

土木研究所資料

長期耐久性塗料に関する試験調査報告書(I)

平成3年1月

建設省土木研究所
地質化学部化学研究室

Copyright © (1991) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

長期耐久性塗料に関する試験調査報告書(Ⅰ)

化学研究室 片 脇 清
守 屋 進

要 旨

湾岸道路等、大規模事業で計画されている橋梁は、交通量が多くしかも工業地域を通過するので汚染大気や排ガスの影響を受けるとともに潮風の影響も受ける非常に苛酷な腐食環境に予定されている。このような苛酷な腐食環境に適した塗装材料等防錆技術を確立することが急務となっている。

本報告は、このような苛酷な腐食環境に架設が予定されている大規模橋梁の鋼上部構の高性能防錆材料として、ガラスフレーク塗料の防食性能等に関して行った試験結果及び近年開発された耐候性に優れたふっ素樹脂塗料、シリコン樹脂塗料の施工性に関して行った試験結果をとりまとめたものである。

キーワード：大規模橋梁，ガラスフレーク塗料，ふっ素樹脂塗料，シリコン樹脂塗料

防食性能，施工性

ま え か き

本試験は、高性能防錆材料であるガラスフレーク塗料の遮断性能（水蒸気透過量、温度勾配試験、塩素イオン浸透深さ）、塗膜物性（付着力、耐衝撃性）、防食性能（海上暴露試験、複合環境促進試験）、付着力耐久性試験（繰り返し疲労付着性能）及び部分補修方法に関する試験を行い、その諸性能を明らかにすることによって、ガラスフレーク塗料の品質規格（案）を提案した。

また、高耐候性上塗り塗料であるふっ素樹脂塗料並びにシリコン樹脂塗料の施工性（低温乾燥性）及び塗り重ね性に関する試験を行い、これらの塗料の実用性を明らかにした。

目 次

まえがき

1. 試験調査の目的	1
2. 高性能防錆材料に関する試験	3
2.1 遮断性能試験	3
2.1.1 水蒸気透過量	3
2.1.2 温度勾配試験	3
2.1.3 塩素イオン浸透深さ	9
2.2 塗膜物性試験	39
2.2.1 付着力試験	39
2.2.2 耐衝撃性試験	41
2.3 防食性能試験	44
2.3.1 暴露試験	44
2.3.2 複合環境促進試験	44
2.4 付着力耐久性試験	52
2.4.1 標準試験片の疲労試験	52
2.4.2 促進劣化試験片の疲労試験	52
2.5 部分補修試験	59
2.6 まとめ	61
2.7 ガラスフレーク塗料の品質規格（案）	62
3. 高耐候性塗料に関する試験	63
3.1 施工性試験	63
3.1.1 低温乾燥性試験	63
3.1.2 促進耐候性試験	68
3.1.3 暴露試験	75
3.2 塗り重ね性試験	79
3.3 まとめ	97

4. まとめ	98
5. 今後の課題	99
あとがき	100

1. 防食材料の調査と目的

高性能防錆材料であるガラスフレーク塗料は、樹脂に分散されたガラスフレークが水分や塩素イオンなどの腐食促進因子の進入経路の長くし、みかけ上の膜厚を厚くする効果があり、非常に優れた防食性能を有しており、すでに化学プラントなどの防食材料として用いられている。一方、土木研究所においては長期防錆型塗料の部分補修用の塗料としてすでにガラスフレーク塗料を推奨している¹⁾。本州四国連絡公団においてもガラスフレーク塗料に関する試験調査を行い、下津井瀬戸大橋の鉄道直結桁の一部に試験塗装を行った²⁾。また、平成2年に改訂された本州四国連絡橋公団の塗装基準³⁾において塗り替えが困難な部位（タワーリンク等）の塗装仕様として採用された。このように、ガラスフレーク塗料は橋梁へも少しずつ適用がはかられているが、さらに海上橋など大規模橋梁の上部構の一般部にもこの塗装系が適用できれば、鋼材の防食メンテナンスが非常に軽減されることが期待される。

すなわち、ガラスフレーク塗料を大規模橋梁の鋼材防食として積極的に適用していくためには、塗料の安定した性能を得ることが重要であり、品質規格を制定することが望まれる。しかしながら、この塗料の防食性能とガラスフレークの含有量、大きさ、樹脂の種類などの塗料組成との関係が明確でないばかりでなく、この塗膜が非常に硬質であるため、橋梁に適用した場合、繰り返し疲労による部材のたわみに追従できず鋼材との付着性が落ちるのではないかと懸念されている。

このため、ガラスフレーク塗料の組成と諸性能の関係を明らかにし、その品質規格を作成することを目的として、ガラスフレークの含有量、大きさ、樹脂の種類などを変えた塗料を試作して、その遮断性能、塗膜物性、防食性能、付着力耐久性及び部分補修に関する試験を行った。

高耐候性上塗り塗料であるふっ素樹脂塗料及びシリコン樹脂塗料は、従来のポリウレタン樹脂塗料より格段に耐候性に優れた上塗り塗料として近年開発されたものであり、その耐候性は促進試験、暴露試験や実橋における試験塗装^{4, 5, 6)}などで実証されつつある。平成2年に改訂された（社）日本道路協会発刊の鋼道路橋塗装便覧⁷⁾においても、美観や景観を配慮する必要がある場合には耐候性に優れた上塗り塗料としてふっ素樹脂塗料及びシリコン樹脂塗料が採用された。

しかしながら、これらの塗料についてはポリウレタン樹脂塗料などに比べて施工性が悪いのではないかと、特に低温時の硬化乾燥性と、上塗りに打痕傷などがついたときのタッチアップや補修のために同一塗料を塗り重ねる場合の付着性などが懸念されている。

このため、ふっ素樹脂塗料及びシリコン樹脂塗料の低温乾燥性及び同一塗料を塗り重ねる際の表面処理の方法、塗り重ねまでの期間による付着性を明らかにすることを目的として、0、5、10℃、室温での低温乾燥性に関する試験及び上塗り塗膜への上塗りからの塗り重ね、中塗りからの塗り重ね及び下塗りからの塗り重ね時の表面処理程度（3水準）と、塗り重ねまでの期間（7日、14日、1ヶ月、6ヶ月、1年）による付着性に関する試験を行った。

〔参考文献〕

- 1) 片脇清、守屋進：長期防錆型塗装系の塗り替えに関する試験調査報告書（Ⅱ），土木研究所資料第2514号，昭和62年3月
- 2) 守屋進、町田洋人、兼田教一：本州四国連絡橋のガラスフレーク系塗料に関する試験調査，鋼橋塗装vol. 16, No. 2, 1988年7月
- 3) 鋼橋等塗装基準・同解説（案）：本州四国連絡橋公団，平成2年4月
- 4) 片脇清、守屋進：鋼橋塗装の維持管理技術に関する試験調査報告書（Ⅰ），土木研究所資料第2339号，昭和61年3月
- 5) 片脇清、守屋進：鋼橋塗装の維持管理技術に関する試験調査報告書（Ⅱ），土木研究所資料第2522号，昭和62年3月
- 6) 片脇清、守屋進：鋼橋塗装の維持管理技術に関する試験調査報告書（Ⅲ），土木研究所資料，平成3年3月
- 7) 鋼道路橋塗装便覧：社団法人 日本道路協会，平成2年6月

2. 高耐候性有機溶剤耐性材料に関する試験方法

ガラスフレーク含有量(10, 15, 20, 25, 30, 40%) 6水準, ガラスフレークの大きさ(45, 150, 350 μm) 3水準, ガラスフレークのシランカップリングによる表面処理の有無 2水準, 樹脂(エポキシ樹脂, ビニルエステル樹脂, イソフタル酸系ポリエステル樹脂) 3水準, 膜厚(200, 400, 600 μm) 3水準及び比較としてガラスフレークの代わりにタルクを 20%加え膜厚400 μm のエポキシ樹脂 1水準, 厚膜型エポキシ樹脂(200, 400 μm) 2水準の計28通りの塗料を試作し、最適のガラスフレーク塗料の品質規格を見出すことを目的として以下の各種試験を行った。

試験に供した塗料の組成を表-2.1に示す。

2.1 遮断性能試験

2.1.1 水蒸気透過量

試作した塗料の水蒸気透過量は、フリーフィルムを作成し、JIS Z 0208 防湿包装材料の透湿度試験方法(カップ法)に準拠して行った。フリーフィルムの膜厚を表-2.2に示す。

試験結果を表-2.3及び図-2.1に示す。

- (1)遮水性能は、ビニルエステル樹脂とイソフタル酸系ポリエステル樹脂はほぼ同じでエポキシ樹脂より優れていた。(フレーク含有量20%, フレークの大きさ150 μm)
- (2)遮水性能は、フレークの大きさ150 μm が優れていた。(フレーク含有量20%, 膜厚400 μm)
- (3)遮水性能は、ビニルエステル樹脂, エポキシ樹脂共にフレーク含有量20%が最も優れていた。(膜厚400 μm , フレークの大きさ150 μm)
- (4)膜厚は、厚いほど遮水性能に優れているが、エポキシ樹脂では400 μm 以上で特に透湿度が小さくなった。

以上の結果より、遮水性能はフレーク含有量20~25%, フレークの大きさ150 μm , 膜厚が400 μm 以上であれば、ビニルエステル樹脂, エポキシ樹脂, イソフタル酸系ポリエステル樹脂いずれも良好であることが明らかとなった。

2.1.2 温度勾配試験

塗装試験片を、表面が20℃の3%NaCl水溶液、裏面が50℃の温水に接するようにした温度勾配試験を行い、塗膜表面にふくれが発生するまでの日数を調べた。

ふくれ発生の例を写真-2.1 に、ふくれ発生までの日数を表-2.4及び図-2.2に示す。

表-2.1 供試塗料の組成

No	フレークの形状 (μm)			表面処理 有 無	フレーク含有量 (wt%)						樹脂			膜厚 (μm)		
	45	150	350		10	15	20	25	30	40	A	B	C	200	400	600
1		○		○			○				○					○
2		○		○			○					○				○
3		○		○			○						○			○
4			○	○			○				○					○
5	○			○			○				○					○
6	○			○			○					○				○
7			○	○			○					○				○
8		○		○	○						○					○
9		○		○		○					○					○
10		○		○				○			○					○
11		○		○					○		○					○
12		○		○						○	○					○
13		○		○	○							○				○
14		○		○		○						○				○
15		○		○				○				○				○
16		○		○					○			○				○
17		○		○						○		○				○
18		○		○			○				○			○		
19		○		○			○				○					○
20		○		○			○					○		○		
21		○		○			○					○				○
22		○		○			○						○	○		
23		○		○			○						○			○
24		○			○		○				○				○	
25		○			○		○					○			○	
26		タルク使用		—			○				○				○	
27		厚膜型エポキシ		—			—					—		○		
28		厚膜型エポキシ		—			—					—			○	

注) 樹脂A : ビニルエステル樹脂
樹脂C : イソフタル酸系ポリエステル樹脂

樹脂B : エポキシ樹脂

表-2.2 透湿度試験用フリーフィルムの膜厚

No	膜 厚 (μm)			平均膜厚 (μm)	目標膜厚 (μm)
	①	②	③		
1	400	380	380	390	400
2	550	550	500	530	400
3	600	600	640	610	400
4	400	450	500	450	400
5	580	550	580	570	400
6	580	680	620	630	400
7	800	650	650	700	400
8	650	650	650	650	400
9	600	580	550	580	400
10	650	650	650	650	400
11	550	600	600	580	400
12	480	440	440	450	400
13	600	600	540	580	400
14	700	680	700	690	400
15	400	420	420	410	400
16	570	550	580	570	400
17	580	570	550	570	400
18	260	260	270	260	200
19	800	750	750	770	600
20	320	340	340	330	200
21	850	800	750	800	600
22	320	300	280	300	200
23	700	750	800	750	600
24	500	460	440	470	400
25	550	600	600	580	400
26	480	500	520	500	400
27	440	420	420	430	200
28	600	600	600	600	400

表-2.3 水蒸気透過量

No	水蒸気透過量 (mg)				透湿度 (g/m ² 24hr)				
	2日後	5日後	13日後	33日後	2日後	5日後	13日後	33日後	平均値
1	16.4	22.3	60.8	107.8	2.9	1.6	1.7	1.2	1.9
2	34.1	50.8	100.0	229.1	6.0	3.6	2.7	2.5	3.7
3	14.4	22.7	60.0	141.0	2.5	1.6	1.6	1.5	1.8
4	123.8	53.7	49.3	93.0	21.9	3.8	1.3	1.0	7.0
5	35.3	69.8	173.8	388.7	6.2	4.9	4.7	4.2	5.0
6	66.1	114.7	296.3	693.2	11.7	8.1	8.1	7.4	8.8
7	59.6	91.8	238.9	552.8	10.5	6.5	6.5	5.9	7.4
8	65.1	99.2	94.6	211.8	11.5	7.0	2.6	2.3	5.9
9	18.8	24.7	69.1	165.0	3.3	1.7	1.9	1.8	2.2
10	20.2	19.0	61.4	131.2	3.6	1.3	1.7	1.4	2.0
11	63.2	81.5	40.2	92.5	11.2	5.8	1.1	1.0	4.8
12	368.0	548.9	1453.2	3777.0	65.1	38.9	39.6	40.5	46.0
13	54.3	172.3	273.7	554.6	9.6	12.2	7.5	5.9	8.8
14	46.5	73.5	169.4	366.0	8.2	5.2	4.6	3.9	5.5
15	37.5	62.1	155.2	341.7	6.6	4.4	4.2	3.7	4.7
16	49.9	120.7	138.8	291.9	8.8	8.5	3.8	3.1	6.1
17	24.8	34.0	74.1	154.1	4.4	2.4	2.0	1.7	2.6
18	16.3	24.7	73.8	160.6	2.9	1.7	2.0	1.7	2.1
19	12.4	15.2	42.2	96.4	2.2	1.1	1.1	1.0	1.4
20	58.8	121.1	228.2	516.1	10.4	8.6	6.2	5.5	7.7
21	30.9	47.7	111.3	218.0	5.5	3.4	3.0	2.3	3.6
22	16.5	30.4	93.5	228.0	2.9	2.2	2.5	2.4	2.5
23	11.1	20.7	42.2	105.8	2.0	1.5	1.1	1.1	1.4
24	16.1	20.0	68.8	145.0	2.8	1.4	1.9	1.6	1.9
25	38.1	68.5	151.4	328.0	6.7	4.8	4.1	3.5	4.8
26	55.7	81.5	223.8	527.1	9.9	5.8	6.1	5.7	6.9
27	32.5	54.2	132.6	297.5	5.8	3.8	3.6	3.2	4.1
28	32.9	52.8	130.6	281.0	5.8	3.7	3.6	3.0	4.0

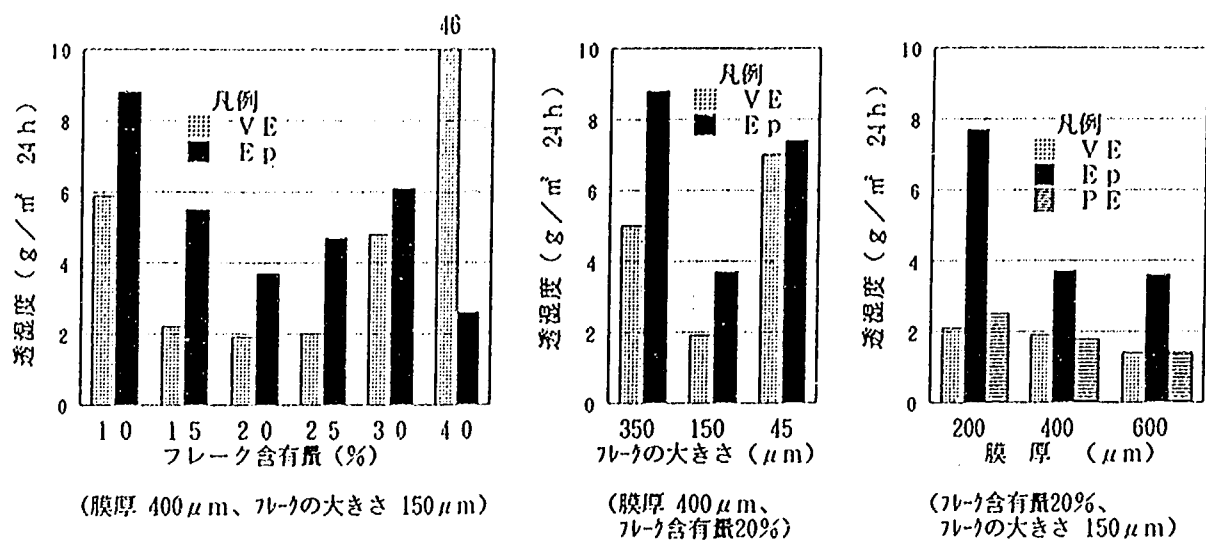


図-2.1 水蒸気透過量

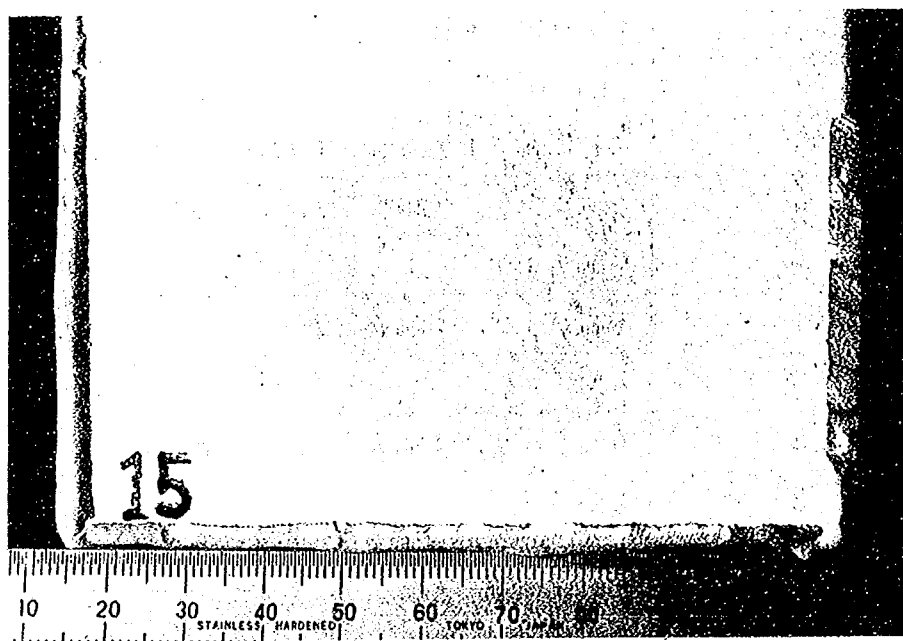


写真-2.1 ふくれ発生例

表-2.4 温度勾配試験

No	ふくれ発生までの日数	ふくれの状況
1	4	5 mm ϕ 1 ケ
2	7	3 mm ϕ 5 ケ
3	17	5 mm ϕ 1 ケ
4	> 20	ふくれ確認されず
5	5	6 mm ϕ 1 ケ
6	2	3 mm ϕ 1 ケ
7	> 20	ふくれ確認されず
8	4	5 mm ϕ 1 ケ
9	7	5 mm ϕ 1 ケ, 3 mm ϕ 1 ケ
10	9	5 mm ϕ 1 ケ
11	9	5 mm ϕ 1 ケ
12	> 20	ふくれ確認されず
13	3	5 mm ϕ 1 ケ
14	5	4 F (5 mm ϕ 1 ケ, 4 mm ϕ 1 ケ, 3 mm ϕ 2 ケ, 2 mm ϕ 3 ケ)
15	6	4 mm ϕ 1 ケ, 3 mm ϕ 3 ケ, < 2 mm ϕ 約 10 ケ
16	7	6 mm ϕ 1 ケ
17	14	5 mm ϕ 1 ケ, 4 mm ϕ 2 ケ
18	3	8 M
19	18	6 mm ϕ 1 ケ, 4 mm ϕ 4 ケ, 3 mm ϕ 2 ケ
20	3	2 mm ϕ 2 ケ
21	10	8 mm ϕ 1 ケ (4 mm ϕ 2 ケつながり), 4 mm ϕ 1 ケ
22	5	3 mm ϕ 1 ケ
23	19	6 mm ϕ 1 ケ
24	5	3 mm ϕ 1 ケ
25	5	3 mm ϕ 1 ケ
26	7	8 D (下方 1/4 に集中)
27	17	3 mm ϕ 1 ケ
28	7	2 mm ϕ 1 ケ, 1 mm ϕ 1 ケ

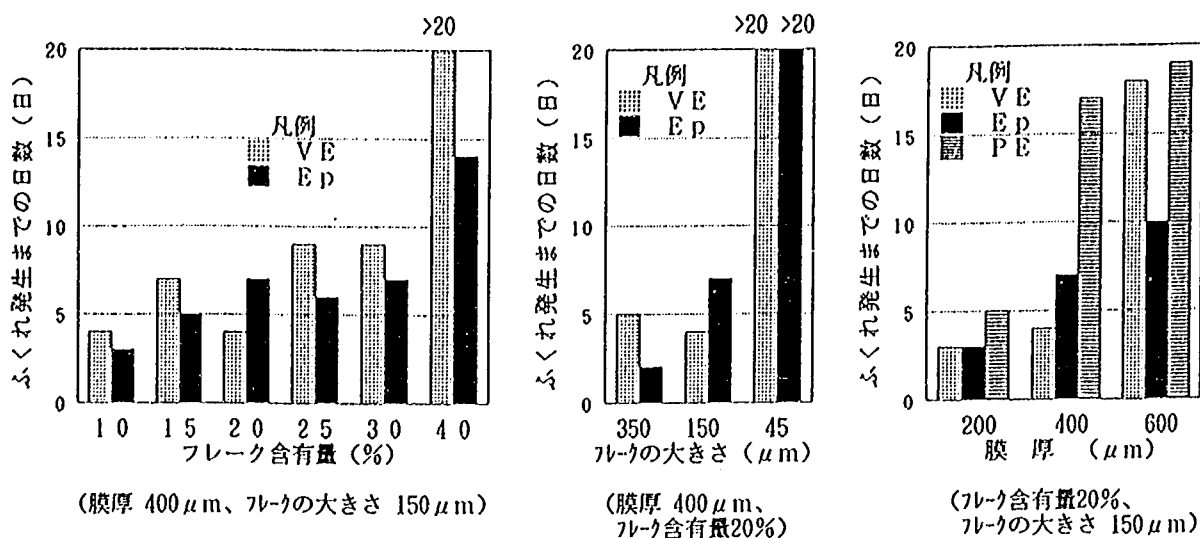


図-2.2 温度勾配試験

- (1) 温度勾配試験によるふくれ発生までの日数は、ビニルエステル樹脂が最も短く、次いでエポキシ樹脂であり、イソフタル酸系ポリエステル樹脂が最も短かった。ただし、ビニルエステル樹脂は、膜厚600 μm ではイソフタル酸系ポリエステル樹脂とほぼ同じであった。(フレーク含有量20%, フレークの大きさ150 μm)
- (2) フレークの大きさが大きくなるにしたがい、ふくれ発生までの日数が長くなった。特に350 μm は20日間ではふくれは発生しなかった。(フレーク含有量20%, 膜厚400 μm)
- (3) フレーク含有量の増加とともに、ふくれ発生までの日数が長くなった。
- (4) 膜厚が厚いほどふくれ発生までの日数が長かった。

以上の結果より、温度勾配試験によるふくれ発生までの日数は、フレーク含有量が少ないほど、フレークの大きさが小さいほど、膜厚が薄いほど短いことが明らかとなった。ただし、フレーク含有量が多くなると塗膜結果が発生し易くなったり、フレークが大きくなると良好な塗膜を形成せず、ぼそぼそとなるためふくれが発生しなかったと思われる。

2.1.3 塩素イオン浸透深さ

表-2.1の塗装試験片28枚について 1.1.2温度勾配試験と同じ条件の温度勾配試験を48時間行った後、試験片を切断して塗膜断面の塩素イオンの浸透深さ及びガラスフレークの配列を下記に示す条件でEPMA面分析を行った。試験片の膜厚を表-2.5に、面

分析結果を写真-2.2 に示す。

(B PMA面分析の条件)

測定倍率 : 600倍

加速電圧 : 15 kv

分析時間/回数 : 120sec/2回

塩素イオンの浸透深さを比較した。

(1)ビニルエステル樹脂は、塩素イオンの浸透はそれほど多くないが、鋼材に近いほど次第に多くなる傾向が見られた。エポキシ樹脂は、塩素イオンの浸透は比較的多く塗膜の表面側で特に多かった。イソフタル酸系ポリエステル樹脂は、塩素イオンの浸透は全体的に少なかった。

(2)ビニルエステル樹脂は、フレーク大きさによる塩素イオンの浸透に差はなかった。エポキシ樹脂は、フレークの大きさ150 μm が最も塩素イオンの浸透が少なかったが、フレークの大きさによる塩素イオンの浸透の差は大きくなかった。

(3)ビニルエステル樹脂、エポキシ樹脂共に、フレーク含有量による塩素イオンの浸透の差は顕著ではないが、ビニルエステル樹脂の含有量40%では、塗膜中に空隙が多くそこに塩素イオンが蓄積しているのが見られた。

(4)ビニルエステル樹脂は、膜厚が200 μm では下塗りまで、400 μm ではガラスフレーク層と下塗りの境界まで塩素イオンが蓄積しているのが見られた。600 μm は鋼材に近いほど塩素イオンが多くなる傾向は見られるが蓄積している様子は見られなかった。また、エポキシ樹脂とイソフタル酸系ポリエステル樹脂では塗膜厚による塩素イオンの浸透の差はほとんど見られなかった。

(5)ガラスフレークは、大きさが150 μm 、350 μm はほぼ平行に並んでいるが、45 μm は形状が粒状であり、塗膜内に分散していた。

以上の結果より、温度勾配試験のような厳しい条件では、ガラスフレーク塗料といえども塩素イオンは浸透してくることが明らかとなった。ただし、塩素イオンの浸透速度及び量は塗料の組成により大きく異なることが明らかとなった。

