

橋梁の重防食塗装系の耐久性試験 (長期の耐複合サイクル防食性試験結果)

(株)高速道路総合技術研究所 道路研究部橋梁研究室 藤野 和雄

(財)日本塗料検査協会 技術開発部 西本 悟

1. まえがき

株式会社高速道路総合技術研究所（以下 NEXCO 総研）では、鋼・コンクリート構造物の被覆材料の耐久性評価を目的に種々の研究を計画し実施している。特に鋼橋の塗替え塗装の周期を伸ばし、維持管理費の低減を図る為、重防食を主体とする新設及び補修用塗装系について鋼材や亜鉛めっき材等を対象に昭和 63 年（1988 年）より長期暴露試験を中心とした諸検討を行い、その成果の多くは現在の NEXCO 基準や要領、種々の技術資料に反映されている。

鋼橋の一般外面塗装系の耐久性向上に対する検討は C-5 塗装系（NEXCO では C 5 塗装系）をもって一段落した感がある。そこで、NEXCO 総研では実橋に採用実績の

ある新設および塗替の主要な一般外面塗装系の耐久性の比較検討を平成 18 年度から屋外暴露試験と耐複合サイクル防食性試験を併行して開始した。屋外暴露試験は NEXCO の東京（町田）、沖縄（許田）、北陸（親不知）の 3 暴露試験場で 4 年を経過し継続中である。本稿では、耐複合サイクル防食性試験が約 2 年半を経過し、促進試験の所期の目的が得られたので結果をまとめ報告することとした。（財）日本塗料検査協会は NEXCO 総研より試験を委託され実施した。

2. 試験片の作製

(1) 試験片の塗装系

供試した試験片の塗装系を表 1 に示す。試験片は塗装

表 1 試験片の塗装系の概要

部類	塗装系記号	試験片記号	素地調整	下塗 () 内： 膜厚 μm \times 塗装回数			中上塗	塗装方法
新設	C 2	JB1U-	1 種	HIZE(75)	E(S)ミスト(-)	E(S)(60x2)	U	スプレー
	C 4	JB1F-		HIZE(75)	E(S)ミスト(-)	E(S)(60x2)	F	
	C 5	HB1-		HIZE(75)	E(S)ミスト(-)	HE(S)(120)	U	
	I	JB2U-		HOZ(75)	-	-	U	
	A-1	JB8P-		Pb(35x2)	-	-	P	
塗替	c-2	JB3U-	1 種	HOZ(75)	MDE(60x2)	-	U	はけ
	c-3	JB3F-		HOZ(75)	MDE(60x2)	-	F	
	i-1	JC2U-		HOZ(75)	-	-	U	
	a-1	JB4P-(T, O, H)	3 種	PbF(35x2)	-	-	P	
	c-1	JB5U-(T, O, H)		MDE(60x3)	-	-	U	
	c-2	JB6U-(T, O, H)		HOZ(30x2)	MDE(60x3)	-	U	
	c-3	JB6F-(T, O, H)		HOZ(30x2)	MDE(60x3)	-	F	
	i-1	JB7U-(T, O, H)		HOZ(30x2)	MDE(60)	-	U	

注 1) NEXCO 基準では「塗替～3 種ケレン」の下塗の一部がタッチアップ塗装となっているが、本試験は全面錆板を用いるので、タッチアップ部も事実上オールオーバー塗装した。

注 2) 【塗料記号】

HIZE：無機ジンクリッチ[®]イント、HOZ：有機ジンクリッチ[®]イント、Pb：鉛系錆止め、
PbF：鉛鉛[®]錆止めイント E(S)：エポキシ下塗、HE(S)：厚膜型エポキシ下塗
ミスト：ミストコート、MDE：変性エポキシ
U：ウレタン中上塗、F：ふっ素中上塗、P：フタル酸中上塗

