

# 冬季における水性重防食塗料による 鋼道路橋の塗り替え塗装

Recoat of Steel Road Bridge by Water Borne Heavy Duty  
Anticorrosive Paint during the Winter Season

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



尾田 光  
Akira ODA



桑原 幹雄  
Mikio KUWAHARA

## 要 旨

近年、環境保全および労働安全衛生の観点から、VOC(Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)の削減効果が高い水性塗料の需要が拡大している。塗料の水性化は、建築分野で早くから取り組まれており、土木構造物の分野においても、水性塗料への積極的な移行が推進されている。

本報では、鋼道路橋に対し、国内で初めて防食下地から上塗りまで水性塗料を適用した事例(DNT水性重防食システム)を紹介する。施工は水性塗料にとって非常に厳しい条件となる冬季に実施され、水性塗料特有の現象も確認された。また、水性塗料の課題である低温環境での塗装作業性および成膜性は、低温対策を講じることにより改善され、溶剤形塗料と遜色ない結果となった。さらに、現地にて同塗装仕様で作製した試験体の促進試験の結果、良好な塗膜性能を発揮した。

## Abstract

Recently, demand for water borne paints which reduce VOC (Volatile Organic Compounds) are expanded from the aspect of environmental protection and Occupational Safety and Health. Water borne paints are applied earlier in the field of architectures and are positively promoted in the field of civil engineering structures.

In this report, we introduce the first case that a steel road bridge which was applied water borne paints from anticorrosive base to top coat(DNT Water Borne Heavy Duty Anticorrosive Coating System). Paint application was carried out in winter season when the condition would be harsh for water borne paints. We confirmed any characteristic phenomena of water borne paints. Also, application workability and film formation property were improved by low temperature countermeasure and these became approximate to comparable solvent-type one. Furthermore, the test piece which was prepared with same

coating system at a field showed fine anticorrosion properties in an accelerated durability test.

## 1. はじめに

近年、VOCによる大気汚染問題や労働安全衛生の観点から、土木構造物の分野においても水性塗料への積極的な移行が推進されている。

その研究事例としては、国立研究開発法人土木研究所と塗料メーカーの共同研究<sup>1)</sup>などがある。実構造物への適用では、水性塗料による塗装仕様が整備され、例えば鉄道関係では、鋼構造物塗装設計施工指針<sup>2)</sup>で新設と塗り替えにおいて、中塗りおよび上塗りに水性塗料を採用している。東京都では、VOC対策ガイド「建築・土木工事編」<sup>3)</sup>を発行し、VOC排出抑制を推進している。

本報では、鋼道路橋に対する水性重防食塗料による塗り替え塗装の実施事例について報告する<sup>4)</sup>。

## 2. 水性重防食塗料

塗料の水性化は、建築分野で早くから取り組まれており、内装の塗装では、ほとんどが水性塗料で実施されている。近年、原材料の技術革新や配合設計の進歩により、土木分野向けでも高性能な水性塗料が開発されている。以下に、当社が有する各水性重防食塗料の特長を述べる。

### 2.1 防食下地

大きな特長としては、重防食塗装では欠かせない防食下地であるジンクリッチペイントの水性化である。図1は、溶剤形ジンクリッチペイント(JIS K 5553 2種:ゼッターEP-2HB)と水性ジンクリッチペイント(水性ゼッターEP-2HB)の防食性評価の結果である。耐中性塩水噴霧性試験(JIS K 5600-7-1)に2000時間供した結果、水性でも同等の犠牲防食作用を発揮している。

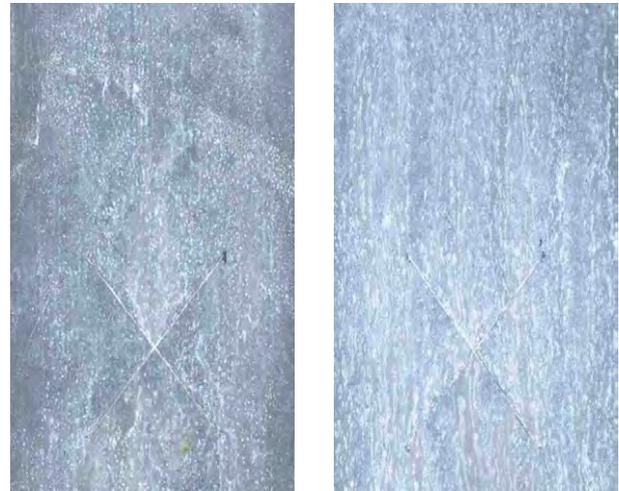


図1 中性塩水噴霧試験結果(左:溶剤形 右:水性)

