

# 重防食塗装システムの長期耐久性と 水性重防食塗料の応用展開

Long-term Durability of Heavy Duty Coating System  
and Application of the Aqueous Heavy Duty Paint

塗料事業部門 建築・構造物塗料事業部  
構造物塗料テクニカルサポートグループ  
Paint Operating Division,  
Architectural and Protective Coatings Department  
Protective Coatings Technical Support Group



松本 剛司  
Tsuyoshi MATSUMOTO

## 1. はじめに

鋼構造物を様々な環境要因から護り、長年に渡って維持することによって社会インフラを支えていくのが防食塗料の使命である。その使命を果たすために、高耐久化・長寿命化、ライフサイクルコストの低減へのアプローチが絶えずなされている。

塗料は品質や性能の選択範囲が広いため、保護や美装を目的に多分野に渡り使用されている。高度経済成長期以降、急速に整備された橋梁・各種プラント設備などの大型鋼構造物においては老朽化が懸念されているものが多数あるが、新規更新による建て替えには莫大なコストと時間が必要なため、補修や補強により維持管理され長寿命化がなされている。その中で、重防食塗装システムによる補修は、これら鋼構造物を腐食から護り、美観性を維持していくことにより、長寿命化を支えることを役割としている。

また、近年、地球環境の維持・保全を目的として、光化学スモッグや地球温暖化の原因の一つと言われている揮発性有機溶剤 (VOC: Volatile Organic Compounds) の排出抑制が求められている。各塗料メーカーにおいてもその要求に対応すべく、塗料中に含まれるVOCの削減に対する取り組みが行われている。

現在、鋼構造物の塗り替え塗装においては、旧塗膜への影響、トルエン・キシレンなどPRTR法の指定対象

物質の削減、塗装時の臭気への配慮などの観点より、弱溶剤形塗料が主流となっている。

当社においては、近年の樹脂合成技術および塗料配合技術の向上により、ジンクリッチペイントから上塗塗料まで全てが水性塗料で構成される「DNT水性重防食システム」を開発し、上市している。

本報では、溶剤形重防食塗装システムにおける21年間の長期耐久性評価結果を紹介し、「DNT水性重防食システム」の重防食塗装分野における展開を述べる。

## 2. 重防食塗装システムについて

### 2.1 各層の役割

重防食塗装は、防食下地・下塗塗料・中塗塗料・上塗塗料と機能の異なる塗料を組み合わせることにより、塗装システムとして長期の耐久性を確保している。適用する個々の塗料については高耐久化・省工程化が絶えず望まれているが、それらを実現し、システムとして組み合わせることによりVOC削減にも繋がる。

重防食塗装を構成している各塗料の機能を次に示す。

1) 防食下地

無機ジンクリッチペイント・有機ジンクリッチペイント・熔融亜鉛めっき・金属溶射被膜などがあり、鋼材面と密着し鋼材よりも卑な電位をもつ金属(亜鉛など)の犠牲防食作用や亜鉛腐食生成物の緻密化による腐食因子の遮断、アルカリ性保持などの腐食抑制効果によって鋼材の腐食を防ぐ。

2) 下塗塗料

防食下地と良好な付着性を有し、水と酸素の腐食因子と塩化物イオンなどの腐食促進因子の浸透を抑制して、防食下地の劣化・消耗を防ぐ。

3) 中塗塗料

下塗塗料と上塗塗料の付着性確保と色相を調整することによって、下塗塗料の色相を隠ぺいする。

4) 上塗塗料

耐候性を有し、長期間・光沢や色相を維持し美観を保持する。下層塗膜を紫外線から保護する。

2.2 耐久性

上塗り塗膜をふっ素樹脂塗膜とポリウレタン樹脂塗膜とした場合の長期暴露試験結果を以下に記す。本暴露試験に供した塗装仕様を表1に示す。

表1 暴露試験供試塗装仕様

工程	ふっ素樹脂塗料塗装系	ポリウレタン樹脂塗料塗装系
防食下地	無機ジンクリッチペイント(75 $\mu$ m)	
ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗(一)	
下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗(60 $\mu$ m) $\times$ 2回	
中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗(30 $\mu$ m)	ポリウレタン樹脂塗料用中塗(30 $\mu$ m)
上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗(20 $\mu$ m) $\times$ 2回	ポリウレタン樹脂塗料上塗(30 $\mu$ m)