注 3) 新設 I 塗装系と 1 種ケレン後の塗替 i-1 塗装系は、同一仕様となる。

注 4) 中上塗の目標膜厚は「中塗 = 30 μm 、上塗 = 25 μm 」とした。

注 5) 試験片記号欄の (T, O, H) はさび板を作成したばくろ地を示す。T：東京、O：沖縄、H：北陸

系毎に2枚作成した。ただし、C5塗装系は1枚とした。

(2) 試験板の種類

- ① 一般外面用標準塗装系（新設塗装系）
NEXCO 試験方法 403 に規定する試験板（150 × 70 × 3.2mm プラスト鋼板）を使用した。
- ② 一般外面用標準塗装系（塗替え塗装系）
1種ケレン塗装系用の試験板は新設塗装系と同様に試験法 403 に規定する試験板を使用した。3種ケレン塗装系用試験板は上記試験板を各暴露場で約半年間暴露して発錆させた板を使用した。

(3) 試験片の作製条件

- ① 一般外面用標準塗装系（新設塗装系）
表1に示す塗装系でスプレー塗装した。
塗装完了後の養生条件は以下の通りである。
塗装間隔：72～96時間
養生期間：10日間（試験法 403 規定は1ヶ月間）

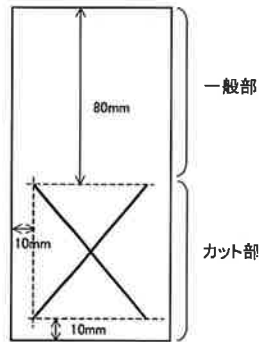


図1 試験板のカットの状態

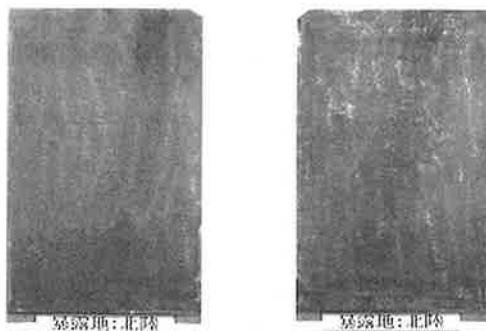


写真1 3種ケレン後の試験片の状態

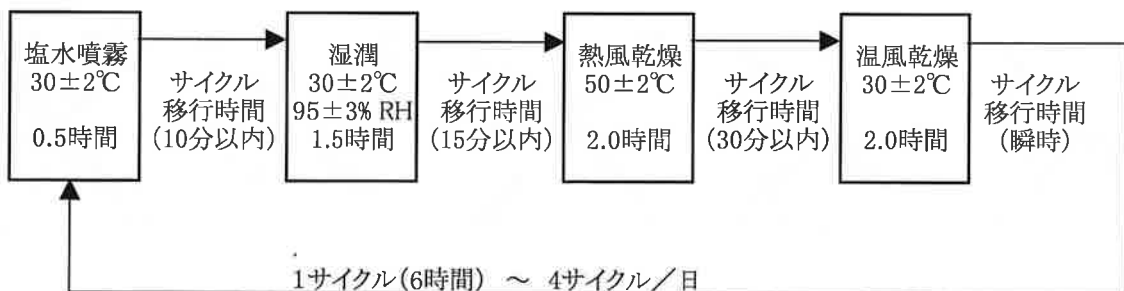


図2 耐複合サイクル防食性試験（A法）の試験条件

養生後のサンシャイン照射：96時間

なお、塗装系毎に2枚作成した試験片のうち1枚は図1に示すように試験片の下半分に素地に達するクロスカットを入れ、他の1枚はカットなしの状態です試験した。

- ② 一般外面用標準塗装系（塗替え塗装系）
1種ケレンの塗替え塗装系は新設の外面用標準塗装系と同様な条件で試験片を作成した。3種ケレンの塗替え塗装系は試験板を東京、沖縄、北陸で暴露してさびを発生させた後、電動工具（ディスクサンダー）でISO St3程度の素地調整（写真1）を行い、表1の塗装系で刷毛塗り塗装した。その他の条件は上記(3)①と同様とした。

