

土 木 研 究 所 資 料

長期防錆型塗装系の塗り替えに
関する試験調査報告（Ⅱ）

昭 和 6 2 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

地質化学部 化学研究室

Copyright © 1988 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 関する試験調査報告（Ⅱ）

化学研究室 片 脇 清
 守 屋 進

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および室内試験の結果をとりまとめるとともに、これらの結果より長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）を提案したものである。

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	5
3.3 促進試験	5
3.4 塗膜の評価方法	5
4. 第1次試験	9
5. 第2次試験	39
6. 第3次試験	48
7. 第4次試験	60
8. 第5次試験	64
9. 第6次試験	78
10. 第7次試験	86
11. 総 括	90
あ と が き	91
〔付属資料〕	
長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）	93

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次までの暴露試験および室内試験を実施し、さらに第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次までの試験結果についてとりまとめたものである。また、これらの試験結果より、長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）を提案した。

昭和62年3月

化学研究室 片 脇 清
守 屋 進

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優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の鋼橋と同じ鋼材端部や下フランジ下面およびボルトナットのある添接部である。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全体の寿命が著しく短くなり全面塗り替えが早まるのは必至である。初期の部分的な発錆部を適切に処置することは橋梁全体の塗膜寿命を延ば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、このような部分の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長期防錆型の塗装系では新設時と同等かそれ以上の塗膜厚が必要となり、塗装回数が多くなってしまう。また、塩分を含んだ発錆部分の錆落としの程度が塗膜の耐久性に大きな影響を及ぼすことが考えられる。このように、耐久性のある部分塗り替えを行うためには解決すべき問題が多くある。

本研究はさび面での防錆効果が期待でき、そのうえ塗装回数が少なくてすむ塗装材料および塗装仕様を開発・選定することを目的とする。

2. 概要

昭和56年度より開始した第1次から第7次までの暴露試験、促進試験、室内試験および実橋での試験塗装の概要を以下に示す。

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種類、補修塗装系5種類と試作した厚塗り塗装系11種類の計19塗装系をさび面とブラスト面に塗装し暴露試験を行った。

第2次試験

下塗り第1層6種類、第2層11種類と上塗り2種類の塗料をさび面とブラスト面に塗装し、複合環境試験および塩水噴霧試験を行った。

第3次試験

塩分を含んだ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、促進試験および塗膜物性試験等を行った。

第6次試験

塩分を含んださび面の素地調整が十分でない場合、超厚膜系とガラスフレーク系が有望であることが明らかとなった。この確認と規格化のための暴露試験を行った。

第7次試験

これまでに得られた成果を実証する目的で阿字ヶ浦の漂砂観測用栈橋のトラスの一部に試験塗装を行った。

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
	阿字ヶ浦	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	阿字ヶ浦
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

さび板の作製条件を表-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いS I S (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いS a 1,2および2.5程度に処理した。

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塗装またはヘラで塗り付けた。

(2) 塗付量

塗装時に下塗り、中塗り、上塗りの塗付量を測った。

表-2 さび板の作製条件

	原 板	材 質	寸 法 (mm)	さび板製作場所	暴露期間
第1次試験	ブラスト板	S S 41	300×200×5 600×250×6	千葉県千倉町	
第2次試験	ブラスト板	S S 41	70×150×3.2	茨城県阿字ヶ浦	
第3次試験	ブラスト板	S S 41	200×300×6	千葉県千倉町	37日
第4次試験	黒皮付	S S 41	100×150×3	千葉県飯岡町	3ヶ月
第5次試験	ブラスト板 薄膜塗装板 ブラスト板	S S 41	200×300×6	千葉県飯岡町 " 千葉県千倉町	1ヶ月, 3ヶ月 3ヶ月 3ヶ月
第6次試験	ブラスト板	S S 41	200×300×6	千葉県飯岡町 茨城県阿字ヶ浦	3ヶ月 3ヶ月

(3)膜厚

下塗り完了時および上塗り完了後十分に塗膜が乾燥してから、一点接触定圧型電磁式膜厚計（ケットLX-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土木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。

3.2.2 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。

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度で暴露を行った。

3.3 促進試験

3.3.1 複合環境試験

複合環境試験機（島津製作所製）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

塩水噴霧試験機（スガ試験機製）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

塗膜外観の変化を「さび」、「ふくれ」、「われ」、「はがれ」、「さびこぶ」、「その他」に分類し、それぞれに定めた下記に示す評価基準で評価した。

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、本試験では測定対象面に生じたすべてのさびを「さび」とし、ASTM D610 に準拠し表-3のように評価した。

②ふくれ

塗膜の「ふくれ」はASTM D714 に準拠し表-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

チェックングおよびクラッキングを含み、「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、大きさにより大、中、小の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。

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%
5	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	1～5mmφ	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	下塗りが見えるわれ
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 白亜化等評価基準

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 "

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で行った。このとき塗膜の剝離面の観察を行い剝離位置と面積を記録した。

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し、研磨面はエチルアルコールを浸したガーゼでよく拭いて表面を清浄にし、乾燥後この部分にシアノアクリレート系瞬間接着剤でスペイ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しているスペイシメンをねじり、塗膜より剝離させる。この時に要したトルク値($\text{Kgf} \cdot \text{cm}$)よりせん断応力を求め、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塗膜表面を平らにし、研磨面はエチルアルコールを浸したガーゼで拭いて表面を清浄にし、乾燥後2液型エポキシ樹脂系接着剤でスペイシメンを接着させる。硬化後アドヒロゲージにより塗膜に付着しているスペイシメンを垂直に引張り、塗膜より剝離させる。この時に要した値($\text{Kgf} \cdot \text{cm}$)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 $5\text{mm} \times 20\text{mm}$ に切断し、 $10\text{mm}/\text{min}$ の速度で引張り、塗膜の破断強度および伸び率を求めた。

②透湿度試験

J I S Z 0208 防湿包装材料の透湿度試験方法に準拠してフリーフィルムの透湿度を求めた。

3.4.4 その他

①塗膜の光沢測定

塗膜表面の汚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GM-24）で塗膜の光沢値を測定した。また、一部水洗い前の光沢値も測定した。

②塗膜のピンホール検査

3%食塩水をしみこませたフェルト電極($75\text{mm} \times 50\text{mm}$)に250Vの電圧をかけ、ピンホールの有無をピンホールテスター（㈱サンコウ電子製PH-10型）で調べた。

4. 第1次試験

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およ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Sa2.5～3程度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種類の系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露出させ、塗料を旧塗膜に一部重ねて塗ることにより新しい塗膜と旧塗膜との付着性について検討を行った。

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。

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光沢値が5～10になるようにSt3程度のさび落としを行った。

(2)ブラスト面

黒皮付き鋼板をサンドブラストでSa 2.5～3程度に素地調整した。

(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の一部をディスクサンダーではがして鋼素地を露出させた。旧塗膜の塗装仕様を表1-1に示す。

4.3.3 塗装仕様

暴露試験した塗装仕様を表1-2に、阿字ヶ浦暴露試験片の組み合わせを表1-3に、垂水暴露試験片の組み合わせを表1-4に示す。

表 I - 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 仕 様

塗装系No.	新 設 時 の 塗 装 系
1	1 Z P - H B × 1 + W P - S × 1 + P H - Z C × 1 + M I O × 2 + C R × 2
2	1 Z P - H B × 1 + ミ ス ト コ ー ト + E P - H B × 2 + P U × 2
3	W P - L × 1 + 鉛系さび止めペイント1種×2 + A P × 2
塗装系No.	補 修 塗 装 系
4	O Z P - H B × 2 + 補修用E P × 3 + C R × 2
5	補修用E P × 3 + C R × 2
6	O Z P - H B × 2 + 補修用E P × 3 + P U × 2
7	補修用E P × 3 + P U × 2
8	鉛系さび止めペイント1種×2 + A P × 2
塗装系No.	試 作 厚 塗 り 塗 装 系
9	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (200~300 μ m) × 1 + P U × 2
10	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (200~300 μ m) × 1 + C R × 2
11	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (200~300 μ m) × 1 + P U × 2
12	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (200~300 μ m) × 1 + C R × 2
13	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (200~300 μ m) × 1 + P U × 2
14	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (200~300 μ m) × 1 + C R × 2
15	シーラーコート (30 μ m) × 1 + E P (約1mm) × 1 + P U × 2
16	シーラーコート (30 μ m) × 1 + P U - H B (200~300 μ m) × 1 + P U × 2
17	シーラーコート (30 μ m) × 1 + P U - H B (200~300 μ m) × 1 + C P × 2
18	シーラーコート (30 μ m) × 1 + P E - H B (200~300 μ m) × 1 + P U × 2
19	シーラーコート (30 μ m) × 1 + P E - H B (200~300 μ m) × 1 + C P × 2
塗装系に記した塗料略記号は次の通りである。 W P - S : 短期暴露型ウツシプライマー W P - L : 長期暴露型ウツシプライマー 1 Z P - H B : 厚膜型無機質シクリッチペイント O Z P - H B : 厚膜型有機質シクリッチペイント P H - Z C : フェノールジソメートさび止めペイント M I O : フェノールM I O塗料 E P - H B : 厚膜型エポキシ樹脂塗料 E P : エポキシ樹脂塗料 C R : 塩化ゴム系樹脂塗料 P U : ポリウレタン樹脂塗料 P U - H B : 厚膜型ポリウレタン樹脂塗料 A P : 長油性フタル酸樹脂塗料 P E - H B : 厚膜型ポリエステル樹脂塗料	

表 I - 3 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	S-1 (注) S-2 S-3	
補修時の塗装系	S-4 S-8	R-4 (注) ※R-5, 7 R-6, 8
試作厚塗り塗装系	S-9 S-19	R-9 R-19
試験片枚数	19	15

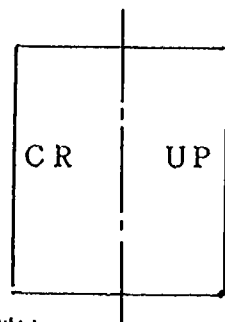
表 I - 4 垂水暴露試験片

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

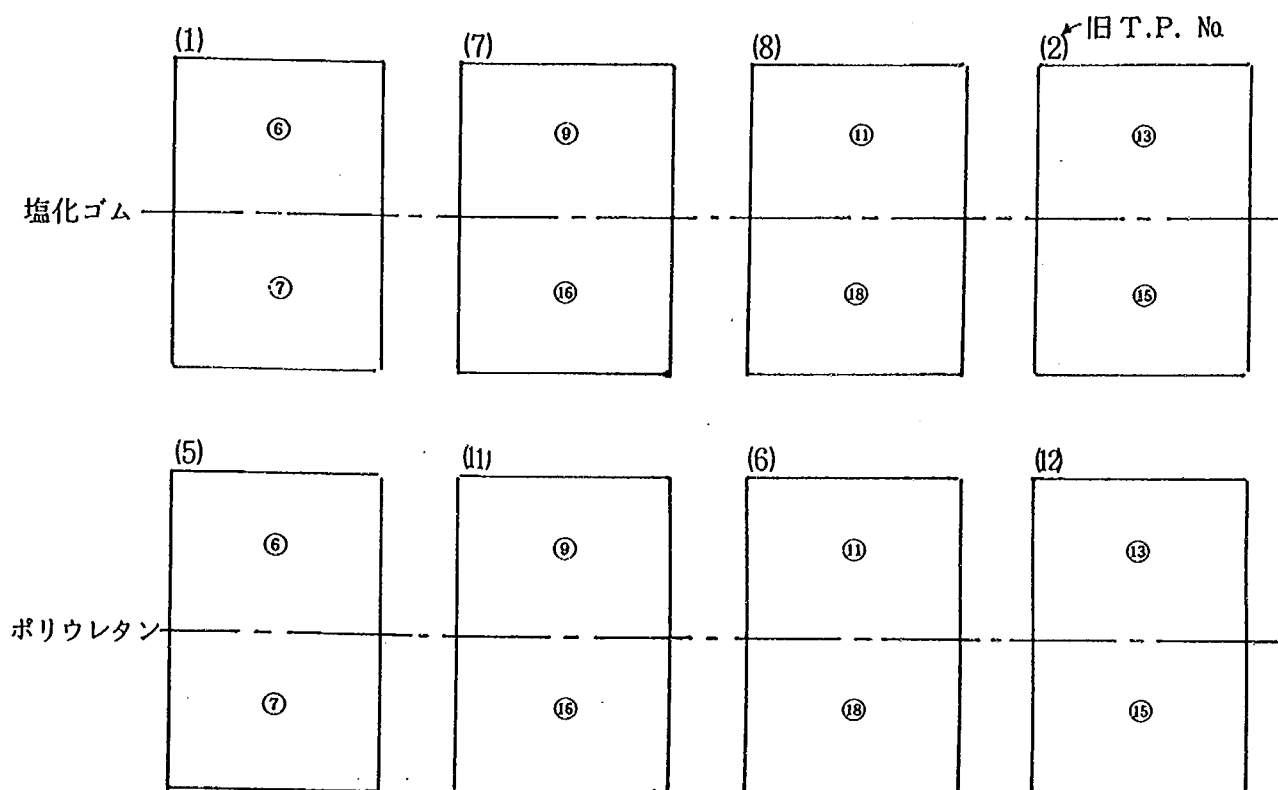
(注-1) Sは黒皮板, Rはさび板試験片で, SおよびR記号の後の数値は表I-2に示した塗装系No.を示す。※印は1枚の試験片に2つの塗装系を塗り分けたものを示す。

**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。

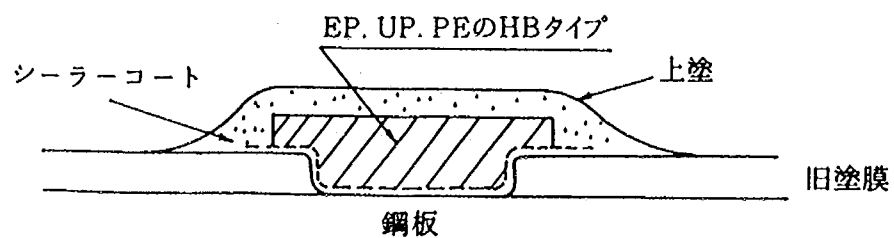
(注－2) 試作厚塗り塗装系の黒皮板、さび板試験片は、下記のように塗りわけた。



(注－3) 旧塗膜試験片の塗り分け



(注－4) 旧塗膜面の塗装 (断面図)



4.4 暴露試験結果

塗装試験片を阿字ヶ浦に34枚（35塗装系）と垂水に23枚（40塗装系）を暴露し、暴露後1年毎に5年間塗膜の調査を行った。

4.4.1 阿字ヶ浦暴露

塗膜の外観観察結果を表 I - 5 (1)～5 (5)に、光沢値の初期値を表 I - 6 に、光沢値とピンホール試験の結果を表 I - 7 (1)～7 (2)に、暴露3年、4年および5年目の塗膜の付着力試験結果を表 I - 8 (1)～8 (3)に示す。

4.4.2 垂水暴露

塗膜の外観観察結果を表 I - 9 (1)～9 (4)に、光沢値とピンホール試験の結果を表 I - 10 (1)～10 (4)に、塗膜の付着力試験結果を表 I - 11 (1)～11 (4)に示す。

