

高耐久性被覆材料の利用技術の開発
に関する共同研究報告書

平成12年12月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

アクリルシリコン会
旭硝子株式会社
関西ペイント株式会社
大日本塗料株式会社
日本ペイント株式会社

Copyright © (2000) 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。

高耐久性被覆材料の利用技術の開発 に関する共同研究報告書

建設省土木研究所	材料施工部化学研究室	室長	明嵐	政司
	化学研究室	主任研究員	守屋	進
	化学研究室	主任研究員	西崎	到
元	化学研究室	室長	片脇	清
元	化学研究室	研究員	寺田	剛
	アクリルシリコン会		齊藤	誠
	アクリルシリコン会		安藤	直民
	アクリルシリコン会		山本	史夫
	旭硝子株式会社		高柳	敬志
	関西ペイント株式会社		中家	俊和
	大日本塗料株式会社		多記	徹
	日本ペイント株式会社		安井	正宏

要 旨

本共同研究は、耐久性・機能性に優れた被覆材料の開発、その利用技術及び評価技術の確立を目指して、平成元年度から平成4年度にかけて、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」の一環として実施された。本共同研究では、ふっ素樹脂系及びシリコン系を中心とした塗膜を用い、塗膜の色彩保持性能、耐汚れ性能、上塗りの耐候性、鋼材保護性能、コンクリート保護性能の5つの性能について研究を行った。茨城県つくば市と沖縄県大宜味村の2カ所を中心とした大規模な暴露試験を行うとともに、塗膜の性能に応じた様々な促進劣化試験を行った。共同研究期間は平成4年度で終了したが、その後供試体の暴露試験は継続され、平成12年度に暴露10年目の結果を得た。高耐久性被覆材料の長期にわたる暴露試験結果はこれまで非常に不足していたのが現状である。本報告書ではこのような背景から、これらの高耐久性被覆材料の10年間の暴露試験結果を中心に、これまでの研究成果をとりまとめた結果を報告する。

キーワード：塗料、被覆材、暴露試験、促進試験、耐久性、耐汚染性、耐候性、カラーデザイン

共同研究報告書編集委員（敬称略）

守屋 進	建設省土木研究所 材料施工部化学研究室 主任研究員
西崎 到	建設省土木研究所 材料施工部化学研究室 主任研究員
斉藤 誠	アクリルシリコン会 (中国塗料（株）工業塗料事業本部技術部主務)
安藤 直民	アクリルシリコン会 (鐘淵化学工業（株）液状樹脂事業部技術開発グループ基幹部員)
山本 史夫	アクリルシリコン会 (神東塗料（株）鋼道路事業本部樹脂応用開発部 兼道路施設事業部次長)
高柳 敬志	旭硝子（株）フロロケミカルズ事業部コーティング企画グループ 主幹技師
中家 俊和	関西ペイント（株）船舶・鉄鋼塗料本部第2技術部（東京）課長
多記 徹	大日本塗料（株）技術本部基礎研究第1部チームリーダー副参事研究員
安井 正宏	日本ペイント（株）鉄鋼塗料部技術グループ課長

共同研究担当者名簿（所屬は本研究に関与された当時、敬称略）

研究連絡会	主査	福島 稔	日本ペイント（株）
	副主査	栗山 寛	関西ペイント（株）
		常田 和義	大日本塗料（株）
		森谷 吉久	電気化学工業（株）
		本木 稔	
		加藤 康	
		小林 茂敏	建設省土木研究所
		片脇 清	建設省土木研究所
		寺田 剛	建設省土木研究所
		西崎 到	建設省土木研究所
	事務局	田中 柳之助	(財) 土木研究センター
		森 芳徳	(財) 土木研究センター
		杉田 好春	(財) 土木研究センター
WG 1	主査	福島 稔	日本ペイント（株）
	副主査	速水 久夫	関西ペイント（株）
		服部 禮子	日本ペイント（株）
		常田 和義	大日本塗料（株）
		平松 雄二	日本油脂（株）
		宮崎 伸幸	

		平賀 憲一	関西ペイント (株)
		西崎 到	建設省土木研究所
WG 2	主査	宮田 伸義	関西ペイント (株)
	副主査	神田 三	神東塗料 (株)
		藤田 正敏	関西ペイント (株)
		阿部 正敏	神東塗料 (株)
		高柳 敬志	旭硝子 (株)
		寺田 剛	建設省土木研究所
WG 3	主査	高柳 敬志	旭硝子 (株)
	副主査	宮馬 恒夫	中国塗料 (株)
		安井 正宏	日本ペイント (株)
		斎賀 徹	関西ペイント (株)
		田辺 弘往	大日本塗料 (株)
		永井 昌憲	大日本塗料 (株)
		森谷 吉久	電気化学工業 (株)
		西崎 到	建設省土木研究所
WG 4	主査	常田 和義	大日本塗料 (株)
	副主査	安井 正宏	日本ペイント (株)
		高柳 敬志	旭硝子 (株)
		中田 勝康	日本油脂 (株)
		多記 徹	大日本塗料 (株)
		寺田 剛	建設省土木研究所
WG 5	主査	芦田 公伸	電気化学工業 (株)
	副主査	山本 史夫	神東塗料 (株)
		安井 正宏	日本ペイント (株)
		辻 敏幹	大日本塗料 (株)
		米山 輝	旭硝子 (株)
		寺田 剛	建設省土木研究所

まえがき

建設省では、昭和63年から平成4年にわたり建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」を実施した。この一環として、化学研究室では民間4社・1団体と「高耐久性被覆材料の利用技術の開発に関する共同研究」を実施した。

本共同研究では、高耐久性被覆材料としてふっ素樹脂及びシリコン系樹脂塗料について、その色彩性能、耐汚れ性能、耐候性能、鋼材保護性能およびコンクリート保護性能について研究を実施した。研究の実施にあたっては、5つのワーキンググループを設置して研究を推進した。

共同研究は、平成4年度で終了したがこれら高耐久性被覆材料の長期にわたる耐久性を検証するために、各地で暴露試験は継続した。

本報告書は、10年間にわたるこれら高耐久性被覆材料の暴露試験結果をとりまとめたものである。本成果が橋梁や河川施設などの社会資本の耐久性を向上させるとともに新たな付加価値を付与するために適用されることを期待するものである。

まえがき

第1編 共同研究の概要	1
1. 共同研究の目的と経緯	1
2. 共同研究体制	1
3. 研究内容	1
3. 1 研究方法	2
3. 1. 1 暴露試験	2
3. 1. 2 促進試験	2
3. 2 調査方法	5
3. 2. 1 光学的調査方法	5
4. 研究成果の概要	6
4. 1 WG 1	6
4. 2 WG 2	6
4. 3 WG 3	7
4. 4 WG 4	7
4. 5 WG 5	8
第2編 ワーキンググループの研究結果	9
1. 色彩に優れた被覆材料に関する研究－カラーデザイナー（WG 1）	9
1. 1 研究の目的	9
1. 2 研究の方法	9
1. 2. 1 研究の経過	9
1. 2. 2 試験方法	9
1. 3 研究結果	13
1. 3. 1 暴露試験結果	13
1. 3. 2 促進耐候性試験結果	19
1. 4 まとめ	22
2. 耐汚染性被覆材料に関する研究（WG 2）	27
2. 1 研究の目的	27
2. 2 研究の方法	27
2. 2. 1 研究の経過	27
2. 2. 2 研究の方法	28

2. 3 研究結果	29
2. 3. 1 現状調査結果	29
2. 3. 2 汚れ評価方法の検討	30
2. 3. 3 色彩と汚れ	33
2. 3. 4 促進汚染試験方法の検討	35
2. 3. 5 暴露試験結果	35
2. 4 まとめ	42
2. 5 高耐久性被覆材料の試験施工	43
2. 5. 1 土木研究所構内横断橋への施工	43
2. 5. 2 試験施工塗装区分	43
2. 5. 3 試験施工塗装仕様	44
2. 5. 4 試験施工結果	45
2. 5. 5 追跡踏査	45
2. 5. 6 試験施工まとめ	49
3. 1 トップコートの耐候性に関する研究 (WG 3)	50
3. 1 研究の目的	50
3. 2 研究方法	50
3. 2. 1 促進耐候試験	50
3. 2. 2 暴露試験	52
3. 2. 3 評価方法	52
3. 2. 4 供試塗料	54
3. 3 研究結果	56
3. 3. 1 促進耐候性試験結果	56
3. 3. 2 暴露試験結果	62
3. 4 まとめ	67
4. 鋼材保護性能に関する研究 (WG 4)	127
4. 1 研究の目的	127
4. 1. 1 研究の経緯	127
4. 1. 2 研究の目的	127
4. 1. 3 研究計画の詳細	127
4. 2 現状調査	129
4. 2. 1 調査の目的	129
4. 2. 2 調査の概要	129

4. 2. 3 調査結果	129
4. 3 研究方法	135
4. 3. 1 暴露試験	135
4. 3. 2 腐食促進試験（その1）	168
4. 3. 3 腐食促進試験（その2）	173
4. 4 まとめ	190
4. 4. 1 腐食促進試験	190
4. 4. 2 暴露試験	190
5. コンクリート保護に関する研究	193
5. 1 研究の目的	193
5. 2 研究の方法	193
5. 2. 1 長期屋外暴露試験	194
5. 2. 2 屋内促進試験	196
5. 2. 3 高耐久性被覆材料の実構造物への試験施工	198
5. 3 研究結果	206
5. 3. 1 長期屋外暴露試験結果	206
5. 3. 2 屋内促進試験結果	242
5. 3. 3 実構造物への試験施工結果	253
5. 4 まとめ	258
あとがき	267

第1編 共同研究の概要

1. 共同研究の目的と経緯

高耐久性被覆材料の利用技術の開発に関する共同研究（以下、本共同研究）の目的は、耐久性・機能性に優れた被覆材料の開発、その利用技術及び評価技術の確立することである。本共同研究は、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」（昭和63年度～平成4年度）の一環として提案され、民間4社1団体の応募を得て、平成元年度から平成4年度にかけて実施された。応募した5社・団体は、アクリルシリコン会、旭硝子（株）、関西ペイント（株）、大日本塗料（株）、日本ペイント（株）である。

本共同研究では、ふっ素樹脂系及びシリコン系を中心とした塗膜を用い、塗膜の色彩性能、耐汚れ性能、上塗りの耐候性、鋼材保護性能、コンクリート保護性能の5つの性能について研究を行った。茨城県つくば市と沖縄県大宜味村の2カ所を中心とした大規模な暴露試験を行うとともに、塗膜の性能に応じた様々な促進劣化試験を行った。共同研究期間は平成4年度で終了し、本共同研究の成果は、平成3年3月に内部向けの中間的な報告書としてまとめられた他は、建設省技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」報告書（平成6年、建設省）としてまとめられた。しかし、これらの報告書は内部向けのものであり、広く一般に成果が公表されたものとはなっていなかった。

また、平成4年度に共同研究は終了したものの、その後供試体の暴露試験は継続され、平成12年度に暴露10年目を迎えた。高耐久性被覆材料の長期にわたる暴露試験結果はこれまで非常に不足していたのが現状であるので、この機会に当時の共同研究担当者たちが集まり、暴露10年目の試験片のデータ測定を行った。

本報告書はこのような背景から、高耐久性被覆材料の10年間の暴露試験結果を中心に、これまでの研究成果を再度とりまとめ、結果を公表することとすることとなったものである。

2. 共同研究体制

共同研究の実施に当たり、5つの研究項目それぞれについて研究を分担するワーキンググループ（WG）を作り、各WGが研究を推進した。各WG間の情報交換・連絡調整のために、「研究連絡会」を作り、本共同研究の円滑な推進に努めた。WGは以下の通りである。

- (1) WG1：色彩に優れた被覆材料に関する研究
- (2) WG2：耐汚染性被覆材料に関する研究
- (3) WG3：上塗り塗膜の耐候性に関する研究
- (4) WG4：被覆材料の鋼材保護性能に関する研究
- (5) WG5：被覆材料のコンクリート保護性能に関する研究

3. 研究内容

研究内容の詳細については、第2編に各WG毎に記載するが、本共同研究では茨城県つくば市と沖縄県大宜味村の2カ所における暴露試験を中心に研究を進めた。本節ではこれらの暴露試験をはじめとする、各WGに共通する試験の概要と、調査・試験方法について記載する。これらの試験内容については、各WG毎に

さらに詳細な条件設定を行ったり、追加・一部変更している部分がある。

3. 1 研究方法

3. 1. 1 暴露試験

暴露試験は、実際の自然環境を利用するため、被覆材料の耐候性を試験するためには信頼性が高い方法である。一方で、劣化速度が比較的遅いため、劣化状況に差が認められるまでに長時間を要する。このため、本共同研究では標準的な環境とともに、紫外線が強く、気温が高く、海の塩分の影響を強く受ける、厳しい環境での暴露試験を平行して実施することとした。標準的な環境での暴露試験は、茨城県つくば市の建設省土木研究所構内で実施し、厳しい環境での暴露試験は沖縄開発庁の協力を得て、沖縄県大宜味村で実施した。

(1) つくば暴露場

つくばにおける暴露試験は、建設省土木研究所構内の建設材料研究施設（茨城県つくば市西沢）において行った。暴露架台は芝生上に設置し、試験片の高さは地表面より800mm以上とした。暴露角度はJIS K 5400-1990「塗料一般試験方法」の9.9耐候性に従い、 30° （緯度よりも 5° 小さい角度）とした。架台の向きは原則として南向きとした。

(2) 沖縄暴露場

沖縄における暴露試験は、国道58号線沿いの旧道を利用した、沖縄開発庁の沖縄建設材料研究施設（沖縄県大宜味村字津波）において行った。つくば暴露場では架台は芝生上に置かれたが、沖縄ではアスファルト舗装面上に設置した。暴露角度について、JIS K 5400-1990「塗料一般試験方法」の9.9耐候性の「緯度よりも 5° 小さい角度」とすることとし、 28° とした。架台の向きは原則として南向きとした。

3. 1. 2 促進劣化試験

(1) サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験（SWMと略記する）

JIS B 7753に規定される試験機により、JIS K 5400 9.8.1の条件に従って実施した。

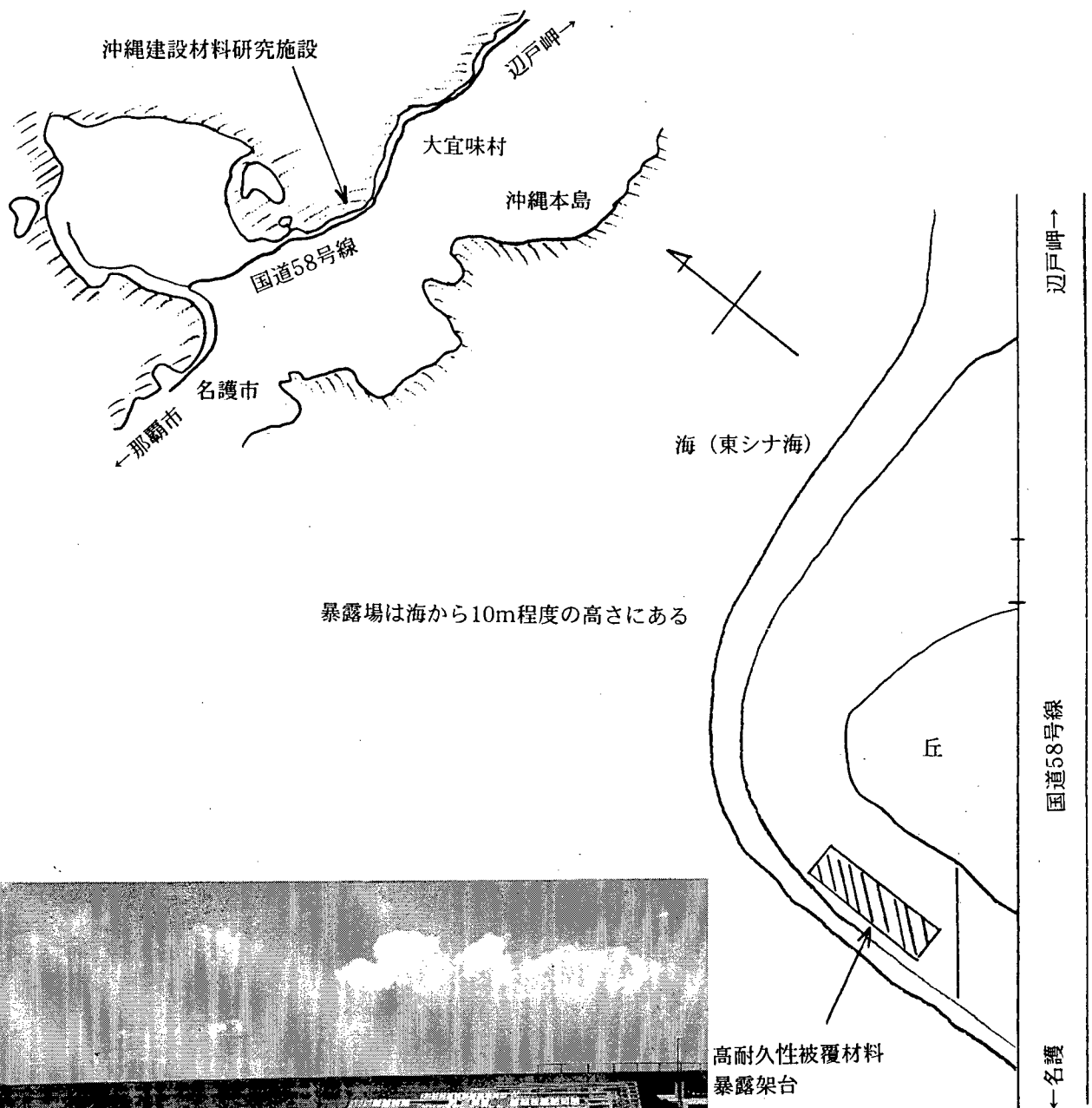
(2) キセノンアーク灯式耐候性試験（XWMと略記する）

JIS B 7754に規定される試験機により、JIS K 5400 9.8.2の条件に従って実施した。

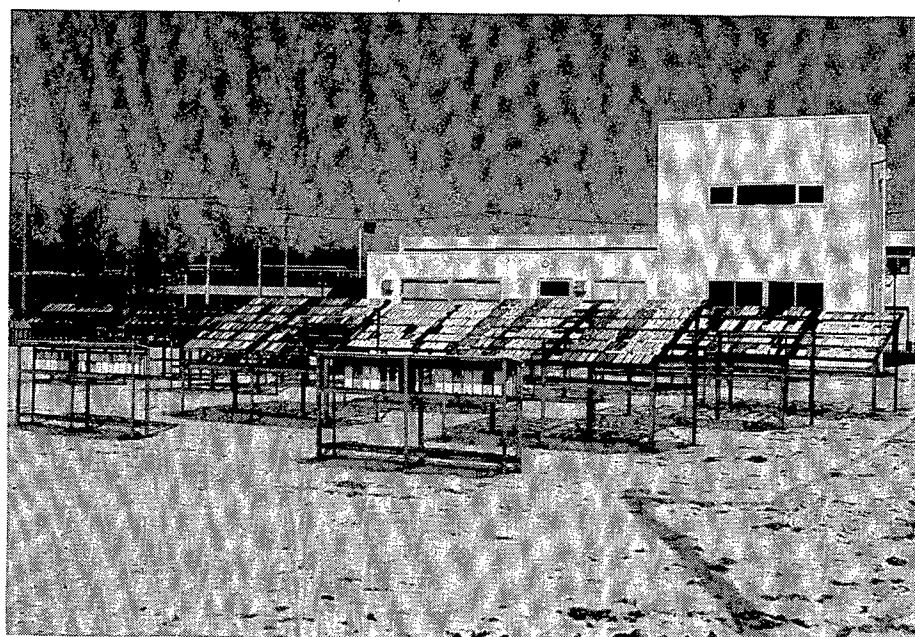
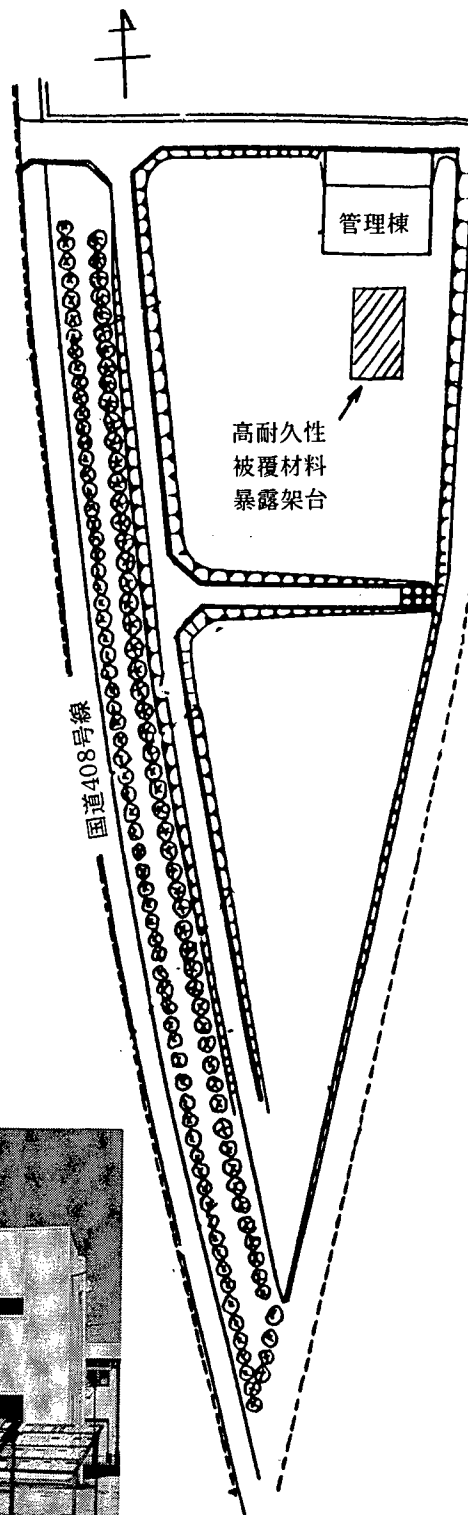
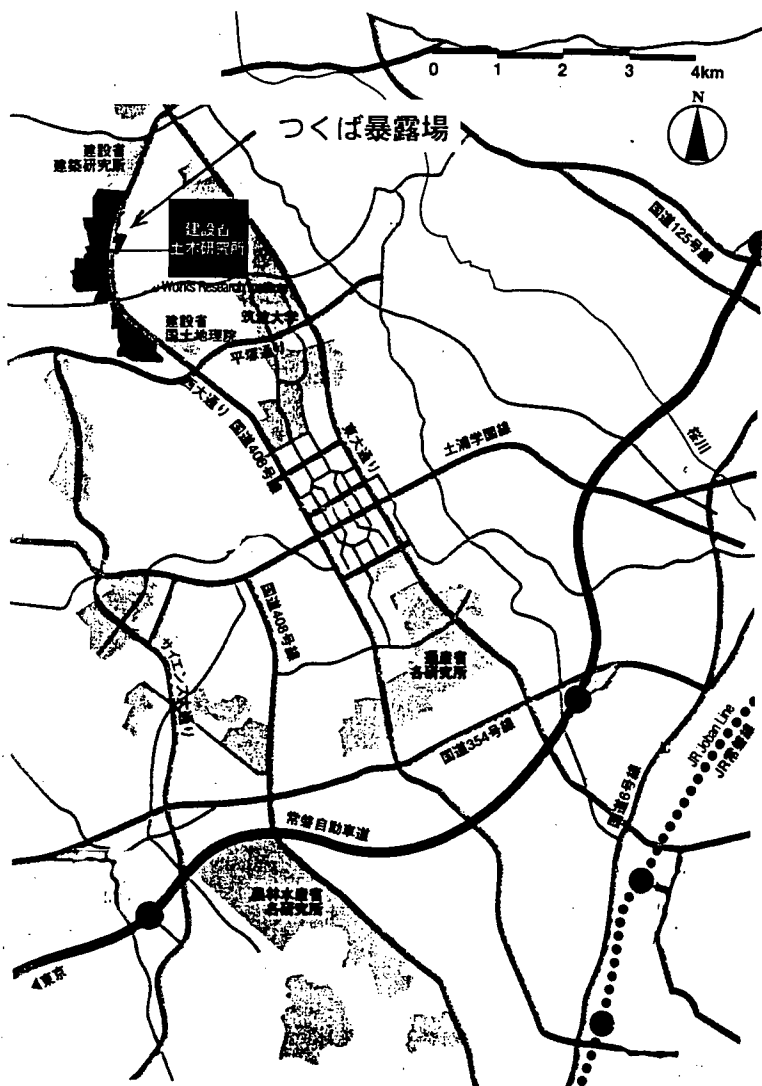
(3) 紫外線蛍光ランプ式耐候性試験機（QUVと略記する）

紫外線蛍光灯の照射と暗黒（消灯）湿潤のサイクル試験である。試験機の規格は見あたらないが、JIS D 0205, ASTM G53などで試験方法として記述されている。本共同研究に於いては下記の運転条件により試験を実施した。

照射	70℃8時間
暗黒湿潤	50℃4時間



沖縄暴露場



つくば暴露場

3. 2 調査方法

3. 2. 1 光学的調査方法

光沢値は60° 光沢計を用いて測定した。光沢保持率は暴露試験前の初期光沢値に対する暴露試験片の測定値である。

$$\text{光沢保持率 (\%)} = \text{暴露試験後の試験片の光沢値} / \text{暴露試験前の初期光沢値}$$

色差は色彩色差計により、 L^* , a^* , b^* を測定し、保管用試験片（又は同じ試験片の暴露前の初期測定値）の測定値（ L_0^* , a_0^* , b_0^* ）から色差 ΔE_{ab}^* を得た。

$$\text{色差: } \Delta E_{ab}^* = \{ (L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 \}^{1/2}$$

なお、以下の本報告書では ΔE_{ab}^* と記さず、 ΔE^* あるいは ΔE と省略して記述する。

また、初期値については、暴露試験開始前に測定したデータを用いる場合と、暴露試験に供する試験片と同時に作成した保管用の試験片を、暴露片中の試験片の調査時に同様の条件下で測定を行う場合がある。

4. 研究成果の概要

4. 1 WG 1

カラーデザインの現状を把握するために海外（ヨーロッパ）での橋梁の色彩調査を実施し、国内では土木構造物の色彩に関する嗜好調査を実施した。この結果、環境と調和した色彩を望む声が多く、明るい冴えた色彩が好まれていることが分かった。

この結果を基に提案された13色と、当時採用されていた4色の計17色について、耐候性試験が行った。上塗り塗料はポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料、シリコンウレタン樹脂塗料の3種類とし、つくば、沖縄における暴露試験（最長10年間）と、SWM, QUV（最長2000時間）が行われた。

10年間の暴露試験の結果、ふっ素樹脂塗料の変退色が少なく、シリコンウレタン樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料の順で大きくなった。どの樹脂系でも色差（ ΔE ）は赤色系、黄緑色で比較的大きな値を示し、淡彩の灰・青・緑の各色、耐候性の優れた顔料が使われたと考えられる褐色・茶色では、ポリウレタン樹脂塗料でも変色は少なかった。光沢保持率では、ふっ素樹脂系塗料はつくばで50%程度（水洗後）と優れていたが、沖縄では10%以下と低い値を示した。

促進劣化試験では塗料種類毎には暴露試験との順位相関が認められたが、樹脂の種類による差が大きかった。このため従来塗料との倍率による寿命予測は困難であった。

4. 2 WG 2

（1）汚れの実態調査

汚れ物質を分析した結果、自動車排気ガスやコンクリートに由来する成分が多く検出された。東京都内の交通量が多い場所に堆積している汚れは親油性成分が28%含まれていた。

（2）汚れの評価方法

試験板を色彩色差計で測色し、標準板または水洗いして汚れていない場所との明度差 ΔL^* を調べる方法が、目視評価と強い相関性が認められた。目視評価で汚れていると感じるのは、明度差 ΔL^* で-10以下の場合であった。汚れが目立つのは明度値が高い色彩であることが分かった。

（3）暴露試験

環境が異なる4地域（つくば、沖縄、東京、静岡）で暴露試験を行った。耐候性を評価するには沖縄が最も厳しく、東京、藤枝、つくばは耐候性に関しては同等に穏やかな環境であった。汚れ易さについては、東京暴露場の汚れが最も著しく、明度差 ΔL^* が-30以下になる塗料もあった。つくばと藤枝は汚れ易さに関して同程度であり、東京暴露場の1/2程度であった。沖縄は汚れにくく明度差 ΔL^* が-2程度で、官能的に汚れを感じない程度であった。

共同研究期間（平成元年から4年）の市販および開発品の耐汚れ性は、汚れが目立たないとする明度差 ΔL^* が-7以上を示すものではなく、比較的強く汚れていると感じる明度差 ΔL^* が-20以下のレベルであった。シリコン変性アクリルの方がふっ素樹脂塗料よりも多少汚れにくかった。ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料とも2年後をピークに、その後は汚れが減少した。2年後の光沢保持率は80%以上あり、塗膜表面が健全で親油性の汚れが付着しやすい状態にある。その後、徐々に塗膜表面が親水化するため汚れが減少する。一方、ポリウレタン樹脂塗料は1年後をピークに2年後から汚れは回復した。ポリウレタン樹脂塗料の耐候性はふっ素樹脂塗料よりも劣るため、ピークが速く現れる。

4. 3 WG 3

トップコート用の被覆材料について、促進試験と暴露試験を中心に、耐候性に関する試験を行い、耐候性の良い材料やそれらの評価方法についての検討を行うとともに、高耐久性被覆材料の耐久性（耐候性）試験方法をまとめることを目的に研究を行い、以下の研究結果を得た。

- ① 促進耐候試験での光沢保持性は、SWM、QUV、XWMのいずれでも、ふっ素樹脂塗料が優れていた。
- ② SWMの噴霧液中に含まれるシリカが試験片の塗膜表面に付着すると、光沢に影響を与えることが認められた。噴霧液に使用する水にシリカ含有量の規定を設けることが必要であった。
- ③ 電子顕微鏡（SEM）による塗膜表面の観察により、表面劣化を評価できることがわかった。また、SEMで観察された表面劣化は光沢値の低下よりも早期に起こるものと推定された。
- ④ 沖縄暴露では、暴露2年後まではふっ素樹脂塗料の光沢保持性がシリコン変性アクリル樹脂塗料、アクリルウレタン樹脂塗料に比べて優れていたが、それ以降は塗料間の差は認められなかった。
- ⑤ つくば、及び北海道暴露では、暴露10年後でもふっ素樹脂塗料（ふっ素系）の光沢保持性がシリコン変性アクリル樹脂塗料（シリコン系）、アクリルウレタン樹脂塗料よりも優れていた。
- ⑥ つくば暴露の結果と促進耐候性試験（SWM、QUV、XWM）の結果の関係は相関が認められたが、沖縄暴露と促進耐候性試験の結果の間には相関はなかった。
- ⑦ 耐候性に関しては、北海道、及びつくば暴露に比べて沖縄暴露が最も厳しい環境であった。沖縄の暴露環境は、湿潤、結露、温度（試験片の基材温度）などの影響により塗膜表面の劣化を促進させるものと推測された。

4. 4 WG 4

（1）腐食促進試験法

評価法に関する従来の方法を調べるために文献調査を行った。その結果、100 μ m程度の自動車用塗膜に関するサイクル試験がいくつか見られたが、本研究の1000~2500 μ mを対象としたサイクル腐食試験の例は見られなかった。そこで、このような超厚膜形塗装系に最も効果的な劣化要因、インターバルを調べるため、第1段階として、塩水噴霧、温度勾配浸漬、塩水浸漬、湿潤の各劣化促進要因と乾燥のサイクル試験を実施した。その結果、温度勾配／乾燥で異状が認められたが、この方法も標準のエポキシ塗装系よりも超厚膜形エポキシの方が悪くなるなど、暴露試験と相関性が低かった。

このため第2段階として、このタイプの塗膜の防食機能はエポキシ塗膜の腐食性物質遮断性とジンクリッチペイントの犠牲防食作用であることに着目し、薄膜で塩水噴霧試験により評価する促進評価方法を検討した。沖縄暴露の結果と塩水噴霧の結果に相関性が認められることから、本法がジンクリッチペイント～エポキシ系の促進評価方法として使える可能性がある。

（2）暴露試験

つくばと沖縄で暴露試験を実施した。新設塗装系では9年間の暴露でも油性～フタル酸、油性～塩化ゴム系の系以外はほとんど異状は認められなかったが、さび面に塗装した塗替塗装系では素地調整の条件を厳しかったため、厳しい劣化を示した。このような厳しい条件でも膜厚を500 μ m以上とすれば（変性エポキシ～超厚膜形エポキシ）良い結果が得られ、悪素地でも厚膜とすることの有効性が確認できた。

また塗膜に傷が入った場合には、100 μ m以上の超厚膜形エポキシ1回塗りでは塗膜硬化後の内部応力残留により傷部から塗膜剥離が起こる可能性があるため、300~500 μ m程度で塗装回数を増やす方が有効で

あるとの結果を得た。

4. 5 WG5

コンクリート表面への被覆はコンクリートの耐久性向上に効果があるが、利点はそれにとどまらず、美観向上や防汚など、さらに多くの効果が期待できる。本WGでは高耐久性被覆材料によるコンクリート被覆について検討し、以下の結果を得た。

(1) 塩害等に対する保護機能のシステムについて

無被覆のコンクリート試験体は2年後に下面の鉄筋に沿って幅0.1mm長さ500mmのひび割れが発生し、経時とともに更に劣化が進行し、9年後には幅1.0mm長さ750mmに拡大していた。

これに対し当初より被覆したコンクリート試験体では試験体両サイドの無被覆箇所にも0.1～0.3mmのひび割れが入っているが、ほとんどの試験体で塩害が拡大しないよう保護機能が発揮されており、試験体にもひび割れが生じているのを抑えていた。従って、初期段階から被覆していれば、道路橋の塩害対策指針案A種60 μ m硬質ポリウレタンシステムでも、鉄筋腐食からのひび割れ防止等の塩害対策としての効果があることが確認された。

(2) 促進耐候性試験と屋外暴露試験結果との相関性について

①促進耐候性試験とつくば、沖縄での屋外暴露試験水洗後の光沢保持率を比較すると、硬質形については耐久性として順位をつけると促進耐候性・屋外暴露試験ともにふっ素樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料と同じ傾向を示しているが、屋外暴露試験結果は促進耐候性試験で見られるほど著しい光沢保持率の差は見られていない。一般的環境のつくば暴露では高耐久性被覆材の優位性が認められるが、厳しい環境の沖縄暴露では劣化が著しく、樹脂組成毎の差があまり大きく出なかった。

②屋外暴露試験の外観調査で白亜化については、紫外線量が少ないつくばでは、促進耐候性試験と相関が高い傾向が見られている。しかし、紫外線の多い沖縄では相関性が不明瞭となることから、屋外暴露では紫外線量と劣化度合いは比例関係とはならず、降雨・風・温度等の環境による影響も複雑に絡んでいると考えられる。このため促進試験方法としてこれらの要因を加味したサイクル試験等が必要であると考えられる。

③以上のことから高耐久性被覆材の優位性が評価できたのはつくば（一般的な環境）での光沢保持率、白亜化との関連で、色差等では検証は出来なかった。

(3) 実構造物での高耐久性被覆材の検証

試験施工による高耐久性被覆材の評価では、直射日光の当たる箇所を中心に高耐久性被覆材が優れていることが確認できた。

第2編 ワーキンググループの研究結果

1. 色彩に優れた被覆材料に関する研究－カラーデザイン－（WG1）

1. 1 研究の目的

土木構造物についても、周辺の景観と調和する色彩が求められるようになってきた。このような要求に対応するために、土木構造物全般の塗装におけるカラーデザイン技術を開発するとともに、色相の耐久性を明らかにすることを目的とする。

1. 2 研究の方法

1. 2. 1 研究の経過

本研究は平成元年度から4年間、建設省土木研究所と民間会社との共同研究として実施された。カラーデザインの現状を把握するため海外(ヨーロッパ)での橋梁の色彩調査を実施し、国内では土木構造物の色彩に関する嗜好調査のためアンケートを実施した。この結果、景観との調和を望む声が多く、色彩の嗜好は明るいさえた色が好まれていた。

平成2年度に景観との調和を目的として提案色13色と当時採用されていた4色の合計17色について耐候性の試験を開始した。

1. 2. 2 試験方法

耐候性試験は屋外暴露試験と促進試験を行った。

(1) 屋外暴露試験

1) 塗装仕様

暴露試験に用いた塗装仕様を表-1.1に示す。

表-1.1 塗装仕様

工 程	塗料の種類と膜厚
下塗(1)	無機ジンクリッチプライマー(20 μ m)
下塗(2)	エポキシ樹脂下塗塗料(50 μ m $\times$ 2)
中塗	エポキシ樹脂中塗塗料(30 μ m)
上塗	各上塗塗料(25 $\sim$ 30 μ m)

2) 試験板の形状

SS-400 サンドブラスト処理鋼板(ISO Sa3)

サイズ：200 $\times$ 100 $\times$ 3.2mm

3) 塗料の種類

上塗塗料の種類を表-1.2に示す。

表-1.2 上塗塗料の種類

記 号	上塗塗料の種類
A	ポリウレタン樹脂塗料
B	ふっ素樹脂塗料
C	シリコンウレタン樹脂塗料

4) 暴露場所

平成2年から、つくばと沖縄で暴露試験を開始した。暴露場所を表-1.3に示す。

表-1.3 暴露場所

記号	暴露場所	所在地	周辺環境	暴露試験条件
T	つくば	つくば市西沢 建設省土木研究所 建設材料研究施設	郊外地区。研究関係の施設と田畑が広がっている。 試験場沿いの幹線道路は交通量が多い。	南向き暴露 JIS K 5400 9.9
O	沖縄	沖縄県大宜味村津波	南シナ海に面した道路跡地。 飛来塩分量が多く、日射も強い 亜熱帯気候。	南向き暴露 JIS K 5400 9.9

5) 暴露期間

暴露後1年、2年、10年後に調査を実施した。

6) 試験に用いた色相

試験に用いた提案色13色と当時の現行色4色の特徴を表-1.4に示す。

表-1.4 試験に用いた色相

試験板 No.	色の種類	色名	色の分類
2	現行色	みず色(日本道路公団)	青中彩色
3		コーラル(首都高速道路公団)	赤中彩色
4		シルキーホワイト(首都高速道路公団)	灰淡彩色
6		HDK No.1(阪神高速道路公団)	緑中彩色
11	提案色	エキゾチックレッド	赤濃彩色
12		クローバ	緑中彩色
13		スプリングリーフ	黄緑中彩色
14		スプリングスカイ	青中彩色
15		フォーゲットミーノット	青濃彩色
16		クールコーラル	茶中彩色
17		アーマンド	黄中彩色
18		ウッディローズ	茶濃彩色
21		キャンドルライト	黄濃彩色
22		ローズリラ	赤濃彩色
23		日本塗料工業会 P8-402	緑淡彩色
24		日本塗料工業会 P12-501	青淡彩色
25		日本塗料工業会 P35-837	青濃彩色

7) 試験板の記号

ワーキンググループ-塗料の種類-色相-暴露場所

(例) W1-A-2-T

W1 ; ワーキンググループ1

A ; 塗料の種類 (A,ポリウレタン、B,ふっ素、C,シリコンウレタン)

2 ; 色相 (No.:2~25)

T ; 暴露場所 (T,つくば、O,沖縄)

(2) 促進耐候性試験

暴露試験に用いた 17 色の塗料について促進耐候性試験を行い、暴露試験との相関性を調べた。

1) 塗装仕様

促進耐候性試験に用いた塗装仕様を表-1.5 に示す。

表-1.5 塗装仕様

工 程	塗料の種類と膜厚
下塗	エポキシ樹脂下塗塗料(50 μ m $\times$ 2)
中塗	エポキシ樹脂中塗塗料(30 μ m)
上塗	各上塗塗料(25 $\sim$ 30 μ m)

2) 試験板の形状

SS-400 サンドブラスト処理鋼板(ISO Sa3)

サイズ : 150 $\times$ 70 $\times$ 1.0mm

3) 塗料の種類

上塗塗料の種類を表-1.6 に示す。

表-1.6 上塗塗料の種類

記 号	上塗塗料の種類
A	ポリウレタン樹脂塗料
B	ふっ素樹脂塗料
C	シリコンウレタン樹脂塗料

4) 促進試験の種類と運転条件

①サンシャインカーボンアーク灯式耐候試験機(SWM)

運転条件は JIS K 5400 9.8.1(1991)表 28 に従い行った。

②紫外線蛍光ランプ法耐候試験機(QUV)

運転条件は 70℃照射 8 時間と 50℃暗黒 4 時間の繰り返し試験で行った。

5) 試験時間

1000 時間、2000 時間

6) 試験に用いた色相

暴露試験に用いた提案色 13 色と当時の現行色 4 色の合計 17 色で行った。

7) 試験板の記号

ワーキンググループ-塗料の種類-色相-促進試験-繰り返し数

(例) W1-A-2-S-1

W1 ; ワーキンググループ 1

A ; 塗料の種類 (A,ポリウレタン、B,ふっ素、C,シリコンウレタン)

2 ; 色相 (No.:2 $\sim$ 25)

S ; 促進試験

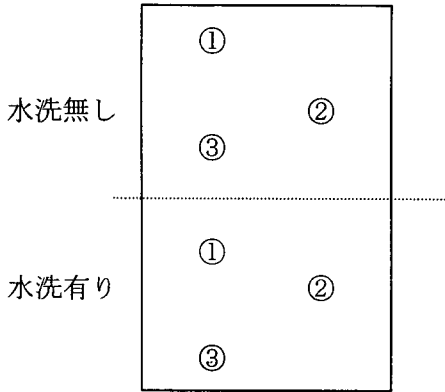
1 ; 繰り返し数

(3) 試験項目

1) 屋外暴露試験

試験項目および測定方法を表-1.7に示す。

表-1.7 試験項目と測定方法

試験項目	測定方法と評価方法	評価基準
塗膜の外観	さび、ふくれ、われ、はかれ、白亜化の程度を日本塗料検査協会(日塗検)基準で評価した。	10点評価で値の大きいものが良好。
光沢	水洗前:付着物を柔らかい刷毛で除き、光沢計で60度鏡面光沢度を測定した。 水洗後:柔らかい布に水を含ませて、塗膜表面を水洗し乾燥後、光沢計で測定した。 測定場所:試験板の下記の個所を測定した。 	光沢保持率を計算し、値の大きいものが良好。 光沢保持率(%) $= \frac{\text{暴露後の光沢値}}{\text{初期の光沢値}} \times 100$
変退色	1)色差の測定 光沢測定後に色差計で保存板と同時にL*、a*、b*値を測定して、保存板との色差(ΔE^*)を測定した。 測定点は光沢と同じ場所で行った。 2)目視による評価 目視により保存板との色の違いを4段階で評価した。	色差(ΔE^*)の数値を比較し、数値の小さいものを良好とした。 目視による変退色の評価基準 変退色なし 変退色わずか 変退色あり 変退色著しい

2) 促進耐候性試験

光沢値、及び変退色の測定を行った。測定方法は暴露試験と同一であるが、測定点数は3点とした。

1. 3 研究結果

1. 3. 1 暴露試験結果

(1) 暴露 10 年後の光沢変化

図-1.1~1.6 に暴露 10 年後の光沢保持率を示す。ふっ素樹脂塗料とシリコンウレタン樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料の 3 種類の上塗塗料での光沢保持率を比較すると、暴露場所での差異が大きかった。一般環境である、つくばではふっ素樹脂塗料の光沢保持率が最も高く、水洗前で 40%前後、水洗後で 50%前後の保持率を示している。ついでシリコンウレタン樹脂塗料が水洗前で 10%前後、水洗後で 30%前後の保持率であった。ポリウレタン樹脂塗料の場合は水洗前で 7 以下、水洗後では 10 以下となった。

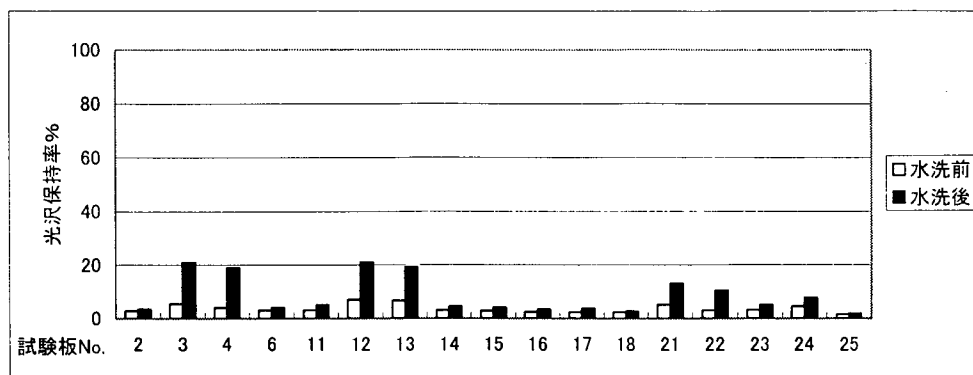


図-1.1 ポリウレタン樹脂塗料・つくば暴露 10 年後の光沢保持率

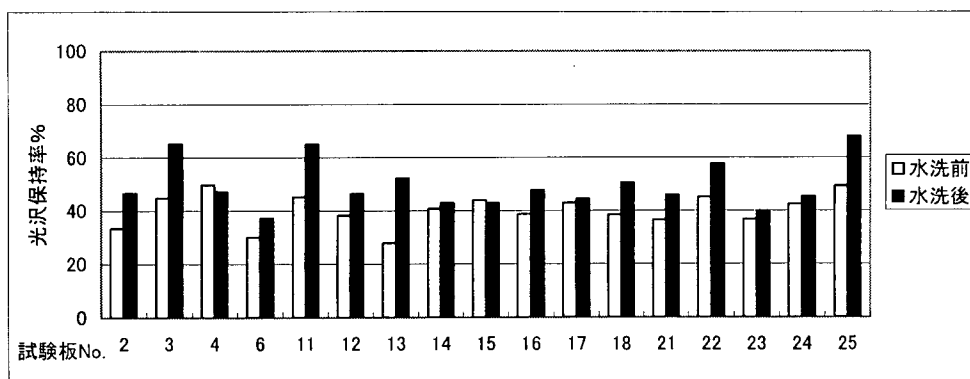


図-1.2 ふっ素樹脂塗料・つくば暴露 10 年後の光沢保持率

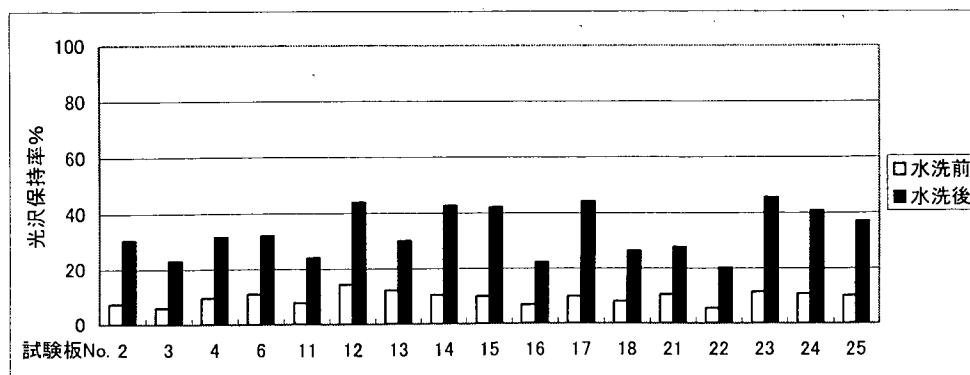


図-1.3 シリコンウレタン樹脂塗料・つくば暴露 10 年後の光沢保持率

一方、沖縄での結果はシリコンウレタン樹脂塗料が水洗前で 10%前後、水洗後で 30%前後の保持率であり、つくば暴露とほぼ同様の結果となった。ふっ素樹脂塗料は水洗前後とも 10%以下であり、沖縄地区での光沢保持性に問題があると考えられる。

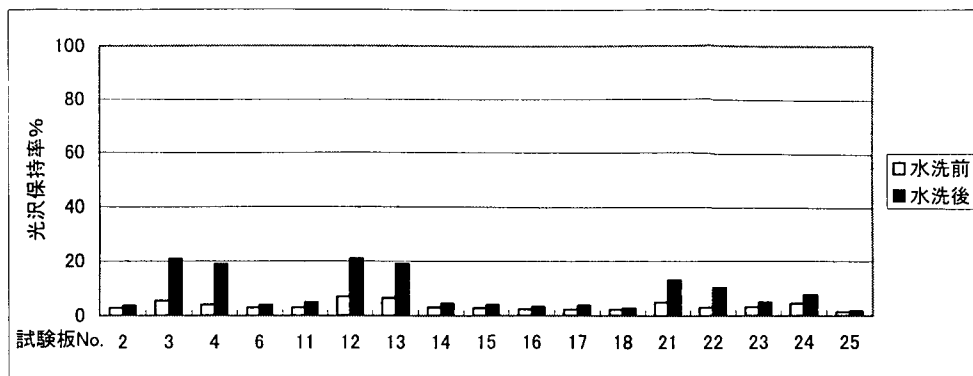


図-1.4 ポリウレタン樹脂塗料・沖縄暴露 10 年後の光沢

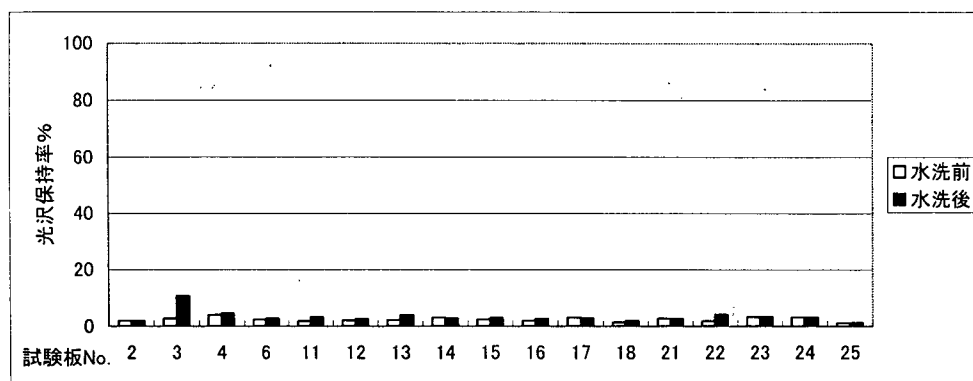


図-1.5 ふっ素樹脂塗料・沖縄暴露 10 年後の光沢保持率

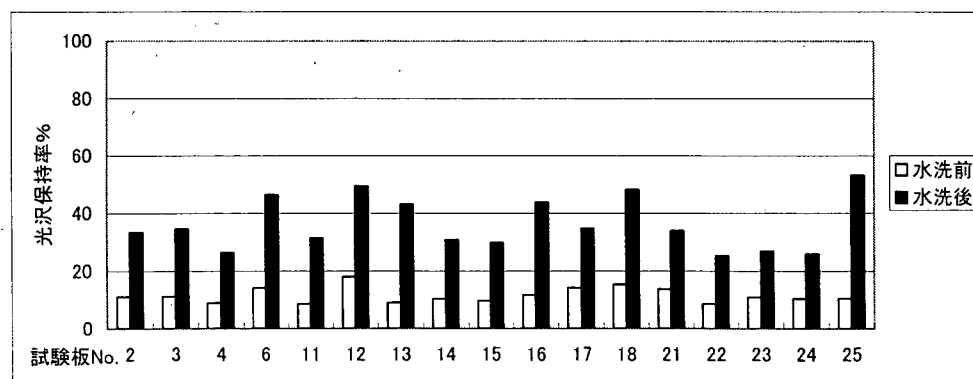


図-1.6 シリコンウレタン樹脂塗料・沖縄暴露 10 年後の光沢保持率

(2) 暴露 10 年後の色差変化

図-1・7～1・10 に暴露 10 年後の色差を示す。変色程度を表す ΔE^* 値で比較すると、色相により変退色は大きく異なっている。赤系色は変退色が大きく (No.2,5,14)、黄緑色 (No.7) も変色が大きかった。これに比べ灰色淡彩色の (No.3) や青・緑淡彩色 (No.15,16)、耐候性の良い顔料を用いたと考えられる褐色・茶色の中・濃彩色 (No.11,12) は変色が少なかった。これらの傾向はつくば、沖縄とも同様である。

上塗塗料の種類による差異は、総じてふっ素樹脂塗料の変化が少なく、シリコンウレタン、ポリウレタン樹脂塗料の順で変色が大きくなっている。

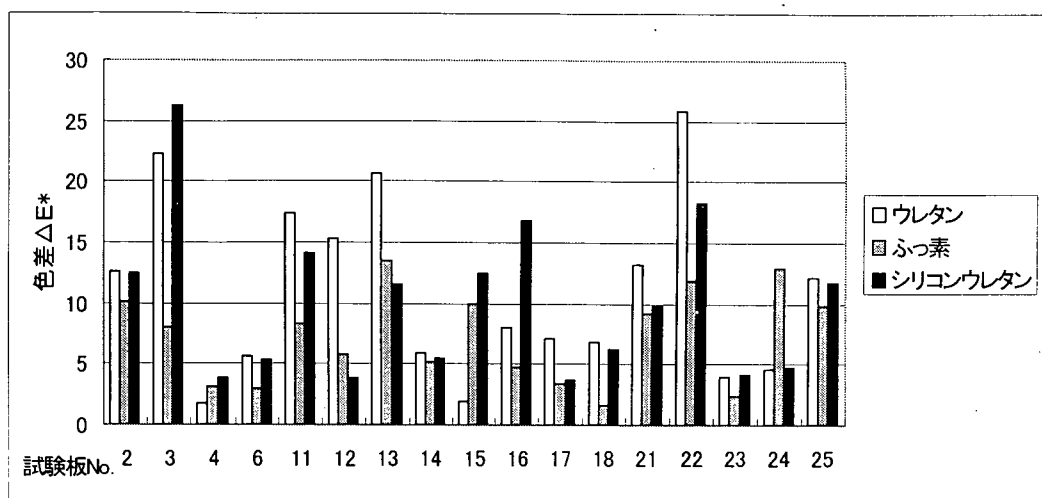


図-1・7 つくば暴露 10 年後の色差(水洗前)

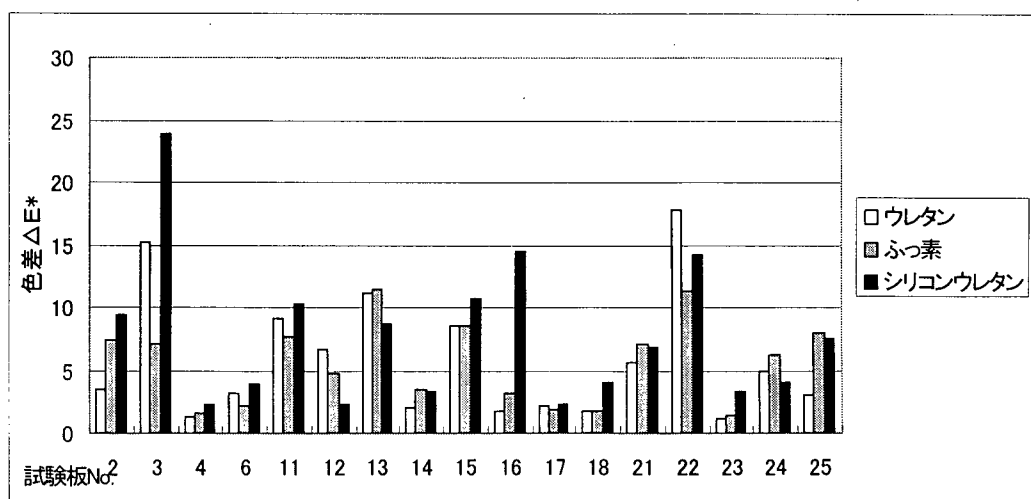


図-1・8 つくば暴露 10 年後の色差(水洗後)

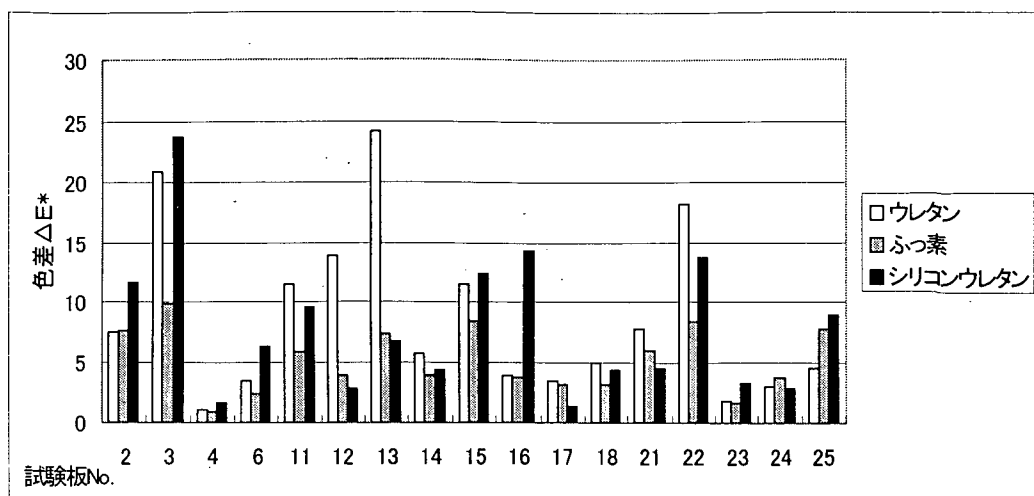


図-1・9 沖縄暴露 10 年後の色差(水洗前)

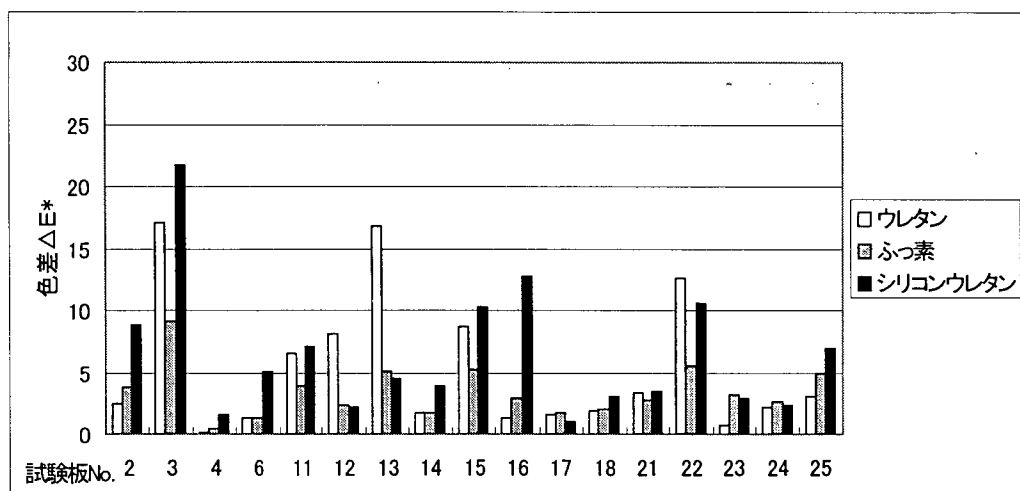


図-1・10 沖縄暴露 10 年後の色差(水洗後)

(3) 暴露 10 年後の白亜化及び目視による変退色

白亜化の発生は、ふっ素樹脂塗料が少なく、次いでシリコンウレタン樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料の順である。目視による変退色はふっ素樹脂塗料の変化が少なく、シリコンウレタン、ポリウレタン樹脂塗料の順であった。特に灰淡彩色(No.3)はポリウレタン樹脂塗料であっても変退色はほとんど認められなかった。表 1・8～1・10 に塗膜の外観調査結果を示す。

表－1・8 塗膜の外観調査結果(ポリウレタン樹脂塗料)

つくば暴露 10 年後				沖縄暴露 10 年後			
試験板 No.	白亜化	変退色 (水洗前)	変退色 (水洗後)	試験板 NO.	白亜化	変退色 (水洗前)	変退色 (水洗後)
A-2-T	4	著しい	わずか	A-2-O	8	著しい	あり
A-3-T	6	著しい	あり	A-3-O	6	著しい	著しい
A-4-T	4	わずか	なし	A-4-O	6	わずか	わずか
A-6-T	4	著しい	わずか	A-6-O	6	あり	あり
A-11-T	4	著しい	あり	A-11-O	8	著しい	あり
A-12-T	6	著しい	わずか	A-12-O	8	著しい	あり
A-13-T	6	著しい	あり	A-13-O	8	わずか	わずか
A-14-T	4	あり	わずか	A-14-O	4	わずか	わずか
A-15-T	4	著しい	あり	A-15-O	6	著しい	著しい
A-16-T	4	あり	わずか	A-16-O	8	あり	わずか
A-17-T	2	著しい	わずか	A-17-O	6	あり	わずか
A-18-T	4	著しい	わずか	A-18-O	8	著しい	著しい
A-21-T	4	著しい	わずか	A-21-O	6	あり	わずか
A-22-T	4	著しい	あり	A-22-O	6	著しい	著しい
A-23-T	2	あり	わずか	A-23-O	8	わずか	わずか
A-24-T	2	著しい	わずか	A-24-O	6	わずか	わずか
A-25-T	4	著しい	あり	A-25-O	8	著しい	あり

表－1・9 塗膜の外観調査結果(ふっ素樹脂塗料)

つくば暴露 10 年後				沖縄暴露 10 年後			
試験板 No.	白亜化	変退色 (水洗前)	変退色 (水洗後)	試験板 NO.	白亜化	変退色 (水洗前)	変退色 (水洗後)
B-2-T	8	あり	あり	B-2-O	8	あり	わずか
B-3-T	8	わずか	わずか	B-3-O	8	あり	あり
B-4-T	8	わずか	なし	B-4-O	8	わずか	なし
B-6-T	8	わずか	なし	B-6-O	8	わずか	なし
B-11-T	10	わずか	わずか	B-11-O	8	あり	わずか
B-12-T	8	わずか	わずか	B-12-O	8	あり	わずか
B-13-T	10	あり	わずか	B-13-O	10	わずか	なし
B-14-T	8	あり	わずか	B-14-O	8	わずか	なし
B-15-T	8	あり	あり	B-15-O	8	あり	わずか
B-16-T	8	わずか	なし	B-16-O	10	わずか	なし
B-17-T	8	わずか	なし	B-17-O	8	わずか	なし
B-18-T	8	わずか	わずか	B-18-O	8	あり	わずか
B-21-T	8	あり	わずか	B-21-O	8	わずか	なし
B-22-T	10	あり	あり	B-22-O	8	あり	わずか
B-23-T	8	あり	わずか	B-23-O	8	わずか	なし
B-24-T	8	あり	あり	B-24-O	8	わずか	なし
B-25-T	10	あり	わずか	B-25-O	10	わずか	わずか

表-1・10 塗膜の外観調査結果(シリコンウレタン樹脂塗料)

つくば暴露 10 年後			
試験板 No.	白亜化	変退色 (水洗前)	変退色 (水洗後)
C-2-T	8	著しい	あり
C-3-T	6	著しい	著しい
C-4-T	6	わずか	なし
C-6-T	6	わずか	わずか
C-11-T	8	あり	わずか
C-12-T	8	あり	わずか
C-13-T	8	あり	わずか
C-14-T	8	あり	わずか
C-15-T	8	著しい	著しい
C-16-T	8	著しい	著しい
C-17-T	8	わずか	なし
C-18-T	6	あり	あり
C-21-T	8	あり	わずか
C-22-T	6	著しい	著しい
C-23-T	8	わずか	わずか
C-24-T	8	あり	わずか
C-25-T	8	著しい	あり

沖縄暴露 10 年後			
試験板 NO.	白亜化	変退色 (水洗前)	変退色 (水洗後)
C-2-O	8	あり	わずか
C-3-O	8	著しい	著しい
C-4-O	8	なし	なし
C-6-O	8	著しい	あり
C-11-O	8	著しい	あり
C-12-O	8	あり	あり
C-13-O	8	あり	わずか
C-14-O	8	わずか	わずか
C-15-O	6	著しい	著しい
C-16-O	8	著しい	著しい
C-17-O	8	わずか	わずか
C-18-O	8	著しい	著しい
C-21-O	8	わずか	わずか
C-22-O	8	著しい	著しい
C-23-O	8	あり	あり
C-24-O	8	わずか	わずか
C-25-O	8	あり	わずか

1. 3. 2 促進耐候性試験結果

促進耐候性試験結果を図-1.11～1.18に示す。

(1) サンシャインカーボンアーク灯式耐候試験機 (SWM)

光沢保持率では2000時間照射してもふっ素樹脂塗料、シリコンウレタン樹脂塗料は各色相とも90%以上を保持し良好であった。これに比較しポリウレタン樹脂塗料では1000時間で光沢保持率が半減し2000時間では20%以下となった。

変退色の程度を色差で比較すると、ふっ素樹脂、シリコンウレタン樹脂は2000時間照射後でも2以下程度の変化は僅かであり、ポリウレタン樹脂塗料の変化が各色相で大きくなっている。

これらの変化を屋外暴露試験と比較するとSWM試験でポリウレタン樹脂塗料の劣化が著しい現象はつくば、沖縄での1年、2年暴露後の塗料間の差異がそれほど大きくないことから促進試験方法として注意が必要である。

変退色の程度を色差で比較すると、ふっ素樹脂、シリコンウレタン樹脂は2000時間照射後でも2以下程度の変化は僅かであり、ポリウレタン樹脂塗料の変化が各色相で大きくなっている。

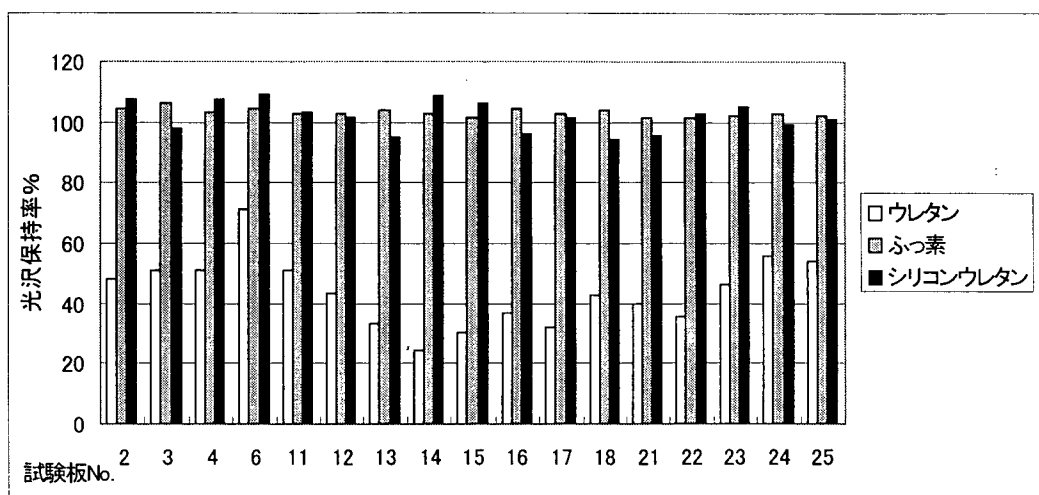


図-1.11 SWM1000時間後の光沢保持率

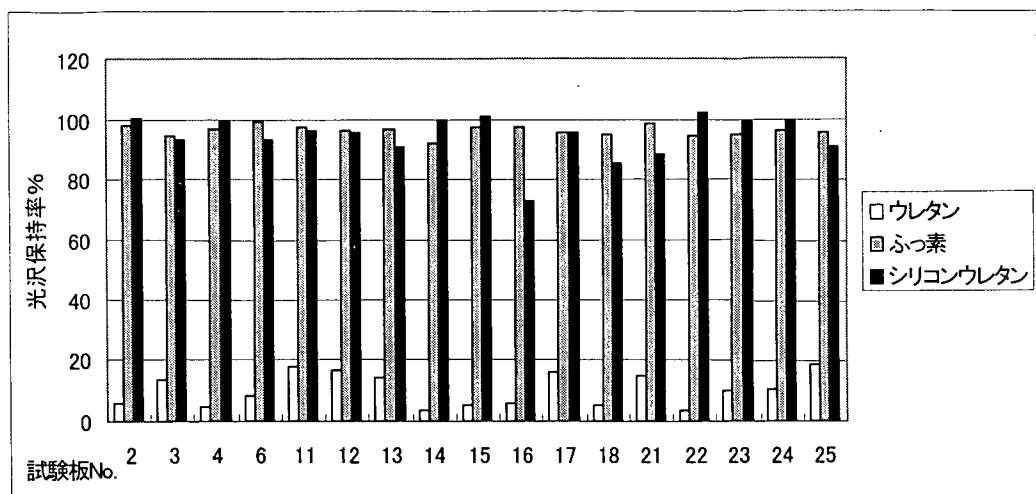


図-1.12 SWM2000 時間後の光沢保持率

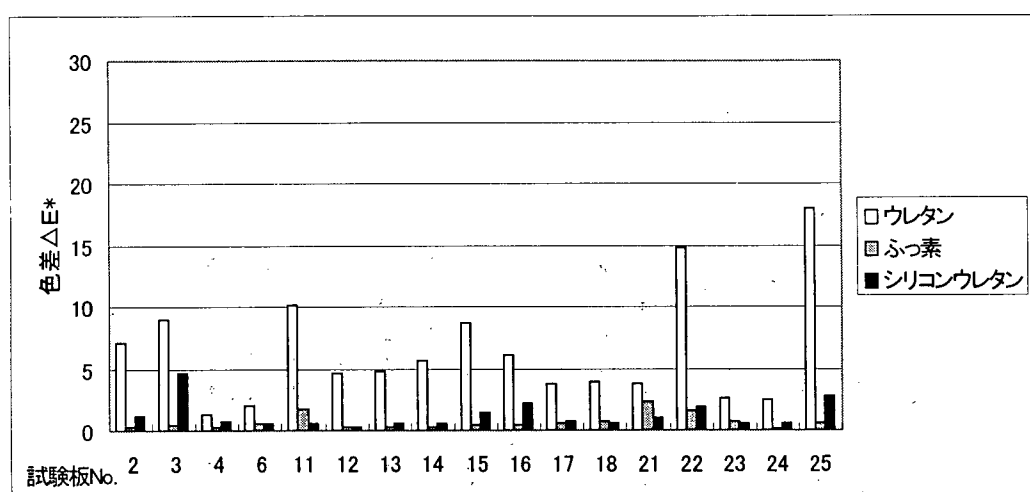


図-1.13 SWM1000 時間後の色差

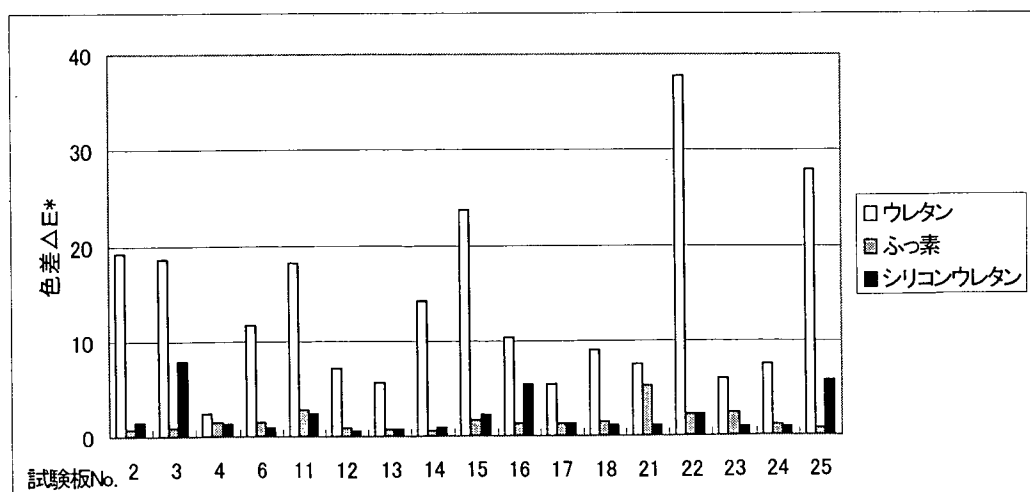


図-1.14 SWM2000 時間後の色差

(2) 紫外線蛍光ランプ法耐候試験機 (QUV)

光沢保持率では 2000 時間照射してもふっ素樹脂塗料のみ 80%以上の保持率を示した。ポリウレタン樹脂塗料は 1000 時間で 10%以下となりシリコンウレタン樹脂塗料は 1000 時間で半減し 2000 時間で 20% 前後となった。変退色はふっ素樹脂が最も変化が少なく、次いでシリコンウレタン樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料の順となった。

屋外暴露試験と比較すると QUV では、ふっ素樹脂塗料が極めて良好な耐候性を持つ結果となっている。

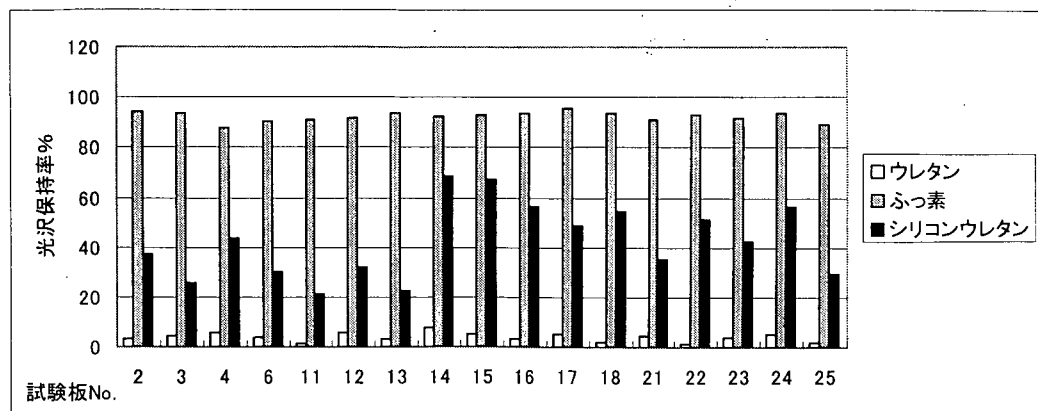


図-1・15 QUV 1000 時間後の光沢保持率

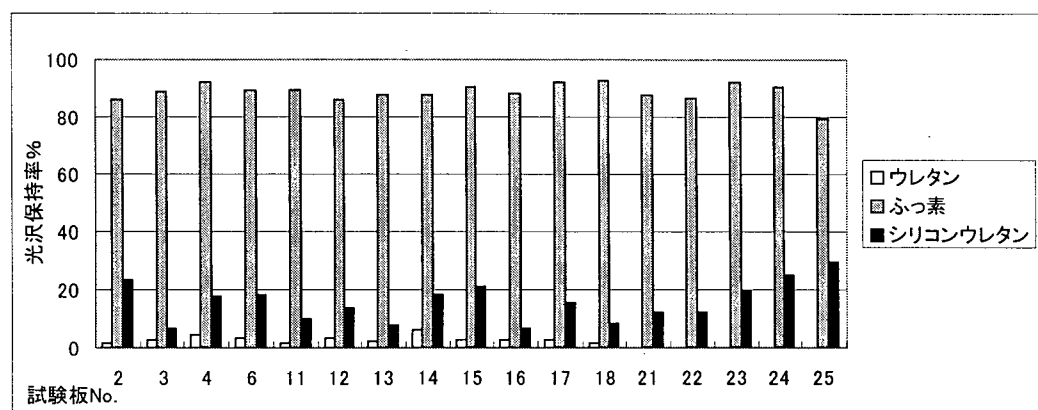


図-1・16 QUV 2000 時間後の光沢保持率

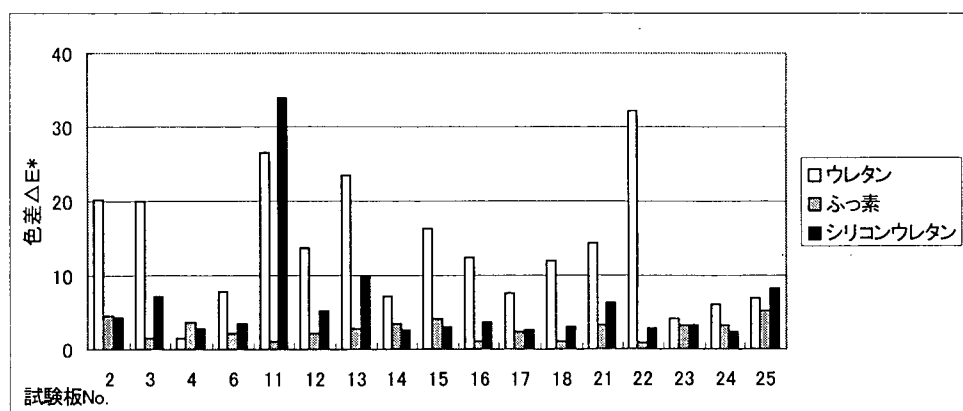


図-1・17 QUV 1000 時間後の色差

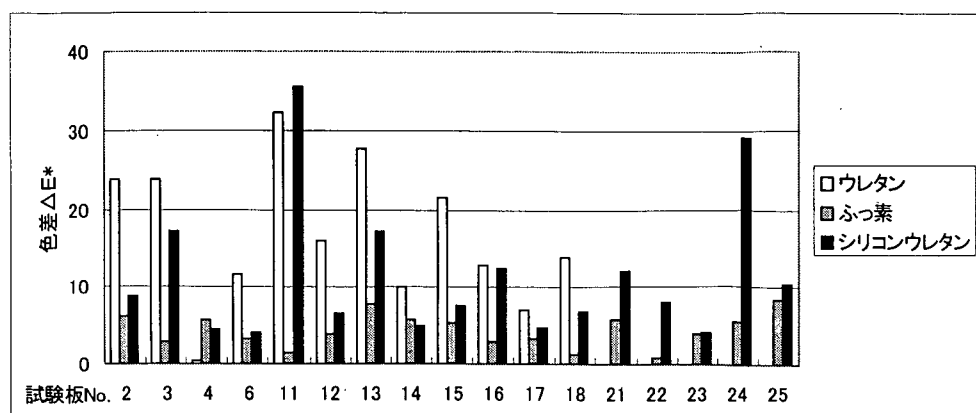


図-1.18 QUV 2000 時間後の色差

1. 4 まとめ

- ①10年間の屋外暴露試験の結果、変退色の変化が少ないのはふっ素樹脂塗料であった。ただし沖縄地区では光沢低下が大きい。シリコンウレタン樹脂塗料はふっ素とポリウレタン樹脂塗料の中位に位置し、沖縄地区であっても光沢低下がふっ素より少ないことがわかった。
- ②変退色は色相により大きく異なり、特に赤色系の変化が大きい。ほぼ白に近い灰色系ではポリウレタン樹脂塗料であっても変色はわずかであり10年の実用性は十分にあった。
- ③促進耐候性試験では塗料種類別の順位相関はあるものの樹脂種別の差異が大きく、暴露試験と異なった。このため従来塗料との対比倍率で寿命を予測するのは困難と考えられる。
- ④屋外暴露試験の結果から各種塗料で色相別に耐候性をまとめると表-1.11 のようになる。

表-1.11 各種塗料の色相別耐候性

試験板 No.	色の種類	色名	色の分類	ポリウレタン	ふっ素	シリコンウレタン
2	現行色	みず色(日本道路公団)	青中彩色	×	△	×
3		コーラル(首都高速道路公団)	赤中彩色	×	○	×
4		シルキーホワイト(首都高速道路公団)	灰淡彩色	○	○	○
6		HDK No.1(阪神高速道路公団)	緑中彩色	×	○	△
11	提案色	エキゾチックレッド	赤濃彩色	×	○	×
12		クローバ	緑中彩色	×	○	△
13		スプリングリーフ	黄緑中彩色	△	○	△
14		スプリングスカイ	青中彩色	○	○	○
15		フォーゲットミーノット	青濃彩色	×	△	×
16		クールコーラル	茶中彩色	△	○	×
17		アーモンド	黄中彩色	×	○	○
18		ウッディローズ	茶濃彩色	×	○	×
21		キャンドルライト	黄濃彩色	×	○	○
22		ローズリラ	赤濃彩色	×	△	×
23		日本塗料工業会 P8-402	緑淡彩色	○	○	○
24		日本塗料工業会 P12-501	青淡彩色	△	○	○
25		日本塗料工業会 P35-837	青濃彩色	×	○	×

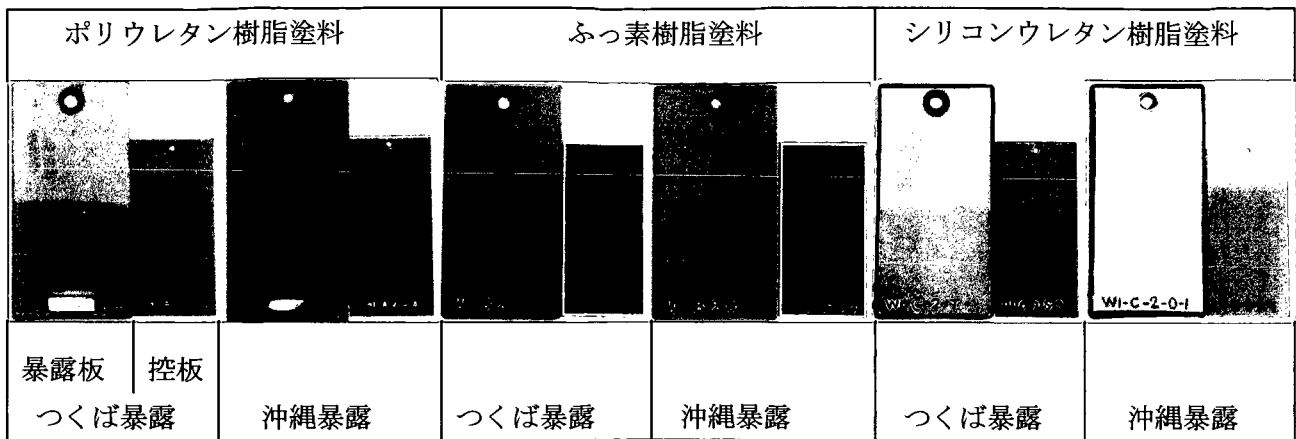
評価は○…色相の変化が少なく実用上、問題がない。

△…色相の変化はあるが、構造により(鋳桁など日当たりが少ないもの)適用可能。

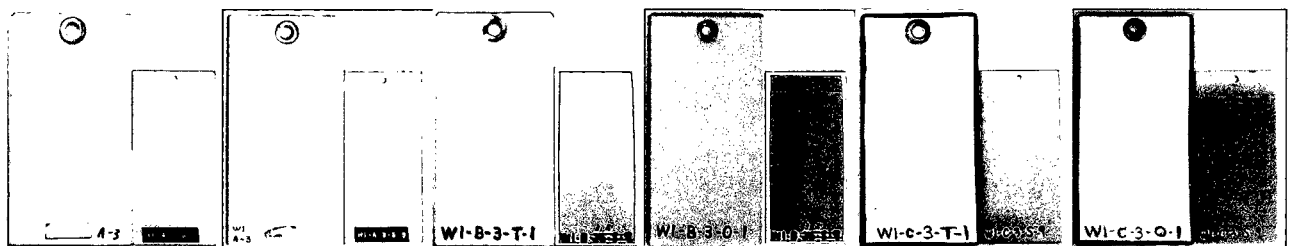
×…変退色が大きく実用的でない。

写真 1・1 暴露試験板の外観(暴露 10 年後)

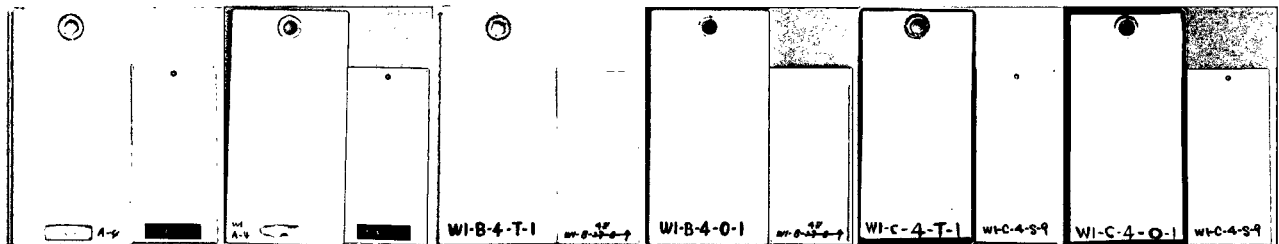
1.試験板 No.2 色名:みず色



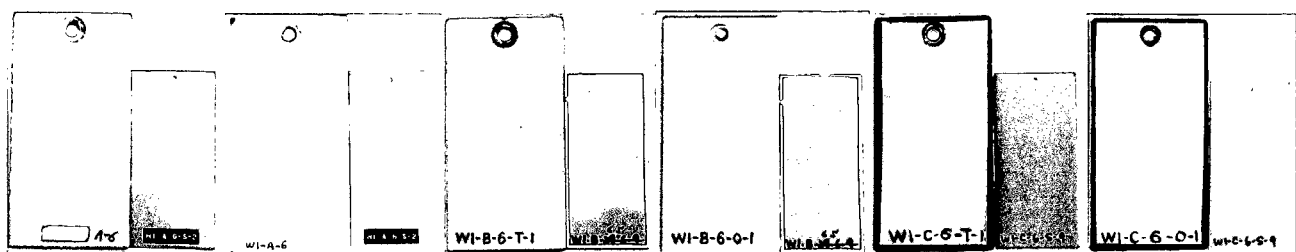
2.試験板 No.3 色名:コーラル



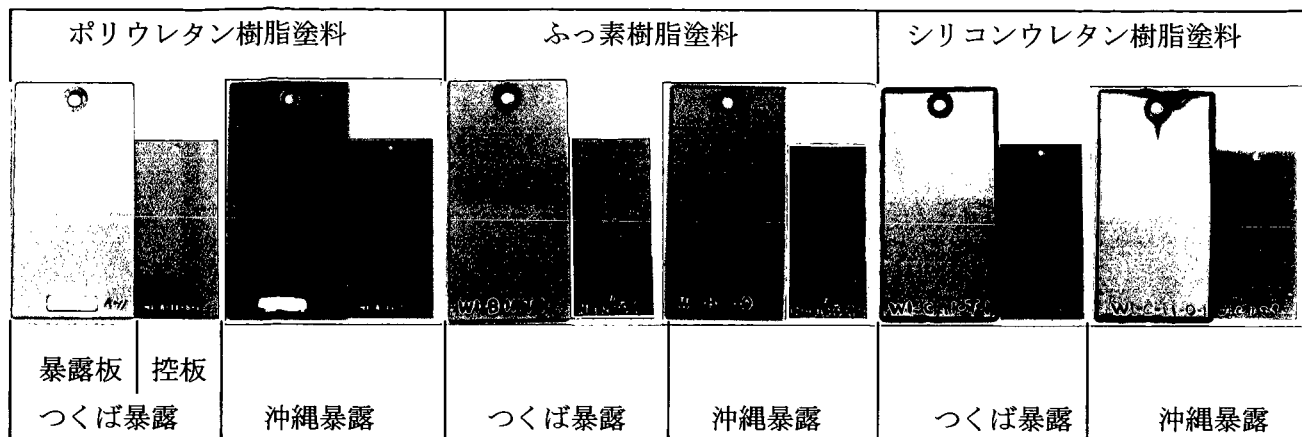
3.試験板 No.4 色名:シルキーホワイト



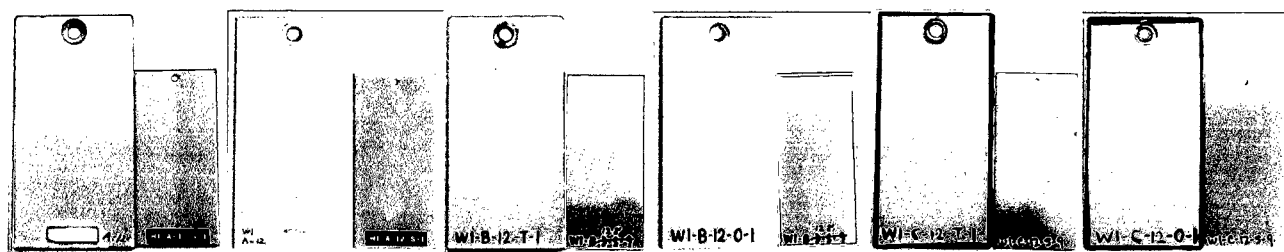
4.試験板 No.6 色名:HDK No.1



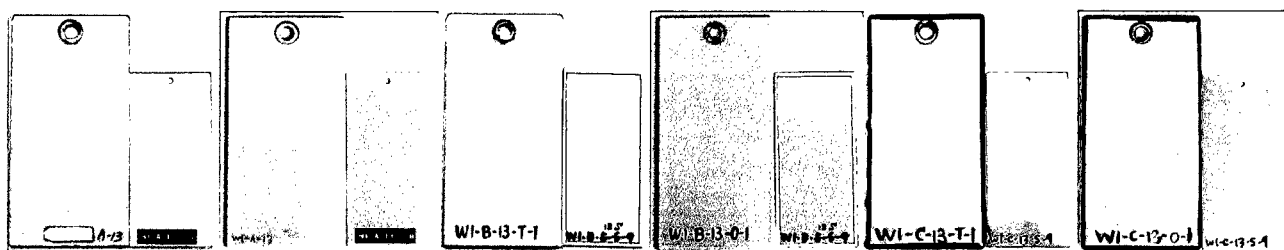
5.試験板 No.11 色名;エキゾチックレッド



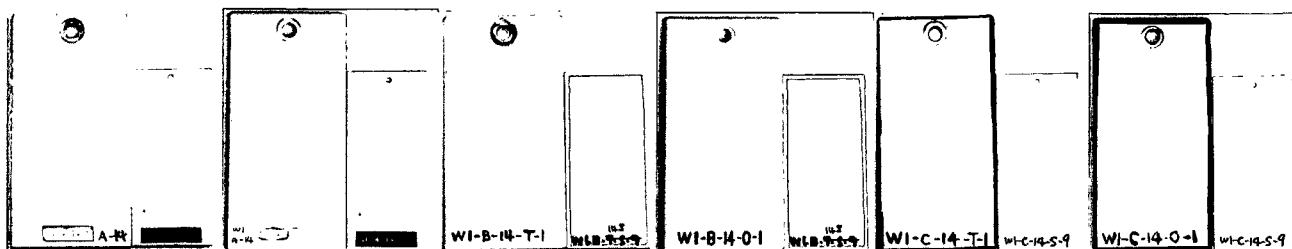
6.試験板 No.12 色名:クローバ



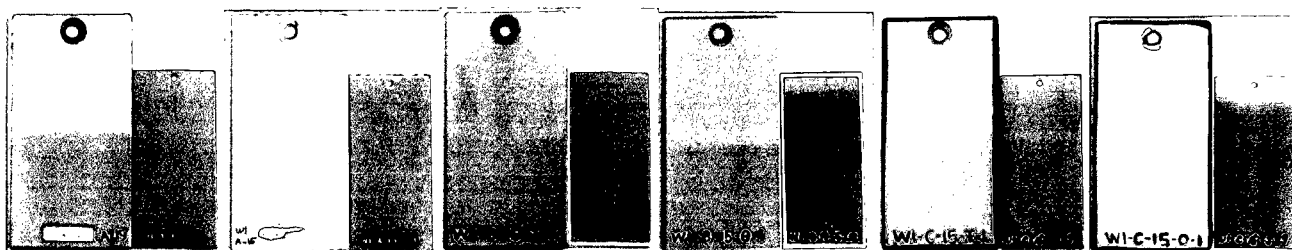
7.試験板 No.13 色名;スプリングリーフ



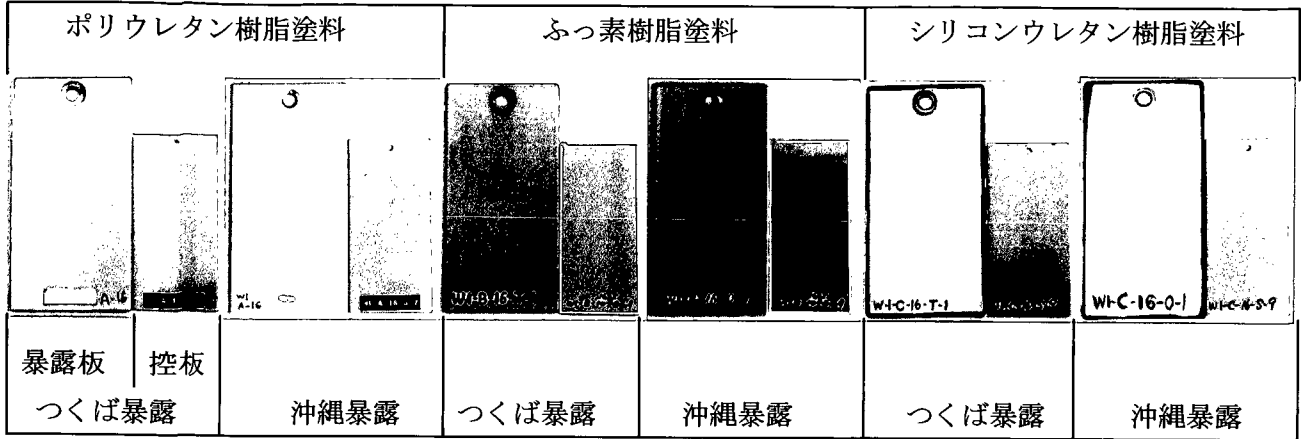
8.試験板 No.14 色名;スプリングスカイ



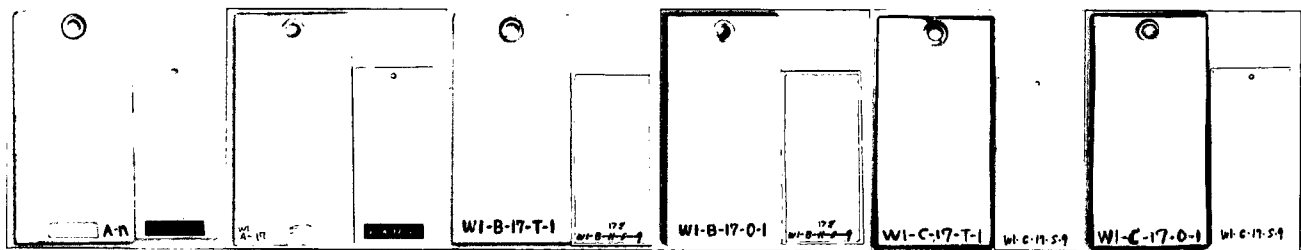
9.試験板 No.15 色名;フォーゲットミーノット



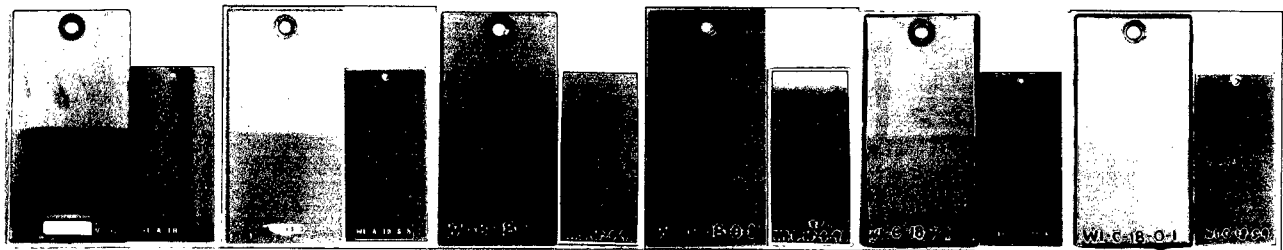
10.試験板 No.16 色名;クールコーラル



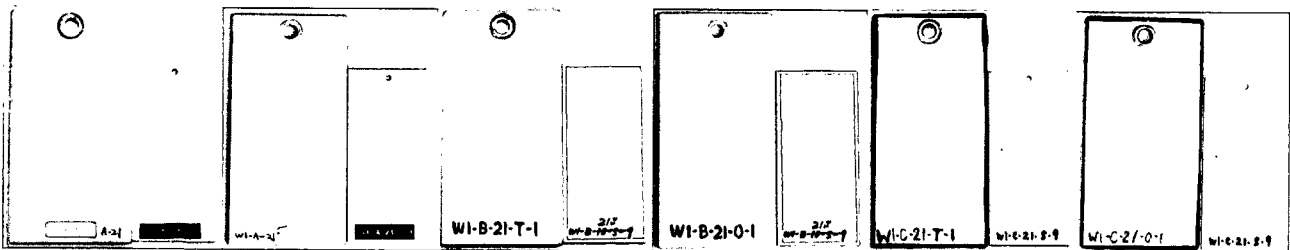
11.試験板 No.17 色名;アーマンド



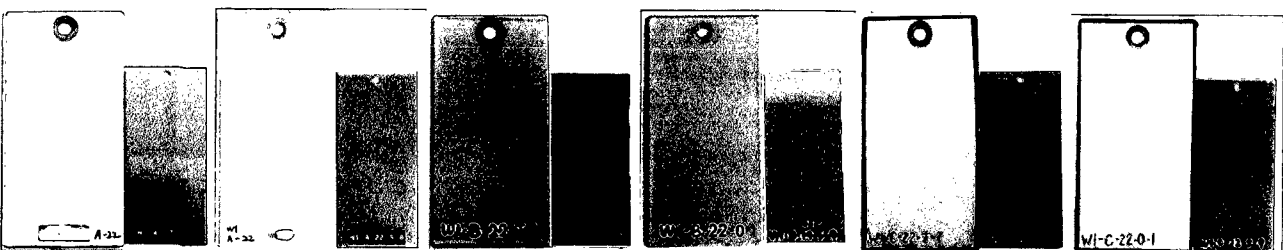
12.試験板 No.18 色名;ウッディローズ



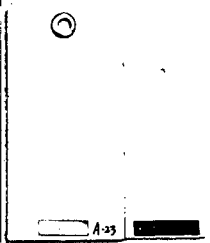
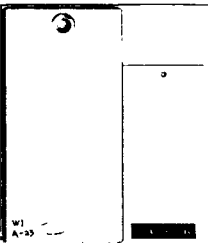
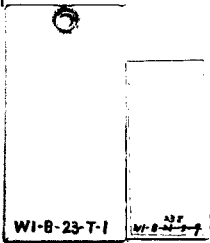
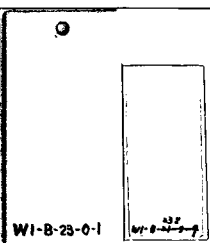
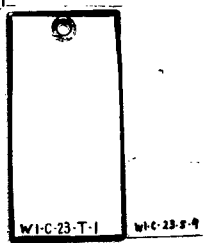
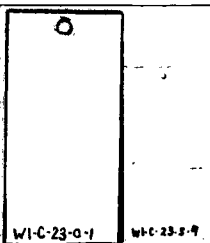
13.試験板 No.21 色名;キャンドルライト



