

## 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

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た。鋼道路橋防食便覧に規定されている新設用塗装系（C-5 塗装系）の促進耐候性試験（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せい状況、塗膜付着力等のデータを取得した。また、これらの結果や、付着性能等に関する各種試験等の結果などから、鋼道路橋用重防食塗膜の性能規定化のために必要な試験評価方法、および性能基準値について検討した。

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、施工方法などの塗装仕様が規定されたいわゆる「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。

### 3. 鋼道路橋塗装の現状と課題

鋼構造物の防食塗装では、構造物の期待耐用年数、規模や形状、設置環境、補修・改修の難易や頻度等を考慮し、防食性能や経済性、塗装作業性、景観性、使用実績等をふまえて最適な塗装系が選定される。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 26 年 3 月に刊行された鋼道路橋防食便覧（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。また、塗替用塗装系も同様に、Rc-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）、Rc-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。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り、これらの塗料の組み合わせにより塗替え塗装間隔の長期化が期待できる。このように、便覧では使

用する塗料の種類が定められており、さらには塗膜層ごとの膜厚や標準使用量、塗装間隔、塗装方法などについても定められている、典型的な「仕様規定」となっている。したがって、発注者は便覧で定められた塗装仕様で工事を発注し、受注者は便覧の品質基準に適合した塗料を塗料メーカーから購入し、便覧に定められた塗装方法で塗装、施工管理を行うことになる。

ところで最近では、環境負荷の低減や構造物の維持管理労力・コストの縮減、多様な施工環境への対応などを目的として様々な付加価値を付与した新規塗料が開発され、これらの塗料を適用した新規塗装系が提案されつつある(表-1)<sup>2)</sup>。これらの新規塗料・塗装系は、たとえ基本的な性能が従来塗装系と同等と評価されたとしても、便覧等に規定された塗装仕様に合致していないため、直ちには導入されにくい現状がある。このため、塗装設計基準を従来の仕様規定から性能規定へ移行し、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。

表-1 近年開発されつつある新規塗料の一例

新規塗料の種類	塗料の概略
環境にやさしい塗料	塗料に含まれる有機溶剤(揮発性有機化合物)は光化学スモッグ等の原因物質の一つとされている。「環境にやさしい塗料」は、その排出量を削減するために開発された塗料であり、「水性塗料」や「低溶剤形塗料」などがある <sup>3)</sup> 。
省検査形膜厚制御塗料	膜厚検査の簡素化や膜厚不足による性能低下の防止を目的として開発された塗料。塗料の色の違いによる隠ぺい力の差を利用した2つの塗料を塗装することにより、塗装中に膜厚の目安が容易になる塗料。
寒冷地用塗料	寒冷地の冬場の低温塗装環境においても、通常の塗装工期で塗装ができ、かつ塗膜品質が低下しにくい塗料。
中・上塗兼用塗料	工程短縮や塗装コストの低減を目的として開発された塗料であり、一つの塗料で中塗りと上塗りの機能を併せ持っている。「厚膜形ポリウレタン樹脂塗料上塗」や「厚膜形シリコン変性エポキシ樹脂中・上塗兼用塗料」などがある。

※出典：「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集(平成22年9月)」

性能規定では、まず発注者が目標とする性能(要求性能)を明示し、これを確保するために、材料・施工の性能評価方法およびその基準値(性能水準)を規定する。一方、受注者はこれに応じ、規定された性能水準を満たす塗料や塗装方法を提案する。発注者はこれらの技術提案が要求性能を満足するか否かを検査し、合格したものを積極的に採用することになる。

そこで、本研究ではまず、文献調査により鋼道路橋塗装に求められる性能を明らかにし、その性能を評価するために従来行われている評価項目と、対応する試験方法・条件等を整理することとした。

## 4. 鋼橋塗装に必要な要求性能と現行の性能評価技術の整理

### 4.1 文献調査

「鋼道路橋塗装・防食便覧(以下、「便覧」と称す)」は道路橋示方書の規定に準じ、示方書における防食技術全般に関する部分を補完する手引書として、道路橋の設計・施工・維持管理に携わる技術者らに広く利用されている。そこで文献調査では便覧の塗料標準および試験方法と、便覧の試験方法が主として準拠している日本工業規格(JIS)で規定された塗料・塗装に関する試験方法を中心に情報を整理した。また、道路橋以外の分野で実際に使われている塗料・塗装に関する試験方法も参考にするために、主に表-2に示した国内の基準類も参照した。

### 4.2 調査結果

文献調査の結果に基づき、鋼道路橋塗装に求められる性能(要求性能)と、それを確保するために必要と思われる性能評価項目を整理し、表-3にまとめた。鋼道路橋塗装の標準的な技術基準としては、「鋼道路橋防食便覧(日本道路協会、平成26年3月)」があり、この中で基本とすべき塗装仕様や品質規格、試験方法などが規定されている<sup>1)</sup>。鋼道路橋防食便覧における新設鋼道路橋用の標準的な塗装系を表-4に示す。現行の塗装系では異なる性能を持つ複数の塗料を塗り重ね、塗膜全体として必要な機能を発揮させるようにしており、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)毎に表-2の性能評価項目から取捨選択されて試験項目が設定され、塗料毎に異なる性能水準が規定されている。一方で、鋼道路橋塗装の性能規定化のメリットは、材料や工法を選定する自由度を大きくし、新しい技術がより簡潔に、より迅速に評価され得ることにある。そのためには、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必要がある。したがって本研究では、個々の塗料に対して品質規格を設定するのではなく、塗装系全体としての性能が現行の塗装系と同等以上であることを担保できる、より実用的で合理的な品質規格を作ること为目标としている。そのために、表-4に示した現行のC-5塗装系を「標準塗装系」と位置づけ、表-3をもとにこの塗装系の各種基本性能に関するデータを収集することとした。

## 5. 各種塗料塗装系の性能評価試験

### 5.1 概要

塗膜の防食性や耐候性を評価する試験方法は様々あり、

表-2 調査対象とした主な塗料・塗装規格、指針、試験方法等

分野	塗料・塗装規格、指針、試験方法等	発行年月	発行者
道路	鋼道路橋塗装・防食便覧	平成17年12月	(社) 日本道路協会
	鋼道路橋塗装便覧	平成2年6月	(社) 日本道路協会
	構造物施工管理要領	平成23年7月	(株) 高速道路総合技術研究所
	NEXCO 試験方法第4編 構造関係試験方法	平成23年7月	(株) 高速道路総合技術研究所
	塗装設計施工基準	平成20年12月	広島高速道路公社
鉄道	鋼構造物塗装設計施工指針 (2005年)	平成18年5月	(財) 鉄道総合技術研究所
河川	ダム・堰施設技術基準 (案)	平成11年3月	(社) ダム・堰施設技術協会
港湾	港湾鋼構造物防食・補修マニュアル	平成21年11月	(財) 沿岸技術研究センター
船舶	IMO 塗装性能基準に関するガイドライン	平成22年4月	(財) 日本海事協会
下水道	コンクリート防食指針 (案) 参考資料	平成9年6月	下水道事業団
プラント	プラント塗装指針	昭和61年7月	(財) エンジニアリング振興協会
その他	塗料試験方法 No.3 (防食性試験方法)	平成4年1月	(財) 日本塗料検査協会
	防衛省規格	—	防衛省技術研究本部
	日本工業規格	—	

