

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2338号

土 木 研 究 所 資 料

長期防錆型塗装系の塗り替えに 関する調査報告

昭和61年2月

建設省土木研究所
化学研究室

Copyright c 1986 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced
by any means, nor transmitted, nor translated into a machine
language without the written permission of the Director

General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、
本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行
ってはならない。

長期防錆型塗装系の塗り替えに 関する調査報告

化学研究室 片 脇 清 士
西 島 高 秀
守 屋 進
(前)化学研究室 森 芳 徳

長期防錆型塗装系における塗膜の部分的な劣化を塗り替えるための塗装システムを開発する目的で行った暴露試験及び室内試験の結果をとりまとめるとともに、これらの結果をふまえて行った実橋での試験塗装についてとりまとめたものである。

要旨 キーワード：長期防錆型塗装系、塗り替え、暴露試験、室内試験、試験塗装

目 次

ま え が き

1. 研究目的	1
2. 概 要	2
3. 試験方法	4
3.1 試験片の製作	4
3.2 暴露試験	4
3.3 促進試験	5
3.4 塗膜の評価方法	5
4. 第1次試験の試験内容及び試験結果	9
5. 第2次試験の " 	46
6. 第3次試験の " 	58
7. 第4次試験の " 	73
8. 第5次試験の " 	81
9. 第6次試験の " 	101
10. 第7次試験の " 	111
11. 総 括	116
あ と が き	117

まえがき

長期防錆型塗装系における塗膜の部分的な劣化を塗り替えるための塗装システムを開発する目的で、第1次より第6次までの暴露試験及び室内試験を実施した。これらの結果を踏まえ第7次として実橋での試験塗装を行った。

本報告は、第1次より第7次までの試験内容及び結果についてとりまとめたものである。

昭和61年2月

化学研究室 片 脇 清 士

西 島 高 秀

守 屋 進

(前)化学研究室 森 芳 徳

1. 研究目的

一般に、海上長大橋では従来の塗装系より耐久性のすぐれている長期防錆型の塗装系が採用されているが、早期に発錆する部位は、一般鋼橋と同じ鋼材端部や下フランジ下面及びボルトナット部である。このような発錆は小面積で点在しているのが常であるが、そのまま放置すれば塗膜寿命は著しく短くなり全面塗り替えが早まるのは必至である。

このような初期の発錆のうちに、部分塗り替えを行うことは、橋梁全体の塗膜寿命を延すこととなり経済的見地からも望ましいことである。しかしながら、このような部分塗り替えは新設時の塗膜と同程度の耐久性が要求されるため塗膜厚は新設時と同時かそれ以上厚いことが必要となり、塗装回数が多くなる。また、発錆部分の錆落しをどの程度まで行うかも塗膜の耐久性に大きく影響する。このように、耐久性のある部分塗り替えを行うには解決すべき多くの問題がある。

本研究は、さび面での防錆効果が期待できそのうえ塗り回数が少なくてすむ塗装材料及び塗装システムを開発・選定することを目的とする。

2. 概 要

現在、長期防錆型塗装系の塗り替えに関する塗装基準は本州四国連絡橋公団にしかないが、塗り回数が最大7回と多く、また、さび面での防錆効果も必ずしも明確となっていない塗装系もある。

このため、昭和56年度より、下記に示す第1次より第7次までの暴露試験、促進試験及び室内試験を実施し、さらに実橋への試験塗装を行った。

第1次試験

本州四国連絡橋公団塗装基準の新設時塗装系3種、補修塗装系5種と試作厚塗り塗装系11種の計19塗装系をさび面とプラスト面に塗装し2ヶ所で暴露試験を実施した。

第2次試験

下塗り第1層6種、下塗り第2層11種と上塗り2種の塗料をさび面とプラスト面に塗装し、塩水噴霧試験及び複合環境試験を行った。

第3次試験

さび面の素地調整が十分でないと早期にふくれが生じるため、さび層の安定化処理方法について種々検討を行った。

第4次試験

第3次試験のうち、ホウ酸とタンニン酸による化学的なさびの安定化処理方法について、さらにさび層にホウ酸やタンニン酸を浸透させるための工夫と、ふくれの発生原因を解明するための促進試験を行った。

第5次試験

さび生成条件の違いと、さび面の素地調整程度と膜厚による防錆効果の関係を調べるため、暴露試験、促進試験及び塗膜物性試験等を行った。

第6次試験

さび面の素地調整が十分でない場合には超厚膜系とガラスフレーク系が有望であるため、その確認と規格化のために暴露試験を行った。

第7次試験

これまでに得られた成果を実橋で実証する目的で阿字ヶ浦の漂砂観測用栈橋のトラスの1部で試験塗装を行った。

これら第1次から第7次までの試験項目の一覧表を表-1に示す。

表－1 試験項目の一覧表

	暴 露 試 験			促 進 試 験			室 内 試 験		試験塗装
	阿 字 ケ 浦	垂 水	駿 河 湾	複合環境試験	塩水噴霧試験	そ の 他	塗膜物性試験	塩分量の測定	阿 字 ケ 浦
第1次試験	○	○							
第2次試験				○	○				
第3次試験	○								
第4次試験					○	○			
第5次試験	○		○		○		○	○	
第6次試験	○								
第7次試験									○

3. 試験方法

3.1 試験片の製作

3.1.1 さび板

さび板の製作条件を表-2に示す。

3.1.2 素地調整

さび板の素地調整は、パワーブラシ処理を行ないSIS (Swedish Standards Institute)規格を基本とし、一部さび板はサンドブラスト処理を行ないSa 1, 2, 2.5程度とした。

3.1.3 塗装

(1) 塗装方法

試験片の塗装はハケ塗りを原則とした。

ただし、一部の塗料はエアレス又はヘラで行った。

(2) 塗付量

塗装時、下塗り、中塗り、上塗りの各塗料の塗付量を測った。

(3) 膜厚

下塗り完了時及び、上塗り完了後十分に塗膜が乾燥したとき、一点接触定圧型電磁式膜厚計 (ケット L X-300) で膜厚を測った。

3.2 暴露試験

3.2.1 阿字ヶ浦

茨城県那珂湊市阿字ヶ浦にある当研究所海岸研究室所管の漂砂観測用栈橋の海岸線よりおよそ180m海に入った所に設置してある海面よりおよそ3mの暴露架台に南面30度で暴露を行った。暴露場所の状況を写真-1に示す。

3.2.1 垂水

兵庫県神戸市垂水区の海岸線上にある本州四国連絡橋公団所有の気象観測塔の海面よりおよそ13mの所に設置してある暴露架台に南面45度で暴露を行った。暴露場所の状況を写真-2に示す。

3.2.3 駿河湾

静岡県志太郡大井川町沖合250mの駿河湾に設置してある当研究所の海洋技術総合研究施設の海面よりおよそ15mにある暴露架台に南面30度で暴露した。暴露場所の状況を写真-3に示す。

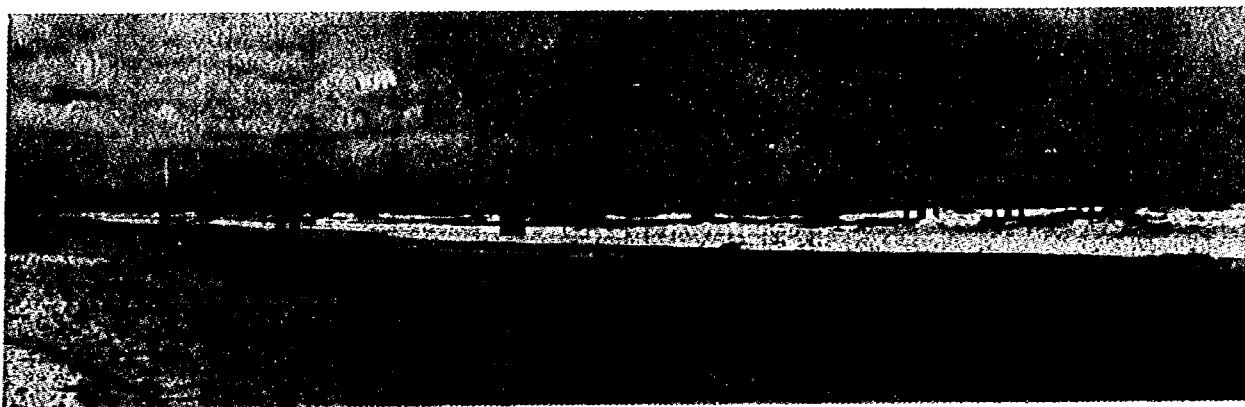


写真-1 阿字ヶ浦暴露場

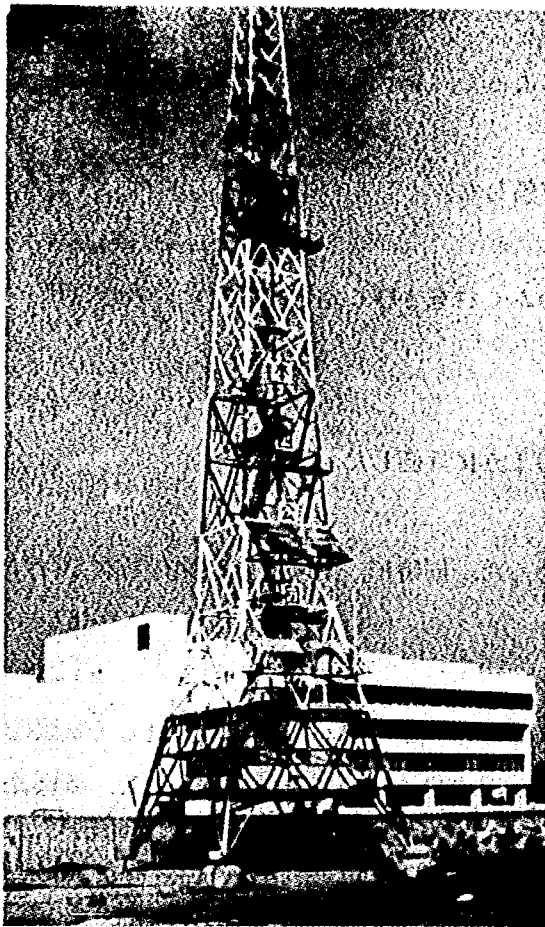


写真 - 2 垂水暴露場

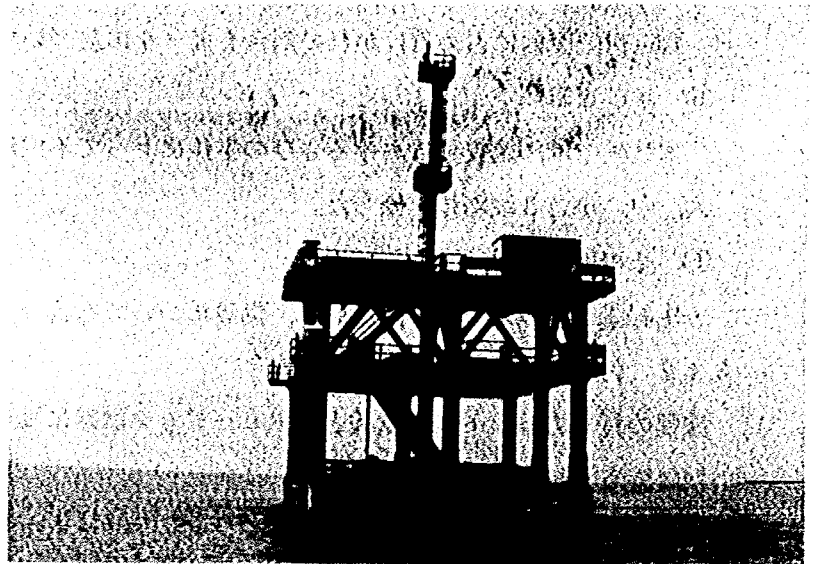


写真 - 3 駿河湾暴露場

3.3 促進試験

3.3.1 複合環境試験

島津製作所製複合環境腐食試験機で、塩水噴霧（35℃）2時間－乾燥（50℃，湿度40～50％）1時間－高温高湿（50℃，湿度90％）20時間を1サイクルとして促進試験を行った。

3.3.2 塩水噴霧試験

スガ試験機製塩水噴霧試験機で、JIS K - 5400 の7,6に基づいて促進試験を行った。

3.4 塗膜の評価方法

3.4.1 外観観察

塗膜の外観的な変化を「さび」「ふくれ」「われ」「はがれ」「さびこぶ」「その他」に分類し、それぞれに定めた評価基準に従って評価した。

① さび

点さび，ふくれさび，われさびなど，さびには種々の形態があるが，本試験においては，測定対象面に生じた種々の形態のさびを全て「さび」としてASTMD 610に準拠して表-3のように評価した。

② ふくれ

塗膜のふくれの評価はASTMD 714に準拠して表-4のように評価した。ただし，ふくれの発生が試験片の一部分に限られるときは，対象面積に占める割合も考慮した。

③ われ

チェック及びクラッキングを含み、そのわれの深さによって、表-5のように評価した。

④ はがれ

測定対象面積に占めるはがれの割合を表-6に基づいて評価した。

⑤ さびこぶ

本試験では、塗膜下におけるさびの生長によって不定形のふくれをさびこぶと定義した。大きさは、大、中、小と3段階に評価した。

⑥ その他

上記①~⑥以外の汚れ、白亜化、傷等についても表-7のように評価した。

3.4.2 付着力試験

塗膜の付着力は、トルク試験とアドヒージョン試験により行った。同時に、塗膜の剥離面の観察を行ない剥離箇所を記録した。

① トルク試験

測定対象塗膜表面をウェスで拭いて汚れを取り除き、400番のサンドペーパーで軽く研磨して塗膜表面を平らにする。研磨した面はエチルアルコールを浸したガーゼで良く拭いて表面を清浄にし、乾燥後この部分に瞬間接着剤（シアノアクリレート系）を使用してスペシメンを接着させる。接着剤硬化後トルクゲージにより塗膜に付着させたスペシメンをねじり、塗膜より剥離させる。この時要したトルク値（ $\text{kg} \cdot \text{m}$ ）からせん断応力（ kg / cm ）を求め、この値を塗膜の付着力とした。

② アドヒージョン試験

測定対象塗膜表面をウェスで拭いて汚れを取り除き、320番のサンドペーパーで軽く研磨して塗膜表面を平らにする。研磨した面はエチルアルコールを浸したガーゼで良く拭いて表面を清浄にし、乾燥後この部分に2液性の接着剤（エポキシ樹脂系）を使用してスペシメンを接着させる。接着剤硬化後アドヒロゲージにより塗膜に付着しているスペシメンを垂直に引張り、塗膜より剥離させる。この時に要した値（ kg / cm ）を求め、この値を塗膜の付着力とした。

3.4.3 塗膜物性試験

① 引張試験

フリーフィルムを $5 \times 20\text{mm}$ に切断し、 $10\text{mm} / \text{min}$ の速度で引張り、塗膜の破断強度及び伸び率を求めた。

② 透湿度試験

J I S Z 0 208 防湿包装材料の透湿度試験方法に準拠して行なった。

3.4.4 その他

① 塗膜の光沢測定

塗膜表面のよごれを水で洗い落とし、乾燥後光沢計（㈱村上色彩技術研究所製 G M - 24）で塗膜の光沢値を測定する。

② 塗膜のピンホール検査

ピンホールテスター（㈱サンコウ電子製 P H - 10 型）の3%食塩水をしみこませたフェルト電極（ $75 \times 50\text{mm}$ ）に250Vの電圧をかけ塗膜表面をゆっくり動かしピンホールの有無を調べる。

表 - 2 さび板の製作条件

	原 板	材 質	寸 法 (mm)	さび板製作場所	ばくろ期間
第 1 次 試 験	ブラスト板	SS 41	300×200×5 600×250×6	千葉県千倉町	
第 2 次 "	ブラスト板	SS 41	70×150×3.2	茨城県阿字ヶ浦	
第 3 次 "	ブラスト板	SS 41	200×300×6	千葉県千倉町	37日
第 4 次 "	黒 皮 付	SS 41	100×150×3	千葉県飯岡町	3ヶ月
第 5 次 "	ブラスト板 薄膜塗装板 ブラスト板	SS 41	200×300×6	千葉県飯岡町 " " " 千倉町	1ヶ月, 3ヶ月 3ヶ月 3ヶ月
第 6 次 "	ブラスト板	SS 41	200×300×6	千葉県飯岡町 茨城県阿字ヶ浦	3ヶ月 3ヶ月

表 - 3 さび評価基準

評価記号	ASTM評価記号	ASTM さび発生面積
5	10	0.01%以下
	9	0.03%
4	8	0.1%
	7	0.3%
3	6	1.0%
	5	3.0%
2	4	10%
1	3	16%
0	2	33%

表 - 4 ふくれ評価基準

評価記号	ふくれの大きさ	密度による評価
10	なし	F : Few
8	1mmφ以下	M : Medium
6	1～3mmφ	MD : Medium dense
4	3～5mmφ	D : Dense
2	5mmφ以上	

表 - 5 われ評価基準

評価記号	状 態
4	異 常 な し
3	浅 い わ れ
2	下塗が見えるわれ
1	素地に達するわれ

表 - 6 はがれ評価基準

評価記号	状 態
5	異 常 な し
4	2%以下のはがれ
3	10% "
2	20% "
1	30%以上のはがれ

表 - 7 白亜化等

評価記号	状 態
な し	異 常 な し
小	程度が小さいもの
中	" 中 "
大	" 大 "

4. 第1次試験の試験内容及び試験結果

4.1 目的

1回で厚膜に塗装できる超厚塗り塗料を試作し、この塗料を使用した塗装系及び本州四国連絡橋公団基準の塗装系のさび面での防錆効果を調べることを目的とする。

4.2 概要

さび板を電動工具でSt3に素地調整したさび面と、黒皮鋼板をサンドブラストでSa 2.5～3に素地調整したブラスト面に本州四国連絡橋公団の塗装基準に定められている新設時の塗装系3種類と補修塗装系5種類に、試作厚塗り塗装系11種類の計19種類の塗装系を塗装して阿字ヶ浦と垂水に暴露した。また、垂水ですでに12年間暴露試験を行った長期防錆型塗装系の試験片の一部をサンダーケレンして鉄素地を暴露させ、塗装を旧塗膜に一部重ねて塗ることによって新たな塗膜を旧塗膜との付着性についても検討を行った。

4.3 試験片の製作

4.3.1 さび板

サンドブラストした鋼板を波しぶきのかかる千葉県千倉でさびさせた。(写真I-1)

4.3.2 素地調整

(1) さび面

さび板をパワーブラシとワイヤーブラシでSt 3までさび落しを行ない、光沢値が5～10になるようにした。(写真I-2)

(2) ブラスト面

黒皮付きの鋼板をサンドブラストでSa 2.5～3に素地調整した。(写真I-3)

(3) 旧塗膜面

垂水で12年間暴露試験を行った試験片の塗膜をディスクサンダーではがして鉄素地を露出させ、塗装した。旧塗膜の塗装系を表I-1に示す。(写真I-4)

4.3.3 塗装仕様

試験片の塗装系を表I-2に、また塗料の組成を表I-3に示す。

阿字ヶ浦暴露試験片を表I-4に、垂水暴露試験片を表I-5に示す。

4.3.4 塗付量と膜厚

(1) 塗付量

各暴露試験片製作時の塗付量の測定結果を表I-6(1)～6(5)に示す。

(2) 膜厚

各暴露試験片の膜厚測定結果を表I-7(1)～7(5)に示す。

4.3.5 その他

暴露前の光沢値の測定結果を表I-8に示す。

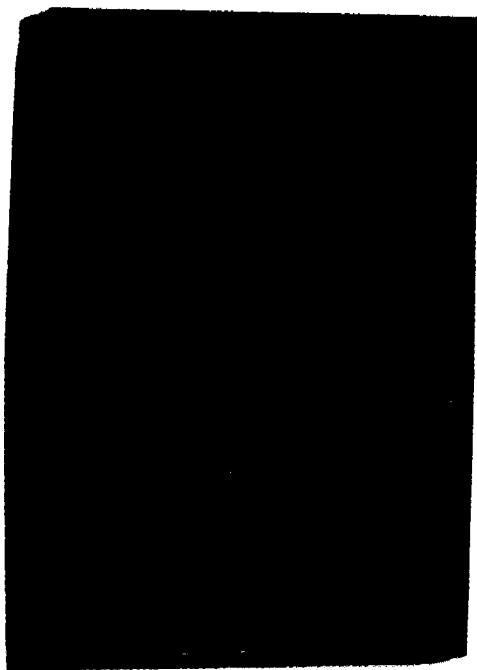


写真 1-1 さび板



写真 1-2 さび板の素地調整後 (st 3)

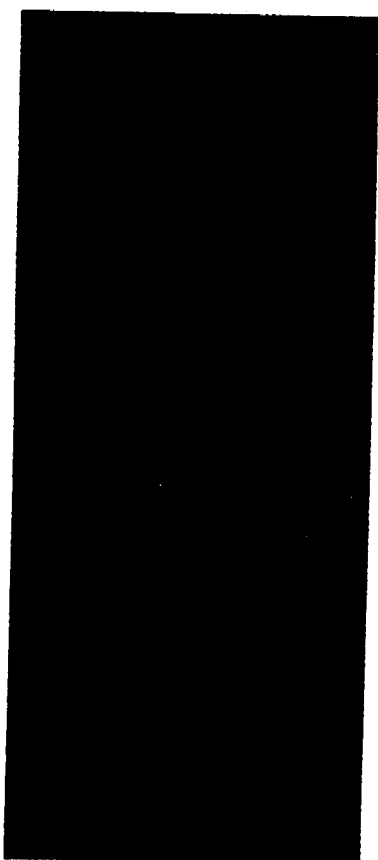


写真 1-3 黒波鋼板サンドブラスト後 (Sa 2.5)

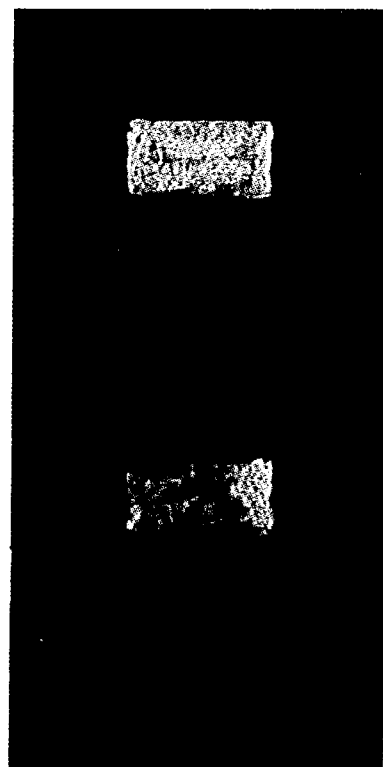


写真 1-4 旧塗膜面の素地調整後

表 1 - 1 旧塗膜試験片塗装仕様

旧試験片 No	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層
1	有機ジンクリッチ プライマー	亜酸化鉛さび止め 1 種×2	長油性フタル酸×2	
2	有機ジンクリッチ プライマー	亜酸化鉛さび止め 1 種×2	長油性フタル酸×2	
5	有機ジンクリッチ プライマー	短暴型ウオッシュ プライマー	亜酸化鉛さび止め 1 種×2	長油性フタル酸×2
6	無機ジンクリッチ プライマー	短暴型ウオッシュ プライマー	亜酸化鉛さび止め 1 種×2	長油性フタル酸×2
7	有機ジンクリッチ プライマー	亜酸化鉛さび止め 2 種×2	長油性フタル酸×2	
8	有機ジンクリッチ プライマー	亜酸化鉛さび止め 2 種×2	長油性フタル酸×2	
11	有機ジンクリッチ プライマー	短暴型ウオッシュ プライマー	亜酸化鉛さび止め 2 種×2	長油性フタル酸×2
12	無機ジンクリッチ プライマー	短暴型ウオッシュ プライマー	亜酸化鉛さび止め 2 種×2	長油性フタル酸×2

表 I - 2 塗 装 系

塗装系No	新 設 時 の 塗 装 系
1	IZP-HB×1+WP-S×1+PH-ZO×1+MIO×2+CR×2
2	IZP-HB×1+ミスコート+EP-HB×2+PU×2
3	WP-L×1+鉛系さび止めペイント1種×2+AP×2
塗装系No	補 修 塗 装 系
4	OZP-HB×2+補修用EP×3+CR×2
5	補修用EP×3+CR×2
6	OZP-HB×2+補修用EP×3+PU×2
7	補修用EP×3+PU×2
8	鉛系さび止めペイント1種×2+AP×2
塗装系No	試 作 厚 塗 り 塗 装 系
9	シーラーコート(30μm)×1+EP〔200~300μm〕×1+PU×2
10	シーラーコート(30μm)×1+EP〔200~300μm〕×1+CR×2
11	シーラーコート(30μm)×1+EP〔200~300μm〕×1+PU×2
12	シーラーコート(30μm)×1+EP〔200~300μm〕×1+CR×2
13	シーラーコート(30μm)×1+EP〔200~300μm〕×1+PU×2
14	シーラーコート(30μm)×1+EP〔200~300μm〕×1+CR×2
15	シーラーコート(30μm)×1+EP〔約1mm〕×1+PU×2
16	シーラーコート(30μm)×1+PU-HB〔200~300μm〕×1+PU×2
17	シーラーコート(30μm)×1+PU-HB〔200~300μm〕×1+OP×2
18	シーラーコート(30μm)×1+PE-HB〔200~300μm〕×1+PU×2
19	シーラーコート(30μm)×1+PE-HB〔200~300μm〕×1+OP×2
塗装系に記した塗料略記号は次の通りである。 WP-S ; 短期暴露型ウォッシュプライマー EP ; エポキシ樹脂塗料 WP-L ; 長期暴露型ウォッシュプライマー CR ; 塩化ゴム塗料 IZP-HB; 厚膜型無機質シンクリッチペイント PU ; ポリウレタン樹脂塗料 OZP-HB; 厚膜型有機質シンクリッチペイント PU-HB; 厚膜型ポリウレタン樹脂塗料 PH-ZO; フェノールジクロメートさび止めペイント AP ; 長油性フタル酸樹脂塗料 MIO ; フェノールM. I. O. 塗料 PE-HB; 厚膜型ポリエステル樹脂塗料 EP-HB; 厚膜型エポキシ樹脂塗料	

表 I - 3 (1) 塗料の組成

短暴型エッチングプライマー (WP-S) JIS K 5633 1種 (現行品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	ジ ン ク ク ロ メ ー ト	7. 2
	ポリビニルブチラル樹脂ワニス	6 0. 0
	添 加 剤	1. 3
	溶 剤	1 1. 5
添加剤	りん酸アルコール溶液	2 0. 0

厚膜型無機質ジンクリッチペイント (IZP-HB) HBS K 5603 (現行品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	アルキルシリケート樹脂ワニス	7. 0
	添 加 剤	1. 5
	溶 剤	1 6. 5
粉末	亜鉛末・その他の顔料	7 5. 0

厚膜型エポキシジンクリッチペイント (OZP-HB) HBS K 5605 (現行品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	亜 鉛 末	7 4. 0
	エポキシ樹脂ワニス	9. 5
	添 加 剤	1. 0
	溶 剤	1 0. 5
硬化剤	アミンアダクト樹脂ワニス	5. 0

表 I - 3 (2) 塗料の組成

フェノール樹脂系ジンクロメートさび止めペイント A HBS K 5604 (現行品)

成 分	配 合 比 (wt%)
ジンクロメート	7.0
酸 化 亜 鉛	4.5
酸 化 鉄	7.0
体 質 顔 料	28.5
油変性フェノール樹脂ワニス	36.0
乾 燥 剤 ・ 添 加 剤	4.0
溶 剤	13.0

塩化ゴム系塗料中塗 HBS K 5602 (現行品)

成 分	配 合 比 (wt%)
着 色 顔 料	20.0
体 質 顔 料	13.0
塩 化 ゴ ム 溶 液	45.0
変性アルキッド樹脂ワニス	14.0
添 加 剤	2.0
溶 剤	6.0

塩化ゴム系塗料上塗 HBS K 5602 (現行品)

成 分	配 合 比 (wt%)
着 色 顔 料	22.0
体 質 顔 料	1.0
塩 化 ゴ ム 溶 液	53.0
変性アルキッド樹脂ワニス	16.0
添 加 剤	2.0
溶 剤	6.0

表 I - 3 (3) 塗料の組成

エポキシ樹脂塗料用シーラー (試作品)

成 分		配 合 比 (wt %)
主 剤	着 色 顔 料	7.0
	体 質 顔 料	25.0
	防 錆 顔 料	6.0
	エポキシ樹脂ワニス	26.0
	添 加 剤	3.0
	溶 剤	18.0
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	11.0
	溶 剤	4.0

厚膜型エポキシ樹脂塗料 (試作品)

