

鋼橋の塗替塗装における水性塗料の適用について

○新谷憲生
大澤隆英
松岡秀樹
小林和彦

1. はじめに

平成 17 年に「鋼道路橋塗装・防食便覧」が発刊され、鋼橋の防食方法は、塗装、溶融亜鉛めっき、耐候性鋼材、金属溶射と様々な防食方法が選択できるようになった。しかし、明治時代から行われている、鉄橋や鋼橋の防食は、塗装による防食がほとんどであり、100 年以上行われてきた歴史がある。

ところが、近年、様々な問題が持ち上がり、塗装による防食は、大きな変革の時期を迎えている。

鉛、クロム等の重金属の問題、危険物であること、環境問題など。大別すれば、「安全」の問題と「環境」の問題に起因するものであり、我々、塗料メーカーも、社会のニーズに応えるべく、改良、開発を繰り返し、様々な塗料を上市してきた。

その中で、最も「安全」であり、「環境」問題にも貢献できる塗料として、水性塗料が注目され、現在、本格的な鋼橋の塗替が行われている。

本稿では、塗替における塗料の変遷と、水性塗料の安全性を確認した試験結果、および現場での塗装の状況と課題について報告する。

2. 鋼橋の塗替における塗料の変遷

鉄橋の塗装は明治時代より行われており、当時は、現場にて、ボイル油と鉛丹を混合した油性さび止めが使われていた。その後、下塗に現場調合形の鉛丹さび止め、上塗には油性調合塗料が主流となった。当時の塗料の希釈剤は、主にボイル油であり、現在でも海外では、油性塗料の希釈剤には、ボイル油を使用している地域もある。

その後、合成樹脂塗料の開発が進み、昭和 30 年代には、中塗、上塗に長油性フタル酸樹脂塗料が開発され、下塗の油性さび止めと組み合わせて使用されるようになった。現在、弱溶剤形塗料の希釈剤として使用されている塗料用シンナー(ミネラルスピリット)は、この時期に使われだしたものと思われる。

昭和 46 年には、鋼道路橋塗装便覧が発行され、以降、塗装仕様の標準化が図られ、建設省(当時)及び、自治体の鋼橋の塗替の基準が統一されたことになる(表—1)

ただし、この頃から、強溶剤形の塗料が使われていることから、これ以降、塗料による環境への負荷が増大した原因にもなっている。

塗料の種類も多種多様であり、塗替時に、素地調整程度 3 種で行われた場合は、これらの塗膜が現在でも残存していることになる。

過去に塗装された塗料では、鉛を含有した塗料や、強溶剤(トルエン、キシレン等)を含んだ塗料など、安全とは言い難い塗料も、法律の規制の下に、塗装工事が行われていた。

しかしながら、さらなる意識の高まりとともに、安全性と環境配慮を目的とした、新しい塗料の要請があることも事実である。現在のところ、水性塗料が、最も安全性と環境配慮に適した塗料と言える。

表— 1 鋼橋の塗替における塗料の変遷

発行年月	名称	塗料種		
昭和46年12月20日	鋼道路橋塗装便覧	鉛系さび止めペイント1種 鉛系さび止めペイント2種 長油性フタル酸樹脂系中塗 長油性フタル酸樹脂系上塗 エポキシ樹脂プライマー エポキシ樹脂中塗 エポキシ樹脂上塗 タールエポキシ樹脂塗料	フェノール樹脂系プライマー フェノール樹脂系中塗 フェノール樹脂系上塗 ポリウレタン樹脂系プライマー ポリウレタン樹脂系中塗 ポリウレタン樹脂系上塗	塩化ゴム系プライマー 塩化ゴム系中塗 塩化ゴム系上塗 MIO系プライマー MIO系中塗 MIO系上塗
昭和54年2月	鋼道路橋塗装便覧	鉛系さび止めペイント1種 長油性フタル酸樹脂中塗り塗料 長油性フタル酸樹脂上塗り塗料 タールエポキシ樹脂塗料	フェノール樹脂MIO塗料 塩化ゴム系中塗り塗料 塩化ゴム系上塗り塗料 鉛酸カルシウムさび止めペイント	エポキシ樹脂下塗り塗料 (ポリウレタン樹脂塗料用中塗) (ポリウレタン樹脂塗料上塗) フェノール樹脂下塗り塗料
平成2年6月	鋼道路橋塗装便覧	鉛系さび止めペイント1種 長油性フタル酸樹脂塗料中塗 長油性フタル酸樹脂塗料上塗 シリコンアルキド樹脂塗料用中塗 シリコンアルキド樹脂塗料上塗 無溶剤形タールエポキシ樹脂塗料	フェノール樹脂MIO塗料 塩化ゴム系塗料中塗 塩化ゴム系塗料上塗 有機ジンクリッチペイント エポキシ樹脂プライマー 無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	変性エポキシ樹脂塗料下塗 ポリウレタン樹脂塗料用中塗 ポリウレタン樹脂塗料上塗 ふっ素樹脂塗料用中塗 ふっ素樹脂塗料上塗 超厚膜形エポキシ樹脂塗料
平成17年12月	鋼道路橋塗装・防食便覧	鉛・クロムフリーさび止めペイント	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗
平成26年3月	鋼道路橋防食便覧	長油性フタル酸樹脂塗料中塗 長油性フタル酸樹脂塗料上塗	亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料下塗 有機ジンクリッチペイント	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗

3. 社内試験による、引火性ガスの発生量と臭気測定試験

3. 1 試験の概要

一般に、水性塗料と言われている塗料であっても、完全な水性とすることは困難であり、塗膜を造膜させるためには、多少なりとも溶剤を配合する必要がある。(例えば、(公財)鉄道総合技術研究所発刊の「鋼構造物塗装設計施工指針」では、水性塗料中の溶剤量は10%以下と規定)そのため、スプレー塗装を行った場合の可燃性ガスの発生量、および臭気について、強溶剤形塗料、弱溶剤形塗料と比較して測定を行った。

3. 2 試験方法

1) 試験場所

試験は、弊社実験室内に図—1に示す養生シートで囲い、密閉状態の小屋を設置して行った。
(幅:2.2m、高さ:2.2m、奥行き:3.2m、約 15m³)



空間内に塗装ブースがあり、換気の無い状態にして塗装。

図— 1 試験に使用した密閉空間の外観

2) 塗装物

塗装物は、試験面積が約1㎡になるようにボンデ鋼板を2枚設置して塗装した。

3) 試験に用いた塗料

- ①強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 : ハイボン20デクロ (専用シンナーで5%希釈)
- ②弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 : ハイボン20ファイン(塗料用シンナーで5%希釈)
- ③水性変性エポキシ樹脂塗料下塗 : 水性ハイボン20(上水で5%希釈)

4) 測定項目、および測定機器

- ①可燃性ガス : 高感度可燃性ガス検知器(図—2)
(新コスモ電機㈱ コスモテクター XP-3160)
キシレン、プロパン設定で、ガス濃度は ppm で測定した。
- ②臭気強度 : ポータブル型ニオイセンサー(図—3)
(新コスモ電機㈱ ポータブル型ニオイセンサー XP-320ⅢR)
臭気の強度指数(0~2000)で測定した。



図—2 コスモテクターXP-3160



図—3 ポータブル型ニオイセンサー

5) 試験方法(測定方法)

- ・密閉空間の中で、対象塗料 500g を、エアスプレーガン(アネスト岩田 W-77 口径:2mm)を用いて塗装する。
- ・塗装前と塗装3分後に各々を測定用小窓からセンサー部分の中に入れて測定した。
- ・測定は、塗料を交換する毎に、換気を行い、可燃性ガス濃度が0となることを確認し、次の塗料の試験を行った。臭気については、換気を行っても、樹脂特有の臭いが完全には除去できず、塗装後の数値を、塗装前の数値で差し引いた値を測定値とした。

3. 3 測定結果

測定結果を表—2に示す。結果は、可燃性ガス、臭気強度ともに、強溶剤形塗料>弱溶剤形塗料>水性塗料となり、水性塗料が、従来の強溶剤形塗料、弱溶剤形塗料に比べ、安全性が高い塗料であることが確認できた。

ただし、1㎡足らずの面積であり、使用した塗料も 500g 程度であるため、大面積の本工事とは同じ環境とは言えず、本当の意味での検証とは言えない。そのため、実橋においての検証が必要であり、社内試験の後

