
耐候性鋼の塗装性について

Durability of Paint on Atmospheric Corrosion Resistant Low Alloy Steels

中山 雅道(Yoshimichi Nakayama)

要旨：

耐候性構造用鋼材の塗装性について調べるため塗装鋼板の暴露試験および実橋での塗装性試験を行ない3年後（実橋試験では1.5年後）の暴露試験結果から次のような知見を得た。(1)塗装系は従来のものが適用でき、耐候性鋼の使用によって塗替周期の延長が可能であるが、塗膜寿命に対する寄与は鋼種の差より素地調整法による差の方が大きい。(2)耐候性鋼は普通鋼に比べてフクレサビの発生度では差がないがスクラッチからのクリープ幅ではかりすぐれている。またサビについてはわずかながら普通鋼より良いようである。(3)防錆効果に対するショップコート方式とフィールドコート方式の差は鋼種による差よりも大きく、ショップコート方式の方が良い。(4)実橋での塗装性試験は試験期間が短いため、鋼種および塗装仕様による差異は認められていない。

Synopsis：

From the tests conducted on the painted atmospheric corrosion resistant low alloy steels, it was confirmed that, when they were painted by the same painting system as was commonly applied to ordinary steels, the film of the paint showed a somewhat longer life than in the case of ordinary carbon steels. However, not so much difference as expected could be discerned in the durability of paint, at least from the test result of outdoor exposure up to four years. It is suggested, therefore, that even if the steel itself is heightened in its resistivity against atmospheric corrosion, it does not necessarily lead to simplification in the painting system for the atmospheric corrosion resistant steels. On the other hand, the tests of 1-year outdoor exposure of bare steels showed that both the atmospheric corrosion resistant low alloy steel and the high tensile low alloy steel were found less corroded, and this tendency agreed with that of the corrosion which occurred to the damaged parts of the painted specimen. This fact implies that atmospheric corrosion resistant low alloy steels are suited for use in the steel structures that must stand severe environment and, moreover, cannot be frequently repainted except only at long intervals. It was also noted from other factors that (1) shop-coat system gave excellent results on anticorrosiveness and (2) the reverse side of specimen rusted somewhat more easily than the surface.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

耐 候 性 鋼 の 塗 装 性 に つ い て

Durability of Paint on Atmospheric Corrosion Resistant Low Alloy Steels

中 山 雅 道*

Yoshimichi Nakayama

Synopsis :

From the tests conducted on the painted atmospheric corrosion resistant low alloy steels, it was confirmed that, when they were painted by the same painting system as was commonly applied to ordinary steels, the film of the paint showed a somewhat longer life than in the case of ordinary carbon steels.

However, not so much difference as expected could be discerned in the durability of paint, at least from the test result of outdoor exposure up to four years. It is suggested, therefore, that even if the steel itself is heightened in its resistivity against atmospheric corrosion, it does not necessarily lead to simplification in the painting system for the atmospheric corrosion resistant steels.

On the other hand, the tests of 1-year outdoor exposure of bare steels showed that both the atmospheric corrosion resistant low alloy steel and the high tensile low alloy steel were found less corroded, and this tendency agreed with that of the corrosion which occurred to the damaged parts of the painted specimen.

This fact implies that atmospheric corrosion resistant low alloy steels are suited for use in the steel structures that must stand severe environment and, moreover, cannot be frequently repainted except only at long intervals.

It was also noted from other factors that (1) shop-coat system gave excellent results on anticorrosiveness and (2) the reverse side of specimen rusted somewhat more easily than the surface.

1. ま え が き

わが国でいわゆる耐候性鋼が実用されはじめたのは1960年頃からで、主として車両外板や産業機械など薄板としての用途であった。

Cu, P, Cr, Ni などの元素を少量含む低合金高張力鋼が、普通鋼よりも屋外暴露によってさびにくく、これに塗装した場合の塗膜寿命が普通鋼に塗

ったものより長い、という報告は以前から知られている。

1953年、Boylan¹⁾は、自動車ボディの腐食を減らすことを目標に、鋼種、表面処理、塗装系、暴露環境、などの因子をとりあげて実験し次のような結果を得ている。

(1)大気中の腐食に対して高張力低合金鋼が含 Cu 鋼や普通鋼よりすぐれており、耐食性のある鋼は裸でも良い成績であるが、塗装したときの方

がよりすぐれている。

- (2)スクラッチは塗膜の剥がれやさびを促進し、素材の耐食性が小さいときほどこの傾向が強い。
- (3)腐食環境の厳しいほど、鋼種および塗装系による差が大きく、Kure Beach では約2か月で暴露性能の差が認められた。

Copson²⁾は、1959年に屋外での塗装試験片暴露と車両および橋梁に適用した結果を観察して、以下のように報じている。

- (1)高張力低合金鋼は含銅鋼や炭素鋼より腐食減量が少なく、塗膜の耐久性が大きい。
- (2)Ni-Cu系高張力低合金鋼では塗膜の2%がさびるまでの期間は8年で含銅鋼や普通鋼に比べて約2倍であり、8年間暴露後の発錆度は $\frac{1}{10}$ であった。
- (3)低合金鋼の耐候性がすぐれているのは、さび始めの段階にできる腐食生成物の組成および生成した緻密なさびが素地に密着していることによるものである。

同じころベルギーの防錆協会³⁾が、一連の研究テーマの一つとして、金属素材の組成が塗膜にどんな影響を与えるか、すなわち裸暴露でさびにくい鋼は塗装してもその効果を発揮するのかという率直な命題に対して実験を行ない、次のようなことを明らかにしている。

- (1)塗膜寿命は、軟鋼の場合より含Cu鋼(0.2~0.4%Cu)で10%、Cr-Al鋼(Cr:2.5% Al:0.4%)で25%伸びる。
- (2)これら低合金鋼は塗膜が劣化したとき表面にできるさびが2次的に防錆層として働き、特に厳しい環境で有効である。

一般に塗装というものは、被塗物、用途、使用環境などによって塗膜の寿命や機能が大きく異なる。

わが国の耐候性鋼(先に引用した文献の高張力低合金鋼に類似)も1963年頃から陸上鋼構造物建設工事の増加とその巨大化に伴って、橋梁、建築鉄

骨、プラントなど、厚板の構造材として採用されるようになった。同時に40kg/mm²級から60kg/mm²級の高張力鋼まで多くの品種が供給され、その使用が一般化した。