注1:( )内の数値は膜厚を示す

注2:上塗りの色相は橙系((一社)日本塗料工業会 塗料用標準色:E09-50X)

暴露試験は、(国立研究開発法人)土木研究所が設置した海洋技術総合施設(静岡県大井川町沿岸、ISO 9223でC4に分類される腐食環境)の海上大気部にて21年間実施した。以下に調査項目と結果を記載する。

(1) 塗膜の表面観察

21年間の暴露試験後の塗膜表面の電子顕微鏡(SEM)観察結果を図1に示す。暴露後のポリウレタン樹脂塗膜表面には、樹脂層の劣化に伴う亀裂と顔料の露出が認められた。ふっ素樹脂塗膜表面には、樹脂層

の残存と顔料の離脱後と推定される窪みの両者が観察された。

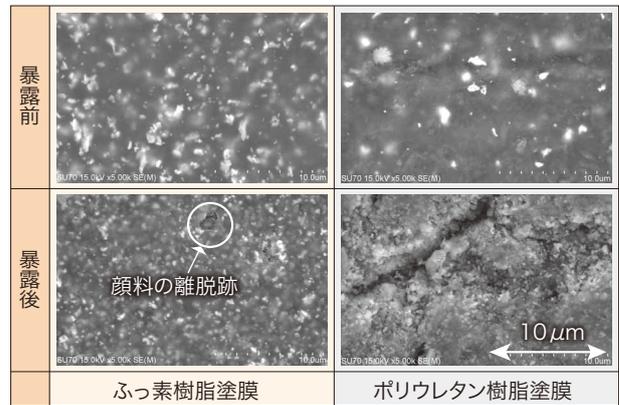


図1 海上大気部21年間暴露試験結果  
一塗膜表面のSEM観察結果一

(2) 膜厚の減耗量

21年間の暴露試験後の膜厚減耗量観察を図2に示す。ポリウレタン樹脂塗膜の減耗量は11 $\mu$ m、ふっ素樹脂塗膜は0.4 $\mu$ mであり、ふっ素樹脂塗膜の高い耐久性が確認された。

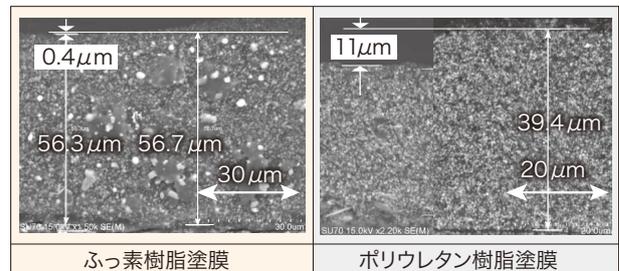


図2 海上大気部21年間暴露試験結果  
一膜厚減耗量一

(3) 電気化学的測定

塗膜下腐食診断装置による電気化学的測定結果を表2に示す。全般的な傾向はポリウレタン樹脂塗装系よりもふっ素樹脂塗装系の方が優れており、いずれの塗装系も十分な防食性を維持していることが確認された。

表2 塗膜下腐食診断装置による電気化学的測定結果

	分極抵抗 log( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	分極容量 log(F/cm $^2$ )	塗膜抵抗 log( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	塗膜容量 log(F/cm $^2$ )
ふっ素樹脂塗装系	9.46	-9.32	8.66	-10.22
ポリウレタン樹脂塗装系	8.24	-9.61	7.57	-9.95