に、実橋での試験塗装における、可燃性ガス濃度、臭気強度の測定を、同じ測定機器を用いて、測定する機会を得た。

表—2 社内試験における各塗料の可燃性ガスおよび臭気測定結果

塗料種		測定時期	強溶剤	弱溶剤	水性
可燃性ガス検知量	キシレン(ppm)	塗装前	0	0	0
		塗装後	1100	805	0
	プロパン(ppm)	塗装前	0	0	0
		塗装後	960	900	0
臭気強度	臭気レベル 表示※	塗装前	320	278	174
		塗装後	1690	1178	710
		差	1370	900	536

※臭気レベルは無単位。

4. 実橋での、引火性ガスの発生量と臭気測定試験

4. 1 試験の概要

実際の現場にて、塗替工事先立ち、実際の現場内にて、試験塗装を行い、水性塗料の可燃性ガス濃度、および臭気強度の測定を実施した。塗装は、エアレスと、はけ・ローラーで行い、それぞれ約 30 m²の面積を塗装した。現場の環境は、**図—3**、**図—4**のとおりである。



図—3 現場の外観



図—4 現場の内部

4. 2 試験方法（測定方法）

測定機器は、社内試験で使用した、高感度可燃性ガス検知器（新コスモ電気㈱製、コスモテクター XP-3160）および、ポータブル型ニオイセンサ（新コスモ電気㈱製、XP-320ⅢR）を使用した。

測定のタイミングは、下塗 1 回目、下塗 2 回目、中塗、上塗の各工程で、塗装前、塗装中、塗装後、塗装翌日で行い、塗装する面のほぼ中央で測定を行った。塗装中は、送風機にて送風を行い、換気を行っている状態で塗装作業を行った。

4. 3 試験に用いた塗料

- ①水性変性エポキシ樹脂塗料下塗(1回目):水性ハイボン 20(上水にて、エアレス:3%希釈、はけ、ローラー:3%希釈)
- ②水性変性エポキシ樹脂塗料下塗(2回目):水性ハイボン 20(上水にて、エアレス:0%希釈、はけ・ローラー:0%希釈)
- ③水性ふっ素樹脂塗料用中塗:水性デュフロン 100 中塗(上水にて、エアレス:1%希釈、はけ、ローラー:5%希釈)
- ④水性ふっ素樹脂塗料上塗:水性デュフロン 100(上水にて、エアレス:1%希釈、はけ、ローラー:5%希釈)

4. 4 測定結果

測定結果は、可燃性ガスにおいて、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装ともに、0ppm の値であった。測定した位置は、塗装面のほぼ中央で行ったため、通常であれば、塗装した塗料からの揮発成分が周囲に充満し、溶剤であれば、可燃性ガスとして検知されるはずである。

臭気については、0にはならず、ある程度、塗料自体の臭気が生じるのは避けられないが、社内試験での結果よりも、低い数値を示した。実際の現場は、空間が広く、その分、臭いの成分も拡散されるため、低い数値となったものと思われる。

表—3 実橋での測定結果（エアレス）：面積：約30㎡

		測定時期	下塗(1)	下塗(2)	中塗	上塗
可燃性ガス 検知量	キシレン (ppm)	塗装前	0	0	0	0
		塗装中	0	0	0	0
		塗装後	0	0	0	0
		塗装翌日	0	0	0	0
	プロパン (ppm)	塗装前	0	0	0	0
		塗装中	0	0	0	0
		塗装後	0	0	0	0
		塗装翌日	0	0	0	0
臭気強度	臭気レベル 表示※	塗装前	35	6	57	176
		塗装中	332	140	111	261
		塗装後	110	140	252	110
		塗装翌日	6	57	176	46

※臭気レベルは無単位。

表—4 実橋での測定結果（ローラー・はけ）：面積：約30㎡

		測定時期	下塗(1)	下塗(2)	中塗	上塗
可燃性ガス 検知量	キシレン (ppm)	塗装前	0	0	0	0
		塗装中	0	0	0	0
		塗装後	0	0	0	0
		塗装翌日	0	0	0	0
	プロパン (ppm)	塗装前	0	0	0	0
		塗装中	0	0	0	0
		塗装後	0	0	0	0
		塗装翌日	0	0	0	0
臭気強度	臭気レベル 表示※	塗装前	35	6	57	176
		塗装中	460	146	188	110
		塗装後	104	149	92	210
		塗装翌日	6	57	176	46