表-3 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)	要求性能を確保するため評価すべき項目 (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"> <li>塗料の粘度/塗装作業性</li> <li>乾燥時間/可使用時間/指触乾燥性</li> <li>厚塗り性/たるみ性/塗膜の初期外観</li> </ul>	JIS K 5600-2-2/2-3/1-1 など JIS K 5600-1-1/3-2/3-3 など JIS K 5553/JIS K 5551 など
● 附着性能 (鋼材や他層塗膜との一体性)	<ul style="list-style-type: none"> <li>附着性</li> <li>耐屈曲性/耐衝撃性/耐カッピング性</li> <li>耐摩耗性/塗膜硬度</li> <li>母材への追従性、応力緩和能</li> </ul>	JIS K 5600-5-6/5-7 など JIS K 5600-5-1/5-9/5-2 など JIS K 5600-5-10/5-4 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"> <li>水蒸気/酸素/塩化物イオン遮断性</li> <li>耐塩水性</li> <li>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)</li> </ul>	JIS K 7129/製料研式試験法/JWWA K 143 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"> <li>色彩/鏡面光沢度</li> <li>隠ぺい力</li> <li>耐汚染性</li> <li>養生時の耐水 (結露) 性</li> </ul>	JIS K 5600-4-3~6/4-7 など JIS K 5600-4-1 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"> <li>耐候性</li> <li>耐熱性/耐水性/耐湿性</li> <li>耐冷熱繰返し性</li> </ul>	屋外暴露耐候性 (JIS K 5600-7-6) /促進耐候性 (JIS K 5600-7-7) など JIS K 5600-6-3/6-1/6-2/7-2/7-3 など JIS K 5600-7-4 など
● 環境性能 (周辺環境や大気への負荷)	<ul style="list-style-type: none"> <li>塗膜中の鉛量/クロム量/VOC 排出量</li> </ul>	JIS K 5674/IS K 5601-4-2 など

表-4 鋼道路橋防食便覧で規定されている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 <sup>2</sup> )	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	(プラスト処理 ISO Sa2 1/2)		—	
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160	(15)	JIS K 5552: 2010 ジンクリッチプライマー (1種)
橋梁製作工場	2次素地調整	(プラスト処理 ISO Sa2 1/2)		—	
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75	JIS K 5553: 2010 厚膜形ジンクリッチペイント (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追加しない。

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。

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信頼性が高い試験方法として広く利用されているが、地域環境の差の影響を受けることもあり、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精度よく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、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、それらの性能を的確に評価できる基準値が明確に示されていない。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。

## 5. 2 複合サイクル腐食試験

### 5. 2. 1 複合サイクル腐食試験の概要

複合サイクル腐食試験（図-1）は、屋外暴露において塗膜の防食機能の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装鋼材に作用させ、塗膜の防食機能の耐久性を促進的に評価する試験方法である（図-2）。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<sup>4),5)</sup>があり、わが国でも ISO 11997-1: 1998 をもとに 2006 年に JIS 化された<sup>6)</sup>。鋼道路橋塗装の現行の品質規格においては、表-5 に示す「鉛・クロムフリーさび止めペイント」や「エポキシ樹脂塗料下塗り」等、主に下塗り塗料の防食性の基準として、JIS K 5600-7-9 附属書 1 サイクル D（図-2 左）に基づく試験・評価方法が規定されている<sup>7),8)</sup>。その一方で、下塗りから上塗りまでの塗装系（複層塗膜）全体としての性能基準は定められておらず、これを確立する必要がある。



図-1 複合サイクル試験機によるサイクル腐食試験

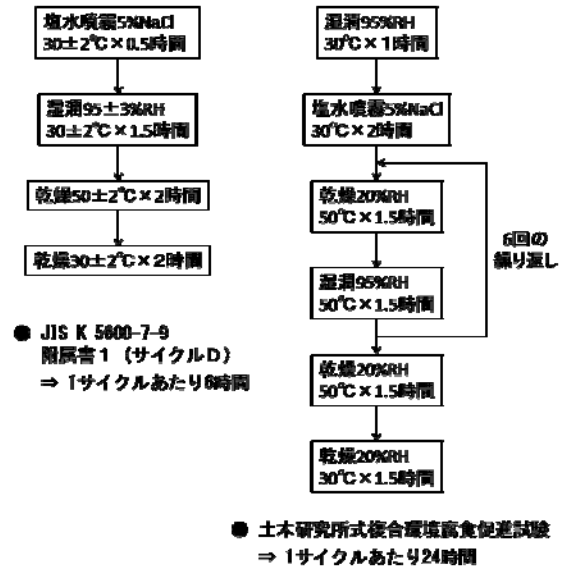


図-2 複合サイクル腐食試験条件（1 サイクルあたり）

表-5 下塗り塗料の品質規格における防食性に関する基準

JIS K 5674 「鉛・クロムフリーさび止めペイント」(1 種)	JIS K 5551 「構造物用さび止めペイント」(B 種)
JIS K 5600-7-9 附属書 1 (サイクル D) ⇒ 36 サイクル後	JIS K 5600-7-9 附属書 1 (サイクル D) ⇒ 120 サイクル後
・塗膜外観：さび、膨れ、はがれがないこと	・塗膜外観：さび、膨れ、割れおよびはがれがないこと

複合サイクル腐食試験の試験条件には、各機関より様々なものが提案されている。土木研究所においても独自の調査研究により、道路橋の実環境に近く屋外暴露試験と相関がより高いと考えられる促進劣化試験の探索を行い、ISO や JIS とは異なる試験条件を提案している（図-2 右）。本研究では、JIS 式（JIS K 5600-7-9 附属書 1（サイクル D））と土木研究所式の双方で各種塗膜の試験評価を行い、結果を比較することとした。

### 5. 2. 2 実験方法

試験片（150×70×3.2 mm）の基材には、SS400 鋼板（JIS G 3101）の表面をブラスト処理（除せいで度：ISO 8501-1 Sa2 1/2、表面粗さ：50 μm Rzjis 相当）したものを用いた。この鋼板に、表-4 の塗装系（メーカーの異なる 6 種）を各層とも規定膜厚となるようにスプレー塗装して試験片を作製した。上塗り塗料の色相は白（マンセル値は N 9.5 相当）とした。比較のため、鋼道路橋防食便覧の Rc-I 塗装系（有機ジンクリッチペイント 75 μm/弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗り 120 μm/弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 μm/弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗り 25 μm、メーカーの異なる 2 種）についても同様の試験を行った。



図-3 複合サイクル腐食試験における評価方法の一例

試験片の塗膜には、鋼素地に達する切り込みキズ（長さ 50 mm）を入れ、土木研究所式あるいは JIS 式の試験条件で促進的に劣化させた。切り込みキズの断面形状は JIS K 5600-7-9: 2006 に準拠した。キズ部からの塗膜下腐食による膨れ幅を定量的に評価するため、切り込みキズは試験片の長辺に沿って 1 本のみ設けた。所定の試験時間が経過した時点で試験片を取り出し、JIS K 5600-8-1: 1999、JIS K 5600-8-2: 2008、JIS K 5600-8-3: 2008、JIS K 5600-8-4: 1999、JIS K 5600-8-5: 1999、JIS K 5600-8-6: 1999 や塗膜の評価基準（(財) 日本塗料検査協会）<sup>9)</sup>、鋼構造物塗膜調査マニュアル（(社) 日本鋼構造協会）<sup>10)</sup>