#### (4) 塗膜内部への塩化物イオンの浸透

測定結果を図3に示す。いずれの塗装系も塩化物イオンが防食下地まで浸透している様子は認められなかった。

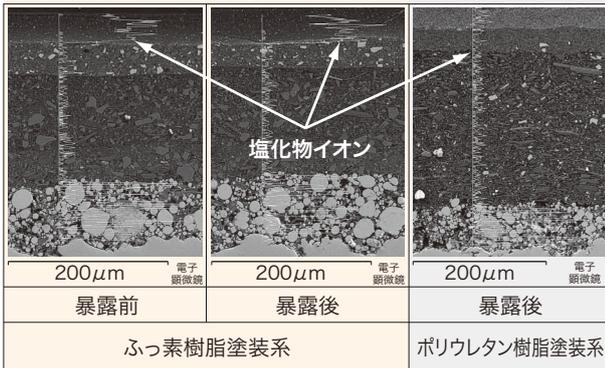


図3 海上大気部21年間暴露試験結果  
 —塗膜内部への塩化物イオン浸透状況—

#### (5) 防食下地の健全度

ふっ素樹脂塗装系の亜鉛粒子断面のSEM観察とEDXによる亜鉛と酸素元素の分析結果を図4に示す。

亜鉛粒子の形態的な変化は認められず、健全な状態を維持していることが確認された。また、亜鉛粒子表面に酸素の存在は認められず、亜鉛粒子に酸化劣化は生じていないことが推定された。

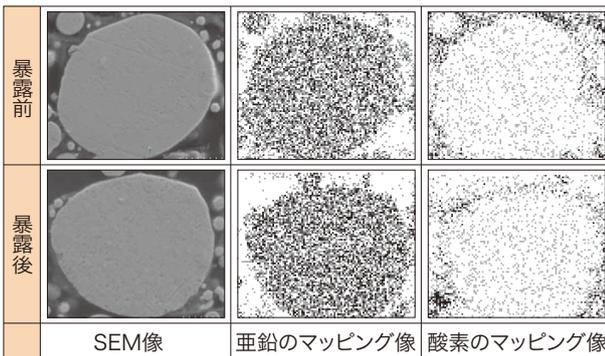


図4 海上大気部21年間暴露試験結果  
 —ふっ素樹脂塗装系の亜鉛粒子断面SEM観察写真とEDXによる元素の分析結果—

以上の結果から、ふっ素樹脂塗膜の表面劣化はポリウレタン樹脂塗膜より小さく、下塗り～上塗りまでの複合塗膜がジンクリッチ塗膜を長期間にわたって保護していることが示唆される。

現在、同様の各試験を下記に解説する「DNT水性重防食システム」においても実施しており、長期的な検証を実施している。

### 3. 水性化における課題点

水は揮発速度が遅く表面張力が高いという特性を持つことから、水性塗料を取り扱う上で十分な注意が必要となる。防錆・防食用塗料分野における注意点としては、

- ①希釈シンナーによる乾燥性の調節ができない。
- ②乾燥が溶剤形と比較して遅く、特に高湿度下においては白化などの不具合を生じやすい。
- ③溶剤形と比較して基材とのなじみが悪く、さびへの浸透性が低いため、素地調整を十分に行う必要がある。

という点が挙げられる。

これまでに実施された評価報告として、(国立研究開発法人)土木研究所発行の「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」<sup>1)</sup>がある。重防食分野における水性塗料・低溶剤形塗料・無溶剤形塗料の詳細な評価結果が報告されており、水性塗料としては水性無機ジンクリッチペイント・水性有機ジンクリッチペイント・水性エポキシ樹脂塗料・水性ふっ素樹脂塗料における性能評価と夏季および冬季各環境における試験塗装結果が紹介されている。防食性および耐候性などの塗膜性能においては溶剤形と同等であることが示されているが、施工性においては、いくつか課題があることが報告されている。課題としては、

- ①溶剤形塗料と粘性挙動が異なるため、刷毛・ローラー塗装においては均一な塗膜厚に塗装することに難点があり、厚膜になるとたれやすい。
  - ②低温や高湿度環境下では塗膜は乾燥しにくく、そのような環境で形成した塗膜は膨れなどの欠陥が発生する懸念がある。
  - ③塗装時の残存さびの影響が大きいため、溶剤形以上に素地調整に対して十分な注意が必要である。
- という点が示されている。