### 2.2 下塗塗料

変性エポキシ樹脂塗料下塗は、水分や酸素などの腐食因子を遮断し、防食下地の保護と腐食の進行を抑制する役割を担っている。図2は、溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗(JIS K 5551 C種 1号:エポオール)と水性変性エポキシ樹脂塗料下塗(水性エポオール)のサイクル腐食試験(JIS K 5600-7-9:Dサイクル)に200サイクル供した結果である。水性塗料でも切り込み傷のさび幅の拡大は見られず、十分な腐食抑制効果を示している。

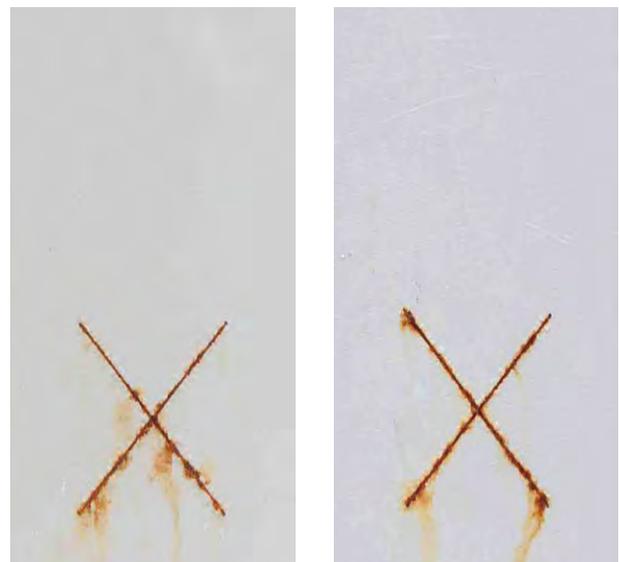


図2 サイクル腐食性試験結果(左:溶剤形 右:水性)

## 2.3 上塗塗料

長期の美観が求められる高耐候性上塗塗料も水性化されている。図3は、溶剤形ふっ素樹脂上塗塗料(JIS K 5659 1級:Vフロン#100H上塗)、水性ふっ素樹脂上塗塗料(水性Vフロン#100H上塗)、溶剤形ポリウレタン樹脂上塗塗料(JIS K 5659 3級:VトップH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)の促進耐候性試験(JIS K 5600-7-7:サイクルA)の結果である。当然ながら、ふっ素樹脂塗料とポリウレタン樹脂塗料の耐候性の差はあるものの、各々の塗料で溶剤形と水性で差は見られず、水性でも高い耐候性を示している。

以上の通り、当社では従来の溶剤形塗料と同等の性能を示す水性塗料システムを市場に展開している。

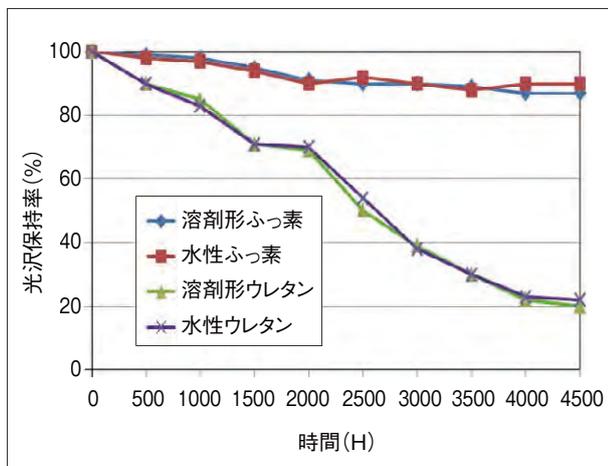


図3 促進耐候性試験結果

## 3. 対象橋梁

### 3.1 橋梁概要

塗り替え塗装を適用した橋梁の外観を図4に、概要を表1に示す。



図4 橋梁の外観

表1 橋梁概要

所在地	長野県長野市信州新町(国道19号)
名称	大原橋
橋長	169m(5径間連続鋼非合成钣桁橋)
架設	1963年(1972年に歩道部を拡幅)