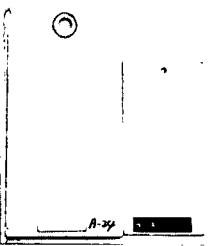
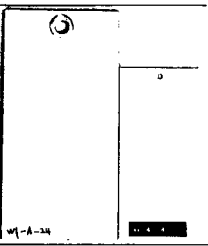
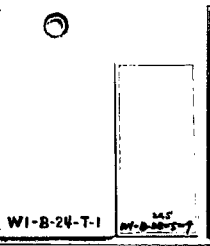
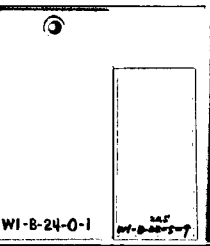
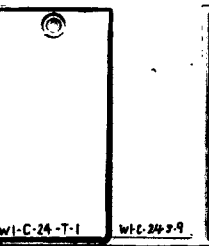
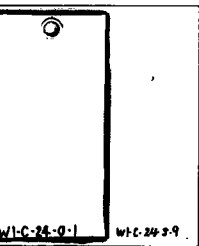
14.試験板 No.22 色名;ローズリラ



15.試験板 No.23 色名;日本塗料工業会 P8-402

ポリウレタン樹脂塗料		ふっ素樹脂塗料		シリコンウレタン樹脂塗料	
					
暴露板 つくば暴露	控板 つくば暴露	暴露板 沖縄暴露	控板 沖縄暴露	暴露板 つくば暴露	控板 沖縄暴露

16.試験板 No.24 色名;日本塗料工業会 P12-501

					
---	---	---	---	--	---

17.試験板 No.25 色名;日本塗料工業会 P35-837

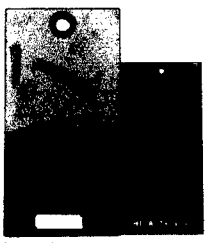
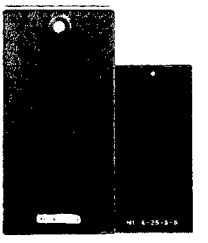
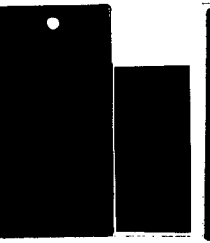
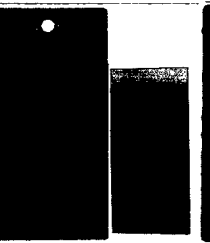
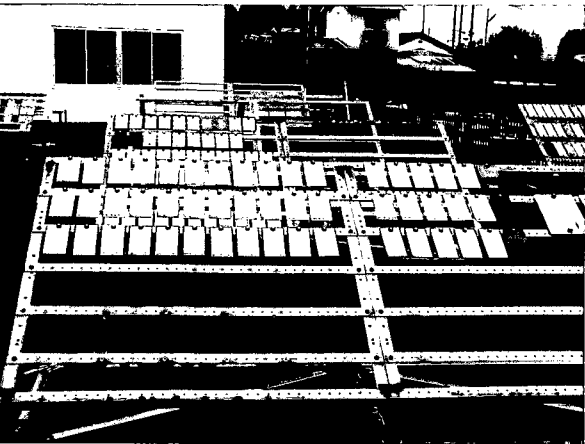
					
---	---	---	---	--	---

写真 1・2 試験板の暴露状況



つくば暴露場



沖縄暴露場

2. 耐汚染性被覆材料に関する研究 (WG 2)

2. 1 研究の目的

近年、橋梁などの土木構造物の景観に対する意識が高まり、色彩設計を行うことにより土木構造物が設置される周辺の景観に溶け込むようにして、その存在を感じさせないよう工夫されることが多くなってきている。しかし、せっかく色彩設計して美しく仕上げた構造物も、自動車などの排気ガスで汚れが目立つようになってきたため、平成元年度から4年間、建設省土木研究所と民間会社が共同で耐汚染性被覆材料に関する研究を行った。

土木構造物の美観保持や汚れ防止などを目的として、研究開始当時の市販品と参加各社が独自に開発していた開発途上品を各地で暴露試験した。一方、暴露は長期試験になるので、各種塗料の耐汚染性を短時間で評価できるようにするため、暴露試験と相関性がある促進汚染試験の検討も行った。また、従来汚れは目視判定による官能評価法しかなかったため、汚れを客観的、定量的に評価できるようにするため、機器測定による汚れ評価法の検討を行った。

2. 2 研究の方法

2. 2. 1 研究の経過

平成元年から4年間の共同研究期間およびその後の調査など主な研究経過を以下に示す。

(1) 平成元年度

研究体制作りと文献調査や情報収集を行い、個々の研究課題について計画立案した。

(2) 平成2年度

現状調査：汚れの実態を把握するため、東京都内の交通が著しい箇所を調査した。

暴露試験：試験板作製→暴露試験開始（つくば、沖縄）→暴露調査（3ヶ月後）

促進試験：促進汚染試験機の設計を開始した。

(3) 平成3年度

暴露試験：試験板作製→暴露試験開始（東京、藤枝、トンネル）→暴露調査（3ヶ月、6ヶ月後）

つくば、沖縄暴露6ヶ月、1年後の調査、評価を行った。

汚染物質の調査：汚染物質と暴露環境の関係を調査した。

汚れ評価方法の検討：官能的な評価を定量的に判定するため計測評価との関係を調査した。

(4) 平成4年度

暴露試験：つくば、沖縄暴露2年後、東京、藤枝、トンネル暴露1年後の調査、評価を行った。

色彩と汚れの関係に関する屋外暴露試験を開始した。

促進汚染試験：促進汚れ物質を試作して、汚れ促進試験方法を考案した。

(5) 平成7年度

つくば、沖縄暴露5年、東京暴露4年の調査を行った。

(6) 平成11、12年度

つくば、沖縄暴露10年、東京暴露9年の調査を行った。

2. 2. 2 研究の方法

(1) 現状調査

東京都内の交通が著しい六本木交差点および首都高速道路霞ヶ関トンネルで汚染物質を採取し、組成分析を行った。

(2) 屋外暴露試験

つくばと沖縄は他のWGと同様に暴露試験を行ったが、WG 2では特に耐汚染性を研究するために表-2・1に示す場所で暴露試験を行った。

表-2・1 屋外暴露試験場所

場所	所在地	環境	暴露試験条件
東京	東京都品川区八潮5丁目 建設省土木研究所暴露場	交通量：180,000 台／日 (平成8年)	南面 30° 同上(道路下で雨水があたらない) 垂直・ひさし下 垂直・流下水(雨水が塗面を流下)
藤枝	藤枝市岡出山3丁目地先	国道1号線沿い。 交通量は2,700 台／日	南面 30°
トンネル	静岡県静岡市国道1号線 静岡バイパス丸子藁科トンネル	交通量：14,000 台／日 (平成8年)	垂直

(3) 供試塗料

市販品5種類をはじめ、新たな開発品5種類、開発途上品7種類、比較参考品1種類の合計18種類の塗料で暴露試験を行った。色彩は白で全光沢を原則としたが、No.15 シリコン系塗料、No.28 シリカ系塗料はつや消しであった。供試塗料の種類を表-2・2に、色相を表-2・3に示す。

表-2・2 暴露試験材の種類

No.	試料名	塗料の一般名等
01	フタル酸樹脂塗料	JIS K5516合成樹脂調合ペイント2種
02	塩化ゴム系塗料	塩化ゴム系塗料
03	ポリエステルウレタン樹脂塗料	ポリウレタン樹脂塗料
04	アクリルウレタン樹脂塗料	ポリウレタン樹脂塗料
05	アクリルウレタン樹脂塗料(コンクリート用)	ポリウレタン樹脂塗料
11	ふっ素樹脂塗料A	ふっ素樹脂塗料
12	シリコン変性アクリル(アクリルシリコン)樹脂塗料A	シリコン変性アクリル樹脂塗料
13	非水分散形ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料
14	シリコン変性アクリル(ESCA)樹脂樹脂塗料	シリコン変性アクリル樹脂樹脂塗料
15	シリコン樹脂塗料	シリコン樹脂塗料
21	シリコン変性アクリル(アクリルシリコン)樹脂塗料A2	シリコン変性アクリル樹脂系塗料
22	シリコン変性アクリル(アクリルシリコン)樹脂塗料A3	シリコン変性アクリル樹脂系塗料
23	ふっ素樹脂塗料A2	ふっ素樹脂塗料
24	ふっ素樹脂塗料A3	ふっ素樹脂塗料
25	シラノール架橋ふっ素樹脂塗料	シラノール架橋ふっ素樹脂塗料
26	ふっ化アクリル樹脂塗料	イソシアネート架橋ふっ化アクリル樹脂系塗料
27	ふっ素樹脂塗料A4	ふっ素樹脂塗料
28	* シリカ系塗料	水分散形シリカ系塗料

* ; 比較参考品

表-2・3 各色暴露試験用塗料の色相

色 相	グレー	濃赤	淡赤	濃青	淡青	濃黄	淡黄
日塗工色見本	P1-1004	P33-145	P13-046	P35-837	P13-707	P31-308	P14-343

(4) 試験片の取り付け日

各暴露場への試験片取り付け日を表-2・4 に示す。

表-2・4 試験片取り付け日

場所	暴露条件	枚数	取付日	場所	暴露条件	枚数	取付日
つくば	南面 30°	54	1990. 6. 8	東 京	南面 30°	54	1991. 8. 20
	南面 30° (各色)	138	1991. 1. 22		南面 30° (道路下)	54	
	北面 30°	54	1990. 6. 8		垂直・ひさし	39	
	垂直・ひさし	18	1990. 9. 26		垂直・流下水	39	
	垂直・流下水	18	1990. 9. 27				
沖 縄	南面 30°	54	1990. 6. 27	静 岡	南面 30°	54	1991. 2. 7
				トンネル	垂直 (排気良好)	54	1991. 2. 22

2. 3 研究結果

2. 3. 1 現状調査結果

研究の方向付けをする目的で首都高速道路3号線下の六本木交差点および周辺および首都高速道路霞ヶ関トンネル内壁の汚れを調査した。土木構造物の汚れの種類と形態を把握し、研究対象の重点を絞り込んだ。

(1) 目視調査結果

平成2年5月11日に六本木交差点周辺の目視調査を行った。首都高速道路の床版裏面は化粧板が施工され、明るくきれいであったが、同色で塗装された鋼製橋脚は、排気ガスなどで黒く全面均一に汚れていた。無塗装コンクリート橋脚は、排気ガスの黒い汚れとエフロの白い汚れで筋状に濃淡が強調され汚れが目立った。

平成2年9月27日に首都高速道路霞ヶ関トンネル内の目視調査を行った。大型トラックなど通行量が非常に多いトンネルで、調査した壁、天井、柱などは著しく汚れていた。排気タクト吸引口付近に堆積していた汚れ物質を採取し分析した。

(2) 汚れ物質の分析結果

首都高速道路霞ヶ関トンネル内および六本木交差点周辺で採取した汚れ物質を化学分析した。

1) 赤外線吸収分光分析結果

汚れ物質をテトラヒドロフラン (THF) および水で抽出した後、赤外線吸収分光分析を行った。特徴的な特性吸収帯を表-2・5 に示す。霞ヶ関トンネルおよび六本木交差点の試料は、ほぼ同じ吸収を示した。帰属官能基から、ガソリンや軽油など自動車燃料の不完全燃焼物が起因物質と推定される。

表-2・5 汚れ物質の吸収バンドと帰属官能基

試験体	吸収バンド (cm ⁻¹)	帰属官能基
THF抽出分	2930、2850 1730～1710 3500～3300 3030(微)、700-760(弱)	アルキル基 カルボニル、カルボキシル基 ヒドロキシル基 芳香環
水抽出分	シャープな吸収無し	詳細不明、無機物

2) 蛍光X線分析結果

全サンプルと水抽出分について蛍光X線分析した。検出した主な元素を表-2・6に示す。

表-2・6 汚れ物質の蛍光X線分析結果

試験体	霞ヶ関トンネル内採取物	ガードレール上堆積物
全サンプル	多量 Fe、Ca	Fe、Ca、Zn
	少量 Sr、Zn、K、S、Cl	K、S、Cl
	微量 Pb、Cu、Ni、Mn、Cr、Ti、Si	Sr、Pb、Cu、Ni、Mn、Cr、Ti、Si
水抽出物	多量 Zn、Ca、S、Cl	Zn、Ca、S、Cl
	少量 K、Fe	K、Fe
	微量 Sr、Cu、Ni、Mn	Sr、Cu、Ni、Mn

鉄、カルシウム、亜鉛、イオウ、塩素イオンなどが多量に検出された。鉄は自動車など車両の鋼材摩物、カルシウムはコンクリートや塗料、亜鉛はメッキ鋼材、イオウと塩素イオンは酸性雨などが原因物質であると推定される。

3) 水／トルエン2相抽出分析結果

汚れの親油性、親水性比率を調査するため2相抽出分析を行った。水、トルエンを各々100ml ずつ分液ロートに取り、試料を加えて各相に溶解または不溶物として残る物質の重量を測定した。首都高速道路3号線六本木ー渋谷間高架下ガードレール上堆積物の分析結果を表-2・7に示す。

表-2・7 ガードレール上堆積物の水／トルエン2相抽出分析結果

親油性成分 (28.2%)		親水性成分 (71.8%)	
トルエン可溶分	トルエン不溶分	水可溶分	水不溶分
4.1%	24.1%	8.7%	63.1%

親油性成分は排ガス中の酸化不十分なタール状有機物質、アスファルトやタイヤ摩耗成分などが原因物質であると推定される。親水性成分は排ガス中の酸化状態の高いカーボンや、コンクリートからの雨水溶出成分などが主な原因物質であると推定される。

2. 3. 2 汚れ評価方法の検討

塗膜の汚れ程度を判定する方法は目視官能評価しかなく個人差が強いため、機器測定で得られる測定値で定量的に評価できるか検討した。つくばに1年間暴露したポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料の3種類の塗料で8色、合計24枚の試験板で官能評価と機器測定を行った。

評価者7名で順位法により、目視評価で最も汚れているものを1点、最も汚れていないものを8点として評価した。同時にグレースケール、60度鏡面光沢度、明度差 ΔL^* および色差 ΔE^* の測定を行い比較検討した。官能評価および機器測定結果を表-2・8に示す。

表-2・8 官能評価および機器測定結果（つくば暴露1年）

	目視官能評価			60 度鏡面光沢度			明度差 ΔL^*			色差 ΔE^*		
	U	F	S	U	F	S	U	F	S	U	F	S
白	4	1	2	68	81	63	-7.1	-8.0	-6.1	7.3	8.2	6.3
グレー (P1-1004)	5	6	6	65	67	62	-4.0	-4.1	-2.8	4.1	4.4	3.0
濃赤 (P33-145)	7	7	7	60	67	62	0.0	-1.2	-2.1	10.8	7.1	12.9
濃青 (P35-837)	8	8	8	64	65	60	-1.1	-0.3	1.1	4.3	5.8	7.1
濃黄 (P31-308)	1	3	3	68	65	63	-6.7	-6.1	-6.1	14.5	12.5	13.0
淡赤 (P13-046)	2	2	1	68	67	61	-3.0	-4.7	-3.0	6.6	6.0	5.2
淡青 (P13-707)	6	5	5	67	66	59	-2.9	-4.0	-3.1	4.7	6.4	5.9
淡黄 (P14-343)	3	4	4	66	67	62	-5.0	-4.3	-4.7	6.4	4.7	5.5

注) U ; ポリウレタン樹脂塗料 F ; ふっ素樹脂塗料 S ; シリコン変性アクリル樹脂塗料

(1) グレースケールによる評価結果

染色汚染用グレースケール(JIS-L-0805)を用いて評価したが、スケールの間隔が大きいため、目視で明らかに汚れ程度に差が認められるにもかかわらず、スケールでは同グレードになり汚れ程度をグレード分けすることができないことが明らかになった。

(2) 目視官能評価と 60 度鏡面光沢度の相関性評価結果

目視官能評価と光沢値の相関関係を図-2・1 に示す。官能評価と 60 度光沢値の間に相関性は認められなかった。汚れは塗料の耐候性の影響を受けない他の機器測定法を検討するべきであることが分った。

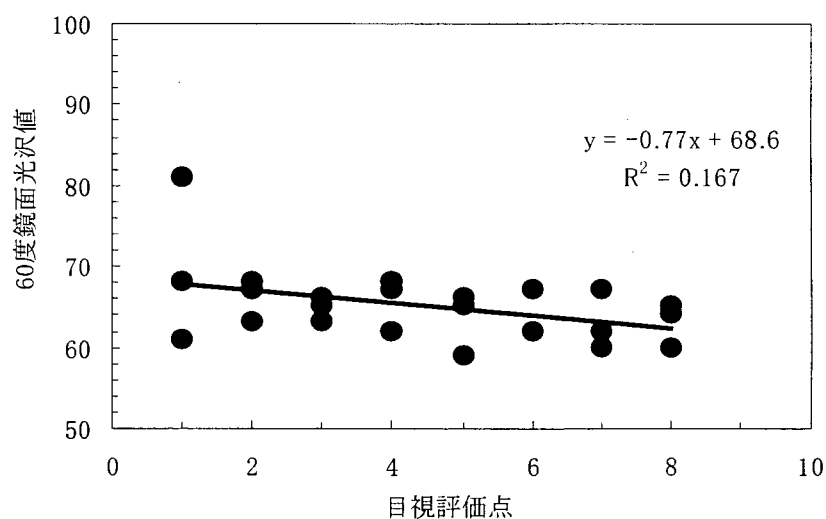


図-2・1 目視官能評価と 60 度鏡面光沢度の相関性

(3) 目視官能評価と色差 ΔE^* の相関性評価結果

官能評価と色差 ΔE^* の調査結果を図-2・2 に示す。濃赤の目視官能評価は濃黄、淡黄よりも良かったが、色差 ΔE^* は濃赤が渡黄、淡黄よりも大きく、官能評価と相反する結果であり両者に相関性は認められなかった。 ΔE^* は官能評価の代用特性値として使えないことが明らかになった。

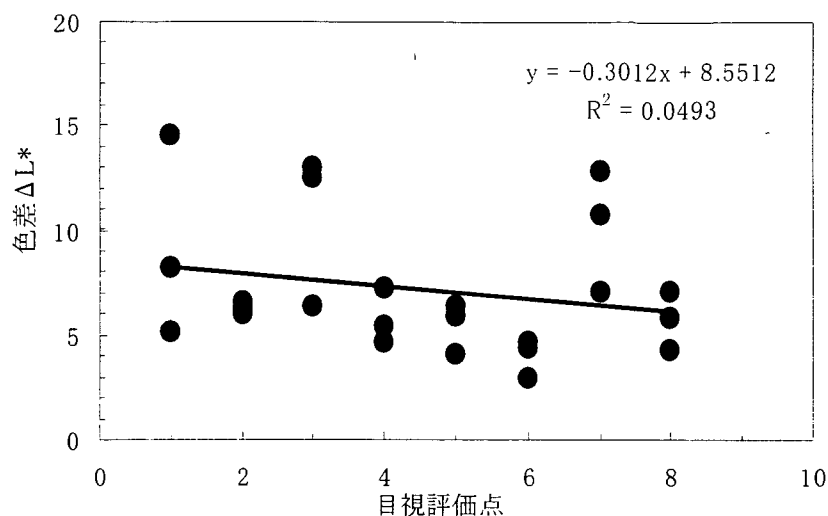


図-2・2 目視官能評価と色差 ΔE^* の相関性

(4) 目視官能評価と明度差 ΔL^* の結果

つくばに1年間暴露した3種類の上塗り塗料を8色、合計24枚の暴露試験板を使って官能評価と明度差 ΔL^* の関係を明らかにする調査を行った。官能評価は7名で順位法を使って評価した。

結果を図-2・3 に示す。目視官能評価と明度差 ΔL^* の間に相関性が認められた。汚れを定量的に評価する方法として、官能評価結果に近い傾向が得られる明度差 ΔL^* が適していることが明らかになった。今後、本共同研究で汚れの程度を評価する方法として、明度差 ΔL^* を使用することとした。

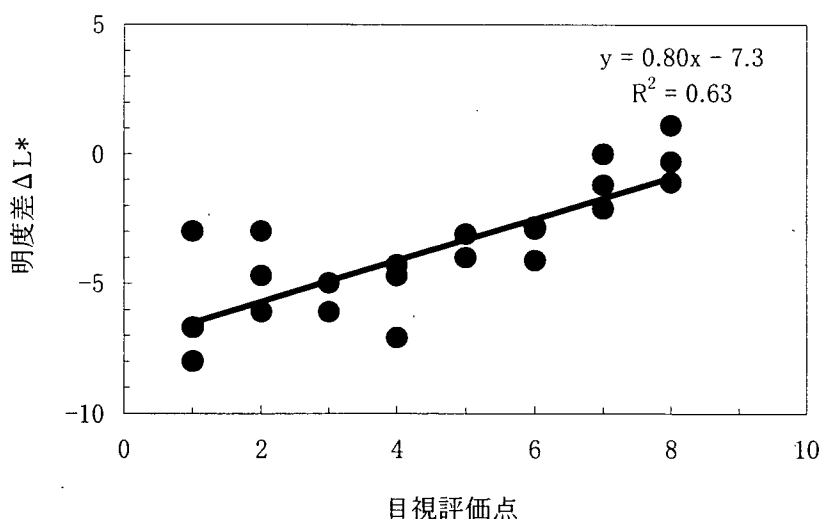


図-2・3 目視官能評価と明度差 ΔL^* の相関性

官能評価と明度差 ΔL^* に相関関係があることがわかったので、東京、つくば、藤枝、沖縄暴露6ヶ月と

1年の全暴露板の目視官能評価結果と明度差 ΔL^* の関係を調査した。今回の官能評価は試験板を順位法で10段階に点数化して、汚れがほとんど認められないレベル(10～9点)、少し認められるレベル(8～7点)、かなり認められるレベル(6～1点)に分類した。結果を図-2・4に示す。

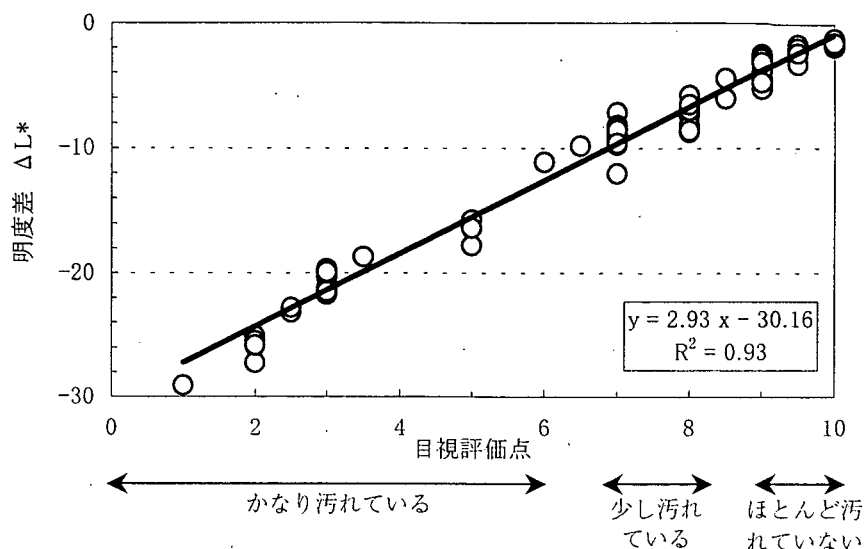


図-2・4 全暴露試験板の目視評価と明度差 ΔL^* の相関関係

2. 3. 3 色彩と汚れ

色彩と汚れの関係を更に詳しく検討する目的で、ふっ素樹脂塗料上塗りを使用して5系統31色の試験板を作製し東京で暴露試験を行った。試験板の色を表-2・9に示した。

表-2・9 暴露試験片の色彩

色 彩	マ ン セ ル 値					
	N10	N8	N6	N5	N3	N1
グレー系(6色)						
クリーム系(6色)	2.5Y8/2	2.5Y7/2	2.5Y5/2	2.5Y3/2	2.5Y8/4	2.5Y8/6
赤 錆 系(6色)	7.5R7/3	7.5R5/3	7.5R2/3	10R3.5/7.5	10R4/5	10R3/2
緑 系(7色)	2.5G7/2	2.5G6/2	2.5G5/1.5	2.5G4/8	2.5G4/5	5G6/4.5
青 系(6色)	10B6/7	10B5/3	10B4.5/5	10B3/5	2.5PB5/8	2.5PB3.5/10

表-2.10 塗料の色彩と汚れの関係

塗 料 の 色 彩			暴露前のL*a*b*			暴露後の明度差 ΔL^*	
マンセル	日塗工	色見本	L*値	a*値	b*値	3ヶ月	6ヶ月
N 1 0	R1-1036		96.61	-0.48	1.71	-10.65	-21.63
2.5Y 8/4	R17-343		81.88	1.6	25.59	-7.59	-16.31
2.5Y 8/6	R17-382		81.59	3.27	30.28	-7.57	-15.38
2.5Y 8/2	R12-302		79.77	-0.26	16.98	-7.42	-14.84
N 8	R1-1002		77.22	0.34	-0.47	-6.78	-14.09
7.5R 7/3	R11-154		70.07	10.82	9.09	-5.65	-12.14
2.5Y 7/2	R12-336		69.42	1.23	16.24	-5.68	-11.98
2.5G 7/2	R13-535		69.06	-9.72	6.00	-4.78	-8.14
N 6	R2-1006		66.12	-0.29	-0.78	-5.07	-10.60
5G 6/4.5	R19-502		58.28	-19.75	6.74	-3.33	-6.08
2.5G 6/2	R13-542		57.16	-8.99	5.55	-3.37	-5.71
10B 6/7	R19-737		57.12	-9.92	-27.89	-3.88	-6.01
2.5Y 5/2	R24-363		55.44	1.78	13.67	-3.74	-7.57
N 5	R2-1008		54.68	0.15	0.70	-3.45	-6.99
5G 5.5/8	R36-554		52.30	-36.05	9.59	-2.98	-5.02
10B 5/3	R25-711		49.83	-4.86	-9.05	-2.49	-4.14
2.5PB 5/8	R34-846		46.45	-8.12	-27.73	-2.10	-3.80
2.5G 5/1.5	R26-559		45.87	-4.99	3.22	-1.71	-3.76
10B 4.5/5	R23-708		43.28	-7.57	-17.08	-1.58	-2.96
10R 4/5	R20-106		40.63	20.01	14.51	-1.69	-2.69
7.5R 3.5/3	R23-157		38.37	14.33	8.06	-1.19	-2.39
10R 3.5/7.5	R20-144		37.22	31.79	23.86	-1.23	-1.80
2.5G 4/8	R37-550		36.77	-29.03	10.22	-0.93	-1.98
2.5G 4/5	R22-540		34.87	-19.24	5.85	-0.29	-1.35
2.5Y 3/2	R28-366		32.72	1.57	8.96	-0.45	-0.17
10Y 3/2	R28-150		31.90	9.65	7.66	-0.30	0.04
2.5PB 3.5/10	R40-837		29.37	8.46	-40.87	0.32	-0.04
N 3	R2-1034		28.64	1.03	-1.85	0.44	0.95
10B 3/5	R27-738		26.49	-1.86	-18.77	0.84	0.60
7.5R 2/3	R28-167		22.66	10.77	6.68	1.63	3.94
N 1	R2-1037		18.86	0.93	-0.90	2.37	5.04

暴露3ヶ月と6ヶ月の結果を塗色の明度L*値が高いものから順に表-2・10に示す。塗色の明度L*値が小さいほど、暴露後の明度変化である明度差 ΔL^* が小さく、汚れが目立たない傾向が認められた。逆に塗色の明度L*値が大きい塗色は、明度差 ΔL^* が大きく汚れが目立つ傾向があることが分った。塗色の明度L*値と東京暴露6ヶ月後の汚れ（明度差 ΔL^* ）の関係を図2・5に示す。

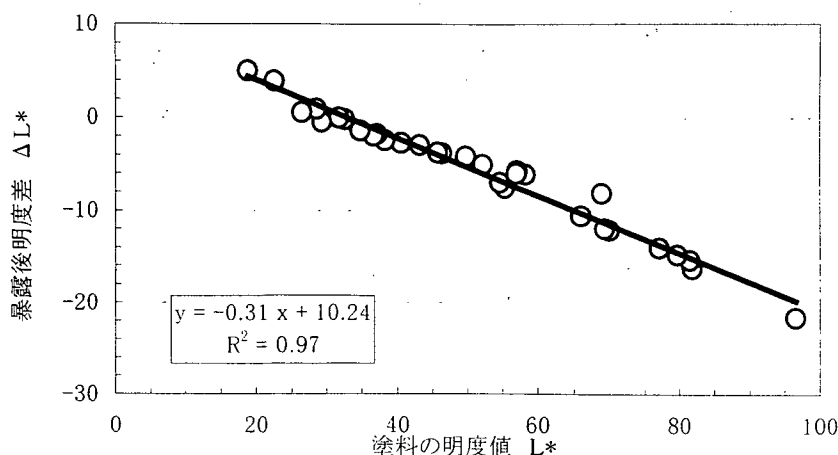


図2・5 塗色の明度L*値と汚れの相関関係

塗色の明度L*値と暴露後の明度差 ΔL^* に高い相関関係が認められ、明度が高い明るい塗色ほど汚れが目立つと言えることが明らかになった。この結果から、構造物周辺の環境を測定し汚れの程度が分れば、汚れを目立たなくするために、塗色の明度L*値をどの程度にするべきかを予測する技術に応用できるものと考えられる。

例えば構造物の周辺環境が、白で明度差 $\Delta L^* = -20$ 程度に汚れる場合、塗色の明度L*値を60程度にすると、汚れは明度差 ΔL^* で-10以下に抑えることができる。すなわち、N-6 グレーを塗装すると、白を塗装した場合に比べ、汚れは半分以下に感じると推察される。

2. 3. 4 促進汚染試験方法の検討

実験室で促進汚染試験を行い、実環境の汚れを再現できる促進試験方法を確立することを目的として検討を行った。当時の日本工業規格(案)「建築用外壁材料の汚染促進試験方法」に準拠した市販の流下式汚染試験装置を改良し、汚染物質を含んだ水を塗膜表面に流下して、塗膜の汚染を促進試験できるようにした。更に東京暴露場の汚染物質を分析した結果を参考にして、中ピッチ(JIS K2439)を配合した汚染液を作製した。促進試験機の稼働条件を検討し、東京暴露の汚れを約2時間で再現できる促進汚染試験法を提案した。しかし、上塗り塗膜に汚染懸濁液を流下するときにはいくつか問題点など検討課題も残されている。

2. 3. 5 暴露試験結果

(1) 各種上塗りの耐候性試験結果

全18種類の塗料を環境が異なるつくば、東京、藤枝、沖縄で暴露を行い、各塗料の耐候性の評価を行った。供試塗料の中から、フタル酸樹脂塗料、塩化ゴム系塗料、ポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料の5種類の塗料について、つくば、東京、藤枝、沖縄の4暴露地で1年間暴露

した結果を図-2.6 に示す。

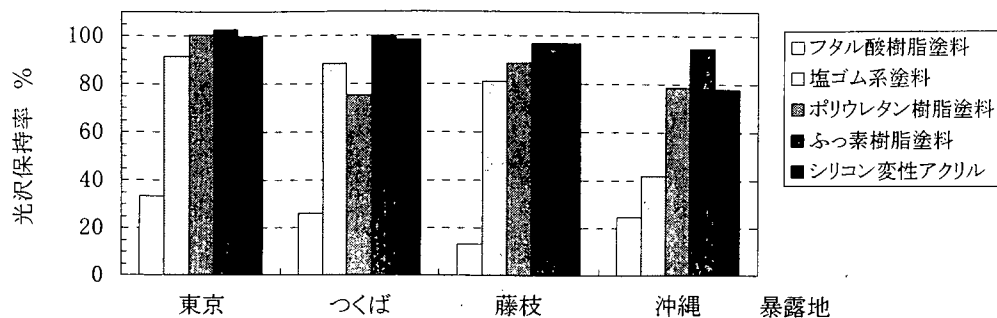


図-2.6 主な塗料の暴露1年後の光沢保持率

塗料別にみると、暴露1年ではふっ素樹脂塗料のような高耐候性上塗り、いずれの暴露地においても高い光沢保持性を示すが、塩化ゴム系塗料は沖縄での光沢低下が大きく、他の暴露地との差が顕著であった。一方、フタル酸樹脂塗料では暴露地に関係なく光沢が低下した。暴露地別では、沖縄で暴露した結果が最も厳しく、いずれの塗料も沖縄暴露後の光沢保持率が他の暴露地と比べて低かった。東京、つくば、藤枝での暴露試験結果は、大差なかった。

4 暴露地の中から最も厳しい沖縄と穏やかなつくばの長期暴露試験結果を図-2.7 および図-2.8 に示す。つくば暴露において、塗料の耐候性の差が顕著に長期にわたって現れた。しかし、沖縄では光沢保持率の差が顕著であったのは暴露2年後までで、5年後の調査においては、いずれの塗料の光沢も低下していた。

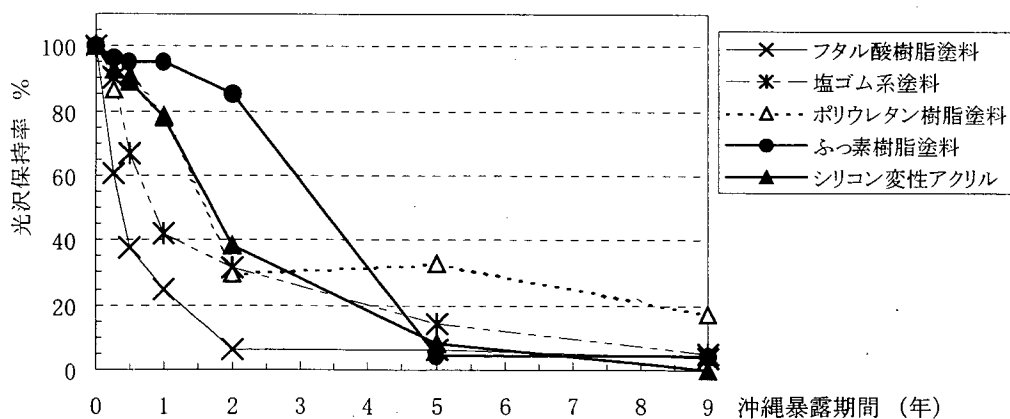


図-2.7 主な塗料の沖縄暴露試験結果

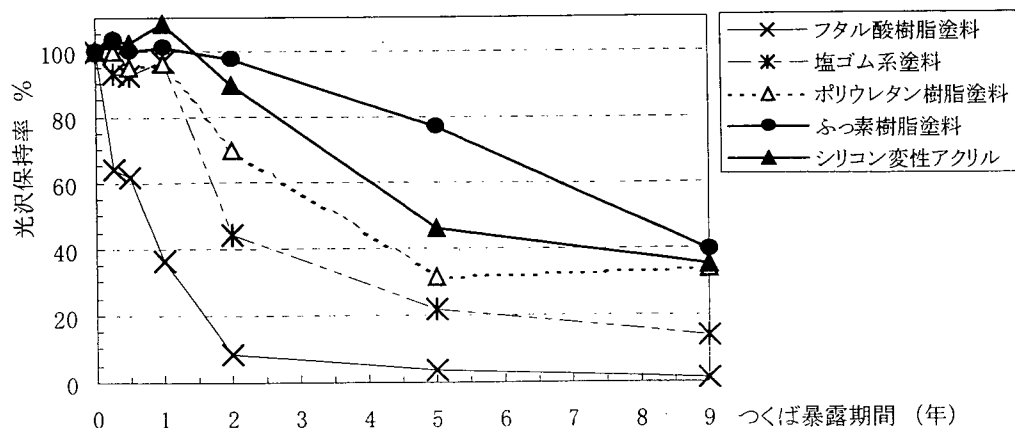


図-2・8 主な塗料のつくば暴露試験結果

全供試塗料 18 種の沖縄暴露およびつくば暴露の結果を図-2・9 および図-2・10 に示す。塗料間の耐候性の差は、つくば暴露 9 年後においても明確に現れ、ふっ素樹脂塗料の耐候性が他の塗料より比較的良好で、シリコン変性アクリル樹脂、ポリウレタン樹脂、塩化ゴム系塗料の順であった。

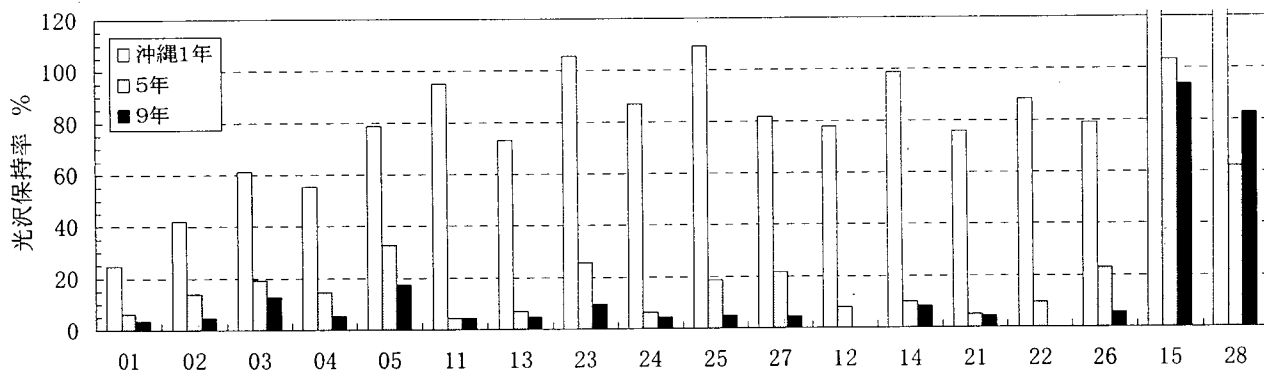


図-2・9 全供試塗料の沖縄暴露試験結果

01;フタル酸樹脂塗料、02;塩化ゴム系塗料、03、04、05;ポリウレタン樹脂塗料、11、13、23、24、27;ふっ素樹脂塗料
25;シラノール架橋ふっ素樹脂塗料、12、14、21、22;シリコン変性アクリル樹脂塗料、26;ふっ化アクリル樹脂塗料
15;シリコン系塗料、28;シリカ系塗料

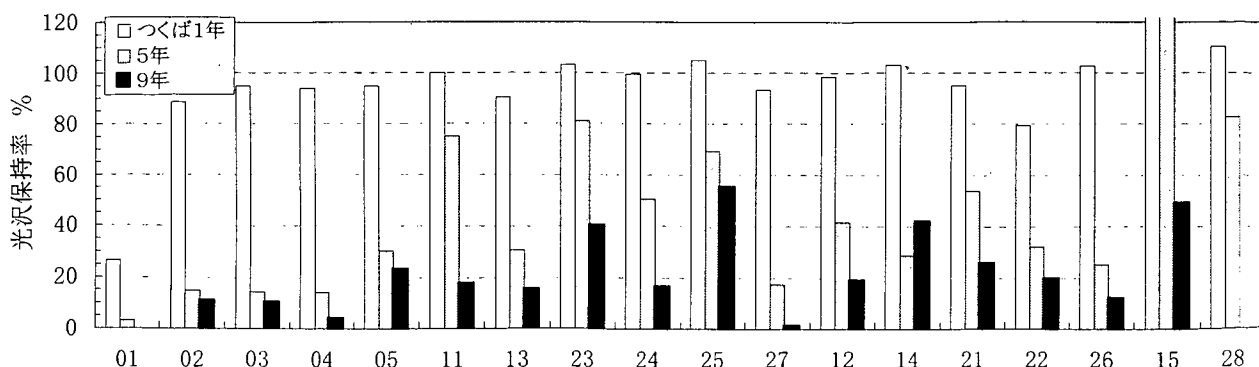


図-2・10 全供試塗料のつくば暴露試験結果

01;フタル酸樹脂塗料、02;塩化ゴム系塗料、03、04、05;ポリウレタン樹脂塗料、11、13、23、24、27;ふっ素樹脂塗料
25;シラノール架橋ふっ素樹脂塗料、12、14、21、22;シリコン変性アクリル樹脂塗料、26;ふっ化アクリル樹脂塗料
15;シリコン系塗料、28;シリカ系塗料

つくばにおいて通常の南向き暴露以外に北向き暴露も行った。いずれの塗料も北向きに暴露した方が光沢低下が穏やかであった。フタル酸樹脂塗料や塩化ゴム系塗料では南北の差は、暴露2年後までみられたが、5年後の調査では両者の差は認められなかった。しかし、高耐候性上塗りの場合両者の差が長期にわたってみられた。ふっ素樹脂塗料とシリコン変性アクリル樹脂塗料の暴露試験結果を図-2・11に示す

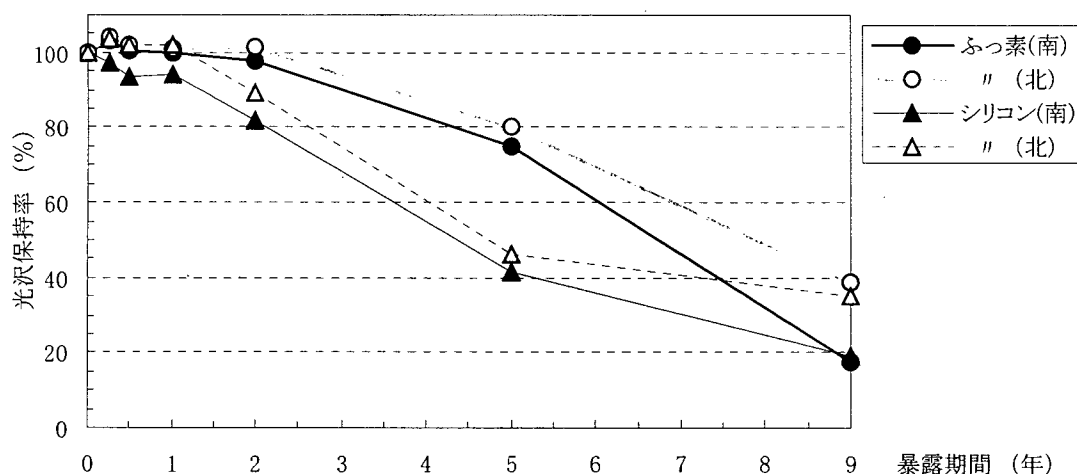


図-2・11 ふっ素樹脂塗料とシリコン変性アクリル樹脂塗料の暴露試験結果

●;ふっ素樹脂塗料(南面暴露) ○;ふっ素樹脂塗料(北面暴露)
▲;シリコン変性アクリル樹脂塗料(南面暴露) △;シリコン変性アクリル樹脂塗料(北面暴露)

(2) 各種上塗り塗料の耐汚染性

WG 2の暴露試験目的は、土木構造物に使用される塗料の汚れ程度を比較検討することである。そのために環境が異なる4暴露場で暴露試験を行った。特に汚れやすいと考えられた東京とつくばにおいて、南面暴露試験だけでなく、庇を設置して直接雨が掛からない暴露試験や、雨筋汚れの程度を評価するための流下水暴露試験も行った。従来塗膜が汚れていると官能的に評価していたが、本WGの研究で官能評価と明度差 ΔL^* の間に強い相関性が認められることを見出し、以後汚れの評価を明度差 ΔL^* を測定することとした。

1) 供試塗料の各暴露地における汚れ

供試塗料の中から、フタル酸樹脂塗料、塩化ゴム系塗料、ポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料の5種類の塗料について、つくば、東京、藤枝、沖縄の4暴露地で1年間暴露した結果を図-2・12に示す。東京暴露場の汚れが著しく、 ΔL^* が-30以下になる塗料もあった。つくばと藤枝は ΔL^* がともに-9程度で、東京暴露場の1/2程度の汚れ環境であると推察される。沖縄の汚れはさらに小さく、 ΔL^* は-2程度で官能的にも汚れているとは感じないレベルであった。

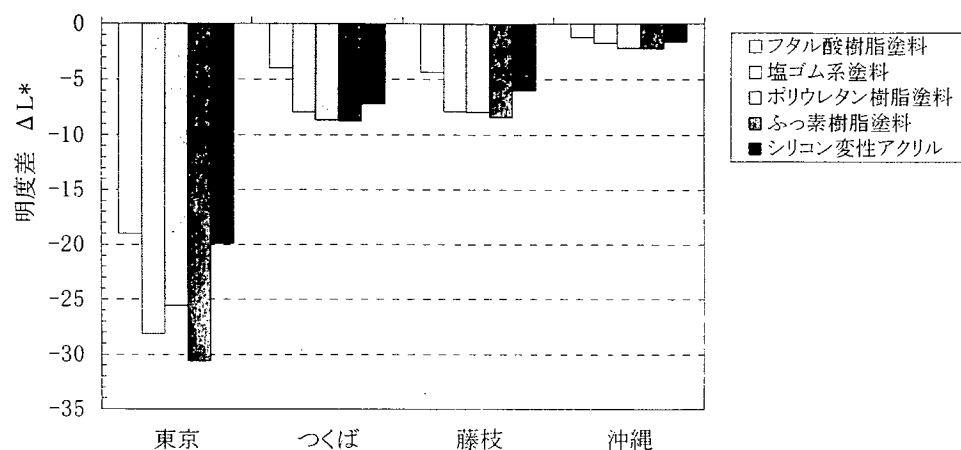


図-2・12 主な塗料の1年暴露後の汚れ

2) 供試塗料の東京暴露場での汚れ

汚れ環境が最も厳しい東京暴露場で1年間暴露し、全塗料の汚れ性を評価した結果を図-2・13に示す。18種の供試塗料はいずれも、汚れが目立たないとされる ΔL^* が-7以上を示すものではなく、比較的強く汚れていると感じる ΔL^* が-20以下のレベルであった。

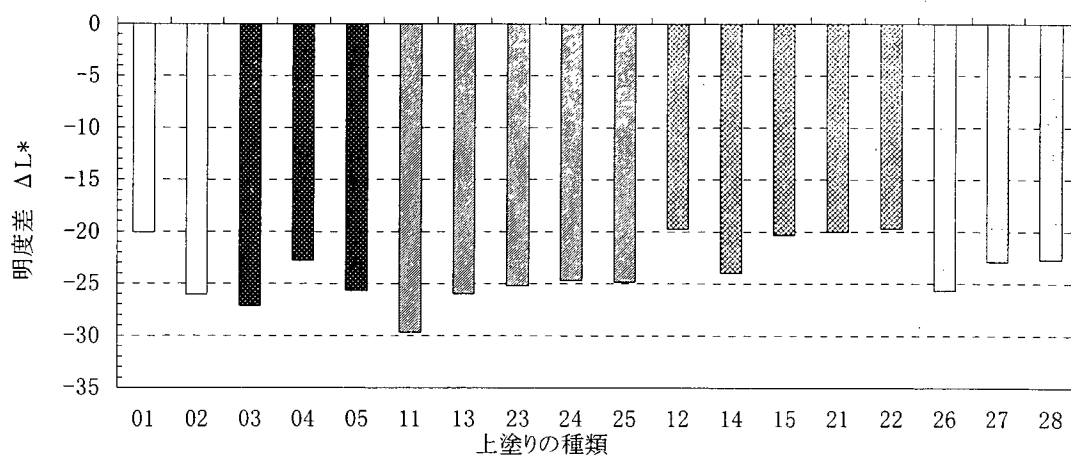


図-2・13 全供試塗料の東京暴露1年後の汚れ

01;フタル酸樹脂塗料、02;塩化ゴム系塗料、03、04、05;ポリウレタン樹脂塗料、11、13、23、24、27;ふっ素樹脂塗料
25;シラノール架橋ふっ素樹脂塗料、12、14、21、22;シリコン変性アクリル樹脂塗料、26;ふっ化アクリル樹脂塗料
15;シリコン系塗料、28;シリカ系塗料

5種類のふっ素樹脂塗料は ΔL^* が-25~-30の範囲で、供試塗料中で汚れが最も著しかった。次に汚れたのは塩化ゴム系塗料とポリウレタン樹脂塗料で、 ΔL^* が-25前後のレベルであった。比較的汚れが少なかったのはシリコン変性アクリル樹脂塗料で、5種類とも ΔL^* が-20~-25のレベルであった。

ふっ素樹脂塗料とシリコン変性アクリル樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料について、つくばで暴露中に耐汚れ性が変化する様子を図-2・14に示す。ふっ素もシリコンも2年後をピークにその後は汚れが減少することがわかった。ふっ素、シリコンともに、2年後の光沢保持率は80%以上あり、塗膜表面が健全な状態を維持しているため親油性の汚れが付着しやすい状態にあると考えられる。

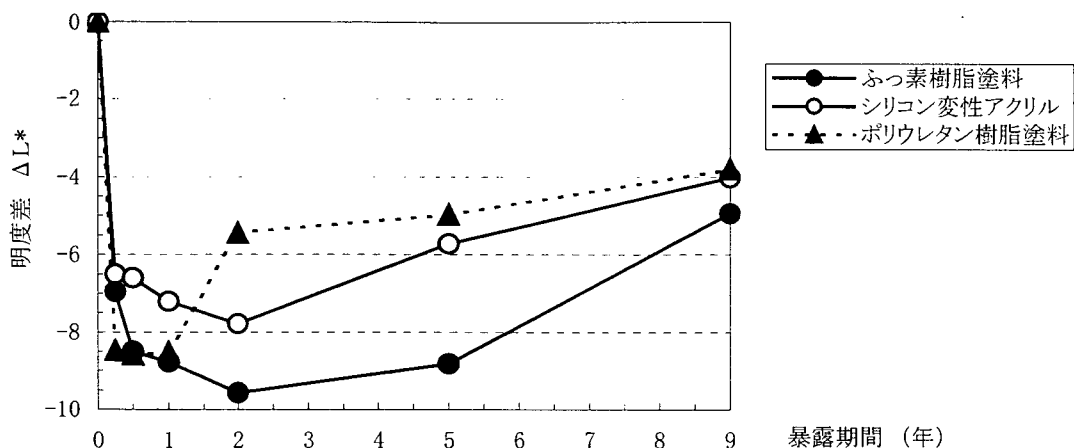


図-2・14 主な塗料のつくば暴露における汚れ変化

一方、ポリウレタン樹脂塗料は1年後をピークに2年後から汚れは回復した。光沢保持率が2年後に1年後の1/2以下の31に低下しており、塗膜表面が劣化し始め親水性化したため汚れが付着しにくくなったものと推察される。

3) 雨が当たらない暴露試験の結果

東京暴露場でひさしを付けて垂直暴露した結果を図-2・15に示す。

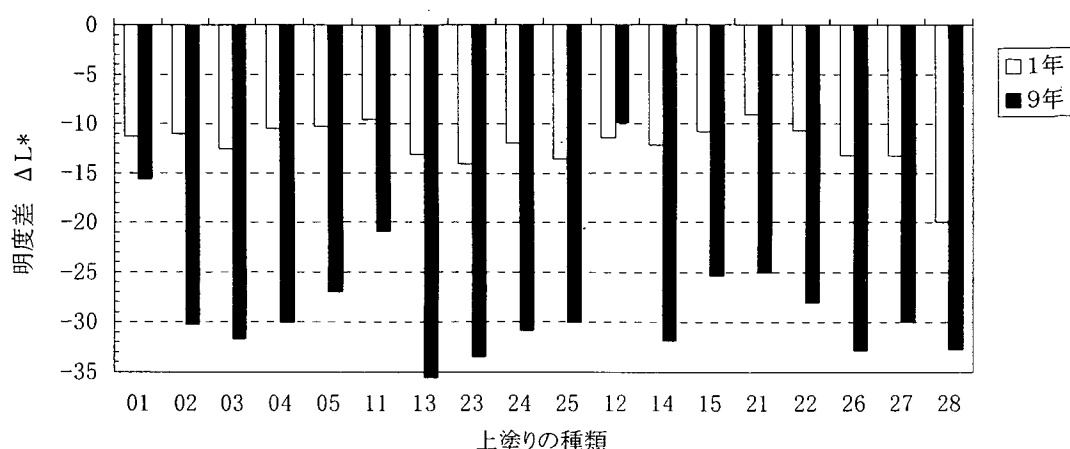


図-2.15 東京暴露場でひさしを付けた試験片の汚れ

01;フタル酸樹脂塗料、02;塩化ゴム系塗料、03、04、05;ポリウレタン樹脂塗料、11、13、23、24、27;ふっ素樹脂塗料
25;シラノール架橋ふっ素樹脂塗料、12、14、21、22;シリコン変性アクリル樹脂塗料、26;ふっ化アクリル樹脂塗料
15;シリコン系塗料、28;シリカ系塗料

南向き暴露と異なり、暴露期間が長期になっても汚れの回復は認められなかった。フタル酸樹脂塗料およびNo12のシリコン変性アクリル樹脂塗料のみが、9年暴露後の汚れが少なかった。フタル酸樹脂塗料の場合、9年暴露後の光沢保持率は14%に低下しており、塗膜表面の劣化が進んでいるため汚れが着きにくくなったと推察される。No12のシリコン変性アクリル樹脂塗料は、9年暴露後の光沢保持率が56%あり、塗膜表面の劣化は進んでないが、シリコン変性アクリル樹脂の特性で表面の親水化が進んでいるため、汚れが着きにくい状態になったと推察される。

東京暴露場で道路下の位置に南向き30度傾斜暴露を行った。本暴露場は交通量が1日18万台の国道357号線に沿っており、きわめて汚れが多い環境である。3ヶ月間暴露した結果、ほとんど塗料間の差はなく、 ΔL^* は-35~-40であった。雨が当たらないため、汚れが塗膜表面に降り積もった状態が継続するためと考えられる。

4) 流下水垂直暴露

橋脚などの外壁に雨筋汚れが着いて、構造物全体が汚れているような印象を与えることがある。雨筋が着きにくい特性があるかを評価する目的で、試験板の上から雨水が筋状に流れるよう板を設置して垂直暴露した。目視観察ではっきり雨筋が着いている試験板で雨筋部と雨筋が無い部分の明度差は、例えば、東京暴露6ヶ月でNo3のポリウレタン樹脂塗料は、予想外に小さく4以下であった。色差計の受光部の口径が雨筋より大きかったため、雨筋部の測定が正確にはできていなかった可能性があると考えられる。

5) トンネル暴露

国道1号線静清バイパスの丸子藁科トンネル内暴露試験は、雨で汚れが流れることなく積層するため塗料の種類に関係なく、暴露3ヶ月で明度差 $\Delta L^*=-10$ 程度、6ヶ月後明度差 $\Delta L^*=-15\sim-18$ 、1年後明度差 $\Delta L^*=-25$ 程度に汚れることがわかった。一般にトンネル内は定期的に洗浄されており、容易に汚れが落ち

る特性が要求される。ポリウレタン樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料およびふっ素樹脂塗料など反応硬化する塗料は、水洗後の明度差 ΔL^* が5以下で比較的小さく汚れが落ちやすい。しかし、塩化ゴム系塗料は他の塗料に比べて水洗後の明度差 ΔL^* が-10以下になるケースもあり、汚れを除去しにくい塗料であることがわかった。

2. 4 まとめ

- 1) 汚れ物質を分析した結果、自動車排気ガスやコンクリートに由来する成分が多く検出された。東京都内の交通量が多い場所に堆積している汚れは親油性成分が28%含まれていた。
- 2) 汚れの程度を判定する手法を検討して、色彩色差計を用いて明度値を測定する手法が有効であった。標準板または水洗して汚れていない場所との明度差 ΔL^* で判定する方法が、目視評価と強い相関性が認められた。
- 3) 目視評価で汚れていると感じるレベルは、明度差 ΔL^* で-10以下のレベルであることがわかった。
- 4) 色彩と汚れの関係を調査した結果、明度値が高い色は汚れが目立つことが明らかになった。
白で明度差 ΔL^* が-20以下になるような環境に置かれる構造物では、例えばN6グレー程度の明度値をもつ色彩で塗装すれば、汚れは1/2程度に感じると推察される。
- 5) 環境が異なる4地域で暴露試験を行った結果、耐候性を評価するには沖縄が最も厳しい環境であることがわかった。東京、藤枝、つくばは同等の環境である。
- 6) 耐候性に関して厳しい環境である沖縄で暴露した場合、塗料種別の耐候性の差が認められる期間は2年程度であるが、マイルドなつくばでは9年後の調査においてもふっ素をはじめとする高耐候性塗料の優位性が認められた。
- 7) 東京暴露場の汚れが最も著しく、明度差 ΔL^* が-30以下になる塗料もあった。つくばと藤枝は同レベルにあり、東京暴露場の1/2程度の汚れ環境であることがわかった。また、沖縄は明度差 ΔL^* が-2程度で、官能的にも汚れを感じないレベルであった。
短期に耐候性を評価するには沖縄暴露場、汚れを評価するには東京暴露場が適している。
- 8) 共同研究を行った平成元年から4年当時の市販および開発品の耐汚れ性は、汚れが目立たないとする明度差 ΔL^* が-7以上を示すものはなく、比較的強く汚れていると感じる明度差 ΔL^* が-20以下のレベルであった。大差なかったが、ふっ素は明度差 ΔL^* が-25~-30の範囲で比較的汚れが大きかった。一方、シリコン変性アクリルは明度差 ΔL^* が-20~-25のレベルであった。
- 9) ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料とも2年後をピークに、その後は汚れが減少することがわかった。2年後の光沢保持率は80%以上あり、塗膜表面が健全な状態を維持しており、親油性の汚れが付着しやすい状態にある。その後、徐々に塗膜表面が親水化するため汚れが減少する。一方、ポリウレタン樹脂塗料は1年後をピークに2年後から汚れは回復した。ポリウレタン樹脂塗料の耐候性がふっ素樹脂塗料よりも劣るため、ピークが速く現れる。
- 10) ひさしを付けて暴露した結果、雨が当たる暴露と異なり、暴露期間が長期になっても汚れの回復は認められなかった。また、東京暴露場の道路下に暴露した結果、塗料間の差はなく明度差 ΔL^* は-40にも達した。雨でほこりなどの汚れを落とすことなく、塗膜表面に降り積もった状態が継続するためと考えられる。

2. 5 高耐久性被覆材料の試験施工

2. 5. 1 土木研究所構内横断橋への施工

1992年3月に建設省土木研究所構内の北側横断橋に、高耐久性被覆材の試験施工を行った。南北の桁の外面部（上フランジ下面、腹板、下フランジ上面）と桁中央部の下フランジ下面の全面を対象とし、塗装面積は330㎡であった。南面の鉄桁をローズリラ色、北面の鉄桁および中央部の下フランジ下面をスプリングリーフ色に塗装した。

2. 5. 2 試験施工塗装区分

塗装仕様を「一般部」と「下フランジ下面添接部」に区分した。一般部は景観、耐候性および耐汚染性を検証するための塗装仕様を選定した。また、下フランジ下面添接部は防食性を検証するための塗装仕様を選定し、できるだけ多くの情報を得るために複数の塗装仕様や塗料品質で塗り分けた。一般部を区画①～⑥に、下フランジ下面添接部をA～Fに区分した。図-2・16 に各部位の塗り分け区分とその内容を示す。

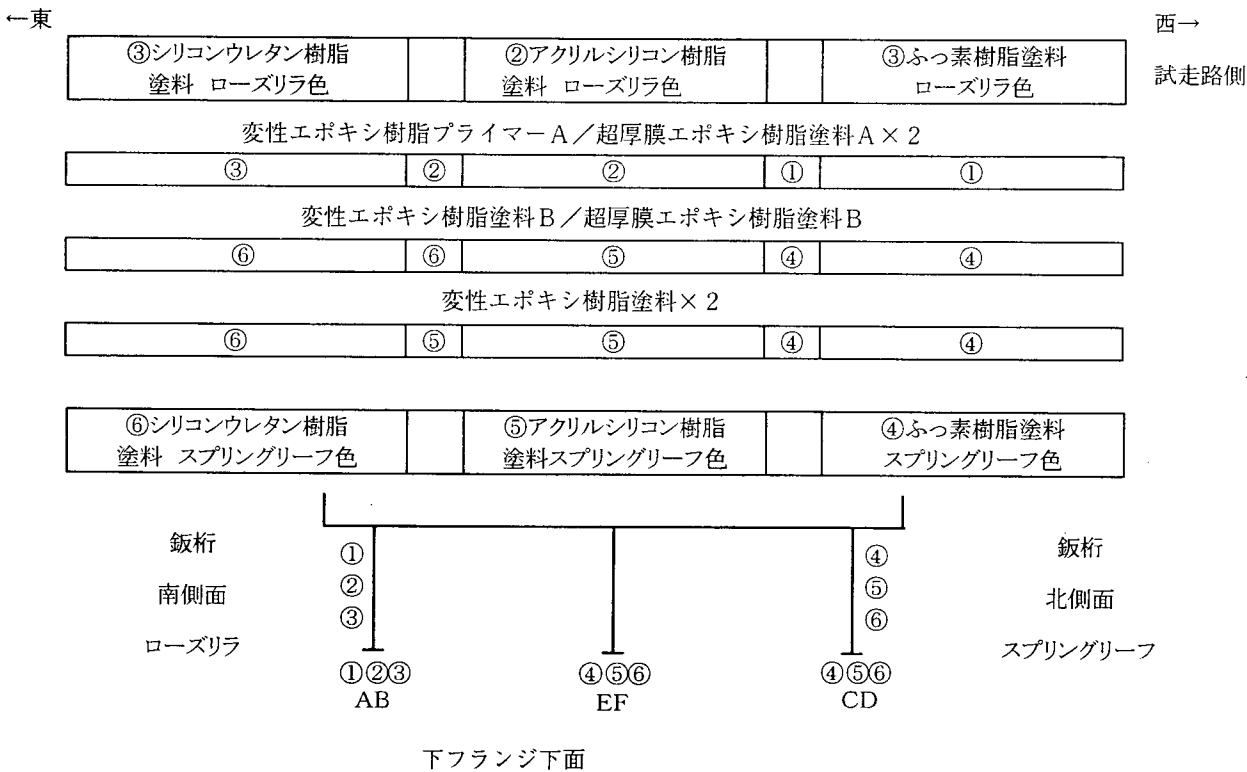


図-2・16 試験施工の塗装区分

2. 5. 3 試験施工塗装仕様

一般部および下フランジ下面添接部の塗装仕様をそれぞれ表-2・11 および表-2・12 に示す。下フランジ下面は他の部位より腐食しやすいので、変性エポキシ樹脂塗料を1回増し塗りした。上塗りには高耐久性被覆材料として、ふっ素樹脂塗料、シリコン変性アクリル樹脂塗料、シリコンウレタン樹脂塗料を塗装した。

下フランジ下面添接部は超厚膜形エポキシ樹脂塗料と変性エポキシ樹脂塗料の比較で塗り分けた。A・B、とE・Fは、超厚膜型エポキシ樹脂塗料の塗り回数の差、C・Dは変性エポキシ樹脂塗料下塗2回塗りの塗装仕様で塗装仕様間の差を検証する目的である。

表-2・11 一般部の塗装仕様

区画 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
上塗り塗色	南 面(ローズリラ色)			北 面(スプリンググリーン色)		
素地調整	3 種 Cケレン					
下塗(部分)	変性エポキシ樹脂塗料下塗(240g/㎡)					
下塗	変性エポキシ樹脂塗料下塗(240g/㎡)					
中塗 (140g/㎡)	ふっ素樹脂 塗料用中塗	アクリルシリコン 樹脂塗料用 中塗	シリコンウレタン 樹脂塗料用 中塗	ふっ素樹脂 塗料用中塗	アクリルシリコン 樹脂塗料用 中塗	シリコンウレタン 樹脂塗料用 中塗
上塗 (120g/㎡)	ふっ素樹脂 塗料上塗	アクリルシリコン 樹脂塗料上塗	シリコンウレタン 樹脂塗料上塗	ふっ素樹脂 塗料上塗	アクリルシリコン 樹脂塗料上塗	シリコンウレタン 樹脂塗料上塗

注) 下フランジ下面は下塗がもう1回増し塗りされている。

表-2・12 下フランジ下面添接部の塗装仕様

部位	南面 下フランジ面添接部		中央 下フランジ面添接部		北面 下フランジ面添接部	
部位No.	A	B	E	F	C	D
素地調整	3 種 C ケ レ ン					
補修塗装	—		変性エポキシ塗料B (120g/㎡)		変性エポキシ下塗 (240g/㎡)	
下塗1層目	変性エポプライマーA (120g/㎡)		変性エポキシ塗料B (120g/㎡)		変性エポキシ下塗 (240g/㎡)	
下塗2層目	超厚膜エポキシA (1000g/㎡)		超厚膜エポキシB (1000g/㎡)		変性エポキシ下塗 (240g/㎡)	
下塗3層目	超厚膜エポキシA (1000g/㎡)					
中塗 (140g/㎡)	ふっ素樹脂 塗料用中塗	アクリルシリコン 樹脂塗料用中塗	ふっ素樹脂 塗料用中塗	シリコンウレタン 樹脂塗料用中塗	ふっ素樹脂 塗料用中塗	アクリルシリコン 樹脂塗料用中塗
上塗 (120g/㎡)	ふっ素樹脂 塗料上塗	アクリルシリコン 樹脂塗料上塗	ふっ素樹脂 塗料上塗	シリコンウレタン 樹脂塗料上塗	ふっ素樹脂 塗料上塗	アクリルシリコン 樹脂塗料上塗

2. 5. 4 試験施工結果

(1) 施工前の塗膜状態調査結果

素地調整前の塗膜状態を ASTM D610 に準拠して調査した。調査結果を表-2・13 に示す。

表-2・13 施工前の塗膜調査結果

区画	項目	①	②	③		
南側	さび	9(0.03%)	9(0.03%)	9(0.03%)		
	われ	8	8	8		
	ふくれ、はがれ	10	10	10		
部位	項目	③	A	②	B	①
南側 下フランジ下 面	さび	5(3%)	2(33%)	5(3%)	2~1(50%)	5(3%)
	われ	10	6	10	6	10
	ふくれ、はがれ	10	10	10	10	10
部位	項目	⑥	E	⑤	F	④
中央部 下フランジ下 面	さび	4(10%)	2(33%)	5(3%)	3(16%)	5(3%)
	われ	10	6	10	6	10
	ふくれ、はがれ	10	10	10	10	10
部位	項目	⑥	C	⑤	D	④
北側 下フランジ下 面	さび	6(1%)	1(50)	5(3%)	2(33%)	5(3%)
	われ	10	6	10	6	10
	ふくれ	8F	10	8F	10	8F
	はがれ	10	10	10	10	10
部位	項目	⑥	⑤	④		
北側面	さび	9(0.03%)	9(0.03%)	9(0.03%)		
	われ、ふくれ	10	10	10		

(2) 試験施工した塗料の塗装作業性と仕上り性

塗装はすべてはけ塗りで行った。添接部に塗装した超厚膜形エポキシ樹脂塗料は、規定の使用量で塗付できなかったが、その他の塗装作業上の問題はなかった。ふっ素樹脂塗料用およびシリコン樹脂塗料用中塗り、同上塗りは、従来から実績あるポリウレタン樹脂塗料用中塗りおよび上塗りと同レベルで、塗装作業上の問題はなかった。乾燥塗膜の仕上り性は、すけ、われ、はじき、発泡、ちぢみ等の問題なく良好であった。

2. 5. 5 追跡調査

(1) 塗膜の外観調査結果

施工7年後の塗膜外観調査を行った結果、1年目および3年目の調査結果と大きな変化はなかった。1年目の調査時に見られたダメージ部からの発錆が、7年後に大きく進行していないことを確認した。7年後のさび、ふくれ、われ等の塗膜外観調査結果を表-2・14 に示す。

表-2・14 施工7年後の塗膜外観調査結果（さび、ふくれ、われ等）

区画No.	腹板一般部	下フランジ上面	下フランジ上面
①	異常なし	異常なし	異常なし
②	異常なし	異常なし	異常なし
③	異常なし	エッジ部打傷4個	異常なし
④	異常なし	異常なし	異常なし
⑤	打傷1個	打傷1個	異常なし
⑥	異常なし	異常なし	エッジ部割れさび

腹板一般部および下フランジ上面に打ち傷が散見された以外に、塗膜に異状は認められなかった。区画No⑥（C・D）の下フランジ下面のエッジ部は、部分的に塗膜のわれを伴い、錆を生じていた。この部分は3種Cケレン後、変性エポキシ樹脂塗料を3回塗装している。区画No⑤も同じ塗装仕様であるが、塗膜のわれやさびを生じていなかった。両者の差はエッジ部の施工による差と推定される。このような欠陥を生じやすい部分は、入念な施工が望まれる。上記以外に下フランジ下面の塗膜状態に差はなく、現時点で塗装仕様間の差は認められなかった。

(2) 60度鏡面光沢測定結果

試験施工部の中から腹板中央の光沢変化を表-2・15に示す。3年後の調査までは、南北面の光沢保持率は77～100%程度あったが、7年後の調査では、南面の光沢保持率が大きく低下した。特に、区画②のシリコン変性アクリル樹脂塗料（ローズリラ色）の光沢低下が大きく、目視観察でもその変色が目立って大きかった。

表-2・15 腹板中央部の光沢保持率変化

区画No.と 塗料種	色	初期 光沢	1年後保持率(%)		3年後保持率(%)		7年後保持率(%)	
			水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後
①ふっ素	ローズ リラ色	77.5	105.2	108.1	91.4	95.1	41.2	45.0
②シリコン		80.8	89.1	96.3	75.7	83.0	26.5	30.2
③シリコンウレタン		76.0	100.5	110.0	75.9	95.4	59.8	64.8
④ふっ素	スプリング リーフ色	82.9	91.0	96.3	71.8	77.9	65.8	72.5
⑤シリコン		72.8	92.0	98.6	83.9	102.6	54.9	59.3
⑥シリコンウレタン		79.6	100.8	101.0	92.8	99.2	64.3	70.4

(3) 色差測定結果

試験施工部の中から腹板中央と下フランジ上面の色差変化を表-2・16に示す。1年後の調査では著しい変色は認められなかったが、3年後から南面に施工したローズリラ色の区画①と②の塗膜に変色が生じ始めた。7年後の調査では、区画②の色差 ΔE^* は21、区画①の色差 ΔE^* は14まで大きくなり、目視で確認できる状態にまで変色していた。両者ともa*値が減少しており、赤が減少している。

一方、北面のスプリングリーフ色の変色は、7年経過後も色差 ΔE^* で5未満で目視で変色は感じない範囲であった。区画③と区画⑥は着色顔料が異なるシリコンウレタン樹脂塗料である。南北面の色差に及ぼす影響は、色差 ΔE^* で3程度であった。同様に区画①と区画⑥のふっ素樹脂塗料の場合、南北面の色差に及ぼす影響は色差 ΔE^* で9程度と比較的大きな値であった。赤顔料の耐候性に問題があったのではないかと推定される。

汚れを評価する明度差 ΔL^* は、通常汚れが付着すると減少する。南面のローズリラ色では、明度差 ΔL^* 値は増大しており、汚れによる減少よりも変色による影響が上回っていた。一方、北面の明度差 ΔL^* はわずかに減少しただけで、変色、汚れの影響は軽微であった。今回試験塗装した横断橋は自動車の通行量が極めて少ないため、汚れの影響はほとんど受けない環境であったと判断される。

写真-2.1
雨筋暴露試験

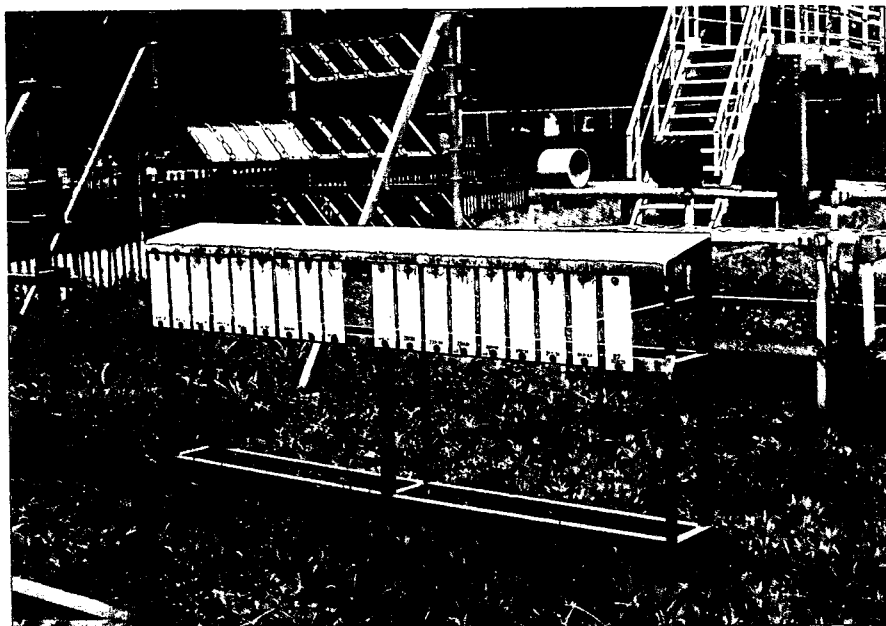
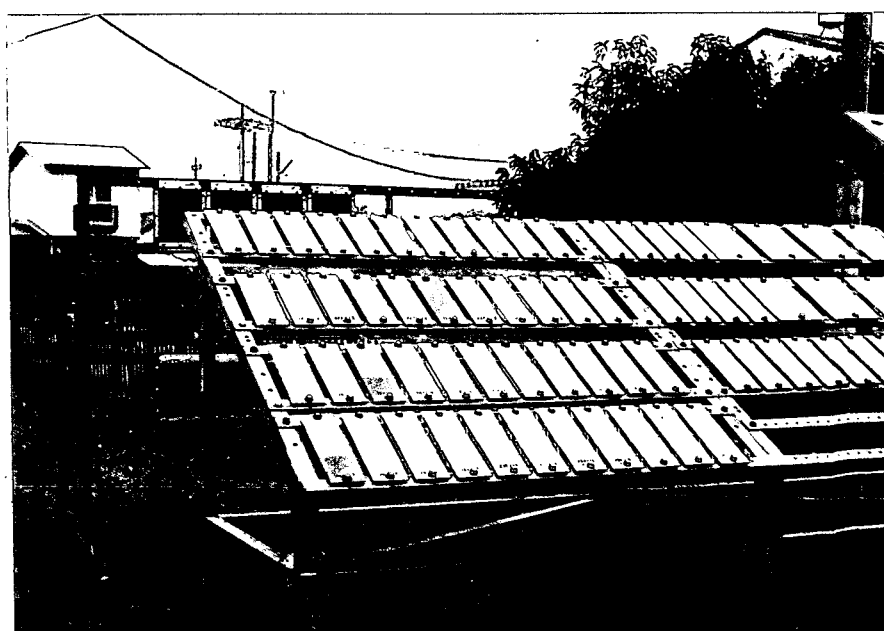


写真-2.2
ひさし下暴露試験



写真-2.3
南向き 30° 暴露試験



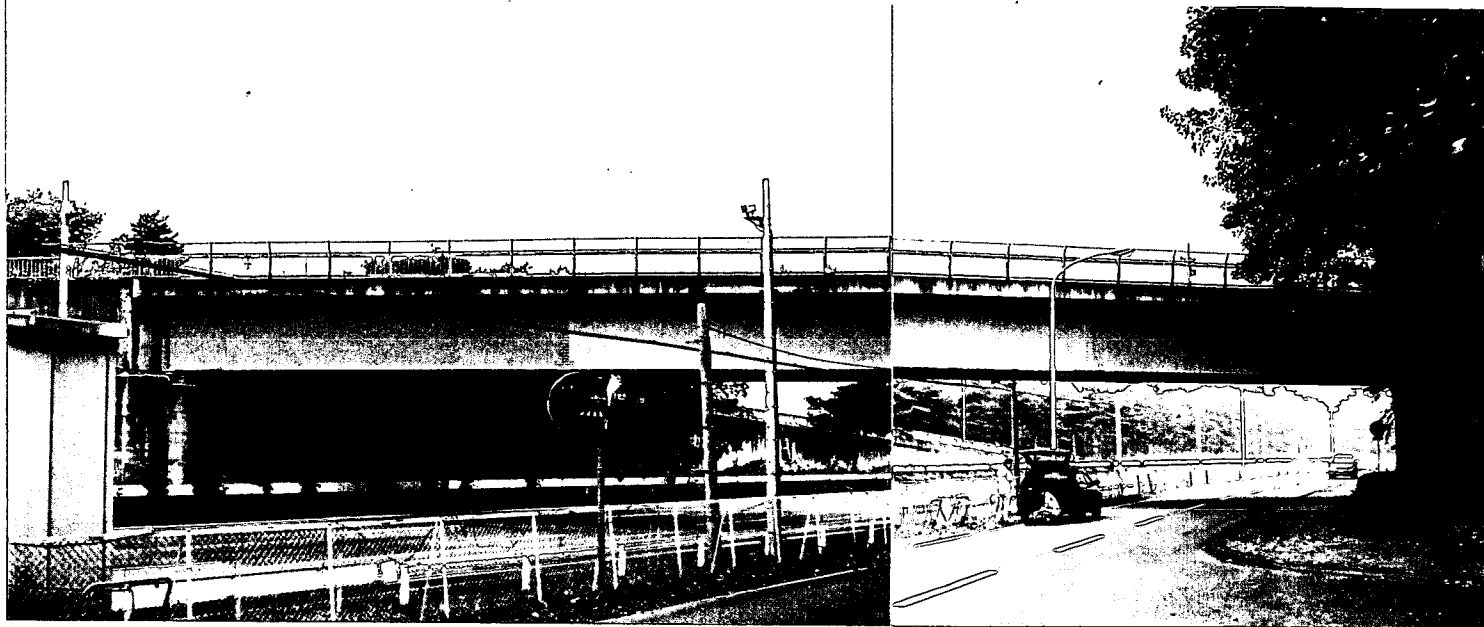


写真-2・4 試験施工7年後の塗膜状態（ローズリラ色）

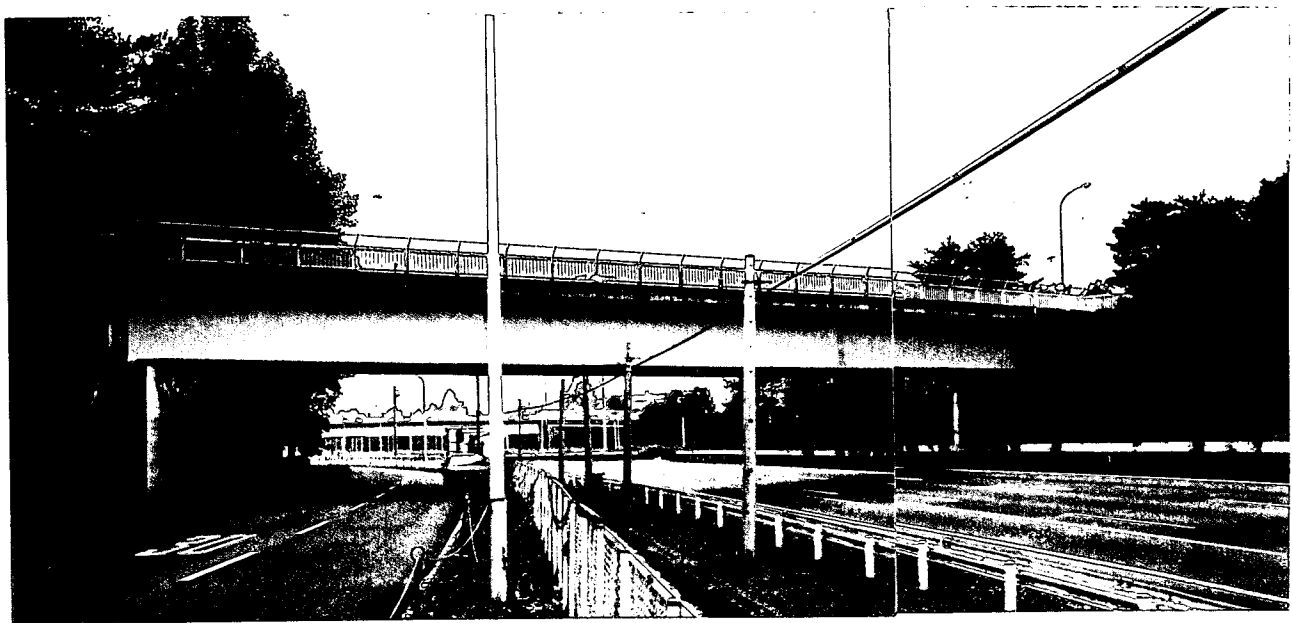


写真-2・5 試験施工7年後の塗膜状態（スプリングリーフ色）

表-2.16 試験施工部の色差変化

部位	色		1年後		3年後		7年後	
			水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後
① ふっ素	ローズ ブリ ラ	ΔE*	4.06	3.87	6.29	6.06	14.41	13.23
		ΔL*	0.04	0.14	1.14	0.97	4.36	2.98
		Δa*	-3.65	-3.85	-6.15	-5.95	-13.73	-12.89
		Δb*	-0.04	0.36	0.65	0.64	-0.25	-0.18
② アクリル シリコン		ΔE*	4.12	3.80	8.09	7.67	21.30	19.39
		ΔL*	0.41	0.31	2.62	2.84	9.78	8.90
		Δa*	-4.03	-3.73	-6.85	-6.29	-17.35	-15.70
		Δb*	-0.76	-0.66	-3.41	-3.35	-7.54	-7.10
③ シリコン ウレタン		ΔE*	3.49	2.99	4.37	3.89	7.17	6.20
		ΔL*	0.09	-0.01	0.69	1.19	1.60	1.73
		Δa*	-3.49	-2.99	-4.31	-3.69	-6.96	-5.93
		Δb*	-0.14	-0.14	-0.24	-0.33	-0.62	-0.53
④ ふっ素	スプ リン グ リー フ	ΔE*	4.03	2.57	3.83	2.02	4.51	3.66
		ΔL*	-2.20	-1.00	-1.64	-0.30	-1.61	-0.90
		Δa*	2.67	2.07	2.47	1.79	3.86	3.44
		Δb*	-2.06	-1.16	-2.43	-0.88	-1.69	-0.85
⑤ アクリル シリコン		ΔE*	5.63	3.71	4.96	3.64	5.44	4.99
		ΔL*	-2.70	-1.30	-1.44	-0.44	-0.47	-0.23
		Δa*	3.30	2.70	2.54	1.98	3.79	3.75
		Δb*	-3.68	-2.18	-4.01	-3.02	-3.88	-3.28
⑥ シリコン ウレタン		ΔE*	3.29	1.90	5.68	2.61	4.16	3.27
		ΔL*	-1.93	-0.73	-2.53	-0.38	-0.58	0.20
		Δa*	1.84	1.64	2.52	1.77	2.89	2.51
		Δb*	-1.92	-0.62	-4.42	-1.88	-2.94	-2.08

2. 5. 6 試験施工まとめ

1) 塗替えに使用した塗料の塗装作業性に大きな問題はなかった。

ふっ素樹脂塗料用およびシリコン樹脂塗料用中塗り、同上塗りは、従来から実績あるポリウレタン樹脂塗料用中塗りおよび上塗りと同レベルで、塗装作業上の問題はなかった。また、すけ、われ、はじき、発泡、ちぢみ等仕上がり上の問題なく良好であった。

2) 施工7年後の塗膜外観調査の結果、腹板一般部および下フランジ上面に打ち傷が散見された以外に、塗膜に異状は認められず、現時点で塗装仕様間の差は認められなかった。

3) 3種Cケレン後、変性エポキシ樹脂塗料を3回塗装した区画No⑥（C・D）の下フランジ下面のエッジ部は、部分的に塗膜のわれを伴い錆を生じていた。同じ塗装仕様である他の区画は、われやさびを生じていなかったもので、両者の差はエッジ部の施工による差と推定される。このような欠陥を生じやすい部分は、入念な施工が望まれる。

4) 区画②のアクリルシリコン樹脂塗料（ローズリラ色）の光沢低下が大きく、目視観察でもその変色が目立って大きかった。この部分は施工3年後の調査時から光沢低下と色差 ΔE^* の増大が認められた。区画①のふっ素樹脂塗料（ローズリラ色）は、7年後の調査で光沢低下と色差 ΔE^* の増大が認められた。5) 試験塗装部北面のスプリングリーフ色の目視観察で、汚れは全く感じられず、明度差 ΔL^* はわずかに減少しただけで、汚れの影響は軽微であった。今回試験塗装した横断橋の環境は、自動車の通行量が極めて少ないため、汚れの影響はほとんどなかったと判断される。

3. トップコートの耐候性に関する研究 (WG 3)

3. 1 研究の目的

経済の充実の中で土木分野の鋼構造物は、本州四国連絡橋のように大型化し不特定多数が利用する状況になってきている。これら構造物は周辺環境と調和するための美粧性が重要であり、また長期の使用に耐えられることも必要である。社会ストックを健全に長期間維持してゆくことは、時代の大きな課題となっている。有用で適切な維持管理技術として塗料、および塗装技術があり、この分野の技術は大きく進歩し格段に耐久性の高い被覆材料が開発されてきている。

本研究は、高耐久性を有する被覆材料の促進試験と暴露試験を行い、高耐久性被覆材料と利用技術の提供を目的とする。

3. 2 研究方法

3. 2. 1 促進耐候試験

促進試験機として、サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機（以下、SWM と略する）、紫外線蛍光ランプ法耐候試験機（以下QUVと略する）、キセノンアーク灯式耐候性試験機（以下XWM と略する）を使用した。

表-3・1 に太陽光と人工光源の波長分布人工光源の波長別分布を示す。促進試験機に使われる人工光源の分光エネルギー分布は大きな違いがあり、太陽光の波長別分布にはXWM が一番近い。QUVは97%が(<400nm)の紫外域に分布し、可視領域にはほとんど分布しない。

表-3・1 太陽光と人工光源の波長分布¹⁾

波長領域 (nm)	太陽光 (%)	SWM (%)	QUV (%)	XWM (%)
<300	0.01	0.02	14	0.01
300~400	1.6	2	70	1.5
340~400	4.5	11	13	5
UV 小計<400	6.1	13	97	6.5
400~750	48	32	3	51.5
UV 可視小計				
<750	54	45	100	58
>750	46	55	—	42
合 計	100	100	100	100

(1) サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機 (SWM)

日本では、現在最も多く使用されている機種である。連続点灯78時間のSWMスーパーロングライフカーボンアーク灯を光源としている。カーボン電極は、セリウムを発光剤とし、280から400nmの紫外領域に豊富なエネルギーを有し、可視、赤外とも太陽光に近似している。上部カーボン、下部カーボン4対の組合せで、放電はこの内いずれか1対が放電を行い、カーボンの消耗に従って順次他の電極に放電移動して放電を継続して行く。光源の周囲は板状の光学フィルターで囲み、255nm以下の波長はカットする。

放電電圧電流は50V±2%、60A±2%、降雨時間及び周期時間は一般に規格に定められ、日本の規格では、JIS K5400(1990)に120分照射周期中18分降雨と規定されている。表-3・2にSWMの運転条件、表-3・3にSWMの形式を示す。

表-3・2 SWMの運転条件

ブラックパネル温度	63±3℃
降雨制御	120分照射周期中18分降雨

表-3・3 SWM の型式

所有者	形式	年式
土木研究所	WEL-SUN-HC (スガ試験機)	—
旭硝子(株)	WEL-SUN-DCH (スガ試験機)	1985年1月
中国塗料(株)	WEL-SUN-DC (スガ試験機)	1989年8月
関西ペイント(株)	WEL-SUN-HC (スガ試験機)	1990年
大日本塗料(株)	WEL-SUN-HC (スガ試験機)	1990年10月
スガ試験機(株)	WEL-SUN-HC (スガ試験機)	1990年10月

(2) 紫外線蛍光灯法耐候試験機 (QUV)

紫外線蛍光灯の照射と湿潤（暗黒）のサイクルによる促進耐候試験機で塗膜の物性劣化や、プラスチックの紫外線劣化試験に用いられている。このランプは太陽光には見られないようなUVエネルギーが含まれており、375nm以上のエネルギーはほとんど見られない。従って、比較的長い波長の紫外線から可視領域の効果によって生じる劣化（変退色）は起こらないことになる。例えば、黄変現象による評価では、短波長の紫外線ほど効果は大きく有効な試験方法となるが、ブリーチング（漂白、退色）による評価の場合は黄変と異なり、波長の長い光（400nm前後）の影響を受けやすいので注意して使用する必要がある。塗膜の物性劣化やプラスチックの紫外線劣化試験の促進には有効であると言われている。蛍光灯は、1600～1800時間ごとに取り替える必要がある。表-3・4にQUVの運転条件、表-3・5にQUVの形式を示す。

表-3・4 QUVの運転条件

条件	温度	時間
照射	70℃	8時間
湿潤	50℃	4時間

表-3・5 QUVの型式

所有者	形式	年式
日本ペイント(株)	DPWL-5R型 デューパネル光コントロールウェザーメーター (スガ試験機)	1987年11月
スガ試験機(株)	DPWL-5R型 デューパネル光コントロールウェザーメーター (スガ試験機)	—

(3) キセノンアーク灯式耐候性試験機 (XWM)

XWM ランプは定格 6.0 k W、2.5 k W、1.5 k W、と種類が多く、冷却方式も水冷、空冷の違いがある。XWM ランプは連続点灯ができる特長を有するが、同時に最大欠点は経時的にエネルギーの減衰が著しい。特に 290-400 nm の波長領域において、急速に減衰する傾向があるので、定格以下で使用される。XWM ランプの分光分布としては太陽光に近似しており、人工光源の分光分布としては理想に近いものである。

この促進試験機のユーザーは大手の自動車関連のメーカーであり、米国の GM、フォード、クライスラーなどは、従来まで使用されていたカーボンアークから次第に XWM アーク式に移行しつつある。最近では ISO (International Organization for Standardization) の TC 61 (プラスチック) 及び TC 22 (自動車) などの委員会では、XWM への一本化の動きがあった。表-3.6 に XWM の運転条件を示す。

表-3.6 XWM の運転条件

ブラックパネル温度	63 ± 3℃
降雨制御	120 分照射周期中 18 分降雨

3. 2. 2 暴露試験

暴露場所を表-3.7 に示す。

表-3.7 暴露場所

暴露場所	所在地	暴露試験条件
つくば	茨城県つくば市 土木研究所 建設材料研究施設	南向き 45 度暴露 JIS K5400 9.9
沖縄	沖縄県大宜味村字津波 沖縄建設材料研究施設	南向き 22 度暴露 JIS K5400 9.9
北海道	苫小牧市三沢 北海道開発局土木試験所	南向き 45 度暴露 JIS K5400 9.9
フロリダ	フロリダ州マイアミ (北緯 25° 33' 西経 80° 21')	—