表-6 複合サイクル腐食試験における塗膜の評価結果（土木研究所式）

供試塗料	塗装系	75 サイクル		100 サイクル		200 サイクル		300 サイクル		400 サイクル	
		一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)
A	C-5	異常なし	0.0	異常なし	0.0	異常なし	0.0	異常なし	0.0	異常なし	1.0
B	C-5	異常なし	0.5	異常なし	0.9	異常なし	1.8	異常なし	2.3	異常なし	4.0
C	C-5	異常なし	0.0	異常なし	0.0	異常なし	1.0	異常なし	1.0	異常なし	4
D	C-5	異常なし	0.8	異常なし	0.8	異常なし	1.0	異常なし	1.5	異常なし	2.0
E	C-5	異常なし	1.1	異常なし	2.0	異常なし	3.3	異常なし	4.5	異常なし	5.0
F	C-5	異常なし	0.3	異常なし	0.5	異常なし	1.5	異常なし	1.5	異常なし	2.0
比較 A	Rc-I	異常なし	2	異常なし	2	異常なし	4	異常なし	6.5	異常なし	12
比較 B	Rc-I	異常なし	3.5	異常なし	6	異常なし	6	異常なし	10.5	異常なし	15

表-7 複合サイクル腐食試験における塗膜の評価結果（JIS 式）

供試塗料	塗装系	200 サイクル		400 サイクル		800 サイクル		1200 サイクル		1600 サイクル	
		一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)	一般部	キズ部からの膨れ幅(mm)
A	C-5	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	1	異常なし	1.4
B	C-5	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	1	異常なし	1.3	異常なし	3.3
C	C-5	異常なし	0.5	異常なし	0.5	異常なし	0.5	異常なし	2.3	異常なし	4.0
D	C-5	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	0.5	異常なし	0.5
E	C-5	異常なし	0.5	異常なし	0.5	異常なし	1.5	異常なし	1.5	異常なし	5.9
F	C-5	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	2.3	異常なし	2.4
比較 A	Rc-I	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	0	異常なし	2	異常なし	10.5
比較 B	Rc-I	異常なし	1.5	異常なし	2	異常なし	3	異常なし	4	異常なし	12



等を参考に、塗膜外観観察（さび、はがれ、割れ、膨れ、白亜化等）、キズ部からのさびや膨れの幅の計測、塗膜付着性の評価（プルオフ法）などを行った（図-3）。

5. 2. 3 実験結果

複合サイクル腐食試験における塗膜外観およびキズ部からの膨れ幅の評価結果を表-6（土木研究所式）および表-7（JIS 式）に示す。結果は3枚の試験片の平均値を示している。

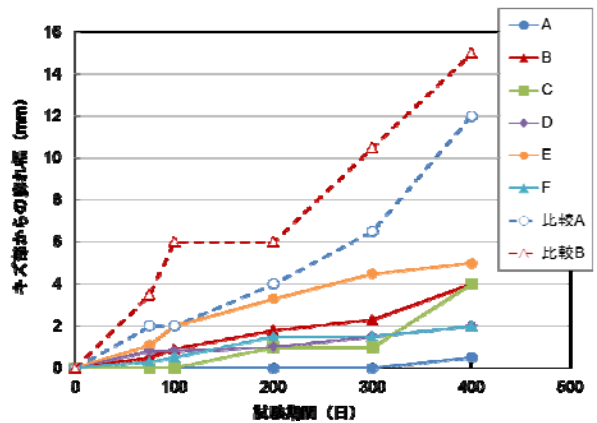
土木研究所式400サイクル後、JIS式1600サイクル後ともに、すべての試験片で一般部にはさび、膨れ、われ等の塗膜異状は認められず、良好な塗膜状態であった。近年、鋼道路橋塗装に用いられている重防食塗装系塗膜は優れた環境遮断性を有している上に、防食下地としてジンクリッチペイントが適用されているため、試験片の一般部に塗膜異状が起きにくいことが考えられる。一方、塗膜に導入したキズ部からの膨れ（塗膜下腐食による）幅は、いずれの供試塗膜においても試験サイクルの増加とともに大きくなり、また、試験片間において差が生じた。C-5 塗装系では、土研式の400サイクルにおけるキズ部からの膨れ幅は最大で5 mm程度であるのに対し、Rc-I 塗装系では15 mm程度となった。これは、C-5 塗装系の防食下地である無機ジンクリッチペイントと、Rc-I 塗装系の有機ジンクリッチペイントとの性能差であると考えられ、既往の研究結果等とも傾向が一致している<sup>11)</sup>。

複合サイクル腐食試験における試験片キズ部からの膨れ幅の経時変化を図-4に示す。土研式とJIS式とは、試験400日後の膨れ幅に明確な差異はなかった。しかし、土研式においては試験初期から膨れ幅が徐々に大きくなるのに対し、JIS式では3試験初期の変化は小さく、300日頃より膨れ幅大きくなる傾向が見られた。いずれのサイクル条件においても、比較のRc-IとC-5とで明確に差異が現れたのは、350日頃より後であることが明らかとなった。

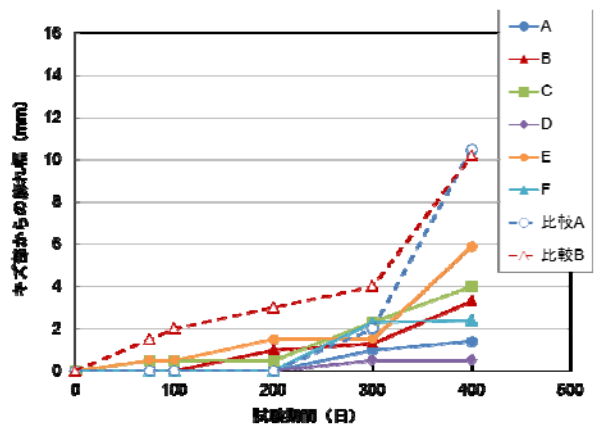
表-8に複合サイクル腐食試験後に実施した、塗膜付着力試験の結果を示す。一部を除き、キズ部からの膨れ幅にかかわらず、いずれも2.0 MPa以上の良好な付着力を示した。一般に重防食塗装系塗膜は一般塗装系に比べて環境遮断性が高いため、付着力の低下を来す塗膜劣化が生じるまでには、より長期の試験が必要になるものと考えられる。

5. 2. 3 基準値の検討

複合サイクル腐食試験の結果から判断すると、複層塗



(a) 土研式



(b) JIS 式

図-4 複合サイクル腐食試験における試験片キズ部からの膨れ幅の経時変化

表-8 複合サイクル腐食試験後の塗膜付着力試験結果

供試塗料	塗装系	土研式400サイクル		JIS式1600サイクル	
		付着力 (MPa)	はく離箇所: 面積率 (%)	付着力 (MPa)	はく離箇所: 面積率 (%)
A	C-5	3.5	接着剤: 100	4.0	接着剤: 100
B	C-5	3.0	ジンク: 100	1.5	ジンク: 100
C	C-5	2.5	ジンク: 100	3.0	ジンク: 90 接着剤: 10
D	C-5	3.5	ジンク: 100	2.0	ジンク: 100
E	C-5	2.0	ジンク: 100	2.5	ジンク: 100
F	C-5	5.0	ジンク: 100	3.0	ジンク: 100
比較A	C-5	3.0	接着剤: 65 ジンク: 35	2.0	ジンク: 85 ジンク/下塗: 15
比較B	C-5	2.0	ジンク: 100	1.0	ジンク: 100