### 3.2 塗り替え塗装前の状態

漏水や凍結防止剤が原因と思われる激しい腐食が所々に見られており(図5)、既存塗膜表面の付着塩分量を計測した結果、下フランジ下面で最多の80mg/m<sup>2</sup>(NaCl換算値)が検出された。また、さび中の塩化物イオン量を分析した結果、下フランジ下面で最多の2370mg/kgが検出された。

また、新設時の塗装系は不明であるが、旧塗膜断面(図6)から、過去に数回の塗り替えが行われ、最下層には鉛丹さび止めペイントが用いられていたと判断される。また、塗装履歴から亜酸化鉛さび止めペイントが塗

装されていることがわかった。

さらに、旧塗膜厚が合計で700 $\mu$ mを超える部分があり、付着性の低下も見られることから、旧塗膜は劣化が進行していると判断し、完全に除去することにした。旧塗膜中の鉛系顔料の飛散防止のため、塗膜はく離剤(水性)の工法が採用された。



図5 腐食の著しい部分

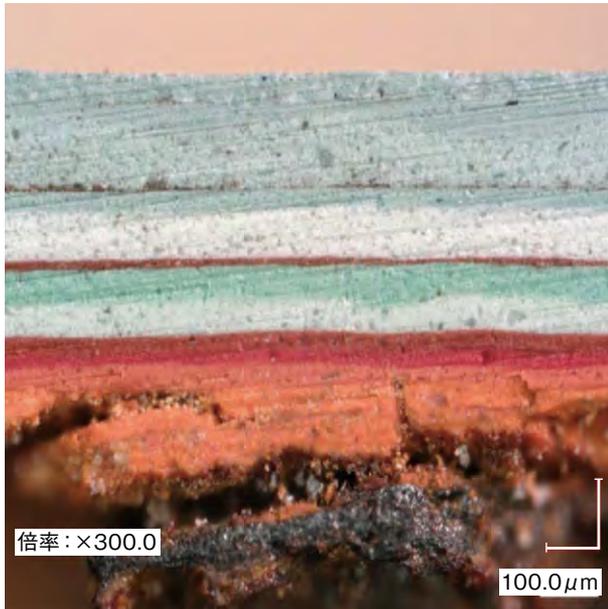


図6 旧塗膜断面

#### 4. 塗装仕様

塗り替え塗装系は、鋼道路橋防食便覧(日本道路協会、平成26年3月)のRc-II塗装系を基本として、溶剤形塗料をそれぞれ対応する水性塗料に置き換えたものと

した(表2)。なお、塗装方法は、エアレススプレー、刷毛およびローラーを部位別に使い分けた。

表2 水性塗料を用いた塗り替え塗装系

塗装工程	工法または一般塗料名	商品名
素地調整	2種(水性塗膜はく離剤+各種工具)	—
防食下地	水性厚膜形エポキシ樹脂 ジンクリッチペイント	水性ゼッターールEP-2HB
防食下地	水性厚膜形エポキシ樹脂 ジンクリッチペイント	水性ゼッターール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
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

## 5. 塗装工程

実橋梁に水性重防食塗料を適用した際の対応事例を紹介する。

### 5.1 水性塗膜はく離剤

塗膜はく離剤の塗布後、2日間放置した旧塗膜は大部分が膨潤しはく離した(図7)。図8に示すように、最下層の鉛丹さび止めペイントが部分的に残存したが、次工程の素地調整で除去した。鉛丹さび止めペイントは、塗膜中に四三酸化鉛を約90%含有し、有機物が少ないため、塗膜はく離剤の効果が現れにくかったと推察される。