3. 2. 3 評価方法

塗膜表面の劣化状態を評価する方法は、塗膜の外観変化を標準品と比べて目視で判定する方法や機器を用いて色艶の変化を測定する方法がある。表面の状態変化を知るために、表面の形状変化を微視的に観察できる電子顕微鏡 (SEM) を用いる方法もある。また、表面の構造変化を知るために、IR などを用いた分子結合状態の分析を行う方法もある。

高耐久被覆材料の耐候性の評価として、①光沢度の測定、②色差の測定、③SEM (電子顕微鏡) 観察を行った。

(1) 光沢値の測定

- 1) 概要：塗膜の光沢の程度を、入射角と受光角とがそれぞれ60度のときの反射率を測定して、鏡面光沢度の基準面の光沢度を100としたときの百分率で表す。塗膜の外観上の評価と、樹脂変化の判断基準の一つとする。
- 2) 測定方法：JIS K 5400-1990 7.6 に準じるが、測定は位置を変えて3回行い、それぞれの測定値と平均値とを記録する。
- 3) 装置：鏡面光沢度は下図に概念を示す装置によって試料面に60度の入射角で、規定の開き角の光束を入射し、鏡面反射方向に反射する規定の開き角の光束を受光器で測る。
- 4) 評価方法：計画の試験時間に達した試験板を測定後、試験前の値を初期値とし測定値の変化を考察する。また初期での光沢値が試料の種類により異なるため、各々の測定値/初期値×100＝光沢保持率とし試験時間の経時にともなう保持率の変化を考察する。

(2) 色差の測定

- 1) 概要：塗膜の変色の程度を、試料面に対し一つの光線束で照射し、あらゆる方向へ反射する光を集積して受光する。光電色彩計を用いて色空間に座標として表し、標準色との座標距離で色差を表す。塗膜の色相変化の判断基準とする。
- 2) 測定方法：JIS K 5400-1990 7.4 および JIS Z 8722 に準じるが、測定は位置を変えて3回行い、それぞれの測定値と平均値とを記録する。
- 3) 装置：JIS Z 8722 5.2 に規定する光電色彩計を用い JIS Z 8720 3.2 の標準の光Cで JIS Z8722 4.3 条件d 試料面の放線に対して光軸がなす角度がなす角度が10度を越えない一つの光線束で試料を照明し、あらゆる方向へ反射する光を集積して受光する。
- 4) 評価方法：色差は JIS K 5400 7.4 及び JIS Z 8730 (色差表示方法) の 6.1 に規定する $L^* a^* b^*$ 表示系による色差式を用いて求めた。

(3) 電子顕微鏡 (SEM) による塗膜の外観測定

- 1) 概要：塗膜の耐候性を評価するために走査型電子顕微鏡 (SEM ; Scanning electron microscope) を用いて塗膜表面の劣化状態を観察する。
- 2) 測定方法：塗装試験板より 5mm 角の試片を切り出し、この試片の塗膜面を金 (Au) で蒸着して測定用試料を作成する。この試料を走査型電子顕微鏡試料台に固定し、試料台の角度を変えることにより塗膜面に対する電子線の照射角をかえることが出来る。通常は照射角 45 度倍率 3000 倍を標準とし、塗膜表面状態の写真撮影を行って観察した。

3) 装置：走査型電子顕微鏡

4) 評価方法：初期での表面状態と試験後の表面状態を写真で比較し、表面形状の変化を観察し、5段階評価した。評価基準を表-3・8に示す。

表-3・8 SEMによる塗膜表面評価基準

評価点	評価点
1	劣化著しい
2	劣化
3	劣化が目立つ
4	若干劣化
5	異常なし

3. 2. 4 供試塗料

表-3・9に供試塗料の種類、表-3・10に色相を示す。

供試塗料は、ふっ素樹脂塗料、シリコン変性樹脂塗料の10種類と、比較用としてフタル酸樹脂塗料、塩化ゴム系塗料、アクリルウレタン樹脂塗料の合計13種類で試験を行った。

表-3・9 供試塗料の種類

No.	試料名	備考
1	フタル酸樹脂塗料	比較用
2	塩化ゴム系塗料	比較用
3	アクリルウレタン樹脂塗料	比較用
4	ふっ素樹脂塗料 (FEVE 交互共重合体)	
5	シリコン変性アクリル (アクリルシリコン) 樹脂塗料	
6	シリコン変性アクリル (シリコンウレタン) 樹脂塗料	
7	ふっ素樹脂塗料 (NAD 型)	
8	ふっ素樹脂塗料 (シノール架橋)	
9	ふっ化アクリル樹脂塗料	
10	シリコン変性アクリル樹脂塗料	
11	シリコン変性アクリル (アクリルシリコン) 樹脂塗料	
12	ふっ素樹脂塗料	
13	ふっ素樹脂塗料	

表-3・10 色相

色相	赤 (道路公団)	グレー (本四)	青 (1503)	ベージュ (1212)	緑 (P8-402.日塗工)
色 No.	1	2	3	4	5

3. 2. 5 塗装仕様

表-3・11 に促進試験片の塗装仕様、表-3・12 に暴露試験片の塗装仕様を示す。

表-3・11 促進試験片の塗装仕様

素 材	下地調整	下塗	中塗	上塗
0.8×70×150 mm 軟鋼板	①キシレン脱脂 ②#600 研磨紙で研磨 ③キシレン脱脂	エポキシ樹脂 塗料下塗 60 μ m	エポキシ樹脂系 塗料中塗 30 μ m	上塗塗料 20～25 μ m

注) シールは、エポキシ樹脂塗料下塗で1回塗装

表-3・12 暴露試験片の塗装仕様

供試塗料	塗料	膜厚(μ m)
No.1 (フタル酸樹脂塗料)	長ばく形エッチングプライマー	15
	鉛系さび止めペイント 1 種	35
	鉛系さび止めペイント 1 種	35
	長油性フタル酸樹脂中塗り	30
	長油性フタル酸樹脂上塗り	25
	膜厚合計	140
No.2 (塩化ゴム系塗料)	厚膜形無機ジンクリッチペイント	75
	ミストコート (エポキシ)	—
	厚膜形エポキシ下塗り	60
	厚膜形エポキシ下塗り	60
	塩化ゴム系塗料中塗り	35
	塩化ゴム系塗料上塗り	25
	膜厚合計	255
No.3 (アクリルウレタン樹脂塗料)	厚膜形無機ジンクリッチペイント	75
	ミストコート (エポキシ)	—
	厚膜形エポキシ下塗り	60
	厚膜形エポキシ下塗り	60
	アクリルウレタン樹脂塗料用中塗り	30
	アクリルウレタン樹脂塗料上塗り	30
	膜厚合計	260
No.4～13	厚膜形無機ジンクリッチペイント	75
	ミストコート (エポキシ)	—
	厚膜形エポキシ下塗り	60
	厚膜形エポキシ下塗り	60
	高耐久性樹脂塗料中塗り	30
	高耐久性樹脂塗料上塗り	30
	膜厚合計	260

3. 3研究結果

供試塗料を樹脂別に、No.4, 7, 8, 12, 13 をふっ素樹脂塗料、No.5, 6, 9,10,11 をシリコン変性アクリル樹脂塗料に分類し、ふっ素樹脂塗料の平均値をふっ素系の値、シリコン変性アクリル樹脂塗料の平均値をシリコン系の値として評価した。

3. 3. 1 促進耐候性試験結果

(1) サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機 (SWM) の結果

ふっ素系、シリコン系、アクリルウレタン樹脂塗料の光沢保持率の経時変化を図-3・1、3・2に示す。

5色 (赤、グレー、青、ベージュ、緑) 平均での光沢保持率は、アクリルウレタン樹脂塗料では試験期間 2000 時間後で 10%以下であるが、ふっ素系、シリコン系では 80%以上であった。また、ふっ素系では試験期間 4000 時間後でも 80%以上の光沢保持率であり、ふっ素系が最も光沢保持性が高かった。

色相の赤と緑の光沢保持率をみると、ふっ素系、シリコン系とも色相による差はなく高い光沢保持率であった。アクリルウレタン樹脂塗料では、色相の赤、緑とも試験期間 2000 時間後で 10%以下であった。

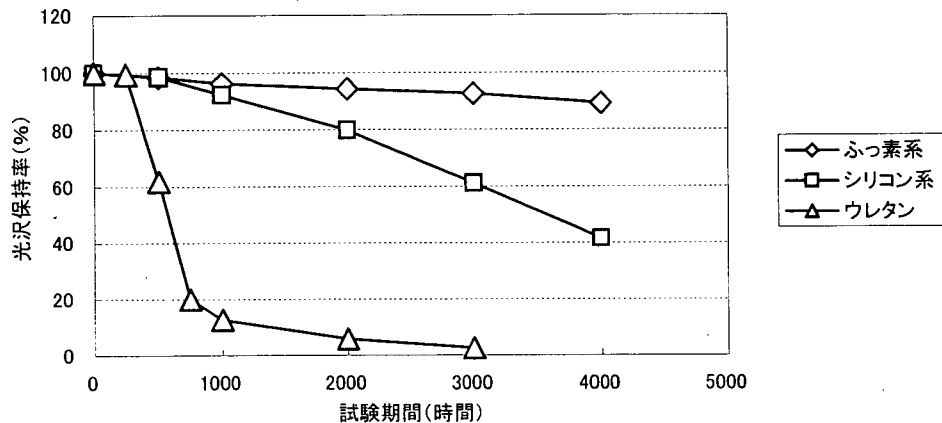


図-3・1 SWM試験の光沢保持率経時変化 (5色平均)

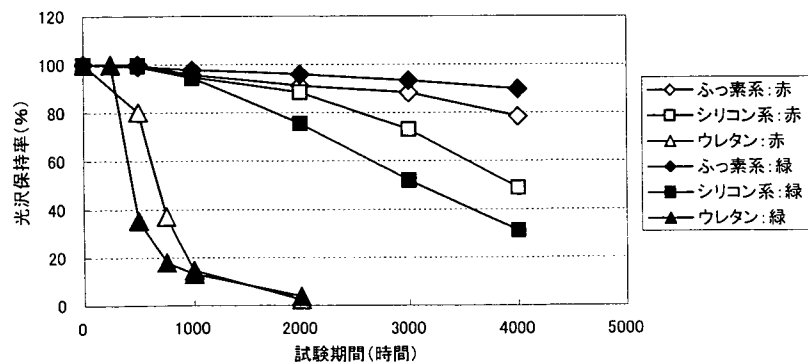


図-3・2 SWM試験の光沢保持率経時変化 (色相: 赤、緑)

(2) 紫外線蛍光ランプ法耐候試験機 (QUV) の結果

ふっ素系、シリコン系、アクリルウレタン樹脂塗料の光沢保持率の経時変化を図-3・3、3・4に示す。

5色平均での光沢保持率は、アクリルウレタン樹脂塗料では試験期間 500 時間後で 50%以下であった。一方、シリコン系では、試験期間 1000 時間で 80%以上であったが、1000 時間を過ぎると光沢保持率の低下が目立ち、試験期間 3000 時間では 20%以下であった。また、ふっ素系では、試験期間 3000 時間後でも 80%以上の保持率であった。

色相の赤とグレーの光沢保持率をみると、試験期間 3000 時間後ではふっ素系：赤は約 60%、ふっ素系：グレーは約 80%、またシリコン系：赤は 5%以下、シリコン系：グレーは約 20%であり、グレーの方が高い光沢保持率であった。

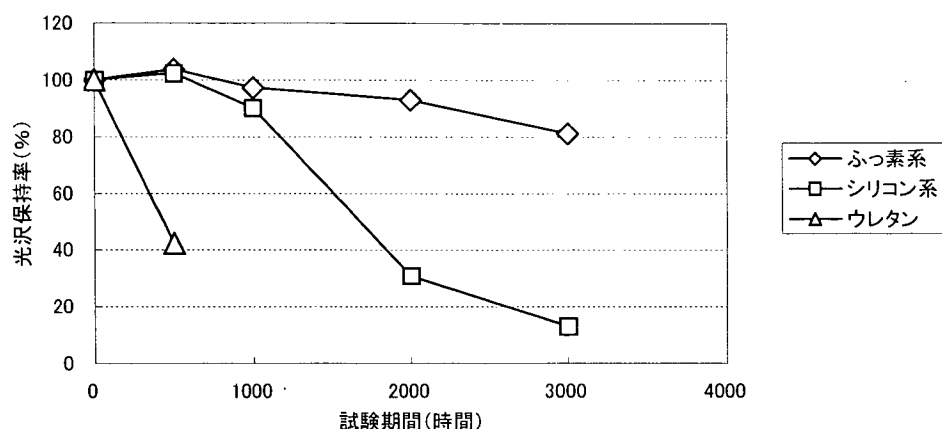


図-3・3 QUV試験の光沢保持率経時変化 (5色平均)

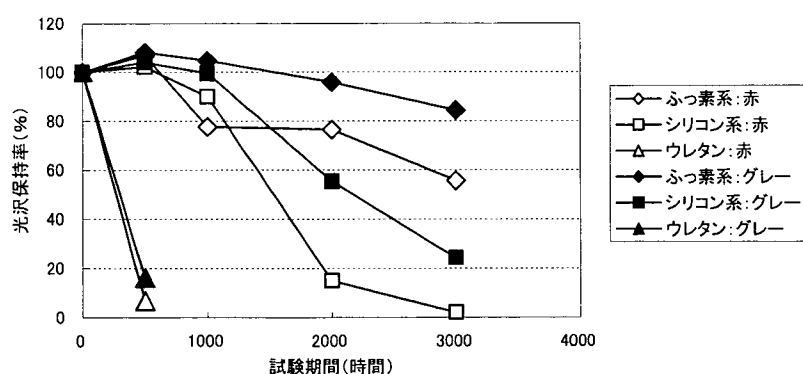


図-3・4 QUV試験の光沢保持率経時変化 (色相: 赤、グレー)

(3) キセノンアーク灯式耐候性試験機 (XMW) の結果

ふっ素系、シリコン系、アクリルウレタン樹脂塗料の光沢保持率経時変化を図-3・5、3・6に示す。

5色平均での光沢保持率は、ふっ素系では試験期間 2000 時間後で 80%以上であったが、4000 時間後では約 40%であった。シリコン系では試験期間 1000 時間後で光沢保持率約 80%あったが、2000 時間後では約 50%に低下した。一方、アクリルウレタン樹脂塗料では試験期間 1000 時間後で既に 20%以下であった。

色相の赤とグレーの光沢保持率をみると、ふっ素系、シリコン系ともほぼ同じ結果であった。

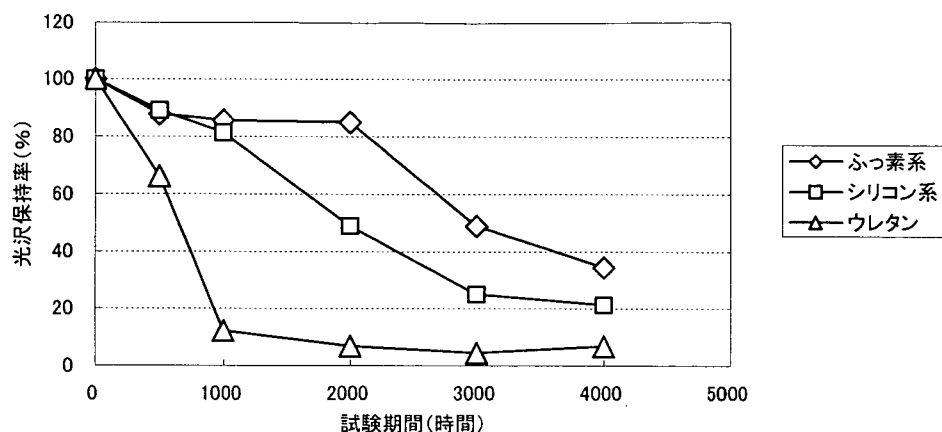


図-3・5 XMW試験の光沢保持率経時変化 (5色平均)

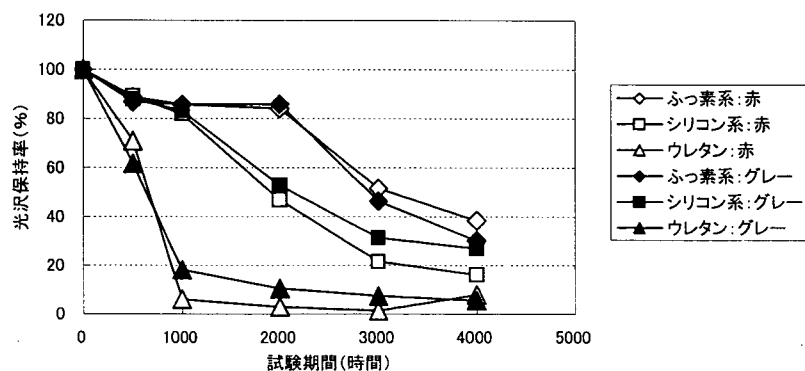


図-3・6 XMW試験の光沢保持率経時変化 (色相: 赤、グレー)

(4) 電子顕微鏡 (SEM) による評価

SWM、及びXWM試験後の供試塗料の塗膜表面を電子顕微鏡 (SEM) を用いて経時で観察した。

SEMによる塗膜表面観察結果と光沢保持率を表-3・13～3・16に示す。

フタル酸樹脂塗料では、SWM試験の500時間で塗膜表面の著しい劣化が観察された。また、塩化ゴム系塗料ではSWM試験の1000時間、アクリルウレタン樹脂塗料ではSWM試験の2000時間で塗膜表面の著しい劣化がみられた。ふっ素系、シリコン系の塗料では、SWM試験の3000時間まで塗膜表面は異常がみられなかった。XWM試験でも、フタル酸樹脂塗料、塩化ゴム系塗料、アクリルウレタン樹脂塗料は早期に塗膜表面の著しい劣化がみられたが、ふっ素系、シリコン系ではXWM試験の3000時間後でも塗膜表面の劣化は観察されなかった。

SEM観察で塗膜表面に若干の劣化がみられても、光沢保持率の低下は認められなかった。SEM観察での表面劣化の評価は、光沢測定による劣化評価よりも早期に塗膜の劣化を検知し得る可能性が認められた。

表-3・13 SEMによる塗膜表面観察結果と光沢保持率：SWM (色相 グレー)

No.	試験期間	500時間	750時間	1000時間	2000時間	3000時間	4000時間
1	SEM評価点	1	1	1	1	—	—
	光沢保持率%	40	—	20	17	—	—
2	SEM評価点	5	4	1	1	—	—
	光沢保持率%	77	—	70	43	—	—
3	SEM評価点	4	シリカ	—	1	—	—
	光沢保持率%	85	—	42	22	—	—
4	SEM評価点	—	—	5	5	5	4
	光沢保持率%	—	—	97	97	97	100
5	SEM評価点	—	—	5	5	5	5
	光沢保持率%	—	—	98	100	95	88
6	SEM評価点	—	—	5	5	5	2
	光沢保持率%	—	—	100	100	97	87
7	SEM評価点	—	—	5	5	5	4
	光沢保持率%	—	—	93	93	87	91
8	SEM評価点	—	—	5	5	5	シリカ
	光沢保持率%	—	—	100	98	82	87
9	SEM評価点	—	—	5	—	5	4
	光沢保持率%	—	—	98	95	87	87
10	SEM評価点	—	—	5	—	5	5
	光沢保持率%	—	—	99	97	95	79
11	SEM評価点	—	—	5	—	5	シリカ
	光沢保持率%	—	—	96	94	88	74
12	SEM評価点	—	—	5	—	5	5
	光沢保持率%	—	—	100	99	98	80
13	SEM評価点	—	—	5	—	5	シリカ
	光沢保持率%	—	—	100	96	90	94

評価基準 1:劣化著しい、2:劣化、3:劣化が目立つ、4:若干劣化、5:異常なし

1:フタル酸樹脂塗料、2:塩化ゴム系塗料、3:アクリルウレタン樹脂塗料、4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料、9:ふっ化アクリル樹脂塗料

表-3・14 SEMによる塗膜表面観察結果と光沢保持率：SWM（色相 赤）

No.	試験期間	500時間	750時間	1000時間	2000時間	3000時間	4000時間
1	SEM評価点	2	2	1	1	—	—
	光沢保持率%	60	—	19	3	—	—
2	SEM評価点	5	4	1	2	—	—
	光沢保持率%	67	—	33	9	—	—
3	SEM評価点	4	4	—	1	—	—
	光沢保持率%	87	—	50	12	—	—
4	SEM評価点	—	—	5	5	4	4
	光沢保持率%	—	—	100	100	100	100
5	SEM評価点	—	—	5	5	3	シリカ
	光沢保持率%	—	—	100	100	71	48
6	SEM評価点	—	—	5	5	4	シリカ
	光沢保持率%	—	—	85	95	80	55
7	SEM評価点	—	—	5	5	5	4
	光沢保持率%	—	—	85	95	87	81
8	SEM評価点	—	—	5	5	5	シリカ
	光沢保持率%	—	—	100	95	91	90
9	SEM評価点	—	—	5	5	5	シリカ
	光沢保持率%	—	—	97	97	87	78
10	SEM評価点	—	—	5	—	4	3
	光沢保持率%	—	—	99	99	86	63
11	SEM評価点	—	—	5	—	4	5
	光沢保持率%	—	—	97	97	86	63
12	SEM評価点	—	—	5	—	5	5
	光沢保持率%	—	—	99	97	97	95
13	SEM評価点	—	—	5	—	5	5
	光沢保持率%	—	—	99	98	95	92

評価基準 1:劣化著しい、2:劣化、3:劣化が目立つ、4:若干劣化、5:異常なし

1:フタル酸樹脂塗料、2:塩化ゴム系塗料、3:アクリルウレタン樹脂塗料、4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料、9:ふっ化アクリル樹脂塗料

表-3・15 SEMによる塗膜表面観察結果と光沢保持率：XWM（色相 グレー）

No.	試験期間	500時間	750時間	1000時間	1500時間	2000時間
1	SEM評価点	1	1	1	1	—
	光沢保持率%	23.4	—	15.7	—	—
2	SEM評価点	2	1	1	1	—
	光沢保持率%	53.8	—	18.7	—	—
3	SEM評価点	3	1	1	1	—
	光沢保持率%	61.7	—	18.1	—	—
4	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	90.7	—	90.2	—	96
5	SEM評価点	5	5	4	—	4
	光沢保持率%	94.1	—	90.8	—	76.8
6	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	85.5	—	67	—	44.2
7	SEM評価点	5	5	—	—	5
	光沢保持率%	84.6	—	93	—	75.7
8	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	87.3	—	87	—	87.5
9	SEM評価点	5	4	4	—	4
	光沢保持率%	85.2	—	86.9	—	34.5
10	SEM評価点	5	5	5	—	4
	光沢保持率%	90	—	89.7	—	35.1
11	SEM評価点	5	5	4	—	5
	光沢保持率%	84.8	—	81.3	—	73.6
12	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	85.4	—	80.7	—	85.3
13	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	85.7	—	86.8	—	85.2

評価基準 1:劣化著しい、2:劣化、3:劣化が目立つ、4:若干劣化、5:異常なし

1:フタル酸樹脂塗料、2:塩化ゴム系塗料、3:アクリルウレタン樹脂塗料、4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料、9:ふっ化アクリル樹脂塗料

表-3・16 SEMによる塗膜表面観察結果と光沢保持率：XWM（色相 赤）

No.	試験期間	500時間	750時間	1000時間	1500時間	2000時間
1	SEM評価点	2	1	2	1	—
	光沢保持率%	19.9	—	4.2	—	—
2	SEM評価点	4	2	2	1	—
	光沢保持率%	42	—	6.7	—	—
3	SEM評価点	3	1	1	1	—
	光沢保持率%	70.9	—	6	—	—
4	SEM評価点	5	4	4	—	5
	光沢保持率%	100	—	96.9	—	91.4
5	SEM評価点	5	4	4	—	シリカ
	光沢保持率%	96.9	—	92.9	—	24.4
6	SEM評価点	5	5	5	—	シリカ
	光沢保持率%	82.6	—	59.8	—	12.2
7	SEM評価点	5	5	4	—	シリカ
	光沢保持率%	85.3	—	78.3	—	74.8
8	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	80.9	—	77.9	—	80.5
9	SEM評価点	5	5	4	—	5
	光沢保持率%	87.4	—	86.7	—	73.5
10	SEM評価点	5	5	4	—	シリカ
	光沢保持率%	91.8	—	87.3	—	45.6
11	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	86.6	—	82.6	—	78.7
12	SEM評価点	5	3	5	—	5
	光沢保持率%	87.6	—	87.9	—	87.4
13	SEM評価点	5	5	5	—	5
	光沢保持率%	90.1	—	87.3	—	85.7

評価基準 1:劣化著しい、2:劣化、3:劣化が目立つ、4:若干劣化、5:異常なし

1:フタル酸樹脂塗料、2:塩化ゴム系塗料、3:アクリルウレタン樹脂塗料、4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料、9:ふっ化アクリル樹脂塗料

（５）促進耐候試験機の噴霧液中に含まれるシリカ量

促進試験に使用したSWMの一部では、噴霧液に使用する純水に含まれるシリカが試験片の塗膜表面に付着し、光沢値に影響を与えた。表-3・17に噴霧液用の水に含まれるシリカ量を示す。

表-3・17 噴霧液用の水に含まれるシリカ量

SWM所有者	シリカ測定値 (mg/l)	サンプル光沢値
土木研究所	65	異常に低下 SEMでシリカ皮膜同定
旭硝子(株)	2.7	
関西ペイント(株)	3.2	
中国塗料(株)	1.5	
大日本塗料(株)	2.3	

3. 3. 2 暴露試験結果

(1) つくば暴露試験の結果

つくば暴露の光沢保持率経時変化を図-3・7、3・8に示す。

暴露2年後の光沢保持率は、アクリルウレタン樹脂塗料では約20%であったが、ふっ素系、シリコン系ともに80%以上であり、ふっ素系、及びシリコン系の光沢保持性が優れていた。また、暴露10年後では、ふっ素系の光沢保持性が最も優れていた。

色相の赤とグレーで光沢保持率をみると、ふっ素系、シリコン系、アクリルウレタン樹脂塗料のいずれも色相による差はなかった。

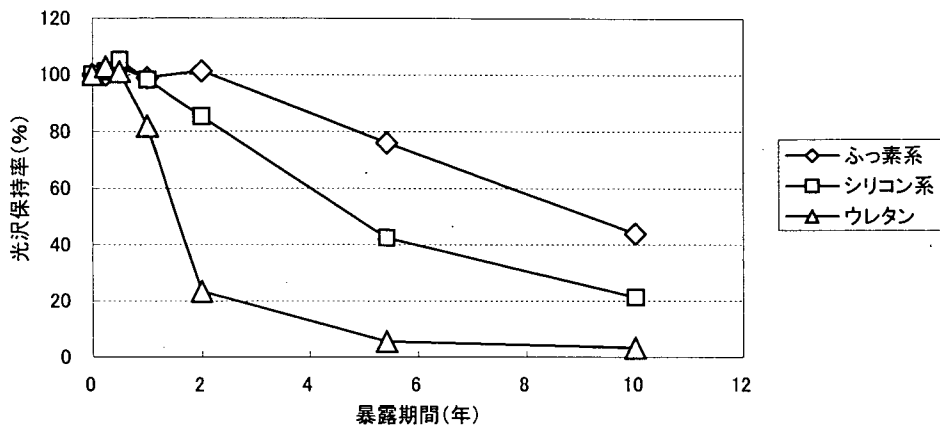


図-3・7 つくば暴露の光沢保持率経時変化（5色平均）

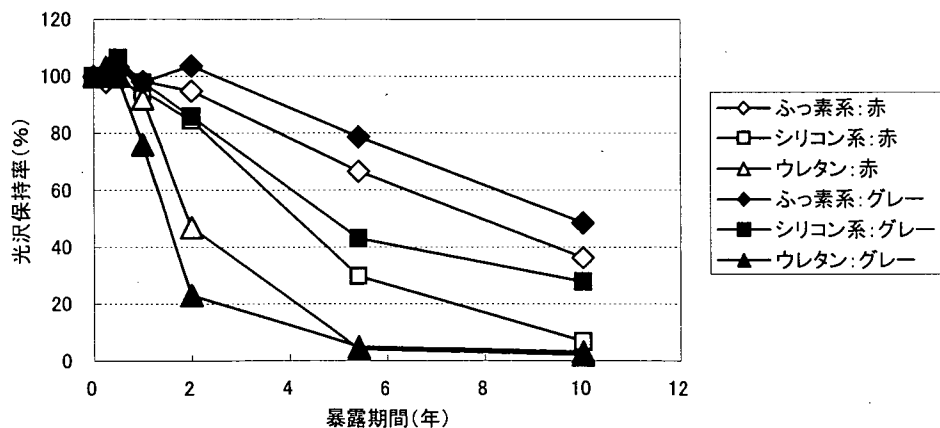


図-3・8 つくば暴露の光沢保持率経年変化（色相：赤、グレー）

(2) 沖縄暴露試験の結果

沖縄暴露の光沢保持率経時変化を図-3・9、3・10に示す。

暴露2年後の光沢保持率では、ふっ素系、シリコン系は約50%であったが、アクリルウレタン樹脂塗料では約10%であり、ふっ素系、及びシリコン系の光沢保持性が優れていた。暴露5年後では、ふっ素系、シリコン系ともに光沢保持率が20%以下となった。暴露5年を過ぎると、ふっ素系、及びシリコン系の光沢保持性はアクリルウレタン樹脂塗料と同様であった。

ふっ素系：赤とふっ素系：グレーの光沢保持率を比較すると、暴露5年後ではふっ素系：赤は約50%、ふっ素系：グレーは約20%であり、ふっ素系：赤の光沢保持性が優れていた。沖縄暴露は、ふっ素系では色相により光沢保持率に影響を与えることがわかった。

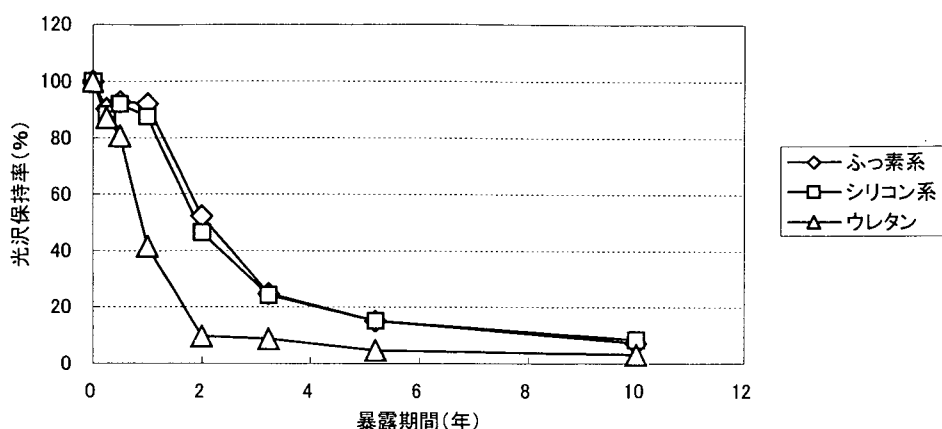


図-3・9 沖縄暴露の光沢保持率経時変化（5色平均）

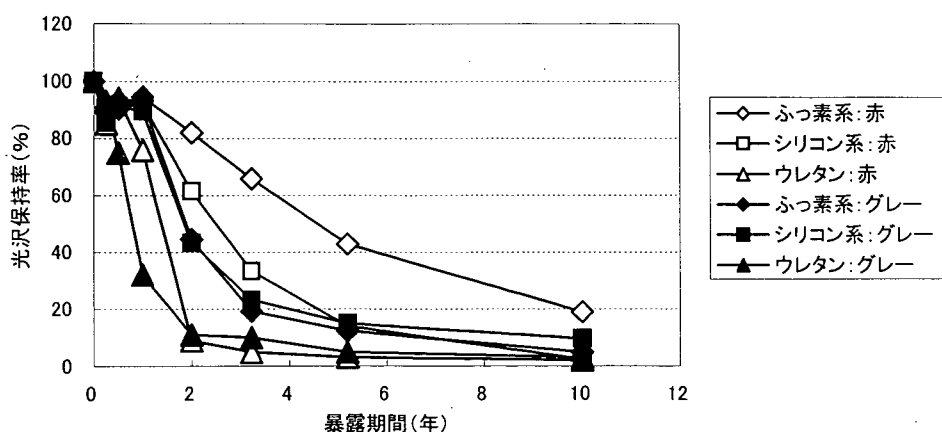


図-3・10 沖縄暴露の光沢保持率経時変化（色相：赤、グレー）

(3) 北海道暴露試験の結果

北海道暴露の光沢保持率経時変化を図-3・11、3・12に示す。

アクリルウレタン樹脂塗料は、暴露2年後で光沢保持率が約40%まで低下したが、ふっ素系、シリコン系では、暴露2年後では光沢保持率の低下はほとんどみられなかった。暴露10年後の光沢保持率では、ふっ素系は約50%、シリコン系は約30%、アクリルウレタン樹脂塗料では10%以下であり、暴露10年経っても、ふっ素系の光沢保持性が優れていた。

ふっ素系、シリコン系、アクリルウレタン樹脂塗料の色相：赤、グレーでは、色相による光沢保持率の差はみられなかった。

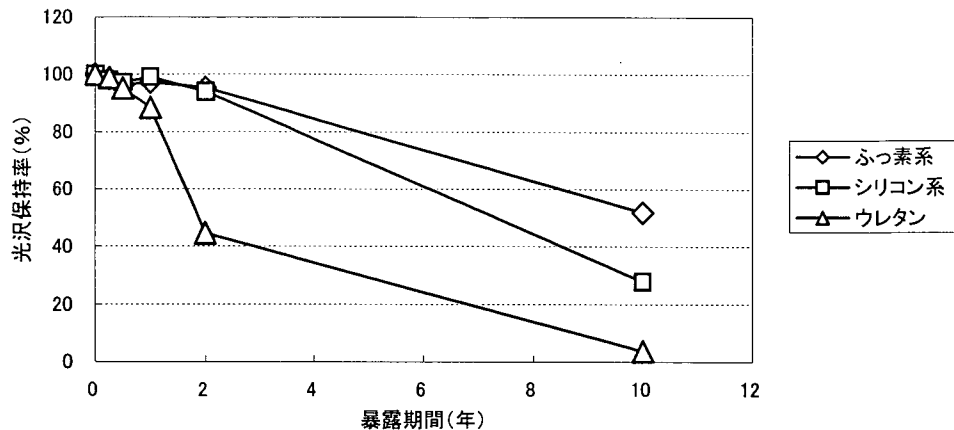


図-3・11 北海道暴露の光沢保持率経時変化（5色平均）

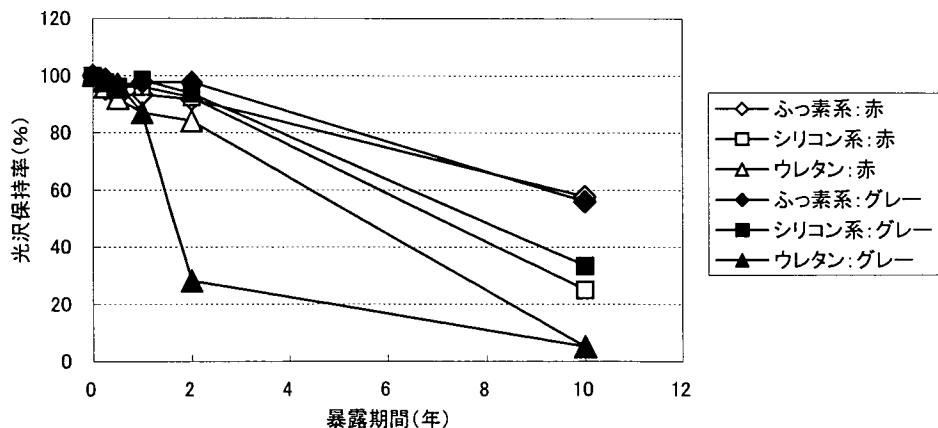


図-3・12 北海道暴露の光沢保持率経時変化（色相：赤、グレー）

(4) フロリダ暴露

フロリダ暴露の光沢保持率経時変化を図-3・13 に示す。

ふっ素系、シリコン系、ウレタン系とも色相：赤とグレーで光沢保持率に差はなかった。暴露3年後の光沢保持率では、ふっ素系：赤とグレーはそれぞれ約80%、シリコン系：赤とグレーはそれぞれ約60%、アクリルウレタン樹脂塗料：赤とグレーはそれぞれ10%以下であった。ふっ素系の光沢保持性が優れていた。

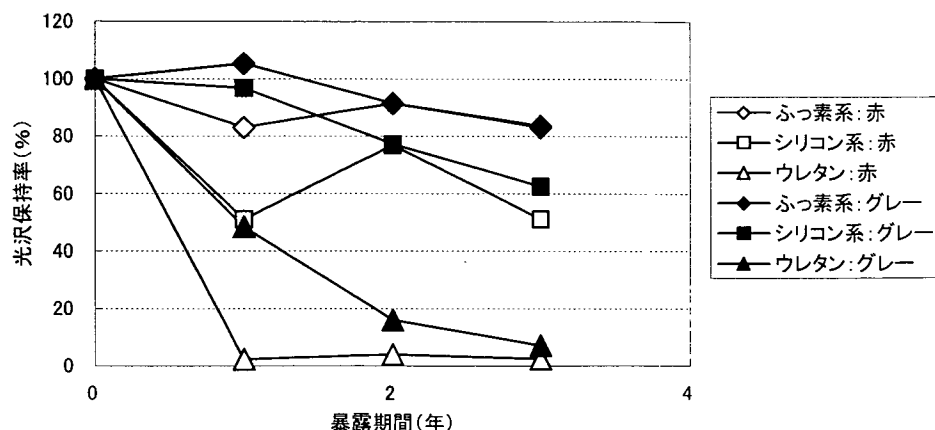


図-3・13 フロリダ暴露の光沢保持率経時変化（色相：赤、グレー）

(4) 暴露場所での比較

暴露場所別の光沢保持率経時変化を図-3・14～3・16 に示す。

ふっ素系での暴露場所別の光沢保持率をみると、北海道、及びつくばは、暴露10年後でも約50%であったが、沖縄では約10%であり、沖縄が光沢保持性に対して最も厳しい環境であった。また、シリコン系でも、ふっ素系と同様に北海道、つくばに比べて沖縄での光沢保持率の低下が著しい。アクリルウレタン樹脂塗料では暴露2年後の光沢保持率は、北海道>つくば>フロリダ、沖縄の順に光沢保持率は低く、沖縄とフロリダの環境が厳しかった。

沖縄の暴露環境は、海のしぶきによる湿潤、結露、塗膜の表面温度の上昇などの要因により、樹脂の劣化が進むものと考えられる。

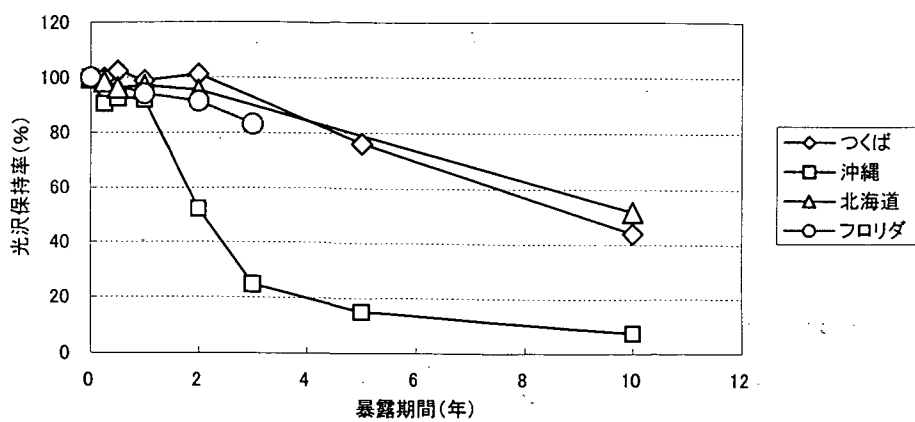


図-3・14 暴露場所別の光沢保持率経時変化 (ふっ素系)

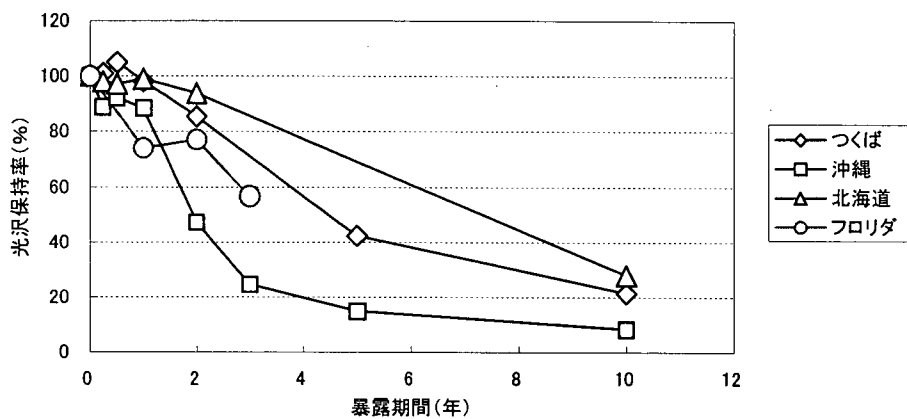


図-3・15 暴露場所別の光沢保持率経時変化 (シリコン系)

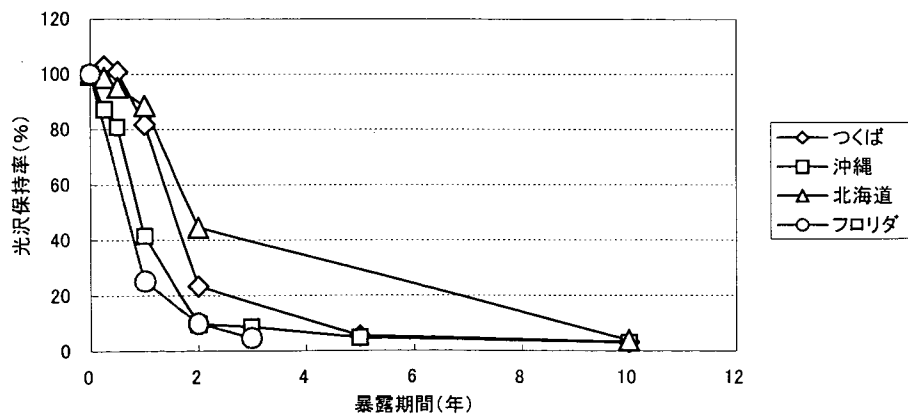


図-3・16 暴露場所別の光沢保持率経時変化 (ウレタン)

3. 3. 3 促進試験と暴露試験の関係

促進試験と暴露試験との関係を相関係数F値で調べた。重回帰分析ではF値が、2以上である場合には相関ありと判断され、その値が大きいほうがより相関が強いと判断される。

表-3・18 につくば暴露（2年）と促進試験の重回帰分析結果、表-3・19 に沖縄暴露（2年）と促進試験の重回帰分析結果を示す。

促進試験：SWM、XWM、QUVの結果は、いずれの試験機でもつくば暴露の結果と相関があり、なかでもSWMがつくば暴露と最も相関が強かった。一方、促進試験：SWM、XWM、QUVの結果と沖縄暴露の結果は、F値が2以下であり相関はなかった。また、この関係よりつくば暴露と沖縄暴露では相関がないことが推測され、塗膜劣化の機構が異なると推定される。

表-3・18 つくば暴露（2年）と促進試験の重回帰分析結果

促進試験の種別	F 値
SWM (4000 時間)	18.3
XWM (2000 時間)	15.3
QUV (3000 時間)	7.9

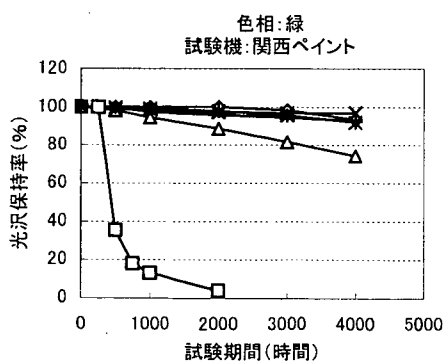
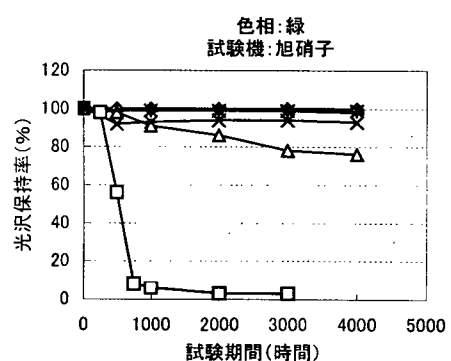
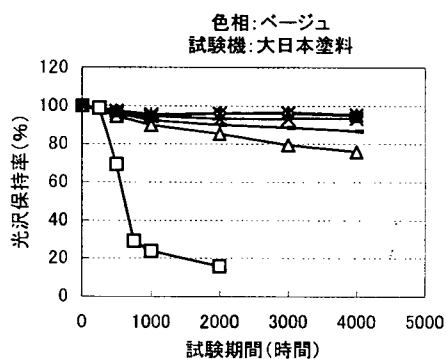
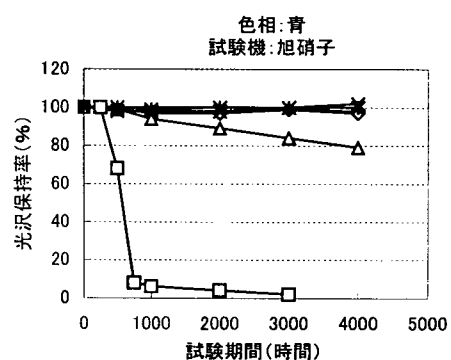
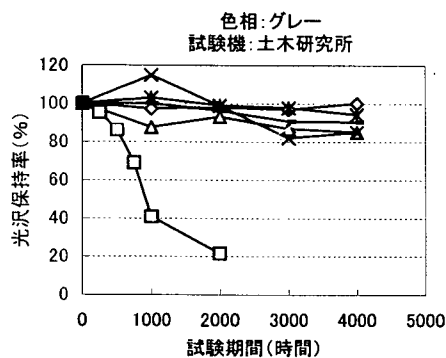
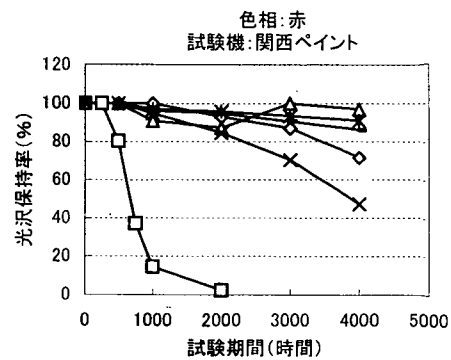
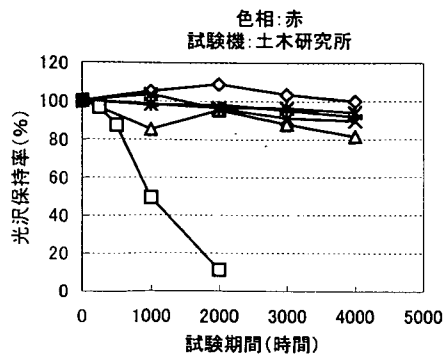
表-3・19 沖縄暴露（2年）と促進試験の重回帰分析結果

促進試験の種別	F 値
SWM (4000 時間)	0.2900
XWM (2000 時間)	0.0207
QUV (3000 時間)	1.1153

3. 4 まとめ

- ① 促進耐候試験での光沢保持性は、サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機（SWM）、紫外線蛍光灯ランプ法耐候試験機（QUV）、キセノンアーク灯式耐候性試験機（XWM）のいずれでも、ふっ素樹脂塗料（ふっ素系）が優れていた。
- ② サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機（SWM）の噴霧液中に含まれるシリカが試験片の塗膜表面に付着すると、光沢に影響を与えることが認められた。噴霧液に使用する水にシリカ含有量の規定を設けることが必要であった。
- ③ 電子顕微鏡（SEM）による塗膜表面の観察により、表面劣化を評価できることがわかった。また、電子顕微鏡（SEM）で観察された表面劣化は光沢値の低下よりも早期に起こるものと推定された。
- ④ 沖縄暴露では、暴露2年後まではふっ素樹脂塗料（ふっ素系）の光沢保持性がシリコン変性アクリル樹脂塗料（シリコン系）、アクリルウレタン樹脂塗料に比べて優れていたが、それ以降は塗料間の差はなかった。
- ⑤ つくば、及び北海道暴露では、暴露10年後でもふっ素樹脂塗料（ふっ素系）の光沢保持性がシリコン変性アクリル樹脂塗料（シリコン系）、アクリルウレタン樹脂塗料よりも優れていた。

- ⑥ つくば暴露の結果と促進耐候性試験（サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機（SWM）、紫外線蛍光ランプ法耐候試験機（QUV）、キセノンアーク灯式耐候性試験機（XWM））の結果の関係は相関が認められたが、沖縄暴露と促進耐候性試験の結果の間には相関はなかった。
- ⑦ 耐候性に関しては、北海道、及びつくば暴露に比べて沖縄暴露が最も厳しい環境であった。沖縄の暴露環境は、湿潤、結露、温度（試験片の基材温度）などの影響により塗膜表面の劣化が進むものと推測される。



- 1:長油性フタル酸樹脂塗料
- 2:塩化ゴム系塗料
- 3:アクリルウレタン樹脂塗料
- 4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
- 5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料
- 9:フッ化アクリル樹脂塗料

図-3.17 光沢保持率の経時変化 SWM(ふっ素系)

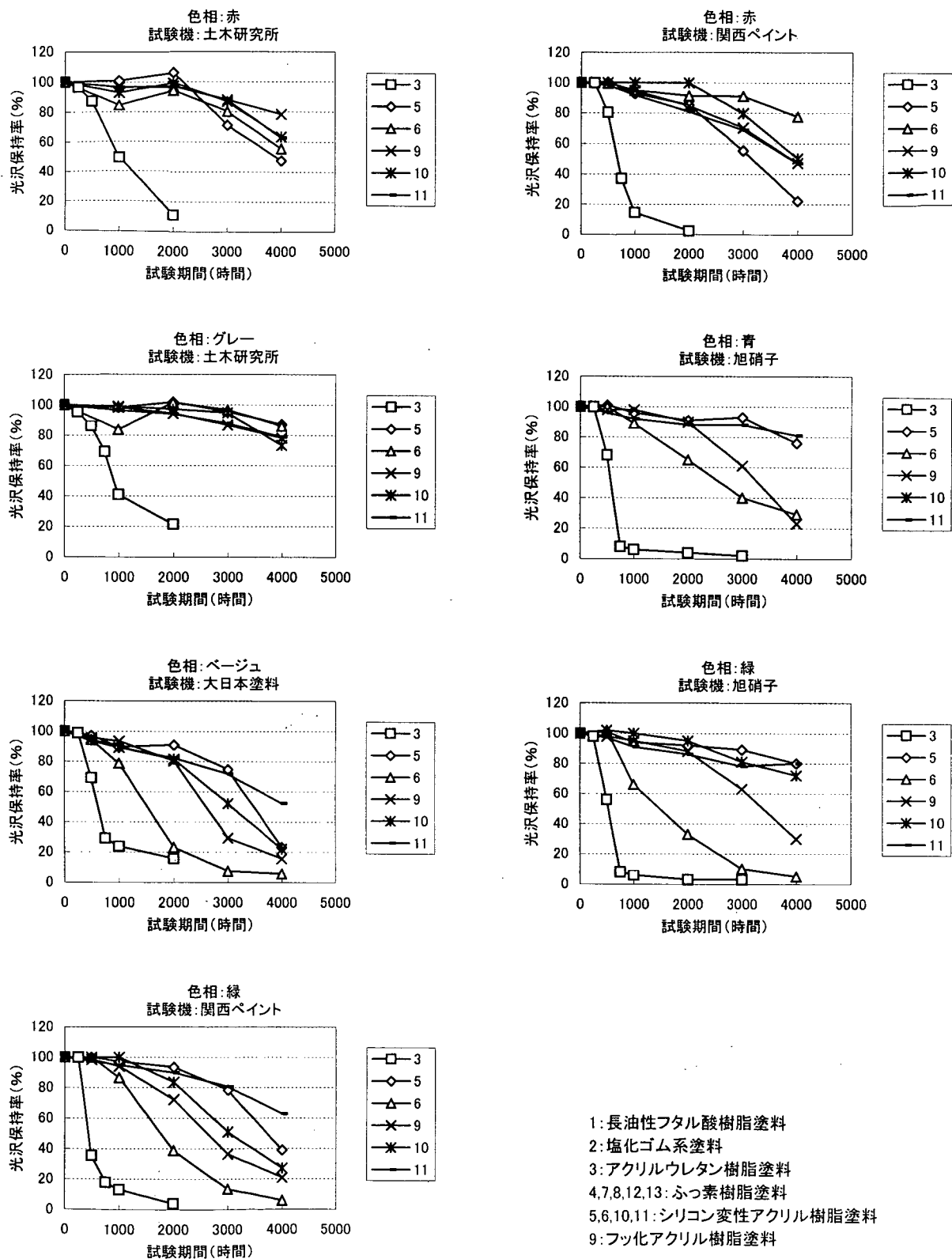
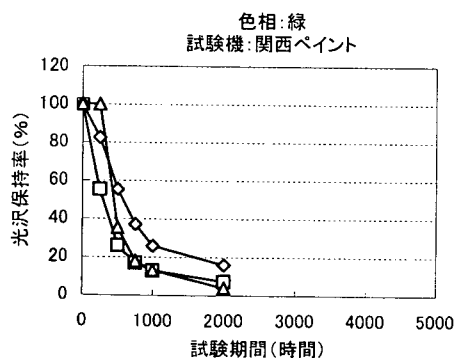
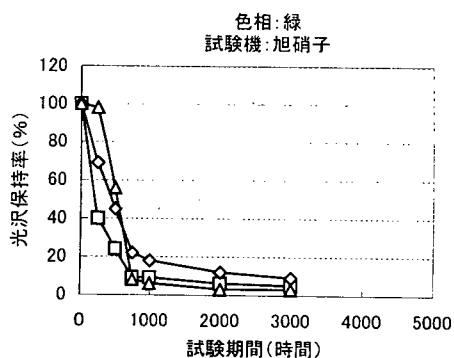
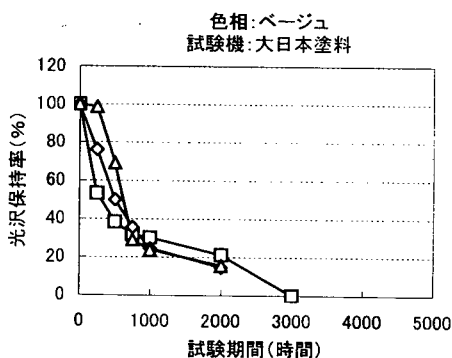
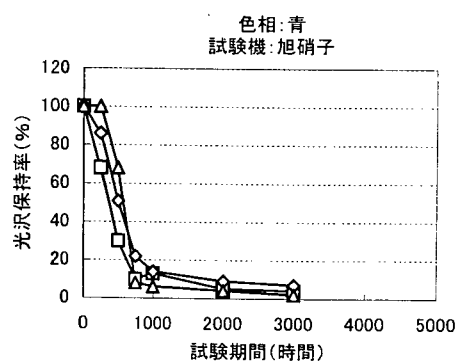
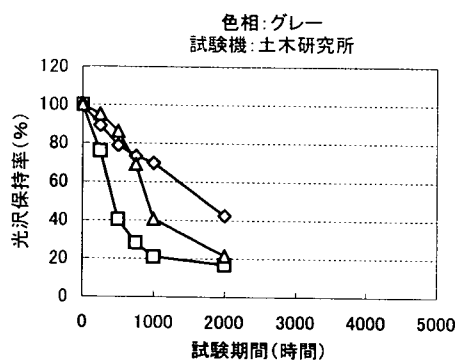
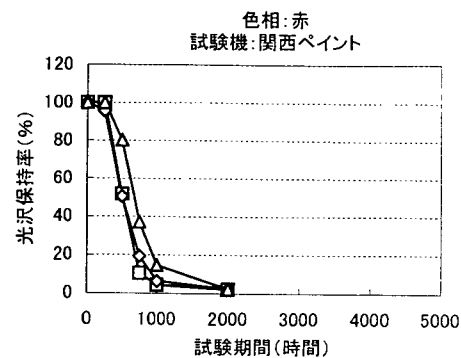
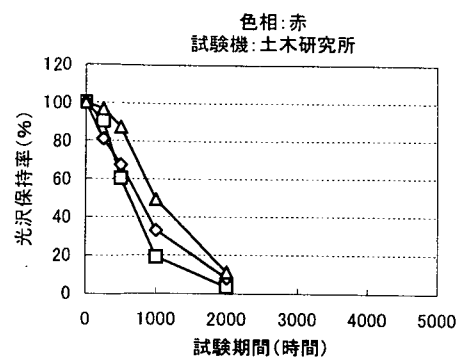
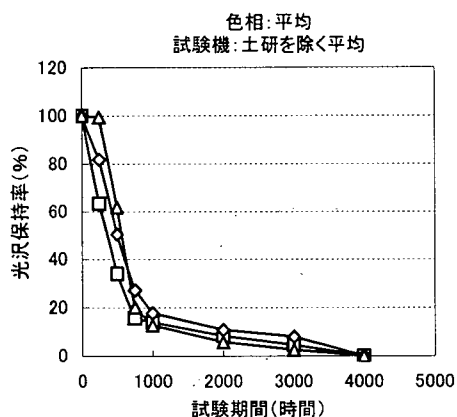
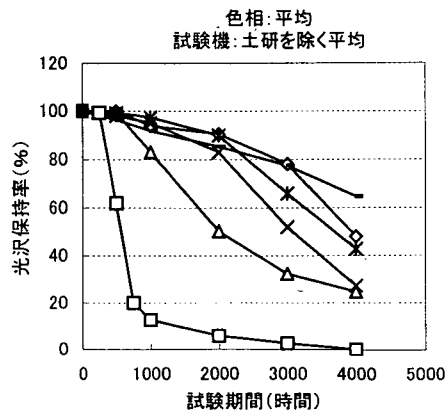
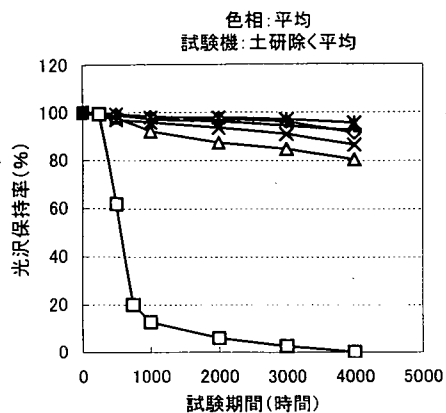


図-3・18 光沢保持率の経時変化 SWM(シリコン系)



- 1: 長油性フタル酸樹脂塗料
- 2: 塩化ゴム系塗料
- 3: アクリルウレタン樹脂塗料
- 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
- 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
- 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-19 光沢保持率の経時変化 SWM(比較)



- 1:長油性フタル酸樹脂塗料
- 2:塩化ゴム系塗料
- 3:アクリルウレタン樹脂塗料
- 4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
- 5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料
- 9:フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-20 光沢保持率の経時変化 SWM(ふっ素系、シリコン系、比較)

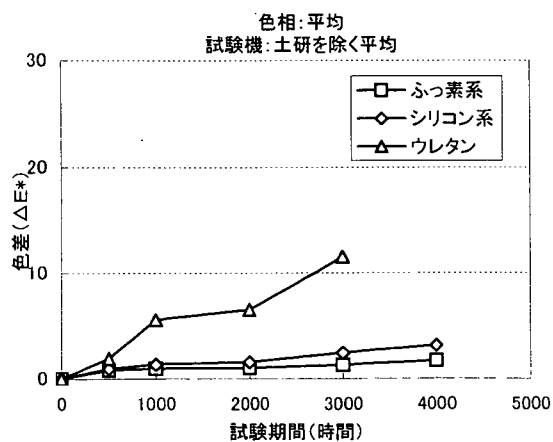
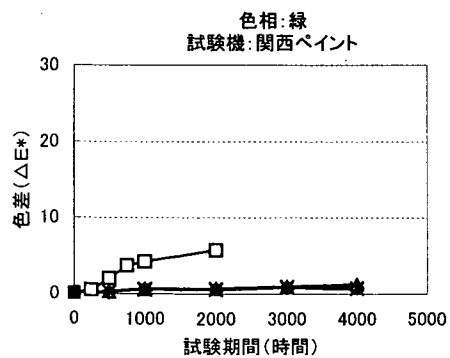
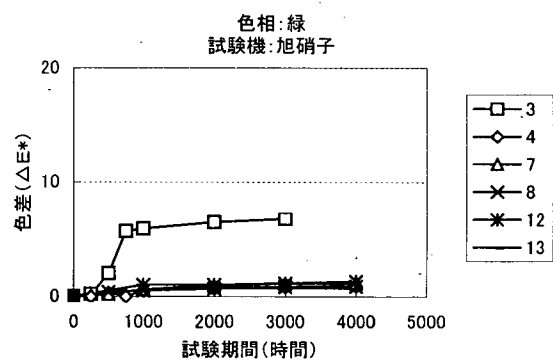
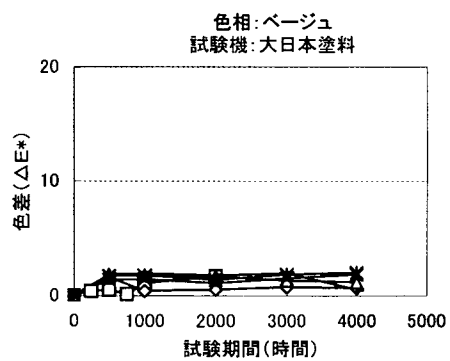
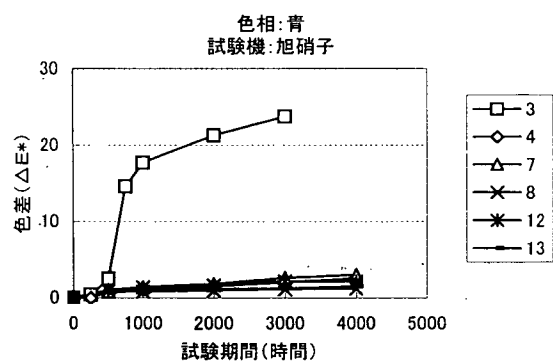
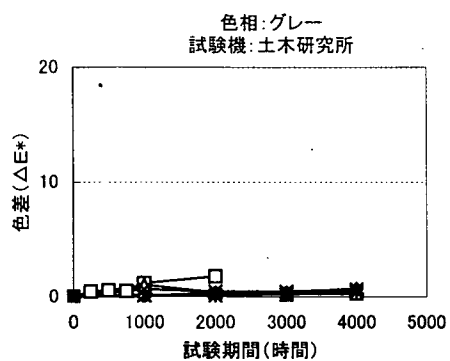
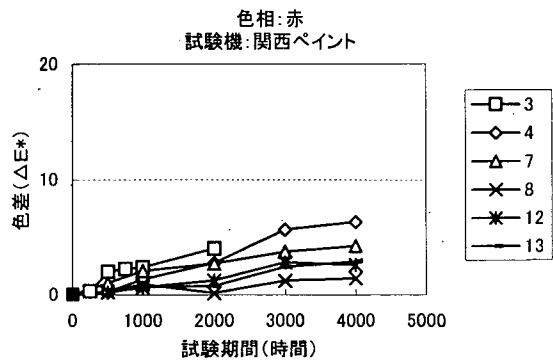
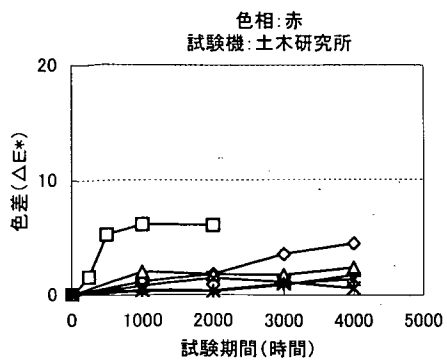
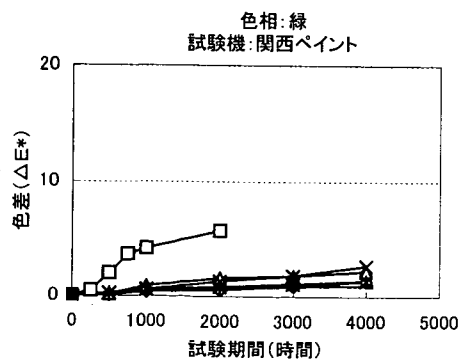
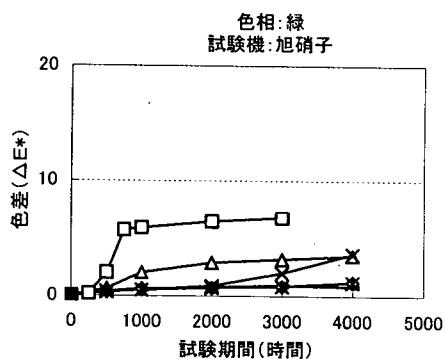
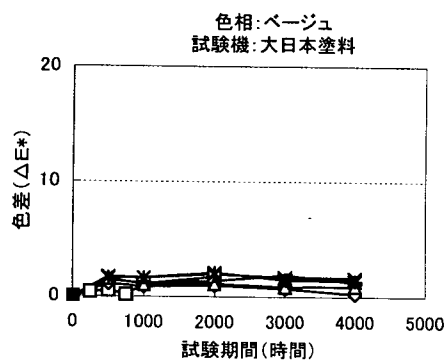
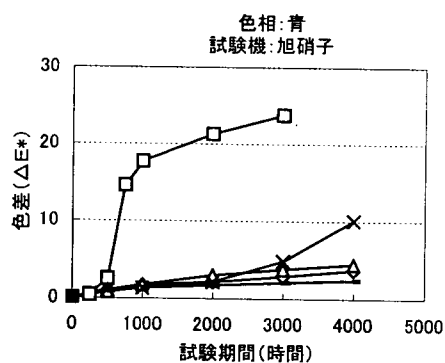
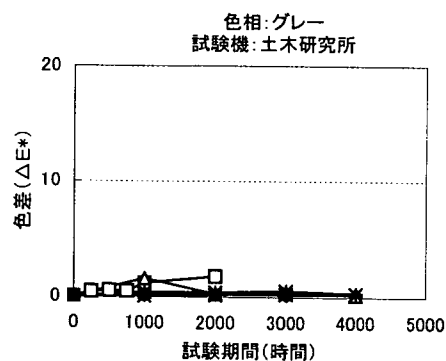
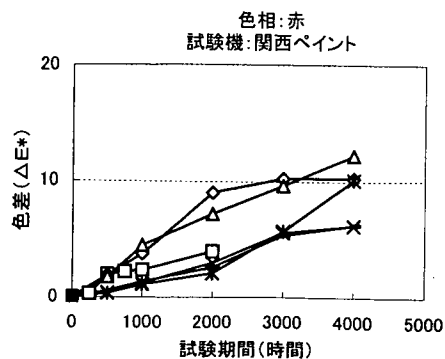
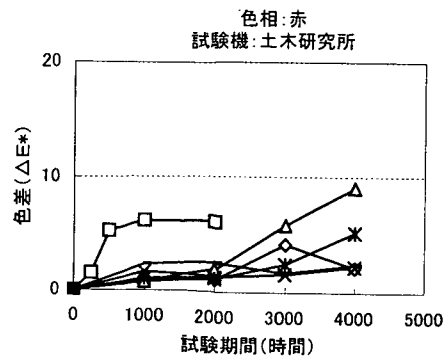


図-3-21 色差(ΔE*)の経時変化 SWM(ふっ素系、シリコン系、比較)



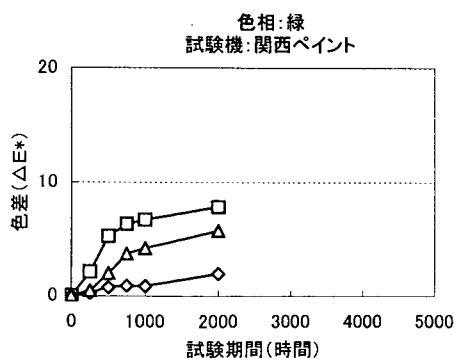
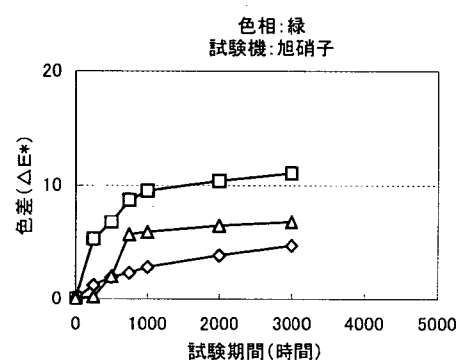
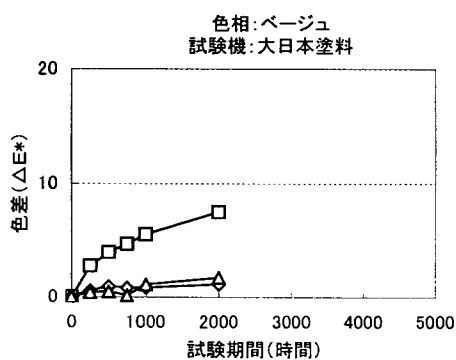
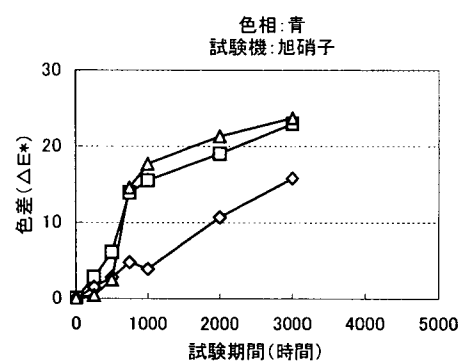
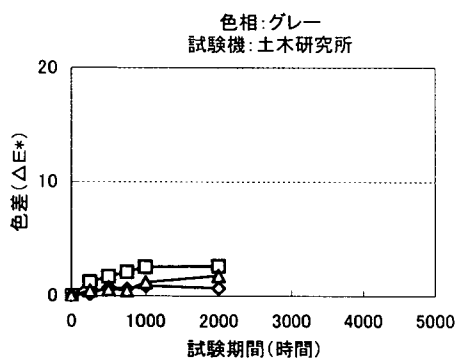
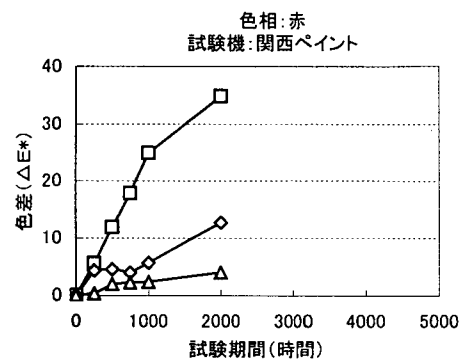
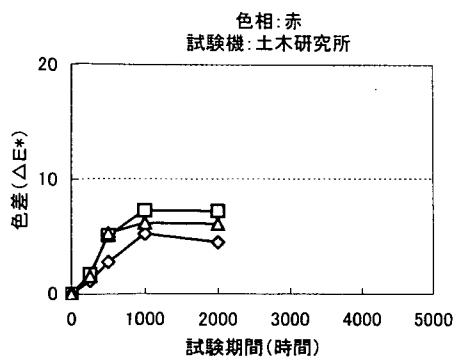
- 1:長油性フタル酸樹脂塗料
- 2:塩化ゴム系塗料
- 3:アクリルウレタン樹脂塗料
- 4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
- 5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料
- 9:フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-22 色差 (ΔE^*) の経時変化 SWM(ふっ素系)



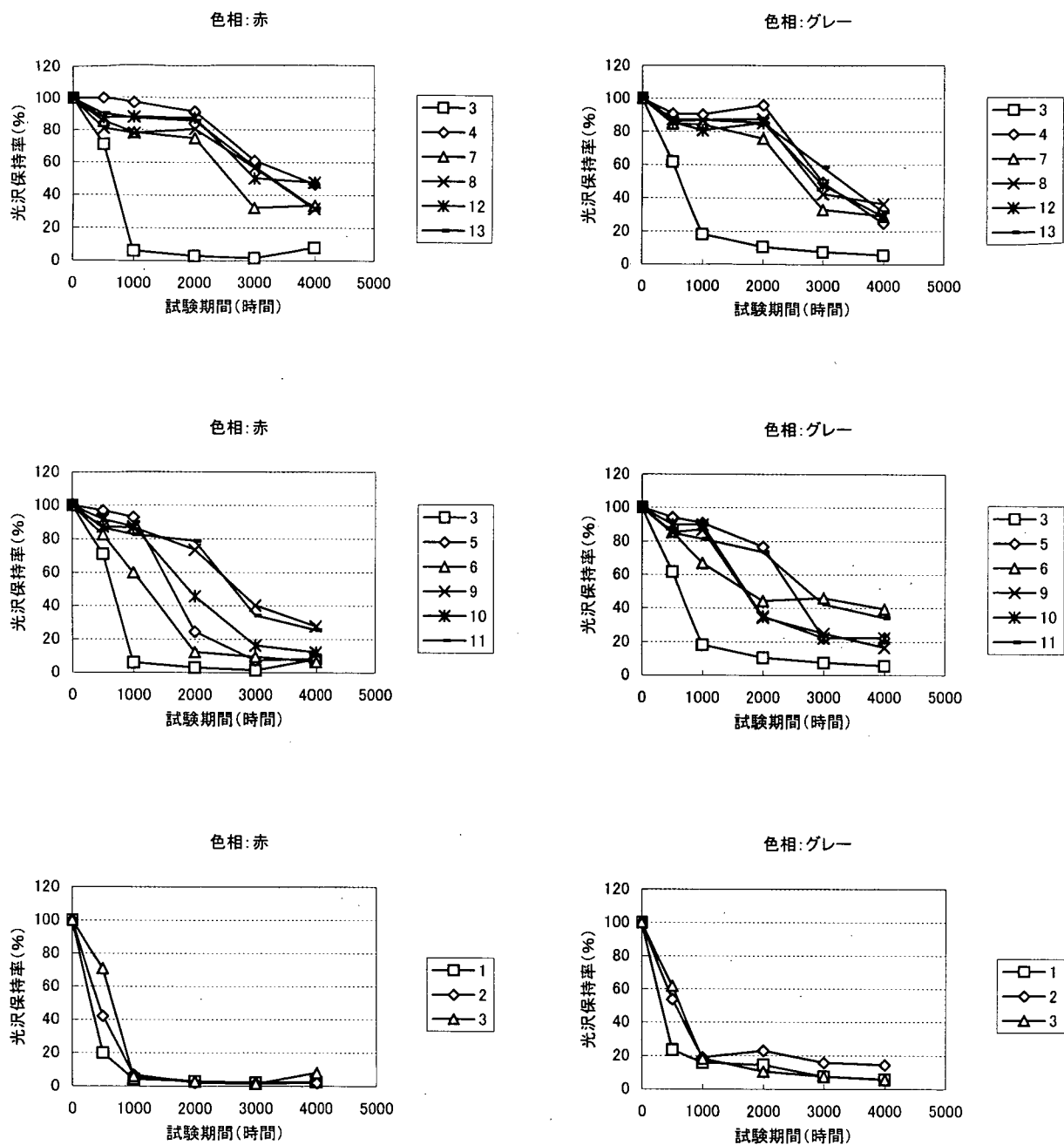
- 1: 長油性フタル酸樹脂塗料
- 2: 塩化ゴム系塗料
- 3: アクリルウレタン樹脂塗料
- 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
- 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
- 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-23 色差(ΔE^*)の経時変化 SWM(シリコン系)



- 1: 長油性フタル酸樹脂塗料
- 2: 塩化ゴム系塗料
- 3: アクリルウレタン樹脂塗料
- 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
- 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
- 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-24 色差 (ΔE^*) の経時変化 SWM (比較)

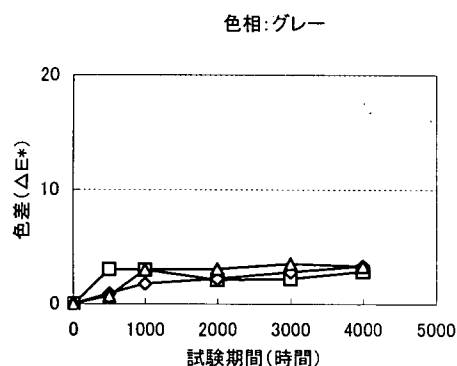
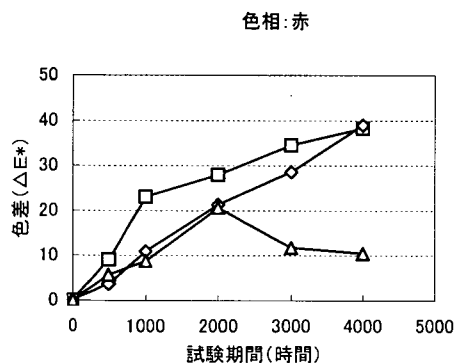
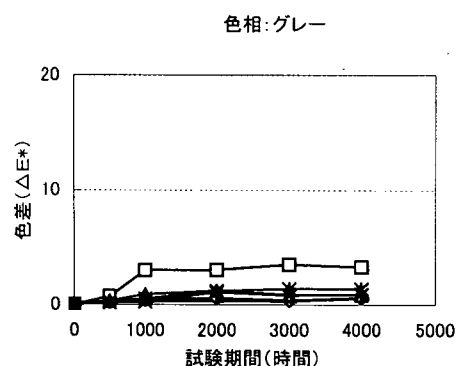
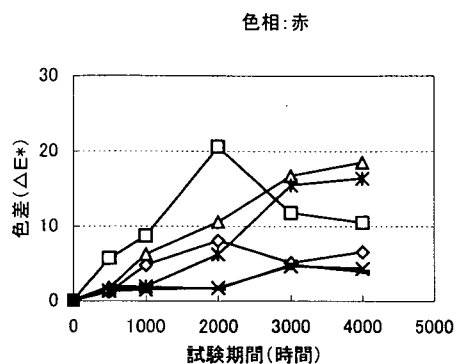
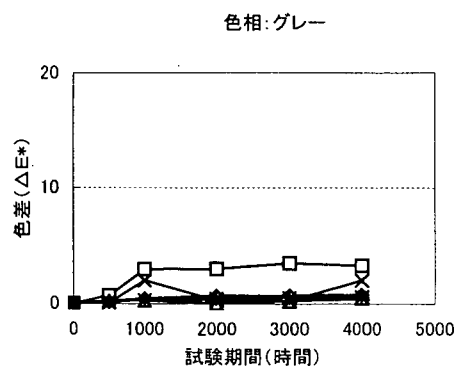
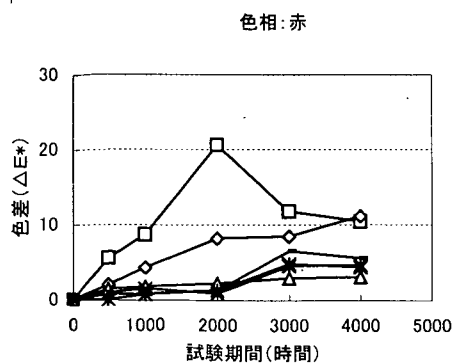


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3・25 光沢保持率の経時変化 XWM(ふっ素系、シリコン系、比較)

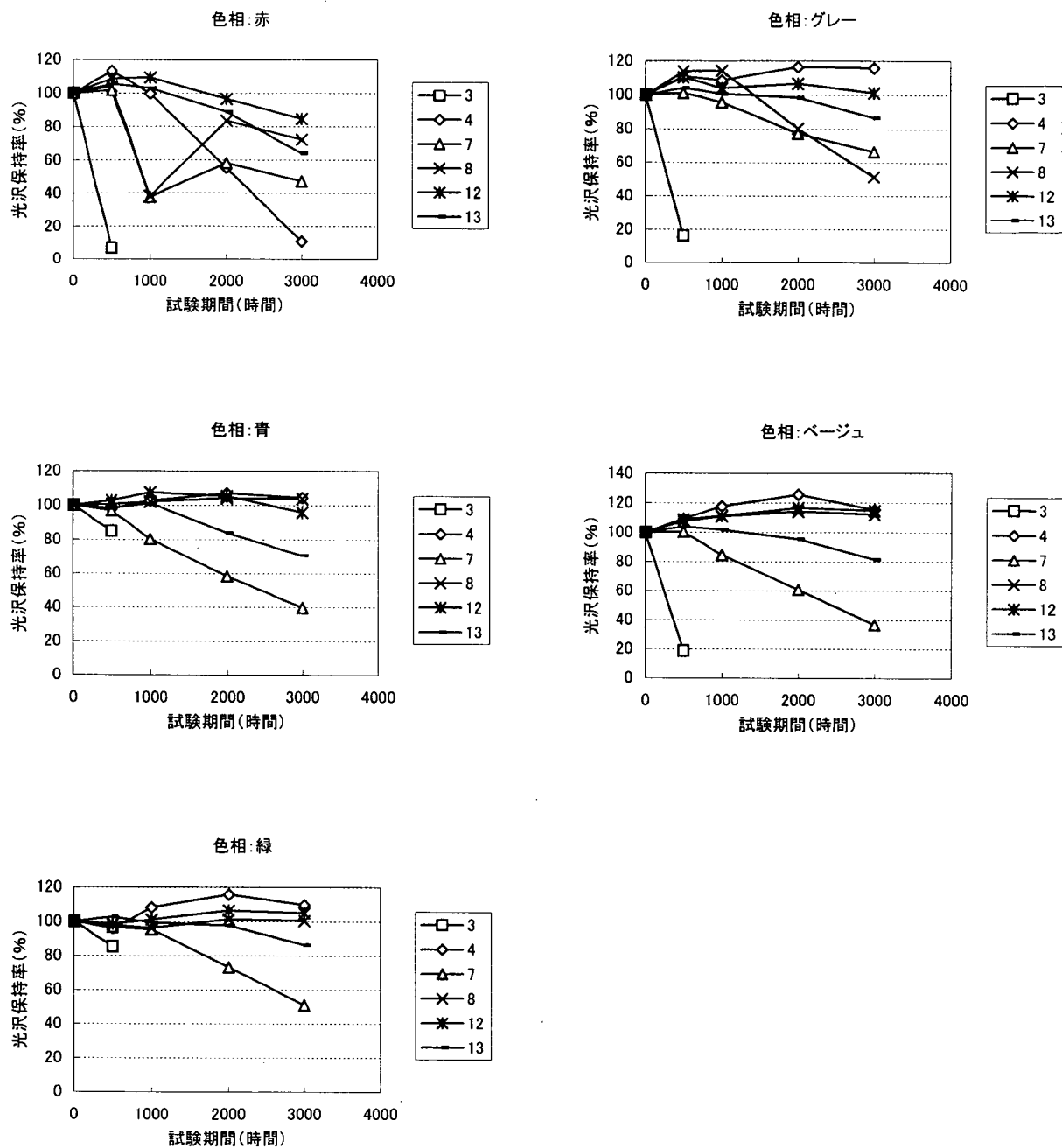


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

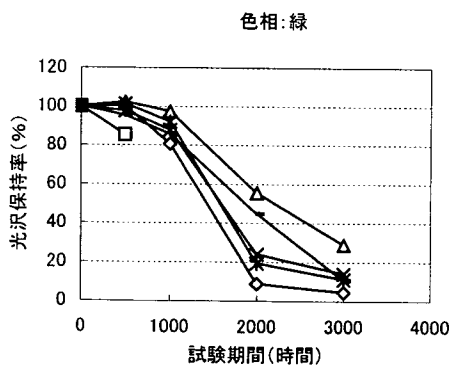
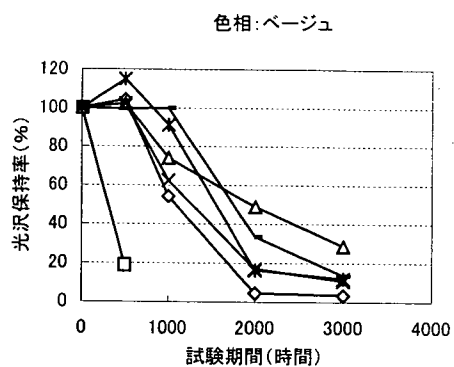
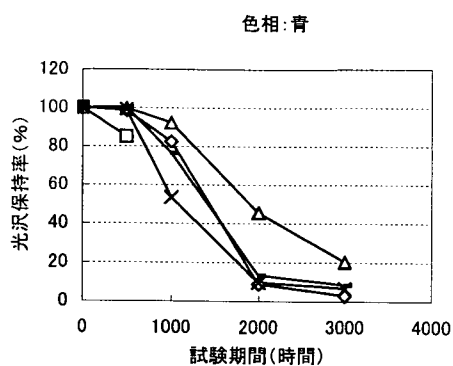
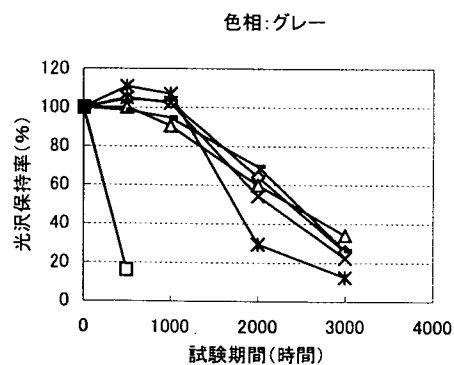
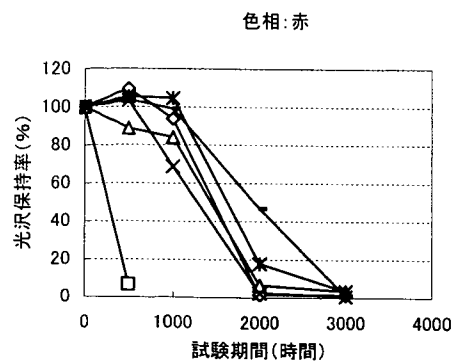
図-3-26 色差(ΔE*)の経時変化 XWM(ふっ素系、シリコン系、比較)



1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-27 光沢保持率の経時変化 QUV(ふっ素系)

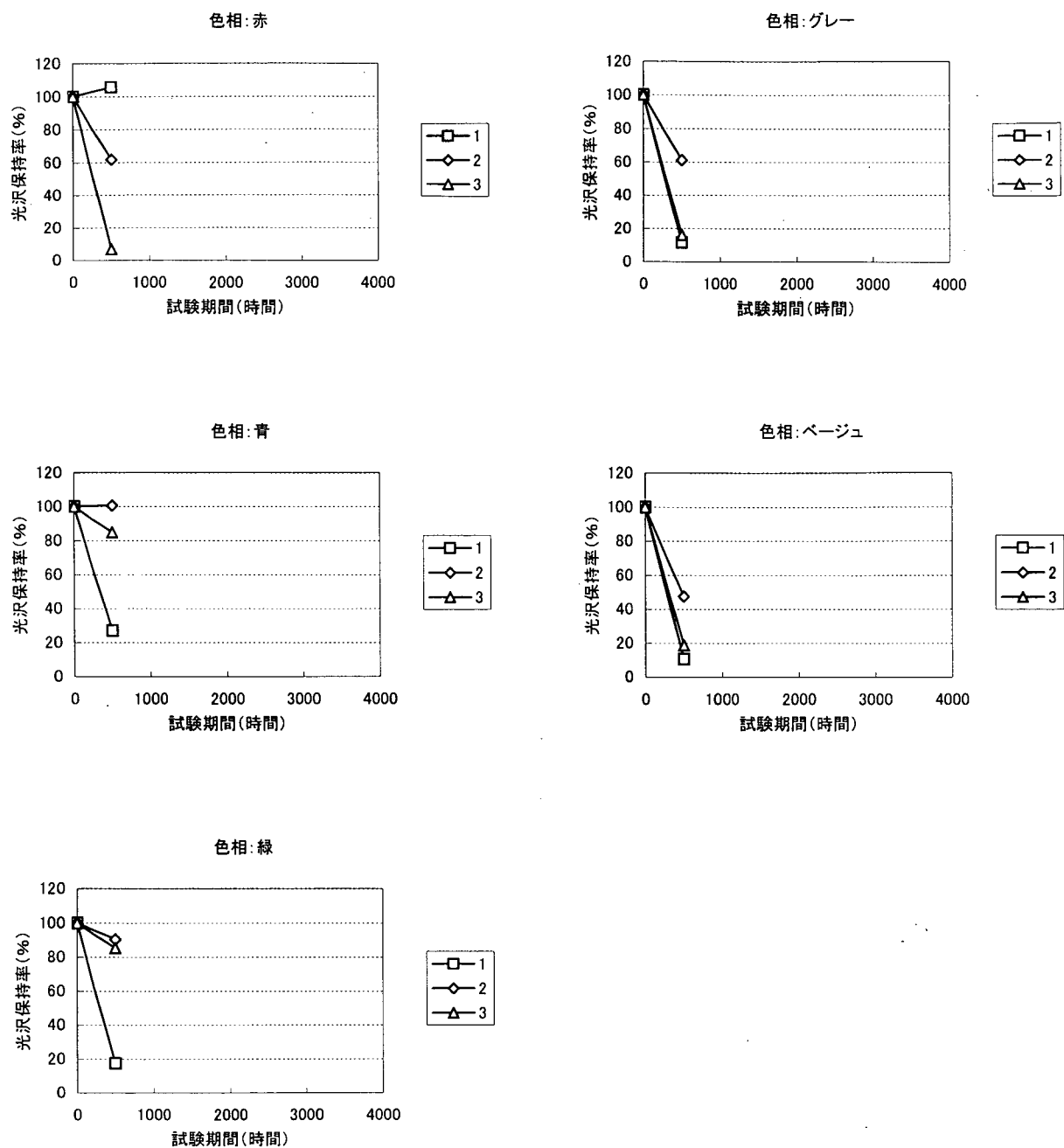


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-28 光沢保持率の経時変化 QUV(シリコン系)

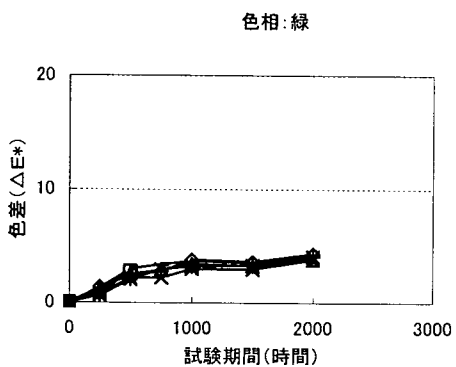
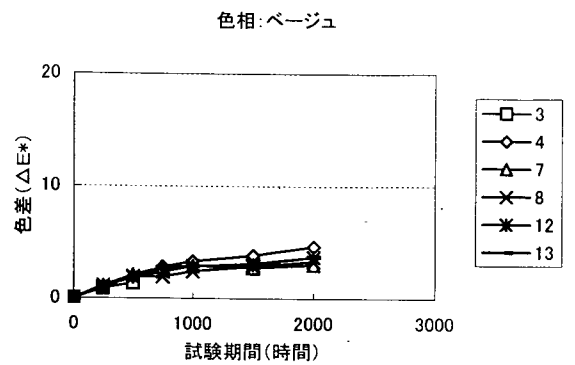
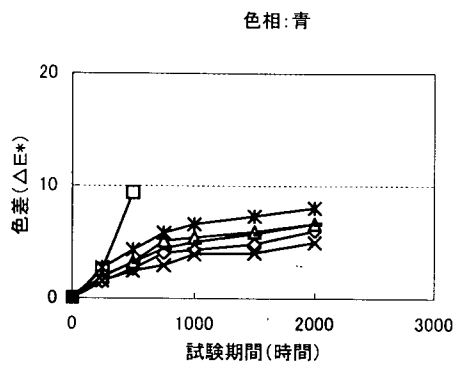
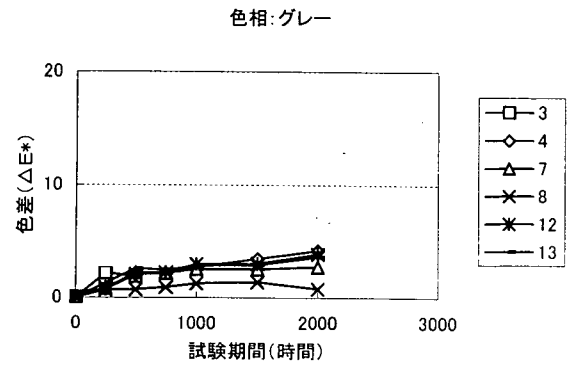
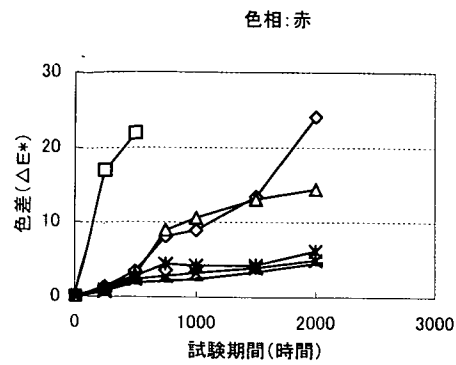


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-29 光沢保持率の経時変化 QUV(比較)



