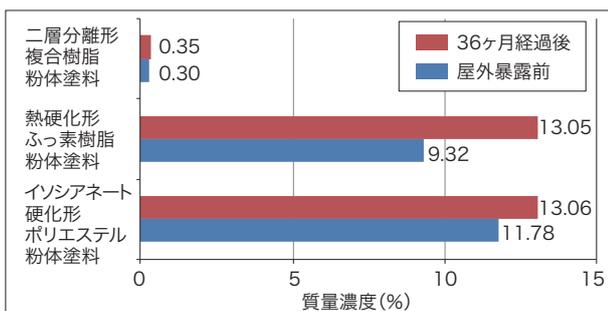


図2 屋外暴露前後の塗膜表面に対する元素(チタン)の分析結果

二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜は、屋外暴露前におけるチタンの質量濃度が0.30%程度、屋外暴露後は0.35%程度であり、屋外暴露前後での表層におけるチタンの質量濃度の変化は僅かであった。

一方で、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜は、屋外暴露前におけるチタンの質量濃度が9.30~11.80%程度であり、二層分離形複合樹脂粉体に比較すると高濃度を示している。さらに屋外暴露後には、チタンの質量濃度が13%程度に増加もしていることが判明した。

よって、後者2種類の塗膜表面には、屋外暴露前から、既に顔料成分が僅かであるが露出していると考えられる。

酸化チタンは、紫外線(400nm以下の短波長)の下で強い酸化力を発して(光触媒反応)、水分存在下で周囲の有機物を分解する。そのため屋外暴露では、酸化チタンが表面に多く分布している熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料は、酸化チタンが紫外線と水と接することで顔料周囲の樹脂分解が促進され、顕著な塗膜劣化が生じる。

逆に二層分離形複合樹脂粉体塗料は表面の酸化チタン分布量が僅かである故に、こうした塗膜劣化が軽微であったと推定される。

4. まとめ

本報では、二層分離形複合樹脂粉体塗料を含む粉体塗料の硬化塗膜断面や表面状態を解析した結果と屋外暴露試験の結果から、塗膜の断面構成や表面状態が塗膜の耐候性に与える影響を検討した。

結果、以下のことが判明した。

①沖縄での36ヶ月間の屋外暴露試験では、二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜が80%程度の光沢保持率を示している。

一方、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜では、光沢の低下が顕著である。

②走査型電子顕微鏡による表面観察では、屋外暴露試験を実施した二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜は塗膜劣化に伴う多孔質化などは発生せず、軽微な変化に留まっているのに対し、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料の硬化塗膜は、酸化チタン顔料粒子の露出や表面の多孔質化などの表面状態の顕著な変化が確認され光沢低下の要因となっている。

③すなわち、塗膜表面における偏在する顔料の露出の程度が、光沢保持の差異を生じている可能性が考えられる。

以上より、二層分離形複合樹脂粉体塗料は硬化塗膜の表層に酸化チタン顔料を含まないため、熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料やイソシアネート硬化形ポリエステル粉体塗料に比べ、酸化チタンの表層露出はもとより、樹脂劣化を促進するチタンの表面活性化による樹脂劣化促進をほとんど受けないと考えられる。したがって、過酷な環境での屋外暴露においても、優れた耐久性を示すと判断する。

今後も、硬化塗膜の断面構成やその他の特性を考慮した粉体塗料の耐候性や劣化機構に関する詳細な検討を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 近藤、鈴木(晃)、後藤：建築用アルミニウム合金材料に対する環境に配慮した加熱硬化形塗装仕様の検討 その2 粉体塗料に関する性能評価：日本建築学会構造系論文集, 77, 677, p1015-1020(2012)
- 2) 近藤、鈴木(誠)、鈴木(晃)：建築用アルミニウム合金材料に対する環境に配慮した加熱硬化形塗装仕様の検討 その3 クロムフリー系化成処理皮膜に施した粉体塗装の性能評価：日本建築学会構造系論文集, 80, 718, p1841-1848(2015)
- 3) 北川、近藤、木口：二層分離型構造をもつ複合樹脂粉体塗料の耐候性評価：日本建築仕上学会2014年大会学術講演会研究発表論文集, p115-118(2014)

鋼管構造物の鋼管内面に適用可能な新しい防食技術

A New Anti-corrosion Technology for Applying Its Inner Surface to Steel Pipe Structure

日塗化学株式会社
技術部 樹脂技術グループ
NITTO CHEMICAL CO., LTD.
Technical Department
Resin Research & Development Group



木村 忠
Tadashi KIMURA



井手 誠
Makoto IDE

要 旨

架空送電用鋼管鉄塔などの鋼管構造物の防食技術については、鋼管内外面を亜鉛めっき処理した後、鋼管外面へ長期耐久性を有する塗料を施すことが一般的である。しかし、長期間にわたり自然と対峙した結果、鋼管内面については、亜鉛めっき処理が不十分な部分を中心に、鋼管の腐食が顕在化している。

本報では、防食＝塗装という発想から脱却した、鋼管構造物の鋼管内面に適用可能な新しい防食技術について報告する。

Abstract

It accepted theory that to coat an anti-corrosion paint with a durability of a long term a steel pipe structure with anti-corrosion technology as overhead transmission line by pylon base, etc. after both external and internal surfaces treatment of galvanizing steel. Under the environment for a long term, however it become obviously corrosion inside a steel pipe such as based on its insufficient spot.

In this report, to provide a new anti-corrosion technology for applying its inner surface to steel pipe structure departure from thinking the same anti-corrosion with coating.

1. はじめに

日本の高度経済成長期(昭和40年代後半までの約18年)に建設された架空送電用鋼管鉄塔は、鋼管のめっき技術が確立されていなかったことから、鋼管の継ぎ目から腐食因子である水分・酸素が長期的に侵入し、鋼管内面のめっき処理が不十分な部分を中心に鋼管内部の腐食が顕在化しており、部材取り替えや鉄塔建て替えなど的高額な改修工事が必要となっている。

この鋼管内面の腐食の進行を防止する技術として、定期的に鋼管内面を塗装する技術や、鋼管内部にモルタルを充填する技術(以下、モルタル充填工法)が検討・提案されている。しかし、鋼管内面の塗装については、鋼管内面のブラスト処理、塗料の膜厚管理、塗装後の定期点検の手間他、鋼管内部に対し、腐食因子である水分・酸素の侵入を完全に遮断できないという問題がある。

また、モルタル充填工法については、鋼管内部に対

し、腐食因子である水分・酸素の供給を完全に遮断できるが、モルタルの重量により、鋼管構造物および基礎の強度に影響を与えるため、適用範囲が限定されるという問題点があり、これらの代替技術の早期確立が急務となっている。

2. 鋼管内面に適用可能な新しい防食技術 — 発泡ウレタン充填工法 —

鋼管内面の腐食の進行を防止するには、鋼管内部に対し、腐食因子である水分・酸素の侵入を遮断することが有効であり、モルタル充填工法の利点をヒントに、充填材料として発泡ウレタンに着目した。モルタルより数十分の1と軽量な発泡ウレタンであれば、鋼管構造物および基礎の強度への影響は極僅かであり、かつ鋼管内部に対し、腐食因子である水分・酸素の侵入を完全に遮断できると考えた(図1参照)。

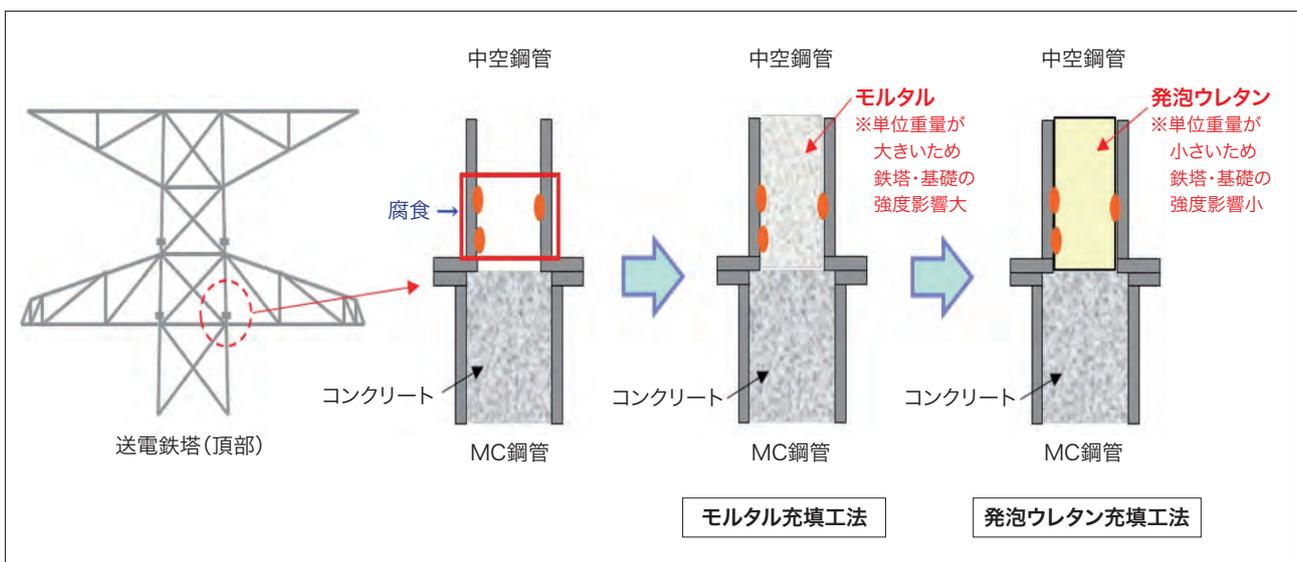


図1 送電鉄塔を想定したモルタル充填工法と発泡ウレタン充填工法のイメージ図

3. 発泡ウレタン充填工法用 発泡ウレタンについて

3.1 発泡ウレタンとは

分子中にイソシアネート基(-NCO)を2個以上有するイソシアネートと、水酸基(-OH)を2個以上有するポリオールを、触媒・発泡剤などと一緒に反応して得られる均一なプラスチック発泡体で、一般的に「硬質ポリウレタンフォーム」と「軟質ポリウレタンフォーム」の2種に大別される。

その内、硬質ポリウレタンフォームは、見かけは小さな固体の泡(セル)の集合体で、この固体の泡は一つ一つが独立した気泡になっており、この中に気体(二酸化炭素)が封じ込められている。従って、鋼管内部に対し、腐食因子である水分・酸素の侵入を長期にわたって遮断することができる(図2参照)。

また、施工現場での発泡が可能で、接着剤を使わなくとも、金属・木材・コンクリートなどの対象物(ここでは鋼管)に直接発泡することにより、対象物と強く接着した充填物を得ることができ、かつモルタルの数十分の1の重量であることから、鋼管内部の充填に適した材料である。

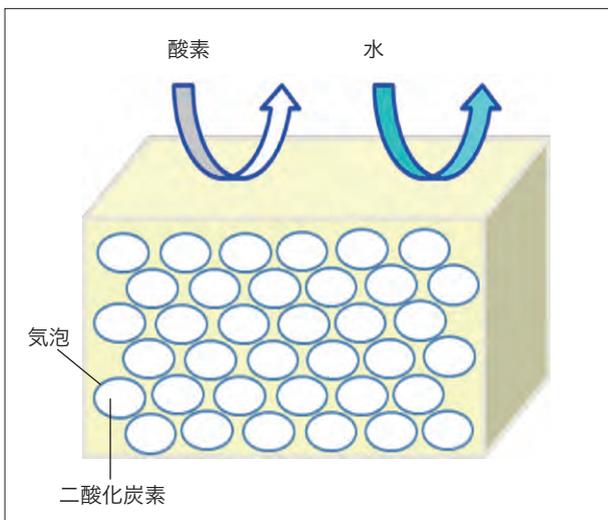


図2 硬質ポリウレタンフォームのイメージ図

3.2 求められる性能について

発泡ウレタンに求められる性能として、表1に示す。

表1 発泡ウレタンに求められる性能

求められる性能	内容
密着性	鋼管と発泡ウレタンが密着していること、または収縮により密着性を損なわないこと。
遮水性	発泡ウレタン内部を水および水蒸気が通過しないこと、もしくは鋼管内部のさびが発生しないこと。
曲げ耐力性	鋼管に発生する曲げから作用する力により、発泡ウレタンがはく離しないこと。
温度特性	施工時の外気温の変化に対し、発泡ウレタンの発泡状態が大きく変化しないこと。

また、発泡ウレタンの耐久性の指標として、本工法における発泡ウレタンの経年劣化の主要因が温度であると定義し、アレニウスの式より導き出される、使用環境の温度が10°C下がると寿命は2倍に伸びるという「10°C 2倍則」を用いた。

試験環境は湿熱老化試験として70°C×95%RHを設定、20°Cと比較した場合、上記アレニウスの式によると70°Cでは、32倍の促進倍率となり、試験350日では経年約31年と予測できる。なお、本試験条件は、温度に加え、湿度が環境変数として与えられるため、より厳しい試験条件であると考えられる。

密着性や遮水性を含む発泡ウレタンの耐久性に関しては、鋼管内部に発泡ウレタンを充填後、長期にわたって性能を維持する必要があることから、複数の促進耐久試験を実施し(表2参照)、試験後の発泡ウレタンの収縮の有無、鋼管内面の腐食進行の有無、鋼管と発泡ウレタンとの密着性、発泡ウレタンの圧縮強さ、発泡ウレタンの水蒸気透過率を測定し、発泡ウレタンの耐久性を評価した。

なお、各試験の結果を補完するため、2015年より、沖縄県名護市沿岸部にて、屋外暴露試験を実施している。

表2 各促進耐久試験

試験名	試験条件	備考
湿熱老化試験	70°C/95%RH	日本ケミカル協会などで使用されている試験 試験条件350日:30年劣化相当
複合腐食 サイクル試験 JASO準拠	35°C SST×2hr → 60°C/30% RH×4hr → 50°C/95% RH×2hr	日本自動車技術会統一規格 試験条件 1,000サイクル: 61年(東京)、22年(沖縄海岸)

3.3 性能評価結果

3.3.1 試料

試験に用いる発泡ウレタンは、本工法専用として新たに開発した、発泡ウレタン充填工法用発泡ウレタンシステム「ニットレジン®TNP-100HG2/TNI-133」を用いた。

3.3.2 試験体作製

湿熱老化試験:鋼管サイズφ114mm×250mm内面をISO Sa2 ½ 相当のブラスト処理

複合腐食サイクル試験:鋼管サイズφ114mm×200mm内面が既に腐食している鋼管(ブラスト無し)

屋外暴露試験:鋼管サイズφ114mm×2,000mm

- ①鋼管外面を東京電力パワーグリッド(株)殿送電鉄塔塗装仕様準拠にて塗装(下塗り)を行う。
- ②鋼管内面に各試験後のさびの進行を確認するため、湿熱老化試験用は油性マジックで約3cm×6cmの長方形をマッピング(試験体の上部および下部)、その部分を内視鏡にて撮影、複合腐食サイクル試験用は内視鏡でさびている部分を撮影(図3参照)。
- ③鋼管内部へ発泡ウレタンを注入。
- ④鋼管外面を東京電力パワーグリッド(株)殿送電鉄塔塗装仕様準拠にて塗装(上塗り)を行い、試験体とした。

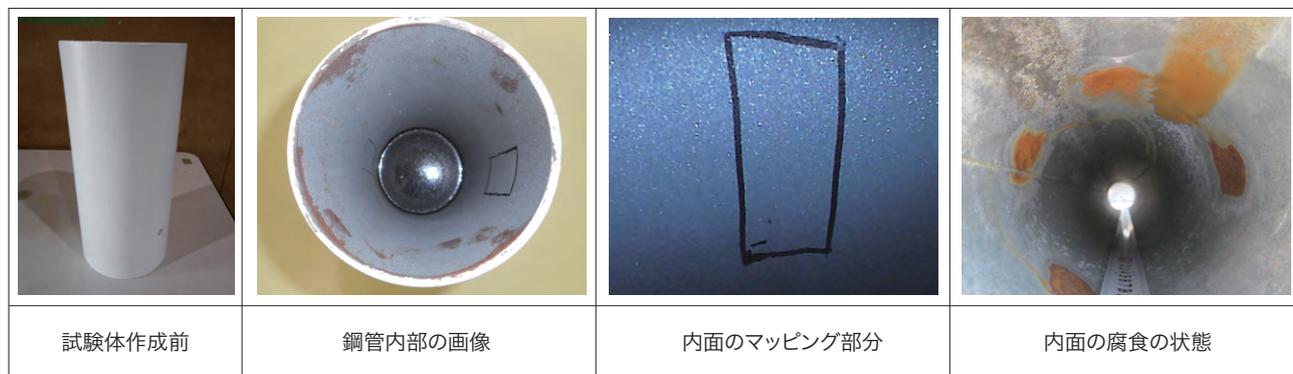


図3 鋼管内部のマッピング方法と内部の腐食の状態

3.3.3 湿熱老化試験

湿熱老化試験350日の結果は、発泡ウレタンの劣化(収縮)もなく、鋼管との密着性も良好であり、また、遮水性の低下も見られず(表3参照)、鋼管内面の腐食の進行は無かった(図4参照)。

表3 湿熱老化試験結果

試験日数	収縮の有無	さびの進行	密着性 kgf/cm ²	圧縮強さ N/cm ²	水蒸気透過度 ng/(m ² ・s・Pa)
30	良	無	5.5	38	158
120	良	無	4.6	44	157
250	良	無	3.9	49	174
350	良	無	3.8	40	180