3. 試験方法

(1) 試験条件

試験法 403 に規定する耐複合サイクル防食性試験の試験条件「海浜および一般環境用（A法：図2参照）」で試験した。

(2) 評価方法および評価項目

外観観察は一般部とカット部に分けて実施した。一般部は、さび、ふくれ、われ、はがれなどを目視観察し、カット部は、カット部周辺のさび幅およびふくれ幅（カットから片側長さ mm）で評価した。

4. 試験結果

試験結果を抜粋し図3～図6に示す。一般部の評価点はカットの無い試験片の評価結果を示し、カット部はカットのある試験片のカット部の評価結果を示している。ただしC5塗装系の一般部はカットから離れた部位（上半分）で評価した。

評価点は(財)日本塗料検査協会の評価基準で行い数量化した。評価点10はさびやふくれ等の欠陥が全くない状態を示し、評価点が高いほど良好な塗膜状態を示す。

(1) 新設塗装仕様

図3および写真2、3に新設塗装系の試験結果を示す。図3の上図は一般部、下図はカット部の評価点の推移を示している。A1塗装系およびI塗装系のカット部は15ヶ月で劣化が著しく、特にA1塗装系は15ヶ月で一般部にも発錆した。グラフが途切れているのはその時

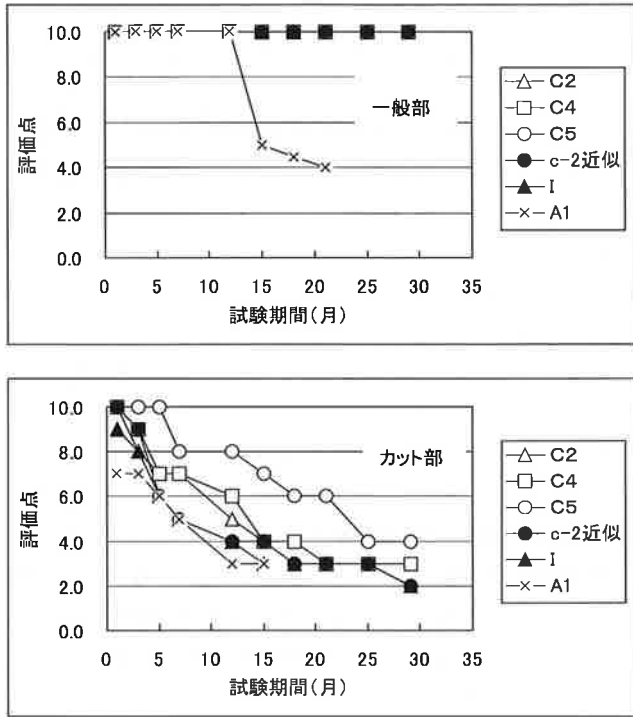


図3 新設塗装系の塗膜劣化(上:一般部、下:カット部)

