

— 技 術 報 告 —

都市内橋梁への水性塗料の適用

首都高速道路(株) 技術部技術推進課 課長代理 和田 新

都市内橋梁への水性塗料の適用

和田 新¹⁾

1. はじめに

水性塗料は、塗料の希釈に有機溶剤の代わりに水を使う塗料であり、溶剤形塗料と比較し、揮発性有機化合物（VOC）排出量の大幅な低減、臭気の改善、材料が非危険物である等の特徴を有する。水性塗料の橋梁分野への適用は、鉄道系の一部で試験採用されているが、ほとんど普及していないのが実情である。一方で平成 27 年度の塗料生産量では溶剤形塗料が 59 万トン、水系が 43 万トン程度であり、建築分野を中心として広く使用されている¹⁾。

都市内橋梁での塗装塗替え工事において、鉛等の塗膜に含有する有害物質の周辺環境への飛散対策として、足場を密閉して以来、作業環境は徐々に悪化していたことから、作業環境改善のために水性塗料の検討を開始し、実橋梁での小面積の試験施工により実用性を確認した上で、面積を拡大した試行工事を通して水性塗料の適用性を検証した。

2. 水性塗料

2. 1 適用検討の背景

従来用いていたシンナーで希釈する溶剤形塗料は、施工時に大気汚染物質のひとつである VOC を発生させ、臭気も激しいため、周辺環境や作業環境に悪影響がある。加えて、消防法上「危険物」扱いになるため、貯蔵数量に制限が生じる上に、少量危険物保管庫等も必要となる場合がある等、保管に注意が必要であったり、保管数量以内とするために運搬を小分けにする必要が生じて、作業効率が低下する可能性がある。

上記の対策として、従来の溶剤形塗料と同程度以上の耐久性があり、VOC 低減や臭気低減にも寄与する材料で、消防法上の「非危険物」である水性塗料の適用を検討することとした。

2. 2 水性塗料の概要

水性塗料は、塗料の希釈に有機溶剤の代わりに水を使う塗料の総称であり、VOC 低減等の長所がある反面、橋梁等での施工実績が一部の鉄道系に限られており、塗料性状が従来の溶剤形塗料と異なることから、水性塗料に慣れていない施工者では、たれなどの不具合が発生し易いという短所がある。

なお、現状で塗料メーカーが取り扱う水性塗料は下記の 2 種類に分類でき、首都高速道路の検討では②を使用した（表-1）。

- ①主剤が非危険物だが、硬化剤が危険物のもの
- ②主剤も硬化剤も全て非危険物のもの

1) 首都高速道路(株) 技術部技術推進課 東京都千代田区霞が関 1-4-1

表-1 水性塗料の危険物種別一覧表

メーカー名	下塗塗料		中塗塗料		上塗塗料		備考
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤	
A社	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	試用採用(1)
B社	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	試用採用(2)
C社	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	試用採用(3)
D社	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	第4類 3石	
E社	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	第4類 2石	
F社	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	非危険物	第4類 2石	

2. 3 水性塗料の性能

水性塗料についての土木研究所と塗料メーカー6社との共同研究である「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」²⁾によると、新設用塗装系、塗替用塗装系においても塗膜の耐候性および防食性などの性能については、溶剤形とほぼ同等、または同等以上であったとの報告がある。

また、今回適用を検討する水性塗料については、首都高速道路独自の塗料規格であるSDK規格で溶剤形塗料において定めている品質と、同等以上の品質規格を設定し、設定した規格を満足することを求めることにより、溶剤形と同等以上の品質を担保することとした（表-2）。水性と溶剤系の規格の相違点は、乾燥時間とポットライフなど、材料特性によるもののみであり、耐久性等塗料性能については、同じ規格としている。