収縮の有無: 収縮が無い「良」、収縮が有る「悪」

さびの進行: さびの進行は無い「無」、さびの進行がある「有」

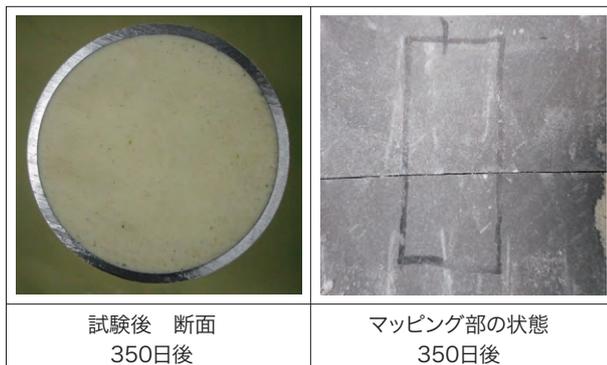


図4 試験後の内部の腐食の状態

3.3.4 複合腐食サイクル試験

複合腐食サイクル試験1,000サイクルの結果は、発泡ウレタンの劣化(収縮)もなく、鋼管との密着性も良好であり、また、遮水性の低下も見られず(表4参照)、鋼管内面の腐食の進行は無かった(図5参照)。

表4 複合腐食サイクル試験結果

サイクル数	収縮の有無	さびの進行	密着性 kgf/cm ²	圧縮強さ N/cm ²	水蒸気透過度 ng/(m ² ・s・Pa)
250	良	無	4.1	42	161
350	良	無	3.5	45	142
600	良	無	3.7	38	139
1,000	良	無	4.4	40	164

収縮の有無: 収縮が無い「良」、収縮が有る「悪」

さびの進行: さびの進行は無い「無」、さびの進行がある「有」

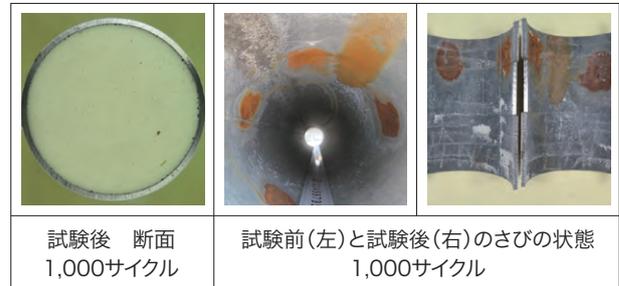


図5 試験後の内部の腐食の状態

以上の結果から、今回、新たに発泡ウレタン充填工法用に開発した発泡ウレタンは、長期耐久性を有していることが明らかとなった。

また、沖縄沿岸部に屋外暴露した試験体について、3年目の経時変化を確認したが、発泡ウレタンの劣化(収縮)もなく、鋼管との密着性も良好であり、遮水性の低下も見られず、鋼管内面の腐食の進行は無かった。

4. 発泡ウレタン充填工法の施工方法

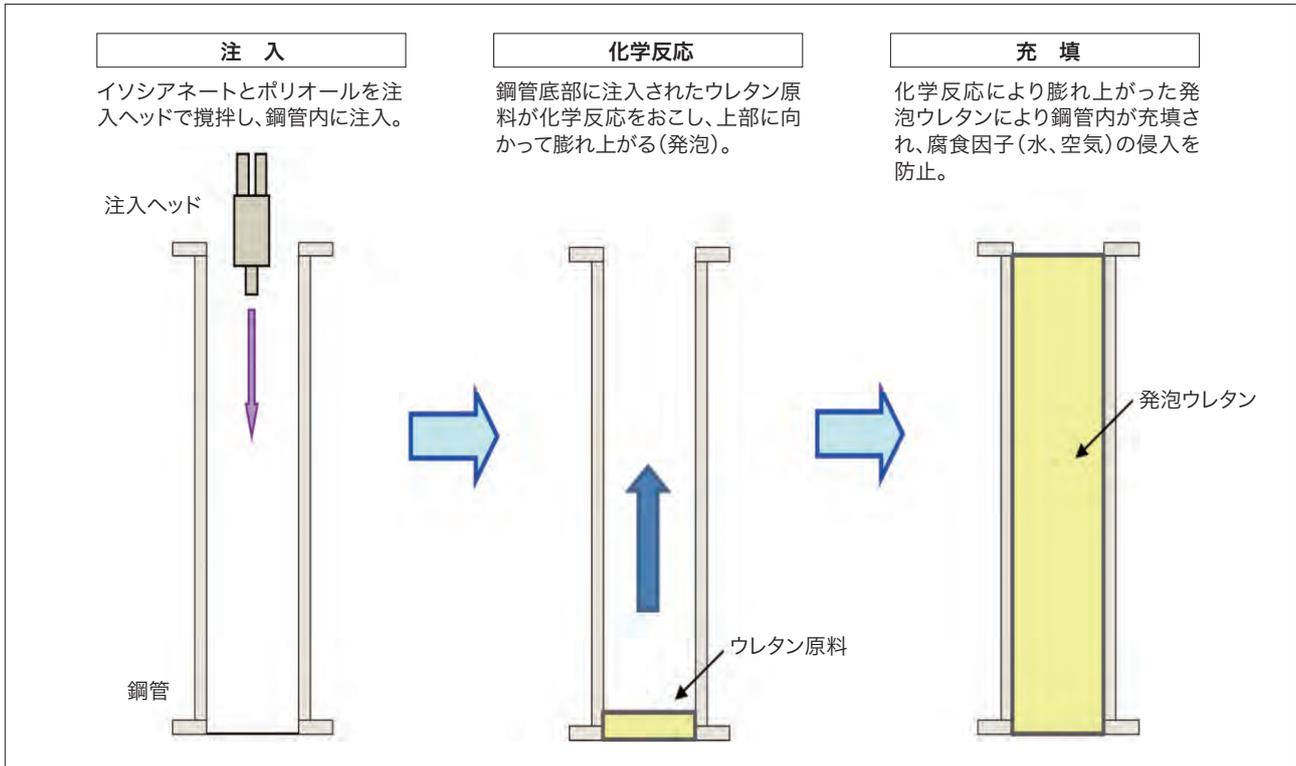


図6 発泡ウレタン充填工法の施工方法

鋼管内部への発泡ウレタンの注入には、本工法用に設計された専用の注入機を用いる。注入機から発泡ウレタンの原料であるイソシアネートとポリオールが送液され、注入ヘッドと呼ばれる専用の混合装置で均一に混合・攪拌された後、鋼管内部に注入される。

その後、鋼管内部で化学反応が始まり、数十秒間で数十倍に膨れ上がり、均一な発泡ウレタンを形成、鋼管内部は発泡ウレタンで充填される(図6参照)。

5. 架空送電用鉄塔への適用と施工実績

実鋼管構造物への適用については、既に架空送電用鉄塔の鋼管内面の腐食進行防止対策として、2017年までに鉄塔3基の対策工事实施状況(写真1)があ

り、施工方法や品質など、特に問題なく、現場適用可能であることを確認している。なお、本工法は、送電を停止することなく実施することができるというメリットもあり、今後も対策工事が計画されている。



写真1 対策工事实施状況

6. まとめ

鋼管構造物の鋼管内面に適用可能な新しい防食技術(鋼管内部の腐食進行防止)として、モルタルより十分軽量の発泡ウレタン充填工法を開発し、実際に現場適用可能であることが確認できた。鋼管外面については、架空送電用鉄塔用に実績のある日塗化学製「NBコート3000GWT/フロン503HB」を塗装することで、長期に渡り鋼管構造物をさびから護ることが可能である。

謝 辞

東京電力パワーグリッド株式会社、株式会社TLC、日本キャノン株式会社、株式会社スカイテック、ヨシハタ工業株式会社の共同開発各社の他、開発の趣旨を理解し、快く協力して頂いた全ての関係者に、感謝の意を表す。

特別な謝辞

発泡ウレタン充填工法の開発にあたり、「本工法を東京電力のためではなく、東京電力が電力を供給している全ての人々のために本工法の開発に取り組んで欲しい」との言葉を頂いた、東京電力パワーグリッド 田口修二氏に、深謝の意を表す。

特許出願状況

本取組の特許出願を以下に記す。

- 1) 鋼管構造物の腐食進行防止方法(特開2015-132110)

参考文献

- 1) 電気情報社:電気現場, 11月(2016)
- 2) 日本鉄塔協会:鉄塔, 126(2017)

重防食塗装系の耐候性に関する変遷 ～重防食塗装系の上塗りが担う使命～

Changes on Weatherability of Heavy-Duty Coating Systems
～ A mission for topcoat in heavy-duty coating system ～



構造物塗料事業部
Protective Coatings Department

宮下 剛
Tsuyoshi MIYASHITA

1. はじめに

平成17年12月に発刊された「鋼道路橋塗装・防食便覧¹⁾」では、新設および塗り替えの塗装仕様として、防食下地には防せい性の優れたジンクリッチペイントを、上塗塗料には耐候性の優れたふっ素樹脂塗料を用いた重防食塗装系が採用されている。さらに平成26年3月に発刊された「鋼道路橋防食便覧²⁾」においても同仕様を採用された。この重防食塗装系は近年、道路橋のみならず腐食環境の厳しい塩害地区における電力設備の煙突や貯蔵石油設備のタンクなど、様々な鋼構造物塗装の基本仕様となっている。

重防食塗装系の基本的な塗膜構成を図1に、塗膜各層の主な役割を表1に示す。重防食塗装に求められる機能としては、一般には鋼材の腐食を防止すること、構造物(被塗物)に目的の色彩を付与することであり、さらにはこれらの機能を長期間維持することである。こうした機能を単一の塗膜で満たすことは困難であるため、通常は防食下地、下塗塗料、中塗塗料、上塗塗料のように数種類の塗料を塗り重ね、塗膜全体(塗装系)で目的とする機能の維持を達成している。本報では、耐久性の高い重防食塗装系が求められる社会的背景、重防食塗装系の上塗りとして採用されているふっ素樹脂塗料の優れた塗膜性能、ふっ素樹脂塗料が防食便覧

に採用されるに至った経緯を説明する。



図1 重防食塗装系の塗膜構成

表1 塗膜各層の主な役割

	主な役割
上塗り	長期間にわたって美観(光沢や色相)を維持する。 下層塗膜を紫外線から保護する。
中塗り	下塗塗膜と上塗塗膜の付着性を確保する。 色相を調整することで、上塗塗膜の隠ぺい性を補助する。
下塗り	防食下地との付着性を確保する。 水分や塩化物イオンなどの腐食性物質を遮断する。
防食下地	鋼材に対する良好な付着性、鋼材の電位を下げる、 腐食性物質の遮断によって鋼材の腐食を防ぐ。

また、ここ数年のJIS、防食便覧における耐候性塗料規格内容の変遷および塗料配合上の耐候性低下に関する懸念点を示し、今後、重防食塗装系の上塗りとして

必要であると考えられる塗膜性能について述べる。さらには、今後、重防食塗装系において期待される上塗塗料を紹介する。

2. 重防食塗装系が求められる社会的背景

橋梁などの鋼構造物、タンク、各種プラント設備の維持管理においては近年、ライフサイクルコスト(LCC)の低減が求められている。

道路橋の場合、高度経済成長期に数多くの橋梁が建設されたことから、建設後50年以上経過した高齢橋は、2023年度に43%、33年度には67%を占めると推計されている³⁾。その後、さらに高齢橋の割合は加速度的に増える見込みであるが、現在のわが国の財政事情を考慮すると、これら的高齢化した橋梁全てを新たに建設し直すことは現実的でない。既設の橋梁に適切な維持管理・補修・補強を施し、長期にわたり供用していくことが重要である。

こうした背景から、LCCの低減を目的として、近年の防食塗料には長期耐久性が求められている。耐久性の高い重防食塗装系は、鋼構造物を長期にわたって腐食から護り、美観性を維持することにより、塗り替え周期を延長するなどLCCの低減に寄与し、その長寿命化を支える役割を担っている。その役割を果たすため、重防食塗装系の上塗りには高い耐候性が必要であり、これまでふっ素樹脂塗料が数多く採用されてきた。

3. ふっ素樹脂塗料

3.1 ふっ素樹脂の構造

高い耐久性を実現する重防食塗装系は、優れた防食機能を発現する防食下地と、環境遮断を果たす下塗り、高い耐候性能を持つ上塗塗膜で構成される。上塗塗膜は、耐候性以外の機能を発現する中塗塗膜以下を護る非常に重要な役割を担っており、上塗塗膜が健

全な間は防食下地の消耗もないと発表されている⁴⁾。

ポリウレタン樹脂塗料を遥かに超える耐候性を持つのが、ふっ素樹脂塗料である。重防食塗装系の上塗塗料として多く用いられているFEVE(フルオロエチレンビニルエーテル)系ふっ素樹脂の構造を図2に示す。ふっ素モノマーとその他のモノマーが交互構造を持つふっ素樹脂の主鎖結合エネルギーは紫外線の最大エネルギーよりも大きく、自然光では原理的に分解しにくい(表2)。対してポリウレタンなど一般樹脂の主鎖結合エネルギーは紫外線最大エネルギーより小さいため、太陽光により分解が生じてしまう。

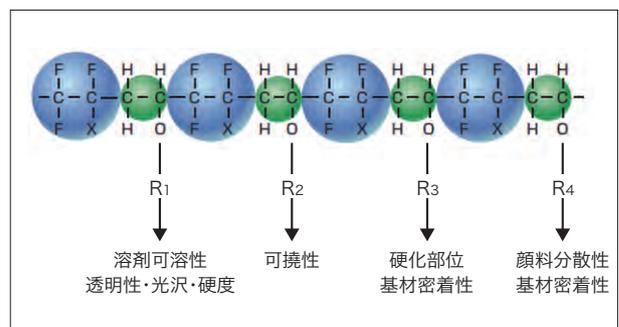


図2 塗料用ふっ素樹脂(FEVE)の分子構造例

表2 ふっ素化合物、一般化合物の結合エネルギーと自然光エネルギー

樹脂	主鎖結合	kJ/mol	主鎖以外の結合	kJ/mol
ふっ素化合物	CF ₃ -CF ₃	414	F-CF ₂ CH ₃	523
	CF ₃ -CH ₃	424	CF ₃ CH ₂ -H	447
一般化合物	CH ₃ -CH ₃	379	CH ₃ CH ₂ -H	411

*自然光の紫外線最大エネルギー411kJ/mol

3.2 ふっ素樹脂塗料の耐候性

3.2.1 第一向山橋

ふっ素樹脂塗料が重防食塗装系の上塗りとして使われ始めてから30年以上経過している。写真1は、防食下地としてジンクリッチペイント、上塗りにはふっ素樹脂塗装を施した橋梁(塗装後28年経過)の外観である。この橋梁では、同時期に塗装系の比較対照として、

アプローチ部分へ下塗りにシアナミド鉛さび止めペイント、上塗りにフタル酸樹脂塗装を施しており、塗装後16年を経過した状態が写真2である。

ふっ素樹脂塗料を用いた写真1の橋梁では、塗装後21年経過した調査時の光沢保持率は約90%であり、発錆や白亜化を起こさず健全な塗膜を維持できている状態であった。対して、フタル酸樹脂塗料は塗装後2年の時点で光沢保持率は50%以下、白亜化評点も7点(JIS K 5600)であった。塗装後16年経過した時点では、塗膜の著しい劣化が確認された。



写真1 塗装後28年経過したふっ素樹脂塗装



写真2 塗装後16年経過したフタル酸樹脂塗装

3.2.2 中国技術事務所屋上暴露試験

次に、15年間暴露した試験板の膜厚減耗量について説明する。暴露した場所は広島県安芸市の海より1 kmほど離れた所にある中国技術事務所の屋上で実施した(写真3)。



写真3 中国技術事務所屋上暴露試験

膜厚減耗量の測定方法を図3に示す。試験板の塗膜表面の一部に耐候性の良い樹脂テープを用いてマスキングを施すことにより、紫外線エネルギーの影響を受けない部分を作製した状態で暴露試験を実施する。経年後、試験板の断面観察を行い、塗膜劣化により膜厚減

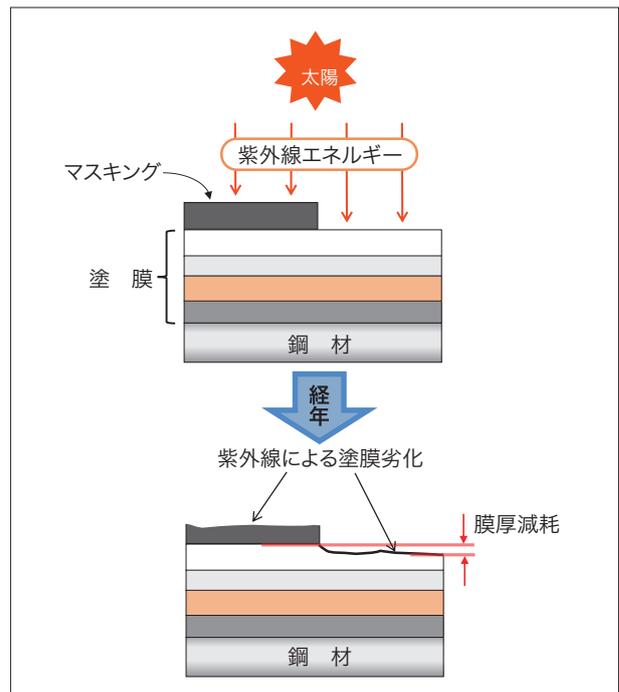


図3 膜厚減耗量の測定方法

耗した部分とマスキングで膜厚減耗していない部分の膜厚差を測定することにより、膜厚減耗量を求めた。

写真4、5は、ふっ素樹脂塗膜とポリウレタン樹脂塗膜をそれぞれ15年間暴露した試験板の断面写真である。ポリウレタン樹脂塗膜は2年を過ぎて大きく白亜化が発生しており、2年目以降の13年間で22～28 μm 以上減耗していると計測された。そのため、ポリウレタン樹脂塗料は1年間あたり約1.7～2.2 μm の膜厚減耗が生じると推定される。

一方、ふっ素樹脂塗料は15年経過後も膜厚減耗はほとんど見られなかった。

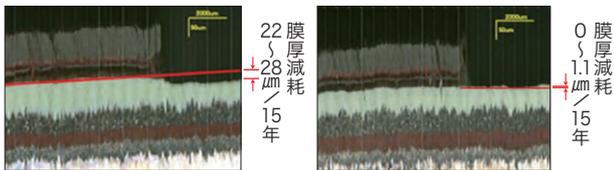


写真4 ポリウレタン樹脂塗膜の断面(暴露15年)
 写真5 ふっ素樹脂塗膜の断面(暴露15年)