はく離箇所の凡例 接着剤: 接着剤塗膜界面での破壊  
 ジンク: ジンクリッチペイント層内での凝集破壊  
 下塗: 下塗り層内での凝集破壊  
 ジンク/下塗: ジンクリッチペイントと下塗りの層間剥離

膜の防食性の基準としては、土研式 350 サイクル、JIS 式 1400 サイクル時点において、①一般部にはさび、膨れ、割れ、はがれ等の塗膜異状がないこと、②キズ部からの膨れ幅は 5 mm 程度までであること、③塗膜付着力は 1.5 MPa より大きいこと、が妥当であると考えられる。

著者らが過去に実施した屋外暴露試験<sup>3)</sup>と、複合サイクル腐食試験（土研式）の結果について、キズ部からの最大膨れ幅に着目し整理した結果を図-5 に示す。屋外暴露試験は複合サイクル試験と同等の試験片を用い、茨城県つくば市および沖縄県国頭郡大宜味村において実施した。これによると、複合サイクル腐食試験（土研式）の 60 サイクルが沖縄における屋外暴露 1 年程度に相当することがわかる。すなわち、本研究で用いた塗装系に対しては、複合サイクル腐食試験（土研式）350 サイクルは、沖縄暴露のおおむね 6 年相当の結果が得られるものと考えられる。

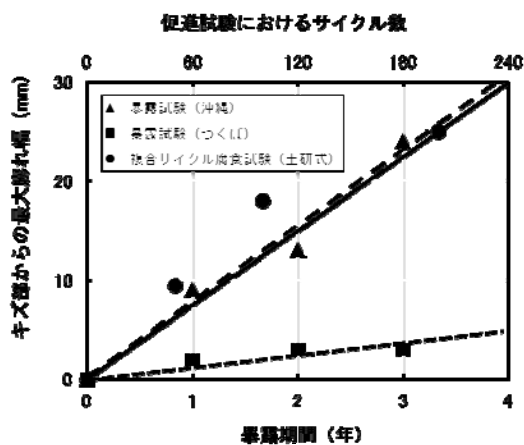


図-5 複合サイクル腐食試験（土研式）と屋外暴露試験との相関

### 5.3 促進耐候性試験

#### 5.3.1 促進耐候性試験の概要

塗膜の耐候性に関する現行の品質基準には、屋外暴露試験によるものと、促進耐候性試験によるものがあるが、いずれも個別（単層）の塗膜を対象とした性能基準となっている。屋外暴露試験による性能基準は、「厚膜形ジンクリッチペイント」「構造物用さび止めペイント」「鋼構造物用耐候性塗料」などの JIS で規定されている（表-10）。上塗り塗料は塗装系の中で最外層に適用されるものであり、紫外線や水分等の環境による作用を受けやすい一方で、色彩や光沢といった美観を長期間保持する性能が求められる。このため、上塗り塗料の品質規格である JIS K 5659 では耐候性に関する性能基準が特に重視されており、「さび」「割れ」「はがれ」「膨れ」といった塗

膜外観のみならず、「色の変化」「白亜化」「光沢保持率」という美観に関わる評価項目も規定されている。さらに、屋外暴露試験に加えて、促進耐候性試験による評価基準も設定されている。

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。塗料に関する JIS で規定されている促進耐候性試験にはキセノンランプ法<sup>12)</sup>と紫外線蛍光ランプ法<sup>13)</sup>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<sup>14)</sup>。JIS K 5659 ではキセノンランプ法による評価方法が規定されており、表-9 に示す評価基準が定められている。

表-9 上塗り塗料の品質規格における促進耐候性に関する基準の例

JIS K 5659 「鋼構造物用耐候性塗料」(1 級)
照射時間 2000 時間後
・塗膜外観：割れ・はがれ及び膨れがないこと
・色の変化：見本品と比べて大きくないこと
・白亜化：等級が 1 又は 0
・光沢保持率が 80% 以上

本研究では、上塗り塗料の現行の品質規格における促進耐候性による評価方法を基本とし、JIS K 5600-7-7 に準拠した促進耐候性試験により複層塗膜の性能評価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。

#### 5.3.2 実験方法

試験片（150×70×1.6 mm）の基材には、SS400 鋼板（JIS G 3101）の表面をブラスト処理（除せいで：ISO 8501-1 Sa2 1/2、表面粗さ：50 μm Rzjis 相当）したものを用いた。この鋼板に、表-11（メーカーの異なる 4 種類）の塗装系を各層とも規定膜厚となるようにスプレー塗装して試験片を作製した。比較のため、C-5 塗装系の中塗り／上塗りを、シリコン変性アクリル樹脂塗料用中塗り／シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗りに替えた塗装系、ポリウレタン樹脂塗料用中塗り／ポリウレタン樹脂塗料上塗りに替えた塗装系についても同様に評価した。

上塗り塗料の色相は C-5 塗装系については 4 種類（白、灰（淡彩）、赤（濃彩）、青（中彩）：マンセル値はそれぞれ N9.5、N7.5、5R4/12、10B6/6 相当）、比較の塗装系については 3 種類（灰、赤、青）とした。これらの試験片

表-10 各種塗料の品質規格における屋外暴露耐候性に関する基準

JIS K 5553 「厚膜形ジンクリッチペイント」	JIS K 5551 「構造物用さび止めペイント」	JIS K 5659 「鋼構造物用耐候性塗料」(1級)
2年間の屋外暴露後 ・塗膜外観：さび、割れ、はがれ及び膨れがないこと	2年間の屋外暴露後 ・塗膜外観：さび、割れ、はがれ及び膨れがないこと	2年間の屋外暴露後 ・塗膜外観：さび、割れ、はがれ及び膨れがないこと ・色の変化：見本品と比べて大きくないこと ・白亜化：等級が1又は0 ・光沢保持率：60%以上

表-11 促進耐候性試験に供した塗装系

No.	塗装系	第1層目	第2層目	第3層目	第4層目	第5層目	上塗り塗料の色相
1	C-5 (基本)	無機ジンクリッチ ペイント(75μm)	ミストコート (-)	エポキシ樹脂塗料 下塗(120μm)	ふっ素樹脂塗料用 中塗(30μm)	ふっ素樹脂塗料 上塗(25μm)	白(N9.5) 灰(N7.5) 赤(5R4/12) 青(10B6/6)
2	C-5 塗装系の中/上塗りを 替えた塗装系 (比較)				シリコン変性 アクリル樹脂塗料用 中塗(30μm)	シリコン変性 アクリル樹脂塗料 上塗(25μm)	灰(N7.5) 赤(5R4/12) 青(10B6/6)
3	C-5 塗装系の中/上塗りを 替えた塗装系 (比較)				ポリウレタン樹脂 塗料用中塗(30μm)	ポリウレタン樹脂 塗料上塗(25μm)	