点で試験を終了させたことを示している。

(2) 塗替え塗装仕様

図4および写真4、5に1種ケレン面のc-2塗装系およびc-3塗装系の試験結果を示す。

図5および写真6、7に東京と北陸のばくろ場で発錆

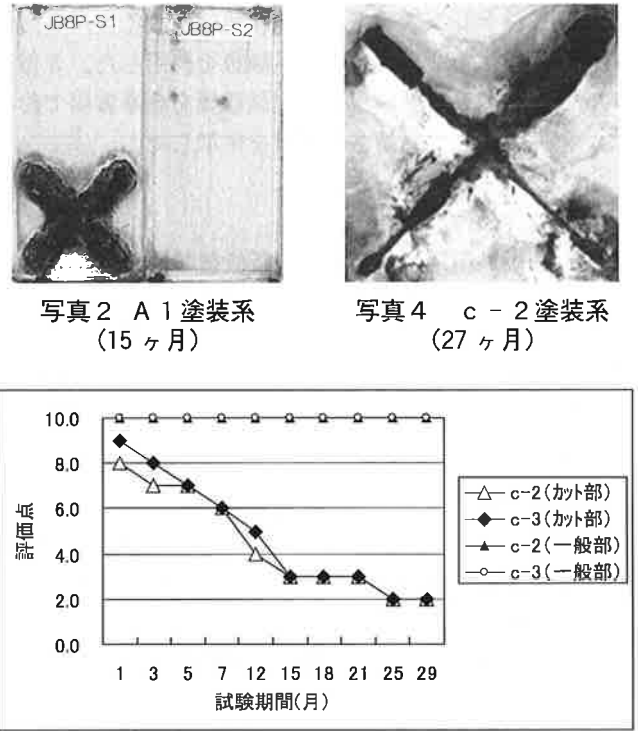


図4 塗替塗装系(1種ケレン)の塗膜劣化

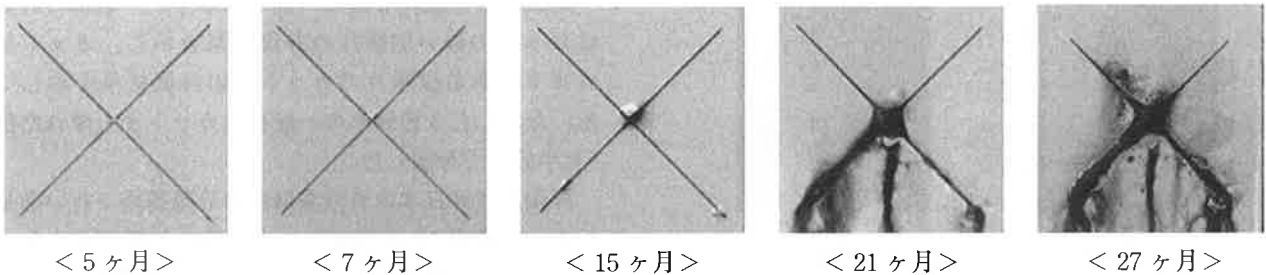


写真3 C5塗装系(カット部)の推移



写真5 c-3塗装系 カット部の推移

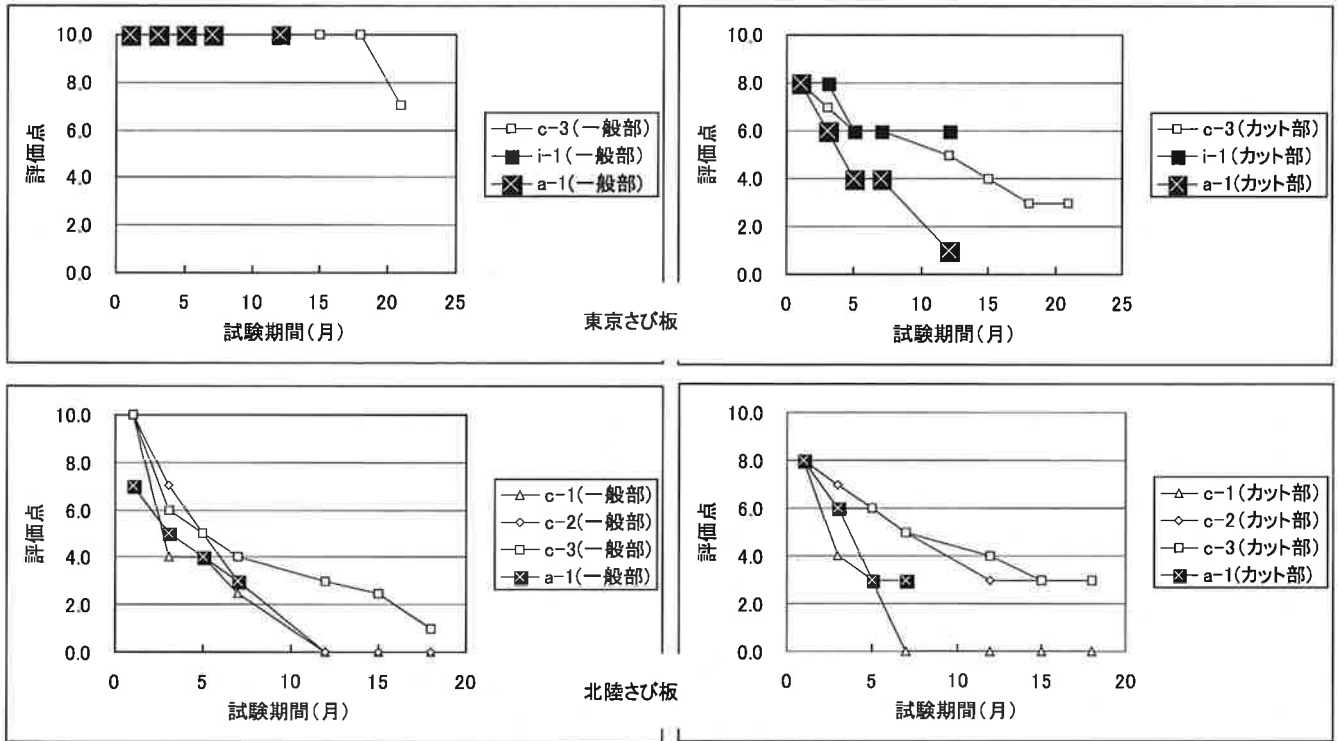
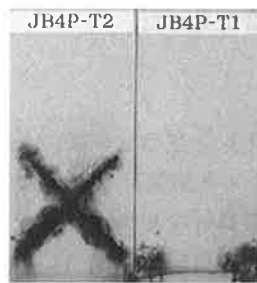
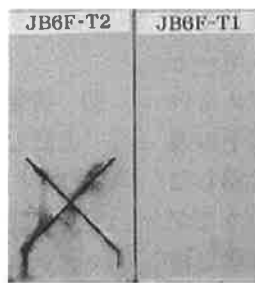