表I-5(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 チッピング 全面	"	小
R-15	"	8MD	なし	"	なし
R-16	"	6D	"	"	"
R-17	"	6D	"	"	"
R-18	"	8D	"	"	"
R-19	"	なし	"	"	"

表1-5(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	はがれ
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	はがれ
R-4	4	8M	なし	なし
R-5	なし	6D	"	"
R-6	"	4D	"	"
R-7	3	6D	"	"
R-8	2	6D	"	"
R-9	なし	6MD	"	"
R-10	"	6M	"	"
R-11	"	6MD	"	"
R-12	"	6D	"	"
R-13	"	4D	"	"
R-14	"	6D	"	"
R-15	"	6MD	"	"
R-16	"	6D	"	"
R-17	"	6D	"	"
R-18	"	8D	"	"
R-19	"	なし	"	"

表I-5(3) 外観観察結果 (阿字ヶ浦暴露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
	"	さび約10mmF	"	"	
R-10	"	さび約F	"	"	中
	"	さび約1~7mmF	"	"	
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	塊さび1ヶ	"	中
	塊さび4	"	4	"	

表I-5(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	剥離 3	"	大

表1-5(5) 外観観察結果 (阿字ヶ浦暴露5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	"	"	8	"	大
S-4	"	"	なし	"	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	"	8 F	"	"	大
S-15	"	なし	"	"	大
S-16	"	"	"	"	大
S-17	"	"	チエツキング	"	大
S-18	"	"	なし	"	大
S-19	"	"	"	"	大

試験片No.	さび	ふくれ	われ	はかれ	白亜化
R-4	0	6MD	なし	なし	大
R-5	0	4MD	"	"	大
R-6	2	2MD	ふくれま	"	大
R-7	0	6MD	なし	"	大
R-8	0	2MD	4	さびはくり	大
R-9	エッジさび	4MD	なし	なし	大
R-10	"	6MD	"	"	大
R-11	なし	2D	"	"	大
R-12	エッジさび	2D	"	"	大
R-13	4	2D	"	"	大
R-14	4	2D	"	"	大
R-15	エッジさび	4MD	"	"	大
R-16	さび汁	6MD	"	エッジさび	大
R-17	3	6MD	"	"	大
R-18	エッジさび	6MD	"	なし	大
R-19	"	なし	"	"	大

表 I - 6 光沢値 (初期値)

阿字ヶ浦暴露				垂水暴露			
試験片 No.	光 沢			試験片 No.	光 沢		
	1	2	平均值		1	2	平均值
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				

表 I - 7 (1) 光沢測定およ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 目大	38	8	24
S-5	35	"	14	"	60 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

表 I - 7 (2) 光沢測定およ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
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 - 8 (1) 付着力試験結果 (阿字ヶ浦 3 年暴露)

項目 試験 片No	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)	項目 試験 片No	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)
S-1	141 Zn/Zn 100%	19 Zn/Zn 100%	R-4	198 中/中 10% 接着剤 90%	25 上/中 80% 接着剤 20%
S-2	91.8 Zn/Zn 100%	42 Zn/Zn 100%	R-5	109 接着剤 100%	21 上/中 10% 中/上 30% 接着剤 60%
S-3	205 下/下 50% 接着剤 50%	51 中/中 30% 下/下 30% 接着剤 40%	R-6	159 上/中 40% 接着剤 60%	17 上/中 100%
S-4	162 中/下 10% 接着剤 90%	45 中/中 40% 接着剤 60%	R-7	166 上/中 50% 下/下 50%	17 上/中 100%
S-5	282 中/下 40% 接着剤 60%	70 中/中 100%	R-8	173 上/中 150%	15 上/中 30% 接着剤 70%
S-6	268 下/下 100%	38 下/下 100%	R-9	300 上/中 100%	17 上/中 100%
S-7	88.3 下/下 90% 接着剤 10%	43 下/下 100%	R-10	230 中/下 50% 接着剤 50%	30 上/中 100%
S-8	268 下/下 100% 素地に近い	49 下/下 50% 接着剤 50%	R-11	205 上/中 100%	23 上/中 100%
S-9	353 下/下 100%	62 中/中 70% 接着剤 30%	R-12	187 上/中 80% 接着剤 20%	25 上/中 100%
S-10	106 中/中 80% 接着剤 20%	68 中/中 80% 接着剤 20%	R-13	77.7 上/中 100%	29 上/中 100%
S-11	215 下/下 100%	57 下/下 100%	R-14	166 上/中 100%	20 上/中 70% 接着剤 30%
S-12	222 中/中 30% 接着剤 70%	64 中/中 70% 接着剤 30%	R-15	233 上/中 100%	30 上/中 100%
S-13	169 下/下 100%	42 下/下 100%	R-16	201 上/中 100%	28 上/中 100%
S-14	198 下/下 20% 接着剤 80%	39 下/下 20% 上/下 60% 接着剤 20%	R-17	141 上/中 100%	34 上/中 100%
S-15	233 中/中 100%	62 中/中 100%	R-18	184 中/中 100%	22 上/中 100%
S-16	201 中/中 100%	46 中/中 100%	R-19	70.6 上/中 100%	14 上/中 100%
S-17	212 接着剤 100%	72 上/中 30% 接着剤 70%			
S-18	173 中/中 100%	24 中/中 100%			
S-19	180 中/中 20% 接着剤 80%	34 上/中 70% 接着剤 30%			

表 I - 8 (2) 付着力試験結果 (阿字ヶ浦 4 年暴露)

項目 試験 片No	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)	項目 試験 片No	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)
S-1	35 Zn/Zn 100%	15 Zn/Zn 100%	R-4	194 上/中 10% 接着剤 90%	22 上/中 60% 接着剤 40%
S-2	184 Zn/Zn 100%	30 Zn/Zn 100%	R-5	177 接着剤 100%	20 上/中 100%
S-3	251 下/下 100%	70 下/下 50% 接着剤 50%	R-6	247 下/下 80% 上/中 20%	測定不能
S-4	300 接着剤 100%	64 上/上 100%	R-7	測定不能	測定不能
S-5	247 接着剤 100%	40 上/上 5% 接着剤 95%	R-8	測定不能	測定不能
S-6	194 下/下 100%	22 下/下 60% Zn/Zn 20% 接着剤 20%	R-9	177 上/中 100%	12 上/中 100%
S-7	159 下/下 100%	30 下/下 85% 接着剤 15%	R-10	212 上/中 10% 接着剤 90%	19 上/中 35% 接着剤 65%
S-8	177 下/下 100%	28 下/下 85% 接着剤 15%	R-11	35 上/中 100%	18 上/中 100%
S-9	282 下/下 5% 接着剤 95%	52 中/中 50% 接着剤 50%	R-12	177 上/中 100%	18 上/中 35% 接着剤 65%
S-10	148 上/中 10% 接着剤 90%	32 上/上 50% 接着剤 50%	R-13	99 下/下 20% さび層 80%	20 上/中 100%
S-11	229 下/下 100%	58 下/下 95% 接着剤 5%	R-14	194 接着剤 100%	25 上/中 100%
S-12	247 上/中 40% 接着剤 60%	54 上/上 100%	R-15	212 上/中 100%	20 上/中 100%
S-13	240 下/下 100%	50 下/下 95% 接着剤 5%	R-16	120 上/中 100%	40 上/中 100%
S-14	212 上/中 10% 接着剤 90%	21 上/上 100%	R-17	42 上/中 100%	18 上/中 45% 接着剤 55%
S-15	251 下/下 100%	58 下/下 85% 接着剤 15%	R-18	18 上/中 100%	25 上/中 100%
S-16	247 下/下 100%	32 下/下 70% 接着剤 30%	R-19	177 接着剤 100%	13 上/中 50% 接着剤 50%
S-17	229 接着剤 100%	38 上/中 15% 接着剤 85%			
S-18	247 中/中 100%	27 中/中 90% 接着剤 10%			
S-19	247 接着剤 100%	15 上/中 60% 接着剤 40%			

表 I - 8 (3) 付着力試験結果 (阿字ヶ浦 5 年暴露)

項目 試験 片No	アドヒジョン (kgf/cm ²)	項目 試験 片No	アドヒジョン (kgf/cm ²)
S-1	$\begin{matrix} 12 \\ \text{Zn}/\text{Zn} \\ 100\% \end{matrix}$	R-4	測定不能
S-2	$\begin{matrix} 33 \\ \text{Zn}/\text{Zn} \\ 100\% \end{matrix}$	R-5	測定不能
S-3	$\begin{matrix} 52 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 10\% \\ 90\% \end{matrix}$	R-6	測定不能
S-4	$\begin{matrix} 35 \\ \text{接着剤} \end{matrix} 100\%$	R-7	測定不能
S-5	$\begin{matrix} 34 \\ \text{接着剤} \end{matrix} 100\%$	R-8	測定不能
S-6	$\begin{matrix} 62 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 10\% \\ 90\% \end{matrix}$	R-9	さび層 $\begin{matrix} 25 \\ 100\% \end{matrix}$
S-7	$\begin{matrix} 32 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 55\% \\ 45\% \end{matrix}$	R-10	さび層 $\begin{matrix} 30 \\ 100\% \end{matrix}$
S-8	$\begin{matrix} 50 \\ \text{上}/\text{中} 4\% \text{ 中}/\text{中} 3\% \\ \text{下}/\text{下} 3\% \text{ 接着剤} 90\% \end{matrix}$	R-11	測定不能
S-9	$\begin{matrix} 70 \text{以上} \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 30\% \\ 70\% \end{matrix}$	R-12	さび層 $\begin{matrix} 28 \\ 100\% \end{matrix}$
S-10	$\begin{matrix} 33 \\ \text{中}/\text{中} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 5\% \\ 95\% \end{matrix}$	R-13	さび層 100%
S-11	$\begin{matrix} 55 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 30\% \\ 70\% \end{matrix}$	R-14	測定不能
S-12	$\begin{matrix} 70 \text{以上} \\ \text{中}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 40\% \\ 60\% \end{matrix}$	R-15	さび層 $\begin{matrix} 25 \\ 100\% \end{matrix}$
S-13	$\begin{matrix} 40 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 95\% \\ 5\% \end{matrix}$	R-16	さび層 $\begin{matrix} 20 \\ 100\% \end{matrix}$
S-14	$\begin{matrix} 51 \\ \text{接着剤} \end{matrix} 100\%$	R-17	さび層 $\begin{matrix} 25 \\ 85\% \end{matrix}$ 接着剤 15%
S-15	$\begin{matrix} 40 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 15\% \\ 85\% \end{matrix}$	R-18	さび層 $\begin{matrix} 35 \\ 100\% \end{matrix}$
S-16	$\begin{matrix} 42 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 20\% \\ 80\% \end{matrix}$	R-19	$\begin{matrix} 32 \\ \text{上}/\text{中} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 75\% \\ 25\% \end{matrix}$
S-17	$\begin{matrix} 50 \\ \text{接着剤} \end{matrix} 100\%$		
S-18	$\begin{matrix} 35 \\ \text{中}/\text{下} \end{matrix} 100\%$		
S-19	$\begin{matrix} 45 \\ \text{下}/\text{下} \\ \text{接着剤} \end{matrix} \begin{matrix} 20\% \\ 80\% \end{matrix}$		

表I-9(1) 外観観察結果（垂水，ブラスト面）

暴露期間 項目 試験 片No	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
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-9(2) 外観観察結果 (垂水, さび面)

暴露期間	1 年					2 年					3 年					4 年				
項目 試験 片No	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 ルビ 全面	4D	なし	なし	大	なし	2,4D	1	4	大
R-6	"	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	"	キスカ 5中1ヶ	大	"	なし	"	"	1	"	4F	"	"	大	なし	6MD	"	"	中
R-10	"	"	チェック 全面発生	なし	中	"	"	チェック 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	"	6MD	"	"	中	"	4D	"	"	1	"	2D 塗膜下 び び	"	"	大	"	2D	"	"	大
R-13	"	4M	"	"	小	"	4M	"	"	1	"	4M	"	"	大	"	6MD	"	"	大
R-14	"	4MD	"	"	中	"	4MD	"	"	1	"	2,4MD 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-9(3) 外観観察結果 (垂水, 旧塗膜)

暴露期間 項目 試験片No.	1 年					2 年					3 年					4 年				
	さび	ふくれ	われ	はがれ	白垂化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白垂化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白垂化	さび	ふくれ	われ	はがれ	白垂化
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I-9(4) 外観観察結果（垂水，5年暴露）

（ブラス）

（さび面）

（旧塗膜）

項目 試験 片No	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	項目 試験 片No	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化	項目 試験 片No	さび	ふくれ	われ	はがれ	白亜化
S-1	なし	4 1ヶ	なし	なし	大	R-4	0	2~4D	1	4	大	CR-6	なし	なし	なし	なし	大
S-2	"	なし	"	"	大	R-6	エッジ 下 0	6M 6MD	なし	なし	大	CR-7	"	"	"	"	大
S-4	"	"	"	"	大	R-9	なし	6MD	"	"	中	CR-9	"	"	"	"	大
S-6	"	"	"	"	大	R-10	"	6M	2	"	中	CR-11	"	"	"	"	大
S-9	"	"	"	"	大	R-11	"	6D	なし	"	大	CR-13	"	"	"	"	大
S-10	"	"	3	"	大	R-12	"	2D	"	"	大	CR-15	"	"	"	"	大
S-11	"	"	なし	"	大	R-13	"	6MD	"	"	大	CR-16	"	"	"	"	大
S-12	"	"	3	"	大	R-14	"	6D	"	"	大	CR-18	"	"	"	"	大
S-13	"	"	なし	"	大	R-16	4	6MD	"	"	大	U-6	"	"	"	"	大
S-14	"	"	"	"	大	R-17	4	6MD	3 2mm	"	大	U-7	"	"	"	"	大
S-16	"	"	"	"	大							U-9	"	"	"	"	大
S-17	"	"	"	"	大							U-11	"	"	"	"	大
S-18	"	"	"	"	大							U-13	"	"	"	"	大
S-19	"	"	"	"	大							U-15	"	"	"	"	大
												U-16	"	"	"	"	大
												U-18	"	"	"	"	大

表 I - 10(1) 光沢測定およ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

表 I - 10(2) 光沢測定およ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
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-10(3) 光沢測定およびピンホール検査結果 (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 - 10(4) 光 沢 測 定 (垂水 5 年暴露)

項目 試験 片No.	光 沢		項目 試験 片No.	光 沢		項目 試験 片No.	光 沢	
	水洗前	水洗後		水洗前	水洗後		水洗前	水洗後
S - 1	23	27	R - 4	11	—	CR - 6	31	31
S - 2	24	17	R - 6	30	28	CR - 7	35	33
S - 4	30	48	R - 9	21	42	CR - 9	36	33
S - 6	32	30	R - 10	20	33	CR - 11	37	41
S - 9	32	38	R - 11	26	30	CR - 13	33	33
S - 10	26	46	R - 12	19	42	CR - 15	31	30
S - 11	32	42	R - 13	32	36	CR - 16	35	37
S - 12	30	53	R - 14	27	34	CR - 18	36	32
S - 13	42	44	R - 16	24	38	U - 6	34	30
S - 14	38	60	R - 17	24	46	U - 7	36	37
S - 16	27	47				U - 9	37	39
S - 17	41	62				U - 11	32	26
S - 18	21	21				U - 13	34	31
S - 19	15	26				U - 15	35	35
						U - 16	33	38
						U - 18	35	31

