

上塗り・下塗り兼用 防食塗料、 塗装システム

Anticorrosive Coating System having
Functions of both Prime and Finish Coat



製品開発研究所
第5部
飯田真司
Shinji
IIDA



船舶鉄構塗料本部
第2技術部
松本康幸
Yasuyuki
MATSUMOTO



技術研究所
第1部
野田純生
Sumio
NODA

1. はじめに

鋼構造物の防食塗装では、より長期の耐久性を維持するための塗料・塗装システム、施工方法などの開発に力が注がれてきた。最近ではこれらの塗料・塗装システムをより効率よく、より安全に、より安価に完成させるための新しい技術が求められるようになってきている。当社では、このような新しい技術開発の可能性についてさまざまな角度から研究を進めている。

今回、上塗り塗料としての耐候性と下塗り塗料としての防食性を有する塗料を開発した。この塗料は上塗り塗料と下塗り塗料の両方の機能を同時に発揮することができるので、1種類の塗料を1~2回所定の膜厚で塗装するだけでよく、塗装工程・工期の短縮・軽減、塗料の在庫品種の削減を図ることが可能になる。

この上塗り・下塗り兼用塗料、塗装システムの特徴とその開発技術について以下に紹介する。

2. 開発にあたって

鋼構造物の長期防食塗装の代表的な例として、表1に明石海峡大橋の外面塗装に採用された塗装システムを示した¹⁾。ここでは鋼材を電気化学的に防食する厚膜型無機系シンクリッチペイントと、各種腐食因子の遮蔽効果にすぐれた厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗を適用して、長期間にわたって安定した防食性能を確保するようにしている。さらにはふっ素樹脂塗料を上塗に適用することで、10数年から20年以上におよぶ防食性と耐候性の確保を想定している。

このように長期防食塗装システムは下地処理をした鋼材の上に防食を目的とした下塗り塗料を複数回塗装し、その上に美粧とその維持を目的とした上塗り塗料を塗装することによって成り立っている。これらの下塗り塗料と上塗り塗料は明確にその機能を分担していることから、おのずとそれらの設計コンセプトが異なっている。防食塗装ではこれら下塗と上塗

の間にその中間的な塗膜特性を有する中塗り塗料をつなぎ役として設定し、より安定した塗装システムを構成するような設計が広くなされている。

下塗り塗料は鋼材素地面に対して強固にかつ安定に付き、水や酸素などの腐食因子の透過を阻止することや、電気化学的に下地金属をより貴に保って腐食を防止する役目を持っている。一方、上塗り塗料は色彩や光沢などで外観の美しさを持たせ、紫外線などによる塗膜の破壊や油・ほこりなどによる汚染に対して耐性を有し、より長い期間その美しさを維持する役目を持っている。

防食塗装においては、いくつもの異なった機能の塗料を組み合わせて総合的な性能を発揮させるようにしているため、その性状や荷姿、取り扱い方法、塗装方法などがそれぞれに異なる塗料を正しく使い分けことが重要になってくる。ちなみに、表1の明石海峡大橋の外面用塗装システム¹⁾では、下塗から上塗までの4種類の異なる塗料を6回の工程で塗装するというものであり、最短で塗装しても1週間は要するものとなっている。この塗装システムは厳しい環境条件において、より長期の耐久性の保持を最優先にすることを前提としたものであるが、これらは塗装の管理やその作業自体に高レベルの技術を要求していると同時に、全体の工程を効率の悪いものとしている。このような塗装システムではその管理技術が若干でも低下するような場合には、工程異常の間接的な原因となることさえも考えられる。

ここでひとつの塗料で上塗と下塗の機能を同時に発揮することができれば、塗装システムの煩雑さが軽減され、工程・工期を短縮でき、工程異常を発生しにくくできる。結果的に塗装のコストを低く抑え込むことが可能になるなど多くのメリットが得られるものと考え、開発に着手した。

