

15.5 鋼橋塗装の性能評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎 到、富山禎仁

【要旨】

本研究では、鋼道路橋塗装の設計基準の性能規定化において参考となる基礎的な技術資料の作成をめざし、鋼橋防食のために塗料・塗装が備えるべき諸性能・機能について明らかにするとともに、これらを的確に評価できる試験評価技術の確立を目的としている。平成 24 年度は、平成 23 年度の調査結果をもとに設定した性能評価項目に対する、試験評価方法に関する検討を開始した。鋼道路橋塗装・防食便覧に規定されている新設用塗装系（C-5 塗装系）、塗替用塗装系（Rc-I 塗装系）を標準塗装系と位置付け、促進耐候性試験（キセノンランプ法）や複合サイクル腐食試験等の促進劣化試験を実施し、促進劣化試験前後における塗膜外観、光沢・色彩、切り込み傷からの発錆状況、塗膜付着力、塗膜の電気的特性等のデータを収集している。

キーワード：鋼橋塗装、塗料、塗装系、防食性、耐候性、性能規定

1. はじめに

鋼道路橋のライフサイクルコストの縮減は、社会的な要請である。従来、鋼道路橋の維持管理には塗装による防食技術が大きな位置を占めており、塗装技術や塗料の高性能化、低コスト化により、構造物の維持管理コスト、ひいてはライフサイクルコストを効果的に縮減できるものと期待される。ところが、現在の塗装設計基準は、使用する塗料の種類や使用量、施工方法などのいわゆる塗装仕様が規定された「仕様規定」となっているため、新技術や新材料の導入の自由度が低いのが現状である。このため、塗装設計基準を性能規定に移行させ、合理的で多様な開発による、塗料・塗装技術の品質・性能の向上やコスト縮減が促進される環境の整備が求められている。

そこで本研究では、材料の制約なく自由な発想で新材料を開発できる環境の整備を図るために、鋼橋塗装に求められる要求性能を整理し、塗料・塗装の的確な性能評価技術に確立に取り組むことで、塗装設計基準の性能規定化において参考となる基礎的な技術資料の作成をめざすこととした。

2. 研究の概略

本研究は、以下の手順で進めることとした。

①既往の研究の調査や文献調査、塗料メーカーなどとの情報交換を十分に行い、鋼橋塗装に必要な要求性能の設定を行う。また、これと併行して、現行の性能評価技術について整理する。

②①で設定した要求性能ごとに、現行の性能評価技術を基礎に実験的検討を行い、必要に応じて新しい性能評価技術について検討する。

③それぞれの性能評価技術に基づき、各種塗料の性能を評価して基準値を導き、技術資料として取りまとめる。

平成 24 年度は、平成 23 年度の調査結果をもとに設定した性能評価項目に対する、試験評価方法に関する検討を開始した。鋼道路橋塗装・防食便覧に規定されている新設用塗装系（C-5 塗装系）、塗替用塗装系（Rc-I 塗装系）を標準塗装系と位置付け、促進耐候性試験（キセノンランプ法）や複合サイクル腐食試験等の促進劣化試験を実施し、試験前後における塗膜外観、光沢・色彩、切り込み傷からの発錆状況、塗膜付着力、塗膜の電気的特性等のデータを収集している。

3. 鋼道路橋塗装の性能評価項目と従来行われている試験評価方法の課題点

これまでに、国内の規格・基準類や学術論文等を中心に調査し、鋼道路橋塗装に求められる性能（要求性能）と、対応する性能評価項目を抽出した。また、各性能評価項目に対し、従来行われている試験方法を整理した。表 - 1 に主な性能評価項目と、従来行われている試験評価方法の例をまとめた。

現行の規格・基準類においては、個別の塗料（たとえば、エポキシ樹脂塗料下塗、ふっ素樹脂塗料上塗など）ごとに異なる試験項目、性能水準が規定されており、異なる種類の塗料を塗り重ねて形成された塗装系（複合塗