このように構造用鋼の耐食性向上と高張力化がすすんでいるにもかかわらず、当然塗装して使用されるこれら新規な耐候性構造用鋼の塗装性についてあまり適切な知見が得られていないため、防錆を重視する用途においても、耐候性鋼を採用するための負担を塗装系の簡易化によって補おうとするような安易な考えが一部でもたれ、かえって塗膜寿命(塗替周期)が短くなるといった好ましくない事例をも生じている。

筆者らは、最近の大型鋼構造物に採用されている塗装系の効果を確認するため、鋼種、素地調整、塗装前の暴露期間、塗装系、暴露環境および鋼材の表裏を要因として組合わせて1965年10月より

表1 実験の因子と水準

因 子	水 準
A: 鋼材の種類	A ₁ : 40kg/mm ² 耐候性高張力鋼(RIVER TEN 41B)
	A ₂ : 50kg/mm ² 耐候性高張力鋼(RIVER TEN 50M)
	A ₃ : 50kg/mm ² 耐候性高張力鋼(RIVER TEN 50B)
	A ₄ : 60kg/mm ² 耐候性高張力鋼(RIVER TEN 58)
	A ₅ : SS41
	A ₆ : SM50B
	A ₇ : 60kg/mm ² 高張力鋼(RIVER ACE 60)
	A ₈ : 80kg/mm ² 高張力鋼(RIVER ACE K 80)
	A ₉ : HTP-60W
	A ₁₀ : HTP-60W
B: 素地調整法	B ₁ : 黒皮のまま(塗装時手ケレン)
	B ₂ : ショットブラスによる除錆
	B ₃ : リン酸系処理による除錆
	B ₄ : 硫酸系処理による除錆
C: 塗装までの暴露期間	C ₁ : 素地調整直後に塗装
	C ₂ : 3ヶ月暴露(現地タタリ落し後塗装)
	C ₃ : 12ヶ月暴露
D: 塗装系(上塗のみ)	D ₁ : 同鉄新設橋梁標準塗装仕様
	D ₂ : シンクノブライム 使用の新設橋梁標準塗装仕様
	D ₃ : JIS K 5621-1種(一般さび止) 2回塗り
	D ₄ : JIS K 5622-1種(船舶さび止) 2回塗り
	D ₅ : JIS K 5623-1種(亜酸化鉛さび止) 2回塗り
	D ₆ : JIS K 5624-1種(塩基性クロム酸鉛さび止) 2回塗り
E: 試験環境	D ₇ : JIS K 5625-1種(シリケートさび止) 2回塗り
	E ₁ : 田園地区(関西・イセ) 土木中央研究所
	E ₂ : 海洋性地区(清水、坂戸湾岸)
	E ₃ : 臨海工業地区(川崎製鉄千葉製鉄所)
	E ₄ : 準工業地区(関西・イセ) 東京工場
	E ₅ : 降雪・海岸地(川崎製鉄久慈工場)
F: 試験片の表裏	F ₁ : 表 F ₂ : 裏

表 2 実験のわりつけ

鋼種	環境	暴露期間	E ₁			E ₂			E ₃			E ₄			E ₅		
			C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃
A ₁	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₂	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₃	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₄	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₅	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₆	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₇	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₈	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A ₉	B ₁	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

〔注 1〕○印はわりつけ有、×印はわりつけ無

〔注 2〕C₁に対しては塗装系D₁~D₃を実施、ただしB₁×C₁×D₁およびB₁×C₁×D₂は実施せず

C₂, C₃に対しては塗装系D₃~D₅を実施

〔注 3〕くり返し数 1 回

10年間の暴露試験を実施しているが、本報では3年後の結果を中間的にとりまとめて報告する。

また、大型鋼構造物に使用されはじめた新しい塗装系を加えて耐候性鋼を用いた実橋による塗装性試験を1967年8月から実施しているのも、その概要と18ヶ月経過後の状況をあわせて報告する。

2. 塗装鋼板の暴露試験

2.1 試験方法

2.1.1 因子と水準

表 1 に示した因子と水準をとりあげ、因子の重要度に応じて表 2 のようにわりつけ実験した。

この実験では、水準の数が多いことと現実的に無意味な水準の組合せを避けるため、6元配置の総当りおよび直交配列によるわりつけはとらなかった。

2.1.2 試験片の作成方法

実験に使用した鋼材の化学成分を表 3 に示す。試験片の大きさは、300×200×6 mm とし、スクラッチからのクリープ幅を調べるため長辺に沿って端から30mmのところ長さに200mmのスクラッチを表裏合計4本つけた。

素地調整（塗装前処理）でB₁（黒皮のまま）はトルオールで脱脂した。B₂（ショットブラスト）は試験片を切り出してから行ない、ただちに塗装する組合せについてはB₁と同様にトルオールで事前に脱脂した。B₃（リン酸系処理）およびB₄（混酸系処理）は日本パーカライジング（株）のパーユクリーナー No. 251 および混酸処方（塩酸＋硫酸）を使用した。塗装までの暴露期間が3ヶ月および12ヶ月のものは現地でさび落し後ただちに塗装した。さび落しはワイヤーブラシによる同一の程度（3種ケレン中程度）とし、固着したさびは残して粗いさびのみ除去した。

塗装はいずれもハケ塗りとし、規定した塗付量を秤量しながら塗りつけた。塗装仕様は表 4 に示すもので、試験片の塗装は一時にまとめて行なった。

表3 鋼材の化学成分(%)

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Nb	Al	V	Mo	B
RIVER TEN 41B	.10	.18	.35	.024	.010	.27	.19	.31	.010	.004	-	-	-
RIVER TEN 50M	.07	.25	.37	.086	.029	.42	.33	.32	.025	.007	-	-	-
RIVER TEN 50B	.13	.47	.47	.017	.009	.32	.32	.48	.033	.015	-	-	-
RIVER TEN 58	.13	.50	.56	.022	.010	.33	.33	.49	.034	.030	.026	-	-
SS 41	.16	.04	.69	.019	.026	.07	.01	.01	-	-	-	-	-
SM50B	.15	.49	1.20	.015	.019	.08	.02	.02	-	-	-	-	-
RIVER ACE 60	.11	.37	1.01	.015	.011	.03	.20	.03	-	.009	.041	.029	.0017
RIVER ACE K O	.11	.23	.77	.012	.012	.28	.80	.50	-	.022	.043	.49	-
HTP-60W	.18	.70	1.47	.020	.015	.06	.30	.23	.039	.058	.025	-	-