3. 設計の考え方

表2に現在、防食塗装に用いられている塗料(樹脂別に分類)について、その各種性能、コスト、用途の比較を示し

表1 明石海峡大橋の外面塗装仕様(海峡部外面用)¹⁾

施工場所	工程	塗料の種類	塗装方法	塗付量 (g/m ²)	塗装間隔		膜厚 (μm)
					Min.	Max.	
原板メーカー	素地調整	原板プラスト処理					
	シヨッププライマー	無機ジंकリッチプライマー	スプレー	200	(1日)	(10ヶ月)	20
橋梁メーカー	素地調整	製品プラスト処理					
	第1層	厚膜型無機ジंकリッチペイント	スプレー	700	2日	6ヶ月	75
	第2層(ミストコート)	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー	160	1日	10日	-
	第3層	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー	300	1日	3ヶ月	60
	第4層	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー	300	1日	3ヶ月	60
	第5層	エポキシ樹脂塗料中塗	スプレー	170	1日	10日	30
	第6層	ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー	140			25

表2 各種防食用塗料の性能・コストの相対的な比較

塗料の種類	防食性	耐候性	価格	主な用途
フタル酸樹脂系塗料	~ x		安価	一般防食
塩化ゴム系塗料			中位	一般・重防食
アクリル樹脂系塗料	~ x		中位	一般・重防食
ポリウレタン樹脂系塗料			高価	重防食
シリコン樹脂系塗料	~	+	高価	重防食
ふっ素樹脂系塗料		++	超高価	重防食
エポキシ樹脂系塗料		x	高価~中位	重防食

(優)

x (劣)

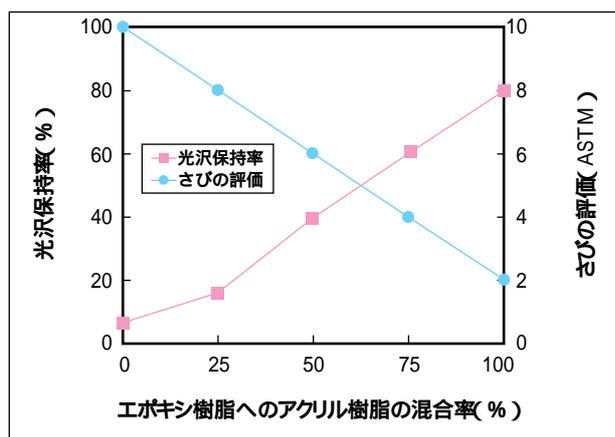
た。

これらの中で、ひとつの塗料ですべてをカバーできる性能を持ったものはなく、総合的な性能を確保するためにはこれらを組み合わせなければならないことが分かる。エポキシ樹脂塗料は優れた耐水性、耐薬品性、耐油性を持ち、さらには付着性、可とう性など安定した物性を有していることから、防食塗料として広く使用されている。しかし、紫外線に対して弱く、上塗り用として使用した場合には数ヶ月程度で急速な光沢の低下と塗膜表面にチョーキング(白亜化)と呼ばれる粉化現象が見られるようになり、極端な場合には塗膜の消失に到ることさえある。一方、塩化ゴム塗料やアクリル樹脂塗料は比較的安価で実用的なレベルの耐候性・美粧性が得られるが、その防食性は十分とは言えない。また、ポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料、シリコン樹脂系塗料はすぐれた耐候性が期待できるが、防食性ではエポキシ樹脂塗料の水準には届かない。

防食性と耐候性を同時に発揮できる塗料を設計するに際しては、まず防食性・耐水性に優れたエポキシ樹脂を選択し、耐候性が良好で且つコスト面で有利なアクリル樹脂を組み合わせてみることに着目した。

4. アクリルグラフト変性エポキシ樹脂

アクリル樹脂(スチレン成分を含まない)とエポキシ樹脂を単純にブレンドした例を図1に示した^{2,3)}。ここではアクリル樹脂量が増すに連れて塗膜の耐候性が向上してゆくが、反対に防食性はそれに応じて低下してゆく。このように単純なブレンド系では、耐候性と防食性の両方を満足できる組成のものを得ることはむずかしい。このため、エポキシ樹脂を様々な特性を持つアクリル樹脂で変性し、その樹脂構造中に部分的な配向性を持たせて、それぞれに防食性と耐候性を分担させ、これらをひとつの塗膜で両立させることを試みた。



