

陸上鋼構造物の重防食塗装と近年の技術動向

Heavy-duty Anticorrosion Coating of Onshore Steel Structures
and Recent Technological Trends

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 Div.
Protective Coatings Dept.
Technical Support Group



山内 健一郎
Kenichiro YAMAUCHI

1. はじめに

陸上鋼構造物として代表的な橋梁は、その多くが高度経済成長期に建設され、現在も供用されている。道路橋の場合、高度経済成長期に建設された橋梁が全橋の約40%を占めており、建設後50年以上経過した高齢橋は、2026年度には47%を占めると推計されている。現在のわが国の財政事情を考慮すると、これらの高齢化した橋梁は、適切な維持管理を施し、長期にわたり供用していくことが重要である。2013年には、インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議において、インフラ長寿命化基本計画が策定され、現在は戦略的なインフラの維持管理・更新に向けた取り組みが推進されている。

こうした背景から、「ライフサイクルコスト(LCC)の低減」を目的として、近年の重防食塗装においては高耐久仕様による塗替え周期の延長や塗装工程・工期短縮が進められている。また、もう1つの重要な課題である「環境負荷軽減」の観点では、水性塗料を設定したJIS改正がなされ、重防食分野における水性塗料の実工事も展開され始めている。本報では、陸上鋼構造物に適用される重防食塗装と近年の技術動向について紹介する。

2. 重防食塗装とは

重防食塗装に求められる機能としては、一般には鋼材の腐食を防止することと、構造物(被塗物)に目的の色彩を付与することであり、これらの機能を長期間維持することである。こうした機能を単一の塗膜で満たすことは困難であるため、通常は防食下地、下塗り塗料、中塗り塗料、上塗り塗料のように数種類の塗料を塗り重ねて塗膜全体(塗装系)で目的とする機能の維持を達成している。基本的な重防食塗装の塗膜構成を図1に、塗膜各層の主な役割を表1に示す。

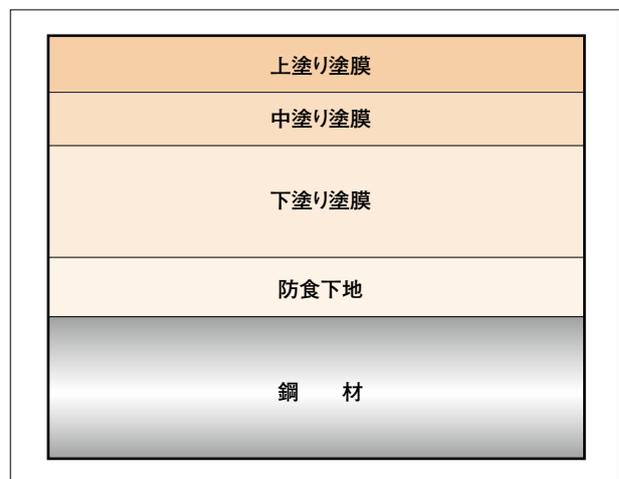


図1 重防食塗装の塗膜構成

表1 塗膜各層の役割

各層	主な役割
防食下地	鋼材に対する良好な付着性、犠牲防食作用、腐食性物質の遮断によって鋼材の腐食を防ぐ。鋼材面と直接接するので防食に対しての影響が最も大きい。
下塗り塗膜	防食下地との付着性を確保する。水分や塩類などの腐食性物質の浸透を防ぐ。
中塗り塗膜	下塗り塗膜と上塗り塗膜の付着性を確保する。色相を調整することで、上塗り塗膜の隠蔽性を補助する。
上塗り塗膜	構造物を目的の色彩に着色する。長期間にわたって美観(光沢や色相)を維持する。

なお「重防食塗装」という用語は、過去から用いられていたものの近年まで明確な定義は存在しなかった。

2012年に発刊された「重防食塗装－防食原理から設計・施工・維持管理まで－(一般社団法人日本鋼構造協会編)」において、初めて以下のように定義されている。

【重防食塗装の定義】¹⁾

- (1) 無機ジंकリッチペイント、あるいは有機ジंकリッチペイントの防食下地を有すること。なお、金属溶射皮膜、溶融亜鉛めっき層も防食下地と見なすことができる。
- (2) 腐食因子の遮断性に優れたエポキシ樹脂塗料、弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料、超厚膜形エポキシ樹脂塗料、ガラスフレーク含有エポキシ樹脂塗料などを下塗り塗料とすること。
- (3) 耐候性に優れたポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料などを上塗り塗料とすること。
- (4) 合計膜厚は、250～1000 μm 程度であること。
- (5) 新設塗装に期待する耐久性(防食性能と耐候性能)は、厳しい腐食環境で30年以上であること。