表4 塗装系の詳細

水 準	下 塗 塗 料 名	塗 付 量 (g/m ²)	乾燥時間 (hr)
D ₁ : 国鉄施設局「鋼橋塗装設計施工指針」による新設橋梁の仕様	長期暴露型ウォッシュプライマー	90	3以上
	鉛丹さび止ペイント1種	200	48以上
	鉛丹さび止ペイント2種	180	24以上
D ₂ : エポキシシンクリップライマーをショウブコートとする仕様	エポキシシンクリップライマー (1回目)	130	3以上
	" (2回目)	180	16以上
	フタル酸樹脂系鉛丹プライマー	160	16以上
D ₃ : JIS-K 5621-1種のさび止ペイントを使用	般さび止ペイント (1回目)	130	16以上
	" (2回目)	120	24以上
D ₄ : JIS-K 5622-1種のさび止ペイントを使用	鉛丹さび止ペイント1種 (1回目)	200	48以上
	" (2回目)	180	48以上
D ₅ : JIS-K 5623-1種のさび止ペイントを使用	亜酸化鉛さび止ペイント (1回目)	140	24以上
	" (2回目)	130	24以上
D ₆ : JIS-K 5624のさび止ペイントを使用	塩基性クロム酸鉛さび止ペイント (1回目)	140	24以上
	" (2回目)	130	24以上
D ₇ : JIS-K 5625-1種のさび止ペイントを使用	シアナミドさび止ペイント (1回目)	140	24以上
	" (2回目)	130	24以上

(注1) 各塗装系の中塗、上塗は共通

中塗: 超長油性フタル酸樹脂塗料 (白), 塗付量(110g/m²), 乾燥時間16hr以上上塗: 長油性フタル酸樹脂塗料 (白), 塗付量(100g/m²), 乾燥時間16hr以上

(注2) 塗付量は試験片作成用として、実際塗装の場合より約1割少なくした。

2・1・3 暴露試験環境

E₁(田園地区)として関西イベント(株)平塚中央研究所を選んだ。ここは馬入川河口の湘南海岸から4km離れた平野部に位置している。

E₂(海洋性地区)には清水市折戸湾岸を選んだ。この地区は同じ清水市内でも三保~駒越海岸のような外洋性環境ではなく比較のおだやかであるが、暴露架台を護岸から3mの距離に設置したので汐風の影響は大きい。

E₃(臨海工業地区)として、川崎製鉄(株)千葉

製鉄所構内、岸壁より約1kmの地点に定めた。

E₄(準工業地区)には関西イベント(株)東京工場を選んだ。この地区は羽田海岸より4.3kmの内陸であるが、六郷川をへだてた川崎重化学工業地区の大気汚染に影響されており、季節によっては川崎地区なみの汚染が記録されている。

E₅(降雪・海浜地区)として川崎製鉄(株)久慈工場内、海浜から約100mの地点に定めた。

なお、暴露架台は南面35°とした。

2・1・4 試験項目と評価基準

暴露試験は1965年10月に各試験地で一斉に開始し、1年、2年、3年、5年および10年後のサビ、フクレサビ、付着性およびスクラッチからのクリーブ幅について調査することにした。

なお、暴露1年目にはB₁~B₄の素地調整

後無塗装のまま暴露したもの(C₂, C₃)があるから、これについてはさびの状態観察とさび生成量(ワイヤーブラシで落したさびの重量)の測定を行なった。

ここでいうサビは鋼板素材の表面で層状のさびが生長して塗膜が浮上っているもの、およびフクレサビが進行して塗膜破壊にいたったものと定義した。このサビは多くは橋梁のフランジ下面や接合部などに生成し、日照部ではまれに腐食環境の厳しい場所で5cmφ位まで大きくなる。

またフクレサビというのは1~3mmφ程度の

ふくれて、素材の発錆を塗膜の防錆力で抑制している段階のものを指し、ふくれの頭部が割れて塗膜破壊によりさびが露出したものと区別した。このフクレサビは鋼材素地に十分塗料がなじまなかった部分の不安定な鉄錯塩の変化と鉄イオンの溶出によって生じるといわれ、これが長い間（普通は5～7年）に点さびへ成長する。

サビあるいはフクレサビのように計算値として扱えない項目は肉眼観察によって大きさと密度から次の5段階で評価した。

5点：なし

4点：ASTM 8～6/F, FM程度

3点：ASTM 8～6/M程度

2点：ASTM 8～6/MD程度

1点：ASTM 4～2/D以下

スクラッチからのクリープ幅というのは暴露後、スクラッチからさびが侵入した幅のことをいう。付着性は2mm間隔のゴバン目を25個切り、この上にセロテープを十分に圧着させてから急激に引きはがしたとき残存する目数から次の5段階で評価した。

5点：24～25

4点：21～23

3点：13～20

2点：6～12

1点：5以下

2.2 試験結果

2.2.1 無塗装試験片暴露試験結果

図1は1年間暴露後の鋼種別さび生成量である。耐候性鋼と高張力鋼は普通鋼より明らかにさびの生成が少なく、特に鋼板の裏面ではその傾向が大きい。図2に素地調整法のちがいによるさび生成量を示した。B₁（黒皮のまま暴露したもの）は、黒皮が自然に剥がれる（全面）のに3ヶ月程度を要したが、予想に反して最も多くさびを生じた。表裏の差に比べると素地調整法による差は小さく、表裏をあわせて評価すると

黒皮≫混酸系処理>ブラスト・リン酸系処理の順で悪かった。

図3に暴露環境とさび生成量の関係を示した。E₃（臨海工業地区）が他の地区の約3倍を記録し

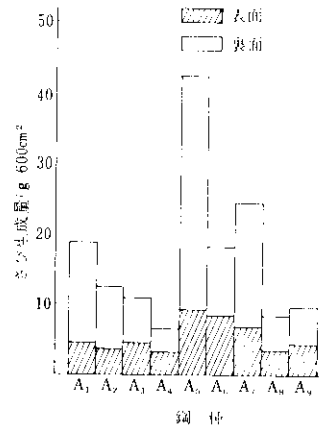


図1 鋼種別さび生成量（1年間暴露）

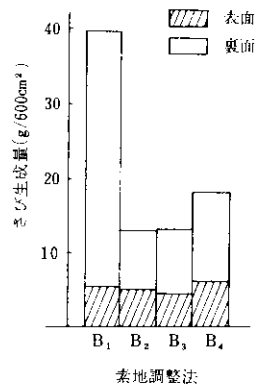


図2 素地調整とさび生成量の関係（1年間暴露）

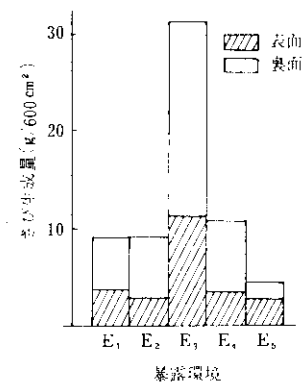


図3 暴露環境とさび生成量の関係（1年間暴露）

たが、その他の環境による差はそれほど大きくなかった。図4に鋼種別の暴露環境によるさび生成量をまとめた。E₃（臨海工業地区）およびE₄（準工業地区）では鋼種の差が大きく、特に裏面では60kg/mm²級耐候性高張力鋼がすぐれており、80