さびの評価 10：異常なし 8：0.1% 6：1%
 4：10% 2：33% 0：全面さび
 (ASTM-D610の評価基準に準拠)
 光沢保持率：60° 光沢

図1 アクリルとエポキシの混合割合による塗膜性能の変化

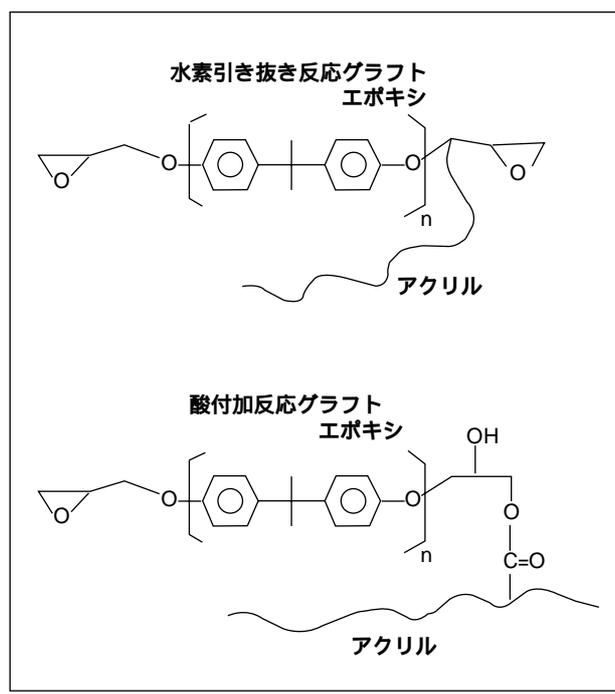


図2 アクリルグラフトエポキシ樹脂の模式構造

具体的にはエポキシ樹脂の水素引き抜き反応によってアクリル樹脂をグラフトさせる方法と、カルボキシル基含有アクリル樹脂をエポキシ樹脂への酸付加反応によってグラフトさせる方法などで、さまざまな樹脂組成のアクリルグラフト変性エポキシ樹脂を合成した。図2に代表的なグラフト化反応の模式図を示した。

このようにして得られたアクリルグラフト変性エポキシ樹脂は、従来の常温硬化形エポキシ樹脂塗料で使用されているアミン系、ポリアミド系などさまざまな汎用硬化剤と問題なく混合でき、十分な硬化性を発揮する塗膜を形成すること

ができた。それらの結果を表3にまとめた。

5. 上塗り・下塗り兼用塗料の概要

上塗り・下塗り兼用塗料の組成の概要を表4に示した。本塗料は一般的なエポキシ樹脂塗料と同様にアミン系硬化剤によって常温で反応硬化する2液形塗料である。塗料の取り扱いかた、シンナーの適用も一般的なエポキシ樹脂塗料に準じる。

表3 アクリルグラフト変性エポキシ樹脂の硬化特性

項目	硬化剤のタイプ	アクリルグラフト変性エポキシ樹脂	アクリル樹脂/エポキシ樹脂混合物	エポキシ樹脂(ビスフェノール系)
混合安定性 (相溶性)	ポリアミド系	良好	不良	良好
	ポリアミン系	良好	不良	良好
	ポリアミドアミン系	良好	不良	良好
	アミンアダクト系	良好	不良	良好
	ケチミン系	良好	良好	良好
硬化性 (16時間後/20)	ポリアミド系	硬化	-	硬化
	ポリアミン系	硬化	-	硬化
	ポリアミドアミン系	硬化	-	硬化
	アミンアダクト系	硬化	-	硬化
	ケチミン系	硬化	やや粘着感	硬化

表4 上塗り・下塗り兼用塗料の組成の概要

主 剤	アクリルグラフト変性エポキシ樹脂ワニス	50
	着色顔料および体質顔料	30
	添加剤、その他	5
	溶剤類	10
硬化剤	変性アミン系硬化剤	5
使用するシンナー：エポキシ樹脂塗料用シンナー		
塗料の加熱残分(固形分)		65%
塗料のPVC(固形分中の顔料容積濃度)		25%