## 4. 「DNT水性重防食システム」の性能

### 4.1 「DNT水性重防食システム」の特長

「DNT水性重防食システム」の主な特長を以下に記す。

- ①重防食塗装を防食下地から上塗りまで全て水性塗料で構成することができる。
- ②全ての塗料が反応硬化タイプであり、硬化塗膜は溶剤形塗料と同等の性能を有する。
- ③溶剤形塗料を用いた塗装システムと比較して、VOCを大幅に削減することができる。
- ④溶剤形塗料と比較して、倉庫での貯蔵量を大幅に増加できる。
- ⑤塗料中に有害な重金属(鉛・クロムなど)を含まない。

「DNT水性重防食システム」では、鋼材に直接塗装されるジンクリッチペイントまたは下塗塗料においても水性化を実現している。特に海岸の近くなど腐食条件の厳しい環境において長期的に鋼材を腐食から護るには、鋼材に対して犠牲防食作用を示す金属亜鉛を含有するジンクリッチペイントの適用が効果的である。周知のとおり、大気中における鋼材の腐食は、鋼材表面に水分および酸素が存在する場合に局部電池が形成されて電気化学反応が生じ、さびが生成されることにより進行する。水性のジンクリッチペイントまたは下塗塗料を鋼材に塗装するということは、さびの発生要因の一つである水を鋼材表面に直接塗り付けることになるが、これらの塗料中の水が腐食要因として作用しないような塗料設計がなされている。

また、ジンクリッチペイントから上塗塗料まで全て反応硬化タイプとなっており、主剤および硬化剤にそれぞれ含まれる樹脂同士が反応、架橋することにより、強固な塗膜が形成される。このことにより、長期的に溶剤形と同等の塗膜性能を発揮することができる。

「DNT水性重防食システム」は従来の溶剤形重防食システムと同等の性能を持ち、かつ該当するJIS規格の品質を有していることを確認している。図5に沖縄暴露3年の外観写真を示す。また、図6にキセノンランプ法による促進耐候性試験結果を示す。

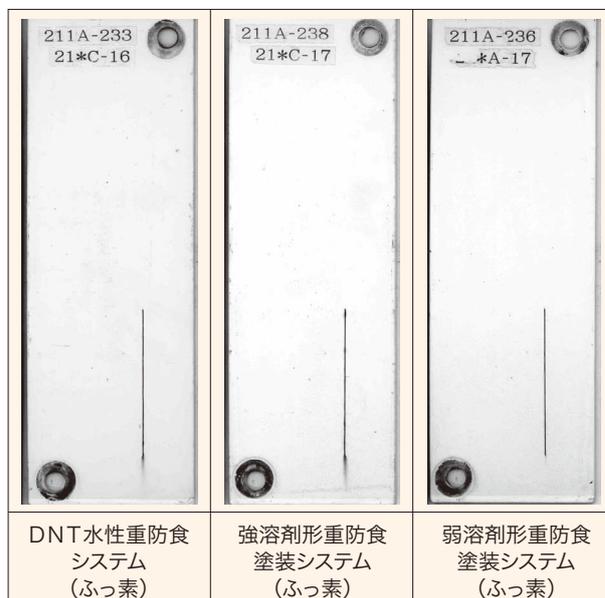


図5 沖縄暴露試験3年後の外観

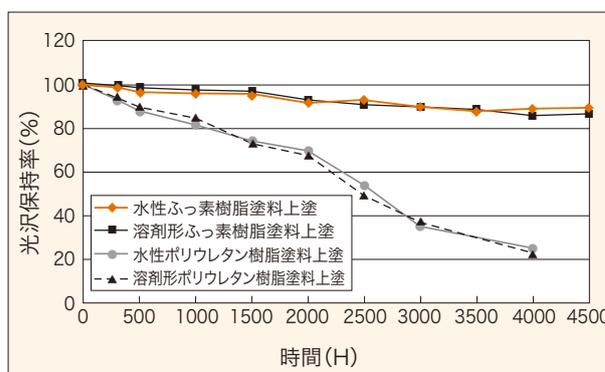


図6 キセノンランプ法による促進耐候性試験結果

### 4.2 標準塗装仕様と塗膜乾燥性

表3に「DNT水性重防食システム」の標準塗装仕様を示す。溶剤形と同様に用途によりポリウレタン塗装システムもしくはふっ素塗装システムの選定が可能である。

重防食塗装系は、そのほとんどが大型の鋼構造物に採用されることから、屋外環境で塗装されることが多い。したがって、塗装時の天候(気温・湿度)によっては、塗装後間もないうちに降雨・結露に遭遇してしまう場合も生じる。そのため、水性塗料を塗装した塗膜が降雨・結露によって溶かされ、流されないように、塗装後早期に塗膜が乾燥し、水に溶解し難くなるように設計されている。