表 I - 11(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 ²)	トルク (kgf/cm ²)	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)
S-1	183 Zn/Zn 100%	0 IZP/IZP 100%	0 Zn/Zn 100%	15 Zn/Zn 100%	0 Zn/Zn 100%	10 Zn/Zn 100%
S-2	141 接着剤100%	28 IZP/IZP 100%	247 Zn/Zn 100%	36 接着剤 100%	177 Zn/Zn 10% 接着剤 90%	30 下/下 50% Zn/Zn 20% 接着剤 30%
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%	124 上/中 60% 接着剤 40%	40 上/上 10% 接着剤 90%
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%	177 下/下 5% 接着剤 95%	55 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%	141 接着剤100%	55 接着剤 100%
S-10	177 シクロ/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%	194 上/中 5% 接着剤 95%	20 上/上 10% 接着剤 90%
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%	212 接着剤100%	70以上
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%	106 上/中 5% 接着剤 95%	65 上/上 20% 接着剤 80%
S-13	184 接着剤100%	141 接着剤100%	212 接着剤100%	53 下/下 100%	212 接着剤100%	65 下/下 100%
S-14	194 下/下 20% 接着剤 80%	247 接着剤100%	124 接着剤100%	37 上/上 20% 下/下 60% 接着剤 20%	141 接着剤100%	40 下/下 30% 接着剤 70%
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%	187 接着剤100%	70 下/下 100%
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%	141 接着剤100%	40 上/上 10% 接着剤 90%
S-18	102 下/下100%	81 下/下100%	124 接着剤100%	47 中/中 60% 接着剤 40%	159 Zn/Zn 10% 接着剤 90%	65 フルーク/フルーク30% 接着剤 70%
S-19	74.1 下/下 20% 接着剤 80%	35 接着剤100%	124 接着剤100%	33 中/中 20% 接着剤 80%	159 接着剤 50% MIO/MIO50%	15 接着剤 90% 上/上 10%

表 I - 11(2) 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 ²)	トルク (kgf/cm ²)	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)	トルク (kgf/cm ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)
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%	ふくれのため測定不能	
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%	282 接着剤 100%	45 さび 100%
R-9	141 接着剤 100%	275 接着剤 100%	159 接着剤 100%	36 さび/さび 100%	159 接着剤 100%	35 さび 100%
R-10	159 ツナカ/上 40% 接着剤 60%	265 中/上 20% 接着剤 80%	162 接着剤 100%	23 接着剤 100%	159 接着剤 100%	40 上/上 10% 接着剤 90%
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%	177 接着剤 90% さび 10%	40 さび 100%
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%	18 さび 100%	0 さび 100%
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%	131 接着剤 100%	35 さび 100%
R-14	141 接着剤 100%	35 さび 100%	205 接着剤 100%	22 さび/さび 5% 下/下 20% 上/上 20% 接着剤 55%	177 接着剤 100%	50 さび 10% 下/下 30% 接着剤 60%
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%	247 接着剤 100%	25 さび 100%
R-17	177 接着剤 100%	88 中/下 50% 接着剤 50%	173 接着剤 100%	21 中/上 10% 接着剤 90%	177 接着剤 100%	20 上/中 40% 接着剤 60%

(注) 上段の数値は付着力 (kgf/cm²) を, その下は剝離箇所を示す。

表 I - 11(3) 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 ²)	アドヒジョン (kgf/cm ²)
CR-6	106 素地/タリコン 100%	35 中/中 30% 素地/タリコン 70%
CR-7	177 タリコン 90% 接着剤 10%	65 中/中 40% 素地/タリコン 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 パテ 60% 接着剤 40%
CR-13	124 新プライマー間 20% 旧プライマー間 40% 接着剤 40%	40 下/下 40% 旧タリコン 10% 旧MIO 40% 接着剤 10%
CR-15	159 接着剤 100%	40 旧下 30% 素地 70%
CR-16	106 旧膜 15% 旧下/旧下 15% 接着剤 70%	40 下/下 70% 接着剤 30%
CR-18	106 フレーク/中 30% 接着剤 70%	25 中/フレーク 100%
U-6	124 素地(タリコン) 100%	40 素地/タリコン 100%
U-7	106 素地/タリコン 100%	50 下/下 60% 素地/タリコン 40%
U-9	247 接着剤 100%	60 中/中 10% 下/下 10% 接着剤 80%
U-11	141 パテ 90% 接着剤 10%	50 素地/タリコン 100%
U-13	141 新プライマー間 15% 旧プライマー間 5% 接着剤 80%	45 下/下 80% 旧下 10% 接着剤 10%
U-15	194 接着剤 100%	50 パテ 15% 旧Zn 25% 接着剤 60%
U-16	247 パテ 90% 接着剤 10%	55 下/下 60% 接着剤 40%
U-18	106 フレーク 50% 接着剤 50%	35 中/フレーク 70% 接着剤 30%

表 1-11(4) 付着力試験結果 (垂水, 5 年暴露)

項目 試験 片No	アドヒジョン (kgf/cm ²)	項目 試験 片No	アドヒジョン (kgf/cm ²)	項目 試験 片No	アドヒジョン (kgf/cm ²)
S-1	⁰ Zn/Zn 100%	R-4	測定不能	CR-6	⁴⁰ 下/下 5% マリコン 60% 旧MIO 10% 旧中 10% 接着剤 15%
S-2	³⁰ 下/下 85% Zn/Zn 15%	R-6	²⁸ さび層 100%	CR-7	⁴⁰ 下/下 5% マリコン 10% 旧中 60% 接着剤 25%
S-4	⁴³ 接着剤 100%	R-9	³⁰ さび層 100%	CR-9	⁴⁰ 旧中 5% 接着剤 95%
S-6	³⁴ 下/下 90% 接着剤 10%	R-10	³⁰ 中/下 30% 接着剤 70%	CR-11	⁴⁰ パテ 90% 旧Zn 5% 接着剤 5%
S-9	³³ 接着剤 100%	R-11	²⁰ さび層 100%	CR-13	¹⁷ 旧MIO 40% 下/下 10% 接着剤 50%
S-10	²⁸ 接着剤 100%	R-12	⁰ さび層 100%	CR-15	³⁰ パテ 15% 旧MIO 85%
S-11	⁵⁰ 下/下 100%	R-13	³⁰ さび層 100%	CR-16	⁵⁰ 旧上/中 40% 下/下 60%
S-12	³⁰ 上/中 30% 接着剤 70%	R-14	³⁰ さび層 40% 下/下 20% 接着剤 40%	CR-18	³⁵ 中/下 80% 接着剤 20%
S-13	⁴⁰ 下/下 75% 接着剤 25%	R-16	²² さび層 100%	U-6	⁵⁵ マリコン 70% 下/下 30%
S-14	⁴⁰ 下/下 10% 上/中 20% 上/上 20% 接着剤 50%	R-17	¹⁵ 中/下 10% 接着剤 90%	U-7	³⁰ 下/下 5% 接着剤 95%
S-16	³⁰ 下/下 70% 接着剤 30%			U-9	⁶⁵ Zn/Zn 10% 下/下 15% 中/下 10% 接着剤 65%
S-17	²⁵ 接着剤 100%			U-11	⁵⁰ マリコン 100%
S-18	²⁰ 中/下 75% 接着剤 25%			U-13	¹⁸ 下/下 50% 接着剤 50%
S-19	³⁸ 中/下 20% 接着剤 80%			U-15	⁴⁰ パテ 20% 接着剤 80%
				U-16	³⁵ 下/下 60% 接着剤 40%
				U-18	³⁵ 中/下 80% 接着剤 20%

4.5 まとめ

暴露試験の結果、黒皮付き鋼板をサンドブラスト処理した面に塗装した試験片では、阿字ヶ浦暴露で3年目から塗装系No.8（フタル酸系）にのみさびが生じたが、他の本州四国連絡橋公団規格の塗装系や試作厚塗り塗装系は白亜化のみで、そのほかの劣化はなく良好な状態であった。

さび面をSt3に処理した面に塗装した試験片では、阿字ヶ浦暴露で本州四国連絡橋公団規格の塗装系5種全てにさびが生じており、試作厚塗り塗装系はNo.13, 14, 17にさびが生じた。一方、垂水暴露では全ての塗装系に暴露1年以内にふくれが生じ、No.4と6にはさびも生じた。

本試験に使用した上塗り塗料のポリウレタン樹脂塗料、塩化ゴム系塗料およびフタル酸系塗料は、いずれも白亜化がひどく光沢値は暴露2年で急激に低下した。

5. 第2次試験

5.1 目的

第1次試験において、黒皮付き鋼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、垂水いずれの暴露でも塗膜に異状は生じていない、一方、さび板を電動工具で処理し塗装した試験片は、すべて1年以内に「ふくれ」が生じたが、「さび」が発生した塗装系はごく一部であった。また、旧塗膜との付着には異状は生じていない。

第2次試験は、第1次試験のこれらの結果を再確認すると共に、促進試験条件を検討することを目的とする。

5.2 概要

さび板を電動工具でSt3に素地調整したさび面と、黒皮付き鋼板をサンドブラストでSa2.5～3程度に素地調整したブラスト面に、第1次試験と同じ本州四国連絡橋公団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塗装系について、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(70mm×150mm×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St3まで電動工具でさび落としを行い、光沢値が5～10になるように調整した。

(2)ブラスト面

黒皮付き鋼板をサンドブラストでSa2.5～3程度に素地調整した。

5.3.3 塗装仕様

試験片の塗装仕様を表Ⅱ-1に示す。

5.4 促進試験

5.4.1 複合環境試験

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サイクルとする促進試験を行った。

表Ⅱ-1 試験片の塗装仕様

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

5.4.2 塩水噴霧試験

塩水噴霧試験機で J I S K 5400 の7.6 に基づいて促進試験を行った。

5.5 試験結果

5.5.1 複合環境試験

外観観察の結果を表Ⅱ－2に、4段階評価した結果を表Ⅱ－3に示す。

5.5.2 塩水噴霧試験

外観観察の結果を表Ⅱ－4、5に、4段階評価した結果を表Ⅱ－6、7に示す。

5.6 まとめ

以上の試験結果より次のことが明らかとなった。

- (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、No.2を除くといずれも膜厚は1000 μ m以上の厚膜のものであった。
- (2) 塩水噴霧試験で2000時間までにブラスト面塗装で異状の生じた塗装系は、No.9のみであった。この原因は、塗膜にピンホールが生じていたためと考えられる。
また、さび面塗装で2000時間まで異状の生じなかった塗装系はNo.2、6、7、8、10、12、13と15であった。
- (3) さび面に有効な塗装系は複合環境試験および塩水噴霧試験結果より、無機質ジンクリッチペイント／補修用エポキシ樹脂塗料／ポリウレタン樹脂塗料の塗装系と膜厚が1000 μ m以上の塗装系であることが明らかとなった。
- (4) 塩水噴霧試験の250時間は複合環境試験の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と考えられる。

表Ⅱ-2 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2M)	6-VL (部分2M)	6-VL	6-VL
R-11-1	(下方¼のみ) 8-S	(下方¼のみ) 4-M	(下方¼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

表Ⅱ-3 複合環境試験結果 (さび面)

(4段階評価結果)

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-4 塩水噴霧試験結果（さび面）

（ふくれのみについての評価）

使用時間 試験片No	250	500	1000	2000
R-1-1	6-VS	4-VS	4-S	4-M
R-1-2	6-VS	4-VS	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-VS	4-M	8-VL	2-M
R-3-2	6-VS	4-M	6-VL	2-L
R-4-1	4-VS	4-L	4-VL	4-VL
R-4-2	4-VS	4-VL	4-VL	4-VL
R-5-1	4-VS	4-M	4-M	2-VL
R-5-2	4-VS	6-S	2-M	2-VL
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-VL	4-VL
R-9-2	"	6-L	4-VL	4-VL
R-10-1	"	異状なし	異状なし	異状なし
R-10-2	"	"	"	"
R-11-1	6-VS	4-VS	6-S	4-S
R-11-1	6-VS	4-VS	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-5 塩水噴霧試験結果 (ブラスト面)

(ふくれのみについての評価)

使用時間 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-11-1	"	"	"	"
S-12-1	"	"	"	"
S-12-2	"	"	"	"
S-13-1	"	"	"	"
S-13-2	"	"	"	"
S-14-1	"	"	"	"
S-14-2	"	"	"	"
S-15-1	"	"	"	"
S-15-2	"	"	"	"

表Ⅱ-6 塩水噴霧試験結果 (さび面)

(4段階評価結果)

記号	塗 装 系	試験時間			
		250	500	1000	2000
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	○	○	○	○

表Ⅱ-7 塩水噴霧試験結果（ブラスト面）

（4段階評価結果）

記号	塗 装 系	試験時間			
		250	500	1000	2000
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

6.1 目的

第1次、第2次試験において、塩分を含んださび面に塗装した塗装系に早期に「ふくれ」の発生が見られた。このため、第3次試験では早期に「ふくれ」が発生することの対策として塩分を含んだ残存さび層の安定化処理方法を見出すことを目的とする。

6.2 概要

早期に「ふくれ」が発生する原因としては、電動工具程度の素地調整では鋼素地に食い込んでいるさびが完全に除去されず、この中に含まれている塩素イオンによって浸透圧が生じ、塗膜外部の水分を浸透させ塗膜と鋼素地の付着を疎外すると考えられる。また、残存しているさび中に水分があれば、外部からの水分の浸透をまたずに同様の結果になると考えられる。

このため、残存さびに含まれる塩分を除去したり、化学的に不活性にする方法や、鉄さびを化学的に安定な化合物に変える方法、およびさびに含まれている水分を除去する方法などについて早期「ふくれ」を防止する効果を検討した。これらの処理方法の概念を表Ⅲ－1に示す。