さびの発生が認められている。ここではさびの発生度についてのみ表記しているが、その他にさびに伴うふくれの発生なども認められている。しかし、開発品の上塗り・下塗り兼用塗料やエポキシ樹脂塗料下塗りではさびの発生は認められず、すぐれた防食性を示している。また、塗膜の防食性のひとつのパラメーターとして扱える酸素透過性の測定結果を表5に示した。測定は膜厚100μmについてガス透過試験装置(圧力法)にて実施した。上塗り・下塗り兼用塗料の酸素透過性はほぼ一般的なエポキシ樹脂塗料と同等

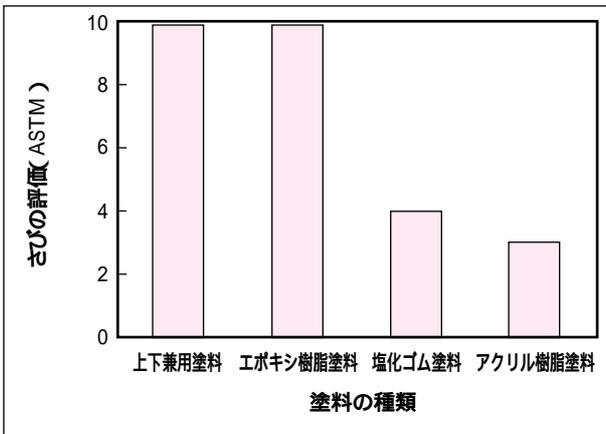
6. 上塗り・下塗り兼用塗料の防食性能について

開発した上塗り・下塗り兼用塗料、一般的なエポキシ樹脂塗料下塗りとアクリル樹脂塗料をサンドブラスト鋼板に塗装(乾燥膜厚:100μm)、それぞれの防食性を評価した²⁾³⁾⁴⁾。

図3は塩水噴霧試験1,000時間後の結果であり、図4は屋外ばくろ試験(海浜地区)12ヵ月後のものである。塩水噴霧試験および屋外ばくろ試験においてアクリル樹脂塗料では

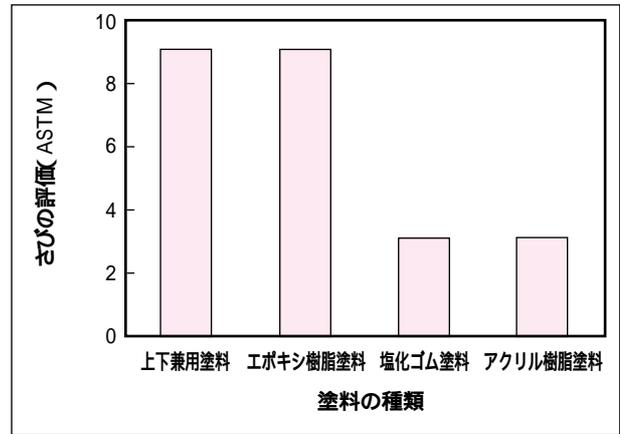
のレベルであり、フタル酸樹脂塗料や塩化ゴム塗料に比べて大きな阻止能力を有している。

次に塗膜の破断強度と伸びの測定結果を表6に示す。上塗り・下塗り兼用塗料はエポキシ樹脂塗料と同じような物性挙動を示していることが分かる。このことはアクリル樹脂のグラフト変性が行なわれているものの、その樹脂の架橋状態は通常のエポキシ樹脂のそれとほとんど差のないものとなっていると推定され、このことも塗膜の防食性の良さをある程度支持するものと考えている。



さびの評価		
10: 異常なし	8: 0.1%	6: 1%
4: 10%	2: 33%	0: 全面さび
(ASTM-D610の評価基準に準拠)		

図3 上下兼用塗料の促進防食試験(塩水噴霧1000hr)



さびの評価		
10: 異常なし	8: 0.1%	6: 1%
4: 10%	2: 33%	0: 全面さび
(ASTM-D610の評価基準に準拠)		

図4 上下兼用塗料のばくろ防食性試験(海浜ばくろ12ヵ月)