表3 「DNT水性重防食システム」の標準塗装仕様

新 設							
工 程	商 品 名	塗 装 方 法	標準膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	標準使用量 ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{回}$ )	希 積 率 (%)	塗 装 間 隔 ( $20^\circ\text{C}$ )	
素地調整	ブラスト処理(ISO-Sa2 1/2)					4時間以内	
防食下地	水性ゼッタールEP-2HB	エアレス	75	570	0~5	16時間~1ヶ月	
下塗り第一層	水性エポオール	エアレス	60	340	0~10	16時間~10日	
下塗り第二層	水性エポオール	エアレス	60	340	0~10	16時間~10日	
中塗り	水性エポニックス 中塗	エアレス	30	170	5~15	16時間~10日	
上塗り	ふっ素仕様	水性VフロンH 上塗	エアレス	30	160	0~10	-
	ポリウレタン仕様	水性VトップH 上塗	エアレス	30	150	0~10	-
塗 り 替 え							
工 程	商 品 名	塗 装 方 法	標準膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	標準使用量 ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{回}$ )	希 積 率 (%)	塗 装 間 隔 ( $20^\circ\text{C}$ )	
素地調整	動力工具にて、さびおよび劣化塗膜を除去し、活膜は入念な目粗しを行い、塵埃などの異物を除去する(発さび部の除錆度:ISO-St3.0以上)					4時間以内	
下塗り第一層	水性エポオール	刷毛・ローラー	60	260	0~10	16時間~10日	
下塗り第二層	水性エポオール	刷毛・ローラー	60	260	0~10	16時間~10日	
中塗り	水性エポニックス 中塗	刷毛・ローラー	30	130	5~15	16時間~10日	
上塗り	ふっ素仕様	水性VフロンH 上塗	刷毛・ローラー	30	130	0~10	-
	ポリウレタン仕様	水性VトップH 上塗	刷毛・ローラー	30	120	0~10	-

### 4.3 地球環境への貢献と安全性

図7に「DNT水性重防食システム」と溶剤形システムとのVOC排出量比較を示す。重防食塗装システムを全て水性塗料で構成することができるため、塗料中の溶媒および希釈用シンナーも水であることから、既存の溶剤形塗料を用いた塗装システムと比較して、塗料から放出されるVOCを新設塗装系では約90%、塗り替え塗装系では約85%削減することができる。したがって、本塗装システムを採用することにより、塗装時のシンナーなどによる臭いもほとんどないことから、塗装環境の大幅な改善ができ、ひいては地球環境の維持・保全に繋げることができる。

消防法においては、そのほとんどの商品が非危険物としての取り扱いとなるため、倉庫での貯蔵量を大幅に増やすことができるとともに、塗料の希釈には水道水を用いることから、専用シンナーを購入・保管しておく必要もなくなる。

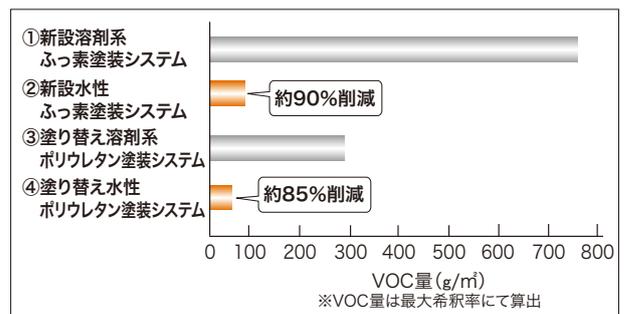


図7 「DNT水性重防食システム」と溶剤形塗装システムとのVOC排出量比較

### 4.4 フィールドにおける試験塗装評価

重防食分野における水性塗料の規格例としては、日本道路協会「鋼道路橋防食便覧」<sup>2)</sup>に環境にやさしい塗装仕様例として掲載されており、また(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」<sup>3)</sup>に一般外面の塗装仕様(新設・塗り替え)として規格化されている。現在のところ適用例は少ないが、今後