4. 重防食塗装系における耐候性

現在、多くの鋼構造物における塗装仕様の基本となっている「鋼道路橋塗装・防食便覧」において、ふっ素樹脂塗料が上塗塗料の基本となったのが、平成17年である。塗膜の耐候性について、過去、様々な場で議論、研究発表などがされてきたが、重防食塗装系の確立に向けた大きな研究の一つに、国立研究開発法人土木研究所が行った「海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究⁵⁾」が挙げられる。

ここでは、構造物の耐久性向上を目指して、種々の塗装仕様の耐候性評価が行われている。その結果の一つである駿河湾における20年の暴露結果を図4、5に示す。ふっ素を始め、ウレタン、シリコンアルキドなど様々な樹脂の評価を行った結果、ふっ素樹脂が最も耐候性に優れていた。

また、当時と同様のふっ素樹脂塗料を促進耐候性試験(キセノンランプ法: JIS K 5600-7-7)に供した結果を図6に示す。促進暴露1万5000時間経過しても高い

光沢を保持できていることがわかる。

このように、現在、規定化されているふっ素樹脂塗料は研究当時の様々な評価結果によって、性能の裏打ちがなされていることがわかる。このような高い耐候性能を有した上塗塗膜と防食下地を組み合わせた重防食塗装系を用いることにより、LCCの低減が期待できる。

図7は一般塗装系と重防食塗装系のLCC比較である。一般塗装系は新設塗装後10年ごとに塗り替え塗装(下塗り(補修)+下塗り \times 2+中塗り+上塗り)を、重防食塗装系は新設塗装後50年ごとに塗り替え塗装(下塗り+中塗り+上塗り)を実施した場合の値(それぞれ素地調整、足場・防護工費用を含む)を示している。

また、一般塗装系については、塗り替え塗装によって塗り重ねられた膜厚の合計が500 μm 以上となる供用40年目に重防食塗装系に切り替えた場合の値も示している。構造物を100年の供用年数で考えた場合、重防食塗装系を用いることにより一般塗装系と比較してLCCを $\frac{1}{2}$ 程度まで低減できると予測される。

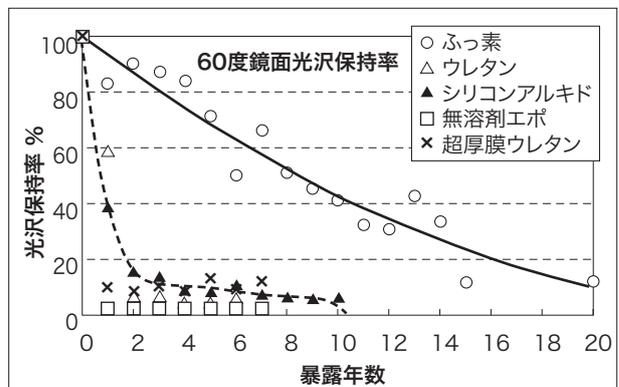


図4 駿河湾海上暴露20年の光沢保持率⁴⁾

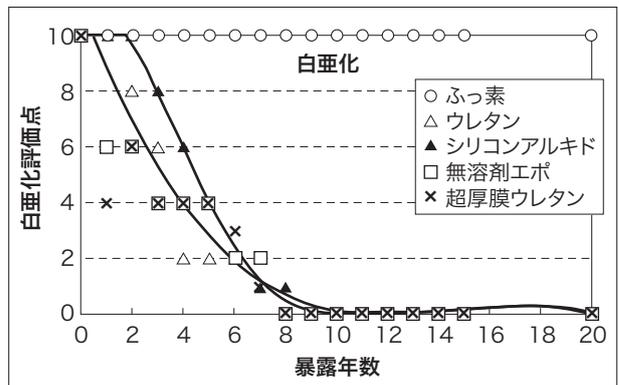


図5 駿河湾海上暴露20年の白亜化評点⁴⁾

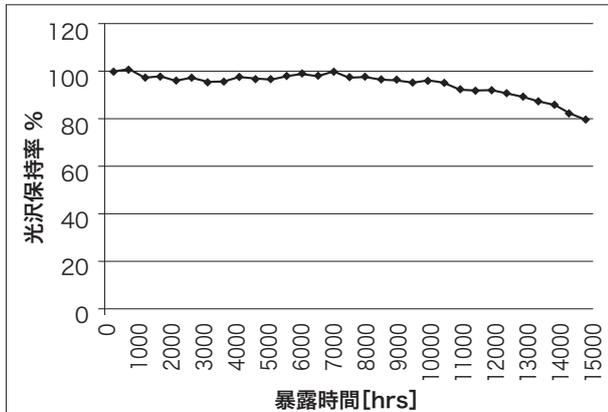
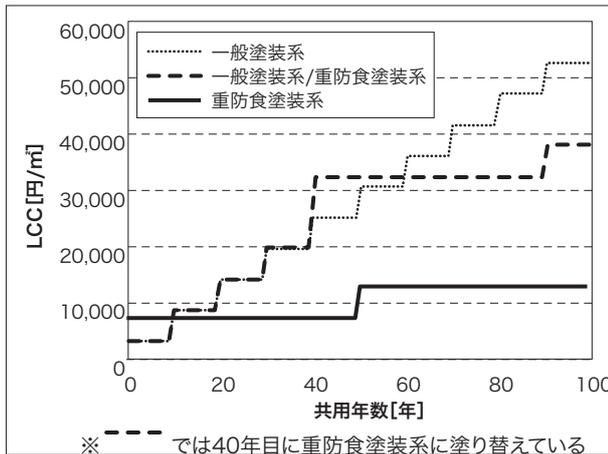


図6 ふっ素樹脂塗料の促進耐候性試験結果

図7 一般環境での一般塗装系と重防食塗装系LCC比較⁵⁾

5. JISの変遷

鋼構造物塗装上塗りに用いられる塗料用JIS規格は、2008年に大きな変更がなされている。これまで材料規格であったJIS K 5657鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料(2002年)とJIS K 5659鋼構造物用ふっ素樹脂塗料(2002年)が統合され、JIS K 5659鋼構造物用耐候性塗料(2008年)として性能規格化された。

材料規定から性能規定に変更されたことにより、材料規定の一つであったJIS K 5657(2002年)記載のNCO基の定性の表記や、JIS K 5659(2002年)記載の主剤の溶剤可溶物中のふっ素の定量(%)は記載がなくなった(表3)。

適用とする樹脂種はふっ素樹脂、シリコン系樹脂またはポリウレタン樹脂であり、それぞれ1～3級まで等級分けされている。1～3級の等級は主に耐候性性能によって分けられており、その等級分けを表4に示す。促進耐候性試験にはキセノンランプ法が用いられており、それぞれ1級が2000時間、2級が1000時間、3級が500時間となっている。

表3 JISと防食便覧の変遷

年	規格名	主な耐候性規格
2002年	JIS K 5657 鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料	<ul style="list-style-type: none"> キセノンランプ法 500時間で光沢保持率70%以上 屋外暴露2年で光沢保持率30%以上 NCO基の定性 など
	JIS K 5659 鋼構造物用ふっ素樹脂塗料	<ul style="list-style-type: none"> キセノンランプ法 1000時間で光沢保持率80%以上 屋外暴露2年で光沢保持率60%以上 ふっ素の定量15%以上 など
2005年	鋼道路橋塗装・防食便覧 (C-5、Rc-I、II、III、IV、Rzc-I)	上塗りは(弱溶剤)ふっ素樹脂塗料 塗料性能は2002年JIS K 5659に準ずる
2008年	JIS K 5659 鋼構造物用耐候性塗料	2002年のJIS K 5657およびJIS K 5659を統合 NCO基の定性、ふっ素の定量は無くなり性能規格となる など(表4参照)
2013年	鋼道路橋防食便覧 (C-5、Rc-I、II、III、IV、Rzc-I)	上塗りは(弱溶剤)ふっ素樹脂塗料 塗料性能は2008年JIS K 5659に準ずる

表4 2008年 JIS K 5659の上塗り等級

項目	上塗塗膜		
	1 級	2 級	3 級
促進耐候性	照射時間2000時間の促進耐候性試験に耐える。 光沢保持率 \geq 80%	照射時間1000時間の促進耐候性試験に耐える。 光沢保持率 \geq 80%	照射時間500時間の促進耐候性試験に耐える。 光沢保持率 \geq 70%
屋外暴露耐候性	暴露2年で 光沢保持率が60%以上、 白亜化の等級が1または0	暴露2年で 光沢保持率が40%以上、 白亜化の等級が2、1または0	暴露2年で 光沢保持率が30%以上、 白亜化の等級が3、2、1または0

*促進耐候性試験：キセノンランプ法

*耐える：割れ・はがれ・膨れがなく、色の変化が見本ヒント比べて大きくなり、白亜化等級が1または0

6. 耐候性低下の懸念

6.1 アクリルブレンド

前述の通り、高い耐候性を示すふっ素樹脂塗料であるが、ふっ素の定量(%)規定がなくなった現在のJIS規格においては、配合によって耐候性の低下を引き起こしてしまう可能性が有る。図8は、塗料配合中のふっ素樹脂とアクリル樹脂の比率を変え、サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機(SWOM)を用いて光沢保持率を比較した結果である。塗料中の樹脂成分にふっ素樹脂を100%用いたものと比較し、アクリル樹脂の比率を高めるほど、暴露時間に伴う光沢保持率が早く低下し始めることがわかる。

現在、鋼構造物に普及しているふっ素樹脂塗料は、その多くが塗料中の樹脂成分に一定以上のふっ素樹脂を使用している。様々な規格で期待されている耐用年数、LCCなどは、過去のJISで規定されたふっ素の定量(%)項目を満足した製品で得られたデータを基に算定されていると思われる。

今後、さらなる耐候性が期待されるなか、ふっ素樹脂塗料におけるふっ素の定量(%)は過去から検証された性能の裏付けとして重要であり、高耐候性確保の一要因となると考える。

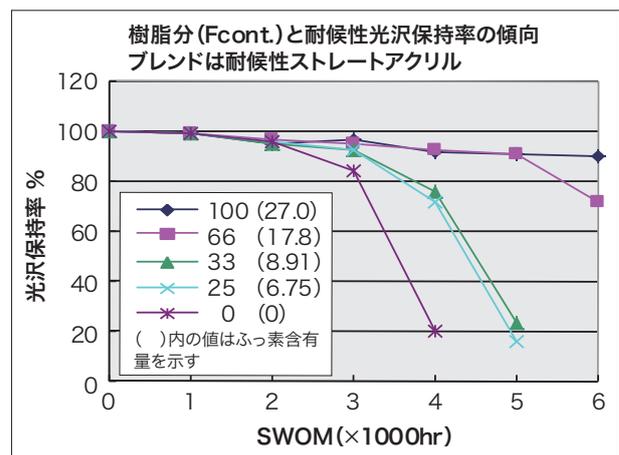


図8 ふっ素含有量と耐候性の関係性

6.2 適切な塗膜の耐候性について

ウレタン樹脂塗料とふっ素樹脂塗料について、図9に促進耐候性試験(キセノンランプ法)、図10に千葉県銚子市にて実施した暴露試験の結果を示す。

キセノンランプ法では、市販のウレタン樹脂塗料とふっ素樹脂塗料のどちらでも、JIS K 5659 1級の条件である暴露時間2000時間で光沢保持率80%以上を満たしているが、暴露時間2000時間を過ぎたあたりからウレタン樹脂塗料は急激な光沢低下が見られている。また、銚子での暴露試験でも、ウレタン樹脂塗料とふっ素樹脂塗料は1級の規格である暴露期間2年で光沢保持率60%以上を満たしているが、暴露期間2年を過ぎたあたりからウレタン樹脂塗料は急激な光沢低下が起きている。

前述の通り、現在の重防食塗装系が規定された背景において、重防食塗装系に求められる上塗塗膜の耐候性は、JIS規格で規定されている耐候性規格に比べてはるかに高い性能である。重防食塗装系により、多くの鋼構造物の長寿化に貢献してきた現在、JIS規格の塗料、塗膜性能を満たしながら、上塗塗膜の耐候性においては、さらに高い品質の確保に期待したい。

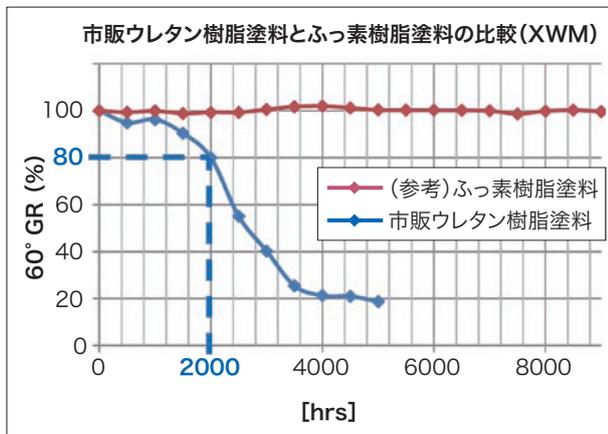


図9 市販ウレタン樹脂塗料とふっ素樹脂塗料の比較 (キセノンランプ法)

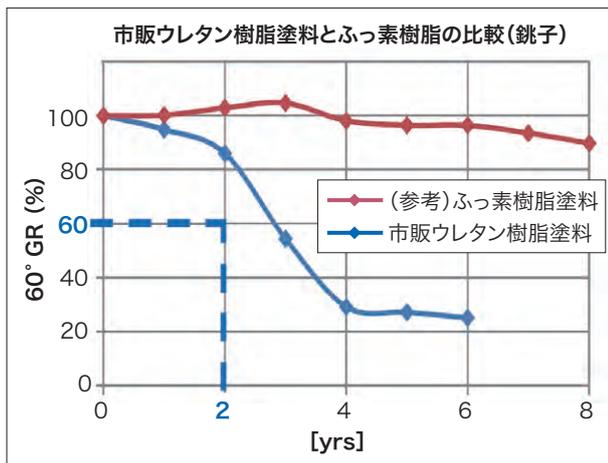


図10 市販ウレタン樹脂塗料とふっ素樹脂塗料の比較 (銕子暴露)

7. 近年実用化されている技術

7.1 厚膜形ふっ素樹脂塗料

厚膜形ふっ素樹脂塗料とは、従来よりも厚膜での施工が可能となるよう配合設計されたふっ素樹脂塗料である。1回の塗装で乾燥膜厚55 μ mの厚塗りが可能であり、従来の重防食塗装系における中塗塗装(30 μ m)、上塗塗装(25 μ m)という2回の工程を1回に短縮する省工程仕様が可能となる。厚膜形ふっ素樹脂塗料を適用した新設時の塗装仕様例を表5に示す。

耐候性の優れた(塗膜の減耗速度の遅い)ふっ素樹脂塗料を厚膜で施工することにより、防食下地であるジंकリッチ塗膜などの下層塗膜をより長期間に亘って健全な状態で維持できると考えられる。その結果、塗り替え周期の長期化が可能となり、塗装系のさらなる高耐久化が期待される。厚膜形ふっ素樹脂塗料はその優れた耐候性が認められ、長期的な耐久性と景観保持が求められる「東京スカイツリー®」にも採用されている。

7.2 高耐久性ふっ素樹脂塗料

一般的に淡彩系の色相では、塗膜中に白色顔料の酸化チタンが多量に配合されている。上塗塗膜の劣化は、紫外線や水、温度、塩分などの環境影響を受けると共に酸化チタンの光触媒作用も一要因であると推測されるが、それが想定以上に早いことが課題であった。この課題を克服することにより、従来のふっ素樹脂塗料より優れた耐候性を有するふっ素樹脂塗料を開発した。本州四国連絡高速道路株式会社では、宮古島、大鳴門橋における暴露試験および瀬戸大橋で行った実橋試験塗装の結果を踏まえ、高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(暫定)の塗料規格を制定している⁷⁾。同規格における屋外暴露耐候性の品質に含まれる光沢保持率については「宮古島試験場での光沢保持率が、暴露期間3年で50%以上」となっている。

従来のふっ素樹脂塗料と高耐久性ふっ素樹脂塗料の宮古島暴露試験結果⁸⁾を図11、12に示す。暴露期間3年(36ヶ月)での光沢保持率は、高耐久性ふっ素

表5 厚膜形ふっ素樹脂塗料を適用した塗装仕様例(新設時)

	東京都VOC対策ガイド ⁶⁾ 記載 C-5塗装系(現行)		厚膜形ふっ素樹脂塗料システム (省工程仕様)		厚膜形ふっ素樹脂塗料システム (環境負荷低減省工程仕様)		
	塗料名	標準膜厚 (μm)	塗料名	標準膜厚 (μm)	塗料名	標準膜厚 (μm)	
工 程	素地調整	プラスト処理 ISO Sa2 ½	—	プラスト処理 ISO Sa2 ½	—	プラスト処理 ISO Sa2 ½	—
	プライマー	無機ジंकリッチプライマー	(15)	無機ジंकリッチプライマー	(15)	無機ジंकリッチプライマー	(15)
	2次素地調整	プラスト処理ISO Sa2 ½	—	プラスト処理 ISO Sa2 ½	—	プラスト処理 ISO Sa2 ½	—
	防食下地	無機ジंकリッチペイント	75	無機ジंकリッチペイント	75	有機ジंकリッチペイント	75
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	—	エポキシ樹脂塗料下塗	—	—	—
	下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	120	エポキシ樹脂塗料下塗	120	エポキシ樹脂塗料下塗	120
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	30	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗	55	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗	55
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	25				
	合 計	—	250	—	250	—	250
塗装工程数	6工程		5工程		4工程		
VOC排出量 (g/m^2) ^{※1}	899		773		618		
VOC削減率 (%) ^{※2}	基 準		14%		31%		