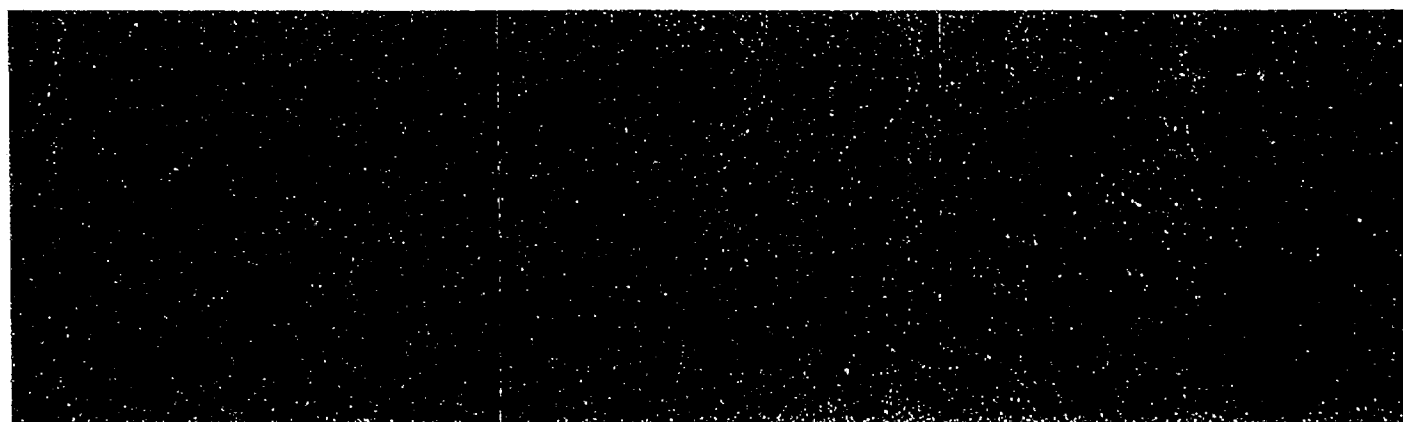
表2.5 塩素イオン浸透深さ測定試験片の膜厚

No	膜 厚 (μm)					平均膜厚	目標膜厚
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(μm)	(μm)
1	365	290	331	361	304	3 3 0	4 0 0
2	348	355	361	354	360	3 5 6	4 0 0
3	564	497	548	552	494	5 3 1	4 0 0
4	554	583	623	553	556	5 7 4	4 0 0
5	467	435	458	423	430	4 4 3	4 0 0
6	295	330	360	366	409	3 5 2	4 0 0
7	528	508	415	521	450	4 8 4	4 0 0
8	443	438	471	443	462	4 5 1	4 0 0
9	509	519	519	568	557	5 3 4	4 0 0
10	541	540	575	581	591	5 6 6	4 0 0
11	386	384	420	426	454	4 1 4	4 0 0
12	478	501	514	508	513	5 0 3	4 0 0
13	410	438	474	469	479	4 5 4	4 0 0
14	392	432	433	415	471	4 2 9	4 0 0
15	455	467	460	469	429	4 5 6	4 0 0
16	432	472	452	412	455	4 4 5	4 0 0
17	548	484	525	553	499	5 2 2	4 0 0
18	190	213	211	170	212	1 9 9	2 0 0
19	614	567	586	667	581	6 0 3	6 0 0
20	325	325	343	349	329	3 3 4	2 0 0
21	596	583	575	578	558	5 7 8	6 0 0
22	230	225	234	247	241	2 3 5	2 0 0
23	561	556	589	586	570	5 7 2	6 0 0
24	314	308	334	358	345	3 3 2	4 0 0
25	553	473	528	540	488	5 1 6	4 0 0
26	363	361	378	361	365	3 6 6	4 0 0
27	290	300	296	290	303	2 9 6	2 0 0
28	561	552	562	550	536	5 5 2	4 0 0



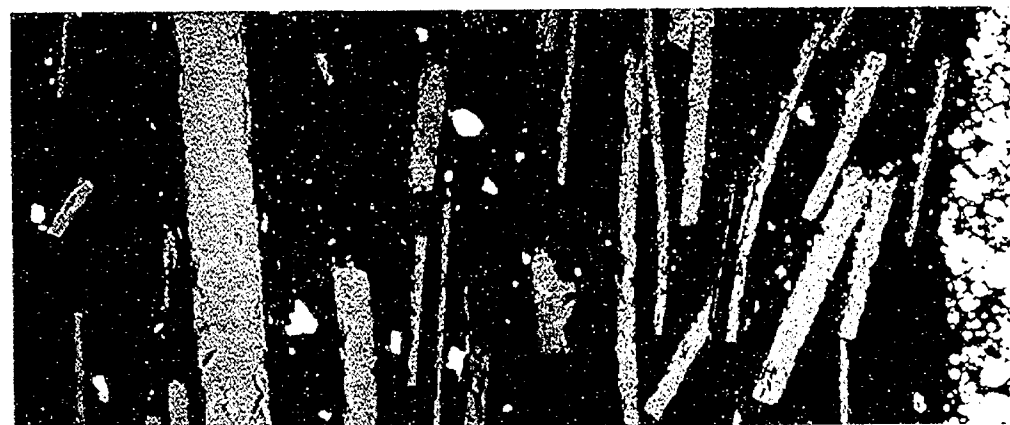
100 μ m

反射電子像



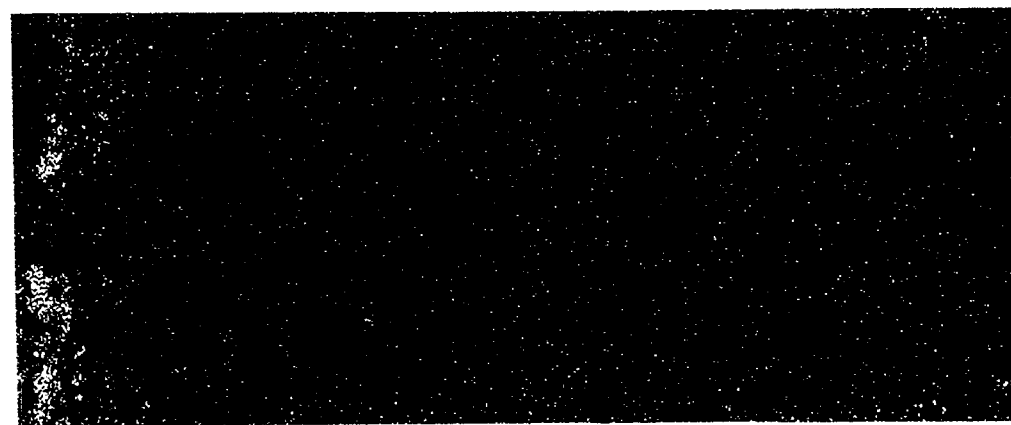
C1 X線像

写真-2.2(1) E P M A 面分析
(試験片No.1 GF形状150 μ m GF含有量20% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μ m)



100 μm

反射電子像



Cl X線像

写真-2.2(2) E P M A 面 分 析
(試験片No.2 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面処理有 エポキシ樹脂 400 μm)



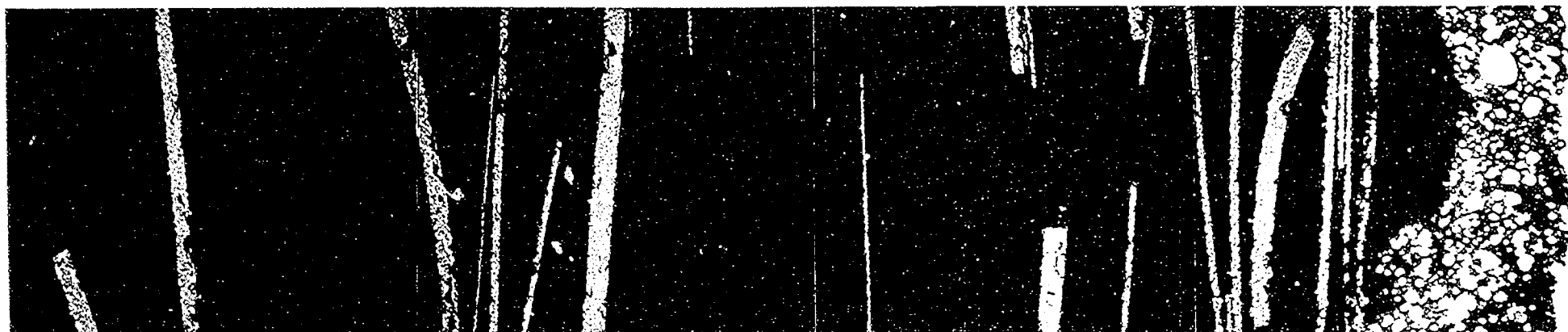
100 μm

反 射 電 子 像



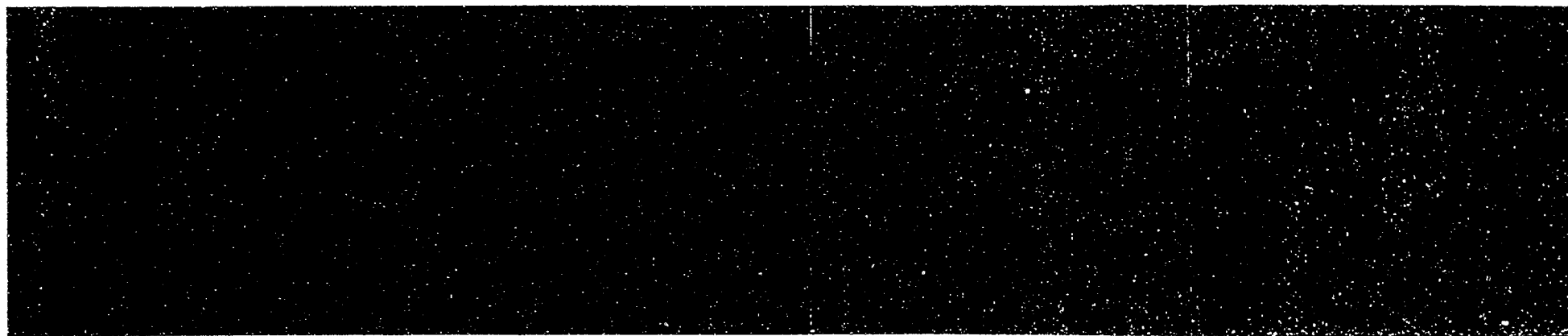
C1 X 線 像

写真 - 2. 2 (3) E P M A 面 分 析
 (試験片No.3 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 イソフタル酸系ポリエステル樹脂 400 μm)



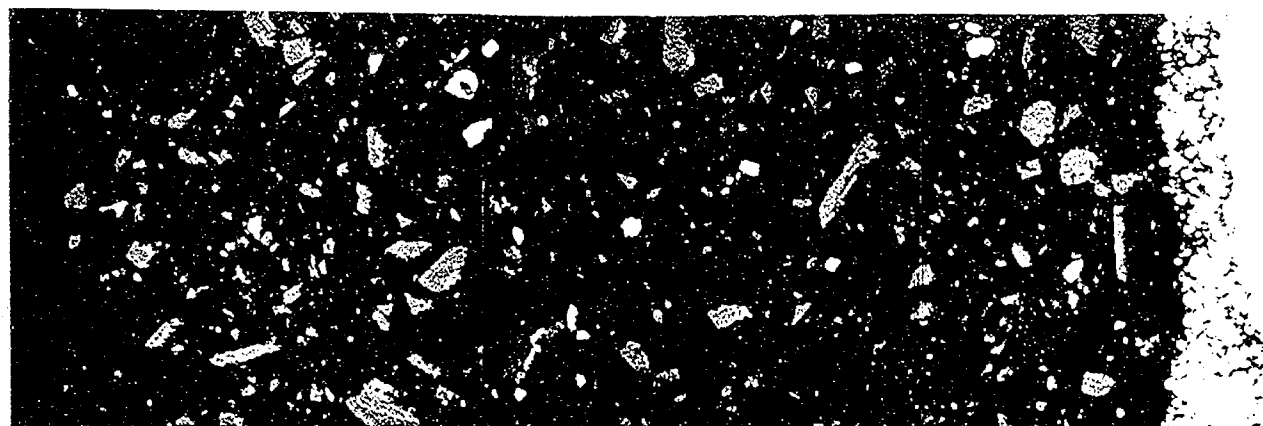
100 μm

反射電子像



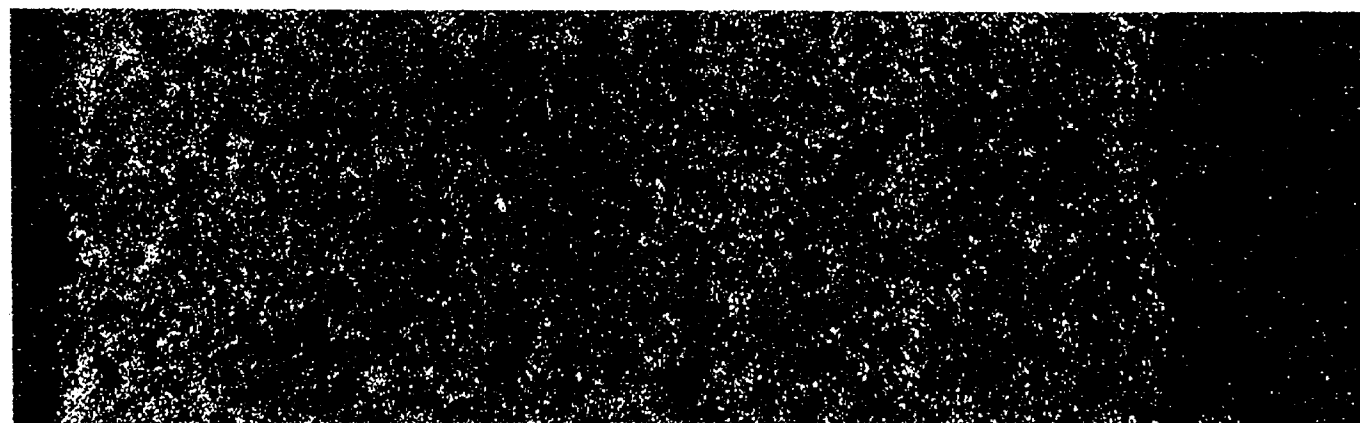
Cl X線像

写真 - 2.2 (4) E P M A 面 分 析
 (試験片No. 4 GF形状 350 μm GF含有量20% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μm)



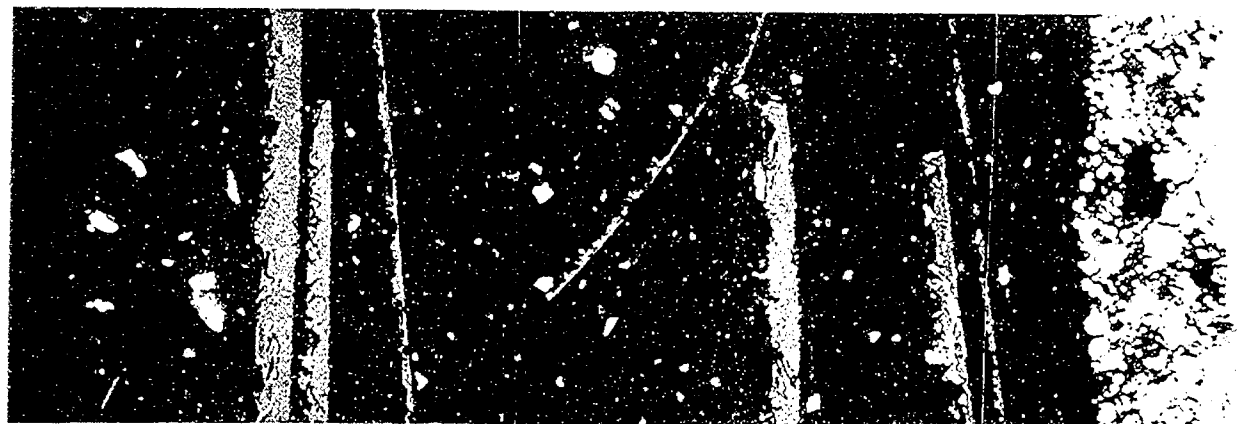
100 μm

反射電子像



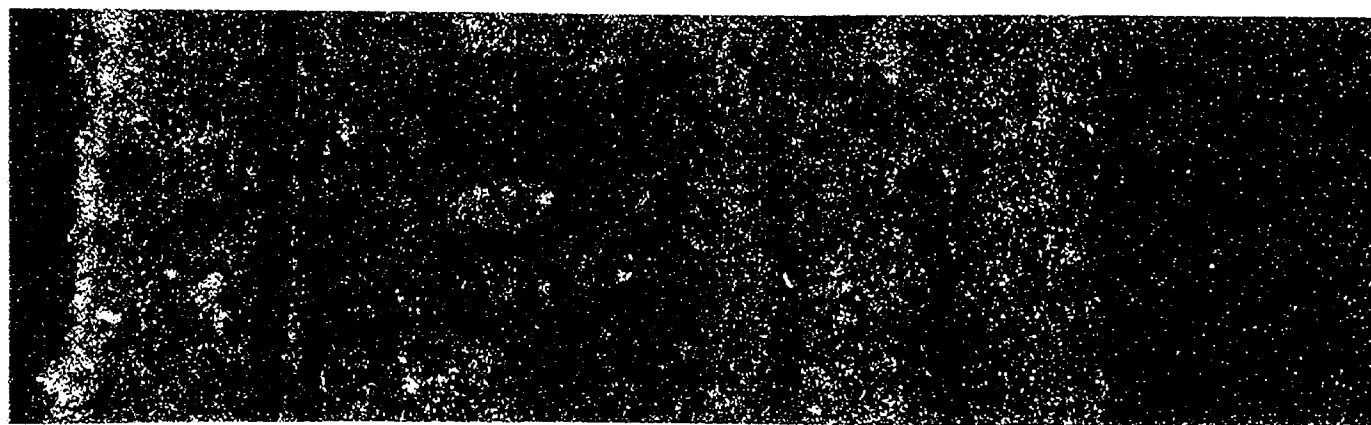
C1 X線像

写真-2.2(6) E P M A 面 分 析
(試験片No.6 GF形状45 μm GF含有量20% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μm)



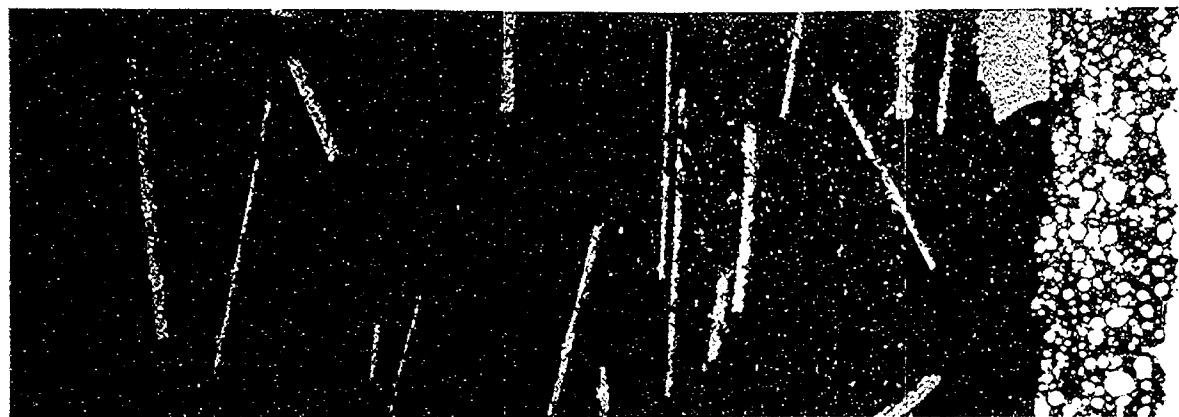
100 μm

反射電子像



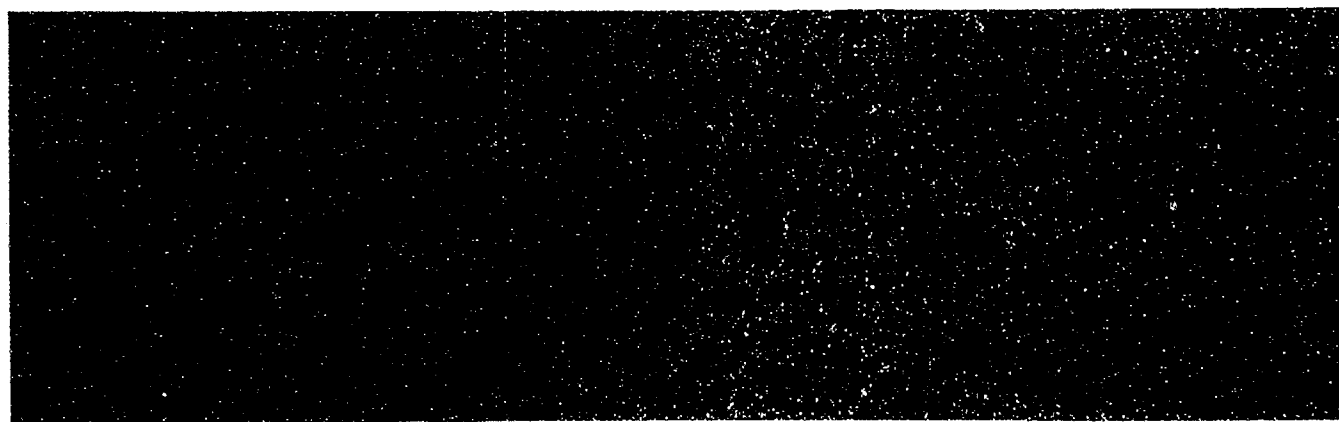
C1 X線像

写真—2.2(7) E P M A 面 分 析
(試験片No.7 GF形状 350 μm GF含有量20% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μm)



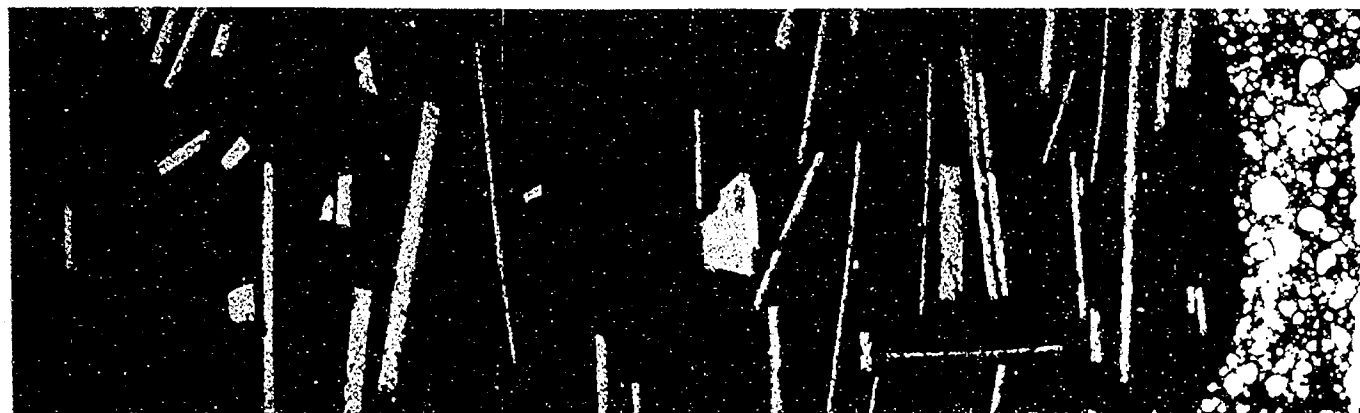
100 μm

反射電子像



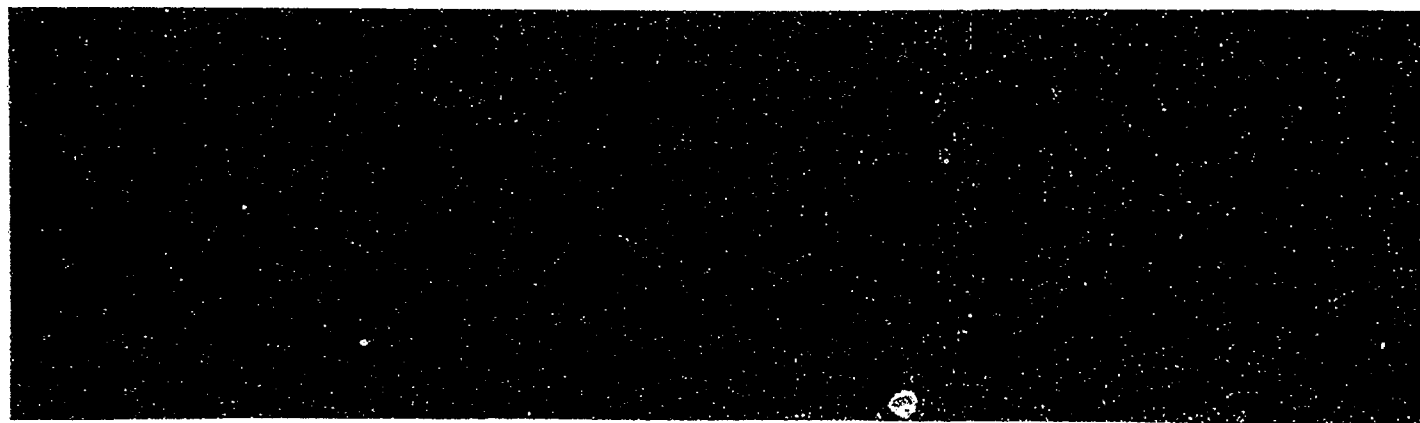
C1 X線像

写真 - 2.2 (8) E P M A 面 分 析
(試験片No.8 GF形状 150 μm GF含有量10% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μm)



100 μm

反射電子像



CL X線像

写真 - 2.2 (9) E P M A 面 分 析
(試験片No.9 GF形状 150 μm GF含有量15% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μm)



100 μm

反射電子像



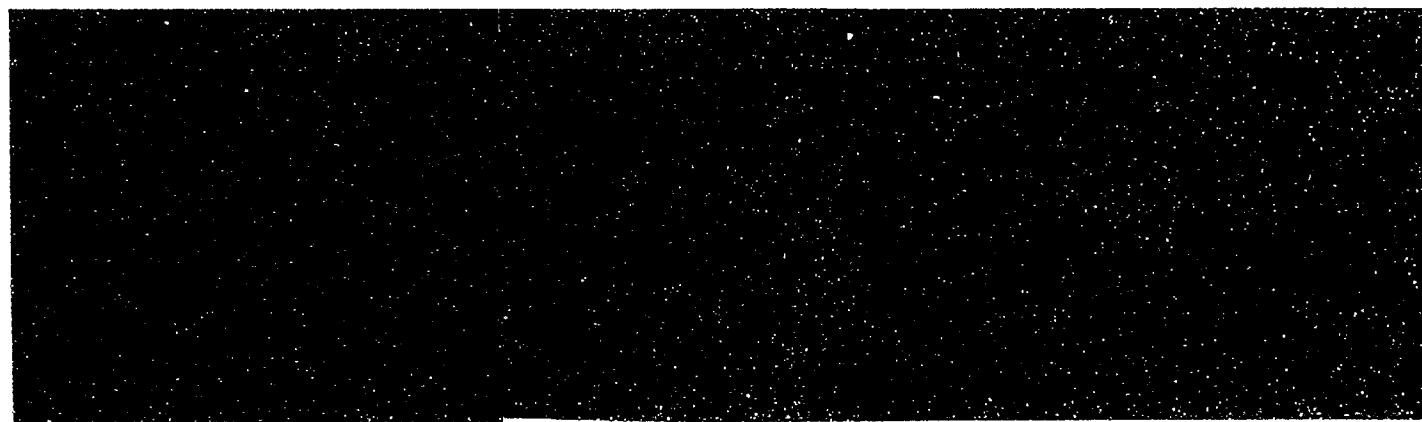
C1 X線像

写真-2.2(10) E P M A 面 分 析
(試験片No.10 GF形状 150 μm GF含有量25% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μm)



100 μm

反射電子像



C1 X線像

写真 - 2.2 (11) E P M A 面 分 析
 (試験片No.11 GF形状 150 μm GF含有量30% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μm)