成 分		配 合 比 (wt %)
主 剤	着 色 顔 料	6.0
	体 質 顔 料	40.0
	防 錆 顔 料	6.0
	エポキシ樹脂ワニス	30.0
	添 加 剤	4.0
	溶 剤	4.0
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	10.0

補修用エポキシ樹脂塗料下塗 (現行品)

成 分		配 合 比 (wt %)
主 剤	着 色 顔 料	7.0
	体 質 顔 料	30.0
	防 錆 顔 料	5.0
	エポキシ樹脂ワニス	30.0
	添 加 剤	3.0
	溶 剤	10.0
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	13.0
	溶 剤	2.0

表 I - 3 (4) 塗料の組成

ポリエステル樹脂塗料用シーラー (試作品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	着 色 顔 料	1.0
	体 質 顔 料	19.0
	不飽和ポリエステル樹脂ワニス	79.0
	添 加 剤	1.0
硬化剤	有 機 過 酸 化 物	2.0

厚膜型ポリエステル樹脂塗料 (試作品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	着 色 顔 料	3.0
	ガ ラ ス フ レ ー ク	20.0
	不飽和ポリエステル樹脂ワニス	74.0
	添 加 剤	3.0
硬化剤	有 機 過 酸 化 物	1.0

厚膜型無機質ジンクリッチペイント (現行品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	アルキルシリケート溶液	20.8
	添 加 剤	1.2
粉 末	亜鉛末・その他顔料	78.0

表 1-3 (5) 塗料の組成

厚膜型エポキシ樹脂ジンクリッチペイント（現行品）

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	エポキシ樹脂ワニス	12.5
	添 加 剤	3.6
粉 末	亜 鉛 末	80.3
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	3.6

厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗（試作品）

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	防 錆 顔 料	16.7
	着 色 ・ 体 質 顔 料	23.8
	エポキシ樹脂ワニス	23.6
	添 加 剤	1.8
	溶 剤	19.8
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	14.3

補修用厚膜型エポキシ樹脂塗料（現行品）

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	変性エポキシ樹脂ワニス	35.4
	着 色 ・ 体 質 顔 料	46.2
	添 加 剤	3.6
	溶 剤	4.8
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	10.0

表 I - 3 (6) 塗料の組成

ポリウレタン樹脂塗料用中塗（現行品）

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	エポキシ樹脂ワニス	27.5
	着色・体質顔料	37.5
	添加剤	1.7
	溶剤	16.6
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	16.7

ポリウレタン樹脂塗料上塗（現行品）

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	変性ポリオール樹脂ワニス	47.4
	着色顔料	28.1
	添加剤	0.5
	溶剤	7.3
硬化剤	イソシアネート樹脂ワニス	16.7

エポキシ樹脂シーラー（試作品）

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	防錆顔料	10.0
	体質顔料	44.0
	特殊エポキシ樹脂ワニス	32.0
	添加剤	2.0
	溶剤	12.0
硬化剤	ポリアミド樹脂ワニス	100.0

（混合比）主剤／硬化剤＝85/15（wt%）

表 I - 3 (7) 塗料の組成

厚膜型エポキシ樹脂塗料 (試作品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	着 色 顔 料	3.0
	体 質 顔 料	60.0
	エポキシ樹脂ワニス	20.0
	特殊合成樹脂ワニス	15.0
	添 加 剤	2.0
硬化剤	変性脂肪族アミン	100.0

(混合比) 主剤 / 硬化剤 = 10/1 (wt%)

厚膜型ポリウレタン樹脂塗料 (試作品)

成 分		配 合 比 (wt%)
主 剤	体 質 顔 料	49.0
	変性エポキシ樹脂ワニス	21.0
	特 殊 タ ー ル	9.5
	添 加 剤	2.5
	溶 剤	18.0
硬化剤	イソシアネート溶液	100.0

(混合比) 主剤 / 硬化剤 = 89/11 (wt%)

表 I - 4 阿字ヶ浦暴露試験片

素地調整 程度 塗装系の種類	黒 皮 板 (Sa 2.5~3)	さ び 板 (St 3)
新 設 時 の 塗 装 系	(注) S - 1 S - 2 S - 3	
補 修 時 の 塗 装 系	S - 4 J S - 8	(注) R - 4 * R - 5, 7 R - 6 R - 8
試作厚塗り塗装系	S - 9 J S - 19	R - 9 J R - 19
試 験 片 枚 数	1 9	1 5

表 I - 5 垂水暴露試験片

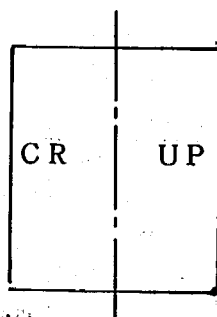
素地調整 程度 塗装系の種類	黒 皮 板 (Sa 2.5~3)	さ び 板 (St 3)	旧 塗 膜	
			塩 化 ゴ ム	ポリウレタン
新 設 時 の 塗 装 系	S - 1 S - 2			
補 修 時 の 塗 装 系	S - 4 S - 6	R - 4 R - 6	** CR - 6, 7	** U - 6, 7
試作厚塗り塗装系	S - 9, 10 S - 11, 12 S - 13, 14 S - 16, 17 S - 18, 19	R - 9, 10 R - 11, 12 R - 13, 14 R - 16, 17	CR - 9, 16 CR - 11, 18 CR - 13, 15	U - 9, 16 U - 11, 18 U - 13, 15
試 験 片 枚 数	9	6	4	4

(注-1) Sは黒皮板, Rはさび板試験片で, S及びR記号の後の数値は表I-2に示した

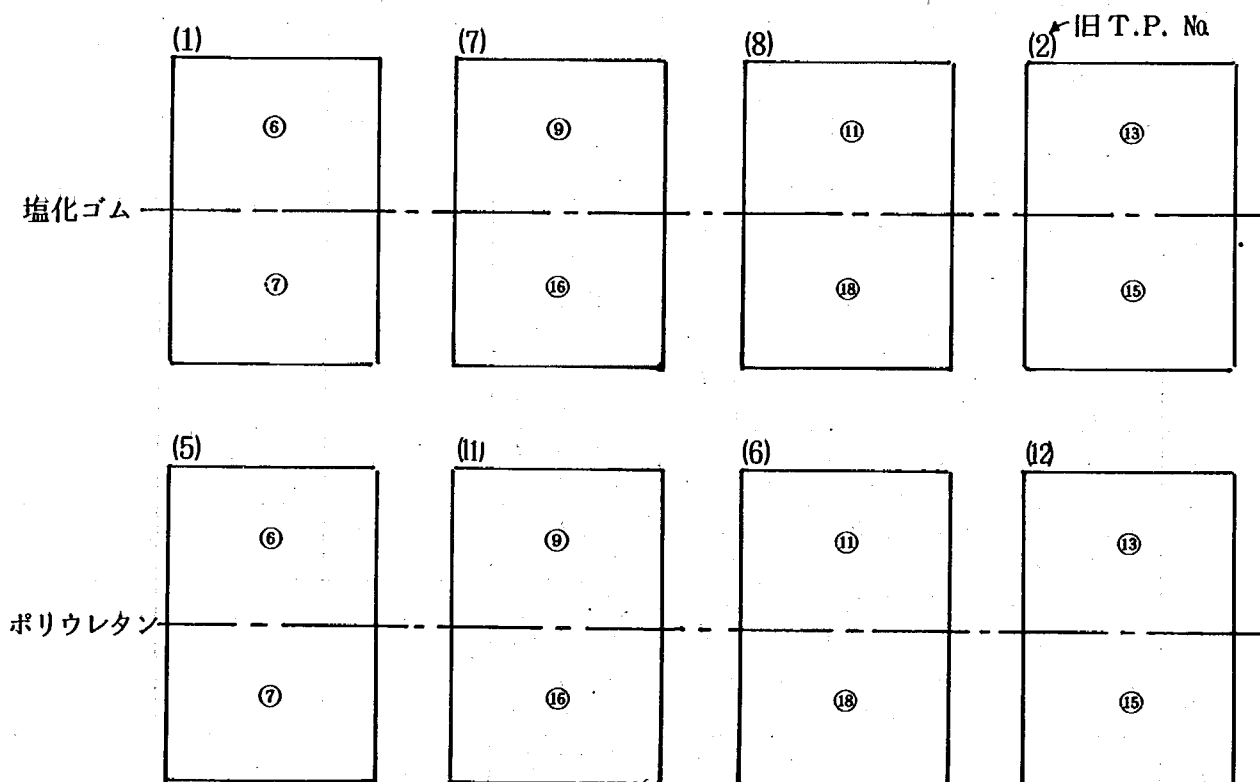
塗装系を示す。*印は1枚の試験片に2つの塗装系を塗りわけたものを示す。

** 印のCRは旧塗膜が塩化ゴムのものを, Uはポリウレタンのものを示す。

(注一2) 試作厚塗り塗装系の黒皮板、さび板試験片は、下記のように塗りわけた。



(注一3) 旧塗膜試験片の塗り分け



(注一4) 旧塗膜面の塗装 (断面図)

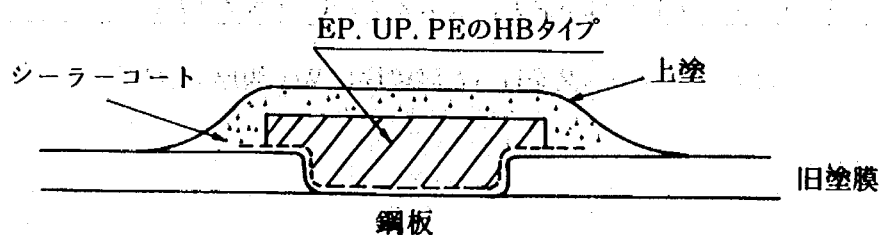


表 I - 6 (1) 阿字ヶ浦暴露試験片の塗付量 (黒皮板)

試験片 記 号	塗 装 系						
	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	第 7 層
S - 1	IZP-HB (wet 125 μ m)	WP-S (wet 100 μ m)	PH-ZC (wet 75 μ m)	MIO (wet 125 μ m)	MIO (wet 125 μ m)	CR 中塗 (wet 125 μ m)	CR 上塗 (wet 100 μ m)
S - 2	IZP-HB (Net 125 μ m)	ミストコート 50% 希釈 (Net 125 μ m)	EP-HB (Wet 125 μ m)	EP-HB (Wet 125 μ m)	PU 中塗 (Wet 70 μ m)	PU 上塗 (Wet 70 μ m)	—
S - 3	WP-L (Wet 100 μ m)	油性さび止め (Wet 50 μ m)	油性さび止め (Wet 50 μ m)	AP 中塗 (Wet 50 μ m)	AP 上塗 (Wet 50 μ m)	—	—
S - 4	OZP-HB (10 g)	OZP-HB (10 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	CR 中塗 (7 g)	CR 中塗 (8 g)
S - 5	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (8 g)	CR 中塗 (8 g)	CR 中塗 (8 g)	—	—
S - 6	OZP-HB (9 g)	OZP-HB (10 g)	補修用 EP (8 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	PU 中塗 (6 g)	PU 上塗 (5 g)
S - 7	補修用 EP (8 g)	補修用 EP (8 g)	補修用 EP (8 g)	PU 中塗 (6 g)	PU 中塗 (5 g)	—	—
S - 8	油性さび止め (9 g)	油性さび止め (7 g)	AP 中塗 (7 g)	AP 上塗 (7 g)	—	—	—
S - 9	シーラーコート (5.3 g)	EP-HB (54.8 g)	PU 中塗 (5.6 g)	PU 上塗 (5.0 g)	—	—	—
S - 10	シーラーコート (5.8 g)	EP-HB (48.4 g)	CR 中塗 (6.9 g)	CR 上塗 (6.4 g)	—	—	—
S - 11	シーラーコート (5.6 g)	EP-HB (47.3 g)	PU 中塗 (6.4 g)	PU 上塗 (5.5 g)	—	—	—
S - 12	シーラーコート (6.0 g)	EP-HB (49.7 g)	CR 中塗 (6.9 g)	CR 上塗 (6.2 g)	—	—	—
S - 13	シーラーコート (6.5 g)	EP-HB (50.3 g)	PU 中塗 (6.2 g)	PU 上塗 (6.6 g)	—	—	—
S - 14	シーラーコート (6.7 g)	EP-HB (53.0 g)	CR 中塗 (6.5 g)	CR 上塗 (6.8 g)	—	—	—
S - 15	シーラーコート (6.2 g)	EP-HB (61.0 g)	PU 中塗 (6.7 g)	PU 上塗 (6.0 g)	—	—	—
S - 16	シーラーコート (5.4 g)	PU-HB (32.1 g)	PU 中塗 (5.9 g)	PU 上塗 (5.3 g)	—	—	—
S - 17	シーラーコート (5.7 g)	PU-HB (50.8 g)	CR 中塗 (7.5 g)	CR 上塗 (6.5 g)	—	—	—
S - 18	シーラーコート (8.0 g)	PE-HB (41.4 g)	PU 中塗 (6.3 g)	PU 上塗 (5.7 g)	—	—	—
S - 19	シーラーコート (6.6 g)	PE-HB (54.5 g)	CR 中塗 (7.2 g)	CR 上塗 (5.2 g)	—	—	—

(注) スプレー塗装を行った試験片は Wet 膜厚で示した

表 I - 6 (2) 阿字ヶ浦暴露試験片の塗付量 (さび板)

試験片 記 号	塗 装 系						
	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	第 7 層
R - 4	OZP-HB (10 g)	OZP-HB (10 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	CR 中塗 (7 g)	CR 上塗 (8 g)
R - 5, 7	補修用 EP (8 g)	補修用 EP (8 g)	補修用 EP (8 g)	CR中塗 3.5g PU中塗 3.0g	CR上塗 4 g PU上塗 2.5g	—	—
R - 6	OZP-HB (9 g)	OZP-HB (10 g)	補修用 EP (8 g)	補修用 EP (7 g)	補修用 EP (7 g)	PU中塗 (6 g)	PU上塗 (5 g)
R - 8	油性さび止め (9 g)	油性さび止め (7 g)	AP中塗 (7 g)	AP上塗 (7 g)	—	—	—
R - 9	シーラコート (5.4 g)	EP-HB (54.5 g)	PU中塗 (6.0 g)	PU上塗 (5.7 g)	—	—	—
R - 10	シーラコート (5.5 g)	EP-HB (53.4 g)	CR 中塗 (6.7 g)	CR 上塗 (6.2 g)	—	—	—
R - 11	シーラコート (5.3 g)	EP-HB (54.8 g)	PU中塗 (5.6 g)	PU上塗 (5.8 g)	—	—	—
R - 12	シーラコート (5.8 g)	EP-HB (51.0 g)	CR 中塗 (7.1 g)	CR 上塗 (6.6 g)	—	—	—
R - 13	シーラコート (6.5 g)	EP-HB (53.6 g)	PU中塗 (6.4 g)	PU上塗 (6.0 g)	—	—	—
R - 14	シーラコート (8.7 g)	EP-HB (47.5 g)	CR 中塗 (7.3 g)	CR 上塗 (7.1 g)	—	—	—
R - 15	シーラコート (6.2 g)	EP-HB (61.2 g)	PU中塗 (5.6 g)	PU上塗 (6.1 g)	—	—	—
R - 16	シーラコート (5.8 g)	PU-HB (40.9 g)	PU中塗 (6.1 g)	PU上塗 (6.0 g)	—	—	—
R - 17	シーラコート (6.2 g)	PU-HB (44.0 g)	CR 中塗 (7.1 g)	CR 上塗 (5.9 g)	—	—	—
R - 18	シーラコート (8.7 g)	PE-HB (74.3 g)	PU中塗 (7.4 g)	PU上塗 (5.7 g)	—	—	—
R - 19	シーラコート (8.0 g)	PE-HB (66.0 g)	CR 中塗 (7.5 g)	CR 上塗 (6.1 g)	—	—	—

表 I - 6 (3) 垂水暴露試験片の塗付量 (黒皮板)

試験片 記 号	塗 装 系						
	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	第 7 層
S - 1	IZP-HB (Wet 125 μ m)	WP-S (Wet 100 μ m)	PH-ZC (Wet 75 μ m)	MIO (Wet 125 μ m)	MIO (Wet 125 μ m)	CR 中塗 (Wet 125 μ m)	CR 上塗 (Wet 100 μ m)
S - 2	IZP-HB (Wet 125 μ m)	ミストコート 50% 稀釈 (Wet 125 μ m)	EP-HB (Wet 125 μ m)	EP-HB (Wet 125 μ m)	PU 中塗 (Wet 70 μ m)	PU 上塗 (Wet 70 μ m)	—
S - 4	OZP-HB (22 g)	OZP-HB (25 g)	補修用 EP (18 g)	補修用 EP (17 g)	補修用 EP (18 g)	CR 中塗 (22 g)	CR 塗 (20 g)
S - 6	OZP-HB (27 g)	OZP-HB (26 g)	補修用 EP (20 g)	補修用 EP (18 g)	補修用 EP (18 g)	PU 中塗 (14 g)	PU 上塗 (12 g)
S - 9	シーラコート (14.5 g)	EP-HB (148.6 g)	*PU 中塗 (7.0 g)	*PU 上塗 (7.1 g)	—	—	—
S - 10			*CR 中塗 (7.8 g)	*CR 上塗 (8.5 g)	—	—	—
S - 11	シーラコート (11.4 g)	EP-HB (139.6 g)	*PU 中塗 (7.2 g)	*PU 上塗 (7.2 g)	—	—	—
S - 12			*CR 中塗 (8.3 g)	*CR 上塗 (9.6 g)	—	—	—
S - 13	シーラコート (14.3 g)	EP-HB (115.8 g)	*PU 中塗 (6.0 g)	*PU 上塗 (7.6 g)	—	—	—
S - 14			*CR 中塗 (8.1 g)	*CR 上塗 (9.3 g)	—	—	—
S - 16	シーラコート (14.6 g)	PU-HB (123.1 g)	*PU 中塗 (7.6 g)	*PU 上塗 (6.3 g)	—	—	—
S - 17			*CR 中塗 (8.2 g)	*CR 上塗 (8.5 g)	—	—	—
S - 18	シーラコート (18.1 g)	PE-HB (187.6 g)	*PU 中塗 (8.0 g)	*PU 上塗 (6.3 g)	—	—	—
S - 19			*CR 中塗 (8.2 g)	*CR 中塗 (8.4 g)	—	—	—

*は 600 × 250 の半分の面積の塗付量である。

表 I - 6 (4) 垂水暴露試験片の塗付量 (さび板)

試験片 記 号	塗 装 系						
	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	第 7 層
R - 4	OZP-HB (24 g)	OZP-HB (26 g)	補修用EP (18 g)	補修用EP (18 g)	補修用EP (17 g)	CR 中塗 (20 g)	CR 上塗 (20 g)
R - 6	OZP-HB (26 g)	OZP-HB (26 g)	補修用EP (20 g)	補修用EP (17 g)	補修用EP (18 g)	PU 中塗 (14 g)	PU 上塗 (12 g)
R - 9	シーラーコート (14.7 g)	EP-HB (169.2 g)	*PU 中塗 (6.3 g)	*PU 上塗 (6.7 g)	—	—	—
R - 10			*CR 中塗 (7.8 g)	*CR 上塗 (8.1 g)	—	—	—
R - 11	シーラーコート (16.2 g)	EP-HB (141.0 g)	*PU 中塗 (6.6 g)	*PU 上塗 (6.7 g)	—	—	—
R - 12			*CR 中塗 (7.2 g)	*CR 上塗 (8.4 g)	—	—	—
R - 13	シーラーコート (14.3 g)	EP-HB (117.7 g)	*PU 中塗 (6.9 g)	*PU 上塗 (6.9 g)	—	—	—
R - 14			*CR 中塗 (7.1 g)	*CR 上塗 (9.6 g)	—	—	—
R - 16	シーラーコート (15.0 g)	PU-HB (123.7 g)	*PU 中塗 (6.7 g)	*PU 上塗 (6.2 g)	—	—	—
R - 17			*CR 中塗 (7.4 g)	*CR 上塗 (8.7 g)	—	—	—

*印は 600 × 250 mm の半分の面積の塗付量である。

表 I - 6 (5) 垂水暴露試験片の塗付量 (旧塗膜)

塗り回数 塗 装 面 積 試験片 記 号	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	第 7 層
	17 × 12 cm	13 × 8.5 cm	21 × 16 cm	21 × 16 cm	13 × 8.5 cm	21 × 16 cm	21 × 16 cm
CR - 6	OZP-HB (4 g)	OZP-HB (3.5 g) (17×12cm)	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	補修用EP (5 g)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (3.5 g)
CR - 7	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	補修用EP (5 g)	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (3.5 g) (21×16cm)		
CR - 9	シーラコート (2.0 g)	EP-HB (5.2 g)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (3.0 g)			
CR - 11	シーラコート (1.8 g)	EP-HB (13.0 g)	PU中塗 (3.7 g)	PU上塗 (3.1 g)			
CR - 13	シーラコート (2.9 g)	EP-HB (10.8 g)	PU中塗 (3.6 g)	PU上塗 (3.3 g)			
CR - 15	シーラコート (2.4 g)	EP-HB (26.6 g)	PU中塗 (3.7 g)	PU上塗 (3.1 g)			
CR - 16	シーラコート (20 g)	PU-HB (7.3 g)	PU中塗 (3.3 g)	PU上塗 (3.0 g)			
CR - 18	シーラコート (3.3 g)	PE-HB (10.5 g)	PU中塗 (3.7 g)	PU上塗 (3.9 g)			
U - 6	OZP-HB (4 g)	OZP-HB (3.5 g) (17×12cm)	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	補修用EP (5 g)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (3.5 g)
U - 7	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	補修用EP (5 g)	補修用EP (5 g) (13×8.5cm)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (3.5 g) (21×16cm)		
U - 9	シーラコート (2.0 g)	EP-HB (5.7 g)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (3.7 g)			
U - 11	シーラコート (1.7 g)	EP-HB (11.1 g)	PU中塗 (3.2 g)	PU上塗 (2.7 g)			
U - 13	シーラコート (2.5 g)	EP-HB (10.8 g)	PU中塗 (3.0 g)	PU上塗 (3.2 g)			
U - 15	シーラコート (2.5 g)	EP-HB (26.6 g)	PU中塗 (3.5 g)	PU上塗 (2.9 g)			
U - 16	シーラコート (2.2 g)	EP-HB (9.2 g)	PU中塗 (3.7 g)	PU上塗 (2.9 g)			
U - 18	シーラコート (2.9 g)	PU-HB (14.9 g)	PU中塗 (3.7 g)	PU上塗 (3.9 g)			

表 I - 7(1)阿字ヶ浦暴露試験片の膜厚 (現行塗料)

試験片 No	膜 厚 (μm)					平均値
	1	2	3	4	5	
S - 1	420	410	400	420	400	410
S - 2	600	580	600	630	590	600
S - 3	200	190	210	200	200	200
S - 4	220	210	215	225	225	219
S - 5	240	250	245	240	240	243
S - 6	260	280	260	250	260	262
S - 7	240	235	250	230	245	240
S - 8	125	120	115	115	120	119
R - 4	310	330	330	310	320	320
R - 5	330	360	300	310	310	322
R - 6	380	400	390	400	390	392
R - 7	330	360	320	350	360	344
R - 8	200	220	200	225	210	211

表 I - 7 (2) 阿字ヶ浦暴露試験片の膜厚 (試作塗料)

試 験 片 記 号	シーラー+パテまでの膜厚 (μm)			上塗完了後の膜厚 (μm)		
	測点 1	測点 2	平均値	測点 1	測点 2	平均値
S - 9	600	540	570	650	580	615
S - 10	540	450	495	600	510	555
S - 11	450	400	425	520	510	515
S - 12	400	350	375	460	450	455
S - 13	280	330	305	400	410	405
S - 14	330	330	330	410	410	410
S - 15	800	800	800	850	860	855
S - 16	130	120	125	210	200	205
S - 17	380	380	380	460	470	465
S - 18	390	280	335	450	360	405
S - 19	440	410	425	520	500	510
R - 9	580	620	600	620	720	670
R - 10	650	550	600	670	630	650
R - 11	500	460	480	570	530	550
R - 12	450	400	425	560	540	550
R - 13	450	450	450	560	550	555
R - 14	370	380	375	470	490	480
R - 15	700	720	710	780	800	790
R - 16	350	360	355	440	480	460
R - 17	280	300	290	370	370	370
R - 18	280	260	270	390	340	365
R - 19	650	650	650	710	710	710

表 I - 7 (3) 垂水暴露試験片の膜厚 (黒皮板)

項目 測定点 試験片 記号	シーラー+パテまでの膜厚 (μm)			上塗完了後の膜厚 (μm)		
	1	2	平均値	1	2	平均値
S - 1	—	—	—	320	330	325
S - 2	—	—	—	480	420	450
S - 4	—	—	—	210	215	213
S - 6	—	—	—	290	270	280
S - 9	450	540	495	480	640	560
S - 10	650	680	665	740	750	745
S - 11	400	450	425	550	550	550
S - 12	450	480	465	560	560	560
S - 13	280	340	310	400	430	415
S - 14	350	380	365	430	440	435
S - 16	350	370	360	410	450	430
S - 17	350	280	315	400	320	360
S - 18	640	650	645	660	700	680
S - 19	670	700	685	715	715	715

表 I - 7 (4) 垂水暴露試験片の膜厚 (さび板)

項目 測定点 試験片 記号	シーラー+ハビタまでの膜厚(μm)			上塗完了後の膜厚(μm)		
	1	2	平均値	1	2	平均値
R - 4	—	—	—	240	260	250
R - 6	—	—	—	330	310	320
R - 9	960	920	940	1,000	1,000	1,000
R - 10	750	670	710	800	750	775
R - 11	460	500	480	600	630	615
R - 12	540	500	520	650	560	605
R - 13	410	460	435	500	540	520
R - 14	400	360	380	480	460	470
R - 16	430	430	430	540	500	520
R - 17	440	430	435	540	530	535

表 I - 7 (5) 垂水暴露試験片の膜厚 (旧塗膜)

項目 試験片 記号	シーラー+プライマーまでの膜厚 (μm)			上塗完了後の膜厚 (μm)		
	1	2	平均値	1	2	平均値
CR-6	—	—	—	260	240	250
CR-7	—	—	—	240	230	235
CR-9	340	330	335	410	390	400
CR-11	300	300	300	400	380	390
CR-13	420	450	435	520	560	540
CR-15	2,000	1,500	1,750	2,100	1,700	1,900
CR-16	340	300	320	400	380	390
CR-18	480	480	480	560	580	570
U-6	—	—	—	360	380	370
U-7	—	—	—	340	360	350
U-9	280	340	310	350	410	380
U-11	420	400	410	520	500	510
U-13	250	270	260	300	340	320
U-15	1,300	1,400	1,350	1,400	1,500	1,450
U-16	410	450	430	470	530	500
U-18	450	450	450	520	520	520

表 I - 8 光 沢 値

阿字ヶ浦暴露				垂 水 暴 露			
試験片 No	光 沢			試験片 No	光 沢		
	1	2	平均値		1	2	平均値
S - 1	46	48	47	S - 1	47	51	49
S - 2	90	90	90	S - 2	87	91	89
S - 3	83	83	83	S - 4	72	62	67
S - 4	47	49	48	S - 6	88	90	89
S - 5	71	73	72	R - 4	65	59	62
S - 6	69	65	67	R - 6	86	84	85
S - 7	88	86	87	CR - 6	90	86	88
S - 8	86	86	86	CR - 7	88	90	89
R - 4	63	63	63	U - 6	90	88	89
R - 5	52	50	51	U - 7	92	90	91
R - 6	79	83	81				
R - 7	79	79	79				
R - 8	70	66	68				

4.4 暴露試験

塗装試験片を阿字ヶ浦に34板（35塗装系）と垂水に23板（40塗装系）を暴露し、1年目、2年目、3年目、4年目の調査を行った。

4.4.1 阿字ヶ浦暴露試験結果

外観観察結果を表 I - 9 (1)～9 (4)に、光沢測定とピンホール検査結果を表 I - 10 に、暴露3年目と4年目の付着力試験結果を表 I - 11 に示す。

4.4.2 垂水暴露試験結果

外観観察結果を表 I - 12 (1)～12 (3)に、光沢測定とピンホール検査結果を表 I - 13 (1)～13 (2)に付着力試験結果を表 I - 14 (1)～14 (2)に示す。

表 I - 9 (1) 外観観察結果 (阿字ヶ浦暴露 1 年)

試験片No	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化
S-1	なし	なし	なし	なし	小
S-2	"	"	"	"	なし
S-3	"	"	"	"	"
S-4	"	"	"	"	小
S-5	"	"	"	"	小
S-6	"	"	"	"	なし
S-7	"	"	"	"	"
S-8	点さび 1個	"	"	"	小
S-9	なし	"	"	"	なし
S-10	"	"	"	"	小
S-11	"	"	"	"	なし
S-12	"	"	"	"	小
S-13	"	"	"	"	なし
S-14	"	"	"	"	小
S-15	"	"	"	"	なし
S-16	"	"	"	"	"
S-17	"	"	"	"	小
S-18	"	"	"	"	なし
S-19	"	"	"	"	小