(注意)

※1: VOC排出量は「鋼道路橋防食便覧」規定の最大希釈量でそれぞれ希釈した場合の値を算出。

但し、便覧に記載のない塗料は塗料メーカーの社内基準値の最大値で算出。

※2: VOC削減率は「東京都VOC対策ガイド」記載のC-5塗装系のVOC量899 g/m^2 を基準値として算出。

樹脂塗料が50%以上であるのに対し(図12)、従来のふっ素樹脂塗料は大半が20%以下であることから(図11)、同規格における屋外暴露試験が非常に厳しい条件であることがうかがえる。

7.3 水性ふっ素樹脂塗料

水性ふっ素樹脂塗料とは、塗料配合中の溶媒が水である環境対応形塗料である。耐候性について、従来の溶剤形ふっ素樹脂塗料とキセノンランプ法で比較した結果、溶剤形と同等の性能を示した(図13)。

また、水性ふっ素樹脂塗料の下層となる防食下地から中塗りを全て水性化した水性重防食塗装仕様(表6)を用いた場合、塗装時における揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)の排出量を従来の溶剤形と比べて、約90%削減することができる(図14)。

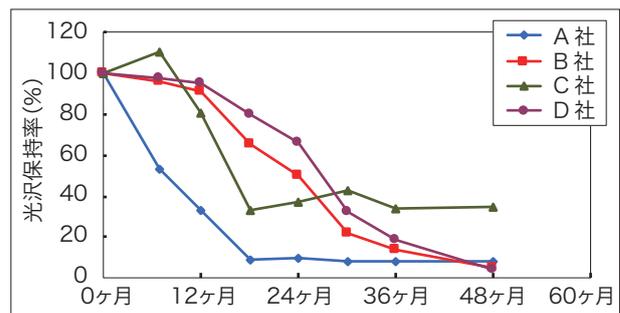


図11 従来のふっ素樹脂塗料の耐候性

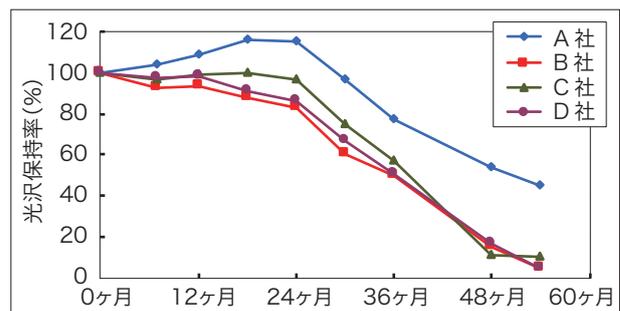


図12 高耐久性ふっ素樹脂塗料の耐候性

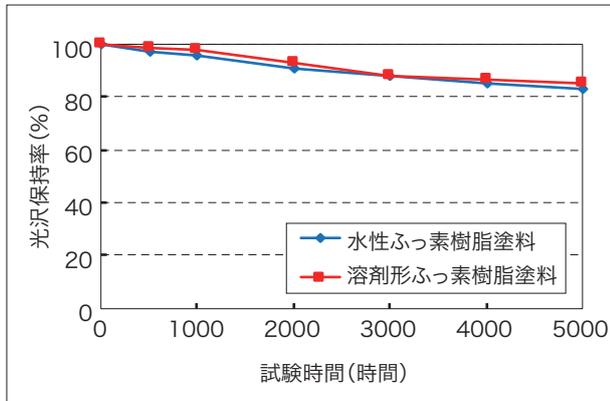


図13 水性ふっ素樹脂塗料の促進耐候性試験結果

表6 水性重防食塗装仕様

		塗料名	標準膜厚 (μm)
工 程	素地調整	ブラスト処理ISO Sa2 1/2	—
	防食下地第1層	水性有機ジンクリッチペイント	37.5
	防食下地第2層	水性有機ジンクリッチペイント	37.5
	下塗り第1層	水性エポキシ樹脂塗料下塗	60
	下塗り第2層	水性エポキシ樹脂塗料下塗	60
	中塗り	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	30
	上塗り	水性ふっ素樹脂塗料上塗	25
	合計膜厚	—	250

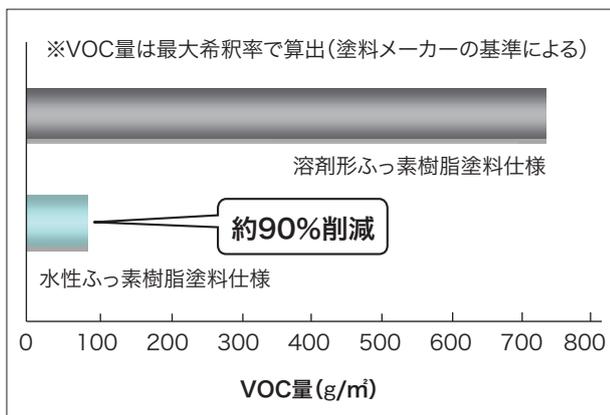


図14 VOC排出量の比較

8. おわりに

高齢化橋の割合が加速度的に増加する社会的背景において、これらを長期間腐食から護り、美観性を維持することで、その長寿命化を支えることが重防食塗装系の役割である。本報では、重防食塗装系の上塗りとして採用されているふっ素樹脂塗料の優れた塗膜性能について説明した。また、近年実用化されている技術として、耐久性向上を期待した厚膜形ふっ素樹脂塗料、高耐久性ふっ素樹脂塗料および環境に配慮した水性ふっ素樹脂塗料を紹介した。いずれも地球環境に配慮したLCC低減を果たす技術として、今後の活躍を期待したい。

一方、現在の重防食塗装系が規定された背景において上塗塗膜に求められた耐候性はJIS規格で規定されている耐候性規格に比べ、はるかに高い性能であった。本来のふっ素樹脂塗料のもつ高い耐候性能を今後も役立てていけるような適切な品質規格が必要であるとする。重防食塗装系の信頼性が重要視される状況下、JIS規格の塗料、塗膜性能を満たしながら、上塗塗膜の耐候性においては、さらに高い品質を確保することが望まれる。

現代において、新材料を実用するための性能規定の考え方は柔軟でその方向性を研鑽していくことは非常に良いことであると思う。過去から実証してきた期待する性能と材料の持つ性能のバランスを十分加味した性能規定、必要に応じた部分的な成分規定など、材料選択の自由度を極力制約せず、新しい技術や高機能の価値を認め、取り込むことができる仕組み作りも重要である。

※本報は(一社)日本橋梁建設協会の2016年度、17年度の橋梁技術発表会に寄稿した内容を筆者自ら編集し、(株)橋梁通信社2018年2月発刊『防食ソリューション』へ寄稿した内容を転載しています。

謝 辞

本報をまとめるにあたり、AGC(株)笹原様他ルミフロン®関係各位には多大なるご協力を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:鋼道路橋塗装・防食便覧,
II-6, 2005
 - 2) (公社)日本道路協会:鋼道路橋防食便覧,
II-6, 2014
 - 3) 国土交通省道路局:道路構造物の現状(橋梁),
p.1, 2013
 - 4) (社)日本塗料工業会:重防食塗料ガイドブック
第4版, p.145, 2013
 - 5) (国研)土木研究所:共同研究報告書354 海洋構
造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書,
p.27, 2007
 - 6) 東京都VOC対策ガイド〔建築・土木工事編〕
付表I-3, 2013
 - 7) 栗野純孝、矢野賢晃、籠池利弘:高耐久性ふっ素樹
脂塗料上塗(暫定)規格の制定, 本四技報 35, 116,
pp.2-7, 2011
 - 8) 大塚雅裕、蔵森和生:環境に配慮した塗料の開発,
本四技報38, 122, p.3, 2014
-

水性重防食塗料の現状と当社の取り組み

Present Situation Future Initiatives of Water-borne Heavy-duty Anticorrosion Coatings

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



山内 健一郎
Kenichiro YAMAUCHI

1. はじめに

大気汚染の主な原因物質の1つとされる揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)の排出量削減のために、塗料の水性化、低溶剤化、無溶剤化が検討されている。その中でも、塗料の水性化は火災リスクに対する安全性や作業・周辺環境への環境対策として最も有効な手法である。近年、鋼構造物塗装においても水性塗料の開発、適用性の検討が実施され、実用化が進められており、水性塗料の規格制定や一部の鋼構造物管理団体においては塗装基準への採用といった動きもある。

本報では、鋼構造物塗装に適用する水性塗料(水性重防食塗料)の塗料規格・塗装基準を整理するとともに、当社の取り組みについて紹介する。

2. 水性重防食塗料の規格・基準動向

水性重防食塗料に関する主な塗料規格および塗装基準を表1に示す。なお、水を主な媒体とする塗料に関しては、各塗料規格・塗装基準によってその表記が異なる。本報においては、各規格・基準の記載内容に従い「水性塗料」または「水系塗料」と表記する。

表1 水性重防食塗料に関する主な塗料規格および塗装基準

塗料規格・塗装基準	発行年	発行所	内容
鋼構造物塗装設計施工指針	2005	公益財団法人 鉄道総合技術研究所	塗り替え塗装系にECO1-7、ECO2-7塗装系を設定 *中塗りおよび上塗り塗料に水系塗料を適用
	2013		新設塗装系にJECO-2塗装系を設定 *中塗りおよび上塗り塗料に水系塗料を適用
鋼道路橋防食便覧	2014	公益財団法人 日本道路協会	付属資料「塗装に関する新技術」に環境に優しい塗装仕様の例(新設塗装系、塗装系)を掲載 *有機ジンクリッチペイント、下塗り、中塗り、上塗り塗料に水性塗料を適用
日本塗料工業会規格JPMS30 鋼構造物用水性さび止めペイント	2016	一般社団法人 日本塗料工業会	鋼構造物用途の下塗り塗料を対象とした水性さび止めペイントの塗料規格
日本塗料工業会規格JPMS31 鋼構造物用水性耐候性塗料	2016	一般社団法人 日本塗料工業会	鋼構造物用途の中塗り、上塗り塗料を対象とした水性耐候性塗料の塗料規格
鋼橋塗装設計施工要領	2017	首都高速道路株式会社	新設塗装系(現場継手部)、塗り替え塗装系に水性塗料を適用した塗装系を設定 *下塗り、中塗り、上塗り塗料に水性塗料を適用

2.1 鋼構造物塗装設計施工指針 (公益財団法人 鉄道総合技術研究所)

2005年に改訂された鋼構造物塗装設計施工指針において、塗り替え時に適用する塗装系(ECO1-7塗装系、ECO2-7塗装系)が設定された。本塗装系は、長期耐久型でLCC(ライフサイクルコスト)の低減が可能であり、中塗りおよび上塗り塗料に水系塗料を用いることで環境負荷を軽減した塗装系である。表2にECO1-7塗装系を示す。

表2 ECO1-7塗装系
 (既設構造物/一般外面/塗り替え塗装系)¹⁾

工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	区分	塗装 間隔
第1層	厚膜形変性エポキシ 樹脂塗料	はけ・ローラー 200 (スプレー240)	補修	24時間 ~7日
第2層	厚膜形変性エポキシ 樹脂塗料	はけ・ローラー 200 (スプレー240)	補修	
第3層	水系エポキシ 樹脂塗料	はけ・ローラー 220 (スプレー260)	全面	24時間 ~7日
第4層	水系ポリウレタン 樹脂塗料上塗	はけ・ローラー 120 (スプレー160)	全面	

さらに、2013年の本指針改訂においては、新設時に適用する塗装系(JECO-2塗装系)が追加されている。JECO-2塗装系においても中塗り塗料、上塗り塗料に水系塗料を採用している。

なお、本指針には、新規採用した各種水系塗料(水系エポキシ樹脂塗料、水系ポリウレタン樹脂塗料用中塗、水系ポリウレタン樹脂塗料上塗)の塗料規格が規定され、いずれの水系塗料も組成中の溶剤含有量は10重量%以下としている。また、塗装後の降雨などによる塗料流れを懸念し、塗料の品質規格には初期耐水性の項目が設定されている。

2.2 鋼道路橋防食便覧 (公益社団法人 日本道路協会)

2006年より実施された独立行政法人土木研究所(現在の国立研究開発法人土木研究所)と塗料メーカー6社の共同研究において、新設塗装、塗り替え塗装について水性塗装系の塗膜性能試験、長期耐久性試験、施工性試験を行い、実用性の総合的評価がなされた²⁾。2010年の本共同研究に関する報告書「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」によると、各種水性塗料について以下の点が明らかになっている。

水性無機ジンクリッチペイントは、たれ限界や割れ限界が溶剤形無機ジンクリッチペイントと比較して劣り、施工時の湿度条件の影響も受けやすく、膜厚許容幅も狭く、ミストコートを施しても下塗り塗装時に泡が生じやすい傾向にあった。また、水性有機ジンクリッチペイントおよび水性エポキシ樹脂塗料下塗は、たれ限界膜厚が溶剤形と比較すると劣っていた。

以上より、本共同研究報告書においては、水性無機ジンクリッチペイントの適用は困難であると判断し、新設VOC削減暫定水性塗装仕様では溶剤形無機ジンクリッチペイントを適用している。また、水性有機ジンクリッチペイントおよび水性エポキシ樹脂塗料下塗についても、1回あたりの塗付膜厚を水性有機ジンクリッチペイントは37.5 μ m、水性エポキシ樹脂塗料下塗は40 μ mまたは45 μ mとする暫定水性塗装仕様を提案している。

表3には、旧塗膜が一般塗装系の場合の鋼道路橋塗り替えVOC削減暫定水性塗装仕様:素地調整程度1種(VOC削減率90%程度)を示す。本塗装仕様は、2014年に発刊された鋼道路橋防食便覧において、塗装に関する新技術の中で環境に優しい塗装仕様の例として紹介されている。

表3 環境に優しい塗装仕様の例
(一般外面用の塗り替え塗装系)
(素地調整程度1種、スプレー塗装)
(溶剤削減率約90%程度)³⁾

工 程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標 膜厚 (μ m)	塗装 間隔	
現 場	素地 調整	1種		4時間 以内	
	防食 下地	水性有機ジンクリッチ ペイント	300	37.5	1日 ~10日
	防食 下地	水性有機ジンクリッチ ペイント	300	37.5	1日 ~10日
	下塗り	水性エポキシ樹脂塗料 下塗	200	40	1日 ~10日
	下塗り	水性エポキシ樹脂塗料 下塗	200	40	1日 ~10日
	下塗り	水性エポキシ樹脂塗料 下塗	200	40	1日 ~10日
	中塗り	水性ふっ素樹脂塗料用 中塗	170	30	1日 ~10日
	上塗り	水性ふっ素樹脂塗料 上塗	140	25	1日 ~10日

2.3 日本塗料工業会規格JPMS30、JPMS31 (一般社団法人 日本塗料工業会)

2016年に、日本塗料工業会規格として鋼構造物用途の水性塗料の規格が制定された。下塗り塗料を対象としたJPMS30(鋼構造物用水性さび止めペイント)と、中塗りおよび上塗り塗料を対象としたJPMS31(鋼構造物用水性耐候性塗料)である。

JPMS30に規定される塗料品質を表4に示す。鋼構造物に適用する重防食塗装を対象とすることから、品質規格はJIS K 5551:2008(構造物用さび止めペイント)の反応硬化形変性エポキシ樹脂塗料のC種1号を基本とし、鋼構造物塗装設計施工指針に記載の水系エポキシ樹脂塗料の品質規格内容も参考にして制定されている。

表4 JPMS30(鋼構造物用さび止めペイント)の
塗料品質⁴⁾

項 目	品 質
容器の中の状態	かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。
低温安定性(-5℃)	変質しない。
半硬化乾燥性	半硬化している。
塗装作業性	支障がない。
塗膜の外観	正常である。
ポットライフ	規定時間後、使用できる。
たるみ性	たるみがない。
上塗り適合性	支障がない。
耐おもり落下性 (デュボン式)	割れおよびはがれがない。
付着性	分類1または分類0。
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または分類0。
サイクル腐食性	さび、膨れ、割れおよびはがれがない。
屋外暴露耐候性	さび、膨れ、割れおよびはがれがない。

JPMS31に規定される塗料品質を表5に示す。品質規格は鋼構造物用の中塗り、上塗り塗料のJIS規格であるJIS K 5659:2008(鋼構造物用耐候性塗料)を基本とし、鋼構造物塗装設計施工指針に記載の水系ポリウレタン樹脂塗料用中塗、水系ポリウレタン樹脂塗料上塗の品質規格内容も参考にして制定されている。

JPMS30、JPMS31はともに水性塗料の規格であることから、JIS K 5674(鉛・クロムフリーさび止めペイント)2種やJIS K 5660:2008(つや有合成樹脂エマルジョンペイント)などの水を主要な揮発成分とする塗料に規定されている低温安定性(-5℃)が品質規格項目として設定されている。

2018年5月現在、JPMS30、JPMS31については、JIS規格化への検討がなされている。

表5 JPMS31(鋼構造物用耐候性塗料)の塗料品質⁵⁾

項目	上塗り塗料			中塗り塗料
	1 級	2 級	3 級	
容器の中の状態	かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。			
低温安定性(-5℃)	変質しない。			
表面乾燥性	表面乾燥する。			
塗膜の外観	正常である。			
ポットライフ	規定時間後、使用できる。			
隠ぺい率 %	白・淡彩は90以上, 鮮明な赤および黄は50以上, その他の色は80以上			
鏡面光沢度(60度)	70以上			—
上塗り適合性	—			異常がない。
耐屈曲性	折曲げに耐える。			
耐おもり落下性(デュボン式)	塗膜に割れおよびはがれが生じない。			
層間付着性	I	—		異常がない。
	II	異常がない。		
耐アルカリ性	異常がない。			
耐酸性	異常がない。			
耐湿潤冷熱繰返し性	湿潤冷熱繰返しに耐える。			
加熱残分 %	白・淡彩は40以上, その他の色は30以上			白・淡彩は50以上, その他の色は 40以上
促進耐候性	照射時間2000時間の促進耐候性に耐える。	照射時間1000時間の促進耐候性に耐える。	照射時間500時間の促進耐候性に耐える。	—
屋外暴露耐候性	光沢保持率が60%以上で白亜化の等級が1または0	光沢保持率が40%以上で白亜化の等級が2, 1または0	光沢保持率が30%以上で白亜化の等級が3, 2, 1または0	—