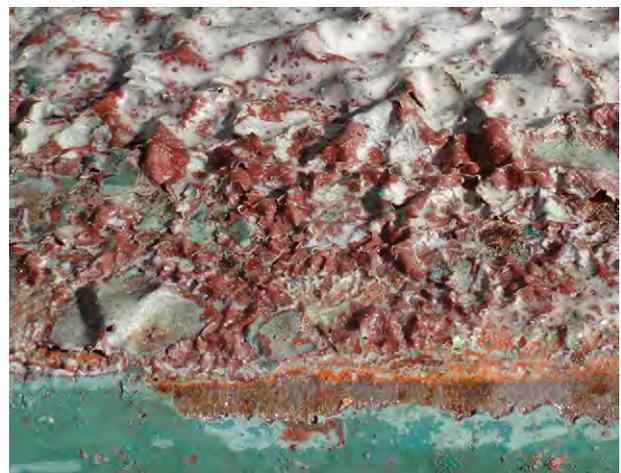


図7 塗膜はく離剤の効果



図8 残存した鉛丹ペイント

## 5.2 素地調整

ディスクサンダーやダイヤモンドホイールなどの各種工具を併用し、黒皮を除去して鋼材面を露出させた(図9)。スカラップ部などの素地調整困難部では、ジェットたがねなども適用し、可能な限りさびを除去した。



図9 素地調整

## 5.3 防食下地

図10にローラー塗装の様子を示す。作業性は、溶剤形塗料と遜色なく、成膜性も良好であった。動力工具による素地調整が十分に行えない部分に塩分潮解と思われる水滴が残存しており(図11)、水性厚膜形エポキシ樹脂ジンクリッチペイント塗装後に若干のフラッシュさびが発生した。塩害腐食と思われる部位は、高圧洗浄を実施することで、フラッシュさびの抑制効果が得られると考えられる。なお、素地調整が実施可能な一般部分では、フラッシュさびは全く発生しなかった。塗装2日後にクロスカット法(5mm幅、9マス目)で付着安定性を評価した結果、異常は認められなかった(図12)。