表5 上塗り・下塗り兼用塗料の酸素透過性

塗料の種類 項目	上塗り・下塗り兼用塗料	エポキシ樹脂塗料	塩化ゴム塗料	フタル酸樹脂塗料
酸素透過性	19	16	38	67

単位: $(\times 10^{-12}) \text{cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{秒} \cdot \text{cmHg}$

表6 上塗り・下塗り兼用塗料の引っ張り試験結果

塗料の種類 項目	上塗り・下塗り 兼用塗料	エポキシ 樹脂塗料	アクリル 樹脂塗料
破断強度 (MPa)	14.9	15.1	11.2
伸び率 (%)	3.0	3.5	11.5
破断エネルギー (kg/cm)	2.8	2.8	1.1

引っ張り速度:4mm/min(20)

7. 上塗り・下塗り兼用塗料の耐候性能について²⁾³⁾⁴⁾

上塗り・下塗り兼用塗料、通常のエポキシ樹脂塗料下塗とアクリル樹脂塗料上塗をサンドブラスト鋼板に塗装(乾燥膜厚:100 μ m)し、それぞれの耐候性試験を行なった結果を紹介する。

図5はサンシャインウェザオメーター500時間までの結果であり、図6は屋外ばくろ試験(海浜地区)12ヵ月までの結果である。ここでは塗膜の60°光沢値変化の様子を示している。開発品の上塗り・下塗り兼用塗料では、その光沢は低下してくる傾向は認められるが低下の程度は緩く、アクリル樹脂塗料や塩化ゴム塗料とほぼ同レベルにあり、上塗塗料として十分実用可能な耐候性を有しているといえる。一方、エポキシ樹脂塗料では早期に光沢の低下が認められ、促進試験、屋外ばくろ試験のいずれにおいてもすでに全面に白亜化(表面粉化)が生じている。

このようにアクリルグラフト変性エポキシ樹脂をベースとした上塗り・下塗り兼用塗料は、アクリル樹脂の耐候性とエポキシ樹脂(ビスフェノール系)の防食性がそれぞれの樹脂の弱点を補い合い、さらにはその特性をうまく発揮している。

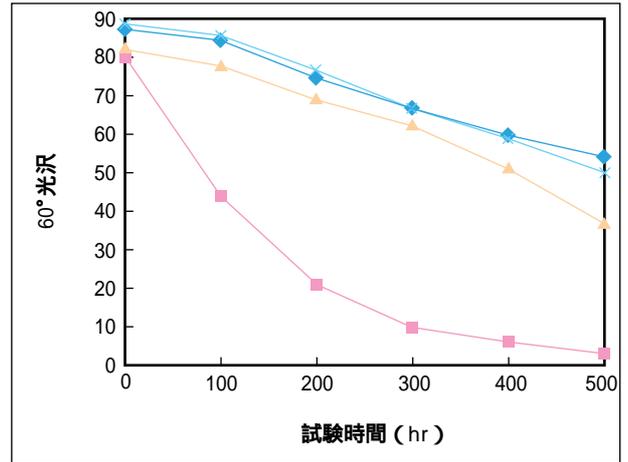


図5 上下兼用塗料の促進耐候性試験結果(サンシャインウェザオメーター)

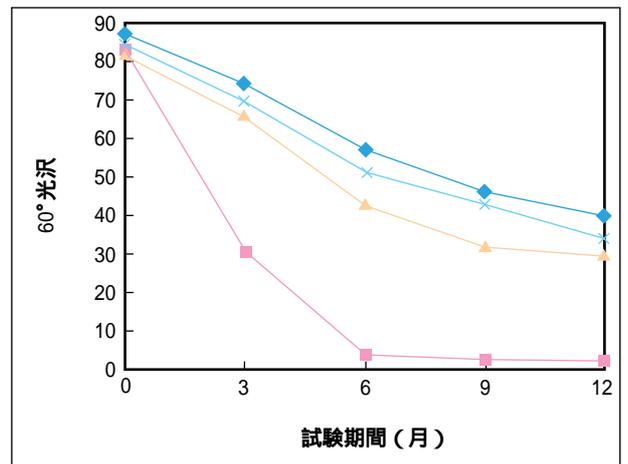


図6 上下兼用塗料のばくろ耐候性試験結果(海浜地区ばくろ)