を図-6 に示すキセノンアークランプ式耐候性試験機 (スガ試験機：X-75) で促進的に劣化させ、塗膜の光沢度、色差、膜厚等の経時変化を調べた。なお、C-5 塗装系 (上塗り塗料の色相が白) については、異なる塗料メーカー4社 (A、B、C、D) より提供された塗料について評価した。その他の色相 (灰、赤、青) については、塗装系ごとに異なる塗料メーカー (塗装系 No. 1 : E、塗装系 No. 2 : F、塗装系 No. 3 : G) より提供された塗料について評価した。

片を取り出し、JIS K 5600:1999 や塗膜の評価基準 ((財) 日本塗料検査協会)<sup>9)</sup>、鋼構造物塗膜調査マニュアル ((社) 日本鋼構造協会)<sup>10)</sup>等を参考に、塗膜の外観観察 (さび、はがれ、割れ、膨れ、白亜化等) を行うほか、光沢度 (20°、60°)、色差、膜厚等の計器測定を実施した。

### 5. 3. 3 実験結果

促進耐候性試験における C-5 塗装系塗膜 (白) 表面の光沢保持率 (初期値を 100 としたときの割合) の経時変化を図-7 に示す。

ブラックパネル温度 : 63°C  
 試験槽内湿度 : 50%RH  
 スプレー : 18分/120分中  
 試料面放射照度 : 60 W/m<sup>2</sup> (at 300~400 nm)



図-6 キセノンアークランプ式促進耐候性試験機

促進耐候性試験の条件は、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) のサイクル A に準じた (図-6)。所定の試験時間が経過した時点で試験

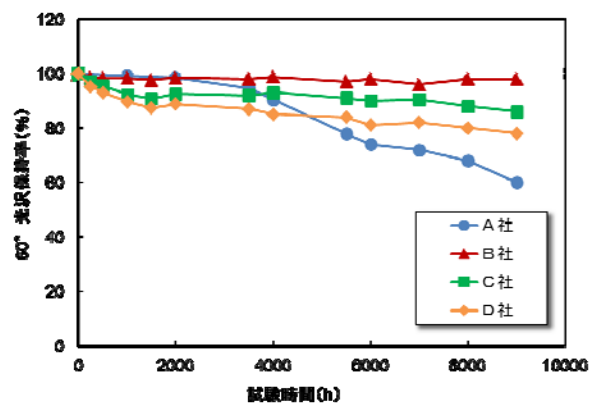


図-7 促進耐候性試験における C-5 塗装系塗膜 (白) の光沢保持率の経時変化

塗料を供出したメーカーの違いにより結果に差異が生じた。B 社品を除いて、いずれもおおよそ 4000 時間経過後より徐々に光沢度が減少した。B 社品については 9000 時間経過後においても、明確な光沢度低下は認められなかった。A 社品については変化が最も大きく、9000 時間



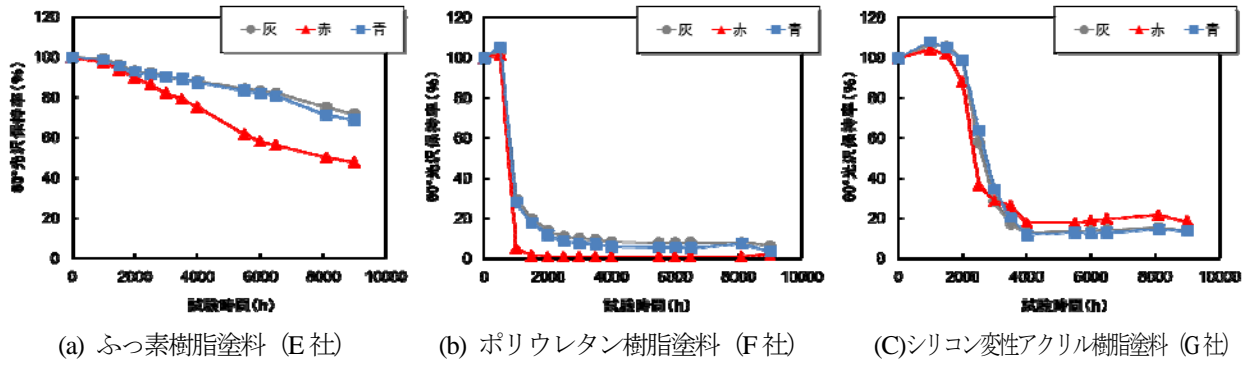


図-8 促進耐候性試験における 60° 光沢保持率の経時変化

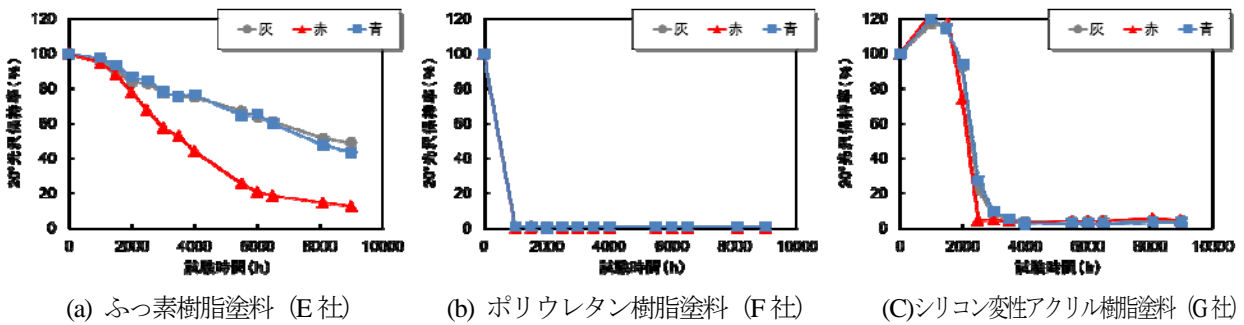


図-9 促進耐候性試験における 20° 光沢保持率の経時変化

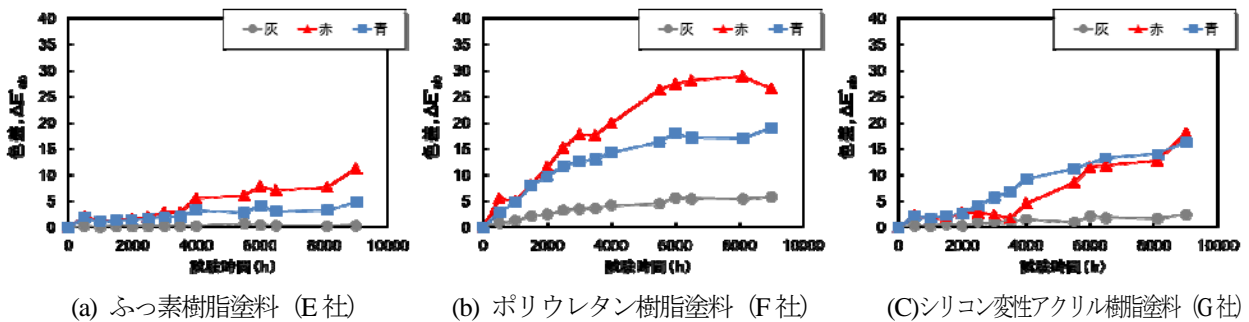


図-10 屋外暴露試験（つくば）における色差  $\Delta E^*_{ab}$  の経時変化

経過時点で初期の 60%程度まで光沢度が低下した。C-5 塗装系の試験片においては、いずれも 9000 時間経過時点で、塗膜外観に異状は認められなかった。

異なる上塗り塗料を適用した塗装系における、光沢保持率および色差  $\Delta E^*_{ab}$  の経時変化を図-8～図-10 にそれぞれ示す。光沢度、色差ともに試験片表面の 3 点を測定し、平均値として整理した。ふっ素樹脂塗料を上塗りとして適用した塗装系では、赤色を除き 4000 時間後においても初期の 90%程度の光沢を保持していたが、シリコン変性アクリル樹脂塗料では 2000 時間程度から、ポリウレタン樹脂塗料では 500 時間程度から、急激に光沢が低下する