表 - 1 鋼道路橋塗装の主な性能評価項目と従来行われている試験評価方法の例

鋼道路橋塗装に求められる性能 (要求性能)	性能評価項目	現在、主に個別の塗料に対して行われている 試験評価方法
● 施工性能 (所定の仕様の塗膜を被塗面に形成できる)	<ul style="list-style-type: none"> 塗料の粘度 乾燥時間/可使時間/指触乾燥性 厚塗り性/たるみ性/塗膜の初期外観 	JIS K 5600-2-2/2-3 など JIS K 5600-1-1/3-2/3-3 など JIS K 5551
● 付着性能 (鋼材や他層塗膜との一体性)	<ul style="list-style-type: none"> 付着性 耐屈曲性/耐衝撃性/耐摩耗性 母材への追従性 	JIS K 5600 -5-6/5-7 など JIS K 5600 -5-1/5-9/5-10 など 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説など
● 防食性能 (腐食による鋼材の板厚減を生じさせない)	<ul style="list-style-type: none"> 水蒸気透過性/酸素透過性 耐塩水性 防食性(切り込み傷からの錆の広がり にくさ、塗膜下腐食の起きにくさ) 	JIS K 7129/製科研式試験法など JIS K 5600-6-1/7-1 など サイクル腐食試験(JIS K 5600-7-9/土研法) など
● 景観性能 (構造物の景観と美観)	<ul style="list-style-type: none"> 隠ぺい力/鏡面光沢度(60°) 耐汚染性 養生時の耐水(結露)性 	JIS K 5600-4-1/4-7 など 防汚材料評価促進試験(土研) (規格なし)
● 耐久性能 (本来の性能を長期にわたって維持できる)	<ul style="list-style-type: none"> 耐候性 耐熱性/耐水性/耐湿性 耐冷熱繰返し性 	屋外暴露耐候性(JIS K 5600-7-6)/促進耐候性 (JIS K 5600-7-7) など 鋼道路橋塗装・防食便覧/JIS K 5600-6-2/7-2 など 鉄道総研法など
● 環境性能(周辺環境や大気への負荷)	<ul style="list-style-type: none"> 二酸化炭素排出量 VOC 排出量 	(規格なし) JIS K 5601-4-2 など

膜)を対象とした試験評価方法は十分に確立されていない。通常、鋼構造物の防食塗装では異なる性能を持つ複数の塗料を塗り重ねることにより、塗膜全体として必要な機能を発揮させるようにしている。性能規定化において重要なことは、個別の塗料(単膜)に対して材料規格を設定するのではなく、塗装系(下塗りから上塗りまで塗り重ねた複合塗膜)全体としての性能を評価できる、より実用的で合理的な規格を作ることにある。すなわち、塗装系を構成する個々の塗料の組み合わせは受注者の裁量に任せ、材料規格や施工基準を必要最小限のもののみとすることで、材料や工法を選定する自由度が増すとともに、新しい技術がより簡潔に、より迅速に評価されることが期待される。

塗膜の防食性能や耐久性能を評価する試験方法は様々あり、これらを組み合わせた試験方法なども提案されている。中でも屋外暴露試験は最も信頼性が高い試験方法として広く利用されているが、自然気象条件下での試験であることから再現性に乏しく、試験期間と塗膜の変状とから、あらゆる塗料に共通して適用できる性能水準を厳密に規定することは難しい。その一方で、各種の促進劣化試験は、実験室内において制御された環境と、共通の試験条件下で材料劣化を評価できる利点がある。しかしながら、従来の試験は主に塗料どうしの相対評価のために利用されている場合が多く、異なる種類の塗料に共通して適用でき、それらの性能を絶対評価するための基

準値が明確になっていない。塗料の性能規定化にあたっては、塗装系(複層塗膜)にも適用できる試験方法・条件を確立するとともに、その性能水準を規定するための試験データの蓄積が必須である。

4. 各種塗料・塗装系の性能評価試験

鋼道路橋においては維持管理に占める塗替え塗装費用が大きく、これを縮減する観点から、防食性と耐候性に優れた「重防食塗装系」を適用して塗替え間隔の長期化を図っている。平成17年12月に刊行された鋼道路橋塗装・防食便覧(以下、「便覧」と称す)では新設時の一般外面用塗装系を、数ある塗装系の中から、原則として「C-5塗装系」に統一している(表-2(a))。また、塗替用塗装系も同様に、Re-I塗装系(ブラスト工法により旧塗膜を除去し、スプレー塗装をする)(表-2(b))、Re-III塗装系(工事上の制約によってブラストできない場合に適用)に統一している¹⁾。たとえばC-5塗装系は、耐食性に優れたジンクリッチペイントを防食下地とし、下塗りには遮断性に優れたエポキシ樹脂塗料を、上塗りには耐候性に優れたふっ素樹脂塗料を適用した重防食塗装系である。これらの個別の塗料については便覧や日本工業規格(以下、JISと称す)で製品規格が定められており、たとえば、エポキシ樹脂塗料下塗りに対しては「付着性」「上塗り適合性」「サイクル腐食性」「屋外暴露耐候性」など、また、ふっ素樹脂塗料上塗りに対しては「鏡面光沢