試験片No	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化
R-4	なし	8M	なし	なし	小
R-5	"	6D	"	"	小
R-6	"	6MD	"	"	なし
R-7	"	6D	"	"	"
R-8	"	6D	"	"	小
R-9	"	4MD	"	"	なし
R-10	"	8F	"	"	小
R-11	"	8MD	"	"	なし
R-12	"	8MD	"	"	"
R-13	"	6D	"	"	"
R-14	"	6D	小 チェック 全面	"	小
R-15	"	8MD	なし	"	なし
R-16	"	6D	"	"	"
R-17	"	6D	"	"	"
R-18	"	8D	"	"	"
R-19	"	なし	"	"	"

表 I - 9 (2) 外観観察結果 (阿字ヶ浦暴露 2 年)

試験片No	さび	ふくれ	われ	はかれ
S - 1	なし	なし	なし	なし
S - 2	"	"	"	"
S - 3	"	"	"	"
S - 4	"	"	"	"
S - 5	"	"	"	"
S - 6	"	"	"	"
S - 7	"	"	"	"
S - 8	"	"	"	"
S - 9	"	"	"	"
S - 10	"	"	"	"
S - 11	"	"	"	"
S - 12	"	"	"	"
S - 13	"	"	"	"
S - 14	"	"	"	"
S - 15	"	"	"	"
S - 16	"	"	"	"
S - 17	"	"	"	"
S - 18	"	"	"	"
S - 19	"	"	"	"

試験片No	さび	ふくれ	われ	はかれ
R - 4	4	8 M	なし	なし
R - 5	なし	6 D	"	"
R - 6	"	4 D	"	"
R - 7	3	6 D	"	"
R - 8	2	6 D	"	"
R - 9	なし	6 MD	"	"
R - 10	"	6 M	"	"
R - 11	"	6 MD	"	"
R - 12	"	6 D	"	"
R - 13	"	4 D	"	"
R - 14	"	6 D	"	"
R - 15	"	6 MD	"	"
R - 16	"	6 D	"	"
R - 17	"	6 D	"	"
R - 18	"	8 D	"	"
R - 19	"	なし	"	"

表 I - 9 (3) 外観観察結果 (阿字ヶ浦 3 年)

試験片No	さび	ふくれ	われ	はかれ	白亜化
S - 1	なし	2F	なし	なし	大
	"	2F	"	"	
S - 2	"	なし	"	"	大
	"	"	"	"	
S - 3	"	"	"	"	大
	"	"	"	"	
S - 4	"	"	"	"	大
	"	"	"	"	
S - 5	"	"	"	"	大
	"	"	"	"	
S - 6	"	"	"	"	大
	"	"	"	"	
S - 7	"	"	"	"	大
	"	"	"	"	
S - 8	4	"	1ヶ	4	大
	4	"	4	4	
S - 9	なし	"	なし	なし	中
	"	"	"	"	
S - 10	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 11	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 12	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 13	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 14	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 15	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 16	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 17	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 18	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	
S - 19	"	"	"	"	中
	"	"	"	"	

試験片No	さび	ふくれ	われ	はかれ	白亜化
R - 4	3	6D	なし	なし	大
	3	6D	"	"	
R - 5	なし	6D	"	"	大
	"	6D	"	"	
R - 6	4	4D	"	"	大
	4	4D	"	"	
R - 7	3	6D	"	"	中
	3	2F + 6D	"	"	
R - 8	2	6D	"	"	大
	2	6D + 大ふくれ	"	"	
R - 9	なし	なし	"	"	中
	"	さびこぶ 1-10mm	"	"	
R - 10	"	さびこぶ F	"	"	中
	"	さびこぶ 1-7mm F	"	"	
R - 11	"	6D	"	"	大
	"	6D	"	"	
R - 12	"	6D	"	"	中
	"	6D	"	"	
R - 13	"	4D	"	"	大
	"	4D	"	"	
R - 14	4	4D	"	"	大
	4	4D	"	"	
R - 15	なし	6MD	"	"	中
	"	6D	"	"	
R - 16	4	6D	"	"	小
	4	6D	"	"	
R - 17	なし	6D	"	"	中
	"	6D	"	"	
R - 18	"	なし	"	"	中
	"	8MD	"	"	
R - 19	"	なし	われさび 1ヶ	"	中
	われさび 4	"	4	"	

表 I - 9 (4) 外観観察結果 (阿字ヶ浦暴露 4 年)

試験片 No.	さび	ふくれ	われ	はかれ	白亜化
S - 1	なし	なし	なし	なし	大
S - 2	"	"	"	"	大
S - 3	"	"	"	"	大
S - 4	"	"	"	"	大
S - 5	"	"	"	"	大
S - 6	"	"	"	"	大
S - 7	"	"	"	"	大
S - 8	3	"	"	"	大
S - 9	なし	"	"	"	大
S - 10	"	"	"	"	大
S - 11	"	"	"	"	大
S - 12	"	"	"	"	大
S - 13	"	"	"	"	大
S - 14	"	"	"	"	大
S - 15	"	"	"	"	大
S - 16	"	"	"	"	大
S - 17	"	"	"	"	大
S - 18	"	"	"	"	大
S - 19	"	"	"	"	大

試験片 No.	さび	ふくれ	われ	はかれ	白亜化
R - 4	1	8D	なし	なし	大
R - 5	2	6D	"	"	大
R - 6	2	4D	"	"	大
R - 7	1	4D	"	"	大
R - 8	0	6D	"	"	大
R - 9	なし	6D	"	"	大
R - 10	"	6M	"	"	大
R - 11	"	4D	"	"	大
R - 12	"	4D	"	"	大
R - 13	4	4D	"	"	大
R - 14	4	4D	"	"	大
R - 15	なし	6D	"	"	大
R - 16	"	6D	"	"	大
R - 17	3	8D	"	"	大
R - 18	なし	8MD	"	"	大
R - 19	"	なし	われさび 3	"	大

表 1 - 10 光沢測定及びピンホール検査結果 (阿字ヶ浦暴露)

暴露期間	1 年		2 年		3 年		4 年	
項目 試験片No	光沢	ピンホール	光沢	ピンホール	光沢		光沢	
					水洗後 (縦)	水洗後 (横)	水洗前	水洗後
S-1	35	なし	11	なし	38	36	8	27
S-2	53	"	9	"	12	12	6	9
S-3	47	"	8	"	22	21	8	8
S-4	39	"	12	"	54 刷毛目大	38	8	24
S-5	35	"	14	"	60 刷毛目大	35	8	24
S-6	68	"	10	"	32	22	10	23
S-7	74	"	9	"	22	17	8	14
S-8	40	1	10	"	23	15	8	7
S-9	66	なし	16	"	45	48	—	28
S-10	45	"	21	"	57	52	—	33
S-11	47	"	18	"	44	47	—	38
S-12	58	"	27	"	65	67	—	46
S-13	78	"	31	"	36	36	—	30
S-14	52	"	38	"	71	67	—	43
S-15	74	"	28	"	30	29	—	25
S-16	75	"	35	"	34	33	—	36
S-17	36	"	28	"	64	56	—	44
S-18	43	"	15	"	18	16	—	17
S-19	19	"	12	"	31	28	—	21

暴露期間	1 年		2 年		3 年		4 年	
項目 試験片No	光沢	ピンホール	光沢	ピンホール	光沢		光沢	
					水洗後 (縦)	水洗後 (横)	水洗前	水洗後
R-4	42	なし	8	なし	40	32	8	37
R-5	32	"	7	"	39	36	8	33
R-6	61	"	6	"	14	11	6	17
R-7	51	"	6	"	9	8	6	13
R-8	11	"	5	"	7	7	5	6
R-9	43	"	25	"	34	31	—	28
R-10	61	"	25	"	56	58	—	42
R-11	78	"	10	"	26	24	—	23
R-12	48	"	23	"	52	50	—	31
R-13	56	"	9	"	20	19	—	17
R-14	29	"	7	"	41	27	—	28
R-15	85	"	19	"	24	22	—	15
R-16	53	"	13	"	30	33	—	25
R-17	37	"	16	"	40	40	—	31
R-18	42	"	14	"	15	15	—	15
R-19	24	"	13	"	34	32	—	27

表 I - 11 付着力試験結果 (阿字ヶ浦暴露)

暴露期間	3 年		4 年	
項目 試験片No	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)
S - 1	141 Zn/Zn 100%	19 Zn/Zn 100%	35 Zn/Zn 100%	15 Zn/Zn 100%
S - 2	91.8 Zn/Zn 100%	42 Zn/Zn 100%	184 Zn/Zn 100%	30 Zn/Zn 100%
S - 3	205 下/下 50% 接着剤 50%	51 中/中 30% 下/下 30% 接着剤 40%	251 下/下 100%	70 接着剤 50% 下/下 50%
S - 4	162 中/下 10% 接着剤 90%	45 中/中 40% 接着剤 60%	300 接着剤 100%	64 上/上 100%
S - 5	282 中/下 40% 接着剤 60%	70 中/中 100%	247 接着剤 100%	40 接着剤 95% 上/上 5%
S - 6	268 下/下 100%	38 下/下 100%	194 下/下 100%	22 接着剤 30% 下/下 60% Zn/Zn 20%
S - 7	88.3 下/下 90% 接着剤 10%	43 下/下 100%	159 下/下 100%	30 接着剤 15% 下/下 85%
S - 8	268 下/下 100% 素地に近い	49 下/下 50% 接着剤 50%	177 下/下 100%	28 接着剤 15% 下/下 85%
S - 9	353 下/下 100%	62 中/中 70% 接着剤 30%	282 接着剤 95% 下/下 5%	52 接着剤 50% 中/中 50%
S - 10	106 中/中 80% 接着剤 20%	68 中/中 80% 接着剤 20%	148 接着剤 90% 上/中 10%	32 接着剤 50% 上/上 50%
S - 11	215 下/下 100%	57 下/下 100%	229 下/下 100%	58 接着剤 5% 下/下 95%
S - 12	222 中/中 30% 接着剤 70%	64 中/中 70% 接着剤 30%	247 接着剤 60% 上/中 40%	54 上/上 100%
S - 13	169 下/下 100%	42 下/下 100%	240 下/下 100%	50 接着剤 5% 下/下 95%
S - 14	198 下/下 20% 接着剤 80%	39 下/下 20% 上/下 60% 接着剤 20%	212 接着剤 90% 上/中 10%	21 上/上 100%
S - 15	233 中/中 100%	62 中/中 100%	251 下/下 100%	58 接着剤 15% 下/下 85%
S - 16	201 中/中 100%	46 中/中 100%	247 下/下 100%	32 接着剤 30% 下/下 70%
S - 17	212 接着剤 100%	72 上/中 30% 接着剤 70%	229 接着剤 100%	38 接着剤 85% 上/中 15%
S - 18	173 中/中 100%	24 中/中 100%	247 中/中 100%	27 接着剤 10% 中/中 90%
S - 19	180 中/中 20% 接着剤 80%	34 上/中 70% 接着剤 30%	247 接着剤 100%	15 接着剤 40% 上/中 60%

暴露期間	3 年		4 年	
項目 試験片No	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)
R - 4	198 中/中 10% 接着剤 90%	25 上/中 80% 接着剤 20%	194 接着剤 90% 上/中 10%	22 接着剤 40% 上/中 60%
R - 5	109 接着剤 100%	21 さび/さび 10% 中/上 30% 接着剤 60%	177 接着剤 100%	20 さび/さび 100%
R - 6	159 さび/さび 40% 接着剤 60%	17 さび/さび 100%	247 下/下 80% さび/さび 20%	測定不能
R - 7	166 さび/さび 50% 下/下 50%	15 さび/さび 100%	測定不能	測定不能
R - 8	173 さび/さび 100%	15 さび/さび 30% 接着剤 70%	測定不能	測定不能
R - 9	300 さび/さび 100%	17 さび/さび 100%	177 さび/さび 100%	12 さび/さび 100%
R - 10	230 中/上 50% 接着剤 50%	30 さび/さび 100%	212 接着剤 90% 上/中 10%	19 接着剤 65% 上/中 35%
R - 11	205 さび/さび 100%	23 さび/さび 100%	35 さび/さび 100%	18 さび/さび 100%
R - 12	187 さび/さび 80% 接着剤 20%	25 さび/さび 100%	177 さび/さび 100%	18 接着剤 65% 上/中 35%
R - 13	77.7 さび/さび 100%	29 さび/さび 100%	99 下/下 20% サビ層 80%	20 さび/さび 100%
R - 14	166 さび/さび 100%	20 さび/さび 70% 接着剤 30%	194 接着剤 100%	25 さび/さび 100%
R - 15	233 さび/さび 100%	30 さび/さび 100%	212 さび/さび 100%	20 さび/さび 100%
R - 16	201 さび/さび 100%	28 さび/さび 100%	120 さび/さび 100%	40 さび/さび 100%
R - 17	141 さび/さび 100%	34 さび/さび 100%	42 さび/さび 100%	18 接着剤 55% 上/中 45%
R - 18	184 中/中 100%	22 さび/さび 100%	18 さび/さび 100%	25 さび/さび 100%
R - 19	70.6 さび/さび 100%	14 さび/さび 100%	177 接着剤 100%	13 接着剤 50% 上/中 50%

(注) 上段の数値は付着力 (kgf/cm) を,
その下は剥離箇所を示す。

表 I - 12(1) 外観観察結果 (垂水, プラスト面)

暴露期間	1 年					2 年					3 年					4 年				
試験項目 片断	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化
S-1	なし	なし	なし	なし	中	なし	なし	なし	なし	2	なし	なし	なし	なし	大	なし	4 1ヶ	なし	なし	大
S-2	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	3	"	"	"	"	大	"	なし	"	"	大
S-4	"	"	"	"	大	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-6	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-9	"	"	"	"	中	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-10	"	"	"	"	中	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-11	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-12	"	"	"	"	中	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-13	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-14	"	"	"	"	中	"	"	"	"	3	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-16	"	"	"	"	中	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-17	"	"	"	"	中	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-18	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
S-19	"	"	"	"	中	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大

表 I - 12(2) 外観観察結果 (垂水, さび面)

暴露期間 試験項目 片数	1 年					2 年					3 年					4 年				
	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化
R-4	なし	6MD	なし	なし	中	3	6D	なし	なし	2	1 ワレサビ 全 面	4D	なし	なし	大	なし	24 D	1	4	大
R-6	2"	6D	"	"	なし	なし	6D	"	"	2	なし	6.4MD	"	"	大	エッジ なし	6M 6MD	なし	なし	大
R-9	"	なし	"	キズハガレ 5中1ヶ	大	"	なし	"	"	1	"	4F	"	"	大	なし	6MD	"	"	中
R-10	"	"	チェック キング 全面発生	なし	中	"	"	チェック キング 全面発生	"	2	"	8F	"	"	大	"	6M	2	"	中
R-11	"	6D	なし	"	なし	"	6D	なし	"	1	"	6MD	"	"	大	"	6D	なし	"	大
R-12	2"	6MD	"	"	中	"	4D	"	"	1	"	2D 塗膜下さび により塗膜 が浮き上っ ている。	"	"	大	"	2D	"	"	大
R-13	"	4M	"	"	小	"	4M	"	"	1	"	4M	"	"	大	"	6MD	"	"	大
R-14	2"	4MD	"	"	中	"	4MD	"	"	1	"	24MD 周囲大 ふくれ	"	"	大	"	6D	"	"	大
R-16	"	6MD	"	"	小	"	6MD	"	"	1	"	6MD	"	"	大	4	6MD	"	"	大
R-17	"	6MD	"	"	大	"	6MD	"	"	1	"	6MD	"	"	大	4	6MD	3 2mm大	"	大

表 I - 12 (3) 外観観察結果 (垂水, 旧塗膜)

暴露期間	1 年					2 年					3 年					4 年				
試験項目 片名	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化
CR-6	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	1	なし	なし	なし	なし	大	なし	なし	なし	なし	大
CR-7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
CR-9	"	"	"	"	小	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
CR-11	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
CR-13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
CR-15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
CR-16	"	"	"	"	小	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
CR-18	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-13	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-16	"	"	"	"	小	"	"	"	"	2	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大
U-18	"	"	"	"	なし	"	"	"	"	1	"	"	"	"	大	"	"	"	"	大

表 1 - 13(1) 光沢測定及びピンホール検査結果 (垂水暴露)

暴露 期間	1 年		2 年		3 年		4 年	
項目 試験 片No	光 沢	ピン ホール	光 沢	ピン ホール	光 沢		光 沢	
					水洗前	水洗後	水洗前	水洗後
S-1	33	なし	18	なし	8	30	7	25
S-2	77	"	24	"	16	19	14	16
S-4	48	"	32	"	12	47	10	42
S-6	80	"	24	"	18	36	20	27
S-9	44	"	20	"	10	35	10	33
S-10	12	"	21	"	6	45	8	33
S-11	83	"	38	"	22	55	19	40
S-12	53	"	34	"	14	41	12	40
S-13	82	"	30	"	20	42	18	38
S-14	58	"	41	"	16	52	13	53
S-16	59	"	26	"	12	40	12	40
S-17	58	"	38	"	15	55	13	51
S-18	30	"	15	"	7	19	7	17
S-19	20	"	17	"	7	24	6	20

暴露 期間	1 年		2 年		3 年		4 年	
項目 試験 片No	光 沢	ピン ホール	光 沢	ピン ホール	光 沢		光 沢	
					水洗前	水洗後	水洗前	水洗後
R-4	30	なし	9	なし	17	23	6	17
R-6	72	"	19	"	19	32	20	27
R-9	34	キズ 1ヶ	17	"	5	30	5	33
R-10	17	なし	20	"	8	22	7	28
R-11	55	"	29	"	12	33	11	32
R-12	30	"	24	"	9	21	8	33
R-13	55	"	26	"	14	36	12	35
R-14	38	"	31	"	12	32	9	30
R-16	65	"	21	"	9	34	8	29
R-17	50	"	37	"	12	48	10	44

表 I - 13(2) 光沢測定及びピンホール検査

(垂水, 旧塗膜)

暴露期間	1 年		2 年		3 年		4 年	
項目 試験片No	光沢	ピンホール	光沢	ピンホール	光沢		光沢	
					水洗前	水洗後	水洗前	水洗後
CR-6	72	なし	18	なし	18	30	17	22
CR-7	56	"	27	"	20	28	20	21
CR-9	68	"	25	"	13	37	24	34
CR-11	69	"	48	"	22	36	20	32
CR-13	56	"	40	"	15	39	14	40
CR-15	61	"	31	"	17	37	16	31
CR-16	44	"	21	"	8	32	12	36
CR-18	31	"	12	"	8	14	6	16
U-6	66	"	18	"	17	32	17	30
U-7	72	"	32	"	22	34	21	27
U-9	59	"	19	"	14	40	16	39
U-11	70	"	29	"	12	36	7	35
U-13	61	"	32	"	15	45	20	40
U-15	54	"	41	"	19	40	17	30
U-16	61	"	29	"	12	36	16	33
U-18	30	"	14	"	9	22	10	20

表 I - 14(1) 付着力試験結果 (垂水暴露)

暴露 期間	1 年	2 年	3 年	4 年
項目 試験 片No	トルク (kgf/cm)	トルク (kgf/cm)	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)
S-1	183 ジツク/ジツク 100%	0 IZP/IZP 100%	0 Zn/Zn 100%	15 Zn/Zn 100%
S-2	141 接着剤 100%	28 IZP/IZP 100%	247 Zn/Zn 100%	36 接着剤 100%
S-4	177 下/中 10% 接着剤 90%	53 下/中 50% 接着剤 50%	106 接着剤 100%	23 接着剤 100%
S-6	215 下/下 80% 接着剤 20%	282 下/下 100%	282 下/下 30% 接着剤 70%	37 下/下 50% 接着剤 50%
S-9	282 接着剤 100%	282 接着剤 100%	124 接着剤 100%	49 接着剤 100%
S-10	177 ジツクロ/上50% 接着剤 50%	229 中/上 10% 接着剤 90%	169 中/中 60% 接着剤 40%	26 上/上 30% 接着剤 70%
S-11	244 下/下 10% 接着剤 90%	247 下/下 100%	247 接着剤 100%	62 下/下 30% 接着剤 70%
S-12	177 下/中 60% 接着剤 40%	39 下/中 80% 接着剤 20%	106 接着剤 100%	44 上/上 40% 接着剤 60%
S-13	184 接着剤 100%	141 接着剤 100%	212 接着剤 100%	53 下/下 100%
S-14	194 下/下 20% 接着剤 80%	247 接着剤 100%	124 接着剤 100%	37 下/下 60% 上/上 20% 接着剤 20%
S-16	194 下/下 30% 接着剤 70%	71 下/下 100%	177 接着剤 100%	52 中/中 40% 接着剤 60%
S-17	177 下/中 50% 接着剤 50%	318 接着剤 100%	219 接着剤 100%	20 中/中 3% 中/上 2% 接着剤 95%
S-18	102 下/下 100%	81 下/下 100%	124 接着剤 100%	47 中/中 60% 接着剤 40%
S-19	74.1 下/下 20% 接着剤 80%	35 下/下 100%	124 接着剤 100%	33 中/中 20% 接着剤 80%

暴露 期間	1 年	2 年	3 年	4 年
項目 試験 片No	トルク (kgf/cm)	トルク (kgf/cm)	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)
R-4	212 下/中 50% 接着剤 50%	106 素地 40% 接着剤 60%	63.5 さび 100%	11 下/下 15% さび 85%
R-6	212 素地 40% 下/下 10% 接着剤 50%	212 接着剤 100%	138 下/下 30% 接着剤 70%	37 さび/さび 80% 接着剤 20%
R-9	141 接着剤 100%	275 接着剤 100%	159 接着剤 100%	36 さび/さび 100%
R-10	159 ジツクロ/上40% 接着剤 60%	265 中/上 20% 接着剤 80%	162 接着剤 100%	23 接着剤 100%
R-11	138 素地 100%	353 さび 60% さび/下 40%	194 接着剤 100%	23 さび/さび 70% さび/下 30%
R-12	177 下/中 40% 接着剤 60%	0 さび 100%	0 さび/さび 60% さび/下 40%	8 さび/さび 70% さび/下 30%
R-13	102 下/下 10% 接着剤 90%	318 下/下 100%	173 下/下 10% 接着剤 90%	50 さび/さび 80% 下/下 20%
R-14	141 接着剤 100%	35 さび 100%	205 接着剤 100%	22 さび/さび 5% 下/上 20% 接着剤 55%
R-16	177 下/下 40% 接着剤 60%	88 さび 100%	187 接着剤 100%	23 さび/さび 100%
R-17	177 接着剤 100%	88 下/中 50% 接着剤 50%	173 接着剤 100%	21 中/上 10% 接着剤 90%

(注) 上段の数値は付着力 (Kgf/cm) を, その下は剥離箇所を示す。

表 I - 14(2) 付着力試験結果

(垂水, 旧塗膜)

暴露 期間	3 年	4 年
項目 試験片No	トルク (kgf/cm)	アドヒジョン (kgf/cm)
CR-6	106 素地/メタリコン 100%	35 中/中 素地/メタリ コン 30% 70%
CR-7	177 メタリコン 10% 接着剤 90%	65 中/中 素地/メタリ コン 40% 60%
CR-9	旧膜 30% 接着剤 70%	50 接着剤 20% 下/下 80%
CR-11	141 旧膜/旧膜 80% 接着剤 20%	45 接着剤 40% パテ 60%
CR-13	124 新プライマ間20% 旧プライマ間40% 接着剤 40%	40 接着剤 10% ト/ト 40% 旧メタリコン10% 旧MIO 40%
CR-15	159 接着剤 100%	40 旧下 30% 素地 70%
CR-16	106 旧膜 15% パテ/パテ15% 接着剤 70%	40 接着剤 30% 下/下 70%
CR-18	106 フレック/中30% 接着剤 70%	25 中/フレック 100%
U-6	124 素地(メタリコン) 100%	40 素地/メタリ コン 100%
U-7	106 素地/メタリ コン 100%	50 下/下 60% 素地/メタリ コン 40%
U-9	247 接着剤 100%	60 接着剤 80% 中/中 10% 下/下 10%
U-11	141 パテ 90% 接着剤 10%	50 素地/メタリ コン 100%
U-13	141 新プライマ間15% 旧プライマ間5% 接着剤 80%	45 接着剤 10% 下/下 80% 旧下 10%
U-15	194 接着剤 100%	50 接着剤 60% パテ 15% 旧 Zn 25%
U-16	247 パテ 90% 接着剤 10%	55 接着剤 40% 下/下 60%
U-18	106 フレック 50% 接着剤 50%	35 接着剤 30% 中/フレック 70%

4.5 まとめ

暴露試験結果より、黒皮鋼板をサンドブラスト処理したブラスト面は、阿字ヶ浦においては暴露3年目からフタル酸系 (No 8) のみさびが生じた。しかし他の本州四国連絡公団規格の塗装系及び試作厚塗り塗装系は白亜化現象のみで、良好な状態にある。一方、垂水においても、試作厚塗り塗装系の上塗りに塩化ゴム系塗料を塗ったNo10と12にわれ (チェックング) が生じたものとNo1にふくれが生じたものを除くと、白亜化現象のみで良好な状態にある。

さび面をSt 3に処理した面に塗装した試験片では、阿字ヶ浦においては本州四国連絡橋公団規格の塗装系5種は全てさびが生じており、試作厚塗り塗装系はNo13, 14, 17にさびが生じていた。一方、垂水では、暴露1年以内に全塗装系にふくれが生じた。このうち、No4, 6にはさびが生じていた。

本試験に使用した上塗り塗料のポリウレタン樹脂塗料、

塩化ゴム系塗料及びフタル酸系塗料のいずれも白亜化がひどく、光沢値は暴露2年で急激に低下しその後はほとんど変化していない。

5. 第2次試験の試験内容及び試験結果

5.1 目的

第1次試験において、黒皮板をサンドブラスト処理して塗装した試験片は、阿字ヶ浦、垂水暴露共にいずれの塗装系にも異状は生じていない。一方、さび板を電動工具で処理した面に塗装したものは、すべて1年以内にふくれが生じた。しかしながら、さびが生じた塗装系はごく一部であった。また、旧塗膜との付着には何ら異状は生じていなかった。

第2次試験は第1次試験の結果を再確認すると共に促進試験法を検討することを目的としている。

5.2 概要

さび板を電動工具でSt 3に素地調整したさび面と、黒皮鋼板をサンドブラストでSa 2.5～3に素地調整したブラスト面に、第1次試験で暴露試験した本州四国連絡橋公団の塗装基準の補修塗装系5種類と試作厚塗り塗装系6種類と新たにガラスフレーク系の塗装系4種類の計15種類の塗装系を塗装し、複合環境試験と塩水噴霧試験を行った。

5.3 試験片の製作

5.3.1 さび板

サンドブラストした鋼板(70×150×3.2mm)を阿字ヶ浦に暴露してさびさせた。

5.3.2 素地調整

(1) さび面

さび板をSt 3までさび落しを行ない、光沢値が5～10になるようにした。

(2) ブラスト面

黒皮付きの鋼板をサンドブラストでSa 2.5～3にした。

5.3.3 塗装仕様

試験片の塗装系を表Ⅱ-1に示す。

5.3.4 膜厚

膜厚は、各試験片の上部、中央部、下部の3ヶ所測定した。各試験片の膜厚測定結果を表Ⅱ-2(1)～2(3)に示す。

5.4 促進試験

5.4.1 複合環境試験

さび面に塗装した各塗装系2枚ずつ計30枚を試験した。このとき、4、6、8、11、16、25サイクルごとに塗膜外観を調査した。

5.4.2 塩水噴霧試験

さび面及びブラスト面に塗装した各塗装系2枚ずつ計60枚を試験した。このとき、250、500、1000、2000時間ごとに塗膜外観を調査した。

ただし、塗膜外観は財団法人日本塗料検査協会の「塗膜評価基準」に準拠して評価した。さらに、この評価を4段階(○、△、×、××)に整理した。すなわち、○は異状なし、△は8、×は6及び4、××は2及び0とした。