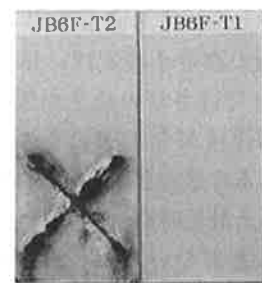
図5 塗替仕様（3種ケレン）の塗膜劣化



a-1 塗装系 (7ヶ月)

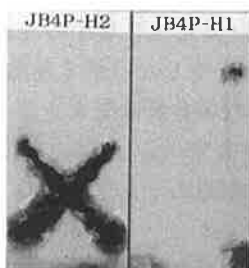


c-3 塗装系 (7ヶ月)

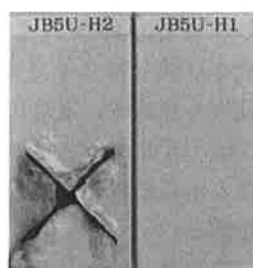


c-3 塗装系 (18ヶ月)

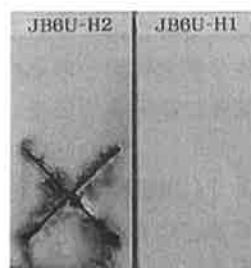
写真6 東京さび板の試験結果



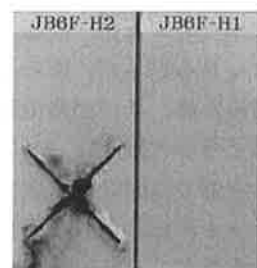
a-1 塗装系 (7ヶ月)



c-1 塗装系 (12ヶ月)



c-2 塗装系 (12ヶ月)



c-3 塗装系 (12ヶ月)

写真7 北陸さび板の試験結果

させたさび板（以下東京さび板、北陸さび板）に3種ケレンを行い塗装した塗替え塗装系の試験結果を示す。

この試験では、多くの塗装系で劣化の進行が速く1年以内で試験を中止した。また、写真では判別できないが北陸さび板では一般部にも素地さびの体積膨張によるふくれが生じたため、東京さび板に比べて一般部の評価点が非常に低くなった。