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を千葉県千倉に37日間暴露してさびさせた。

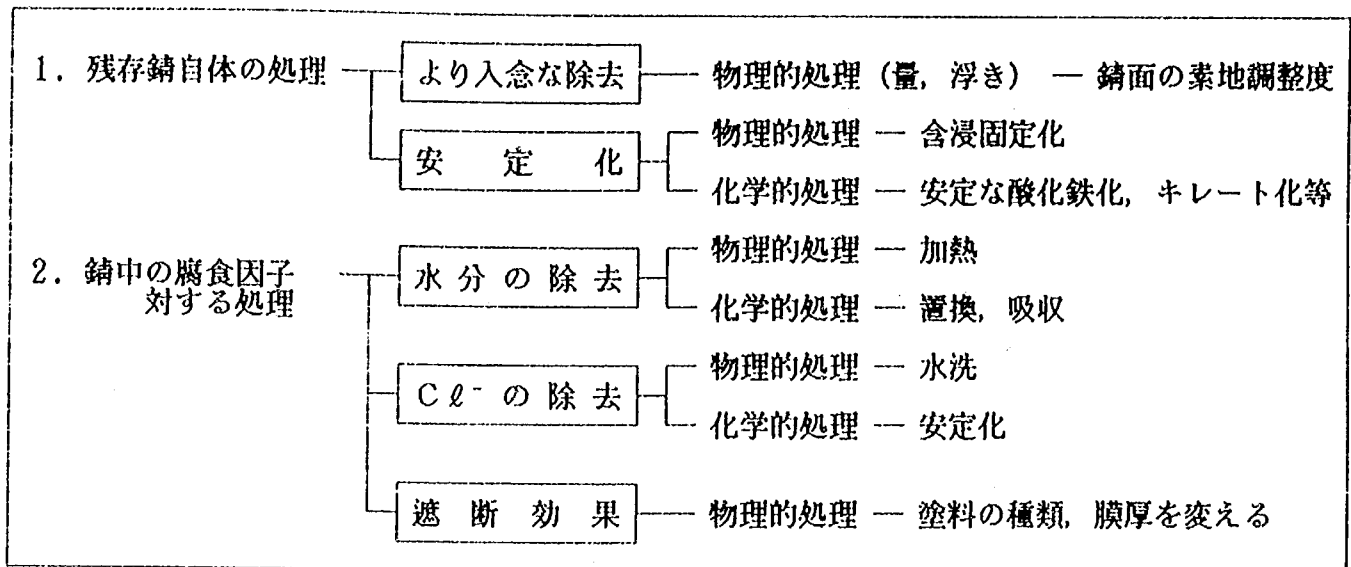
6.3.2 素地調整

さび板はディスクサンダー、パワーブラシで処理（St3）と、ハンマー、パワーブラシで処理（St2）の2通りの素地調整をした。

6.3.3 さび層の処理

さび層は表Ⅲ－2のさび層の処理手法に基づき、表Ⅲ－3(1)～3(2)のさび層の処理方法に示す処理を行った。

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) より入念な手法		
・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	魚油性変性ポリオール
・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	$LiOH$, $Ag(OH)$
(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

S t 3 : ディスクサンダーとパワーブラシを駆使する。

S t 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 (T D I 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 : 59
S.G : 0.93
OH価 : 129
酸価 : 6
硬化剤 : T D I 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 : 1 g / d m²

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。
また、さび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で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布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り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 : 1 g / d m²

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ン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、無機質ジン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 目標膜厚 : 15 μm
5. Cl^- イオン除去	
・水洗処理	錆層中に含浸されている塩分を水道水で洗浄することにより除去する。 水量 : 0.9~2 ℓ / 20 sec
・水酸化リチウム処理	錆層中に含まれている塩分を水酸化リチウムを用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/H_2O 溶液 処理方法 : 刷毛塗り
・水酸化銀処理	錆層中に含まれている塩分を水酸化銀を用いて化学的に安定化する。 処理濃度 : 水酸化銀2% 2N-NH_4OH 溶液 処理方法 : 刷毛塗り
6. 市販品の評価	市販されている錆面用の塗付材料を評価する。 a) A : イソシアネート系 処理量 : 1.7 g / d m^2 b) B : ウレタン系 処理量 : 適量塗付

6.3.4 塗装

さび層の処理をした試験片は、エポキシ樹脂下塗り塗料60 μ m 2回、ポリウレタン樹脂用中塗り塗料30 μ m 1回、ポリウレタン樹脂上塗り塗料30 μ m 1回をはけで塗った。このとき、一部の試験片は膜厚効果を調べる目的で試験片を上下に分割し、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。

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	St2		2
	1-2	St2		4
	1-3	St3		2
	1-4	St3		4
	1-5	St3	一晚室内放置後下塗り	2/4
タンニン酸処理	2-1	St2	タンニン酸2%水溶液, 刷毛塗り	2/4
	2-2	St2	" , 浸漬 (一部クラック発生)	2/4
	2-3	St3	" , 刷毛塗り	2/4
	2-4	St3	" , 浸漬	2/4
ホウ酸処理	3-1	St3	ホウ酸2%水溶液	2/4
	3-2	St3	" + 焼く	2/4
ポリリン酸処理	4-1	St3	メリン酸ナトリウム2%水溶液 + ろ紙で拭き取り	2/4
有機チタン酸処理	5-1	St3	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	St3	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	St3	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	St3	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	St3	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	St3	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	St3	市販品, 膜厚15μm	2/4

表Ⅲ－４(２) 試験片の製作条件

さび層の処理方法	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	St3	クリヤー, 1 g/dm ²	2/4
	10-2	St3	インヒビター 1 g/dm ²	2/4
水洗処理	11-1	水洗後 St3	水道水 2 ℓ	2/4
	11-2	St3	" 0.9 ℓ St3処理後水洗, さらに軽くケレン (パワーブラシ)	2/4
	11-3	St3	" 1 ℓ St3処理後水洗, さらにドライヤーで乾燥	2/4
	11-4	St3	" 1.1 ℓ St3処理後水洗, ろ紙で拭き取り 2%ホウ酸処理	2/4
	11-5	St3	" 1.2 ℓ St3処理後水洗, さらに加熱処理 (105℃, 30分)	2/4
	11-6	St3	" 1 ℓ St3処理後水洗, ろ紙で拭き取り 有機チタン酸処理	2/4
	11-7	St3	" 1 ℓ " 湿気硬化処理	2/4
	11-8	St3	" 1 ℓ " 有機ケイ酸70B処理	2/4
水酸化リチウム処理	12-1	St3	ニチルアルコール水溶液 水酸化リチウム 2% (多少さび発生)	2/4
水酸化銀処理	13-2	St3	水酸化銀 2% 2N水酸化アンモニアム (さび発生)	2/4
市販品	14-1	St3	イソシアネート系 10.2 g/6dm ² 塗布	2/4
	15-1	St3	ウレタン系	2/4

6.4 暴露試験結果

試験片は阿字ヶ浦に暴露し、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月、10ヶ月および2年目に塗膜外観調査を行った。この結果を表Ⅲ-5(1)～5(2)に示す。また、一部の試験片は1年目と2年目にアドヒージョン試験を行った。この結果を表Ⅲ-6(1)～6(2)に示す。

表Ⅲ-5(1) 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
					ふくれ	さびこぶ	ふくれ	さびこぶ	
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	8MD	8D	"	8D	大 M	9D
		"	8F	8F	*8F	"	*8D	大 F	9D
2-1	タニニン酸	"	8M	8D	8D	M	6D	大 MD	全面2D
		"	8F	8M	8MD	M	*6D	大 MD	さびこぶ
2-2	"	"	6M	6M	6M	M	6MD	大 MD	全面2MD
		"	6M	6M	6M	M	6MD	大 MD	さびこぶ
2-3	"	"	8M	8D	8D	F	8D	中 F	8D
		"	8F	8F~M	*8M	F	8D	中 F	8D
2-4	"	"	6M	6MD	6M	M	4MD	なし	4M
		"	6M	6MD	6M	なし	4MD	"	6M
3-1	ホウ酸	"	8M	8M	8D	F	8D	中 F	8D
		"	8F	8F	8MD	VF	*8D	中 F	8MD
3-2	"	"	8M	8MD	8D	なし	8D	なし	8D
		"	8F	8F	8MD	"	*8D	なし	8MD
4-1	ポリリン酸	"	8MD	8D	6MD	"	8D	"	6D
		"	8F	8M	6M	"	8D	"	6MD
5-1	有機チタン酸	"	8MD	8D	6D	F	8D	"	8D
		"	8F	8M	6MD	なし	8D	"	8D
6-1	加熱	"	8MD	8MD	6MD	F	8D	"	8MD
		"	8M	8MD	6M	F	*8D	"	8MD
7-1	湿気硬化	"	8D	8D	8D	なし	8D	"	*8D
		"	8F	8M	*8M	"	*8D	"	*8D
8-1	モルタルエポキシ	"	8M	8M	*8M	"	8D	"	8MD
		"	8F	8F	*8F	"	*8D	"	8M
9-1	有機ケイ酸	"	6M	6MD	6M	"	4~6MD	"	4M
		"	6M	6MD	6M	"	4~6MD	"	4MD
9-2	"	"	6MD	8D	4MD	"	4D	"	4D
		"	6M	8D	6M	"	4D	"	4D
9-3	"	"	6M	6D	4M	F	4MD	"	4~2M
		"	6M	6M	6M	F	4M	"	4~2M
10-1	魚油変性リオール	"	8D	8D	8D	なし	6D	"	6D
		"	8F	8F	6M	"	*6D	"	6MD
10-2	"	"	8D	8D	6D	"	6D	"	6D
		"	8F	8M	6M	"	*6D	"	6MD

表Ⅲ-5(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
					ふくれ	さびこぶ	ふくれ	さびこぶ	
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 さび
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 なし	8D 8D
14-1	市販品A	"	8D 8F	8D 8F	8M *8F	"	8D *8D	大F なし	9D 9D
15-1	市販品B	"	8D 8F	8D 8F	*8D *8M	"	8D *8D	大F なし	9D 9D

(注) * : ふくれの高さが低い物
上段は下塗り2回
下段は下塗り4回

表Ⅲ-6(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/cm)	剝離箇所	付着力 (kgf/cm)	剝離箇所	付着力 (kgf/cm)	剝離箇所
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50%
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-6(2) 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/cm)	剝離箇所	付着力 (kgf/cm)	剝離箇所	付着力 (kgf/cm)	剝離箇所
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 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、以下に示す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考えられる系であった。
 - 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およびB（処理膜厚が加算される。）
- (3) 比較的塗膜の付着性が良い系は、さび層中の水分を除去した系であった
 - 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、塩分を含んださび層の処理方法として、多少なりとも効果が期待できそうなものも見受けられるが、いずれも早期にふくれが生じており、塩分を含んださびの有効な処理方法は見つからなかった。しかしながら、膜厚が厚くさび面と付着性のよいものはさび面に適用できる可能性があることが明らかとなった。

7. 第4次試験

7.1 目的

第3次試験において、極く初期のみ効果が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効果を発揮させることを目的とする。

7.2 概要

鉄素地の内部に食い込んださび中の塩分や水分を処理するため、ホウ酸とタンニン酸をさび層の内部まで浸透させる方法として、溶媒を水以外のものに変えたり、pHの調整を行い、促進試験にかけた。

7.3 試験片の製作

7.3.1 さび板

黒皮付き鋼板 (150mm×100mm×30mm)を千葉県飯岡に3ヶ月間暴露してさびさせた。

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St2に調整した。また、2枚だけはサンドブラスト処理を行った。

(2)ブラスト面

黒皮付き鋼板をサンドブラストでSa2.5に調整した。

7.3.3 さび層の処理

さび層の処理は、表IV-1に示すホウ酸とタンニン酸をエチルアルコールやアセトンに溶解したり、水溶液のpHを調整し処理後および、ホウ酸についてはインヒビター等を添加した処理液で行った。

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 μ m1回、ポリウレタン用中塗り塗料30 μ m1回、ポリウレタン樹脂上塗り塗料30 μ m1回を塗装した。ただし、下塗り塗装時にピンホールがみられたので、各さび処理方法の-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。

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) 塩化ベンジルトリメチルアンモニウム

7.4 促進試験結果

塩水噴霧試験をJIS K 5400 の7.6 に準拠して行い、24, 48, 400 時間後に外観観察を行った。400時間後の外観観察結果を表Ⅳ-2 に示す。24時間でNo.1, 11, 14, 15, 16, および17に極く微小な「ふくれ」が生じた。さらに48時間でNo.2 と3 のブラスト処理を除くすべてに微小な「ふくれ」が生じた。

7.5 まとめ

促進試験結果より、以下のことが明らかとなった。

- 1) ブ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、タンニン酸処理共に、溶媒やpHを変化させても効果はなかった。

以上のことから、塩分を含んださび面を化学的な処理等でさびを安定化させることは

表Ⅳ-2 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
紫地調整のみ (St2)	1-1	6MD	ホウ酸2%水溶液 (硝酸ナトリウム1%)	11-1	6MD
	1-2	6MD		11-2	6MD
	1-3	6MD		11-3	6MD
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	6MD
	2-2	"		12-2	6MD
				12-3	6MD
さび面ブラスト	3-1	異常なし	タンニン酸2%水溶液	13-1	6MD
	3-2	"		13-2	6MD
				13-3	6MD
ホウ酸2%水溶液	4-1	6MD	タンニン酸2%水溶液 (拭き取り)	14-1	6MD
	4-2	6MD		14-2	6MD
	4-3	6MD		14-3	6MD
ホウ酸2%アルコール溶液	5-1	6MD	タンニン酸2%アルコール溶液	15-1	6MD
	5-2	6MD		15-2	6MD
	5-3	6MD		15-3	6MD
ホウ酸2%アセトン水溶液	6-1	6MD	タンニン酸2%アセトン溶液	16-1	6MD
	6-2	6MD		16-2	6MD
	6-3	6MD		16-3	6MD
ホウ酸2%水溶液 (pH=7)	7-1	6MD	タンニン酸2%水溶液 (pH=7)	17-1	6MD
	7-2	6MD		17-2	6MD
	7-3	6MD		17-3	6MD
ホウ酸2%水溶液 (pH=9)	8-1	4~6MD	タンニン酸2%水溶液 (pH=9)	18-1	6MD
	8-2	4~6MD		18-2	6MD
	8-3	4~6MD		18-3	6MD
ホウ酸2%水溶液 (pH=12)	9-1	4~6MD			
	9-2	4~6MD			
	9-3	4~6MD			
ホウ酸2%水溶液 (インヒビター1%)	10-1	6MD			
	10-2	6MD			
	10-3	6MD			

極めて困難であることが明らかとなった。すなわち、塩分を含んださびはブラスト処理で完全に除去することが有効であることが判明した。

7.6 早期ふくれに関する試験

塩分を含んださび面のさびを電動工具で処理して塗装すると、塗膜に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促進試験を実施した。

7.6.1 試験片

さび板の製作と素地調整 (St 2) は第 4 次試験と同じ条件であり、塗装もミストコートを入れない同じ塗装仕様である。

7.6.2 試験条件

試験は、(1)35℃の恒温空気槽、(2)35℃、5%NaCl溶液に浸漬、(3)35℃の温水中に浸漬、(4)塩水噴霧試験の4通りの条件で行い、24、48 および140時間後に塗膜の外観観察を行った。

7.6.3 試験結果

試験結果を表Ⅳ-3に示す。これより、以下のことが明らかとなった。

(1)外から塩分や水の補給がないと「ふくれ」は生じない。

(2)外から塩分と水が補給されるほうが、水だけ補給されるより「ふくれ」は大きい。

以上のことから、塩分を含んださび面に塗装した塗膜に早期に「ふくれ」が発生した原因は、外部から水分や塩分が塗膜を浸透し、さび中の塩分とともに鉄素地をさらに腐食させたためと考えられる。

表Ⅳ-3 早期ふくれ原因究明試験結果

試験時間 試験条件	24	48	140
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

8. 第5次試験

8.1 目的

第3次、第4次試験の結果、塩分を含んでいるさび層を化学的な方法で処理してもあまり効果がないことが明らかとなった。しかしながら、外からの塩分や水分の透過を抑制するため塗膜を厚くすることと、鉄素地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が有効であると考えられるので、これらの条件を明らかにすることを目的とする。