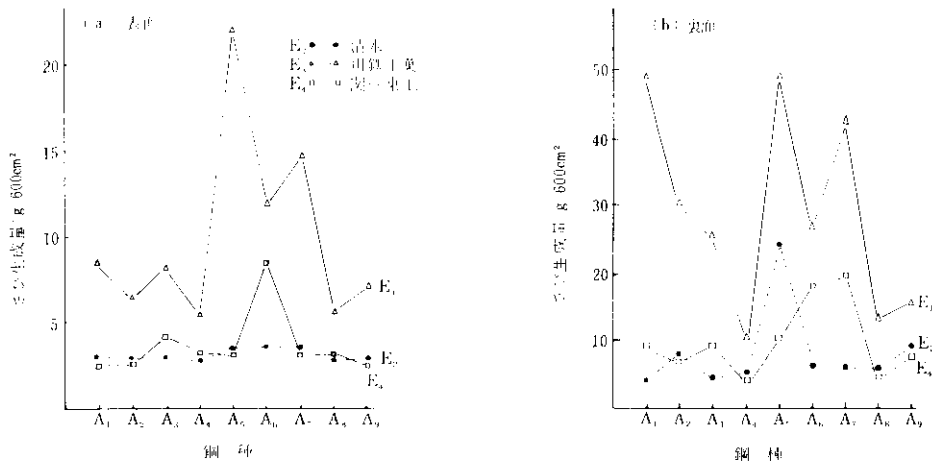


図 4 鋼材の種別と暴露環境によるさび生成量の差 (1 年間暴露)

kg/mm² 級高張力鋼がこれに準ずる耐候性をもつことがわかった。

2.2.2 塗装試験片の暴露試験結果

(1) サビについて

2 年間暴露した後の結果を図 5 にまとめた。2 年暴露後では鋼種による差はそれほど明瞭ではな

く、裏面では A₄ (60kg/mm² 級耐候性鋼 RIVER TEN 58) がわずかに他の鋼材より良く、A₅ (SS41) に多少サビの多い傾向が認められる。サビによる塗膜劣化の一例を写真 1 に示す。

試験片の表面では素地調整による差は出ていないが、裏面では多少出ている。B₃ (リン酸系処理) および B₄ (混酸系処理) のような化学的除錆

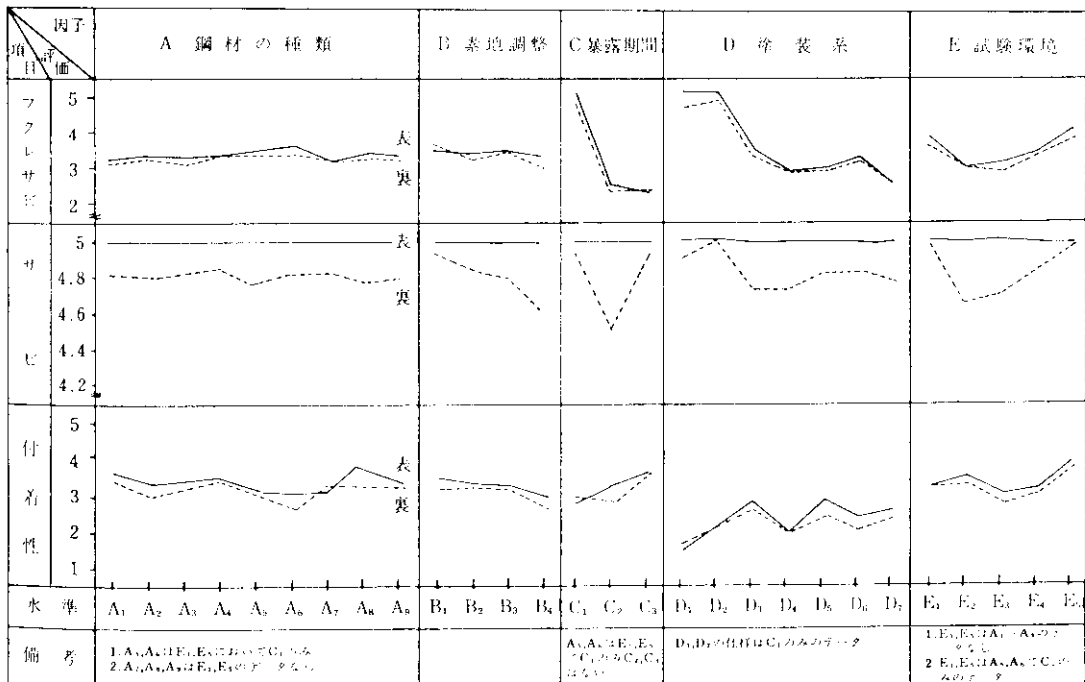
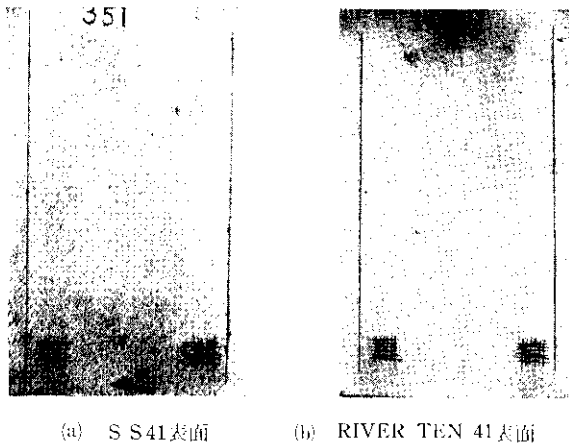
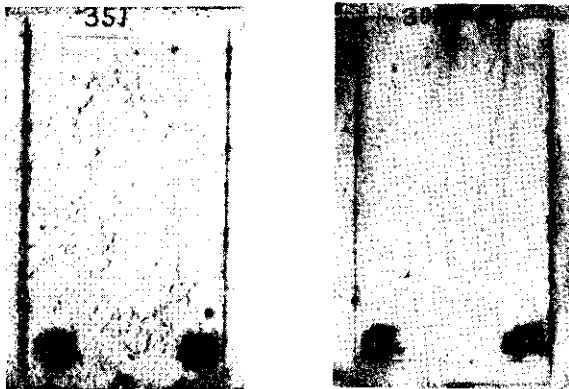