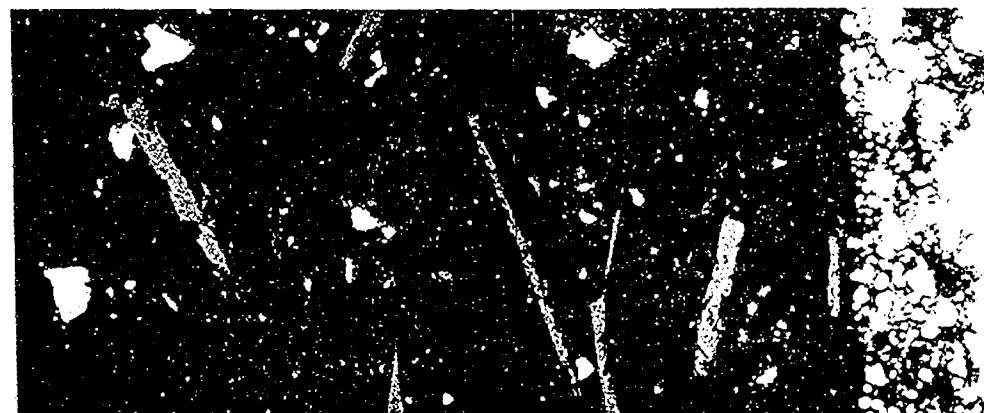
100 μm

反射電子像



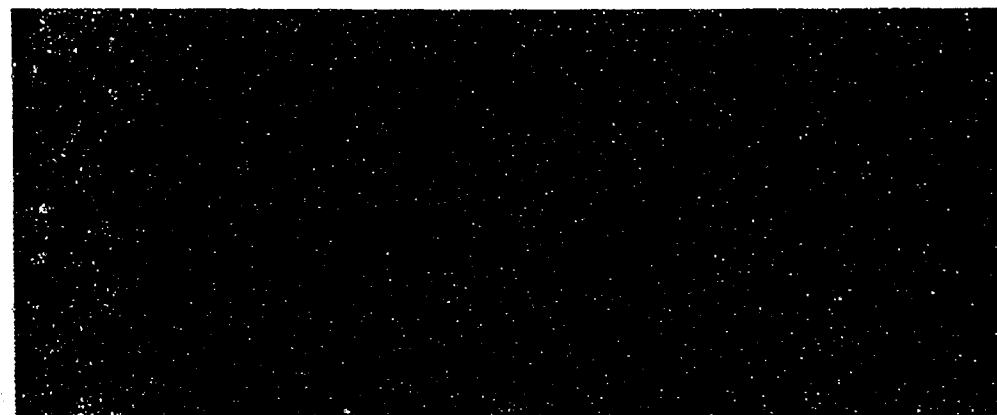
Cl X線像

写真-2.2(12) E P M A 面 分 析
 (試験片No.12 GF形状 150 μm GF含有量40% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 400 μm)



100 μ m

反射電子像



C1 X線像

写真-2.2 (3) E P M A 面 分 析
(試験片No13 GF形状 150 μ m GF含有量10% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μ m)



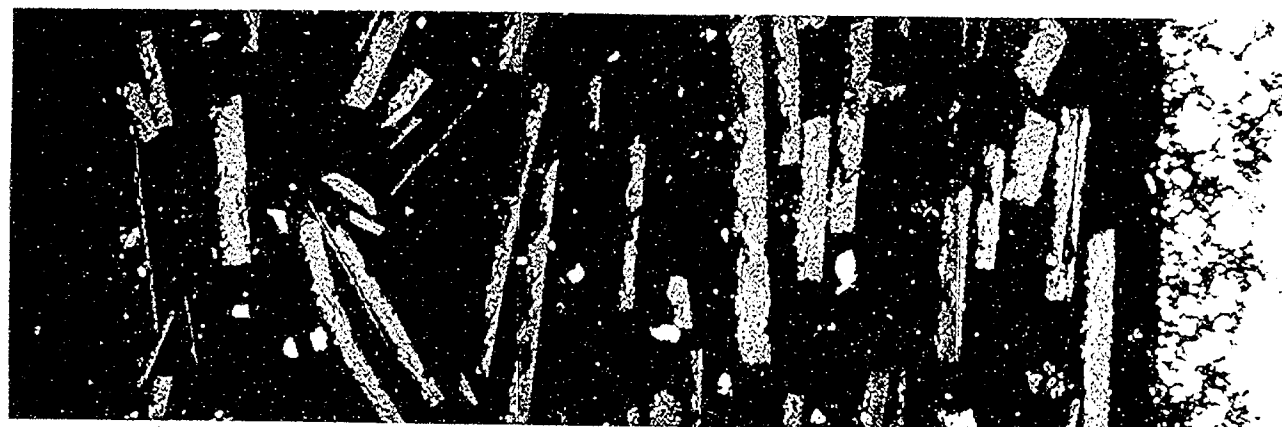
100 μm

反射電子像



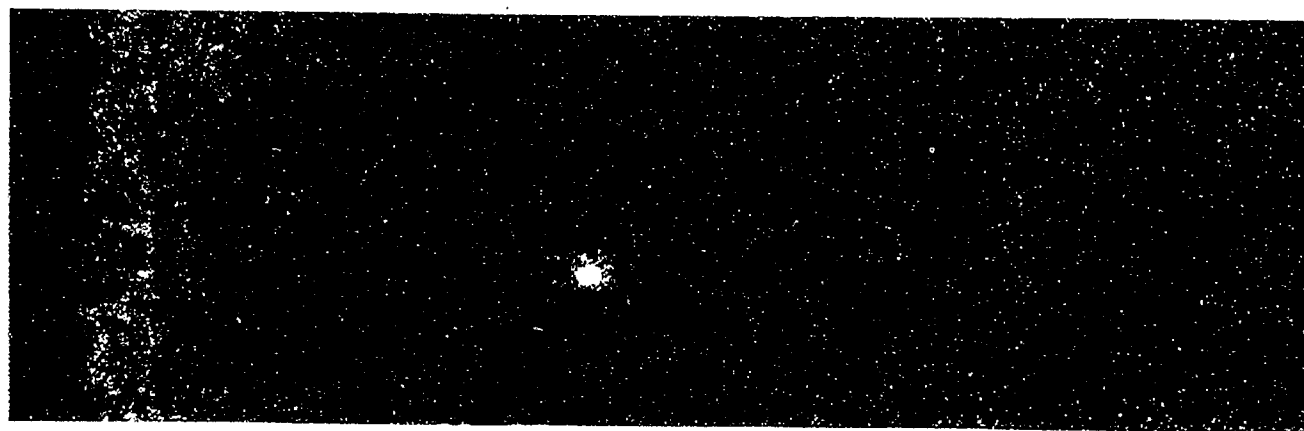
C1 X線像

写真-2.2(14) E P M A 面 分 析
(試験片No.14 GF形状 150 μm GF含有量15% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μm)



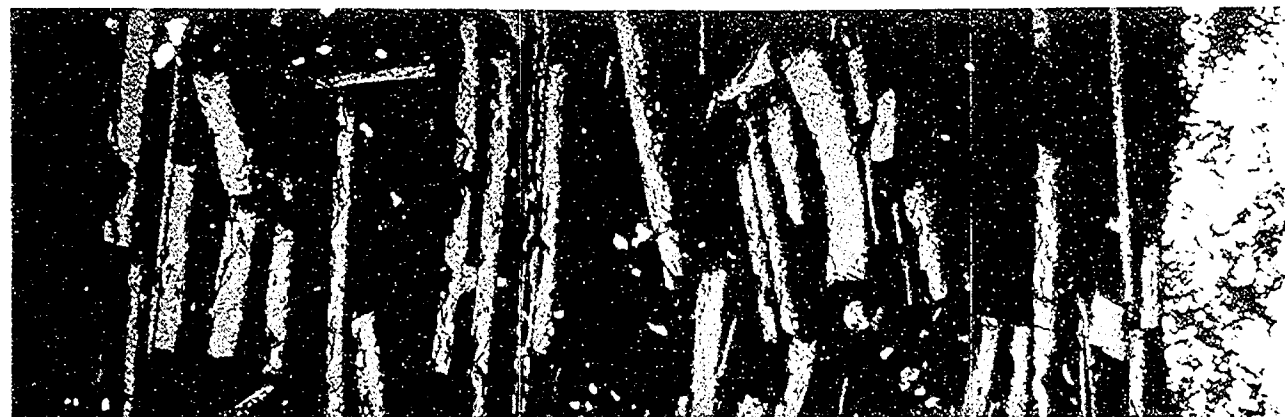
100 μm

反射電子像



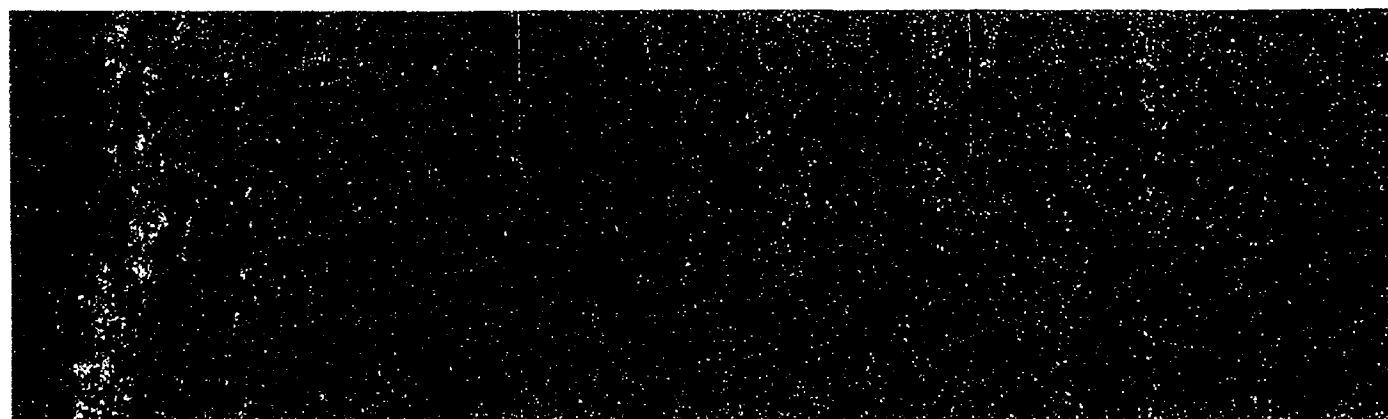
C1 X線像

写真-2.2(15) E P M A 面 分 析
(試験片No.15 GF形状 150 μm GF含有量25% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μm)



100 μ m

反射電子像



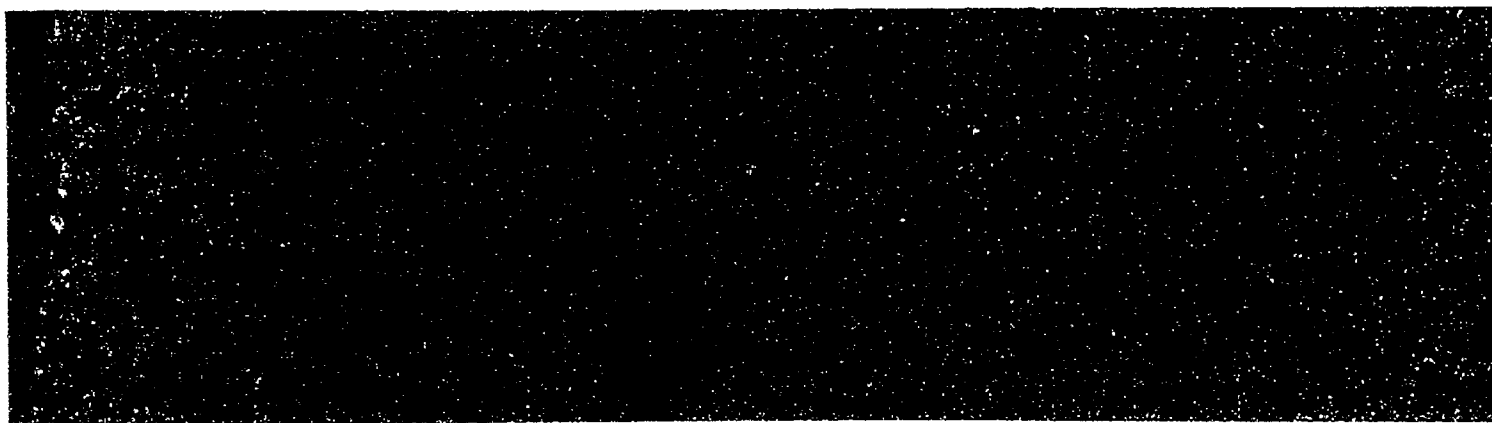
C1 X線像

写真-2.2 (16) E P M A 面 分 析
(試験片No.16 GF形状 150 μ m GF含有量30% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μ m)



100 μm

反射電子像



C1 X線像

写真-2.2(17) E P M A 面 分 析
(試験片No.17 GF形状 150 μm GF含有量40% 表面处理有 エポキシ樹脂 400 μm)



100 μm

反射電子像



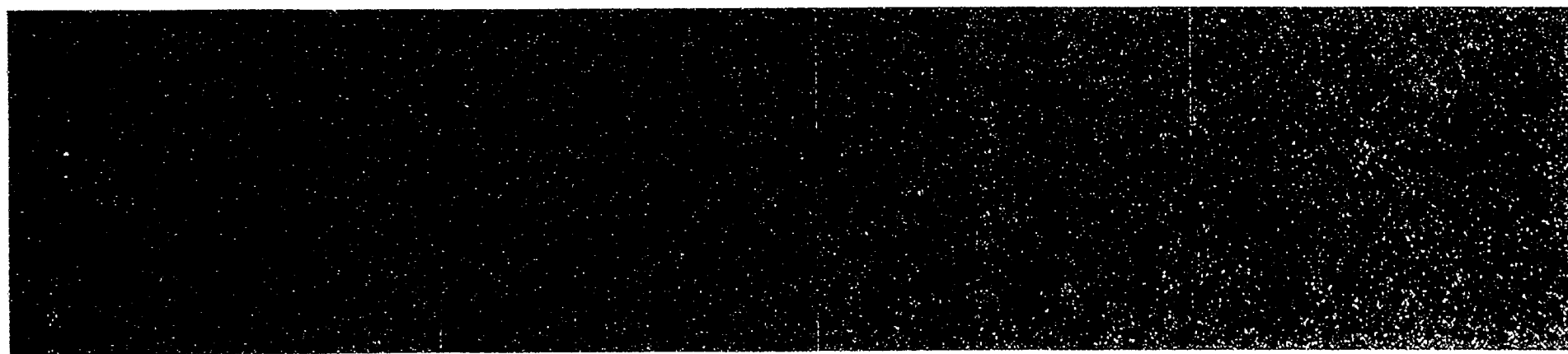
C1 X線像

写真 - 2.2 (18) E P M A 面 分 析
(試験片No.18 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 200 μm)



100 μm

反射電子像



C1 X線像

写真 - 2.2 (19) E P M A 面 分 析
(試験片No.19 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 ビニルエステル樹脂 600 μm)



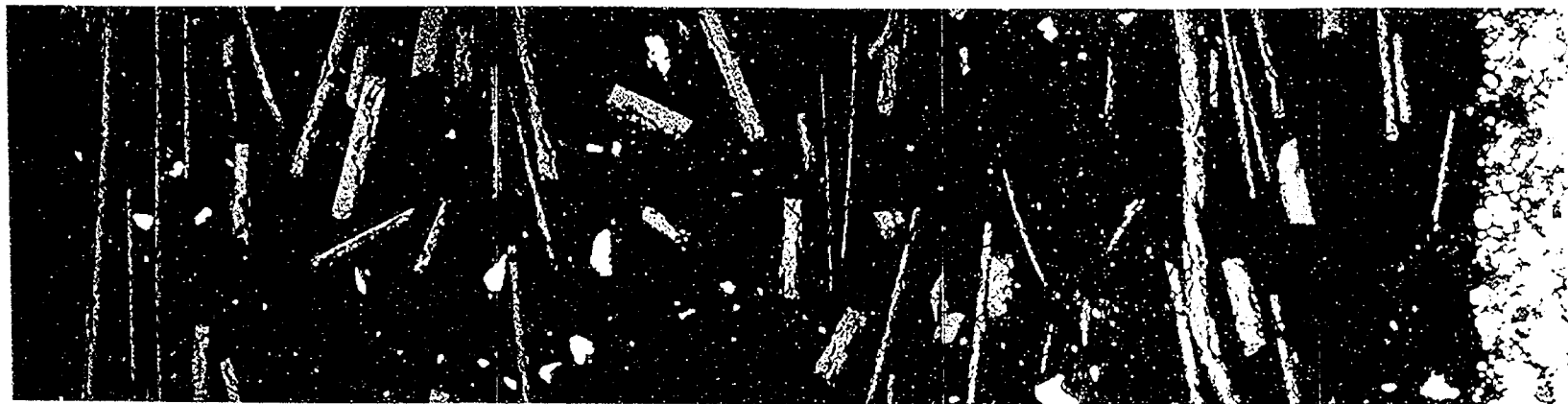
100 μm

反射電子像



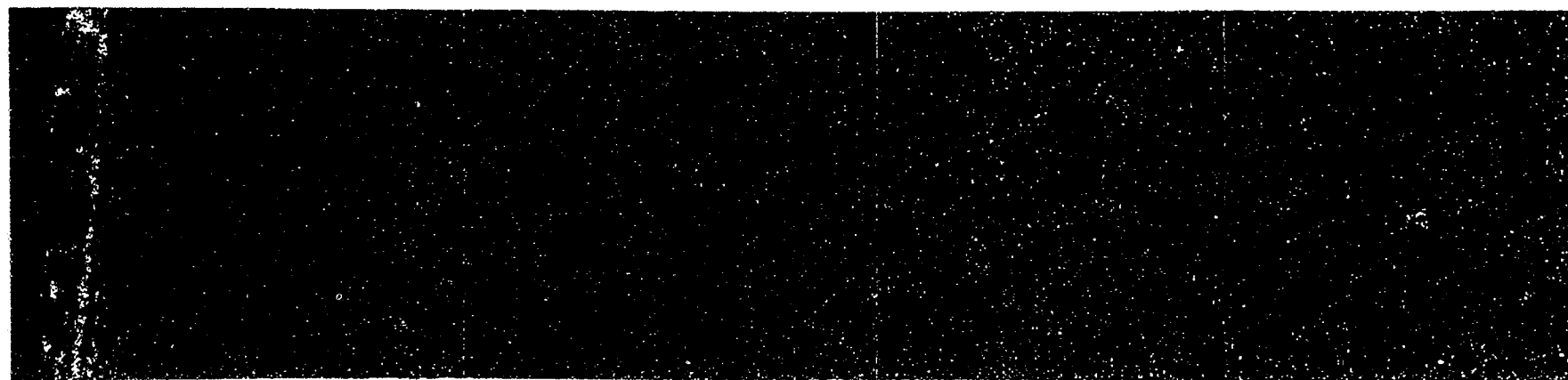
Cl X線像

写真—2.2(20) E P M A 面 分 析
(試験片No.20 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 エポキシ樹脂 200 μm)



100 μm

反 射 電 子 像



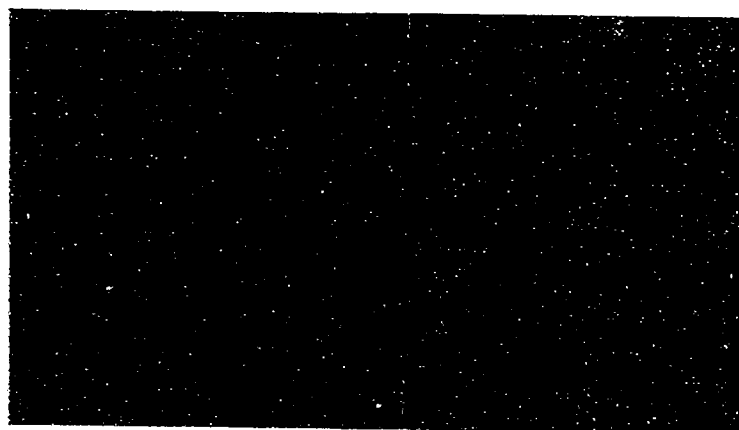
C l X 線 像

写真 - 2.2 (2) E P M A 面 分 析
 (試験片No.21 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 エポキシ樹脂 600 μm)



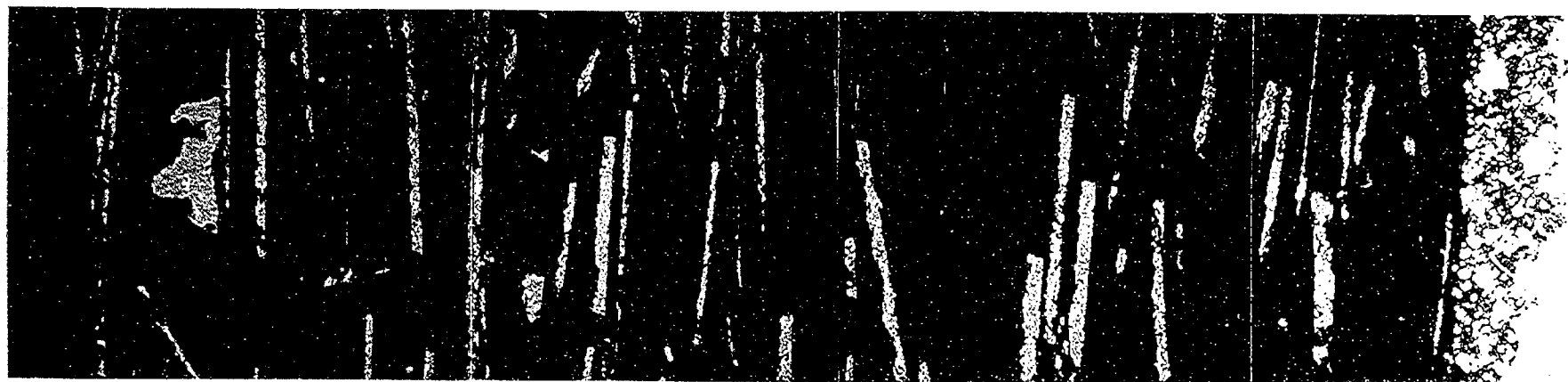
100 μm

反射電子像



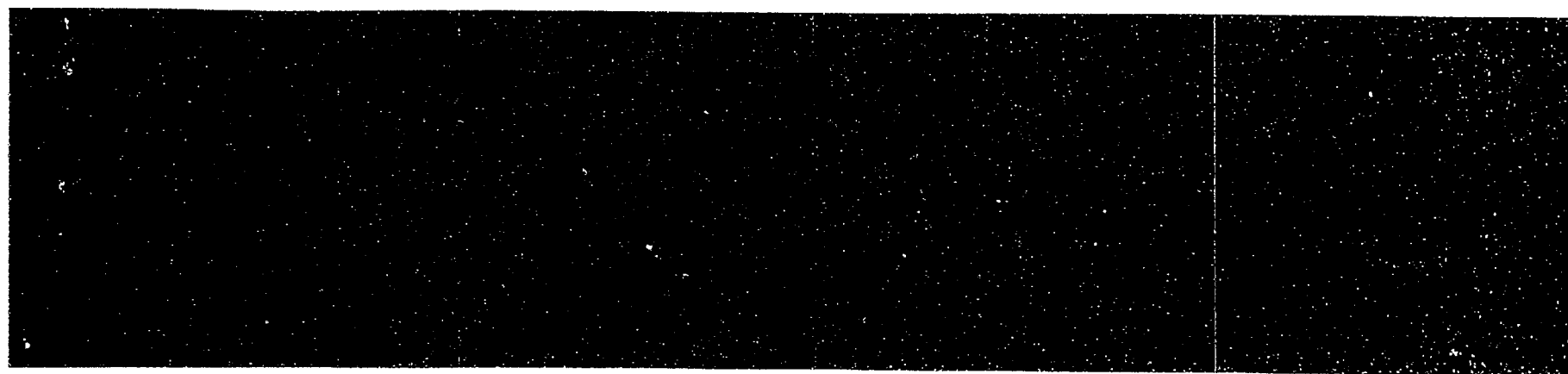
C1 X線像

写真 - 2. 2 (22) E P M A 面 分 析
(試験片No.22 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 イソフタル酸系ポリエステル樹脂 200 μm)



100 μm

反 射 電 子 像



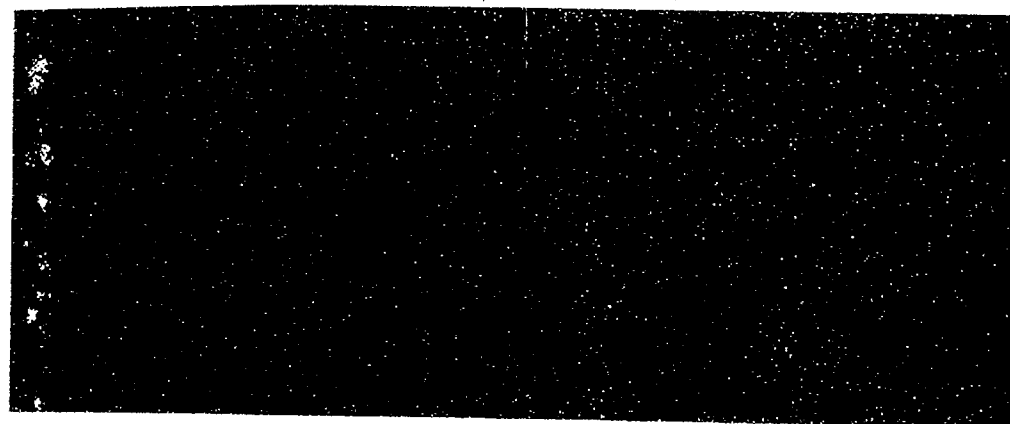
C I X 線 像

写真 - 2. 2 (23) E P M A 面 分 析
 (試験片No.23 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面处理有 イソフタル酸系ポリエステル樹脂 600 μm)