ことがわかった。シリコン変性アクリル樹脂塗料では、試験初期に光沢度がわずかに増加するが、これは試験温度により塗膜が鋼材表面でわずかに流動し、試験前よりも塗膜表面の平坦性が向上したためと推察される。ポリウレタン樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料では色相による光沢度の変化に大きな違いは認められなかったが、ふっ素樹脂塗料では、灰色および青色が緩やかな変化を示すのに対し、赤色のみ 2000 時間程度より光沢が大きく低下し、9000 時間試験後にはおよそ 40%の光沢保持率となった。20° 光沢保持率については 60° 光沢保持率よりも変化の程度は大きいですが、樹脂や色相による変化

の傾向は同様であった。

一方で、色差 $\Delta E_{ab}^*$ についても光沢保持率と同様に、ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料の順で変化の程度は大きくなった。色相による違いを見ると、いずれの塗装系においても灰色塗膜の変化は最も小さく、次いで青色、赤色の順に変化が大きくなった。シリコン変性アクリル樹脂塗料においては、2000~8500時間程度で青色塗膜の色差が赤色を上回っていたが、その後、両者はほぼ同等の値となった。

紫外線照射環境による光沢や色彩の変化は、塗膜の美観・景観機能に影響するものと考えられる。同種の樹脂を用いて同じ方法で試験した場合でも、色相や着色顔料等の違いにより異なる結果となる可能性があることが分かった。なお、一般には同じ色相の塗料を調合する場合でも、塗料メーカーによって、用いる顔料の種類や配合量は異なっている。そのため、塗料の種類や色相が同じであっても、劣化の挙動は若干異なる可能性がある。

図-11および図-12は促進耐候性試験に供した試験片と同じものを屋外暴露(つくば)したときの、60°光沢度保持率および色差 $\Delta E_{ab}^*$ の変化を示している。ふっ素樹脂塗料およびシリコン変性アクリル樹脂塗料については2.5年の屋外暴露においても光沢度の低下はほとんど見

られなかったが、ポリウレタン樹脂塗料については、赤色は暴露初期から、灰色、青色は暴露2年頃より急激に光沢が低下し、暴露2.5年では約20~40%の光沢度保持率となった。屋外暴露試験における20°光沢保持率の経時変化は、60°光沢保持率と同様の傾向を示した。その一方で、色差 $\Delta E_{ab}^*$ については上塗り塗料の種類や色相による変化の傾向が、促進耐候性試験とは異なっていた。この理由としては、温度、水分、紫外線等の環境因子がそれぞれ塗膜に作用する程度が、促進耐候性試験と屋外暴露試験とで異なっており、両者における塗膜の劣化機構が一致していないことが考えられる。

以上の試験結果において、変化の傾向が比較的類似しているC-5塗装系の光沢度保持率に着目し、屋外暴露試験と促進耐候性試験との相関について調べた。

C-5塗装系について、屋外暴露試験および促進耐候性試験における光沢度保持率の変化を同一グラフ上にプロットした結果を図-13に示す。それぞれの光沢保持率の変化を直線近似し、屋外暴露試験結果および促進耐候性試験結果の相関係数を求めたところ、灰色、青色塗膜で0.86、赤色塗膜で0.99となった。この結果から、C-5塗装系塗膜においては、促進耐候性試験と屋外暴露試験

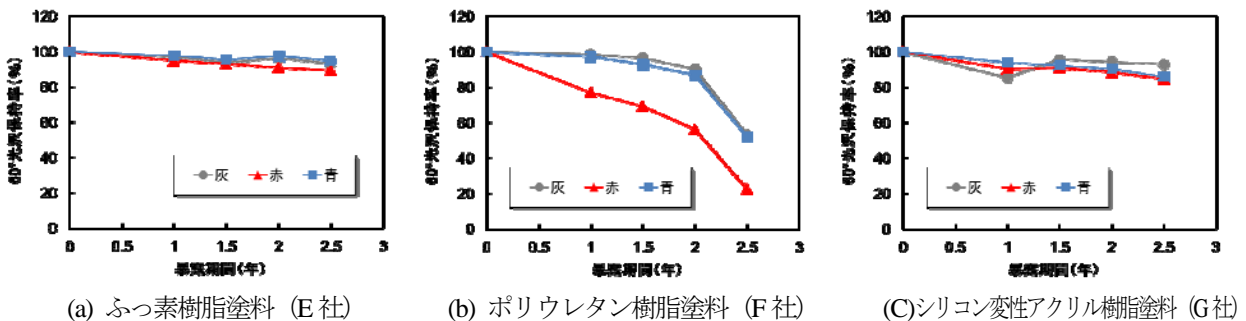


図-11 屋外暴露試験(つくば)における60°光沢保持率の経時変化

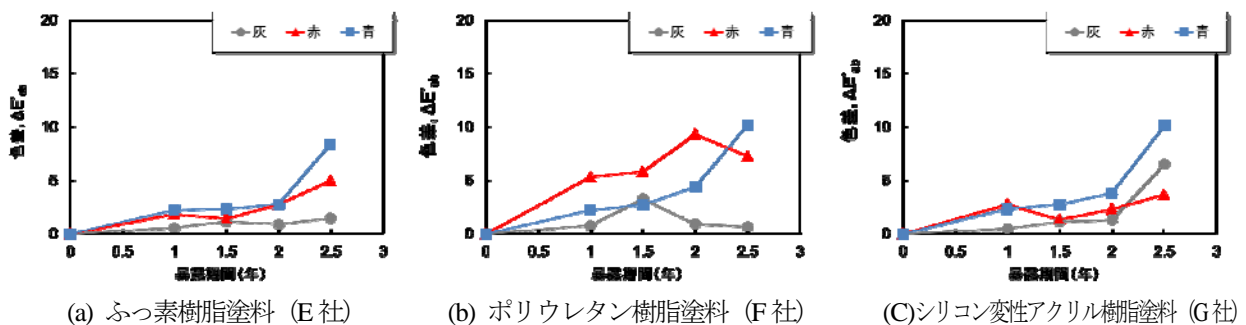


図-12 屋外暴露試験(つくば)における色差 $\Delta E_{ab}^*$ の経時変化

(つくば) との間に良好な相関があり、促進耐候性試験 8000 時間が、おおむね暴露試験 (つくば) 10 年に相当することがわかった。一方で、沖縄における屋外暴露試験については、いずれの塗装系、色相においても、促進耐候性試験との相関は希薄であった。このことから、沖縄とつくばとでは、屋外暴露による塗膜劣化の機構が異なることが推察される。今後、環境因子の違い等を踏まえ、屋外暴露における塗膜劣化機構について、さらに詳しく検討する必要がある。