表7 上塗り・下塗り兼用塗料の各種塗膜性能

試験項目	試験条件	試験結果
塗膜の光沢	JIS K5400 7.6 60°光沢	80
鉛筆硬度	JIS K5400 8.4	B
付着性(ごばん目テープ)	JIS K5400 8.5.2 12mm幅、5×5	25/25
耐屈曲性	JIS K5400 8.1 10mm	異状なし
耐水性	上水浸漬 10日	異状なし
耐塩水性	3% NaCl液浸漬 10日	異状なし
耐複合サイクル防食性	塩水噴霧, 0.5hr~湿潤, 1.5hr~50, 2hr~30, 2hr 120サイクル	異状なし
耐冷熱繰り返し付着性	20, 15hr~70, 9hr 10サイクル後、ごばん目テープ付着	異状なし
耐熱性	160, 30分後、ごばん目テープ付着	異状なし

8. 上塗り・下塗り兼用塗料の各種性能について

表7に上塗り・下塗り兼用塗料の各種塗膜性能をまとめた。上塗塗料として求められる仕上がり性(外観、光沢、耐候性など)、下塗塗料として求められる防食性(付着性、耐水性など)、そして塗膜としての基本的な物性(硬度、付着性、その他) など実用性能は十分な水準にあることが分かる。

9. 耐候性と防食性の発現について²⁾³⁾

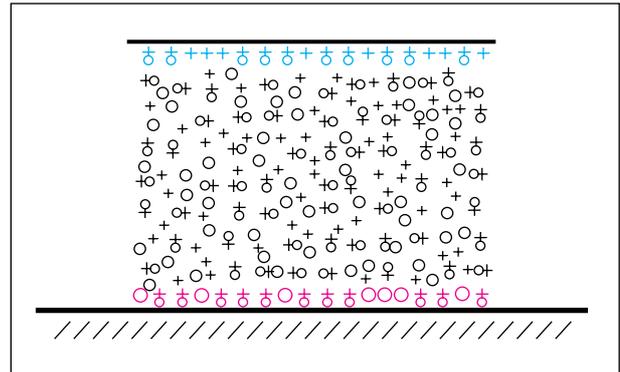
前述のように上塗り・下塗り兼用塗料では、アクリル樹脂塗料レベルの耐候性とエポキシ樹脂塗料レベルの防食性が都合よく発現されるが、赤外吸収スペクトル分析などによる塗膜中の樹脂成分の分布測定では、樹脂成分の偏在は特に認められていない。また、4.の項でも触れたが、相溶性や硬化状態からも全体として均一な構造を有していることが窺える。

一方、塗膜の表面と素地側の界面(裏面) について塗膜の接触角を測定したところ、表8のような結果が得られている。つまり、上塗り・下塗り兼用塗料では、塗膜表面側にグラフト樹脂のアクリル樹脂成分が配向し、素地面側にエポキシ樹脂成分が配向する傾向があるものと考えられる(図7

表8 上塗り・下塗り兼用塗料の接触角測定結果

塗料の種類 測定対象	上塗り・下塗り 兼用塗料	エポキシ 樹脂塗料	アクリル 樹脂塗料
	塗膜表面	20.2°	12.1°
素地側界面	14.3°	11.9°	19.6°

試験液滴：パラフィン



♂: 塗膜表面の樹脂成分の部分的配向
♀: 素地界面の樹脂成分の部分的配向
○: エポキシ成分
+: アクリル成分

図7 塗膜の模擬構造(推定)

参照) このことにより、それぞれの樹脂成分の特長が効果的に活かされた塗膜を形成しているものと推定している。

表9 上塗り・下塗り兼用塗料による塗装仕様の例

施工場所	工程	塗料の種類	塗装方法	塗付量 (g/m ²)	塗装間隔		膜厚 (μm)
					Min.	Max.	
現地	素地調整	動力工具処理(3種ケレン)					
	補修塗り	上塗り・下塗り兼用塗料	はけ	(240)	8時間	3ヶ月	(60)
	上塗り・下塗り	上塗り・下塗り兼用塗料	はけ	240	8時間	3ヶ月	60
	上塗り・下塗り	上塗り・下塗り兼用塗料	はけ	240	8時間	3ヶ月	60