表-2 ふっ素樹脂塗料上塗における溶剤形規格（左側）と水性ふっ素樹脂塗料上塗案（右側）の例

項目	中塗塗料	上塗塗料	試験の種類		
			品質規格試験	抜取試験	品質試験
容器の中での状態	かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる。		○		○
乾燥時間 h	23℃	8以下	○		○
	5℃	16以下	○		○
塗膜の外観	正常である。		○		○
ポットライフ	3時間で使用できるものとする。		○		○
隠ぺい率 %	白・淡彩は90以上、鮮やかな赤及び黄は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	支障がない。	—	○		○
耐屈曲性	折曲1回に耐える。		○		○
耐おもり落下性(デュボン)	塗膜に割れ及びひびがれが生じない。		○		○
層間付着性	I	異常がない。	○		○
	II	異常がない。	○		○
耐熱性	160℃で30分加熱しても、塗膜に異常がなく、付着性が分類2以下のこと。		○		○
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。		○		○
混合塗料中の加熱残分%	白・淡彩は60以上、その他の色は50以上	白・淡彩は50以上、その他の色は40以上	○		○
主剤の溶剤可溶物中のふっ素の定量%	—	15以上	○		○
NCO基の定性		NCO基があること	○		○
促進耐候性	—	促進耐候性の試験に耐える	1000時間	300時間	1000時間
屋外暴露耐候性	—	2年間の暴露試験に耐える。	○		○
赤外吸収スペクトル	抜取試験の赤外吸収スペクトルが品質規格試験結果のそれと同一と認められること。		○	○	

項目	品質規格	試験の種類		
		品質規格試験	抜取試験	品質試験
容器の中での状態	主剤・硬化剤と均にかき混ぜたとき硬い塊がなくて一様になる。	○		○
乾燥時間 h	23℃	16以内	○	○
	5℃	24以内	○	○
塗膜の外観	塗膜の外観が正常である。	○		○
ポットライフ	3時間で使用できるものとする。	○		○
隠ぺい率%	白・淡彩は90以上	○		○
鏡面光沢度(60度)	70以上	○		○
耐屈曲性	折曲1回に耐える。	○		○
耐衝撃性(デュボン)	塗膜に割れ及びひびがれが生じない。	○		○
層間付着性	II	異常がないこと。	○	○
耐熱性	160℃で30分加熱しても、塗膜に異常がなく、付着性が分類2以下のこと。	○		○
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。	○		○
混合塗料中の加熱残分%	白・淡彩は50以上、その他の色は40以上	○		○
促進耐候性	促進耐候性の試験に耐える。	1000時間	300時間	1000時間
屋外暴露耐候性	2年間の暴露試験に耐える。	○		○
赤外吸収スペクトル	抜取試験の赤外吸収スペクトルが品質規格試験結果のそれと同一と認められること。	○	○	

2. 4 他団体要領への記載状況及び橋梁への使用実績

1) 他団体要領への記載状況

「鋼道路橋防食便覧」（日本道路協会、H26 年 3 月）に「塗装に関する新技術」という項目で「環境に優しい塗装系」として具体的な塗装仕様を含んだ記載がされている。記載されている塗装仕様は、工場塗装の無機ジンクリッチペイントを除き、防食下地から上塗塗料まで、全て水性塗料を使用している。

「鋼構造物塗装設計施工指針（H25 年 12 月）」（(公財)鉄道総合技術研究所、2013 年 12 月）に「ECO 塗装系」として新設構造物、既設構造物を対象とした塗装仕様が記載されている。記載されている塗装仕様は、防食下地、下塗塗料までが溶剤形塗料であり、中塗、上塗塗料が水性塗料である。

2) 橋梁への使用実績

橋梁での使用実績としては、JR 東日本、東京メトロ等鉄道事業者を中心に、平成 14 年度頃から試験的に施工が開始されているが、前述した鉄道総合技術研究所の技術基準が下塗まで溶剤形塗料であることから、この仕様を採用している事例が多い。

東京都環境局の VOC 対策の低 VOC 塗装における各事業者の取組事例として公表されている新砂町高架橋において、下塗から水性塗料を塗布した橋脚を現地で確認したところ、8 年以上経過しても、外観上問題ない状態であった（写真-1）。



写真-1 新砂町高架橋の橋脚（平成 29 年 3 月撮影）左：下塗りから水性仕様 右：中塗りから水性仕様

3. 水性塗料の適用検討

3. 1 小面積の試験施工による適用検討

1) 試験施工概要

試験施工は、集じん機能付き動力工具を用いた素地調整方法の作業環境等の検証と、水性塗料の施工性の確認を目的として、首都高速道路の実橋梁で約 30 m²を対象に実施した。