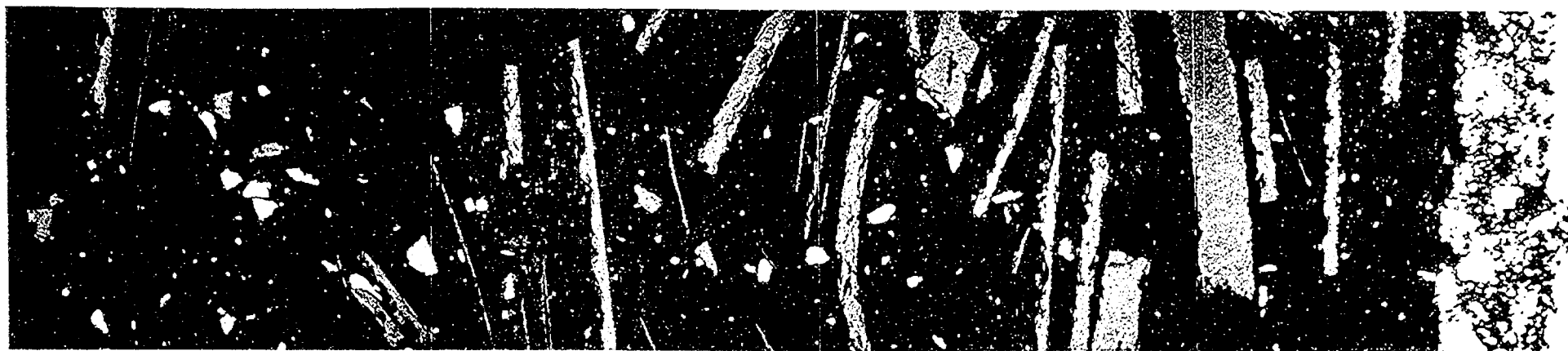
100 μ m

反射電子像



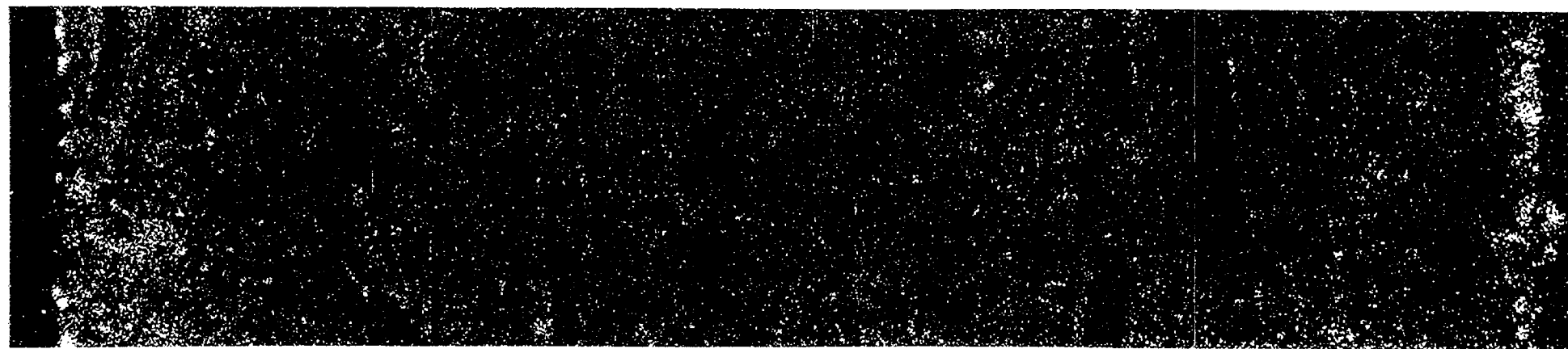
C1 X線像

写真-2.2 (24) E P M A 面 分 析
(試験片No24 GF形状 150 μ m GF含有量20% 表面処理無 ビニルエステル樹脂 400 μ m)



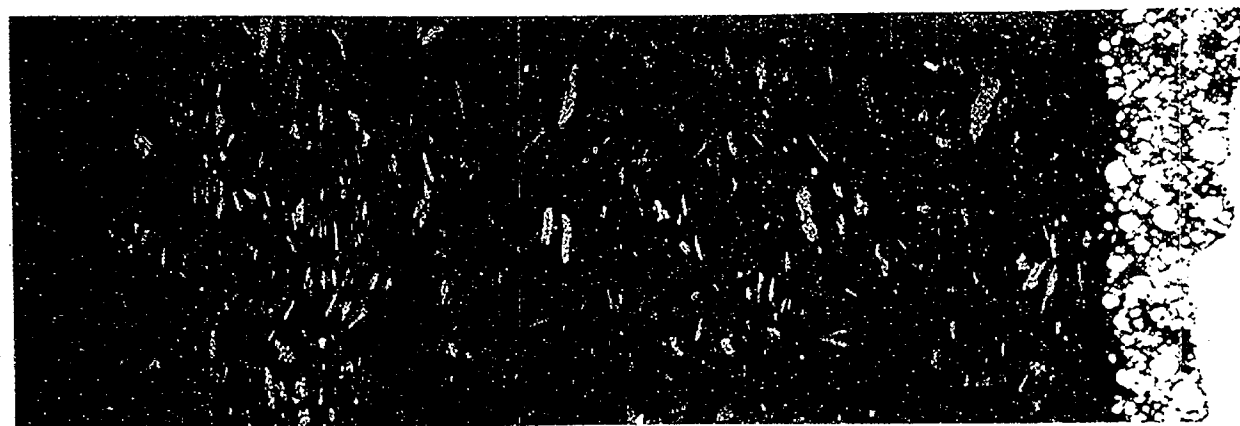
100 μm

反射電子像



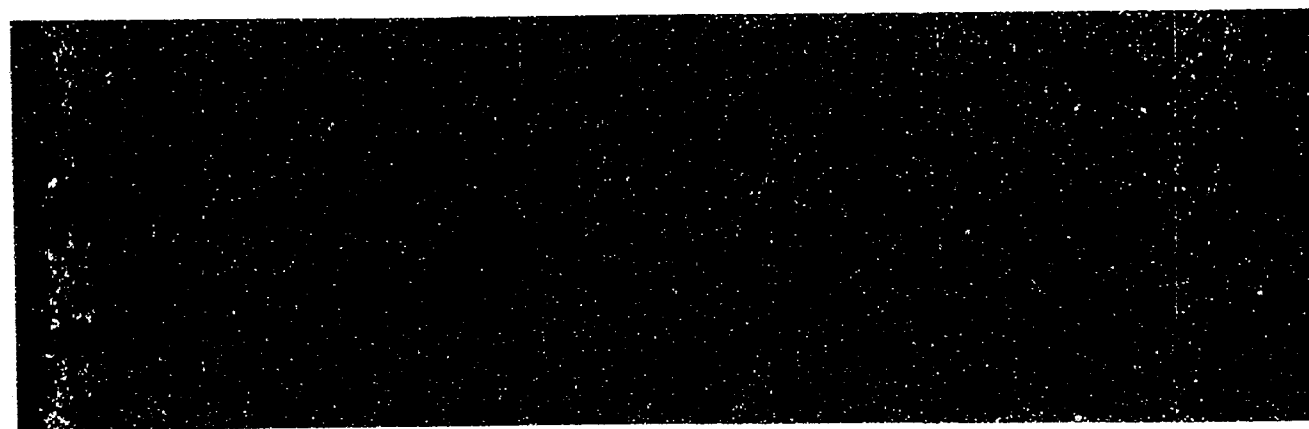
C1 X線像

写真-2.2(25) E P M A 面 分 析
 (試験片No.25 GF形状 150 μm GF含有量20% 表面処理無 エポキシ樹脂 400 μm)



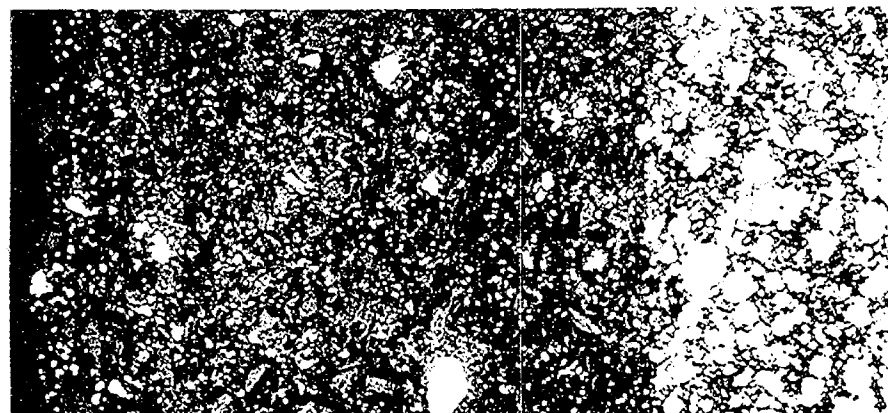
100 μ m

反 射 電 子 像



C1 X 線 像

写真-2.2(26) E P M A 面 分 析
 (試験片No.26 タルク使用 含有量20% ビニルエステル樹脂 400 μ m)



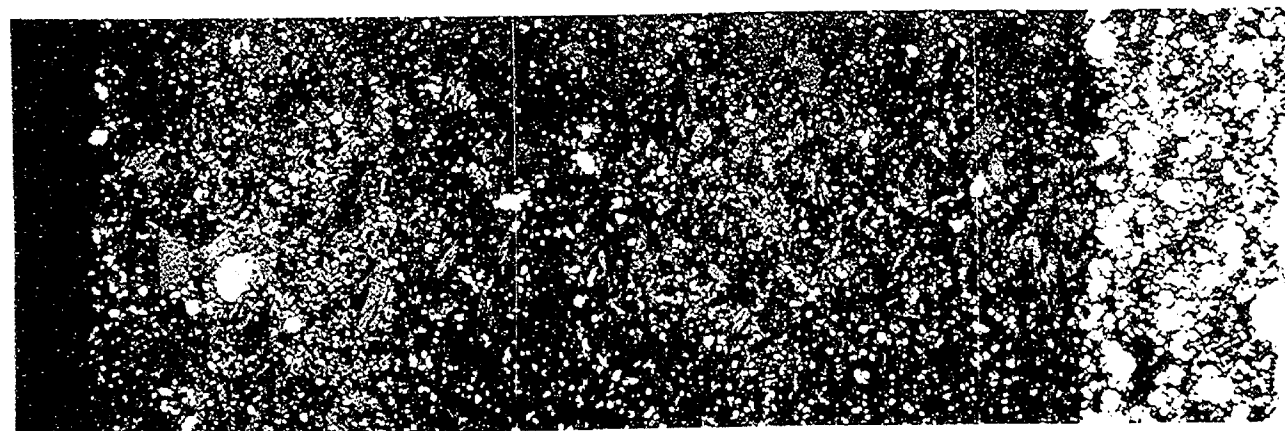
100 μ m

反射電子像



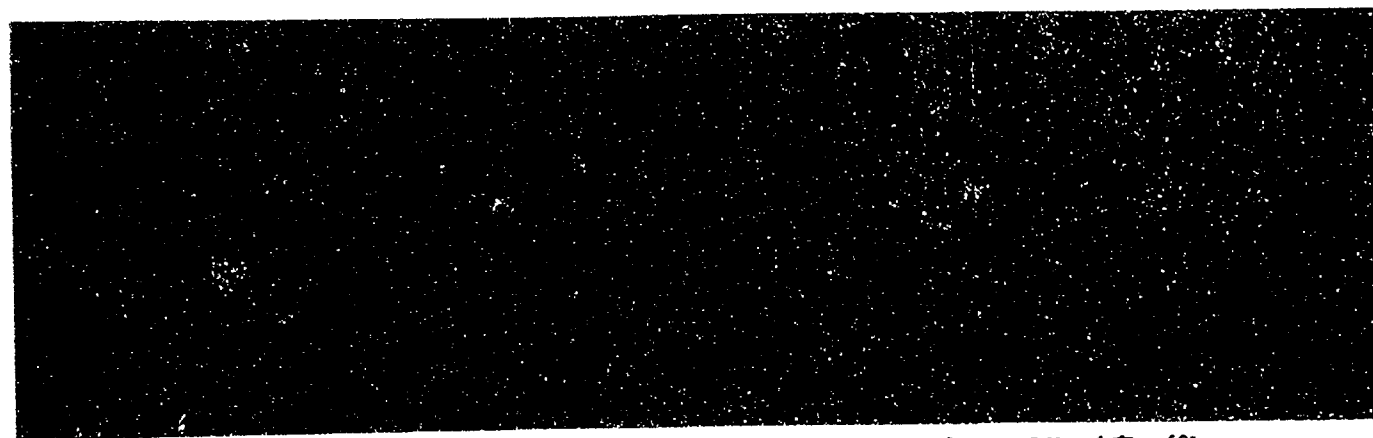
Cl X線像

写真-2.2(27) E P M A 面分析
(試験片No.27 厚膜型エポキシ樹脂塗料 200 μ m)



10.0 μm

反射電子像



C1 X線像

写真-2.2(28) E P M A 面分析
(試験片No.28 厚膜型エポキシ樹脂塗料 400 μm)

2.2 塗膜物性試験

2.2.1 付着力試験

塗装試験片を〔-20℃, 2時間-80℃, 2時間〕を1サイクルとするヒートサイクル試験を200サイクル行い、試験前後の塗膜の付着力をアドヒージョン試験により測定した。このとき、塗膜のはくり状態を記録した。

アドヒージョン試験による付着力測定結果を表-2.6に示す。また、試験片の例を写真-2.3に示す。

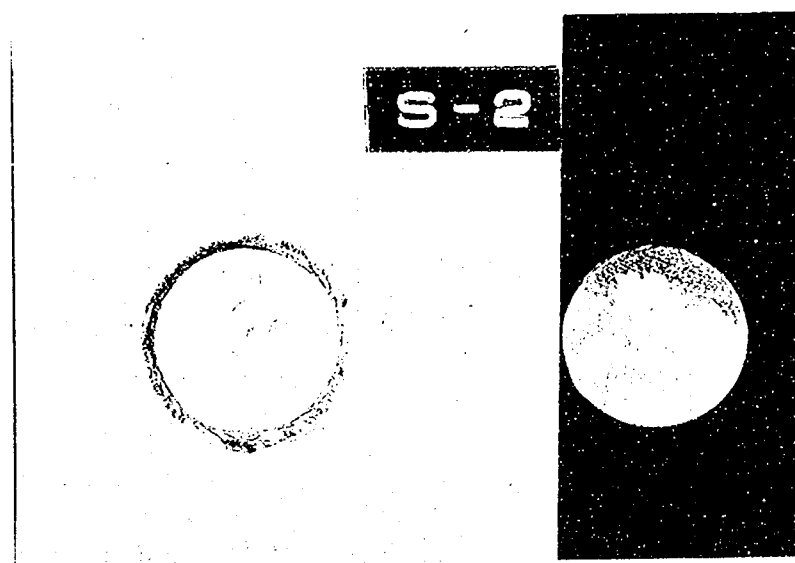


写真-2.3 (1) 付着力試験（ヒートサイクル前）

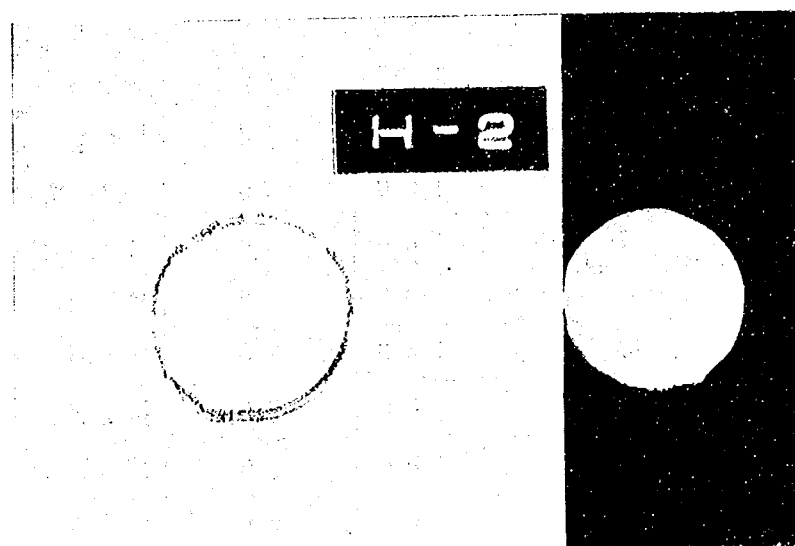


写真-2.3 (2) 付着力試験（ヒートサイクル後）

表-2.6 付着力試験

No	ヒートサイクル試験前			ヒートサイクル試験後		
	付着力kgf/cm ²	はくり箇所	%	付着力kgf/cm ²	はくり箇所	%
1	2.8	上/フレック 20, フレック凝集80		4.9	接着剤	100
2	3.8	接着剤	100	6.7	接着剤	100
3	2.8	フレック凝集	100	2.3	フレック凝集A	100
4	8	フレック凝集B	100	3.6	フレック凝集B	100
5	4.8	接着剤	100	6.7	接着剤	100
6	4.6	接着剤	100	5.0	接着剤	100
7	2.1	接着剤	100	1.8	接着剤	100
8	2.0	上/フレック	100	3.8	接着剤	100
9	2.8	上/フレック50, フレック凝集A50		6.8	接着剤	100
10	2.9	上/フレック40, フレック凝集A60		4.0	接着剤	100
11	3.3	上/フレック40, フレック凝集A60		5.2	接着剤	100
12	9	フレック凝集B	100	1.4	フレック凝集B	100
13	4.3	接着剤	100	5.8	接着剤	100
14	3.9	接着剤	100	5.1	接着剤	100
15	3.8	接着剤	100	6.7	接着剤	100
16	6.5	接着剤	100	4.3	接着剤	100
17	4.5	接着剤	100	3.8	接着剤	100
18	8	フレック凝集B	100	3.9	フレック凝集	100
19	2.2	上/フレック40, フレック凝集A60		4.0	接着剤	100
20	6.4	接着剤	100	7.0	接着剤	100
21	4.6	接着剤	100	4.3	接着剤	100
22	3.5	フレック凝集A	100	5.0	フレック凝集A	100
23	4.3	フレック凝集A	100	5.0	フレック凝集A	100
24	4.0	上/フレック	100	5.2	接着剤	100
25	5.7	接着剤	100	7.0	接着剤	100
26	6.2	接着剤	100	6.6	接着剤	100
27	6.2	接着剤	100	6.6	接着剤	100
28	4.4	接着剤	100	6.6	接着剤	100

注) フレック凝集A: 上塗りに近い, フレック凝集B: 下塗りに近い

- (1) ヒートサイクル試験後の付着力は、ほとんどの試験片で大きくなっている。
- (2) 付着力はエポキシ樹脂、ビニルエステル樹脂、イソフタル酸系ポリエステル樹脂の順で低かった。また、エポキシ樹脂はほとんど接着剤ではくりしその接着力もかなり高かった。
- (3) フレークの大きさは、 $350\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ 、 $45\mu\text{m}$ の順で付着力は低下し、ビニルエステル樹脂のフレークの大きさ $45\mu\text{m}$ は下塗り近くではくりしていた。
- (4) フレーク含有量による差は顕著でないが、ビニルエステル樹脂では40%が大きく低下しはくり箇所も下塗りに近かった。
- (5) エポキシ樹脂、イソフタル酸系ポリエステル樹脂は、膜厚による差はほとんどないが、ビニルエステル樹脂 $200\mu\text{m}$ は100%ガラスフレークの凝集ではくりしていた。

以上の結果より、ヒートサイクル試験によってガラスフレーク塗膜は劣化せず、むしろ硬化が促進されることが明らかとなった。

2.2.2耐衝撃性試験

塗装試験片に500gのおもりを30cm、50cm及び70cmより落とす衝撃試験を行い、塗膜の破壊状態を記録後、JIS K 5400の7.8の塩水噴霧試験を200時間行い、塗膜に生じた欠陥からのさびの進行程度を調べることによって塗膜の耐衝撃性を評価した。

耐衝撃性試験の結果を表-2.7に示す。また、試験片の例を写真-2.4に示す。

- (1) 耐衝撃性は、エポキシ樹脂がビニルエステル樹脂、イソフタル酸系ポリエステル樹脂より良かった。
- (2) ビニルエステル樹脂では、フレークの大きさが $150\mu\text{m}$ 、エポキシ樹脂では 45 、 $350\mu\text{m}$ が良かった。
- (3) ビニルエステル樹脂ではフレーク含有量20%が比較的良く、エポキシ樹脂では15%が良かった。
- (4) いずれの塗装系も耐衝撃性は、膜厚 $400\mu\text{m}$ が比較的良かった。

以上の結果より、耐衝撃性は、エポキシ樹脂が優れていることが明らかとなった。

表-2.7 耐衝撃性試験

No	ヒートサイクル試験前			ヒートサイクル試験後		
	30 cm	50 cm	70 cm	30 cm	50 cm	70 cm
1	○	△	×	×	×	×
2	○	△	×	○	○	×
3	△	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	×	×	---	×	×	---
6	○	○	×	○	×	×
7	○	○	△	×	×	×
8	×	×	---	×	×	×
9	×	×	×	×	×	×
10	△	×	×	×	×	×
11	△	×	×	○	×	×
12	×	×	×	×	×	×
13	○	○	×	○	○	×
14	○	○	○	○	○	△
15	○	×	×	○	△	×
16	○	△	△	○	○	△
17	○	△	△	○	△	×
18	×	×	×	×	×	×
19	×	×	×	×	×	×
20	○	△	×	○	△	△
21	○	△	△	○	△	△
22	×	×	×	×	×	×
23	△	×	×	×	×	×
24	△	×	×	×	×	×
25	○	○	△	○	○	○
26	○	△	×	○	×	×
27	△	×	×	△	×	×
28	○	○	△	○	△	△

注) 評価基準 ○: 塗膜表面がへこんだだけ

△: 衝撃部周囲はふくらんだが塗膜に異常がない

×: われまたははがれがあるが塩水噴霧試験によるさび発生は無い

××: われまたははがれがあり塩水噴霧試験によるさびの発生が有る

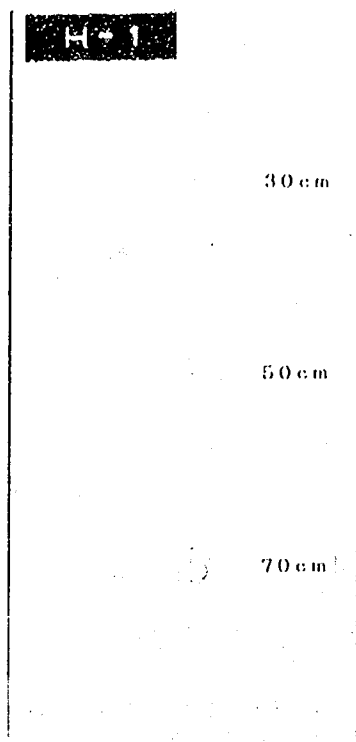


写真-2.4(1)耐衝撃性試験
(塩水噴霧前)

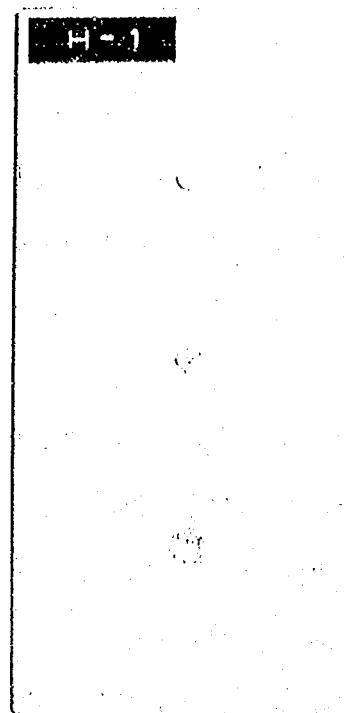


写真-2.4(2)耐衝撃性試験
(塩水噴霧後)

2.3 防食性能試験

2.3.1 暴露試験

表-2.1に示す28種類の塗料を $200 \times 300 \times 3$ mmのブラスト板に図-2.3に示す様な塗残り残し部の有る塗装試験片を製作し、阿字ヶ浦の漂砂観測栈橋の暴露架台に暴露して塗膜下へのさびの食い込み状態を調査した。

暴露1年後の暴露試験片の例を写真-2.5に、塗膜下への錆びの食い込み状況を表-2.8に示す。なお、試験片No 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 18は、暴露中に紛失したため調査できなかった。

(1)ビニルエステル樹脂とイソフタル酸系ポリエステル樹脂の膜厚 $600 \mu\text{m}$ には塗膜下にさびの侵入は認めらなかった。

(2)エポキシ樹脂（膜厚 $400 \mu\text{m}$ 、フレークの大きさ $350 \mu\text{m}$ 、フレーク含有量20%）、ビニルエステル樹脂（膜厚 $400 \mu\text{m}$ 、フレーク大きさ $150 \mu\text{m}$ 、フレーク含有量20%、フレークの表面処理無し）、厚膜型エポキシ樹脂（膜厚が200, $400 \mu\text{m}$ ）が、塗膜下へのさびの侵入が4 mmと最も大きかった。

(3)No 7 試験片は、フレークが大きく良好な塗膜が形成されていないため、表面がぼそぼそであり評価できなかった。

以上の結果より、遮断性能や塗膜物性の優れている組成のガラスフレーク塗料は塗膜欠陥部からのさびの進入も防ぐことが明らかとなった。

2.3.2 複合環境促進試験

表-2.9に示す仕様の図-2.4示す形状の一部塗残り部のある $70 \times 150 \times 6$ mmのブラスト板に塗装した試験片各2枚計22枚について、複合環境試験機で〔塩水噴霧 35°C 、2時間—乾燥 50°C 、湿度40~50%、1時間—高温高湿 50°C 、湿度90%、20時間〕を1サイクルとする複合環境促進試験を行った。このとき、5, 10, 15, 20, 25, 30サイクル時に試験片の外観観察と打診テストを行い塗膜下へのさびの侵入状態を記録した。また、30サイクル終了後、塗膜を塗残り部より強制的にはがし、鋼素地の腐食状態の観察を行った。

各サイクル毎の塗残り部のブラスト面及びジンクリッチ塗装面と、塗装部の塗膜劣化状況を表-2.10に示す。試験終了後塗膜を強制的にはがしたときの塗膜下の腐食状況を、表-2.11に示す。また、試験片の例を写真-2.6に示す。

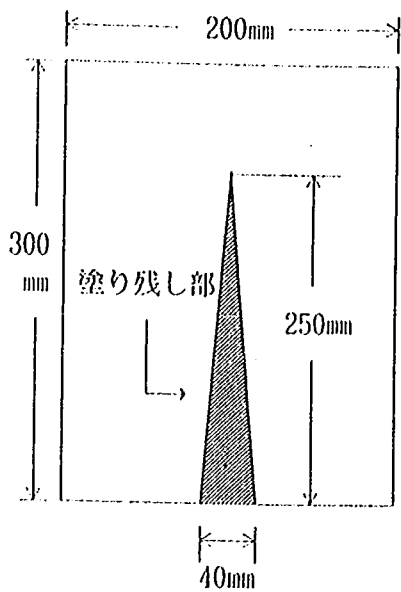


図-2.3 暴露試験片の形状

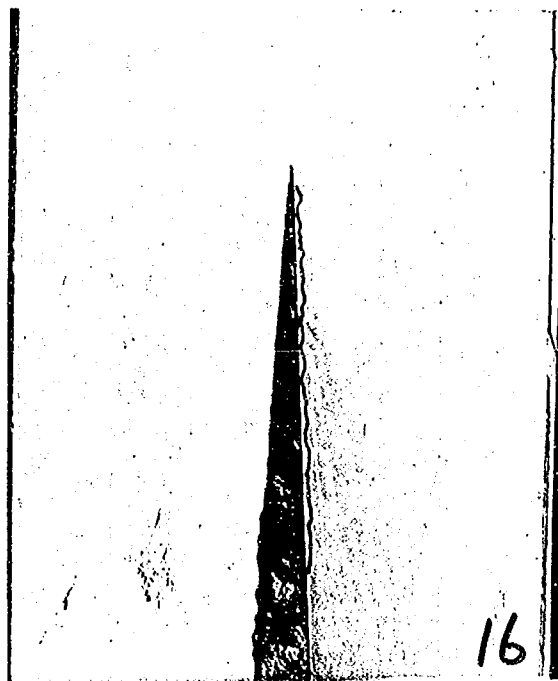


写真-2.5 防食性能試験
(暴露試験片)

表-2.8 暴露試験調査結果

No	さびの食い込み(mm)	No	さびの食い込み (mm)
1	---	15	右(1/4)3, 左(1/10)3
2	右3, 左下(2/3)2	16	左下(1/3)2, 左上(2/3)3
3	---	17	上(2/3)2
4	---	18	---
5	---	19	無
6	4	20	3
7	?	21	3
8	---	22	下(2/3)3
9	---	23	無
10	---	24	4
11	---	25	右(1/5)2
12	---	26	2
13	下(1/3)3	27	4
14	左1	28	4