表 - 1 鋼道路橋塗装・防食便覧で規定されている塗装仕様

(a) 一般外面用の新設塗装仕様 (C-5 塗装系)

塗装工程		塗料 (工程) 名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	個別の塗料に対する現行の品質規格
製鋼工場	素地調整	(ブラスト処理 ISO Sa2 1/2)		—	—
	プライマー	無機ジंकリッチプライマー	160	(15)	JIS K 5552: 2010 ジंकリッチプライマー (1種)
橋梁 製作 工場	2次素地調整	(ブラスト処理 ISO Sa2 1/2)		—	—
	防食下地	無機ジंकリッチペイント	600	75	JIS K 5553: 2010 厚膜形ジंकリッチペイント (1種)
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	JIS K 5551: 2008 構造物用さび止めペイント (B種)
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120	JIS K 5551: 2008 構造物用さび止めペイント (B種)
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	JIS K 5659: 2008 鋼構造物用耐候性塗料 (中塗り塗料)
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	JIS K 5659: 2008 鋼構造物用耐候性塗料 (1級)

注).1 使用量はスプレーの場合を示す。

注).2 プライマーの膜厚は総合膜厚に加えない。

注).3 隠ぺい力が劣る有機着色顔料を使用した塗色の上塗りは2回以上塗装する必要がある。

(b) 一般外面用の塗替塗装仕様 (Rc-I 塗装系 (スプレー塗装))

塗装工程	塗料 (工程) 名	使用量 (g/m ²)	個別の塗料に対する現行の品質規格
素地調整	(ブラスト処理 ISO Sa2 1/2)		—
下塗	有機ジंकリッチペイント	600	JIS K 5553: 2010 厚膜形ジंकリッチペイント (2種)
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	JIS K 5551: 2008 構造物用さび止めペイント (C種)
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	JIS K 5551: 2008 構造物用さび止めペイント (C種)
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	JIS K 5659: 2008 鋼構造物用耐候性塗料 (中塗り塗料)
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	JIS K 5659: 2008 鋼構造物用耐候性塗料

度」「隠ぺい率」「層間付着性」「促進耐候性」「屋外暴露耐候性」などの項目により、品質が定められている^{2),3)}。これらの品質規格とともに、塗膜層ごとの膜厚 (標準使用量) や塗装間隔、塗装方法などを規定することにより、塗装系全体としての品質の確保が図られている。

本研究では、鋼道路橋塗装の性能評価方法や性能基準値を検討するための基本として、便覧の C-5 および Rc-I 塗装系を「標準塗装系」と位置づけ、これらの塗装系の基本性能に関するデータを収集することとした。促進耐候性試験 (キセノンランプ法) や複合サイクル腐食試験等の促進劣化試験を実施し、試験前後における塗膜外観、光沢・色彩、切り込み傷からの発せい (錆) 状況、塗膜付着力、塗膜の電気的特性等のデータを収集している。

4. 1 促進耐候性試験

塗膜は一般に、暴露されている環境から物理的・化学的な作用を受け、徐々に劣化していく。劣化の症状には変色、光沢低下、白化などの外観 (美観) の低下と、力学的特性や電気的特性といった性能・機能の低下とがある。暴露環境に対する塗膜の耐久性を評価する最も基本的で信頼性の高い手法に屋外暴露試験がある。しかし、塗膜を劣化させる要因は多様であり、個々の要因がどの程度影響するかを推定することが困難であること、暴露環境条件が制御できないこと、有用な結果が得られるまでに数年から数十年の長期間を要するなど、問題点も多い。そこで、これらの問題を解決するため、屋外暴露試験と並んで利用されているのが促進耐候性試験である。

促進耐候性試験は塗膜を劣化させる紫外線、水、熱などの要因を、屋外暴露で塗膜が受けるよりも高いレベル

で塗膜に作用させ、促進的に塗膜を劣化させる試験である。JIS に規定されている塗膜の促進耐候性試験にはキセノンランプ法⁶⁾と紫外線蛍光ランプ法⁷⁾があるが、このうちキセノンランプ法は光源として太陽光と近似した分光エネルギー分布を持つキセノンアークランプを用いるため、塗膜劣化の進行が屋外暴露に近い経過をとるといった特長が知られている⁸⁾。本研究では、JIS K 5600-7-7 に準拠したキセノンランプ法での促進耐候性試験を実施することとした。なお、促進耐候性試験の国際規格としては ISO 11341 があるが、技術的内容および構成は JIS K 5600-7-7:2008 と同じである。