図 5 塗装鋼板の 2 年間暴露後の結果



(a) SS41表面

(b) RIVER TEN 41表面



(c) SS41裏面

(d) RIVER TEN 41裏面

写真 1 準工業地帯で塗装後2年間暴露したあとの塗膜劣化の一例（ショットブラスト後現地暴露1年、3種ケレンで防錆後塗装）

法は予想に反して黒皮のままやショットブラストによる除錆よりも結果がよくなかった。特に塗装系との交互作用を見ると、 B_1 （黒皮のまま）は、今のところ最も結果が良い D_1 （同鉄標準仕様）と D_2 （ジंकプライマーの仕様）の組合せを実施していないが $D_3 \sim D_7$ との組合せについてみると、いずれの塗装系でも B_1 （黒皮）に最もサビが少なく、 B_4 （混酸系処理）に塗膜下のサビ生成が多い。

C_1 （素地調整後ただちに塗装したもの）は2年の暴露でいずれも異状は認められない。

C_2 （3ヶ月間暴露後さび落して現地塗装し、1年9ヶ月暴露試験をしたもの）は、すでに塗膜

の剥離ははじめたものがいくつかある。

C_3 （塗装前後の暴露期間がそれぞれ1年間のもの）は、塗装後の暴露期間が C_2 よりまだ少ないためか、塗膜はほぼ健全であった。

塗装系で、 D_1, D_2 がよいのは、 $D_3 \sim D_7$ にはフィールドコート方式（現地でさび落してから始めるもの）の結果が含まれているが、 D_1, D_2 はいわゆるショップコート方式（ショッププライマーを塗ってから各種の製作加工を行なうもの）だけの試験片だからである。

完全な素地調整をすればどちらの方式を採っても十分な防錆が期待できるが、現実にはショップコート方式がブラスト（まれには酸洗）によって除錆しているのに対して、フィールドコート方式では経済的理由から人力によるのが普通であるため、後者の方式が劣っている。

ところでショップコート方式のみを比較すると、わずかの差であるがジंकプライマーをショップコートする仕様がよい。

またフィールドコート方式では、 D_5 （亜酸化鉛系油性さび止）と D_6 （塩基性クロム酸鉛系油性さび止）の仕様が他のJIS油性さび止塗料よりわずかによかった。

暴露試験環境では、 E_2 （海洋性地区）、 E_3 （臨海工業地区）に暴露した板にはサビが認められはじめた。

E_1 （田園地区）、 E_4 （降雪海浜地区）ではサビに至っているものはなかった。

試験片の表裏の差は他の要因に比べて最も明瞭であり、塗膜の劣化が生じているのはいずれも裏面のみであった。

3年経過した時点では、2年目よりややサビが進行して C_2 （塗装前暴露3ヶ月）と C_3 （塗装前暴露12ヶ月）の差がほとんどなくなった以外に目立った変化はなかった。

(2) フクレサビについて

2年後の結果を図5に示した。2年目では鋼種による差はほとんど認められない。しかし A_5 （SS41）と A_6 （SM50B）は、 E_1 および E_2 の両地

区では他の鋼種よりすぐれているのに、E₂、E₃の両地区では逆に他の鋼種よりフクレサビを多く生じているという興味ある傾向がみられる。また、フクレサビの発生は表裏で大きな差がなく、表がわずかに少ない傾向を示した。

素地調整では、B₄(混酸系処理)のみがわずかにフクレサビを多く生じている。

塗装前後の暴露期間では、塗装するまでの暴露期間C₂(3ヶ月)、C₃(12ヶ月)および塗装後の暴露期間C₂(2年9ヶ月)、C₃(2年)のちがいは差はみられず、フクレサビは表裏とも全面に発生している。これに対し塗装前に暴露しないC₁には発生していない。

塗装系では、D₂が最もすぐれており、D₃~D₇をプラスト直後に塗装したものはこれに準ずる成績で、3年間ほとんどフクレサビを生じていない。

現地で暴露後に塗装したものは、D₃(一般さび止)とD₆(塩基性クロム酸鉛さび止)がやや良い。D₁(国鉄標準仕様)はD₂と同様ショット方式だけであるからD₃~D₇に比べて平均値はよいが、厳しい環境では2年目から裏面に多少のフクレサビを生じはじめた。

暴露試験環境では、E₂(海洋性地区)とE₃(臨海

工業地区)のものにフクレサビが多く、E₂では裏面に多い。E₅(降雪・海浜地区)は最も少なく、E₁(田園地区)とE₄(準工業地区)はほぼ同程度であった。

(3) 付着性について

暴露2年後の付着性は図5のようであった。鋼種別ではA₁~A₃(耐候性鋼)とA₅(80kg/mm²級高張力鋼)に比べA₅(SS41)、A₆(SM50B)がやや悪い。塗装系では、D₃(一般さび止)とD₅(亜酸化鉛さび止)がやや他のものよりすぐれていた。D₁とD₄がやや他より劣って見えるのは、鉛丹系さび止であるため経時的に塗膜硬度が高くなって、試験の際に切り込みのふちがかけてしまったことによる。D₂(ジンクプライマーの仕様)も同様で、ジンクプライマーの上のフタル酸樹脂系鉛丹プライマーが硬いためである。