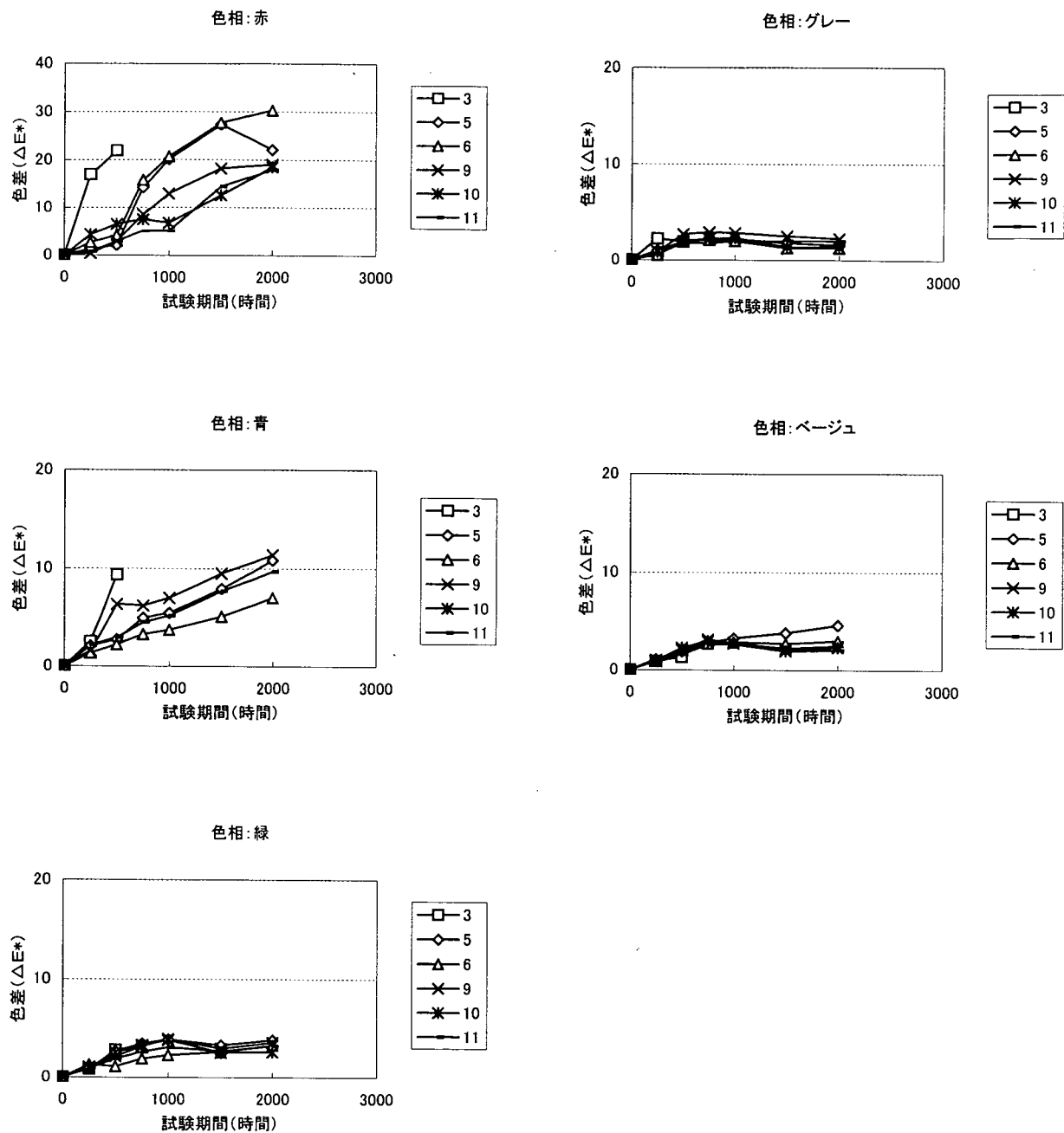
1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

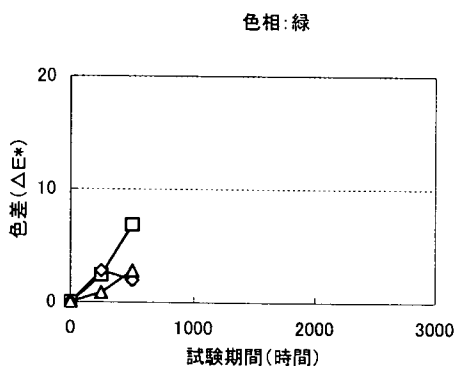
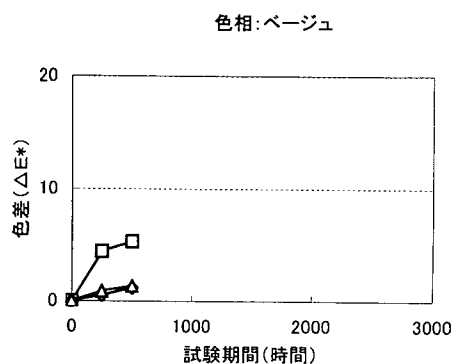
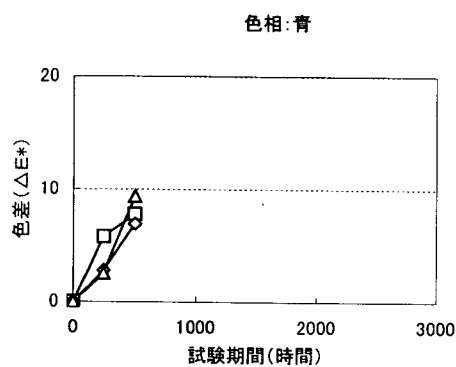
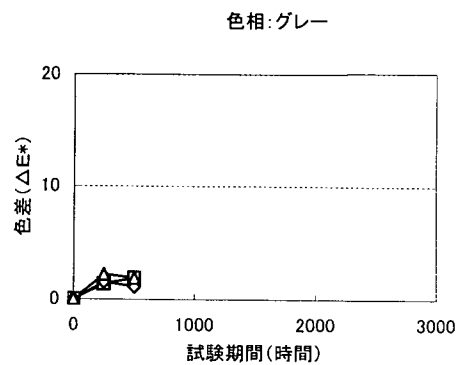
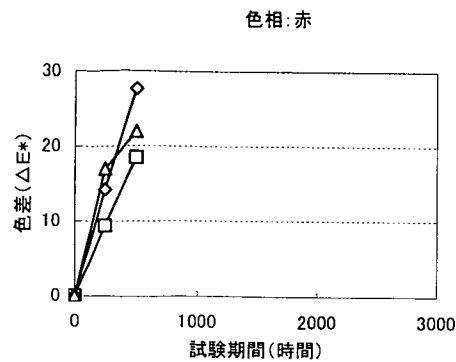
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-30 色差(ΔE*)の経時変化 QUV(ふっ素系)



- 1: 長油性フタル酸樹脂塗料 2: 塩化ゴム系塗料 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-31 色差(ΔE^*)の経時変化 QUV(シリコン系)



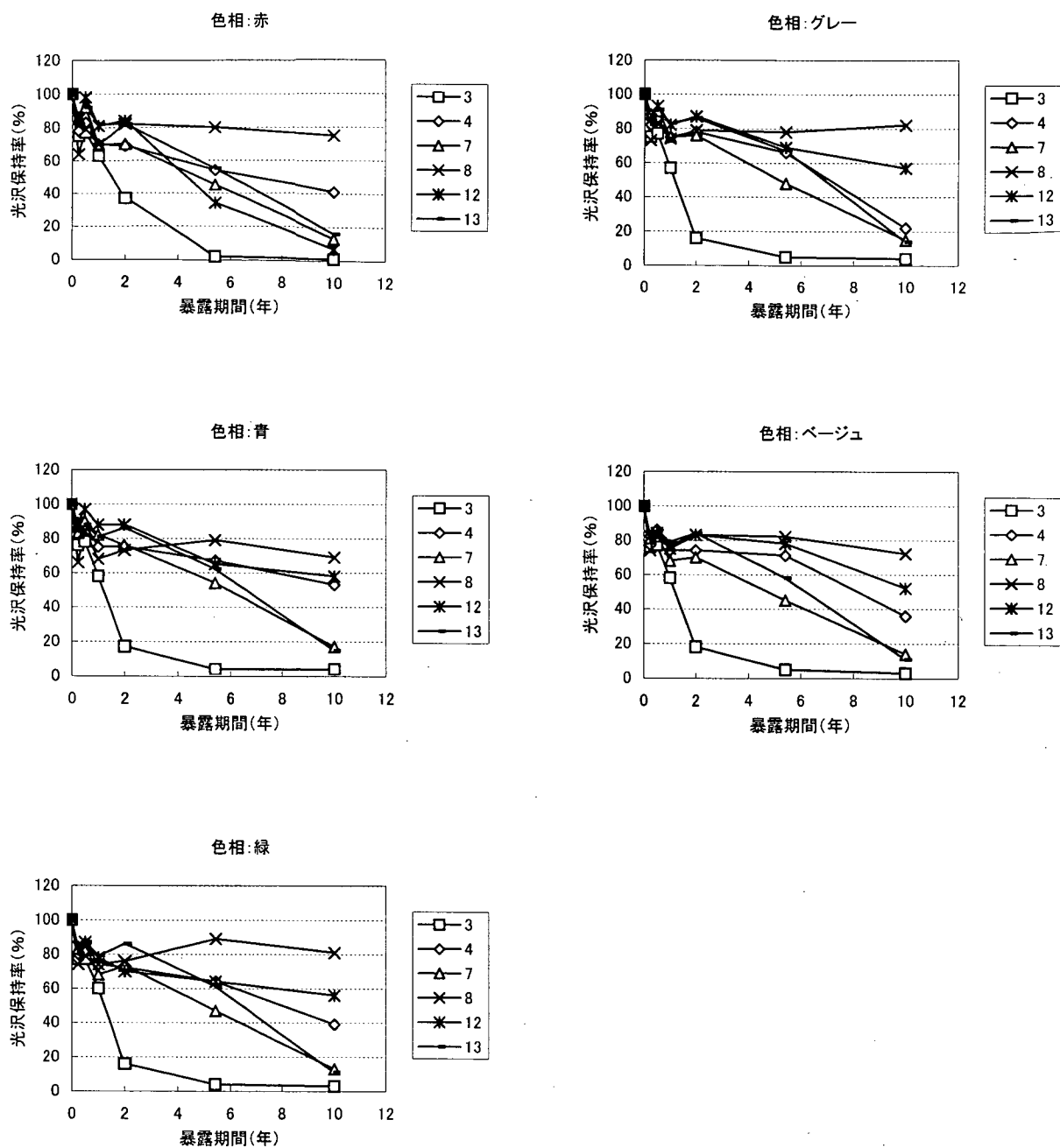
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3.32 色差(ΔE*)の経時変化 QUV(比較)

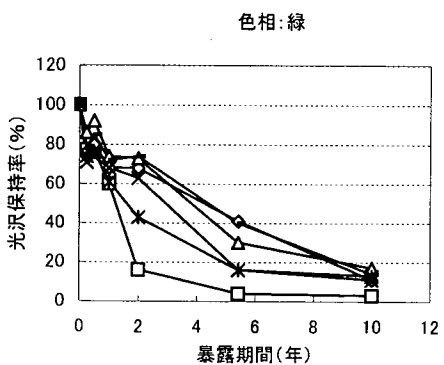
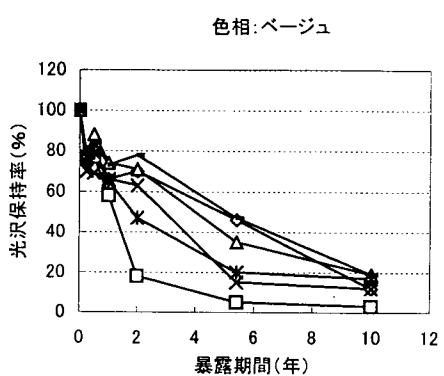
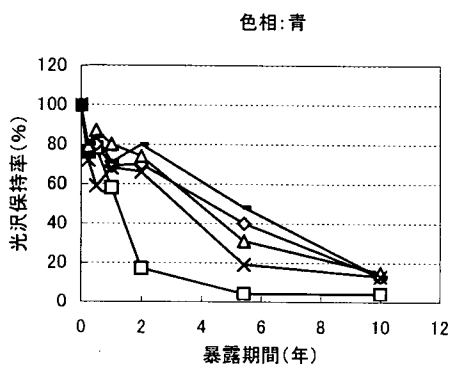
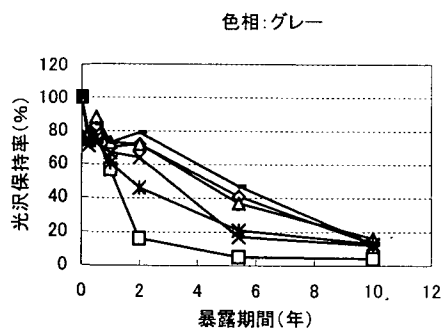
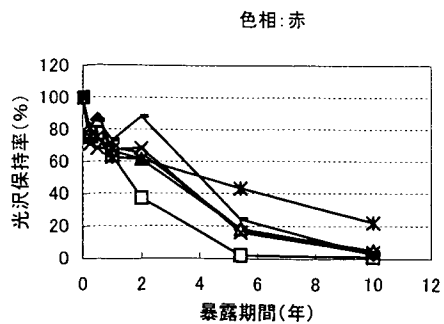


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-33 光沢保持率の経時変化 つくば:未水洗(ふっ素系)



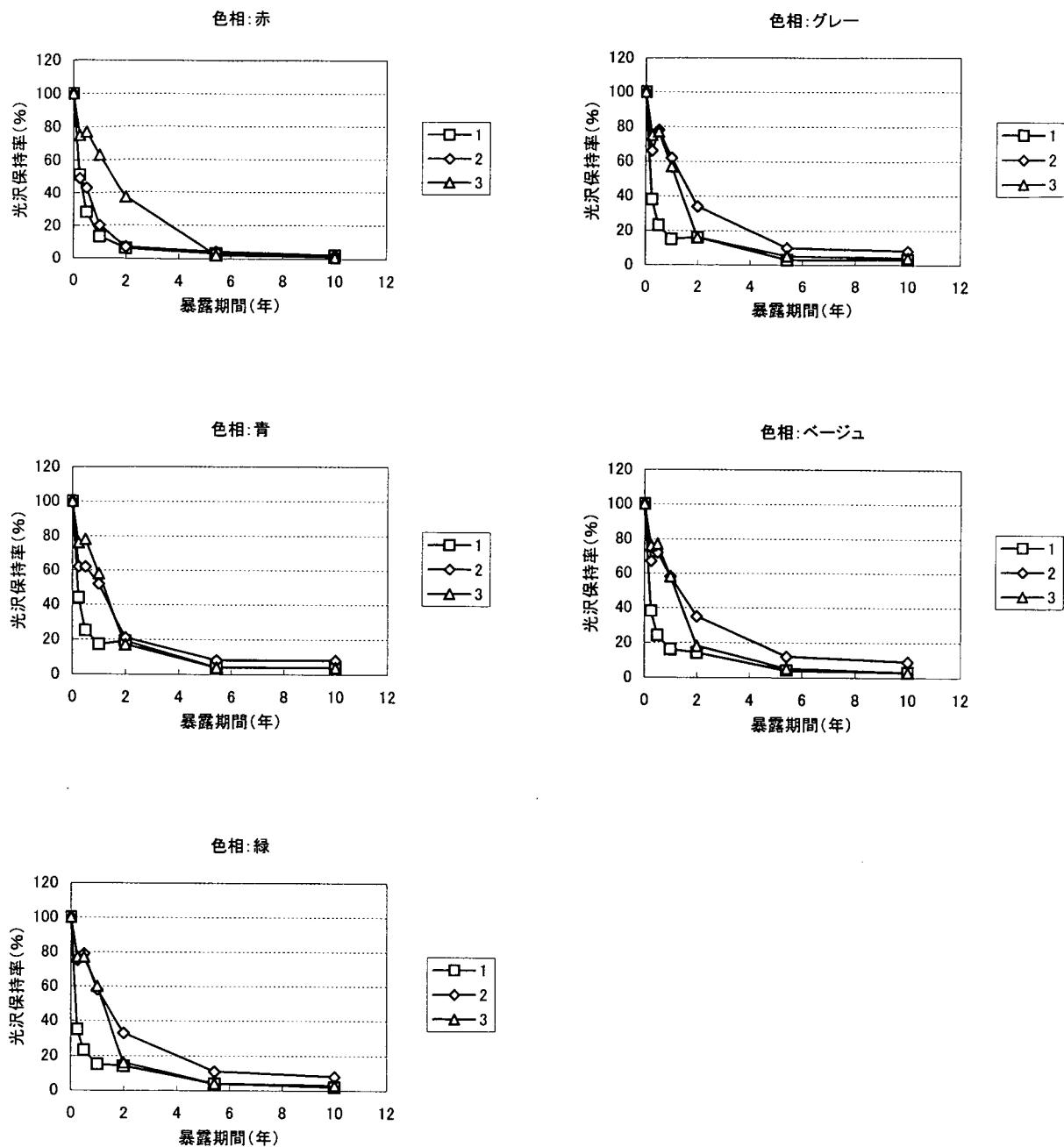
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

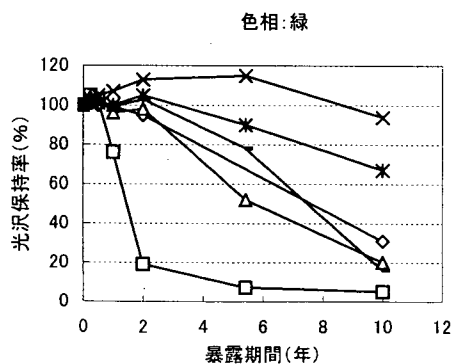
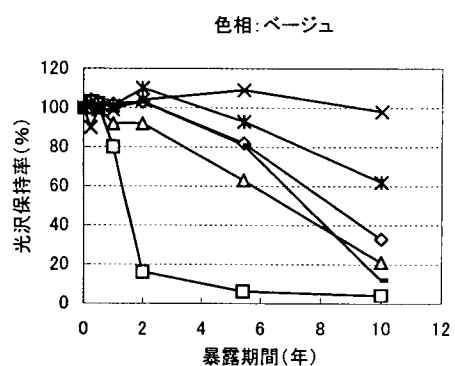
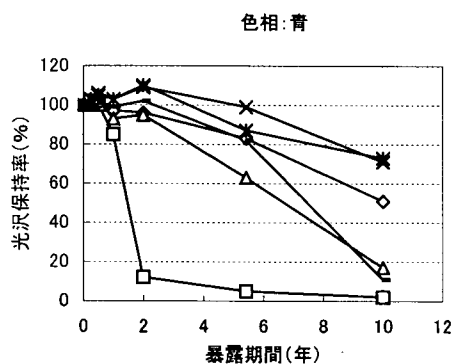
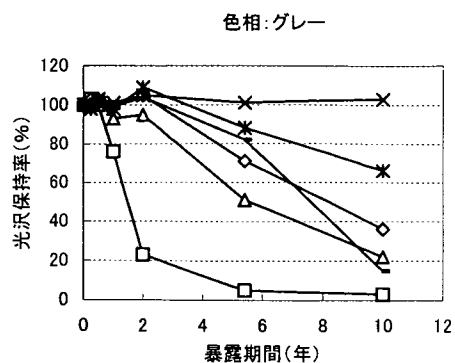
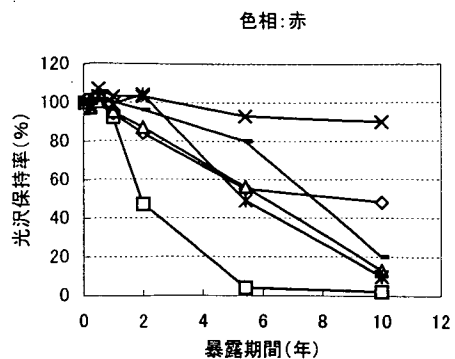
図-3-34 光沢保持率の経時変化 つくば: 未水洗(シリコン系)



1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-35 光沢保持率の経時変化 つくば: 未水洗(比較)



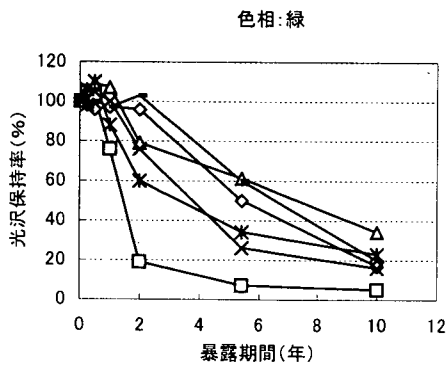
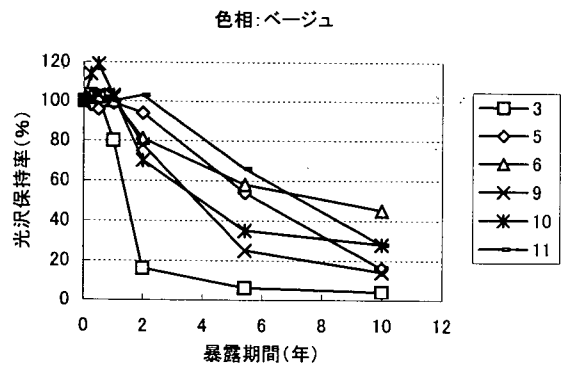
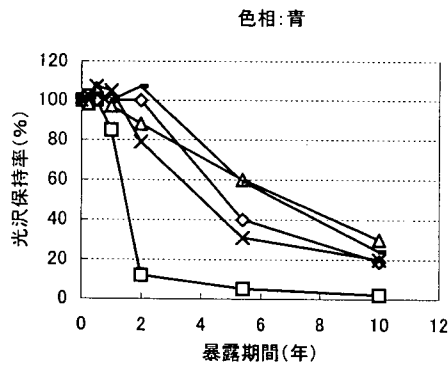
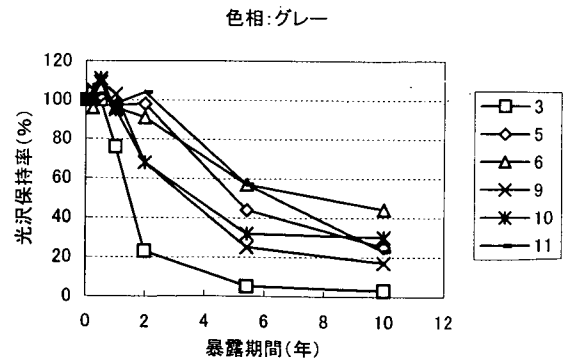
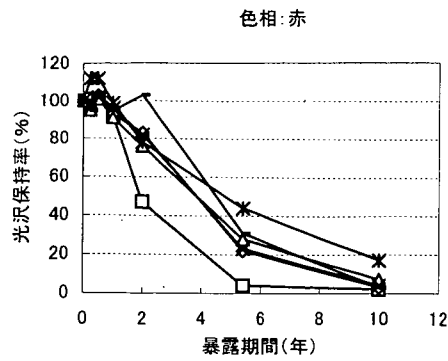
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-36 光沢保持率の経時変化 つくば: 水洗(ふっ素系)



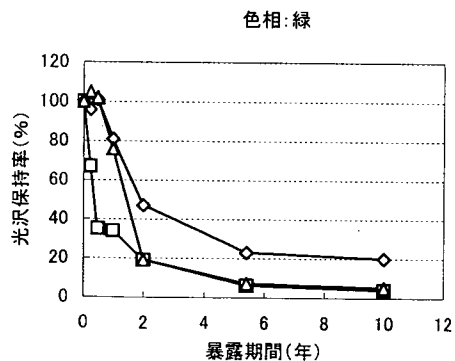
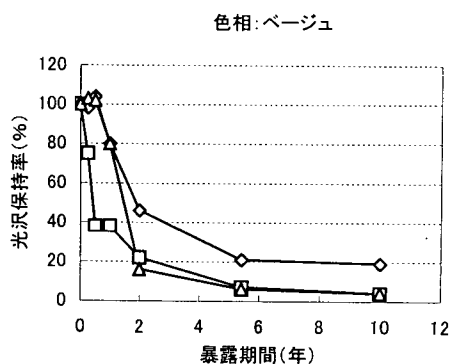
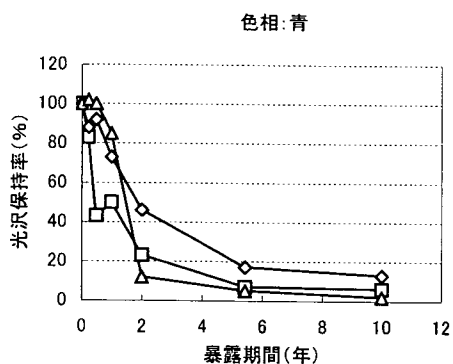
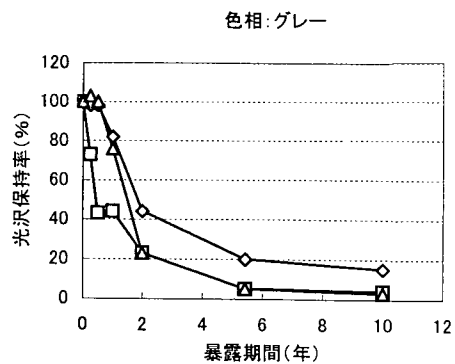
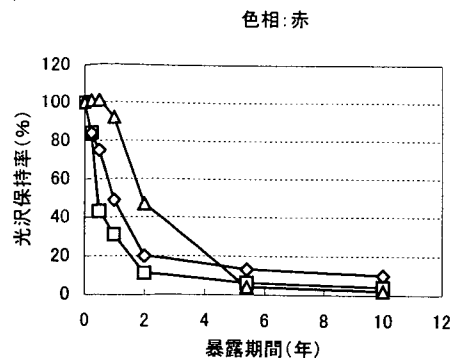
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3・37 光沢保持率の経時変化 つくば: 水洗(シリコン系)



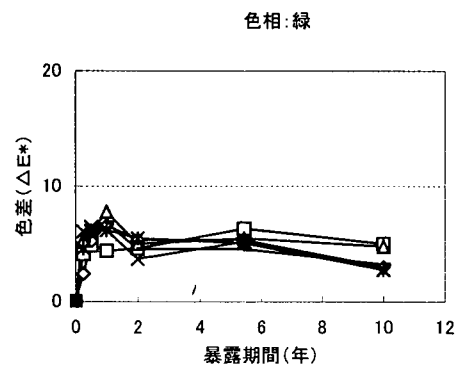
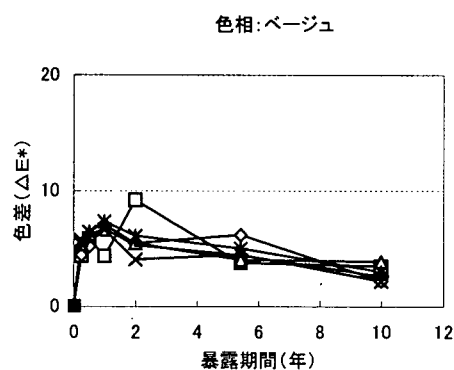
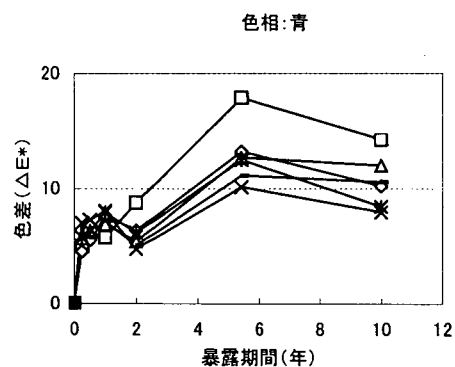
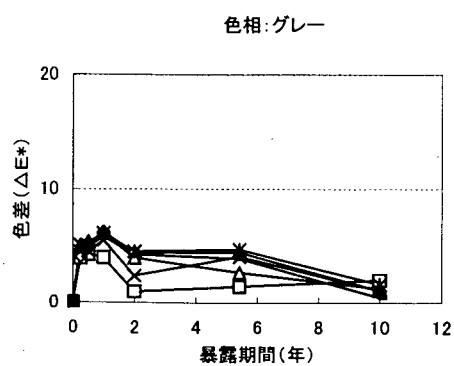
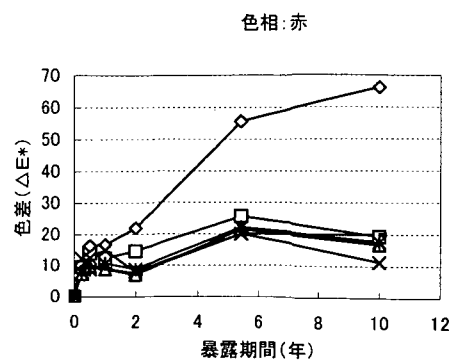
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-38 光沢保持率の経時変化 つくば: 水洗(比較)

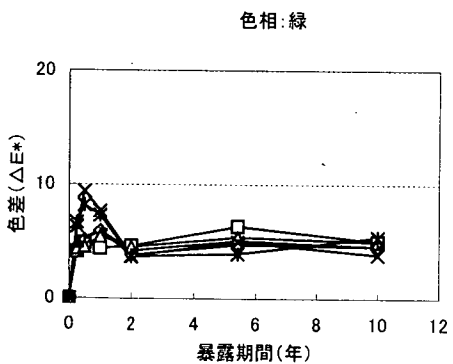
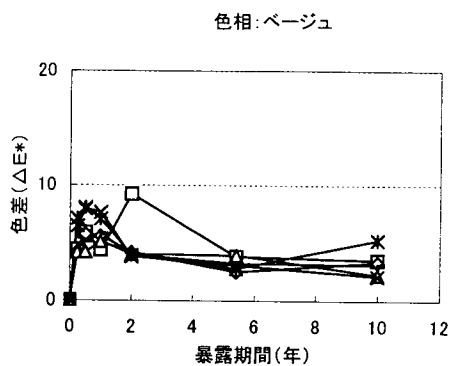
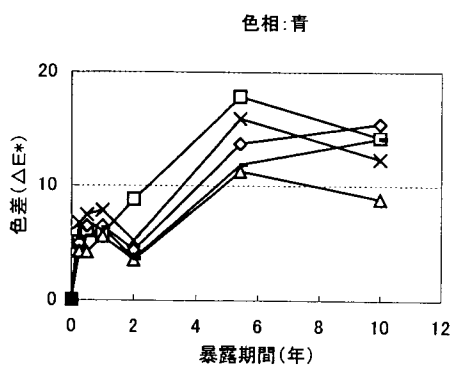
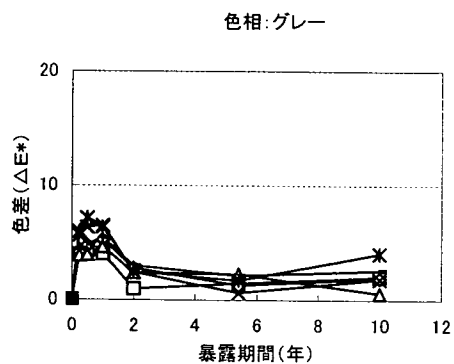
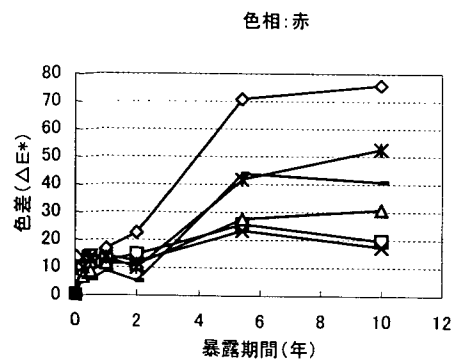


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

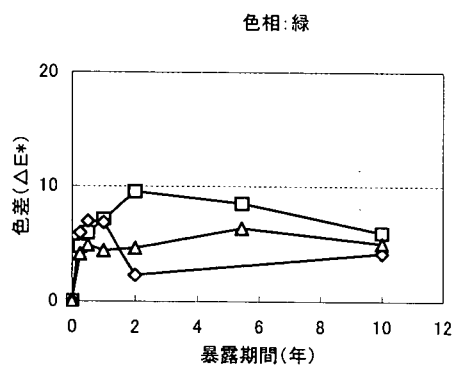
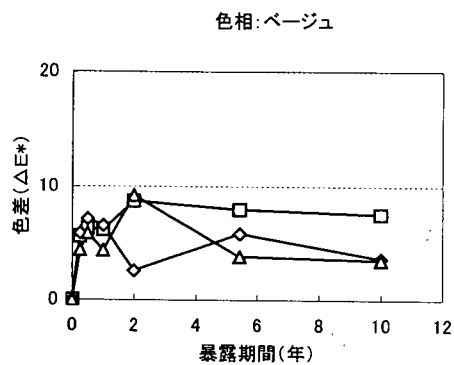
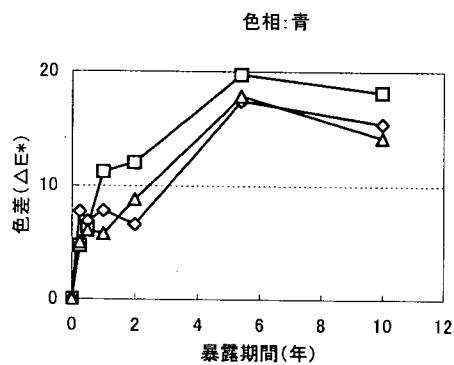
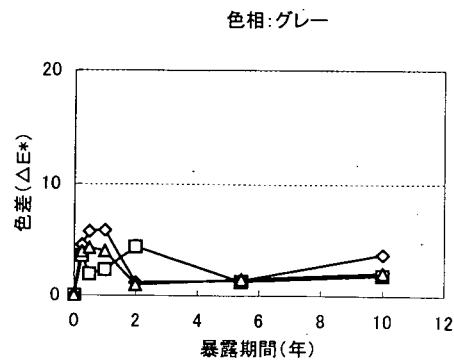
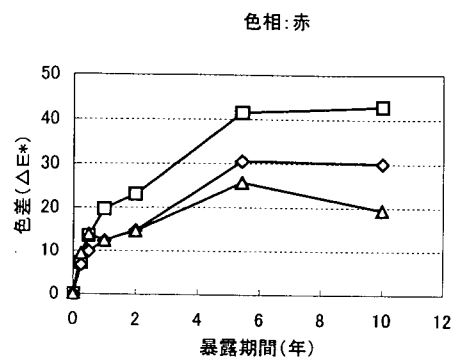
図-3-39 色差(ΔE*)の経時変化 つくば: 未水洗(ふっ素系)



1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-40 色差(ΔE*)の経時変化 つくば: 未水洗(シリコン系)

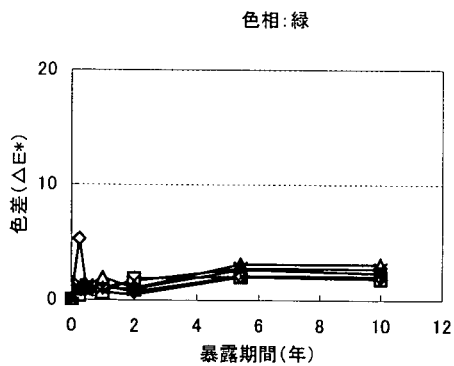
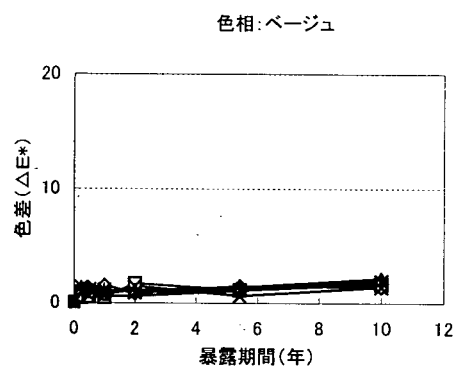
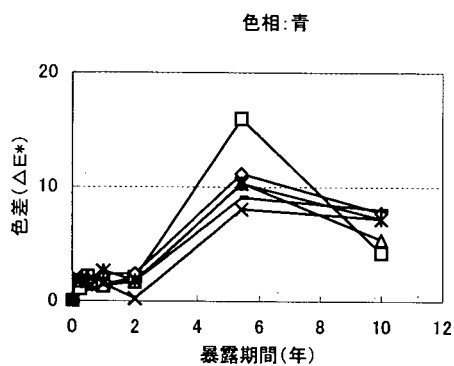
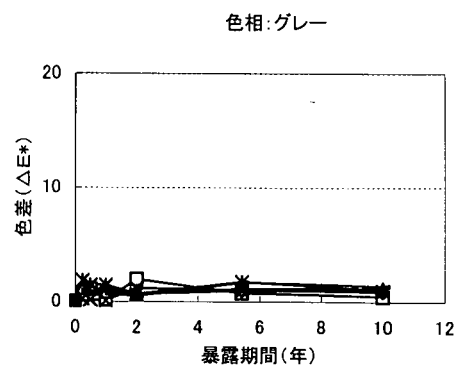
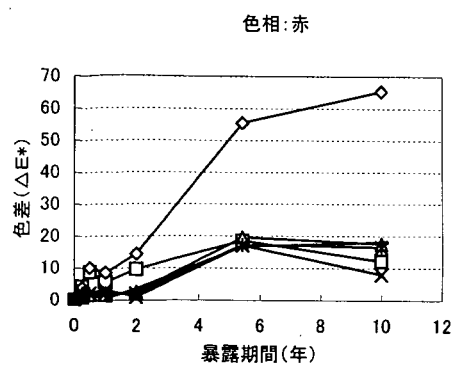


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-41 色差(ΔE^*)の経時変化 つくば:未水洗(比較)



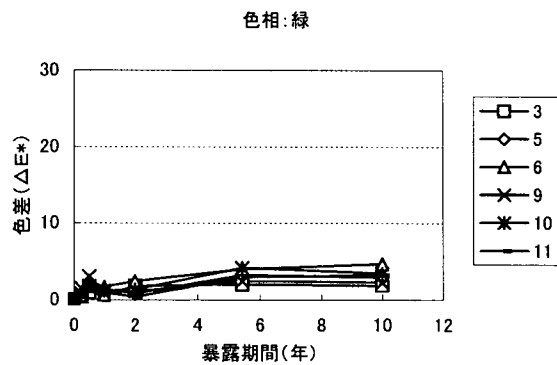
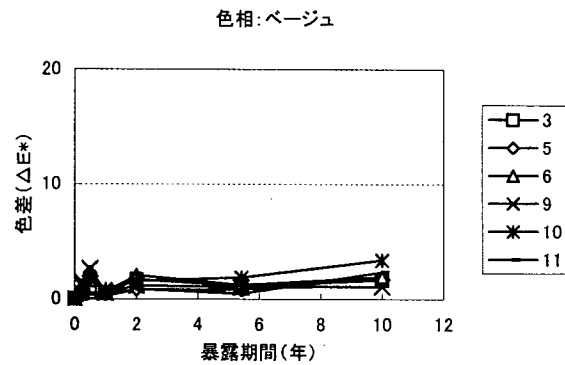
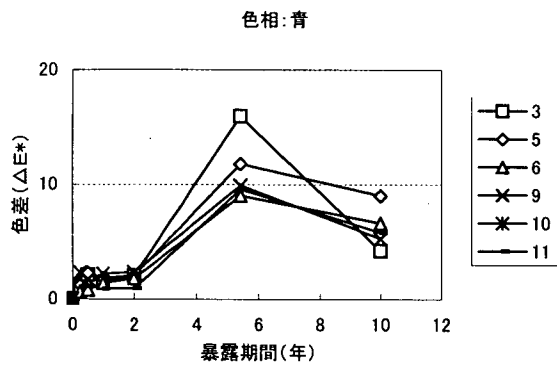
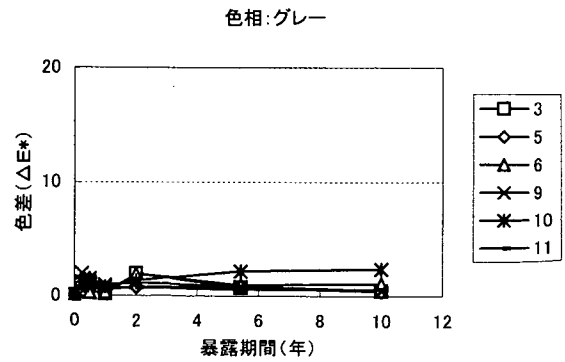
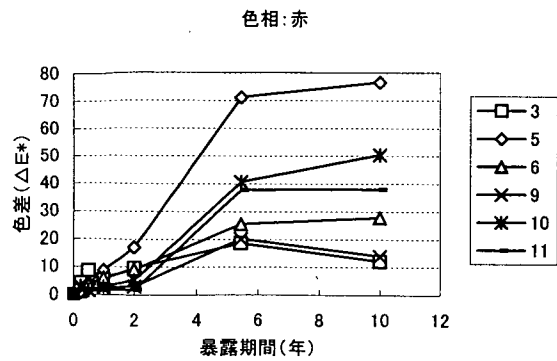
1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-42 色差(ΔE*)の経時変化 つくば:水洗(ふっ素系)



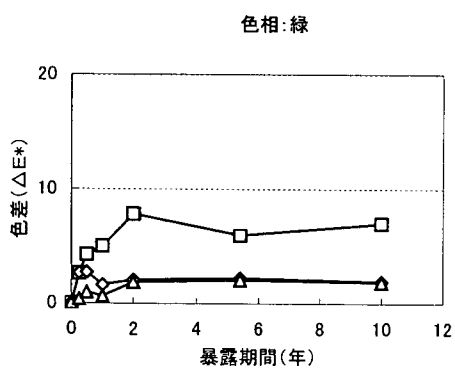
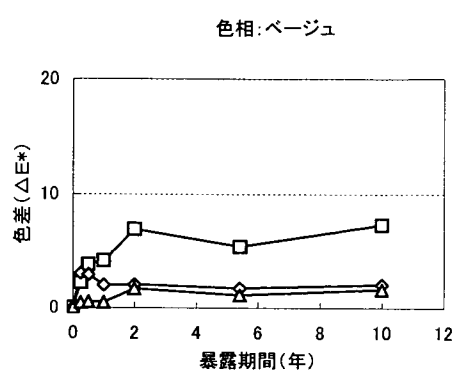
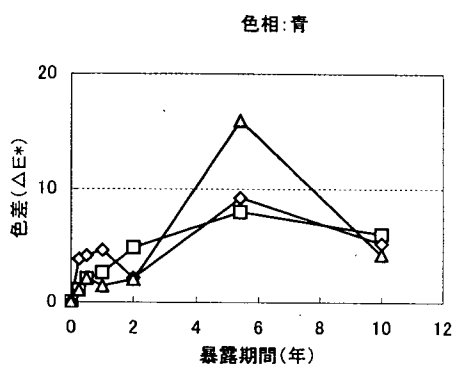
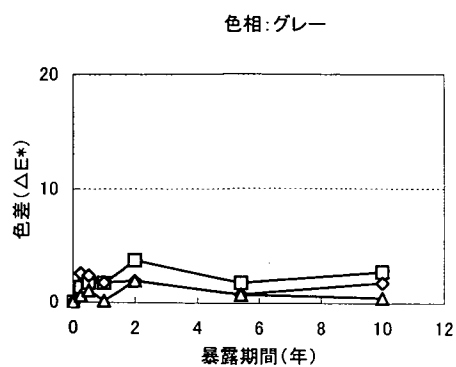
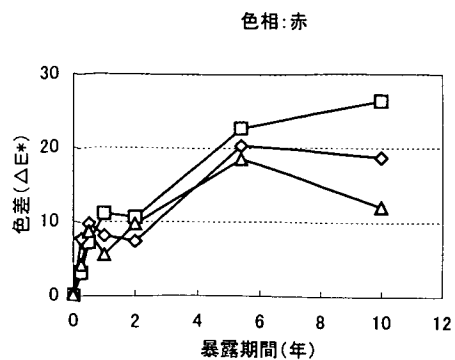
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-43 色差(ΔE^*)の経時変化 つくば: 水洗(シリコン系)

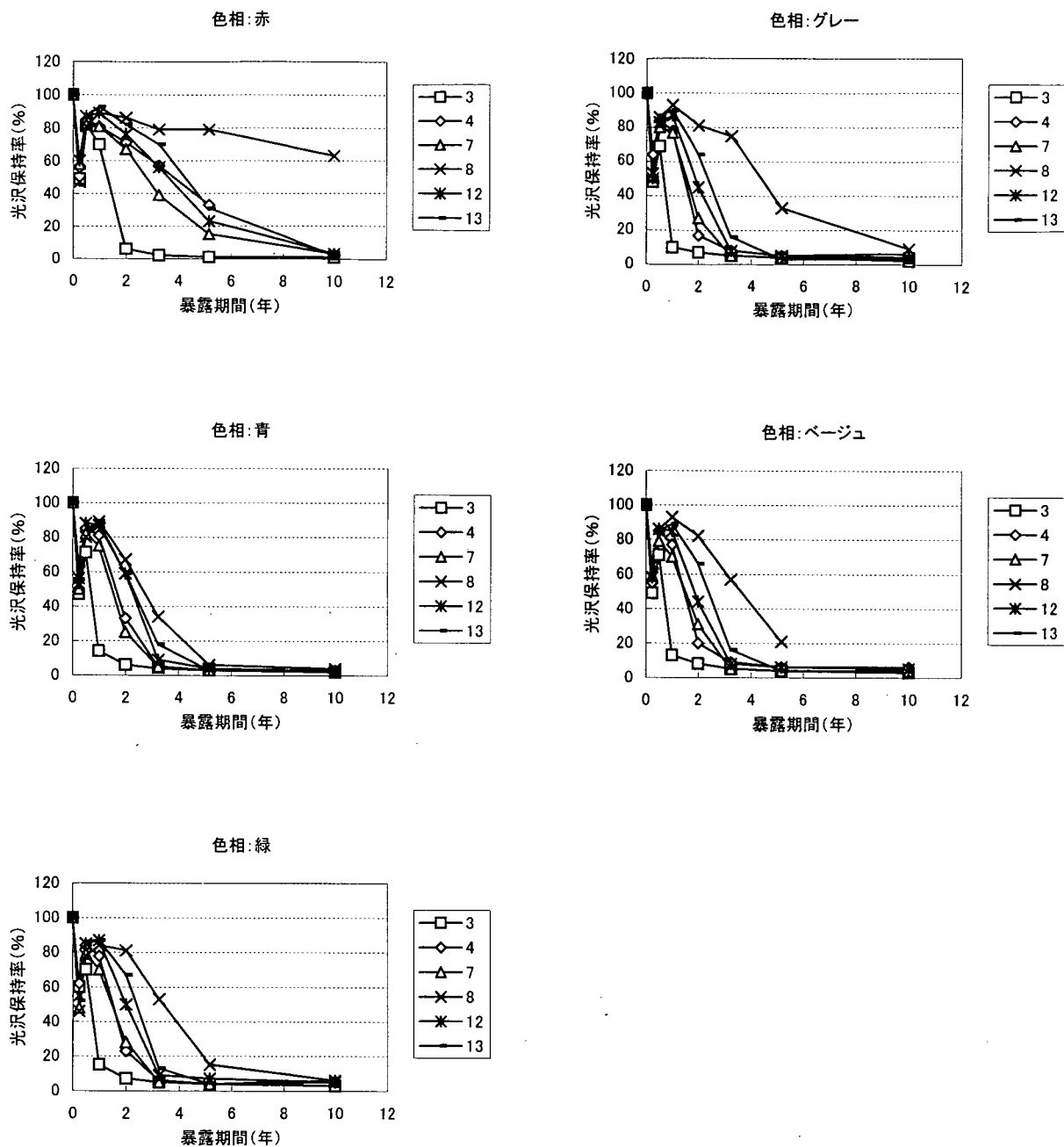


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-44 色差(ΔE*)の経時変化 つくば:水洗(比較)

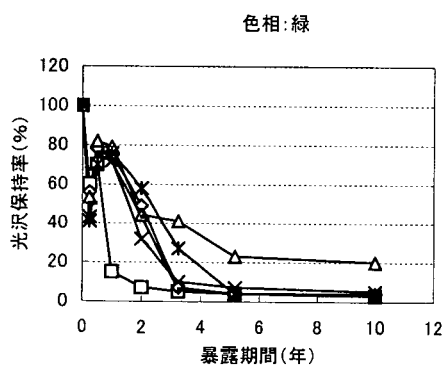
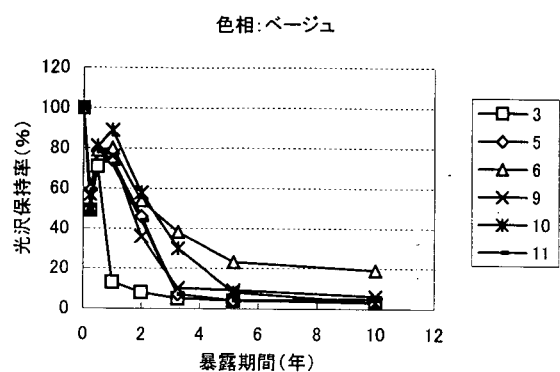
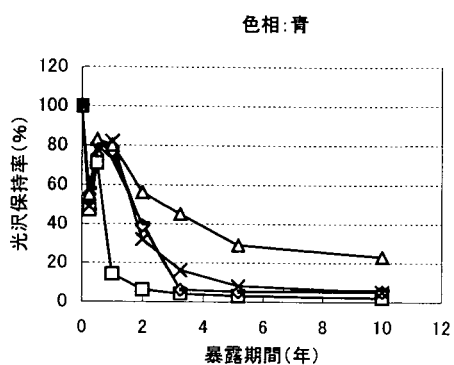
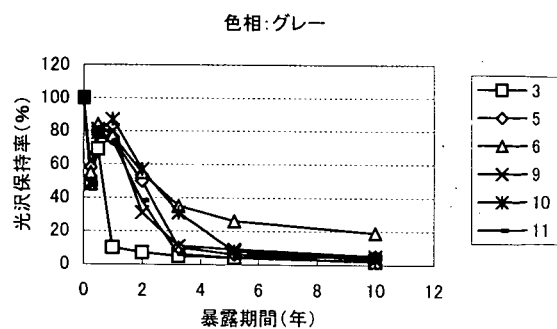
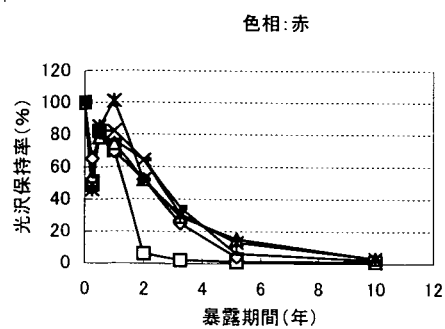


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

図-3.45 光沢保持率の経時変化 沖縄:未水洗(ふっ素系)



1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
3:アクリルウレタン樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3・46 光沢保持率の経時変化 沖縄:未水洗(シリコン系)

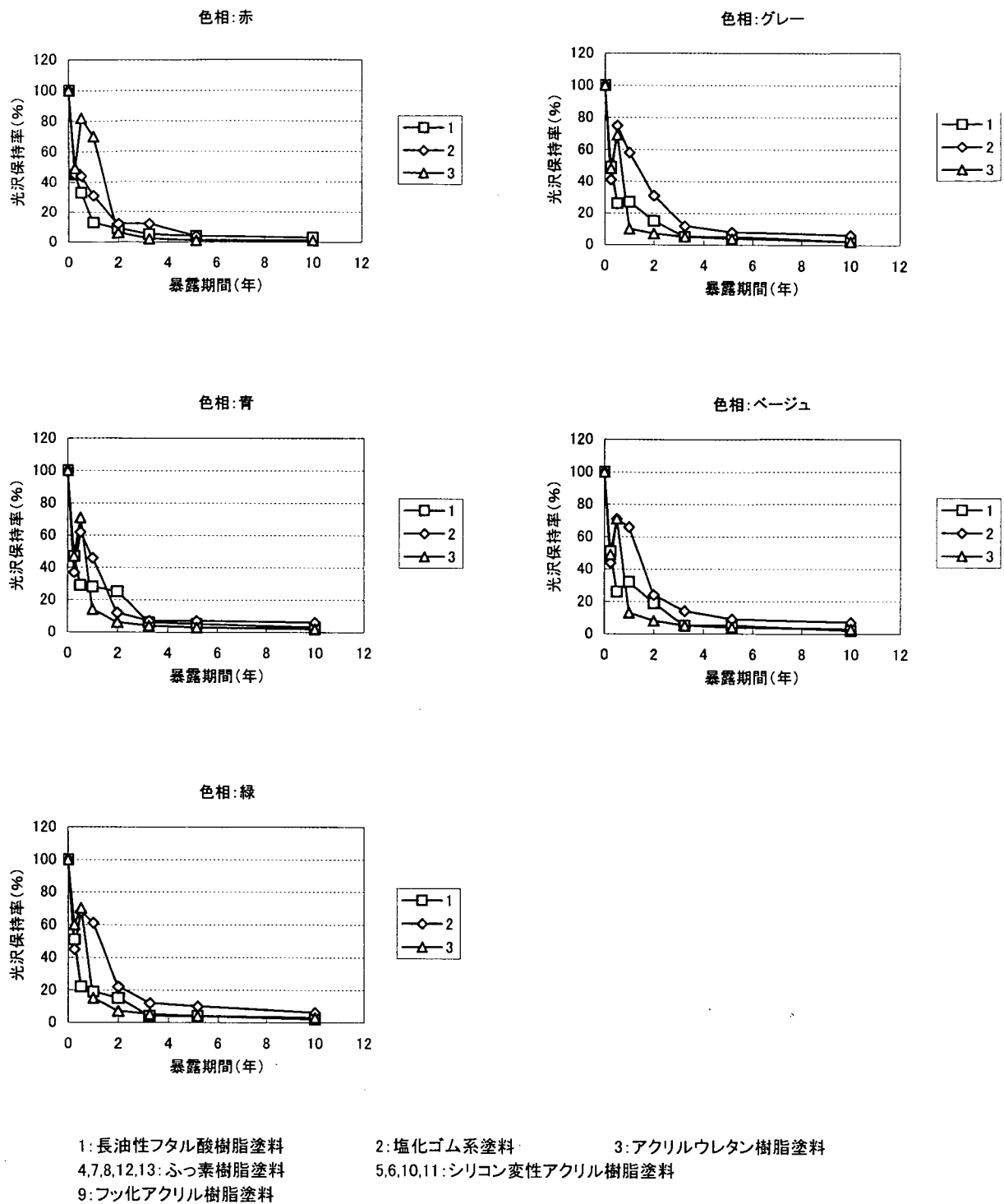


図-3-47 光沢保持率の経時変化 沖縄:未水洗(比較)

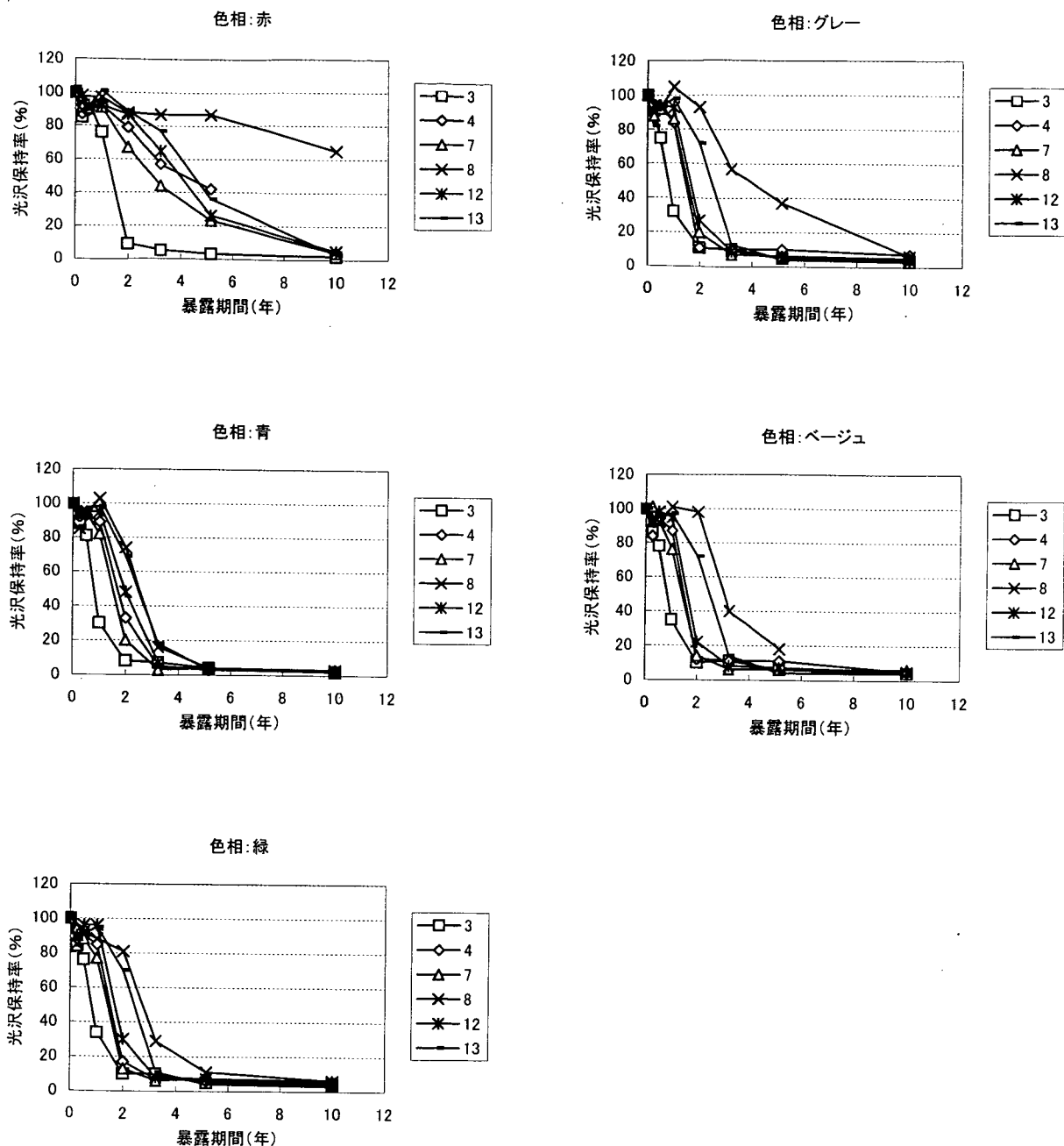
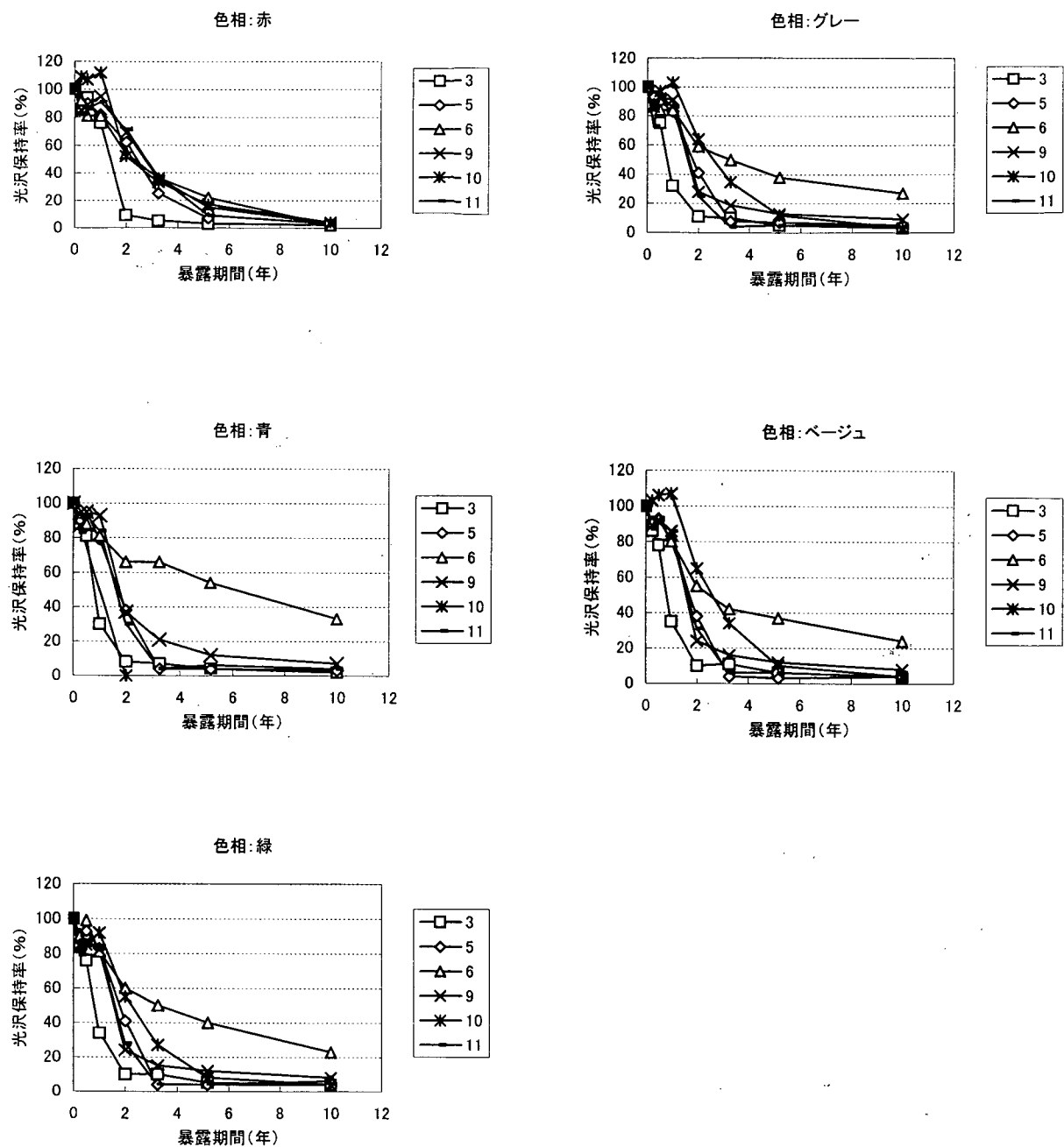


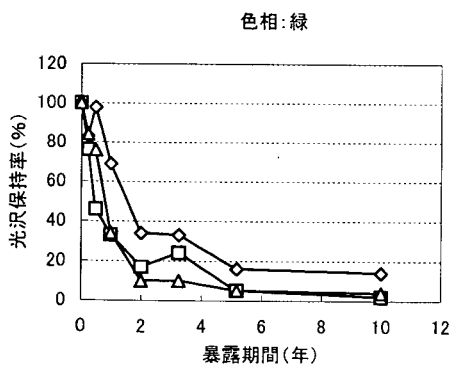
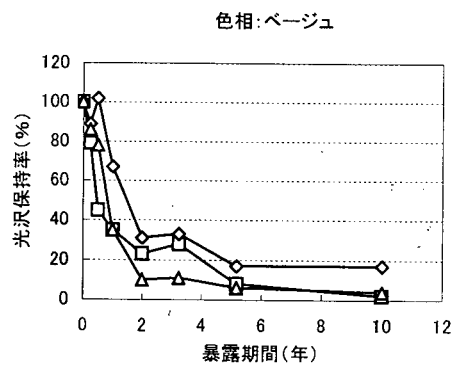
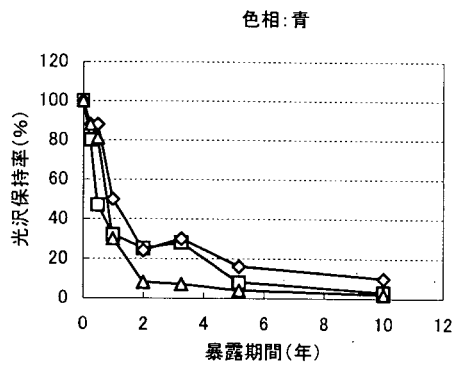
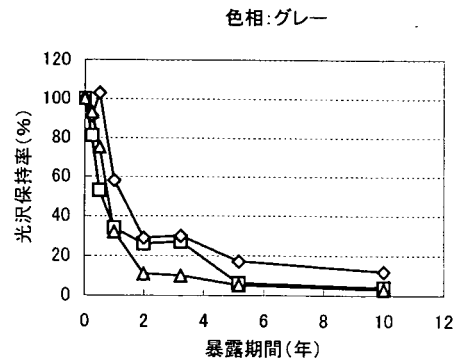
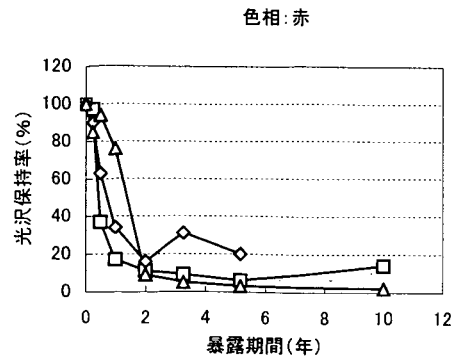
図-3-48 光沢保持率の経時変化 沖縄:水洗(ふっ素系)



1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
3: アクリルウレタン樹脂塗料
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-49 光沢保持率の経時変化 沖縄:水洗(シリコン系)



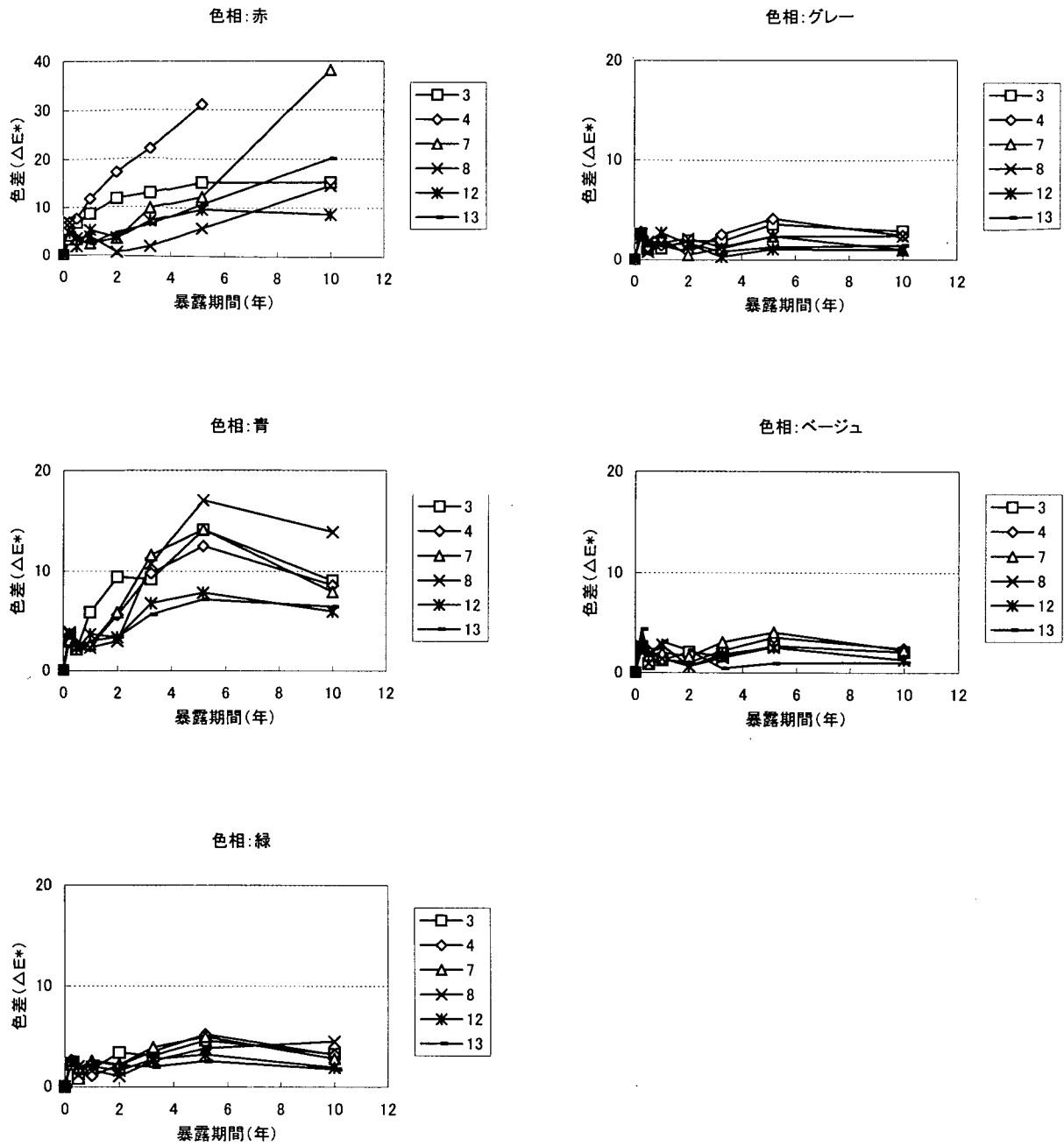
1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-50 光沢保持率の経時変化 沖縄:水洗(比較)

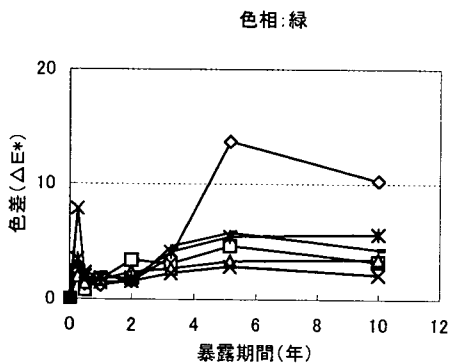
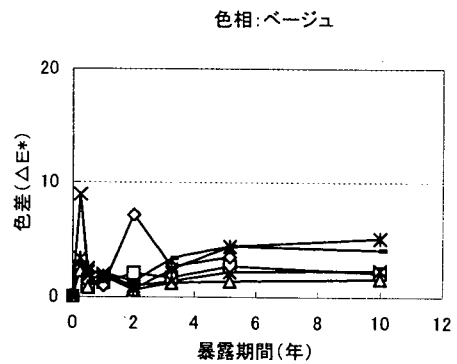
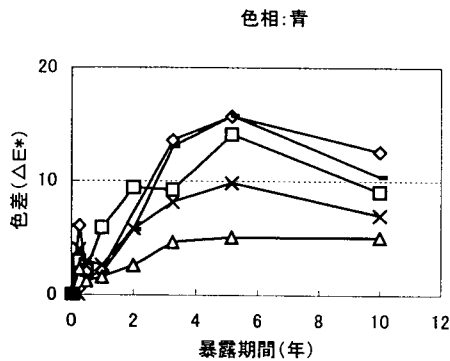
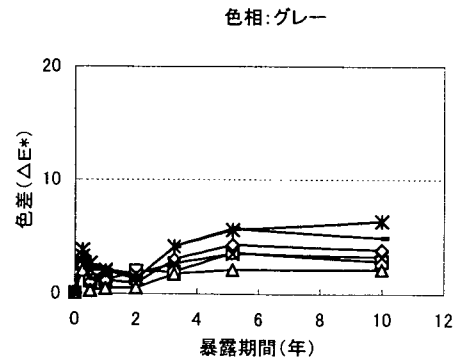
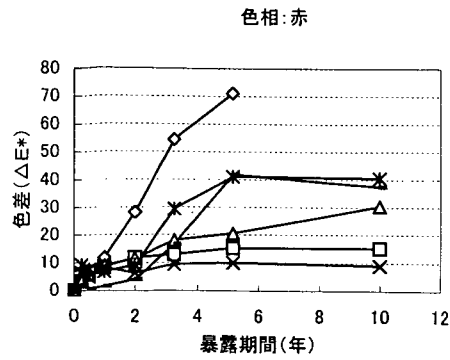


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

図-3・51 色差(ΔE*)の経時変化 沖縄:未水洗(ふっ素系)



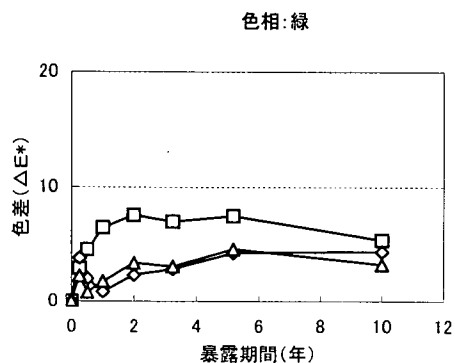
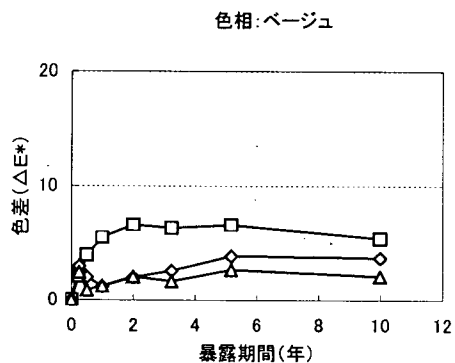
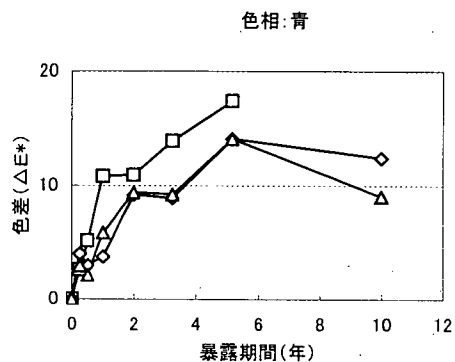
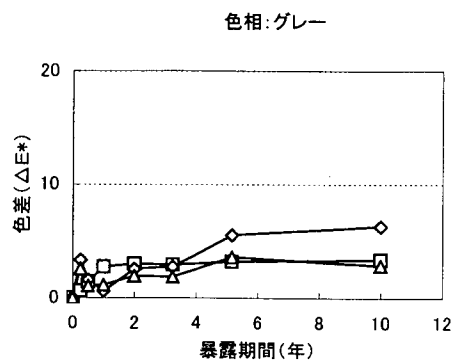
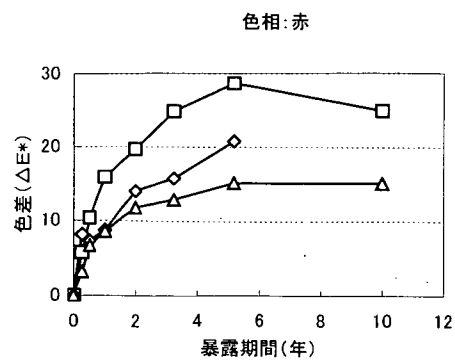
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3.52 色差(ΔE*)の経時変化 沖縄:未水洗(シリコン系)

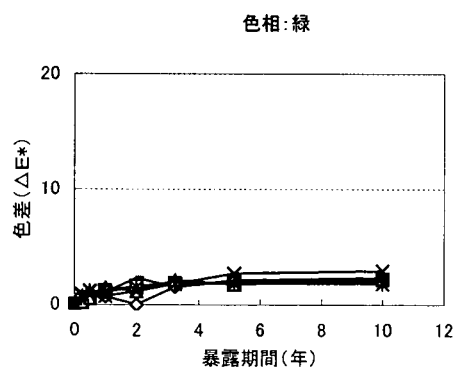
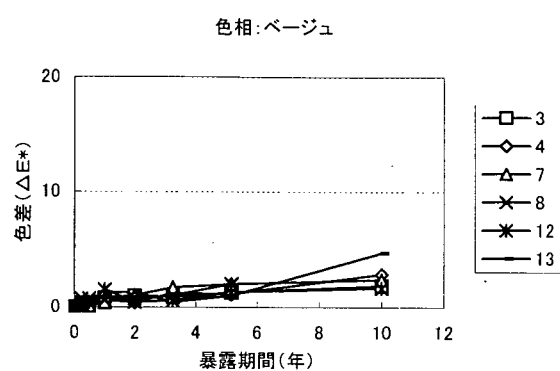
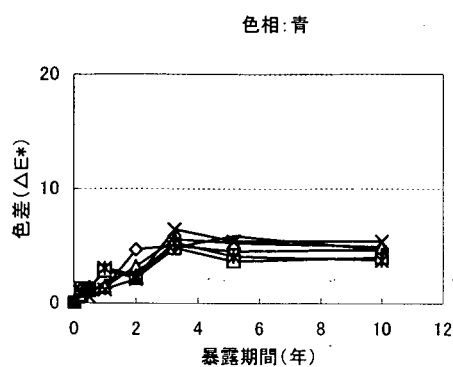
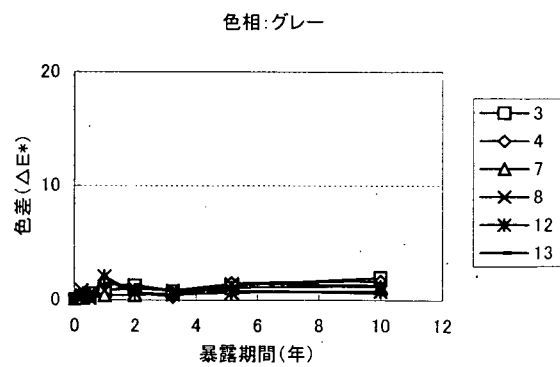
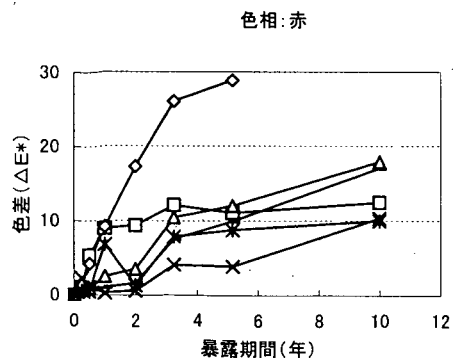


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-53 色差(ΔE*)の経時変化 沖縄:未水洗(比較)



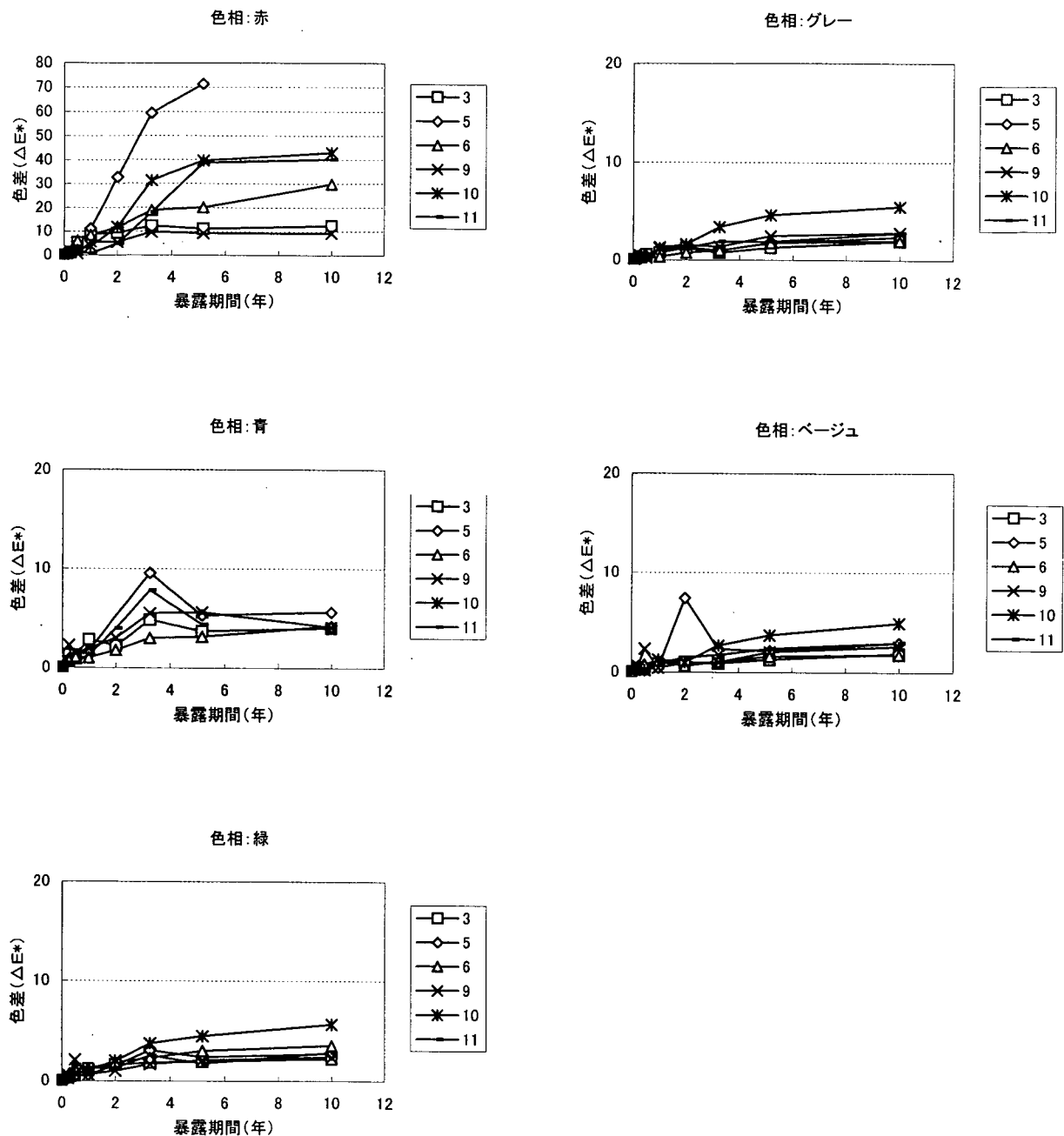
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

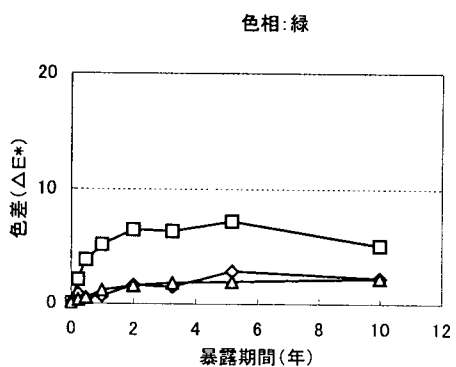
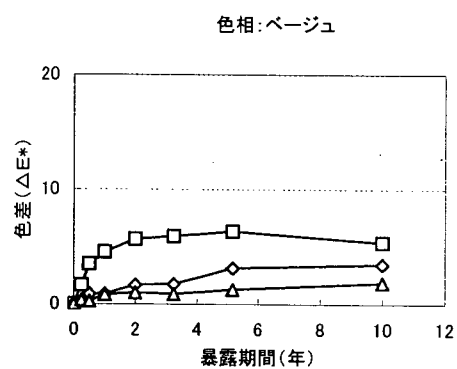
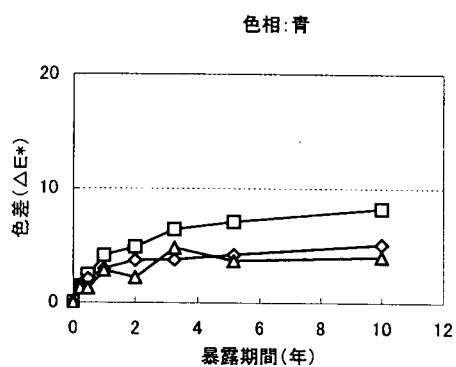
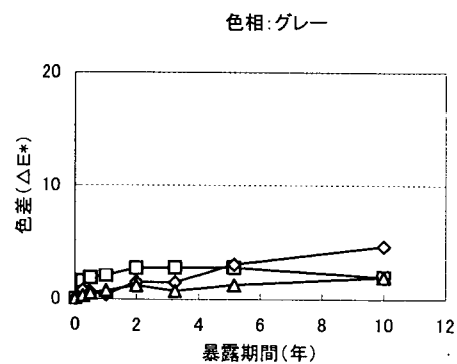
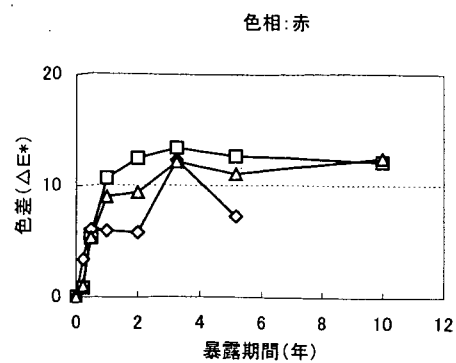
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3.54 色差(ΔE^*)の経時変化 沖縄: 水洗(ふっ素系)



1: 長油性フタル酸樹脂塗料 2: 塩化ゴム系塗料 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3.55 色差(ΔE*)の経時変化 沖縄:水洗(シリコン系)



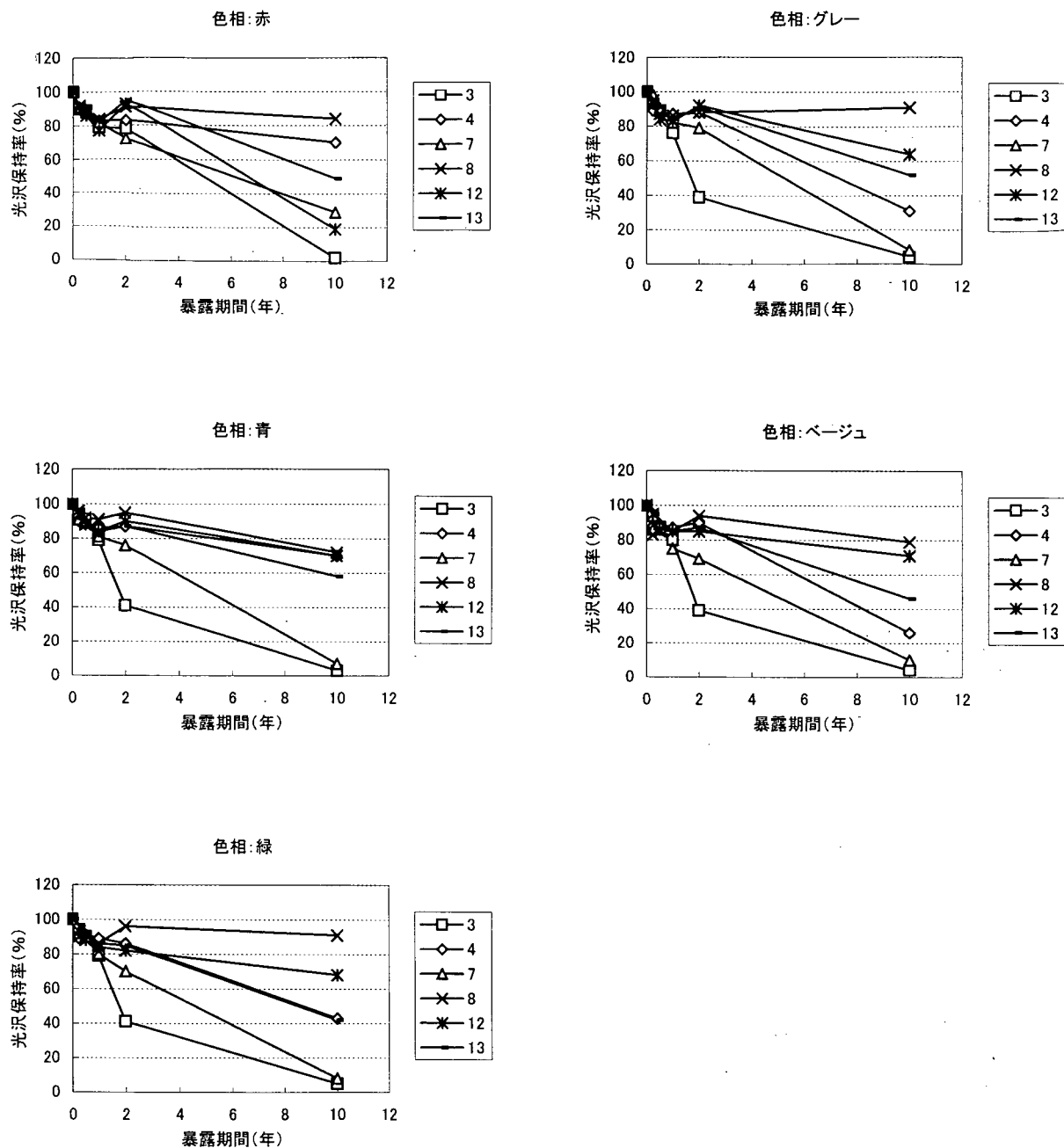
1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-56 色差(ΔE*)の経時変化 沖縄:水洗(比較)

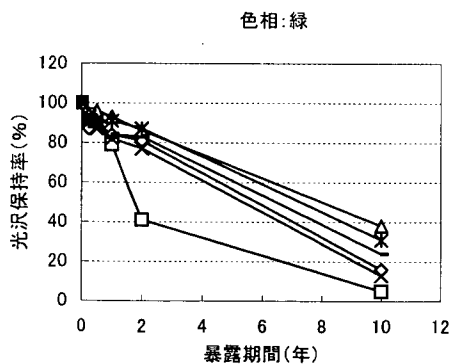
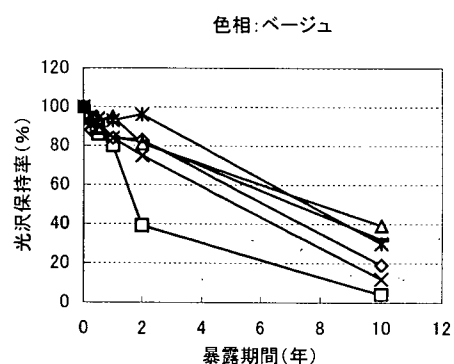
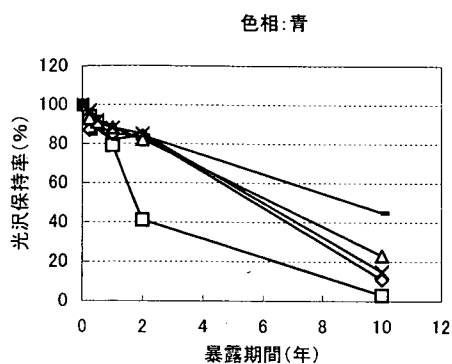
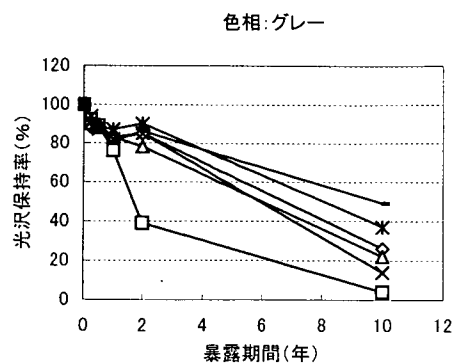
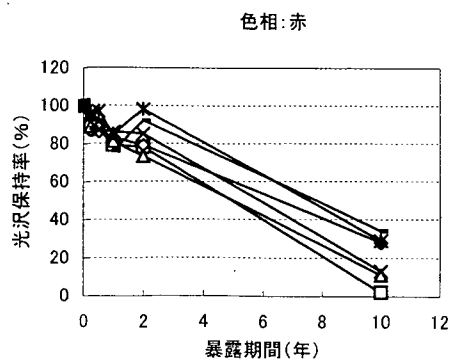


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3・57 光沢保持率の経時変化 北海道: 未水洗(ふっ素系)



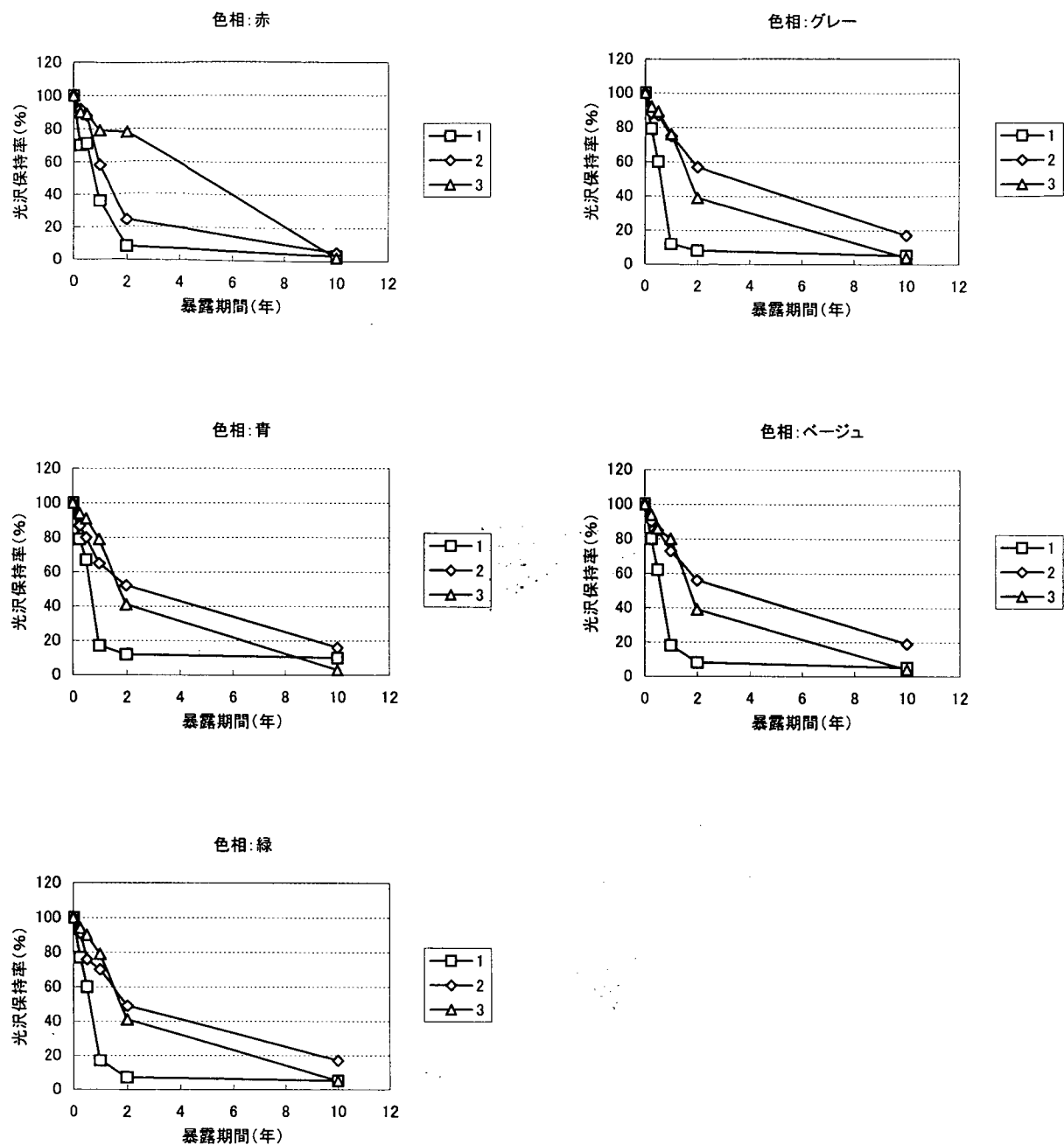
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