表10 エポキシ～塩化ゴム系の従来形塗装仕様の例

施工場所	工程	塗料の種類	塗装方法	塗付量 (g/m ²)	塗装間隔		膜厚 (μm)
					Min.	Max.	
現地	素地調整	動力工具処理(3種ケレン)					
	補修塗り	変性エポキシ樹脂塗料	はけ	(240)	8時間	1ヶ月	(60)
	下塗り	変性エポキシ樹脂塗料	はけ	240	8時間	1ヶ月	60
	中塗り	塩化ゴム塗料中塗	はけ	170	16時間	1ヶ月	35
	上塗り	塩化ゴム塗料上塗	はけ	150	16時間	1ヶ月	30

10. 上塗り・下塗り兼用塗料の塗装システム

鋼構造物の防食に使用される塗料の多くは常温硬化形の塗料で、それらの乾燥時間(20℃)は8～16時間くらいに設定されている。このため1日1回ずつ塗装することとなり、塗装回数がそのまま塗装の工期となる。

表9に上塗り・下塗り兼用塗料による塗装システムの例を示した。これは表10の従来形の塗料による一般的な防食塗装システムを上塗り・下塗り兼用塗料で置き替えたものである。上塗り・下塗り兼用塗料では上塗と下塗の2つの工程を1回で済ませることができるため、塗装回数が削減され、塗装工期が短縮されることによって大幅なコスト低減が可能となる。図8にこれらの塗装システムのトータル塗装コストの比較例を示した。

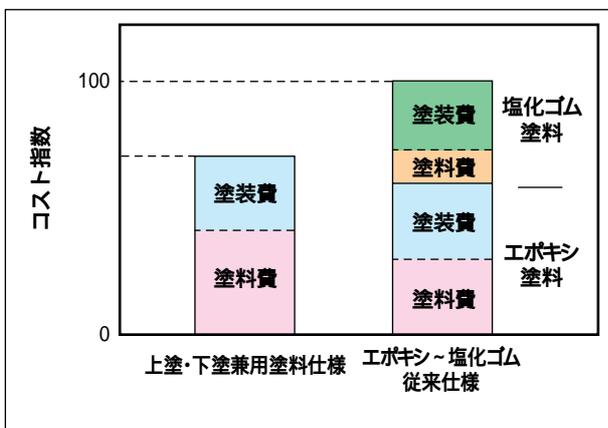


図8 トータル塗装コスト比較

また、塗料の塗付量が減ること、排出される溶剤(VOC)が削減されることは、そのSVR(固形分体積比率)の高さと相まって上塗り・下塗り兼用塗料の塗装システムがひとや環境にやさしい塗料・塗装システムとなっていることも強調しておきたい。

ここであらためてこの塗装システムのメリットを整理するとつぎの通りである。

- 1) 塗装工数(回数)が削減される。
- 2) 塗装工期が短縮される。
- 3) 塗装仕様が簡素になる。
- 4) 塗料の品種(在庫量)が減る。
- 5) 塗り間違いなどの工程異常が出にくくなる。
- 6) 塗付量が減り、VOCが削減できる。
- 7) コストが低減できる。

13. おわりに

上塗り・下塗り兼用塗料、塗装システムについて紹介をした。冒頭でも述べたが、今後とも塗装の効率性と安全性の

追求が止むことはなく、さらに高水準な段階に進んでゆくものと考えている。

この技術のさらなる向上に努め、より高性能な上塗り・下塗り兼用塗料、塗装システムをより早く提供できるよう一層の努力を重ねて行きたい。読者諸兄のご指導、ご鞭撻をお願いする。



14. 参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団: 鋼橋等塗装基準・同解説 (1994)
- 2) 中野正、松本康幸: 塗装技術、38[7] p.99-103 (1999)
- 3) 中野正、松本康幸: JETI、47[6] p.77-80 (1999)
- 4) 松本康幸、野田純生: 第19回防錆防食技術発表大会講演予稿集、p.127-130 (1999)