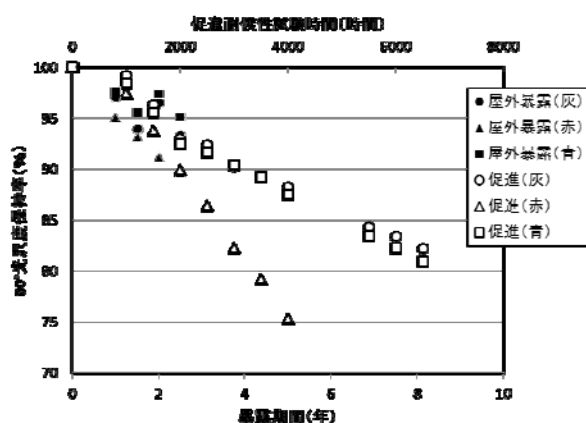


図-13 屋外暴露試験 (つくば) と促進耐候性試験との相関 (C-5 塗装系)

### 5. 2. 5 基準値の検討

表-9 に示した現行の品質基準では、2000 時間後の塗膜性状によって合否判定が行われている。図-8 において 2000 時間後の光沢保持率に着目すると、ふっ素樹脂塗料およびシリコン変性アクリル樹脂塗料の光沢保持率は 90~100% となっており、いずれも「合格」と判定される。しかしながら、より長時間の促進耐候性試験を実施することにより、両者の耐候性の差異が顕著に表れることがわかった。図-7 から図-10 までの結果から判断すると、各種塗膜の耐候性をキセノンランプ法による促進耐候性試験で評価するためには、現行の品質規格等で規定されているよりも長期の試験時間が望ましく、少なくとも 8000 時間程度は実施することが望ましいことが明らかとなった。屋外暴露試験結果によると、これはつくばにおける 10 年間程度の暴露に相当する。

## 6. 塗膜の付着性に関する性能評価試験

### 6. 1 概要

塗膜の「付着性能」は、塗膜が鋼材や他層の塗膜と一体化し、安定して付着し続けられる性能である。塗膜付

着力が低下することにより、剥離や塗膜下腐食等が引き起こされると考えられたため、一定以上の適切な水準で管理する必要がある。塗膜の付着性能を評価する方法には、クロスカット法とプルオフ法が広く適用されており、これらはそれぞれ JIS K 5600-5-6<sup>15)</sup>、JIS K 5600-5-7<sup>16)</sup> でその方法が規定されている。一般に、クロスカット法においては塗膜の付着性に加えて靱性 (脆性) の評価ができるとされており、プルオフ法では鉛直方向の塗膜付着力を具体的な数値で把握することができるとされている。ここでは、これらの 2 種類の試験を試み、塗膜の付着性について検討した。

## 6. 2 実験方法

### 6. 2. 1 クロスカット法

クロスカット法は、塗膜に基盤目状に鋼素地に達するキズを入れ、セロハン粘着テープの粘着力を利用して強制的に塗膜を剥離させることにより、塗膜の鋼素地や他層塗膜との付着性を評価するものである。JIS K 5400-8-5 においては、試験対象となる塗膜の厚みに制限は無かったが、JIS K 5600-5-6 では膜厚が 250  $\mu\text{m}$  までの評価しか想定されていない。C-5 塗装系の全膜厚は 250  $\mu\text{m}$  であり、JIS K 5600-5-6 の範囲内である。ここでは格子間隔を JIS K 5600-5-6 に基づく 3 mm (25 マス)、JIS K 5400-8-5 に基づく 5 mm (9 マス) の二通りに設定し、試験を行った。JIS に準拠した市販のカッターガイドを用い、手で鋼素地に達するキズを塗膜に施し、所定の格子パターンを作製した。塗膜表面に粘着テープを貼付し、これを塗膜の鉛直方向に勢いよく引き剥がすことで試験を行った。なお、JIS K 5600-5-6 では塗膜面に対し 60° 方向にテープを引き剥がすことが規定されているが、せん断破壊の影響をできるだけ排除し、繰り返しのばらつきをできるだけ小さくするため、JIS K 5400-8-5 で規定される鉛直方向で試験した。試験片 (70×150×3.2 mm) 1 枚につき、2 箇所ずつ試験を行った。

### 6. 2. 2 プルオフ法

プルオフ法は、試験端子を塗膜面に接着剤で接着させ、塗膜が破断するまで端子に垂直引張荷重を与える方法である。塗膜と鋼素地の界面あるいは塗膜層間の最も弱い箇所破断することとなる。塗膜の付着力が塗膜自身の強度を上回る場合には、塗膜内部で凝集破壊が起きる。

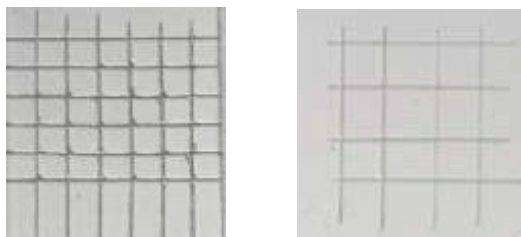
JIS K 5600-5-6 に準拠した試験端子および試験器 (アドヒージョンテスター、Elcometer 106) を用いて試験を行った。試験端子を接着させる接着剤には、2 液のエポキ

シ樹脂系のものを用いた。試験片 (70×150×3.2 mm) 1枚につき、3箇所ずつ試験を行った。

6.3 実験結果

クロスカット法による試験後の塗膜外観の例を図-14に示す。試験を行った全ての試験片において、格子の目に剥離は生じなかった。一方で、カットの縁や交差点において、塗膜剥離を生じた試験片が認められた。カットの縁や交差点における塗膜剥離は、格子間隔が5mmのものよりも、3mmの方で数多く見られた。そこで、試験に残存している塗膜の面積を下記の方法で評価し、クロスカット法における格子間隔により整理した。

- ①格子の目に剥離が無く、カットの縁が完全に残っているものを1とする。
- ②格子の目に剥離は無いが、カットの縁あるいは交差点が剥離しているものを0.8とする。
- ③格子の目が剥離しているものは、残存塗膜の面積に応じて0~1で評価する。
- ④全ての格子 (25マスあるいは9マス) について上記評点の和を求め、全格子数に対する割合を求めて、これを残存面積率とする。



(a)格子間隔3mm (25マス) (b)格子間隔5mm (9マス)

図-13 クロスカット法による試験後の塗膜外観

図-14に、試験後の塗膜の残存面積率に基づき、格子間隔が3mmと5mmの場合における試験結果の相関について整理した結果を示した。この結果から、両者の相関は希薄であり、全般的に格子間隔5mmの方が試験後の塗膜残存面積が大きいことが明らかとなった。前述の通り、塗膜剥離を生じたのはいずれもカットの縁や交差点であり、無機ジンクリッチペイント層における凝集破壊が大半であった。無機ジンクリッチペイントはアルキルシリケート等の無機系のバインダに亜鉛粉末が高い含有率で含まれており、他の有機系の塗膜に比べて硬く脆い。そのため、カッターで格子を入れる際に、応力集中部で破損してしまう可能性が、他の塗膜よりも高いものと推察される。格子間隔を小さくするほどその影響は大

きくなり、本来の塗膜付着力が反映されない試験結果へと結びついたものと考えられる。よって、無機ジンクリッチペイントを用いたC-5塗装系の評価には、JIS K 5400-8-5の試験方法がより適しているものと思われる。