8.2 概要

さび層の生成条件、素地調整程度、膜厚および塗装仕様の差異を、暴露試験（阿字ヶ浦および駿河湾）、促進試験（塩水噴霧試験）ならびに塗膜物性試験（引張試験および透湿度試験）を行い、さび面に有効な塗装仕様を明らかにした。

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（200mm×300mm×6mmと150mm×100mm×3mm）を千葉県飯岡で1ヶ月および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。また、塗膜下でのさびを再現させるためブラスト板にポリウレタン樹脂塗料を10～15 μ m塗装し飯岡に3ヶ月暴露してさびさせた。

8.3.2 素地調整

さび板をサンドブラストでSa 1, 2および2.5と、電動工具でSt 3に素地調整した。また、比較として黒皮付き鋼板をサンドブラストでSa 2.5に素地調整した。

8.3.3 塗装仕様

下塗りとして補修用エポキシ樹脂塗料（200, 400, 1000 μ m）、ガラスフレーク系塗料（200, 400, 1000 μ m）および無溶剤型超厚膜塗料（1000 μ m）を、中塗りはすべてポリウレタン用中塗り塗料（30 μ m）とし、上塗りもすべてポリウレタン樹脂塗料（30 μ m）とした。また、比較として、本州四国連絡橋公団の塗り替え用塗装仕様のうち、有機質ジンクリッチペイント2回、エポキシ樹脂塗料3回、ポリウレタン樹脂塗料2回の仕様を塗装した。試験片の仕様を表V-1に示す。

表V-1 試験片の仕様

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 $\mu\text{m} \times 3$	PU用中塗30 $\mu\text{m} \times 1$	PU30 $\mu\text{m} \times 1$	200	2	2
2	飯岡3ヶ月	Sa 2	" "	"	"	"	"	"
3	黒 皮	Sa 2.5	プライマー及びGF 100 $\mu\text{m} \times 2$	"	"	"	"	"
4	飯岡3ヶ月	Sa 2	" "	"	"	"	"	"
5	飯岡1ヶ月	St 2	補修用EP 70 $\mu\text{m} \times 3$	"	"	"	1	"
6	飯岡3ヶ月 ウレタン塗装	"	" "	"	"	"	"	"
7	飯岡1ヶ月	"	プライマー及びGF 100 $\mu\text{m} \times 2$	"	"	"	"	"
8	飯岡3ヶ月 ウレタン塗装	"	" "	"	"	"	"	"
9	飯岡3ヶ月	"	補修用EP 70 $\mu\text{m} \times 3$	"	"	"	2	"
10	"	"	" 100 $\mu\text{m} \times 4$	"	"	400	"	"
11	"	"	" 200 $\mu\text{m} \times 5$	"	"	1000	"	"
12	"	"	プライマー及びGF 100 $\mu\text{m} \times 2$	"	"	200	1	"
13	"	"	" 100 $\mu\text{m} \times 4$	"	"	400	2	"
14	"	"	" 200 $\mu\text{m} \times 5$	"	"	1000	"	"
15	"	St 3	補修用EP 70 $\mu\text{m} \times 3$	"	"	200	"	"
16	千倉3ヶ月	St 2	" "	"	"	"	1	"
17	"	"	" 100 $\mu\text{m} \times 4$	"	"	400	"	"
18	飯岡3ヶ月 ウレタン塗装	"	" 70 $\mu\text{m} \times 3$	"	"	200	"	"
19	飯岡3ヶ月	"	無溶剤EP 1000 $\mu\text{m} \times 1$	"	"	1000	2	"
20	"	Sa 1	補修用EP 70 $\mu\text{m} \times 3$	"	"	200	1	"
21	"	St 2	" "	"	"	"	"	"
22	"	Sa 2	有機質ジンクリッチ塗料 $\times 2$	EP $\times 3$	PU $\times 2$		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

8.4 試験内容

8.4.1 さびに関する調査

(1) さび層の厚さ

素地調整前にさび板のさび層の厚さを膜厚計で各暴露条件ごとに小型試験片2枚の各5点を測定した。ただし、千倉3ヶ月暴露のさび板は、さびが層状に浮いており、取り扱い中にはがれたりしたため、さび層が厚く付いている部分で測定した。

また、飯岡暴露のウレタン塗装の試験片は1枚のみ測定した。

(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St2または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、そのさび層の塩分量を求め、さらに素地調整後の試験片を2規定硝酸で煮て、その溶液中に溶け出た塩分量を測り、残存さび中の塩分量を求めた。

また、No.18（飯岡暴露3ヶ月、ウレタン塗装）とNo.21（飯岡暴露3ヶ月）の大型と小型試験片は素地調整（St2）後、イオン交換水で2時間煮沸し、その塩分量を測定した。

8.4.2 暴露試験

大型試験片は22枚を阿字ヶ浦に、12枚を駿河湾に暴露した。

8.4.3 促進試験

小型試験片各1枚ずつ22枚は塩水噴霧試験を行った。

8.4.4 塗膜物性試験

(1) 付着力試験

塩水噴霧試験をしない小型試験片で塗膜の付着力をアドヒージョン試験で行い、塗膜の初期付着力と剝離箇所を記録した。

(2) 引張試験

表V-2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

20℃におけるフリーフィルムの透湿度をJIS Z 0208に基づき測定した。

表V-2 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EP	$70\mu\text{m} \times 3 + \text{PU用中塗り} 30\mu\text{m} \times 1 + \text{PU上塗り} 30\mu\text{m} \times 1$		200
"	$100\mu\text{m} \times 4 +$	$" \quad 30\mu\text{m} \times 1 + \quad " \quad 30\mu\text{m} \times 1$	400
"	$200\mu\text{m} \times 5 +$	$" \quad 30\mu\text{m} \times 1 + \quad " \quad 30\mu\text{m} \times 1$	1000
GF用プライマー+	$100\mu\text{m} \times 2 + \text{PU用中塗り} 30\mu\text{m} \times 1 + \text{PU上塗り} 30\mu\text{m} \times 1$		200
"	$100\mu\text{m} \times 4 +$	$" \quad 30\mu\text{m} \times 1 + \quad " \quad 30\mu\text{m} \times 1$	400
"	$200\mu\text{m} \times 5 +$	$" \quad 30\mu\text{m} \times 1 + \quad " \quad 30\mu\text{m} \times 1$	1000
無溶剤EP	$1000\mu\text{m} \times 1 + \text{PU用中塗り} 30\mu\text{m} \times 1 + \text{PU上塗り} 30\mu\text{m} \times 1$		1000

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表V-3に、素地調整時に除去されたさび量およびそのさび中の塩分量ならびに硝酸で溶解した残存さび中の塩分量を表V-4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を表V-5に示す。

8.5.2 暴露試験

阿字ヶ浦2, 3, 12, 15および24ヶ月後、駿河湾暴露10, 12および24ヶ月後の塗膜外観観察結果を表V-6(1)~6(2)に示す。また、暴露試験前の初期付着力試験結果を表V-7に、阿字ヶ浦暴露3, 12ヶ月後、駿河湾暴露12ヶ月後の塗膜付着力試験の結果を表V-8(1)~8(2)に示す。

8.5.3 促進試験

塩水噴霧試験3000時間までの試験結果を表V-9に示す。

8.5.4 塗膜物性試験

塗膜の引張試験および透湿度試験の結果を表V-10に示す。

表V-3 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-4 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1g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-5 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-6(1) 暴露試験結果(外観観察, ふくれ)

試験片No.	阿 字 ヶ 浦 暴 露					
	2ヶ月	3ヶ月	12ヶ月	15ヶ月	24ヶ月	29ヶ月
1	異常なし	異常なし	異常なし	8 M	異常なし	異常なし
2	"	8 MD	8 MD	8 MD	8 M	8 M
3	"	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
4	"	"	"	"	"	"
5	8 MD	8 MD	8 MD	8 MD	8 MD	8 MD
6	* 8 MD	8 MD	8 MD	8 MD	8 M	8 M
7	異常なし	異常なし	異常なし	8 F	8 F	8 F
8	"	"	"	8 MD	異常なし	異常なし
9	8 MD	8 D	8 D	8 D	8 MD	8 MD
10	* 8 M	8 D	8 D	* 8 D	8 MD	6 MD
11	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
12	"	"	"	"	"	"
13	"	"	"	"	"	"
14	"	"	"	"	"	"
15	"	"	8 MD	8 M	8 MD	8 MD
16	8 D	8 D	8 ~ 6 D	6 D	6 D	6 D
17	8 M	異常なし	6 ~ 4 D	4 D	6 ~ 4 D	2 D
18	異常なし	"	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
19	"	"	"	8 F	"	"
20	* 8 M	* 8 MD	8 M	8 M	8 M	8 M
21	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
22	"	"	"	"	"	8 F

* ふくれの低いもの

表V-6(2) 暴露試験結果 (外観観察, ふくれ)

試験片No.	駿 河 湾 暴 露		
	10ヶ月	12ヶ月	24ヶ月
1	異状なし	異状なし	異状なし
2	8 MD	8 M	"
3	異状なし	異状なし	"
4	"	"	"
5	---	---	---
6	---	---	---
7	---	---	---
8	---	---	---
9	6 MD	8 MD	8 MD
10	8 MD	8 MD	8 MD
11	8 M	異状なし	異状なし
12	---	---	8 MD
13	異状なし	異状なし	異状なし
14	"	"	"
15	8 MD	8 MD	8 M
16	---	---	---
17	---	---	---
18	---	---	---
19	異状なし	異状なし	8 F
20	---	---	---
21	---	---	---
22	異状なし	異状なし	異状なし

表V-7 塗膜付着力試験のブランク値

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-8(1) 暴露試験結果 (付着力試験)

阿字ヶ浦暴露

試験片 No	トルク試験		アドヒージョン試験			
	3ヶ月		3ヶ月		12ヶ月	
	付着力 (kgf/cm ²)	剝離箇所 (%)	付着力 (kgf/cm ²)	剝離箇所 (%)	付着力 (kgf/cm ²)	剝離箇所 (%)
1	106	下/下 100	50	下/下 100	42	下/下 70 接着剤 30
2	145	下/下 100	30	下/下 100	30	下/下 97 接着剤 3
3	205	フルク/中 100	20	フルク/中 80 接着剤 20	38	中/フルク 100
4	106	フルク/中 100	30	フルク/中 100	42	中/フルク 85 接着剤 15
5	162	下/下 100	40	さび層 10 下/下 90	26	下/下 10 さび層 75 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	フルク/素地 85 接着剤 15
7	113	フルク/中 100	20	フルク/中 100	11	中/フルク 80 接着剤 20
8	265	フルク/中 100	30	フルク/中 100	25	中/フルク 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
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
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
12	184	フルク/中 100	15	フルク/中 90 接着剤 10	23	中/フルク 100
13	177	フルク/中 100	20	フルク/中 100	19	中/フルク 100
14	124	さび層 100	20	さび層 100	10	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
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 フルク/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
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 1枚下/下 90	40	Zn/Zn 2 1枚下/下 98	26	下/下 65 接着剤 35

表V-8(2) 暴露試験結果 (付着力試験)

駿河湾暴露

試験片 No.	アドヒージョン試験			
	12ヶ月		24ヶ月	
	付着力 (kgf/cm ²)	剝離箇所 (%)	付着力 (kgf/cm ²)	剝離箇所 (%)
1	22	下/下 40 接着剤 60	40	下/下 40 接着剤 60
2	15	下/下 40 接着剤 60	40	下/下 100
3	18	フレーク 60 接着剤 40	30	フレーク層 100
4	20	フレーク 80 接着剤 20	32	フレーク層 70 接着剤 30
5	—	—	—	—
6	—	—	—	—
7	—	—	—	—
8	—	—	—	—
9	23	下/下 60 接着剤 40	25	下/薬地 50 下/下 50
10	26	下/下 75 接着剤 25	35	下/薬地 10 下/下 90
11	23	下/下 100 (下層間 5, 層間 95)	30	下/下 100
12	—	—	35	下/さび層 5 下/下 95
13	18	フレーク 100	33	フレーク層 100
14	12	さび層 100	21	さび層 100
15	40	下/下 100	40	さび層 5 プライマー 95
16	—	—	—	—
17	—	—	—	—
18	—	—	—	—
19	25	下/下 90 接着剤 10	30	さび層 50 下/下 50
20	—	—	—	—
21	—	—	—	—
22	30	下/下 90 Zn/Zn 10	40	Zn/Zn 20 プライマー 70 上/中 10

表V-9 塩水噴霧試験結果 (ふくれ)

試験片No.	試 験 時 間				
	200	500	1200	2000	3000
1-1	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
2-1	"	8 MD	8 D	8 D	8 D
3-1	"	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
4-1	"	"	"	"	"
5-1	8 MD	6 MD	6 MD	6 MD	6 MD
6-1	異常なし	8 D	8 D	8 D	8 D
7-1	"	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
8-1	"	"	8 MD	8 MD	8 MD
9-1	"	6 MD	6 D	6 D	6 D
10-1	"	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
11-1	"	"	"	"	"
12-1	"	"	"	"	"
13-1	"	"	"	"	"
14-1	"	"	"	"	"
15-1	"	"	"	"	"
16-1	"	6 D	6 ~ 4 D	4 D	4 D
17-1	"	異常なし	異常なし	4 ~ 2 MD	4 ~ 2 MD
18-1	"	"	"	異常なし	異常なし
19-1	"	"	"	"	"
20-1	8 D	6 MD	6 MD	6 MD	6 ~ 8 D
21-1	異常なし	8 MD	8 MD	8 D	8 D
22-1	"	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

表V-10 塗膜物性測定結果

塗 装 仕 様			塗膜厚 (μm)	引 張 試 験		透 湿 度 (g/cm ² ・24h)
				破断強度 (kgf/cm ²)	伸 び 率 (%)	
補修用EP 200μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	338	190	1.79		
	②	336	172	1.53		
	③	335	179	1.50		
	平均	336	180	1.61	1.1	
補修用EP 400μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	573	130	2.37		
	②	557	140	2.21		
	③	573	136	2.09		
	平均	568	135	2.22	1.1	
補修用EP 1000μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	1243	70	4.92		
	②	1267	70	4.69		
	③	1257	80	5.52		
	平均	1257	73	5.04	0.7	
GF 200μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	347	313	1.66		
	②	357	308	1.64		
	③	367	228	1.61		
	平均	357	303	1.64	1.0	
GF 400μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	627	213	1.69		
	②	617	215	1.64		
	③	617	215	1.62		
	平均	620	214	1.65	0.4	
GF 1000μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	1043	130	2.26		
	②	1003	103	2.26		
	③	—	—	—		
	平均	1023	117	2.26	0.7	
無溶剤EP 1000μm PU用中塗り 30μm PU上塗り 30μm	①	1167	112	4.61		
	②	1177	106	4.45		
	③	1277	100	4.05		
	平均	1206	106	4.37	0.9	