表 II - 1 試験片の塗装系

記号	塗 料 及 び 塗 装 回 数		
1	無機ジンクリッチ (20 μm) $\times$ 2 回	補修用エポキシ (60 μm) $\times$ 2 回	ポリウレタン (30 μm) $\times$ 2 回
2	有機ジンクリッチ (20 μm) $\times$ 2 回	"	"
3	補修用エポキシ (60 μm) $\times$ 3 回	ポリウレタン (30 μm) $\times$ 2 回	—
4	変性エポキシ (60 μm) $\times$ 2 回	"	—
5	油性さび止め (35 μm) $\times$ 2 回	長油性フタル酸 (25 μm) $\times$ 2 回	—
6	シーラーコート (30 μm)	エポキシ A (200 $\sim$ 300 μm)	ポリウレタン (30 μm) $\times$ 2 回
7	"	"	塩化ゴム (35 μm) $\times$ 2 回
8	"	エポキシ B (200 $\sim$ 300 μm)	ポリウレタン (30 μm) $\times$ 2 回
9	"	エポキシ C (200 $\sim$ 300 μm)	"
10	"	超厚膜エポキシ (1000 μm)	"
11	"	ポリウレタン (200 $\sim$ 300 μm)	"
12	"	ポリエステルガラスフレーク A (1500 μm)	"
13	"	ポリエステルガラスフレーク B (1500 μm)	"
14	"	ポリエステルガラスフレーク C (1500 μm)	"
15	"	エポキシガラスフレーク (1500 μm)	"

表Ⅱ－2(1)膜厚測定結果（複合環境試験，さび板）

試験片No	塗 膜 厚(μm)			平均値(μm)
R－1	250 248	274 272	254 280	259 267
R－2	285 300	278 290	284 300	282 297
R－3	248 262	246 254	260 264	251 260
R－4	200 244	188 226	202 232	197 234
R－5	152 150	142 156	140 152	145 153
R－6	422 446	430 400	410 430	421 425
R－7	400 400	420 416	410 408	410 408
R－8	560 560	540 630	480 550	527 580
R－9	400 490	398 500	422 470	407 487
R－10	1,010 1,000	1,220 1,050	1,250 1,060	1,160 1,037
R－11	410 328	440 370	380 352	410 350
R－12	530 525	550 550	540 560	540 545
R－13	550 590	520 510	560 520	543 540
R－14	690 710	680 670	740 660	703 680
R－15	1,420 1,650	1,600 1,600	1,620 1,510	1,547 1,587

表Ⅱ－2(2)膜厚測定結果（塩水噴霧試験，さび板）

試験片No.	塗 膜 厚(μm)			平均値(μm)
R－1	288 284	289 306	266 296	281 295
R－2	304 292	292 304	300 292	299 296
R－3	264 268	280 256	290 258	278 261
R－4	206 208	200 212	208 202	205 207
R－5	152 144	150 140	144 134	149 139
R－6	410 458	408 460	422 460	413 459
R－7	416 436	402 418	418 404	412 419
R－8	650 570	580 580	520 550	583 567
R－9	430 400	420 410	442 410	407 403
R－10	1,100 1,170	1,200 1,240	1,040 1,160	1,113 1,190
R－11	364 380	322 342	370 370	352 364
R－12	510 520	530 530	540 510	527 520
R－13	520 440	510 460	490 410	507 437
R－14	720 730	750 740	760 760	743 743
R－15	1,550 1,650	1,610 1,230	1,550 1,500	1,570 1,460

表Ⅱ－2(3)膜厚測定結果（塩水噴霧試験，プラスト板）

試験片 No	塗 膜 厚 (μm)			平均値 (μm)
S - 1	260 232	238 228	242 234	247 231
S - 2	235 240	228 265	236 252	233 252
S - 3	271 250	250 244	268 262	263 252
S - 4	154 160	150 172	162 170	155 167
S - 5	112 125	110 114	94 110	105 116
S - 6	402 410	410 400	480 362	431 391
S - 7	360 352	382 360	384 374	375 362
S - 8	510 450	540 410	500 400	517 420
S - 9	400 402	410 414	410 400	407 405
S - 10	1,140 1,170	1,080 1,240	1,070 1,180	1,097 1,197
S - 11	300 420	390 400	386 380	359 400
S - 12	480 400	460 410	460 430	467 413
S - 13	500 430	510 440	504 430	505 433
S - 14	620 650	630 670	640 680	630 667
S - 15	1,650 1,710	1,960 1,690	1,700 1,310	1,770 1,570

5.5 試驗結果

5.5.1 複合環境試驗

4, 6, 8, 11, 16, 及び25サイクルの外観観察結果を表Ⅱ-3に示す。また, 4段階評価にした結果を表Ⅱ-4に示す。

5.5.2 塩水噴霧試験

250, 500, 1000, 2000 時間の塗膜の外観観察結果を表 II-5, 6 に示す。また, 4 段階評価にした結果を表 II-7, 8 に示す。

5.6 まとめ

以上の試験結果より以下のことが明らかになった。

- (1) 複合環境試験で25サイクルまで異状の生じなかった塗装系はNa 2を除くと、いずれも膜厚が1000 μm 以上の厚いものであった。
- (2) 塩水噴霧試験で2000時間まででブラスト面で異状の生じたのはNa 9のみであった。これは、塗膜にピンホールが生じていたためではないかと考えられる。

また、さび面で2000時間まで異状の生じなかったのは、No 2, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14及び15であった。

- (3) さび面に効果のある塗装系は複合環境試験及び塩水噴霧試験結果より無機ジンクリッチ / 補修用エポキシ / ポリウレタンの系と膜厚が 1000 μm 以上の塗装系であることが明らかとなった。
- (4) 複合環境試験と塩水噴霧試験の間には、塩水噴霧試験 250 時間が複合環境試験の 4～6 サイクルに、1000～2000 時間が 6～8 サイクルにはほぼ相当することが明らかとなった。

表Ⅱ-3 複合環境試験結果(さび面)

(ふくれのみについての評価)

サイクル数 試験片No	4	6	8	11	16	25
R-1-1	6-VS	4-VS	6-S	4-S	4-M	4-M
R-1-2	6-S	6-S	6-S	4-S	4-M	4-M
R-2-1	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
R-2-2	"	"	"	"	"	"
R-3-1	6-M	4-L	2-L	2-L	2-L (VLを含む)	2-L (VLを含む)
R-3-2	6-S	6-L	4-L	4-VL	4-VL	4-VL
R-4-1	6-M	4-L	0-L	2-VL	2-VL	2-VL
R-4-2	8-VS	6-VL	4-L	4-VL	4-VL	4-VL
R-5-1	6-S	2-M	0-M	0-L	0-L	0-L
R-5-2	4-S	2-M	0-M	0-L	0-L	0-L
R-6-1	異状なし	異状なし	8-L	8-VL	6-VL	6-VL
R-6-2	"	"	8-L	6-L	6-L	6-VL
R-7-1	"	"	異状なし	異状なし	異状なし	点さび0.1%
R-7-2	"	"	"	"	"	対象外ふくれ
R-8-1	"	"	"	6-L	6-VL	6-VL
R-8-2	"	"	"	異状なし	8-L	8-VL
R-9-1	"	"	6-L	4-L	4-VL	4-VL
R-9-2	"	"	6-L	4-L	4-VL	4-VL
R-10-1	"	"	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
R-10-2	"	"	"	"	"	"
R-11-1	8-VS	8-M	6-L (部分 2-M)	6-VL (部分 2-M)	6-VL	6-VL
R-11-2	(下方1/4のみ) 8-S	(下方1/4のみ) 4-M	(下方1/4のみ) 2-M	2-M	2-M	2-M
R-12-1	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	対象外ふくれ
R-12-2	"	"	"	"	"	対象外ふくれ
R-13-1	"	"	"	"	"	対象外ふくれ
R-13-2	"	"	"	"	"	対象外ふくれ
R-14-1	"	"	"	"	"	対象外ふくれ
R-14-2	"	"	"	"	"	対象外ふくれ
R-15-1	"	"	"	"	"	異状なし
R-15-2	"	"	"	"	"	異状なし

(4段階評価結果) 表Ⅱ-4 複合環境試験結果(さび面)

記号	塗装系	試験サイクル						備 考
		4	6	8	11	16	25	
1	無機ジンクリッチ/補修用エポキシ/ポリウレタン	×	×	×	×	×	×	
2	有機ジンクリッチ/補修用エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○	○	○	
3	補修用エポキシ/ポリウレタン	×	×	××	××	××	××	
4	変性エポキシ/ポリウレタン	×	×	××	××	××	××	
5	油性さび止め/長油性フタル酸	×	××	××	××	××	××	
6	シーラーコート/エポキシA/ポリウレタン	○	○	△	×	×	×	
7	シーラーコート/エポキシA/塩化ゴム	○	○	○	○	○	△	
8	シーラーコート/エポキシB/ポリウレタン	○	○	○	×	×	×	
9	シーラーコート/エポキシC/ポリウレタン	○	○	×	×	×	×	
10	シーラーコート/超厚膜エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○	○	○	
11	シーラーコート/ポリウレタン	△	×	××	××	××	××	
12	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークA/ポリウレタン	○	○	○	○	○	○	⊙ 25サイクル 対象外ふくれ
13	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークB/ポリウレタン	○	○	○	○	○	○	⊙ 25サイクル 対象外ふくれ
14	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークC/ポリウレタン	○	○	○	○	○	○	⊙ 25サイクル 対象外ふくれ
15	シーラーコート/エポキシガラスフレーク/ポリウレタン	○	○	○	○	○	○	

表Ⅱ-5 塩水噴霧試験結果(さび面)

(ふくれのみにについての評価)

試験時間 試験片No	250	500	1000	2000
R-1-1	6-V S	4-V S	4-S	4-M
R-1-2	6-V S	4-V S	4-S	4-M
R-2-1	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
R-2-2	"	"	"	"
R-3-1	6-V S	4-M	8-V L	2-M
R-3-2	6-V S	4-M	6-V L	2-L
R-4-1	4-V S	4-L	4-V L	4-V L
R-4-2	4-V S	4-V L	4-V L	4-V L
R-5-1	4-V S	4-M	4-M	2-V L
R-5-2	4-V S	6-S	2-M	2-V L
R-6-1	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
R-6-2	"	"	"	"
R-7-1	"	"	"	"
R-7-2	"	"	"	"
R-8-1	"	"	"	"
R-8-2	"	"	"	"
R-9-1	"	8-L	4-V L	4-V L
R-9-2	"	6-L	4-V L	4-V L
R-10-1	"	異状なし	異状なし	異状なし
R-10-2	"	"	"	"
R-11-1	6-V S	4-V S	6-S	4-S
R-11-2	6-V S	4-V S	6-S	4-S
R-12-1	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
R-12-2	"	"	"	"
R-13-1	"	"	"	"
R-13-2	"	"	"	"
R-14-1	"	"	"	"
R-14-2	"	"	"	"
R-15-1	"	"	"	"
R-15-2	"	"	"	"

表Ⅱ－6 塩水噴霧試験結果（プラスト面）

（ふくれのみについての評価）

試験時間 試験片No.	250	500	1000	2000
S-1-1	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
S-1-2	"	"	"	"
S-2-1	"	"	"	"
S-2-2	"	"	"	"
S-3-1	"	"	"	"
S-3-2	"	"	"	"
S-4-1	"	"	"	"
S-4-2	"	"	"	"
S-5-1	"	"	"	"
S-5-2	"	"	"	"
S-6-1	"	"	"	"
S-6-2	"	"	"	"
S-7-1	"	"	"	"
S-7-2	"	"	"	"
S-8-1	"	"	"	"
S-8-2	"	"	"	"
S-9-1	"	"	6 - S	4 - S
S-9-2	"	"	"	"
S-10-1	"	"	異常なし	異常なし
S-10-2	"	"	"	"
S-11-1	"	"	"	"
S-11-2	"	"	"	"
S-12-1	"	"	"	"
S-12-2	"	"	"	"
S-13-1	"	"	"	"
S-13-2	"	"	"	"
S-14-1	"	"	"	"
S-14-2	"	"	"	"
S-15-1	"	"	"	"
S-15-2	"	"	"	"

(4段階評価結果)

表Ⅱ-7 塩水噴霧試験結果(さび面)

記号	試験時間 塗装系	250時間	500時間	1000時間	2000時間
1	無機ジンクリッチ/補修用エポキシ/ポリウレタン	×	×	×	×
2	有機ジンクリッチ/補修用エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
3	補修用エポキシ/ポリウレタン	×	×	×	××
4	変性エポキシ/ポリウレタン	×	×	×	×
5	油性さび止め/長油性フタル酸	×	×	××	××
6	シーラーコート/エポキシA/ポリウレタン	○	○	○	○
7	シーラーコート/エポキシA/塩化ゴム	○	○	○	○
8	シーラーコート/エポキシB/ポリウレタン	○	○	○	○
9	シーラーコート/エポキシC/ポリウレタン	○	×	×	×
10	シーラーコート/超薄膜エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
11	シーラーコート/ポリウレタン	×	×	×	×
12	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークA/ポリウレタン	○	○	○	○
13	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークB/ポリウレタン	○	○	○	○
14	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークC/ポリウレタン	○	○	○	○
15	シーラーコート/エポキシガラスフレーク/ポリウレタン	○	○	○	○

(4段階評価結果)

表Ⅱ-8 塩水噴霧試験結果(ブラスト面)

記号	塗装系	試験時間			
		250 時間	500 時間	1000 時間	2000 時間
1.	無機ジンクリッチ/補修用エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
2.	有機ジンクリッチ/補修用エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
3.	補修用エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
4.	変性エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
5.	油性さび止め/長油性フタル酸	○	○	○	○
6.	シーラーコート/エポキシA/ポリウレタン	○	○	○	○
7.	シーラーコート/エポキシA/塩化ゴム	○	○	○	○
8.	シーラーコート/エポキシB/ポリウレタン	○	○	○	○
9.	シーラーコート/エポキシC/ポリウレタン	○	○	×	×
10.	シーラーコート/超厚膜エポキシ/ポリウレタン	○	○	○	○
11.	シーラーコート/ポリウレタン	○	○	○	○
12.	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークA/ポリウレタン	○	○	○	○
13.	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークB/ポリウレタン	○	○	○	○
14.	シーラーコート/ポリエステルガラスフレークC/ポリウレタン	○	○	○	○
15.	シーラーコート/エポキシガラスフレーク/ポリウレタン	○	○	○	○

6. 第3次試験の試験内容及び試験結果

6.1 目的

第1次、第2次試験において、さび面に対する塗装系に早期ふくれの発生が見られた。

このため、第3次試験は早期ふくれの防止対策として残存さび層の安定化処理方法等を見い出すことを目的とする。

6.2 概要

早期ふくれの発生原因としては、電動工具程度の素地調整後にも、鉄素地に食い込んで残存しているさび中に塩素イオンなどの腐食因子が蓄積しており、それが塗膜を浸透した水分と反応して体積膨張を生じ、鉄素地と塗膜との付着を疎外することが考えられる。また、残存さび中に水分が蓄積されていると外部からの水分の浸透をまたずに同様の結果になることが考えられる。

このため、残存さびを安定化処理等することによって早期ふくれを防止することを検討した。

すなわち、残存さびを表Ⅲ-1に示す概念で処理を行い、その上に塗装を施し暴露試験を行った。

6.3 試験片の製作

6.3.1 さび板

サンドブラストした鋼板(200×300×3mm)を千葉県千倉に37日間暴露してさびさせた。(写真Ⅲ-1)

6.3.2 素地調整

さび板をディスクサンダー、パワーブラシで処理(St.3)と、ハンマー、パワーブラシ処理(St.2)した。(写真Ⅲ-2, 3)

6.3.3 さび層の処理

表Ⅲ-2のさび層の処理手法に基づいて、表Ⅲ-3のさび層の処理方法を行った。

6.3.4 塗装

さび層の処理を行った後、エポキシ樹脂系下塗り塗料60μm×2回;ポリウレタン用中塗り塗料30μm×1回、ポリウレタン上塗り塗料30μm×1回を刷毛塗りで行った。このとき、一部の試験片は、膜厚効果を調べるため試験片を上下に分け、上部は下塗り2回、下部は下塗り4回とした。各試験片の製作条件を表Ⅲ-4(1)~4(2)に示す。

6.3.5 塗付量及び膜厚

塗装時の塗付量を表Ⅲ-5に、また、下塗り終了時及び上塗り完了後の膜厚の測定位置を図Ⅲ-1に、測定結果を表Ⅲ-6, 7に示す。

6.4 暴露試験

試験片は阿字ヶ浦に暴露し、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月、10ヶ月、1年及び2年目に外観調査を行ない、このうち、著しい変化の生じた試験片については1年目と2年目にアドヒージョン試験を行った。

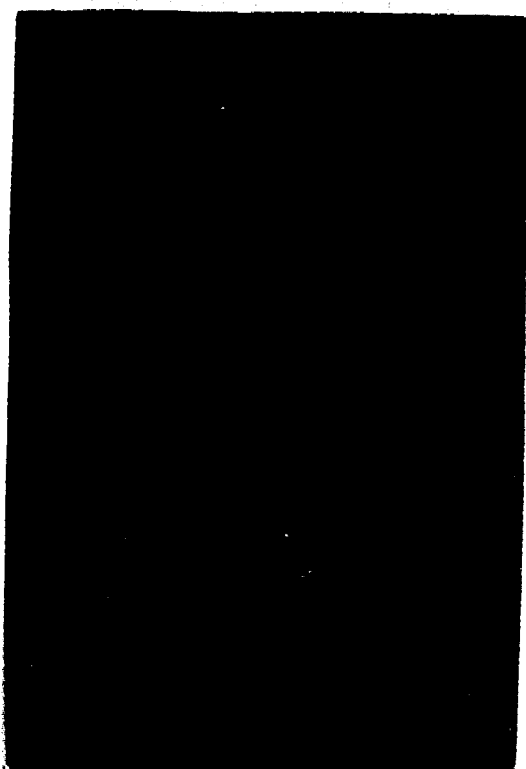


写真 Ⅲ-1 さび板



写真 Ⅲ-2 素地調整後 (St 3)

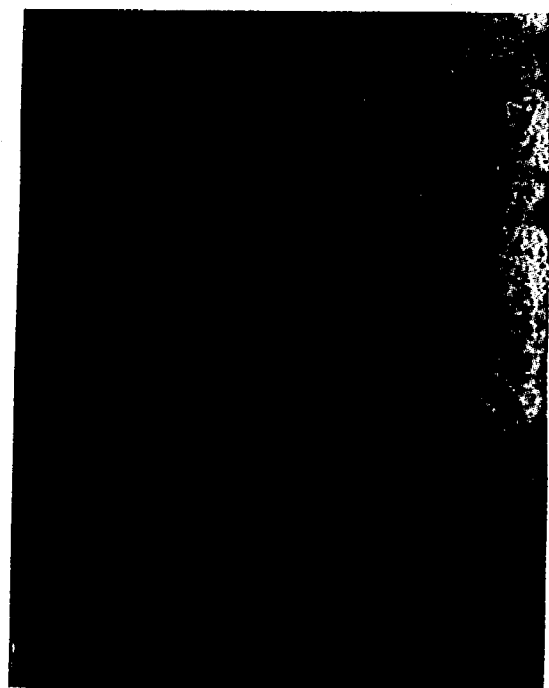


写真 Ⅲ-3 素地調整後 (St 2)

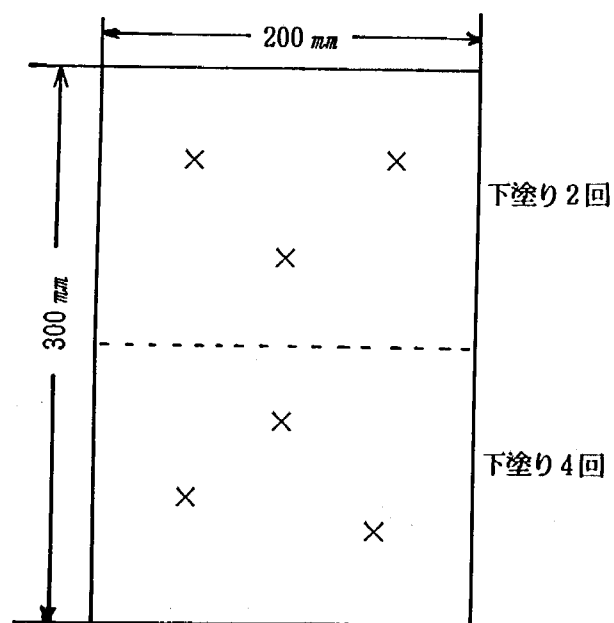
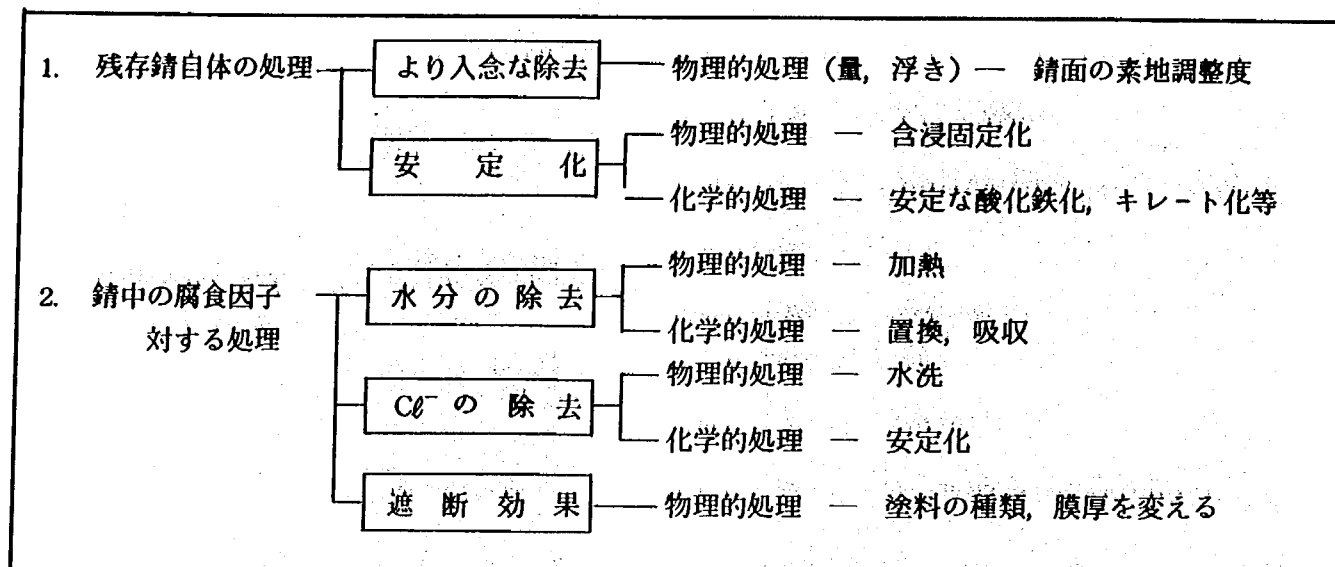


図 Ⅲ-1 膜厚測定位置

表Ⅲ-1 残存さび層の処理概念



表Ⅲ-2 さび層の処理手法

各処理に対する手法

1. 残存錆自体の処理

(1) より入念な除去

- ・物理的 (量, 浮き等) — 錆面の素地調整度 — St 3
— St 2

(2) 安定化

- ・物理的 — 含浸固定化 — 魚油変性ポリオール
- ・化学的 — キレート化 — タンニン酸, ホウ酸, ポリリン酸

2. 錆中の腐食因子の処理

(1) 水分の除去

- ・物理的 — 加熱 — 105℃×30分
- ・化学的 — 置換, 吸収 — 有機チタン酸, 湿気硬化1液ウレタン, モルタルエポキシ, 有機ケイ酸

(2) Cl⁻の除去

- ・物理的 — 水洗 — 水道水にて洗浄
- ・化学的 — 安定化 — Li OH, Ag (OH)

(3) 遮断効果

- ・物理的 — 下塗り塗料をエポキシ樹脂塗料に限定し, 塗膜厚を変える — 2回塗り
— 4回塗り

表Ⅲ-3(1) さび層の処理方法

1. 錆面の素地調整度

St 3 : ディスクサンダーとパワーブラシを駆使する。

St 2 : ハンマーとパワーブラシを駆使する。

2. 含浸固定化

- ・魚油変性ポリオール 浸透性の高い魚油と防錆力の高いインヒビターを配合し硬化剤 (TDI Type) で錆層の固定化を目的とした。

樹脂のタイプ : ポリオール樹脂

油長 : 40%

N. V : 5.9

S. G : 0.93

OH 価 : 129

酸価 : 6

硬化剤 : TDI NCO 重量% = 30.7%

防錆剤 : 塩化ベンジルトリメチルアンモニウム 0.5% 添加
 $C_6H_5CHN(CH_3)_3Cl$

混合比率 : ワニス : 硬化剤 = 77 : 33

処理方法 : 刷毛塗り

処理量 : 1g / dm²

3. キレート化

- ・タンニン酸処理 鋼材の表層に残存している錆をタンニン酸鉄に置換させる。
 又、錆層全体の安定化を考慮し、浸漬処理も行うこととした。

処理濃度 : タンニン酸 2% 水溶液

処理方法 : 刷毛塗り, 浸漬, 刷毛塗り / 浸漬

- ・ホウ酸処理 鋼材の表層に残存している錆をホウ酸により、化学的に安定化させる。

処理濃度 : ホウ酸 2% 水溶液

処理方法 : 刷毛塗り

- ・ポリリン酸処理 鋼材の表層に残存している錆をメタリン酸塩処理により化学的に安定化 (キレート化) させる。

処理濃度 : メタリン酸ナトリウム 2% 水溶液

処理方法 : 刷毛塗り

4. 水分の除去

- ・加熱処理 熱を加えて錆層中の水分を蒸発させ水分を除去する。

加熱条件 : 105℃ 30分加熱

(他の処理と組み合わせる場合においても加熱条件は上記の条件とする。)

- ・有機チタン酸処理 鋼材表面の錆層中に残存している水分をテトラブチルチタネートモノマーを塗付することにより水分を化学的に他の物質にかえる。

処理濃度 : テトラブチルチタネート (T.B.T) 2% キシレン溶液

処理方法 : 刷毛塗り

- ・湿気硬化処理 錆層中の水分を塗膜硬化反応に取入れ水分を除去する。

樹脂のタイプ : 一液型ウレタンクリヤー

N. V : 70%

S. G : 0.99

処理方法 : 刷毛塗り

処理量 : 1g / dm²

表Ⅲ-3(2) さび層の処理方法

• モルタルエポキシ 処理	錆層中の水分をモルタルの水和反応により除去する。 樹脂のタイプ： 変性エポキシ樹脂 モルタル% : 10 μm 微粉モルタルを10%添加 処理方法 : 刷毛塗り 目標膜厚 : 50 μm
• 有機ケイ酸処理	市場に出回っている従来の無機質ジシクリッチペイントよりフレキシブルな塗膜になる品質を適用することにより、無機質ジシクリッチペイントの防錆性を最大限に利用し、さらに錆層中の水分を加水分解反応により除去し、錆面とのなじみをよくし、付着性を向上させる。 樹脂のタイプ： エチルシリケート系 ($\text{SiO}_2 = 40\%$) 亜鉛量 : 塗膜中の全亜鉛量90% 処理方法 : 刷毛塗り : 15 μm
5. Cl ⁻ イオン除去	
• 水洗処理	錆層中に含浸された塩分を水道水で洗浄することにより除去する。 水量 : 0.9~2ℓ / 20sec
• 水酸化リチウム処理	錆層中に含浸された塩分を水酸化リチウムをもちいて化学的に安定化する。 ($\text{Cl}^- \rightarrow \text{LiCl}$) 処理濃度 : 水酸化リチウム2% EtOH/H₂O 溶液 処理方法 : 刷毛塗り
• 水酸化銀処理	錆層中に含浸された塩分を水酸化銀をもちいて化学的に安定化する。 処理濃度 : 水酸化銀2% 2N-NH₄OH 溶液 処理方法 : 刷毛塗り
6. 市販品の評価	市場に出回っている錆面用の塗付材料を評価判定する。 a) A : イソシアネート系 処理量 : 1.7 g / dm² b) B : ウレタン系 処理量 : 適量塗付

表Ⅲ-4(1) 試験片の製作条件

さび層の処理方法	試験片No	素地調整	さび層の処理方法	下塗り回数
無 処 理	1 - 1	St 2		2
	1 - 2	St 2		4
	1 - 3	St 3		2
	1 - 4	St 3		4
	1 - 5	St 3	一晚室内放置後下塗り	2 / 4
タンニン酸処理	2 - 1	St 2	タンニン酸2%水溶液, 刷毛塗り	2 / 4
	2 - 2	St 2	" , 浸漬 (一部クラック発生)	2 / 4
	2 - 3	St 3	" , 刷毛塗り	2 / 4
	2 - 4	St 3	" , 浸漬	2 / 4
ホウ酸処理	3 - 1	St 3	ホウ酸2%水溶液	2 / 4
	3 - 2	St 3	" + 焼く	2 / 4
ポリリン酸処理	4 - 1	St 3	メタリン酸ナトリウム2%水溶液+ろ紙で拭き取り	2 / 4
有機チタン酸処理	5 - 1	St 3	トリブチルチタネート2%キシレン溶液	2 / 4
加熱処理	6 - 1	St 3	105℃, 30分 (温かいうちに下塗りを塗る)	2 / 4
湿気硬化処理	7 - 1	St 3	湿気硬化型ウレタン, 1g/dm ² 塗布	2 / 4
モルタルエポキシ処理	8 - 1	St 3	10μm微粉モルタルを変性エポキシ塗料に10%添加, 膜厚50μm	2 / 4
有機ケイ酸処理	9 - 1	St 3	亜鉛換算85%, SiO ₂ 換算90%, 加水分解率70A 触媒量1, 膜厚15μm(ピンホールからさび発生)	2 / 4
	9 - 2	St 3	亜鉛換算85%, SiO ₂ 換算90%, 加水分解率70B 触媒量2, 膜厚15μm(ピンホールからさび発生)	2 / 4
	9 - 3	St 3	市販品, 膜厚15μm	2 / 4