試験片には、C-5 塗装系については70×150×1.6mm のグリッドブラスト鋼板 (SS400 相当) を、Rc-I 塗装系については、種々の塗装系で海岸地域に暴露され劣化した鋼板を、ISO Sa2 1/2 程度にブラスト処理した鋼板をそれぞれ用いた。便覧で規定されている膜厚 (標準使用量)、塗装間隔等に準拠し、実験室内でスプレー塗装をして試験片を作製した (図 - 1)。



図 - 1 塗装試験片の作製状況

促進耐候性試験は、キセノンウェザーメーター (スガ試験機: X-75) を用いて実施している (図 - 2)。試験条件は JIS K 5600-7-7 にもとづき、ブラックパネル温度 63°C、試験片ホルダ面での時間当たりの平均放射照度は 60W/m² (300~400nm) とし、試験片のぬれサイクルおよび試験層内の相対湿度はサイクル A (ぬれ時間 18 分、乾燥時間 102 分、乾燥期間中の相対湿度 40~60%) とした。

現在、6000 時間程度を目標に試験を継続中であり、所定の時間における塗膜表面の光沢や色彩等についてデータを収集しているところである。これまでに、試験片の

著しい変状は確認できていない。



図 - 2 キセノンウェザーメーター

4. 2 複合サイクル腐食試験

複合サイクル腐食試験は、屋外暴露において塗膜劣化に最も寄与していると考えられる環境因子を、実際の自然環境よりも厳しいレベルで塗膜に作用させ、塗膜の耐久性を促進的に評価する試験方法である。試験における環境因子としては、温度、水、pH、紫外線、各種イオン (塩化物イオン、ナトリウムイオン等) 等の組み合わせが用いられる。複合サイクル腐食試験の国際的な規格には ISO 11997-1: 2005 (塩水噴霧、湿潤・乾燥の組み合わせ)、および ISO 11997-2: 2000 (塩水噴霧、湿潤・乾燥、紫外線照射の組み合わせ) 等^{9), 10)}があり、わが国でも ISO 11997-1: 2005 をもとに 2006 年に JIS 化された¹¹⁾。鋼道路橋塗装・防食便覧では、複合サイクル試験は JIS K 5674: 2003 の 6.11 (JIS K 5600-7-9 附属書 1 サイクル D) に基づいて行うこととされている¹²⁾。

一方で、土木研究所や鉄道総合技術研究所においては、独自の試験調査により、屋外暴露試験とより相関の高い促進劣化試験の探索が行われ、それぞれで異なる試験方法が提案されている¹³⁾。図 - 3 に JIS 式 (K 5600-7-9 附属書 1 (サイクル D))、土木研究所式、鉄道総合技術研究所式、それぞれの試験条件を示す。