暴露環境により層別した順位は久慈が最も良く次のようであった。

千葉>平塚>東京>清水>久慈

3年後ではどの暴露試験環境の試験片でも部分的な割れと剥がれが観察され、千葉では裏面にチヂミを生じたものがあつた。

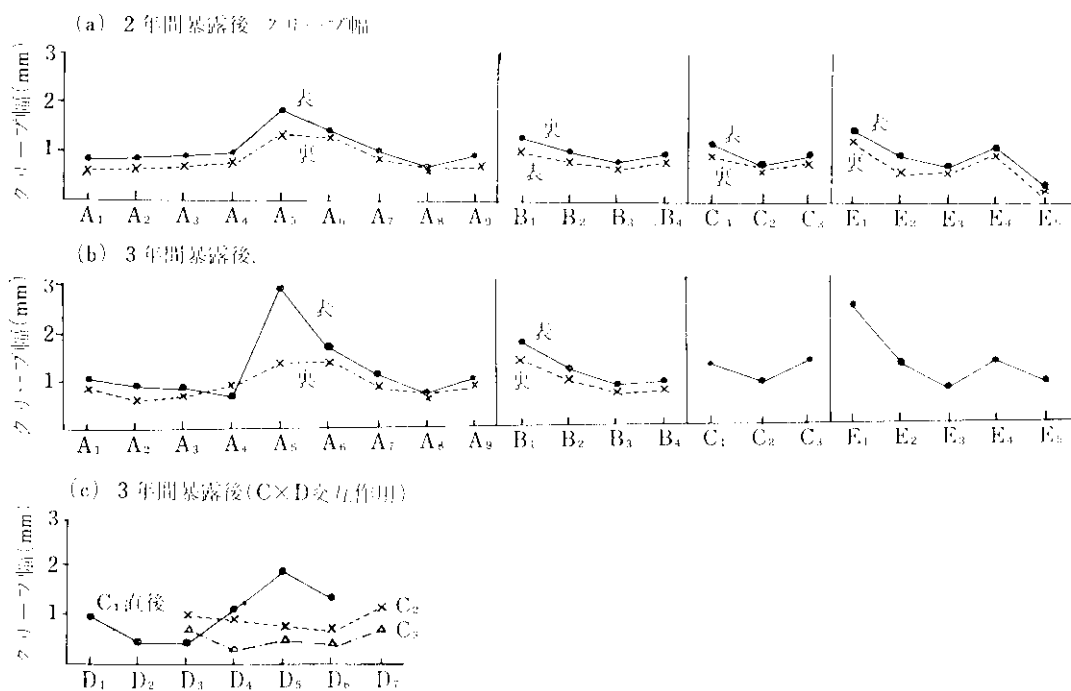


図6 塗装試験片のスクラッチからのクリープ幅

(4) スクラッチからのクリープ幅について

2年および3年経過した後の、スクラッチからのクリープ幅を図6に示した。

鋼材の種別では他の鋼種に比べてA₅(SS41)のクリープが著しく、2年目以後1年間のクリープ幅の増加量は10mmであった。これに次いで、A₆(SM50B)のクリープ幅が大きい。クリープの最も少ないのはA₄(60kg/mm²級耐候性鋼)とA₈(80kg/mm²級高張力鋼)であった。

鋼種によるスクラッチからのクリープ幅は黒皮に塗装したものでよく観察され、A₅(SS41: 3年後の最高クリープ幅は平塚の35mm)とA₄(耐

候性鋼RIVER TEN 58)の差は写真2に示しておりであった。

素地調整ではB₃(リン酸系処理)が最も良く、わずかの差でB₄(硫酸系処理)、B₂(ショットブラスト)が続ぎ、B₁(黒皮のまま)が最も悪い。B₁(黒皮のまま)が、図6に示すように他よりクリープ幅が大きいのはB₁×C₁(黒皮のままただちに塗装)のクリープ幅が大きいためである。B₁×C₃は塗装後暴露1年でB₂(ショットブラスト)なみのクリープ幅10mmを記録した。B₂×C₂もこれと大差なかった。つまり黒皮のままの鋼板は塗装前の暴露なしの場合はクリープ幅が大きい、ある程度塗装前に暴露すれば同じ経歴のブラスト鋼板と大差なくなる。

B₃(ショットブラスト)では、暴露によって発錆させたものの方がわずかにクリープ幅の少ない傾向を示したが、これは塗装後の暴露期間のちがいの影響によるものであろう。

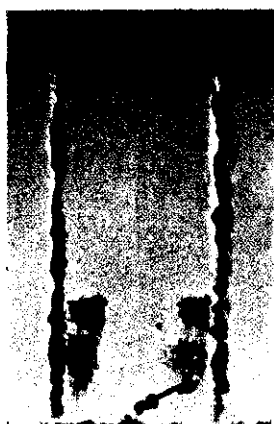
塗装前後の暴露期間でC₁の値が大きいのは、黒皮のままのものの寄与が大きいためである。2年目から3年目にかけてC₂とC₃のクリープ幅の差が次第に大きくなっているのは、塗装後の期間よりも現地で塗装するまでの暴露期間が長くなるほどよくないことを示している。

暴露試験環境では経時的に環境による差が大きくなっており、クリープ幅の暴露試験環境による大小の順位は3年目で次のようになった。

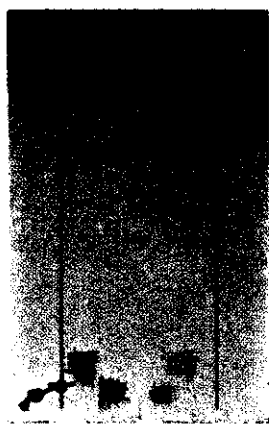
$$E_1 \gg E_2, E_4 > E_5 > E_3$$

E₁(平塚)の平均クリープ幅は、3年目でE₃(千葉)の3倍以上に達した。田岡地区の平塚のクリープ幅がより厳しいと思われる他の環境地区より大きいのは、一見奇異であり原因も不明であるが、これと同様な結果がCopson²⁾の実験でも得られている。

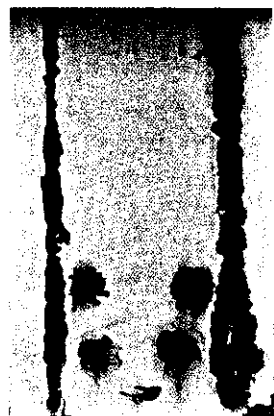
試験片の表裏では他の項目と異なりクリープ幅のみは、全般に表面の方が裏面より侵食が大きい。裏面の方が表面より長時間湿润状態におかれ、腐食性汚染物



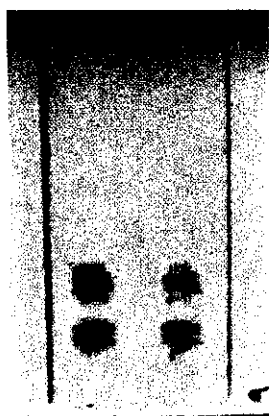
(a) SS41 海浜(清水)