*なお、一般塗装系の塗替え塗装時に、旧塗膜を素地調整程度3種で処理して下塗り塗料に変性エポキシ樹脂塗料を、上塗り塗料にふっ素樹脂塗料を適用した場合は、防食下地がないため重防食塗装ではない。

表2には、陸上鋼構造物の代表的な新設塗装仕様である鋼道路橋防食便覧のC-5塗装系を示す。

表2 鋼道路橋防食便覧 C-5塗装系²⁾

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	標準 膜厚 (μm)	塗装間隔	
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2		4時間以内	
	プライマー	無機ジंकリッチ プライマー	(160) (15)		
橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2		6ヶ月以内	
	防食下地	無機ジंकリッチペイント	600	75	4時間以内
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	2日～10日
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120	1日～10日
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日～10日
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日～10日

3. 重防食塗装の近年の技術動向

陸上鋼構造物の重防食塗装に関する近年の技術動向(塗料規格・塗装基準動向)を表3に示すとともに、代表例を以下に紹介する。

3.1 部分塗替え塗装

2012年の国土交通省国土技術政策総合研究所資料「道路橋の部分塗替え塗装に関する研究」の附属資料として、「鋼道路橋の部分塗替え塗装要領(案)」³⁾が示されている。

一般に、鋼構造物に塗装された塗膜は種々の要因により一様には劣化せず、限られた範囲で劣化が進行することが多い。また、過去の調査事例においても、鋼橋などにおける防食機能の劣化が著しい部位は、水回りが集中する桁端部など狭隘な空間に集中していることが分かっている。こうした背景から、本要領(案)は腐食の著しい部材または部位のみを対象にして、品質の高い

表3 近年の重防食塗装に関する主な塗料規格および塗装基準

塗料規格・塗装基準	発行年	発行所	内容
鋼道路橋塗装・防食便覧	2005	公益財団法人 日本道路協会	・鋼道路橋を対象とし、-5℃までの低温環境における寒冷地用塗料を用いる塗装工事に適用 ・塗装系、寒冷地用塗料の規格、施工について規定
鋼道路橋防食便覧	2014		・鋼道路橋塗装便覧(1990年)と鋼道路橋塗装・防食便覧(2005年)を統合
道路橋の部分塗替え塗装に関する研究 —鋼道路橋の部分塗替え塗装要領(案)—	2012	国土交通省国土技術 政策総合研究所	・鋼道路橋の部分塗替え塗装についての留意事項などを規定
寒冷地用塗料マニュアル(案)	2015	国立研究開発法人 土木研究所寒地 土木研究所	・鋼道路橋を対象とし、-5℃までの低温環境における寒冷地用塗料を用いる塗装工事に適用 ・塗装系、寒冷地用塗料の規格、施工について規定
鋼橋塗装設計施工要領 SDK塗料規格	2017	首都高速道路株式会社	・新設塗装系(現場継手部)、塗替え塗装系に水性塗料を適用した塗装系を規定 ・下塗り、中塗り、上塗り塗料に水性塗料を適用
	2019		・水性有機ジンクリッチペイントを現場塗装に採用
日本産業規格JIS K 5551 構造物用さび止めペイント	2018	一般財団法人 日本規格協会	・JPMS30(鋼構造物用水性さび止めペイント)を追加して改正 ・水性下塗り塗料を規定
日本産業規格JIS K 5659 鋼構造物用耐候性塗料	2018		・JPMS31(鋼構造物用水性耐候性塗料)を追加して改正 ・水性中塗り、上塗り塗料を規定
HBS塗料規格	2019	本州四国連絡高速道路 株式会社	・高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗りの塗料規格を改正 ・省工程形ふっ素樹脂塗料の塗料規格を制定