※臭気レベルは無単位。

5. 塗替橋梁の作業環境、および施工上の課題

屋外の塗装であっても、鋼橋の塗替えは、素地調整で発生する粉じんや、塗装時の塗料の飛散を防止するため、しっかりした養生を行う。そのため、現場内は、暗く、粉じんが籠った雰囲気となり、作業者にとっては、決して良好とは言えない作業環境となっている。

また、塗装機を足場内に置けないため、地上に設置した塗装機から、足場上までホースを引き上げ、塗装を行うことになる。そのため、作業場所が高所になるほど、準備や片付けに、手間が掛かることになる。



図—5 現場の外観



図—6 塗装機の設置場所



図—7 防爆形送風機



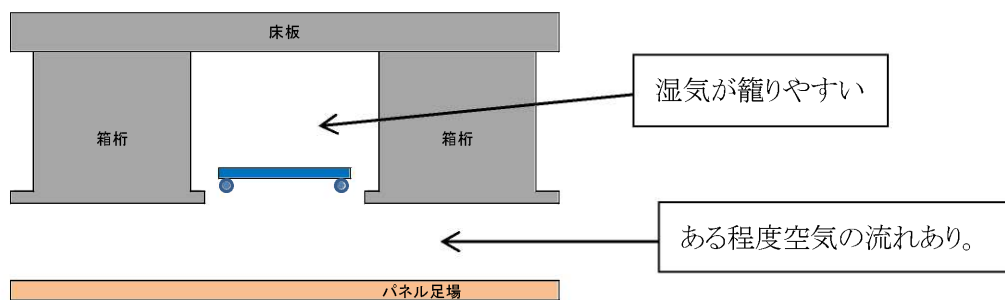
図—8 送付機による換気状況

作業場所は、外側のパネルによる足場と、単管と足場板による作業足場によって、区切られており、桁のウェブを塗装する場所は、密閉空間に近く、換気が良好とは言えないため、水性塗料を塗装する場合は、蒸発した水分によって、湿度が上昇する。

水性塗料の特徴として、湿度が高い条件下では、塗料中の水分の蒸発が進まず、乾燥が極端に遅れ、翌日になっても塗膜に締まりがこない場合がある。そのため、水性塗料を塗装する場合は、湿度の管理が重要であり、高湿度の条件下や、塗装後に降雨が予想される場合は、塗装は避けた方がよい。

また、水性塗料は、風が当たると乾燥が早くなる性質があり、塗装後に送風機によって、風を送ることで、乾燥を早めることが可能になる。

ただし、はけよる塗装中に、風が塗装面に当たると、はけ塗りの作業性が著しく低下するため、送風機による換気や送風は、塗装後に行う方が適切である(図—8)



図—9 作業足場の略図

橋梁の塗替では、以前は、作業場所に投光器等を設置し照明を行っていたが、火災の危険が伴うため、投光器の使用が禁止されるケースが増えている。そのため、ほとんどの作業者は、LED のヘッドライトのみで、作業を行っている。(図—10)

LED の光は、白色が多く、塗装する塗料が、白、もしくはグレーの色相の場合は、見極めが難しく、塗残しや、塗り過ぎによる、たれが生じているケースが多く見られる。

また、ヘッドライトは、一方方向から光が当たるため、部材の形状によっては、影が生じる場合があり、塗装する際は、光の角度を変えて、塗装した面の確認をする必要がある。



図—10 エアレス作業状況



図—11 ガン先端部の乾燥防止

エアレスで塗装する際に、休憩時間の後に、ガンが詰まることが多い。ガンの先端に付着した塗料が乾燥し、詰りを起こす場合がある。対策としては、図—11のように、水を入れたさげつに、ガンの先端部を沈ませて、付着した塗料が乾燥・固化しないように防止する方法が有効である。

同様に、はけ塗りやローラー塗装の際、さげつなどの容器に入れた塗料の表面に、皮張りが生じる場合がある。塗料表面の水分が蒸発するために生じる現象で、風がある場合は、度々発生する。

この場合は、上水を入れた霧吹きを常備し、定期的に塗料表面に吹き付けることで防止しすることができる。

6. まとめ

(1) 可燃性ガスの測定結果

水性塗料からの可燃性ガスの発生は、社内試験においても、実橋（30 m²+30 m²程度）においても、検知されなかった。現在、本工事において、可燃性ガスの測定を行っているが、大きな面積の塗装であっても、水性塗料では、可燃性ガスの測定値は、0ppm の結果であり、従来の溶剤形の塗料に比べ、はるかに安全な塗料であることが検証された。