表Ⅲ - 4 (2) 試験片の製作条件

さび層の処理手法	試験片No	素地調整	さび層の処理方法	下塗り回数
魚油変性 ポリオール処理	10-1	St 3	クリヤー, $1g/dm^2$	2/4
	10-2	St 3	インヒビタ- $1g/dm^2$	2/4
水洗処理	11-1	水洗後 St 3	水道水 2ℓ	2/4
	11-2	St 3	" 0.9ℓ, St 3 処理後水洗さらに軽く ケレン (パワーブラシ)	2/4
	11-3	St 3	" 1ℓ, St 3 処理後水洗さらにドライヤ -で乾燥	2/4
	11-4	St 3	" 1.1ℓ, St 3 処理後水洗ろ紙で拭き取り 2%ホウ酸処理	2/4
	11-5	St 3	" 1.2ℓ, St 3 処理後水洗さらに加熱処理 (105℃, 30分)	2/4
	11-6	St 3	" 1ℓ, St 3 処理後水洗, ろ紙で拭き取り 有機チタン酸処理	2/4
	11-7	St 3	" 1ℓ, " 湿気硬化処理	2/4
	11-8	St 3	" 1.2ℓ, " 有機ケイ酸 70B 処理	2/4
水酸化リチウム処理	12-1	St 3	水酸化リチウム 2% エチルアルコール水溶液 (多少さび発生)	2/4
水酸化銀処理	13-1	St 3	水酸化銀 2% 2N水酸化アンモニウム (さび発生)	2/4
市販品	14-1	St 3	イソシアネート系 $10.2g/6dm^2$ 塗布	2/4
	15-1	St 3	ウレタン系	2/4

表Ⅲ-5 塗付量

(単位g)

試験片No	下 塗 り				中塗り	上塗り
	1 回	2 回	3 回	4 回		
1-1	11.8	12.3	—	—	6.4	5.4
1-2	11.8	11.5	11.0	11.3	6.0	5.3
1-3	11.5	10.8	—	—	5.8	5.3
1-4	12.3	11.5	11.3	11.3	5.8	5.3
1-5	11.5	11.6	5.8	5.3	6.0	5.4
2-1	11.5	11.0	5.8	5.3	6.2	5.5
2-2	11.5	11.0	5.8	5.4	6.0	5.6
2-3	11.5	12.2	5.3	5.2	6.1	5.2
2-4	11.4	11.0	6.0	5.2	6.2	5.5
3-1	11.5	11.5	5.6	5.2	6.1	5.7
3-2	11.5	11.5	5.7	5.2	6.2	5.4
4-1	11.5	11.5	5.8	5.2	6.2	5.3
5-1	11.5	11.5	5.6	5.3	6.0	5.4
6-1	11.5	11.5	5.7	5.2	6.0	5.8
7-1	11.5	11.5	5.7	5.1	5.8	5.8
8-1	11.5	11.4	5.6	5.3	6.0	5.5
9-1	11.5	11.5	5.6	5.1	5.8	5.6
9-2	11.5	11.5	5.7	5.0	5.8	5.7
9-3	11.5	11.5	5.5	5.1	6.3	5.8
10-1	11.5	11.5	5.8	5.5	5.8	5.6
10-2	11.5	11.5	6.1	5.3	6.0	5.8
11-1	11.4	11.5	6.0	5.2	6.1	6.2
11-2	11.0	11.5	5.8	5.1	6.0	6.5
11-3	11.2	11.5	5.5	5.1	6.0	5.8
11-4	10.8	11.5	5.9	5.4	5.9	5.7
11-5	10.9	11.3	5.9	5.2	6.2	5.8
11-6	11.5	11.5	5.6	5.5	6.0	5.9
11-7	11.5	12.0	5.7	5.1	6.1	5.8
11-8	11.5	11.6	6.0	5.1	6.2	5.9
12-1	11.5	11.5	5.5	5.1	6.1	6.1
13-1	11.2	11.5	5.8	5.0	5.9	6.4
14-1	11.5	11.3	5.5	5.3	5.8	6.2
15-1	11.5	11.5	5.6	5.2	6.0	6.1

表Ⅲ-6 下塗り終了時の膜厚測定結果

試験片 No	下塗り 2 回の膜厚 (μm)			平均値	下塗り 4 回の膜厚 (μm)			平均値
1-1	165	180	155	172	185	175	170	—
1-2	280	320	320	—	320	285	290	303
1-3	170	160	175	158	185	140	120	—
1-4	230	285	275	—	280	245	285	267
1-5	115	140	170	142	280	240	205	242
2-1	145	145	160	150	270	250	205	242
2-2	180	175	165	173	285	280	245	270
2-3	125	145	135	135	245	270	240	252
2-4	140	145	130	138	270	270	230	257
3-1	165	120	120	135	310	245	240	265
3-2	140	110	155	135	300	205	215	240
4-1	130	120	165	138	290	210	200	233
5-1	115	125	125	122	200	225	235	220
6-1	135	135	145	138	230	260	230	240
7-1	180	170	220	190	350	280	280	303
8-1	170	175	195	180	310	300	270	293
9-1	170	180	150	167	300	230	225	252
9-2	150	150	160	153	275	230	210	238
9-3	145	150	170	155	245	230	250	242
10-1	185	170	205	187	340	290	350	327
10-2	195	165	200	187	350	305	310	322
11-1	110	125	125	120	275	210	210	232
11-2	150	155	115	140	260	255	230	248
11-3	165	165	180	170	245	215	195	218
11-4	140	175	135	150	235	250	205	230
11-5	180	210	195	195	270	225	205	233
11-6	155	165	150	157	280	335	240	285
11-7	180	210	195	195	355	295	265	305
11-8	135	145	185	155	330	285	230	282
12-1	115	105	145	122	300	250	210	253
13-1	140	135	150	142	235	195	205	212
14-1	165	140	190	165	280	255	250	262
15-1	140	170	185	165	285	225	205	238

(注) 1-1, 1-3 は全面下塗り 2 回
 1-2, 1-4 " 4 回

表Ⅲ-7 上塗り完了後の膜厚

試験片No	下塗り2回の膜厚 (μm)			平均値	下塗り4回の膜厚 (μm)			平均値
1-1	245	280	360	282	282	272	254	—
1-2	383	410	400	—	450	352	430	404
1-3	210	245	254	225	198	222	222	—
1-4	370	370	437	—	420	382	315	382
1-5	252	253	229	245	382	385	325	364
2-1	236	257	250	248	460	320	360	380
2-2	218	224	270	237	425	405	470	433
2-3	210	223	200	211	415	390	365	390
2-4	260	272	173	235	370	410	400	393
3-1	242	205	223	223	425	435	310	390
3-2	250	248	200	233	470	335	325	377
4-1	203	228	240	224	405	328	317	350
5-1	212	247	218	226	390	385	340	372
6-1	227	210	238	225	430	363	382	392
7-1	265	330	355	317	465	430	400	432
8-1	300	340	370	337	500	405	450	452
9-1	260	258	295	271	415	360	380	385
9-2	230	218	247	232	405	350	410	388
9-3	270	305	250	275	435	420	420	425
10-1	292	270	370	311	490	480	475	482
10-2	280	330	315	308	500	500	445	482
11-1	238	214	243	232	430	390	327	382
11-2	235	243	260	246	430	400	362	397
11-3	280	215	272	256	445	460	350	418
11-4	253	223	260	245	440	380	405	408
11-5	220	235	260	238	435	380	323	379
11-6	230	260	253	248	395	440	420	418
11-7	323	325	370	339	500	480	440	473
11-8	283	258	339	293	500	425	470	465
12-1	222	257	253	244	500	480	400	460
13-1	285	300	222	269	390	410	365	388
14-1	240	272	313	275	460	430	395	428
15-1	220	255	295	257	480	405	410	432

(注) 1-1, 1-3は全面下塗り2回
1-2, 1-4 " 4回

表Ⅲ - 8 (1) 外観観察結果

試験板 No	さび面処理	暴 露 期 間							
		1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	10ヶ月		1年		2年
					フクレ	サビコブ	フクレ	サビコブ	
1-1	素地調整のみ	なし	8M	8MD	8MD	F	8D	大M	第6次試験板として 使用
1-2	"	"	8F	8M	6M	M	8MD	大MD	"
1-3	"	"	8M	8MD	6D	VF	8MD	中F	"
1-4	"	"	8M	6M	6MD	なし	8MD	なし	"
1-5	" (24時間放置)	"	8MD 8F	8MD 8F	8D *8F	"	8D *8D	大M 大F	9D 9D
2-1	タニシ酸	"	8M 8F	8D 8M	8D 8MD	M M	6D *6D	大MD 大MD	全面2D サビコブ
2-2	"	"	6M 6M	6M 6M	6M 6M	M M	6MD 6MD	大MD 大MD	全面2MD サビコブ
2-3	"	"	8M 8F	8D 8F~M	8D *8M	F F	8D 8D	中F 中F	8D 8D
2-4	"	"	6M 6M	6MD 6MD	6M 6M	M なし	4MD 4MD	なし "	4M 6M
3-1	ホウ酸	"	8M 8F	8M 8F	8D 8MD	F VF	8D *8D	中F 中F	8D 8MD
3-2	"	"	8M 8F	8MD 8F	8D 8MD	なし "	8D *8D	なし "	8D 8MD
4-1	ポリリン酸	"	8MD 8F	8D 8M	6MD 6M	" "	8D 8D	" "	6D 6MD
5-1	有機チタン酸	"	8MD 8F	8D 8M	6D 6MD	F なし	8D 8D	" "	8D 8D
6-1	加熱	"	8MD 8M	8MD 8MD	6MD 6M	F F	8D *8D	" "	8MD 8MD
7-1	湿気硬化	"	8D 8F	8D 8M	8D *8M	なし "	8D *8D	" "	*8D *8D
8-1	モルタルエポキシ	"	8M 8F	8M 8F	*8M *8F	" "	8D *8D	" "	8MD 8M
9-1	有機ケイ酸	"	6M 6M	6MD 6MD	6M 6M	" "	4~6MD 4~6MD	" "	4M 4MD
9-2	"	"	6MD 6M	8D 8D	4MD 6M	" "	4D 4D	" "	4D 4D
9-3	"	"	6M 6M	6D 6M	4M 6M	F F	4MD 4A	" "	4~2M 4~2M
10-1	魚油変性ポリオール	"	8D 8F	8D 8F	8D 6M	なし "	6D *6D	" "	6D 6MD
10-2	"	"	8D 8F	8D 8M	6D 6M	" "	6D *6D	" "	6D 6MD

表Ⅲ - 8 (2) 外観観察結果

試験片 No	さび面処理	暴 露 期 間							
		1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	10ヶ月		1年		2年
					フクレ	サビコブ	フクレ	サビコブ	
11-1	水洗	なし	8MD 8F	8MD 8F	8MD 8M	なし	8MD * 8MD	なし	8M 8M~F
11-2	"	"	8D 8M	8D 8M	6D 8M	"	6D * 6D	"	6D 6MD
11-3	"	"	8D 8M	8D 8MD	8D 8M	"	8D * 8D	"	6D 6D
11-4	水洗・ホウ酸	"	8MD 8M	8MD 8M	6MD 6M	"	6D 6MD	"	6D 4M
11-5	水洗	"	8D 8M	8D 8M	8D 8M	F F	8D * 8D	大 F 大 F	8D 6MD
11-6	水洗 有機チタン酸	"	8MD 8M	8D 8M	6MD 6M	VF VF	6D 6D	大 M 大 M	6D 部分的に 6MD サビ
11-7	水洗 湿気硬化	"	8D 8F	8D 8F	8D * 8M	なし	8D 8D	なし	8D * 8MD
11-8	水洗 有機ケイ酸	"	6M 6M	6D 6MD	6MD 6M	"	4D 4D	"	2D 4D
12-1	水酸化リチウム	"	8D 8F	8D 8F	* 8D * 8F	"	8D * 8D	"	8D 8D
13-1	水酸化銀	"	8D 8F	8D 8M	8D 8MD	"	8D 8D	大 F 大 し	8D 8D
14-1	市販品 A	"	8D 8F	8D 8F	8M * 8F	"	8D * 8D	大 F 大 し	9D 9D
15-1	市販品 B	"	8D 8F	8D 8F	* 8D * 8M	"	8D * 8D	大 F 大 し	9D 9D

(注) *: フクレの高さが低い物

上段は下塗り2回

下段は下塗り4回

表Ⅲ-9(1) アドヒージョン試験結果

試験板 No	1 年 後		2 年 後		2 年後 (再試験)	
	付着力 (Kgf/cd)	剥離箇所	付着力 (Kgf/cd)	剥離箇所	付着力 (Kgf/cd)	剥離箇所
1-1	—	—	—	—	—	—
1-2	20	錆及び下塗 100 %	—	—	—	—
1-3	—	—	—	—	—	—
1-4	38	錆及び下塗 80 % 中塗膜間 20 %	—	—	—	—
1-5	—	—	20	素地 100 %	—	—
2-1	10	錆層間 100 %	5	素地 100 % (赤錆発生)	—	—
2-2	—	—	18	素地 60 % 接着剤 40 %	15 (右側) 15 (左側)	素地 100 % 素地 100 %
2-3	20	錆層間 100 %	15	素地 100 %	—	—
2-4	—	—	23	素地 100 %	—	—
3-1	—	—	19	素地 5 % 接着剤 95 %	18 (右側) 27 (左側)	素地 100 % 素地 100 %
3-2	26	錆及び下塗 100 %	23	接着剤 100 %	31 (右側) 30 (左側)	素地50%接着50% 素地95%接着 5 %
4-1	—	—	11	素地 100 %	—	—
5-1	—	—	19	素地 100 %	—	—
6-1	—	—	30	接着剤 100 %	43 (右側) 25 (左側)	素地50%膜間50% 素地70%膜間30%
7-1	46	錆層間 100 %	20	素地 5 % 接着剤 95 %	22 (右側) 17 (左側)	素地 100 % 素地40%接着60%
8-1	48	錆及び下塗 75 % 中塗膜間 25 %	31	素地 30 % 接着剤 70 %	30 (右側) 36 (左側)	素地 100 % 素地50%膜間50%
9-1	—	—	14	素地 100 % (赤錆発生)	—	—
9-2	—	—	10	素地 100 % (赤錆発生)	—	—
9-3	—	—	10	素地 100 % (赤錆発生)	—	—
10-1	—	—	22	素地 100 %	—	—
10-2	—	—	11	素地 100 %	—	—

表Ⅲ-9(2) アドヒージョン試験結果

試験板 No	1 年		2 年 後		2 年後 (再試験)	
	付着力 (Kgf/cm)	剥離箇所	付着力 (Kgf/cm)	剥離箇所	付着力 (Kgf/cm)	剥離箇所
11-1	60	錆及び下塗 20% 中塗膜間 80%	33	素地 5% 接着剤 95%	50 (右側) 70 (左側)	膜間90%接着10% 膜間90%接着10%
11-2	—	—	11	素地 95% 接着剤 5%	—	—
11-3	—	—	20	素地 100%	—	—
11-4	—	—	20	素地 100%	—	—
11-5	—	—	20	素地 100%	—	—
11-6	—	—	19	素地 100%	—	—
11-7	—	—	19	素地 100%	—	—
11-8	—	—	8	素地 100% (赤錆発生)	—	—
12-1	49	錆層間 100%	26	接着剤 100%	18 (右側)	素地 100%
13-1	—	—	30	素地 85% 接着剤 15%	—	—
14-1	—	—	21	素地 5% 接着剤 95%	—	—
15-1	—	—	26	素地 30% 接着剤 70%	—	—

* 接着剤: 6時間2液型エポキシ

* 接着剤: 5分間2液型エポキシ

* 接着剤: 6時間2液型エポキシ

6.5 試験結果

暴露1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月、10ヶ月、1年及び2年目の外観観察結果を表Ⅲ-8(1)～8(2)に示す。1年目と2年目のアドヒージョン試験の結果を表Ⅲ-9(1)～9(2)に示す。このとき、2年目の試験で剥離箇所が接着剤50%以上のものについては接着剤の接着強度が弱かったと考えられるので、より接着力の強い接着剤に変えて再試験をした。

6.6 まとめ

第3次試験結果より以下のことが明らかとなった。

- (1) 早期ふくれを完全に防止できる処理方法は見い出されなかった。
- (2) 比較的ふくれが小さく、かつ数が少ない処理方法は、処理によって膜厚が加算される系と、さび層中の水分が少なくなっていると思われる系であった。
 - 1) 素地調整後24時間室内に放置した系
 - 2) ホウ酸処理で塗膜の厚い系
 - 3) 素地調整後加熱処理(105℃, 30分)した系
 - 4) 湿気硬化処理で塗膜の厚い系
 - 5) モルタルエポキシ(処理膜厚が加算される。)
 - 6) 水洗後素地調整した系(素地調整時の熱の効果)
 - 7) 水洗後湿気硬化処理で塗膜の厚い系
 - 8) 市販品A及びB(処理膜厚が加算される)
- (3) 比較的塗膜の付着性の良い系は、さび層中の水分を除去する系であった。
 - 1) 素地調整後加熱処理した系
 - 2) モルタルエポキシ(モルタルが水分と反応)
 - 3) 水洗後素地調整した系
 - 4) 水酸化銀処理

以上をまとめると、さび層の処理方法として多少なりとも効果の期待できそうなものもあるが、何れの処理方法でも早期ふくれが生じており、海浜地区におけるさびの有効な処理方法は見られなかった。しかしながら、膜厚が厚く、さび面との付着性がよい材料は、さび面へ適用できる可能性のあることが明らかとなった。

7. 第4次試験の試験内容と試験結果

7.1 目的

第4次試験は第3次試験で、極く初期の時点で効果の見られたホウ酸処理と、従来からさびの処理方法として知られているタンニン酸処理をよりさび層の内部まで浸透させさらに効果を発揮させることを目的とする。

7.2 概要

海浜地区で生じるさびは、電動工具で素地調整しても鉄素地の内部に食い込んださび中の塩分や水分によって塗膜にふくれが生じてしまうため、ホウ酸とタンニン酸をさび層の内部まで浸透させるため、溶媒を水以外のものにしたり、水溶液のpHの調整を行ない、第3次試験と平行して促進試験を行った。

7.3 試験片の製作

7.3.1 さび板

黒皮鋼板（ $150 \times 100 \times 3 \text{ mm}$ ）を千葉県飯岡に3ヶ月暴露してさびさせた。（写真IV-1）

7.3.2 素地調整

(1) さび面

さび板を電動工具（パワーブラシ）でSt 2に調整した。また、2枚はサンドブラスト処理を行った。

（写真IV-2）

(2) ブラスト面

黒皮付き鋼板2枚をサンドブラストでSa 2.5に調整した。（写真IV-3）

7.3.3 さび層の処理

さび層を処理するにあたって、ホウ酸とタンニン酸の溶媒をアルコールとアセトンにしたときの溶解性及びpH調整方法についてあらかじめ溶液で検討を行った。処理方法を表IV-1に示す。

7.3.4 塗装

さび層の処理を行った試験片に、厚膜型エポキシ樹脂下塗り塗料 $60 \mu\text{m} \times 1$ 回、ポリウレソン用中塗り塗料 $30 \mu\text{m} \times 1$ 回、ポリウレタン上塗り塗料 $30 \mu\text{m} \times 1$ 回を塗装した。ただし、下塗り塗装時にピンホールが見られたので、すべてのさび面処理方法の-2と-3にミストコート（30%シンナー希釈）を一層入れた。-2は下塗り塗装と同じ日のうちに、-3は下塗りの翌日に入れた。

7.3.5 塗付量と膜厚

(1) 塗付量

下塗りの塗付量にはミストコートも含んでいる。

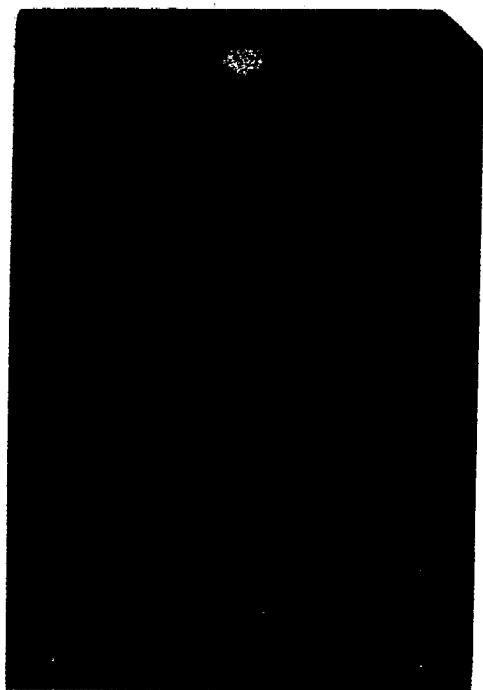
(2) 膜厚

上塗り完了後に膜厚を図IV-1に示す位置で測定した。

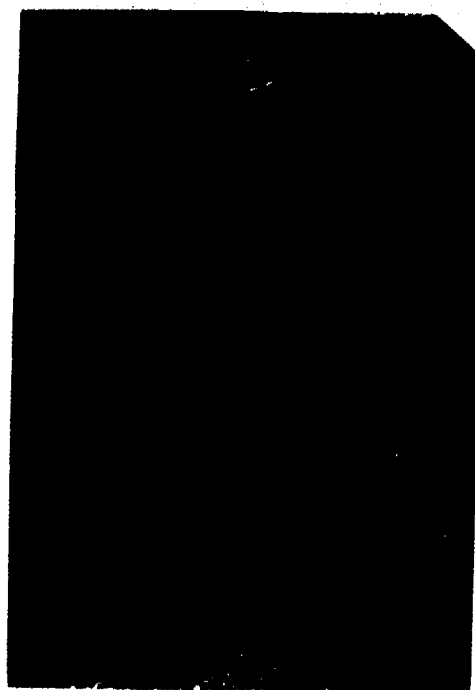
塗付量と膜厚の測定結果を表IV-2(1)～2(2)に示す。

7.4 促進試験

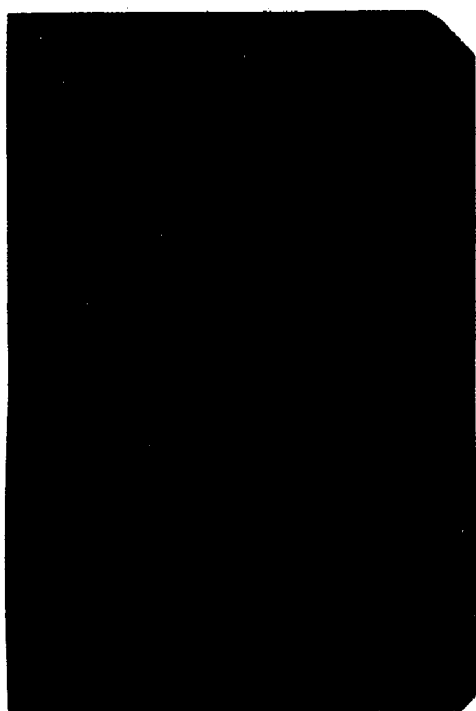
52枚の試験片の塩水噴霧試験を行ない、24、48、400時間後に塗膜の外観観察を行った。



写真Ⅳ-1 さび板



写真Ⅳ-2 さび板の素地調整後(St2)

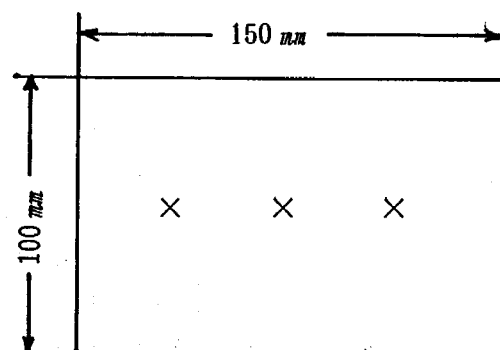


写真Ⅳ-3 さび板のサンドブラスト処理後

表Ⅳ－１ さび層の処理方法

処理系	処 理 方 法
ホ ウ 酸 系	ホウ酸 2%水溶液
	ホウ酸 2%アルコール溶液 (エチルアルコール)
	ホウ酸 2%アセトン水溶液 (アセトン/水=1)
	ホウ酸 2%水溶液 (pH=7に調整)
	ホウ酸 2%水溶液 (pH=9に調整)
	ホウ酸 2%水溶液 (pH=12に調整)
	ホウ酸 2%水溶液 (インヒビター1%添加) 注1)
	ホウ酸 2%水溶液 (硝酸ナトリウム1%添加)
	ホウ酸 2%水溶液 (界面活性剤添加)
タンニン酸系	タンニン酸 2%水溶液
	タンニン酸 2%水溶液に浸漬後拭き取り
	タンニン酸 2%アルコール溶液 (エチルアルコール)
	タンニン酸 2%アセトン溶液
	タンニン酸 2%水溶液 (pH=7に調整)
	タンニン酸 2%水溶液 (pH=9に調整)

注1) 塩化ベンジルトリメチルアンモニウム



図Ⅳ－１ 膜厚測定位置 (×印)

表IV-2(1) 塗付量と膜厚測定結果

さび層の処理	試験片No	塗 付 量 (g)			膜 厚 (μm)				備 考
		下塗り	中塗り	上塗り	上塗り完了後の膜厚		平均値		
素地調整のみ (St2)	1-1	3.0	1.5	1.0	160	172	172	168	1-3は片面 のみミストコート
	1-2	3.95	〃	〃	140	145	138	141	
	1-3	3.0(0.44)	〃	〃	148 177	125 171	134 153	136 167	
黒皮ブラスト	2-1	3.0	〃	〃	119	122	115	119	
	2-2	4.0	〃	〃	122	113	124	120	
さび面ブラスト	3-1	3.0	〃	〃	125	122	125	124	
	3-2	4.2	〃	〃	120	119	150	130	
ホウ酸2%水溶液	4-1	3.0	〃	〃	137	135	145	139	
	4-2	4.05	〃	〃	161	170	160	167	
	4-3	4.0	〃	〃	172	163	169	168	
ホウ酸2% アルコール溶液	5-1	3.0	〃	〃	155	130	138	141	
	5-2	4.05	〃	〃	160	142	173	158	
	5-3	4.0	〃	〃	168	156	148	157	
ホウ酸2% アセトン水溶液	6-1	3.0	〃	〃	156	150	168	158	
	6-2	3.87	〃	〃	170	154	161	162	
	6-3	4.0	〃	〃	171	148	172	164	
ホウ酸2%水溶液 (pH=7)	7-1	3.0	〃	〃	138	154	141	144	
	7-2	3.89	〃	〃	138	153	181	157	
	7-3	4.0	〃	〃	177	148	162	161	
ホウ酸2%水溶液 (pH=9)	8-1	3.0	〃	〃	151	163	155	156	
	8-2	3.83	〃	〃	155	162	160	159	
	8-3	4.0	〃	〃	160	171	160	164	
ホウ酸2%水溶液 (pH=12)	9-1	3.04	〃	〃	168	159	142	156	
	9-2	4.02	〃	〃	160	161	160	160	
	9-3	4.0	〃	〃	171	152	148	157	
ホウ酸2%水溶液 (インヒビター1%)	10-1	3.0	〃	〃	157	163	150	157	
	10-2	4.03	〃	〃	180	188	160	176	
	10-3	4.0	〃	〃	177	143	168	163	
ホウ酸2%水溶液 (硝酸ナトリウム1%)	11-1	3.0	〃	〃	140	163	160	154	
	11-2	4.06	〃	〃	157	189	171	172	
	11-3	4.0	〃	〃	172	187	204	188	
ホウ酸2%水溶液 (界面活性剤)	12-1	3.0	〃	〃	140	149	152	147	
	12-2	4.06	〃	〃	159	172	152	161	
	12-3	4.0	〃	〃	190	183	165	179	
タンニン酸2% 水溶液	13-1	3.0	〃	〃	158	152	161	157	
	13-2	3.9	〃	〃	172	172	190	178	
	13-3	4.0	〃	〃	157	170	160	162	
タンニン酸2%水溶液 (拭き取り)	14-1	3.12	〃	〃	120	128	150	133	
	14-2	3.96	〃	〃	150	137	167	151	
	14-3	4.0	〃	〃	170	149	166	162	