(b) RIVER TEN 58 海浜(清水)



(c) SS41 田岡(平塚)



(d) RIVER TEN 58 田岡(平塚)

(黒皮が固着した鋼板を脱脂後ただちに塗装し4年間暴露)

写真2 SS41とRIVER TENのクリープ幅の比較

の吸着も多いことからすると、この結果は予期に反したものであり、目下のところ、光による塗膜の劣化説などがあるものの、決定的な説明は見出されていない。

塗装系別ではC₁（素地調整をしてすぐに塗装したもの）の場合とD₃（一般さび止）の塗装系がよく、D₃（亜酸化鉛さび止）は最もクリープ幅が大きくて前者の約4倍であった。また、C₂とC₃（さびさせてから現地塗装した場合）では、D₃（亜酸化鉛さび止）とD₆（塩基性クロム酸鉛さび止）がやや良く、D₇（シアナミド鉛さび止）は多少悪い。なお、図6(c)ではクリープ幅はC₂>C₃となっているのに対し図6(b)ではC₃>C₂と大小が逆になっているが、これは図6(c)がクリープのあったもののみの平均値を示しているのに対し、図6(b)は全試料についての平均値を示しているためであり、両図の意味するところはやや異なっている。

無塗装試験片の暴露試験で、鋼種の差をはじめ、とり上げた要因と水準の差が明瞭に出たのに比べて、塗装試験片ではそれほど明瞭な差を生じなかった。

したがってまえがきに紹介した研究者達の報告のように、塗膜寿命の伸び率や耐候性鋼の優位性を定量的に予見することはできなかった。これは本報が短期間の中間結果にもとづいたものであることに加えて、先に紹介した諸研究報告と塗装系や膜厚など実験条件が大きく異なることに起因すると思われる。たとえばCopson²⁾の実験はスクラッチによる評価方法という点では本報と一致するが、さびた鋼板にさび止1回と上塗1回を塗ったもので試験しているから本報の実験の膜厚の1/2以下であり、このように単純な塗装系は鋼構造物で早期発錆や剥離等の問題があるため現在では実用的ではない。

一方、伊丹ら²⁾は5年間の暴露によって、鋼種によりさび発生率に有意差は生じないことを報告しており、実験方法の違いによって、これら高張力低合金鋼の評価にかなりの違いを生ずることがうかがわれる。

橋梁をはじめとして、工場塗装をしてから現地で仕上げ塗装を施し、はじめて一つの塗装系として完成するまで長い期間を要する大型鋼構造物の塗装は、自動車、重車両、電気製品、といった工場塗装で仕上げを行なうものと本質的に異なる。したがって出来るだけ誤差要因を排除して行なう室内実験が、後者のようなライン塗装にはかなり適応しやすいのに対して、前者では現場的な要因をとり入れた実橋試験が非常に重要である。

今回、川崎製鉄㈱知多工場の「川鉄2号橋」において実橋試験を行なう機会を得たので、以下のような計画に従って長期の耐候性を調査することとした。

3.1 施工仕様

(1)架設場所：川崎製鉄㈱知多工場埋立地突端にあって、下は海水の流れる運河で海岸線に平行して架けられていることから、外洋性とまではいかないまでも海上橋としての試験環境を具備している。

(2)工場塗装：1967年8月1日～4日に実施した。

(3)現地での素地調整：溶接部分と歪取りの個所が多いため、あらかじめ塗布してあったウォッシュプライマーの発錆部分が約40%と多く、しかも電動工具を用いないでさび落したため、そのグレードは一般橋梁製作工程の場合よりやや劣っていた。したがってこの部分では鋼種ならびに塗装系の差が早く認められるものと予測される。