2.4 鋼橋塗装設計施工要領 (首都高速道路株式会社)

2017年の鋼橋塗装設計施工要領の改訂において、水性塗料を採用した塗装系が設定された。本要領では、周辺環境への影響低減、作業環境の改善、地球環境への影響低減(VOC削減)、危険物の削減などの対策として、現場塗装する塗料については、従来の溶剤形塗料でしか品質や機能が確保できない場合を除き、水性塗料を適用した塗装系が採用されている。

水性塗料の適用範囲は、新設塗装系の現場継手部および塗り替え塗装系の下塗り、中塗り、上塗り塗料である。

本要領には、表6に示すような各種水性塗料の塗料規格が規定され、いずれの水性塗料についても揮発性有機溶剤量は10重量%以下、かつ非危険物であることとしている。

一般に水性塗料の乾燥性は、溶剤形塗料と比較して塗装時および塗装直後の温度・湿度影響を大きく受ける。本要領においては、実工事を想定して塗装の可否に関わる気象条件を詳細に規定している。水性エポキシ樹脂塗料、水性エポキシ樹脂塗料中塗りの塗装禁止条件は気温10℃以下、湿度85RH%以上、さらに低温時(5~10℃)については湿度70RH%以下を条件に塗装

できるものとし、気温5°C以下の条件は湿度に関わらず塗装不可としている。

表6 鋼橋塗装設計施工要領に規定の水性塗料規格⁶⁾

規 格	塗料名
SDK W-513	水性エポキシ樹脂塗料
SDK W-522	水性エポキシ樹脂塗料中塗
SDK W-531	水性ポリウレタン樹脂塗料
SDK W-534	水性ふっ素樹脂塗料

3. 当社の取り組み 「DNT水性重防食システム」

当社においては、2012年に水性有機ジンクリッチペイント、水性変性エポキシ樹脂下塗塗料、水性エポキシ樹脂中塗塗料、水性ポリウレタン樹脂上塗塗料、水性ふっ素樹脂上塗塗料を発売し、これらで構成される「DNT水性重防食システム」を市場に提供している。上塗りに水性ポリウレタン樹脂塗料を適用する水性ポリウレタンシステムと、水性ふっ素樹脂塗料を適用する水性ふっ素システムがある。

「DNT水性重防食システム」を構成する防食下地、下塗り、中塗り、上塗り塗料の製品群を表7に、水性ふっ素システムの塗装仕様例を表8に示す。

本塗装システムおよび構成塗料の主な特長を以下に記す。

- ①重防食塗装系を全て水性塗料で設計できる
(ジンクリッチペイント/下塗り/中塗り/上塗り)
- ②反応硬化形塗料であり、溶剤形塗装システムと同等の塗膜性能(防食性、耐候性など)を有する
- ③溶剤形塗装システムと比較して、VOCを大幅に削減できる
- ④非危険物であり、保管数量に制限がない
- ⑤塗料中に有害な重金属(鉛・クロムなど)を含まない

表7 DNT水性重防食システムを構成する塗料

種類	一般名	製品名
防食下地	水性有機ジンクリッチペイント	水性ゼッターEP-2HB
下塗り	水性変性エポキシ樹脂下塗塗料	水性エポオール
中塗り	水性エポキシ樹脂中塗塗料	水性エポニックス 中塗
上塗り	水性ふっ素樹脂上塗塗料	水性Vフロン#100H 上塗
	水性ポリウレタン樹脂上塗塗料	水性Vトップ#100H 上塗

表8 「DNT水性重防食システム」の塗装仕様例(水性ふっ素システム/はけ・ローラー塗り)

工 程	製品名	標準膜厚 ($\mu\text{m}/\text{回}$)	標準使用量 ($\text{g}/\text{m}^2/\text{回}$)	塗装間隔 (20°C)
素地調整	ブラスト処理 (ISO Sa2 1/2)			4時間以内
防食下地第1層	水性ゼッターEP-2HB	37.5	220	16時間~1ヶ月
防食下地第2層	水性ゼッターEP-2HB	37.5	220	
下塗り第1層	水性エポオール	60	260	16時間~1ヶ月
下塗り第2層	水性エポオール	60	260	16時間~10日
中塗り	水性エポニックス 中塗	30	130	16時間~10日
上塗り	水性Vフロン#100H 上塗	30	130	16時間~10日
				—

「DNT水性重防食システム」は、有機ジンクリッチペイントについても水性化を達成している。海浜地域などの厳しい腐食環境において長期的に鋼材を腐食から護るためには、鋼材に対して犠牲防食作用を示すジンクリッチペイントの適用が効果的であるが、こうした厳しい腐食環境にオール水性塗装システムを適用することができる。

また、構成塗料は全て反応硬化形塗料であり、主剤、硬化剤にそれぞれ含まれる樹脂同士が反応硬化(架橋)することによって強固な塗膜を形成する。したがって、溶剤形塗装システムと同等の塗膜性能(防食性、耐候性など)を発揮することができる。

さらに、各塗料中の主溶媒および希釈剤が水であることから、既存の溶剤形塗装システムと比較して、新設塗装系では約90%、塗り替え塗装系では約85%のVOCを削減することができる。塗装時の有機溶剤に起因する臭気もほとんどなく、塗装作業環境の大幅な改善ができる。

消防法上、全ての構成塗料が非危険物の取り扱いとなるため、倉庫での保管数量に制限がなくなるとともに、火災に対する安全性の高い材料である。

4. おわりに

鋼構造物塗装における水性塗料の規格・塗装基準の動向を整理するとともに当社の取り組みを紹介した。塗料メーカーにおいては、原材料および塗料配合技術の進歩に伴い、高い耐久性を要求される鋼構造物に適用可能な水性塗料が開発されてきている。首都高速道路株式会社においては実工事での施工実績が積み上げられている。一方で、2018年内に水性重防食塗料のJIS規格化の動きもある。今後の鋼構造物塗装において、安全性や環境対策に有効な水性塗料の普及が期待される。

参考文献

- 1) 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-16(2013)
- 2) 独立行政法人 土木研究所, 関西ペイント株式会社,
株式会社トウペ, 神東塗料株式会社, 中国塗料株式
会社, 日本ペイント株式会社, 大日本塗料株式会社：
共同研究報告書整理番号第411号
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, pp.III-237-239(2010)
- 3) 公益社団法人 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧,
p.II-208(2014)
- 4) 一般社団法人 日本塗料工業会：
鋼構造物用さび止めペイント JPMS30, p.2(2016)
- 5) 一般社団法人 日本塗料工業会：
鋼構造物用耐候性塗料 JPMS31, p.3(2016)
- 6) 首都高速道路株式会社：鋼橋塗装設計施工要領,
p.I-5(2017)

プラスチック塗料の動向と今後

Plastics Coatings Trends and Possibilities

塗料事業部門
車輦産機・プラスチック塗料事業部
自動車プラスチックテクニカルサポートグループ
Coating Business Division
Rolling Stock, Machinery & Plastic Coating Department
Automotive & Plastic Coating Technical Support Group



橋田 智史
Satoshi Hashida

1. はじめに

近年、自動車業界におけるトレンドは、安全性能、快適性、環境性能の向上が挙げられる。自動運転技術の確立や電動化の進展によって、安全性能、快適性の向上が目覚ましく進んでいる。環境性能の向上としては、今後益々厳しくなると予想される燃費・排ガス規制に対応するために低燃費化が進められている。

また、自動運転や電動化を実現させるためには、電装部品の搭載量が増し、車体重量とバッテリー負荷が増加するため、低燃費化とあわせ益々車体重量の軽量化が求められている。そのため、現在様々な部品において、金属から軽量である樹脂へのシフトに大きな期待が集まっている。意匠面においてもマツダ株式会社が小型スポーツカー内装部品や、SUVでの外装品（フロントグリルなど）に塗装レスの樹脂成型を採用したと発表され、塗料業界では益々塗装でしか表現できない意匠や機能を持った塗料の開発が急務となっている。

そこで本報では、自動運転化に対応した塗料、軽量化新素材に対する弊社の塗料開発、環境対応塗料、さらには高意匠、高機能化の取り組みを報告する。

2. 自動運転技術対応

2.1 自動運転技術

自動運転は、米国に拠点を置く非営利団体である自動車技術者協会(SAE International; Society of Automotive Engineers)によって表1のようにレベル分けされている。

表1 自動運転レベルの定義概要

レベル	名称	定義
0	運転自動化なし	運転者による、全ての運転動作の実施
1	運転者支援	システムが前後・左右のいずれかの車輦制御に係る運転操作の一部を実施
2	部分運転自動化	システムが前後・左右の両方の車輦制御に係る運転操作の一部を実施
3	条件付運転自動化	システムが全ての運転タスクを実施(限定条件下)システムからの要請に対する応答が必要
4	高度運転自動化	システムが全ての運転タスクを実施(限定条件下)システムからの要請に対する応答が不要
5	完全運転自動化	システムが全ての運転タスクを実施(限定条件なし)システムからの要請に対する応答が不要

SAE J3016(2016) 国土交通省 自動車局 技術政策課
第2回 自動運転における損害賠償責任に関する研究会

自動運転では、カメラやレーダーといったセンサーから得られた情報と、高精度な3Dデジタルマップを照合し、まず現在の自車位置の特定および道路の車線と周辺の障害物の有無を確認する。周囲の状況を認知した後に、走行する進路を判断し、その進路を走行するための運転操作をアクチュエーターに指示することで、自動運転が行われる。その運転操作の結果、自車が進んだ位置と周囲の変化は瞬時にセンシングされて、次の認知・判断へフィードバックされる(図1)。

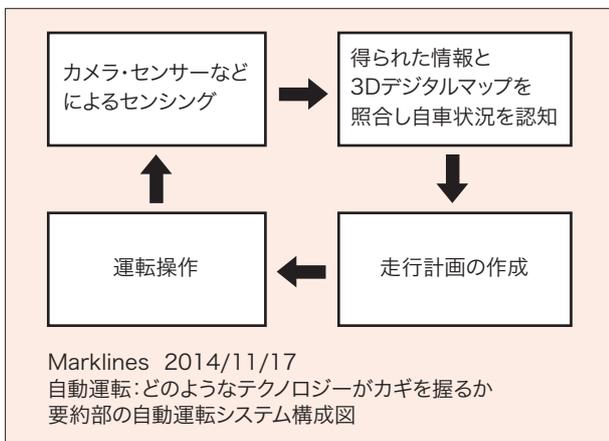


図1 自動運転システムの概要図

センシングの際に、用途に応じて、ミリ波レーダー、レーザーレーダー、レーザーสキャナー、カメラ、超音波ソナーが使われている。運転支援システムでは先行車との距離を把握するために、レーザーレーダーやステレオカメラを使うことで性能向上が進められてきたが、高速での測定距離や悪天候下での精度を求めるとミリ波レーダーの性能が必要となる。

ミリ波レーダーは高周波電波を対象物に向けて送信し、対象物からの反射波を受信し、その時間遅れや周波数の変化から、距離、相対速度を算出する。高周波帯の電波は、光のように直進性があり、光より波長が長いため雨、雪、霧などの影響を受けにくい利点がある。

2.2 ミリ波レーダー対応塗料

センシングに使用されるミリ波レーダーの受発信機は、車体前部に搭載されている。車体前部に取り付けてあるフロントグリルには意匠性を高めるためにアルミ蒸着処理などが施されているが、このアルミ蒸着膜によってミリ波レーダーが遮断されてしまう問題があった。

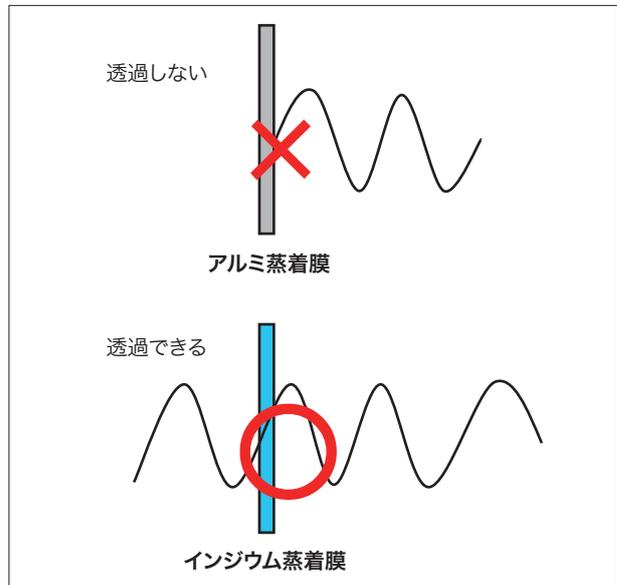


図2 ミリ波レーダー透過の概要図

そこで自動車部品メーカーでは、アルミ蒸着を電磁波が透過できるインジウム蒸着への変更を行っている。インジウム蒸着膜は、金属光沢がありながら不連続な膜を形成するため電磁波を透過させることができる性質を持っている。インジウム蒸着は、部品素材であるABSやポリカーボネートへ直接付着しないため、インジウム蒸着膜を担持・保護する媒体が必要である。

その維持・保護する塗料として、当社ではアクリルポリオールイソシアネート硬化形ウレタン塗料「プラニット#610B改」、「プラニット#610T改」をラインナップしている。プラニット#610B改は素材への高い付着力を有する塗料であり、素材-インジウム蒸着層の間に塗装し、素材の保護とインジウム蒸着膜担持の役割を果たしている。プラニット#610B改の上に蒸着されたインジウム膜を保護する役割は、プラニット#610T改が果たす(図3)。

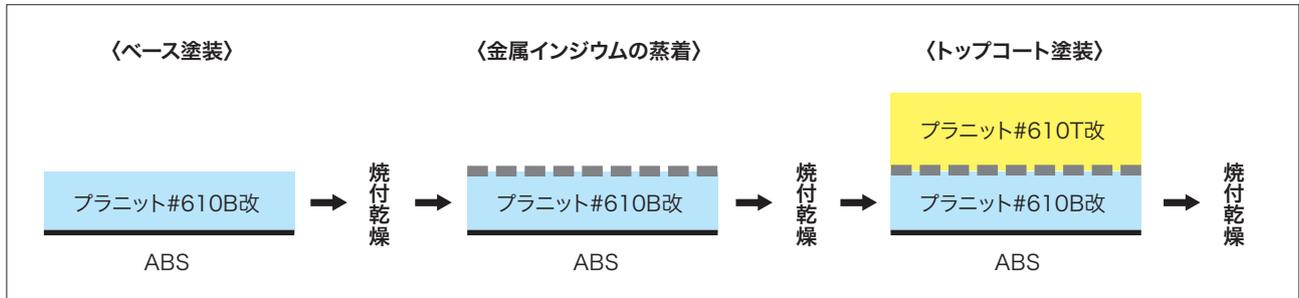


図3 インジウム蒸着膜の塗装仕様

通常のベースクリヤーの塗装仕様とは異なり、ベース上にインジウム膜が存在するため、インジウム膜の不連続性を利用した設計をしている。すなわち、プラニット#610T改にはプラニット#610B改に対する高い付着力を有するように設計することで、インジウム膜を通して付着性を持たせている。またプラニット#610T改には、ユーザーの要望に応えるべく、透明～着色されたクリヤーのラインナップがあり、既に自動車部品メーカーにて採用・量産されている。

3. 環境対応

3.1 車体軽量化

各自動車メーカーでは、自動運転・電動化を推進するとともに年々厳しくなる燃費規制および排ガス規制対応として、パワートレイン(エンジンで発生した回転エネルギーを駆動軸に伝える装置総称)の改良だけでなく、車体の軽量化技術も開発されている。現在、鉄が主体となっている車体やパワートレイン、足回り部品においてアルミニウムやマグネシウムといった軽金属や樹脂、金属-樹脂複合材料、新素材である炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)などによる代替検討が進められている。

表2 各メーカーの軽量化への取り組み

レベル	部 品	特 徴
ダイキョーニシカワ	バックドア	高衝撃・体熱膨張のポリプロピレンとガラス繊維強化ポリプロピレンの組み合わせにより鉄製のバックドアと比較して約20%(5kg)の軽量化
アイシン化工	オイルパン	トランスミッション内のオイルパンをガラス繊維強化66ナイロンにより樹脂化。重量も鉄製のオイルパンと比較して約40%(700g)軽量化
住友電工	シートバックフレーム	高延性、高強度のマグネシウム合金AZ91を使用した圧延板材を使用。鋼フレームと比較して、約60%軽量化。
住友ベークライト	エンジンバルブカバー	フェノール製樹脂バルブカバーを開発。アルミ製バルブカバーと比較して約30%軽量化
	エンジンシリンダーブロック	ガラス繊維強化フェノール樹脂やカーボンファイバー強化フェノール樹脂により、約14-28%の軽量化
東洋紡	エンジンルーム内耐熱エアダクト	硬質ポリアステルエラストマーと軟質PBTの組み合わせにより従来のゴム-金属複合材と比較して約40%(500g)軽量化
Mubea	ホイールリム	アルミホイールリム部およびスポーク部をCFRPに置き換えることで、鋳造品と比較して約25%(10kg)の軽量化
	ボディ(キャビン)	フォルクスワーゲンと共同開発したCFRPとアルミ複合材を使用。スチールボディより軽量のアルミボディと比較して約20%(40kg、スチールボディと比較して190kg)軽量化
アーク	ドアインパクトビーム	高強度の7000系アルミを使用し成型後の硬化処理により高張力鋼板と同等の強度を実現。鉄製のパイプとブラケットを使用したビームと比較して約55%軽量化