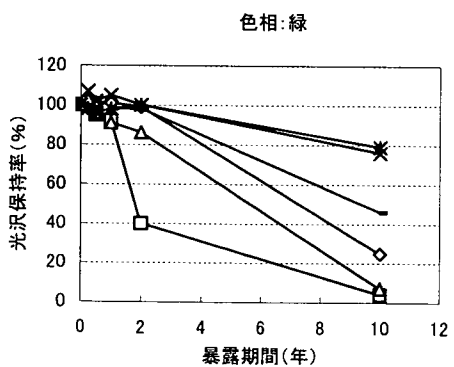
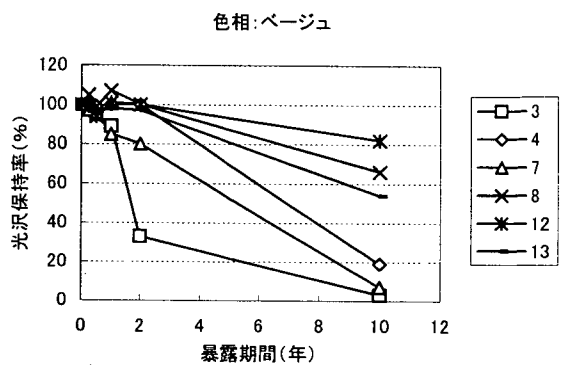
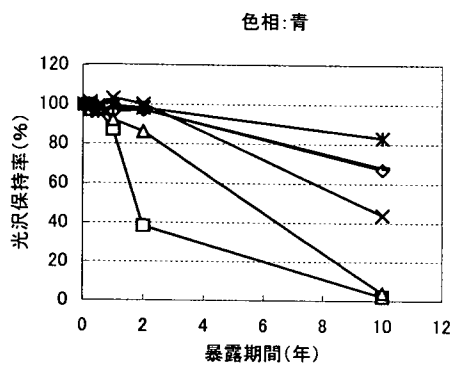
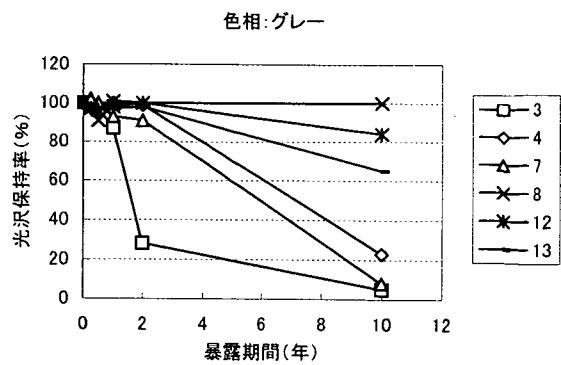
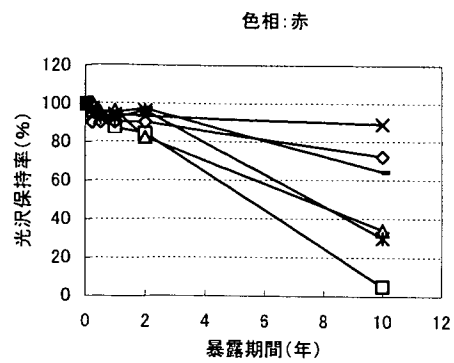
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-58 光沢保持率の経時変化 北海道: 未水洗(シリコン系)



- 1: 長油性フタル酸樹脂塗料 2: 塩化ゴム系塗料 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3・59 光沢保持率の経時変化 北海道:未水洗(比較)



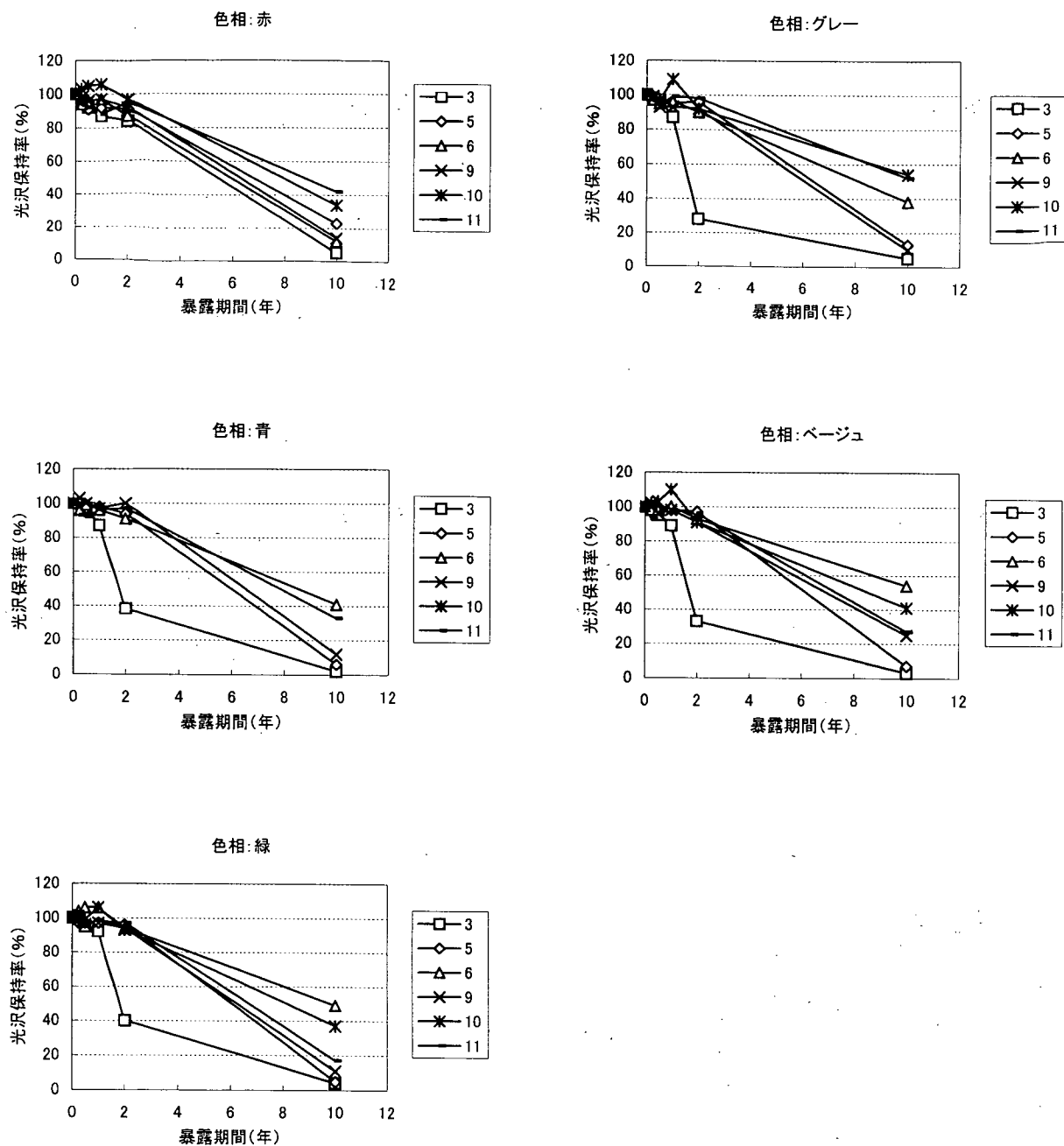
1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3・60 光沢保持率の経時変化 北海道:水洗(ふっ素系)

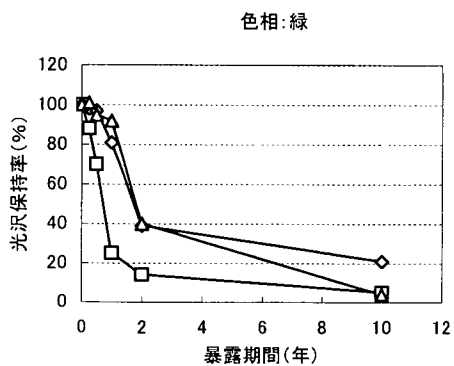
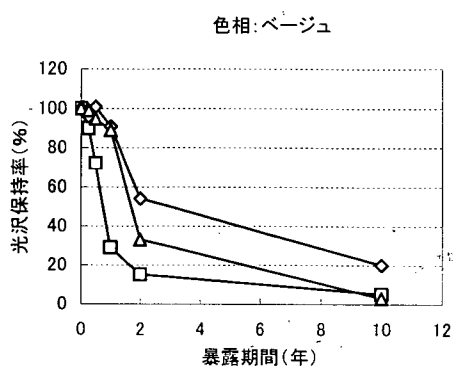
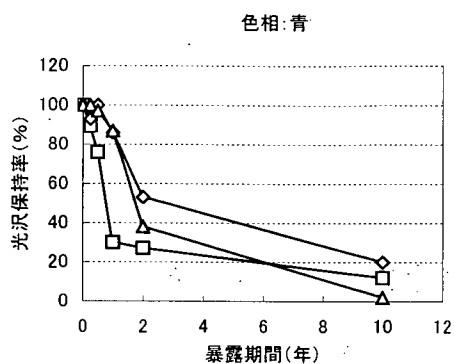
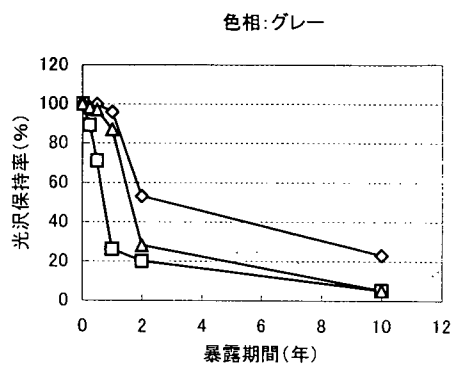
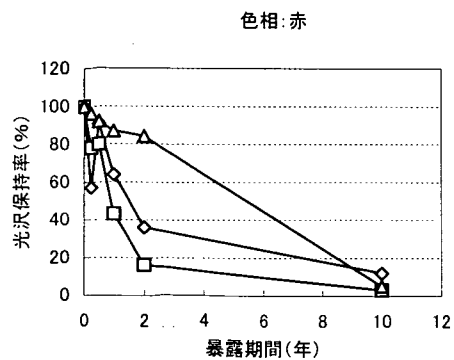


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3・61 光沢保持率の経時変化 北海道:水洗(シリコン系)

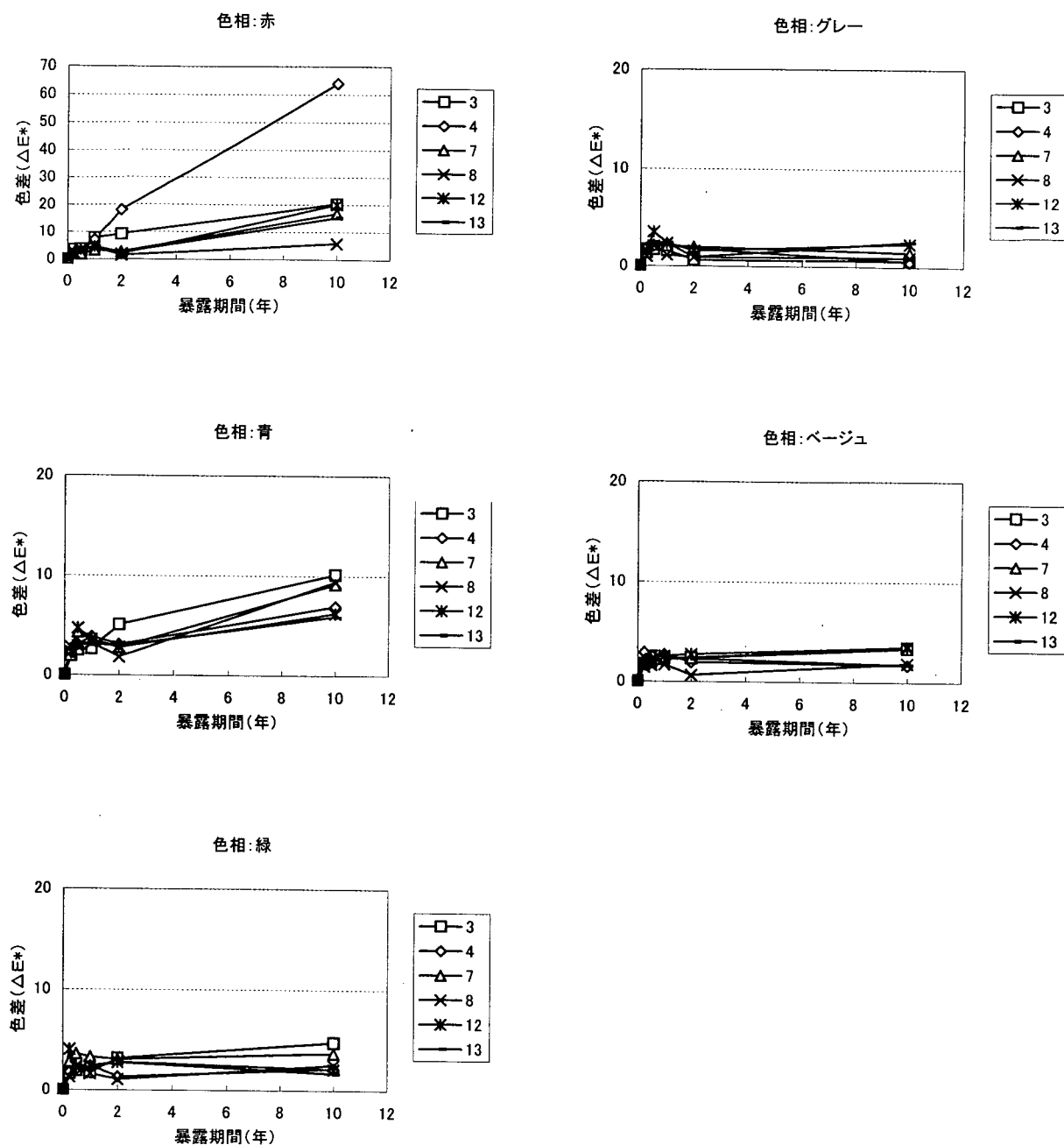


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3・62 光沢保持率の経時変化 北海道: 水洗(比較)

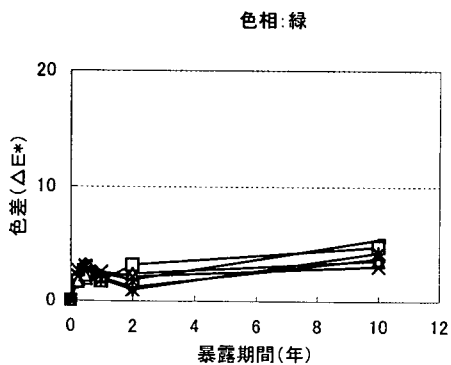
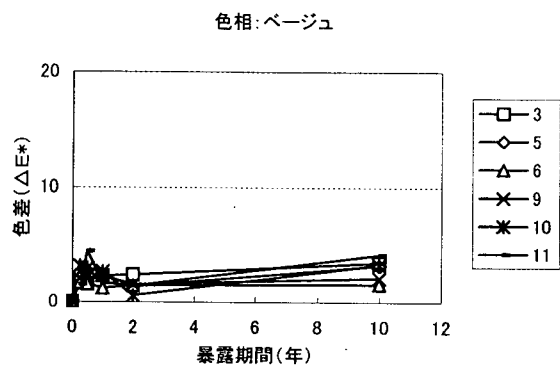
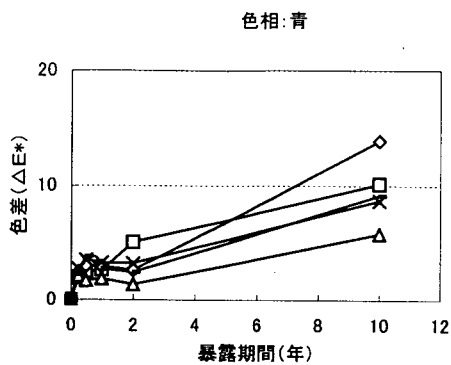
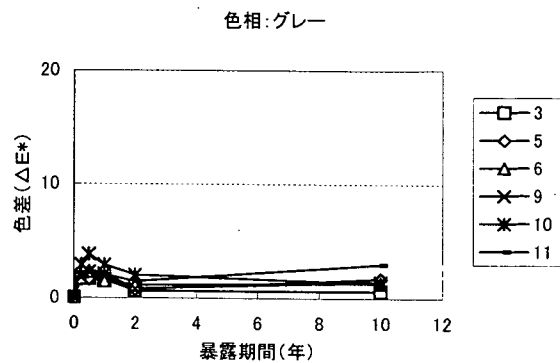
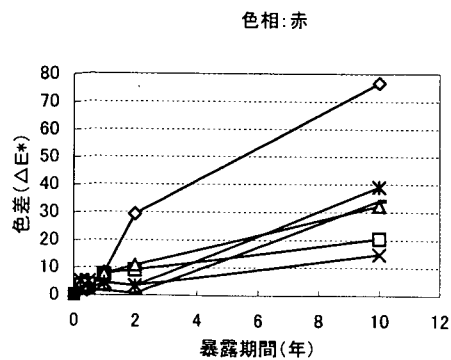


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-63 色差(ΔE^*)の経時変化 北海道:未水洗(ふっ素系)



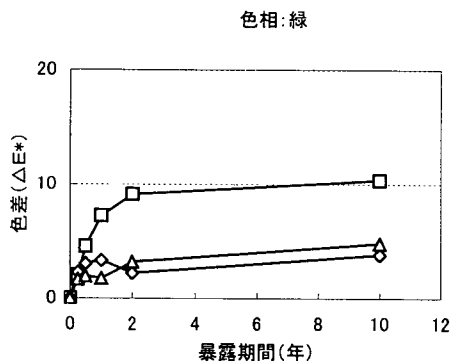
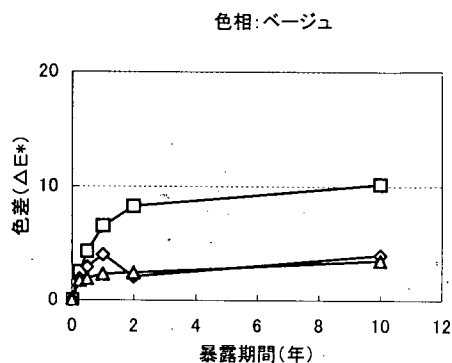
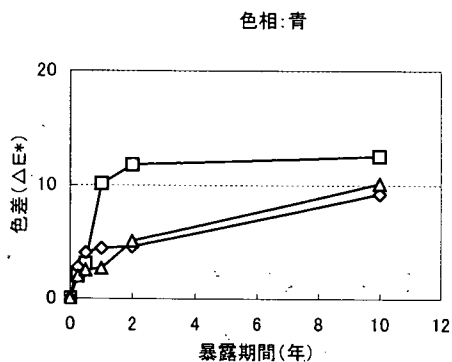
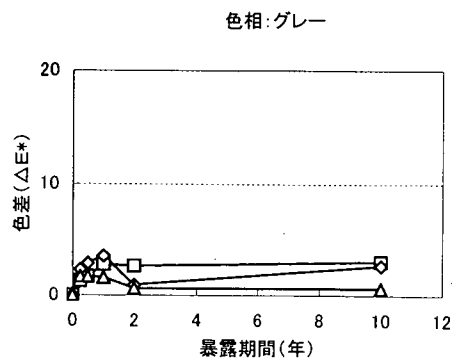
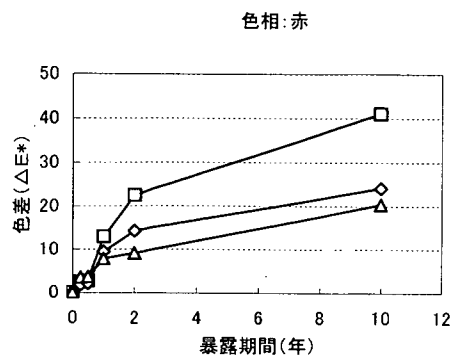
1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-64 色差(ΔE*)の経時変化 北海道:未水洗(シリコン系)

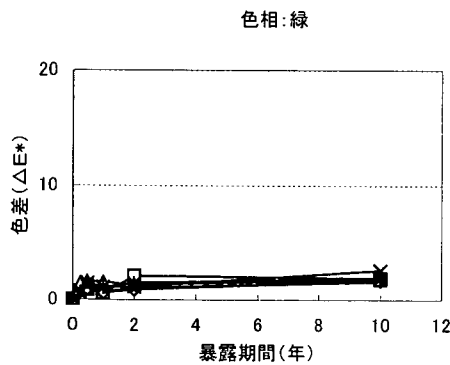
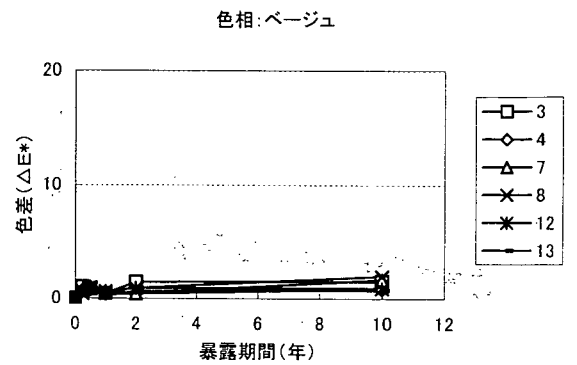
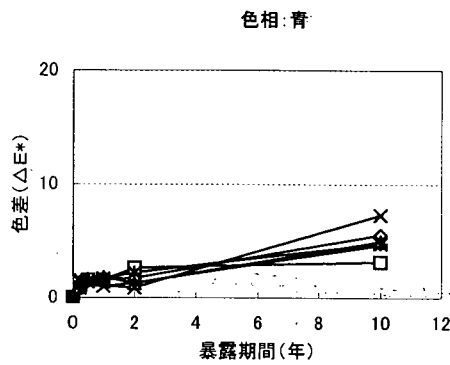
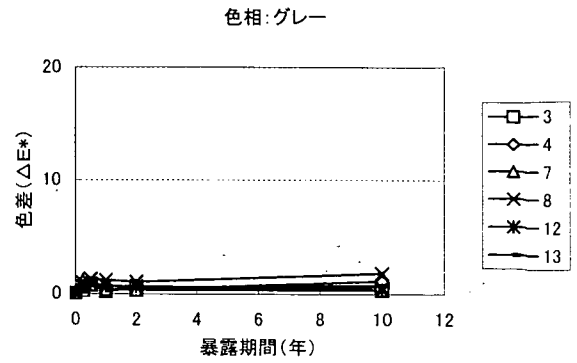
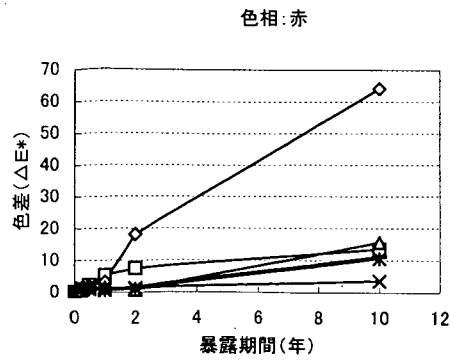


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

図-3.65 色差(ΔE^*)の経時変化 北海道:未水洗(比較)



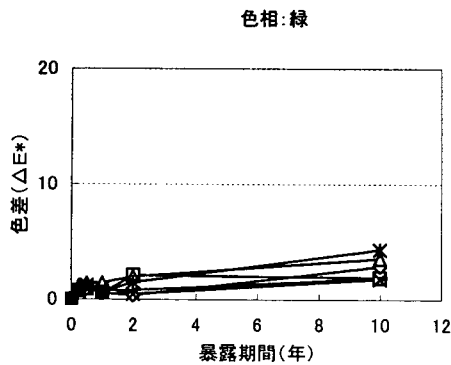
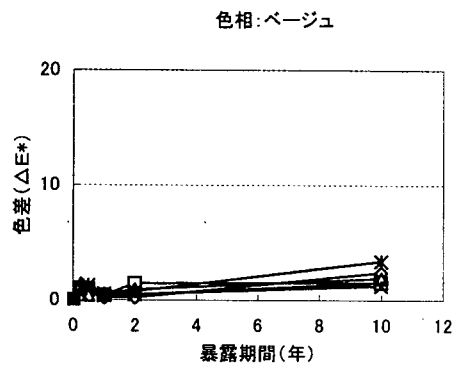
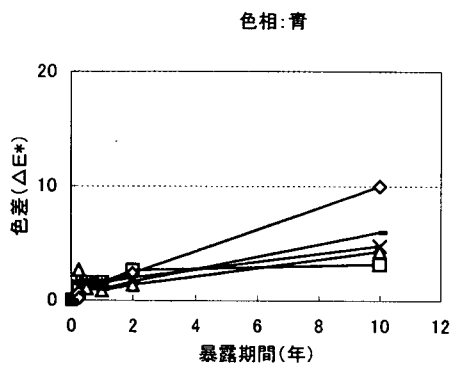
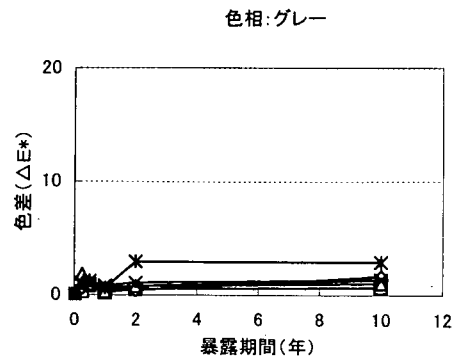
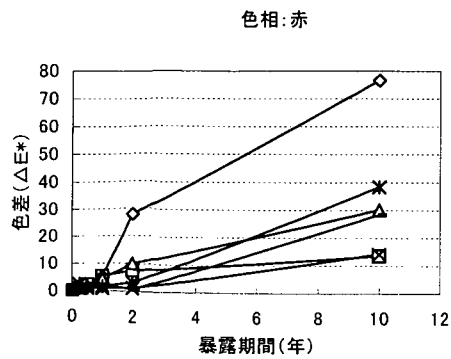
1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-66 色差(ΔE*)の経時変化 北海道:水洗(ふっ素系)

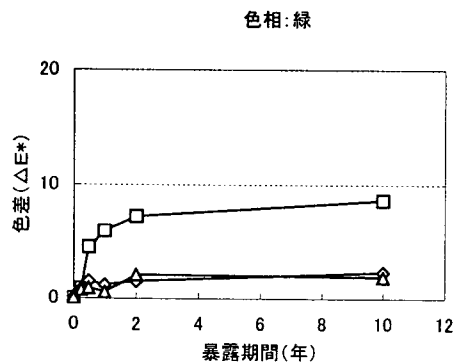
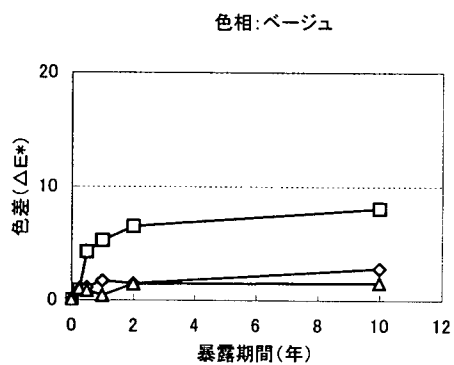
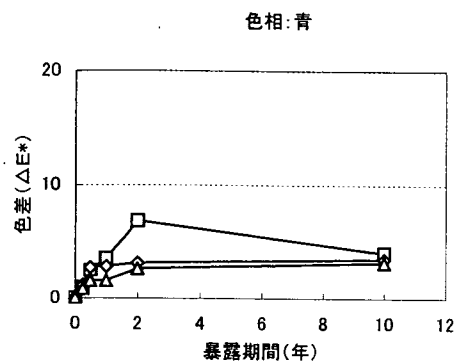
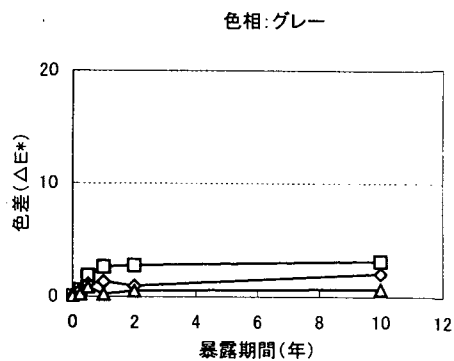
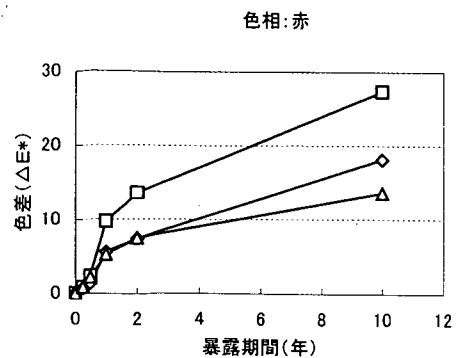


1:長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13:ふっ素樹脂塗料
9:フッ化アクリル樹脂塗料

2:塩化ゴム系塗料
5,6,10,11:シリコン変性アクリル樹脂塗料

3:アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-67 色差(ΔE*)の経時変化 北海道:水洗(シリコン系)

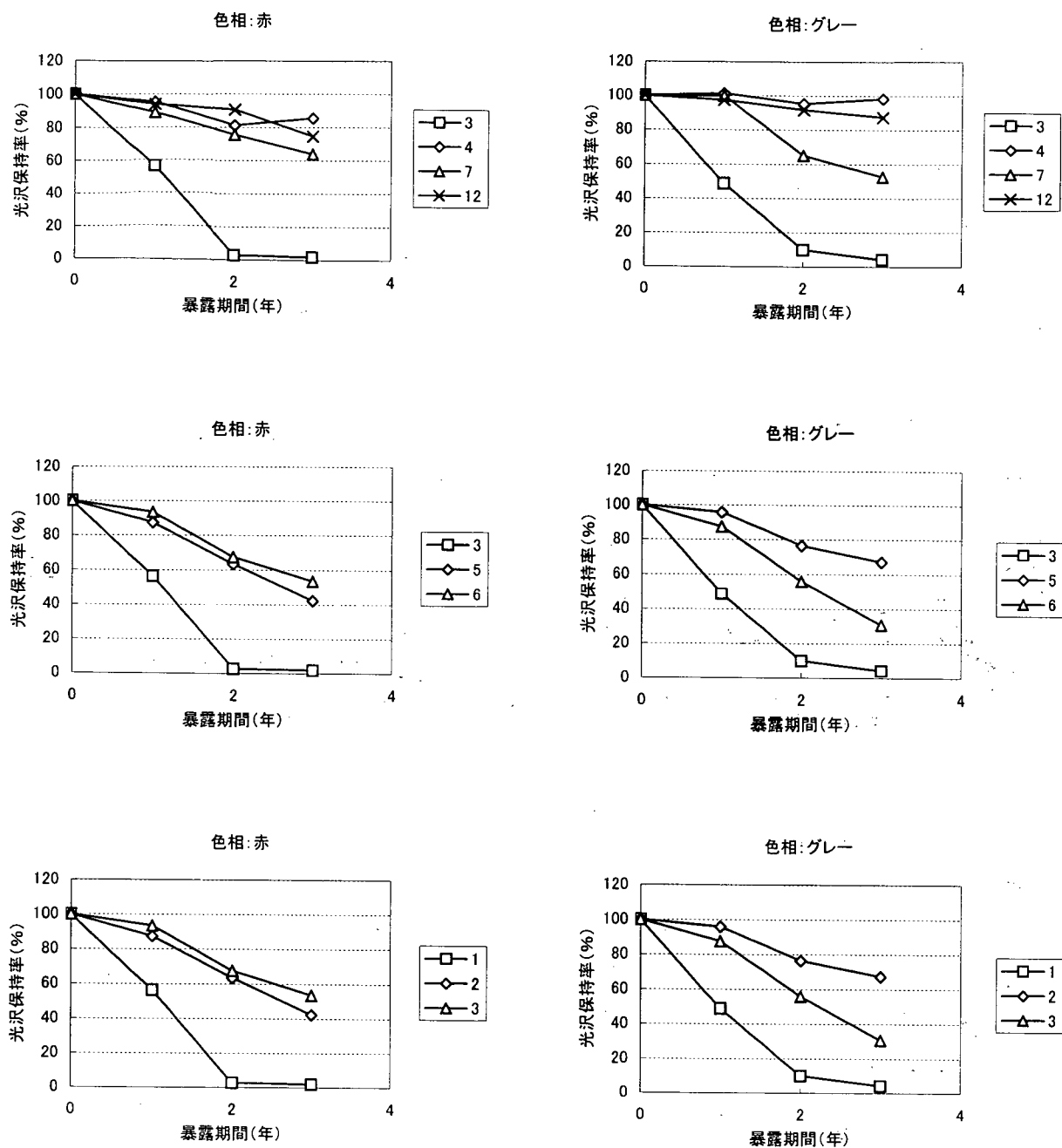


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

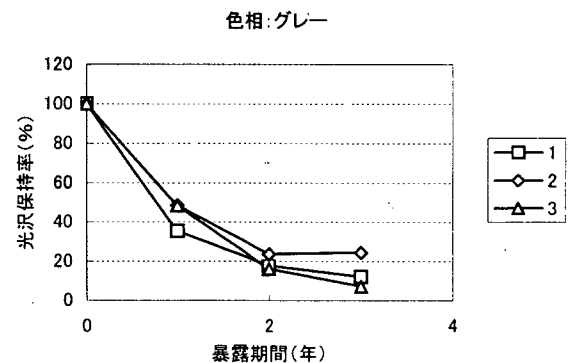
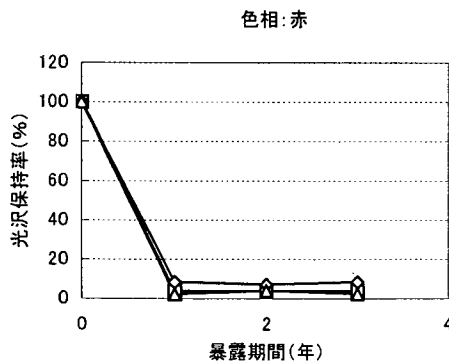
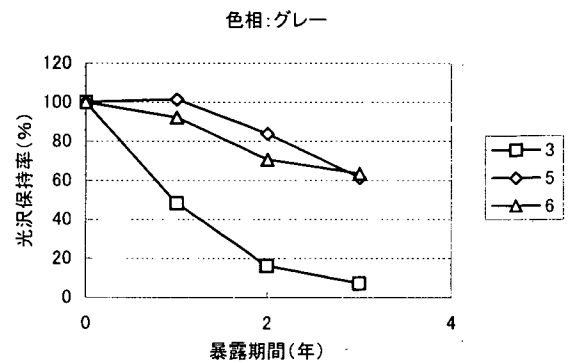
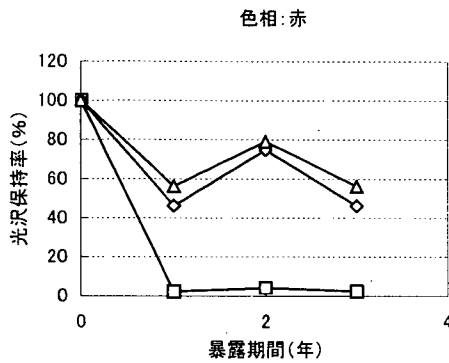
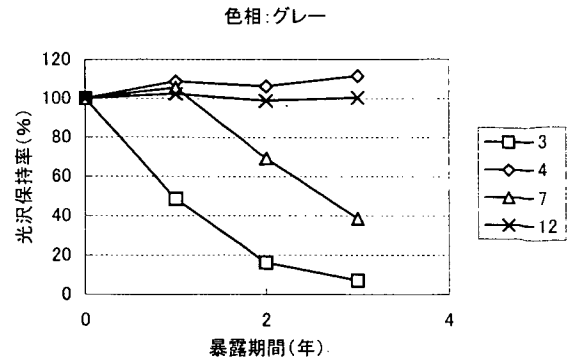
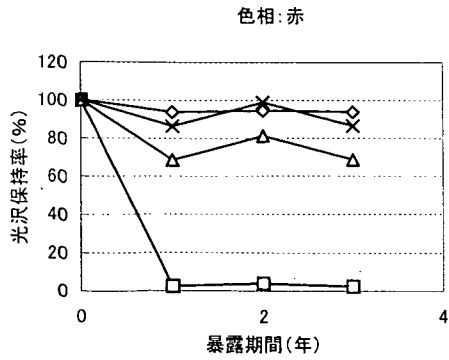
3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-68 色差(ΔE*)の経時変化 北海道:水洗(比較)



- 1: 長油性フタル酸樹脂塗料 2: 塩化ゴム系塗料 3: アクリルウレタン樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

図-3-69 光沢保持率の経時変化 フロリダ: 未水洗(ふっ素系、シリコン系、比較)

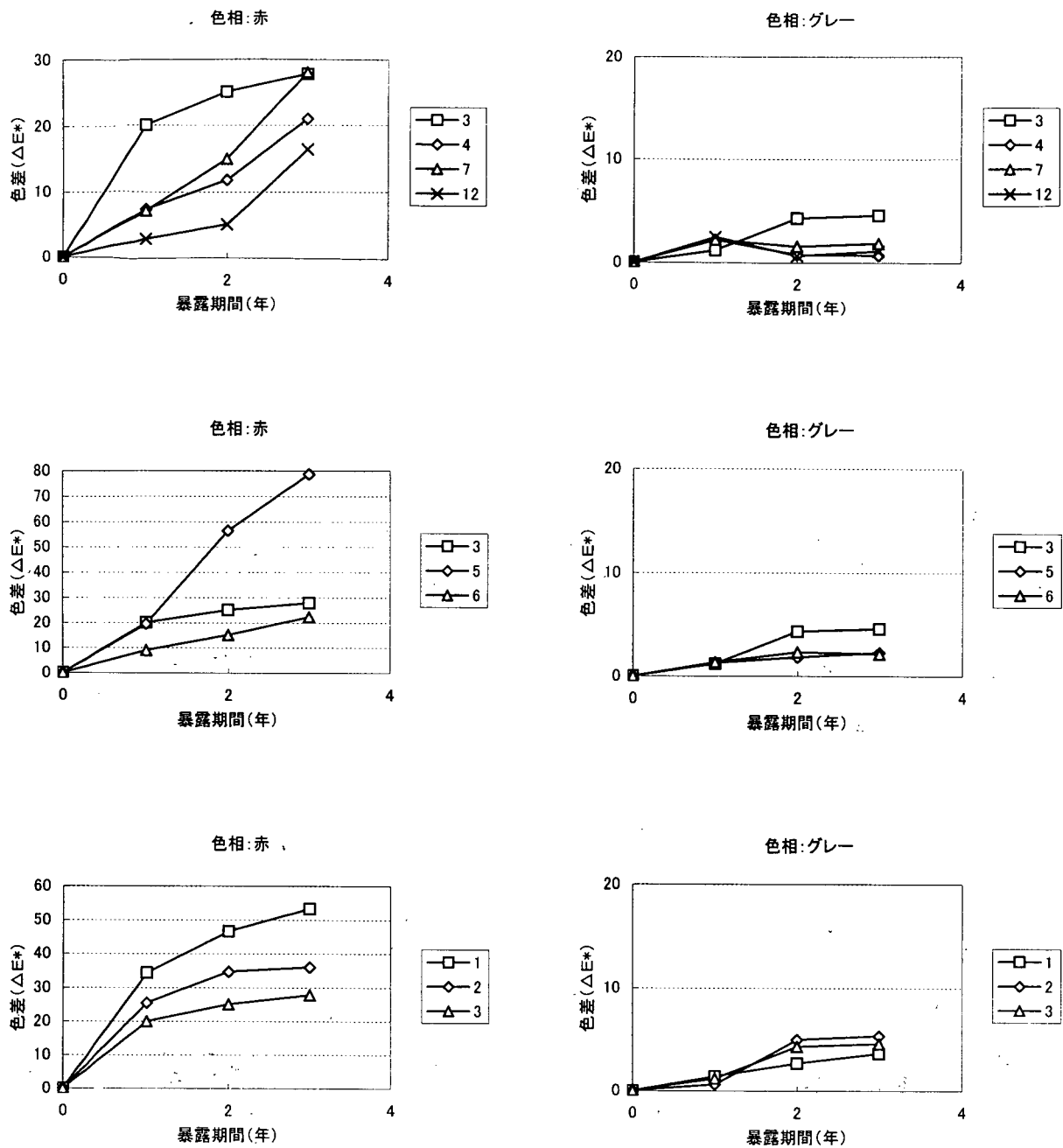


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-70 光沢保持率の経時変化 フロリダ:水洗(ふっ素系、シリコン系、比較)

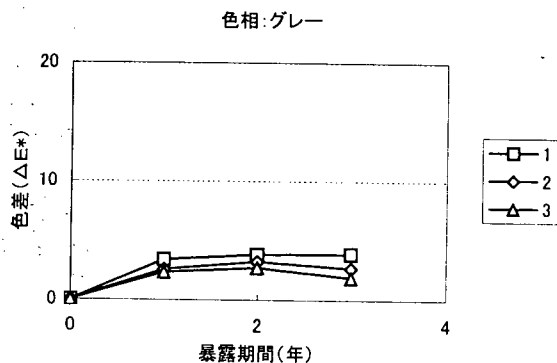
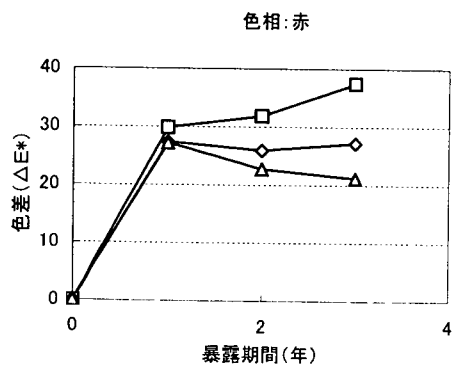
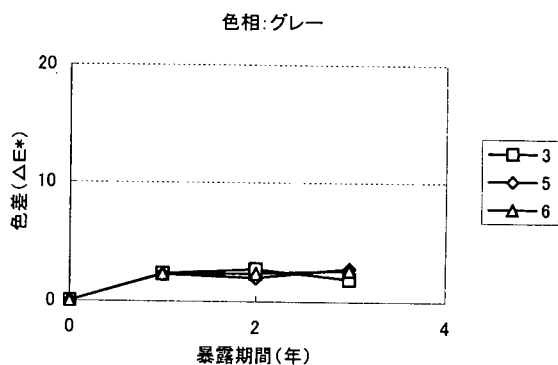
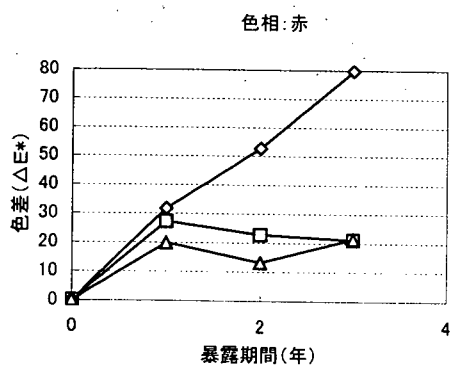
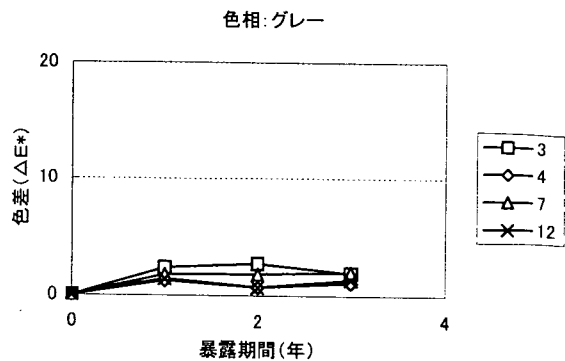
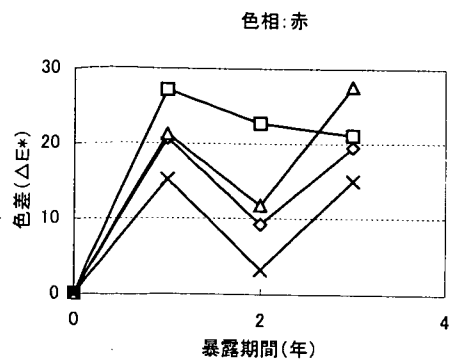


1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料
 5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

図-3-71 色差(ΔE^*)の経時変化 フロリダ: 未水洗(ふっ素系、シリコン系、比較)



1: 長油性フタル酸樹脂塗料
 4,7,8,12,13: ふっ素樹脂塗料
 9: フッ化アクリル樹脂塗料

2: 塩化ゴム系塗料

3: アクリルウレタン樹脂塗料

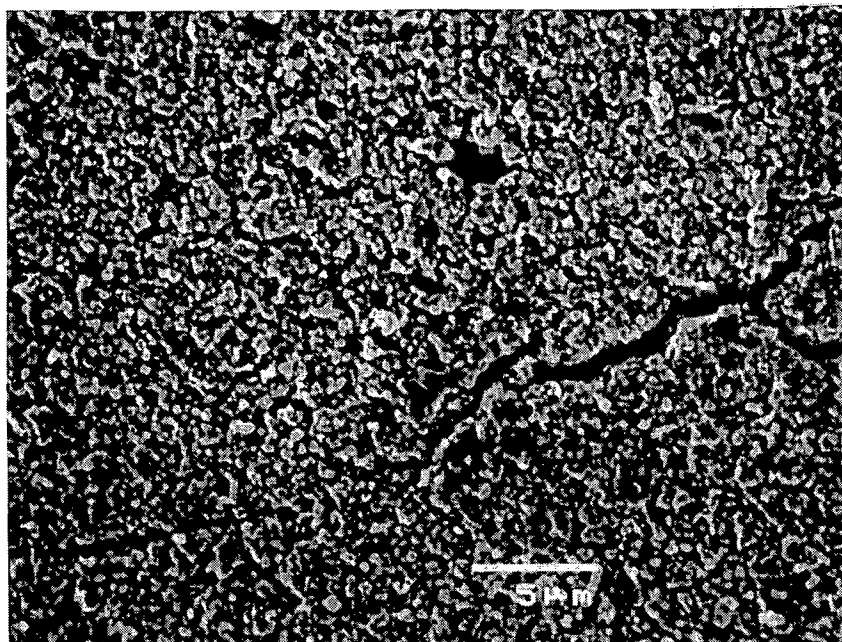
5,6,10,11: シリコン変性アクリル樹脂塗料

図-3-72 色差(ΔE^*)の経時変化 フロリダ: 水洗(ふっ素系、シリコン系、比較)

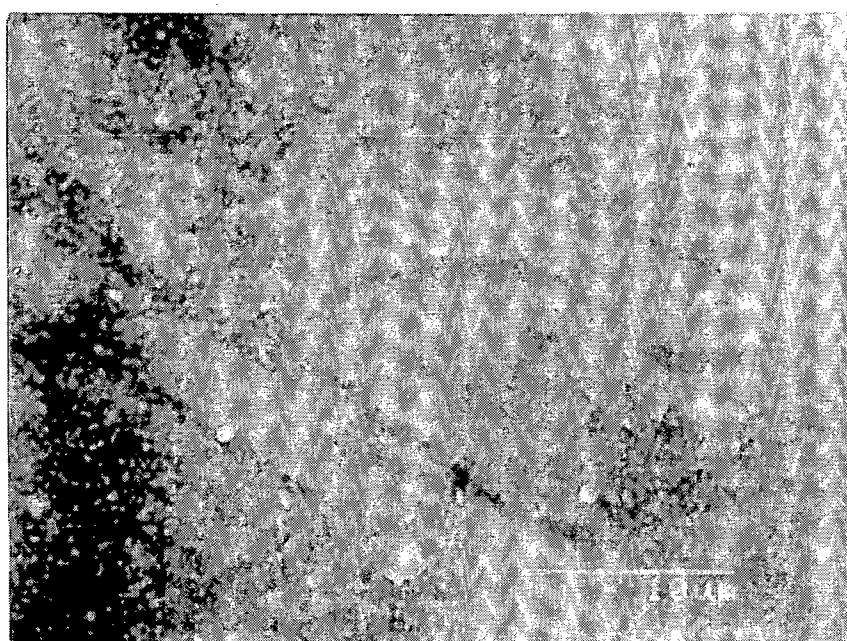
写真-3・1 電子顕微鏡による表面観察

SWM 2000H グレー

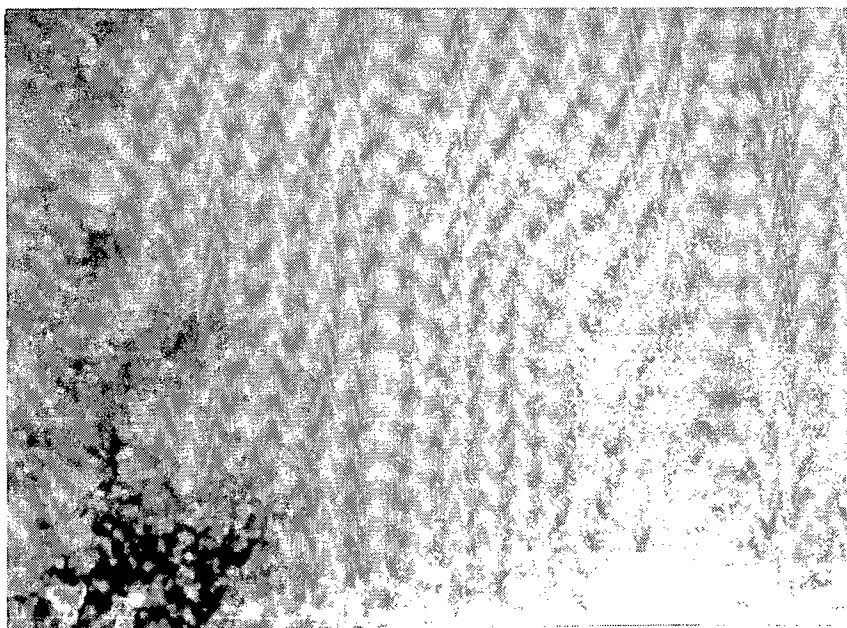
ウレタン



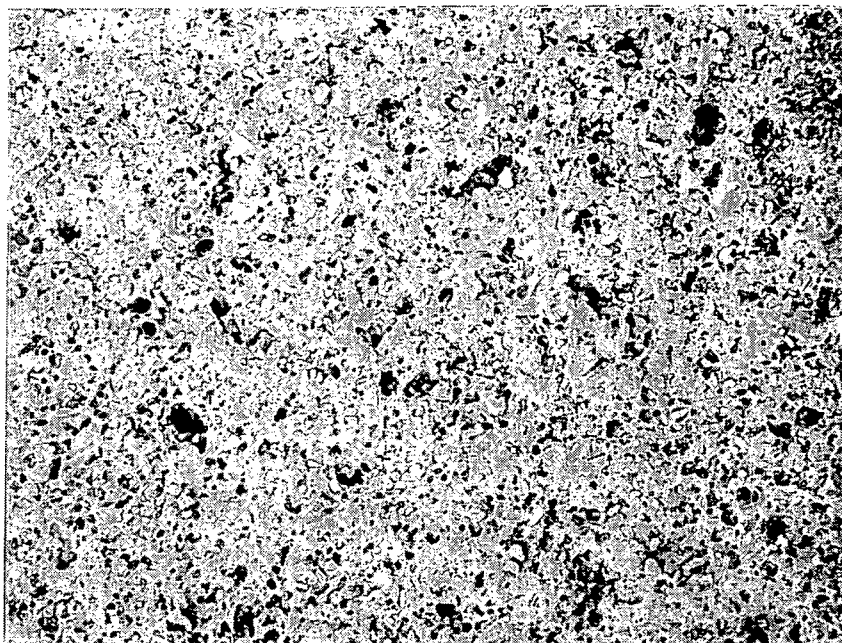
ふっ素



シリコン



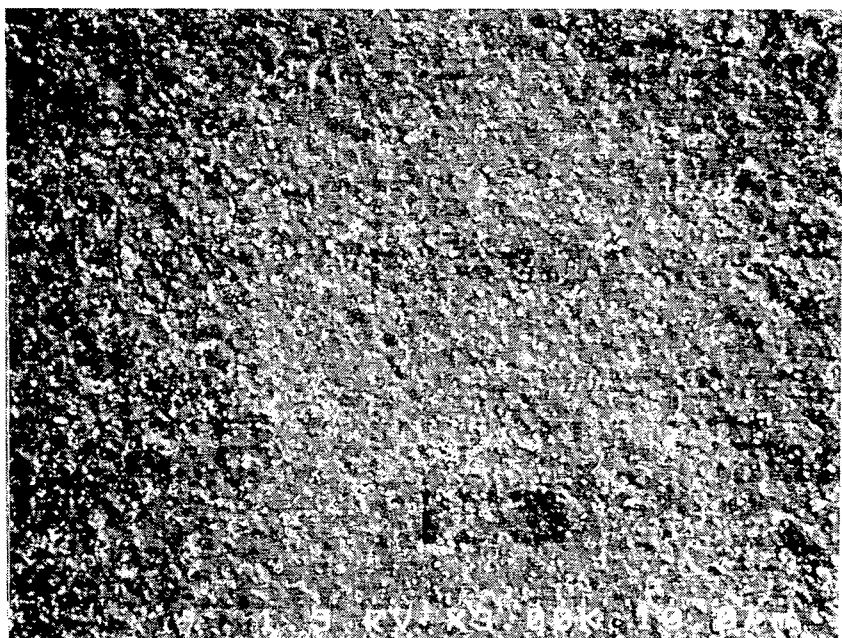
つくば5年 グレー



ウレタン



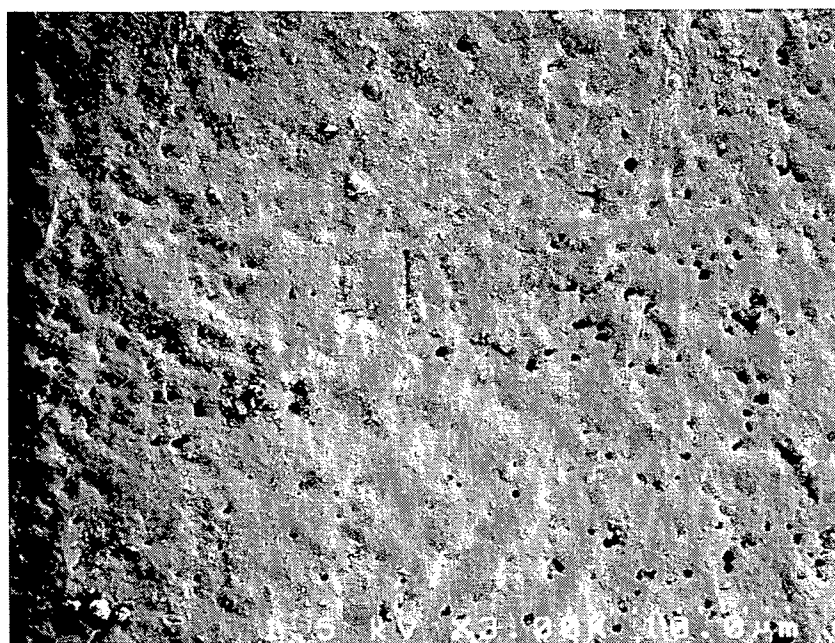
ふっ素



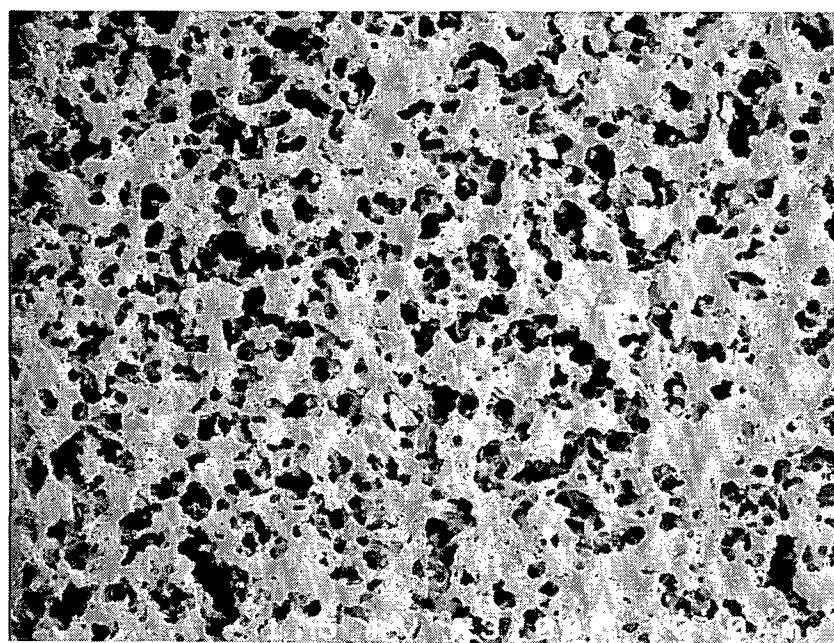
シリコン

つくば5年 赤

ふっ素



シリコン



4. 鋼材保護性能に関する研究 (WG 4)

4. 1 研究の目的

4. 1. 1 研究の経緯

近年より重防食の分野で膜厚 1mm を超えるような超厚膜形重防食塗装系が使用されるようになり、長期耐久性が期待されるが、耐久性を評価する方法が確立されておらず、そのためこのような塗装系の開発および普及の障害となっている。

本研究では、現在得られる最も防食性が優れているとされる超厚膜形下塗塗料と、最も耐候性が優れているとされる上塗塗料を組み合わせた塗装系の防食性を一般的な防食塗装系と比較評価するとともに、暴露試験と相関性が良く、促進効果の高い腐食試験方法、およびその評価法の検討を行った。本研究は平成元年度～平成4年度の研究期間で計画し、平成2年度までの研究成果を研究報告書として出している。また平成3年度までの成果から「高耐久性被覆材料の利用技術指針(案)」としてまとめ、最終的には平成4年度に「高耐久性被覆材料の利用技術指針(案)(鋼構造物編)」(土木部会資料 10-3-1)として出されている。その後も暴露試験を継続し、5年後、10年後の調査を行い、長期データが得られたことから、今般結果をとりまとめた。腐食促進試験法については第1次評価試験として塩水噴霧、湿潤、塩水浸漬、温度勾配浸漬と乾燥のサイクル試験を検討した結果、促進試験として不適当であったことから、第2次評価試験として薄膜のジンクリッチペイントとエポキシ樹脂塗料により塩水噴霧で評価し、厚膜塗膜の寿命を推定する方法を検討した。

4. 1. 2 研究の目的

高耐久性塗装系に適合した腐食促進試験法と評価試験方法を提案するとともに、高耐久性被覆材料の塗装系を選定し、既存の塗装系との比較において屋外暴露試験と腐食促進試験で評価することにより、高耐久性被覆材料の優位性を実証する。また高耐久性被覆材料のための腐食促進試験方法、評価方法を提案する。

4. 1. 3 研究計画の詳細

各年度の研究計画は以下のである。

(1) 平成元年度

塗装系、腐食促進試験方法、耐食性評価方法、屋外暴露試験方法を検討するために文献調査と現状調査を行い、個々の課題について計画を立案した。

(2) 平成2年度

平成元年度の計画に基づき試験片を作成し、暴露試験、および促進試験を開始すると同時に、新規な腐食促進試験方法、評価方法について調査した。

1) 暴露試験

暴露試験片作製 → 暴露試験開始(つくば、沖縄) → 暴露調査(3ヶ月後) → 暴露調査(7ヶ月後)

2) 腐食促進試験

試験片作製 → 第1次試験開始(4種、各2~3モードの乾湿サイクルテスト) → 第1次試験終了
→ 第2次試験立案

(3) 平成3年度

1) 暴露試験

つくば、沖縄暴露について1年後の調査、評価を行った。

2) 腐食促進試験

第1次試験のまとめ、および第2次試験を開始した。

今までの知見をもとにして高耐久性被覆材料の利用技術指針(案)をまとめた。

(4) 平成4年度

1) 暴露試験

つくば、沖縄について2年後の調査、評価を行った。

2) 腐食促進試験

第2次試験の評価、まとめを行った。

3) 素地調整として、部分ブラストの調査を行った。

前年度まとめた「高耐久性被覆材料の利用技術方針(案)」の全面見直し、修正を行った。

(5) 平成7年度

つくばおよび沖縄暴露試験片について暴露5年後の調査を行った。

(6) 平成11、12年度

つくばおよび沖縄暴露試験片について暴露9、10年後の調査を行った。

4. 2 現状調査

－腐食促進試験方法・評価方法に関する調査－

4. 2. 1 調査の目的

高耐久性被覆材料の鋼材保護性能を研究する上で、試験方法および評価方法を確立することが重要となる。これは従来の被覆材料であれば各種試験方法や評価方法があり、保護性能の評価が実施できていたが、高耐久性材料の場合は寿命が長く従来の試験方法では、長期に渡る試験期間を必要とすると考えられるためである。そこで従来から実施されている試験方法や評価方法を見直し、最近提唱されている新規な方法との比較や、被覆材料以外で採用されている方法の応用などで高耐久性材料の試験に利用できる可能性のある試験方法や評価方法の調査を実施した。

4. 2. 2 調査の概要

防食性能を短期でかつ正確に把握できることを目標に、試験方法と評価方法に分類し、①腐食促進試験方法と②腐食試験の評価方法について、それぞれ従来方法と新規性のある方法について文献調査を中心にまとめ、採用の可能性を調べた。

その結果、腐食試験方法では各種の促進試験方法を組み合わせた複合サイクル試験方法が高耐久性被覆材料の試験方法として適していると考えられ、促進条件の研究を行うこととした。評価方法としては、非破壊で塗膜下腐食を測定できる手法があり、今後は高耐久性被覆材料のような超厚膜タイプの被覆材料への適用が可能であるかの検討や、現場で実構造物の測定ができるかなどの検討が必要であると考えられる。

4. 2. 3 調査結果

(1) 腐食試験方法について

1) 従来の腐食促進試験方法

現在、塗膜の防食性能を短期で評価するために、各種の腐食促進試験が実施されており、その概要を表-4.1に示す。

表-4.1 各種腐食試験方法の概要

名称	内容
塩水噴霧試験	最も一般的な促進試験方法で、試験板の表面に常に新鮮な塩水の液膜が接触する。JIS Z 2371 に制定。
耐湿試験	JIS K 2246 の湿潤箱を用い、温度 $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 95%以上の条件で、塗膜の耐湿性を調べる。
複合サイクル腐食試験 ¹⁾	乾湿繰り返しなどの、複数での腐食環境を組み合わせた試験方法で促進性を高めたもの。
浸漬試験	海水や水、酸、アルカリ溶液に試験板を直接、浸漬し塗膜性能を調べる試験で、液温を上げて試験する場合が多いが促進性は低い。
温度勾配浸漬試験	試験板に接触する液温を表裏で高低をつけ浸漬する試験方法で促進性は高いが、液浸透によるふくれ発生のみでさびの発生は少ない。
亜硫酸ガス腐食試験	工業地帯の大気中の亜硫酸ガスによる腐食を模した促進腐食試験。JIS H 8502 に制定。

以上の中で、比較的大気暴露での腐食条件に近く、且つ促進効果が高いと考えられる試験方法として、複合サイクル腐食試験がある。現在、どの環境条件を組み合わせると最も高い促進効果と天然暴露の相関が得られるかの報告は少なく、明らかにされていないが各種の試験条件を表-4.2 示す。

表-4.2 各種複合サイクル腐食試験条件

試験法	試験条件
冷熱サイクル腐食試験	SST $\rightleftharpoons$ 冷熱サイクル (室温 $\rightarrow$ 冷凍 $\rightarrow$ 加熱加湿 $\rightarrow$ 室温)
乾湿繰り返し試験	食塩水浸漬 $\rightleftharpoons$ 大気中 (加熱、除湿) 乾燥
塩水散布大気暴露試験	食塩水を1日1回散布しながら大気暴露
自動車腐食シミュレート試験	SST $\rightarrow$ 乾燥 $\rightarrow$ 湿潤 $\rightarrow$ 結露 $\rightarrow$ 冷凍 $\rightarrow$ SST ↑

2) 新しい腐食促進試験方法

新しい腐食促進試験方法としては、過去の文献調査では、浸漬試験に電気分解を加えた報告がいくつかあった。これらの試験方法は防食塗膜であっても、比較的薄膜での試験が多く、長期防錆性を有する超厚膜塗料などの試験方法として有効かどうか、また海上大気部や飛沫帯での腐食環境の促進試験となるか等の問題で議論が分かれる所である。

また、全く新規な方法ではないが、複合サイクル試験に関する文献が多く見られた。複合の促進条件を組み合わせた試験方法は、自然暴露に近い形態で腐食が進行し、試験条件によっては、より促進性を上げられると考えられる。

引用文献

- 1) 浅野秀次郎他、製鉄研究、No304、102(1981)

(2) 塗膜の評価方法について

1) 従来の評価方法

腐食試験の評価方法として従来から目視観察により、さびの発生やふくれ等の評価を実施し塗膜寿命を判定していた。また塗膜のミクロ的な変化や、塗膜の防食機能の変化を評価する手法として、機器を用い電気的特性や物性変化を調べる方法がとられている。これらの概要を表-4.3に示す。

表-4.3 塗膜評価方法

評価方法	概 要
XMA、EPMA	電子顕微鏡にX線等のマイクロアナライザーを組み込んだ分析装置で、塗膜に浸透するClイオンやSイオンの浸透深さなどを測定する。
塗膜の透過性評価法	塗膜の遮断性機能を測定するため、O ₂ ガスや水、塩分等の腐食因子の透過度を測定する。
付着力の測定	塗膜の素地、界面に対する付着力を測定するもので、はがれやふくれの発生抑制に関与するが、さびには直接関与しない。
内部応力の測定	超厚膜塗料では塗膜の硬化乾燥に伴う収縮で残留歪みにより塗膜に割れが入る場合があり、内部応力を測定するが塗料設計に応用し、腐食評価方法には関与しない。
塗膜のインピーダンス測定 ¹⁾	電気化学的測定法として古くから実施されており交流による塗膜のインピーダンスを測定し、塗膜の劣化程度を抵抗値と容量値から推定するものであった。最近では分極抵抗法の改良法として報告がある。
腐食電位の測定	自然腐食電位の測定は腐食の電気化学測定の基本であり金属材料の腐食研究では実験室的にはほとんど例外なく実施されている。
腐食電流の測定 ²⁾	一例としてコロージョンレートメーターがあり、ポテンシヨスタットを基本として①塗膜の電気抵抗(分極抵抗)②塗装金属の自然電極電位③電位と電流の関係の3つの基本的な値を測定する。
分極抵抗の測定 ³⁾	一例としてカレントインタラプタがあり、塗膜と塗膜下金属面の時定数の差を利用して塗膜抵抗を除去し直接塗膜下金属面の分極特性を測定できる。

2) 新しい評価方法

塗膜下の鋼材の腐食状況を非破壊で測定するため、各種の新しい試みがなされており、その項目と概要を表-4.4 に示す。

表-4.4 新しい塗膜評価方法

評価方法	概 要
赤外線サーモグラフィー法 ⁴⁾	塗膜下のさび、ふくれを非破壊で測定するため鉄と塗膜欠陥の熱容量の差を利用して、赤外線により温度分布をコンピュータ処理して判定できる方法。
走査型振動電極法 ⁵⁾ (S V E T 法)	電極の近傍で微小電極を振動させ、試料面垂直方向の電位差から試料面内の電流線分布を測定し孔食や粒界腐食の分布測定に適用されている。今後塗膜欠陥の分布測定の可能性がある。
アコースティック ⁶⁾ エミッション法 (A E 法)	固体材料の破壊、変形に伴う材料から発する超音波をセンサーで検知する方法で、信号レベルが低いものの劣化の初期の情報が得られる。
光音響法 (P A 法) ⁷⁾	塗装鋼板の劣化位置及び広がり固定のため光音響分光法 (PAS) を応用して一定周波数の断続光を塗膜に照射し塗膜はく離部、ふくれの検出を非破壊でできる。
交流インピーダンス法 ⁸⁾	交流法の歴史は古くからあるが、機器の発達により数多くの研究が進んでいる。塗膜はく離の面積測定により耐食性の定量的評価ができる。
超音波減衰法 ⁹⁾	超音波顕微鏡を利用して塗膜下の腐食状態を非破壊で観察する方法。
エリプソメトリー法	偏光の固体表面における反射を利用して金属表面の極めて薄い層の腐食生成物皮膜を解析する方法で塗膜下のさび厚さを測定し、酸化膜の溶解や再生を検出できる。
ケミルミネッセンス法	有機化合物が酸化する際に弱い可視光を発生する現象 (ケミルミネッセンス) を利用して樹脂の硬化・橋かけ・劣化反応を追跡できる。
超音波顕微鏡法	測定試料に超音波を当て反射してくるエコーを電気信号に変換して画像表示するようにした方法である。塗膜下の腐食状態を非破壊で調べることができる。
超音波共振法	接着構造を持つ物体は超音波領域にその系に固有な共振曲線を有しており超音波の共振現象を応用した測定機器で非破壊で付着強さを測定する方法である。共振曲線を測定することで接着強度を定量的に評価することができる。
超音波探傷法	超音波パルスを供試体に向けて照射してその透過波・反射波を計測することで内部欠陥情報を入手する方法である。

評価方法	概 要
サーモグラフィー	物体の照射する赤外線を感知して表面温度を読み取る技術をサーモグラフィーと呼ぶ。塗膜内部に熱の流れが乱れるような状態があると膜表面の温度分布に不均一が生じ赤外線カメラで撮影することで塗膜内部の欠陥を検出できる。
電荷減衰法	誘導体の表面電荷の減衰速度は内部に欠陥のある部分とない部分では異なる原理に基づく非破壊試験方法。例えばはく離部分がある部分では電荷の減衰が遅くなっていることで欠陥として検出できる。

詳細は各文献の報告を参照されたいが、いずれも非破壊で塗膜下腐食を測定するものが多く、実験室的には実用可能の方法もある。今後は、高耐久性被覆材のような厚膜タイプの被覆材への適用が可能かどうかの検討や、現場での実構造物の測定が出来るか等の検討が必要であると考えられる。

引用文献

- 1) 岡本剛 他、工業化学雑誌、61, No. 3, 291 (1958)
佐藤靖 他、電気化学、28, 695 (1960)
- 2) 山本隆 他、色材、50, 177 (1977)
- 3) 佐藤靖 他、防食技術、28, 524 (1979)
- 4) Mary E Mcknight 他 Journal of Coatings Technology Vol. 161, No. 775 (1989)
- 5) 松本雅允 他、腐食防食、88, 69 (1988)
- 6) 杉村竹三 他、腐食防食、88, 85 (1988)
- 7) 水流徹 電気化学および工業物理化学、57, No. 3, 194 (1989)
- 8) 浅利満頼 他、腐食防食、87, 243 (1987)
- 9) 尾崎敏範 他、第 83 回腐食シンポジウム (1990)
- 10) (財) 日本塗料検査協会、塗料試験方法、No. 3 (防食試験方法), (1992)

4. 3 研究方法

4. 3. 1 暴露試験

(1) 試験内容

1) 試験の目的

既存の塗装系との比較において、新設、塗替え塗装系で高耐久性被覆材料の防食性評価を行う。

2) 試験の概要

①暴露試験実施場所

つくばおよび沖縄の建設省土木研究所暴露施設にて実施。

②供試塗装系

銅道路橋塗装便覧、本州四国連絡橋、関西国際空港、東京湾横断道路などの各種塗装規格を参考にし、さらに高耐久性を指向した塗装系として①下塗／上塗 30 塗装系、②下塗塗装系 13 塗装系の合計 43 塗装系を選定、供試した。

次に供試塗装系を示す。

表-4-5 塗装系1

塗装系No.		素地調整	下 塗				中塗	上塗	備考
			第1層	第2層	第3層	第4層			
1-A	新 設 塗 装 系	サンド ブラスト	OZRP 20 μ m	SHBエポ 2500 μ m			—	—	下塗が各社の超厚膜形 エポキシ (A、Bは塗料 メーカー)
1A-B			OZRP A 20 μ m	SHBエポ A 2500 μ m			ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
1B-B			OZRP B 20 μ m	SHBエポ B 2500 μ m			ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
1C-B			OZRP A 20 μ m	SHBエポ B 2500 μ m			ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
1-C			OZRP 20 μ m	SHBエポ 2500 μ m			シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
2-A			OZRP 20 μ m	SHBエポ 1000 μ m			—	—	下塗が超厚膜形エポキシ 1000 μ mで上塗の相違
2-B			OZRP 20 μ m	SHBエポ 1000 μ m			ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
2-C			OZRP 20 μ m	SHBエポ 1000 μ m			シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
3-A			HIZRP 75 μ m	GF用Pr	厚膜EpGF 500 μ m	厚膜EpGF 500 μ m	—	—	下塗がエポキシガラスフ レークで上塗の相違
3-B			HIZRP 75 μ m	GF用Pr	厚膜EpGF 500 μ m	厚膜EpGF 500 μ m	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
3-C			HIZRP 75 μ m	GF用Pr	厚膜EpGF 500 μ m	厚膜EpGF 500 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	

- 注) 1. OZRP : 有機ジンクリッチペイント
 2. HIZRP : 厚膜形無機ジンクリッチペイント
 3. SHBエポ : 超厚膜形エポキシ樹脂塗料
 4. GF用Pr : ガラスフレーク用プライマー
 5. 厚膜EpGF : 厚膜エポキシガラスフレーク塗料

表-4・6 塗装系2

塗装系No.		素地調整	下 塗				中塗	上塗	備考
			第1層	第2層	第3層	第4層			
4-A	新 設 塗 装 系	サンド ブラスト	HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 100 μ m	厚膜Ep 100 μ m	—	—	下塗が厚膜Ep200 μ mで 上塗の相違
4-B			HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 100 μ m	厚膜Ep 100 μ m	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
4-C			HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 100 μ m	厚膜Ep 100 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
5-A			HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 60 μ m	厚膜Ep 60 μ m	—	—	下塗が厚膜Ep120 μ mで 上塗の相違
5-B			HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 60 μ m	厚膜Ep 60 μ m	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
5-C			HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 60 μ m	厚膜Ep 60 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
5-D			HIZRP 75 μ m	ミストコート	厚膜Ep 60 μ m	厚膜Ep 60 μ m	ポリウレタン樹脂塗料 用中塗 30 μ m	ポリウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	
6-A			IZRP 20 μ m	ミストコート	厚膜Ep 40 μ m	厚膜Ep 40 μ m	—	—	下塗が厚膜Ep80 μ mで 上塗の相違
6-B			IZRP 20 μ m	ミストコート	厚膜Ep 40 μ m	厚膜Ep 40 μ m	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	
6-C			IZRP 20 μ m	ミストコート	厚膜Ep 40 μ m	厚膜Ep 40 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
6-D			IZRP 20 μ m	ミストコート	厚膜Ep 40 μ m	厚膜Ep 40 μ m	ポリウレタン樹脂塗料 用中塗 30 μ m	ポリウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	
6-E			IZRP 20 μ m	ミストコート	厚膜Ep 40 μ m	厚膜Ep 40 μ m	塩化ゴム系塗料中塗 35 μ m	塩化ゴム系塗料上塗 30 μ m	

注) 1. HIZRP：厚膜形無機ジンクリッチペイント 4. GF用Pr：ガラスフレーク用プライマー
 2. 厚膜Ep：厚膜エポキシ樹脂塗料
 3. IZRP：無機ジンクリッチペイント

表-4・7 塗装系3

塗装系No.		素地調整	下 塗				中 塗	上 塗	備考
			第1層	第2層	第3層	第4層			
7-A	新 設 塗 装 系	サンド ブラスト	長ばく形エッチング プライマー 15 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m	フェノールM10 45 μ m	—	—	下塗は鉛系さび止め ペイント 1種で上塗の相違
7-E			長ばく形エッチング プライマー 15 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m	フェノールM10 45 μ m	塩化ゴム系塗料中塗 35 μ m	塩化ゴム系塗料上塗 30 μ m	
8-A			長ばく形エッチング プライマー 15 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m		—	—	
8-F			長ばく形エッチング プライマー 15 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m	鉛系さび止めペイ ント1種 35 μ m		長油性フタル酸樹脂 塗料中塗 30 μ m	長油性フタル酸樹脂 塗料上塗 25 μ m	

注) 1. フェノールM10：フェノール樹脂M10塗料

表-4・8 塗装系4

塗装系No.		素地調整	下 塗				中塗	上塗	備考
			第1層	第2層	第3層	第4層			
9-A	塗 替 え 塗 装 系 ／ さ び 面	ディ スク サン ダー (2種 ケ レン)	変性Ep-Pr 30 μ m	SHBエポ 500 μ m	SHBエポ 500 μ m		—	—	下塗が各社の超厚膜形エ ポキシ (A、B、Cは塗料 メーカー)
9A-B			変性Ep-Pr A 30 μ m	SHBエポ A 500 μ m	SHBエポ A 500 μ m		ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料用上塗 30 μ m	
9B-B			変性Ep-Pr B 30 μ m	SHBエポ B 500 μ m	SHBエポ B 500 μ m		ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料用上塗 30 μ m	
9C-B			変性Ep-Pr C 30 μ m	SHBエポ C 500 μ m	SHBエポ C 500 μ m		ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料用上塗 30 μ m	
9-C			変性Ep-Pr 30 μ m	SHBエポ 500 μ m	SHBエポ 500 μ m		シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
10-A			変性Ep-Pr 30 μ m	SHBエポ 500 μ m			—	—	下塗はSHBエポ500 μ mで 上塗の相違
10-B			変性Ep-Pr 30 μ m	SHBエポ 500 μ m			ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料用上塗C	
10-C			変性Ep-Pr 30 μ m	SHBエポ 500 μ m			シリコン変性アクリル 樹脂塗料用中塗 30 μ m	シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	
10-D			変性Ep-Pr 30 μ m	SHBエポ 500 μ m			ポリウレタン樹脂塗料 用中塗 30 μ m	ポリウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	

注) 1. 変性Ep-Pr: 変性エポキシ樹脂プライマー
 2. SHBエポ: 超厚膜形エポキシ樹脂塗料

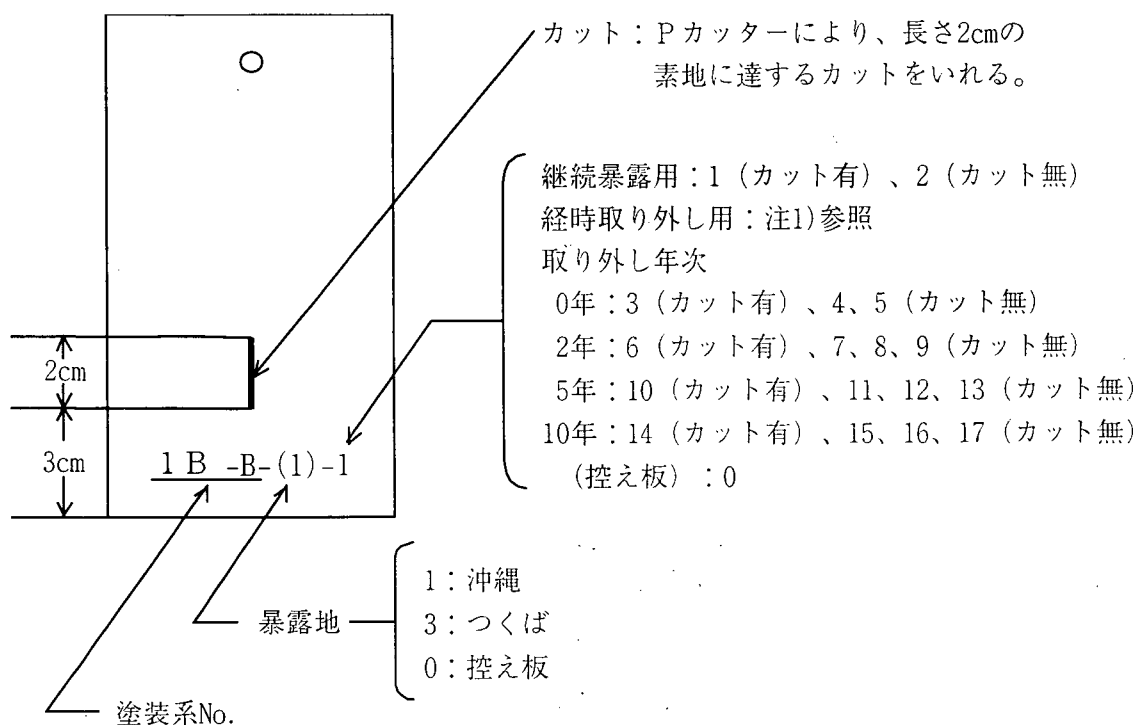
表-4・9 塗装系5

塗装系No.		素地調整	下 塗				中 塗	上 塗	備考
			第1層	第2層	第3層	第4層			
12-A	塗 替 え 塗 装 系 ／ さ び 面	ディスク サンダー (2種ケ レン)	変性Ep-Pr 60 μ m	変性Ep-Pr 60 μ m			—	—	下塗は変性エポキシ樹脂 プライマーで上塗の相違
12-D			変性Ep-Pr 60 μ m	変性Ep-Pr 60 μ m			ポリウレタン樹脂塗料 用中塗 30 μ m	ポリウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	
12-E			変性Ep-Pr 60 μ m	変性Ep-Pr 60 μ m			塩化ゴム系塗料中塗 35 μ m	塩化ゴム系塗料上塗 30 μ m	
13-A			鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m	鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m	フェノールM10 45 μ m		—	—	下塗は鉛系さび止めペ イントで上塗の相違
13-E			鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m	鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m	フェノールM10 45 μ m		塩化ゴム系塗料中塗 35 μ m	塩化ゴム系塗料上塗 30 μ m	
14-A			鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m	鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m			—	—	
14-F			鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m	鉛系さび止めペ イント1種 35 μ m			長油性フタル酸樹脂 塗料中塗 30 μ m	長油性フタル酸樹脂 塗料上塗 25 μ m	

注) 1. 変性Ep-Pr：変性エポキシ樹脂プライマー
2. フェノールM10：フェノール樹脂M10塗料

③試験片

イ) 試験片の記号



注1) No. 3、6、10、14はコロージョンレートメーター測定用

No. 7、11、15は塗膜下素地観察用

No. 4、8、12、16は付着性試験用

No. 5、9、13、17はカレントインタラプター、インピーダンス測定用

ロ) 試験片

a) SS400 サンドブラスト鋼板（ISO-Sa3）

b) さび鋼板：同上のサンドブラスト鋼板を水平状態で、暴露開始時および1週間毎に5%食塩水を散布し、3週間屋外暴露試験してさびを発生させ、ワイヤーホイールでISO-St3程度（巻末の写真-4・2参照）に調整して使用した。

④評価項目及び試験方法

イ) 継続評価試験片：外観観察（ASTM評価基準に準じてさび、ふくれ、白亜化を評価。ふくれに関しては以下に示す方法で10点評価に換算し、定量評価し易くした。）

ロ) 回収評価試験片：外観観察、膜厚、光沢、写真撮影、塗膜下素地の観察、付着強度、電気化学的測定（カレントインタラプタ法、インピーダンス、コロージョンレートメーター法）

ハ) 試験方法

a) ～ e) に評価試験方法を示す。

a) 光沢

光沢の測定は JIS-K-5400-1990 7.6 によった。

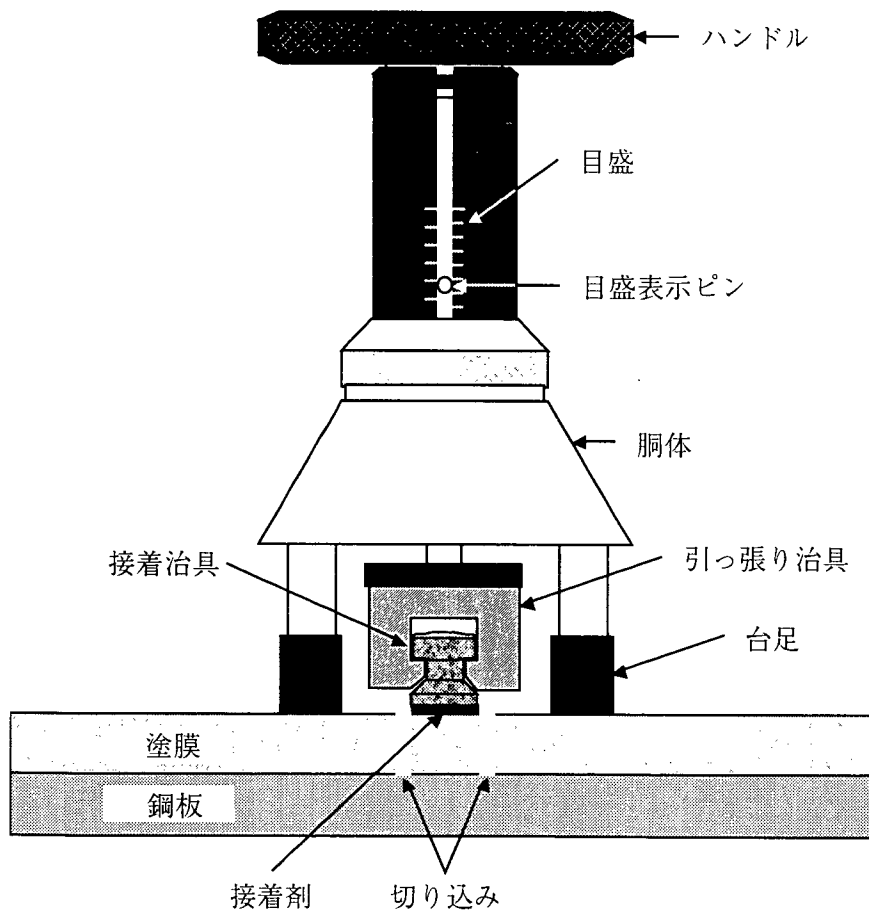
b) 付着性

<1> 試験器具

- ①アドヒージョンテスター
- ②接着剤（2 液形エポキシ）
- ③サンドペーパー（＃240 程度）

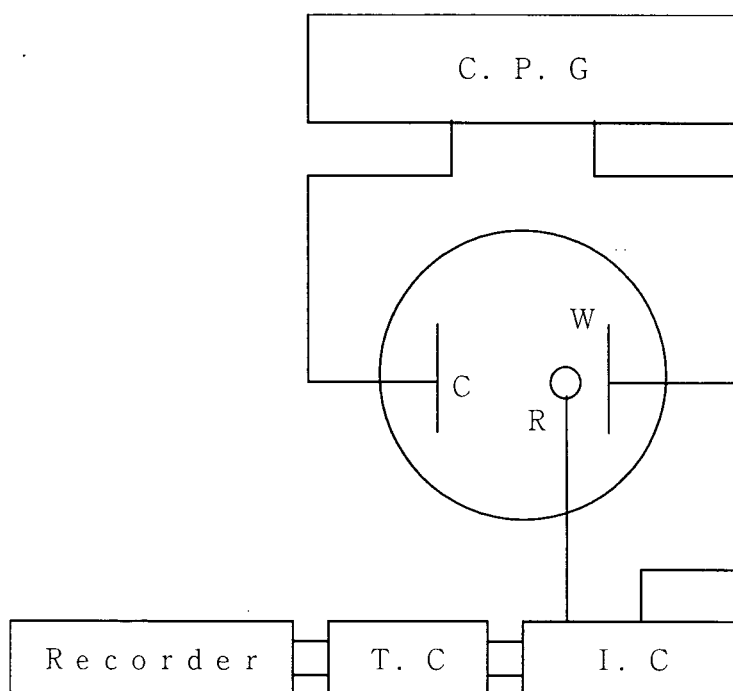
<2> 測定方法

- ①測定位置をサンドペーパーで研磨して清浄にする。
- ②接着剤を用いて接着治具を貼り付ける。
- ③アドヒージョンテスターで接着治具を引っ張り、治具がはずれた時の数値を読み、同時にはく離の状態も記録する。



c) カレントインタラプタ法

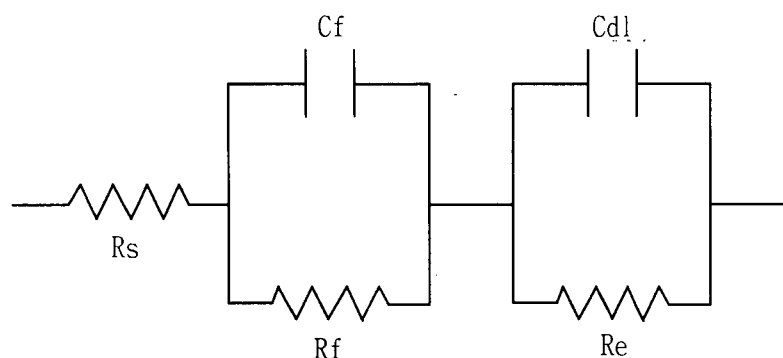
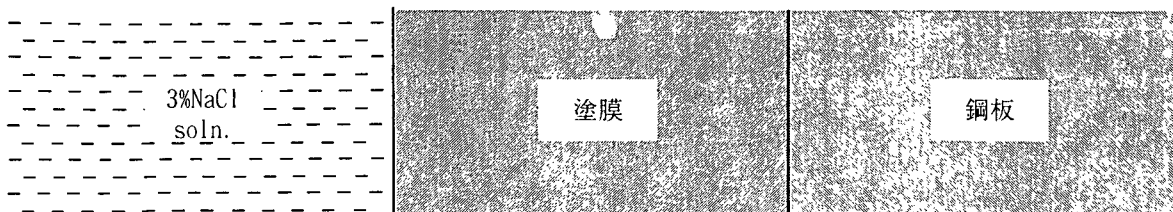
<1> カレントインタラプタ法の測定原理



測定回路図

上図のような測定回路を構成し、塗装銅板 (W) と対極 (C) の間に微小定電流を印加する。その時の電位応答をインピーダンス変換器 (I. C) を介してトランジェントコンバーター (T. C) にサンプリングし、レコーダーに記録する。

この時、塗膜および塗膜下銅板素地の分極現象が併せて観測されるが、この2つの分極は時定数が大きく異なるため (塗膜は通常 10^{-3}sec 、銅板素地は数 sec 程度である)、分離可能である。



測定系の等価回路

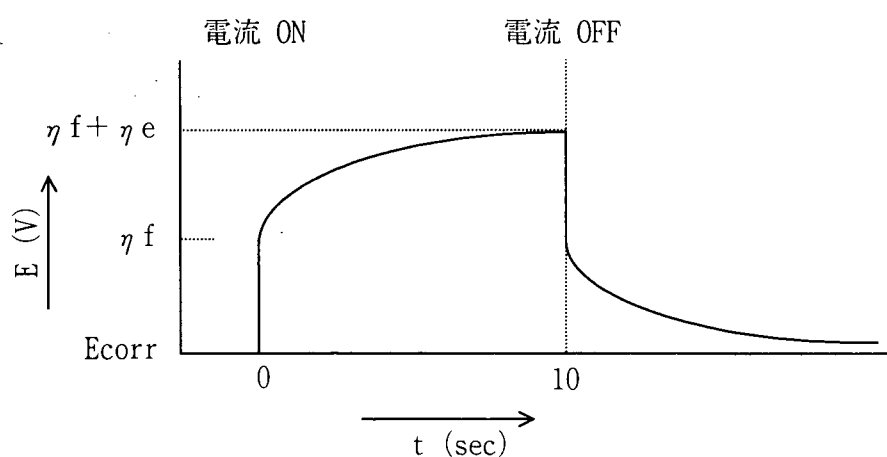
塗膜にピンホール等の欠陥がないものと考え、食塩水に浸漬した塗装鋼板の等価回路は上図のようになる。 R_s (溶液抵抗) は小さいので、通常無視できる。

いま上図の等価回路に定電流 i を流すと、 η_e が小さいとき ($<10\text{mV}$)

$$E = \eta_f + \eta_e$$

$$= iR_f + iR_e \{1 - \exp(-t/\tau)\}$$

に従って塗装鋼板の電位は変化する。



カレントインタラプタ法の測定例

カレントインタラプタ法による測定例を示すと、上図のようである。ここでは塗膜下腐食の評価に分極抵抗 (R_e) を用いる。

$$R_e = \frac{\eta_e}{i}$$

i : 印加電流

〈2〉 測定方法

内径 34mmφ、高さ 40mm のプラスチック製の円筒を塗膜上面に装着し、内部に 3wt% の食塩水を満たし測定セルとし、室温（約 20℃）で 7 日間静置する。しかる後、セル内に Ag・AgCl 照合電極、対極（グラファイト）をセットし、北斗電工(株)製 CURRENT PULSE GENERATOR HC-110/理研電子製 XY レコーダー F-42 を用いて測定を行った。

d) インピーダンス

〈1〉 測定原理

交流ブリッジ法により 0.2~1KHz における塗膜の交流抵抗を測定し、評価は 1KHz における抵抗値で行う。

〈2〉 測定方法

c) と同じセルを用い、7 日間室温で静置後、グラファイトの対極をセル内にセットし、対極と素地鋼板の間のインピーダンスを測定する。測定は HEWLETT PACKARD 製 4274A MULTI-FREQUENCY LCR METER/HP-85 を用いる。

e) コロージョンレートメーター法

〈1〉 測定原理

ポテンションスタットを基本とし、塗膜の電気抵抗、分極抵抗、塗装金属の自然電位、分極曲線を測定するものである。

〈2〉 測定方法

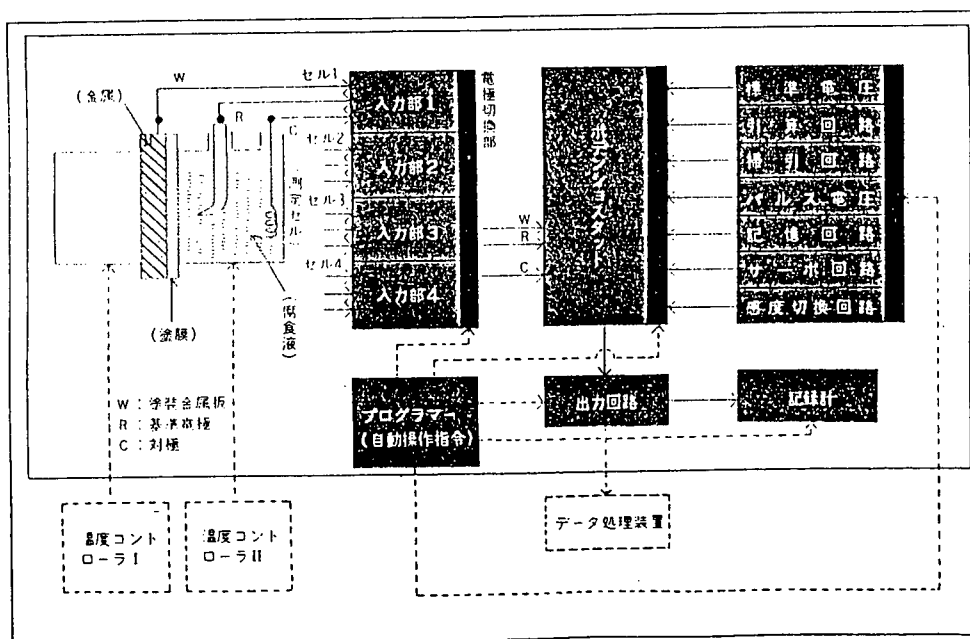
塗膜に長さ 20mm の素地に達するカットを入れた部分で測定する。同時に傷のない箇所についても測定し、参考データとする。