表Ⅳ－2(2) 塗付量と膜厚の測定結果

さび層の処理	試験片No	塗 付 量 (g)			膜 厚 (μm)				備 考
		下塗り	中塗り	上塗り	上塗り完了後の膜厚			平均値	
タンニン酸2% アルコール溶液	15-1	3.0	1.5	1.0	153	165	160	159	
	15-2	3.85	"	"	162	158	170	163	
	15-3	4.0	"	"	172	159	142	158	
タンニン酸2% アセトン溶液	16-1	2.93	"	"	156	134	148	146	
	16-2	4.01	"	"	152	156	144	151	
	16-3	4.0	"	"	157	188	150	165	
タンニン酸2%水溶液 (pH=7)	17-1	3.0	"	"	178	155	160	164	
	17-2	4.01	"	"	164	163	161	163	
	17-3	4.0	"	"	158	147	146	150	
タンニン酸2%水溶液 (pH=9)	18-1	3.15	"	"	154	153	162	156	
	18-2	4.04	"	"	172	180	155	169	
	18-3	4.0	"	"	150	178	168	165	

7.5 試験結果

塩水噴霧試験24時間でNo. 1, 11, 14, 15, 16, 17に極く微少なふくれを生じた, さらに48時間ではNo. 2と3のブラスト処理を除いてすべてに微少なふくれが生じた。また, 400時間における塗膜の外観観察結果を表Ⅳ－3に示す。

表IV-3. 外観観察結果（塩水噴霧400時間）

さび層の処理	試験片No	ふくれ	さび層の処理	試験片No	ふくれ
素地調整のみ (St 2)	1-1	6 MD	ホウ酸 2% 水溶液 (硝酸ナトリウム 1%)	11-1	6 MD
	1-2	6 MD		11-2	6 MD
	1-3	6 MD		11-3	6 MD
黒皮ブラスト	2-1	異常なし	ホウ酸 2% 水溶液 (界面活性剤)	12-1	6 MD
	2-2	"		12-2	6 MD
さび面ブラスト	3-1	"		12-3	6 MD
	3-2	"	タンニン酸 2% 水溶液	13-1	6 MD
ホウ酸 2% 水溶液	4-1	6 MD		13-2	6 MD
	4-2	6 MD		13-3	6 MD
	4-3	6 MD	タンニン酸 2% 水溶液 (拭き取り)	14-1	6 MD
ホウ酸 2% アルコール溶液	5-1	6 MD		14-2	6 MD
	5-2	6 MD		14-3	6 MD
	5-3	6 MD	タンニン酸 2% アルコール 溶液	15-1	6 MD
ホウ酸 2% アセトン水溶液	6-1	6 MD		15-2	6 MD
	6-2	6 MD		15-3	6 MD
	6-3	6 MD	タンニン酸 2% アセトン 溶液	16-1	6 MD
ホウ酸 2% 水溶液 (pH=7)	7-1	6 MD		16-2	6 MD
	7-2	6 MD		16-3	6 MD
	7-3	6 MD	タンニン酸 2% 水溶液 (pH=7)	17-1	6 MD
ホウ酸 2% 水溶液 (pH=9)	8-1	4~6 MD		17-2	6 MD
	8-2	4~6 MD		17-3	6 MD
	8-3	4~6 MD	タンニン酸 2% 水溶液 (pH=9)	18-1	6 MD
ホウ酸 2% 水溶液 (pH=12)	9-1	4~6 MD		18-2	6 MD
	9-2	4~6 MD		18-3	6 MD
	9-3	4~6 MD			
ホウ酸 2% 水溶液 (インヒビター 1%)	10-1	6 MD			
	10-2	6 MD			
	10-3	6 MD			

7.6 まとめ

第4次試験の結果より、以下のことが明らかとなった。

- 1) プラスト処理を除くすべての試験片にふくれが発生した。
- 2) ホウ酸処理とタンニン酸処理を比較すると極くわずかであるがホウ酸処理の方がふくれの発生が遅かったが、さび面の処理効果としての差はないと考えられる。
- 3) ホウ酸処理、タンニン酸処理共に溶媒を変えたり pH を調整した効果はなかった。

以上のことから塩分や水分を含んださび面を化学的な処理で塗膜の耐久性を向上させることは極めて困難であり、さび面でもプラスト処理してさびを完全に除去することが最も有効であることが判明した。

7.7 追加試験

海浜地区で生じた塩分や水分を含んださび面で早期にふくれが生じる原因を究明することを目的として追加試験を実施した。

7.7.1 試験片

さび板：第4次試験と同じもの

素地調整：電動工具 St 2

塗装仕様：厚膜型エポキシ樹脂下塗り塗料 $60\mu\text{m} \times 1$ 回、ポリウレタン用中塗り塗料 $30\mu\text{m} \times 1$ 回、ポリウレタン上塗り塗料 $30\mu\text{m} \times 1$ 回

7.7.2 試験条件

- (1) 35℃の恒温槽
- (2) 35℃の5% NaCl 溶液に浸漬
- (3) 35℃の温水中に浸漬
- (4) 塩水噴霧試験

7.7.3 試験結果

24時間、48時間及び140時間後の塗膜外観観察結果を表Ⅳ-4に示す。

表Ⅳ-4 早期ふくれ原因究明試験

試験条件 \ 試験時間	24時間	48時間	140時間
35℃の恒温槽	異状なし	異状なし	異状なし
35℃の5% NaCl 溶液浸漬	8 FM	8 FM	8 M
35℃の温水中に浸漬	8 F	8 ~ 6 F	6 FM
塩水噴霧試験 (35℃, 5% NaCl)	8 FM	8 FM	8 M

7.7.4 結論

追加試験結果より、以下のことが明らかとなった。

- (1) 外部に塩分も水もない条件ではふくれは発生しない。
- (2) 外部に塩分と水がある条件では、早期にふくれが発生する。
- (3) 外部に水のみがある条件でも早期にふくれが発生する。

以上のことにより、海浜地区で生じた塩分や水分を含んださび面に塗装した塗膜に早期ふくれが発生する原因として、外部の水が塗膜を浸透し、鍍中の塩分を溶かし鉄素地をさらに腐食させることが考えられる。

8. 第5次試験の試験内容及び試験結果

8.1 目的

第3次、第4次試験の結果、塩分や水分を含んでいるさび層を化学的な方法などで処理してもあまり効果のないことが明らかとなった。

このため、第5次試験は外部からの水分の透過を抑えるため膜厚を厚くすることと、鉄素地面での腐食の進行による膨張力に対抗できるような硬い塗膜のさび面での有効性を調べることを目的として行った。

8.2 概要

さび層の生成条件、素地調整程度、膜厚の効果及び塗装システムの差などを暴露試験（阿字ヶ浦と駿河湾）と促進試験（塩水噴霧試験）ならびに塗膜物性試験（引張試験、透湿度試験）を行ない、さび面への適用できる塗装系を見い出した。

8.3 試験片の製作

8.3.1 さび板

サンドブラストした鋼板（ $200 \times 300 \times 6 \text{ mm}$ と $150 \times 100 \times 3 \text{ mm}$ ）を千葉県飯岡で1ヶ月及び3ヶ月暴露してさびさせたものと、千葉県千倉で3ヶ月暴露してさびさせたものを使用した。塗膜下でのさびの発生を再現する目的でブラスト板にポリウレタン樹脂塗料を $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 塗装して飯岡に3ヶ月暴露してさびさせた4種類のさび板を製作した。（写真V-1～4）

8.3.2 素地調整

さび板をサンドブラストでSa 1、2及び2.5と電動工具でSt 3に素地調整した。また、黒皮鋼板をサンドブラストでSa 2.5に素地調整した。（写真V-5～10）

8.3.3 塗装仕様

下塗りとしてエポキシ樹脂塗料（ $200, 400, 1000 \mu\text{m}$ ）及び比較として本州四国連絡橋公団の塗り替え塗装仕様を1種類採用し、中塗りにはポリウレタン用中塗り塗料 $30 \mu\text{m} \times 1$ 回、上塗りにはポリウレタン上塗り塗料 $30 \mu\text{m} \times 1$ 回を塗装した。塗装試験片を表V-1に示す。

8.3.4 塗付量と膜厚

塗装試験片の塗付量を表V-2、3に、また下塗り終了時及び上塗り完了後の膜厚は図V-1に示す位置で測定した結果を表V-4～7に示す。

8.4 試験内容

8.4.1 さびに関する調査

(1) さび層の厚さ

素地調整前のさび板のさび層の厚さを、ケットLX-300で各暴露条件ごとに小型試験片2枚ずつ（飯岡3ヶ月暴露ウレタン塗装については1枚）図V-1に示す5点について測定した。ただし、千倉3ヶ月暴露のさび板は、さびが浮いていて取り扱い中にはがれたりしているため、さび層が厚く付いている位置で測定した。

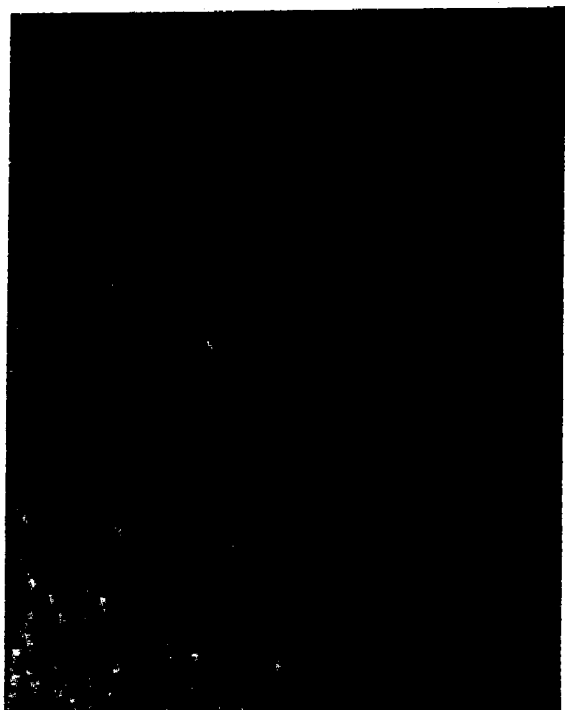


写真 V-1 さび板 (飯岡 1 ヶ月暴露)

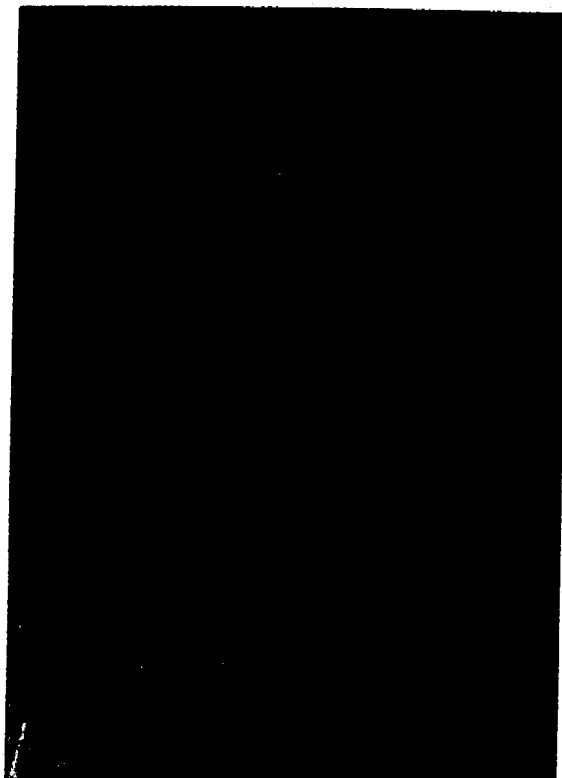


写真 V-2 さび板 (飯岡 3 ヶ月暴露)

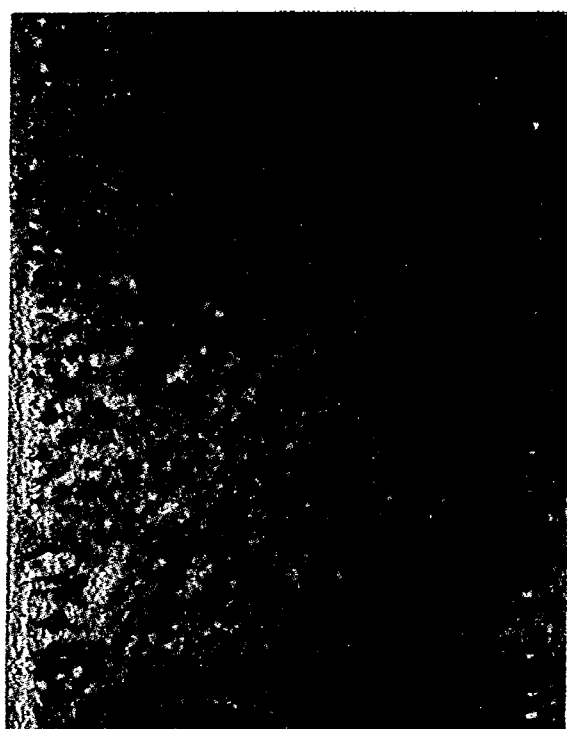


写真 V-3 さび板 (千倉 3 ヶ月暴露)

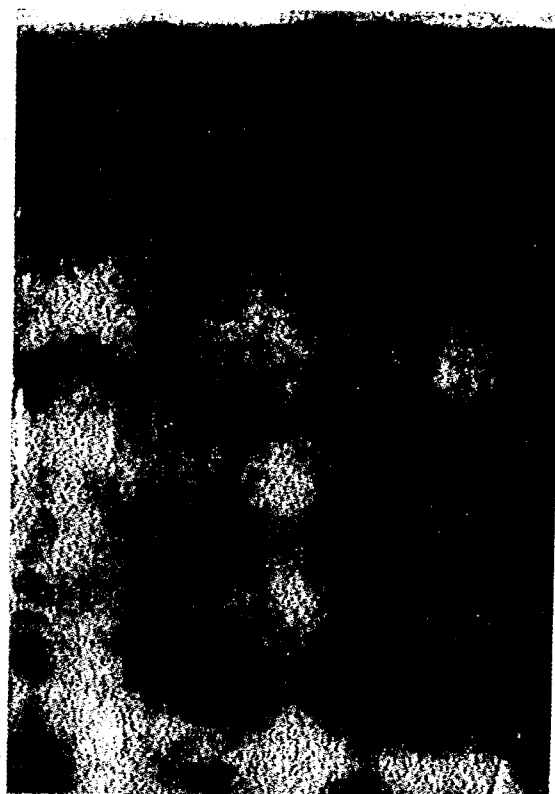
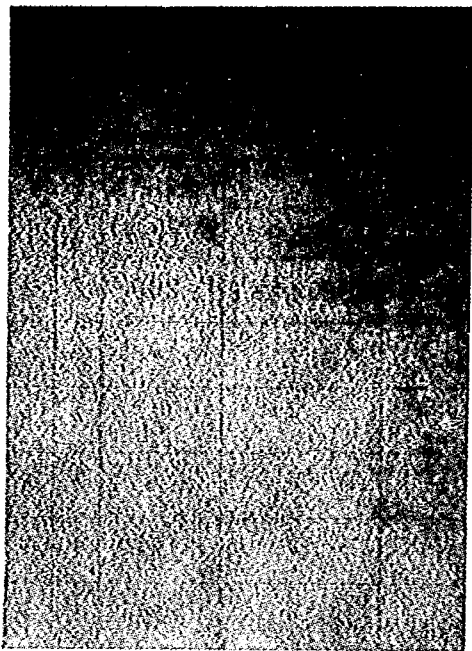
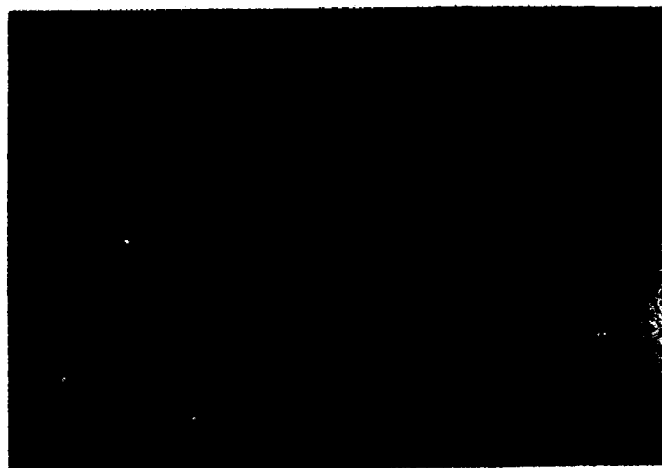


写真 V-4 塗膜下のさび (飯岡 3 ヶ月暴露)



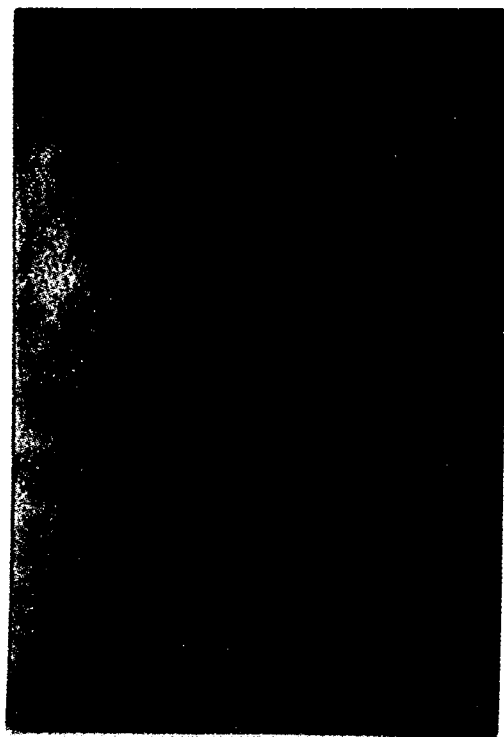
写真V-5 黒皮 (Sa 2.5)



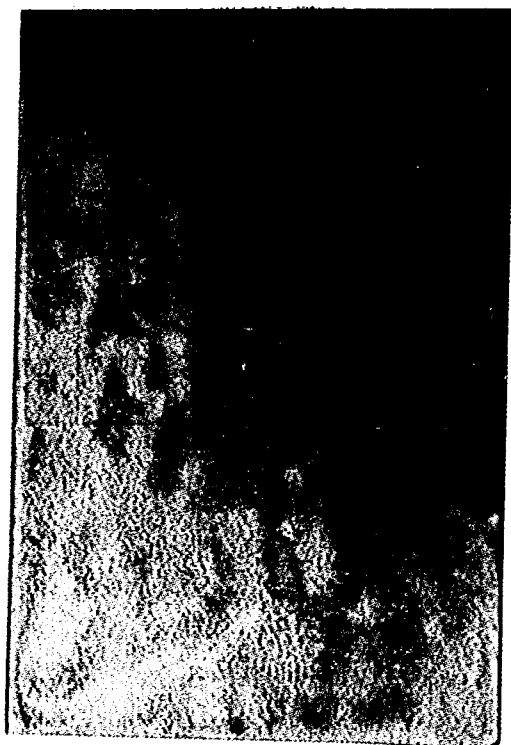
写真V-6 飯岡暴露3ヶ月 (Sa 2)



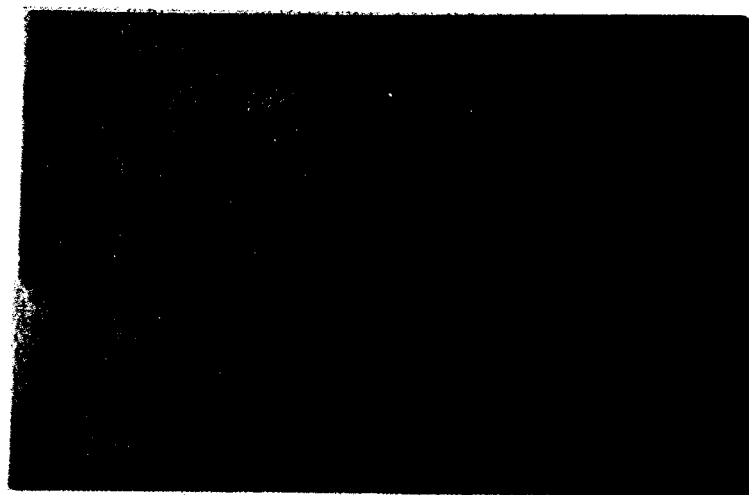
写真V-7 飯岡暴露3ヶ月 (Sa 1)



写真V-8 飯岡暴露3ヶ月 (St 2)



写真V-9 飯岡暴露3ヶ月 (St 3)



写真V-10 千倉暴露3ヶ月 (St 2)

表 V - 1. 試 験 片 の 種 類

試験片 No	素 地	素地調整	塗 装 仕 様			下塗り目標 膜厚(μm)	数 量	
			下 塗 り	中 塗 り	上塗り		大 ₃₎	小
1	黒 皮	Sa 2.5	補修用 EP 70 μm×3	PU用中塗 30 μm×1	PU 30 μm×1	200	2	2
2	飯岡 3 ケ月	Sa 2	" "	"	"	"	"	"
3	黒 皮	Sa 2.5	プライマー及び GF 100 μm×2	"	"	"	"	"
4	飯岡 3 ケ月	Sa 2	" "	"	"	"	"	"
5	飯岡 1 ケ月	St 2	補修用 EP 70 μm×3	"	"	"	1	"
6	飯岡 3 ケ月 ウレタン塗装	"	" "	"	"	"	"	"
7	飯岡 1 ケ月	"	プライマー及び GF 100 μm×2	"	"	"	"	"
8	飯岡 3 ケ月 ウレタン塗装	"	" "	"	"	"	"	"
9	飯岡 3 ケ月	"	補修用 EP 70 μm×3	"	"	"	2	"
10	"	"	" 100 μm×4	"	"	400	"	"
11	"	"	" 200 μm×5	"	"	1,000	"	"
12	"	"	プライマー及び GF 100 μm×2	"	"	200	1	"
13	"	"	" 100 μm×4	"	"	400	2	"
14	"	"	" 200 μm×5	"	"	1,000	"	"
15	"	St 3	補修用 EP 70 μm×3	"	"	200	"	"
16	千倉 3 ケ月	St 2	" "	"	"	"	1	"
17	"	"	" 100 μm×4	"	"	400	"	"
¹⁾ 18	飯岡 3 ケ月 ウレタン塗装	"	" 70 μm×3	"	"	200	"	"
19	飯岡 3 ケ月	"	無溶剤 EP 1,000 μm×1	"	"	1,000	2	"
20	"	Sa 1	補修用 EP 70 μm×3	"	"	200	1	"
¹⁾ 21	"	St 2	" "	"	"	"	"	"
²⁾ 22	"	Sa 2	有機質ジンクリッチ塗料×2	EP×3	PU×2		2	"

1) 素地調整後煮沸する。

2) 本四塗替仕様

3) 1 は阿字ヶ浦のみ暴露

2 は阿字ヶ浦、駿河湾に暴露

略記号は次に示す通りである。

EP : エポキシ樹脂塗料

GF : ポリエステル樹脂ガラスフレーク塗料

PU : ポリウレタン樹脂塗料

表V-2 塗付量(大型試験片) (単位 g)

試験片 No	下塗(1)	下塗(2)	下塗(3)	中 塗	上 塗
1	10.5	9.3	10.3	6.2	4.3
1' 1)	10.5	9.3	9.8	6.0	5.0
2	10.5	9.4	10.2	5.6	4.3
2'	10.5	9.1	9.8	5.4	4.8
3	7.7	12.0	13.6	6.2	4.5
3'	9.1	11.0	12.7	6.2	5.1
4	7.8	12.0	12.8	6.0	4.5
4'	9.1	11.2	12.5	6.0	4.8
5	10.5	9.3	10.1	6.1	4.8
6	10.5	9.0	10.0	6.0	4.5
7	8.1	12.0	12.9	6.4	4.7
8	8.2	11.5	13.0	6.5	4.1
9	10.5	8.9	10.0	5.8	4.8
9'	10.5	8.8	9.8	6.1	4.9
10	2)			6.0	4.1
10'				6.3	4.3
11				5.8	4.1
11'				5.7	4.0
12	9.1	11.0	13.3	6.3	4.9
13				6.8	4.1
13'				6.8	4.3
14				6.6	4.2
14'				7.3	4.1
15	10.5	8.8	10.2	5.9	5.1
15'	10.5	8.8	9.9	5.6	5.1
16	10.5	8.6	10.1	6.0	4.8
17				5.8	4.2
18	10.5	8.6	10.0	5.9	4.8
19				8.0	4.3
19'				8.5	4.0
20	10.5	8.8	9.8	5.6	4.9
21	10.5	9.2	10.4	5.5	5.1
22	10.5	6.5	10.0	6.0	5.1
22'	10.5	8.6	10.4	6.3	5.2

注1) 1' は駿河湾暴露試験片

注2) 空白部はスプレー塗装のため塗付量の測定はしていない。

表V-3(1) 塗付量 (小型試験片)

(単位 g)

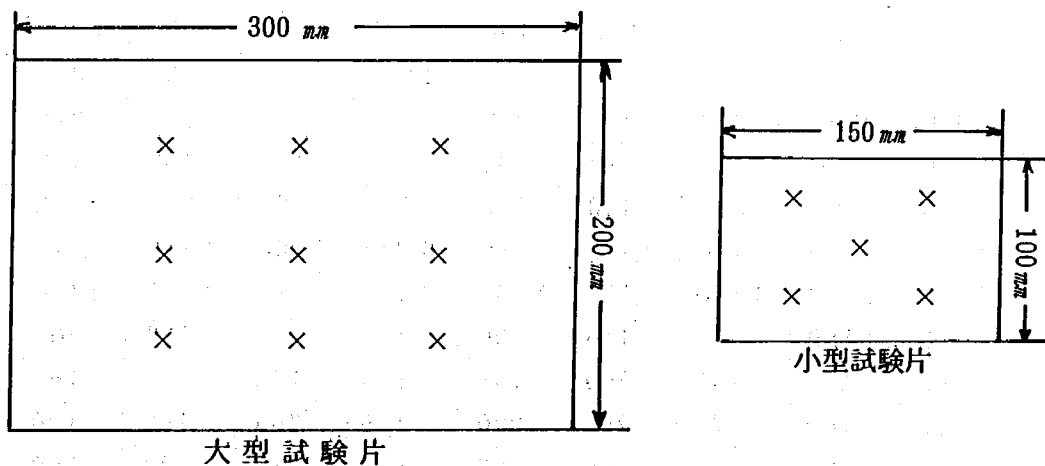
試験片 No	下塗(1)	下塗(2)	下塗(3)	中 塗	上 塗
1-1	2.5	2.0	2.7	1.4	1.4
1-2	2.5	2.1	2.4	1.3	1.5
2-1	2.5	2.2	2.5	1.3	1.5
2-2	2.5	2.0	2.4	1.4	1.3
3-1	2.0	2.5	3.4	1.3	1.4
3-2	1.8	2.0	3.3	1.3	1.4
4-1	2.4	2.1	3.3	1.3	1.5
4-2	2.0	2.0	3.4	1.4	1.3
5-1	2.5	2.1	2.7	1.3	1.5
5-2	2.5	1.9	2.6	1.2	1.3
6-1	2.5	1.9	2.5	1.3	1.4
6-2	2.5	1.8	2.4	1.3	1.4
7-1	2.5	2.2	3.3	1.4	1.5
7-2	2.3	2.0	3.2	1.4	1.4
8-1	2.3	2.2	3.3	1.4	1.5
8-2	2.1	2.2	3.5	1.4	1.5
9-1	2.5	2.0	2.6	1.3	1.4
9-2	2.5	2.0	2.5	1.3	1.4
10-1	1)			1.4	1.0
10-2				1.5	1.0
11-1				1.4	1.1
11-2				1.3	1.0
12-1	2.2	2.2	3.3	1.4	1.4
12-2	2.2	2.4	3.3	1.4	1.5
13-1				1.7	1.0
13-2				1.6	1.1
14-1				1.8	1.2
14-2				1.6	1.3
15-1	2.5	1.9	2.6	1.3	1.5
15-2	2.5	1.8	2.5	1.3	1.5
16-1	2.5	2.0	2.4	1.3	1.5
16-2	2.5	2.1	2.5	1.3	1.5
17-1				1.3	1.2
17-2				1.2	1.2
18-1	2.5	1.8	2.4	1.3	1.5
18-2	2.5	2.1	2.5	1.3	1.5

表V-3(2) 塗付量 (小型試験片)

(単位 g)

試験片 No	下塗(1)	下塗(2)	下塗(3)	中 塗	上 塗
19-1				2.0	1.3
19-2				1.7	1.2
20-1	2.5	2.0	2.6	1.3	1.5
20-2	2.5	2.0	2.4	1.3	1.6
21-1	2.5	2.0	2.5	1.3	1.4
21-2	2.5	2.1	2.6	1.3	1.5
22-1	2.5	2.4	2.6	1.3	1.4
22-2	2.5	2.3	2.4	1.3	1.4