5. まとめと考察

(1) 新設塗装系

一般部はA1塗装系以外は29ヶ月間を経過しても全く塗膜劣化は見られなかった。これらの塗装系はジンクリッチペイントの上にエポキシ樹脂系の下塗～ポリウレタン樹脂又はふっ素樹脂の中塗及び上塗の反応硬化型塗料が塗装されている。反応硬化型塗料は酸化重合によって硬化するA1塗装系（油性さび止め塗料～フタル酸樹脂の中塗及び上塗）に比べ耐水性や塩分や酸素などの腐食性因子の遮蔽性に優れている。本試験では、カット等素地に達するようなダメージがなければ極めて長期の耐久性を有することが実証された。この結果から実橋においてもC2塗装系、C4塗装系、C5塗装系等の重防食塗装系は素地調整や塗装工程での何らかの原因（ダメージ、膜厚不足等）さえなければ、上塗塗膜が損耗しない間は発錆しないものと思われる。「重防食塗装系を塗装した実橋の塗替え判定は、JSSCテクニカルレポートNo. 61 2004ではさびの発生面積が評価点3を超えない時点（発錆面積が0.03%に至る点）で腐食性因子の遮蔽性に優れる中塗塗膜の露出面積が10～15%に達した時点塗替え最適時期としていたが、平面部ではさびが発生することがないため、2006年発行のJSS鋼構造物塗膜調査マニュアルでは判定基準が見直しされている。」このことから、重防食塗装系は上塗塗膜が健全であればさびはほとんど発生しないことが推察される。しかし、A1塗装系では15ヶ月までは塗膜欠陥は見られなかったが、さらに試験を継続すると錆が表面に達した。冬季に凍結防止剤を散布する地域や河川上など多湿環境にある橋ではウェブ等の一般部に広範囲にさびが出ている事例がよく見られるが、恐らく耐水性や腐食性因子の遮蔽性が劣るため、さびが体積膨張し徐々に塗膜表面に達したものと思われる。

カット部では図3から明らかなように無機ジンクリッチペイントが塗装された塗装系（C2、C4、C5塗装系）は有機ジンクリッチペイントを塗装する塗装系（I塗装系）やジンクリッチペイントを塗装しない塗装系（A1塗装系）に比べさびやふくれが発生するまでの期間が

長く、無機ジンクリッチペイントの犠牲陽極作用による防錆性が優れていることが実証された。

図6にA1塗装系とC4、C5塗装系（無機ジンクリッチペイント～エポキシ樹脂塗料下塗～ふっ素樹脂塗料中塗）、c-3仕様（1種ケレン～有機ジンクリッチペイント～変性エポキシ樹脂塗料下塗～ふっ素樹脂塗料中塗）のカット部の劣化を近似直線で示す。

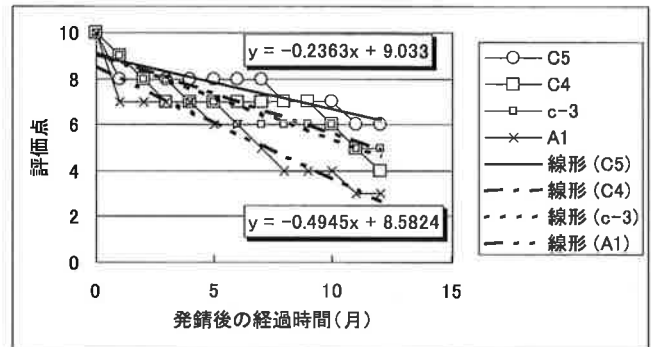


図6 新設仕様のカット部の劣化勾配

以上から明らかなように、無機ジンクリッチペイントを塗装した塗装系は有機ジンクリッチペイントを塗装した塗装系に比べ、カット部にさびやふくれが発生するまでの期間が長く、発錆した後の塗膜の劣化速度も遅い。特にC5塗装系では顕著であった。