(測定条件) 浸漬液: 3wt% 食塩水

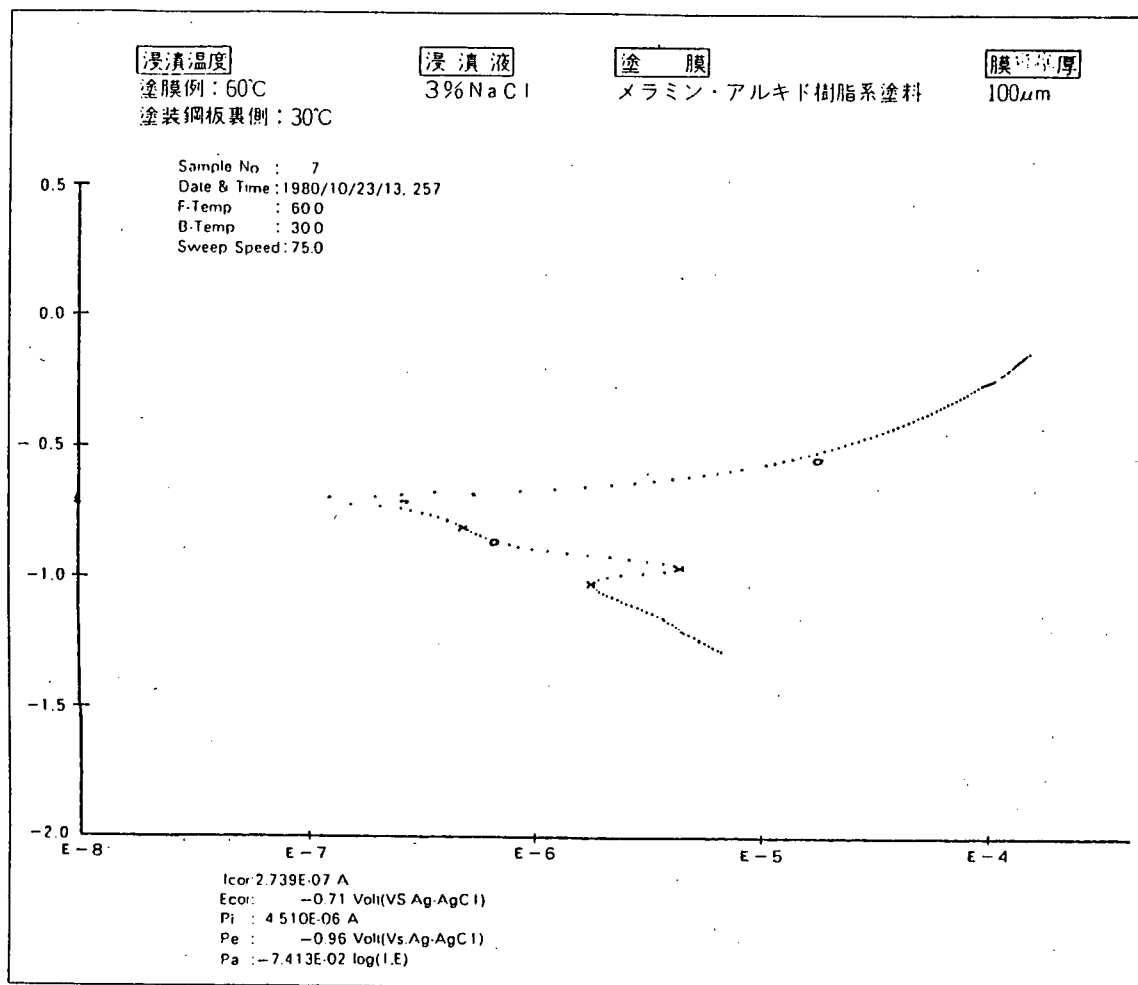
浸漬温度: 30℃ (塗膜側、塗装鋼板裏面)

浸漬時間: 80 時間

〈3〉 コロージョンレートメーターの装置



<4> コロージョンレートメーターによる塗装鋼板の分極曲線解析例



⑤塗膜外観評価基準

イ) ふくれ

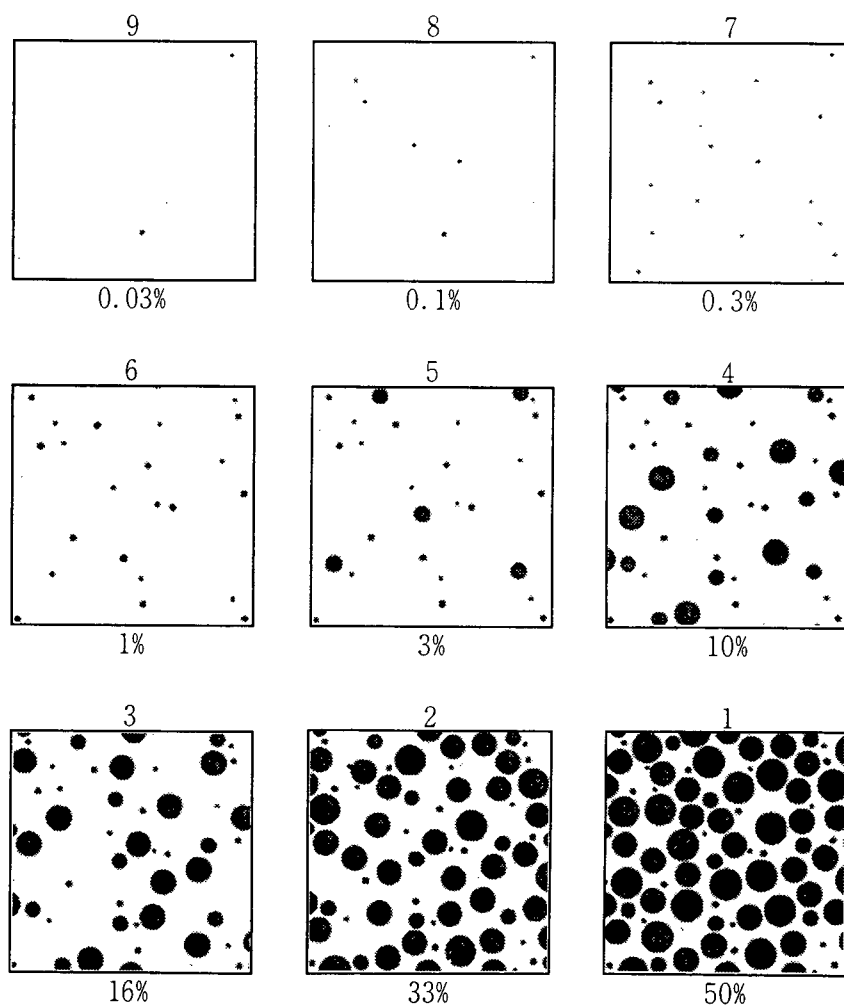
ASTM D-714-56 を基準とするふくれの寸法、密度より下記の表により 10 点評価に換算。

(ふくれのないもの：10 点)

寸法 密度	8	6	4	2
F	8 点	6 点	4 点	2 点
M	6 点	4 点	3 点	2 点
MD	4 点	3 点	2 点	1 点
D	2 点	2 点	1 点	0 点

ロ) さび

ASTM D-610-68 を基準として評価。(さびのないもの：10 点)



(参考：実際より面積が縮小されている)

ハ) カット部評価基準

カット部からのふくれ、さび、 はく離幅 (mm)	評価点
50-45	0
44-40	1
39-35	2
34-30	3
29-25	4
24-20	5
19-15	6
14-10	7
9-5	8
4-1	9
0	10

(ただし全面さびあるいは全面ふくれの場合は0とする)

ニ) 白亜化

ASTM D4214-89 に準じて評価

10 (白亜化なし) ~0 (白亜化著しい) のレーティング No. で Test Method D 659 の写真と比較して
評価

(2) 試験結果

1) 暴露環境

暴露環境の厳しさを調べるために、暴露試験を行った架台でSS400 サンドブラスト鋼板を暴露し、腐食減量を測定した。

試験期間はH3年7月～H4年7月の1年間である。試験方法はISOのDP8407 Metal and alloys-procedures of corrosion products from corrosion test specimens によった。

表-4・10に腐食減量測定結果を示す。つくばでは $13\mu\text{m}/\text{Y}$ の腐食減量であるのに対し、沖縄では $246\mu\text{m}/\text{Y}$ と非常に厳しい腐食環境であることが分かる。

表-4・10 腐食減量測定結果

サンプル	初期値	洗浄1回	洗浄2回	洗浄3回	腐食速度 (μm)	
						平均
つくば1	457.1	452.13	450.74	449.97	3.59	13
	100	98.9	98.6	98.4		
つくば2	459.85	455.13	453.12	452.5	23.4	
	100	99	98.5	98.4		
沖縄1	460.74	419.63	378.45	376.07	269	246
	100	91.1	82.1	81.6		
沖縄2	460.39	416.92	393.49	389.85	224	
	100	90.6	85.5	84.7		

$$\text{腐食速度 } (\mu\text{m}/\text{Y}) = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot t} \cdot 10$$

Δm : 腐食面積 (mg)

A: 表面積 (cm^2)

t: 暴露期間 (年)

ρ : 密度 $7.86\text{g}/\text{cm}^3$

2) 塗膜外観による防食性の評価

塗替え塗装系の暴露試験に使用するさび鋼板は次のようにして作製した。

SS400 ブラスト処理鋼板を5%食塩水散布により腐食させた後、2種ケレン（ワイヤーホイール使用）したもので、条件を厳しくし結果を早く出すためにケレンの程度を軽くし、全面にさび層を残した。ケレン後の塩分量を測定したところ、 $250\text{mg}/\text{m}^2$ であり、さびの中に含まれる塩分も含めるとかなりの塩分量を含むものとなった。

図-4・1～図-4・4につくばおよび沖縄暴露10年後までの塗膜外観評価結果を示す。新設塗装系のつくば暴露では油性系～長油性フタル酸上塗塗装系で5年後にさびの発生が認められたが、上塗に全面クラックが発生し、その部分にさびが発生しており、試験片作製上何らかの問題があったと思われる。それ以外の塗装系では10年暴露後も全く異状は認められず良好な防食性を示している。同じく新設塗

装系の沖縄暴露でも同様の傾向であるが、油性系下塗のみの系 (No. 8-A) で5年後からさびが発生し、環境条件の差が現れている。

さび面の塗替塗装系では、超厚膜形エポキシ $500\mu\text{m} \times 2$ ～ふっ素上塗の塗装系 (No. 9B-B、9C-B) は、つくば、沖縄暴露ともに10年後良好であったが、No. 9A-Bは両暴露地ともふくれが発生した。No. 9A-B、9B-B、9C-Bは下塗の超厚膜形エポキシのメーカーが異なるものであるが、素地面との親和性の違いが現れたものと考えられる。No. 10系 (超厚膜形エポキシ $500\mu\text{m}$ ～各種上塗系) も両暴露地においてふくれが発生したものと発生しないものがあった。また比較として入れた鋼道路橋塗装便覧のC-1塗装系に準じたNo. 12-Dは両暴露地において早期にふくれが発生したが、これは旧塗膜のないところは $60\mu\text{m} \times 3$ とすべき所を $60\mu\text{m} \times 2$ としたことと塩分が多量に含まれるさびの上に塗装したことによる。以上のデータを総合して考察すると、このような塩分を含む厳しい素地条件および暴露条件でも基本的には超厚膜形エポキシ $500\mu\text{m}$ ～ふっ素/ポリウレタン上塗で防食できることが期待される。油性系では両暴露地において1年で劣化が著しかった。

図-4・5 および図-4・6 に塗膜損傷部からの侵食を調べるためカットを入れて暴露した試験片のカット部からの侵食の程度を示す。全く侵食の認められないものを10点、カット部から塗膜全体に侵食が広がったものを0点としてレーティングNo. で評価した。図-4・6 から、新設塗装系でも $2500\mu\text{m}$ (No. 1系)、 $1000\mu\text{m}$ (No. 2系) の塗装系は特に沖縄のような厳しい環境ではカットからの侵食が起りやすいことが分かった。これは塗膜の硬化時における残留応力の影響が大きいと考えられる。ただしつくばでは問題なかった。またこれより膜厚が薄い場合は問題なかった。

塗替塗装系では沖縄、つくば両暴露地でカットからの侵食が認められ、これは膜厚によらない。塩分を含むさび層の影響と考えられる。

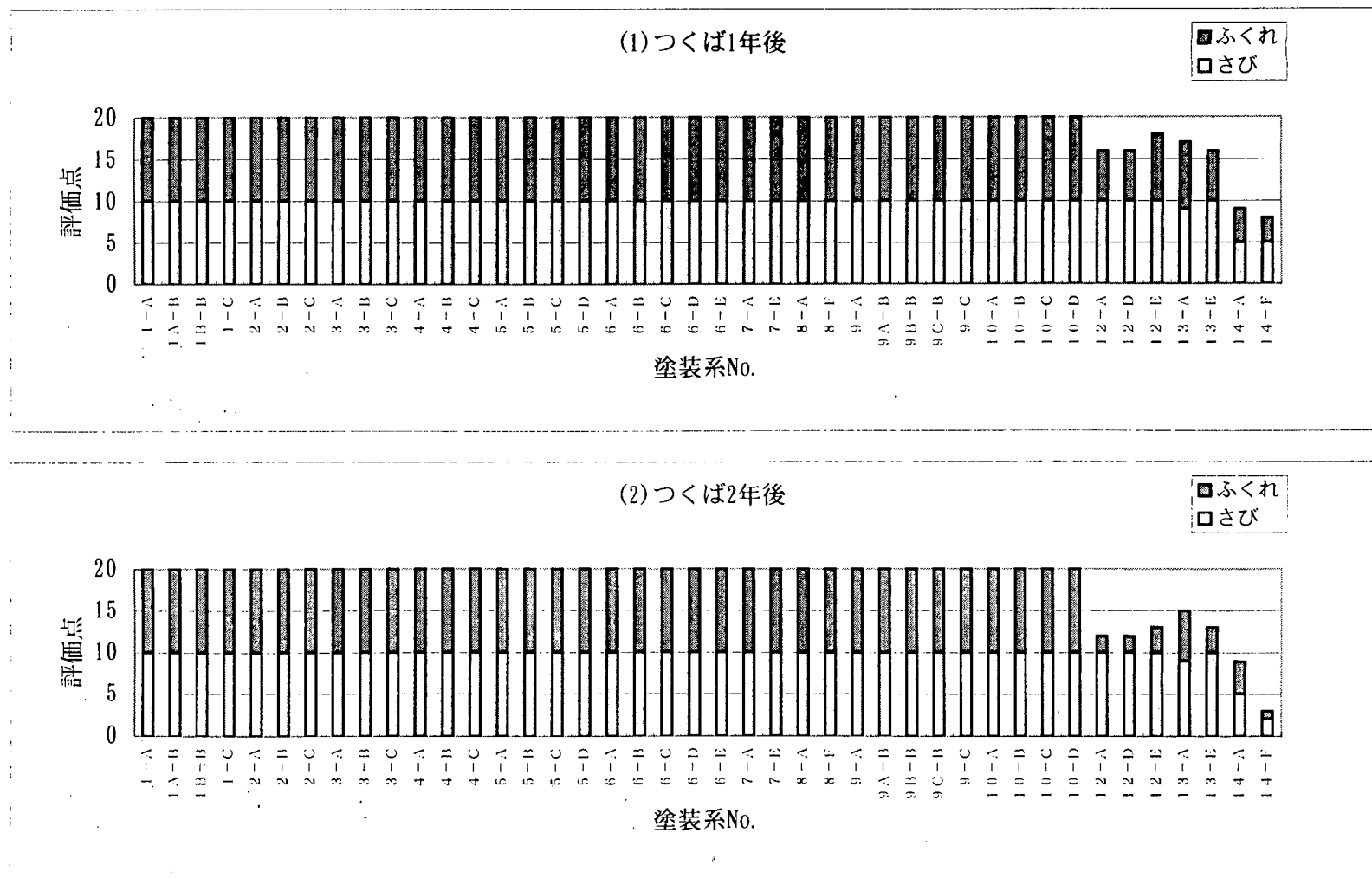


図-4・1 暴露試験後の塗膜外観

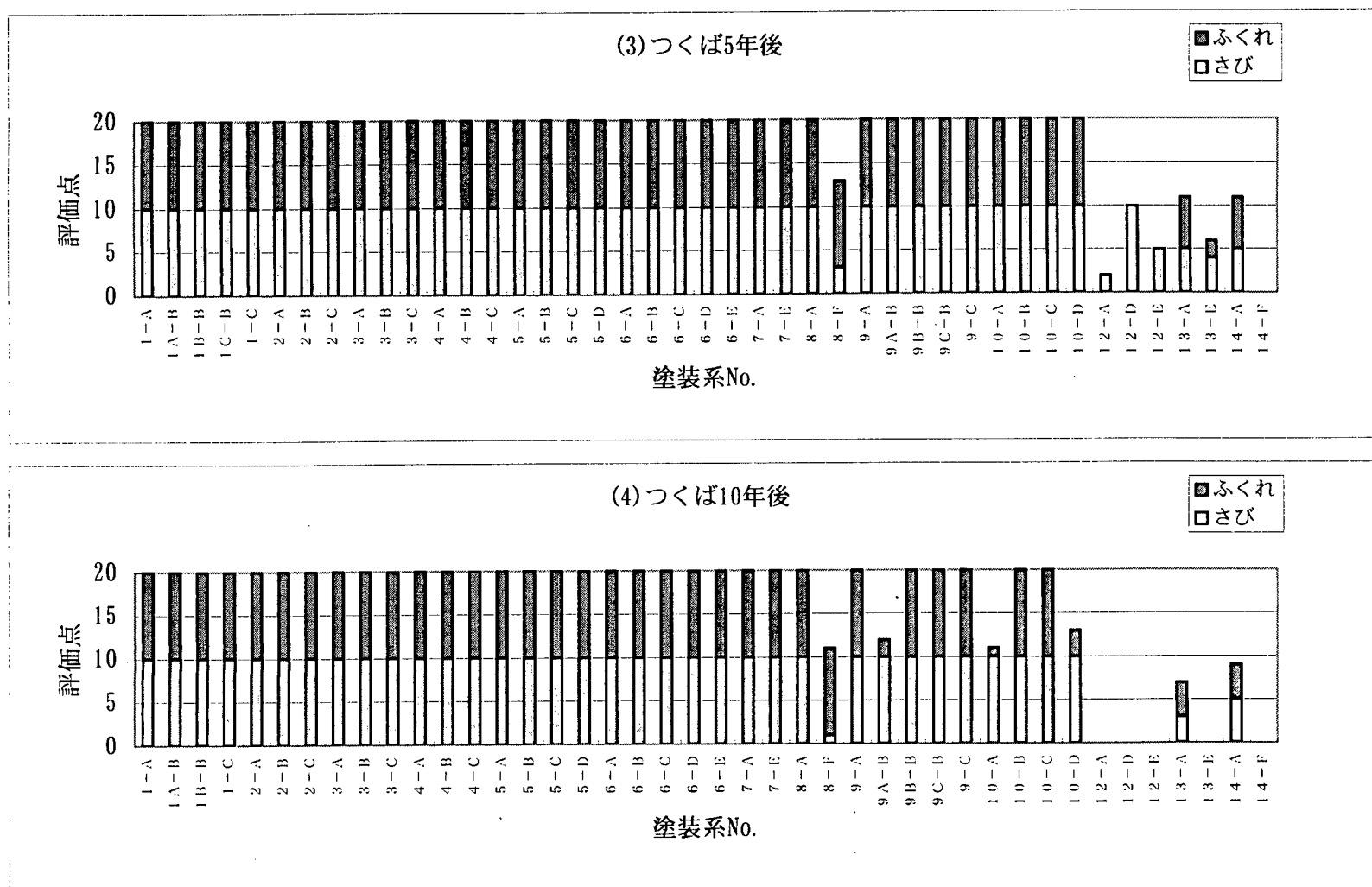


図-4.2 暴露試験後の塗膜外観

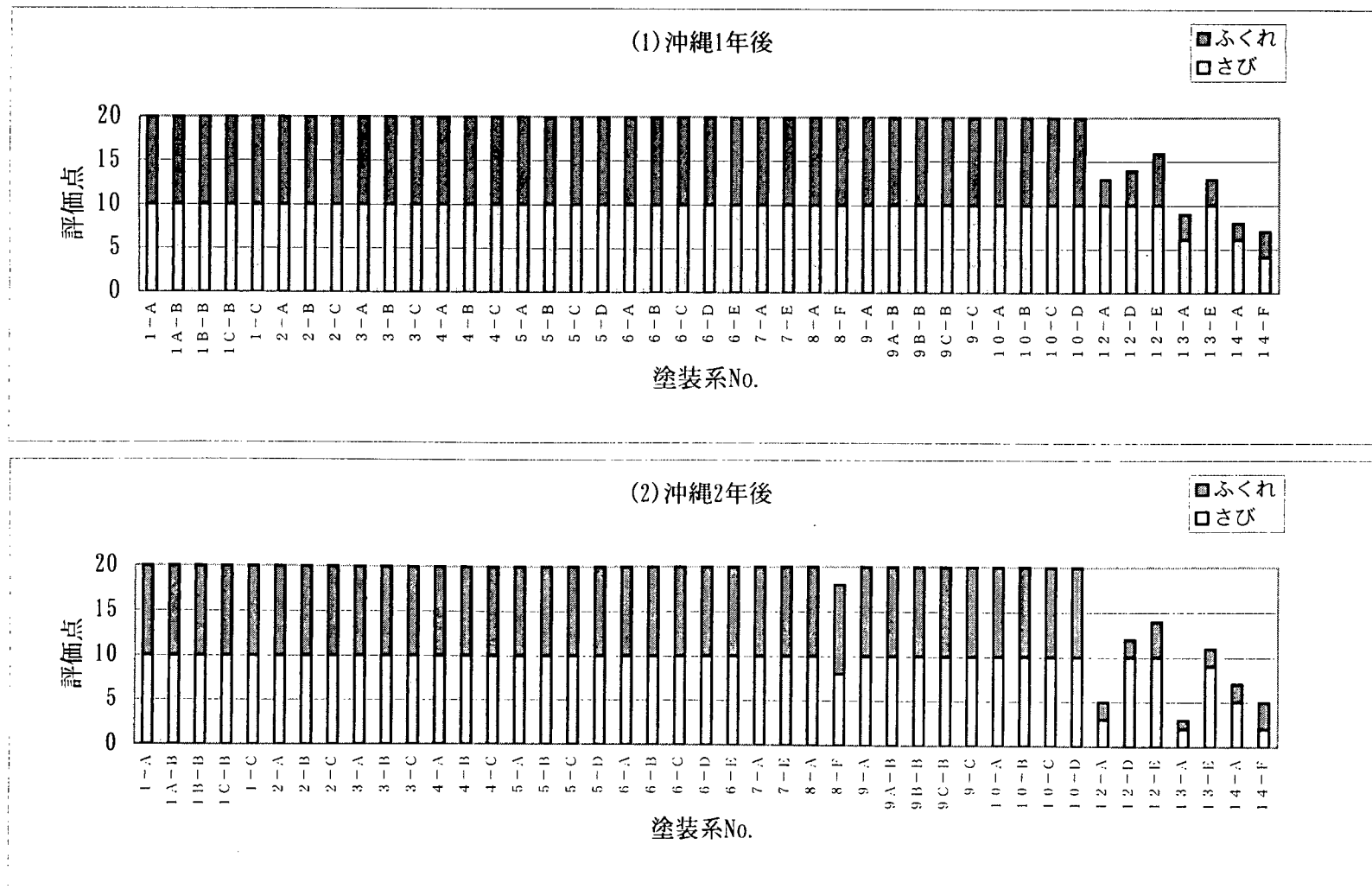


図-4.3 暴露試験後の塗膜外観

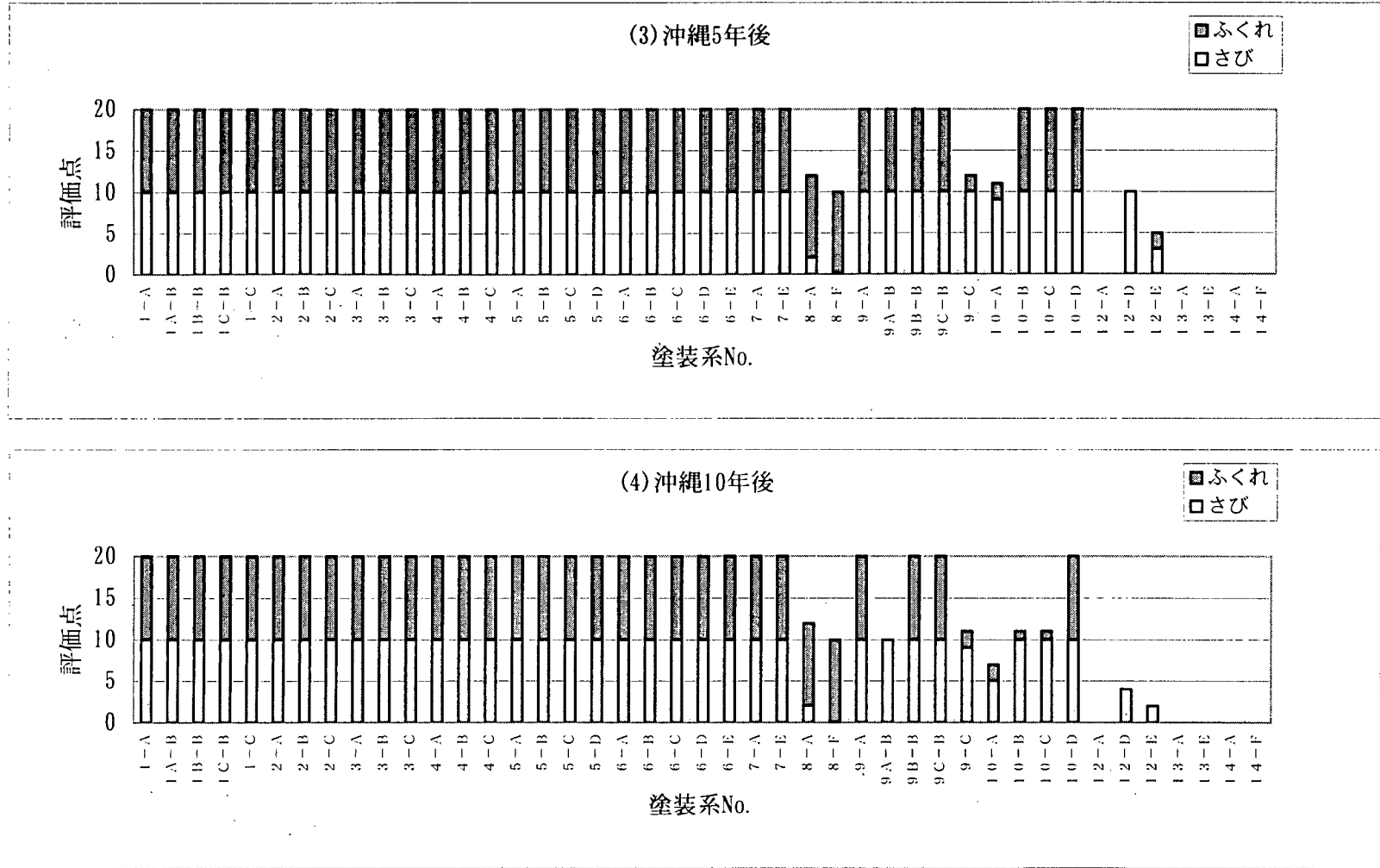


図-4.4 暴露試験後の塗膜外観

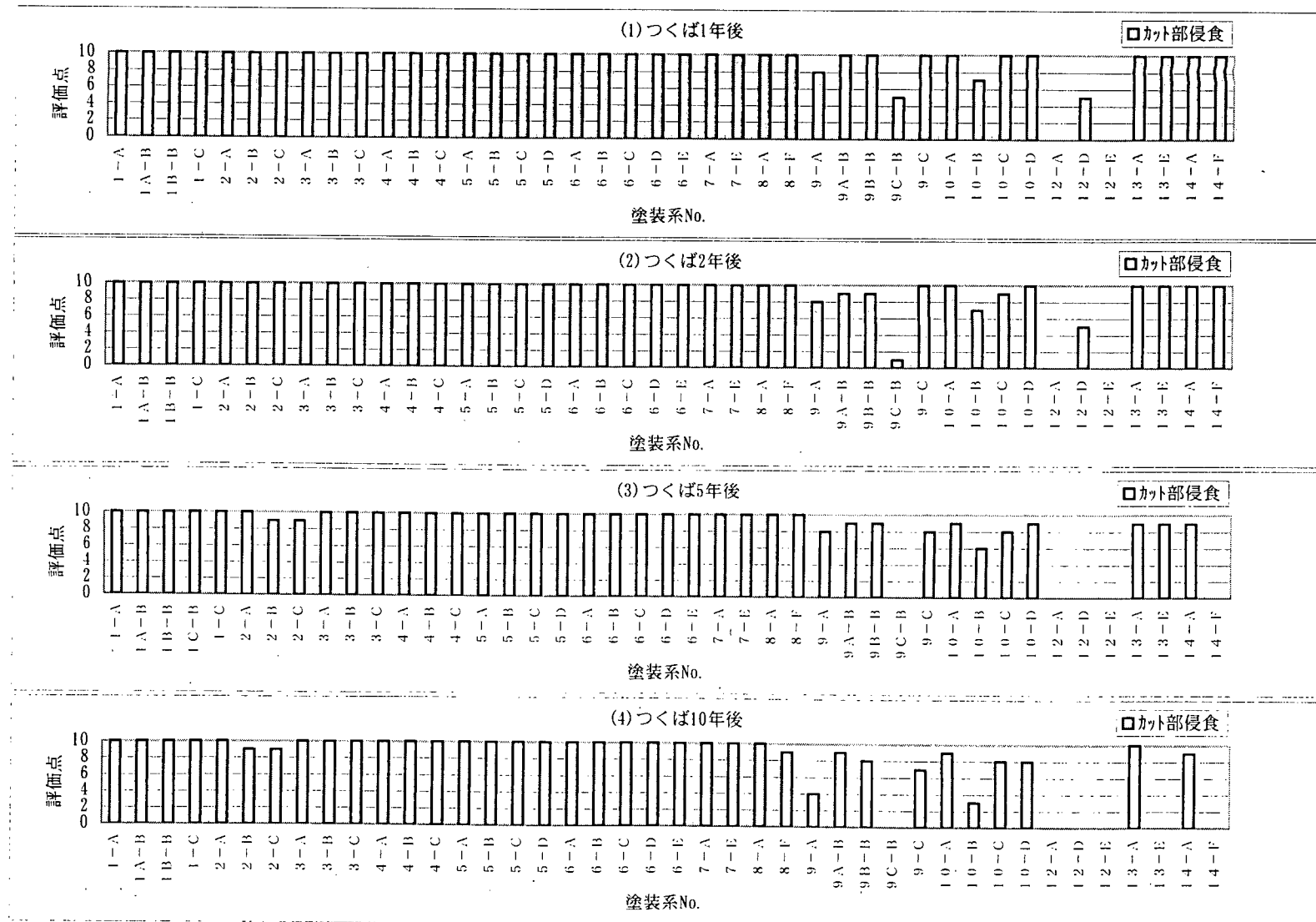


図-4.5 暴露試験後の塗膜外観

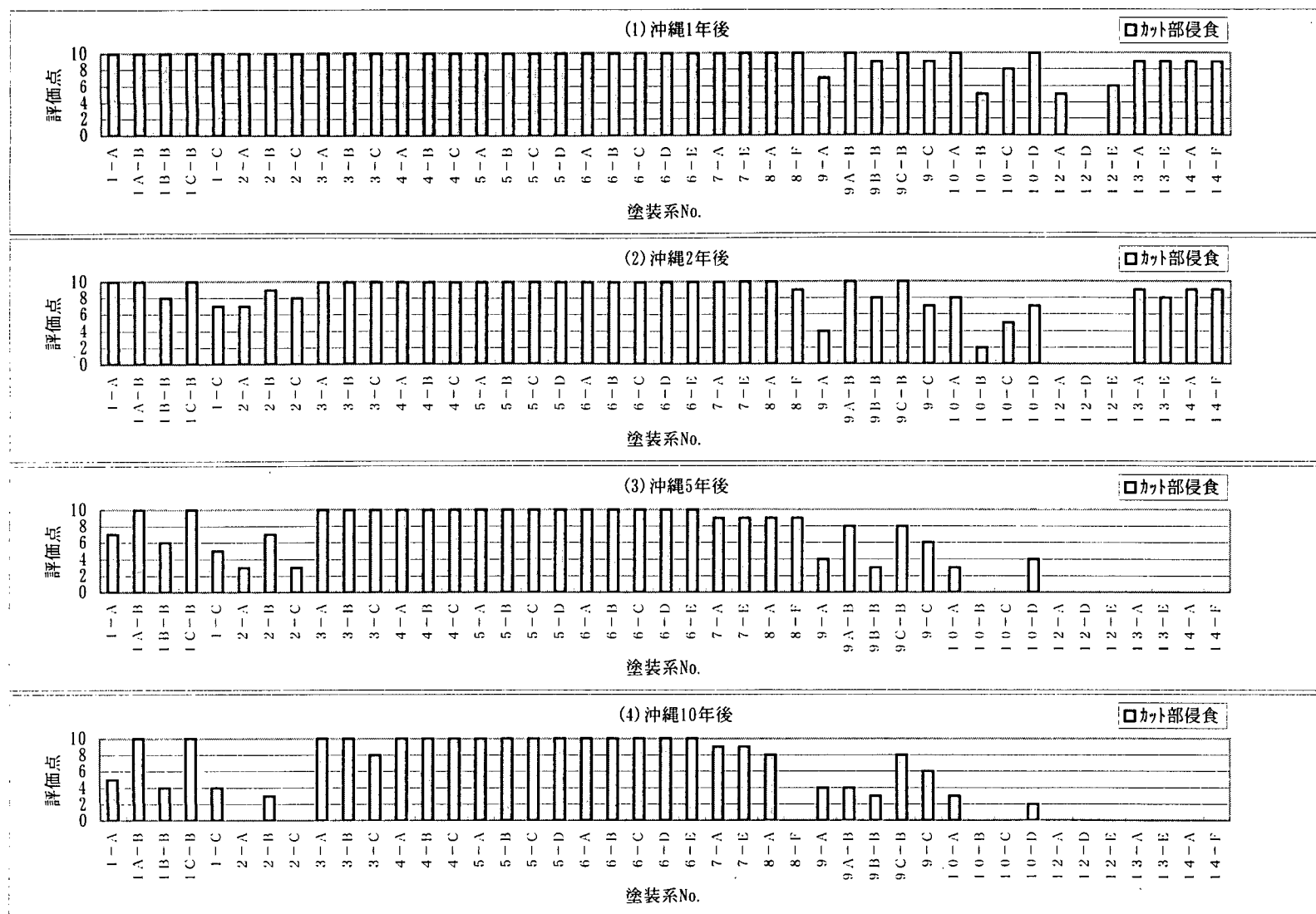


図-4・6 暴露試験後の塗膜外観

3) 光沢の測定結果

表-4・11に光沢保持率の経時変化を、図-4・7に光沢保持率の経時変化をグラフで示す。データは各樹脂系の上塗を代表させて、5-B（ふっ素）、5-C（シリコン変性アクリル）、5-D（ポリウレタン）、6-E（塩化ゴム）、8-F（長油性フタル酸）の塗装系で示した。測定値はカットあり、なしの試験片各3点、計6点の平均値で示した。また、1年後から水洗あり、なしで測定を行った。本実験では上塗りの色を白に統一して行ったため、10年後においてはいずれも光沢の低下が大きいですが、途中経過ではふっ素、次いでシリコン変性アクリルが良好であった。塩化ゴム、長油性フタル酸はつくば、沖縄とも1年後から光沢の低下が著しかった。

4) 経時測定結果

鋼道路橋塗装便覧のC-2（No.5-D）、C-4（No.5-B）および超厚膜形エポキシ 2500 μ m系（No.1B-B）、超厚膜形エポキシ 1000 μ m系（No.2-B）について、経時的に付着性、電気化学的測定を行った結果を以下に示す。

①付着性試験結果

付着性試験結果を表-4・8および図-4・8に示す。つくば、沖縄ともに10年後でも十分な付着強度を示している。はく離箇所は超厚膜形エポキシ系は中塗～上塗の層間、No.5-B、5-Dは無機ジンクリッチペイント層内の凝集破壊であった。なおNo.5-B、5-Dの初期付着強度が低すぎるのは測定上問題があったと思われる。

②カレントインタラプタ法測定結果

カレントインタラプタ法の暴露10年後の測定結果を表-4・13に示す。初期および暴露2年後は抵抗が高く測定できなかったため省略する。10年後の塗膜抵抗はいずれの塗装系も非常に高い値を維持しており、塗膜の劣化は認められない。また分極抵抗も非常に高い値であり、はく離等、塗膜下での異状も起こっていないと判断される。

③インピーダンス測定結果

インピーダンス測定結果を表-4・14に示す。また測定結果のグラフを図-4・9に示す。1kHzにおける塗膜抵抗はいずれの塗装系でも2年後から10年後で1桁程度落ちているが、 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上の十分高い値を維持しており、塗膜の劣化は認められない。暴露地による差は認められず、塗装系では、超厚膜形エポキシ系は1桁高い値を示している。

④コロージョンレートメーター法測定結果

コロージョンレートメーター法については10年後は未測定のため2年までの測定値を表-4・15に示す。2年後までの電流値は各暴露地、各塗装系とも特に差は認められず、小さい値である。

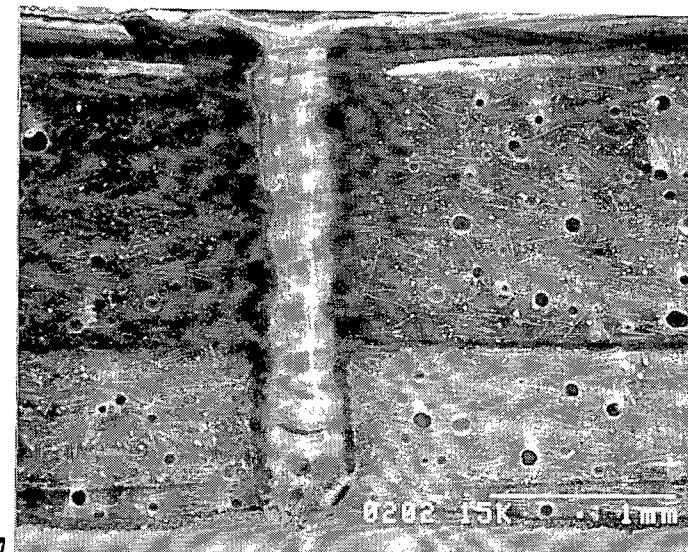
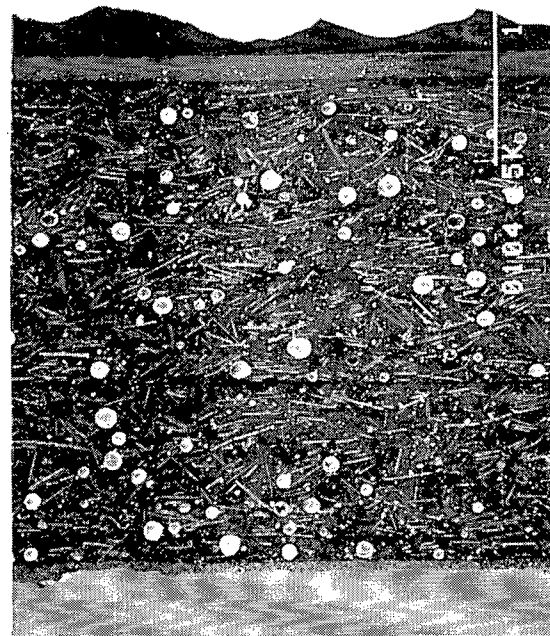
⑤塗膜下素地の観察結果

ジンクリッチペイントをうまくはがすことができないため、塗膜断面のSEM像観察を行った。2年後のデータしか得られていないため、2年後のみ考察する。No.1B-B（2500 μ m超厚膜形エポキシ系）、5-B（鋼道路橋塗装便覧C-2）の沖縄暴露試験片についてのみ行った。SEM像の写真を写真-4・1に示す。カットあり、なしともに塗膜下での腐食は認められない。

1B-B

<塗装系>

- ・有機ジンクリッチペイント
- ・超厚膜形エポキシ樹脂塗料
- ・ふっ素樹脂塗料用中塗
- ・ふっ素樹脂塗料上塗

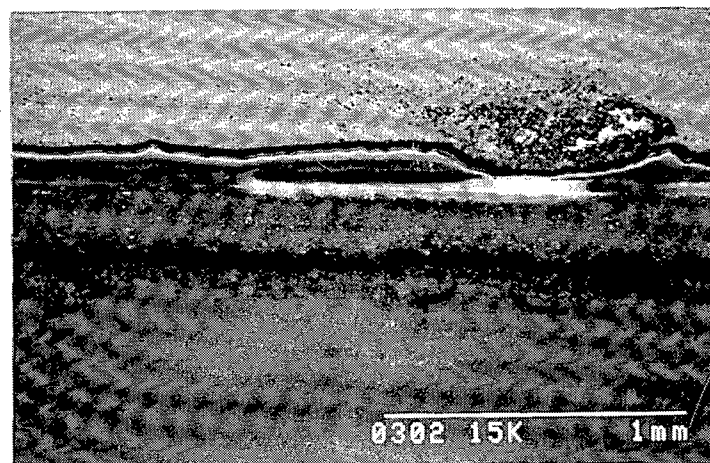


ジンクリッチ塗膜

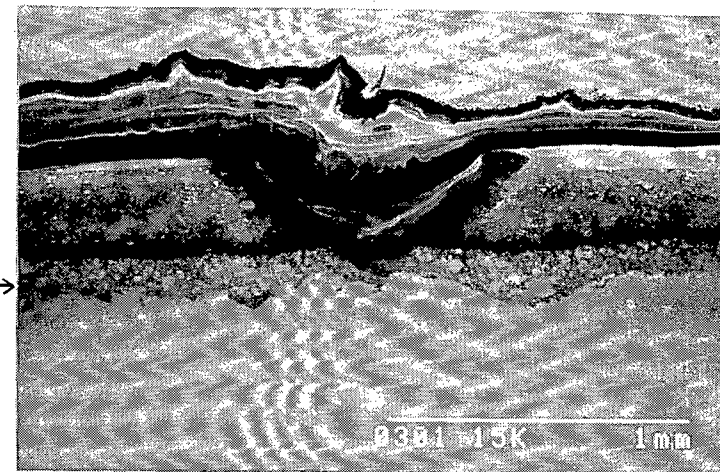
5-B

<塗装系>

- ・厚膜形無機ジンクリッチペイント
- ・ミストコート
- ・厚膜形エポキシ樹脂塗料
- ・ふっ素樹脂塗料用中塗
- ・ふっ素樹脂塗料上塗



カットなし



カットあり

図-4.1 沖縄暴露後の塗膜断面SEM像 (2年後)

表-4.11 暴露試験における光沢保持率経時変化

沖縄暴露光沢保持率(%)経時変化(水洗なし)

暴露月数	0	7	12	24	60	111
5-B-(1) ふっ素	100	81.9	79.7	51.1	16	10.8
5-C-(1) シリコン変性アクリル	100	80.6	69.9	53.7	5.6	3.2
5-D-(1) ウレタン	100	74.8	73.8	24.8	5.7	2.7
6-E-(1) 塩化ゴム	100	40	22.7	10.3	4.9	2.4
8-F-(1) 長油性フタル酸	100	28.8	17.2	12.9	0	0

沖縄暴露光沢保持率(%)経時変化(水洗あり)

暴露月数	0	7	12	24	60	111
5-B-(1) ふっ素	100	100	88.5	36	21.1	14.2
5-C-(1) シリコン変性アクリル	100	100	82.5	55.3	7.7	4.8
5-D-(1) ウレタン	100	100	68.2	27.7	19.9	6.9
6-E-(1) 塩化ゴム	100	100	27.8	15.2	7.6	5.2
8-F-(1) 長油性フタル酸	100	100	28.1	20.5	0	0

つくば暴露光沢保持率(%)経時変化(水洗なし)

暴露月数	0	7	12	24	60	111
5-B-(3) ふっ素	100	78.6	68.5	77.7	42.6	16.7
5-C-(3) シリコン変性アクリル	100	92.3	86.5	82.1	31.8	7.6
5-D-(3) ウレタン	100	78.6	82	45.7	8.5	4.8
6-E-(3) 塩化ゴム	100	54.8	35.7	13.7	4.9	4.4
8-F-(3) 長油性フタル酸	100	30.8	21.4	12.5	0	0

つくば暴露光沢保持率(%)経時変化(水洗あり)

暴露月数	0	7	12	24	60	111
5-B-(3) ふっ素	100	100	95.9	99.9	21.1	28.4
5-C-(3) シリコン変性アクリル	100	100	100.3	99	31.6	22
5-D-(3) ウレタン	100	100	102.9	86.9	33.5	13.5
6-E-(3) 塩化ゴム	100	100	41	42.8	13	11.9
8-F-(3) 長油性フタル酸	100	100	41.6	24.7	0	0

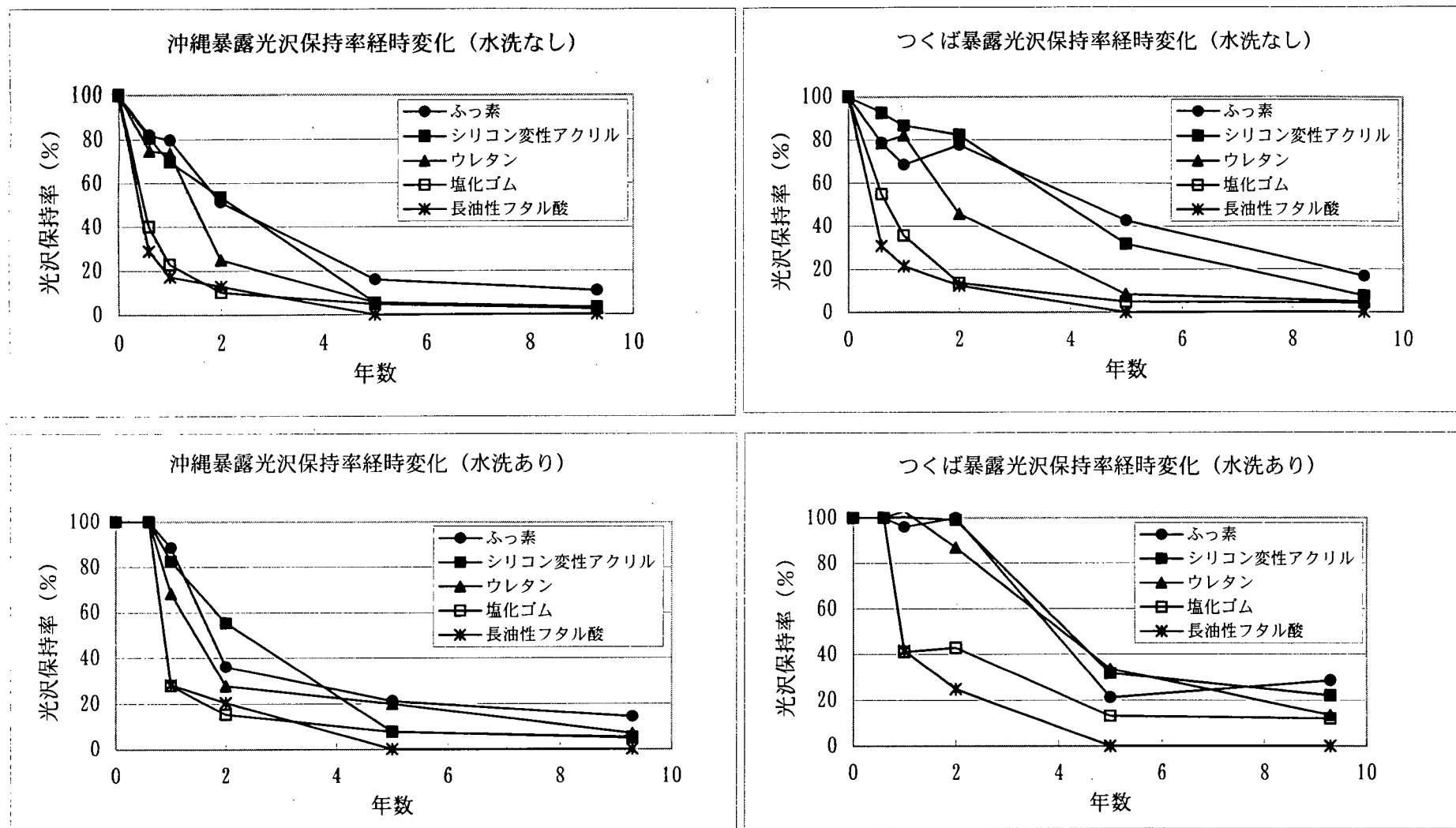


図-4.7 光沢保持率の経時変化

表-4・12 暴露後の付着強度測定結果

試験片No. / 塗装仕様	付着強度 (MPa)				
	初期	つくば2年後	つくば10年後	沖縄2年後	沖縄10年後
1B-B OZRP～SHBエポ(2500) ～ふっ素中～ふっ素上	4.6 中／上層間 15% 接着不良 85%	4.8 中塗層内 100%	3.0 中塗層内 30% 中／上層間 70%	5.1 中塗層内 100%	3.0 中塗層内 30% 中／上層間 70%
2-B OZRP～SHBエポ(1000) ～ふっ素中～ふっ素上	4.7 中／上層間 5% 接着不良 95%	7.6 中塗層内 100%	3.5 中塗層内 50% 中／上層間 50%	3.4 中塗層内 100%	3.3 中塗層内 50% 中／上層間 50%
5-B IZRP～SHBエポ(120) ～ふっ素中～ふっ素上	2.0 ZRP層内 90% 接着不良 10%	2.0 ZRP層内 100%	2.4 ZRP層内 100%	1.4 ZRP層内 100%	2.4 ZRP層内 100%
5-D IZRP～SHBエポ(120) ～ウレタン中～ウレタン上	1.8 ZRP層内 85% 接着不良 15%	1.5 ZRP層内 100%	2.0 ZRP層内 80%	2.0 ZRP層内 100%	2.5 ZRP層内 100%

注) OZRP: 有機ジンクリッチペイント

SHBエポ: 超厚膜形エポキシ樹脂塗料

ふっ素中: ふっ素樹脂塗料用中塗

ふっ素上: ふっ素樹脂塗料上塗

ウレタン中: ポリウレタン樹脂塗料用中塗

ウレタン上: ポリウレタン樹脂塗料上塗

IZRP: 厚膜形無機ジンクリッチペイント

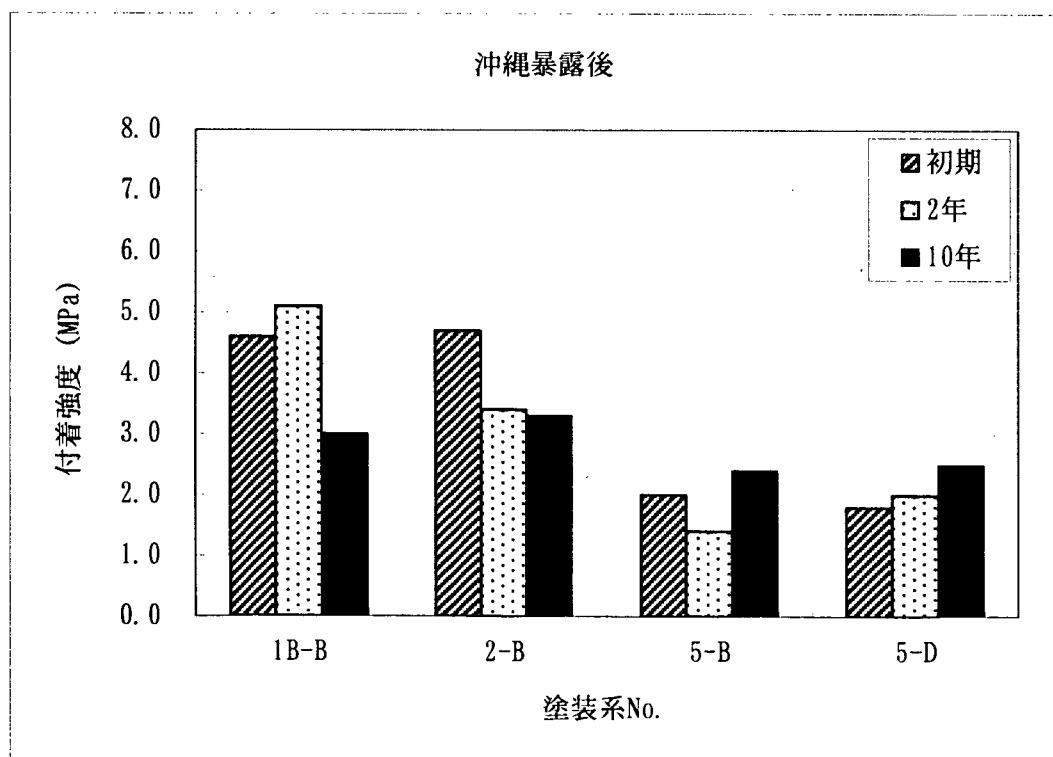
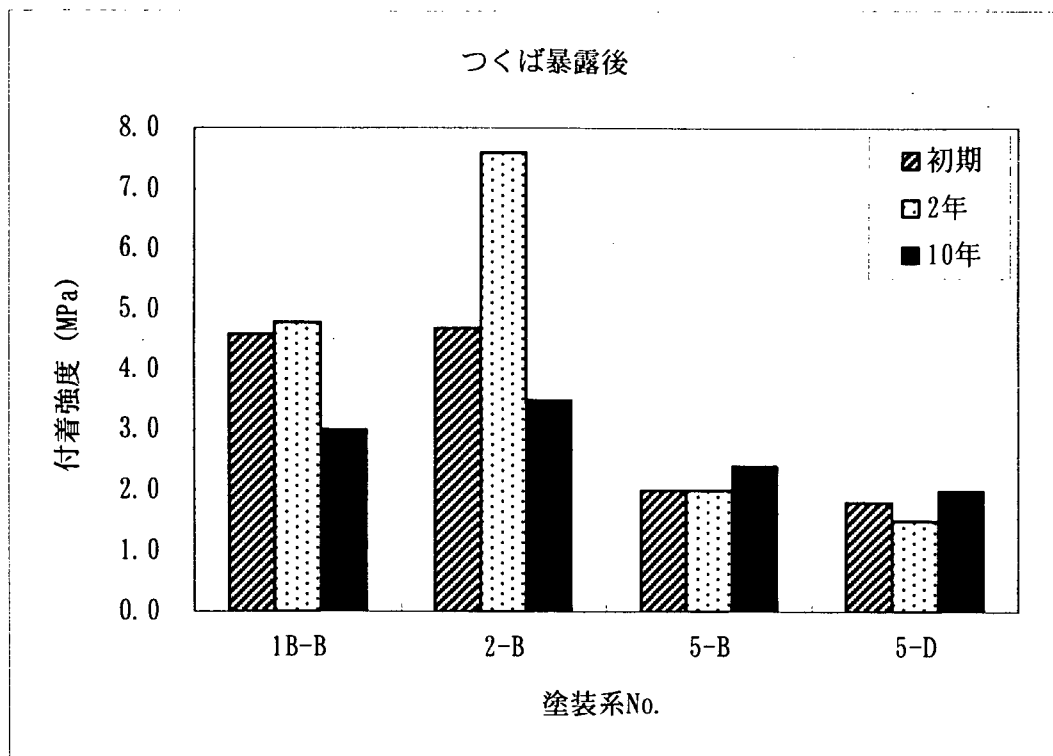


図-4・8 暴露後の付着強度

表-4・13 暴露10年後のカレントインタラプタ測定結果

試験片No. / 塗装仕様	つくば10年後				沖縄10年後			
	塗膜抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}^2$	塗膜容量 F/cm^2	分極抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}^2$	分極容量 F/cm^2	塗膜抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}^2$	塗膜容量 F/cm^2	分極抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}^2$	分極容量 F/cm^2
1B-B OZRP～SHBエポ(2500) ～ふっ素中～ふっ素上	1.2×10^{10}	3.3×10^{-11}	1.1×10^{10}	4.4×10^{-9}	4.1×10^9	1.5×10^{-11}	4.2×10^9	2.9×10^{-10}
2-B OZRP～SHBエポ(1000) ～ふっ素中～ふっ素上	抵抗が高すぎて測定できず				6.4×10^9	2.0×10^{-11}	3.0×10^9	1.1×10^{-9}
5-B IZRP～SHBエポ(120) ～ふっ素中～ふっ素上	1.7×10^9	1.0×10^{-10}	5.7×10^9	5.6×10^{-10}	4.3×10^9	8.3×10^{-11}	4.4×10^9	9.7×10^{-10}
5-D IZRP～SHBエポ(120) ～ウレタン中～ウレタン上	7.0×10^9	8.5×10^{-11}	2.8×10^9	8.8×10^{-9}	5.6×10^9	8.7×10^{-11}	3.6×10^9	4.3×10^{-9}

備考) 3%食塩水に432時間浸漬後測定。初期および2年後は抵抗が高く測定不能。

注) OZRP: 有機ジンクリッチペイント

SHBエポ: 超厚膜形エポキシ樹脂塗料

ふっ素中: ふっ素樹脂塗料用中塗

ふっ素上: ふっ素樹脂塗料上塗

ウレタン中: ポリウレタン樹脂塗料用中塗

ウレタン上: ポリウレタン樹脂塗料上塗

IZRP: 厚膜形無機ジンクリッチペイント

表-4.14 暴露後のインピーダンス測定結果

試験片No. / 塗装仕様	塗膜抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$) / 1KHz				
	初期	つくば2年後	つくば10年後	沖縄2年後	沖縄10年後
1B-B 0ZRP~SHBエポ(2500) ~ふっ素中~ふっ素上	5.0×10^8	1.0×10^9	6.3×10^7	7.5×10^8	1.4×10^8
2-B 0ZRP~SHBエポ(1000) ~ふっ素中~ふっ素上	3.1×10^8	5.4×10^8	7.0×10^7	3.4×10^8	9.6×10^7
5-B 1ZRP~SHBエポ(120) ~ふっ素中~ふっ素上	9.3×10^7	9.4×10^7	1.0×10^7	8.0×10^7	1.2×10^7
5-D 1ZRP~SHBエポ(120) ~ウレタン中~ウレタン上	9.5×10^7	9.7×10^7	1.2×10^7	1.0×10^8	1.0×10^7

備考) 3%食塩水に432時間浸漬後測定。

注) 0ZRP: 有機ジンクリッチペイント

SHBエポ: 超厚膜形エポキシ樹脂塗料

ふっ素中: ふっ素樹脂塗料用中塗

ふっ素上: ふっ素樹脂塗料上塗

ウレタン中: ポリウレタン樹脂塗料用中塗

ウレタン上: ポリウレタン樹脂塗料上塗

1ZRP: 厚膜形無機ジンクリッチペイント

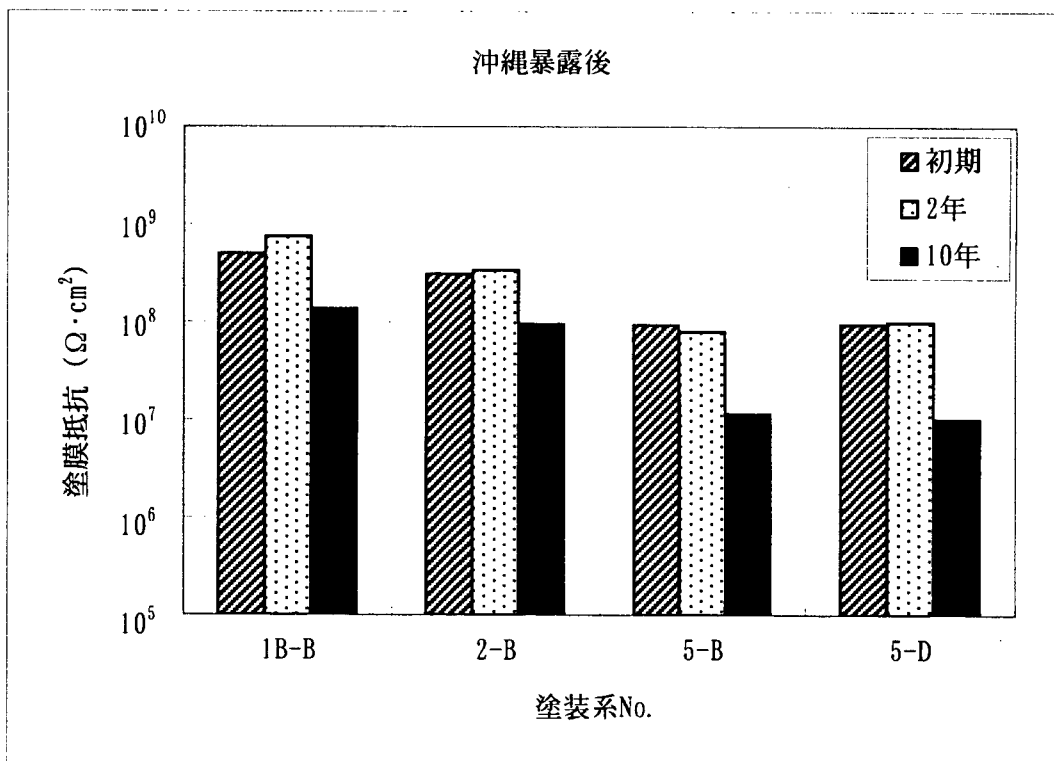
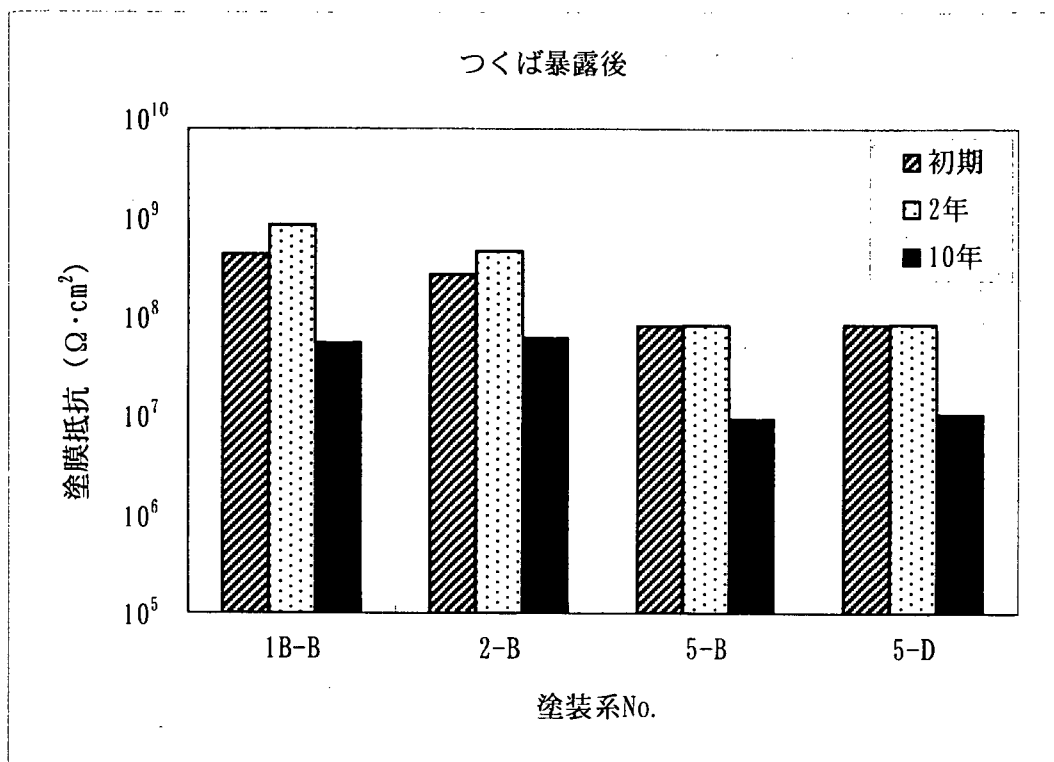


図-4・9 暴露後のインピーダンス測定結果 (1kHz)

表-4.15 暴露後のコロージョンレートメーター法測定結果

試験片 No. / 塗装系	(上段) 電流値 : A (12.5cm ²) (下段) 塗膜抵抗値 : Ω (12.5cm ²)		
	初期	つくば2年後	沖縄2年後
1B-B OZRP~SHB エポ [※] (2500) ~ふっ素中~ふっ素上	3.25×10^{-6} 1.84×10^4	4.92×10^{-5} 1.21×10^3	1.02×10^{-5} 6.37×10^3
2-B OZRP~SHB エポ [※] (1000) ~ふっ素中~ふっ素上	1.25×10^{-6} 7.60×10^4	1.62×10^{-5} 4.03×10^3	3.36×10^{-6} 1.19×10^3
5-B IZRP~SHB エポ [※] (120) ~ふっ素中~ふっ素上	2.38×10^{-6} 3.92×10^4	4.15×10^{-5} 1.49×10^4	8.80×10^{-5} 6.82×10^3
5-D IZRP~SHB エポ [※] (120) ~ウレタン中~ウレタン上	8.25×10^{-6} 1.52×10^4	4.63×10^{-5} 1.00×10^4	2.35×10^{-5} 2.53×10^3

備考) カット入りのため、塗膜抵抗は参考値

注) OZRP : 有機ジンクリッチペイント

SHB エポ : 超厚膜形エポキシ樹脂塗料

ふっ素中 : ふっ素樹脂塗料用中塗

ふっ素上 : ふっ素樹脂塗料上塗

ウレタン中 : ポリウレタン樹脂塗料用中塗

ウレタン上 : ポリウレタン樹脂塗料上塗

IZRP : 厚膜形無機ジンクリッチペイント

5) 暴露試験結果のまとめ

- ①暴露環境の厳しさはつくばに比べ沖縄は非常に厳しい。つくばが腐食速度 $13\mu\text{m}/\text{year}$ に対し、沖縄は $246\mu\text{m}/\text{year}$ であった。
- ②新設塗装系では沖縄、つくばともに油性～長油性フタル酸系のような軽塗装系以外は10年後もまったく以上はなかった。
- ③新設塗装系についての経時測定結果から、つくば、沖縄に10年暴露後も塗膜性能の低下はあまり認められず、付着性の低下もあまりなく、特に新設塗装系においては超厚膜形エポキシ系の有効性が確認された。
- ④さび面の塗替え塗装系では今回の試験が塩分を含むさび面という非常に厳しい条件であったにもかかわらず超厚膜形エポキシ $500\mu\text{m}$ ～高耐候性上塗りの系で良好な防食性が期待できるデータが得られた。油性～長油性フタル酸系ではこのような厳しい条件では両暴露地とも1年で劣化が著しかった。
- ⑤塗膜にカットを入れてカット部からの浸食を調べたところ膜厚 $1000\mu\text{m}$ 以上の超厚膜形エポキシはカット部から塗膜はく離が進む傾向がある。これは超厚膜形エポキシ系素地に対する親和性が悪いことと、硬化時の残留応力によると考えられ、また有機ジンクリッチプライマーにそれ程の防錆効果がないことも挙げられる。
- ⑥光沢保持率については本実験では白に統一したため、10年後ではいずれも低下が著しい。中ではふっ素が良好であった。塩化ゴム、長油性フタル酸は沖縄、つくばを問わず初期から低下が著しく、ふっ素、ポリウレタン、シリコン変性アクリルは沖縄に比べつくばは低下が穏やかで、2年後まではかなり高い光沢保持率を示した。
- ⑦無機ジンクリッチペイントを含む塗装系（無機 ZRP $75\mu\text{m}$ ～エポキシ $60\mu\text{m}\times 2$ ～ふっ素/ウレタン中 $30\mu\text{m}$ ～ふっ素/ウレタン上 $30\mu\text{m}$ ）の防食性が優れていることが確認された。

4. 3. 2 腐食促進試験（その1）

（1）試験内容

1）試験の目的

1mm を超えるような厚膜タイプのエポキシ樹脂塗料や、ガラスフレークを充填した塗料などを用いた重防食塗装系の防食性の評価は、暴露試験では結果が得られるまでに数十年を要し実用的でない。そのために、このような塗装系の評価は促進試験に頼らざるを得ないが、暴露試験と相関性が良く、しかも促進効果の高い方法はまだ実用化されていない。そこで、新規な腐食試験方法を選定するためにまず第一ステップとして、従来から行われている方法で各種乾湿サイクル試験を開始した。

2）試験の概要

①促進条件

イ）腐食促進試験項目

試験項目として、以下に示す4項目に11の試験モードを設けサイクル試験を行った。

・塩水噴霧（5%NaCl、35℃）	}	↔	乾 燥（60℃）
・塩水浸漬（5%NaCl、50℃）			
・湿 潤（98%RH以上、50℃）			
・温度勾配浸漬（純水、50℃/25℃）		↔	乾 燥（常温）

試験モードの詳細を以下に示す。

・塩水噴霧（35℃、5%NaCl）	↔	・乾 燥 60℃（休日は塩水噴霧）
モード11	1日	1日
モード12	3日	4日
モード13	5日	2日
・塩水浸漬（50℃、3%NaCl）	↔	・乾 燥 60℃（休日は浸漬）
モード21	1日	1日
モード22	3日	4日
モード23	5日	2日
・温度勾配試験（純水、50℃/25℃）	↔	・乾 燥（常乾）
モード31	5日	2日
モード32	7日	0日（連続）
・湿潤試験（98%RH以上、50℃）	↔	・乾 燥 60℃（休日は湿潤）
モード41	1日	1日
モード42	3日	4日
モード43	5日	2日

ロ）試験期間

短期：短期間（4週間）の腐食促進試験後に評価するもの。

長期：長期間（8週間）の腐食促進試験後に評価するもの。

ハ）試験片

カット部からのさびの侵入状態を調べるために一部の試験片にはカットを入れて評価した。評価法と試験片のカットの有無はつぎの通りである。

なお、カットの入れ方は4・3・1(1)③の暴露試験の試験片の頁参照のこと。

評価法	1: 外観・塗膜下素地の観察	カット有り
	2: 付着性	カット無し
	3: カレントインタラプタ、インピーダンス	カット無し
	4: コロージョンレートメーター	カット有り

②試験試料

つぎの2つの塗装系について腐食促進試験を行い評価を行うことにした。

詳細は4・3・1(1)④の暴露試験の試験項目参照のこと。

- ・ 1B-B 塗装系……有機ジンクリッチペイント／超厚膜形エポキシ樹脂塗料／
ふっ素樹脂塗料用中塗／ふっ素樹脂塗料上塗 91 枚
- ・ 5-D 塗装系……厚膜形無機ジンクリッチペイント／エポキシ樹脂塗料下塗／
ポリウレタン樹脂塗料用中塗／ポリウレタン樹脂塗料用上塗 91 枚

計 182 枚

試験片枚数の内訳

11 (試験モード) × 2 (塗装系) × 2 (期間) × 4 (評価法) + 6 (初期値用)

③試験項目

試験項目として、以下に示す6項目の評価試験を行った。試験方法は4・3・1(1)④の暴露試験の試験項目を参照のこと。

- ・ 外観・塗膜下素地の観察 (ASTM 評価基準による)、写真撮影
- ・ 付着性試験
- ・ 電気化学的測定
 - カレントインタラプタ法
 - インピーダンス
 - コロージョンレートメーター

上記の評価試験は、当初の計画では腐食促進試験4週間後と8週間後に行う予定であったが、4週間経過しても差がないため短期長期とも20週間後に行い繰返しとして扱うことにした。

(2) 試験結果

1) 試験方法別のまとめ

試験方法別に20週目の結果をまとめると次のようになる。

①塩水噴霧

全ての試験片に異常は認められない。

②塩水浸漬

イ) 1B-B 塗装系

一般部は異常ない。カット部ではふくれが認められたがさびの発生はなかった。

ロ) 5-D 塗装系

一般部には異常ない。カット部では、8 週間目からふくれとさびが発生し、これらは徐々に拡大する傾向が認められた。

③湿潤試験

イ) 1B-B 塗装系

異常なし。ただし、上塗に微小なふくれが数個見られたがその後進行はしなかった。

ロ) 5-D 塗装系

異常なし。

④温度勾配試験

イ) 1B-B 塗装系

4 週間目に 25~35mm φ のふくれが見られたが、その後このふくれは進行していき新たなふくれの発生も認められる。これはサイクル、連続浸漬とも認められる。

ロ) 5-D 塗装系

サイクル試験で全面に微小なふくれが生じたがその後の進行はない。連続試験では 4 週間後に一部の試験片に部分的に 8F のふくれが生じていたがその後の進行はない。

2) 評価項目別のまとめ

評価項目別に結果をまとめると次のようになる。

①塗膜の外観

各種促進試験結果参照 (表-4・16)

②付着性

イ) 1B-B 塗装系

この塗装系の初期の付着力は 9.2MPa であるが、20 週間後の付着力は塩水噴霧試験では、4.0~9.0MPa、塩水浸漬試験、温度勾配試験、湿潤試験の場合は 2.0~4.0MPa であり試験方法によって付着力に差があることがわかる。このことは塩水噴霧試験は促進試験方法としてはマイルドであり厚膜塗装系に対しては適切ではないと考えられる。

ロ) 5-D 塗装系

この塗装系の場合は初期値と 20 週間後とでほとんど差がなく、はく離箇所もジンクリッチペイントの層内が多かった。この塗装系で付着力試験を行うと付着力は比較的低く、ジンクリッチペイント層内で破断しやすいことはよく知られていることである。従って、この塗装系の場合には、付着力による試験方法の促進性を判断することは難しいと考えられる。

ハ) 結論

付着力の結果からは、どの試験方法が促進性があるかを判断することはできない。

③コロージョンレートメーター

各試験方法とも、初期値に比べて抵抗値はやや小さくなり ($10^4 \Omega \rightarrow 10^3 \Omega$)、電流値はやや大きくなった ($10^{-6} \rightarrow 10^{-5}$) が塗装系や試験方法間の差は認められなかった。

④カレントインタラプタ

塗膜抵抗が高く測定不能であった。

⑤インピーダンス

イ) 1B-B 塗装系

温度勾配以外の試験方法で塗膜抵抗が約1桁大きくなっている。原因としてはアフターキュアなどが考えられる。

ロ) 5-D 塗装系

初期値と比べ、どの試験方法もほとんど変化していない。

ハ) 結論

インピーダンスの測定結果からは促進性のある試験方法、モードは判断できない。以上の腐食促進試験をまとめると次のようになる。

現在までのところ、温度勾配試験の一部に塗膜ふくれが生じただけで他の試験項目にはふくれ、さびの発生はなく、屋外暴露試験に対応する促進試験方法を特定することは出来ない。

表-4-16 各種促進試験結果

評価項目		促進試験項目		塩水噴霧試験				塩水浸漬				温度勾配試験				湿潤試験			
				短期 (20W)		長期 (20W)		短期 (20W)		長期 (20W)		短期 (20W)		長期 (20W)		短期 (20W)		長期 (20W)	
				一般	カット	一般	カット	一般	カット	一般	カット	一般	カット	一般	カット	一般	カット	一般	カット
1B-B 有機ジンクリッチペイント/ 超厚膜形エポキシ樹脂塗料/ ふっ素樹脂塗料用中塗/ ふっ素樹脂塗料上塗	試験 1日 — 乾燥 1日	外 観	さ び	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			ふくれ	10	10	10	10	10	10	10	10	2	10	2	10	10	10	10	10
		付着性試験	付着力(MPa)	9.0	4.9	3.0	3.9	2.1	2.0	4.0	2.6	上塗 75%	上塗 80%	上塗 75%	上塗 80%	上塗 75%	上塗 80%	上塗 75%	上塗 80%
				ジンク 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%
	試験 3日 — 乾燥 4日	外 観	電流値(A/12.5cm ²)	5.70×10 ⁻⁵	5.13×10 ⁻⁵	5.02×10 ⁻⁵	8.32×10 ⁻⁵	3.66×10 ⁻⁵	—	2.75×10 ⁻⁵	3.41×10 ⁻⁵	—	—	—	—	2.75×10 ⁻⁵	3.41×10 ⁻⁵	—	—
			塗膜抵抗(Ω/12.5cm ²)	1.15×10 ³	1.41×10 ³	1.32×10 ³	8.66×10 ²	1.93×10 ³	—	2.81×10 ³	2.56×10 ³	—	—	—	—	2.81×10 ³	2.56×10 ³	—	—
		付着性試験	さ び	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2	10	2
			ふくれ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2	10	2	10	10	10	10
	試験 5日 — 乾燥 2日	付着性試験	付着力(MPa)	7.0	5.8	4.0	2.3	—	—	3.2	3.0	上塗 75%	上塗 80%	上塗 75%	上塗 80%	上塗 75%	上塗 80%	上塗 75%	上塗 80%
				ジンク 100%	中/上 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	—	—	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%	接着剤 25%	接着剤 20%
		外 観	電流値(A/12.5cm ²)	3.80×10 ⁻⁵	4.52×10 ⁻⁵	8.99×10 ⁻⁵	8.55×10 ⁻⁵	—	—	1.63×10 ⁻⁵	5.15×10 ⁻⁵	—	—	—	—	1.63×10 ⁻⁵	5.15×10 ⁻⁵	—	—
			塗膜抵抗(Ω/12.5cm ²)	1.69×10 ³	1.41×10 ³	7.48×10 ³	8.84×10 ²	—	—	3.99×10 ³	1.80×10 ³	—	—	—	—	3.99×10 ³	1.80×10 ³	—	—
5-D 厚膜形無機ジンクリッチペイント/ ミストコート/ 厚膜エポキシ樹脂塗料下塗/ ポリウレタン樹脂塗料用中塗/ ポリウレタン樹脂塗料上塗 (便覧C-2塗装系)	試験 1日 — 乾燥 1日	外 観	さ び	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			ふくれ	10	10	10	10	10	10	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		付着性試験	付着力(MPa)	1.8	2.2	1.8	1.6	2.5	2.2	2.0	2.1	ジンク 85%	ジンク 55%	ジンク 70%	ジンク 95%	ジンク 85%	ジンク 55%	ジンク 70%	ジンク 95%
				下塗 45%	下塗 20%	ジンク 100%	ジンク 100%	下塗 15%	下/中 45%	下塗 30%	下塗 5%	下塗 15%	下/中 45%	下塗 30%	下塗 5%	下塗 15%	下/中 45%	下塗 30%	下塗 5%
	試験 3日 — 乾燥 4日	外 観	電流値(A/12.5cm ²)	2.50×10 ⁻⁵	3.45×10 ⁻⁵	2.66×10 ⁻⁵	5.02×10 ⁻⁵	4.97×10 ⁻⁵	—	5.46×10 ⁻⁶	1.18×10 ⁻⁵	—	—	—	—	5.46×10 ⁻⁶	1.18×10 ⁻⁵	—	—
			塗膜抵抗(Ω/12.5cm ²)	2.78×10 ³	2.23×10 ³	2.92×10 ³	1.57×10 ³	1.03×10 ³	—	1.02×10 ³	5.55×10 ³	—	—	—	—	1.02×10 ³	5.55×10 ³	—	—
		付着性試験	さ び	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			ふくれ	10	10	10	10	2	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	試験 5日 — 乾燥 2日	付着性試験	付着力(MPa)	2.3	1.6	1.4	2.1	—	—	2.3	2.0	ジンク 90%	ジンク 60%	ジンク 90%	ジンク 60%	ジンク 90%	ジンク 60%	ジンク 90%	ジンク 60%
				下塗 5%	下塗 15%	ジンク 100%	ジンク 100%	—	—	下塗 10%	下塗 40%	下塗 10%	下塗 40%	下塗 10%	下塗 40%	下塗 10%	下塗 40%	下塗 10%	下塗 40%
		外 観	電流値(A/12.5cm ²)	1.65×10 ⁻⁵	1.95×10 ⁻⁵	2.15×10 ⁻⁵	1.99×10 ⁻⁵	—	—	1.32×10 ⁻⁵	3.02×10 ⁻⁵	—	—	—	—	1.32×10 ⁻⁵	3.02×10 ⁻⁵	—	—
			塗膜抵抗(Ω/12.5cm ²)	5.40×10 ³	4.22×10 ³	3.30×10 ³	3.71×10 ³	—	—	5.54×10 ³	2.77×10 ³	—	—	—	—	5.54×10 ³	2.77×10 ³	—	—
5-D 厚膜形無機ジンクリッチペイント/ ミストコート/ 厚膜エポキシ樹脂塗料下塗/ ポリウレタン樹脂塗料用中塗/ ポリウレタン樹脂塗料上塗 (便覧C-2塗装系)	試験 1日 — 乾燥 1日	外 観	さ び	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			ふくれ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		付着性試験	付着力(MPa)	1.9	1.6	1.1	1.4	2.1	—	1.9	1.7	ジンク 60%	ジンク 20%	ジンク 50%	ジンク 85%	ジンク 60%	ジンク 20%	ジンク 50%	ジンク 85%
				下塗 30%	下塗 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	下塗 40%	下塗 80%	下塗 50%	下塗 15%	下塗 40%	下塗 80%	下塗 50%	下塗 15%	下塗 40%	下塗 80%	下塗 50%	下塗 15%
	試験 3日 — 乾燥 4日	外 観	電流値(A/12.5cm ²)	1.77×10 ⁻⁵	2.41×10 ⁻⁵	5.42×10 ⁻⁵	6.07×10 ⁻⁵	5.79×10 ⁻⁵	—	1.93×10 ⁻⁵	1.69×10 ⁻⁵	—	—	—	—	1.93×10 ⁻⁵	1.69×10 ⁻⁵	—	—
			塗膜抵抗(Ω/12.5cm ²)	4.67×10 ³	3.52×10 ³	1.41×10 ³	1.21×10 ³	1.44×10 ³	—	4.04×10 ³	3.30×10 ³	—	—	—	—	4.04×10 ³	3.30×10 ³	—	—
		付着性試験	付着力(MPa)	1.9	1.6	1.1	1.4	2.1	—	1.9	1.7	ジンク 60%	ジンク 20%	ジンク 50%	ジンク 85%	ジンク 60%	ジンク 20%	ジンク 50%	ジンク 85%
				下塗 30%	下塗 100%	ジンク 100%	ジンク 100%	下塗 40%	下塗 80%	下塗 50%	下塗 15%	下塗 40%	下塗 80%	下塗 50%	下塗 15%	下塗 40%	下塗 80%	下塗 50%	下塗 15%
	試験 5日 — 乾燥 2日	外 観	電流値(A/12.5cm ²)	1.77×10 ⁻⁵	2.41×10 ⁻⁵	5.42×10 ⁻⁵	6.07×10 ⁻⁵	5.79×10 ⁻⁵	—	1.93×10 ⁻⁵	1.69×10 ⁻⁵	—	—	—	—	1.93×10 ⁻⁵	1.69×10 ⁻⁵	—	—
			塗膜抵抗(Ω/12.5cm ²)	4.67×10 ³	3.52×10 ³	1.41×10 ³	1.21×10 ³	1.44×10 ³	—	4.04×10 ³	3.30×10 ³	—	—	—	—	4.04×10 ³	3.30×10 ³	—	—

備考

1. ふくれおよびさびはASTMを基準に10点評価に換算して行った。

2. 温度勾配試験は試験モードが他と異なる。試験モード31(試験7日～乾燥0日)は試験モード11(試験1日～乾燥1日)の行に記入した。

4. 3. 3 腐食促進試験（その2）

（1）試験内容

1）試験の目的

高耐久性塗装系の塗膜性能の評価をするための促進試験方法を確定する。

2）試験の概要

①考え方

イ) 鉄面の防錆はジンクリッチペイントに含有される亜鉛の犠牲陽極による

ロ) ジンクリッチペイント上に塗装される厚膜形塗料により水・イオンなどの腐食物質の浸透を妨げる

ハ) 本試験ではジンクリッチペイントの存在による防錆性と、厚膜形塗料の遮断性に着目して、塗膜性能の評価をするための促進試験方法を検討する

②試験方法

イ) 促進腐食試験方法

塩水噴霧（5%NaCl 35℃）

ロ) 暴露試験実施場所

沖縄

ハ) 透湿率

LYSSY 法（ジンクリッチペイント抜きのエポキシ塗膜のみで試験する）

ニ) 塗装系（詳細は別表）

a) 有機ジンクリッチペイント／超厚膜形エポキシ樹脂塗料

b) 厚膜形無機ジンクリッチペイント／超厚膜形エポキシ樹脂塗料

c) 長ばく形エッチングプライマー／鉛系さび止めペイント／長油性フタル酸樹脂塗料中塗／
長油性フタル酸樹脂塗料上塗

ホ) 評価方法

外観 ASTM 評価基準

付着性試験 アドヒージョンテスター

電気化学的測定 カレントインタラプタ、インピーダンス

ヘ) 試験片

a) JIS G3141 ミガキ軟鋼板を No. 600 エミリー紙で研磨

70×150×0.8mm、70×150×3.2mm（付着試験用）

b) フリーフィルム 100mm×100mm（透湿率用）

(2) 試験結果

1) 塗膜の外観観察から次のことが分かった。

- ①厚膜形エポキシ塗膜は単独のときはその膜厚が厚くなるとともにさびの発生が少なくなり膜厚が $100\mu\text{m}$ 以上あればさびの発生はみられなかった。
- ②ジンクリッチ塗膜が単独の時は白さびは膜厚に関わらず発生したが、膜厚が厚くなるとともに赤さびの発生が少なくなり、 $50\mu\text{m}$ では赤さびの発生がみられなかった。
- ③無機ジンクリッチ塗膜と厚膜形エポキシ塗膜とを組み合わせた塗装系では、エポキシ塗膜の膜厚が $15\mu\text{m}$ では十分な遮蔽効果を持たず、エポキシ塗膜の上で白さびがみられ、赤さびが発生しているものもあった。エポキシ膜が白さび、赤さびともになく十分な遮蔽効果をもつ膜厚は8週間では $35\mu\text{m}$ だったが、16週間では $90\mu\text{m}$ だった。
- ④有機ジンクリッチペイントと無機ジンクリッチペイントとの差、厚膜形エポキシと超厚膜形エポキシとの差はともにみられなかった。

2) インピーダンスによる測定から次のことが分かった。

- ①エポキシ塗膜単独では塗膜厚が小さいと塗膜抵抗が初期に低下した。膜厚が $100\mu\text{m}$ 以上では抵抗の低下はみられなかった。
- ②ジンクリッチ塗膜単独のときは、膜厚 $20\mu\text{m}$ 以上では塩水噴霧での試験期間とともに塗膜抵抗が大きくなった。但し、膜厚 $10\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ では抵抗値が低下した。
- ③無機ジンクリッチペイントと厚膜形エポキシ塗膜とを組み合わせた塗装系ではエポキシ塗膜が $35\mu\text{m}$ 以上で塗膜抵抗が高く低下もみられなかった。エポキシ塗膜 $15\mu\text{m}$ では塗膜抵抗の低下がみられた。
- ④有機ジンクリッチペイントと無機ジンクリッチペイントとの差、厚膜形エポキシと超厚膜形エポキシとの差はみられなかった。

3) 沖縄での暴露4ヶ月の結果から次のことが分かった。

- ①エポキシ塗膜単独では $20\mu\text{m}$ 以下では赤さびの発生がみられたが、 $40\mu\text{m}$ 以上ではさびはみられなかった。
- ②ジンクリッチ塗膜単独のときは、膜厚に関わらず白さびは発生したが、赤さびはみられなかった。
- ③無機ジンクリッチ塗膜と厚膜形エポキシ塗膜とを組み合わせた塗装系では、エポキシ塗膜の膜厚が $25\mu\text{m}$ 以下では白さびがみられ、 $35\mu\text{m}$ 以上ではさびはみられなかった。

以上のように沖縄暴露の結果は塩水噴霧試験と同様の傾向がみられた。

- ④塗膜の付着力の測定からは特に劣化等は観察されなかった。

以上により、無機ジンクリッチ塗膜と厚膜形エポキシ塗膜との塗装系において、膜厚を変えて塩水噴霧試験することが促進試験方法となる可能性があることが分かった。

表-4.17 塗装系

塗装系 No.	第1層		第2層	
A-1	—		超厚膜形エポキシ樹脂塗料	50 μ m
A-2	—		超厚膜形エポキシ樹脂塗料	100 μ m
A-3	—		超厚膜形エポキシ樹脂塗料	200 μ m
A-4	—		超厚膜形エポキシ樹脂塗料	500 μ m
A-5	—		超厚膜形エポキシ樹脂塗料	2500 μ m
A-6	有機ジンクリッチペイント	10 μ m	—	
A-7	有機ジンクリッチペイント	10 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	50 μ m
A-8	有機ジンクリッチペイント	10 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	100 μ m
A-9	有機ジンクリッチペイント	10 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	200 μ m
A-10	有機ジンクリッチペイント	10 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	500 μ m
A-11	有機ジンクリッチペイント	10 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	2500 μ m
A-12A	有機ジンクリッチペイント	20 μ m	—	
A-13	有機ジンクリッチペイント	20 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	100 μ m
A-14	有機ジンクリッチペイント	20 μ m	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	2500 μ m

表-4.18 塗装系

塗装系 No.	第 1 層	第 2 層
B-1	—	厚膜形エポキシ樹脂塗料 20 μ m
B-2	—	厚膜形エポキシ樹脂塗料 40 μ m
B-3	—	厚膜形エポキシ樹脂塗料 60 μ m
B-4	—	厚膜形エポキシ樹脂塗料 120 μ m
B-5	厚膜形無機ジンクリッチペイント 10 μ m	—
B-6	厚膜形無機ジンクリッチペイント 10 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 20 μ m
B-7	厚膜形無機ジンクリッチペイント 10 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 40 μ m
B-8	厚膜形無機ジンクリッチペイント 10 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 60 μ m
B-9	厚膜形無機ジンクリッチペイント 10 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 120 μ m
B-10	厚膜形無機ジンクリッチペイント 20 μ m	—
B-11	厚膜形無機ジンクリッチペイント 20 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 120 μ m
B-12A	厚膜形無機ジンクリッチペイント 50 μ m	—
B-13	厚膜形無機ジンクリッチペイント 50 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 20 μ m
B-14	厚膜形無機ジンクリッチペイント 75 μ m	—
B-15	厚膜形無機ジンクリッチペイント 75 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 20 μ m
B-16	厚膜形無機ジンクリッチペイント 75 μ m	厚膜形エポキシ樹脂塗料 120 μ m

標準塗装系 (C-1) : 長ばくエッチングプライマー 15 μ m / 鉛系さび止めペイント 1 種 35 μ m $\times$ 2
 / 長油性フタル酸樹脂塗料中塗 30 μ m / 長油性フタル酸樹脂塗料上塗 25 μ m

表-4-19 インピーダンス測定結果

No.	膜厚 μm			インピーダンス	初期	SST 2W	SST 4W	SST 6W	SST 8W	SST 16W
	1層	2層	合計							
A-1		120	120	抵抗 (Ω)	7.0×10^6	8.6×10^6	4.0×10^6	7.4×10^6	3.7×10^6	1.6×10^6
				容量 (F)	4.1×10^{-10}	3.9×10^{-10}	3.8×10^{-10}	3.9×10^{-10}	4.9×10^{-10}	5.2×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.047	0.047	0.086	0.055	0.089	0.310
A-2		140	140	抵抗 (Ω)	1.3×10^7	1.3×10^7	5.9×10^6	1.0×10^7	4.8×10^6	4.9×10^6
				容量 (F)	3.1×10^{-10}	2.8×10^{-10}	2.9×10^{-10}	2.9×10^{-10}	3.3×10^{-10}	3.0×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.034	0.036	0.094	0.054	0.097	0.110
A-3		130	130	抵抗 (Ω)	6.2×10^6	6.7×10^6	3.7×10^6	7.5×10^6	3.9×10^6	6.6×10^4
				容量 (F)	3.6×10^{-10}	3.8×10^{-10}	3.9×10^{-10}	3.7×10^{-10}	4.3×10^{-10}	8.4×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.069	0.061	0.110	0.056	0.096	2.900
A-4		420	420	抵抗 (Ω)	2.6×10^7	5.8×10^7	8.2×10^6	1.4×10^7	9.2×10^6	7.0×10^6
				容量 (F)	1.3×10^{-10}	4.4×10^{-11}	1.5×10^{-10}	1.5×10^{-10}	1.5×10^{-10}	1.6×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.047	0.062	0.130	0.078	0.110	0.140
A-5		1900	1900	抵抗 (Ω)	1.1×10^8	6.4×10^7	5.2×10^7	4.1×10^7	2.8×10^7	4.8×10^7
				容量 (F)	3.7×10^{-11}	4.5×10^{-11}	4.6×10^{-11}	4.5×10^{-11}	5.5×10^{-11}	1.5×10^{-11}
				$\tan \delta$	0.038	0.056	0.067	0.086	0.100	0.220
A-6	15		15	抵抗 (Ω)	1.1×10^1	1.1×10^2	3.8×10^1	2.1×10^1	1.1×10^1	
				容量 (F)	9.3×10^{-5}	2.3×10^{-7}	7.6×10^{-7}	5.5×10^{-5}	1.1×10^{-4}	
				$\tan \delta$	11.000	6.000	5.300	7.200	8.400	
A-7	15	95	110	抵抗 (Ω)	6.7×10^6	9.1×10^6	4.3×10^6	8.8×10^6	4.0×10^6	3.0×10^6
				容量 (F)	4.5×10^{-10}	3.6×10^{-10}	3.8×10^{-10}	3.0×10^{-10}	4.1×10^{-10}	3.0×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.053	0.048	0.097	0.056	0.097	0.170
A-8	15	120	135	抵抗 (Ω)	9.2×10^6	8.6×10^6	3.9×10^6	7.4×10^6	3.4×10^6	
				容量 (F)	3.6×10^{-10}	3.9×10^{-10}	3.8×10^{-10}	3.3×10^{-10}	4.5×10^{-10}	
				$\tan \delta$	0.046	0.045	0.110	0.063	0.110	
A-9	15	130	145	抵抗 (Ω)	7.8×10^6	8.5×10^6	4.1×10^6	9.3×10^6	3.1×10^6	2.0×10^6
				容量 (F)	3.3×10^{-10}	3.4×10^{-10}	3.6×10^{-10}	2.8×10^{-10}	4.3×10^{-10}	5.1×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.059	0.059	0.100	0.061	0.120	0.160
A-10	15	400	415	抵抗 (Ω)	2.2×10^7	1.7×10^7	7.8×10^6	1.6×10^7	9.6×10^6	7.3×10^6
				容量 (F)	1.4×10^{-10}	1.4×10^{-10}	1.7×10^{-10}	1.3×10^{-10}	1.6×10^{-10}	1.8×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.054	0.052	0.120	0.074	0.099	0.120
A-11	15	2200	2215	抵抗 (Ω)	1.6×10^8	7.7×10^7	4.7×10^7	8.1×10^7	2.7×10^7	
				容量 (F)	3.2×10^{-11}	4.2×10^{-11}	4.3×10^{-11}	3.9×10^{-11}	5.2×10^{-11}	
				$\tan \delta$	0.030	0.049	0.079	0.051	0.120	
A-12	20		20	抵抗 (Ω)	2.0×10^1	1.6×10^2	2.5×10^2	7.9×10^1	3.1×10^1	
				容量 (F)	3.7×10^{-5}	7.1×10^{-8}	1.1×10^{-7}	3.7×10^{-7}	4.1×10^{-5}	
				$\tan \delta$	4.600	0.140	5.800	5.200	7.900	
A-13	20	110	130	抵抗 (Ω)	9.9×10^6	1.0×10^7	4.1×10^6	5.6×10^6	3.0×10^6	
				容量 (F)	3.5×10^{-10}	3.7×10^{-10}	3.5×10^{-10}	3.8×10^{-10}	4.4×10^{-10}	
				$\tan \delta$	0.045	0.040	0.110	0.078	0.120	
A-14	20	2200	2220	抵抗 (Ω)	1.5×10^8	6.7×10^7	3.9×10^7	4.5×10^7	2.6×10^7	
				容量 (F)	3.7×10^{-10}	4.2×10^{-11}	4.7×10^{-11}	4.3×10^{-11}	5.2×10^{-11}	
				$\tan \delta$	0.029	0.057	0.086	0.082	0.120	