2) 試験施工方法

試験施工に用いた塗装仕様を表-3 に示す。本塗装仕様は、素地調整が 3 種程度であることを考慮し、首都高速道路の塗替え塗装仕様の NU-C2 等から、有機ジンクリッチペイント（以下、有機ジン

ク)を除いた仕様と同等の、下塗 2 層、中塗、上塗という構成である。また、塗料の性能改良が進んでいたことから、下塗は鋼道路橋・防食便覧に記載されている下塗 3 層 (1 層 40 μ m) ではなく、下塗 2 層 (1 層 60 μ m) とした。

塗装方法は、平滑部、添接部を片面ローラー・はけ、片面スプレーで施工した。上塗は、ローラーのみの塗装を加えて施工した。

調査項目は、塗り易さやたれなど施工品質の調査と、施工前、中、後の温湿度、可燃性ガス量、臭気の測定など、環境条件や環境負荷の測定を実施した。また、塗装後 1 か月後に付着性試験などの塗膜の性能調査を実施した。

表-3 試験施工における塗装仕様

工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μ m)	塗装 方法
下塗(1)	水性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60	スプレー
下塗(2)	水性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60	
中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	
工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μ m)	塗装 方法
下塗(1)	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	60	はけ ローラー (上塗はローラーのみを追加)
下塗(2)	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	60	
中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	140	30	
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	120	25	

3) 試験施工結果

- ・狭隘な箇所などでたれなどの仕上がり不良が発生した (写真-2)。水性塗料は、溶剤形塗料とは性状が異なるため、初めて使用する作業者がどの程度の膜厚でたれるのかが感覚的につかめていないことが主要因であると考えられた。
- ・ローラーのみの上塗施工も、施工上、品質上問題なく施工可能であった。
- ・可燃性ガスの測定は全工程で測定値 0 を示した。また、臭気としては、塗料の樹脂特有の臭気はするが、強い臭気ではなかった。
- ・1 か月後に実施した付着性試験である碁盤目試験は全ての箇所で評価点 0 であり、アドヒージョン試験も平均約 3.0Mpa と、良好な試験結果であった。



写真-2 仕上がり不良状況 (左:下塗リスプレーのたれ 右:中塗りはけの仕上がり低下)

4) 試験施工のまとめ

水性塗料は、付着性などの性能は溶剤形と比較しても問題ない水準であり、可燃ガスが発生せず、臭気が減少するなど、作業環境改善に寄与した。施工品質面では仕上がり不良が発生したが、塗料材料の本質的な欠陥ではなく、作業員の慣れや施工条件によるもので、現場施工実績が増え、塗装作業者が水性塗料に慣れてくれば解決できる問題であると考えられたため、より大きな面積での試行工事へ移行した。

3. 2 試行工事による適用検討

1) 試行概要

試行工事は、実際に既契約の塗装工事を含む工事を対象として、水性塗料使用時の作業環境等の検証、施工性や施工品質の確認、危険物の取扱いへの影響確認等を目的として実施した。

2) 試行に適用した素地調整方法

試行に適用した素地調整方法を表-4 に示す。腐食部や既存塗膜が塩化ゴム系など、全面撤去が必要な場合は鉄面までの素地調整（1 種相当、2 種）を実施し、活膜が残存する塗膜劣化部については、素地調整 3 種を用いた。

適用する素地調整方法の有害物質等への対策の考え方は、素地調整 1 種相当、2 種は、集じん機能付き電動工具とアルカリイオン水噴霧（湿式）を併用して粉じんを抑制し、素地調整 3 種は、鉛含有量が多い塗膜（防食下地）を剥がさないように工夫をすることで有害物質の飛散を抑制する対策とした。

表-4 素地調整適用の考え方

素地調整	適用対象	1次施工	2次施工	仕上げ状態
1種相当	鋼材腐食損傷部	集じん機能付きダイヤモンドホイール	電動ブラスト面形成動力工具（アルカリイオン水併用）	清浄な鋼面の露出
2種	塩化ゴム系塗装等	集じん機能付きダイヤモンドホイール	集じん機能付きディスクサンダー	鋼面の露出
3種	塗膜劣化部	サンドディスクサンダー（細かい番手を指定）	なし	塗膜劣化部の除去（原則として防食下地を露出させない）
4種	塗膜劣化なし	サンドペーパーなど	なし	不純物の除去と面粗し