小規模の塗装が行える部分塗替え塗装を実現することで橋全体の健全性を合理的に維持するとともに、橋の長寿命化にも繋がることを意図して策定された。

適用範囲は、国土交通省および内閣府沖縄総合事務局が管理する一般国道において塗装による防食が施された道路橋の鋼部材を対象としている。

部分塗替えする部位の塗装仕様は、原則として耐久性に優れた重防食塗装への塗替えとし、鋼道路橋防食便覧のRc-I塗装系(表4)に準拠した仕様としている。

表4 鋼道路橋防食便覧 Rc-I塗装系(スプレー)⁴⁾

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整	1種		4時間以内
防食下地	有機ジンクリッチペイント	600	1日~10日
下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗り	240	1日~10日
下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗り	240	1日~10日
中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗り	170	1日~10日
上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗り	140	1日~10日

素地調整は素地調整程度1種を原則とし、狭隘な作業条件における素地調整方法として、バキュームブラストなどの記載がなされている。また、新塗膜と旧塗膜の境界には塗り重ね部を設けることとし、その仕様が図解で示されている。

3.2 寒冷地用塗料

寒冷地における冬季の現場施工に関しては、従来の塗料では塗装できる期間が短い。また、塗装した後の乾燥が遅いことから、次工程の塗料を塗装するまでの塗装間隔が長くなる。各塗料の塗装間隔を短くすることができれば、塗装工期の短縮も期待できる。こうした背景から、各塗料メーカーは低温時の施工性および乾燥性に優れた寒冷地用エポキシ樹脂塗料や湿気硬化形ポリウレタン樹脂塗料などの寒冷地用塗料を開発している。

2015年に国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所により、「寒冷地塗料マニュアル(案)」⁵⁾が示されている。本マニュアル(案)は、国立研究開発法人土

木研究所の基盤研究「現場塗装時の外部環境と鋼構造物塗装の耐久性の検討(2010～2014年度)」における室内促進試験、実環境の暴露試験、施工性試験などの研究成果に基づいた内容である。鋼構造物塗装に関わる技術者(管理者、設計者、施工者など)を対象として、寒冷地用塗料を使用する際の留意事項などが記載されている。本マニュアル(案)の概要を以下に紹介する。

(1)適用範囲

道路橋における鋼製の上部構造および橋脚構造の塗装工事のうち、外気の最低気温が-5℃までの低温環境における工事を対象とする。また、本マニュアル(案)に記載されていない事項は、鋼道路橋防食便覧に準拠する。

(2)塗装系

寒冷地用塗料を用いた塗装系として、CRc-I塗装系およびCRc-III塗装系の2種類を規定している。これらはそれぞれ鋼道路橋防食便覧のRc-I塗装系、Rc-III塗装系に対応するものであり、塗装系選定の考え方は鋼道路橋防食便覧と同様としている。いずれの塗装系も塗装方法は原則として、はけ塗りである。表5にCRc-I塗装系を示す。

表5 CRc-I塗装系(はけ)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	標準 膜厚 (μm)	塗装間隔
素地調整	1種			4時間以内
防食下地	寒冷地用 有機ジンクリッチペイント	600	75	
下塗	寒冷地用塗料下塗	200	60	1日～10日
下塗	寒冷地用塗料下塗	200	60	1日～10日
中塗	寒冷地用塗料中塗	140	30	1日～10日
上塗	寒冷地用塗料上塗	120	25	1日～10日

3.3 水性重防食塗料

塗料の水性化は火災リスクに対する安全性や作業・周辺環境への環境対策として最も有効な手法である。近年では、鋼構造物塗装においても水性塗料の開発、適用性の検討が実施され、実用化が進められており、水性塗料の規格制定や一部の鋼構造物管理団体においては塗装基準への採用といった動きがある。

3.3.1 日本産業規格(JIS)

2018年に、下塗り塗料を対象としたJIS K 5551(構造物用さび止めペイント)と、中塗りおよび上塗り塗料を対象としたJIS K 5659(鋼構造物用耐候性塗料)が改正され、鋼構造物用途の水性塗料が規格化された。