表-2.9 複合環境促進試験塗装仕様

No	樹 脂	ガラスフレークの 大きさ (μm)	ガラスフレーク 含有量 (%)	膜厚 (μm)
1	エポキシ	150	10	400
2		150	20	400
3		150	25	400
4		150	30	400
5		150	40	400
6		350	20	400
7	ビニルエステル	150	20	400
8	イソカル酸系樹脂エステル	150	20	400
9	厚膜型エポキシ	—	—	400
10	超厚膜型エポキシ	—	—	1000
⑩	超厚膜型エポキシ	—	—	1500
11	本四 No 5 仕様	—	—	255

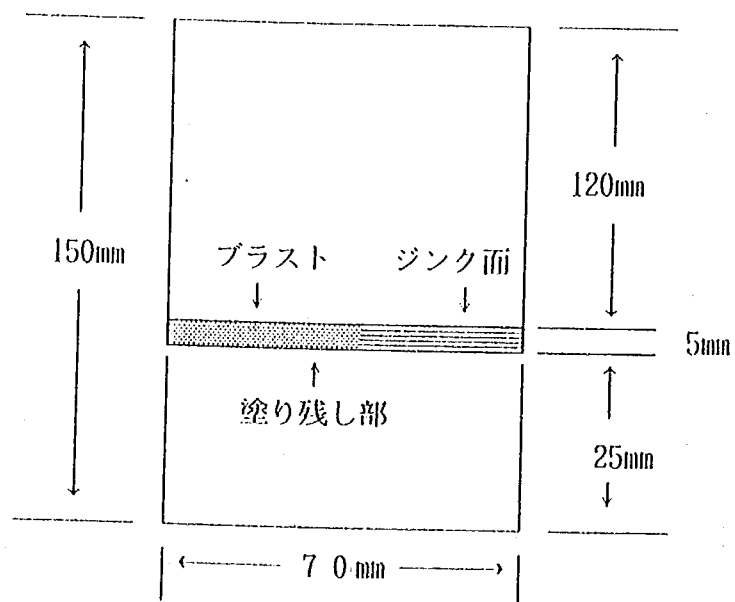


図-2.4 複合環境促進試験片形状

表-2.10(1) 複合環境促進試験外観観察（塗り残し部）

No	5サイクル			10サイクル			15サイクル			10サイクル		
	プラスチック面		シツク面	プラスチック面		シツク面	プラスチック面		シツク面	プラスチック面		シツク面
	さ	び	白さび	さ	び	白さび	さ	び	白さび	さ	び	白さび
1-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
1-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
2-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
2-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
3-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
3-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
4-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
4-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
5-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		大
5-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
6-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		小
6-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		小
7-1	有り		小	有り		小	有り		中	有り		小
7-2	有り		小	有り		小	有り		中	有り		小
8-1	有り		小	有り		中	有り		中	有り		無し
8-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		小
9-1	有り		小	有り		小	有り		小	有り		小
9-2	有り		小	有り		小	有り		小	有り		小
10-1	有り		小	有り		小	有り		無し	有り		小
10-2	有り		小	有り		小	有り		無し	有り		小
10-1	有り		無し	有り		無し	有り		無し	有り		無し
10-2	有り		無し	有り		無し	有り		無し	有り		無し
11-1	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中
11-2	有り		中	有り		中	有り		中	有り		中

なお、塗装部の塗膜には「われ」、「ふくれ」、「はがれ」、「さび」の発生は20サイクル終了時まで見られなかった。

表-2.10(2) 複合環境促進試験外観観察 (25サイクル)

No	塗に残し部			塗装部の塗膜			
	プラスチック面 さび	ジンク面		われ	ふくれ	はがれ	さび
		白さび	赤さび				
1-1	有り	中	中	無し	プラスチック面上部	無し	無し
1-2	有り	中	中	無し	プラスチック面上部	無し	無し
2-1	有り	中	中	無し	プラスチック面下部	無し	無し
2-2	有り	中	中	無し	プラスチック面上下部	無し	無し
3-1	有り	中	中	無し	プラスチック面上部	プラスチック面下端部	はがれ部
3-2	有り	中	中	無し	プラスチック面上下部	プラスチック面上部	はがれ部
4-1	有り	中	中	無し	プラスチック面上部	全面に点々と	はがれ部
4-2	有り	中	中	無し	全 面	全面に点々と	はがれ部
5-1	有り	中	中	無し	プラスチック面上部	シツク面下部	はがれ部
5-2	有り	中	中	無し	全 面	無し	無し
6-1	有り	中	中	無し	プラスチック面上部	無し	無し
6-2	有り	中	小	無し	全 面	無し	無し
7-1	有り	小	中	有り	全 面	シツク面上下部	はがれ部
7-2	有り	無し	大	プラスチック面上部	プラスチック面下部	シツク面上下部	はがれ部
8-1	有り	中	小	無し	全 面	シツク面下部	はがれ部
8-2	有り	中	小	無し	全 面	無し	無し
9-1	有り	無し	大	無し	無し	無し	無し
9-2	有り	無し	大	無し	シツク面上下部	無し	無し
10-1	有り	無し	大	無し	全 面	無し	無し
10-2	有り	無し	大	無し	下部全面	無し	無し
10-1	有り	無し	大	無し	無し	無し	無し
10-2	有り	無し	大	無し	無し	無し	無し
11-1	有り	中	中	無し	全 面	無し	無し
11-2	有り	中	中	無し	全 面	無し	無し

表-2.10(3) 複合環境促進試験外観観察 (30サイクル)

No	塗に残し部			塗装部の塗膜			
	錆面 さび	ジंक面		われ	ふくれ	はがれ	さび
		白さび	赤さび				
1-1	有り	中	中	無し	錆面上下部	錆面下部	錆部
1-2	有り	中	中	無し	錆面上部	錆面下部	錆部
2-1	有り	中	中	無し	錆面上下部	錆面上部	錆部
2-2	有り	中	中	無し	錆面上下部	錆面上下部	錆部
3-1	有り	中	中	無し	錆面上下部	錆面上下部	錆部
3-2	有り	中	中	無し	錆面上下部	錆面上部	錆部
4-1	有り	中	中	無し	錆面上下部	全面に点々と	錆部
4-2	有り	中	中	無し	全 面	全面に点々と	錆部
5-1	有り	中	中	無し	全 面	錆面下部	錆部
5-2	有り	中	中	無し	全 面	無し	無し
6-1	有り	中	中	無し	錆面上下部	無し	無し
6-2	有り	中	小	無し	全 面	無し	無し
7-1	有り	小	中	無し	全 面	全面に点々と	錆部
7-2	有り	無し	大	無し	錆面下部	全面に点々と	錆部
8-1	有り	中	小	無し	全 面	錆面下部	錆部
8-2	有り	中	小	無し	全 面	無し	無し
9-1	有り	無し	大	無し	錆面上下部	無し	無し
9-2	有り	無し	大	無し	全 面	無し	無し
10-1	有り	無し	大	無し	全 面	無し	無し
10-2	有り	無し	大	無し	下部全面	無し	無し
⑩-1	有り	無し	大	無し	無し	無し	無し
⑩-2	有り	無し	大	無し	無し	無し	無し
11-1	有り	中	中	無し	全 面	錆面上部	錆部
11-2	有り	中	中	無し	全 面	無し	無し

表一2.11 複合環境促進試験（塗膜下の腐食状況）

No	プラスチック面からの 錆の侵入深さ (Max mm)	シंक面からの 錆の侵入深さ (Max mm)	塗膜下劣化程度 5 4 3 2 1 良-----悪
1-1	2.0	無し	4
1-2	2.0	無し	
2-1	1.0	無し	5
2-2	1.0	無し	
3-1	2.0	無し	4
3-2	2.5	無し	
4-1	2.0	無し	4
4-2	1.5	無し	
5-1	1.0	無し	5
5-2	1.0	無し	
6-1	1.0	無し	5
6-2	2.0	無し	
7-1	1.0	無し	5
7-2	1.0	無し	
8-1	2.0	無し	4
8-2	2.0	無し	
9-1	3.0	無し	3
9-2	3.0	無し	
10-1	1.0	無し	5
10-2	1.0	無し	
⑩-1	1.0	無し	5
⑩-2	1.0	無し	
11-1	1.0	無し	5
11-2	1.0	無し	

注) 塗膜下劣化程度は No11(本四No5)を5とした場合の点数

(1)塗膜を強制的にはがしたときの塗膜下の腐食状況は、全試験片とも、ブラスト面からのさびの侵入が認められたがジंक面からのさびの侵入は認められなかった。

(2)厚膜型エポキシ400 μ mは、さびの侵入が最も大きかった。

(3)本4No.5は、厚膜ジंकリッチペイント75 μ mがあるためさびの侵入が少なかった。

以上の結果より、実際の橋梁などにガラスフレーク塗料を使用した場合でも、下にジंकリッチペイントが入っていれば、塗膜が打痕などでわれてもさびの塗膜下への侵入は防げることが明らかとなった。



写真-2.6 複合環境促進試験
(塗膜はくり後の鋼材の腐食状況)

2.4 付着力耐久性試験

2.4.1 標準試験片の疲労試験

表-2.12に示す仕様の $300 \times 100 \times 3.2\text{mm}$ の試験片各仕様11枚について、試験片を図-2.5に示すように疲労試験機に設置し1mmのたわみを与えるように制御した4点曲げ疲労試験（1分間に100サイクルの繰り返し載荷）を70万回行った。4点曲げ疲労試験の状況を写真-2.7に示す。疲労試験終了後、試験片の表面及び裏面を目視観察し、塗膜のひびわれの有無を記録した。また、目視でひびわれが認められなかった試験片については、ピンホールテスターでひびわれの有無を調べた。さらに、表面及び裏面の塗膜の付着力をアドヒジョンテスターで測定し、はくり箇所を観察を行った。なお、付着力の初期値は疲労試験を行う前の同一仕様の試験片で1枚の試験片について2ヶ所付着力試験を行った。

2.4.2 促進劣化試験片の疲労試験

標準試験片の疲労試験と同じ塗装仕様の試験片、計11枚について、 80°C の恒温槽に500時間入れて促進劣化させたのち、2.4.1標準試験片の疲労試験と同様に疲労試験を行い、付着力を測定した。

疲労試験前の初期値を表-2.13に、標準試験片の疲労試験結果を表-2.14に、促進劣化試験片の疲労試験結果を表-2.15に示す。

- (1)初期試験片、標準試験片及び促進劣化試験片は、いずれもわれ、ふくれ、はがれはなく外観は良好であった。
- (2)ピンホールテストの結果、いずれの試験片も塗膜にわれは認められなかった。
- (3)エポキシ樹脂は、いずれの条件下でも他の樹脂に比べ付着力が強かった。
- (4)ビニルエステル樹脂及びイソフタル酸系ポリエステル樹脂のはくり箇所は、いずれの試験片もほぼ100%フレーク/中塗り間であった。
- (5)初期値と標準試験片に、表側（圧縮）、裏側（引張り）とも付着力に大きな差異は認められなかった。

以上の結果より、ガラスフレーク塗料はたわみ量1mm程度の繰り返し疲労（圧縮、引張り）で塗膜は破壊しなかった。また、高温養生で硬化促進して塗膜硬度が向上しても繰り返し疲労で塗膜は破壊しなかった。

表-2.12 付着力耐久性試験塗装仕様

No	樹 脂	ガラスフレークの 大きさ (μm)	ガラスフレークの 含有量 (%)	プライマー	膜厚 (μm)
1	エポキシ	150	20	有機シリケート	400
2		150	20	有機シリケート	1000
3		150	20	有機シリケート	1500
4	ビニルエステル	150	20	有機シリケート	400
5		150	20	専用プライマー	400
6		150	20	有機シリケート	1000
7		150	20	有機シリケート	1500
8	イソカル酸系ポリエステル	150	20	有機シリケート	400
9		150	20	有機シリケート	1000
10	超厚膜型エポキシ	—	—	有機シリケート	1000
11		—	—	有機シリケート	2000
12	本四 No5 仕様	—	—	無機シリケート	255

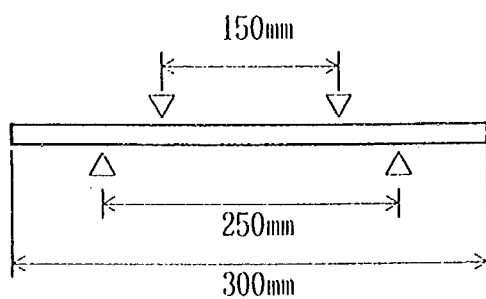


図-2.5 付着力耐久性試験片

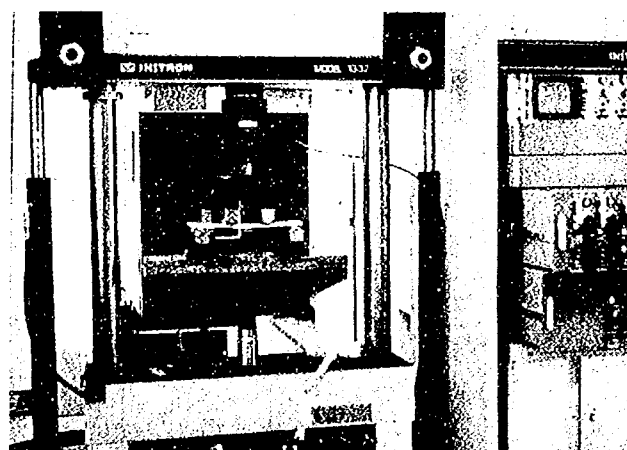


写真-2.7 4点曲げ繰り返し疲労試験

表-2.13 付着力耐久性試験（初期値）

塗料の種類	膜 厚 (μm)	付着力 (kgf/cm^2)	はくり箇所 (%)
エポキシ	400	6.0	上塗／中塗 30 接着剤 70
	1,000	測定不能 (70以上)	——
	1,500	4.3	上塗／中塗 10 接着剤 90
ビニルエステル	400	5.0	上塗／中塗 100
	400 (専用 プライマー)	2.0	上塗／中塗 80 接着剤 20
	1,000	3.8	上塗／中塗 95 接着剤 5
	1,500	4.0	上塗／中塗 100
イソフタル酸系 ポリエステル	400	3.0	上塗／中塗 100
超厚膜型 エポキシ	1,000	5.8	接着剤 100
	2,000	6.3	接着剤 100
本四 No5 (シンクエポキシ)	400	3.9	上塗／中塗 15 中塗／下塗 10 下塗 5、接着剤 70

表-2.14(1) 付着力耐久性試験（標準試験片：表側〔圧縮側〕）

塗料の種類	膜 厚 (μm)	わ れ	ふくれ	はがれ	付着力 (kgf/cm^2)	はくり箇所 (%)
エポキシ	400	な し	な し	な し	4.5	接着剤 100
	1,000	な し	な し	な し	5.3	上塗／中塗 30 接着剤 70
	1,500	な し	な し	な し	5.0	上塗／中塗 50 中塗／下塗 50
ビニルエステル	400	な し	な し	な し	3.6	上塗／中塗 100
	400 (専用 プライマー)	な し	な し	な し	3.6	上塗／中塗 100
	1,000	な し	な し	な し	3.5	上塗／中塗 100
	1,500	な し	な し	な し	4.0	上塗／中塗 95 接着剤 5
イソカル酸系 ポリエステル	400	な し	な し	な し	2.9	上塗／中塗 100
超厚膜型 エポキシ	1,000	な し	な し	な し	測定不能 (70以上)	——
	2,000	な し	な し	な し	4.5	接着剤 100
本四 No5 (シンクエポキシ)	400	な し	な し	な し	5.1	上塗／中塗 20 中塗／下塗 70 接着剤 10

表-2.14(2) 付着力耐久性試験（標準試験片：裏側〔引張り側〕）

塗料の種類	膜 厚 (μm)	わ れ	ふくれ	はがれ	付着力 (kgf/cm^2)	はくり箇所 (%)
エポキシ	400	な し	な し	な し	5 0	上塗／中塗 20 接着剤 80
	1,000	な し	な し	な し	6 0	上塗／中塗 100
	1,500	な し	な し	な し	3 5	上塗／中塗 30 接着剤 70
ビニルエステル	400	な し	な し	な し	3 9	上塗／中塗 90 接着剤 10
	400 (専用 プライマー)	な し	な し	な し	3 9	上塗／中塗 100
	1,000	な し	な し	な し	3 5	上塗／中塗 100
	1,500	な し	な し	な し	4 0	上塗／中塗 35 接着剤 65
イソシアレート	400	な し	な し	な し	3 0	上塗／中塗 100
超厚膜型 エポキシ	1,000	な し	な し	な し	5 8	接着剤 100
	2,000	な し	な し	な し	7 0	接着剤 100
本四 No5 (シンエポキシ)	400	な し	な し	な し	3 0	中塗／下塗 10 サビ止め／下塗 80 接着剤 10

表 2.15(1) 付着力耐久試験 (促進劣化試験片: 表側 (圧縮側))

塗料の種類	膜 厚 (μm)	わ れ	ふくれ	はがれ	付着力 (kgf/cm^2)	はくり箇所 (%)
エポキシ	400	な し	な し	な し	5.9	上塗/中塗 10 接着剤 90
	1,000	な し	な し	な し	7.0	上塗/中塗 5 接着剤 95
	1,500	な し	な し	な し	5.3	接着剤 100
ビニルエステル	400	な し	な し	な し	3.3	上塗/中塗 95 接着剤 5
	400 (専用 プライマー)	な し	な し	な し	3.3	上塗/中塗 80 接着剤 20
	1,000	な し	な し	な し	2.0	上塗/中塗 100
	1,500	な し	な し	な し	3.2	上塗/中塗 100
イソフタル酸系 ポリエステル	400	な し	な し	な し	3.5	上塗/中塗 99 接着剤 1
超厚膜型 エポキシ	1,000	な し	な し	な し	5.5	接着剤 100
	2,000	な し	な し	な し	測定不能 (70以上)	-----
本四 No5 (シンクエポキシ)	400	な し	な し	な し	2.0	プライマー / 下塗 98 接着剤 2

表-2. 15(2) 付着力耐久性試験（促進劣化試験片：裏側〔引張り側〕）

塗料の種類	膜 厚 (μm)	わ れ	ふくれ	はがれ	付着力 (kgf/cm^2)	はくり箇所 (%)
エポキシ	400	な し	な し	な し	4 5	上塗／中塗 30 接着剤 70
	1,000	な し	な し	な し	6 2	上塗／中塗 3 接着剤 97
	1,500	な し	な し	な し	4 7	上塗／中塗 3 接着剤 97
ビニルエステル	400	な し	な し	な し	2 8	上塗／中塗 90 接着剤 10
	400 (専用 プライマー)	な し	な し	な し	3 8	上塗／中塗 10 接着剤 90
	1,000	な し	な し	な し	3 3	上塗／中塗 97 接着剤 3
	1,500	な し	な し	な し	4 4	上塗／中塗 98 接着剤 2
イソシアネート系 ポリエステル	400	な し	な し	な し	5 6	上塗／中塗 98 接着剤 2
超厚膜型 エポキシ	1,000	な し	な し	な し	6 5	接着剤 100
	2,000	な し	な し	な し	測定不能 (70以上)	-----
本四 No5 (シンク工料シ)	400	な し	な し	な し	3 7	プライマー／下塗 98 接着剤 2

2.5 部分補修試験

ガラスフレーク塗膜に打痕傷など小さな塗膜欠陥が生じ、鋼素地が腐食した際の補修方法について、2.3.2複合環境促進試験に使用した試験片の塗に残し部を補修対象部として、表-2.16に示すガラスフレーク塗料及び超厚膜型エポキシ樹脂塗料で補修し、複合環境促進試験を100サイクル行い、補修部分の付着力を測定して補修効果を評価した。

試験結果を表-2.17に示す。試験片の例を写真-2.8に示す。

(1)エポキシ樹脂ガラスフレークによる補修が、さびの進行を抑制しており良好な結果を示した。

(2)超厚膜型エポキシ樹脂塗料による補修は、400 μm ではその効果は十分でなかった。

以上の結果より、ガラスフレーク塗料に生じた塗膜欠陥部の補修には、エポキシ樹脂ガラスフレーク塗料で行うことが良いことが明らかとなった。

表-2.16 部分補修試験片の塗装仕様

No.	旧試験板	塗装仕様			
		プライマー	下塗り	中塗り	上塗り
2-Ⅰ	2-Ⅰ	専用プライマー 30 μm	エポキシガラスフレーク（含有量20%，大径150 μm ）400 μm	ふっ素 中塗り 30 μm	ふっ素 上塗り 25 μm
2-Ⅱ	2-Ⅱ		超厚膜型エポキシ 400 μm		
3-Ⅰ	3-Ⅰ		エポキシガラスフレーク（含有量25%，大径150 μm ）400 μm		
3-Ⅱ	3-Ⅱ		超厚膜型エポキシ 400 μm		
7-Ⅰ	7-Ⅰ		ビニルエステルガラスフレーク（含有量20%，大径150 μm ）400 μm		
7-Ⅱ	7-Ⅱ		超厚膜型エポキシ 400 μm		
8-Ⅰ	8-Ⅰ		イソシアレート系ガラスフレーク（含有量20%，大径150 μm ）400 μm		
8-Ⅱ	8-Ⅱ		超厚膜型エポキシ 400 μm		
10-Ⅰ	10-Ⅰ		超厚膜型エポキシ1000 μm		
10-Ⅱ	10-Ⅱ		超厚膜型エポキシ1000 μm		
100-Ⅰ	100-Ⅰ		超厚膜型エポキシ1500 μm		
100-Ⅱ	100-Ⅱ		超厚膜型エポキシ1500 μm		
11-Ⅰ	11-Ⅰ		エポキシガラスフレーク（含有量20%，大径150 μm ）400 μm		
11-Ⅱ	11-Ⅱ		超厚膜型エポキシ 400 μm		

表-2.17 部分補修試験（複合環境促進試験1009（ケ））

No.	試験板	ごぼ目 幅5mm 9 升目	付着力 kgf/cm ²	さびの 進行程 度
2-1	2-1	9/9	13	○
2-II	2-2	9/9	10	△
3-1	3-1	9/9	13	○
3-II	3-2	9/9	8	○
7-1	7-1	8/9 (中/下)	—	—
7-II	7-2	9/9	18	△
8-1	8-1	9/9	10	○
8-II	8-2	9/9	32	—
10-1	10-1	9/9	31	△
10-II	10-2	9/9	—	×
⑩-1	⑩-1	9/9	11	×
⑩-II	⑩-2	9/9	20	△
11-1	11-1	9/9	8	○
11-II	11-2	9/9	15	○

注) ○：補修部分にさびの進行が認められない。
△：補修部分にさびの進行が認められる。
×：補修部分のさびの進行が著しい。

複合環境試験 100 サイクル終了後



アドヒージョン試験 ごぼり目試験
10 kgf/cm² 9/9

写真-2.8 部分補修試験片

2.6 まとめ

高性能防錆材料であるガラスフレーク塗料について実施した各種試験の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 遮水性能とふくれにくさの面からはビニルエステル樹脂、付着力と耐衝撃性の面からはエポキシ樹脂が優れている。
- 2) フレークが大きく ($350\mu\text{m}$) になると極端に付着力が低下し、塗料化が難しくぼそぼそとなり塗膜表面にかなりの凹凸ができる。逆に、小さくなると透湿度が大きくなる。
- 3) フレークの含有量を増加させると、ふくれ難くなるが40%になると付着力の低下や透湿度が増加する。
- 4) ヒートサイクル試験による塗膜の異常は見られなかった。
- 5) E P M A 面分析の結果、ガラスフレークの存在により塩素イオンの浸透はある程度防ぐことが出来るが、ガラスフレークが多くなると塗膜中に欠陥を生じる。
- 6) ふくれ発生までの時間は、水分の透湿度と良い相関を示したが塩素イオンの浸透深さとの関係は明確ではなかった。
- 7) ガラスフレークの大きさ $150\mu\text{m}$ 、ガラスフーク含有量20%、膜厚 $400\mu\text{m}$ 以上のガラスフレーク塗料は、防食性能が優れていることが複合環境促進試験及び暴露試験で実証された。
- 8) ジンクリッチプライマーを用いることによって、塗膜が打痕などによってわれてもさびは塗膜下に侵入しないことが明らかとなった。
- 9) ガラスフレーク塗料は硬質であるため、橋梁など繰り返し疲労を受ける構造物へは適用しにくいと考えられていたが、今回の 1mm のたわみで70万回の繰り返し疲労試験片の結果、付着力耐久性が優れていることが明らかとなった。
- 10) ガラスフレーク塗膜が打痕傷などを受けた場合の補修方法としては、同一組成のガラスフレーク塗料で膜厚 $400\mu\text{m}$ 以上が望ましいことが明らかとなった。

2.7 ガラスフレーク塗料の品質規格（案）

ガラスフレーク塗料の施工法に関する試験結果⁹⁾では、ガラスフレーク塗料を厚塗りするためにはエアレス塗装機を使用するので、吐出圧が低いと塗料の霧化が十分でなかったり、所定の膜厚が得られないことがあるので、エアレス塗装機の圧力倍率やガンノズルチップ径及び塗料の希釈倍率などを十分に検討する必要がある。また、ビニルエステル樹脂とイソフタル酸系ポリエステル樹脂は可使時間が短いので、塗装時時間管理が重要であることが明らかとなっている。

ガラスフレーク塗料の遮断性能試験，塗膜物性試験，防食性能試験，付着力耐久性試験及び部分補修試験結果並びに施工法に関する試験結果に基づいて、下記にガラスフレーク塗料の成分組成に関する品質規格（案）を提案する。

ガラスフレーク塗料の成分組成に関する品質規格（案）

ビヒクル	ガラスフレーク			膜 厚 μm	プライマー
	大きさ μm	含有量%	表面処理		
エポキシ樹脂	150	20～25	ランカプリング処理	400	シンクリッププライマー

〔参考資料〕

守屋進，町田洋人，兼田教一：本州四国連絡橋のガラスフレーク系塗料に関する試験調査，鋼橋塗装vol. 16, No. 2, 1988年7月

海洋架橋調査会：本州四国連絡橋の塗装に関する調査研究（その1）報告書，昭和63年3月

表-3.1 塗装仕様

記 号	プライマー	下 塗 り	中 塗 り	上 塗 り
I	エポキシジクロリチプライマー 20 μ m	エポキシ樹脂塗料 60 μ m $\times$ 2	アクリルシリコン用中塗り塗料 30 μ m	アクリルシリコン樹脂塗料上塗り 30 μ m
II	ウレタンプライマー 15 μ m	油性びり止めペイント35 μ m $\times$ 2	シリコンアルキド用中塗り塗料 30 μ m	シリコンアルキド樹脂塗料上塗り 30 μ m
III	エポキシジクロリチプライマー 20 μ m	エポキシ樹脂塗料 60 μ m $\times$ 2	ふっ素用中塗り塗料 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗り 30 μ m
IV	エポキシジクロリチプライマー 20 μ m	エポキシ樹脂塗料 60 μ m $\times$ 2	ポリウレタン用中塗り塗料 30 μ m	ポリウレタン樹脂塗料上塗り 30 μ m