(4)補修塗装：ウォッシュプライマーの焼けて発錆した部分の補修にそれぞれの部分でショッププライマー方式との比較が可能である。

(5)現地塗装：1967年9月9日～12日に行ない、架設時の搬送きずの補修、および塗装膜厚の点などで不満足なところもあったが計画通りの塗装系で完了した。

(6)橋梁各部の鋼種および塗装系のわりつけ：鋼種については図7(b)のように、また塗装系については表5の塗装系を図7(a)に示すようにわりつけた。

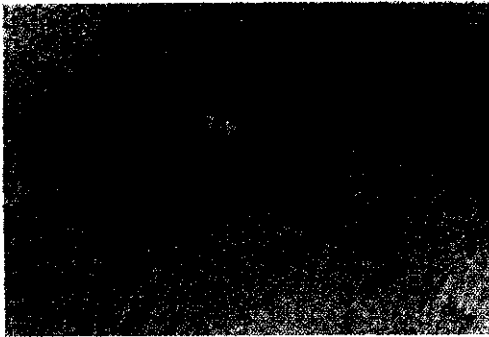
3. 実橋における耐候性鋼の塗装性試験

表5 実橋試験の塗装系

仕様 記号	工 程		塗料および工程内容	塗装面積 (m ²)	備 考
A	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	118	国鉄施設局・新設橋梁用標準塗装に準ずるもので官公庁の仕様となっている。 表1 D ₁ に相当。
	2	1次プライマー	長期暴露型ウォッシュプライマー		
	3	下 塗 1 層 目	JIS-K-5622 鉛丹さび止ベイント1種		
	4	" 2 "	JIS-K-5622 鉛丹さび止ベイント2種		
	5	中 塗	超長油性フタル酸樹脂系中塗々料		
	6	上 塗	長油性フタル酸樹脂系上塗々料		
B	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	156	特殊高性能油性さび止塗料を使用した大型鉄構用標準仕様、特にさびのある鋼材でA仕様よりすぐれている。 汚染環境に適性。 表1 D ₁ に相当。
	2	1次プライマー	長期暴露型ウォッシュプライマー		
	3	下 塗 1 層 目	特殊高性能油性さび止塗料		
	4	" 2 "	"		
	5	中 塗	超長油性フタル酸樹脂系中塗々料		
	6	上 塗	長油性フタル酸樹脂系上塗々料		
C	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	143	海上、海浜等苛酷な環境に推奨される。今後橋梁等の主流となると思われる。 ジンクリッチプライマーとの併用ですぐれた性能を示す。
	2	1次プライマー	長期暴露型ウォッシュプライマー		
	3	下 塗 1 層 目	塩化ゴム系さび止塗料		
	4	" 2 "	"		
	5	中 塗	塩化ゴム系中塗々料		
	6	上 塗	塩化ゴム系上塗々料		
D	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	38	エポキシ樹脂系塗料を用いた高級仕様。海中、海浜構造物用の重防食仕様であり、特に没水部の塗装に適する。
	2	1次プライマー	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー		
	3	下 塗 1 層 目	エポキシ樹脂系さび止塗料		
	4	" 2 "	"		
	5	中 塗	エポキシ樹脂系中塗々料		
	6	上 塗	エポキシ樹脂系上塗々料		
E	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	194	コールタールエポキシ樹脂系塗料を用いた厚塗型長期防食塗装、橋梁の内桁、脚内面に適している。
	2	1次プライマー	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー		
	3	下 塗	コールタールエポキシ樹脂系塗料		
	4	中 塗	"		
	5	上 塗	"		
F	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	92	
	2	表 面 処 理	さび安定化促進処理(ウェザーコート)		
G	1	素 地 調 整	ショットブラストによる除錆	392	
	2	—	無 塗 装		
H	1	素 地 調 整	3種ケレン(手作業さび落し)	36	新仕様
	2	下 塗 1 層 目	JIS-K-5622		
	3	" 2 "	鉛丹さび止ベイント1種		
	4	中 塗	シルバーベイント		
	5	上 塗	"		
I	1	素 地 調 整	3種ケレン(手作業さび落し)	36	新仕様
	2	下 塗 1 層 目	塩化ゴム系さび止塗料		
	3	" 2 "	"		
	4	中 塗	シルバーベイント		
	5	上 塗	"		



(a) 海側 腹板外面



(b) 上流側 腹板外面

写真3 実橋試験における耐候性鋼の裸使用部分のさび（ショットブラスト後1年半暴露）

さびが粗い。山側との比較を写真3に示した。

主桁内面およびフランジ下面は同じ RIVER TEN 50A でもさびが粗く、安定化はまだみられない。SS41も粗いさびを生じているが主桁内部での差はまだ明瞭ではない。

さび安定化促進処理部分と、無塗装部分とのさびの安定性についての差は、現時点では認められなかった。

点および線状の歪取り跡は、現時点で周辺とさびの色が異なり、かなり目立って見えるので美観を重んじる外面に使用の場合は塗装の必要が認められる。

(2) 塗装試験部分

塗装仕様AおよびBはいずれも油性さび止塗料であるが、これらを使用した部分はまだ異状がみられない。

塗装仕様Cは、溶接部分とフランジ下面などシ

ョッププライマーの焼失した部分を塩化ゴム系さび止塗料の下塗で補修したが、この部分にサビが認められる。

この結果から、やはり発錆個所のさび止塗料としては塩化ゴム系より油性さび止めの方が適しているといえよう。

耐候性鋼と SS41 の差は、塗装部分ではまだ明瞭な差がでていない。強いていえば、RIVER TEN 50 を使用した主桁では、ウォッシュプライマーが非焼失部分でも全体に発錆していたにもかかわらず、仕上塗装後このような海浜で早期の発錆がないことにその効果を求めてよいかも知れない。

エポキシおよびタールエポキシのような特殊厚塗防食塗料を使用した部分はまだ異状がなく、従って鋼種による差がでていない。

鋼杭のタイトルゾーンに割れを生じたが、これは厚塗り塗装後に海水に漬ったための収縮に起因するもので、施工法上改善の余地が認められた。

4. あとがき

最近、大型鋼構造物で汎用化されはじめた耐候性構造用鋼材の塗装性について実験し、3年後の暴露試験結果から次のような知見を得た。

- 1) 現在大型鋼構造物に採用されている塗装系をそのまま耐候性鋼に奨めることが出来る。
- 2) 裸暴露によって生じるさび生成量は普通鋼よりも耐候性鋼の方が明らかに少ない。しかし耐候性鋼の使用によって同じ塗装を施した場合の塗膜寿命がいくつかの文献で述べられているほど伸びると即断するには問題があり、これは試験方法や評価基準によって異なるようである。
- 3) 現在大型鋼構造物に採用されている塗装を適用した場合、耐候性鋼材は普通鋼と比べてフクレサビの発生度では差がないが、スクラッチからクリープ幅ではかなりすぐれている。またサビについては、わずかながら普通鋼より良いようである。
- 4) 鋼材の表裏ではさびの形態が異なり、フクレサビやクリープ幅は表面の方がわずかに大きい。サビは裏面にのみ集中して生じている。

5) これらの傾向は、塗装までの暴露期間が長い場合や環境が厳しいほど明らかであり、このように使用条件が悪い場合でも平均して良好な結果を期待するにはショッブコート方式を採用することが望ましい。

6) 防錆効果に対するショッブコート方式とフィールドコート方式の差は鋼種の差を上回るものであった。鋼種の差が長期的にみて今後どのように塗膜の寿命に変化を与えるかはさらに検討を続ける必要がある。これを実地に確認するために新しい仕様も加えて1967年より実橋塗装試験を実施している。

最近の実例としては、海上長大橋として知られる神戸大橋では素材に耐候性鋼を採用して耐食性を上げ、これに加えて世界の海上長大橋で実績の

多いフェロドールシステム^{10, 11)}に塩化ゴム系塗料を組合せるといった新しい試みが実施されている。

また、目下計画中の大阪港「南港連絡橋」には80kg/mm²級高張力鋼の使用が予定されているなど、耐候性鋼および高張力鋼の使用の本格化が目立ち、塗装との関連がますます重要となってゆくように思われる。

このような現状に本報告がいささかでも防錆上の参考となれば幸いである。

終りに、本試験の実施にあたって多くのご援助とご協力をいただいた、川崎製鉄㈱ならびに日本パーカーライジング㈱の関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) F. L. LaQue and J. A. Boylan: Corrosion, **9** (1953) 7, 273
- 2) H. R. Copson and C. P. Larrabee: Amer. Soc. Test. Mat. Bulletin, (1959) 12, 68
- 3) Dr. D. Bermane: Off. Digest, (1955) December, 1027
- 4) 首都高速道路公団・塗装系選定委員会報告・実橋の汚染状態調査（未発表資料：昭和45年発行予定）
- 5) 伊丹慶輔, 牧島博, 高瀬勝次, 爪谷詔夫: 防食技術, **18** (1969) 2, 13
- 6) 中山雅道: 防錆管理, **6** (1969) 196
- 7) 中山雅道: 防錆管理, **8** (1969) 321