注1) 空白部はスプレー塗装のため塗付量の測定はしていない。



図V-1 さび層の厚さ及び膜厚の測定位置 (×印)

表V-4 下塗り終了時の膜厚 (大型試験片)

(単位 μm)

試験片No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
1	210	260	225	185	200	230	190	170	170	204
1'	145	200	155	195	150	150	165	120	200	164
2	190	140	160	190	190	195	195	170	230	184
2'	155	175	180	160	160	180	140	130	200	164
3	290	300	300	280	270	320	260	240	320	287
3'	230	170	250	210	180	200	250	295	230	224
4	290	260	250	280	210	250	240	260	320	262
4'	200	170	285	270	150	220	215	155	250	213
5	200	140	190	200	180	190	150	120	170	171
6	185	140	170	185	175	290	210	165	210	192
7	240	270	280	290	250	270	310	240	260	268
8	250	245	370	235	390	360	280	350	320	311
9	200	130	150	200	170	195	200	135	175	173
9'	200	165	220	165	170	200	170	155	150	177
10	420	470	420	420	450	470	500	510	450	457
10'	450	470	450	420	460	400	450	470	460	448
11	1,050	1,200	1,110	1,020	1,100	1,000	1,070	1,100	1,060	1,079
11'	1,000	970	990	950	1,060	1,020	1,050	1,160	1,070	1,030
12	310	260	250	280	270	290	270	290	270	277
13	450	450	420	470	500	520	440	450	470	463
13'	420	500	520	460	500	500	450	530	470	483
14	1,160	1,160	1,190	1,170	1,230	1,270	1,100	1,180	1,210	1,186
14'	1,120	1,250	1,170	1,130	1,230	1,170	1,110	1,110	1,170	1,162
15	150	150	185	145	130	140	180	160	200	160
15'	190	165	145	200	165	140	150	150	165	163
16	185	160	175	205	200	155	255	190	190	191
17	470	500	460	500	490	500	570	600	560	517
18	180	140	180	200	140	140	160	145	210	166
19	960	1,250	1,230	1,050	1,000	920	860	950	820	1,004
19'	1,000	920	930	1,170	1,220	1,010	1,000	1,020	900	1,019
20	180	170	180	185	190	160	180	170	230	183
21	160	170	250	160	155	185	140	145	200	174
22	205	175	230	210	210	205	190	230	220	208
22'	200	230	230	250	215	215	220	200	230	221

表V-5(1)下塗り終了時の膜厚 (小型試験片)

(単位 μm)

試験片 No	1	2	3	4	5	平均
1-1	130	160	160	160	150	152
1-2	140	150	145	165	160	152
2-1	130	135	170	145	125	141
2-2	155	200	165	165	135	164
3-1	250	215	240	230	200	227
3-2	190	215	225	225	205	212
4-1	230	195	220	225	185	211
4-2	190	205	210	230	215	210
5-1	150	130	155	160	130	145
5-2	140	170	180	165	155	162
6-1	150	180	160	150	160	160
6-2	160	130	150	190	140	154
7-1	215	230	320	250	220	247
7-2	190	240	230	260	240	232
8-1	215	215	300	225	215	234
8-2	275	260	330	275	240	276
9-1	140	155	160	185	135	155
9-2	250	190	175	185	170	194
10-1	430	420	450	450	450	400
10-2	430	430	450	450	460	444
11-1	980	1,010	1,010	1,000	1,000	1,000
11-2	1,020	1,000	970	990	960	988
12-1	210	240	270	270	210	240
12-2	265	260	300	250	240	263
13-1	510	460	550	540	510	514
13-2	430	490	530	510	510	494
14-1	1,050	1,200	1,250	1,140	1,150	1,158
14-2	1,200	1,200	1,220	1,150	1,150	1,184
15-1	200	140	140	190	140	162
15-2	140	170	170	170	180	166
16-1	170	200	150	190	160	174
16-2	175	170	175	180	160	172
17-1	450	500	530	480	570	506
17-2	400	500	510	550	510	494
18-1	180	175	180	170	170	175
18-2	150	190	185	175	145	169

表V-5(2)下塗り終了時の膜厚 (小型試験片)

(単位 μm)

試験片 No	1	2	3	4	5	平均
19-1	900	800	1,110	1,010	1,040	972
19-2	820	860	1,040	820	1,050	918
20-1	175	180	140	215	200	183
20-2	155	125	165	175	140	152
21-1	145	200	165	175	130	163
21-2	175	160	170	155	220	176
22-1	180	200	180	200	200	192
22-2	225	225	225	230	200	221

表V-6 上塗り完了後の膜厚 (大型試験片)

(単位 μm)

試験片No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
1	250	312	271	260	275	334	199	283	252	271
1'	235	253	272	303	200	223	245	166	270	241
2	260	235	223	281	252	258	280	233	320	260
2'	243	201	232	303	235	215	260	171	258	235
3	390	290	395	435	321	388	302	338	325	354
3'	325	268	200	290	265	232	252	261	323	268
4	368	332	305	490	278	289	425	330	400	357
4'	333	265	252	328	202	238	340	212	335	278
5	198	218	332	230	233	295	214	203	235	240
6	262	260	210	300	220	372	234	212	347	269
7	295	290	342	323	325	370	350	323	420	338
8	363	320	365	323	465	350	323	398	435	371
9	233	180	270	185	222	298	249	182	285	234
9'	250	221	261	268	253	308	295	235	212	256
10	580	610	560	560	640	650	520	530	580	581
10'	600	620	580	570	610	590	580	650	550	594
11	1,160	1,250	1,230	1,120	1,180	1,160	1,160	1,200	1,190	1,183
11'	1,160	1,230	1,120	1,170	1,260	1,270	1,190	1,220	1,170	1,199
12	270	295	257	288	303	362	285	303	311	297
13	560	570	570	590	570	630	580	590	570	581
13'	600	640	620	580	620	620	580	610	600	608
14	1,230	1,180	1,190	1,190	1,200	1,200	1,140	1,170	2,000	1,278
14'	1,250	1,370	1,310	1,240	1,340	1,270	1,240	1,260	1,280	1,284
15	240	228	215	205	189	222	283	202	180	218
15'	273	243	280	310	248	225	255	210	250	255
16	203	240	252	265	230	248	239	215	225	235
17	620	620	610	620	620	590	700	720	680	642
18	232	203	260	225	205	272	248	200	258	234
19	1,040	1,130	1,110	1,040	1,100	1,000	1,020	1,040	1,080	1,062
19'	1,250	1,150	1,300	1,270	1,350	1,220	1,130	1,080	870	1,180
20	280	228	335	241	238	302	215	220	300	262
21	235	262	240	268	313	250	198	223	293	254
22	303	315	268	280	313	352	283	318	288	302
22'	245	338	325	358	288	320	290	318	335	313

表 V - 7(1) 上塗り完了後の膜厚 (小型試験片)

(単位 μm)

試験片 No	1	2	3	4	5	平均
1-1	233	305	249	255	289	266
1-2	231	255	258	258	255	251
2-1	212	255	250	220	238	235
2-2	210	225	273	240	233	236
3-1	268	340	320	295	310	307
3-2	298	300	310	282	258	290
4-1	305	288	305	315	240	291
4-2	295	335	303	300	270	301
5-1	248	255	252	218	215	238
5-2	228	242	232	233	223	232
6-1	240	262	233	222	260	243
6-2	239	215	211	208	219	218
7-1	265	340	362	358	299	325
7-2	253	350	308	345	280	307
8-1	290	342	338	328	350	330
8-2	325	358	395	370	298	349
9-1	270	228	250	268	263	256
9-2	263	260	232	253	248	251
10-1	600	600	600	580	600	596
10-2	550	560	570	580	580	568
11-1	1,090	1,080	1,080	1,090	1,070	1,082
11-2	1,090	1,110	1,110	1,110	1,070	1,098
12-1	315	330	358	340	295	328
12-2	370	340	372	338	298	344
13-1	620	600	650	620	620	622
13-2	610	650	630	590	620	620
14-1	1,170	1,220	1,210	1,150	1,130	1,176
14-2	1,240	1,190	1,190	1,150	1,100	1,174
15-1	255	250	240	291	215	250
15-2	193	270	262	225	258	242
16-1	248	295	230	268	240	256
16-2	248	285	280	265	273	270
17-1	600	600	620	590	640	622
17-2	560	660	620	660	610	622
18-1	285	305	272	265	233	272
18-2	280	292	280	303	248	281
19-1	1,040	1,230	1,320	1,100	1,250	1,188
19-2	780	1,050	1,110	960	1,110	1,002

表V-7(2)上塗り完了後の膜厚(小型試験片)

(単位 μm)

試験片 No	1	2	3	4	5	平均
20-1	270	335	238	335	308	297
20-2	158	248	295	248	213	231
21-1	248	265	230	295	225	253
21-2	265	278	280	252	320	279
22-1	258	295	305	280	292	286
22-2	305	340	312	360	263	316

(2) さび層中の塩分量

さび層の厚さを測った試験片を電動工具で St 2 又は 3 に素地調整したときの除去されたさび量(重量減)を測り、そのさび中の塩分量を求め、さらに素地調整後の試験片を 2 規定硝酸で煮てその溶液中の塩分量より、残存さび中の塩分量を求めた。

また、Na18(飯岡暴露 3 ヶ月、ウレタン塗装)と Na21(飯岡暴露 3 ヶ月)の大型、小型試験片を素地調整(St 2)後、イオン交換水で 2 時間煮沸して塩分を煮出して測定した。

8.4.2 暴露試験

大型試験片 22 枚を阿字ヶ浦に、12 枚を駿河湾に暴露し、阿字ヶ浦は 2 ヶ月、3 ヶ月、12 ヶ月及び 15 ヶ月後に外観観察を行ない、3 ヶ月と 12 ヶ月後には塗膜の付着力試験を行った。また、駿河湾は 1 年後に外観観察と付着力試験を行った。

8.4.3 促進試験

小型試験片各 1 枚ずつ 22 枚を塩水噴霧試験し、200、500、1200、2000 及び 3000 時間後に外観観察を行った。

8.4.4 塗膜物性試験

(1) 付着力試験

小型試験片の塩水噴霧試験していないものについて付着力試験(アドヒージョン試験)を行ない、暴露試験前の初期付着力と剝離箇所を調べた。

(2) 引張試験

表 V-8 の塗装仕様のフリーフィルムを作成し、20℃における破断強度と伸び率を引張試験より求めた。

(3) 透湿度試験

表 V-8 の塗装仕様のフリーフィルムを作成し、20℃における透湿度を測定した。

表V-8 塗膜物性測定用フリーフィルム

塗 装 仕 様			下塗り目標膜厚(μm)
補修用 E P	70 μm ×3 + PU用中塗り 30 μm ×1 + PU上塗り30 μm ×1		200
"	100 μm ×4 +	" 30 μm ×1 + " 30 μm ×1	400
"	200 μm ×5 +	" 30 μm ×1 + " 30 μm ×1	1,000
G F用プライマー+	100 μm ×2 + PU用中塗り 30 ×1 + PU上塗り 30 ×1		200
"	+ 100 μm ×4 +	" 30 μm ×1 + " 30 μm ×1	400
"	+ 200 μm ×5 +	" 30 μm ×1 + " 30 μm ×1	1,000
無 溶 剤 E P	1000 μm ×1 +	" 30 μm ×1 + " 30 μm ×1	1,000

8.5 試験結果

8.5.1 さびに関する調査

各暴露条件における素地調整前のさび層の厚さを測定した結果を表V-9に示す。

各暴露条件の試験片の素地調整時に除去されたさび量及びそのさび中に含まれている塩分量並びに除去されずに試験片に残ったさび中の塩分量の測定結果を表V-10に示す。

また、素地調整後、試験片を煮沸して煮出した塩分量の測定結果を表V-11に示す。

8.5.2 暴露試験

暴露試験片の外観観察結果を表V-12に、塗膜の付着力試験結果を表V-13に示す。

8.5.3 促進試験

塩水噴霧試験の3000時間までの試験結果を表V-14に示す。

8.5.4 塗膜物性試験

塗膜の暴露試験前の初期付着力の測定結果を表V-15に、塗膜の引張試験及び透湿度試験の結果を表V-16に示す。

8.6 まとめ

第5次試験結果より、以下のことが明らかとなった。

- (1) 暴露試験、促進試験いずれも、塗膜にはふくれのみ生じ、さび、われ、はがれは生じなかった。
- (2) 暴露試験と促進試験の結果は、おおむねよい相関性がある。
- (3) さび面の素地調整程度が悪いほど、ふくれの発生が早い。
- (4) ガラスフレーク系塗料は破断強度が大きく、エポキシ系塗料は伸び率大きい。透湿度は、いずれの塗装系共に非常に小さい。
- (5) さび面の塩分を除去すると、ふくれの発生は抑制される。

表V-9. さび層の厚さ測定結果 (小型試験片)

No		さび層の厚さ (μm)					
		1	2	3	4	5	平均
飯岡 1 ヶ月	A-1	32	37	30	27	28	31
	A-2	30	28	40	29	20	29
飯岡 3 ヶ月	B-1	18	38	30	21	29	27
	B-2	32	28	40	52	38	38
	C-1	31	20	27	30	42	30
	C-2	33	37	23	24	34	30
飯岡 3 ヶ月 ウレタン塗装	U-1	20	13	26	18	20	19
千倉 3 ヶ月	T-1	228	195	273	169	197	212
	T-2	270	129	140	233	128	180

表V-10 さび板中の塩分量 (小型試験片)

No		素地調整	除去錆量(g)	除去錆 1 g 中の塩分量(mg)	残存さび中の塩分量(mg)
飯岡 1 ヶ月	A-1	St-2	0.8	0.5	0.6
	A-2	"	0.7	0.3	0.3
飯岡 3 ヶ月	B-1	"	0.9	0.1	4.3
	B-2	"	1.0	1.2	7.4
	C-1	St-3	2.8	0.5	—
	C-2	"	2.2	0.6	1.2
飯岡 3 ヶ月 ウレタン塗装	U-1	St-2	0.3	1.3	3.1
千倉 3 ヶ月	T-1	"	9.1	6.0	11
	T-2	"	7.0	4.7	11

表V-11 残存さび中の塩分量 (素地調整 St 2 煮沸2時間)

No		試験片	塩分量(mg)
飯岡 3 ヶ月 ウレタン塗装	18	大 型	7.9
	18-1	小 型	1.9
	18-2	"	1.6
飯岡 3 ヶ月	21	大 型	14
	21-1	小 型	2.9
	21-2	"	2.1

表V-12 暴露試験結果（外観観察，ふくれ）

試験片 No.	阿 字 ケ 浦 暴 露				駿河湾暴露	
	2ヶ月	3ヶ月	12ヶ月	15ヶ月	10ヶ月	12ヶ月
1	異状なし	異状なし	異状なし	8 M	異状なし	異状なし
2	"	8 MD	8 MD	8 MD	8 MD	8 M
3	"	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
4	"	"	"	"	"	"
5	8 MD	8 MD	8 MD	8 MD	—	—
6	* 8 MD	8 MD	8 MD	8 MD	—	—
7	異状なし	異状なし	異状なし	8 F	—	—
8	"	"	"	8 MD	—	—
9	8 MD	8 D	8 D	8 D	6 MD	8 MD
10	* 8 M	8 D	8 D	* 8 D	8 MD	8 MD
11	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	8 M	異状なし
12	"	"	"	"	—	—
13	"	"	"	"	異状なし	異状なし
14	"	"	"	"	"	"
15	"	"	8 MD	8 M	8 MD	8 MD
16	8 D	8 D	8 ~ 6 D	6 D	—	—
17	8 M	異状なし	6 ~ 4 D	4 D	—	—
18	異状なし	"	異状なし	異状なし	—	—
19	"	"	"	8 F	異状なし	異状なし
20	* 8 M	* 8 MD	8 M	8 M	—	—
21	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	—	—
22	"	"	"	"	異状なし	異状なし

*ふくれの低いもの

表V-13. 暴露試験結果（付着力試験）

試験片 No	阿 字 ケ 浦 暴 露						駿 河 湾 暴 露	
	トルク試験		アドヒージョン試験				アドヒージョン試験	
	3 ケ 月		3 ケ 月		12 ケ 月		12 ケ 月	
	付着力 (kgf/cm)	剥離箇所	付着力 (kgf/cm)	剥離箇所	付着力 (kgf/cm)	剥離箇所	付着力 (kgf/cm)	剥離箇所
1	106	下/下 100%	50	下/下 100%	42	下/下 70% 接着剤 30%	22	下/下 40% 接着剤 60%
2	145	下/下 100%	30	下/下 100%	30	下/下 97% 接着剤 3%	15	下/下 40% 接着剤 60%
3	205	フレーク/中 100%	20	フレーク/中 80% 接着剤 20%	38	中/フレーク 100%	18	フレーク 60% 接着剤 40%
4	106	フレーク中 100%	30	フレーク/中 100%	42	中/フレーク 85% 接着剤 15%	20	フレーク 80% 接着剤 20%
5	162	下/下 100%	40	さび層 10% 下/下 90%	26	下/下10% さび層70% 接着剤15%	—	—
6	113	さび層10%下/下80% 接着剤10%	30	さび層3%上/下90% 接着剤7%	45	ウレタン/素地 85% 接着剤 15%	—	—
7	113	フレーク/中 100%	20	フレーク/中 100%	11	中/フレーク 80% 接着剤 20%	—	—
8	265	フレーク/中 100%	30	フレーク/中 100%	25	中/フレーク 100%	—	—
9	229	下/下 100%	35	さび層1%下/下70% 接着剤29%	25	下/下 95% さび層 5%	23	下/下 60% 接着剤 40%
10	201	さび層 10% 下/下 90%	40	さび層 20% 下/下 80%	19	下/下50% さび層35% 接着剤 15%	26	下/下 75% 接着剤 25%
11	265	下/下 80% 接着剤 20%	25	さび層10%、下のさび に近い所30%下/下60%	20	下/下 95% さび層 5%	23	下/下 100% (下層間5%,層間95%)
12	184	フレーク/中 100%	15	フレーク/中 90% 接着剤 10%	23	中/フレーク 100%	—	—
13	177	フレーク/中 100%	20	フレーク/中 100%	19	中/フレーク 100%	18	フレーク 100%
14	124	さび層 100%	20	さび層 100%	10	さび層 100%	12	さび層 100%
15	282	下/下 80% 接着剤 20%	30	さび層1%下/下95% 接着剤4%	29	下/下 98% さび斑点状 2%	40	下/下 100%
16	187	さび層 50% 下/下 50%	20	さび層 80% 下/下 20%	28	下/下 40% さび層 60%	—	—
17	275	下/下 100%	20	さび層 30% 下/下 70%	17	下/下 60% さび層 40%	—	—
18	254	下/下 100%	35	さび層 5% 下/下 95%	25	下/下 80% ウレタン/素地 20%	—	—
19	109	さび層 80% 下/下 20%	25	さび層 50% 下/下 50%	20	下/下 50% さび層 50%	25	下/下 90% 接着剤 10%
20	106	下/下 100%	55	さび層 0.1% 下/下 99.9%	48	下/下 80% 接着剤 20%	—	—
21	247	下/下 100%	45	さび層 3% 下/下 97%	28	下/下 90% さび層 10%	—	—
22	282	Zn/Zn 10% エポキシ下/下90%	40	Zn/Zn 2% エポキシ下/下98%	26	下/下 65% 接着剤 35%	30	下/下 90% Zn/Zn 10%

表V-14 塩水噴霧試験結果 (ふくれ)

試験片No	試 験 時 間				
	200	500	1,200	2,000	3,000
1-1	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
2-1	"	8 MD	8 D	8 D	8 D
3-1	"	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
4-1	"	"	"	"	"
5-1	8 MD	6 MD	6 MD	6 MD	6 MD
6-1	異状なし	8 D	8 D	8 D	8 D
7-1	"	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
8-1	"	"	8 MD	8 MD	8 MD
9-1	"	6 MD	6 D	6 D	6 D
10-1	"	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
11-1	"	"	"	"	"
12-1	"	"	"	"	"
13-1	"	"	"	"	"
14-1	"	"	"	"	"
15-1	"	"	"	"	"
16-1	"	6 D	6 ~ 4 D	4 D	4 D
17-1	"	異状なし	異状なし	4 ~ 2 MD	4 ~ 2 MD
18-1	"	"	"	異状なし	異状なし
19-1	"	"	"	"	"
20-1	8 D	6 MD	6 MD	6 MD	6 ~ 8 D
21-1	異状なし	8 MD	8 MD	8 D	8 D
22-1	"	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし

表V-15 さび面塗装試験片アドヒージョン試験結果 (ブランク)

試験片 No	付着力 (kgf/cm ²)	剥離箇所(%)	試験片 No	付着力 (kgf/cm ²)	剥離箇所(%)
1 - 2 (1)	37	下/下 95 接着剤 5	10 - 2	27	下/下 50 下/さび 50
1 - 2 (2)	38	下/下 100	11 - 2	20	下/下 100
2 - 2 (1)	40	下/下 100	12 - 2	44	下/下 100
2 - 2 (2)	36	下/下 100	13 - 2	20	下/下 90 下/中 10
3 - 2 (1)	47	下/下 40 下/中 60	14 - 2	16	さび層 100
3 - 2 (2)	63	下/下 70 下/中 30	15 - 2	34	下/下 100
4 - 2 (1)	49	下/下 100	16 - 2	19	下/下 50 さび層 40 接着剤 10
4 - 2 (2)	48	下/下 100	17 - 2	18	下/下 40 さび層 50 接着剤 10
5 - 2	54	下/下 80 さび層 15 接着剤 5	18 - 2	39	下/下 100
6 - 2	30	下/下 95 さび層 5	19 - 2	27	下/下 50 さび層 50
7 - 2	41	下/下 90 下/中 10	20 - 2	44	下/下 95 さび層 5
8 - 2	40	下/下 90 下/中 10	21 - 2	47	下/下 100
9 - 2	30	下/下 50 下/さび 50	22 - 2	38	下/下 100

表V-16. 塗膜物性測定結果

塗 装 仕 様		塗 装 厚(μm)	引 張 試 験		透 湿 度 ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot 24\text{h}$)
			破断強度(Kgf/cm^2)	伸 び 率 (%)	
補修用EP 200 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	338	190	1.79	1.1
	②	336	172	1.53	
	③	335	179	1.50	
	平均	336	180	1.61	
補修用EP 400 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	573	130	2.37	1.1
	②	557	140	2.21	
	③	573	136	2.09	
	平均	568	135	2.22	
補修用EP 1000 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	1,243	70	4.92	0.7
	②	1,267	70	4.69	
	③	1,257	80	5.52	
	平均	1,257	73	5.04	
GF 200 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	347	313	1.66	1.0
	②	357	308	1.64	
	③	367	228	1.61	
	平均	357	303	1.64	
GF 400 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	627	213	1.69	0.4
	②	617	215	1.64	
	③	617	215	1.62	
	平均	620	214	1.65	
GF 1000 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	1,043	130	2.26	0.7
	②	1,003	103	2.26	
	③	—	—	—	
	平均	1,023	117	2.26	
無溶剤EP 1000 μm PU用中塗り 30 μm PU 上塗り 30 μm	①	1,163	112	4.61	0.9
	②	1,177	106	4.45	
	③	1,277	100	4.05	
	平均	1,206	106	4.37	

9. 第6次試験の試験内容及び試験結果

9.1 目的

第5次試験の結果、さびを生じた部分の塗り替えを行なうには、素地調整をブラストで行ないさびを完全に除去すれば、良好な結果が得られることが判明した。一方、素地調整が十分に行なえない場合には、厚膜塗装で外部からの水分や塩分の浸透を遮断する必要が明らかとなった。

このため、第6次試験はよりさび面に適合した塗装システムを見い出すことを目的として行った。

9.2 概要

第5次試験の結果、最も有効であると考えられるガラスフレーク系塗料について、暴露試験で様々な樹脂とその最適なプライマーの組み合わせ、並びにガラスフレーク量による効果の違いを明らかにすると共に、第3次試験に使用した試験片の一部を用いて旧塗膜との付着性を検討した。

9.3 試験片の製作

9.3.1 さび板

サンドブラストした鋼板（ $200 \times 300 \times 6 \text{ mm}$ ）を千葉県飯岡に3ヶ月暴露してさびさせたものと、茨城県阿字ヶ浦に3ヶ月暴露してさびさせた。

また、旧塗膜との付着性を検討するため、第3次試験に用いた試験片のうち、素地調整のみで何ら処理を行っていないNa 1-1, 1-2, 1-3, 及び1-4の4枚（阿字ヶ浦暴露2年）を使用した。（写真VI-1～3）

9.3.2 素地調整

さび面の素地調整は、サンドブラスト処理（Sa 2）、電動工具処理（パワーブラシ St 2、ディスクサンダー St 3）と手工具処理で行った。（写真VI-4～6）

9.3.3 塗装仕様

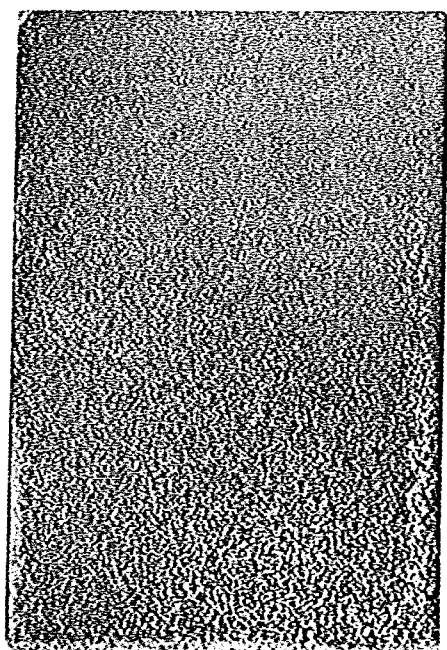
下塗りにビニルエステル樹脂系ガラスフレーク塗料（ $200, 400, 1000 \mu\text{m}$ ）、エポキシ樹脂系ガラスフレーク塗料（ $200, 400, 1000 \mu\text{m}$ ）、その他のポリエステル樹脂系塗料（イソフタル酸樹脂系、ビスフェノール樹脂系）、無溶剤エポキシ樹脂系塗料及び比較として本州四国連絡橋公団の塗り替え仕様を採用し、中塗りにポリウレタン用中塗り塗料 $30 \mu\text{m} \times 1$ 回、上塗りにポリウレタン上塗り塗料 $30 \mu\text{m} \times 1$ 回を塗装した。塗装試験片を表VI-1に示す。

9.3.4 旧塗膜試験片

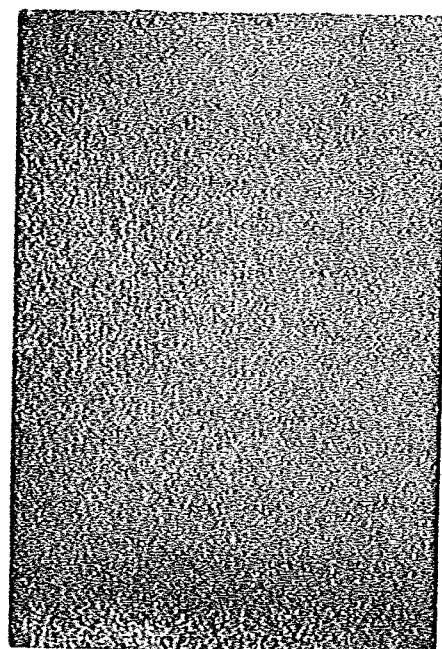
第3次試験片を図VI-1に示すように電動工具で素地調整し、これに表VI-2に示す塗装仕様で塗装を行った。

9.3.5 塗付量と膜厚

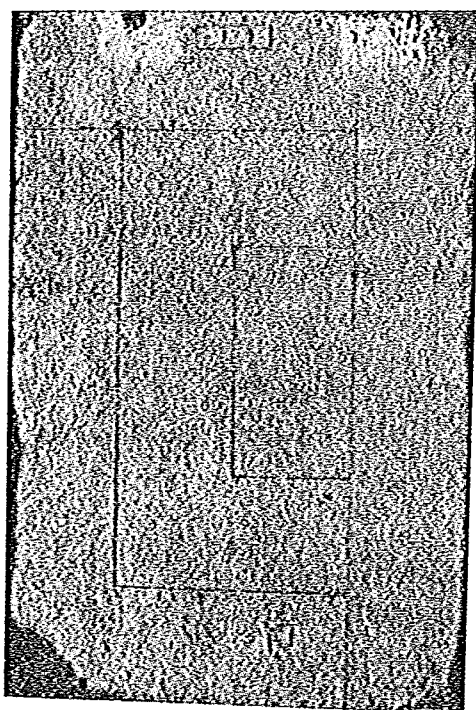
試験片の塗付量を表VI-3に、また下塗り終了後及び上塗り完了後の膜厚を図VI-2に示す位置で測定した結果を表VI-4, 5に示す。