MARKLINESの資料より作成

最新の軽量化技術: オートモーティブワールド2017

CFRP適用技術の欧州動向: 人とくるまのテクノロジー展2016

3.1.1 マグネシウム素材用塗料

マグネシウムは、実用金属の中で最軽量(比重:鉄7.9、アルミニウム2.7、マグネシウム1.7)であり、比強度、比剛性、切削性が良好でまたリサイクル可能な素材である。

当社では、マグネシウム素材用塗料としてエポキシ系下塗りと焼付アクリルメラミン系塗料をラインナップしている。

3.1.2 CFRP対応塗料

CFRPは、炭素繊維が配合された強化プラスチックであり、非常に軽く(比重 約1.6)、また高強度(鉄の約2倍)、高剛性(鉄の約2倍)を有する新しい素材である。CFRPの母材(炭素繊維によって強化される樹脂)は、熱硬化性樹脂(エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂、フェノール樹脂など)と、熱可塑性樹脂(ポリアミド樹脂、ポリプロピレン樹脂など)に分けられる。特に熱可塑性CFRPは、CFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics)と称される。

CFRPの特長である軽量・高強度・高剛性の性質から、金属に置き換わる新素材として、自動車メーカー各社にて検討が進められており、塗料メーカー各社においてもCFRP対応塗料の開発を進めている。

3.2 環境対応

塗料・塗装に求められる環境負荷低減要求としては、工程内のCO₂低減やVOC(Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)の低減といったものが挙げられる。

CO₂は、塗装ブースや乾燥炉の稼働に使用される電気や燃料の燃焼により発生する。2C1B、3C1B化(C:塗装回数、B:乾燥回数、複数回の塗装に対して乾燥を1回で仕上げる)といった工程削減や、乾燥時間の短縮、ブースの小型化といったもので対策している。

塗装は、VOCの発生源として最大の要因であり約40%を占めている。自動車関連工場での製造・修理もその中の上位に位置しており、各自動車メーカー・部品メーカーもVOCの発生抑制を進めている。塗着効率の

向上や、塗料の水系化といった対策を各社進めているが、特に当社が進めている塗料の無溶剤化について説明する。

3.2.1 無溶剤系塗料

VOC発生量を削減するための1つの手法として、無溶剤系塗料を使用する方法がある。無溶剤系の塗料として、UV硬化塗料、粉体塗料、IMC(In-Mold Coating)塗料が挙げられる。プラスチック自動車部品を被塗物として考えた場合、UV塗料では部品構造の複雑さから均一にUVが照射されないこと、粉体塗料では溶融する温度域では素材も溶融してしまうことから不向きである。

IMCは、樹脂を金型に注入時に高圧で塗料を注入あるいは成型後に金型を少し開き塗料を注入、加熱硬化することで成型品の表面に塗膜を形成させる塗装方法である。塗料系が無溶剤であり、さらに樹脂成型時に塗装を行うことができるという利点がある。

当社では、不飽和ポリエステル無溶剤系IMC塗料を既に自動車外装部品用塗料として、自動車部品メーカーにて採用・量産を行っている。

4. 高付加価値化

前述した通り、内外装部品に塗装レス樹脂成型品を採用したマツダ株式会社を始め、コストダウン、工数削減、環境対応の観点から塗装レスの成型技術開発が進められている。

我々塗料メーカーとしては、塗料・塗装でしか表現できない高意匠・高機能を有した塗料の開発が必須となってくる。

4.1 高意匠塗料

当社には、各ユーザーのデザイナーから高い評価を得ている塗膜表面で金属鏡面を表現した金属調塗料のラインナップがある。

金属調塗料とは、一般的なメタリック塗料と異なり、塗膜中のアルミ粒子の粒子感がごくわずか、あるいは感じられないほどの金属表面のような反射を起こす塗料である。

金属調塗料では、一般的なメタリック塗料とは異なる光輝材を使用することで、その金属感を表現している。一般的なメタリック塗料に使用される光輝材との違いを表3に示す。

表3 光輝材の違い

塗料	使用するアルミニウム顔料
一般的なメタリック塗料	純度の高いアルミを粉碎・研磨し非常に薄い鱗片状に加工されたアルミフレーク顔料である 粉碎アルミニウム顔料を使用
金属調塗料	粉碎アルミニウムの中でも、特にフレーク形状および表面平滑性を均一化した高品質な粉碎アルミニウム顔料
	フィルム上に蒸着され形成されたアルミニウム膜をはく離・粉碎した蒸着アルミニウム顔料非常に薄膜で輝度が高い

また金属調塗料では、使用するアルミニウム顔料だけでなく塗料設計においても金属感を向上させる設計が必要となる。高い金属感を得るためには、塗膜内部により均一にかつ平滑にアルミニウム顔料を配向させる

必要がある。アルミニウム顔料は塗装後のウエットな状態では塗膜内部で自由に動いてしまうため、これらの動きを制御することが設計のポイントとなる。

当社の金属調塗料においては、体積収縮率が非常に高く、かつ塗膜表面の乾燥性を向上させることで、塗装直後のアルミニウム粒子の動きを抑制、塗装後の配向状態を安定させ、乾燥後の高い体積収縮によりアルミニウム粒子を平滑に配向させることで、高い金属感を実現させている。

4.2 高機能塗料

多くの塗装品は、その使用状況によって塗膜表面に傷がつくことがある。特に我々の身の回りにある日用品での傷は、大きく商品価値を損なうこととなる。そこで、当社は傷がつきにくく、また傷がついてもついた傷が消えて見えなくなる自己修復塗料を開発した。

当社の開発した自己修復塗料の機構は、外部から力がかかった際に、変形して力を緩和させることで傷つきにくくし、またその変形跡は塗膜の持つ塑性によって再度変形し、元に戻る。

これらの機構を成立させるために、外部からの力がかかった際に傷が付かない強靱性、変形できる柔軟性を有する設計を行うことで実現している。

5. おわりに

今後も益々自動車業界の自動運転技術の開発、電動化の推進、環境対応が加速していくことが予想される。それに伴い、自動車部品メーカー、材料メーカーへの要求も高いレベルでかつタイムリーな対応が求められることは想像に難くない。当社も既に有している技術を高い水準で発展させるとともに、新しい素材・技術を開発し、自動車業界の変革に遅れることなく、一丸となって取り組んでいく。

塗膜の耐久性に関する調査・考察

Investigation and Consideration on Durability of Coating Film

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



清水 悠平
Yuhei SHIMIZU



宮下 剛
Tsuyoshi MIYASHITA

1. はじめに

道路橋は高度経済成長期に建設されたものが現在供用中の全橋の約4割を占めている。そのうち建設後50年を経過するものが2016年度には約20%、2026年度には47%まで達すると推計されている¹⁾。これらの高齢化した社会資本を全て取り壊し、新たに建設し直すことは今日の日本の財政事情から現実的ではない。従って、これらのインフラストックを適切なメンテナンスにより長寿命化させ、長期にわたり供用していくことが重要な課題である。

これら大型鋼構造物の防食手法の一つとして、効果的かつ経済的な面から塗装が幅広く適用されており、LCC(ライフサイクルコスト)の観点から、防食塗料に対する長期耐久性の要求は近年益々高まってきている。

重防食塗装仕様は、優れた防食性を発現する防食下地、および高い環境遮断性を有し防食下地を保護する下塗塗膜、耐候性に優れ太陽光に由来する紫外線を遮断し、鋼構造物に美観性を付与する上塗塗膜から構成される。

そこで、本報においては塗膜の長期耐久性を決定する重要な因子である以下2つの塗膜特性に焦点を当て、重防食塗装仕様における塗膜の耐久性について調査し考察を行った。

- ①塗膜の消耗に関する調査・考察
- ②塗膜の環境遮断性に関する調査・考察

2. 防食塗膜の耐久性に関する考察

日本を代表する海峡部橋梁である本州四国連絡橋においては、亜鉛による犠牲防食機能を有する無機ジンクリッチペイントを防食下地とした重防食塗装仕様を標準的な防食法として過去から取り入れている。

本橋の防食思想としては、無機ジンクリッチペイントの保護層である下塗り層の露出が生じる前の段階に、中塗りと上塗りを塗り替えることを基本としている²⁾。このような塗り替えを行うことで、防食下地である無機ジンクリッチペイントは、理論上劣化や消耗を生じることなく健全な防食機能を維持し続けることから、長期にわたり構造物耐久性の低下を抑制することができる(図1参照)。

上記の思想から、防食下地である無機ジンクリッチペイントを健全な状態に保つことが防食設計上重要である。防食下地を環境から保護する目的で、高い遮断性を有するエポキシ樹脂塗料が下塗り層として塗装される。しかし、エポキシ樹脂塗料は樹脂の構造上紫外線に弱く、樹脂の分解により劣化し塗膜が消耗しやす

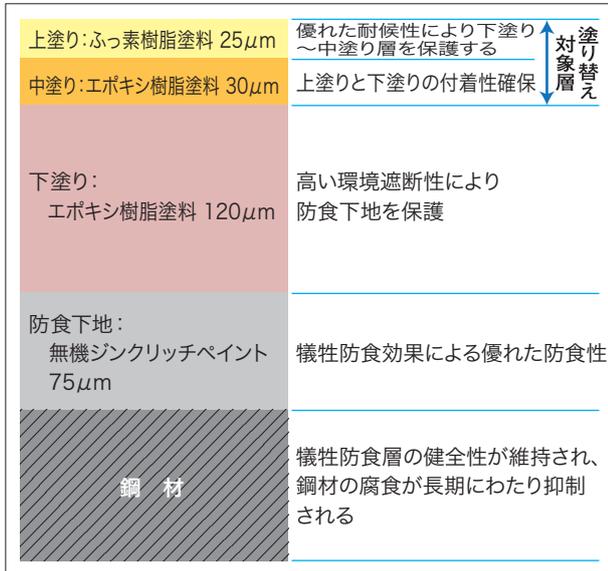


図1 海峡部橋梁の外面塗装仕様と防食思想

いため、これを保護するために耐候性に優れた上塗塗膜が必要となる。

本報においては、上記海峡部橋梁の防食思想を参考とし、架設後長期にわたり無機ジンクリッチペイントを健全な状態に保持することを前提とした塗膜の耐久性について、鋼道路橋防食便覧（公益社団法人日本道路協会発行）に記載の塗装系を例に塗膜の消耗（後記2.1）、および塗膜の環境遮断性（後記2.2）という2つの視点から考察を行った。

2.1 塗膜の消耗に関する調査・考察

前述のとおり、長期にわたり防食下地層を健全な状態に維持するためには、環境遮断性は優れるが耐候性に劣るエポキシ樹脂塗膜を保護する必要がある。そのため、上塗塗膜としては紫外線による劣化や酸素・水によって分解され難い、耐候性に優れる塗料を選定することが望ましく、過去から様々な塗料種において耐候性の評価が実施されている。

一般的に暴露環境における塗膜の劣化消耗は、塗膜表面の樹脂が光沢低下を起し、その後白亜化を生じ進行していく。この樹脂の劣化現象は紫外線（光エネルギーによる切断）、水分（加水分解）、酸素（酸化）などの因子により引き起こされ、紫外線の影響が最も大き

いとされている³⁾⁴⁾。

海洋技術総合研究施設（駿河湾、ISO 9223:2012で腐食性カテゴリーC4に分類される厳しい腐食環境）における暴露試験の結果から、光沢が低下しない初期状態を塗膜劣化の誘導期間とし、種々塗膜の消耗速度を評価した結果をまとめ、表1に示す⁵⁾。

表1 種々塗膜の消耗速度

上塗塗料の種類	年間平均消耗速度	誘導期間
エポキシ樹脂塗料	10.0μm/年	—
ポリウレタン樹脂塗料	2.0μm/年	2年
ふっ素樹脂塗料	0.5μm/年	7年

上記、ふっ素樹脂塗料の誘導期間7年、年間平均消耗速度0.5μmを、例えば鋼道路橋防食便覧に規定されるC-5塗装系のふっ素樹脂塗料上塗（膜厚25μm）に当てはめた場合、上塗塗膜の消耗までの期間は以下となる。なお、施工時における膜厚のバラつきを考慮し、耐用年数の算出に使用する膜厚は塗装目標膜厚の80%⁵⁾として計算している。

$$\text{誘導期間7年} + (\text{塗装目標膜厚}25\mu\text{m} \times 80\%) / \text{年間消耗速度}0.5\mu\text{m} = 47\text{年}$$

式1

一方で、沖縄を代表とする紫外線量の多い地域における塗膜劣化に関する研究報告は多数あるが、その一例として、ポリウレタン樹脂塗料は沖縄における暴露試験の結果、つくばと比較して約2.4倍の塗膜消耗量となっており⁶⁾、一般的に紫外線量の厳しい環境では消耗量が一般環境の2倍程度になるとされている⁷⁾。上記塗装仕様を紫外線量の多い地域に適用した場合の耐用年数を以下に算出する。なお、塗膜の光沢低下が生じない初期誘導期間についても一般環境の7年から半分⁸⁾の3.5年と仮定して計算した。

$$\text{誘導期間}3.5\text{年} + (\text{塗装目標膜厚}25\mu\text{m} \times 80\%) / \text{年間消耗速度}1.0\mu\text{m} = 23.5\text{年}$$

式2

これらの結果をまとめると、過去報告の暴露試験における上塗りの消耗速度から、重防食塗料における上塗塗膜は一般地域にて47年、強紫外線地域においては23.5年で消失し、中塗塗膜が露出する計算となる。鋼道路橋に対して重防食塗料の適用が開始してから30年程度が経過した現在においても、全面塗り替え塗装が行われた事例が極めて少ないことから、本年数は妥当性を有するものであると推測する⁸⁾。

ただし、本年数については、あくまでも上塗塗膜が塗膜として残存している年数を示した理論値である。実際の鋼構造物においては、上塗塗膜の膜厚減少により、中塗塗膜が透け、美観性を低下させるリスクや、上塗塗膜の紫外線遮断機能の低下に伴って、上塗塗膜を透過した紫外線が中塗塗膜表面の樹脂を劣化させ、中塗/上塗塗膜の層間付着性を低下させるなどのリスクを含む。このようなリスクは上記年数以前に生じ始めることに注意が必要である。

2.2 塗膜の環境遮断性に関する調査・考察

塗装鋼が腐食環境に曝される際の塗膜の劣化過程は、おおよそ次のように進行するとされている⁹⁾。

- 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¹⁰⁾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(以下式3参照)。

式中のD(拡散係数)は酸素、水、塩化物イオンなどの腐食性物質が塗膜中に侵入し、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、腐食性物質が鋼面に到達しても、塗膜の付着性が維持さ

塗膜耐久性の考え方に関する

G. Menges , W. Schneiderらの関係式

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

L : 耐用期間 D : 拡散係数(mm²/sec)
t : 膜厚(mm) τ : 付着力その他の要因

式3

れている間は鋼界面への腐食生成物の滞留や鋼界面に沿った横方向への拡がりは妨げられるので致命的な欠陥にはならない(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生成物が滞留し、徐々に腐食現象を拡大していく。そのため、鋼表面に腐食性物質が到達した後、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。

つまり上記式から、①塗膜厚が厚く、②腐食性物質の拡散速度の遅い塗膜層を有し、かつ③鋼表面への付着力に優れる塗装仕様が耐用年数の長い塗装仕様であると言える。

一方で、Guruviah¹¹⁾, Baumann¹²⁾およびFunke¹³⁾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。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。

そこで本報においては、上記式中D(拡散係数)と耐用年数の関係に着目し、主たる腐食性物質であり、かつ腐食反応速度を支配する酸素に対する塗膜の遮断性に関し考察を行った。

重防食塗装系の定義は「ジンクリッチペイントの防食下地、腐食因子の遮断性に優れた下塗り、耐候性に優れた上塗りの塗り重ねによって構成され、海岸または海上のような厳しい腐食環境において、新設塗装に期待される耐久性(防食性能と耐候性能)が30年以上となる塗装系」とされている¹⁴⁾¹⁵⁾。また、上記耐久性を有する重防食塗装系の透湿度と酸素透過係数の目標値は以下表2のとおり報告されている¹⁶⁾。

表2 重防食塗装系の透湿度と酸素透過係数の目標値

塗装系	透湿度 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 24\text{h}^{-1}$)	酸素透過係数 ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}\cdot\text{cmHg}^{-1}$) $\times 10^{-11}$
重防食塗装系	3以下	1以下
一般塗装系 ¹⁾	8以下	100以下

1) 一般塗装系塗膜は、A塗装系(フタル酸樹脂仕様)やB塗装系(塩化ゴム系)を想定している。

重防食塗装系とは公益社団法人日本道路協会発刊の鋼道路橋防食便覧に規定されるC-5塗装系(以下表3)に代表される塗装仕様であり、防食下地を除いた下塗り～上塗りの3層合計175 μm にて環境遮断を担うこととなる(通常、ミストコート層は膜厚として換算しない)。

表3 鋼道路橋防食便覧規定のC-5塗装系

塗装工程	塗料名	目標膜厚	環境遮断層 (下塗り～上塗り) 総膜厚:175 μm
防食下地	無機ジンクリッチペイント	75 μm	
ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	—	
下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	120 μm	
中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	30 μm	
上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	25 μm	

上記表2中に規定されている酸素透過係数の目標値は単位膜厚当たりの酸素透過量のため、これをC-5塗装系の環境遮断層(下塗り～上塗り)の総膜厚である175 μm 当たりの酸素透過量に換算した。

$$1 [(\text{cm}^3\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}\cdot\text{cmHg}^{-1}) \times 10^{-11}] \times \frac{1}{0.0175\text{cm}} \\ = 57 [(\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}\cdot\text{cmHg}^{-1}) \times 10^{-11}]$$

式4

式4の結果より、塗膜の遮断性という観点から、ジンクリッチペイント層を除く、下塗り層～上塗り層の酸素透過量が57[($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}\cdot\text{cmHg}^{-1}$) $\times 10^{-11}$]以下である塗装仕様であれば、重防食塗装系と同様に海岸・海上のような厳しい腐食環境においても、約30年以上の耐久性が見込めると推察する。