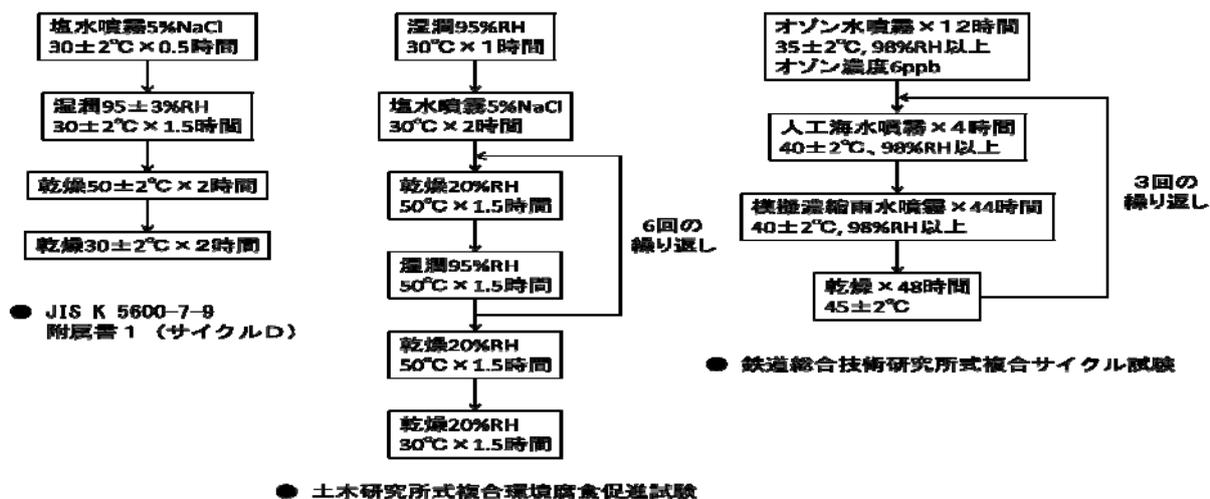


図 - 3 複合サイクル腐食試験条件 (1サイクルあたり) の比較

本研究では標準塗装系 (便覧のC-5、Rc-I 塗装系) の基本性能に関するデータを収集するために、土木研究所式の試験条件で複合サイクル腐食試験を実施している。試験片は促進耐候性試験と同等のもの (厚さのみ異なり3.2mm) を用いた。200サイクルを目標に試験を継続中であり、所定の時間経過後の塗膜外観 (さびや膨れ)、スクラッチ部からの錆や膨れの幅、付着性、塗膜のインピーダンス等のデータを収集している。

5. まとめ

本研究では、塗装設計基準の性能規定化において参考となる基礎的な技術資料の作成をめざし、鋼橋防食のために塗料・塗装が備えるべき諸性能・機能について明らかにするとともに、これらを的確に評価できる試験評価技術の確立に取り組んでいる。

平成24年度は、平成23年度の調査結果をもとに設定した性能評価項目に対する、試験評価方法に関する検討を開始した。鋼道路橋塗装・防食便覧に規定されている新設用塗装系 (C-5 塗装系)、塗替用塗装系 (Rc-I 塗装系) を標準塗装系と位置付け、促進耐候性試験 (キセノンランプ法) や複合サイクル腐食試験等の促進劣化試験を実施しており、促進劣化試験前後における塗膜外観、光沢・色彩、切り込み傷からの発錆状況、塗膜付着力、塗膜の電気的特性等のデータを収集している。

なお、今後は収集したデータに基づき、試験評価方法および性能基準値について検討していく予定である。

参考文献

1) (社) 日本道路協会: 鋼道路橋塗装・防食便覧、平成 17 年

12月

2) JIS K 5551: 2008 鋼構造物用さび止めペイント

3) JIS K 5659: 2008 鋼構造物用耐候性塗料

4) Amy Forsgren: Corrosion Control through Organic Coatings, CRC Press, 2006

5) Dwight G. Weldon: Failure Analysis of Paints and Coatings, Wiley, 2009

6) JIS K 5600-7-7: 2008 塗料一般試験方法—第7部: 塗膜の長期耐久性—第7節: 促進耐候性及び促進耐光性 (キセノンランプ法)

7) JIS K 5600-7-8: 1999 塗料一般試験方法—第7部: 塗膜の長期耐久性—第8節: 促進耐候性 (紫外線蛍光ランプ法)

8) 飯田真司、高柳弘道、矢部政実: 促進耐候性試験法、塗料の研究、第145号、pp. 22-37、平成18年3月

9) ISO 11997-1:1998, Paints and varnishes—Determination of resistance to cyclic corrosion conditions—Part 1: Wet (salt fog)/dry/humidity (MOD)

10) ISO 11997-2: 2000 Paints and varnishes—Determination of resistance to cyclic corrosion conditions—Part 2: Wet (salt fog)/dry/humidity/UV light

11) JIS K 5600-7-9: 2006 塗料一般試験方法—第7部: 塗膜の長期耐久性—第9節: サイクル腐食試験方法—塩水噴霧/乾燥/湿潤

12) JIS K 5674: 2003 鉛・クロムフリーさび止めペイント

13) (社) 日本鋼構造協会: 重防食塗装、技報堂出版、p. 210-212 平成24年2月

A STUDY ON PERFORMANCE EVALUATION OF PROTECTIVE COATINGS FOR STEEL BRIDGES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Materials and Resources Research
Group (Advanced Materials)

Author : NISHIZAKI Itaru

TOMIYAMA Tomonori

Abstract : The aim of this study is to obtain technical data on performance evaluation method for steel bridge coatings in order to formulate specific safety guidelines for the coatings. In fiscal year 2012,

Key words : steel bridge coatings, coating materials, coating system, specific safety guidelines