(2) 臭気の測定結果

臭気については、溶剤形の塗料と比較して、測定結果では低い値を示している。

しかしながら、臭気は、人間の感覚によるものであり、個人差もあるため、好き嫌いが判断基準になる場合もある。

また、溶剤形の臭気に慣れた者にとっては、水性塗料の臭気は気にならない程度でも、防毒マスク等の着用は必要である。スプレー塗装の場合は、目視では確認し難いが、塗料粒子が周囲に飛散しており、吸引すれば健康面での危険もあることを忘れてはならない。

(3) 湿度の管理

水性塗料は、湿度の管理が重要であり、塗膜品質にも大きく影響することになる。

高湿度の条件下や、塗装後、降雨の恐れのある場合は、無理をせず、塗装を中止することも必要となる。高湿度で塗装した場合、乾燥が遅れることや、表面乾燥が遅れることにより、塗料のたれが生じる場合もある。

その他、外気の、湿度が低い場合でも、密閉空間での塗装では、水性塗料中の水分が蒸発し、湿度が上昇する場合がある。塗装後に送風機を使用することで、高湿度の空気を除去する方法や、送風することで、空気の流れを生じさせ、乾燥させる方法が有効な手段と言える。

(4) 塗装機材の洗浄

エアレスの塗装で、水性塗料を長期間使い続けると、エアレス内部の金属部分にさびが生じる場合がある。また、水での洗浄のみでは、エアレス塗装機の内部やホース内に残存する塗料が十分に溶解されず、詰まりの原因となる恐れもある。

エアレスの洗浄で推奨する方法としては、まず、上水でエアレス塗装機とホース内部の水性塗料を洗浄し、水と混和するブチセロを通すことで、水性塗料となじませた後、ラッカーシンナー等の強溶剤で洗浄する方法が有効である。

このように、水性塗料使用後に溶剤で洗浄することが望ましいが、溶剤の現場への持ち込みが制限されている場合は、容易に溶剤での洗浄が行えないのが現状である。

実際の現場で聞いたところでは、水性塗料に直接ラッカーシンナーで洗浄しても、十分に洗浄が出来ていないとの話も聞く。ラッカーシンナーの主成分であるトルエンが、水となじみにくい性質があるためと考えられる。

今後、さらなる安全性を追求するとすれば、洗浄用の溶媒においても、非危険物のものが要求されることも考えられる。

(5) 橋梁の水性塗料の適用について

現在の塗替工事では、水性塗料は、下塗、中塗、上塗の 3 種類の塗料が使用されており、防食下地においては、溶剤形の有機ジンクリッチペイントが使用されている。

その意味では、完全な水性塗料による塗装仕様とは言えず、今後は、水性有機ジンクリッチペイントを加えた、完全な水性塗料による塗装仕様が望まれる。

また、2 液型の強溶剤形塗料を使いだした時期に、1 液型の鉛系さび止めやフタル酸樹脂塗料に慣れた作業員から、不満の言葉を現場で聴く機会が多くあった。

弱溶剤形の塗料が、塗替工事の主流となった当初も、同様に強溶剤形塗料に慣れた作業員から、不満の言葉を聞くことがあった。それも、数年が経過すると、不満の声を聴く機会が少なくなった経験がある。これは、作業員が塗料に慣れたことによるものと思われる。

水性塗料においても同様で、作業員が、性質の異なる塗料に慣れるまでには、やはり、数年の実戦経験が必要になるものとする。もちろん、我々塗料メーカーも、現場の声を十分に反映させた商品の改良・開発を行い、作業員や、社会のニーズに応えるべく、努力を続ける覚悟である。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会；鋼道路橋塗装便覧、昭和 46 年 12 月 20 日
- 2) (社) 日本道路協会；鋼道路橋塗装便覧、昭和 54 年 2 月
- 3) (社) 日本道路協会；鋼道路橋塗装便覧、平成 2 年 6 月
- 4) (社) 日本道路協会；鋼道路橋塗装・防食便覧、平成 17 年 12 月
- 5) (社) 日本道路協会；鋼道路橋防食便覧、平成 26 年 3 月