3. まとめ

本報においては、長期にわたりジンクリッチペイント層を健全な状態に保持することを前提とした重防食塗装仕様の耐久性について、既往の研究報告を調査し、塗膜の消耗、塗膜の環境遮断性という2つの視点から考察した。

その結果、海岸または海上のような厳しい腐食環境において、30年以上の耐久性(防食性能と耐候性能)を有するとされる重防食塗装系とは、以下2つの性能を備えた塗装仕様であることがわかった。

①塗膜の消耗に関する調査・考察

上塗塗膜については、消耗年数が一般地域にて47年、強紫外線地域においては23.5年となる耐候性に優れた塗膜であること。

②塗膜の環境遮断性に関する調査・考察

下塗り～上塗りの酸素透過量が57[($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}\cdot\text{cmHg}^{-1}$) $\times 10^{-11}$]以下となる遮断性に優れた塗膜であること。

4. おわりに

本報では塗膜の耐久性について、2つの側面より調査・考察を行い、鋼道路橋防食便覧に記載の重防食塗装系が有する性能を提示した。しかしながら、塗料は供用される環境や塗装時の施工品質など、種々の条件により発現する塗膜性能が大きく異なることから、本報にて取りまとめた考察は、あくまでも重防食塗装系の性能を決定する一因子である。

高齢化を迎えつつあるインフラストックの長期供用とライフサイクルコストの低減に対して、重防食塗料が担う役割は、今後さらに拡大していくものと考えられる。そのため、重防食塗料は今後も様々な新材料を組み合わせ多様に進化していくものと推察する。

当社は重防食塗料を提供することで、インフラストックの長寿命化における一側面を担っている。本報にて

提示した性能要件をはじめとする優れた塗膜性能を備えた高品質な重防食塗料の開発・提供を通して、今後も幅広く社会に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人日本鉄構造協会：
JSSCテクニカルレポート No.55,
鋼橋塗装のLCC低減のために, 付-21, 2002
- 2) 一般財団法人日本防錆技術協会：防錆管理,
60(8), 307-312, 2016-08
- 3) 社団法人日本塗料工業会：
重防食塗料ガイドブック 第4版, P142, 2013
- 4) 社団法人日本鋼構造協会：重防食塗装
－防食原理から設計・施工・維持管理まで－,
P40, 2012
- 5) 社団法人日本塗料工業会：
重防食塗料ガイドブック 第4版, P143, 2013
- 6) 建設省土木研究所 社団法人鋼材倶楽部：
共同研究報告書整理番号238号
土木鋼材用重防食被覆材料の利用技術に関する
共同研究報告書(Ⅲ), P.32, 2000
- 7) 社団法人日本鋼構造協会：重防食塗装
－防食原理から設計・施工・維持管理まで－,
P45, 2012
- 8) 社団法人日本鋼構造協会：重防食塗装
－防食原理から設計・施工・維持管理まで－,
P68, 2012
- 9) 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
- 10) G. Menges & Schneider: Kautschuk und
Gummi Kunststoffe, 25, (5), 213, 1972
- 11) S. Guruviah : J. O. C. C. A., 53[8], 669-67,
1970
- 12) K. Baumann : Plaste und Kautschuk,
19, 455-461, 1972
- 13) W. Funke : Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev.,
17[1], 50-53, 1978
- 14) 社団法人日本鋼構造協会：重防食塗装
－防食原理から設計・施工・維持管理まで－,
P33, 2012
- 15) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧,
P.II-4, 2014
- 16) 岩見勉, 糟谷誠, 門田進, 守屋進：
鋼構造物塗替塗装の性能規定化, Structure Paint-
ing, Vol.32, No.2, P.36-42, 2004

新商品紹介-1

New Products

コンクリート構造物のクリヤーはく落防止システム 「レジガードアクアSDシステム」

「Resiguard Aqua SD System」

塗料事業部門
 構造物塗料事業部

コンクリートの劣化は、内部鉄筋の爆裂や物理的疲労によりコンクリートはく落を生じさせ、人や車両などへの被害が危惧されている。そのため各構造物管理団体では、高架橋などの構造物に対して、FRP(Fiber Reinforced Plastics)をベースとした各種はく落防止仕様規格を設けており、当社でもレジガードはく落防止システムを展開している。

近年、はく落防止性能に加えて、コンクリート躯体の変状を簡易的に点検したいと言った要望が生じている。そのような背景から、塗膜をクリヤーにすることで、はく落防止性能を維持しつつ最も簡易な目視による点検も可能とし、さらには環境や人体へ配慮した水性非危険物塗料で、施工に熟練度を要さないローラー塗装とした「レジガードアクアSD工法」を開発した。

特長

◇簡易的な点検が可能

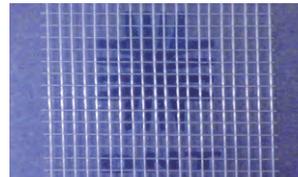
塗膜がクリヤーであり視認性に優れるため、コンクリート躯体の状況を目視で確認可能



〈従来のはく落防止工法〉

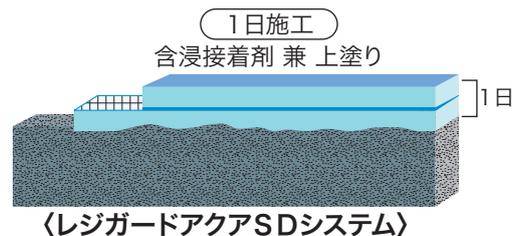
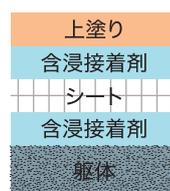
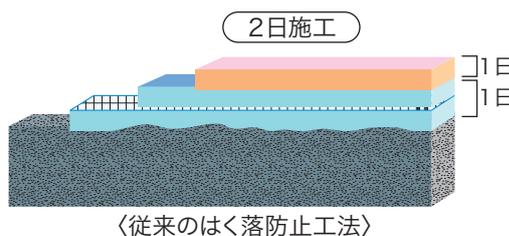


〈レジガードアクアSDシステム〉



◇1日施工が可能

3工程を1日で施工可能であり、従来仕様と比べ交通規制を短縮＝規制コストの大幅削減



◇環境、人体に配慮

主剤、硬化剤共に水性非危険物であるため、安全性に優れる

◇**容易な施工、施工管理**

ローラー塗装が可能であり、施工が容易

乾燥塗膜はクリアーであるが、塗装時は乳白色であり、施工管理も容易である。



〈乾燥前塗膜外観〉

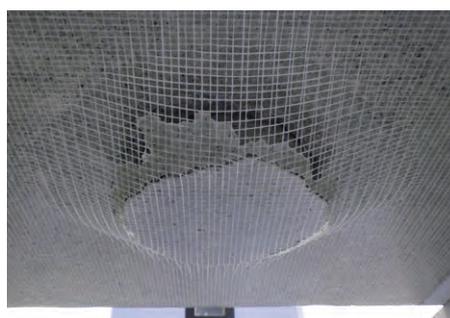


〈乾燥後塗膜外観〉

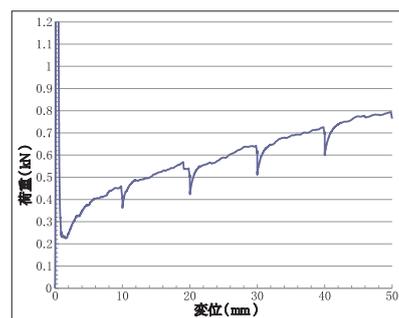
◇**優れたはく落防止性能**

首都高速道路株式会社 橋梁構造物設計要領 コンクリート片剥落防止編(H18.8)に定めるはく落防止性能 B種に適合。

項目		要求性能	試験結果
耐荷性		押抜き荷重0.3kN以上	0.8 kN
付着性	標準養生	1.0N/mm ² 以上	1.8 N/mm ²
	半水中養生		1.2 N/mm ²
	温冷繰返養生		1.3 N/mm ²
耐久性		促進耐候性(XWOM)500時間後 光沢保持率70%以上、色差ΔE=10以内	光沢保持率83% ΔE=3.1
		屋外暴露1年後に耐荷性能を保持	1.4 kN
伸び性能		押抜き荷重10mm以上	50 mm
景観		周囲と調和すること	合格



〈耐荷性試験状況〉



〈耐荷性試験結果〉

◇**基本仕様**

工程	使用量 (kg/m ²)	目標膜厚 (μm)	施工方法
下地処理	規定された工法により、塗装に適した素地に調整する。		
レジガードアクアSD	0.40	200以上	ローラー
クレネットE3590	1.1 m ² /m ²		
レジガードアクアSD	0.40		

新商品紹介-2

New Products

皮脂軟化対策塗料 「アクアマリンタックレス」

「Aqua Marine Tackless」

塗料事業部門
建築塗料事業部

鉄扉や手すりなど人の手に触れられる塗膜においては、手の皮脂などが塗膜内部に侵入することで塗膜が軟化し、塗膜表面が黒ずんだり、あるいは塗膜はく離が生じることがある。従来の水系塗料は皮脂による塗膜軟化が起こりやすいため、鉄扉や手すりには溶剤系塗料が多く使用されてきた。

しかし、近年、鉄扉や手すりにおいても水系塗料を適用したいというニーズが高まっていることから、溶剤系塗料と同等以上の皮脂軟化を有する水系塗料を開発上市した。



皮脂軟化発生例

◆ 特 長

(1) 手の脂(皮脂)による塗膜軟化・汚れに強い

人から分泌される皮脂による塗膜の軟化を防ぐ。

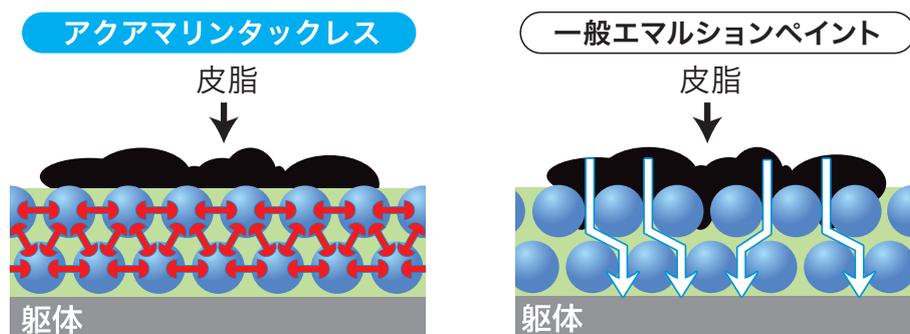
(2) 高い塗膜硬度および耐摩擦性を併せ持つ

二液の強溶剤ウレタン樹脂系塗料と同等以上の塗膜硬度を有する。

(3) 環境への配慮

水系塗料のため、周辺環境および、塗装作業員に対して、塗装・乾燥時に刺激臭が少ない。

◆ 機能発現のメカニズム



- アクアマリンタックレスは一般のエマルジョン塗料とは違い、強固な塗膜を形成するため、皮脂の侵入を抑制することができる。そのため、塗膜軟化による剥がれや汚れが発生しにくい。

塗膜性能

【試験方法】

(1) 耐皮脂評価(鉛筆硬度)

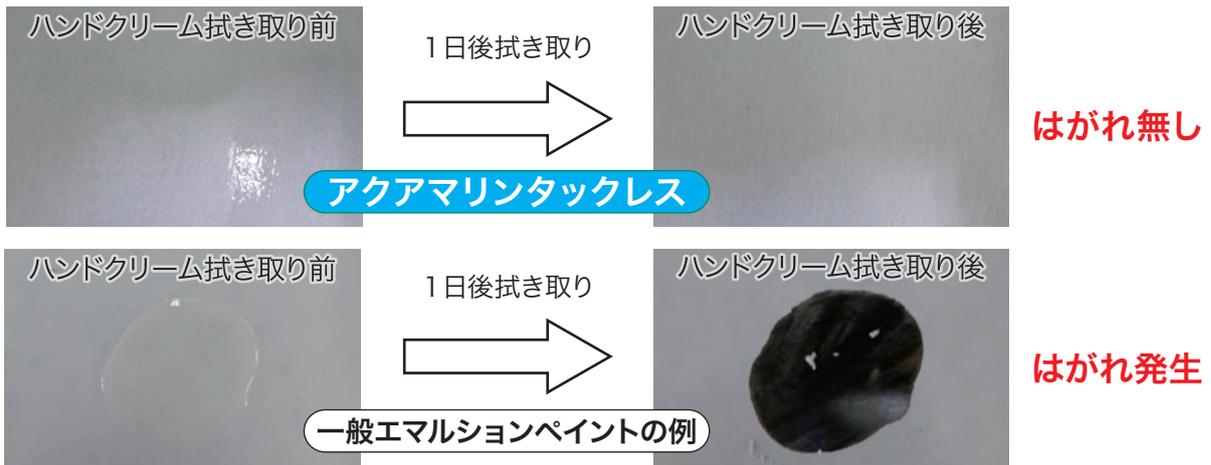
- ① 塗膜乾燥時間：23℃×1週間
- ② 試験液：皮脂成分に類似するオレイン酸と石油ベンジンの混合溶液
- ③ 方法：試験液に浸漬、10秒程浸漬後引き揚げた後、16時間乾燥する。
 その後試験液を拭き取り、塗膜の鉛筆硬度(JIS K 5600-5-4:1999に準じる)を確認する。

【結果】

塗料		アクアマリン タックレス	エマルジョン塗料	弱溶剤 一液ウレタン樹脂塗料	弱溶剤 合成樹脂調合ペイント	強溶剤 二液ウレタン樹脂塗料
鉛筆硬度	初期	H	B	HB	HB	F
	試験後	F	4B	2B	2B	HB

【基準】 硬い H > F > HB > B > 2B > 3B > 4B 軟らかい

(2) 耐ハンドクリーム性評価



弱溶剤仕様との比較

例) 公共建築改修工事標準仕様書; 亜鉛めっき鋼面

仕様	開発仕様	合成樹脂調合ペイント (弱溶剤仕様)
下塗塗料	アロナEPO (JASS 18 M-111)	ワンツーエポ (JPMS 28)
希釈剤	水道水	塗料用シンナー
塗り重ね時間(20℃)	2時間以上	2時間以上 6ヶ月以内
上塗塗料 (2回塗り)	アクアマリンタックレス (JIS K 5660取得予定)	タイコーペイントーフォースター (JIS K 5516:2003)
希釈剤	水道水	塗料用シンナー
塗り重ね時間(20℃)	2時間以上	16時間以上 1ヶ月以内
トータルVOC量	約 8 g/m ²	約 105 g/m ²

- (1) 弱溶剤仕様と比較しVOC量が大幅に削減できる。
- (2) 弱溶剤仕様と比較すると上塗りの塗り重ね時間が短い。
- (3) 弱溶剤仕様と比較しトータルの施工時間が短縮されることで、工期が1/2に短縮できる。

保温材下腐食抑制塗料 「CUIシャット」

CUI (Corrosion Under Insulation) resistant paint
「CUI SHUT」

塗料事業部門
構造物塗料事業部

日本における石油化学プラント設備の多くは建設後30年以上経過し、「設備の高経年化」が顕在化している。設備機器・配管は、環境要因での外面腐食などによる損傷により、漏えい事故が増加している。そのなかでも保温配管外面などにおいて、通常、目視での確認が困難な保温材下での腐食(CUI(Corrosion Under Insulation)=保温材下腐食)が多く確認され、問題となっている。海外では1980年代からCUI問題が顕在化し、対策がなされてきている。

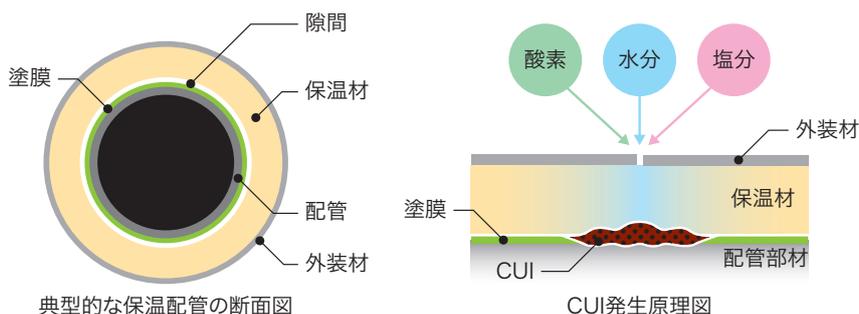
このような保温材下の腐食対策として保温材下腐食抑制塗料「CUIシャット」を開発した。

特長

- I. 幅広い温度サイクル環境下にて適用可能(サイクル温度:-185~540°C)
- II. 適用上限温度が650°Cで耐熱性に優れる
- III. 鉄、ステンレスに対する付着性が良好である
- IV. 保温材がない箇所にも適用が可能である
- V. 一液性であり可使時間の制約がない

CUIの発生原理

- ① 外装材の劣化による穴あきやつなぎ目のシーリング材の損傷などにより、雨水・結露した大気中の水分が保温材に侵入する
- ② 保温材の水分保持により塗膜劣化が進行する
- ③ 配管部材上に水膜が形成され、酸素も供給されることで腐食が発生する
- ④ さらに飛来海塩粒子による塩分や運用温度により、腐食が加速する



保温材下の腐食事例



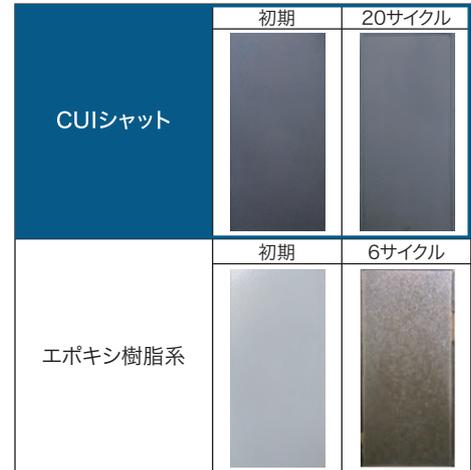
保温材取り外し後

促進熱衝撃試験

208℃のオープンで16時間加熱(耐熱性) → オープンから出して直ちに冷水に没水(熱衝撃耐性) → 99℃の水に8時間浸せき(耐水性)