注) WG-4 STEP-2 インピーダンスデータ SST 2W毎に
24hrs. 3%食塩水に浸漬して測定 (面積: $9\text{cm}^2/1\text{KHz}$)

表-4-20 インピーダンス測定結果

No.	膜厚 μm			インピーダンス	初期	SST 2W	SST 4W	SST 6W	SST 8W	SST 16W
	1層	2層	合計							
B-1		20	20	抵抗 (Ω)	9.2×10^4	2.5×10^3	4.1×10^3	6.2×10^3	1.9×10^3	
				容量 (F)	3.1×10^{-9}	1.8×10^{-8}	1.6×10^{-8}	1.3×10^{-8}	2.5×10^{-8}	
				$\tan \delta$	0.550	3.500	2.500	1.900	3.300	
B-2		40	40	抵抗 (Ω)	1.0×10^6	1.0×10^4	2.9×10^4	1.6×10^4	1.8×10^4	
				容量 (F)	1.3×10^{-9}	7.4×10^{-9}	4.4×10^{-9}	7.0×10^{-9}	7.7×10^{-9}	
				$\tan \delta$	0.110	2.100	1.300	1.400	1.200	
B-3		45	45	抵抗 (Ω)	1.1×10^6	1.0×10^4	3.0×10^4	2.1×10^4	2.9×10^4	
				容量 (F)	1.3×10^{-9}	4.5×10^{-9}	4.4×10^{-9}	6.1×10^{-9}	6.0×10^{-9}	
				$\tan \delta$	0.110	2.000	1.200	1.300	0.920	
B-4		110	110	抵抗 (Ω)	4.6×10^6	2.2×10^6	1.9×10^6	1.9×10^6	1.8×10^6	1.0×10^6
				容量 (F)	3.9×10^{-10}	4.4×10^{-10}	5.0×10^{-10}	4.5×10^{-10}	5.2×10^{-10}	5.1×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.088	0.160	0.170	0.180	0.170	0.310
B-5	10		10	抵抗 (Ω)	2.0×10^1	1.1×10^2	2.2×10^2	1.3×10^2	3.7×10^1	
				容量 (F)	3.3×10^{-5}	6.3×10^{-7}	3.4×10^{-7}	3.1×10^{-7}	5.1×10^{-7}	
				$\tan \delta$	4.100	1.800	2.200	3.800	8.300	
B-6	10	25	35	抵抗 (Ω)	4.3×10^4	6.4×10^4	9.5×10^4	5.1×10^3	3.9×10^3	
				容量 (F)	5.1×10^{-9}	5.6×10^{-9}	3.5×10^{-9}	7.7×10^{-9}	1.2×10^{-8}	
				$\tan \delta$	0.720	0.440	0.480	4.000	3.400	
B-7	10	35	45	抵抗 (Ω)	8.6×10^5	2.4×10^5	3.7×10^5	2.6×10^5	2.5×10^5	1.8×10^5
				容量 (F)	1.6×10^{-9}	2.8×10^{-9}	2.1×10^{-9}	2.9×10^{-9}	3.0×10^{-9}	3.1×10^{-9}
				$\tan \delta$	0.110	0.240	0.200	0.210	0.220	0.290
B-8	10	45	55	抵抗 (Ω)	1.2×10^6	2.5×10^5	2.5×10^5	1.1×10^5	1.5×10^5	1.5×10^3
				容量 (F)	1.2×10^{-9}	3.0×10^{-9}	2.3×10^{-9}	3.5×10^{-9}	3.6×10^{-9}	1.5×10^{-8}
				$\tan \delta$	0.110	0.210	0.280	0.240	0.290	7.000
B-9	10	90	100	抵抗 (Ω)	3.3×10^6	2.2×10^6	1.8×10^6	1.9×10^6	1.5×10^6	1.6×10^6
				容量 (F)	5.3×10^{-10}	4.7×10^{-10}	5.1×10^{-10}	5.0×10^{-10}	6.3×10^{-10}	5.9×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.092	0.150	0.170	0.170	0.170	0.170
B-10	20		20	抵抗 (Ω)	1.4×10^1	5.5×10^1	1.6×10^2	4.4×10^2	5.7×10^2	1.0×10^2
				容量 (F)	1.4×10^{-4}	1.2×10^{-6}	5.9×10^{-7}	3.0×10^{-7}	2.3×10^{-7}	1.4×10^{-7}
				$\tan \delta$	0.120	1.100	1.700	1.200	1.200	11.000
B-11	20	15	35	抵抗 (Ω)	2.4×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	1.7×10^3	2.7×10^3	
				容量 (F)	1.8×10^{-8}	3.6×10^{-8}	3.4×10^{-8}	2.2×10^{-8}	1.5×10^{-8}	
				$\tan \delta$	3.800	4.300	4.500	4.300	3.900	
B-12	35		35	抵抗 (Ω)	1.2×10^1	2.7×10^1	1.1×10^2	2.6×10^2	4.4×10^2	9.5×10^2
				容量 (F)		1.5×10^{-5}	6.7×10^{-7}	3.8×10^{-7}	2.3×10^{-7}	1.1×10^{-7}
				$\tan \delta$		2.500	1.700	1.600	1.500	1.500
B-13	35	15	50	抵抗 (Ω)	7.0×10^1	3.9×10^2	1.1×10^3	1.9×10^3	3.1×10^3	5.6×10^3
				容量 (F)	1.8×10^{-7}	1.4×10^{-7}	7.7×10^{-8}	4.8×10^{-8}	3.5×10^{-8}	2.2×10^{-8}
				$\tan \delta$	0.130	3.000	1.900	1.800	1.500	1.300
B-14	50		50	抵抗 (Ω)	1.2×10^1	2.7×10^1	6.6×10^1	2.9×10^2	5.5×10^2	1.3×10^3
				容量 (F)		1.5×10^{-5}	9.9×10^{-7}	3.4×10^{-7}	1.8×10^{-7}	8.5×10^{-8}
				$\tan \delta$		2.700	1.900	1.600	1.600	1.400
B-15	50	15	65	抵抗 (Ω)	7.4×10^1	7.0×10^2	2.0×10^3	3.0×10^3	3.8×10^3	4.8×10^2
				容量 (F)	2.4×10^{-7}	1.5×10^{-7}	6.4×10^{-8}	4.2×10^{-8}	3.1×10^{-8}	2.0×10^{-9}
				$\tan \delta$	8.900	1.600	1.300	1.300	1.400	160.000
B-16	50	95	145	抵抗 (Ω)	4.8×10^6	1.7×10^6	1.4×10^6	1.3×10^6	1.1×10^6	1.1×10^6
				容量 (F)	4.1×10^{-10}	6.0×10^{-10}	6.3×10^{-10}	6.4×10^{-10}	7.8×10^{-10}	7.5×10^{-10}
				$\tan \delta$	0.081	0.160	1.800	0.190	0.190	0.190
C-1			140	抵抗 (Ω)	2.2×10^6	1.6×10^6	7.6×10^5	1.1×10^6	9.9×10^5	3.6×10^3
				容量 (F)	6.3×10^{-10}	1.1×10^{-9}	1.7×10^{-9}	1.5×10^{-9}	1.8×10^{-9}	7.9×10^{-9}
				$\tan \delta$	0.110	0.093	0.120	0.097	0.090	5.600

注) WG-4 STEP-2 インピーダンスデータ SST 2W毎に
24hrs. 3%食塩水に浸漬して測定 (面積: $9\text{cm}^2/1\text{kHz}$)

表-4・21 付着性評価結果

No.	膜厚 (μm)			初期			8W			16W		
	1層	2層	合計	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均
A-1		120	120	4.2	3.8	4.0	4.5	5.5	5.0	2.0	1.5	1.8
A-2		140	140	5.5	3.5	4.5	4.5	7.0	5.8	6.0	6.5	6.3
A-3		130	130	3.5	4.0	3.8	4.8	2.0	3.4	1.5	1.5	1.5
A-4		420	420	4.0	2.8	3.4	4.5	8.0	6.3	1.0	1.0	1.0
A-5		1900	1900	5.0	5.0	5.0	1.5	2.8	2.2	4.0	4.0	4.0
A-6	15		15	2.8	1.0	1.9	1.0	0.8	0.9			
A-7	15	95	100	2.0	3.0	2.5	3.0	8.0	5.5	3.0	3.5	3.3
A-8	15	120	135	3.0	3.2	3.1	0.8	0.7	0.8	1.0	1.5	1.3
A-9	15	130	145	3.5	3.0	3.3	1.5	0.8	1.2	1.0	1.0	1.0
A-10	15	400	415	2.5	1.8	2.2	3.0	7.0	5.0	1.0	1.0	1.0
A-11	15	2200	2215	3.5	4.0	3.8	6.0	4.2	5.1	5.5	5.0	5.3
A-12	20		20	0.5	0.5	0.5	1.8	1.0	1.4			
A-13	20	110	130	4.0	3.5	3.8	6.5	8.0	7.3	3.0	3.0	3.0
A-14	20	2200	2220	5.0	4.0	4.5	4.0	1.0	2.5	5.0	5.0	5.0
B-1		20	20	2.8	3.5	3.2	1.5	1.6	1.6			
B-2		40	40	3.2	3.5	3.4	2.5	2.0	2.3			
B-3		45	45	4.0	2.8	3.4	1.0	1.0	1.0			
B-4		110	110	2.5	3.5	3.0	4.5	6.0	5.3	7.0	7.0	7.0
B-5	10		10	3.5	3.0	3.3	0.8	0.5	0.7			
B-6	10	25	35	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	1.8
B-7	10	35	45	2.8	1.5	2.2	2.0	4.3	3.2	2.0	2.5	2.3
B-8	10	45	55	1.5	1.0	1.3	2.0	6.8	4.4	2.5	3.0	2.8
B-9	10	90	100	1.0	1.0	1.0	6.0	5.5	5.8	7.0	5.0	6.0
B-10	20		20	1.8	0.8	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
B-11	10	15	35	2.3	2.0	2.2	2.0	3.0	2.5	3.5	3.5	3.5
B-12	35		35	0.5	0.5	0.5	2.5	1.8	2.2	2.5	4.0	3.3
B-13	35	15	50	0.8	0.8	0.8	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	3.5
B-14	50		50	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	0.9	3.5	2.5	3.0
B-15	50	15	65	0.5	0.5	0.5	2.0	3.2	2.6	2.0	2.0	2.0
B-16	50	95	145	0.5	0.5	0.5	2.0	1.0	1.5	1.0	1.5	1.3
C-1			140	1.0	1.0	1.0	1.8	1.0	1.4	3.0	3.0	3.0

*) 付着力の単位はMPa

表-4・22 塩水噴霧試験後のさび発生

No.	膜厚 (μm)			8W		16W	
	1層	2層	合計	赤さび	白さび	赤さび	白さび
A-1		120	120	10	10	10	10
A-2		140	140	10	10	10	10
A-3		130	130	9	10	10	10
A-4		420	420	10	10	10	10
A-5		1900	1900	10	10	10	10
A-6	15		15	2	4		
A-7	15	95	100	10	10	10	10
A-8	15	120	135	10	10	10	10
A-9	15	130	145	10	10	10	10
A-10	15	400	415	10	10	10	10
A-11	15	2200	2215	10	10	10	10
A-12	20		20	5	3	2	4
A-13	20	110	130	10	10	10	10
A-14	20	2200	2220	10	10	10	10
B-1		20	20	1	10		
B-2		40	40	4	10		
B-3		45	45	5	10		
B-4		110	110	10	10	10	10
B-5	10		10	2	2	2	2
B-6	10	25	35	6	3	5	2
B-7	10	35	45	10	10	6	10
B-8	10	45	55	10	10	6	10
B-9	10	90	100	10	10	10	10
B-10	20		20	6	2	8	2
B-11	10	15	35	7	3	5	4
B-12	35		35	6	3	8	2
B-13	35	15	50	10	3	8	2
B-14	50		50	10	3	10	4
B-15	50	15	65	10	3	10	4
B-16	50	95	145	10	10	10	10
C-1			140	10	10	10	10

表-4・23 沖縄暴露試験4ヶ月後のさび発生

No.	膜厚 (μm)			4ヶ月	
	1層	2層	合計	赤さび	白さび
A-1		120	120	10	10
A-2		140	140	10	10
A-3		130	130	10	10
A-4		420	420	10	10
A-5		1900	1900	10	10
A-6	15		15	10	8
A-7	15	95	100	10	10
A-8	15	120	135	10	10
A-9	15	130	145	10	10
A-10	15	400	415	10	6
A-11	15	2200	2215	10	10
A-12	20		20	10	10
A-13	20	110	130	10	10
A-14	20	2200	2220	10	10
B-1		20	20	4	10
B-2		40	40	10	10
B-3		45	45	10	10
B-4		110	110	10	10
B-5	10		10	10	4
B-6	10	25	35	10	5
B-7	10	35	45	10	10
B-8	10	45	55	10	10
B-9	10	90	100	10	10
B-10	20		20	10	4
B-11	10	15	35	10	10
B-12	35		35	10	8
B-13	35	15	50	10	8
B-14	50		50	10	7
B-15	50	15	65	10	7
B-16	50	95	145	10	10
C-1			140	10	10

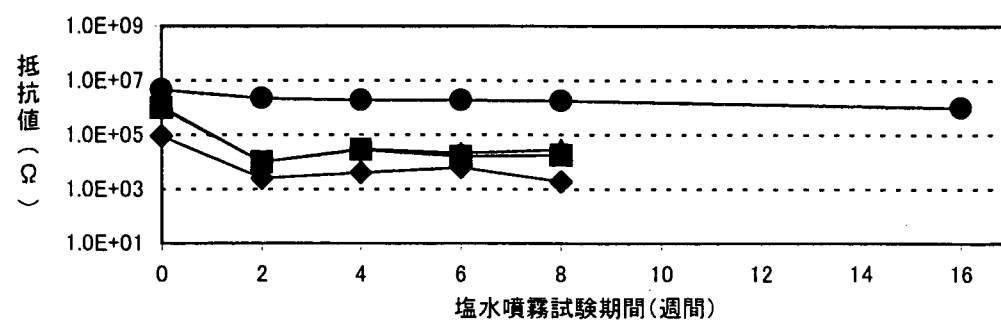
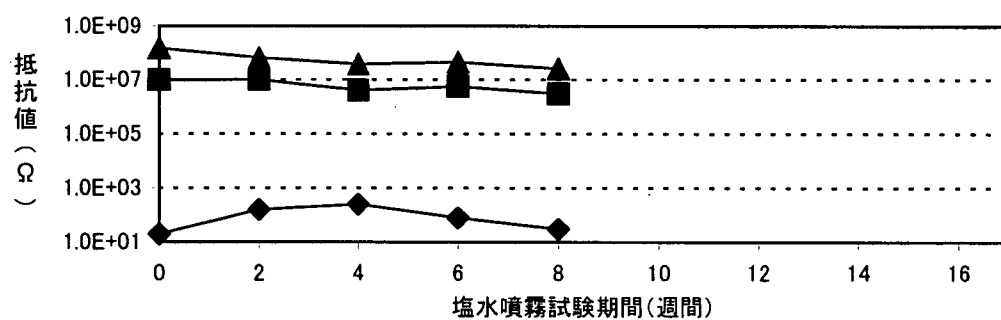
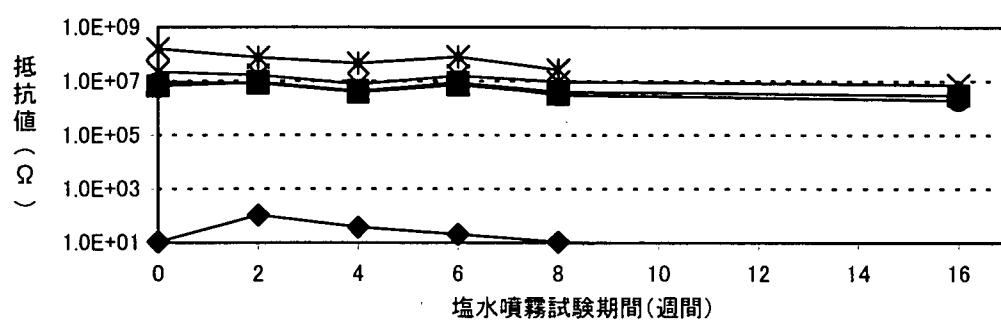
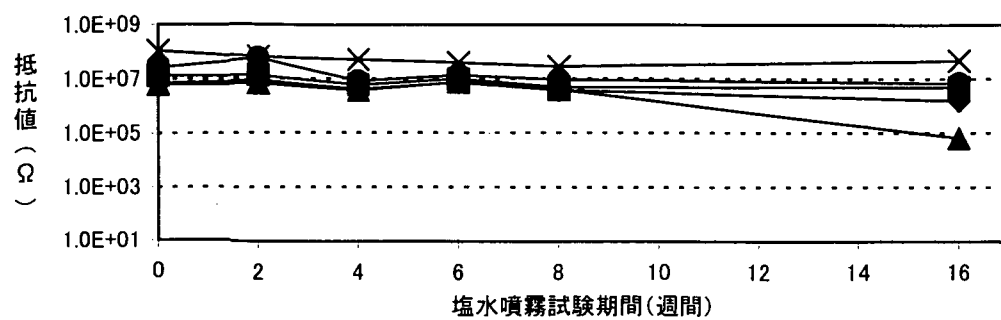


図-4.10 インピーダンス測定結果

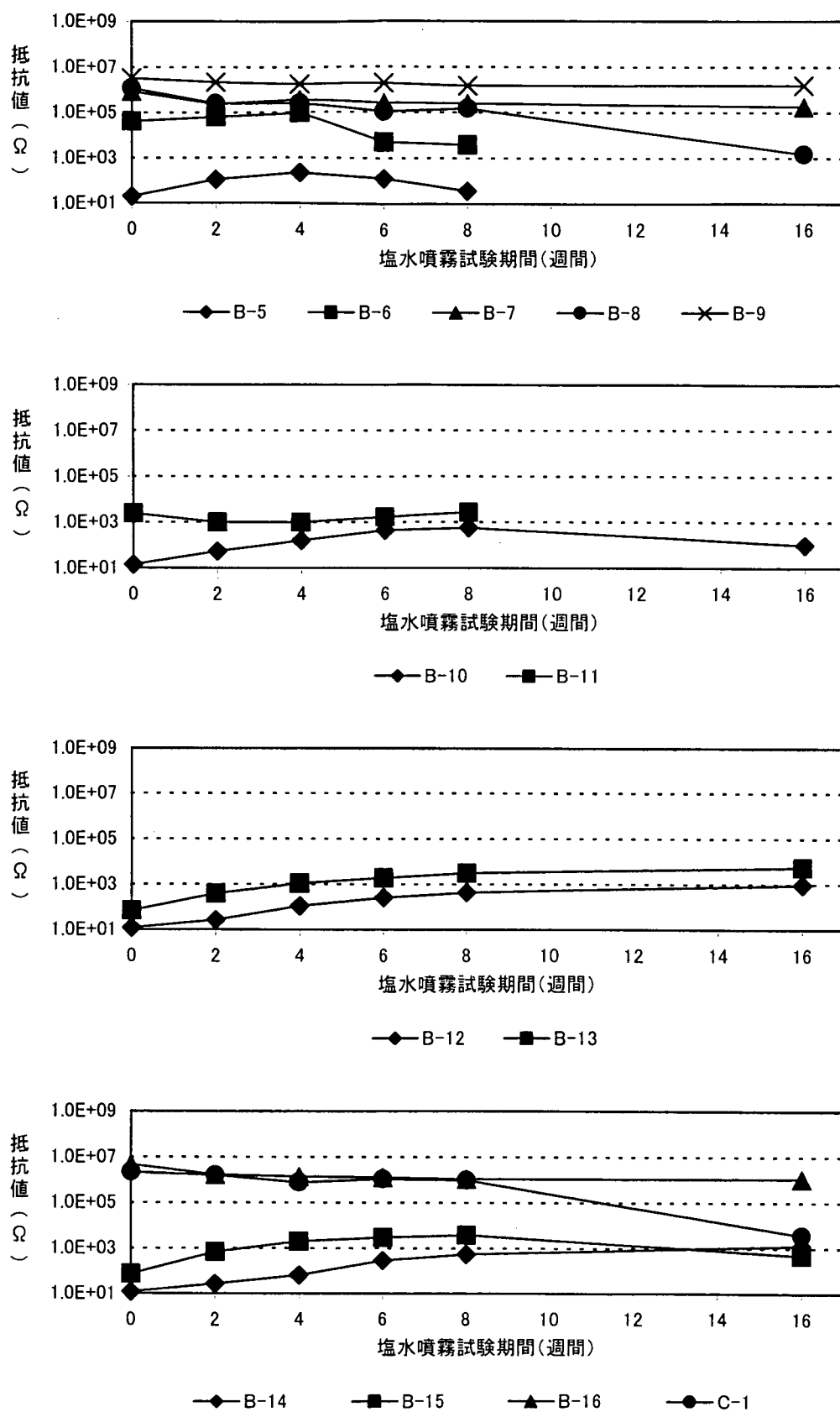


図-4.11 インピーダンス測定結果

赤さび

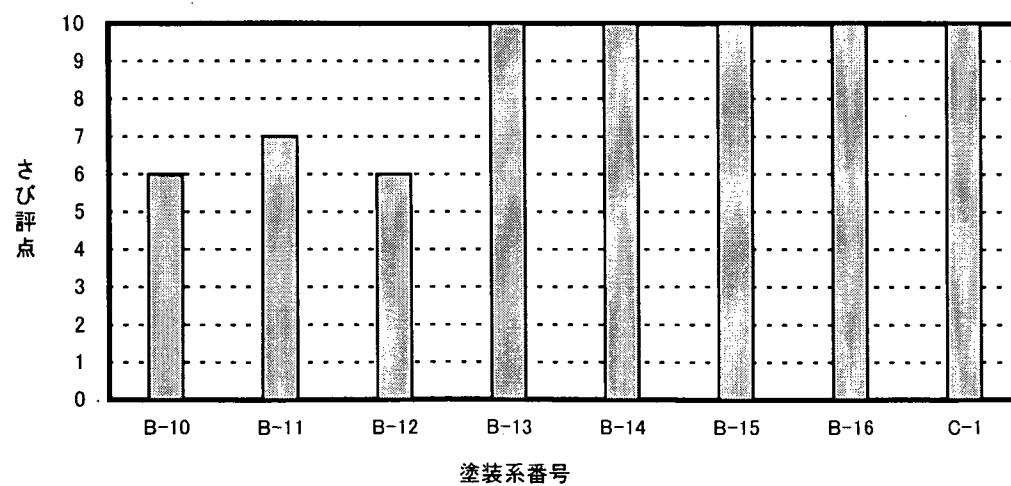
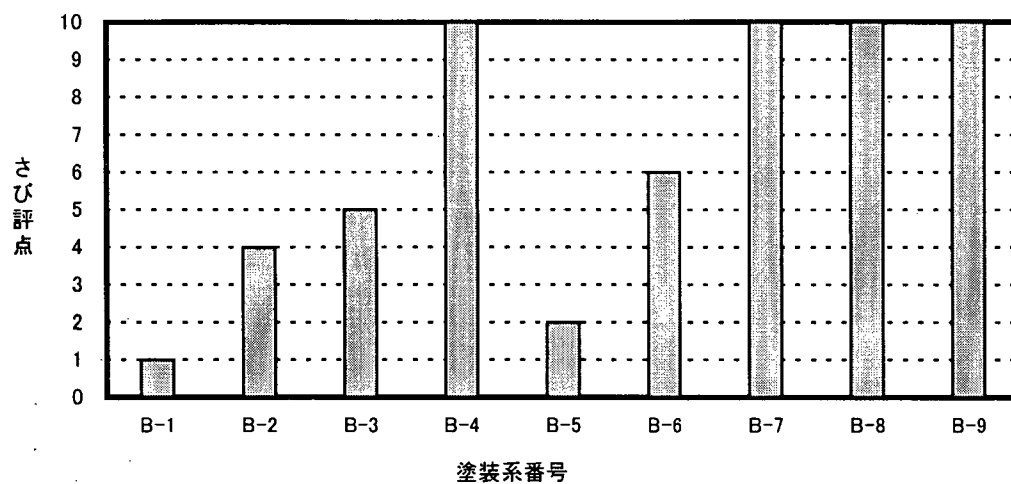
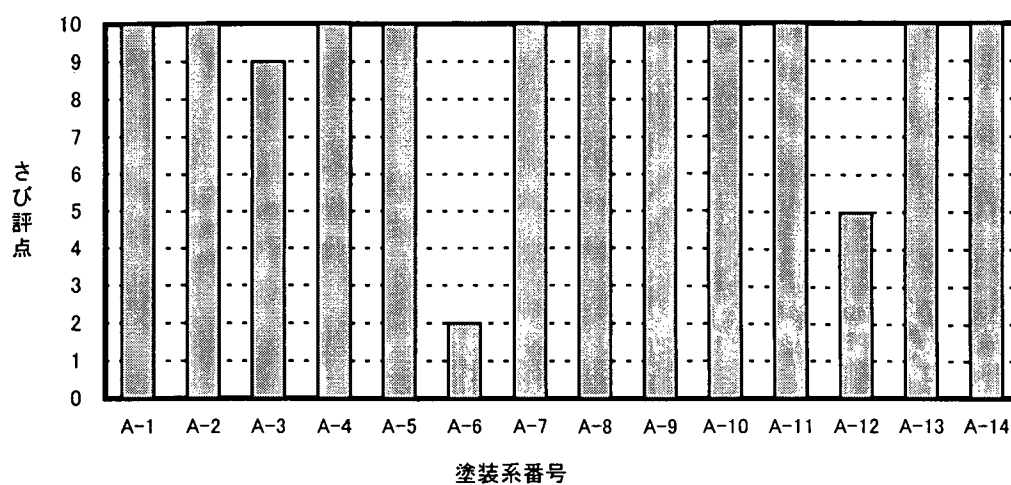


図-4・12 塩水噴霧試験8週間後の塗膜外観

白さび

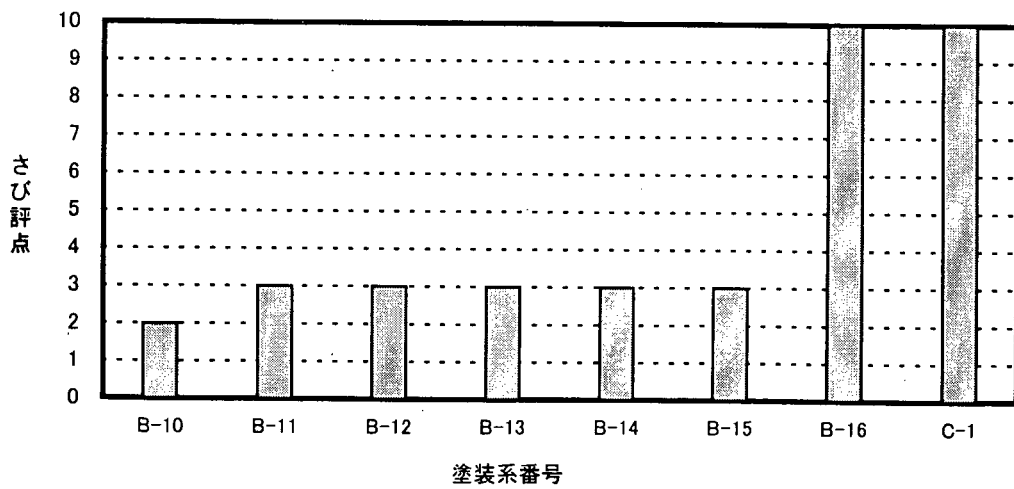
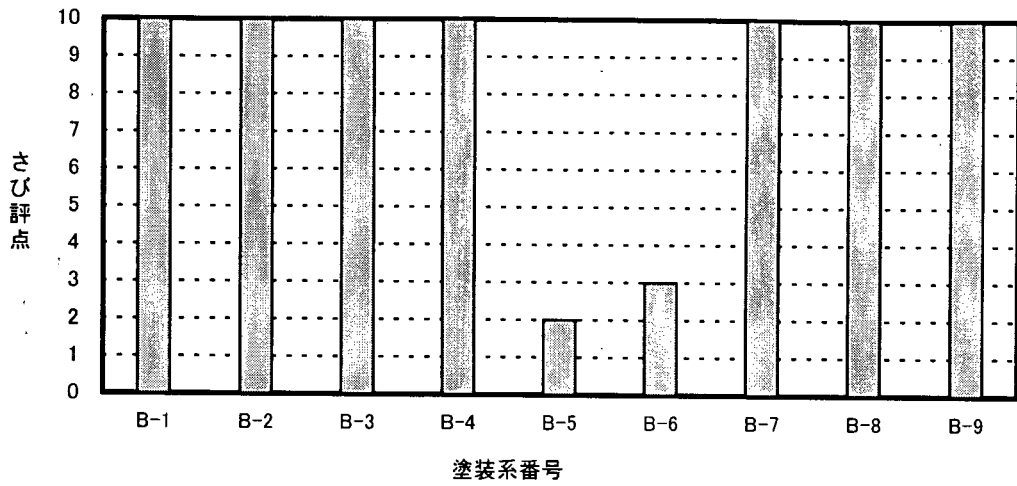
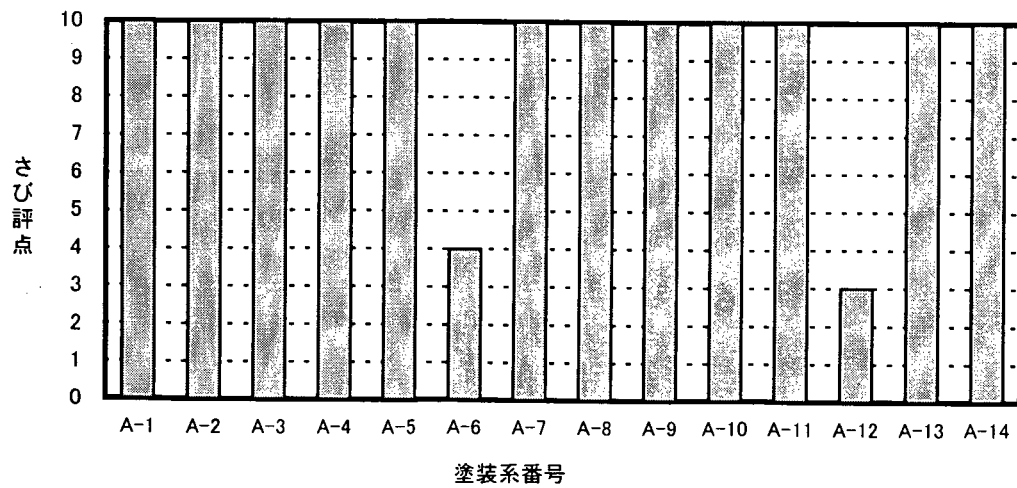


図-4.13 塩水噴霧試験8週間後の塗膜外観

赤さび

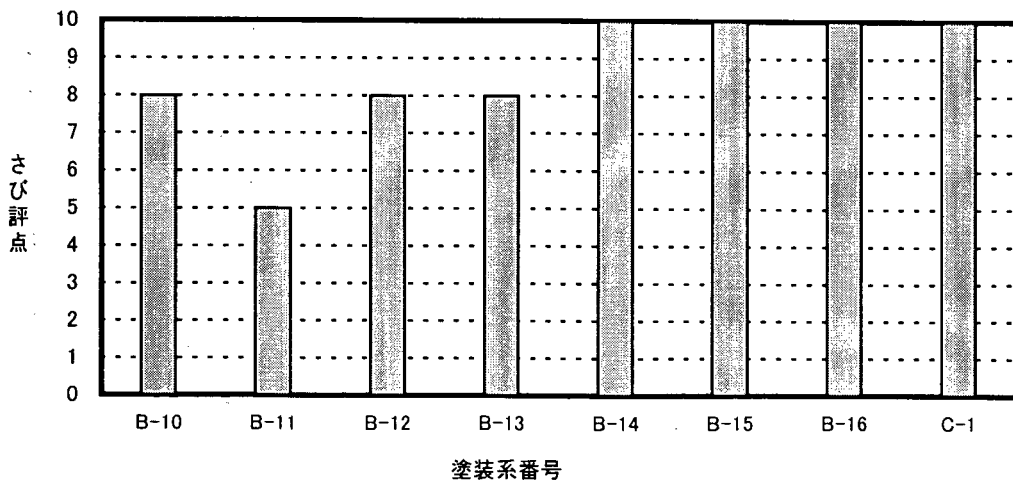
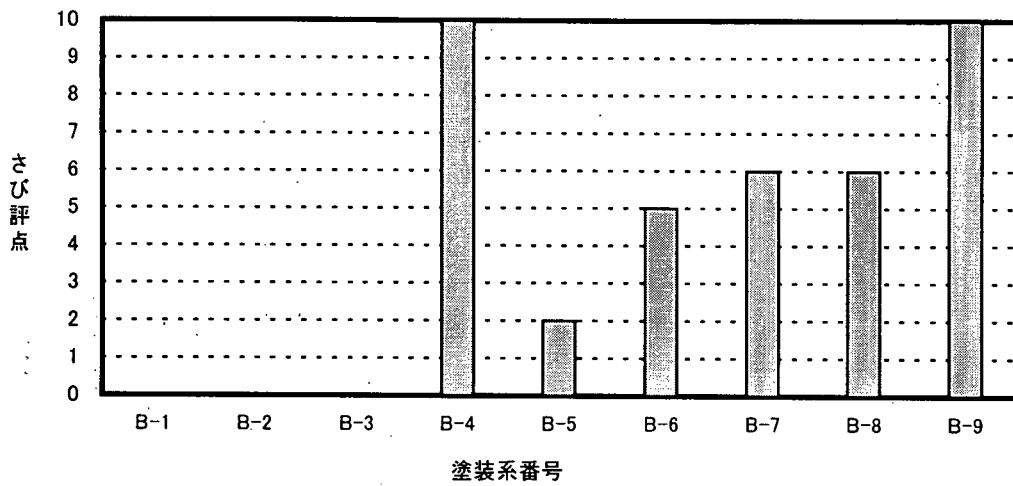
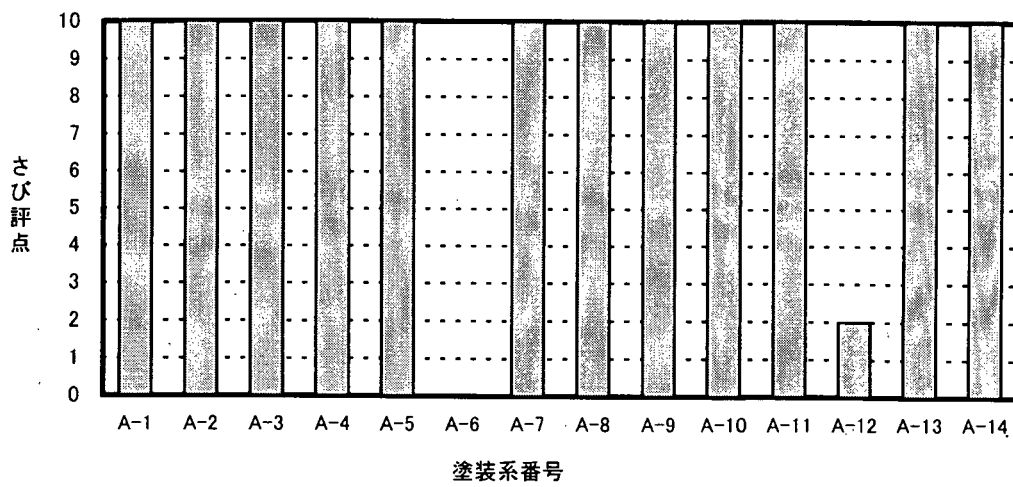


図-4-14 塩水噴霧試験16週間後の塗膜外観

白さび

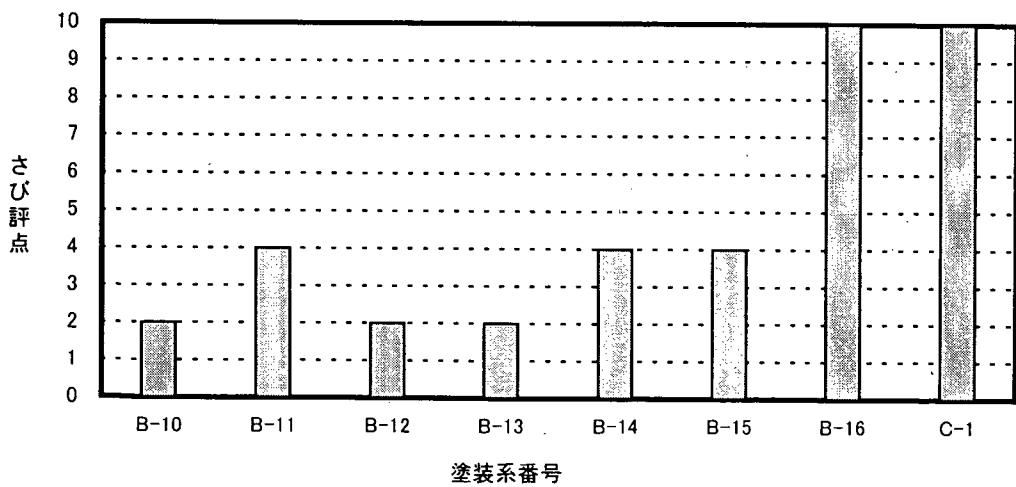
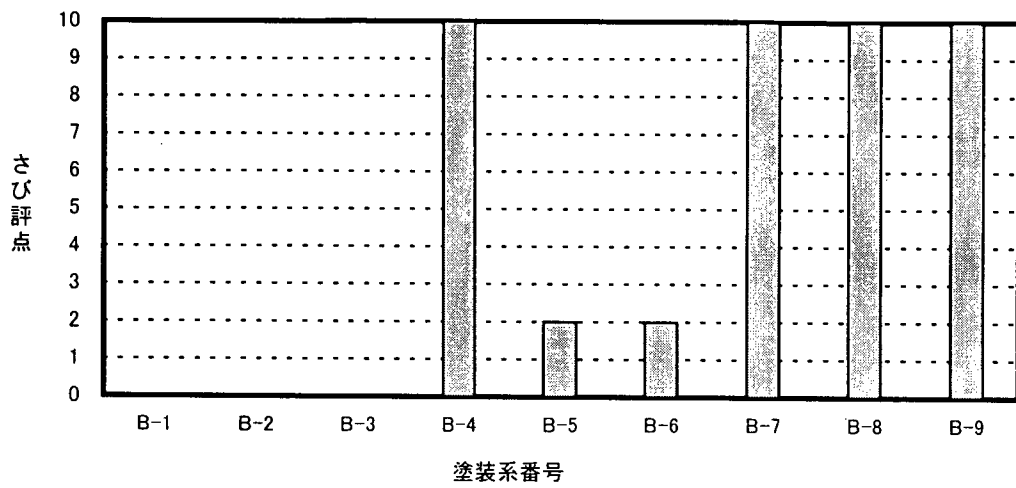
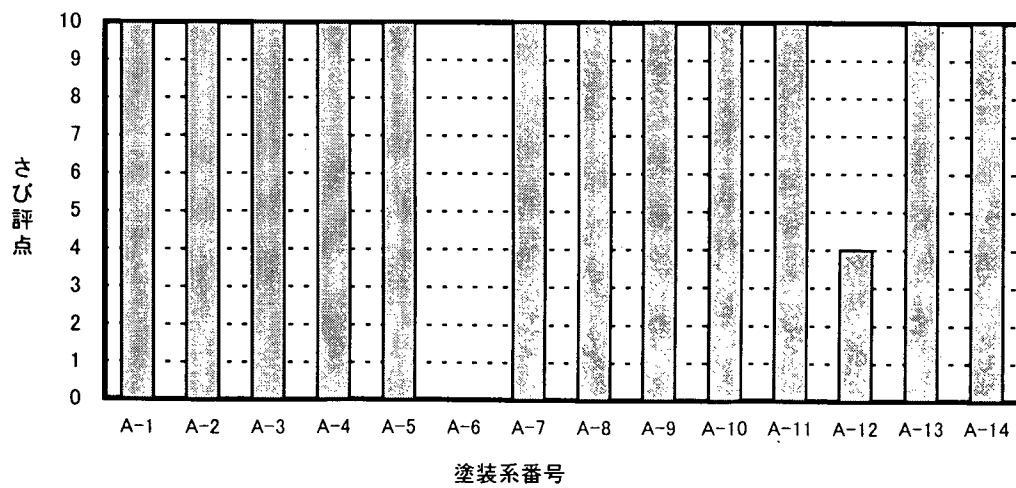


図-4・15 塩水噴霧試験16週間後の塗膜外観

赤さび

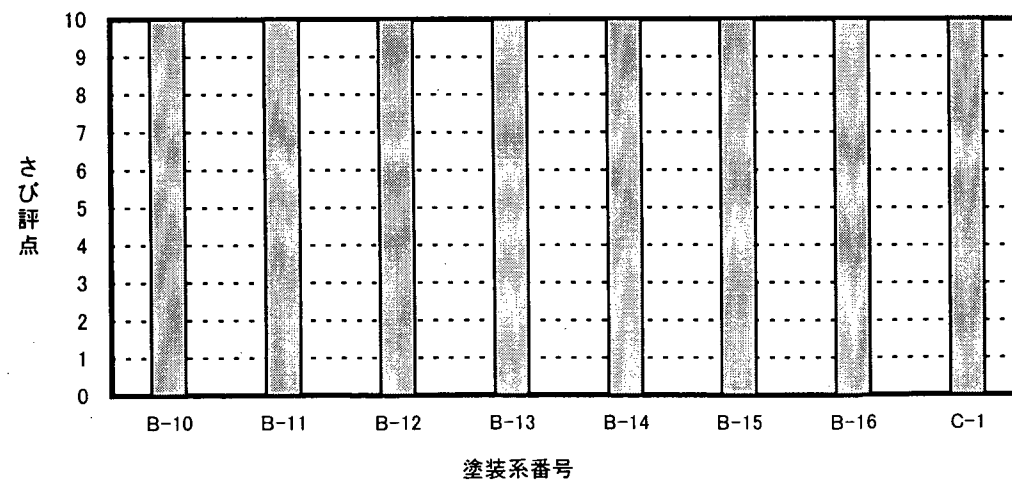
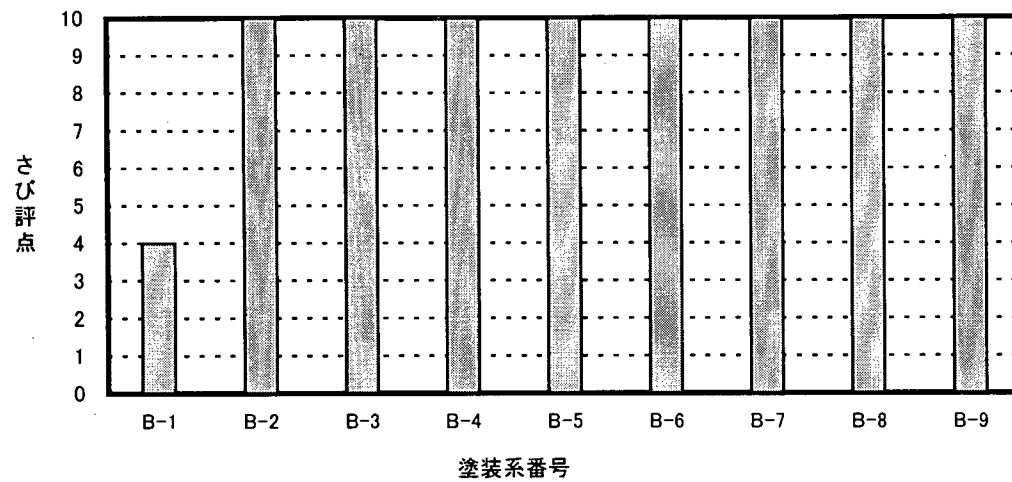
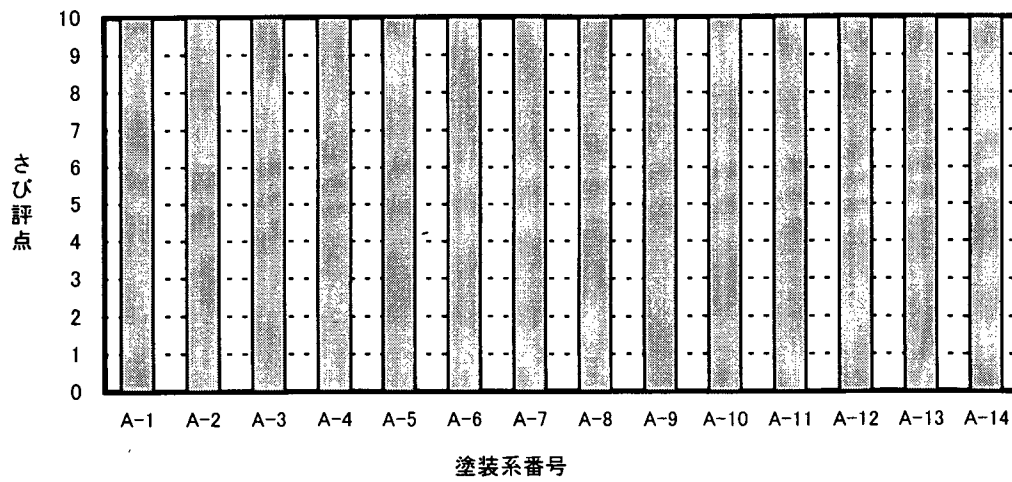


図-4-16 沖縄暴露4ヶ月後の塗膜外観

白さび

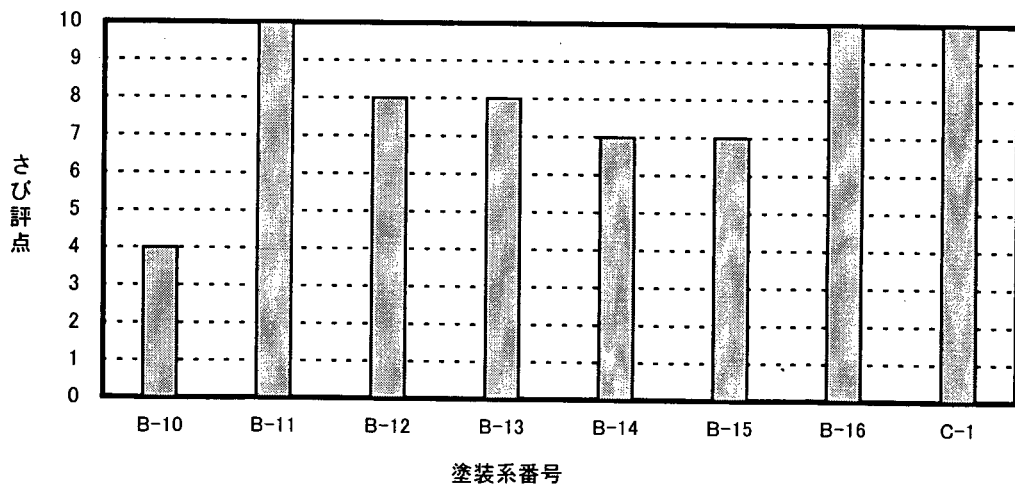
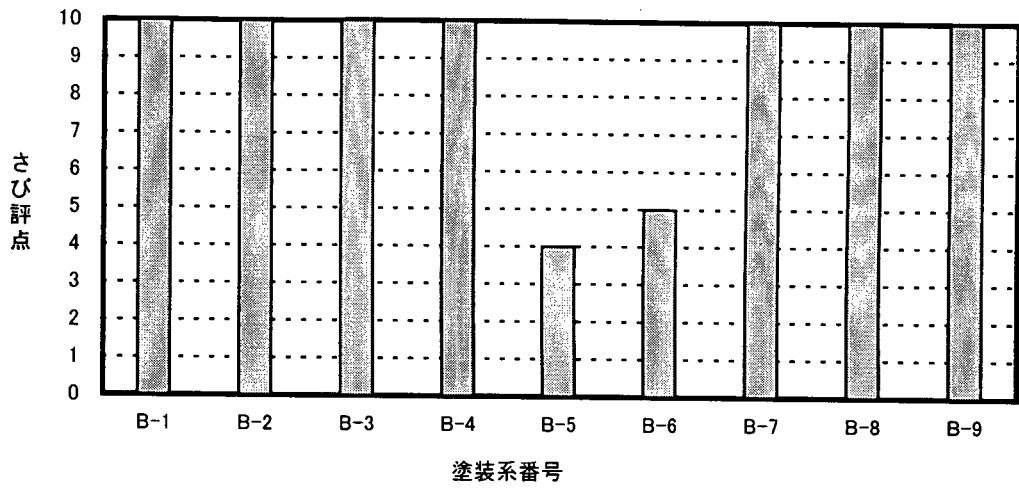
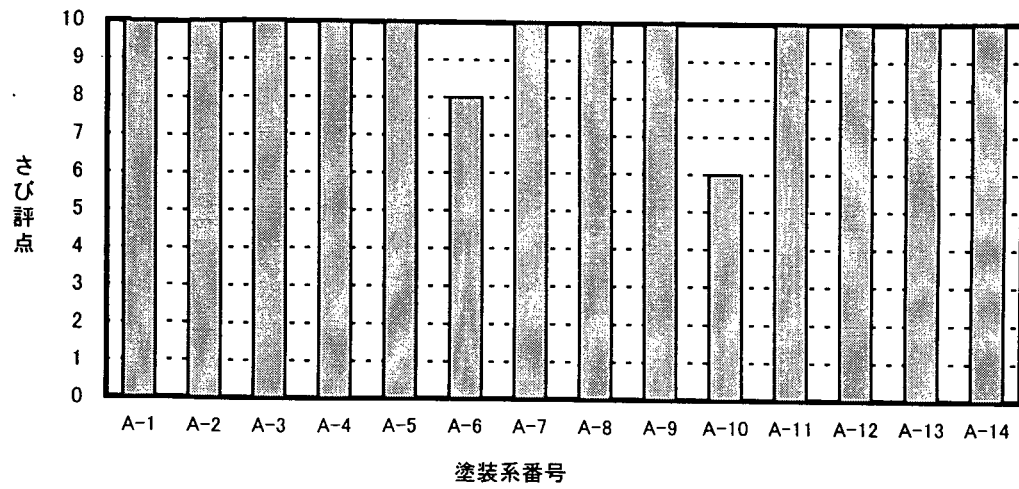


図-4.17 沖縄暴露4ヶ月後の塗膜外観

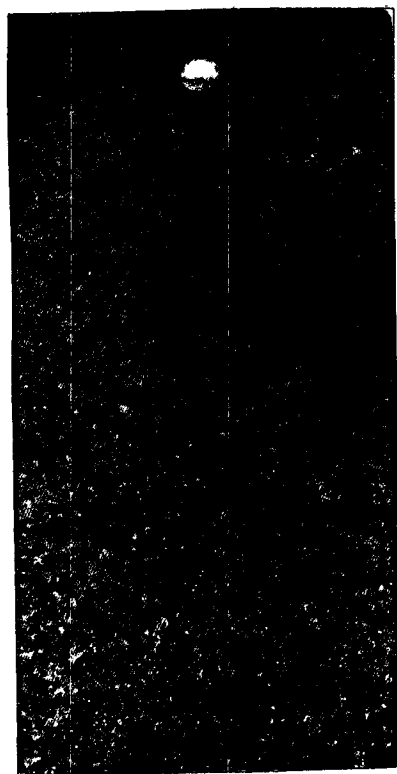
4. 4 まとめ

4. 4. 1 腐食促進試験

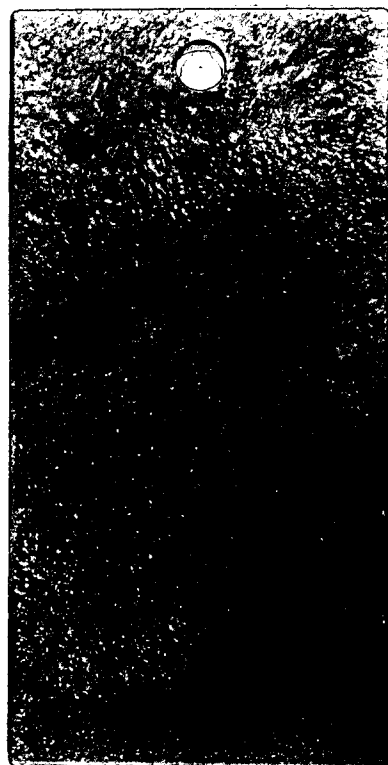
腐食促進試験法、評価法に関する従来の方法を調べるために文献調査を行った。その結果、 $100\mu\text{m}$ 程度の自動車用塗膜に関するサイクル試験がいくつか見られたが、本研究の $1000\sim 2500\mu\text{m}$ を対象としたサイクル腐食試験の例は見られなかった。そこで、このような超厚膜形塗装系に最も効果的な劣化要因、インターバルを調べるため、第1段階として、塩水噴霧、温度勾配浸漬、塩水浸漬、湿潤の各劣化促進要因と乾燥のサイクル試験を考え検討した。結果として、温度勾配／乾燥が唯一塗膜に欠陥のでた試験法であったが、この方法も標準のエポキシ塗装系よりも超厚膜形エポキシの方が悪く出るなど、必ずしも暴露と対応しないところがあった。以上から超厚膜形塗装系をそのまま評価することは困難と考えられ、第2段階として、このタイプの塗膜の防食機能はエポキシ塗膜の腐食性物質遮断性とジンクリッチペイントの犠牲防食作用であることに着目し、薄膜で塩水噴霧試験により評価する促進評価方法を検討した。沖縄暴露の結果と塩水噴霧の結果に相関性が認められることから、本試験法がジンクリッチペイント～エポキシ系の促進評価方法として使える可能性がある。

4. 4. 2 暴露試験

暴露試験に関しては、新設塗装系では、つくばおよび沖縄暴露10年後においても油性～フタル酸、油性～塩化ゴムの系以外はほとんど異状は認められなかったが、さび面に塗装した塗替塗装系では素地調整の条件を厳しくしたため、厳しい結果となった。ただしこのようなケースでも膜厚を $500\mu\text{m}$ 以上とすれば（変性エポキシ～超厚膜形エポキシ）良い結果が得られていることから、このような悪素地でも厚膜とすることの有効性が確認できた。また塗膜に傷が入った場合を考えると $1000\mu\text{m}$ 以上の超厚膜形エポキシ1回塗りでは塗膜硬化後の内部応力残留により傷部から塗膜はく離が起こる可能性があるため、 $300\sim 500\mu\text{m}$ 程度で塗装回数を増やす方が有効であると考えられる。



素地調整前



素地調整後

写真-4・2 さび鋼板

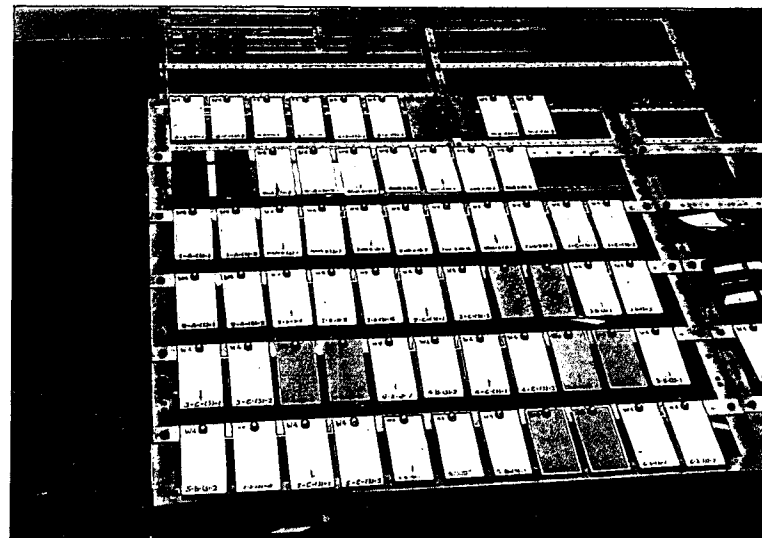
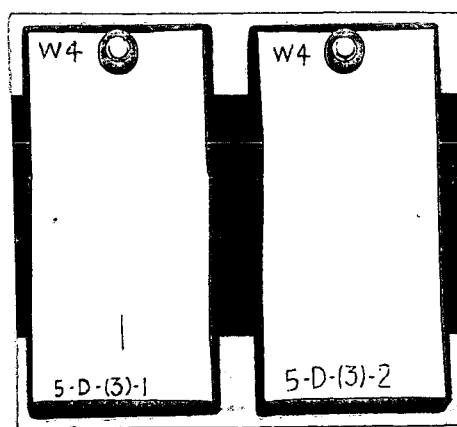
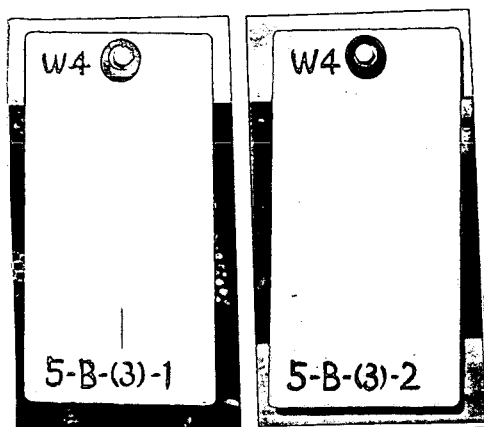


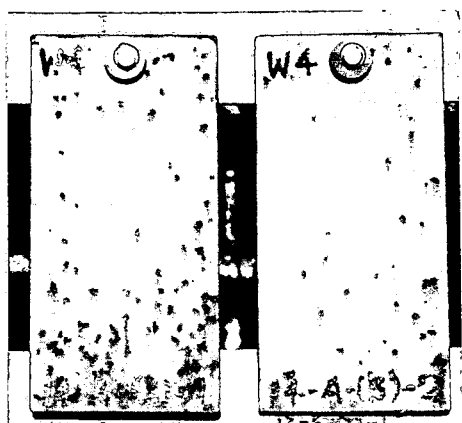
写真-4・3 つくば暴露10年後の状況



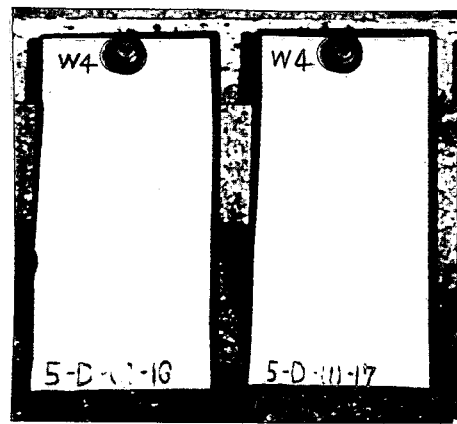
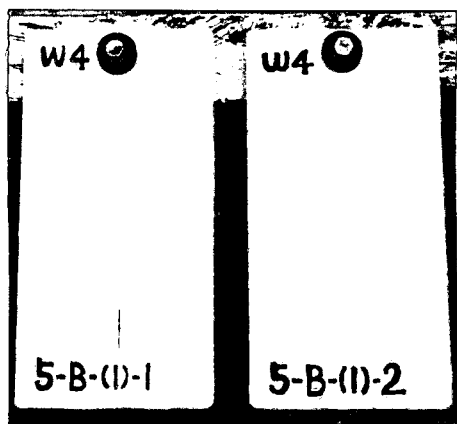
写真-4・4 沖縄暴露10年後の状況



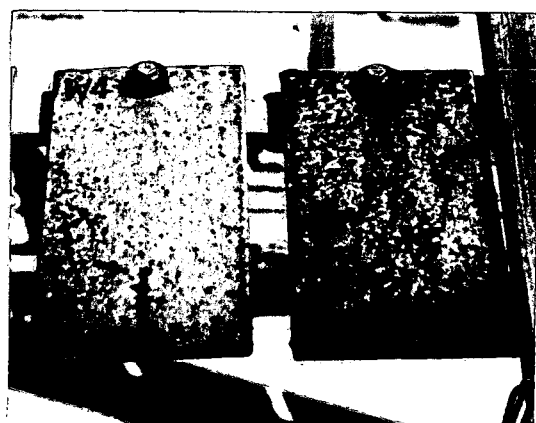
つくば10年後
No. 5系



つくば10年後
No. 14系



沖縄10年後
No. 5系



沖縄5年後
No. 14系
(撤去)

写真-4・5 暴露10年の試験片の状態

5. コンクリート保護に関する研究 (WG-5)

5. 1 研究の目的

生活大国5ヶ年計画(平成4年, 経済審議会)では、ゆとりや生活の豊かさへの要請に基づき、使い勝手がよく、美しく丈夫で維持しやすい社会資本の整備が求められている。一方、国民生活が豊かになるにつれ、人間の居住に直接関連する建設構造物と周辺環境との調和が求められるようになり、美的景観を考慮した都市計画が行われている。しかし、土木構造物については日常生活との関わり合いが建築に比べ少ないためか、土木構造物の美観、景観が問題として取り上げられることが少なかった。最近、社会的資産充実や国民の美意識の変化とともに、土木構造物の美観、景観の向上が要求され始めるようになってきた。

土木構造物の多くはコンクリート構造物である。コンクリート構造物はコンクリートであるがゆえ色彩が灰色の1種類であり、このため美的景観を損なったり、塩害やアルカリ骨材反応、中性化などさまざまな劣化要因により耐久性が低下する。よって、コンクリート構造物の美観、景観を向上させ、周辺環境と調和をはかったり、さまざまな劣化要因からコンクリート構造物を守るためには、コンクリート表面を塗装などにより被覆することが有効と思われる。

これを受けてWG-5では高耐久性被覆材料を用いてコンクリート土木構造物を被覆することにより長期にわたる景観維持が可能か、またその被覆仕様例えば下塗り・中塗り・上塗りの総合塗膜において長期にわたる保護機能・ひび割れ追従性を維持出来るかについて長期屋外暴露試験にて検証すると同時に促進評価法との相関性を確認することを目的に行った。

5. 2 研究の方法

本研究はコンクリート土木構造物を長期にわたり景観維持・保護する視点から、コンクリート用高耐久性被覆材料が高耐久性としてどの程度の位置付けにあるか性能を検証することにある。

コンクリート構造物は鋼構造物と異なり、硬化収縮や内部鉄筋の腐食等に伴いひび割れを生じ、これによりコンクリートの劣化が加速する傾向にある。そのため一般的な環境条件で、景観を重視する箇所については鋼構造物と同等の硬質形の仕上げ材が採用されるが、塩害やアルカリ骨材反応等でコンクリートひび割れが予想される厳しい環境条件の箇所については、保護機能重視の目的で中塗り・上塗りのシステムとして柔軟形のひび割れ追従機能を持たせている。WG-5ではこれらシステムに採用される柔軟形高耐久性被覆材についても高耐久性としてどの程度の位置付けにあるか検証する。そのため、仕上げ材について硬質形と柔軟形のグループに分けて試験を進めた。

試験方法は各官公庁規格や文献調査より高耐久性被覆材として適用される試験方法を選定し、長期屋外暴露試験および各種の屋内促進試験を実施した。以下にそれぞれの研究概要について詳細を記載する。

5. 2. 1 長期屋外暴露試験

高耐久性被覆材料を用いてコンクリートを被覆する場合、その被覆仕様例えば上塗・中塗・下塗の総合塗膜において、耐候性、ひび割れ追従性、耐汚染性等について実用性への検証を行うことを目的とする。

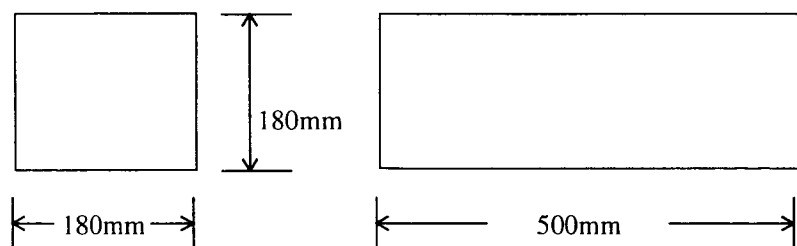
(1) 試験に用いるコンクリート供試体の材料・配合・強度・寸法について

コンクリート供試体は土木のPC橋梁を対象として、呼び強度 40MPa (400 kg f/cm^2)、スランプ 8 cm 程度のものとした。その配合を表-5.1 に、その 28 日養生圧縮強度を表-5.2 に示す。

(2) コンクリート試験体の被覆面・設置場所・設置方法について

1) 無筋コンクリート試験体

断面 $180 \times 180\text{mm}$ 、長さ 500mm の直方体無筋コンクリート



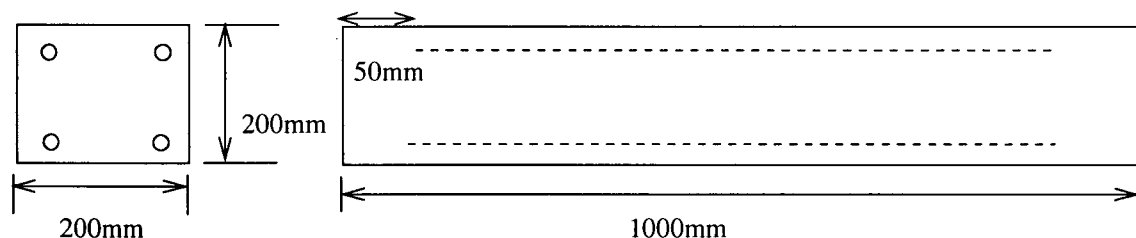
設置方法：無塗装面（タールエポキシ樹脂塗料塗布面）の端面を下にして縦置きに設置する。

被覆面：横 4 面全面と片方の端面の計 5 面を被覆する。残りの端面（設置時下面になる部分）はタールエポキシ樹脂塗料にて被覆する。

設置場所：つくば（土木研究所暴露試験場）および沖縄暴露場（大宜味村）

2) 有筋塩入コンクリート試験体

断面 $200 \times 200\text{mm}$ 、長さ 1000mm の直方体の塩入鉄筋コンクリート かぶり厚さ 20 mm



設置方法：高さ 500mm の架台の上に横に置く。

被覆面：横 4 面全面を被覆する。残りの両端面は無被覆とする。

設置場所：沖縄暴露場（大宜味村）

つくばでは無筋コンクリート試験体を打設面が北側になるように縦置きに設置し、各試験体設置間隔は 500mm とした。

沖縄では無筋コンクリート試験体は打設面が北側になるよう暴露試験架台（地上 500mm ）上に縦置きに設置した。また、有筋塩入コンクリート試験体は打設面を下側にして、暴露試験架台（地上 500mm ）

上に横置きに設置した。暴露試験体はつくば、沖縄ともに平成2年11月に設置した。

(3) 試験を実施した被覆材料概要

試験体の番号、被覆仕様、色等の概要を表-5・3に示す。また被覆材に採用した色はWG-3で採用した5色を選定した。

(4) 調査項目・調査方法および調査間隔

調査間隔は暴露開始後6ヶ月目、1年目、2年目、3年目、5年目、9年目で実施した。

調査項目は外観観察・光沢・色差の変化について実施した。また共同研究最終年度の平成4年度に沖縄で2年間暴露した無被覆の無筋コンクリート試験体からコアサンプルを採取し、浸透塩分量・中性化深さの状態を調査した。被覆コンクリートについては暴露期間が2年間と短いためほとんど影響を受けてないと予想されたため調査を見送ったが、今後については無被覆コンクリートおよび被覆コンクリートの外観観察によりコア抜き調査を進めるか否か判断することとした。

1) 外観観察調査方法

外観観察は目視にて行い、コンクリート躯体のひび割れや欠損部の有無、被覆材の異常と汚れについて調査を行った。

①コンクリート躯体のひび割れ・欠損部の調査

発生部が著しい場合は、その位置・幅・長さ等を記録した。

②被覆材の外観調査

ふくれ・割れ・はがれの発生が認められる場合は記録した。白亜化については(財)日本塗料検査協会発行の「塗膜判定基準」に基づき判定した。

③被覆材の汚れ調査

コンクリートからの遊離石灰による汚れは、その流出状況を記録した。被覆材表面の汚れは雨すじ汚れについて調査した。雨すじ汚れについては、次の判定基準に基づき、水洗前後の数値を記録した。判定基準の標準写真を写真-5・1に示す。

5点：雨だれによる汚れのすじは認められない。

4点：雨だれによる汚れのすじは少なく、目立たない。

3点：雨だれによる汚れのすじは少ないが、目立つ。

2点：雨だれによる汚れのすじはかなりあり、目立つ。

1点：雨だれによる汚れのすじが多く、目立つ。

2) 光沢の調査方法

日本電色工業(株)製「携帯用光沢計VG-2P-D3」を使用し、60度鏡面反射率を測定した。

断面180×180mm、長さ500mmのコンクリート試験体については側面4面および上面を、断面200×200mm、長さ1000mmのコンクリート試験体については長方形側面4面を、それぞれ3ヶ所ずつ測定し平均値を求めた。尚、側面については1/3程度をウエスを用いて軽く水洗し、乾燥後に水洗後の光沢を測定した。評価は光沢保持率(暴露後の光沢÷初期光沢×100)にて行った。

3) 色差の調査方法

色差はミノルタカメラ(株)製「携帯用色彩色差計CR-200」を使用し、 $L^*a^*b^*$ を測定した。尚、測定方法・水洗方法は光沢の測定法と同じである。評価は ΔE^* にて行った。

4) コンクリートコア抜き後の調査方法

沖縄にて2年間暴露した無被覆の180×180×500mmコンクリート試験体について、北面→南面、東面→西面の2本のコアサンプルを採取し、中性化深さと浸透塩分量を測定し、無被覆コンクリート試験体がどの程度劣化要因の影響を受けているか確認した。なお中性化深さはコアサンプル採取後直ちにフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、赤色に変色しなかった深さを表面から測定した。

浸透塩分量はコアサンプルを深さ方向に2cm間隔で輪切りにして、それぞれ含まれている塩分量を(社)日本コンクリート工学協会「JCI-SC4. 硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」により分析した。

5. 2. 2 屋内促進試験

高耐久性被覆材料に要求される性能を各種促進試験を実施することにより実証することを目的とする。試験方法については、現在土木コンクリート用被覆材料に適用されている試験方法の調査結果より、高耐久性材料に適用できるものを選定した。屋内促進試験としては、促進耐候性・ひび割れ追従性・水蒸気透過阻止性・遮塩性・酸素透過阻止性・水透過阻止性・耐アルカリ性および付着強さについて試験を実施した。

(1) 促進耐候性

コンクリート用被覆材料としては硬質形の被覆材だけでなく、コンクリート特有のひび割れ追従性のある柔軟形被覆材がある。硬質形については第3章WG-3にて試験および実証を検討しているため、WG-5では主に柔軟形被覆材の耐候性、硬質形被覆材との位置付けを調査する目的で実施した。

試験方法はJIS K 5400 9.8.1 サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機にて行い、柔軟形ふっ素樹脂塗料、柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料、柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料の代表色5色および比較用として柔軟形のポリウレタン樹脂塗料にて試験を実施した。

測定項目は光沢保持率(%)の変化・色差 ΔE^* の変化・外観観察とした。光沢と色差については長期屋外暴露試験と同様の方法にて調査し、外観観察は目視による変退色・ウォータースポットによる汚れ・ふくれ・われ・はがれおよび白亜化について調査した。目視による変退色評価は控え板との比較により次の判定基準により評価した。試験体の概要を表-5.4に示す。

変退色を認めず	-----	6
やや変退色あり	-----	5
変退色あり	-----	4
変退色やや著しい	-----	3
塗り替えを必要とする変退色	-----	2
原色をとどめず	-----	1

調査は照射時間 300 時間・700 時間・1000 時間・2000 時間および 3000 時間について実施した。

(2) ひび割れ追従性

R C 構造物や補修の場合、コンクリート素地のひび割れに注目する必要がある、被覆材料においてもコンクリート保護機能としてひび割れに追従する柔軟性が必要となる。

官公庁規格の試験方法を調査した結果、ひび割れ追従性試験として下記のものがあげられる。

- ①「建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発、塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」による曲げ載荷試験。
- ②（社）日本道路協会 道路橋の塩害対策指針（案）・同解説（昭和 59 年 2 月）による材料の伸び率試験
- ③日本道路公団維持補修要項・橋梁編によるゼロスパン試験

これらの試験方法の特徴と相関性を調べ、最適な試験方法を選定すると同時に、材料組成・膜厚による影響を調べることを目的に試験を実施した。試験体の概要を表-5・5 に示す。

(3) 水蒸気透過阻止性

コンクリートの保護機能として要求される水蒸気透過阻止性能を調査することを目的とする。試験方法は日本道路公団維持補修要項・橋梁編・塗装材料の規格に準じて実施した。

(4) 遮塩性

コンクリートの塩害対策保護機能として要求される遮塩機能を調査することを目的とする。試験方法は「建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発、塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」の被覆材料規格に準じて実施した。

(5) 酸素透過阻止性

コンクリートの保護機能として要求される酸素透過阻止性能を調査することを目的とする。試験方法は日本道路公団維持補修要項・橋梁編・塗装材料の規格に準じて実施した。

(6) 水透過阻止性

コンクリートの保護機能として要求される水透過阻止性能を調査することを目的とする。試験方法は「建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発、アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）」の被覆仕様の規格に準じて実施した。

(7) 耐アルカリ性

被覆材料のコンクリート素地のアルカリやアルカリ成分の影響による耐久性を試験することを目的とする。試験方法は「建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発、塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」の被覆材料規格に準じて実施した。

(8) 付着性

被覆材料のコンクリート素地との付着性や塗膜間での付着性を試験することを目的とする。試験方法は（社）日本道路協会 道路橋の塩害対策指針（案）・同解説（昭和 59 年 2 月）の材料試験に準じて実施した。試験項目（3）～（8）の試験体の概要を表-5・6 に示す。

5. 2. 3 高耐久性被覆材の実構造物への試験施工

高耐久性被覆材料を実構造物へ塗装することにより、屋外暴露試験・促進耐候性試験結果との相関性確認と高耐久性被覆材料の優位性を検証する目的で試験施工を実施した。

(1) 試験施工概要

①試験施工箇所

建設省土木研究所構内、北側横断橋コンクリートアバット（図-5・1 参照）

②塗装仕様と塗装区分

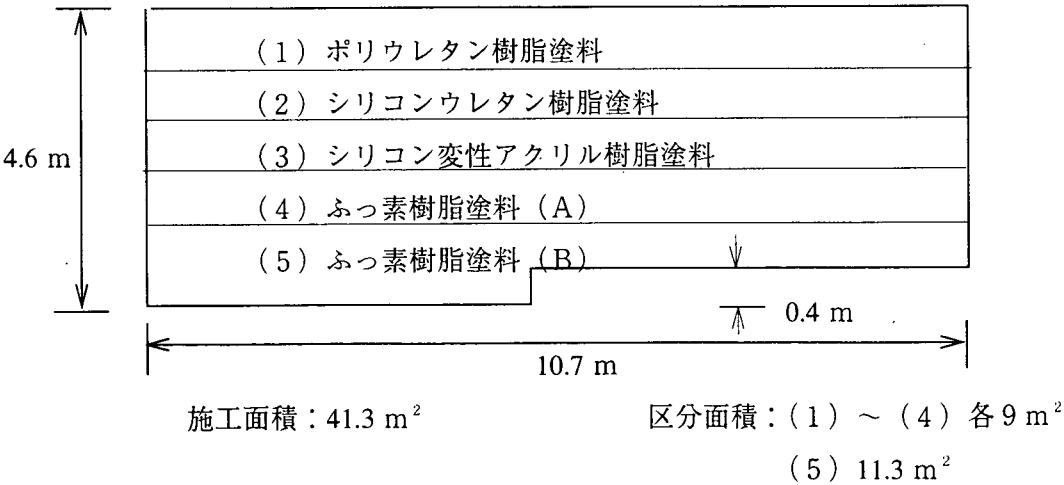
塗装仕様

No	工 程	材 料 名	塗布量 (kg/m ²)	塗装方法
1	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	刷毛・ローラー
2	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.40	ヘラ・コテ
3	中 塗	エポキシ樹脂中塗	0.26	刷毛・ローラー
4	上 塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	0.12	刷毛・ローラー
		シリコンウレタン樹脂塗料上塗	0.12	
		シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗	0.12	
		ふっ素樹脂塗料上塗（A）	0.12	
		ふっ素樹脂塗料上塗（B）	0.12	

(1) 塗装工程は日本道路協会、塩害対策指針（案）A種を準用した。

(2) 上塗塗料の色相は、日塗工色見本帳 R1-1003（グレー）とする。

塗装区分



(3) 塗装時期

塗装は平成3年11月21日完了した。

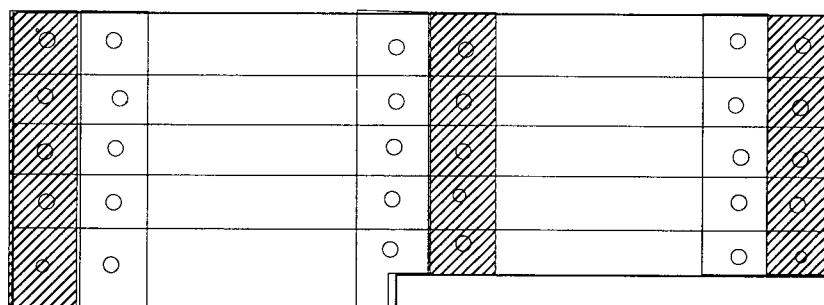
(4) 試験施工箇所の環境状況

調査箇所はアバットの中央部と両サイドの3箇所であり、中央部は全く直射日光当たらず、降雨時はアバット上部に溜まった水が流れ落ち、汚れが最もつきやすい環境にある。両サイドのつくば山側はまわりに樹木がある関係もあり、日中若干日が当たる程度で日照時間は少ない。降雨は直接あたる。つくばセンター側は日照時間も長く、降雨は直接あたる。また雨水がアバット上部に溜まり、壁を伝って流れる位置にあり、環境条件としては最も厳しい位置にある。

(5) 調査項目

測 定 項 目	調 査 方 法
変 退 色	目視診断および測色色差計による診断
光 沢	光沢計による診断
ふくれ・われ・はがれ	目視診断
遊離石灰の流出	目視診断
汚 れ	目視診断
白 亜 化	接触診断
ひ び わ れ	クラックゲージ診断

なお、光沢と色差については水洗前後に下図の箇所につき測定する。



(つくばセンター側)

(つくば山側)

白抜き枠 : 未水洗部 (幅約 0.5 m)

斜線枠 : 水洗部 (幅約 0.5 m)

白丸 : 測定箇所

表-5・1 コンクリート供試体示方配合

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラン プ (mm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W／C (%)	細骨 材率 S/a (%)	単 位 量 kg／m ³						備 考
					水 W	セメ ント C	細骨 材 S	粗骨 材 G	混和材量		
									混和 材	混和 剤	
20	7 ± 2.5	4.0	42.0	40.0	165	393	702	1044	—	AE 減水 剤 3.93	有筋供試体のみ N a C l = 10 kg／m ³ 添加 塩害 5 年に相当

表-5・2 コンクリート供試体配合

供試体の種類	コンクリート供試体の寸法	圧縮試験結果 (M Pa)
無筋コンクリート (N a C l 添加なし)	180×180×500 mm	41.3 40.7 平均 41.4 42.3
有筋塩入 コンクリート (N a C l 10 kg/m ³)	200×200×1000 mm	44.4 44.2 平均 44.8 45.8

表-5・3 試験体番号 被覆内容一覧表

その1

無筋普通コンクリート試験体 180 × 180 × 500mm

試験体番号	塗 装 仕 様			色	設置場所
	パテ	中塗り	上塗り		
A0H130	なし	硬質エポキシ樹脂塗料 中塗 60 μ m	硬質シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	ベージュ	つくば
A0H160 OP1		シリコン系シロキサン 樹脂撥水剤	硬質シリコン変性アクリル 樹脂クリヤー 50 μ m	クリヤー	
A1H110	有り	硬質エポキシ樹脂塗料 中塗 60 μ m	硬質シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	グレー	
A1H120				緑色	
A1H130				ベージュ	
A1H140				青色	
A1H150				赤色	
B0H230	なし	硬質エポキシ樹脂塗料 中塗 60 μ m	硬質シリコンウレタン 樹脂塗料上塗 30 μ m	ベージュ	つくば
B1H210	有り			グレー	
B1H220				緑色	
B1H230				ベージュ	
B1H240				青色	
B1H250				赤色	
C1H130 OP1	有り	硬質エポキシ樹脂塗料 中塗 60 μ m	硬質シリコン変性アクリル 樹脂塗料上塗 30 μ m	ベージュ	つくば
D0H330	なし	硬質ふっ素樹脂塗料 中塗 40 μ m	硬質ふっ素樹脂塗料上塗 40 μ m	ベージュ	つくば
D1H310	有り			グレー	
D1H320				緑色	
D1H330				ベージュ	
D1H340				青色	
D1H350				赤色	
F1S110	有り	柔軟形 エポキシ樹脂塗料中塗 120 μ m	柔軟形シリコン変性 アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m	グレー	つくば
F1S120				緑色	
F1S130				ベージュ	
F1S140				青色	
F1S150				赤色	
F1S210	有り	柔軟形 エポキシ樹脂塗料中塗 160 μ m	柔軟形シリコンウレタン 樹脂塗料上塗 30 μ m	グレー	つくば
F1S220				緑色	
F1S230				ベージュ	
F1S240				青色	
F1S250				赤色	
F1S310	有り	柔軟形ポリウレタン 樹脂塗料中塗 400 μ m	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 80 μ m	グレー	つくば
F1S320				緑色	
F1S330				ベージュ	
F1S340				青色	
F1S350				赤色	
G1H510	有り	硬質エポキシ樹脂塗料 中塗 60 μ m	硬質ポリウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	グレー	つくば
G1H520				緑色	
G1H530				ベージュ	
G1H540				青色	
G1H550				赤色	
G1S510	有り	柔軟形エポキシ樹脂 塗料中塗 120 μ m	柔軟形ポリウレタン樹脂 塗料上塗 30 μ m	グレー	つくば
G1S520				緑色	
G1S530				ベージュ	
G1S540				青色	
G1S550				赤色	
G0----0	無被覆コンクリート試験体				つくば

尚、下塗りはすべてエポキシ樹脂塗料下塗り使用

試験体番号	塗 装 仕 様			色	設置場所
	パテ	中塗り	上塗り		
A0H161 OP1	なし	シリコン系シロキサン樹脂撥水剤	シリコン変性アクリル樹脂クリヤー 50 μ m	クリヤー	沖縄
A1H131	有り	硬質エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m	ページュ	
B1H231	有り	硬質エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質シリコンウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m	ページュ	
C1H131 OP1	有り	硬質エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m	ページュ	
D1H331	有り	硬質ふっ素樹脂塗料中塗 40 μ m	硬質ふっ素樹脂塗料上塗 40 μ m	ページュ	
G1H531	有り	硬質エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m	ページュ	
G0----0	無被覆コンクリート試験体				

尚、下塗りはすべてエポキシ樹脂塗料下塗り使用

有筋塩入りコンクリート試験体 200 × 200 × 1000mm

試験体番号	塗 装 仕 様			色	設置場所
	パテ	中塗り	上塗り		
A1S131 OP2	有り	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 510 μ m	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m	ページュ	沖縄
A1S131 OP3		超柔軟形速硬化型ポリウレタン樹脂塗料中塗 1500 μ m	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m		
B1S231 OP1		柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 480 μ m	柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m		
B1S231 OP2		柔軟形エポキシ樹脂接着剤によるガラスクロス2層 1200 μ m + 柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m		
C1S331 OP3		ポリブタジエン樹脂塗料中塗を接着剤とした柔軟クロス1層 1100 μ m	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m		
C1S331 OP4		ポリブタジエン樹脂塗料中塗 1000 μ m	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m		
C1S031 OP5		柔軟形ポリマーセメント系塗料中塗 390 μ m	柔軟形アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m		
G1H531		硬質エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m		
G1S731		柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 120 μ m	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m		
G1S831		柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 480 μ m	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m		
G0----0	無被覆コンクリート試験体				

尚、下塗りはA1S131 OP3は一液湿気硬化型ウレタン樹脂塗料下塗り、C1S331 OP5は柔軟型ポリマーセメント系プライマー、それ以外はすべてエポキシ樹脂塗料下塗り使用。

表-5・4 促進耐候性試験用試験体の概要

試験体番号	上 塗 り の 種 類	色
AS111	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗	グレー
AS121		緑色
AS131		ベージュ
AS141		青色
AS151		赤色
BS211	柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料上塗	グレー
BS221		緑色
BS231		ベージュ
BS241		青色
BS251		赤色
CS331	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗	ベージュ
DS311	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗	グレー
DS321		緑色
DS331		ベージュ
DS341		青色
DS351		赤色
GS511	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	グレー
GS521		緑色
GS531		ベージュ
GS541		青色
GS551		赤色

表-5・5 ひび割れ追従性試験の試験体概要

試験体番号	中 塗 り の 種 類	上 塗 り の 種 類	総合膜厚
AS11	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 300 μm	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂 塗料上塗 30 μm	330 μm
AS12	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 500 μm	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂 塗料上塗 30 μm	530 μm
CS50	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 200 μm	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μm	230 μm
CS51	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 300 μm	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μm	330 μm
CS52	柔軟形ポリブタジエン樹脂塗料中塗 1000 μm	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μm	1030 μm
DS33	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗 520 μm	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 30 μm	550 μm
GH50	硬質厚膜形エポキシ樹脂塗料中塗 (ガラスフレーク入り) 350 μm	硬質形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μm	380 μm

表-5・6 屋内促進試験（３）～（８）の試験体概要

試験体番号	中塗りの種類	上塗りの種類	総合膜厚
AH130	硬質形エポキシ樹脂塗料中塗 90 μ m	硬質形シリコン変性アクリル樹脂 塗料上塗 30 μ m	120 μ m
AS131	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 160 μ m	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂 塗料上塗 30 μ m	190 μ m
AS132	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 320 μ m	柔軟形シリコン変性アクリル樹脂 塗料上塗 30 μ m	350 μ m
BH230	硬質形エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質形シリコンウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	90 μ m
BS230	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 160 μ m	柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料 上塗 30 μ m	190 μ m
CH130	硬質形エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質形シリコン変性アクリル樹脂 塗料上塗 30 μ m	90 μ m
CH330	硬質形エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質形ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	90 μ m
CS010	柔軟形ポリマーセメント中塗 370 μ m	柔軟形アクリル樹脂塗料上塗 30 μ m	400 μ m
CS310	柔軟形ポリブタジエン樹脂塗料中塗 1000 μ m	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	1030 μ m
DS330	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗 520 μ m	柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 30 μ m	550 μ m
GH530	硬質形エポキシ樹脂塗料中塗 60 μ m	硬質形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m	90 μ m
GS530	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗 90 μ m	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 30 μ m	120 μ m

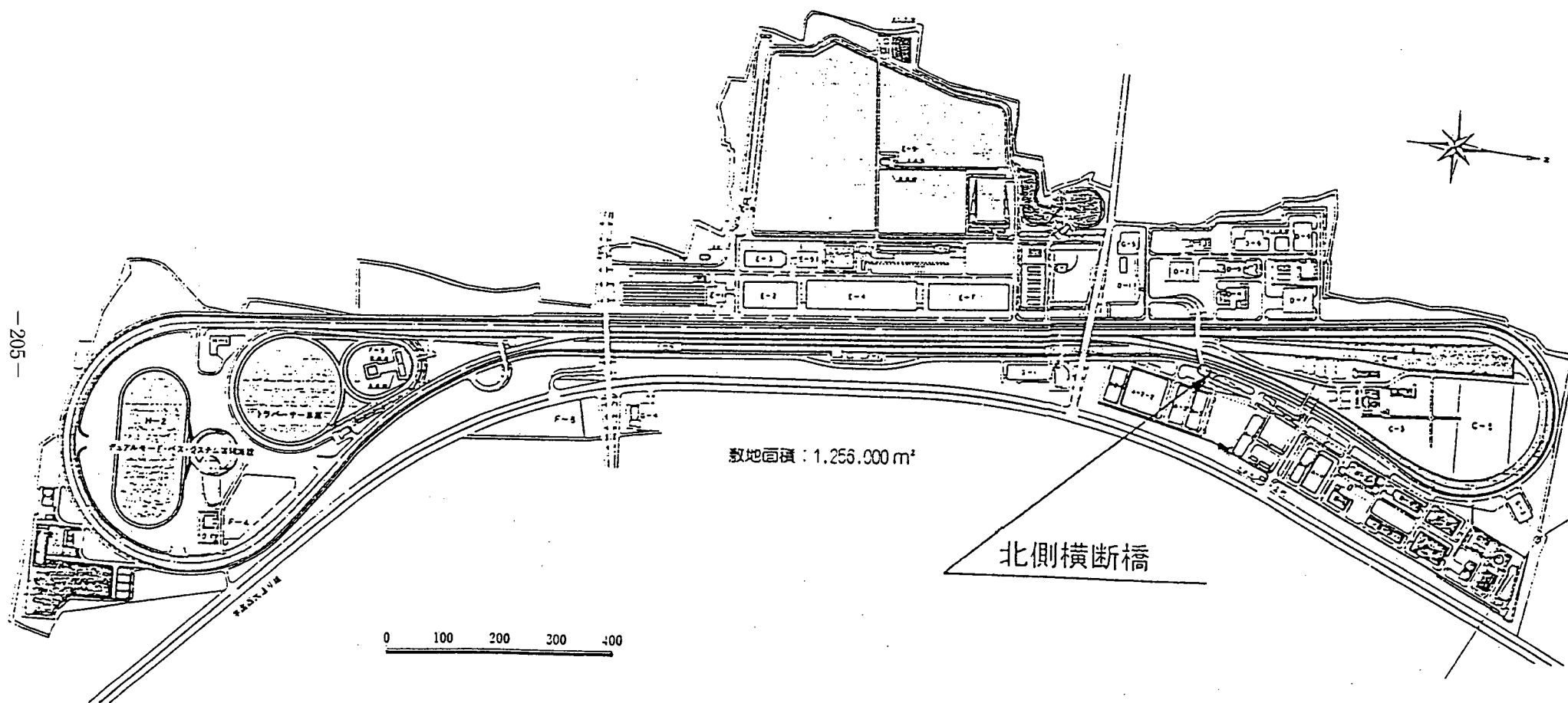


図- 5.1 試験施工場所

5. 3 研究結果

5. 3. 1 長期屋外暴露試験結果

高耐久性被覆材としてふっ素樹脂塗料・シリコン変性アクリル樹脂塗料・シリコンウレタン樹脂塗料を試験しているが、シリコン変性アクリル樹脂塗料・シリコンウレタン樹脂塗料をシリコン系樹脂塗料としてまとめ、ふっ素樹脂塗料との2グレードに分けて、ポリウレタン樹脂塗料と比較し解析した。

暴露の状況を写真-5・2に示す。

(1) 光沢調査結果

1) つくば暴露試験結果

各試験体の測定結果を各面毎に整理したものを表-5・7に示す。

①硬質形水洗前の比較 図-5・2 参照

樹脂組成別に水洗前の光沢保持率の比較をすると、ポリウレタン樹脂塗料は上面以外では2年目までは大きな低下はないが、3年目から低下が見られ、5年目には光沢保持率 25 ~ 45 %と著しく低下し、9年目では光沢保持率 10 ~ 20 %となっている。

シリコン系樹脂塗料はシリコン変性アクリル樹脂塗料とシリコンウレタン樹脂塗料があるが同程度で3年目までは光沢 80 %以上を保持しているが、5年目頃には光沢保持率 70 %前後とやや低下し、9年目では光沢保持率 30 ~ 40 %となっている。

ふっ素樹脂塗料は5年目まで高い光沢保持率を示しているが、9年目では光沢保持率 60 ~ 70 %に低下している。

硬質形を樹脂組成別に水洗前光沢保持率で比較するとふっ素樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

②硬質形水洗後の比較

次に水洗後の光沢保持率を比較をすると、ポリウレタン樹脂塗料は3年目まではほぼ大きな光沢保持率低下ないが、5年目頃には光沢保持率 50 ~ 70 %と低下し、9年目では光沢保持率 20 ~ 30 %となっている。

シリコン系樹脂塗料は5年目までは光沢保持率 90 %以上を保持しているが、9年目では光沢保持率 60 %に低下している。

ふっ素樹脂塗料は、5年目までほとんど光沢保持率低下は見られず、9年目でも光沢保持率 80 %前後と高光沢を保持している。

硬質形を樹脂組成別に水洗後光沢保持率で比較すると水洗前と同様ふっ素樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

③柔軟形水洗前の比較 図-5・3 参照

樹脂組成別に水洗前の光沢保持率の比較をすると、ポリウレタン樹脂塗料は初期6ヶ月程度ですでに光沢保持率 80 %前後と低下し、3年目には 40 ~ 50 %、5年目には 20 %程度、9年目では 10 %程度に著しく低下している。

シリコン系樹脂塗料は3年目までは変化ないが、5年目から低下し始め光沢保持率 60 %前後、9年目では光沢保持率 20 ~ 30 %まで低下している。

ふっ素樹脂塗料は3年目までは上面を除いて 80 %前後の光沢保持率を保持しているが、5年目頃には光沢保持率 40 ~ 60 %前後、9年目では光沢保持率 20 %前後に低下している。

柔軟形を樹脂組成別に水洗前光沢保持率で比較するとシリコン系樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料>ポリ

ウレタン樹脂塗料の順となる。

④柔軟形水洗後の比較

次に水洗後の光沢保持率を比較をすると、ポリウレタン樹脂塗料は2年目まで80～90%を保持しているが、3年目には60～70%、5年目には40%、9年目では30%程度に低下している。

シリコン系樹脂塗料では3年目まではほとんど光沢保持率低下なく、5年目でも光沢保持率90%前後であったが、9年目には光沢保持率40%程度と急激に低下している。

ふっ素樹脂塗料はシリコン系樹脂塗料と同様3年目まではほとんど光沢保持率低下ないが、5年目には光沢保持率60～80%、9年目には光沢保持率30～40%程度に低下している。

柔軟形を樹脂組成別に水洗後光沢保持率で比較すると水洗前と同様シリコン系樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