3. 高付着性・低温乾燥性に優れた塗料の選定

近年、鋼道路橋塗装便覧や木州四国連絡橋公団の塗装基準で、耐候性に優れた上塗り塗料としてふっ素樹脂塗料やシリコン樹脂塗料が採用された。しかしながら、これらの塗料の低温乾燥性や塗り重ね性など施工に関する性能が明確となっていない。

このため、これら塗料の低温乾燥性を明らかにする目的で、0、5、10℃及び室温において塗装し、指触による硬化状態の判定、踏み込み試験、鉛筆硬度試験によるハンドリングの判定及び上塗りの付着力試験を行った。また、タッチアップの際に同一塗料を塗り重ねた場合の付着性能を明らかにする目的で、下塗りからの塗り重ね、中塗りからの塗り重ね及び上塗りだけの塗り重ねた際の付着性を、旧塗膜の下地処理方法及び塗り重ねまでの暴露期間の影響について試験を行った。

3.1 施工性試験

3.1.1 低温乾燥性試験

Sa2.5以上に全面ブラストした試験片に表-3.1の塗装仕様のうち、中塗り塗装までは全て室温で塗装し、0、5、10℃および室温で上塗りのみを塗装し、それぞれの塗装時の温度条件で塗装1日後に塗料の硬化状態を指触で判定した。さらに、7日間上塗り塗装時の温度条件にしておき、7日目に、こばん目試験及びアドヒージョン試験による上塗り塗膜の付着力の測定とはくり状態の観察及びハンドリングを判定した。ハンドリングは、踏み込み試験（写真-3.1）及び鉛筆硬度試験で判定した。



写真-3.1 踏み込み試験

試験に供した上塗り塗料の組成を表-3.2に示す。また、これら塗料の温度及び希釈率による粘度の変化を表-3.3及び図-3.1に示す。

低温乾燥性の試験結果を表-3.4に示す。

(1) 指触による硬化状態の判定

シリコンアルキドは、上塗り温度 0、5℃は、まだ半硬化状態だったが、他の塗装系はいずれも硬化していた。

(2) ハンドリングの判定

1) 踏み込み試験

シリコンアルキドは、上塗り温度 0、5℃は、わずかに擦り傷がついたが、他の塗装系はいずれも傷がつかなかった。

2) 鉛筆硬度試験

① アクリルシリコンは、上塗り温度 0℃のみ 4 B で傷がついたが、他の上塗り温度では B 以下で傷がつかなかった。

② シリコンアルキドは、室温での上塗り以外は、鉛筆 2 B 以下で傷がついた。このため半硬化状態と判定した。

③ ふっ素及びポリウレタンは、全ての温度条件で上塗りは良好であった。

(3) 上塗り塗膜の付着力

1) ごばん目試験

いずれも塗膜のはがれが認められなかった。

2) アドヒージョン試験

① 付着力

いずれの塗装系も 20kgf/cm² 以上であった。

② はくり箇所

・ アクリルシリコンは、いずれの温度条件でも上塗りと中塗りの層間のはくりが認められた。

・ シリコンアルキドは、0℃と室温で上塗りしたものに、上塗りと中塗りの層間のはくりが認められた。

・ ふっ素は、10℃と室温で上塗りしたものに、わずかに上塗りと中塗りの層間のはくり

表-3.2 供試塗料の組成

アクリルシリコン		シリコンアルキド		ふっ素		ポリウレタン	
成 分	配合(%)	成 分	配合(%)	成 分	配合(%)	成 分	配合(%)
着色顔料	31.5	着色顔料	35.0	着色顔料	25.0	着色顔料	30.8
アクリルシリコン 樹脂ワニス	61.5	シリコンアルキド 樹脂ワニス	58.0	ふっ素 樹脂ワニス	50.0	変性オリーブ 樹脂ワニス	47.5
添加剤	2.0	その他の顔料	2.0	添加剤	4.0	添加剤	0.8
溶剤	5.0	溶剤	5.0	溶剤	11.0	溶剤	4.2
				(硬化剤) イソシアネート樹脂 ワニス	10.0	(硬化剤) イソシアネート樹脂 ワニス	16.7
合計	100.0	合計	100.0	合計	100.0	合計	100.0

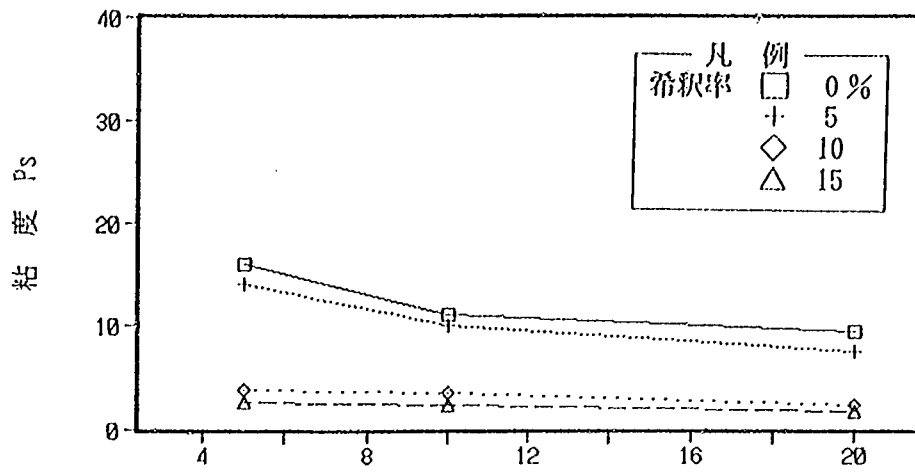
表-3.3 供試塗料の温度と希釈率による粘度

(単位 ; poise)

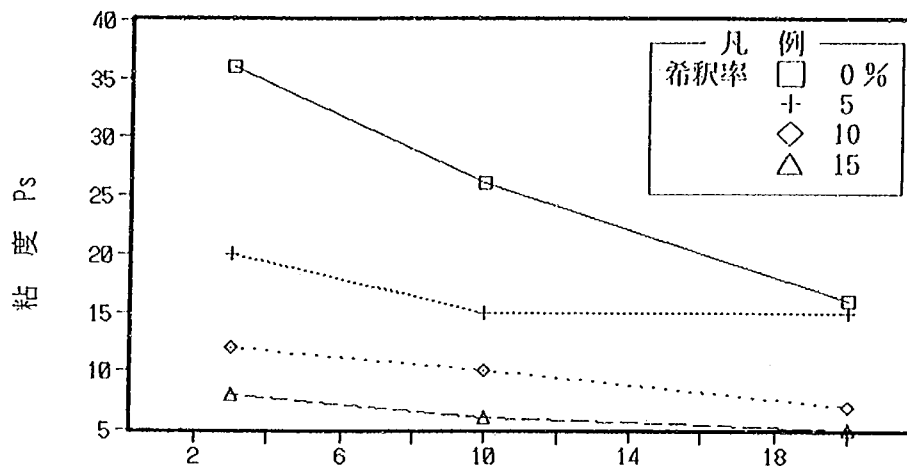
塗 料	希釈率(%)	0	5	10	15
アクリルシリコン	温度 5℃	16.0	14.0	3.9	2.7
	温度 10℃	11.0	10.0	3.5	2.3
	温度 20℃	9.5	7.5	2.4	1.8
シリコンアルキド	温度 3℃	36.0	20.0	12.0	8.0
	温度 10℃	26.0	15.0	10.0	6.0
	温度 20℃	16.0	15.0	7.0	5.0 ¹
ふっ素	温度 5℃	2.5	1.8 ²	1.2 ³	—
	温度 10℃	2.0 ⁴	1.4	0.9	—
	温度 20℃	1.5	0.8 ⁵	0.5	—

ただし、添字のあるものは、それぞれ以下の温度で測定した。
 1 : 19℃, 2 : 3℃, 3 : 3.5℃, 4 : 11℃, 5 : 19.5℃

アクリルシリコン



シリコンアルキド



ふっ素

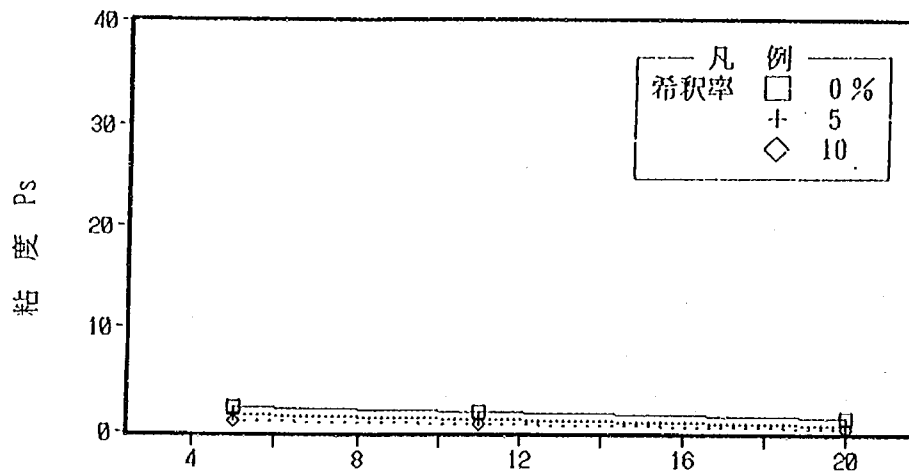


図-3.1 高耐候性塗料の温度と希釈率による粘度の変化

表-3.4 施工性試験（低温乾燥性）

塗装仕様	試験温度℃	指触による硬化判定	ハンドリングの判定		付着力試験		
			踏み込み試験	鉛筆硬度試験	目 幅5mm 9 升目	アドヒージョン	
						付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
アクリルシリコン	0	硬化	硬化	4 B	9 / 9	3 0	上 / 中 100
	5	硬化	硬化	B	9 / 9	3 2	上 / 中 100
	10	硬化	硬化	B	9 / 9	3 5	上 / 中 100
	室温	硬化	硬化	F	9 / 9	2 5	上 / 中 100
シコンアルキド	0	半硬化	わずか 擦り傷	4 B	9 / 9	3 3	上 / 中 40 下 / 下 60
	5	半硬化	わずか 擦り傷	3 B	9 / 9	2 8	接 / 上 30 下 / 下 70
	10	硬化	硬化	2 B	9 / 9	3 3	接 / 上 10 中 / 下 85 下 / 下 5
	室温	硬化	硬化	B	9 / 9	3 4	上 / 中 50 中 / 下 40 下 / 下 10
ふっ素	0	硬化	硬化	B	9 / 9	3 5	接 / 上 10 中 / 下 50 下 / 下 40
	5	硬化	硬化	F	9 / 9	3 5	接 / 上 20 中 / 下 70 下 / 下 10
	10	硬化	硬化	F	9 / 9	3 4	接 / 上 60 上 / 中 5 中 / 下 10 下 / 下 25
	室温	硬化	硬化	H	9 / 9	2 2	接 / 上 70 上 / 中 20 中 / 下 10
ポリウレタン	0	硬化	硬化	H B	9 / 9	3 5	接 / 上 50 上 / 中 45 下 / 下 5
	5	硬化	硬化	H	9 / 9	3 4	接 / 上 40 上 / 中 30 中 / 下 20 下 / 下 10
	10	硬化	硬化	H	9 / 9	3 5	接 / 上 90 上 / 中 10
	室温	硬化	硬化	H	9 / 9	7 0 <	——

が認められた。

・ポリウレタンは、0℃、5℃および10℃に上塗りと中塗りの層間はくりが認められた。

以上の結果より、シリコンアルキドは、他の塗装系に比べ5℃以下での乾燥が遅いことが明らかとなった。

3.1.2 促進耐候性試験

Sa2.5以上に全面ブラストした試験片に表-3.1の塗装仕様のうち、中塗り塗装までは全て室温で塗装し、0、5、10℃及び室温で上塗りのみを塗装した。試験片は1組16枚で2組製作した。このうち1組は7日間上塗り塗装時の温度条件で養生してから、ごばん目試験及びアドヒージョン試験で初期付着力と光沢を測定した。また、他の1組は14日間上塗り塗装時の温度条件で養生してから同様の測定を行った。さらに、全ての試験片は、上塗り後15日目より促進耐候性試験を1000時間行い、塗膜の付着力試験及び光沢を測定した。

表-3.5に養生7日後の初期付着力試験及び光沢測定結果を、表-3.6に養生14日後の初期付着力試験及び光沢測定結果を示す。また、図-3.2に促進耐候性試験後の光沢保持率を示す。

(1) 塗膜の付着性

① ごばん目試験

シリコンアルキドでは、7日間上塗り温度条件で養生した10℃と室温で上塗りしたもの及び14日間上塗り温度条件で養生した0℃、5℃のものは、中塗りと下塗りの層間はくりが認められたが、上塗りと中塗りの層間はくりは認められなかった。その他の塗装系はすべて、はくりは認められなかった。

② 付着力

7日間上塗り温度条件で養生したアクリルシリコンは、上塗り温度0℃で上塗りしたものが、また、ふっ素は室温で上塗りしたものがやや付着力が他に比べ劣っていた。

③ アドヒージョン試験のはくり状態

7日間上塗り温度条件で養生した試験片のうち、シリコンアルキドの上塗り温度室温及びポリウレタンの上塗り温度5℃、10℃及び室温で上塗りしたもの以外は、上塗りと

表-3.5 (1) 施工性試験（促進試験（養生7日間））

塗装仕様	塗装温度 ℃	初期付着力			光沢値		
		目目 幅5mm 9升目	アドヒージョン		初 期 値	促 進 後	残存率%
			付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)		水 洗 前 水 洗 後	水 洗 前 水 洗 後
アクリルシリコン	0	9 / 9	1 5	上 / 中 100	71.4	56.9	79.7
						60.3	84.5
	5	9 / 9	2 2	上 / 中 100	70.3	49.5	70.4
						61.8	87.9
	10	9 / 9	2 6	接 / 上 5	71.0	58.5	82.4
				上 / 中 95		65.6	92.4
	室 温	9 / 9	3 0	上 / 中 80	73.5	59.8	81.4
				中 / 下 20		68.2	92.8
シリコンアルキド	0	9 / 9	2 6	上 / 中 60	72.8	66.9	91.9
				中 / 下 40		69.8	95.9
	5	1 / 9 中 / 下	3 0	上 / 中 10	71.0	58.2	82.0
				中 / 下 20 下 / 下 70		63.0	88.7
	10	9 / 9	2 8	上 / 中 10	70.1	57.5	82.0
				中 / 下 90		61.0	87.0
	室 温	5 / 9 中 / 下	3 4	中 / 下 100	72.9	52.5	72.0
						58.5	80.2
ふっ素	0	9 / 9	3 5	接 / 上 10	72.4	61.1	84.4
				上 / 中 50 中 / 下 40		68.4	94.5
	5	9 / 9	2 0	接 / 上 85	76.0	61.1	80.4
				上 / 中 10 中 / 下 5		67.2	88.4
	10	9 / 9	2 4	接 / 上 80	74.5	64.1	86.0
				上 / 中 20		68.8	92.3
	室 温	9 / 9	1 5	接 / 上 80	71.4	56.7	79.4
				上 / 中 10 中 / 下 10		64.4	90.2

表-3.5 (2) 施工性試験（促進試験（養生7日間））

塗 装 仕 様	塗 装 温 度 ℃	初期付着力			光沢値		
		目 幅5mm 9 升目	アドヒージョン		初 期 値	促 進 後	残存率%
			付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)		水 洗 前	水 洗 前
						水 洗 後	水 洗 後
ポ リ ウ レ タ ン	0	9 / 9	3 5	接 / 上 10	85.0	71.3	83.9
				上 / 中 60		75.0	88.2
	5	9 / 9	3 1	中 / 下 30	84.6		
				接 / 上 20		69.0	81.6
	10	9 / 9	3 5	中 / 下 80	80.9	75.1	88.8
				接 / 上 20		69.7	86.2
	室 温	9 / 9	3 5	中 / 下 80	85.6	78.6	97.2
				接 / 上 60		73.3	85.6
				中 / 下 40		81.5	95.2

表—3.6 (1) 施工性試験（促進試験〔養生14日間〕）

塗 装 仕 様	塗 装 温 度 ℃	初期付着力			光沢値		
		目 幅5mm 9 升目	ア ド ヒ ー ジ ョ ン		初 期 値	促 進 後	残存率%
			付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)		水 洗 前 水 洗 後	水 洗 前 水 洗 後
アクリルシリコン	0	9 / 9	3 9	上 (凝集)100	68.7	58.9 63.3	85.7 92.1
	5	9 / 9	4 2	上 (凝集)100	67.2	52.2 63.0	77.7 93.8
	10	9 / 9	3 0	上 (凝集)100	70.4	58.6 59.7	83.2 84.8
	室 温	9 / 9	4 6	上 (凝集) 80 上 / 中 20	75.6	67.9 70.9	89.8 93.8
シリコンアルキド	0	0 / 9 中 / 下	4 0	接 / 上 30 中 / 下 70	67.1	51.1 66.8	76.2 99.6
	5	1 / 9 中 / 下	4 7	上 (凝集) 50 中 / 下 50	67.6	52.9 63.7	78.3 94.2
	10	9 / 9	3 2	中 / 下 100	62.8	47.6 53.9	75.8 85.8
	室 温	9 / 9	5 0	上 (凝集) 50 中 (凝集) 50	65.8	63.7 65.6	96.8 99.7
ふっ素	0	9 / 9	5 9	上 (凝集) 70 下 (凝集) 30	74.2	60.7 64.7	81.8 87.2
	5	9 / 9	5 3	上 (凝集) 80 下 (凝集) 20	77.7	65.0 68.7	83.7 88.4
	10	9 / 9	6 8	上 (凝集) 60 下 (凝集) 40	74.5	64.4 68.1	86.4 91.4
	室 温	9 / 9	6 8	下 (凝集)100	72.6	59.7 66.7	82.2 91.9

表一3.6 (2) 施工性試験（促進試験〔養生14日間〕）

塗 装 仕 様	塗 装 温 度 ℃	初期付着力			光沢値		
		目 幅5mm 9 升目	アドヒージョン		初 期 値	促 進 後	残存率%
			付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)		水 洗 前	水 洗 前
						水 洗 後	水 洗 後
ポ リ ウ レ タ ン	0	9 / 9	7 0	上 (凝集) 30	80.0	71.4	89.3
				中 (凝集) 40		74.4	93.0
				下 (凝集) 30			
	5	9 / 9	7 0	ス / 接 10	78.5	67.1	85.5
				接 / 上 30		76.0	96.8
				中 (凝集) 60			
	10	9 / 9	5 0	ス / 接 60	81.7	66.2	81.0
				接 / 上 10		70.6	86.4
				下 (凝集) 30			
	室 温	9 / 9	5 4	ス / 接 30	85.4	79.0	92.5
				接 / 上 30		80.5	94.3
				下 (凝集) 40			

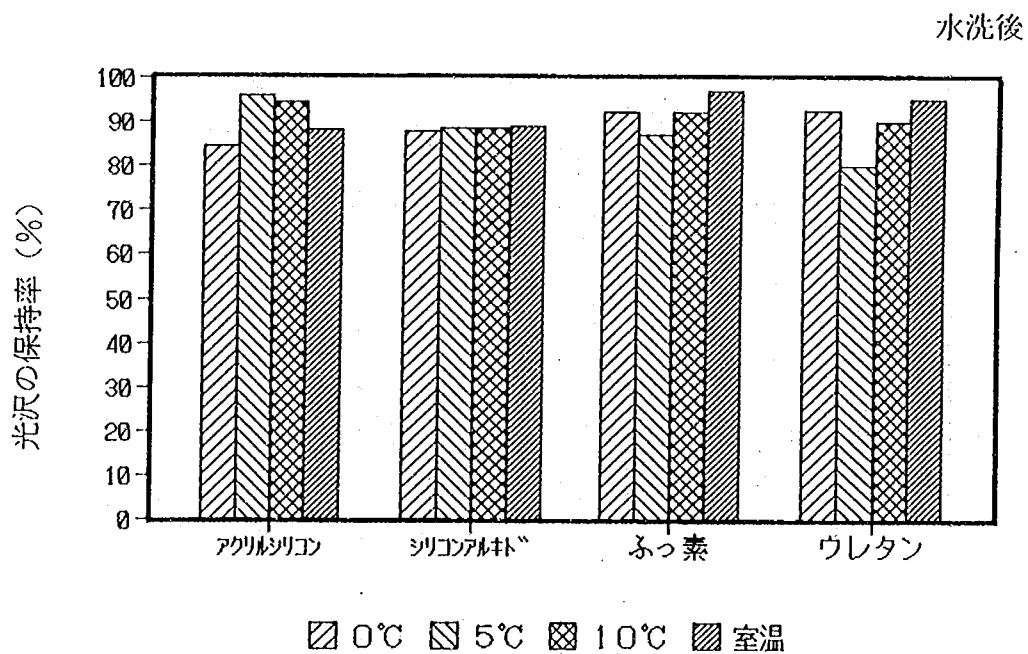
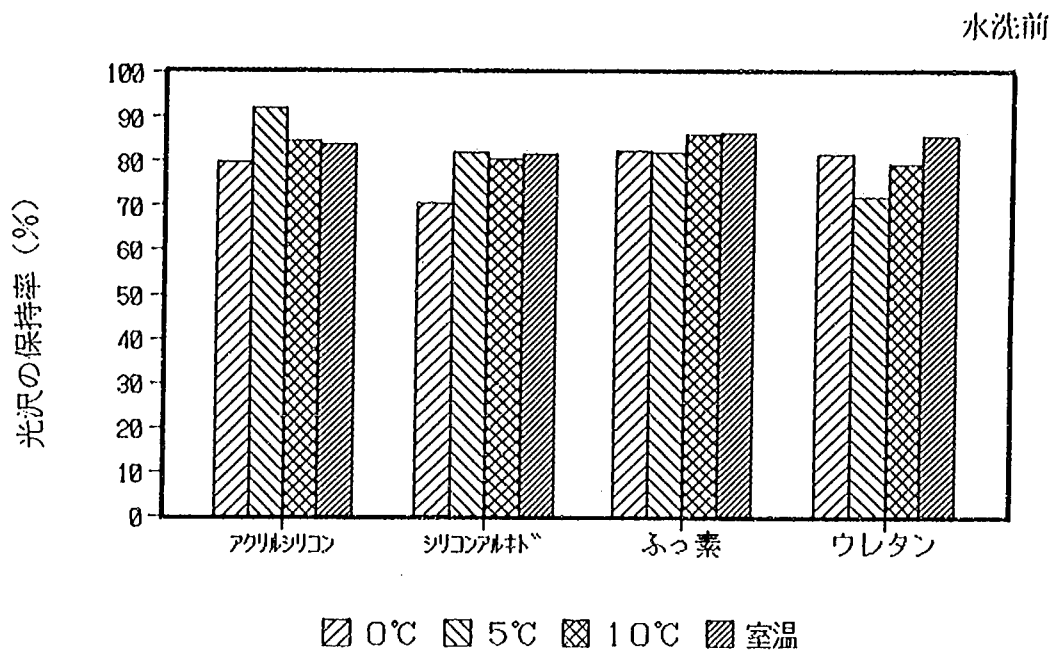
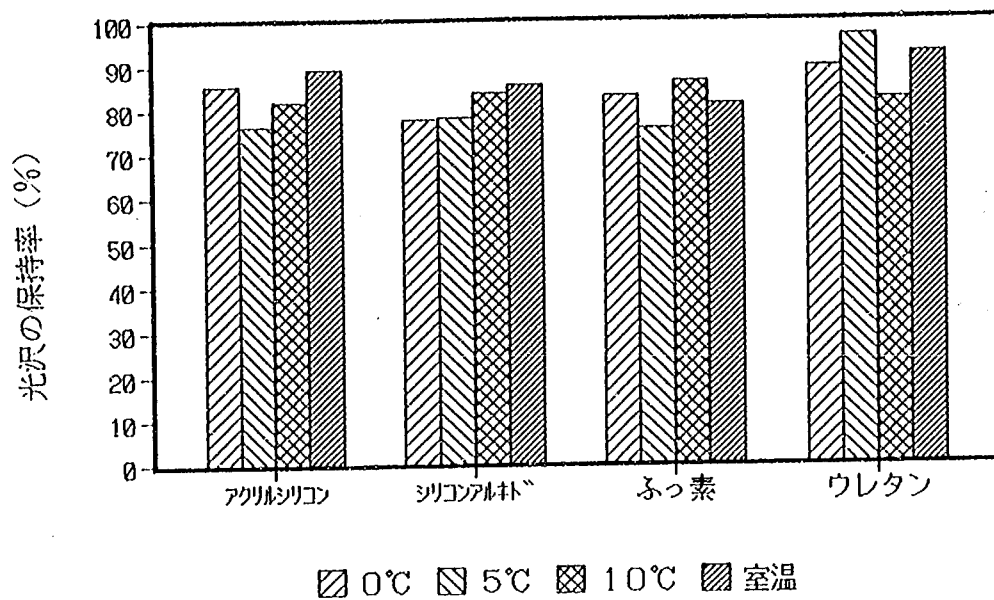


図-3.2 光沢の保持率 (養生7日間)

水洗前



水洗後

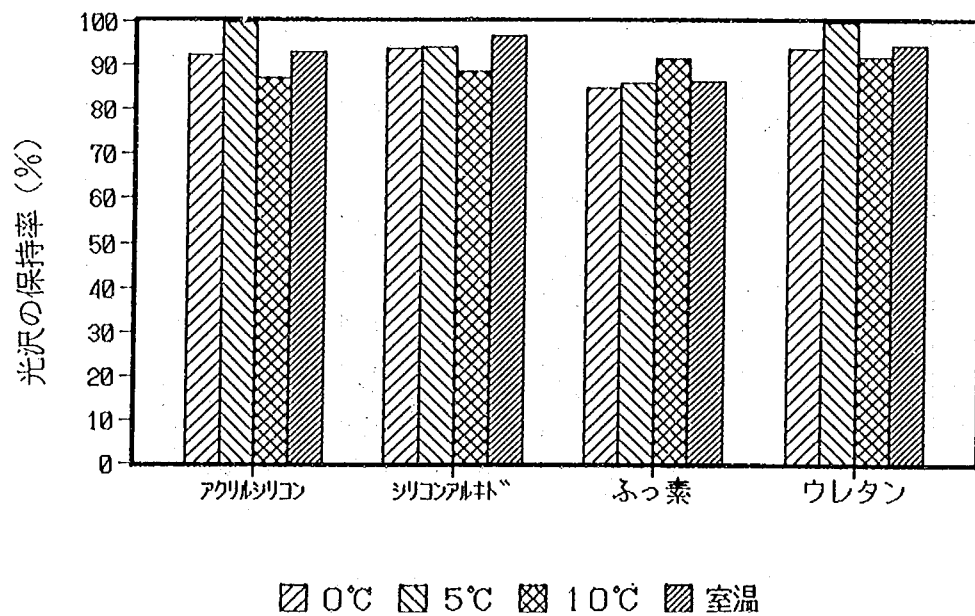


図-3.3 光沢の保持率 (養生14日間)