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、促進試験いずれも発生した塗膜欠陥は「ふくれ」のみであった。
- (2)暴露試験と促進試験の結果は、概ね同じであった。
- (3)さび面の素地調整程度は、塗膜欠陥に非常に関連する。すなわち、素地調整程度が低いほど、「ふくれ」の発生は早く、ブラスト処理すれば、本州四国連絡橋公団の塗り替え仕様でもよい結果を示している。
- (4)さび面の塩分を煮出して除くと、「ふくれ」の発生は抑制される。
- (5)ガラスフレーク系塗料は破断強度が大きく、エポキシ樹脂系塗料は伸び率が大きい。透湿度は、いずれの塗装系共に非常に小さい。

9. 第6次試験

9.1 目的

第5次試験の結果、塩分を含んださびが発生した部分の塗り替えは、素地調整をブラストで行い、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えない場合には、厚膜塗料等遮断性能の高い塗装系で、外部からの水分や塩分の浸透を抑制することが重要であることが明らかとなった。

このため、第6次試験では、塩分を含んださび面に適した塗装仕様を確立することを目的とし暴露試験を行った。

9.2 概要

第5次試験の結果、塩分を含んださび面に最も有効であると思われるガラスフレーク系塗料について、樹脂の種類とプライマーの最適な組み合わせ並びにガラスフレーク量による防錆性の差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装との付着性について暴露試験で検討した。

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 (200mm×300mm×6mm) を千葉県飯岡と茨城県阿字ヶ浦に3ヶ月暴露してさびさせた。

また、旧塗装との付着性を検討するため、第3次試験の試験片のうち、素地調整のみで、何ら安定化処理を施していないNo.1-1, 1-2, 1-3および1-4の4枚(阿字ヶ浦暴露2年)を用いた。

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 (Sa2) , 電動工具処理 (パワースリット St2, ディスクサンダー St3) と手工具処理で行った。

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 μ m) , エポキシ樹脂系ガラスフレーク塗料 (200, 400, 1000 μ m) , イソフタル酸樹脂系と、ビスフェノール樹脂系のポリエステル樹脂系ガラスフレーク塗料 (400 μ m) と無溶剤型超厚膜エポキシ樹脂系塗料 (1000 μ m) および比較として本州四国連絡橋公団塗り替え

仕様を、中塗りにはポリウレタン用中塗り塗料を $30\mu\text{m}$ 、上塗りにはポリウレタン樹脂上塗り塗料 $30\mu\text{m}$ を塗装した。試験片の仕様を表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等で素地調整し、表VI-2に示す塗装仕様で塗装した。

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し、3、6および12ヶ月後に塗膜の外観観察を行った。その結果を表VI-3(1)～3(2)に示す。また、12ヶ月後の塗膜の付着力試験の結果を表VI-4に示す。

表VI-1 試験片の仕様

試験片 No	業地	業地 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	PU30 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	" "	"	"	" 1000 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	" "	"	"	" 1000 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	" "	"	ビュアーエポキシ	" "	"	"	
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 "	"	"	GF量 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 "	"	"	
" 24	" "	Sa 2	OZP-HB $\times$ 2	補修用EP 45 μ m $\times$ 1	"	"	
" 25	" "	St 3	"	" "	"	"	
26	" "	St 2	変性エポキシ	無溶剤EP 1000 μ m $\times$ 1	"	"	
27	飯 岡 "	"	"	" "	"	"	

(注) 1) は本四塗替仕様
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: 厚膜型エポキシジンクリッチペイント
EP: エポキシ樹脂塗料
PU: ポリウレタン樹脂塗料

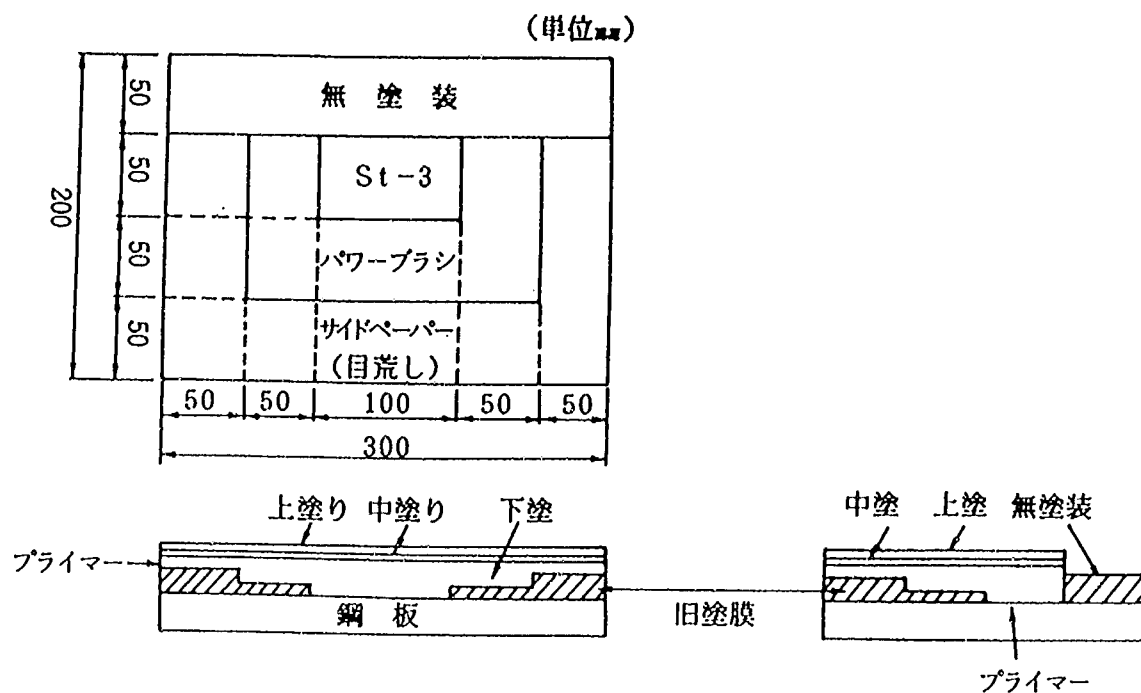


図 VI-1 旧塗膜試験片の素地調整

表 VI-2 旧塗膜試験片の塗装仕様

TPNo	素 地	塗 装 仕 様			
		プライマー	下 塗 り	中 塗 り	上 塗 り
28	第3次試験片 No.1-1	変性エポキシ	エポキシ樹脂 GF 400 μ m $\times$ 1	PU用中塗り30 μ m $\times$ 1	PU30 μ m $\times$ 1
29	" No.1-2	"	エポキシ GF "	"	"
30	" No.1-3	"	無溶剤EP 1000 μ m $\times$ 1	"	"
31	" No.1-4	OZP-HB 30 μ m $\times$ 1	補修用EP 45 μ m $\times$ 3	" " "	" " "

(注) 1)は本四塗替仕様

表VI-3(1) 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 ヶ 月					暴 露 6 ヶ 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. *: ふくれの高さが低いもの。

表VI-3(2) 阿字ヶ浦暴露試験片外観観察結果

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

表VI-4 阿字ヶ浦暴露試験片付着力試験結果

試験片 No	暴露 12 ヶ 月	
	付着強度 (kgf/cm ²)	剝離箇所 (%)
1	24	中／フレーク 100
2	18	中／フレーク 100
3	16	さび層 100
4	22	中／フレーク 100
5	15	さび層 100
6	15	" 100
7	15	" 100
8	38	下／下 80 さび層 20
9	34	接着剤 80 上／中 20
10	20	さび層 100
11	22	下／下 50 さび層 50
12	16	さび層 100
13	16	" 100
14	15	" 100
15	19	中／フレーク 100
16	12	さび層 100
17	16	" 100
18	13	" 100
19	19	" 100
20	17	" 100
21	12	" 100
22	15	" 100
23	15	" 100
24	57	さび層 5 Zn/Zn 20 中／中 65 接着剤 10
25	32	さび層 3 Zn/さび 60 Zn/Zn 29 中／中 7 接着剤 1
26	13	さび層 100
27	19	プライマー/プライマー 10 さび層 90
28	17	中／フレーク 100
29	33	さび層 80 旧下／下 20
30	25	さび層 50 旧塗膜 38 下／下 10 中／下 2
31	28	さび層 75 接着剤 25

9.5 暴露試験結果

第6次試験結果より、以下のことが明らかになった。

- (1)塗膜欠陥は「ふくれ」のみである。
- (2)膜厚は厚いほど「ふくれ」の抑制効果はある。
- (3)ガラスフレーク系塗料は、ビニルエステル樹脂系の方が、エポキシ樹脂系より幾分良好な結果を示している。
- (4)旧塗膜との付着性は、12ヶ月まで何ら異状は生じていない。

10. 第7次試験

10.1 目的

第6次試験までの結果を踏まえ、長期防錆型塗装系の部分塗り替えに適していると考えられる塗装仕様の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 試験場所および位置

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の海上部のトラス部

10.3.2 塗装日

昭和60年10月14日より10月19日まで

10.3.3 旧塗膜

(1)塗装履歴

試験対象部分の新設時（昭和47年）の塗装仕様および塗り替え時（昭和53年）の塗装仕様を表Ⅶ-1に示す。

(2)旧塗膜の状態

試験対象部はさびの発生が著しく、鋼素地に食い込んでいる状況であった。

10.3.4 素地調整

素地調整は、電動工具（ディスクサンダー、ジェットタガネ）と手工具（ハンマー、ケレン棒）を用いたが、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

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，160 μ m）+塩化ゴム系塗料（2回，65 μ m）

め、ペーパーに塗膜がつき作業能率が悪かった。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、鋼索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。当初、3種ケレンを目標としたが、必ずしも十分な素地調整はできなかった。

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、素地調整に先立ち南側トラスはおよそ15m²を100ℓの水で水洗したが、北側トラスは水洗を行わなかった。

このとき、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、水洗前の南側トラス上面Aで125mg/m²、北側トラス上面Bで150mg/m²であった。また、水洗後の南側トラス上面Cで25mg/m²であった。

10.3.6 塗装仕様

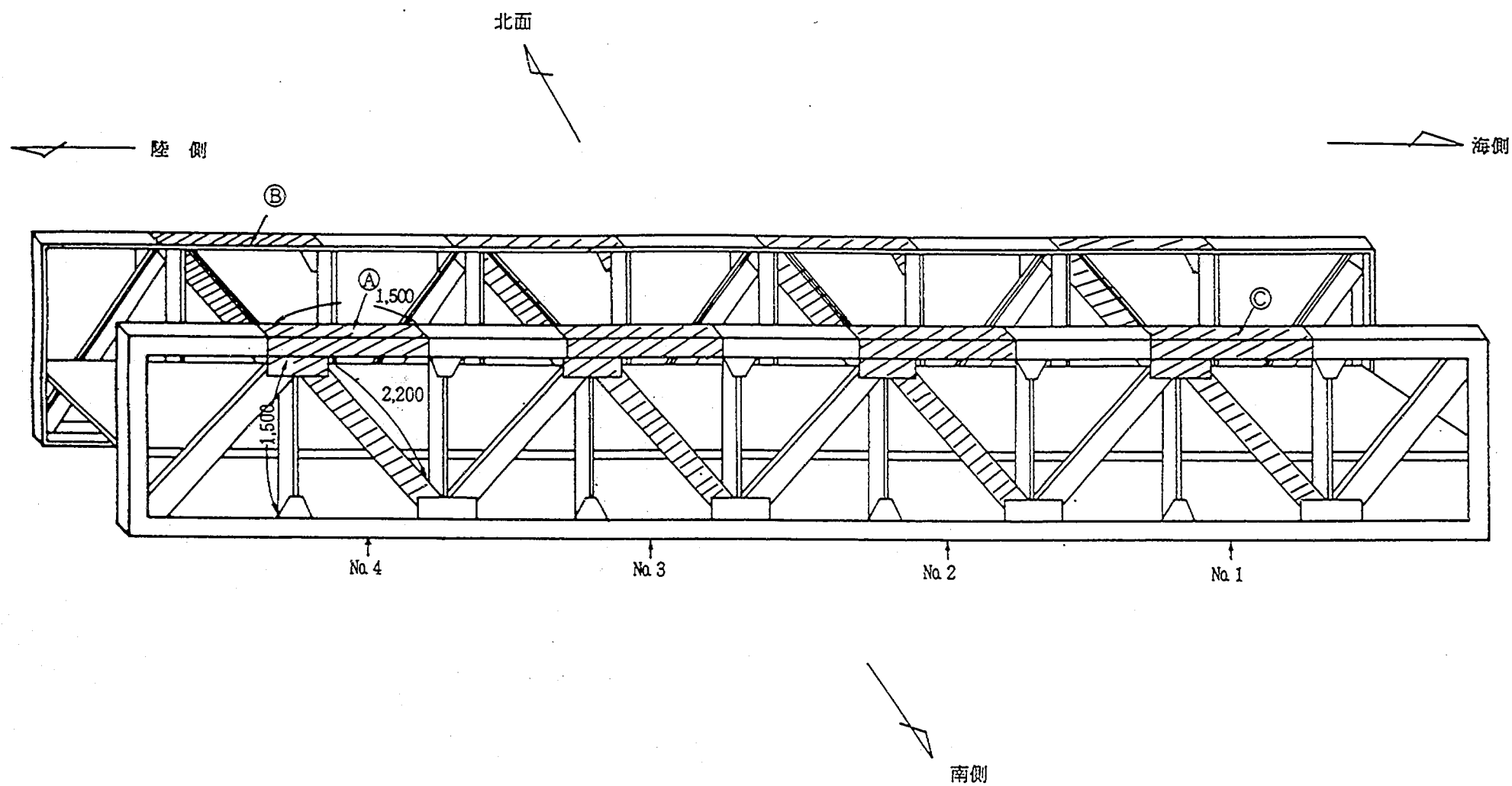
試験塗装は、表Ⅶ-2の各塗装仕様を図Ⅶ-1の位置に行った。このとき、各塗装仕様の塗り重ねの影響を避けるため、各塗装仕様の間に一定の間隔を設け、この部分は簡単な素地調整を行い、塗膜のはがれた部分にのみ補修用エポキシ樹脂下塗り30μm程度を塗装し、中塗りと上塗りは試験塗装と同じ塗料で塗装した。

10.3.7 塗装工程

塗装工程を表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。しかしながら、白化現象はほとんど見られなかった。また10月18日は風が強く塩分が付着する恐れがあったため、上塗り前に全面水洗した。

10.4 追跡調査

試験塗装後1年を経過した時点では、いずれの塗装系も塗膜に異状は見られなかった。



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 ガラスフールック塗料 (400 μ m)	ウレタン用中塗り 塗料 (30 μ m)	ウレタン上塗り 塗料 (30 μ m)	—
2	—	エポキシ樹脂ガラス フールック塗料 (400 μ m)	—	—	—
3	—	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料 (1000 μ m)	—	—	—
4	エポキシ樹脂シンク 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)	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% (14時)	52% (11時)	72% (11時)	49% (11時)
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は3層目も 塗装	3層目塗装 No.4は4層目塗 装	4層目塗装 No.4は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結果より以下のことが明らかとなった。