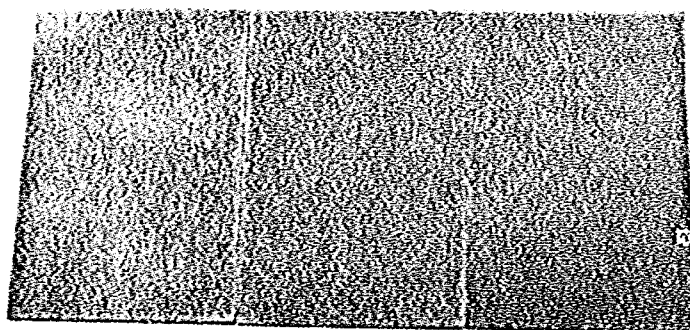
写真Ⅵ-1 さび板（阿字ヶ浦3ヶ月暴露）



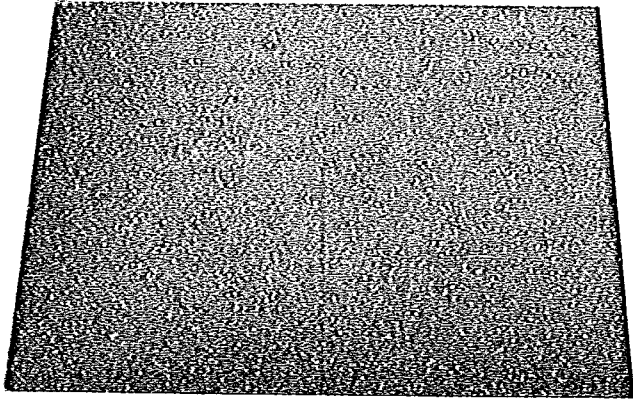
写真Ⅵ-2 さび板（飯岡3ヶ月暴露）



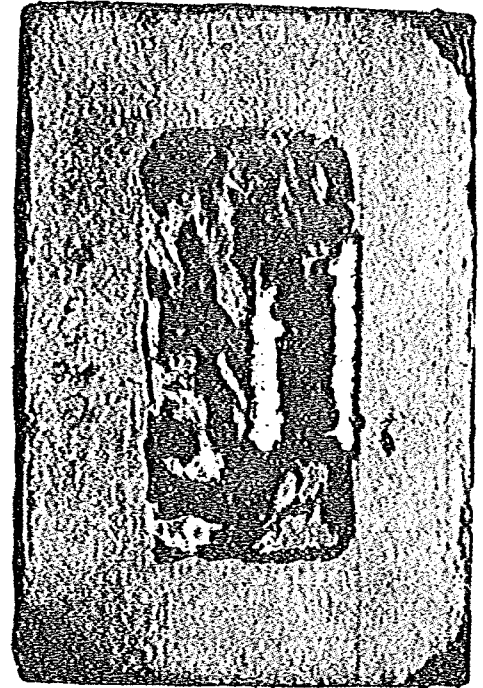
写真Ⅵ-3 旧塗装（阿字ヶ浦暴露2年）



写真Ⅵ-4 阿字ヶ浦暴露
さび面素地調整（Sa 2）



写真Ⅵ-5 飯岡暴露のさび面調整 (Sa 2)



写真Ⅵ-6 旧塗膜素地調整 (St 3)

表VI-1. 試験片の種類

試験片 No	素地	素地調整	塗 装 仕 様				備 考
			プライマー	下 塗 り	中 塗 り	上塗り	
1	阿字ヶ浦 3ヶ月	Sa 2	ビニルエステル用 プライマー	ビニルエステルGF 400 μ m $\times$ 1	PU用中塗り30 μ m $\times$ 1	PU 30 μ m $\times$ 1	
2	飯 岡 "	"	"	" "	"	"	
3	阿字ヶ浦 "	St 2	"	" "	"	"	
4	飯 岡 "	"	"	" "	"	"	
5	阿字ヶ浦 "	手工具	"	" "	"	"	
6	" "	St 2	"	" 200 μ m $\times$ 1	"	"	
7	" "	"	"	" 1,000 μ m $\times$ 1	"	"	
8	" "	Sa 2	エポキシGF用 プライマー	エポキシGF 400 μ m $\times$ 1	"	"	
9	飯 岡 "	"	"	" "	"	"	
10	阿字ヶ浦 "	St 2	"	" "	"	"	
11	飯 岡 "	"	"	" "	"	"	
12	阿字ヶ浦 "	手工具	"	" "	"	"	
13	" "	St 2	"	" 200 μ m $\times$ 1	"	"	
14	" "	"	"	" 1,000 μ m $\times$ 1	"	"	
15	" "	"	変性エポキシ	ビニルエステルGF 400 μ m $\times$ 1	"	"	
16	" "	"	ピュアーエポキシ	" "	"	"	
17	" "	"	変性エポキシ	エポキシGF "	"	"	
18	" "	"	ビニルエステル用 プライマー	ビニルエステルGF "	"	"	GF量 30%
19	" "	"	"	" "	"	"	" 10%
20	" "	"	エポキシGF用 プライマー	エポキシGF "	"	"	" 30%
21	" "	"	"	" "	"	"	" 10%
22	" "	"	ビニルエステル用 プライマー	イソフタル酸GF "	"	"	
23	" "	"	"	ビスフェノールGF "	"	"	
1) 24	" "	Sa 2	OZP-HB $\times$ 2	補修用EP 45 μ m $\times$ 1	"	"	
1) 25	" "	St 3	"	" "	"	"	
26	" "	St 2	変性エポキシ	無溶剤EP 1,000 μ m $\times$ 1	"	"	
27	飯 岡 "	St 2	"	"	"	"	

(注) 本四塗替仕様

略記号は次に示す通りである。

Sa : サンドブラスト処理

St : 電動工具処理

GF : ガラスフレーク塗料

OZP-HB : 厚膜型エポキシジソクリッチペイント

EP : エポキシ樹脂塗料

PU : ポリウレタン樹脂塗料

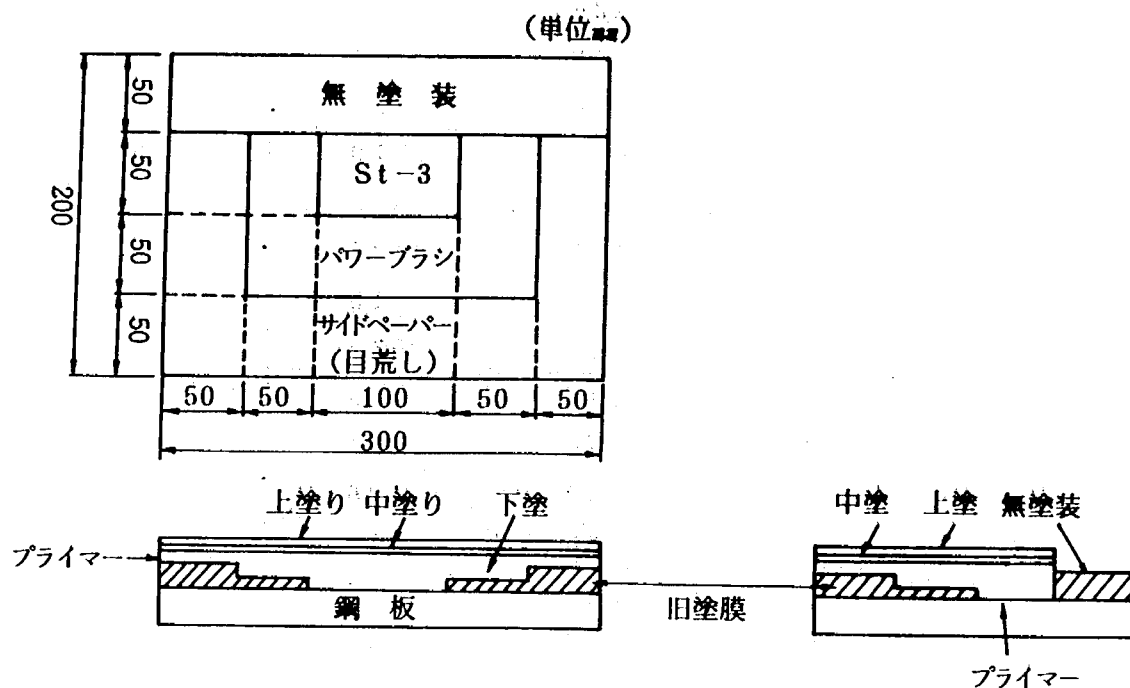


図 VI-1 旧塗膜試験片の素地調整

表 VI-2 旧塗膜試験片の塗装仕様

T.P.No	素 地	塗 装 仕 様				備 考
		プ ラ イ マ ー	下 塗	中 塗	上 塗	
28	第3次試験片No 1-1	変性エポキシ	ビニルエステルGF 400 μ × 1	PU用30 μ × 1	PU30 μ × 1	
29	" No 1-2	"	エポキシGF "	"	"	
30	" No 1-3	"	無溶剤EP 1000 μ × 1	"	"	
31	" No 1-4	OZP-HB30 μ × 1	補修用EP 45 μ × 3	"	"	

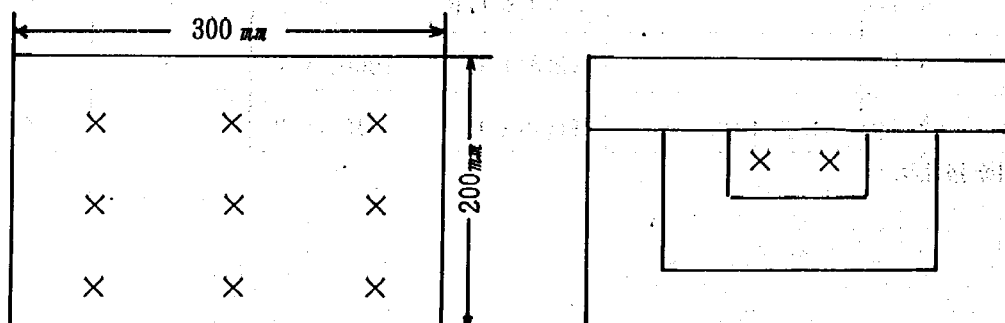
注) 1) 本四塗替仕様

表VI-3 塗付量

(単位g)

試験片 No.	中 塗	上 塗
1	8.60	5.55
2	6.60	6.21
3	6.24	5.55
4	6.40	5.04
5	6.50	4.82
6	6.56	5.19
7	6.49	5.83
8	4.40	5.25
9	5.54	5.18
10	5.52	5.38
11	4.61	4.88
12	5.59	5.01
13	5.62	4.86
14	5.60	4.78
15	7.20	5.25
16	6.34	5.45
17	5.56	5.27
18	6.78	5.39
19	6.27	5.21
20	5.41	5.18
21	6.26	5.02
22	5.66	4.91
23	6.68	5.10
24	5.05	4.75
25	5.55	5.40
26	5.84	5.31
27	5.14	5.56
28	4.45	4.20
29	3.58	4.33
30	4.29	5.08
31	4.05	4.28

注) 下塗りはスプレー塗装のため塗付量は測定していない。



図VI-2 膜厚測定位置 (×印)

表VI-4 下塗完了時の膜厚

(単位: μm)

試験片No	1	2	3	4	5	平均
1	430	420	430	460	430	434
2	410	420	420	390	400	408
3	430	400	420	400	380	406
4	420	390	400	380	400	395
5	410	380	420	440	420	414
6	215	190	200	220	190	203
7	1,000	930	980	980	940	966
8	440	400	400	420	420	416
9	420	410	430	430	400	418
10	460	460	440	450	430	448
11	440	430	430	420	410	426
12	470	430	460	530	400	438
13	360	340	350	300	310	332
14	980	970	950	970	1,050	984
15	420	420	420	380	380	404
16	370	380	390	390	400	386
17	420	420	370	400	370	396
18	390	390	380	410	370	388
19	370	370	370	400	420	386
20	400	370	400	420	370	392
21	400	400	370	370	370	382
22	390	390	380	370	360	378
23	380	400	410	460	420	402
24	210	205	195	220	195	205
25	195	200	170	165	160	178
26	1,300	1,270	1,460	1,050	1,000	1,216
27	980	1,150	1,080	1,200	1,030	1,088
28	480	510	520	—	—	503
29	400	380	440	—	—	407
30	1,600	1,440	1,340	—	—	1,460
31	205	190	180	—	—	192

表 VI - 5 上塗完了時の膜厚

(単位um)

試験片 No	1	2	3	4	5	平均
1	460	440	460	500	480	468
2	420	440	450	460	460	446
3	400	450	440	440	500	446
4	480	470	460	430	410	450
5	480	420	460	520	460	468
6	290	250	260	290	250	268
7	1,030	1,030	1,030	1,050	1,080	1,044
8	490	450	440	460	470	462
9	500	460	440	460	460	464
10	530	510	490	510	540	516
11	540	540	490	500	500	514
12	510	520	510	540	580	532
13	380	370	350	360	380	368
14	1,200	1,120	1,210	1,210	1,170	1,182
15	550	550	450	500	460	502
16	500	480	480	480	520	492
17	580	550	480	550	520	536
18	510	470	480	520	480	492
19	520	560	480	460	480	500
20	520	540	520	510	550	528
21	520	470	480	550	510	506
22	380	400	420	440	490	426
23	430	480	450	430	480	454
24	270	270	260	300	330	286
25	290	250	240	270	270	264
26	1,020	1,090	1,550	1,300	1,500	1,292
27	1,150	1,220	1,580	1,100	1,450	1,300
28	560	580	580	—	—	573
29	420	420	440	—	—	427
30	1,600	1,500	1,380	—	—	1,493
31	250	280	290	—	—	273

表VI-6. 阿字ヶ浦暴露試験片外観観察結果

試験片No	外 観 観 察									
	暴 露 3 ケ 月					暴 露 6 ケ 月				
	さ び	ふくれ	わ れ	はがれ	その他	さ び	ふくれ	わ れ	はがれ	その他
1	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
6	"	8M	"	"	"	"	8MD	"	"	"
7	"	なし	"	"	"	"	なし	"	"	"
8	"	*8M	"	"	"	"	*8MD	"	"	"
9	"	なし	"	"	"	"	なし	"	"	"
10	"	6~8M	"	"	"	"	6~8MD	"	"	"
11	"	なし	"	"	"	"	なし	"	"	"
12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
13	"	8MD	"	"	"	"	*8MD	"	"	"
14	"	なし	"	"	"	"	なし	"	"	"
15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
16	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
17	"	8F	"	"	"	"	"	"	"	"
18	"	なし	"	"	"	"	"	"	"	"
19	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
20	"	8F	"	"	"	"	"	"	"	"
21	"	*8M	"	"	"	"	"	"	"	"
22	"	8M	"	"	"	"	"	"	"	"
23	"	なし	"	"	"	"	"	"	"	"
24	"	8F	"	"	"	"	8F	"	"	"
25	"	8M	"	"	"	"	8F	"	"	"
26	"	なし	"	"	"	"	なし	"	"	"
27	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
28	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
29	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
30	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
31	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

(注) 1. 旧塗膜試験片は、電動工具処理 (St-3) 部の外観観察を表示した。

2. * : ふくれの高さの低いもの。

9.4 試験内容

9.4.1 暴露試験

旧塗膜の試験片を含め31枚を阿字ヶ浦に暴露を行ない、3ヶ月、6ヶ月後に塗膜外観観察を行った。

9.5 試験結果

阿字ヶ浦暴露3ヶ月及び6ヶ月の塗膜外観観察結果を表VI-6に示す。いずれの試験片もふくれ以外のさび、われ、はがれなどの異状は生じていない。

9.6 まとめ

第6次試験の結果より、以下のことが明らかとなった。

- (1) 塗膜にはふくれのみ生じており、さび、われ、はがれは生じていない。
- (2) 膜厚が厚くなるほどふくれの抑制効果がある。
- (3) ガラスフレーク系塗料では、ビニルエステル樹脂系の方が、エポキシ樹脂系より良好な結果である。
- (4) 旧塗膜との付着性は、6ヶ月までの結果では何ら異状は生じていない。

10. 第7次試験の試験内容及び試験結果

10.1 目的

第7次試験では第6次試験までの結果を踏まえ、長期防錆型塗装系の塗り替えに効果が期待される塗装系について実橋への適用性を明らかにすることを目的とする。

10.2 概要

阿字ヶ浦の漂砂観測栈橋のトラス部の一部を利用して4塗装系について試験塗装を行った。

10.3 試験内容

10.3.1 試験場所及び位置

茨城県那珂湊市阿字ヶ浦の漂砂観測栈橋の陸側起点から約45m海上の部分のトラス部（写真Ⅶ-1）

10.3.2 塗装時期

昭和60年10月14日より10月19日まで

10.3.3 旧塗装

(1) 塗装履歴

試験対象部分の昭和47年の新設時の塗装仕様及び昭和53年の塗り替え時の塗装仕様を表Ⅶ-1に示す。

(2) 旧塗膜

試験塗装対象部は、さびの発生が著しく鉄素地に食い込んでいた。（写真Ⅶ-2）

10.3.4 素地調整

素地調整は3種ケレンを目標としたが、必ずしも十分にさびを除去できなかった。

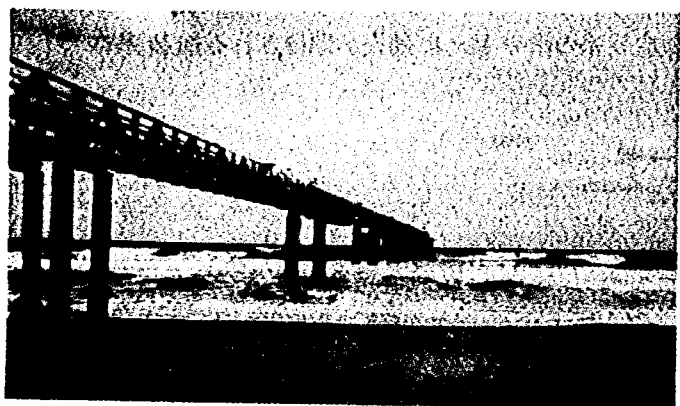
素地調整には、電動工具としてディスクサンダーとジェットタガネを手工具としてハンマーとケレン棒を使用した。ディスクサンダーは旧塗膜が塩化ゴム系樹脂塗料仕上げのため、ペーパーに塗膜がつき作業能率は悪かった。また、ジェットタガネは、動力のコンプレッサーの力が足りなかったため、鉄素地に食い込んでいるさびにはハンマーが効果的であった。（写真Ⅶ-3）

10.3.5 付着塩分

旧塗膜に付着している塩分の影響を調べる目的で、南側のトランスはおよそ15㎡を100ℓの水で水洗したが、北側のトラスは水洗を行わないで素地調整をした。

表Ⅶ-1 旧塗膜の塗装仕様

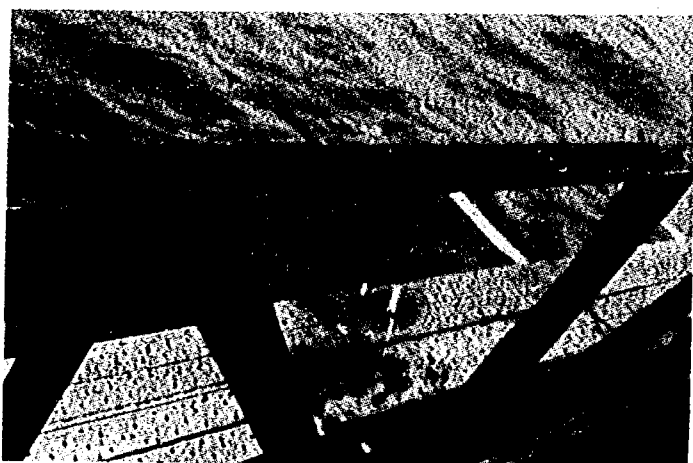
昭和47年新設時の塗装系	油性さび止め（2回）+長油性フタル酸（中，上）
昭和53年塗り替え時の塗装系	2種ケレン 変性エポキシ樹脂塗料（2回，160μm）+塩化ゴム系塗料（2回，65μm）



写真Ⅶ-1 阿字ヶ浦試験塗装位置



写真Ⅶ-2 素地調整前



写真Ⅶ-3 素地調整後



写真Ⅶ-4 塗装終了後

水洗前後の付着塩分量を図Ⅶ－１に示す位置で測定した。その結果、水洗前南側トラス上面Ⓐで 125 mg/m^2 、北側トラス上面Ⓑで 150 mg/m^2 であった。また、水洗後の南側トラス上面Ⓒでは 25 mg/m^2 であった。これより、付着塩分を除去するのに水洗は有効であると思われる。

10.3.6 塗装仕様

試験塗装は、第6次試験までの結果を踏えて、表Ⅶ－２の塗装仕様を図Ⅶ－１に示す位置に行った。

このとき、各塗装系の塗り重ねによる影響を避けるため、各塗装系の間に一定の間隔を設け、この部分は簡単な素地調整後、塗膜のはがれた部分にのみ補修用エポキシ樹脂下塗りを $30 \mu\text{m}$ 程度塗装し、中塗りと上塗りは試験塗装と同じ塗料を全面に塗装した。(写真Ⅶ－４)

10.3.7 塗装工程

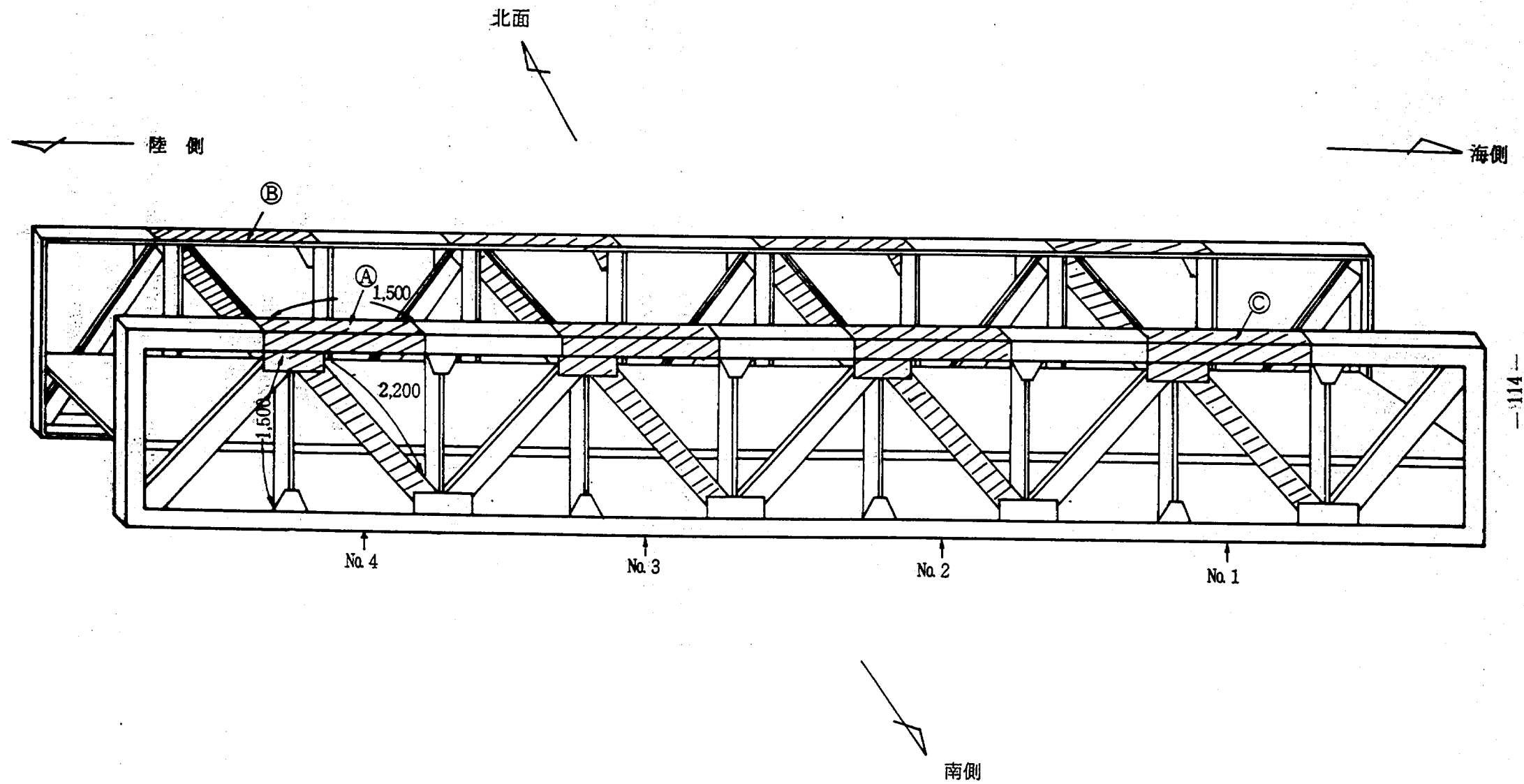
塗装工程は表Ⅶ－３に示す。

塗装時期としては最適の季節であったが、中塗りを塗装した10月17日は塗装終了数時間後に雨が降ったが、塗膜に白化現象はほとんど見られなかった。また、10月18日は風が強く塩分付着の恐れがあるため、上塗り塗装前に全面水洗した。

10.4 追跡調査

試験塗装後3ヶ月経過した時点では、いずれの塗装系も塗膜に異状は見られなかった。

今後、長期にわたる追跡調査を行ない、これらの塗装系の実橋への適用性を検討してゆく予定である。



図Ⅶ-1 試験塗装の位置

表Ⅶ-2. 試験塗装仕様

工程 仕様No	第1層目	第2層目	第3層目	第4層目	第5層目
1	補修用エポキシ 樹脂下塗り (30 μ m)	ビニルエステル樹脂 ガラスフレーク塗料 (400 μ m)	ウレタン用中塗り 塗料 (30 μ m)	ポリウレタン上塗り 塗料 (30 μ m)	—
2	〃	エポキシ樹脂ガラス フレーク塗料 (400 μ m)	〃	〃	—
3	〃	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料 (1000 μ m)	〃	〃	—
4	エポキシ樹脂ジンク リッチプライマー (30 μ m)	補修用エポキシ樹 脂塗料下塗り (70 μ m)	補修用エポキシ樹 脂塗料下塗り (70 μ m)	ウレタン用中塗り 塗料 (30 μ m)	ポリウレタン上塗り 塗料 (30 μ m)

表Ⅶ-3. 塗装工程

月日 項目	10月15日	10月16日	10月17日	10月18日
天候	晴れ	晴れ	曇りのち小雨	曇り
気温	18℃(14時)	23℃(11時)	20℃(11時)	21℃(11時)
湿度	59% 〃	52%(〃)	72%(〃)	49%(〃)
風	強	弱	弱	強
作業内容	足場架設 水洗 素地調整 1層目塗装	2層目塗装 No.4のみ3層 目も塗装	3層目塗装 No.4, 4層目 塗装	4層目塗装 No.4, 5層目塗 装

(注) 10/14 は準備, 10/19 は後かたづけ

11. 総 括

長期防錆型塗装系の部分塗り替えに関する第1次より第7次までの各種試験研究の結果以下のことが明らかとなった。

- (1) 塩分や水分を含んだような錆を生じた部分の塗り替え時には、十分な除錆を行ない鉄素地に食い込んでいる錆も除去することが必要である。(ブラスト処理)
- (2) 十分に除錆ができない場合は、外部からの塩分や水分の浸透を防げるため、十分な膜厚が必要である。
(超厚膜型塗装系)
- (3) 十分に除錆ができず、厳しい腐食環境にある場合には、外部からの塩分や水分の浸透を防ぐと共に、鉄素地の腐食によるふくれを抑えてむ硬い塗膜が必要である。(ガラスフレーク系塗料)

あとがき

第1次より第6次までの試験結果を踏え、長期防錆型塗装系の部分塗り替えを合理的に行うための指針(案)を作製する予定である。

謝 辞

本試験調査に御協力いただいた大日本塗料株式会社(高瀬勝次氏, 野村線一氏, 半田雅紀氏), 日本ペイント株式会社(福島稔氏, 井上勇一氏, 安井正宏氏), 関西ペイント株式会社(栗山寛氏, 浜村寿弘氏, 岸原雅人氏)並びに石川島検査計測株式会社(土田豊二氏, 遠藤和雄氏)に深甚なる感謝の意を表する次第である。

長期防錆型塗装系の塗り替えに
関する調査報告

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2338号
昭和61年2月 (1986)
片脇清士 西島高秀
守谷 進 森 芳徳

キーワード：長期防錆型塗装系，塗り替え，暴露試験，室内試験，
試験塗装

要旨：長期防錆型塗装系における塗膜の部分的な劣化を塗り替えるための塗装システムを開発する目的で行った暴露試験及び室内試験の結果をとりまとめるとともに，これらの結果をふまえて行った実橋での試験塗装についてとりまとめたものである。 ○

郵便はがき

3 0 5 □ □

下を40
さは円
いっ切
て手

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

化学研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 2338 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印