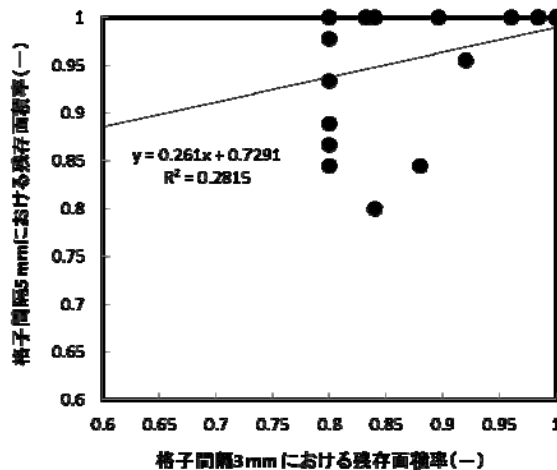


図-14 格子間隔による試験結果の相関

プルオフ法により得られたC-5塗装系の塗膜付着力と、この時の塗膜破壊の形態について整理した結果を図-15に示す。塗膜付着力は0~7.0MPaまで大きくばらつく結果となった。付着力が高いほど接着剤/上塗り塗膜層間の破壊が多くなり、逆に塗膜付着力が低いほどジンクリッチ塗膜層での凝集破壊が多くなる傾向がある。

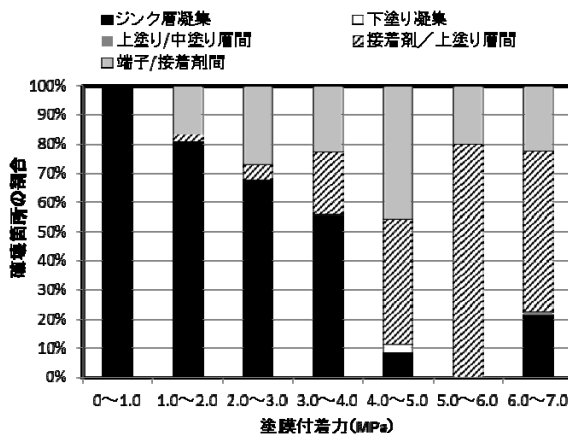


図-15 プルオフ法によるC-5塗装系塗膜の付着試験結果

プルオフ試験における塗膜付着力と、クロスカット試験後の塗膜残存面積率との関係を求め、図-16に示した。プルオフ法とクロスカット法の試験結果は整合しておらず、プルオフ法で低い付着力を示した場合にも、クロスカットでは「良好な附着性能を有する」と判断される可

能性があることが示唆された。プルオフ法で得られた全ての付着力について平均をとると 3.7 MPa であり、標準偏差は 1.5 MPa、変動係数は 40% となる。一方で、クロスカット法における塗膜残存面積率の平均値は 0.96、標準偏差は 0.07、変動係数は 8% となる。これらのことから、プルオフ法とクロスカット法との相関が低い理由として、プルオフ法の試験結果のばらつきが大きいことが挙げられる。このばらつきは、試験端子の形状や試験器の作動機構に起因し、単純な一軸引張荷重とは別な、せん断方向への荷重等が作用しているためと推察される。これらの荷重の作用により、他よりも力学的性能の劣るジンクリッチ層が、見かけ上、低い引張荷重で破断したため、図-15 のような結果になったものと考えられる。

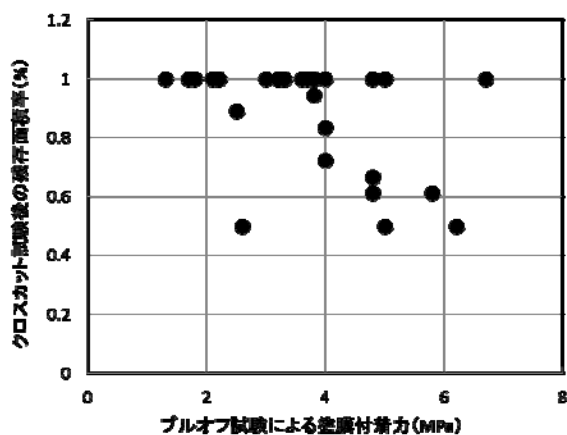


図-16 プルオフ法によるC-5塗装系塗膜の付着試験結果

#### 6. 4 基準値の検討

一般に、鋼構造物の防食塗膜の付着力は、1.5 MPa や 2.0 MPa が基準として考えられている。しかし、その明確な根拠は未だ示されていない。現状のプルオフ試験ではばらつきが大きく、適切な基準値を明らかにするためには、今後、試験方法の見直しを行い、精度の高い評価ができるよう改善する必要がある。最近では従来のプルオフ試験におけるばらつきを低減するために、試験端子形状の改良や、試験の自動化などが検討されており<sup>17)</sup>、これらの新しい手法の妥当性を検証するとともに、促進劣化試験における塗膜付着力の変化等も考慮した上で、塗膜付着性能の基準値について設定する必要がある。

#### 6. 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だ。

鋼道路橋防食便覧に規定されている新設用塗装系(C-5塗装系)の促進耐候性試験(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から得られた塗膜外観、光沢・色彩、切り込み傷からの発せい状況、塗膜付着力等のデータの変化等から、複層塗膜の性能を適切に評価・判定するための試験条件や性能基準値を提案した。

#### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：鋼道路橋防食便覧、平成26年3月
- 2) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧資料集、平成22年10月
- 3) (独)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)：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、平成22年12月
- 4) ISO 11997-1:1998, Paints and varnishes-Determination of resistance to cyclic corrosion conditions-Part 1: Wet (salt fog)/dry/humidity (MOD)
- 5) ISO 11997-2: 2000 Paints and varnishes-Determination of resistance to cyclic corrosion conditions-Part 2: Wet (salt fog)/dry/humidity/UV light
- 6) 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
- 7) JIS K 5674: 2003 鉛・クロムフリーさび止めペイント
- 8) JIS K 5551: 2008 構造物用さび止めペイント
- 9) (財)日本塗料検査協会：塗膜の評価基準、平成15年
- 10) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物塗膜調査マニュアル、平成18年10月
- 11) 守屋 進、浜村寿弘、後藤宏明、藤城正樹、内藤義巳、山本基弘、齊藤 誠：鋼道路橋重防食塗装系の性能評価に関する研究、土木学会論文集E, Vol. 66, No. 3, pp. 221-230, 平成22年7月
- 12) 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)
- 13) 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)
- 14) 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
- 15) JIS K 5600-5-6: 1999 塗料一般試験方法—第5部：塗膜の機械的性質—第6節：付着性(クロスカット法)



- 16) JIS K 5600-5-7: 1999 塗料一般試験方法—第5部：塗膜の機械的性質—第7節：付着性（プルオフ法）
- 17) 三輪貴志、竹下幸俊、阪田春三、澤田 孝：塗膜付着力測

定におけるドリ—形状の影響及び基盤目試験との相互関係に関する考察、防錆管理、第58巻、第10号、pp.368-372、平成25年10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

**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. Based on the findings in fiscal year 2011 and 2012, we examined corrosion protection properties and weathering behavior of coating films this year. Coating system "C-5" which are provided as standard coating systems for Japanese steel road bridges in the Coating Handbook edited by Japan Road Association was picked up as experimental objects. The test pieces coated with C-5 system were subjected to accelerated weathering tests (under xenon-arc radiation) and cyclic corrosion tests (salt fog/dry/humidity). The basic data for C-5 system such as appearance, glossiness, color difference, rust formation, adhesion, impedance and so on were corrected.

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