サイクル数	CUIシャット		エポキシ樹脂系	
	125μm	250μm	100μm	200μm
1	健全	健全	色変	色変
4	健全	健全	碎剥離	色変
6	健全	健全	—	碎剥離
8	健全	健全	—	—
16	錆5-G	健全	—	—
20	錆4-G	健全	—	—
24	錆1-G	健全	—	—
28	—	錆8-G	—	—

※さびの度合いはASTM D 610に準拠して評価

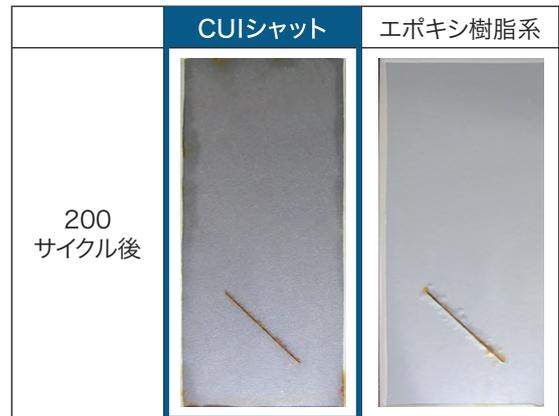


サイクル腐食性試験 (JIS K 5600-7-9)

30℃塩水噴霧(0.5時間) → 30℃、95%相対湿度湿潤(1.5時間) → 50℃熱風乾燥(2時間) → 30℃温風乾燥(2時間)

サイクル数		CUIシャット		エポキシ樹脂系	
		125μm	250μm	100μm	200μm
20	さび	10	10	10	10
	膨れ	10	10	10	10
	さび幅	0mm	0mm	0mm	0mm
72	さび	10	10	10	10
	膨れ	10	10	10	10
	さび幅	0.3mm	0mm	1.5mm	2.9mm
200	さび	10	10	10	10
	膨れ	10	10	10	10
	さび幅	1.0mm	1.0mm	3.2mm	4.5mm
432	さび	9-S	10	10	10
	膨れ	10	10	10	10
	さび幅	4.8mm	3.2mm	7.5mm	6.7mm

※さびの度合いはASTM D 610、膨れの度合いはASTM D 714に準拠して評価
 さび幅はカット部周辺の最大さび幅(もぐりさび含む)を計測



塗料性状

項目		内容			
容姿		一液性			
荷姿		4L (7.68kg)			
色相		グレー、黒			
光沢		—			
密度 (23℃)	塗料	1.92			
	揮発分	0.90			
加熱残分		65% (体積%)			
乾燥時間	温度	10℃	20℃	30℃	150℃
	指触	14時間	5時間	4時間	—
	乾燥	常温乾燥			
	硬化	常温硬化			

塗装基準

項目		内容			
下地処理		鉄:ISO St3(SSPC-SP3)以上 ステンレス:#80ペーパー研磨/脱脂			
洗浄シンナー		CUIシャット用シンナー			
塗装法	塗装方法	刷毛・ローラー	エアレス塗装		
	希釈率	原則として希釈しない			
	標準使用量	480g/m ² /回	630g/m ² /回		
	標準膜厚	125μm	125μm		
	ウエット管理膜厚	200μm	200μm		
塗装間隔	温度	10℃	20℃	30℃	150℃
	最小	16時間	6時間	5時間	15分
	最大	14日	14日	7日	7日

新商品紹介-4

New Products

環境対応形蛍光顔料
「SX-200シリーズ」「NEZ-100シリーズ」Environment-Friendly Fluorescent Pigments
「SX-200 Series」「NEZ-100 Series」シンロイヒ株式会社
SINLOIHI CO., LTD.

蛍光顔料とは、蛍光染料を合成樹脂に染色し微細粒子とした混合物からなる色素である。現状、蛍光顔料の基体樹脂は、ホルムアルデヒド含有タイプ(アミノ樹脂)やスチレン・アクリロニトリル含有タイプ(AS樹脂)が主流である。しかしながら、これらに使用する原料モノマーは発がん性やシックハウス症候群などの懸念物質として知られており、製造環境の悪化や使用用途の制限など取りまく環境は厳しくなりつつある。このような背景から、安全衛生面や環境対応面を考慮し、従来の蛍光顔料の商品と同等の性能を有する新しい蛍光顔料を開発した。



蛍光顔料通常光下



蛍光顔料UV光下

SX-200シリーズ

用途

樹脂着色
油性塗料

用途例



特長

1. 環境対応性を有する(アミノ樹脂不使用)

原料としてスチレン・アクリロニトリル・ホルムアルデヒド不使用のため、残留スチレン・アクリロニトリル・ホルムアルデヒドを含有しない。

シリーズ名		当社FX-305	当社FX-307	新製品SX-205	新製品SX-217
色名		Lemon yellow	Pink	Lemon yellow	Pink
樹脂系		アミノ樹脂		アクリル樹脂	
物性	固形分(%)	100(粉末)		100(粉末)	
	平均粒子径(μm)	3±1		4±1	
	粒子形状	球形粒子		球形粒子	

2. 従来顔料と同等の性能を有する

シリーズ名		当社FX-305	当社FX-307	新製品SX-205	新製品SX-217
色名		Lemon yellow	Pink	Lemon yellow	Pink
堅牢度※1 PP樹脂 着色評価	耐熱性(250°C)	4-5	4-5	4-5	4-5
	耐光性 (カーボンアーク灯式耐候性) 試験機24時間暴露)	4	4-5	4	4-5

※1: JIS L0804 変退色用グレースケースによる評価

成型樹脂	ABS	EVA	LDPE	PC	PMMA	PP	PS	TPO	TPU
樹脂溶融成型温度	200	160	200	270	190	220	180	210	180
塩化ビニルシートへの 耐色移行性※2	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好

※2: 120°C×2時間 加重100g/cm²

NEZ-100シリーズ

用途

繊維着色 (捺染・浸染)
水性塗料



用途例

特長

1. 環境対応性を有する(AS樹脂不使用)

ポリエステル系樹脂を使用しているため、残留アクリロニトリルや残留スチレンを含有しない。

シリーズ名		当社SW-115	当社SW-117	新製品NEZ-105	新製品NEZ-117
色名		Lemon yellow	Pink	Lemon yellow	Pink
樹脂系		AS樹脂		ポリエステル樹脂	
物性	固形分(%)	43±2(水分散体)		100(粉末)	
	平均粒子径(μm)	<1		4±1	
	粒子形状	球形粒子		不定形粒子	
	pH	2.5~3.0		6.5~7.5(40%水分散時)	

2. 従来顔料と同等の性能を有する

シリーズ名		当社SW-115	当社SW-117	新製品NEZ-105	新製品NEZ-117
色名		Lemon yellow	Pink	Lemon yellow	Pink
堅牢度※3 (捺染評価)	耐ベーキング(150°C×3分)	4-5	5	4-5	5
	耐洗濯性(JIS A4法)	4-5	4-5	4-5	4-5
	耐光性 (カーボンアーク灯式耐候性) 試験機24時間暴露)	3	4	3	4

※3: JIS L0804 変退色用グレースケールによる評価

学協会研究発表・技術講演・論文投稿者名と発表タイトル(2017.7～2018.6)

大日本塗料は各種学協会に参加し、積極的に研究発表を行っています。
ここに2017年7月から2018年6月までの主な講演・発表内容を紹介します。

投稿リスト 2017年7月～2018年6月

氏名	発表テーマ	発表先/投稿紙名	団体・協会・新聞・出版
市村 道春	500号記念企画 新時代を担う建築仕上技術 皮脂軟化対策塗料(アクアマリンタックレス)	月刊誌「建築仕上技術」 2017年8月号	(株)工文社
櫻田 将至	遮熱塗料特集 高日射反射率塗料の適用事例 (海外への展開)	月刊誌「塗装技術」2017年8月号	(株)理工出版社
櫻田 将至	建造物における温度上昇抑制技術 「高日射反射率塗料」	月刊誌「JETI」2017年11月号	(株)ジェティ
濱中 政爾	Studies on the behavior of minuscule droplets during drying Process	日本画像学会 224号 2017年12月号	(一社)日本画像学会
坂井 勝也	ローラー塗装が可能なふっ素樹脂メタリック塗料 「Vフロン#200スマイルRBメタリック」	月刊誌「JETI」2018年3月号	(株)ジェティ
鈴木 章玄	焼付用エポキシ樹脂下塗塗料 「FBプライマーECO」	月刊誌「JETI」2018年4月号	(株)ジェティ
森田 さやか	塗膜の劣化評価とカレントインタラプタ法を用いた 判定技術	塗装工学 Vol.53 No.4 2018	(一社)日本塗装技術協会
堀田 裕貴	さび安定化補助処理剤の有効性評価	月刊誌「防錆管理」2018年5月号	(一社)日本防錆技術協会
大柴 雅紀	素地調整を軽減可能にする「サビシャット」	月刊誌「建築仕上技術」 2018年5月号	(株)工文社

口頭発表リスト 2017年7月～2018年6月

氏名	発表テーマ	発表先/投稿紙名	団体・協会・新聞・出版
清水 悠平 田辺 知浩 宮下 剛	塗膜形成過程における施工条件が塗膜耐久性に 及ぼす影響	第37回 防錆防食技術発表大会	(一社)日本防錆技術協会
山内 健一郎	高腐食性環境下の塗装鋼橋における部位別の 腐食度および塗膜耐久性に関する検討	第37回 防錆防食技術発表大会	(一社)日本防錆技術協会
桑原 幹雄	鋼・木質ハイブリッド構造における 鋼材防食工法の検討	建築学会学術講演会2017	(一社)日本建築学会
尾田 光 桑原 幹雄	水系さび止め塗料を適用した鋼構造物の実態調査	建築学会学術講演会2017	(一社)日本建築学会

氏名	発表テーマ	発表先/投稿紙名	団体・協会・新聞・出版
楠戸 博貴 桑原 幹雄	水系さび止め塗料塗装直後の発錆防止方法に関する検討	建築学会学術講演会2017	(一社)日本建築学会
宮下 剛 田邊 康孝 関 智行	浸透性吸水防止材の暴露試験その1 (計画と供試体作成、暴露実施状況)	土木学会 平成29年度全国大会	(公社)土木学会
田邊 康孝 関 智行 宮下 剛	浸透性吸水防止材の暴露試験その2 (外観観察と中性化の進行について)	土木学会 平成29年度全国大会	(公社)土木学会
関 智行 宮下 剛 田邊 康孝	浸透性吸水防止材の暴露試験その3 (電気化学的測定による内部鉄筋の状況把握)	土木学会 平成29年度全国大会	(公社)土木学会
桑原 幹雄	水性無機ジンクリッチペイントによる劣化亜鉛めっきの延命化	土木学会 平成29年度全国大会	(公社)土木学会
尾田 光 桑原 幹雄	鋼材表面を粗面化する動力工具の性能評価	土木学会 平成29年度全国大会	(公社)土木学会
山内 健一郎	重防食塗装系への撥水性クリヤー塗料の適用検討その1	土木学会 平成29年度全国大会	(公社)土木学会
松本 剛司 山内 健一郎 藪見 尚輝 宮下 剛 田邊 弘往	Advances in W/B protective coating system using fluoropolymer topcoat-High weathering performance and environment friendly of VOC reduction system.	EUROCORROSION 2017	European Corrosion Congress
水場 翔大 増田 清人	長期海洋暴露試験における電気化学的測定結果	第64回 材料と環境討論会	(公社)腐食防食学会
木口 忠広	二層分離形粉体塗料の開発	第48回 中部化学関係学協会 支部連合秋季大会	中部化学関係学協会 支部連合協議会
田邊 祥子	メタリック塗料に及ぼす塗料対流の影響に関する考察	2017年度 色材協会研究発表大会	(一社)色材協会
鎌田 由佳 堀田 裕貴 松本 剛司	高摩擦有機ジンクリッチペイントの開発	第40回 鉄構塗装技術討論会	(一社)日本鋼構造協会
宮下 剛	重防食塗装の耐候性に関する変遷	橋梁技術発表会及び講演会	(一社)日本橋梁建設協会
尾田 光 桑原 幹雄	鉄骨の摩擦接合面における先行塗装部分の養生方法に関する検討	建築仕上学会大会学術講演会	日本建築仕上学会
北川 将司 木口 忠広	二層分離形構造をもつ複合樹脂粉体塗料の耐候性評価その3 着色顔料の酸化チタンの種類が塗膜の耐候性に与える影響	建築仕上学会大会学術講演会	日本建築仕上学会

DNT 大日本塗料株式会社

本社 ☎06-6466-6661 〒554-0012 大阪市此花区西九条6-1-124
 大阪事業所 ☎06-6466-6661 〒554-0012 大阪市此花区西九条6-1-124
 那須事業所 ☎0287-29-1611 〒324-8516 大田原市下石上1382-12
 小牧事業所 ☎0568-72-4141 〒485-8516 小牧市大字三ッ淵字西ノ門878
 東京営業本部 ☎03-5710-4501 〒144-0052 東京都大田区蒲田5-13-23(TOKYU REIT 蒲田ビル)

●東日本販売部

東京営業所 ☎03-5710-4501 〒144-0052 東京都大田区蒲田5-13-23(TOKYU REIT 蒲田ビル)
 札幌営業所 ☎011-822-1661 〒003-0012 札幌市白石区中央二条1-5-1
 仙台営業所 ☎022-236-1020 〒983-0034 仙台市宮城野区扇町5-6-20
 北関東営業所 ☎0285-24-0123 〒323-0025 小山市城山町2-10-14(日光堂ビル)
 埼玉営業所 ☎048-601-0711 〒330-0843 さいたま市大宮区吉敷町4-261-1(キャピタルビル)
 新潟営業所 ☎025-244-7890 〒950-0912 新潟市中央区南笹口1-1-54(日生南笹口ビル)
 千葉営業所 ☎043-225-1721 〒260-0015 千葉市中央区富士見2-7-5(富士見ハynesビル)
 神奈川営業所 ☎042-786-1831 〒252-0233 神奈川県相模原市中央区鹿沼台1-7-7(トラス・テック相模原ビル)
 静岡営業所 ☎054-254-5341 〒420-0857 静岡市葵区御幸町8(静岡三菱ビル)

●西日本販売部

大阪営業所 ☎06-6466-6618 〒554-0012 大阪市此花区西九条6-1-124
 名古屋営業所 ☎052-332-1701 〒460-0022 名古屋市中区金山1-12-14(金山総合ビル)
 富山営業所 ☎076-451-9470 〒930-0997 富山市新庄北町5-1
 京滋営業所 ☎075-595-7761 〒607-8085 京都市山科区竹鼻ノ前町46-1(三井生命京都山科ビル)
 神戸営業所 ☎078-362-0091 〒650-0025 神戸市中央区相生町1-2-1(東成ビル)
 岡山営業所 ☎086-255-0151 〒700-0034 岡山市北区高柳東町13-5
 広島営業所 ☎082-286-2811 〒732-0802 広島市南区大州3-4-1
 高松営業所 ☎087-869-2585 〒761-8075 高松市多肥下町1511-1(サンフラワー通り東ビルIビル)
 福岡営業所 ☎092-938-8222 〒811-2317 福岡県糟屋郡粕屋町長者原東3-10-5
 長崎営業所 ☎095-824-3457 〒850-0033 長崎市万才町3-4(長崎ビル)

●フリーダイヤル

塗料相談室フリーダイヤル 0120-98-1716 いーないろ

ハロービュー事務局フリーダイヤル 0120-95-8616 ハローいろ

<http://www.dnt.co.jp/>

●表紙について

DNT及びDEVELOP(開発する)の「D」に未来の光をイメージしてデザインしました。

DNTコーティング技報 No.18

●発行日 2018年10月10日

●発行人 小島 英嗣

●発行 大日本塗料株式会社 管理本部 総務部

●編集 同 技術開発部門 技術企画室

TEL 06-6466-6644

禁無断転載

鉄及びあらゆる非鉄金属に強固に付着

弱溶剤系変性エポキシ樹脂プライマー

JASS 18 M-109

エポティ



特化則対応
(平成30年7月末現在)

F☆☆☆☆

♡適用可能素材
(付着安定性)

エポティならこれらの素材に1つで適応可能!!

塗料名		溶融亜鉛めっき鋼		電気亜鉛めっき鋼		ステンレス鋼		アルミニウム合金鋼		ガルバリウム鋼	炭素鋼 (SS400)
		新設	塗り替え	新設	塗り替え	SUS304	SUS316	AL1050	AL5052		
弱溶剤系変性エポキシ樹脂プライマー エポティ		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
従来品	弱溶剤系変性エポキシ樹脂プライマー	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○
	強溶剤系変性エポキシ樹脂プライマー	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○
	強溶剤系変性エポキシ樹脂プライマー (亜鉛めっき用)	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×

※上記以外の素材への適用をご検討する際には、弊社まで事前にご相談下さい。

お問い合わせは——構造物塗料事業部 大阪 ☎06-6466-6626 東京 ☎03-5710-4502

カーテンウォール改修用

ローラー塗装で均一に仕上がるメタリック塗料

Vフロン#200スマイルRB メタリックシステム

V-FLON #200 SMILE RB



METALLIC SYSTEM

- ローラー塗装で塗り継ぎムラ・輝度ムラの少ない金属調仕上げが可能
- 超耐候性ふっ素樹脂塗料
- 専用下塗りで鉄材・非鉄金属・無機材・木部にも塗装可能
- つや有り仕上げ、3分つや仕上げ

お問い合わせは——建築塗料事業部 大阪 ☎06-6466-6624 東京 ☎03-5710-4503

DNT 大日本塗料株式会社

DNT

DAI NIPPON TORYO

大日本塗料株式会社

<http://www.dnt.co.jp/>



地球環境への負荷軽減のために、
植物油インキを使用しています。