(1)JIS K 5551:2018

本規格は、JIS K 5551:2008(旧規格)に日本塗料工業会規格JPMS30:2016(鋼構造物用水性さび止めペイント)を追加する形で改正された。水性塗料の種類としてD種、E種が追加されている。D種は乾燥膜厚約30μmの標準形塗料であり、建築金属部の防せい(錆)に用いるものとし、E種は乾燥膜厚約60μmの厚膜形塗料であり、鋼構造物の長期防せい(錆)に用いるものとしている。JIS K 5551D種、E種に規定される塗料品質を表6に示す。

表6 JIS K 5551:2018 D種、E種の塗料品質⁶⁾

項目	D種	E種
容器の中の状態	かくはん(攪拌)したとき、堅い塊がなくて一様になる	
低温安定性(-5℃)	変質しない	
半硬化乾燥性	半硬化乾燥している	
塗装作業性	支障がない	
塗膜の外観	正常である	
ポットライフ	3時間	
たるみ性	—	たるみがない
上塗り適合性	支障がない	
耐おもり落下	割れ及び剥がれがない	
付着性	分類0	分類1又は分類0
耐熱性	塗膜の外観	—
	付着性	—
サイクル腐食性	さび、膨れ、割れ及び剥がれがない	
塗膜中の鉛の定量(質量分率%)	0.06以下	
塗膜中のクロムの定量(質量分率%)	0.03以下	
屋外暴露耐候性	さび、膨れ、割れ及び剥がれがない	

溶剤形塗料規格(A種、B種、C種)と異なる点を以下に記す。

- 1) 低温安定性(-5°C)を設定
- 2) ポットライフを3時間に設定

(2) JIS K 5659:2018

本規格は、JIS K 5659:2008(旧規格)に日本塗料工業会規格JPMS31:2016(鋼構造物用水性耐候性塗料)を追加する形で改正された。従来の溶剤形塗料をA種とし、水性塗料をB種として追加した。A種、B種それぞれに上塗り塗料1級、2級、3級および中塗り塗料を区分している。JIS K 5659 B種に規定される塗料品質を表7に示す。

表7 JIS K 5659:2018 B種の塗料品質⁷⁾

項目		B 種			
		上塗り塗料			中塗り塗料
		1級	2級	3級	
容器の中の状態		かくはん(攪拌)したとき、堅い塊がなくて一様になる			
低温安定性(-5°C)		変質しない			
表面乾燥性		表面乾燥する			
塗膜の外観		正常である			
ポットライフ		3時間			
隠ぺい率 %	白・淡彩色	≥90			
	鮮明な赤及び黄色	≥50			
	その他の色	≥80			
鏡面光沢度(60度)		≥70			—
上塗り適合性		—			支障がない
耐屈曲性		折曲げに耐える			
耐おもり落下性		塗膜に割れ及び剥がれが生じない			
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			
加熱残分 %	白・淡彩色	≥40			≥50
	その他の色	≥30			≥40
促進耐候性	照射時間	2000 (500)	1000 (300)	1000 (300)	—
	塗膜の外観	塗膜に割れ、剥がれ及び膨れがない			
	色の变化	大きくない			
	白亜化の等級	1又は0			
	光沢保持率 %	≥80 (≥90)	≥80 (≥90)	≥70 (≥80)	
屋外暴露耐候性	塗膜の外観	塗膜に割れ、剥がれ及び膨れがない			—
	色の变化	大きくない			
	白亜化の等級	1又は0	2,1又は0	3,2,1又は0	
	光沢保持率 %	≥60	≥40	≥30	

溶剤形塗料規格(A種)と異なる点を以下に記す。

- 1) 製品形態は多液形に限定しない(一液形も可)
- 2) 低温安定性(-5℃)を設定
- 3) ポットライフを3時間に設定
- 4) 加熱残分は溶剤形塗料よりも10%低い規格値に設定

3.3.2 鋼橋塗装設計施工要領 (首都高速道路株式会社)⁸⁾⁹⁾

2017年の鋼橋塗装設計施工要領の改訂において、水性塗料を採用した塗装系が設定された。本要領では、周辺環境への影響低減、作業環境の改善、地球環境への影響低減(VOC(Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)削減)、危険物の削減などの対策として、現場塗装する塗料については、従来の溶剤形塗料でしか品質や機能が確保できない場合を除き、水性塗料を適用した塗装系が採用されている。