(1)塩分や水分を含んださびを生じている鋼材の部分的な塗り替えには、十分な除錆を行い鋼材素地に食い込んでいるさびも除去することが望ましい。

(2)十分な除錆ができない場合には、外部からの塩分や水分の浸透を阻止することが必要である。このため、膜厚の厚い塗装仕様が望ましい。

(3)十分な除錆ができず厳しい腐食環境の場合には、外部からの塩分や水分の浸透を阻止するとともに、鋼材素地の腐食によるふくれを抑え込むため、強固な塗装仕様が望ましい。

海岸部などの飛来塩分がある地域では、鋼道路橋は今後従来の塗装系に比べ長期的な耐久性が期待される長期防錆型塗装系で塗装されることが多くなると考えられる。長期防錆型塗装系で塗装された鋼道路橋は、適切な手当てをおこなえば全面塗り替えに至るまでの期間が格段に伸びることが期待される。

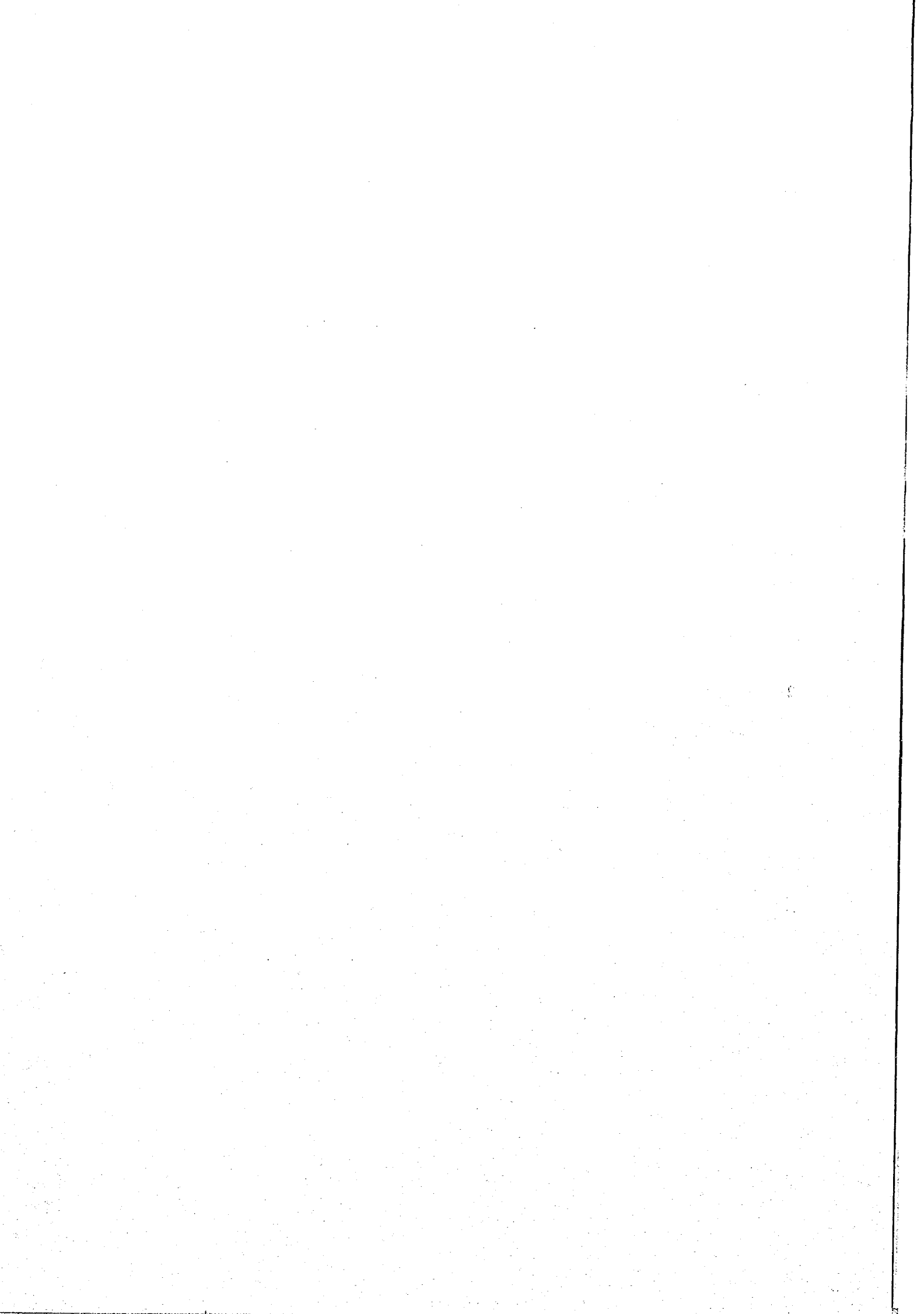
各種試験調査の結果、長期防錆型塗装系で塗装された鋼道路橋の部分的な劣化部を適切に補修するには、塩分を含んださびを完全に除去することが望ましいことが明らかとなったが、塩分を含んださびを完全に除去することが困難な場合にはガラスフレーク系塗料や超厚膜型エポキシ塗料等の遮断性能の優れた塗装仕様が効果的であることが明らかとなった。

これらの成果を踏まえ長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）を作成した。

以上の成果を踏まえ、長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）を作成した。しかしながら、何分にも実構造物での長期防錆型塗装系の適用例が少なく一部でやっと部分的な手直しが行われ始めたばかりであるため、耐久性は必ずしも実証されていないため諸兄のご批判、ご教示をいただければ幸いである。

最後に、本試験調査ならびに長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）の作成について様々にご協力をいただきました財団法人土木研究センター（森芳徳氏）、大日本塗料株式会社（野村繭一氏、半田雅紀氏）、日本ペイント株式会社（福島稔氏、安井正宏氏）、関西ペイント株式会社（栗山寛氏、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ります。

**長期防錆型塗装系の
部分塗り替え指針(案)・同解説**



第1章 総則

1.1 一般

本指針（案）は、鋼道路橋に塗装された長期防錆型塗装系の塗膜に生じたさびの手当ての方法を規定したものである。

〔解説〕

一般に、長期防錆型塗装系の塗膜は海岸地区等塩分の飛来するような厳しい腐食環境において10～15年の長期間の耐久性が期待されているが、部材端部やボルト部など塗膜厚の確保が困難な部位に比較的早期に「さび」が生じ易い。このような「さび」を放置すると塗膜劣化が進み全面塗り替えが早まることが考えられる。すなはち、「さび」は発見したら直ちに手当てを行うことが望ましい。しかしながら、現時点では長期防錆型塗装系の塗膜に生じた「さび」を手当てするための基準等が整備されていないのが現状である。本指針（案）は、長期防錆型塗装系で塗装された鋼道路橋の部分塗り替えを行う際の経費の削減を図るとともに、塗膜の長期間の耐久性を確保することを目的として昭和56年度から6年間にわたり実施した塩分を含んださび面に適した新たな塗装材料の実用性に関する種々暴露試験等の結果に基づいて、長期防錆型塗装系の塗膜に生じた「さび」を手当てするために必要な部分塗り替え塗装系の選定および施工について規定したものである。

1.2 適用範囲

本指針（案）は、長期防錆型塗装系で塗装された鋼道路橋の部分塗り替えに適用する。

〔解説〕

本指針（案）は、長期防錆型塗装系で塗装された鋼道路橋の塗膜に生じた「さび」を手当てするために行う部分塗り替えに適用するものであり白亜化等表面的な劣化を生じた場合の化粧塗りには適用しない。また、全面塗り替えにも適用しないが長期防錆型塗装系の塗膜の長期に渡る耐久性を確保するうえで「さび」発生部分の処置は極めて重要

なので、その処置は本指針（案）に準拠することが望ましい。

1.3 部分塗り替えの対象

本指針（案）において部分塗り替えの対象とする塗膜劣化は「さび」とする。

〔解説〕

塗膜欠陥の中で、「さび」以外の「はがれ」、「ふくれ」、「われ」、および著しい「変褪色」等は、全面塗り替え時期を決定するうえで重要である。しかしながら、本指針（案）において部分塗り替えの対象を「さび」のみと規定したのは、「さび」は塗膜欠陥の中で最も重大な欠陥であり、かつ発見が容易である。さらに塗り替え後の塗膜の耐久性が「さび」発生部分の「さび」の除去程度に左右されるためである。また、これらの塗膜調査および部分塗り替えは保全要員が巡回時に行うことが望ましい。

1.4 用語の定義

長期防錆型塗装系……厚膜型ジンクリッチ～エポキシ～ウレタンの塗装系を基本とする
長期耐久性のある塗装系
部分塗り替え………長期防錆型塗装系に生じた部分的な「さび」を、全面塗り替えの
前に塗り替えを行うこと。

〔解説〕

- (1) 長期防錆型塗装系は、主に海上や海岸地区の長大橋梁に用いられる防食下地に亜鉛を用いた長期耐久性が期待されている塗装系である。その代表的な例を表－1に示す。
- (2) 長期防錆型塗装系の塗膜は、塗料の品質や施工に重大な瑕疵がなければ、塗膜欠陥（特にさび）の発生は素地調整が行い難かったり塗膜厚の確保が困難な部材端部、高力ボルト部、現地溶接継手部、盤木跡および運搬、架設時の塗膜損傷箇所などに限定されている。しかも防食下地に亜鉛が用いられている塗装系では欠陥部に生じた「さび」は、従来の一般塗装系に比べると小さく、かつ拡大しにくい傾向にある。

表-1 長期防錆型塗装系の例

第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層
厚膜型 ジクロリッパイント	ミストコート	厚膜型 エポキシ樹脂 下塗塗料	厚膜型 エポキシ樹脂 下塗塗料	ポリウレタン樹脂 用中塗塗料	ポリウレタン樹脂 上塗塗料	——
亜鉛溶射	短曝型 エッチングプライマー	厚膜型 エポキシ樹脂 下塗塗料	厚膜型 エポキシ樹脂 下塗塗料	ポリウレタン樹脂 用中塗塗料	ポリウレタン樹脂 上塗塗料	——
厚膜型 ジクロリッパイント	短曝型 エッチングプライマー	フェノール樹脂 系ジクロクロ レートさび止め 塗料	フェノール樹脂 系 MIO塗料	フェノール樹脂 系 MIO塗料	塩化ゴム系 中塗塗料	塩化ゴム系 上塗塗料
亜鉛溶射	短曝型 エッチングプライマー	フェノール樹脂 系ジクロクロ レートさび止め 塗料	フェノール樹脂 系 MIO塗料	フェノール樹脂 系 MIO塗料	塩化ゴム系 中塗塗料	塩化ゴム系 上塗塗料

第2章 調査方法

2.1 調査方法

塗膜面を目視、または双眼鏡を用いて調査する。

〔解説〕

塗膜に「さび」が発生する場合は、「ふくれ」が伴わない場合と「ふくれ」が破れて発生する場合とがあるが、いずれの場合も「さび」と評価する。塗膜下で「さび」を生じふくれる場合があるが、これも「さび」と評価し「ふくれ」か「さび」かの判断は、「ふくれ」の形状が不定形の場合は「さび」と評価する。なお、もらいさびは部分塗り替えの対象としない。

本指針（案）における「さび」は、目視の場合、塗膜面より2 m程度離れて確認できるものとする。また、双眼鏡を用いる場合は、20倍程度の双眼鏡で確認できるものとする。

汚れ等で判定が困難な場合は、ウェス（布）等で清掃したのちに塗膜面より2 m程度離れて判定する。同じく双眼鏡を用いる場合でも、汚れ等で判定出来ない時は出来るかぎり、近接してウェス等で清掃したのちに塗膜面より2 m程度離れて判定する。

第3章 塗装設計

3.1 塗装設計

部分塗り替えは、以下の塗装仕様を用いて行うものとする。

塗装系No	第1層	塗装 間隔	第2層	塗装 間隔	第3層	塗装 間隔	第4層
1	塗り替え用 エポキシ樹脂 下塗り塗料	1日 以上 7日 以内	塗り替え用 ガラスフレーク 塗料 400 μ m (900g/m ²)	1日 以上 7日 以内	ポリウレタン 樹脂用 中塗り塗料 30 μ m (140g/m ²)	1日 以上 7日 以内	ポリウレタン 樹脂用 上塗り塗料 30 μ m (120g/m ²)
2	50 μ m (250g/m ²)		塗り替え用 超厚膜型 エポキシ樹脂 塗料 1,000 μ m (2000g/m ²)				

(解説)

本塗装仕様は、昭和56年度より昭和61年度にかけて実施した暴露試験調査結果等（土木研究所資料第2338号および第2514号参照）に基づいて選定したものである。

本塗装仕様は、下塗り塗料として素地調整で露出した鉄素地およびその周辺の残存塗膜に付着の良い塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料を、中塗り塗料として外部からの腐食因子（塩分、水分等）を阻止する環境遮断能力に優れているガラスフレーク塗料および超厚膜型エポキシ樹脂塗料を、上塗り塗料として耐候性および保色性が良く新設時に多く用いられているポリウレタン樹脂塗料の4回塗りを採用した。これらの塗装系を採択したのは、従来の塗り替え塗装系で長期防錆型塗装系を塗り替えると防錆力を期待す

るためには塗装回数は7回と多くなり費用および作業工程上経済的でない、さらに十分除錆がされない場合には長期にわたる防錆力を期待することができないためである。

本塗装仕様は、中塗り塗料をその環境遮断特性に基づき2種類とした。すなわち、塗装系 No.1 の塗り替え用ガラスフレーク塗料は厳しい腐食環境にあるにもかかわらず十分な除錆ができないような場合に同一膜厚の従来の塗装系にくらべると、外部からの腐食因子（塩分、水分等）の浸透を阻止する性能が優れている。また、万が一腐食により「ふくれ」が生じるような状況になった時「ふくれ」を抑えこむ硬い塗膜を形成する。塗装系 No.2 の塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料は、同様な状況下において、外部からの腐食因子（塩分、水分等）の浸透を阻止する厚い膜厚を保持しており特に孔食を伴った錆びが生じた場合に有効と考えられる。

塗り替え塗装仕様の選定にあたっては発錆面積が大きい場合は、作業性を考慮すると塗装系 No.1 が望ましいがハケ塗りで膜厚を確保することに留意を要する。一方、孔食を伴った小部分の錆びには厚膜塗装が容易な塗装系 No.2 が適している。また、この塗装系は、ローラーやヘラなどを併用することにより比較的大きな面積にも適用できる。

美観を考慮しなくてもよい場合、すなわち色調を考慮しなくてもよい内桁など内面では第3層、第4層の上塗り塗装を省略してもよい。

本塗装仕様では、上塗り塗料には現在最も広く用いられているポリウレタン樹脂塗料を採用しているが耐候性および保色性がさらに良いフッ素樹脂塗料を用いてもよい。本塗装仕様において塗料名は一般名称で示している。また、塗料使用量は被塗物の形状等により変わることがあるので規定された乾燥膜厚を得るための参考値であり塗付量ではない。塗装間隔は温度20℃、湿度75%の標準条件での数値である。塗装はハケ塗りを原則とするが、被塗物の形状や面積によってはローラー、ヘラおよびコテなどを併用しても良い。塗り替え用ガラスフレーク塗料の場合、ハケ塗りで400 μ mを1回で塗ることが困難な場合には2回塗りで膜厚を確保しなければならない。