中塗りの層間はくりが認められた。また、14日間上塗り温度条件で養生した試験片はすべて、上塗りと中塗りの層間はくりは認められなかった。

(2)促進耐候性試験

促進耐候性試験を1000時間後の光沢の保持率はいずれも70%以上であった。

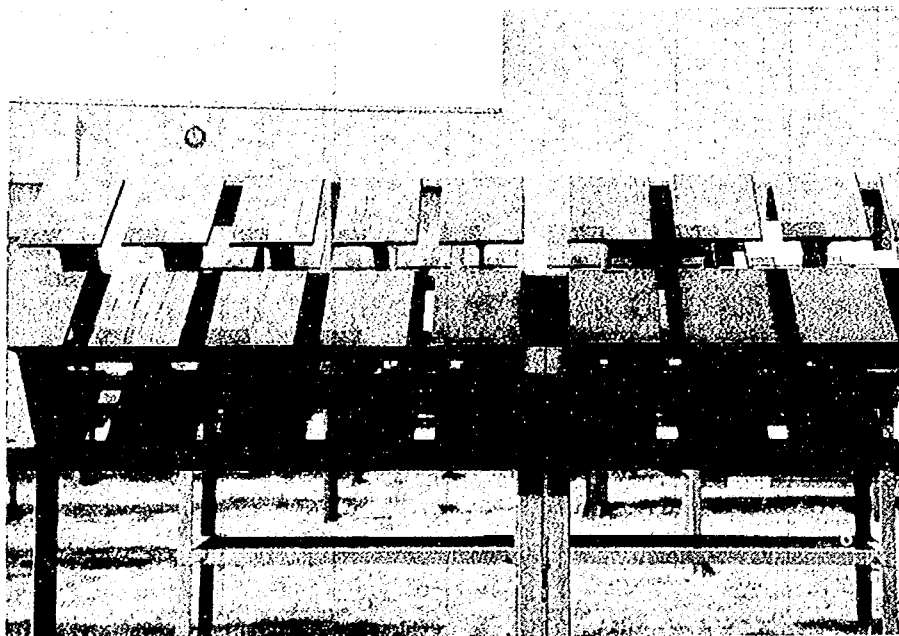
また、7日間上塗り温度条件で養生した試験片と14日間上塗り温度条件で養生した試験片を比較すると明瞭な差は認められなかった。なお、上塗り温度条件による差も認められなかった。

3.1.3暴露試験

Sa2.5 以上に全面ブラストした試験片に表―3.1の塗装仕様のうち、中塗り塗装までは全て室温で塗装し、0, 5, 10℃及び室温で上塗りのみを塗装した。塗装後、7日間塗装時の温度条件で養生し、茨城県つくば市にある土木研究所建設材料研究施設に暴露した。暴露状況を写真―3.2 に示す。

暴露時（初期）、暴露後14日目、1ヶ月目、1年目に、ごばん目試験及びアドヒージョン試験を行い付着力を測定した。

表―3.7に暴露試験体の付着力試験結果を示す。



写真―3.2 施工性試験片暴露状況
(土木研究所建設材料研究施設)

表-3.7 (1) 施工性試験 (暴露試験)

塗装仕様	塗装温度℃	初期付着力試験			暴露 1 4 日 目			暴露 1 ヶ 月 目			暴露 1 年 目		
		ごぼん目	アドヒージョン		ごぼん目	アドヒージョン		ごぼん目	アドヒージョン		ごぼん目	アドヒージョン	
		5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ア ク リ ル シ リ コ ン 重	0	9/9	2.5	上/中 100	9/9	2.5	上 (剥離) 30 中 (剥離) 70	9/9	3.0	ス/接 45 上/中 25 中 (剥離) 30	9/9	7.0	接/上 30 上 (剥離) 70
	5	9/9	2.5	上/中 60 中/下 40	9/9	4.9	上 (剥離) 40 中 (剥離) 60	9/9	3.7	ス/接 90 上/中 8 中/下 2	9/9	6.3	接/上 65 上 (剥離) 35
	10	9/9	3.0	接/上 50 上/中 50	9/9	3.0	上 (剥離) 100	9/9	5.9	接 (剥離) 40 中 (剥離) 60	9/9	4.3	接/上 60 上 (剥離) 30 中 (剥離) 10
	重	9/9	3.0	接/上 70 上/中 30	9/9	4.3	ス/接 5 上 (剥離) 35 中 (剥離) 60	9/9	5.0	ス/接 100	9/9	6.9	接/上 90 上 (剥離) 10
シ リ コ ン ア ル キ 重	0	0/9 はくり箇所 中/下	3.3	上/中 10 中/下 90	9/9	6.5	ス/接 5 中 (剥離) 5 中/下 90	9/9	2.0	ス/接 60 中/下 40	9/9	6.6	接/上 70 下 (剥離) 30
	5	1/9 はくり箇所 中/下	2.5	中/下 100	9/9	3.3	中/下 100	9/9	3.9	ス/接 50 上 (剥離) 20 中/下 30	9/9	7.0	接/上 100
	10	0/9 はくり箇所 中/下	3.5	中/下 100	9/9	4.3	ス/接 5 上 (剥離) 5 中 (剥離) 10 中/下 80	9/9	4.5	ス/接 50 接 (剥離) 20 中/下 30	9/9	7.0	接/上 90 下 (剥離) 10
	重	1/9 はくり箇所 中/下	3.5	中/下 100	8/9 はくり箇所 中/下	3.9	ス/接 5 中/下 95	9/9	4.0	ス/接 60 中/下 40	9/9	7.0	接/上 40 下 (剥離) 10 下/下 30

表-3.7 (2) 施工性試験 (暴露試験)

塗装仕様	塗装温度 ℃	初期付着力試験			暴露 1 4 日 目			暴露 1 ヶ 月 目			暴露 1 年 目		
		ごばん目		アドヒージョン	ごばん目		アドヒージョン	ごばん目		アドヒージョン	ごばん目		アドヒージョン
		5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²		5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²		5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²		5mm 9升目	付着力 kgf/cm ²	
ふ っ 素	0	9/9	3.3	接/上 15 上/中 80 下/下 5	9/9	2.2	接/上 97 下 (凝集) 3	9/9	4.9	ス/接 30 上 (凝集) 10 中 (凝集) 40 下 (凝集) 20	9/9	7.0	下 (凝集) 100
	5	9/9	2.5	上/中 90 中/下 10	9/9	1.3	接/上 90 下 (凝集) 10	9/9	4.0	ス/接 40 上 (凝集) 5 中 (凝集) 40 下 (凝集) 15	9/9	7.0	下 (凝集) 100
	10	9/9	3.5	接/上 20 中/下 65 下/下 15	9/9	3.1	接/上 80 上 (凝集) 5 下 (凝集) 15	9/9	3.9	ス/接 40 上 (凝集) 10 中 (凝集) 20 下 (凝集) 30	9/9	7.0	下 (凝集) 100
	10 箇 所	9/9	3.5	接/上 10 中/下 80 下/下 10	9/9	2.9	接/上 80 下 (凝集) 20	9/9	5.0	ス/接 30 上 (凝集) 30 中 (凝集) 35 下 (凝集) 5	9/9	7.0	下 (凝集) 100
ホ リ ウ レ タ ン	0	9/9	3.3	接/上 20 下/下 80	9/9	4.0	接/上 50 中/下 40 下 (凝集) 10	9/9	3.0	ス/接 100	9/9	7.0	中 (凝集) 15 下 (凝集) 85
	5	9/9	3.5	接/上 10 中/下 90	9/9	5.9	接/上 50 中/下 10 下 (凝集) 40	9/9	4.0	ス/接 100	9/9	7.0	中 (凝集) 20 下 (凝集) 80
	10	9/9	3.5	接/上 30 中/下 70	9/9	5.5	接/上 20 下 (凝集) 80	9/9	4.0	ス/接 60 接 (凝集) 30 接/上 10	9/9	7.0	接/上 45 下 (凝集) 55
	10 箇 所	9/9	3.5	中/下 95 下/下 5	9/9	5.5	ス/接 30 接 (凝集) 20 下 (凝集) 50	9/9	5.0	ス/接 60 接 (凝集) 35 接/上 5	9/9	7.0	接/上 10 下 (凝集) 90

(1)ごばん目試験

シリコンアルキドは、初期付着力試験において各上塗り温度条件で中塗りと下塗りの層間はくりが認められたが、上塗りと中塗りの層間はくりは認められなかった。また、上塗り塗装14日目の付着力試験において、シリコンアルキドの室温で上塗り塗装したものに中塗りと下塗りの層間はくりが認められたが、上塗りと中塗り層間はくりは認められなかった。その他の試験片は良好な付着性能を示した。

(2)付着力

ふっ素を5℃の温度条件で上塗りした塗装後14日目の付着力は、他に比べやや低かったが、その他の条件では全て20kgf/cm²以上であった。

(3)アドヒージョン試験のはくり状態

①アクリルシリコンは、初期付着力試験においていずれの上塗り温度条件でも上塗りと中塗りの層間はくりが認められた。なお上塗り塗装後1ヶ月目でも上塗り塗装温度条件0℃及び5℃は上塗りと中塗りの層間はくりが認められた。

②シリコンアルキドは、初期付着力試験において上塗り塗装温度条件0℃でわずかに上塗りと中塗りの層間はくりが認められた。

③ふっ素は、初期付着力試験において上塗り塗装温度条件0℃及び5℃で上塗りと中塗りの層間はくりが認められた。

④ウレタンは、いずれの上塗り塗装温度条件でも上塗りと中塗りの層間はくりが認められなかった。

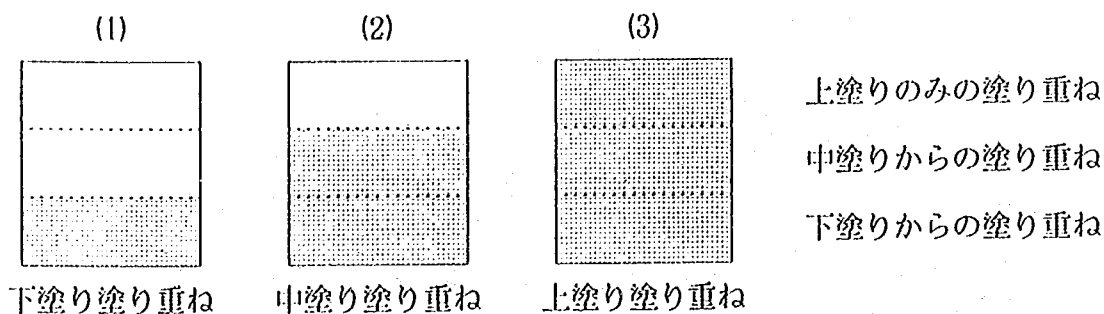
⑤いずれの塗料も暴露1年目では上塗りと中塗りの付着は良好であった。

3.2 塗り重ね性試験

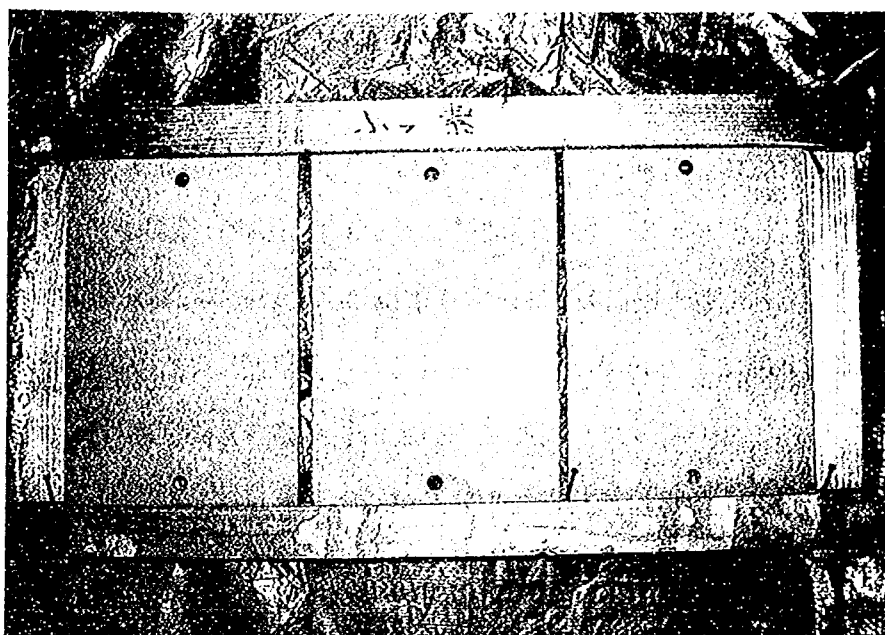
Sa2.5 以上に全面ブラストした試験片に表—3.1の塗装仕様のうちⅠ, Ⅱ, Ⅲの塗装仕様を各15枚ずつ塗装した。上塗り塗装7日目に土木研究所材料構造共同実験棟Rc棟3階屋上に暴露し、うち9枚は、初期暴露後7日目に図—3.3(1)の斜線部分に表—3.1の下塗り塗料を1回、8日目に図—3.3(2)の斜線部分に表—3.1の中塗り塗料を、9日目に図—3.3(3)の斜線部分に表—3.1の上塗り塗料を塗り重ねた。このとき下地処理は、無処理、サンドペーパー(No.320)で1方向掛け、2方向掛けの3水準とした。下地処理の例を写真—3.3に示す。各塗料の塗り重ね後、再度土木研究所材料構造共同実験棟Rc棟屋上に暴露し、上塗り塗装後7日目、1ヶ月目及び1年目にごばん目試験及びアドヒージョン試験により、塗膜の付着力を測定した。

同様に、初期暴露14日目、1ヶ月目、6ヶ月目及び1年目にそれぞれ9枚ずつ上記と同様に塗り重ねを行い、再度暴露し、7日目、1ヶ月目及び1年目にごばん目試験及びアドヒージョン試験を行い塗膜の付着力を測定した。ただし、初期暴露6ヶ月及び1年目については塗り重ね後の再暴露後1年経過していないので、7日目及び1ヶ月のみ付着力試験を行った。暴露状況を写真—3.4に示す。

初期暴露7日の付着力試験結果を表—3.8に、初期暴露14日の付着力試験結果を表—3.9に、初期暴露1ヶ月の付着力試験結果を表—3.10に、初期暴露6ヶ月の付着力試験結果を表—3.11に、初期暴露1年の付着力試験結果を表—3.12に示す。



図—3.3 塗り重ね性試験片製作手順



無処理 リゾバー 1 方向 リゾバー 2 方向

写真-3.3 下地処理した試験片

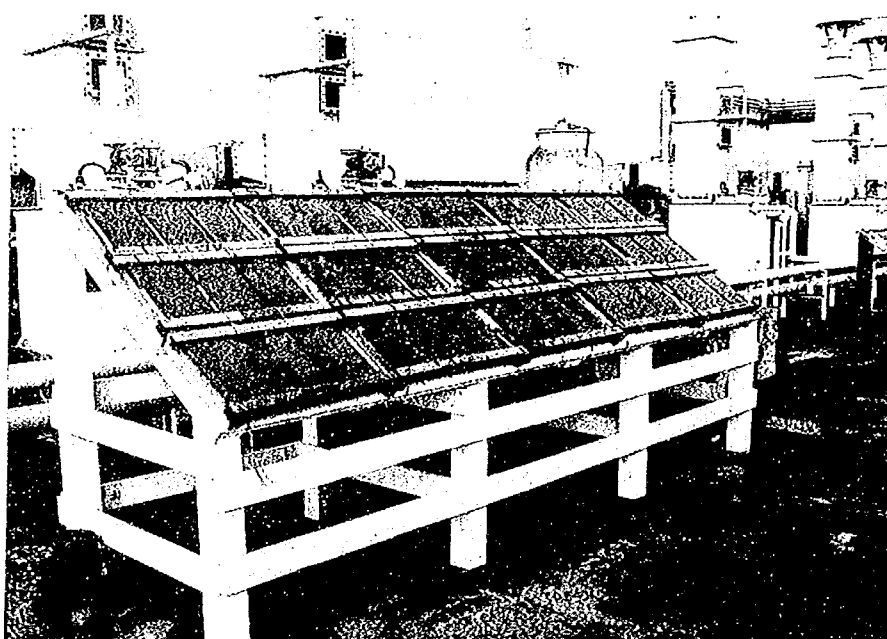


写真-3.4 塗り重ね性試験片（暴露状況）

表-3.8 (1) 塗り重ね性試験 (初期暴露7日)

塗 装 仕 様	下 地 処 理	塗 り 重 ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ア ク リ ル シ リ コ ン	無 処 理	上	5/9 はくり箇所 上/上	3.9	ス/接 20 上 (凝集) 75 上/旧上 5	1/9 はくり箇所 上/旧上	3.1	上/旧上 100	0/9 はくり箇所 上/旧上	3	接/上 30 上/上 70
		中 /上	9/9	3.0	上 (凝集) 5 上/中 35 旧上 (凝集) 60	9/9	3.0	ス/接 90 旧上 (凝集) 10	9/9	2.0	接/上 40 上 (凝集) 30 中/旧上 10 旧上 20
		下 /中 /上	9/9	2.2	ス/接 30 接 (凝集) 30 上 (凝集) 10 旧上 (凝集) 30	9/9	5.1	下/旧上 30 旧上 (凝集) 70	9/9	2.0	接上 50 上 40 旧上 10
	方 向	上	8/9 はくり箇所 上/上	3.9	ス/接 30 上 (凝集) 60 上/旧上 10	7/9 はくり箇所 上/旧上	5.5	接/上 30 上/旧上 70	7/9 はくり箇所 上/旧上	1.2	接上 35 上/旧上 60 旧上/旧中 5
		中 /上	9/9	1.9	ス/接 15 上/中 15 旧上 (凝集) 70	9/9	4.0	上 (凝集) 90 上/中 5 中 (凝集) 5	9/9	4.2	接上 60 上 5 中 10 旧上 25
		下 /中 /上	9/9	2.2	ス/接 5 上 (凝集) 15 上/中 10 中/下 5 旧上 (凝集) 65	9/9	5.0	下/旧上 20 旧上 (凝集) 80	9/9	2.0	接上 75 上 5 旧上 20
	二 方 向	上	9/9	5.1	ス/接 10 接 (凝集) 5 上 (凝集) 5 上/旧上 40	9/9	4.2	ス/接 100	9/9	3.0	接上 90 上 5 上/旧上 5
		中 /上	9/9	2.2	接 (凝集) 15 上 (凝集) 10 上/中 5 旧上 (凝集) 70	9/9	3.2	ス/接 15 接/上 15 上 (凝集) 30 中/旧上 10 旧上 (凝集) 30	9/9	3.0	接上 90 上 5 旧上 5
		下 /中 /上	9/9	2.0	ス/接 15 接 (凝集) 20 上 (凝集) 15 下/旧上 5 旧上 (凝集) 45	9/9	4.8	上 (凝集) 13 下/旧上 2 旧上 (凝集) 85	9/9	1.9	接上 80 上 10 旧上 10

表-3.8 (2) 塗り重ね性試験 (初期暴露7日)

塗 装 仕 様	下 地 処 理	塗 り 重 ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm. 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm. 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm. 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
シ リ コ ン ア ル キ ド	無 処 理	上	9/9	19	接/上 50 上(凝集) 40 上/旧上 10	6/9 はくり箇所 上/旧上	25	上(凝集) 90 上/旧上 10	4/9 はくり箇所 上/旧上	3	上/旧上 100
		中 /上	9/9	20	接/上 65 上(凝集) 15 上/中 20	8/9 はくり箇所 上/中	33	接/上 90 中/旧上 10	8/9 はくり箇所 上	33	上/中 95 上/上 5
	一 方 向	上	9/9	25	接/上 50 上(凝集) 40 上/旧上 10	7/9 はくり箇所 上/旧上	60	接/上 95 上/旧上 5	9/9	20	接/上 30 上/上 55 上/旧上 15
		中 /上	9/9	27	接/上 50 上(凝集) 10 上/中 20 旧上(凝集) 20	8/9 はくり箇所 上/中	31	接/上 5 上/中 95	8/9 はくり箇所 上/上	9	接/上 15 上/上 70 上/中 15
	二 方 向	上	9/9	29	接/上 55 上(凝集) 35 上/旧上 10	8/9 はくり箇所 上/旧上	40	接/上 95 上/旧上 5	8/9 はくり箇所 上/旧上	15	接/上 10 上/上 60 上/旧上 30
		中 /上	9/9	20	接/上 20 上(凝集) 50 上/中 30	8/9 はくり箇所 上/中	21	接/上 95 中/旧上 5	8/9 はくり箇所 下/素地	13	接/上 5 上/上 70 上/中 25

表-3.8 (3) 塗り重ね性試験 (初期暴露7日)

塗 装 仕 様	下 地 処 理	塗 り 重 ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ふ 素	無 処 理	上	9 / 9	2 1	ス / 接 85 上 (凝集) 10 上 / 旧上 5	9 / 9	6 8	ス / 接 20 旧下 80	9 / 9	5 2	ス / 接 5 接 / 上 55 上 / 上 5 旧上 / 上 35
		中 / 上	0 / 9 はくり箇所 上 / 上	1 9	上 / 中 100	0 / 9 はくり箇所 上 / 中	3 8	上 / 中 100	6 / 9 はくり箇所 中 / 旧上	1 8	中 / 旧上 100
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	2 1	中 / 下 100	4 / 9 はくり箇所 中 / 下	4 3	ス / 接 2 中 / 下 88 下 (凝集) 10	7 / 9 はくり箇所 中 / 下	3 0	中 / 下 50 下 / 下 50
	一 方 向	上	9 / 9	7 0	ス / 接 20 上 (凝集) 20 旧下 (凝集) 60	9 / 9	7 0	ス / 接 10 旧下 (凝集) 90	9 / 9	6 5	ス / 接 5 接 / 上 65 上 / 上 5 旧上 / 上 25
		中 / 上	8 / 9 はくり箇所 上 / 上	2 9	上 / 中 100	8 / 9 はくり箇所 上 / 中	3 8	上 (凝集) 50 上 / 中 50	9 / 9	4 5	上 / 上 15 中 / 旧上 85
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 下 / 下	2 0	ス / 接 25 下 (凝集) 5 中 / 下 70	2 / 9 はくり箇所 中 / 下	4 3	ス / 接 2 中 / 下 90 下 (凝集) 8	8 / 9 はくり箇所 中 / 下	2 0	中 / 下 50 下 / 下 50
	二 方 向	上	9 / 9	7 0	ス / 接 25 上 (凝集) 30 上 / 旧上 25 下 (凝集) 20	9 / 9	3 9	ス / 接 50 旧下 (凝集) 50	9 / 9	6 0	接 / 上 90 上 / 上 10
		中 / 上	8 / 9 はくり箇所 上 / 上	4 0	接 (凝集) 5 上 / 中 95	9 / 9	3 2	接 / 上 90 上 / 中 10	9 / 9	4 7	ス / 接 25 接 10 接 / 上 5 上 / 上 40 中 / 旧上 20
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 上 / 下	1 7	ス / 接 10 下 (凝集) 2 中 / 下 88	1 / 9 はくり箇所 中 / 下	3 1	中 / 下 85 下 (凝集) 15	7 / 9 はくり箇所 中 / 下	3 0	ス / 接 10 接 / 上 5 中 / 下 15 下 / 下 70

表-3.9 (D) 塗り重ね性試験 (初期暴露14日)

塗 装 仕 様	下 地 処 理	塗 り 重 ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ア ク リ ル シ リ コ ン	無 処 理	上	9/9	2.4	接/上 40 上(凝集) 50 旧上(凝集) 10	9/9	2.8	接/上 60 上(凝集) 40	9/9	3.6	接/上 35 上/旧上 65
		中 /上	9/9	1.5	接/上 15 上(凝集) 10 上/中 5 旧上(凝集) 70	9/9	3.9	接/上 40 上(凝集) 50 上/中 10	9/9	3.3	接/上 75 上/上 10 旧上 10 上/中 5
		下 /中 /上	9/9	3.1	接/上 10 上(凝集) 30 中/下 65	9/9	2.7	接/上 40 上(凝集) 30 旧上(凝集) 30	9/9	4.7	接/上 80 上/上 10 上/中 5 旧上 5
	一 方 向	上	9/9	4.7	接/上 40 上(凝集) 10 旧上(凝集) 50	9/9	4.8	接/上 70 上(凝集) 10 旧上(凝集) 20	9/9	3.5	接/上 85 上/上 5 上/旧上 10
		中 /上	9/9	2.4	接/上 10 上(凝集) 10 旧上(凝集) 80	9/9	2.4	接/上 20 上/中 30 旧上(凝集) 50	9/9	3.5	接/上 85 上/上 5 上/旧上 10
		下 /中 /上	8/9 はくり箇所 下/旧上	1.6	接/上 5 上/中 5 旧上(凝集) 90	9/9	3.7	ス/接 2 上(凝集) 30 上/中 10 旧上(凝集) 30 旧上(凝集) 28	9/9	2.5	接/上 60 上/上 10 旧/上 20 上/中 10
	二 方 向	上	9/9	3.0	接/上 40 旧上(凝集) 60	9/9	3.0	接/上 70 旧上(凝集) 30	9/9	2.3	ス/接 5 旧上/上 20 接/上 70 上/上 5
		中 /上	9/9	2.2	接/上 10 上(凝集) 10 旧上(凝集) 80	9/9	3.8	接/上 40 上(凝集) 20 旧上(凝集) 40	9/9	3.5	接/上 75 上/上 22 上/中 3
		下 /中 /上	9/9	2.0	上(凝集) 30 旧上(凝集) 70	9/9	2.2	接/上 40 上(凝集) 20 旧上(凝集) 40	9/9	3.7	接/上 70 上/中 30

表-3.9 (2) 塗り重ね性試験 (初期暴露14日)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cuf	はくり箇所 (%)	ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cuf	はくり箇所 (%)	ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cuf	はくり箇所 (%)
シリコン ア ル キ ド	無 処 理	上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.5	接/上 65 上 (凝集) 20 旧中/旧下 10 旧下 (凝集) 5	9/9	3.9	接/上 5 上 (凝集) 80 旧上/旧中 5 旧下 (凝集) 5 旧下/ブ 5	9/9	3.5	接/上 80 上/上 5 旧下 15
		中 / 上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.3	接/上 60 上 (凝集) 20 中 (凝集) 20	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.3	ス/接 10 上 (凝集) 60 上/中 20 中 (凝集) 10	9/9	4.0	接/上 95 上/上 5
		下 / 中 / 上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.9	接 (凝集) 5 上 (凝集) 40 中 (凝集) 35 下 (凝集) 20	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	5.2	接/上 40 上 (凝集) 50 上/中 5	9/9	1.0	接/上 90 上/上 10
	一 方 向	上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	5.8	接/上 65 旧中/旧下 25 下/ブ 10	9/9	5.0	接/上 15 上 (凝集) 65 上/中 20 中/下 5	9/9	2.0	接/上 90 上/上 7 旧下 3
		中 / 上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.2	接/上 60 上 (凝集) 10 上/中 10 中 (凝集) 20	9/9	7.0	接/上 20 上 (凝集) 65 上/中 10 旧下/ブ 5	9/9	3.0	接/上 85 上/上 15
		下 / 中 / 上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	5.2	ス/接 5 接/上 20 上 (凝集) 10 中/下 55 下 (凝集) 10	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	5.2	接/上 15 上 (凝集) 75 上/中 10	9/9	4.0	接/上 50 上/上 50
	二 方 向	上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.8	接/上 40 上 (凝集) 40 中/下 20	9/9	5.3	接/上 45 上 (凝集) 45 旧上/旧中 5 旧下/ブ 5	9/9	1.8	接/上 95 上/上 5
		中 / 上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	5.3	接/上 20 上 (凝集) 20 中 (凝集) 40 旧中/旧下 20	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	4.0	接/上 50 上 (凝集) 40 上/中 10	9/9	3.0	接/上 85 上/中 15
		下 / 中 / 上	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	3.7	接/上 30 上 (凝集) 35 中 (凝集) 30 中/下 5	8/9 はくり箇所 旧下/ブ	7.0	接/上 15 上 (凝集) 80 旧下/ブ 5	9/9	1.2	接/上 65 上/中 5 上/上 30