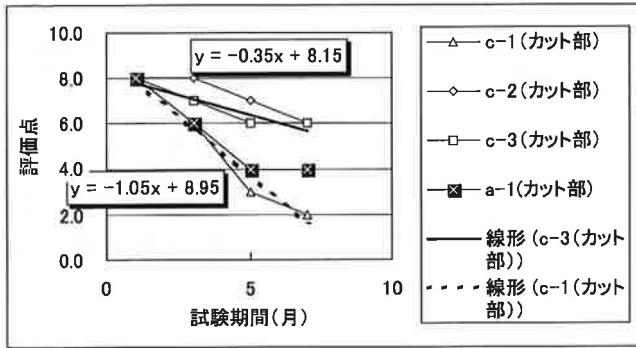
(2) 塗替え塗装系

上記したように1種ケレン面のc-2、c-3塗装系（有機ジンクリッチペイント塗装）は3種ケレン面の塗替え塗装系に比べ極めて良好な耐久性を示すが、無機ジンクリッチペイント塗装の新設塗装系（C2、C4、C5塗装系）に比べるとカット部の防食性では劣る結果であった。

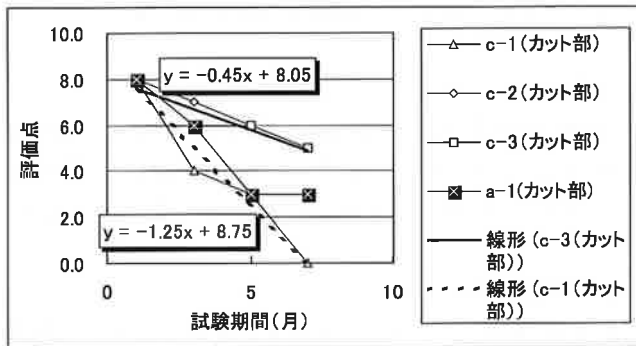
3種ケレン面では、東京さび板と北陸さび板では試験結果に差が見られた。北陸さび板は東京さび板に比べカット部のさび、ふくれが速く進行した。この差は一般部でさらに顕著に見られ、c-3塗装系で比べると東京さび板では20ヶ月までふくれは発生しなかったが、北陸さび板では3ヶ月でふくれを生じた（図5参照）。試験片の塗装時、素地に残存した塩分量は東京さび板では10mg/m²以下、北陸さび板では200mg/m²以上であったことから、残存塩分量の影響が極めて大きいものと予想される。

塗装系の差を見るとA1塗装系が最も劣っており、ふくれやさびが早く発生し進行も速い。

c系塗装系の中ではc-1塗装系が劣る結果であっ



(東京さび板)



(北陸さび板)

図7 塗替仕様のカット部の劣化勾配

た。これらの塗装系に比べ、有機ジンクリッチペイントを塗装した塗替え塗装系（i-1、c-2、c-3）はふくれやさびの進行が遅く、さび面においても有機ジンクリッチペイントの防錆効果が見られた（図7）。

一方、上塗塗料のポリウレタン樹脂塗料（C2、c-2塗装系）とふっ素樹脂塗料（C4、C-3塗装系）を

比較した結果、新設塗装系及び塗替え塗装系のいずれにおいてもほぼ同等の性能を示し、耐久性に関しては上塗塗料の差がないことが確認された。

6. おわりに

今鋼橋の新設および塗替え塗装系の耐久性に関する長期の耐複合サイクル防食性試験結果をまとめ報告した。本試験に供試した塗装系はNEXCO各社が管理する鋼橋に塗装された実績のある塗装系である。NEXCO総研では昭和63年より鋼・コンクリート構造物の被覆材料の耐久性評価を長期暴露試験を中心として行っており、(財)日本塗料検査協会はその試験に協力してきた。NEXCO総研では、これらの試験から得られた成果を、各種の要領・基準および技術資料に反映させている。

本稿で報告した試験は、ほぼ全塗装系を網羅する形でそれらの耐久性の比較検証を実橋環境に近い屋外ばくろ試験と耐複合サイクル防食試験を併行して行っており、今回の報告は複合サイクル試験結果についてまとめたものである。上述したように長期の試験を実施した結果、塗膜の劣化に関する多くの知見ばかりでなく、海塩粒子や凍結防止剤の影響を受ける厳しい腐食環境における塗膜の限界状態を確認することができた。一方、屋外ばくろ試験は現在4年を経過したばかりではあるが、将来的には耐複合サイクル防食試験との詳細な比較検証が可能となる。今後これらのデータの蓄積を行い期待耐用年数等の技術資料を得ていく予定である。

以上