第4章 施工

4.1 施工範囲

部分塗り替えを行う範囲は、「さび」発生部とする。

〔解説〕

部分塗り替えは、全面塗り替えの前段階として行うもので、その対象となるのは「さび」発生部である。しかし、その面積は長期防錆型塗装系の特性から小さいものと推定される。

4.2 素地調整

「さび」は除去することを原則とする。

〔解説〕

素地調整の程度は、塗膜の耐久性を左右する極めて重要な因子であることは土木研究所資料第2338号および第2514号の各種試験結果においても明らかである。したがって、サンドブラスト、動力工具、手工具等を適宜用い「さび」および劣化している塗膜を完全に除去する（鋼素地表面に金属光沢の出る）ことが望ましい。しかし、発錆が著しいにもかかわらずブラスト処理が不可能な場合には、動力工具や手工具でさびの完全な除去を行うことは困難であるので、「さび」を除去するため、「さび」近傍の塗膜も一緒に除去することが望ましい。

汚れや付着塩分の著しい場合は、素地調整の前に水洗を行うことが望ましい。この時素地調整は塗膜の水分がなくなったことを確認のうえ行わねばならない。

素地調整後は、早急に下塗塗装を行いさびが戻らないようにしなければならない。

端部にさびが発生している場合には、ディスクサンダー等で鋭角な部分に丸みをつけることが望ましい。

4.3 塗装

第3章塗装設計に示された塗装仕様に基づいて塗装を行う。

〔解説〕

塗料の使用注意書きを良く読んで施工する。特に、混合比の幅の狭い塗料の場合には計量および攪拌に注意を要する。

部分塗り替えの施工手順は、以下のように行うことが望ましい。

- (1) 「さび」を除去する。
- (2) 「さび」周辺の塗膜を幅5 cm程度研磨し目荒らしする。
- (3) 「さび」を除去した部分に下塗塗料を擦り込むようになじませ塗装する。
- (4) 塗膜を除去した周辺をテープで囲みガラスフレーク系塗料の場合400 μm に、また、超厚膜型エポキシ樹脂塗料の場合はヘラ等で1,000 μm になるように塗装し塗装後テープを取り除くと良好な塗膜が容易に得られる。
- (5) 中塗、上塗は、下塗り塗膜より1～2 cm程度外側に塗り重ねる。

4.4 施工管理

塗装に際しては、塗料の特性を十分に把握し適切な施工管理を行う。

〔解説〕

本指針（案）で採用されている塗料は、鋼橋塗装にいずれもなじみの少ない新しい混合型塗料であるのでその性能を十分に発揮させるためには、以下の施工管理が必要である。

(1) 塗料の熟成時間と可使時間（ポットライフ）

本指針（案）で採用した塗料は、いずれも多液混合型塗料であるため混合後、一定時間経過（熟成時間）してから使用するものがある。また、混合後使用可能な時間制限（可使時間）がある。各塗料の熟成時間と可使時間を表-2に示すが、可使時間は温度の影響を著しく受け温度が高くなるほど短くなるので夏期の施工では十分な注意を要する。

(2) 塗料の調合

塗料の調合に際しては、罐内の塗料の状態が正常であることを確認したうえで、主剤と硬化剤ないし硬化促進剤の計量を正確に行い十分に攪拌混合を行う。希釈剤は、適性な粘度を得るために必要な最小量にとどめ希釈剤の取り違いや、希釈しすぎないように十分注意しなければならない。

(3) 塗装時の温度、湿度の制限

塗装時に表－３の温度・湿度に達したときは、天候の回復を待つなどして許容値内であることを確認のうえ塗装作業を行う。また、冬季および雨季には、特段の留意を要する。さらに、天候が急変する恐れのある場合には、塗装の中止や手当等を迅速に行わなければならない。

(4) 禁止事項

表－４の禁止事項に該当する場合には、塗装作業は中止するか表中に示された処置をしたのち塗装する。

(5) 塗布量の管理

塗装面積が小さいため塗布量の管理は困難であるが、塗装面積と使用量の関係から塗布量の概略値を把握し、規定塗膜厚が確保できるように留意する。

表-2 熟成時間と可使時間

塗 料 の 種 類	熟成時間 (分)	ポットライフ (時間)
ポリウレタン樹脂塗料用中塗り	30 以上	20℃ 5 以内
ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30 以上	20℃ 5 以内
塗り替え用エポキシ樹脂塗料下塗り	30 以上	20℃ 5 以内
塗り替え用ガラスフレーク 塗料	—	20℃ 1.5以内
超厚膜型エポキシ樹脂塗料	—	20℃ 1 以内

表-3 温度、湿度の制限

塗 料 の 種 類	温度 (℃)	相対湿度 (%)
ポリウレタン樹脂塗料用中塗り	0 以下	85 以上
ポリウレタン樹脂塗料上塗り	0 以下	85 以上
塗り替え用エポキシ樹脂塗料下塗り	10 以下	85 以上
塗り替え用ガラスフレーク 塗料	10 以下	85 以上
超厚膜型エポキシ樹脂塗料	10 以下	85 以上

表-4 禁止事項とその処置

禁 止 事 項	処 置	理 由
被塗装物の表面が結露等で濡れている場合、および引き続きその状態が持続すると予想される場合。	17-70-または ウェス拭きで十分に水分を除去する。	塗料の付着不良および「ふくれ」「発錆」の原因となる。
被塗装物の表面温度が表の規制温度以下または50℃以上の場合。	適性温度になるまで待つ。	塗膜の硬化および乾燥の障害になる。また、われの原因ともなる。炎天下では、あわ、穴を生じる。
被塗装物の表面に泥、砂、汚物、油脂類などの異物が付着している場合	パワーツール、ウェス拭き、シンナー拭きなどにより除去する。	付着不良、「ふくれ」、「発錆」の原因となる。
降雨や雪など塗膜に悪影響を及ぼすと予想される場合。	降雨、雪の場合は中止する。	硬化、乾燥、付着性不良および塗膜表面が変質する。
塗膜乾燥中に異物の付着が予想される場合。	塗装作業を中止する。適当なガ- などによる養生を考える	付着性不良、「ふくれ」、「発錆」の原因となる。
規定された素地調整が行われていない場合。	規定どうりの素地調整を行う	付着性不良、「ふくれ」、「発錆」の原因となる。
使用塗料が可使時間を超過している場合。	可使時間を超えたものは、廃棄する。	塗膜性能に悪影響をおよぼす。
定められた希釈、混合、攪拌が行われず塗料に異常が認められる場合。	調整し直す。調整できないものは廃棄する。	塗膜性能に悪影響をおよぼす。

第5章 追跡調査

5.1 追跡調査

部分塗り替えを行った箇所を目視または双眼鏡を用いて点検する。

(解説)

部分塗り替えを行った箇所は、塗装条件の不適當や構造的な影響などにより塗膜の欠陥が早期に生じ易いので塗装後1～2年は可能な限り短い間隔で点検を行うことが望ましい。

点検は、素地調整や塗膜厚が不十分となり易い箇所および塗り替え以前に劣化の著しかった箇所等は注意して行うことが望ましい。

点検の項目や方法は、第2章の調査方法の項に準ずる。

塗料規格

部分塗り替えに用いる塗料と規格（案）は下表によるものとする。

塗 料 名	規 格
塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料	付表－１
塗り替え用ガラスフレーク塗料	付表－２
塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料	付表－３
ウレタン樹脂用中塗り塗料	付表－４
ポリウレタン樹脂上塗り塗料	付表－５

〔解説〕

(1) 塗り替えに用いる塗料の概要は次のようである。

① 塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料

エポキシ樹脂を主成分とする主剤と、アミン系硬化剤とから成る２液型塗料で、塗り替え塗装において鉄面や塗膜面との付着性を高めるために塗装する。

② 塗り替え用ガラスフレーク塗料

ガラスフレーク塗料は、塗料中にフレーク状のガラスを含有し、このガラスフレークの層状配列効果により水や塩分の透過を抑制し防食効果を発揮するものである。

③ 塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料

エポキシ樹脂を主成分とする主剤と、アミン系硬化剤から成る２液型塗料で、部分的に劣化した箇所に１回で厚膜に塗装することにより防食効果を発揮するものである。

④ ウレタン樹脂用中塗り塗料

ポリウレタン樹脂上塗り塗料を塗装するための中塗り塗料で、塗り替え用ガラスフレーク塗料または塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料と上塗り塗料との層間付着性をよくするために塗装する。塗料は２液型で、エポキシ樹脂あるいはポリウレタン樹脂を主成分とするものである。

⑤ ポリウレタン樹脂上塗り塗料

ポリオールを主成分とする主剤と、イソシアネート系硬化剤とからなる２液型塗料である。耐候性や耐水性に優れているので、海上での長期間の暴露性が良い。

付表-1 塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料規格 (案)

1. 適用範囲 この規格は、塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料について規定する。

備考：塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料は、エポキシ樹脂、硬化剤、顔料をおもな原料とした2液型のものである。

2. 品 質 塗り替え用エポキシ樹脂下塗り塗料の品質は、下表の規格に合格しなければならない。

項 目	品 質
容器の中での状態	主剤、硬化剤ともにかき混ぜたとき、堅いかたまりがなく一様になること
混合性	均等に混合すること
乾燥時間 (h)	16 以内
可使時間 (ポットライフ)	20℃で利用できる時間が5時間以上であること
作業性	塗装作業に支障がなく、30μmの厚さに塗装しても流れなどの異状のないこと
塗膜の外観	流れ、しわ、むら、われ、ふくれ、あな、はがれがないこと
耐衝撃性	500mmの高さから300gのおもりを落としたとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと
耐塩水性	3%の食塩水に100時間浸漬しても異状がないこと
混合塗料中の加熱残分 (%)	50 以上
エポキシ樹脂の定性	エポキシ樹脂が存在すること

付表-2 塗り替え用ガラスフレーク塗料規格 (案)

1. 適用範囲 この規格は、塗り替え用ガラスフレーク塗料について規定する。

備考：塗り替え用ガラスフレーク塗料は、ガラスフレークと不飽和ポリエステル樹脂（ビニルエステル系など）またはエポキシ樹脂と硬化剤をおもな原料とした2液型のものである。

2. 品質 塗り替え用ガラスフレーク塗料の品質は、下表の規格に合格しなければならない。

項 目	品 質
容器の中での状態	主剤、硬化剤ともにかき混ぜたとき、堅いかたまりがなく一様になること
混合性	均等に混合すること
乾燥時間 (h)	16 以内
可使時間 (ポットライフ)	20℃で使用できる時間が1時間以上であること
厚塗性	垂直面に500μm塗装しても、流れ、われ、はがれないこと
塗膜の外観	見本品にくらべて差異が少ないこと
耐衝撃性	500mmの高さから300gのおもりを落としたとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと
塩水噴霧試験	所定の処理によって作成した鍍板に塗装後、3000時間の塩水噴霧試験に耐えること。処理方法、判定基準については別途定める。
混合塗料中の加熱残分 (%)	70 以上
ガラスフレークの含有量	20%以上であること

付表－３ 塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料規格（案）

１．適用範囲 この規格は、塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料について規定する。

備考：塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料は、エポキシ樹脂、硬化剤、顔料をおもな原料とした２液型のものである。

２．品 質 塗り替え用超厚膜型エポキシ樹脂塗料の品質は、下表の規格に合格しなければならない。

項 目	品 質
容器の中での状態	主剤、硬化剤ともにかき混ぜたとき、堅いかたまりがなく一様になること
混合性	均等に混合すること
乾燥時間（h）	１６以内
可使時間（ポットライフ）	２０℃で使用できる時間が１時間以上であること
厚塗性	垂直面に１２００μm塗装しても、流れ、われ、はがれがないこと
塗膜の外観	見本品にくらべて差異が少ないこと
耐衝撃性	５００mmの高さから３００gのおもりを落としたとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと
塩水噴霧試験	所定の処理によって作成した鋼板に塗装後、３０００時間の塩水噴霧試験に耐えること。処理方法、判定基準については別途定める。
混合塗料中の加熱残分（％）	９０以上
エポキシ樹脂の定性	エポキシ樹脂が存在すること

付表－４ ポリウレタン樹脂用中塗り塗料

付表－５ ポリウレタン樹脂上塗り塗料

- １．適用範囲 この規格は、ポリウレタン樹脂用中塗り塗料およびポリウレタン樹脂上塗り塗料について規定する。

備考：中塗り塗料は、エポキシ樹脂またはポリオール樹脂・顔料・硬化
および溶剤をおもな原料とした２液型のものである。上塗り塗料
は、ポリオール樹脂・ポリイソシアネート（非黄変型）・顔料お
よび溶剤をおもな原料とした２液型のものである。ただし、硬化
剤には低級アミンを使用しないものとする。なお、色は中塗り・
上塗りともに淡彩色とする。

- ２．種 類 ポリウレタン樹脂用中塗り塗料
ポリウレタン樹脂上塗り塗料

- ３．品 質 ポリウレタン樹脂用中塗り塗料・ポリウレタン樹脂上塗り塗料の品質は、
次の規定に適合しなければならない。

ポリウレタン樹脂用中塗り塗料 } の品質
 ポリウレタン樹脂上塗り塗料 }

項 目 \ 種 類	中 塗	上 塗
容 器 の 中 で の 状 態	主剤、硬化剤ともにかき混ぜたとき、堅いかたまりがなく一様になること	
混合性	均等に混合すること	
つぶ (μm)	40 以下	
乾燥時間 (h)	8 以内	
低温乾燥性 (h)	5℃で16 以内	
可使時間 (ポットライフ)	20℃で使用できる時間が5 時間以上であること	
塗膜の外観	塗面を見て平らさは良好で流れ・つぶ・しわ・むら・われ・ふくれ・あな・はがれがないこと	
隠ぺい率	0.90 以上	
60 度鏡面光沢度 (%)	—	80 以上
耐衝撃性	500mm の高さから 300g のおもりを落としたとき、おもりの衝撃で塗膜にわれおよびはがれができないこと	
基盤目試験	25/25 であること	
上塗り適合性	上塗りしても支障のないこと	—
耐屈曲性	7 日間放置したのち直径 10mm の心棒で試験して折り曲げに耐えること	
促進耐候性	—	暴露した試験片と暴露しなかつた試験片を比べてみたとき、白亜化の程度はほとんど差異がなく、色差 (ΔE) は 3 以内で 60 度鏡面光沢度は 50 以上でなければならない
混合塗料中の加熱残分 (%)	60 以上	55 以上
混合塗料中の溶剤不溶物 (%)	30 以上	20 以上
NCO 基の定性	—	NCO 基が存在すること

長期防錆型塗装系の塗り替えに
関する試験調査報告（Ⅱ）

ISSN0386-5878
土木研究所資料第2514号
昭和62年3月（1987）
化学研究室

片 脇 清
守 屋 進

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および室内試験の結果をとりまとめるとともに、これからの結果より長期防錆型塗装系の部分塗り替え指針（案）を提案したものである。

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

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地質化学部化学研究室

行

No. _____

No. _____

土研資料 2215号

配布先氏名

配付先住所



土木研究所資料第2514号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