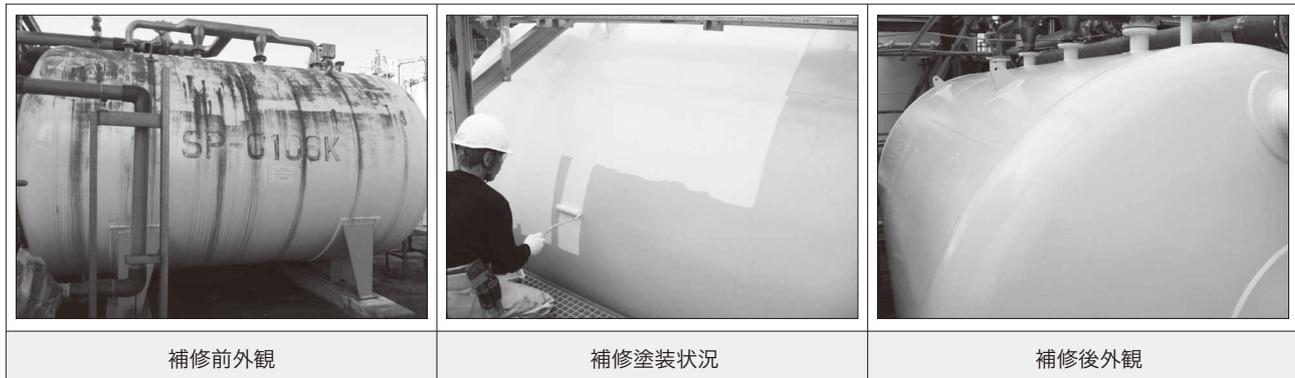


図8 「DNT水性重防食システム」の適用例 — 鋼製タンク塗り替え—

本格的に展開されることが考えられる。

「DNT水性重防食システム」は、橋梁・貯蔵タンクなどのプラント設備・歩道橋・鉄塔などに数多くの試験施工を実施しており、実フィールドにおける性能評価を実施している。その中の一例として、海岸地域における貯蔵タンクの塗り替え塗装への適用例を紹介する。図8に鋼製タンク補修前・補修塗装状況および補修後の写真を示す。

試験施工は冬季環境の低温時に行い、塗装前処理は2種ケレン (ISO-St3) にて除錆し、刷毛・ローラー塗装にて実施した。塗装仕様は水性ゼッターールEP-2HB (乾燥膜厚 $40\mu\text{m}$ ) / 水性エポオール (乾燥膜厚 $60\mu\text{m}$ ) / 水性エポオール (乾燥膜厚 $60\mu\text{m}$ ) / 水性エポニックス中塗 (乾燥膜厚 $30\mu\text{m}$ ) / 水性VフロンH上塗 (乾燥膜厚 $30\mu\text{m}$ ) にて供試した。低温時の塗装であったが乾燥性に問題はなく、塗装作業性も良好であり、規定の乾燥膜厚を確保できている結果であった。また、仕上がり外観も良好であった。現在、長期的な継続調査を実施中である。

## 5. おわりに

本報で紹介した「DNT水性重防食システム」は、塗料中のVOCを大幅に削減することにより、塗装環境および地球環境への影響を低減させた画期的な塗装システムである。また、これまでの溶剤形重防食塗装システムと同等の塗膜性能を有していることから、橋梁・各種プラント設備などの大型鋼構造物の長寿命化を支えていくことが可能な商品である。また、これまでシンナーの臭気などにより適用が困難であった、住宅街や人通りの多い繁華街・駅およびその周辺においても、従来よりも耐久性の高い重防食塗装の展開が可能となる。今後、「DNT水性重防食システム」が市場に広く展開され、地球環境および社会へ貢献できることを期待する。

## 参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所：「鋼構造物塗装のVOC削減に関する共同研究報告」(2010)
- 2) 公益社団法人日本道路協会：  
「鋼道路橋防食便覧」(2014)
- 3) 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」(2013)