図10 水性ゼッターールEP-2HB塗装

## 5.4 水性下塗塗装～水性上塗塗装

下塗塗装～中塗塗装～上塗塗装の様子を図13～15に示す。刷毛およびローラー以外にエアレス塗装も行われたが、溶剤形塗料と遜色なく、良好な作業性であった。

上塗り完了後の仕上がり状態を図16に示す。成膜性も溶剤形塗料と遜色なく良好であった。

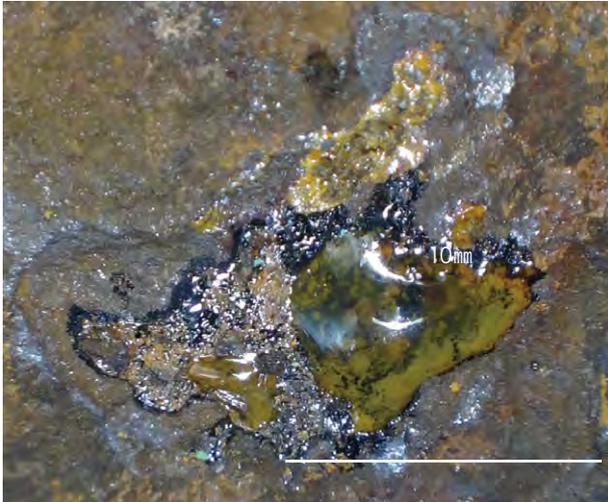


図11 塩分潮解と思われる水滴



図14 水性エポニックス中塗塗装

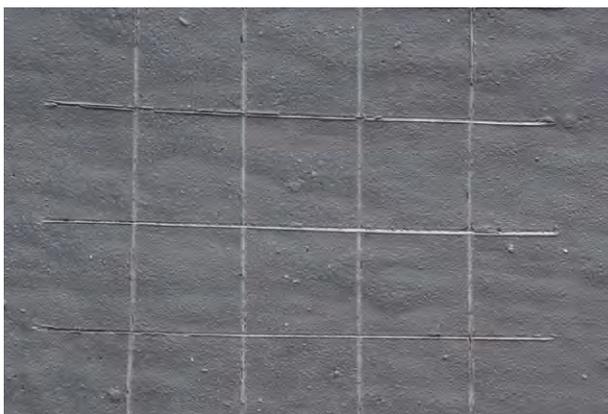


図12 付着安定性試験結果



図15 水性Vフロン#100H上塗塗装



図13 水性エポオール塗装



図16 上塗塗装完了

## 6. 低温対策

塗り替え以外に漏水対策や鋼板補強も行われたため、塗装工程は12月にずれ込んだ。この時期、夜間は氷点下になることが多く、早朝の現場では、霜や凍結も見られた(図17, 18)。また、日中でも気温が5°C前後になることも多く、水性塗料の施工としては、厳しい塗装条件となった。



図17 霜



図18 凍結

日中の気温が5°Cを下回り、夜間に氷点下のおそれがある時は、塗料の乾燥遅延による不具合を防止し、塗装品質を確保するため、ジェットヒーターを導入した(図19)。足場を利用してビニールシートで外気を遮断し、足場内にジェットヒーターからの温風を送るビニールダクト(50m)を設置した(図20)。

効果としては、日中の気温が3°Cの時、温風を送風したビニールダクト内の温度は、ジェットヒーター直後で57°C、中間で34°C、末端で24°Cであった。この条件で足場内の気温は10°C、この時の鋼材温度は、床版で約10°C、主桁ウェブで約7°Cであり、塗装基準である5°C以上を満足する環境とすることができた。



図19 ジェットヒーター



図20 ビニールダクト設置状況

## 7. 総揮発性有機化合物(TVOC)

環境負荷低減効果の検証のため、塗装中のTVOCを計測した。測定器はRAE Systems社の携帯式揮発性有機化合物モニター「ppbRAE」を用いた。鋼板補強部に鋼道路橋防食便覧の高力ボルト連結部用塗装系(F-11)が適用されたため、これを参考として計測した。

表3の結果から水性塗料のTVOC削減効果の高いことがわかる。

表3 TVOC計測結果(mg/m<sup>3</sup>)

工程	水性塗料	溶剤形塗料(F-11)
防食下地	4~40	—
下塗り	2~20	—
中塗り	7~33	40~199オーバー
上塗り	1~10	60~199オーバー

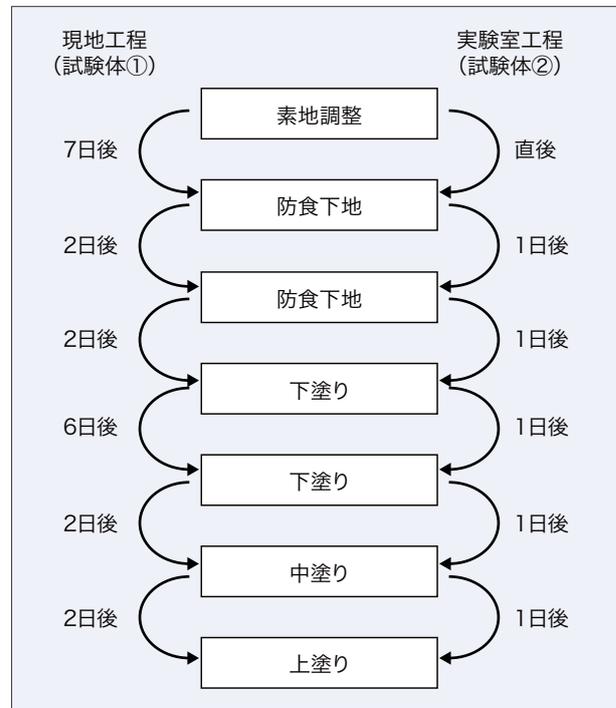
## 8. 塗膜性能

実橋梁では、塗膜性能評価のための促進試験を実施することができないため、現地において同塗装仕様で試験体を作製し、評価を行った。以下に詳細を示す。

### 8.1 試験体の作製

試験片は、旧塗膜で覆われた一般構造用圧延鋼材を用いて、現地にてディスクサンダーを使用し、鋼材を露出させた。その後、鋼材を裸のまま7日間、現場に放置し、表4の塗装工程で刷毛塗装にて試験体を作製した(試験体①)。大原橋の塗装工程では、施工計画や作業の都合上、素地調整してから1週間が経過した部位もあり、その場合、仕上げケレンを実施してから防食下地を施工している。本試験体では、素地調整不足などの悪条件下を想定し、仕上げケレンを行わずに塗装した。比較としては、実験室にてブラスト鋼板に標準的な塗装工程で仕上げた試験体も作製した(試験体②)。