表-3.9 (3) 梁の曲げ性能試験 (初期暴落14日)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ふ	無	上	9 / 9	4 7	ス / 接 20 旧上 / 旧中 80	9 / 9	5 9	ス / 接 40 上 (凝集) 50 旧下 (凝集) 10	9 / 9	3 5	接 / 上 80 上 / 上 20
		中 / 上	9 / 9	4 2	ス / 接 5 上 / 中 95	9 / 9	4 0	上 / 中 100	9 / 9	6 7	接 / 上 45 中 / 旧上 55
		下 / 中 / 上	1 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 0	ス / 接 10 中 / 下 90	2 / 9 はくり箇所 中 / 下	3 7	中 / 下 100	6 / 9 はくり箇所 中 / 下	2 7	中 / 下 70 下 / 下 30
	一	上	9 / 9	7 0	ス / 接 30 上 (凝集) 70 旧下 (凝集) 5	9 / 9	7 0	ス / 接 10 上 (凝集) 90	9 / 9	2 7	接 / 上 60 上 / 上 40
		中 / 上	9 / 9	4 1	上 / 中 100	9 / 9	5 0	ス / 接 5 上 / 中 95	9 / 9	6 6	ス / 接 20 接 / 上 15 接 20 上 15 中 / 旧上 25 旧下 5
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	2 7	中 / 下 100	3 / 9 はくり箇所 中 / 下	3 5	旧中 / 旧下 95 旧下 (凝集) 5	9 / 9	2 5	中 / 下 70 下 / 下 30
	二	上	9 / 9	3 8	ス / 接 50 上 (凝集) 40 旧中 (凝集) 10	9 / 9	7 0	ス / 接 5 上 (凝集) 85 旧下 (凝集) 10	9 / 9	3 0	ス / 接 95 上 5
		中 / 上	9 / 9	4 2	ス / 接 5 上 / 中 95	9 / 9	5 2	接 / 上 10 中 / 旧上 90	9 / 9	4 7	接 / 上 50 上 20 中 / 旧上 30
		下 / 中 / 上	2 / 9 はくり箇所 中 / 下	2 9	中 / 下 98 下 / 旧上 2	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	4 1	中 / 下 98 旧下 (凝集) 2	8 / 9 はくり箇所 中 / 下	2 5	中 / 下 70 ス / 接 5 下 / 下 25

表 3.10(1) 塗り重ね性試験 (初期暴露1ヶ月)

塗 装 仕 様	下 地 処 理	塗 り 重 ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ア ク リ ル シ ン	無 処 理	上	9/9	3.5	上(凝集) 70 上/旧上 30	9/9	4.5	接/上 70 上/旧上 15 旧上(凝集) 15	9/9	4.5	接/上 60 上/旧上 17 旧上 20 旧上/旧中 3
		中 / 上	9/9	3.8	ス/接 80 上(凝集) 20	9/9	3.5	上(凝集) 50 中(凝集) 50	9/9	4.5	ス/接 20 接/上 60 上 20
		下 / 中 / 上	9/9	2.5	ス/接 10 上(凝集) 15 上/中 5 旧上(凝集) 70	9/9	3.8	上(凝集) 40 上/中 10 旧上(凝集) 50	9/9	5.8	接/上 25 上 65 旧上 10
	方 向	上	9/9	3.1	ス/接 50 上(凝集) 30 上/旧上 20	9/9	3.8	接/上 60 上/旧上 20 旧上(凝集) 20	9/9	3.7	接/上 80 上/旧上 5 旧上 15
		中 / 上	9/9	2.5	ス/接 85 旧上(凝集) 15	9/9	3.0	接/上 10 上(凝集) 40 旧上(凝集) 50	9/9	5.0	接/上 40 上 50 上/中 10
		下 / 中 / 上	9/9	1.5	上(凝集) 40 上/中 10 旧上(凝集) 50	9/9	3.0	上(凝集) 15 上/中 15 旧上(凝集) 70	9/9	2.8	ス/接 15 接/上 30 上 35 上/中 5 旧上 15
	二 方 向	上	9/9	3.9	ス/接 10 上(凝集) 65 上/旧上 5 旧上(凝集) 20	9/9	4.0	接/上 80 上/旧上 5 旧上(凝集) 15	9/9	5.0	接/上 65 上 15 上/旧上 20
		中 / 上	9/9	2.5	ス/接 95 旧上(凝集) 5	9/9	3.0	接/上 10 上(凝集) 10 旧上(凝集) 80	9/9	5.5	接 5 接/上 20 上 70 上/中 5
		下 / 中 / 上	9/9	2.0	ス/接 5 上(凝集) 15 上/中 10 旧上(凝集) 70	9/9	2.0	接/上 5 上(凝集) 20 旧上(凝集) 75	9/9	2.2	接/上 30 上 55 上/中 5 旧上 10

表 3.10(2) 塗り重ね性試験 (初期暴露1ヶ月)

塗 装 仕 様	下 地 処 理	塗 り 重 ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごぼり目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cuf	はくり箇所 (%)	ごぼり目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cuf	はくり箇所 (%)	ごぼり目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cuf	はくり箇所 (%)
シ リ コ ン ア ル キ ド	無 処 理	上	9/9	4 2	接/上 30 上 (凝集) 70	9/9	5 0	接/上 95 ブ (凝集) 5	9/9	4 0	ス/接 10 接 35 接/上 40 上 10 下 5
		中 / 上	9/9	4 1	ス/接 15 接/上 40 上 (凝集) 40 中/旧上 5	9/9	6 7	接/上 70 中 (凝集) 30	8/9 はくり箇所 下/素地	3 2	ス/接 15 接 20 接/上 50 上/中 5 旧下 10
		下 / 中 / 上	9/9	3 9	ス/接 20 上 (凝集) 35 中 (凝集) 45	9/9	5 5	接/上 70 中 (凝集) 30	9/9	6 2	ス/接 30 接 10 接/上 45 下 15
	一 方 向	上	9/9	4 0	ス/接 40 接/上 30 上 (凝集) 30	9/9	5 5	接/上 98 ブ (凝集) 2	9/9	3 0	ス/接 15 接/上 60 上 15 下 10
		中 / 上	9/9	4 8	ス/接 20 接/上 50 上 (凝集) 30	9/9	3 9	接/上 80 上/中 5 中 (凝集) 15	8/9 はくり箇所 下/素地	3 2	ス/接 20 接/上 57 上/中 10 中 10 下 3
		下 / 中 / 上	9/9	3 2	接/上 30 上 (凝集) 30 中 (凝集) 30 下 (凝集) 5 下/旧上 5	9/9	5 5	接/上 80 中 (凝集) 20	9/9	3 5	ス/接 10 接 30 接/上 35 中 5 下 10 旧下 10
	二 方 向	上	9/9	7 0	接/上 15 上 (凝集) 80 旧下 (凝集) 5	9/9	5 1	ス/接 80 接/上 15 上 (凝集) 5	9/9	3 8	ス/接 10 接 20 接/上 67 下 3
		中 / 上	9/9	7 0	接/上 11 上 (凝集) 75 中 (凝集) 10 旧中 (凝集) 3 旧下 (凝集) 1	9/9	5 5	接/上 70 上/中 10 中 (凝集) 20	9/9	3 2	ス/接 10 接 35 接/上 45 上/中 5 下 5
		下 / 中 / 上	9/9	4 0	ス/接 60 上 (凝集) 30 中 (凝集) 10	9/9	7 0	接/上 90 上/中 3 中 (凝集) 7	9/9	4 5	ス/接 3 接 25 接/上 42 上/中 25 下 5

表-3.10(3) 塗り重ね性試験 (初期暴露1ヶ月)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力			1 年 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ふ	無	上	9/9	7.0	接/上 10 上(凝集) 10 旧下(凝集) 80	9/9	3.8	ス/接 50 上(凝集) 5 下(凝集) 45	9/9	4.0	ス/接 20 接 57 接/上 20 下 3
		中 / 上	9/9	5.6	接/上 5 中/旧上 90 旧下(凝集) 5	9/9	4.0	接/上 5 中/旧上 70 旧上(凝集) 25	9/9	2.0	ス/接 85 接 10 上 5
		下 / 中 / 上	6/9 旧下箇所 中/下	3.5	中/下 98 下(凝集) 2	5/9 旧下箇所 中/下	2.0	中/下 100	2/9 旧下箇所 中/下	4.5	中/下 85 下 15
	一	上	9/9	7.0	接/上 10 上(凝集) 30 旧下(凝集) 60	9/9	7.0	ス/接 5 上(凝集) 25 旧下(凝集) 70	9/9	2.8	ス/接 30 接 50 接/上 15 上 5
		中 / 上	9/9	5.1	中/旧上 98 旧下(凝集) 2	9/9	4.5	上(凝集) 40 中/旧上 40 旧下(凝集) 20	9/9	4.5	ス/接 15 接 66 接/上 15 上/中 3 中/下 1
		下 / 中 / 上	0/9 旧下箇所 中/下	3.0	中/下 70 下/旧上 30	0/9 旧下箇所 中/下	3.8	中/下 80 下/旧上 20	9/9	3.0	中/下 67 下 30 下/旧上 3
素	上	9/9	7.0	接/上 20 上(凝集) 50 旧下(凝集) 30	9/9	7.0	ス/接 5 上(凝集) 50 旧下(凝集) 45	9/9	4.0	ス/接 20 接 60 接/上 20	
	中 / 上	9/9	5.0	接/上 5 上(凝集) 25 中/旧上 55 旧上(凝集) 10 旧下(凝集) 5	9/9	4.5	中(凝集) 70 中/旧上 10 旧下(凝集) 20	9/9	2.3	ス/接 65 接 20 接/上 15	
	下 / 中 / 上	3/9 旧下箇所 中/下	2.1	中/下 50 下(凝集) 40 下/旧上 10	2/9 旧下箇所 中/下	2.0	中/下 60 下(凝集) 30 下/旧上 10	9/9	4.2	ス/接 5 接 20 中/下 20 下 40 下/下 15	

表-3.11(1) 塗り重ね性試験 (初期暴露6ヶ月)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ア ク リ ル シ リ コ ン	無 処 理	上	9 / 9	6 0	接 / 上 30 上 / 旧上 30 旧上 (凝集) 40	9 / 9	3 0	ス / 接 5 接 / 上 75 上 / 旧上 10 旧上 10
		中 / 上	4 / 9	1 8	中 / 旧上 100	6 / 9 はくり箇所 中 / 旧上	1 3	中 / 旧上 100
		下 / 中 / 上	9 / 9	2 6	上 (凝集) 5 中 (凝集) 25 旧上 (凝集) 70	8 / 9 はくり箇所 中	2 1	接 / 上 15 中 30 旧上 55
	一 方 向	上	9 / 9	3 0	ス / 接 15 接 / 上 70 上 (凝集) 15	9 / 9	3 5	ス / 接 5 接 / 上 20 上 20 旧上 10 旧上 / 旧中 45
		中 / 上	8 / 9 中 / 旧上	3 2	中 / 旧上 95 上 (凝集) 5	8 / 9 はくり箇所 中	1 7	中 30 中 / 旧上 70
		下 / 中 / 上	9 / 9	1 9	接 / 上 5 上 (凝集) 5 中 (凝集) 35 旧上 (凝集) 55	9 / 9	2 0	接 / 上 25 中 40 旧上 35
	二 方 向	上	9 / 9	2 7	ス / 接 10 接 / 上 70 旧上 (凝集) 20	9 / 9	3 4	ス / 接 5 接 / 上 50 上 45
		中 / 上	9 / 9	1 0	中 (凝集) 75 旧上 (凝集) 25	9 / 9	2 2	中 70 旧上 10 旧上 / 旧中 20
		下 / 中 / 上	9 / 9	1 0	中 (凝集) 50 旧上 (凝集) 50	9 / 9	2 2	接 / 上 5 中 70 中 / 下 5 旧上 20

表-3.11(2) 塗り重ね性試験 (初期暴露6ヶ月)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
シリコン アール キッド	無 処 理	上	8 / 9 旧下 / プ	2 2	ス / 接 25 接 / 上 40 上 / 旧上 30 下 (凝集) 5	6 / 9 はくり箇所 上 / 旧上	5 0	接 / 上 75 上 / 旧上 25
		中 / 上	8 / 9 旧下 / プ	3 5	ス / 接 50 接 (凝集) 45 中 (凝集) 5	9 / 9	6 5	接 / 上 55 旧上 / 旧中 40 上 5
		下 / 中 / 上	8 / 9 旧下 / プ	2 2	接 (凝集) 60 接 / 上 15 下 (凝集) 25	9 / 9	4 0	接 / 上 35 中 15 下 35 下 / 下 15
	一 方 向	上	9 / 9	2 5	接 (凝集) 35 接 / 上 25 上 (凝集) 40	9 / 9	4 1	接 / 上 85 旧上 10 旧下 5
		中 / 上	8 / 9 旧下 / プ	1 6	上 (凝集) 30 中 (凝集) 70	9 / 9	4 9	接 / 上 25 上 20 中 55
		下 / 中 / 上	9 / 9	4 0	上 (凝集) 35 中 (凝集) 50 下 (凝集) 15	8 / 9 はくり箇所 旧下	7 0	接 / 上 30 中 25 下 45
	二 方 向	上	8 / 9 旧下 / プ	7 0	ス / 接 10 接 / 上 15 上 (凝集) 75	8 / 9 はくり箇所 旧下	5 0	接 / 上 90 上 5 旧下 5
		中 / 上	9 / 9	4 2	上 (凝集) 45 中 (凝集) 55	9 / 9	3 1	接 / 上 50 上 10 中 40
		下 / 中 / 上	8 / 9 旧下 / プ	3 0	上 (凝集) 55 中 (凝集) 25 下 (凝集) 20	9 / 9	4 8	接 / 上 20 中 20 下 60

表-3.11(3) 塗り重ね性試験 (初期暴露6ヶ月)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ふ っ 素	無 処 理	上	9 / 9	2 7	ス / 接 20 接 (凝集) 75 接 / 上 5	9 / 9	3 7	ス / 接 60 接 15 接 / 上 25
		中 / 上	9 / 9	4 0	接 (凝集) 70 接 / 上 30	9 / 9	4 8	ス / 接 10 接 / 上 50 中 / 旧上 15 旧上 25
		下 / 中 / 上	0 / 9 中 / 下	9	中 / 下 100	1 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 5	中 / 下 100
	方 向	上	9 / 9	5 4	接 (凝集) 60 接 / 上 40	9 / 9	4 8	接 / 上 95 上 5
		中 / 上	9 / 9	3 7	ス / 接 10 接 (凝集) 20 接 / 上 55 中 / 旧上 15	9 / 9	7 0	ス / 接 10 接 / 上 65 上 15 中 / 上 10
		下 / 中 / 上	0 / 9 中 / 下	1 0	中 / 下 100	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 5	中 / 下 100
	二 方 向	上	9 / 9	3 8	接 (凝集) 70 接 / 上 30	9 / 9	4 1	ス / 接 25 接 15 接 / 上 55 上 5
		中 / 上	9 / 9	6 3	接 (凝集) 15 接 / 上 45 中 / 旧上 40	9 / 9	5 0	ス / 接 15 接 / 上 80 上 5
		下 / 中 / 上	0 / 9 中 / 下	1 1	中 / 下 100	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 8	中 / 下 100

表-3. 12(1) 塗り重ね性試験 (初期暴露1年)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力		
			ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ア ク リ ル シ リ コ ン	無 処 理	上	9 / 9	1 5	ス / 接 75 接 25	9 / 9	1 5	ス / 接 40 接 / 上 45 上 / 旧上 10 旧上 5
		中 / 上	9 / 9	2 0	ス / 接 97 接 3	9 / 9	2 6	接 / 上 45 上 5 旧中 45 旧上 5
		下 / 中 / 上	9 / 9	2 5	ス / 接 87 接 / 上 3 旧 / 上 10	9 / 9	2 3	接 / 上 15 上 5 旧上 80
	一 方 向	上	9 / 9	2 0	ス / 接 90 接 5 接 / 上 5	9 / 9	2 5	接 / 上 82 上 3 旧上 10 上 / 中 5
		中 / 上	9 / 9	3 4	ス / 接 3 接 / 上 72 旧 / 上 25	9 / 9	2 6	接 / 上 60 上 10 旧上 30
		下 / 中 / 上	9 / 9	2 0	接 / 上 70 旧上 30	9 / 9	2 0	ス / 接 15 接 / 上 30 上 10 旧上 45
	二 方 向	上	9 / 9	3 3	ス / 接 25 接 / 上 70 旧上 5	9 / 9	3 0	接 / 上 85 旧上 15
		中 / 上	9 / 9	3 7	ス / 接 90 接 5 接 / 上 5	9 / 9	4 5	接 / 上 50 上 3 旧上 47
		下 / 中 / 上	9 / 9	1 5	ス / 接 5 接 / 上 75 旧上 20	9 / 9	2 6	ス / 接 15 接 / 上 10 上 5 旧上 70

表-3.12(2) 塗り重ね性試験 (初期暴露1年)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力		
			ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごばん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
シリコンアールキッド	無処理	上	8/9 はくり箇所 下/素地	25	ス/接 15 接 55 接/上 20 上/旧上 10	9/9	20	ス/接 10 接 3 接上 67 上/旧上 20
		中/上	9/9	20	ス/接 5 接 55 接/上 15 上 20 中 5	9/9	61	接/上 30 上/中 57 中 10 旧下 3
		下/中/上	8/9 はくり箇所 下/素地	10	ス/接 60 接 40	9/9	43	下 90 下/旧下 10
	一方向	上	9/9	56	ス/接 55 接 15 接/上 15 上 15	9/9	15	ス/接 20 上 45 上/旧上 25 接上 10
		中/上	9/9	35	ス/接 75 接 5 接/上 15 上 5	9/9	43	ス/接 5 上 10 中 20 上/中 5 旧下 3 接上 57
		下/中/上	9/9	34	ス/接 20 接 15 接/上 20 上下 40 5	9/9	60	上 3 上/中 3 下 94
	二方向	上	9/9	23	ス/接 25 接 75	9/9	15	ス/接 40 上 30 上/旧上 10 旧上/旧中 10 接上 10
		中/上	9/9	20	ス/接 20 接 50 接/上 20 上 10	9/9	55	ス/接 5 接/上 52 上 20 中 20 旧下 3
		下/中/上	8/9 はくり箇所 下/素地	25	ス/接 30 接 20 接/上 15 上 10 下 20 上/中 5	9/9	24	ス/接 3 接上 5 下 92

表-3. 12(3) 塗り重ね性試験 (初期暴露1年)

塗装仕様	下地処理	塗り重ね	7 日 後 の 付 着 力			1 ヶ 月 後 の 付 着 力		
			ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)	ごぼん目 5mm, 9 升	付着力 kgf/cm ²	はくり箇所 (%)
ふ っ 素	無 処 理	上	9 / 9	6 2	接 接 / 上 上 80 15 5	9 / 9	2 7	ス / 接 接 接上 10 65 25
		中 / 上	9 / 9	4 7	ス / 接 接 接 / 上 上 15 25 10 50	9 / 9	5 2	ス / 接 接 70 30
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 0	ス / 接 中 / 下 40 60	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 2	中 / 下 100
	一 方 向	上	9 / 9	4 6	ス / 接 接 接 / 上 上 20 72 5 3	9 / 9	2 5	ス / 接 接 接上 30 50 20
		中 / 上	9 / 9	3 3	ス / 接 接 上 20 40 40	9 / 9	3 2	ス / 接 接 接上 上 / 中 20 10 37 30 3
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 0	ス / 接 中 / 下 55 45	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	8	中 / 下 100
	二 方 向	上	9 / 9	3 3	ス / 接 接 接 / 上 20 70 10	9 / 9	3 5	ス / 接 接 40 60
		中 / 上	9 / 9	2 5	ス / 接 接 接上 90 5 5	9 / 9	5 7	ス / 接 接 接上 旧上 20 30 25 25
		下 / 中 / 上	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 2	中 / 下 100	0 / 9 はくり箇所 中 / 下	1 0	中 / 下 下 97 3

(1) アクリルシリコン樹脂塗料

上塗りのみの塗り重ねは、14日以上経過した塗り重ねであれば下地処理方法の差はほとんどなかった。

中塗りからの塗り重ねは、1年以内の塗り重ねであればほぼ良好であった。下地処理はサンドペーパー掛け2方向が最も良好であった。

下塗りからの塗り重ねも、1年以内の塗り重ねであればほぼ良好であった。下地処理はサンドペーパー掛けが無処理よりやや良好であった。

(2) シリコンアルキド樹脂塗料

上塗りのみの塗り重ねは、14日以上経過した塗り重ねであれば下地処理がサンドペーパー掛け1及び2方向が良好であった。

中塗りからの塗り重ねは、1ヶ月以上経過した塗り重ねであればほぼ良好であった。下地処理はサンドペーパー掛け2方向が最も良好であった。

下塗りからの塗り重ねも、1ヶ月以上経過した塗り重ねであればほぼ良好であった。下地処理方法の差はほとんどなかった。

(3) ふっ素樹脂塗料

上塗りのみの塗り重ねは、1年以内の塗り重ねであればほぼ良好であった。下地処理方法の差はほとんどなかった。

中塗りからの塗り重ねは、1年以内の塗り重ねであればほぼ良好であった。下地処理は7日目の塗り重ねではサンドペーパー掛け2方向のみが良好であった。

下塗りからの塗り重ねは、1年以内の塗り重ねはいずれの下地処理を行っても良好な結果は得られなかった。

3.3 まとめ

(1) アクリルシリコン樹脂塗料

5℃以下での塗装は適さない。

塗り重ねは、14日以上経過していればサンドペーパー掛けすれば良い。

(2) シリコンアルキド樹脂塗料

塗装温度条件に関係なく塗膜の乾燥性はやや遅いことが分かった。なお、0℃以下での塗装は適さない。

塗り重ねは、上塗りのみは14日以上経過していればサンドペーパー掛けで、1ヶ月以上経過していれば中塗りからではサンドペーパー掛け2方向、下塗りからでは無処理でも良い。

(3) ふっ素樹脂塗料

5℃以下での塗装に適さない。

塗り重ねは、上塗りのみは無処理でも、中塗りからはサンドペーパー掛け2方向で良い。

(4) ポリウレタン

ふっ素樹脂塗料やシリコン樹脂塗料に比べ低温乾燥性に優れている。

また、いずれの塗料も低温で塗装しても光沢保持率は良好であった。

4. ま と め

〔高性能防錆材料〕

ガラスフレーク塗料の最も有効な品質性能を示す組成は以下の通りであることが明らかとなった。

- (1)ガラスフレークの形状：150 μm
- (2)ガラスフレークの含有量：20～25%
- (3)ガラスフレークの表面処理：シランカップリング処理
- (4)ビヒクル：エポキシ樹脂
- (5)膜厚：400 μm
- (6)プライマー：ジンクリッチプライマー
- (7)部分補修：エポキシ樹脂ガラスフレーク塗料400 μm または、超厚膜型エポキシ樹脂塗料1000 μm

高耐候性塗料〕

ふっ素樹脂塗料及びシリコン樹脂塗料の低温乾燥性及び塗り重ね性について、以下のことが明らかとなった。

(1)低温乾燥性

ふっ素樹脂塗料及びアクリルシリコン樹脂塗料は5℃以下、シリコンアルキド樹脂塗料は0℃以下での塗装に適さない。

(2)塗り重ね性

- ・ふっ素樹脂塗料は、上塗りのみは無処理でも、中塗りからはサンドペーパー掛け2方向で良い。
- ・アクリルシリコン樹脂塗料は、14日以上経過していれば、サンドペーパー掛けすれば良い。
- ・シリコンアルキド樹脂塗料は、上塗りのみは14日以上経過していれば、サンドペーパー掛けで、1ヶ月以上経過していれば、中塗りからはサンドペーパー掛け2方向、下塗りからでは、無処理でも良い。

5. 今後の課題

〔高性能防錆材料〕

高性能防錆材料であるガラスフレーク塗料を海上部などの厳しい腐食環境や、大規模橋梁の塗り替え困難な部位への適用をはかるためには、優れた防錆性能を十分に発揮させることのできる施工方法の確立が重要である。また、このように長期間にわたって防錆力を維持する高性能防錆材料の実構造物における劣化の判定方法並びに塗り替え方法に関する技術開発が望まれる。

〔高耐候性塗料〕

高耐候性塗料であるふっ素樹脂塗料やシリコン樹脂塗料の低温乾燥後の長期にわたる耐候性や、旧塗膜の処理が十分でなかった場合の長期間暴露後の性能について確認することが望まれる。

あ と ぐ き

本報告書に示した各種試験調査の結果、ガラスフレーク塗料の実用性並びにふっ素樹脂塗料、シリコン樹脂塗料の施工上の基本的な問題点が解明された。

今後、厳しい腐食環境に架設される大規模橋梁や、橋梁の塗替え困難な部位の防錆材料としてガラスフレーク塗料が積極的に適用され、鋼材の防食メンテナンスの軽減がはかられることを期待する。

また、橋梁の周辺環境ないし景観との調和を求める機運が高まるにつれ、長期間の耐候性を有するふっ素樹脂塗料やシリコン樹脂塗料の適用が広がると思われるが、これらの塗料は適切な施工条件を満足して塗装され、その性能が十分に発揮されることを期待する。

最後に、本試験の実施に当たり多大なるご協力いただきました（財）土木研究センター 森芳徳氏、杉田好春氏、大日本塗料（株）半田雅紀氏、関西ペイント（株）飯田真司氏、日本ペイント（株）安井正宏氏、石川島検査計測（株）土田豊二氏、遠藤和雄氏、並びに付着力耐久性試験の繰り返し疲労試験条件のご教示をいただきました石川島播磨重工業（株）田中通夫氏に深甚なる感謝の意を表する次第です。

要 旨

湾岸道路等、大規模事業で計画されている橋梁は、交通量が多くしかも工業地域を通過するので汚染大気や排ガスの影響を受けるとともに潮風の影響も受ける非常に苛酷な腐食環境に予定されている。このような苛酷な腐食環境に適した塗装材料等防錆技術を確立することが急務となっている。

本報告は、このような苛酷な腐食環境に架設が予定されている大規模橋梁の鋼上部構の高性能防錆材料として、ガラスフレーク塗料の防食性能等に関して行った試験結果及び近年開発された耐候性に優れたふっ素樹脂塗料、シリコン樹脂塗料の施工性に関して行った試験結果をとりまとめたものである。

キーワード：大規模橋梁、ガラスフレーク塗料、ふっ素樹脂塗料、シリコン樹脂塗料、防食性能、施工性

郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
化学研究室
御中

No. 1

No. 1

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2945号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