水性塗料の適用範囲は、新設塗装系の現場継手部および塗替え塗装系の下塗り、中塗り、上塗り塗料である。

さらに、2019年の本要領改訂においては、水性有機ジンクリッチペイントを現場塗装に採用した。鋼材面に防食下地として直接塗布する有機ジンクリッチペイントに水性塗料を用いるとフラッシュラスト(斑点状のさび)を発生する場合があるため、塗料の品質規格に耐フラッシュラスト試験を追加規定するとともに、適用する鋼材面の素地調整程度を1種(ブラスト)または1種相当(ブラスト面形成動力工具)に限定する形で運用している。

本要領には、表8に示すような各種水性塗料の塗料規格が規定され、いずれの水性塗料についても揮発性有機溶剂量は10重量%以下、かつ非危険物であることとしている。

表8 鋼橋塗装設計施工要領に規定の水性塗料規格 (SDK塗料規格)

規 格	塗料名
SDK W-512	水性有機ジンクリッチペイント
SDK W-513	水性エポキシ樹脂塗料
SDK W-522	水性エポキシ樹脂塗料中塗
SDK W-531	水性ポリウレタン樹脂塗料
SDK W-534	水性ふっ素樹脂塗料

一般に水性塗料の乾燥性は、溶剤形塗料と比較して塗装時および塗装直後の温度・湿度の影響を大きく受ける。本要領においては、実工事を想定して塗装の可否に関わる気象条件を詳細に規定している。水性有機ジンクリッチペイント、水性エポキシ樹脂塗料ならびに水性エポキシ樹脂塗料中塗の塗装禁止条件は気温10℃以下、湿度85RH%以上、さらに低温時(5~10℃)については湿度70RH%以下を条件に塗装できるものとし、気温5℃以下の条件は湿度に関わらず塗装不可としている。

3.4 高耐久性ふっ素樹脂塗料

従来のふっ素樹脂塗料よりも優れた耐候性を有するふっ素樹脂塗料が開発されている。一般的に、淡彩系の色相は、塗膜中に白色顔料の酸化チタンを多量に配合している。酸化チタンは、紫外線、水、温度や塩分などの環境影響を受けやすく、光触媒作用により上塗塗膜の劣化が想定以上に早いことが課題であった。本州四国連絡高速道路株式会社では、瀬戸大橋で行った実橋試験塗装、宮古島および大鳴門橋暴露試験場における暴露試験結果を踏まえ、2019年に高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(乾燥膜厚25μm)の塗料規格改正、および省工程型ふっ素樹脂塗料(乾燥膜厚55μm)の塗料規格制定を行っている。上記2種類の塗料規格には、下記のように高水準の屋外暴露耐候性が規定されている。

【屋外暴露耐候性の品質】¹⁰⁾

塗膜に膨れ・剥がれ・割れがなく、光沢保持率は(一財)日本ウエザリングテストセンター宮古島試験場での光沢保持率が、暴露期間3年で50%以上および色の変化の程度が見本品に比べて大きくないこと。

4. おわりに

陸上鋼構造物の重防食塗装について、最近10年間の技術動向を紹介した。膨大なインフラの維持管理・更新に貢献する材料には、効率的・経済的であるとともに、安心・安全に使用できることが求められる。将来は、素地調整・塗装作業時および点検・診断時の効率化、省力化まで配慮した材料開発が必要と考える。

本報は、塗装工学Vol.55 No.8(2020)『重防食塗装の近年の技術動向』を基に、著者自ら再構成したものである。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本鋼構造協会：重防食塗装，p.33(2012)
- 2) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，p.II-33(2014)
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土交通省国土技術政策総合研究所資料第684号，附属資料，鋼道路橋の部分塗替え塗装要領(案)，(2012)
- 4) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，p.II-118(2014)
- 5) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所：寒冷地塗料マニュアル(案)，(2015)
- 6) 一般財団法人日本規格協会：JIS K 5551:2018
- 7) 一般財団法人日本規格協会：JIS K 5659:2018
- 8) 首都高速道路株式会社：鋼橋塗装設計施工要領，(2017)
- 9) 首都高速道路株式会社：鋼橋塗装設計施工要領，(2019)
- 10) 本州四国連絡高速道路株式会社：HBS塗料規格，pp.101-126(2019)