表4 塗装工程



### 8.2 評価項目

#### 8.2.1 防食性

作製した試験体①および②の下部に×字の切り込み傷を入れ(カット部)、サイクル腐食試験(Dサイクル)を240サイクル(2ヶ月)実施し、評価を行った。その後も試験を継続し、合計720サイクル(6ヶ月)まで実施した。

#### 8.2.2 付着性

サイクル腐食試験720サイクル終了後、試験体①においてクロスカット法(2mm幅・25マス目)およびプルオフ法にて付着性試験を実施した。

### 8.3 結果

#### 8.3.1 防食性

図21にサイクル腐食試験後の試験体の外観を示す。サイクル腐食試験240サイクルでは、試験体①および②は一般部、カット部ともにさび、膨れなどの異常は認められず、良好な結果を示した。注目すべきは、試験体①は2種ケレンながらも、1種ケレンの試験体②と同等の防食性を有しているということである。

試験サイクル数	試験体①	試験体②
240サイクル (2ヶ月)		
720サイクル (6ヶ月)		

図21 サイクル腐食試験結果

その後、720サイクルまで試験を継続した結果、試験体①および②は、一般部において良好な防食性を維持している。また、カット部からは素地調整程度の差により、試験体①においてわずかに膨れが認められた。

### 8.3.2 付着性

図22にクロスカット法およびプルオフ法の試験結果を示す。防食性試験後も十分な付着強度、付着安定性を維持している。

項目	クロスカット法	プルオフ法
外観		
評価	25/25	6.0 MPa (素地との接着破壊)

図22 付着性試験結果

## 8.4 塗膜性能まとめ

防食性および付着性試験の結果から、今回のように施工条件が厳しく、十分な素地調整が実施できない場合においても、優れた塗膜性能を発揮するということが示された。

また、塗装現場において塗膜に損傷が生じた場合でも、ジンクリッチペイントの犠牲防食作用により優れた防食性が期待できる。通常、生じた塗膜損傷に対しては補修塗装を行うため、本試験で故意につけたカット部のように実際に鋼材が露出する状況は稀であり、防食性は確保される。

## 9. まとめ

塗装完了後の大原橋を図23に示す。今回の塗り替えは、水性塗膜はく離剤を適用し、防食下地から上塗りまで水性塗料を適用した貴重な施工である。厳しい条件下の塗り替えでもあり、施工面での課題など今後の水性塗料の普及拡大に向けて有用な情報も得られた。今後、定期的に塗膜調査を実施し、水性重防食塗料の耐久性を把握していく。

「DNT水性重防食システム」は、一般社団法人日本塗料工業会JPMS30(鋼構造物用水性さび止めペイント)および31(鋼構造物用水性耐候性塗料)に適合し、また、東京都建設局新技術および国土交通省新技術情報提供システム「KK-130038-A」登録品である。塗

料は、全て非危険物であり、火災に対する安全性も高い。本塗装システムが広く活用され、環境保全および健康安全に対する配慮がさらに推進されることを期待したい。



図23 「DNT水性重防食システム」で塗り替えた大原橋

## 謝 辞

本塗装は、ショーボンド建設(株)の施工技術によるもので、施工中の様々なデータ収集にご協力をいただきました。また、土木研究所の富山様には、貴重なご意見、ご指導をいただきました。併せて謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 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:土木研究所(2010)
- 2) 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(2013)
- 3) 東京都VOC対策ガイド「建築・土木工事編」:東京都環境局(2015)
- 4) 桑原, 尾田, 中山, 金田, 富山: 冬季における水性防食塗料による鋼道路橋の塗り替え塗装, 土木学会第71回年次学術講演会, V-196, pp.391-392, 2016.9