3) 試行に適用した塗装仕様

素地調整 1 種相当、2 種を適用した箇所は、鉄面に溶剤形の有機ジンクを塗布した後に、試験施工と同様に水性塗料の下塗 2 層、中塗、上塗とした。（表-5）

有機ジンクを水性としなかった理由は、試験的に素地調整後の鉄面に塗布したところ、フラッシュラストと呼ばれる白いはんてんが発生したこと、他機関での使用事例がないこと、取り扱っているメーカー

数が少なかったことなどである。

素地調整 3 種を適用した箇所は、有機ジンクを除く水性塗料の下塗 2 層、中塗、上塗とした（表-6）。

表-5 素地調整 1 種相当、2 種の場合の塗装仕様

素地調整	工程	塗料名	塗料規格	使用量 (g/m ² 以上)	塗布方法	塗装間隔
1 種相当 2 種	防錆	有機ジンクリッチペイント	SDK P-412	600 (300×2)	吹付 (ローラー・はけ)	1 日～10 日
	下塗 1	水性エポキシ樹脂塗料(N8.5)	SDK W-513	240 (200)		1 日～10 日
	下塗 2	水性エポキシ樹脂塗料(N7.0)	SDK W-513	240 (200)		1 日～10 日
	中塗	水性エポキシ樹脂塗料中塗	SDK W-522	170 (140)		1 日～10 日
	上塗	水性ポリウレタン樹脂塗料 水性ふっ素樹脂塗料	SDK W-531 SDK W-534	140(120) 140(120)		1 日～10 日

表-6 素地調整 3 種の場合の塗装仕様

素地調整	工程	塗料名	塗料規格	使用量 (g/m ² 以上)	塗布方法	塗装間隔
3 種	下塗 1	水性エポキシ樹脂塗料(N8.5)	SDK W-513	240 (200)	吹付 (ローラー・はけ)	1 日～10 日
	下塗 2	水性エポキシ樹脂塗料(N7.0)	SDK W-513	240 (200)		1 日～10 日
	中塗	水性エポキシ樹脂塗料中塗	SDK W-522	170 (140)		1 日～10 日
	上塗	水性ポリウレタン樹脂塗料 水性ふっ素樹脂塗料	SDK W-531 SDK W-534	140(120) 140(120)		1 日～10 日

4) 試行による検証項目

試行による検証項目を表-7に示す。工事を試行するにあたり、検証する項目は大きく2種類に分別できる。一つは「施工性」や「品質」など、既往の研究や試験施工にて課題と認識された事項についての検証項目と、もう一つは「作業環境」「危険物取扱」など、水性塗料を採用するとどのようなメリット、デメリットが発生するかを予想して実施した検証項目である。

表-7 試行による検証項目

大項目	調査項目	背景 (必要性)	調査内容	測定頻度
作業環境	温湿度	(基礎データ)	温湿度測定	3回/日 (塗装前,中,後)
	付着塩分量	外的環境要因の把握	ガーゼ拭き取り法にて測定	1回/施工前
	可燃性ガス濃度測定	水性塗料の環境影響の定量的な把握	可燃性ガス濃度を測定	1回/塗装層毎
施工性	塗り易さ	施工性に懸念がある	塗り易さをアンケート調査	2回/施工中,後
	指触,半硬化時間	(基礎データ)	指触時間等の測定	1回/日
品質	平滑さ、たれ、透け	過去の実績、試験施工の結果より、施工性に懸念がある	指触による平滑さ確認、たれ、透けの発生状況確認	1回/日
	フラッシュラスト		フラッシュラストの有無を目視調査	
	仕上がり		塗装の仕上がりを目視調査	
危険物取扱いへの影響確認	危険物の保管状況	非危険物化の効果確認	非危険物の影響をヒアリング	1回/施工終了後

5) 試行結果

a) 作業環境

- ・付着塩分量測定結果は、都市部は全箇所て 50mg/m²を下回り、海岸部は 200g/m²を上回る塩分量が観測された。
- ・可燃性ガス濃度測定の結果、全工事（測定済の計測）で 0ppm（検出せず）であった。

b) 施工性、品質

- ・塗り易さのアンケート調査の結果は約 7 割の工事で「塗り辛い」という評価であった。代表的な理由は、規定する塗り重ね回数だとたれ・透けが発生して何層かに分けて行っている、膜厚が確保し辛い、刷毛とローラーでの塗布は、塗装作業者の技量で仕上がり程度が異なる、などであった。
- ・たれ、透けについては全工事て発生していたが、施工が進むに伴って、一部の工事てはたれ・透けの発生頻度の減少が確認された（図-2）ことと、温度・相対湿度とたれ・透けの発生状況に相関性がない（図-3）ことから、塗装作業者が塗料の扱いに慣れてきたことが減少の要因と推察した。
- ・フラッシュラストは、今回の試行工事て鉄面に直接水性塗料を塗布していないため、全工事て発生していなかった。
- ・平滑さ、仕上がりは、全工事て良好な仕上がりだった。（写真-3、写真-4）

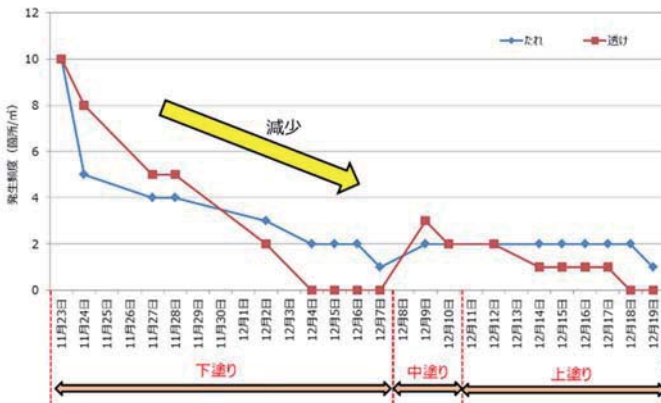


図-1 施工日とたれ、透け発生頻度の関係

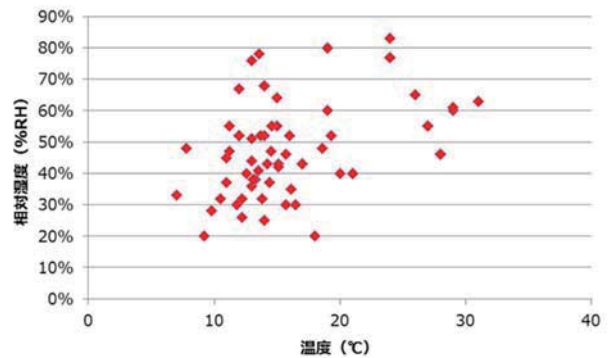


図-2 施工日の温度、湿度との関係 (2 工事分)



写真-3 水性塗料のスプレー塗装状況



写真-4 仕上がり状況 (スプレー塗装)

c) 危険物取扱への影響確認

非危険物化により、危険物の数量管理の改善、施工の簡略化が図れた工事が確認された。

6) 試行工事のまとめ

施工性については、消防法上の危険物に対する数量管理が緩和されたことにより、運搬回数の低減が図れるなど、施工の効率化に寄与する傾向が確認された。

品質は、たれ・透け以外の不具合は少なかったものの、施工会社からは「塗り辛い」という評価であった。「塗り辛さ」や「たれ、透けの発生頻度」については、塗装作業者が水性塗料に慣れることに伴い改善すると推測される。

4. 水性塗料の適用検討のまとめ

試験施工、試行工事を通じて、水性塗料の施工性や品質の検証ができた。都市内橋梁である首都高速道路での水性塗料の適用は、主に足場を設置した昼間の施工であり、温度の下降に伴う結露等の心配も少なく、比較的水性塗料の施工に優位であると考えている。今後、本格採用に向けて検討を継続していく。

[参考文献]

- 1) (一社) 日本塗料工業会統計資料http://www.toryo.or.jp/jp/data/files/h27_4-3-r.pdf
- 2) 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 整理番号第 411 号 (平成 22 年 12 月、独立行政法人土木研究所、関西ペイント(株)、(株)トウペ、神東塗料(株)、中国塗料(株)、日本ペイント(株)、大日本塗料(株))