⑤硬質・柔軟形全体での光沢保持率比較

光沢保持率を硬質・柔軟形全体を見て比較すると硬質形ふっ素樹脂塗料>硬質形シリコン系樹脂塗料>柔軟形シリコン系樹脂塗料>柔軟形ふっ素樹脂塗料 $\geq$ 硬質形ポリウレタン樹脂塗料>柔軟形ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

⑥各面毎の比較 図－5.4 参照

180×180×500mmの角柱コンクリートで暴露を行っており、水洗後の方位ごとの光沢保持率を比較するとはほぼ同程度で順序づけ出来ない。

垂直面と水平面での比較は水洗前の比較しか出来ないが、6ヶ月程度ではあまり差がないが垂直面に比較し水平面では1年後で80%、2年、3年後では70%、5年、9年では40～50%の光沢保持率低下が見られている。

⑦水洗前後の比較 図－5.5 参照

水洗前後の比較では材料により若干の差はあるが、全体平均で見ると光沢保持率の低下は水洗前後とも同様の低下傾向を示している。水洗前に比較し水洗後は暴露年数に関係なく光沢保持率として約20%程度回復している。

2) 沖縄暴露試験結果

各試験体の測定結果を各面毎に整理したものを表－5.8に示す。

①硬質形水洗前の比較 図－5.6 参照

樹脂組成別に水洗前の光沢保持率の比較をすると、ポリウレタン樹脂塗料は3年目ですでに光沢保持率20%前後と著しく光沢保持率が低下している。

シリコン系樹脂塗料およびふっ素樹脂塗料は経時的に低下傾向が見られ、5年目で著しい低下が見られ、9年目にはポリウレタン樹脂塗料の光沢保持率と同程度となっている。

硬質形を樹脂組成別に水洗前光沢保持率で比較するとふっ素樹脂塗料・シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

②硬質形水洗後の比較

次に水洗後の光沢保持率を比較をすると、いずれの樹脂も経時で低下傾向にあり、特にふっ素樹脂塗料・ポリウレタン樹脂塗料では面ごとの劣化に大きなバラツキが見られている。

硬質形を樹脂組成別に水洗後光沢保持率で比較すると大差はないが水洗前と同様ふっ素樹脂塗料・シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

③各面毎の比較 図－5.7 参照

方位ごとの比較をすると水洗前では調査年毎にばらつきが見られ劣化傾向がはっきりでてないが、

水洗後では面による劣化傾向にはっきり差が出ており、順位をつけると北>東>西・南の順に劣化が見られ、特に西面・南面は劣化し難く、つくばとは異なる傾向を示している。

垂直面と水平面での比較は1年程度ではあまり差が見られないが2年目では明らかに劣化のスピードに差が見られる。しかし5～9年ではほとんど差がない程度に劣化が進んでいる。

④水洗前後の比較 図-5・8 参照

水洗前後の比較では材料により若干の差はあるが、全体平均で見るとつくばの結果と同様光沢保持率の低下は水洗前後とも同様の低下傾向を示し、水洗前に比較し水洗後は暴露年数に関係なく光沢保持率で約20%程度回復している。

3) つくばと沖縄暴露試験結果の比較

つくばと沖縄で硬質形の同じ試験体について光沢保持率を比較してみると下記のごとくであった。

①樹脂組成による光沢保持率から見た劣化の比較は、つくばでは硬質形ふっ素樹脂塗料>硬質形シリコン系樹脂塗料>硬質形ポリウレタン樹脂の順であったが、沖縄ではつくばと同様硬質形ポリウレタン樹脂塗料が一番劣化しやすいが、硬質形ふっ素樹脂塗料と硬質形シリコン系樹脂塗料の差はほとんど見られなかった。

全体的な傾向としてはいずれの樹脂組成でも沖縄では3年程度から著しい低下傾向が見られているのに対し、つくばでは5年後から低下が見られている。つくばと沖縄での劣化度合いの比較は樹脂組成によりバラツキが見られ、一概に沖縄はつくばの何倍劣化が進みやすい等の解析は出来なかった。

高耐久性被覆材としての評価は、つくばでははっきり検証されているが、沖縄ではつくばほど大きな効果は見られなかった。

②直方体試験体で方位に関して劣化の傾向を見たが、つくば、沖縄で共通する顕著な傾向は出ていなかった。方位の劣化傾向は太陽光の当たり方だけの影響でなく、風の流れや結露のし易さ等暴露周辺環境に大きく左右されると思われる。

一般的に上面は垂直面に比べて紫外線照射量が多く、劣化スピードに大きな差が見られると認識している。紫外線の少ないつくばでは劣化スピードに差が見られたが、沖縄では紫外線量が多いためか上面に限らず全体的に劣化が進み上面と垂直面の大きな差は見られなかった。

(2) 色差調査結果

1) つくば暴露試験結果

樹脂組成別の色差変化解析にあたっては、樹脂組成だけでなく顔料の種類による影響も大きいため各色ごとに解析を行った。

①硬質形水洗前の比較 図-5・9 参照

グレー色で樹脂組成別に水洗前の色差変化の比較をすると、ポリウレタン樹脂塗料およびシリコン系樹脂塗料は1年後に色差4前後と最も大きくなり、それ以降低下し5年以降は1～2程度で落ち着いている。それに比較しふっ素樹脂塗料は3年目までは色差1以下で低いですが5年目より色差が増え始め9年目では4前後まで大きくなっている。

9年目で色差の傾向を比較するとふっ素樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料・ポリウレタン樹脂塗料の順でふっ素樹脂塗料の方が色差大きくなっている。

この傾向は緑色でも同様であるがベージュ色ではすべての樹脂で1年後が最大の色差4～6でそれ以降は低下し9年後はほぼ色差1前後に落ち着いている。

また青色では暴露経時とともに色差が増大する傾向にあり、色差の比較はふっ素樹脂塗料>ポリウ

レタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料の順となる。

赤色ではふっ素樹脂塗料は6ヶ月頃から色差4~6と大きい値を示すが、その後9年目まで変化はない。シリコン系樹脂塗料は2年目までは色差10まで増大するがそれ以降は変化が見られない。ポリウレタン樹脂塗料は暴露時間とともに増大傾向を示し9年後には色差15前後となっている。色差の比較ではポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料の順となる。

②硬質形水洗後の比較

水洗後ではグレー色・ベージュ色ともに6ヶ月後~9年目まで色差1~2の低位で樹脂組成別の変化は見られていない。緑色・青色・赤色は経時とともに色差が増大する傾向にあり、色差の順位は緑色ではふっ素樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順で青色ではふっ素樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料の順、赤色ではポリウレタン樹脂塗料・シリコン系樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料となり、色により異なる傾向が見られる。

③柔軟形水洗前の比較 図-5.10 参照

樹脂組成別にグレー色で水洗前の色差変化の比較をすると、いずれも1年後が最も大きく以降低下し、あまり変化が見られない。この傾向は緑色のシリコン系樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料にも見られる。ふっ素樹脂塗料は5年後がピークとなる。またベージュ色も緑色と同様の傾向。青色はすべての樹脂で経時とともに色差が増大し、赤色ではすべての樹脂で3年後程度まで色差大きくなり、それ以降は横ばいとなる。

色差変化の順位で見ると

グレー色はポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料

緑色・青色ではふっ素樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料

ベージュ色ではふっ素樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料・シリコン系樹脂塗料

赤色ではポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料・ふっ素樹脂塗料の順となり、色により傾向は様々である。

④柔軟形水洗後の比較

グレー色は経時による変化少なく色差変化も低位にある。緑色はポリウレタン樹脂塗料は1年目がピークになりそれ以降変化少ないがシリコン系樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料は経時とともに増大傾向がある。ベージュ色ではシリコン系樹脂塗料はあまり変化なく、ポリウレタン樹脂塗料ではバラツキ大きく傾向がつかみ難く、ふっ素樹脂塗料では経時とともに著しく色差が増している。青色・赤色は程度の差は大きいがいずれも経時により色差が増している。

色差変化の順位で見ると

グレー色はポリウレタン樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料・シリコン系樹脂塗料

緑色・青色・ベージュ色ではふっ素樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料

赤色ではポリウレタン樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料・ふっ素樹脂塗料の順となり、色により傾向は様々であるが水洗前の順位とほぼ同等である。

⑤硬質・柔軟形全体での色差に関する考察

水洗前の各色の色差変化は雨すじ汚れとの関連が見られ、色差変化は汚れが影響している部分が多いと判断される。水洗後の評価は一部の樹脂で汚れが染み込んでいるものもあるがほとんどの試験体で汚れが洗い流されている。しかし、色差変化は樹脂組成による傾向がばらばらなことで経時により徐々に色差が増大する傾向より、樹脂組成による影響より着色顔料の耐候性に大きく影響されているものと判断される。

⑥各面毎の比較 図－5・11 参照

方位ごとの比較をすると初期では南・西面は色差少なく北・東面の色差が大きいが2年を過ぎるとあまり差は見られない。これは紫外線のあたる量から見ると逆の傾向が出ているが、汚れの影響も作用しており、特に柔軟形ではこの影響が大きいと判断される。

⑦水洗前後の比較 図－5・12 参照

水洗前後の比較は材料により若干の差はあるが、全体平均で見ると水洗前に比較し水洗後は6ヶ月では50%に3年目では約30%、5・9年目では約10%まで回復する。

水洗前の雨すじ汚れが経過時間とともに回復する傾向があるため、水洗による回復傾向は暴露期間とともに低下しているものと思われる。

2) 沖縄暴露試験結果

沖縄での暴露はつくばでの暴露のように各色では行わずベージュ色のみで実施している。ベージュ色は顔料の種類による影響も少ないため樹脂組成による影響が大きく出るとと思われる。

①硬質形水洗前の比較 図－5・13 参照

いずれの樹脂系でも当初に色差の大きな変化が見られ2年目までその色差が低下傾向を示すが、その後また増加する動きが見られる。沖縄では雨すじ汚れ等の汚れが少ないためなぜこのような傾向になるか不明。9年目までの色差を比較するとふっ素樹脂塗料、シリコン系樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料ほとんど差が見られない。

②硬質形水洗後の比較

水洗後ではふっ素樹脂塗料は初期に異常な色差変動が見られるが1～9年後は色差1.0前後でほとんど変化が見られない。シリコン系樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料では経時に従って僅かな増加傾向が見られるが著しい変化ではない。色差の順位付けとしては水洗前と同様樹脂組成による差はほとんど見られなかった。

③各面毎の比較 図－5・14 参照

上面についてはデータが不十分で解析できないが東西南北各面毎の比較ではほとんど差は見られていない。

④水洗前後の比較 図－5・15 参照

色差の動きは当初大きな色差変動が見られ2年後で最低となり、その後増加する傾向は水洗前後同様である。2年後だけは水洗前後の差はほとんどないが、それ以外の調査時点では水洗前に比較し、水洗後は色差が大体半減している。3年以降では白亜化が発生しており、そのため洗浄により色差が減少しているものと思われる。

(3) 外観調査結果

1) 無筋コンクリート試験体の外観調査結果

無筋コンクリートのつくば暴露での外観調査結果を表－5・9、沖縄暴露での外観調査結果を表－5・10に示す。

①被覆材の外観異常調査結果

被覆材については下地コンクリートのひび割れによる部分的な割れ発生以外はふくれ・はがれは見られなかった。ただし、つくば暴露試験体の柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料で中塗りと上塗りの伸び率等バランス不良に伴う上塗りのみのわれが暴露3年後から発生した。被覆材の膜はすべてしっかりしており、コンクリート保護機能は十分発揮している。

②雨すじ汚れの調査結果

つくばでの水洗前の樹脂組成別雨すじ汚れ評価結果を図－5・16に示す。

硬質形被覆材では樹脂組成による雨すじ汚れの差はなく、いずれも1～2年が最も汚れが大きく、その後経時により汚れは少なくなり、5年後以降はほとんど雨すじ汚れは見られなくなった。特にシリコン系樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料では白亜化の影響が大きく出ているものと思われる。

柔軟形被覆材も硬質形と同様の傾向を示しているが、ふっ素樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料では白亜化が進んでいるにもかかわらず汚れ度合いが大きくなっている。この樹脂組成については汚れが膜内にしみ込んでいるため白亜化が発生しても汚れは増加している。

水洗後はほとんど雨すじ汚れは除去されているが、上記の柔軟形ふっ素樹脂塗料、柔軟形ポリウレタン樹脂塗料では汚れがしみ込んでいるため水洗では除去できなかった。

沖縄暴露試験体については硬質形で暴露しているが雨すじ汚れはほとんど見られていない。

つくば水洗前での方位による雨すじ汚れ傾向、パテ有無による雨すじ汚れ傾向を図－5・17に示す。

方位による比較では西面が最も雨すじ汚れが出やすく、西面＞南面＞北面＞東面の順になっている。ただし、無被覆のコンクリート試験体ではほとんど面の差はなく、経時とともに汚れが多くなっている。またパテの有無によりコンクリート巣穴が汚れにどのような影響を与えるか調査したが、ほとんど差は見られなかった。

耐汚染性から見ると高耐久性被覆材の優れた点は見られなかった。耐汚染性については新たな機能付与の設計が必要である。

③白亜化調査結果

つくば・沖縄での樹脂組成別白亜化の傾向を図－5・18に示す。

つくばでの白亜化の傾向をランク付けすると白亜化の少ないものから順に硬質形ふっ素樹脂塗料＞硬質形シリコン変性アクリル樹脂塗料・柔軟形ふっ素樹脂塗料＞柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料＞硬質形シリコンウレタン樹脂塗料・柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料＞硬質形ポリウレタン樹脂塗料・柔軟形ポリウレタン樹脂塗料となり、白亜化については高耐久性被覆材が非常に優れている点が検証されている。

しかし、沖縄暴露については硬質形シリコン変性アクリル樹脂塗料＞硬質形シリコンウレタン樹脂塗料＞硬質形ポリウレタン樹脂塗料＞硬質形ふっ素樹脂塗料の順となり、特に硬質形ふっ素樹脂塗料の著しい白亜化が目立ち、つくばの結果とは全く異なっている。なぜ異なるかについては十分な解析は出来なかった。

2) 有筋塩入り大型コンクリート試験体の暴露試験結果

有筋塩入り大型コンクリート試験体に被覆の材料はひび割れ追従機能、塩害によるコンクリート保護機能を検証するため、本試験用の特殊仕様で総合塗膜のシステムとして沖縄暴露場のみで試験を実施した。

暴露試験後の外観調査結果を表－5・10に、光沢保持率を表－5・8に、試験体の内容を表－5・3に示す。

①外観調査結果 写真－5・3 参照

無被覆のコンクリート試験体は2年後に下面の鉄筋に沿って幅0.1 mm長さ500mmのひび割れが発生し、経時とともに更に劣化が進行し、9年後には幅1.0 mm長さ750mmに拡大していた。

これに対し当初より被覆したコンクリート試験体では試験体両サイドの無被覆箇所に0.1～0.3 mmのひび割れが入っているが、ほぼすべての試験体で塩害が拡大しないよう保護機能が発揮されており、試験体にひび割れが生じているのを抑えていた。従って鉄筋腐食からのひび割れ防止等の塩害

対策として初期段階から被覆していれば、道路橋の塩害対策指針案A種 $60\mu\text{m}$ 硬質形ポリウレタンシステムでも十分効果があることが確認された。また、両サイドの無被覆部は外部から劣化要因が浸透し、ひび割れが被覆部周辺へ拡大していくが、B1S231 OP1 (柔軟形エポキシ樹脂中塗り $480\mu\text{m}$ + 柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料上塗り $30\mu\text{m}$) では幅 1.0mm のひび割れ幅に追従しており、A1S131 OP2 (柔軟形エポキシ樹脂中塗り $510\mu\text{m}$ + 柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗り $30\mu\text{m}$) では幅 0.5mm のひび割れ幅に追従していることが確認され、コンクリート躯体に幅 $1.0\sim 0.5\text{mm}$ のひび割れが生じて柔軟形の $500\mu\text{m}$ 以上の上記システムであればひび割れ追従可能であることが分かった。

しかし、C1S031 OP5 (柔軟形ポリマーセメント系中塗り $390\mu\text{m}$ + 柔軟形アクリル樹脂塗料上塗り $30\mu\text{m}$) では幅 1.0mm のひび割れ幅に追従しておらず、ひび割れ追従機能は初期の各種ひび割れ追従性試験と経時によるひび割れ追従機能の低下傾向等の関連を十分つかんで、促進試験法を確立する必要があるが、今回の試験では十分なデータを集積しておらず解析が出来なかった。

また、柔軟形被覆システムでは中塗りと上塗りとの物性・伸び率の違いにより上塗りだけにクラック・しわが発生するケースが多く、G1S831, B1S231 OP1, B1S231 OP2にこれらの現象が生じており、外観上問題があるため設計段階で中塗りと上塗りのシステムによる十分な確認が必要である。

②光沢保持率の試験結果

図-5.19に各組成別、面別の水洗後の光沢保持率を示す。

全体の傾向として光沢保持率を組成別にランク付けすると柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗 > 柔軟形アクリル樹脂塗料上塗・柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗 > 柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料上塗・柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗・硬質形ポリウレタン樹脂塗料上塗となる。

柔軟形高耐久性被覆材としてポリウレタン樹脂塗料と比較すると柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗のみ高耐久性としての位置づけを検証できる。ただし柔軟形被覆材については柔軟性機能重視のため設計思想による樹脂組成のバランスが硬質形より大きく変わるため、一概に樹脂組成別だけで比較するには無理があると思われる。

(4) 沖縄コンクリートコア調査結果

1) 中性化

沖縄にて2年間暴露した無被覆の無筋コンクリート試験体 ($180\times 180\times 500\text{mm}$) について北→南、東→西方向のコアサンプルの中性化を調査したが写真-5.4に示すように中性化領域は全く観察されなかった。9年目の暴露調査では沖縄では中性化の要因少ないためコア調査は実施していないが、引き続き暴露しているため必要に応じて調査する必要がある。

2) 浸透塩分量

コアサンプルの深さ方向の浸透塩分量を図-5.20に示す。浸透塩分量はコンクリート表面の深さ 2cm 以内の部分では、塩分量で $0.6\sim 0.8\text{kg}/\text{m}^3$ (海側)、 $0.2\sim 0.3\text{kg}/\text{m}^3$ (山側)、 $2\sim 4\text{cm}$ 以内の部分では $0.03\sim 0.06\text{kg}/\text{m}^3$ (海側・山側) 浸透しているが、 4cm 以上の部分では $0.01\text{kg}/\text{m}^3$ 未満で測定検出限界以下であった。従って暴露2年で、塩分は表面から $2\sim 4\text{cm}$ 深さまでしか浸透していない。塩分量も $0.6\sim 0.8\text{kg}/\text{m}^3$ と少ないので、コンクリート中の鉄筋を錆びさせるのに十分な量 ($1.2\sim 1.8\text{kg}/\text{m}^3$) には至っていない。そのため被覆した試験体では、塩分は浸透していないと判断される。9年目の暴露調査ではコア調査は実施していないが、引き続き暴露しているため必要に応じて調査する必要がある。

表-5-7 つくば暴露試験の光沢値測定結果

つくば暴露9年後までの光沢保持率(%) 南面

その1

No.	初期 光沢値	水洗前 光沢保持率							水洗後 光沢保持率						
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	
A0H130	56.1	34.2	33.7	34.0	24.1	35.8	10.9		41.0	21.0	33.0	34.8	23.4	30.7	
A0H161 OP1	25.0	105.2	109.7	105.1	97.6	88.4	64.4		98.1	86.9	111.3	131.2	105.2	72.0	
A1H110	37.1	76.0	79.1	82.3	75.5	95.4	35.8		65.8	66.5	87.1	77.1	95.1	58.5	
A1H120	47.0	84.1	87.5	95.1	74.9	67.2	29.8		82.6	95.8	86.4	98.3	113.0	51.3	
A1H130	37.2	85.9	94.1	87.5	91.1	71.0	27.4		93.5	90.6	90.9	90.3	99.7	60.2	
A1H140	38.2	73.7	83.8	88.0	89.3	74.9	36.9		93.5	88.2	98.1	95.8	91.6	70.2	
A1H150	60.7	73.2	78.2	73.5	69.0	65.4	41.2		99.6	90.2	83.6	69.0	82.7	66.1	
B0H230	38.5	84.5	78.9	104.8	99.5	59.7	18.7		105.8	146.9	114.4	121.6	122.3	55.8	
B1H210	65.7	71.5	108.5	103.9	102.0	64.4	21.8		109.1	112.6	110.0	101.1	92.4	60.3	
B1H220	61.8	110.4	108.0	108.3	118.4	85.3	16.1		117.3	114.7	121.8	123.2	108.1	54.4	
B1H230	59.1	98.5	92.4	93.5	91.5	67.2	20.3		96.2	84.5	96.5	100.3	101.7	71.9	
B1H240	69.8	87.8	94.5	98.8	99.3	53.8	12.5		111.3	112.4	114.0	107.7	98.7	73.5	
B1H250	73.2	84.0	89.9	88.0	88.3	68.8	29.2		104.0	94.9	104.8	97.7	78.0	43.4	
C1H130 OP1	57.4	98.4	104.0	99.5	91.1	91.8	37.6		119.1	109.2	105.2	97.0	89.7	69.7	
D0H330	26.9	88.9	88.2	117.2	114.1	112.6	58.0		91.2	94.5	122.1	137.5	124.5	72.1	
D1H310	43.7	88.1	90.2	82.1	88.8	99.8	64.8		110.4	114.3	115.5	99.5	98.6	53.5	
D1H320	45.2	81.2	95.6	106.6	106.6	81.4	67.5		136.2	121.8	117.8	122.8	124.8	63.9	
D1H330	39.9	66.9	106.2	114.9	130.1	144.6	109.5		101.4	136.7	148.7	127.8	149.6	121.6	
D1H340	56.2	80.0	59.0	57.7	75.3	63.3	40.7		93.4	94.0	93.4	69.8	94.0	68.3	
D1H350	46.7	98.7	111.2	124.4	124.6	81.2	67.7		136.1	122.6	131.1	133.0	117.1	121.2	
F1S110	56.2	85.4	88.5	85.5	87.4	78.1	30.2		81.9	83.8	91.1	98.9	88.1	31.0	
F1S120	57.4	67.6	81.1	94.5	86.2	90.2	23.3		108.6	99.9	106.6	101.9	117.6	28.0	
F1S130	63.8	82.8	91.7	85.3	93.6	57.2	20.8		85.0	96.0	101.9	90.3	92.3	26.1	
F1S140	50.0	87.7	80.6	90.9	98.2	78.6	45.4		123.6	114.6	80.2	96.2	105.8	36.2	
F1S150	55.8	84.1	83.1	92.7	99.3	78.1	44.3		121.3	100.2	98.4	112.2	99.5	55.7	
F1S210	77.2	85.3	89.4	91.5	92.9	50.9	14.8		105.8	104.4	109.4	91.8	84.2	35.8	
F1S220	77.2	88.0	92.2	92.0	95.1	45.5	12.6		107.0	105.6	103.4	97.5	75.4	28.1	
F1S230	52.5	130.1	106.7	107.3	110.5	57.0	17.9		156.2	149.5	110.7	123.2	107.0	21.0	
F1S240	77.6	86.2	83.5	90.2	81.3	40.7	10.4		104.2	106.7	98.0	92.3	78.0	39.6	
F1S250	81.0	93.3	89.4	85.0	85.4	45.6	14.6		104.0	100.5	98.4	83.3	58.6	21.7	
F1S310	37.8	129.2	136.8	102.9	88.4	29.9	11.1		112.4	84.4	105.8	124.3	70.6	20.1	
F1S320	45.0	74.5	60.1	65.2	80.2	31.1	7.1		85.1	102.4	110.7	77.8	35.8	8.0	
F1S330	52.8	68.1	80.3	94.4	78.1	57.8	17.9		94.4	74.1	151.8	100.8	63.3	19.2	
F1S340	29.0	139.0	76.6	96.6	74.1	42.8	23.1		119.0	137.9	146.2	165.9	108.3	105.2	
F1S350	12.9	49.0	40.4	83.5	45.0	24.8	15.5		74.6	45.1	88.4	62.0	40.3	27.9	
G1H510	68.7	74.1	78.8	66.4	46.3	27.4	9.0		104.6	109.8	80.7	55.7	50.7	21.5	
G1H520	88.8	89.8	97.7	96.8	85.1	21.1	8.8		75.5	103.6	91.8	81.4	36.5	28.1	
G1H530	68.7	85.8	76.2	89.1	79.2	21.8	5.1		101.1	88.5	101.7	84.7	42.1	42.5	
G1H540	67.2	93.7	101.1	91.2	100.9	25.6	14.9		100.1	99.4	104.6	85.1	47.3	29.8	
G1H550	62.9	90.2	87.7	75.0	80.0	23.8	10.0		87.6	81.4	85.4	72.5	40.5	9.2	
G1S510	48.8	93.6	102.9	63.2	38.7	9.2	5.9		109.6	94.9	105.1	68.6	27.0	30.3	
G1S520	54.4	75.7	75.4	53.2	24.4	11.9	7.0		99.3	94.3	80.1	60.3	48.3	20.6	
G1S530	58.5	78.2	75.5	43.0	33.1	12.6	8.8		78.1	96.0	81.1	51.9	37.3	45.1	
G1S540	59.5	70.2	76.2	73.0	45.9	23.2	4.4		102.9	92.8	77.8	66.6	43.0	21.3	
G1S550	65.9	59.6	79.1	61.8	51.7	36.4	28.1		67.4	88.6	75.0	64.2	47.5	33.2	

つくば暴露9年後までの光沢保持率(%) 西面

その2

No.	初期光沢	水洗前 光沢保持率						水洗後 光沢保持率					
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後
A0H130	58.8	75.2	78.7	78.7	63.9	57.0	13.6	73.1	98.9	84.3	68.7	69.6	43.7
A0H161 OP1	16.9	80.7	52.3	70.9	90.5	65.7	61.5	99.2	112.8	72.0	85.2	108.3	77.5
A1H110	32.5	84.1	91.5	100.3	100.3	108.9	43.7	90.5	86.8	108.8	107.4	121.5	62.5
A1H120	38.8	95.9	81.0	82.0	83.8	75.8	29.1	84.6	83.3	79.2	97.2	102.6	58.5
A1H130	38.1	78.8	100.4	85.4	92.1	95.0	34.9	98.4	134.6	128.8	104.7	78.2	85.6
A1H140	29.0	86.3	88.2	98.0	82.1	67.9	88.2	81.8	90.4	88.7	92.4	84.8	86.6
A1H150	31.3	82.4	82.3	84.7	78.8	94.2	78.4	108.3	90.7	93.0	104.5	104.5	68.4
B0H230	48.9	64.6	68.8	73.3	93.5	46.6	22.9	87.1	86.7	100.4	92.2	98.4	58.7
B1H210	66.5	104.3	82.7	81.5	86.5	53.4	16.8	97.8	97.0	105.8	103.5	86.6	38.2
B1H220	67.9	96.1	90.8	94.7	95.1	59.9	16.2	106.1	99.2	93.3	98.9	92.9	48.2
B1H230	70.3	91.1	77.1	84.6	74.1	48.5	13.4	92.1	97.9	95.9	98.2	68.0	41.5
B1H240	71.5	81.9	79.4	88.3	78.7	40.1	11.3	90.5	91.7	94.0	86.2	65.2	50.2
B1H250	68.7	84.6	77.0	65.9	68.7	51.5	25.5	89.7	94.8	98.0	86.3	75.0	42.6
C1H130 OP1	69.3	78.9	78.3	81.5	82.5	81.2	34.5	100.7	81.1	88.2	93.7	85.4	65.4
D0H330	26.7	86.5	122.1	124.3	136.3	91.8	74.5	153.6	136.7	121.3	134.1	156.6	76.4
D1H310	60.1	85.3	76.0	68.8	71.2	59.2	49.3	59.6	55.8	71.3	72.9	90.3	78.5
D1H320	45.8	98.8	95.2	111.8	98.0	105.9	65.4	94.6	92.4	109.9	128.3	110.7	110.7
D1H330	49.0	49.4	111.4	102.2	89.6	104.1	69.2	88.7	71.2	85.9	99.2	90.4	62.9
D1H340	52.0	96.2	75.7	84.5	82.9	106.7	85.0	102.6	86.9	98.6	101.0	129.6	61.2
D1H350	43.5	101.0	118.0	125.7	129.2	123.0	93.3	130.5	161.5	142.9	140.2	114.5	109.4
F1S110	56.8	78.0	101.8	99.1	93.1	82.7	38.2	110.4	89.1	107.6	107.6	109.9	44.5
F1S120	48.7	80.9	106.0	112.1	114.8	119.1	47.4	91.4	67.8	102.9	116.6	106.0	49.3
F1S130	52.6	97.5	92.1	86.9	99.2	77.8	30.6	88.8	93.9	99.2	108.6	120.7	45.4
F1S140	57.2	77.8	93.9	102.7	93.9	75.3	35.8	89.9	91.8	103.1	102.6	102.3	48.2
F1S150	50.4	79.8	103.6	93.2	104.6	74.2	107.5	89.6	89.2	108.5	111.5	83.3	56.7
F1S210	78.4	75.7	89.1	99.3	94.0	57.6	17.8	82.2	91.6	98.3	100.5	72.9	19.4
F1S220	73.0	100.6	92.7	87.1	95.1	48.1	13.6	100.4	95.9	87.3	105.5	81.2	47.1
F1S230	80.1	82.0	88.0	95.9	92.3	44.4	9.5	91.2	102.2	104.7	103.9	68.3	17.1
F1S240	71.2	79.8	83.7	83.9	86.7	49.9	13.2	107.4	101.4	101.9	108.1	80.1	38.3
F1S250	74.2	87.7	98.6	92.8	93.9	53.4	22.5	107.9	95.7	97.1	103.5	88.0	27.5
F1S310	49.4	94.3	79.6	73.6	79.8	37.0	16.0	104.0	77.9	82.8	108.3	68.8	16.0
F1S320	39.0	111.3	141.8	111.3	86.4	45.9	7.4	99.0	135.9	110.3	141.0	52.8	20.3
F1S330	54.8	72.6	81.5	74.3	79.7	37.6	11.7	80.3	63.4	76.5	83.0	62.4	21.0
F1S340	39.0	98.4	84.6	114.3	75.1	35.1	38.9	112.9	144.0	148.3	142.8	80.8	48.2
F1S350	10.7	57.5	59.2	58.2	53.3	31.8	14.0	57.8	77.3	55.9	65.4	57.0	26.2
G1H510	68.2	100.7	88.9	81.0	62.5	20.1	7.2	107.0	105.7	88.7	99.6	38.0	33.9
G1H520	61.5	108.0	104.6	107.0	82.9	38.9	8.1	110.0	87.7	112.7	107.8	89.4	29.8
G1H530	71.7	79.9	83.9	84.5	77.4	18.1	14.4	85.8	93.0	94.0	84.8	47.7	19.8
G1H540	72.6	76.0	73.9	61.3	60.6	33.5	17.1	81.9	81.6	71.9	78.0	44.9	15.3
G1H550	49.4	135.2	127.0	117.9	100.2	50.6	7.7	147.3	141.8	114.7	121.1	58.3	7.3
G1S510	44.2	94.7	109.4	86.4	35.1	20.1	7.9	133.4	148.1	109.2	100.9	55.4	22.4
G1S520	51.6	77.9	93.6	73.4	28.3	8.9	7.8	108.1	87.0	101.6	56.2	8.5	19.6
G1S530	58.0	77.3	79.1	64.1	39.5	17.1	6.9	99.4	83.2	82.5	55.0	34.0	44.8
G1S540	59.0	76.9	79.0	63.9	49.0	28.5	3.1	84.0	75.2	73.7	62.7	45.4	22.7
G1S550	67.0	71.6	74.4	50.6	61.2	35.4	26.7	82.4	77.5	78.4	75.5	45.7	31.3

つば暴露9年後までの光沢保持率(%) 北面

その3

No.	初期光沢値	水洗前 光沢保持率						水洗後 光沢保持率					
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後
AOH130	38.0	150.5	143.2	120.0	120.3	92.6	41.3	138.5	150.9	140.1	133.4	134.5	70.3
AOH161 OP1	22.9	101.3	92.0	108.8	116.6	99.1	95.6	93.3	119.9	122.5	133.6	100.9	76.0
A1H110	37.9	88.2	102.6	99.2	105.3	105.0	45.4	109.0	102.9	120.3	92.9	114.5	81.0
A1H120	35.1	88.4	87.7	91.8	99.4	84.9	45.6	118.3	115.5	91.3	109.7	93.2	65.0
A1H130	42.7	94.8	101.2	105.7	93.7	90.2	58.8	115.2	118.3	111.5	118.7	104.2	87.1
A1H140	80.6	87.6	85.2	78.5	83.2	85.5	48.5	99.2	100.5	92.7	79.9	84.8	64.9
A1H150	28.0	80.0	103.3	102.4	106.1	106.1	73.2	85.1	100.5	92.3	109.3	86.8	83.6
BOH230	32.5	94.0	125.3	106.7	119.7	79.7	28.9	123.0	123.0	126.0	140.8	124.6	44.0
B1H210	65.6	79.7	85.7	99.3	95.3	75.2	30.5	103.6	78.5	85.8	98.3	82.5	42.1
B1H220	64.3	98.8	81.4	86.7	82.3	58.2	25.2	98.8	109.2	110.3	107.0	85.2	48.4
B1H230	66.6	85.8	94.2	84.7	87.2	63.7	17.1	94.2	93.0	102.8	94.7	82.1	58.6
B1H240	62.4	109.3	85.7	93.7	97.9	62.2	18.9	101.0	102.7	97.0	99.5	84.1	66.0
B1H250	59.0	99.5	114.2	106.7	109.5	78.3	43.2	114.0	114.9	119.3	106.8	96.9	58.1
C1H130 OP1	64.4	81.4	79.2	84.9	96.6	84.1	50.8	99.3	104.9	109.6	107.1	102.5	83.2
DOH330	45.0	82.4	118.1	114.9	105.8	84.4	24.9	125.2	139.4	136.5	121.1	146.2	50.0
D1H310	59.6	74.3	91.3	88.7	88.3	89.8	56.5	109.2	97.1	99.2	98.0	101.8	82.4
D1H320	57.1	83.5	82.3	96.9	92.5	89.9	60.6	71.1	72.8	86.6	103.3	90.9	82.5
D1H330	60.2	80.7	90.9	88.6	92.0	83.4	51.8	89.9	98.2	100.6	99.2	104.2	79.2
D1H340	42.0	72.8	94.5	105.4	101.2	105.5	41.2	101.3	111.5	114.9	99.5	89.8	50.2
D1H350	56.7	78.1	83.9	91.9	98.2	75.7	62.6	112.8	109.2	98.6	104.9	61.0	99.6
F1S110	56.6	89.7	99.3	99.0	103.4	80.9	38.5	104.2	124.2	117.7	99.6	112.2	66.8
F1S120	57.4	84.1	88.4	88.4	88.5	86.9	35.9	106.4	105.4	104.0	95.5	96.3	72.0
F1S130	65.8	77.7	88.5	98.3	83.7	67.6	35.3	87.7	107.7	104.6	86.5	95.4	48.6
F1S140	62.0	74.4	82.6	84.8	98.4	89.5	43.7	82.1	99.2	101.7	92.9	91.1	48.1
F1S150	63.3	73.9	73.6	82.7	89.1	79.9	51.2	88.8	77.1	86.2	92.3	83.4	30.6
F1S210	71.5	95.6	101.1	101.8	99.9	67.8	19.6	88.9	115.8	108.5	109.9	93.8	33.3
F1S220	78.9	85.2	90.2	96.6	97.0	54.6	28.3	101.6	96.6	105.1	102.9	75.4	42.7
F1S230	77.1	78.5	89.5	92.7	99.9	59.4	18.2	105.1	108.3	105.8	107.9	78.3	24.5
F1S240	77.4	95.3	95.5	80.4	89.1	47.4	20.8	100.6	103.9	91.0	89.8	82.0	33.3
F1S250	78.1	89.0	84.9	83.3	87.5	59.5	27.4	108.9	101.2	87.7	95.3	79.9	38.4
F1S310	48.7	85.8	83.0	79.5	81.5	58.9	41.5	82.9	115.3	109.6	96.9	107.8	64.7
F1S320	48.5	73.8	80.5	76.5	87.8	61.9	18.6	100.5	101.6	92.7	104.7	82.3	22.1
F1S330	54.8	88.8	84.8	80.6	83.8	65.7	16.4	67.4	94.9	81.3	84.9	65.0	39.2
F1S340	52.2	61.1	95.2	92.9	84.7	57.5	37.7	124.4	137.1	107.5	95.8	90.6	34.1
F1S350	6.1	62.1	70.9	89.8	86.9	88.5	57.4	94.0	105.5	131.9	103.3	86.9	47.5
G1H910	67.2	97.2	92.7	96.4	88.7	48.7	20.8	117.2	107.8	111.0	117.0	69.2	41.2
G1H520	53.4	92.3	105.2	114.9	99.3	70.0	18.4	117.4	122.3	122.3	127.2	82.6	55.2
G1H530	73.5	88.8	87.2	82.8	78.2	46.0	16.6	83.8	85.7	95.2	92.1	69.3	27.6
G1H540	71.4	79.9	97.0	93.8	73.8	37.4	16.8	97.5	77.1	94.2	92.0	58.7	23.7
G1H550	74.1	83.1	84.3	87.8	78.8	38.6	10.4	94.7	89.3	87.5	81.1	48.7	10.5
G1S510	52.7	70.2	82.3	80.0	45.4	24.7	9.1	78.7	78.3	92.0	89.4	34.7	21.1
G1S520	53.0	107.0	112.8	96.1	60.2	27.9	6.6	75.3	101.7	114.2	80.9	54.7	24.9
G1S530	61.9	75.6	72.6	78.9	37.3	13.4	4.8	95.4	102.6	89.9	78.0	22.0	38.8
G1S540	65.8	81.2	81.4	70.9	48.3	18.1	5.9	77.4	85.9	79.8	65.5	43.5	25.4
G1S550	74.2	66.8	82.5	81.4	64.7	49.3	27.6	49.3	94.3	77.8	73.0	55.3	32.7

つば暴露9年後までの光沢保持率(%) 東面

その4

No.	初期光沢値	水洗前 光沢保持率						水洗後 光沢保持率					
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後
AOH130	44.9	84.6	103.0	104.8	87.5	98.0	33.4	124.3	114.7	122.0	96.9	114.5	65.3
AOH161 OP1	14.9	109.4	81.4	104.9	85.9	96.0	45.6	120.4	83.4	131.2	97.3	108.7	80.5
A1H110	38.2	77.3	97.6	94.2	101.6	96.6	41.4	90.4	123.4	131.3	105.8	106.3	59.2
A1H120	54.7	84.0	79.5	77.6	77.1	70.9	51.4	93.1	74.2	92.7	83.8	79.7	60.5
A1H130	54.1	80.1	84.1	72.9	83.0	79.5	29.4	98.1	97.7	93.1	75.2	71.2	41.4
A1H140	37.4	81.1	97.1	89.6	95.2	72.5	50.0	93.5	90.8	95.1	115.2	86.9	66.8
A1H150	65.6	85.1	73.4	56.3	66.3	52.9	35.1	105.9	88.6	88.4	79.0	89.0	54.6
BOH230	51.1	64.7	83.0	88.2	79.5	51.7	16.8	80.6	90.5	95.8	85.1	64.2	60.5
B1H210	69.9	67.0	86.1	95.3	92.8	86.1	23.0	98.8	103.8	102.2	92.7	86.7	52.5
B1H220	71.3	89.4	92.5	92.8	88.4	56.7	17.1	99.6	94.6	95.1	95.7	92.6	51.5
B1H230	68.0	88.2	100.4	98.5	99.9	85.7	25.0	108.8	119.1	116.6	94.9	99.3	64.4
B1H240	72.9	71.7	78.6	71.0	84.4	54.2	15.4	101.8	104.5	94.7	81.5	81.8	62.6
B1H250	73.1	76.3	80.7	83.6	84.1	70.6	38.0	106.4	94.8	96.1	93.7	78.1	54.0
C1H130 OP1	64.5	80.4	88.9	98.8	88.4	85.1	57.5	118.5	109.4	103.8	96.4	82.3	79.4
DOH330	20.0	122.5	91.8	148.5	192.0	100.5	93.0	115.5	168.5	190.0	202.0	161.0	81.0
D1H310	40.8	65.9	97.3	101.2	111.0	107.1	45.3	90.5	80.5	98.9	106.4	98.3	63.2
D1H320	46.8	87.7	90.9	104.1	120.5	109.8	95.7	85.5	112.8	113.2	107.7	90.4	86.3
D1H330	51.0	51.4	99.2	106.2	104.5	88.6	40.2	83.9	96.7	111.0	106.3	81.0	43.3
D1H340	50.9	106.1	102.4	101.5	108.6	98.2	69.9	94.8	119.0	107.0	114.9	107.1	101.4
D1H350	48.9	75.4	99.9	107.4	110.0	109.6	97.5	91.1	119.1	119.3	122.9	94.7	109.2
F1S110	50.9	80.0	105.2	92.0	94.1	97.6	36.5	103.5	103.3	102.3	100.0	125.5	46.2
F1S120	54.9	54.5	92.8	86.8	84.0	77.8	44.1	121.9	67.9	103.5	99.6	81.1	42.1
F1S130	60.9	74.7	88.9	84.7	94.9	77.3	44.0	106.6	87.4	93.6	93.3	79.0	44.2
F1S140	56.7	85.4	99.4	82.1	83.8	76.7	43.0	110.3	93.0	91.9	116.8	104.2	44.1
F1S150	54.6	97.7	110.2	116.2	120.1	102.9	70.1	122.3	121.7	126.3	120.7	99.1	64.7
F1S210	72.9	84.0	92.5	95.2	96.4	57.6	14.1	99.2	97.9	101.5	107.7	82.3	35.5
F1S220	72.3	85.9	88.4	86.9	88.2	44.4	15.8	105.9	92.9	102.4	92.3	56.6	41.4
F1S230	66.5	79.8	94.2	90.6	103.6	58.5	17.6	103.9	111.5	96.2	115.0	79.4	37.1
F1S240	80.7	72.2	82.2	85.3	83.4	60.1	18.3	93.1	91.1	80.8	93.2	79.1	35.8
F1S250	79.4	84.2	83.9	87.9	86.5	48.2	18.9	98.5	100.7	96.1	88.2	74.9	31.0
F1S310	48.6	65.9	83.5	86.8	95.9	37.7	16.7	114.9	136.7	115.9	120.8	110.7	22.8
F1S320	39.3	74.7	64.8	78.4	93.1	47.3	19.6	75.0	112.1	95.1	132.6	89.5	28.0
F1S330	42.8	85.3	101.4	97.5	104.2	85.0	18.2	114.5	116.4	122.4	112.6	84.3	35.0
F1S340	35.4	121.1	105.6	95.5	76.8	51.1	45.5	127.1	125.5	104.5	105.9	96.0	64.4
F1S350	6.4	98.4	84.8	67.5	59.4	48.4	34.4	81.7	88.8	70.7	71.9	95.3	56.3
G1H510	61.7	99.9	88.7	97.8	96.3	37.0	16.0	97.7	100.3	108.6	110.5	67.3	35.3
G1H520	55.1	102.5	109.8	105.5	94.9	45.2	23.4	118.5	109.3	102.4	114.0	59.0	49.7
G1H530	52.7	109.9	108.7	115.9	103.6	48.8	21.1	99.5	132.9	115.3	113.9	85.2	55.0
G1H540	57.7	92.8	87.6	85.6	70.7	53.2	17.9	111.4	87.6	99.1	91.0	61.9	27.9
G1H550	58.1	91.5	109.9	83.5	78.4	49.6	14.3	111.5	126.1	99.8	93.8	85.9	13.8
G1S510	58.1	68.2	69.1	71.3	32.0	15.7	8.1	90.3	101.7	82.2	67.0	26.9	17.4
G1S520	45.9	89.1	102.2	71.0	32.0	14.6	5.4	131.2	105.7	95.2	80.2	36.4	19.0
G1S530	67.0	65.0	70.8	58.3	38.2	10.0	5.2	95.6	68.5	69.4	56.0	22.7	33.9
G1S540	53.1	83.1	84.7	81.9	75.3	17.5	9.2	89.3	99.4	89.3	78.2	31.5	20.5
G1S550	69.0	73.5	78.7	72.1	65.2	42.0	29.6	89.2	82.9	86.0	69.1	35.4	30.7

つくば暴露9年後までの光沢保持率(%) 上面 その5

No.	初期光沢値	水洗前 光沢保持率					
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後
AOH130	47.2	85.4	76.1	74.0	77.5	50.8	17.2
AOH161 OP1	20.2	102.8	59.9	86.5	66.8	36.1	30.2
A1H110	44.3	97.7	67.2	70.1	78.3	63.9	14.0
A1H120	54.1	67.0	61.6	49.8	62.3	37.3	12.0
A1H130	56.0	68.2	51.5	43.0	67.1	49.3	9.3
A1H140	32.5	76.9	69.0	67.4	72.9	55.1	13.5
A1H150	47.5	89.6	59.9	61.5	70.5	23.2	2.5
BOH230	47.4	72.8	53.9	60.2	42.8	23.4	8.6
B1H210	60.7	92.6	71.6	76.3	65.2	22.6	11.5
B1H220	65.1	68.7	65.7	56.9	50.8	27.2	10.1
B1H230	56.6	99.6	78.5	81.4	66.8	29.9	11.7
B1H240	75.6	77.4	79.3	64.4	47.8	17.2	9.3
B1H250	67.4	83.6	65.2	65.2	56.2	21.7	5.0
C1H130 OP1	68.2	83.0	72.2	72.0	82.3	64.1	13.9
DOH330	24.5	107.9	109.9	120.0	150.6	78.8	69.8
D1H310	39.3	89.4	85.1	94.6	104.1	63.9	35.4
D1H320	43.5	83.9	88.0	79.4	85.7	68.5	27.1
D1H330	50.6	66.1	62.6	72.8	65.6	68.6	21.7
D1H340	61.6	84.5	67.5	73.2	84.6	65.1	41.6
D1H350	46.3	92.7	82.0	68.9	98.7	65.0	32.4
F1S110	76.9	79.0	72.7	71.8	71.9	33.3	9.0
F1S120	70.2	65.1	67.2	56.4	62.3	35.0	7.7
F1S130	72.5	70.9	61.5	56.4	67.6	41.4	8.7
F1S140	70.4	70.7	55.9	66.2	69.7	40.5	8.0
F1S150	66.8	75.5	57.7	59.9	74.7	28.1	2.4
F1S210	61.2	88.7	74.9	64.7	62.6	15.0	8.3
F1S220	71.7	55.4	48.8	47.7	49.2	13.4	8.9
F1S230	76.3	66.5	67.9	65.5	43.0	11.1	6.6
F1S240	71.5	91.1	73.7	58.8	57.6	20.4	7.4
F1S250	75.8	83.1	68.2	58.2	50.7	9.9	2.1
F1S310	67.7	41.2	41.5	32.0	37.2	4.4	2.1
F1S320	40.9	51.0	73.0	69.3	68.9	8.1	4.2
F1S330	74.7	77.1	71.4	55.5	39.0	19.1	8.8
F1S340	67.8	58.1	41.3	38.2	38.1	28.8	13.0
F1S350	23.0	71.4	46.9	35.4	32.2	7.8	8.7
G1H510	55.3	117.2	103.9	62.6	29.5	9.4	26.4
G1H520	58.0	108.4	107.1	69.8	31.4	12.6	24.1
G1H530	67.6	88.1	74.8	60.3	26.9	12.0	12.0
G1H540	69.5	92.6	84.9	52.5	39.1	7.1	9.4
G1H550	79.7	84.8	67.7	45.3	12.3	5.1	5.3
G1S510	57.2	68.0	22.0	25.0	14.2	8.7	6.6
G1S520	62.2	58.7	19.6	17.7	10.9	7.9	5.0
G1S530	65.7	36.0	11.8	14.9	9.9	8.4	9.1
G1S540	49.8	61.8	27.2	30.8	13.7	17.1	8.8
G1S550	71.3	49.3	22.7	24.5	19.9	9.3	13.5

表-5-8 沖縄暴露試験の光沢値測定結果
無筋コンクリート試験体

南面 水洗前

試験体No.	光沢初期値	6ヶ月後		1年後		2年後		3年後		5年後		9年後	
		光沢値	光沢保持率	光沢値	光沢保持率	光沢値	光沢保持率	光沢値	光沢保持率	光沢値	光沢保持率	光沢値	光沢保持率
A0H161OP1	22.4	28.2	125.7	25.2	112.5	28.8	128.6	27.1	121.0	21.8	97.3	12.5	55.8
A1H131	53.8	35.8	66.6	41.4	77.0	32.3	60.1	31.0	57.6	16.1	29.9	3.7	6.9
B1H231	75.9	56.0	73.8	64.7	85.2	61.2	80.6	56.3	74.2	25.4	33.5	11.0	14.9
C1H131OP1	70.6	56.9	80.6	57.0	80.8	50.1	70.9	42.5	60.2	31.0	43.9	6.3	8.9
D1H331	48.7	43.9	90.1	50.0	102.6	44.6	91.5	41.8	85.8	6.8	14.0	3.1	6.4
G1H531	74.3	50.0	67.3	46.0	61.9	49.1	66.1	18.6	25.0	6.8	9.2	3.6	4.8

水洗後

A0H161OP1	22.4	32.7	146.0	25.4	113.4	23.2	103.6	25.1	112.1	24.0	107.1	18.2	81.3
A1H131	53.8	52.6	97.8	43.2	80.3	41.3	76.8	43.5	80.9	38.5	71.6	38.2	71.0
B1H231	75.9	60.3	79.4	70.8	93.3	61.9	81.6	69.8	92.0	48.9	64.4	44.1	55.6
C1H131OP1	70.6	61.4	86.9	64.6	91.5	67.3	95.3	54.3	76.9	47.5	67.3	21.0	29.7
D1H331	48.7	48.8	100.2	56.2	115.4	45.6	93.6	50.9	104.5	56.7	116.4	48.8	100.2
G1H531	74.3	60.5	81.4	61.3	82.5	62.3	83.9	54.6	73.5	38.4	51.7	24.4	32.8

西面 水洗前

A0H161OP1	25.8	31.0	120.0	26.0	100.6	25.2	97.5	22.1	85.7	21.4	82.9	14.8	57.4
A1H131	60.7	46.4	76.4	41.8	68.8	41.9	69.0	39.1	64.4	19.5	32.1	3.8	6.3
B1H231	77.1	63.8	82.7	51.4	66.7	51.9	67.3	50.3	65.2	27.2	35.3	16.6	20.1
C1H131OP1	64.8	45.9	70.8	49.9	77.0	47.4	73.2	46.5	71.8	26.4	40.7	4.6	7.1
D1H331	43.6	52.1	119.4	38.3	87.8	41.8	95.8	41.9	96.1	10.6	24.3	3.3	7.6
G1H531	74.8	52.1	69.6	46.1	61.6	42.2	56.4	21.8	29.1	6.6	8.8	5.8	7.8

水洗後

A0H161OP1	25.8	32.1	124.3	25.3	97.9	21.4	82.8	19.9	77.1	20.2	78.3	22.4	86.8
A1H131	60.7	46.6	76.8	42.7	70.4	44.7	73.7	44.7	73.6	45.0	74.1	23.3	38.4
B1H231	77.1	61.8	106.1	68.1	88.3	65.3	84.7	61.4	79.6	51.5	66.8	46.9	44.2
C1H131OP1	64.8	49.3	76.1	55.6	85.8	53.5	82.6	54.9	84.7	35.9	55.4	26.2	40.4
D1H331	43.6	49.5	113.5	51.9	119.1	50.7	116.3	46.6	106.9	36.4	83.5	4.1	9.4
G1H531	74.8	58.4	78.1	55.4	74.1	52.5	70.2	53.0	70.9	41.6	55.6	24.4	32.6

北面 水洗前

A0H161OP1	25.6	38.8	151.4	25.1	98.2	30.1	117.4	29.0	113.3	23.1	90.2	13.0	50.8
A1H131	37.0	28.7	77.7	24.6	66.4	24.1	65.1	12.2	33.0	6.0	16.2	2.6	7.0
B1H231	72.5	65.1	89.8	49.6	68.4	44.6	61.5	28.5	39.3	11.2	15.4	4.2	4.7
C1H131OP1	61.1	48.0	78.6	48.6	79.6	42.2	69.1	21.6	35.4	4.1	6.7	2.6	4.3
D1H331	54.5	49.9	91.6	34.7	63.7	36.5	67.0	16.8	30.8	3.6	6.6	4.7	8.6
G1H531	67.7	55.5	82.0	39.8	58.8	36.5	53.9	10.6	15.7	5.7	8.4	4.5	6.6

水洗後

A0H161OP1	25.6	37.2	145.3	29.4	114.8	32.4	126.6	38.4	150.0	34.0	132.8	14.7	57.4
A1H131	37.0	41.6	112.4	40.7	110.0	32.7	88.4	22.2	60.0	9.2	24.9	3.8	10.3
B1H231	72.5	62.1	85.7	72.2	99.6	62.5	86.2	46.0	63.4	20.4	28.1	14.3	16.7
C1H131OP1	61.1	73.8	120.8	60.7	99.3	54.1	88.5	48.0	78.6	23.8	39.0	4.8	7.9
D1H331	54.5	43.7	80.1	42.7	78.3	38.4	70.4	18.5	33.9	4.5	8.3	5.3	9.7
G1H531	67.7	55.3	81.7	50.0	73.9	56.3	83.2	24.9	36.8	10.3	15.2	10.4	15.4

東面 水洗前

A0H161OP1	21.8	26.0	119.2	15.4	70.8	14.9	68.2	13.9	63.8	15.6	71.6	14.7	67.4
A1H131	56.5	43.5	77.0	38.6	68.4	37.8	66.9	22.0	38.9	3.7	6.5	2.3	4.1
B1H231	61.9	61.8	99.8	57.6	93.1	47.5	76.7	35.9	58.0	13.8	22.3	13.9	13.9
C1H131OP1	75.2	46.1	61.3	39.3	52.3	40.5	53.9	24.3	32.3	2.4	3.2	4.0	5.3
D1H331	51.5	40.6	78.9	43.2	83.8	38.9	75.5	23.7	46.0	3.5	6.8	3.7	7.2
G1H531	66.7	55.2	82.8	52.1	78.1	45.8	68.6	19.0	28.5	6.5	9.7	6.6	9.9

水洗後

A0H161OP1	21.8	35.3	161.7	32.2	147.5	29.5	135.1	23.0	105.5	23.7	108.7	16.6	76.1
A1H131	56.5	47.5	84.1	45.7	80.8	48.4	85.7	45.4	80.4	42.3	74.9	19.4	34.3
B1H231	61.9	60.3	97.4	63.0	101.7	52.0	84.0	50.7	81.9	37.5	60.6	26.4	27.1
C1H131OP1	75.2	60.5	80.5	54.4	72.3	47.2	62.8	44.2	58.8	36.5	48.5	8.3	11.0
D1H331	51.5	58.5	113.5	50.3	97.7	42.5	82.6	41.9	81.4	19.5	37.9	7.3	14.2
G1H531	66.7	64.8	97.1	66.2	99.2	52.3	78.4	31.5	47.2	15.2	22.8	12.3	18.4

上面 水洗前

A0H161OP1	24.7	21.3	86.4	17.8	72.2	18.0	72.9	19.6	79.4	14.4	58.3	11.3	45.7
A1H131	38.1	40.3	105.9	35.1	92.0	27.5	72.1	8.7	22.8	3.1	8.1	2.3	6.0
B1H231	69.7	62.8	90.1	52.4	75.2	29.5	42.3	10.8	15.5	5.1	7.3	7.7	8.5
C1H131OP1	72.9	51.4	70.5	51.8	71.0	35.6	48.8	8.5	11.7	2.4	3.3	2.8	3.8
D1H331	55.7	50.2	90.1	39.3	70.5	24.8	44.6	5.6	10.1	2.9	5.2	3.4	6.1
G1H531	69.2	57.9	83.7	54.7	79.0	13.3	19.2	10.0	14.5	5.8	8.4	5.0	7.2

沖縄暴露9年後までの光沢保持率
有筋塩入り大型コンクリート試験体

その2

下面

試験体No.	光沢初期値	水洗前 光沢保持率							水洗後 光沢保持率						
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	
A1S131OP2	46.1	67.0	66.4	70.4	78.3	65.5	49.5		121.7	129.1	101.5	92.0	65.9	73.3	
A1S131OP3	15.0	90.4	65.5	82.5	77.3	53.3	34.0		160.4	162.4	88.9	103.3	58.7	55.3	
B1S231OP1	85.6	50.5	56.8	69.2	51.1	40.8	51.2		96.4	90.5	81.5	72.1	67.3	54.8	
B1S231OP2	21.1	71.3	74.3	72.6	72.0	73.5	68.2		56.8	88.5	73.3	90.0	85.3	76.8	
C1S331OP3	30.2	56.7	55.5	61.1	67.5	65.2	64.6		144.0	95.4	67.5	78.1	82.8	76.2	
C1S331OP4	45.0	63.7	39.1	47.7	65.6	58.0	90.9		136.3	126.6	101.5	94.4	89.6	100.0	
C1S031OP5	3.9	86.4	69.9	76.3	53.8	30.8	35.9		165.3	76.3	99.2	82.1	46.2	41.0	
E1S431OP1	6.9	88.8	105.6	88.1	95.7	82.6	84.1		83.0	75.7	88.8	95.7	89.9	78.3	
G1H531	76.3	64.1	50.0	52.0	49.1	43.4	30.3		103.0	109.7	95.4	70.0	69.3	33.2	
G1S731	53.4	76.5	40.4	44.9	40.1	31.6	18.7		103.9	102.1	85.2	72.7	28.8	38.0	
G1S831	79.2	53.3	34.2	55.7	44.6	44.9	33.8		95.3	95.5	80.2	79.8	59.3	46.8	

北面

試験体No.	光沢初期値	水洗前 光沢保持率							水洗後 光沢保持率						
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	
A1S131OP2	42.2	122.8	91.8	84.3	57.1	11.1	4.5		149.9	109.6	81.1	54.0	5.2	5.2	
A1S131OP3	17.5	88.4	66.3	78.0	47.4	22.3	13.7		177.1	125.7	151.4	85.7	25.1	22.9	
B1S231OP1	81.6	77.6	65.0	64.2	33.1	11.9	4.4		84.3	85.2	57.6	29.8	7.7	10.2	
B1S231OP2	45.9	90.0	75.4	76.4	60.3	30.9	7.0		129.1	135.0	101.2	54.7	18.1	11.1	
C1S331OP3	24.9	122.6	102.4	105.4	93.6	83.9	48.6		90.8	199.2	191.6	117.7	120.5	70.3	
C1S331OP4	63.8	61.3	60.7	63.6	85.0	70.4	42.0		92.7	94.6	98.6	85.9	72.6	54.2	
C1S031OP5	4.0	84.9	73.1	73.1	55.0	32.5	35.0		93.3	73.1	65.5	57.5	27.5	35.0	
E1S431OP1	9.3	83.5	78.5	81.7	73.1	47.3	34.4		80.6	84.9	87.1	78.5	57.0	40.9	
G1H531	82.6	82.8	72.9	58.4	13.9	7.1	5.3		66.6	90.2	61.6	19.4	6.7	7.3	
G1S731	45.9	100.1	76.7	34.6	21.6	13.7	14.4		122.0	119.0	65.6	53.8	31.4	38.1	
G1S831	86.3	78.9	68.9	42.9	28.6	24.8	20.4		98.9	96.0	67.5	61.1	37.5	41.5	

上面

試験体No.	光沢初期値	水洗前 光沢保持率							水洗後 光沢保持率						
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	
A1S131OP2	64.5	80.3	56.4	49.0	9.5	2.2	3.1		102.3	77.8	58.1	12.2	2.6	3.4	
A1S131OP3	18.7	41.3	69.6	31.9	28.9	17.1	11.2		86.3	67.5	51.4	42.2	17.1	16.0	
B1S231OP1	84.8	85.4	59.8	33.6	11.4	6.6	5.8		102.9	79.1	40.8	25.6	15.1	9.1	
B1S231OP2	26.2	118.2	112.0	57.5	39.3	26.0	17.2		124.2	126.1	86.0	82.8	57.3	27.1	
C1S331OP3	35.9	54.1	70.4	70.5	79.4	46.5	21.7		69.9	126.3	123.8	110.0	70.5	44.0	
C1S331OP4	66.0	61.2	70.5	66.1	69.1	41.8	23.6		98.1	90.8	87.9	83.8	63.9	31.7	
C1S031OP5	3.8	92.2	80.9	60.0	42.1	34.2	34.2		135.7	93.9	65.2	52.6	39.5	44.7	
E1S431OP1	10.4	79.2	83.4	79.6	63.5	39.4	28.8		93.9	94.9	89.1	66.3	50.0	51.9	
G1H531	86.5	79.3	62.7	16.4	8.1	4.7	3.8		78.2	92.1	19.8	10.2	5.1	10.6	
G1S731	46.3	66.8	34.1	19.3	16.8	11.2	12.3		141.6	86.5	68.2	47.1	39.7	36.1	
G1S831	85.3	59.8	59.6	21.7	24.5	23.4	14.4		85.9	64.2	61.2	44.7	38.1	39.9	

南面

試験体No.	光沢初期値	水洗前 光沢保持率							水洗後 光沢保持率						
		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後		6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	5年後	9年後	
A1S131OP2	52.4	90.5	68.7	61.2	69.7	40.5	6.3		107.8	82.6	81.1	74.8	53.4	6.1	
A1S131OP3	19.0	59.3	43.7	45.0	33.2	18.4	16.3		103.7	73.7	56.3	50.0	30.5	27.4	
B1S231OP1	80.1	77.8	53.4	54.2	52.6	27.0	18.9		92.9	68.7	66.7	60.5	35.1	26.8	
B1S231OP2	35.3	121.6	102.7	104.7	103.7	69.4	28.9		181.4	205.5	181.7	156.4	98.0	47.0	
C1S331OP3	35.8	62.0	57.0	69.3	72.6	67.6	43.3		159.1	74.9	71.9	120.4	101.1	69.8	
C1S331OP4	47.7	82.8	57.0	69.5	78.8	80.5	41.9		94.8	135.5	124.8	133.3	121.6	81.1	
C1S031OP5	4.1	88.5	75.0	76.2	58.5	31.7	34.1		105.7	86.1	86.1	65.9	31.7	34.1	
E1S431OP1	9.7	82.8	83.5	86.6	79.4	64.9	39.2		95.9	90.7	89.7	90.7	82.5	48.5	
G1H531	80.9	90.1	75.3	61.3	20.9	9.5	7.9		95.2	102.0	91.5	28.1	18.9	12.0	
G1S731	58.5	77.7	39.5	26.6	15.6	7.0	8.7		97.0	84.0	41.7	51.8	22.2	26.0	
G1S831	76.7	91.4	69.1	51.9	30.0	16.9	16.8		106.0	100.0	73.0	60.6	39.0	36.1	

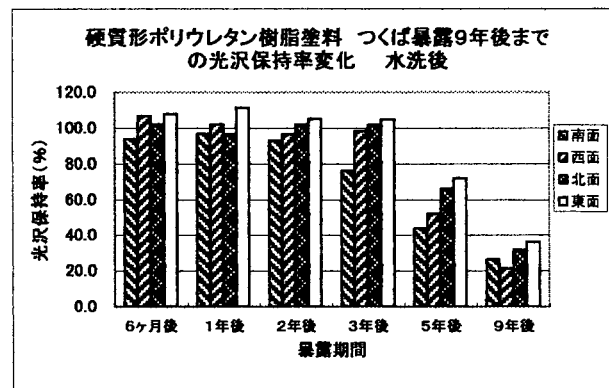
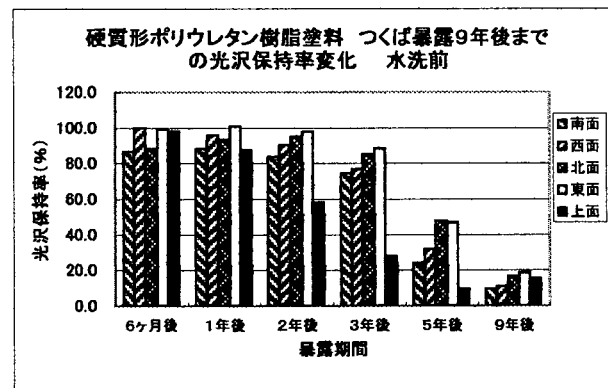
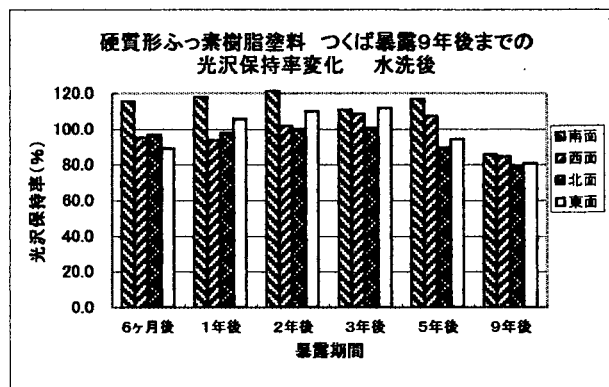
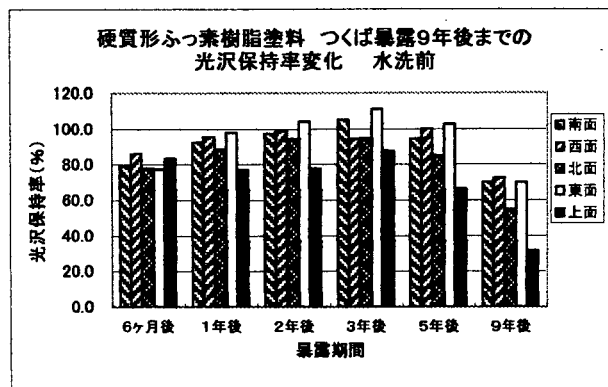
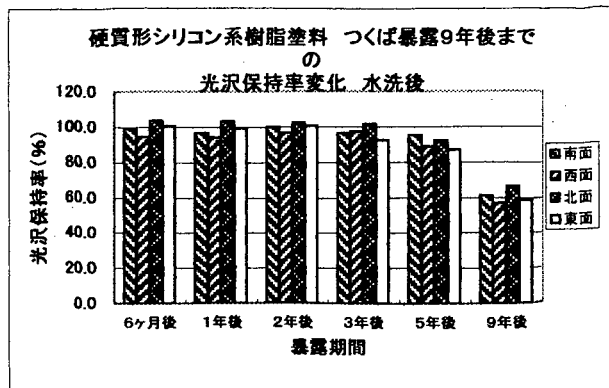
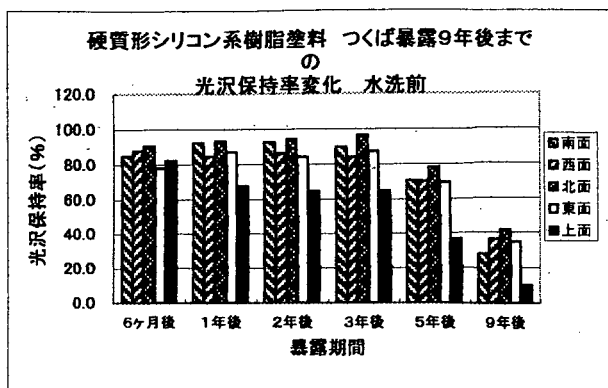


図-5・2 つくば暴露 硬質形樹脂別光沢保持率変化比較

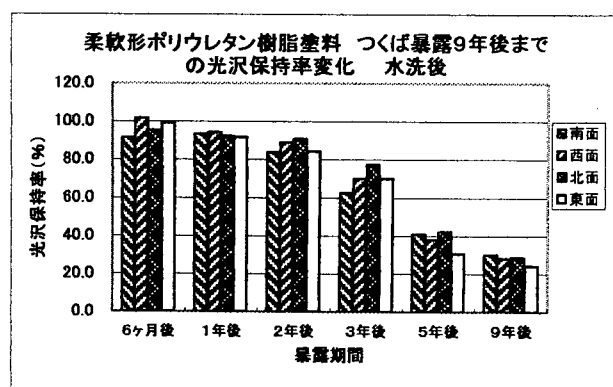
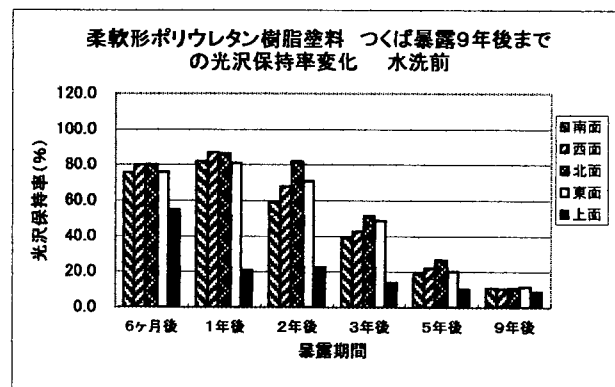
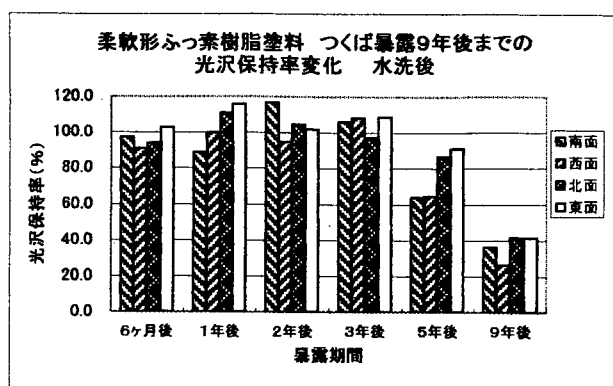
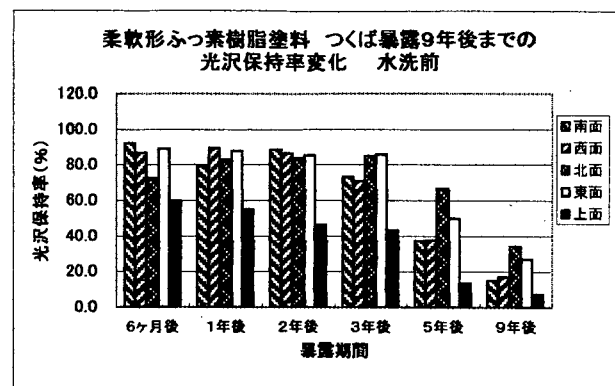
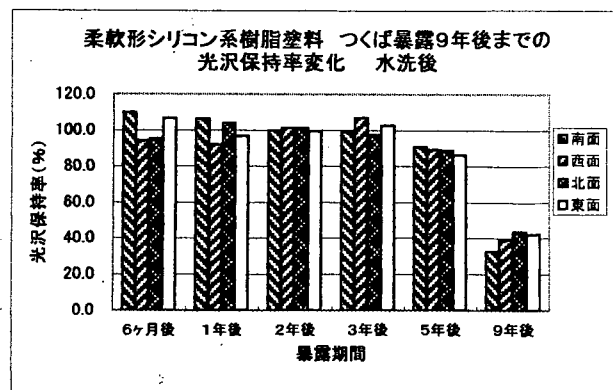
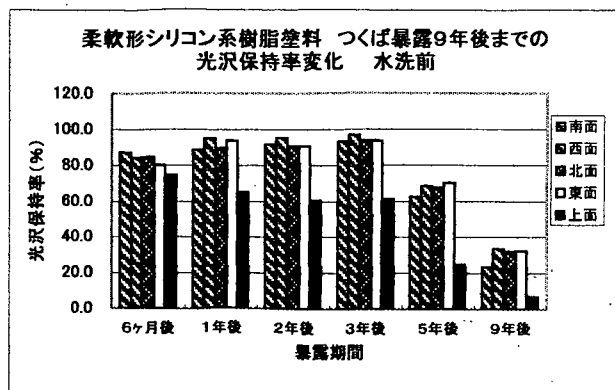


図-5-3 つくば暴露 柔軟形樹脂別光沢保持率変化比較

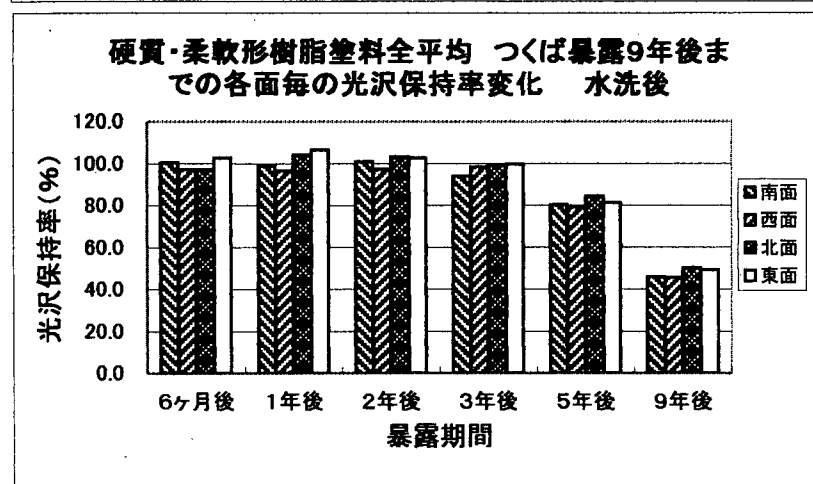
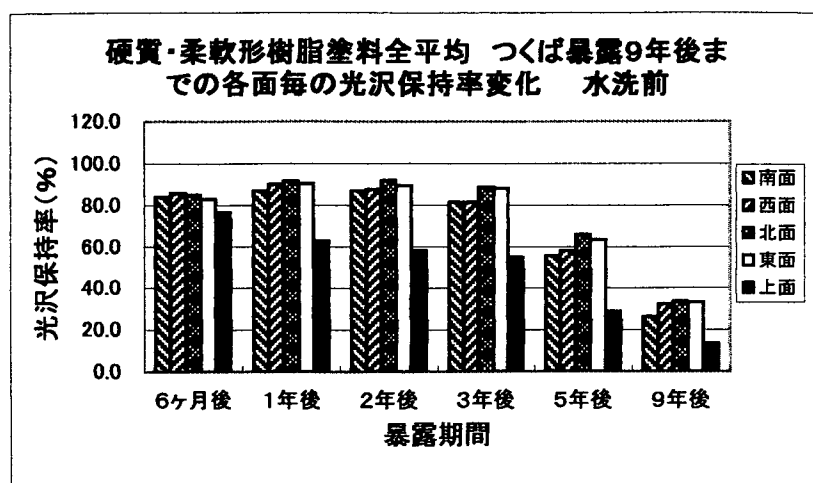


図-5-4 つくば暴露 各面毎の光沢保持率変化比較

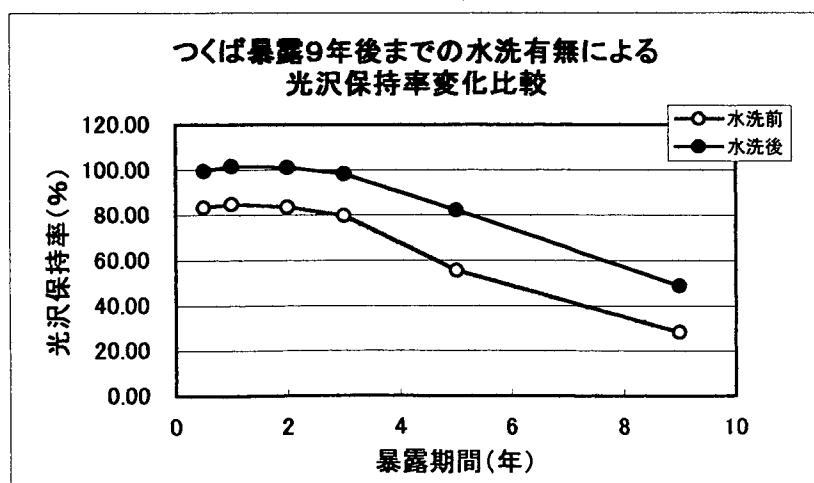


図-5-5 つくば暴露 水洗有無による光沢保持率変化比較

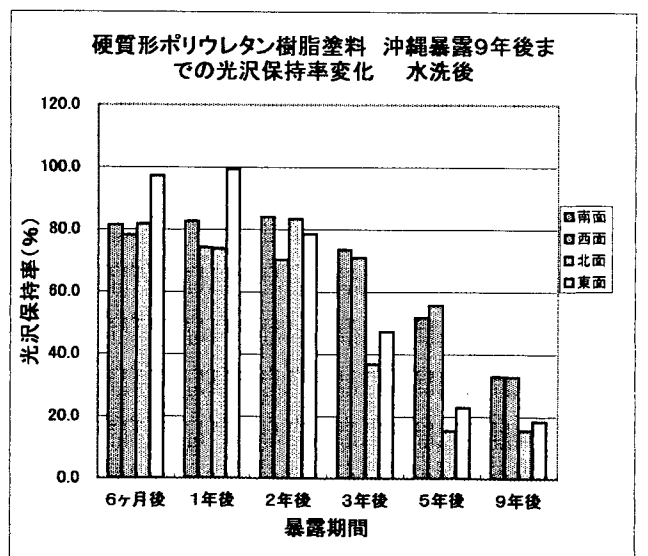
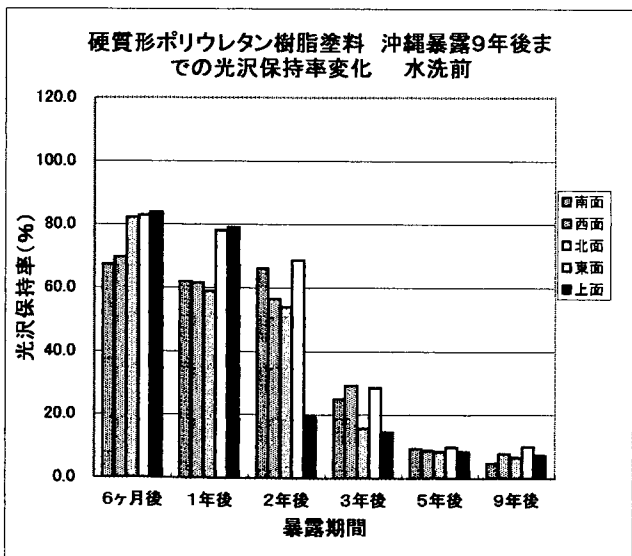
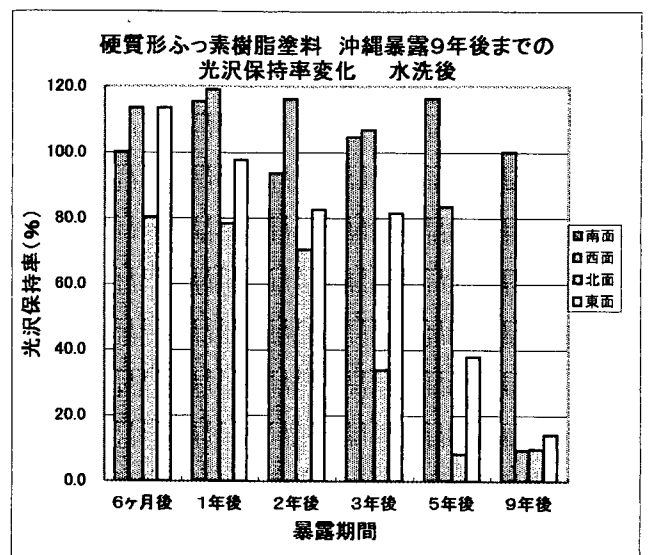
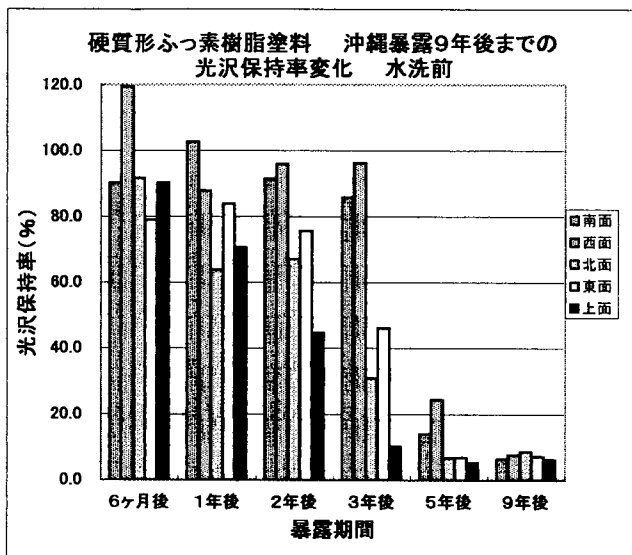
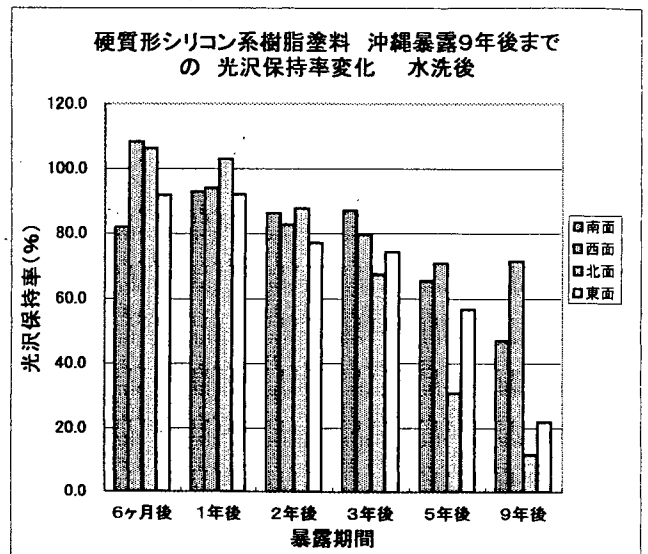
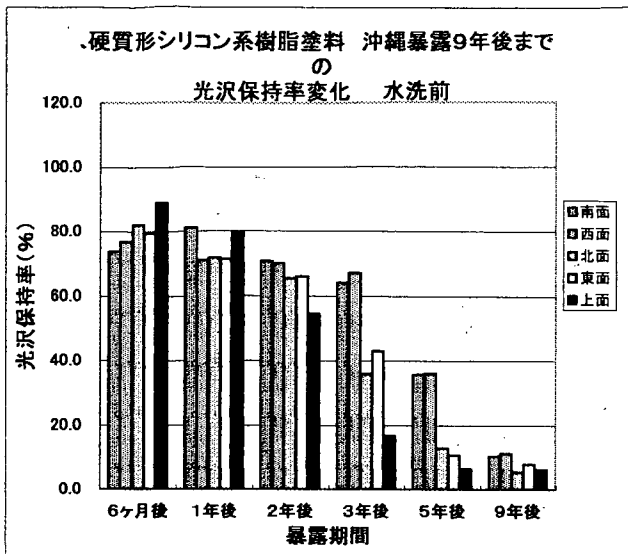


図-5.6 沖縄暴露 硬質形樹脂種別光沢保持率比較

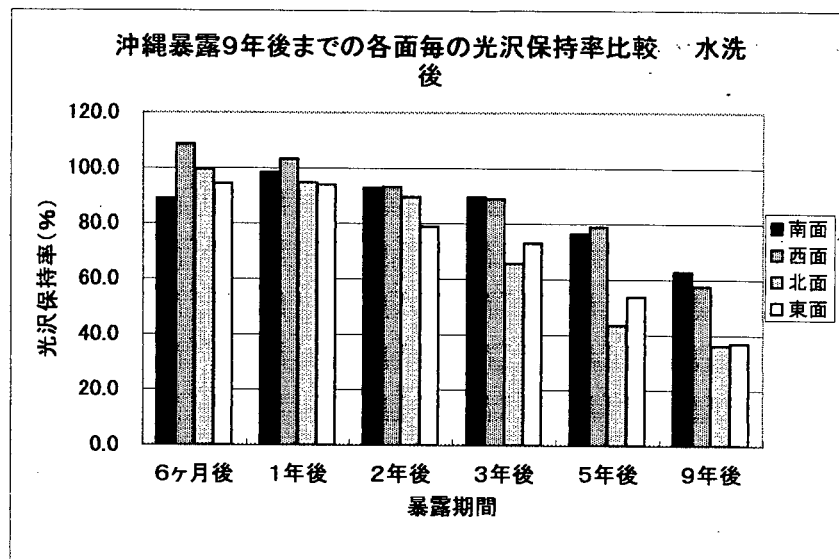
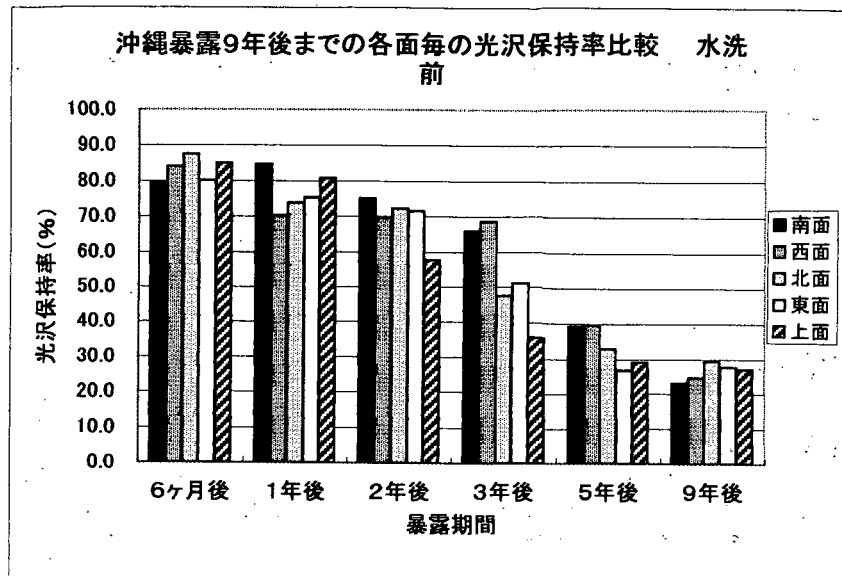


図-5-7 沖縄暴露 各面毎の光沢保持率比較

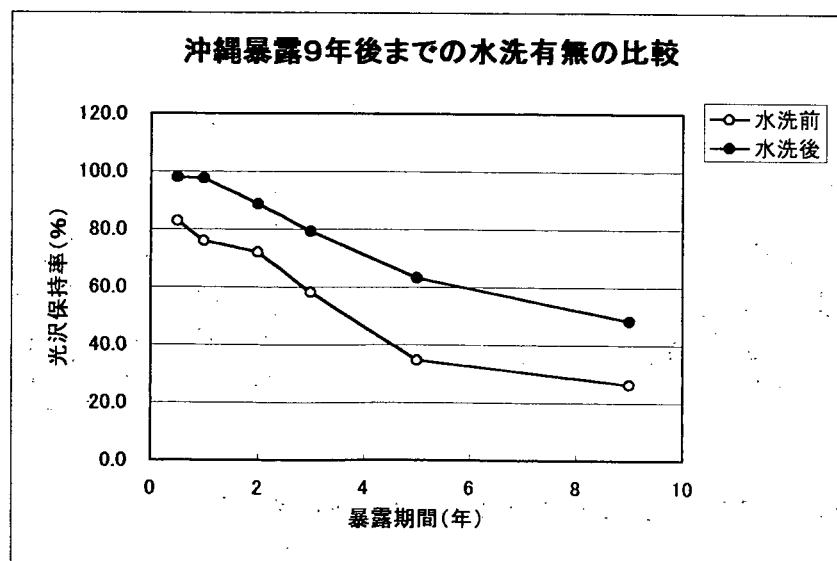
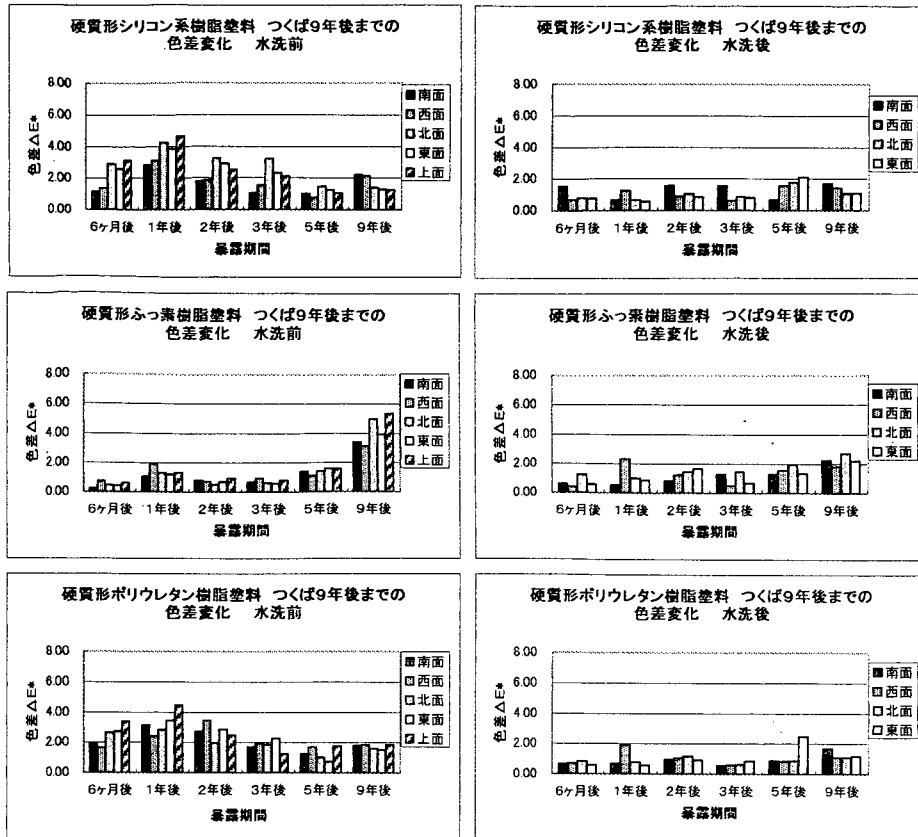


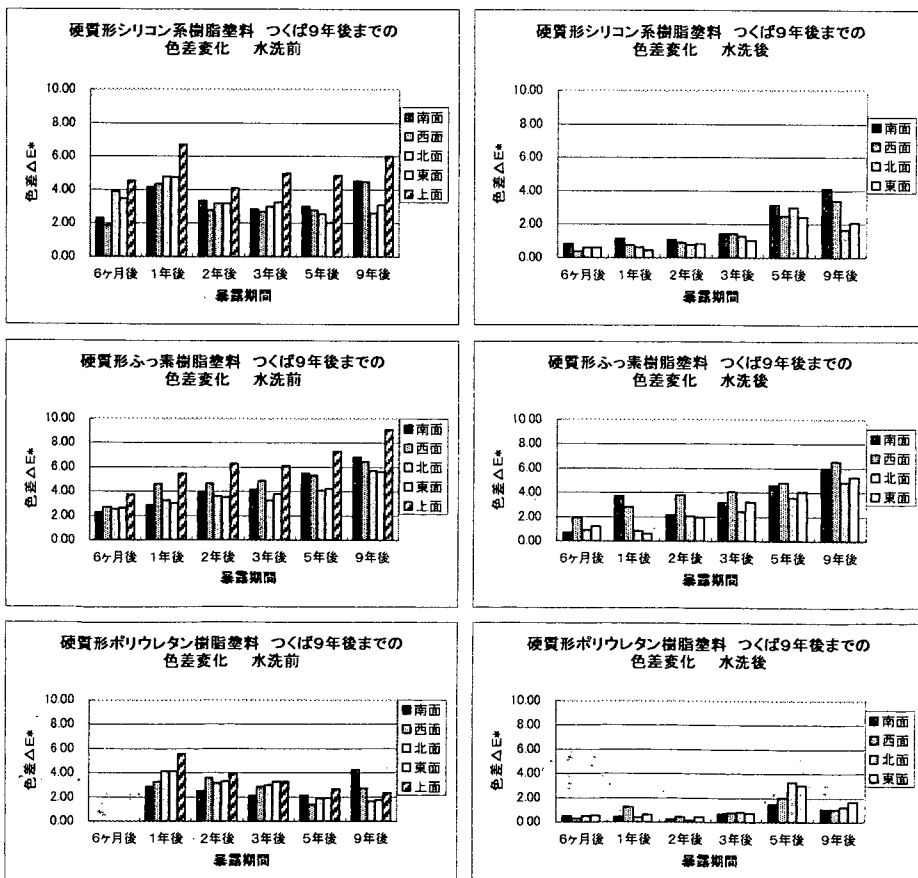
図-5-8 沖縄暴露 水洗有無による光沢保持率比較

(1) グレー色

その1



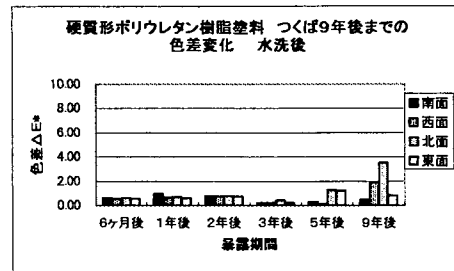
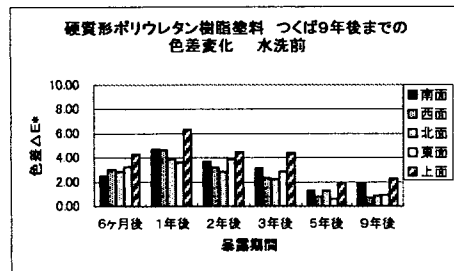
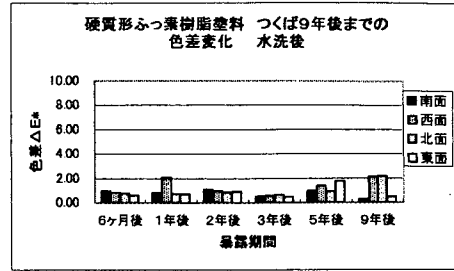
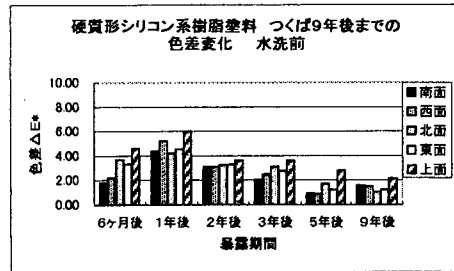
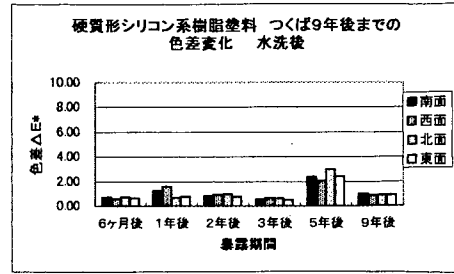
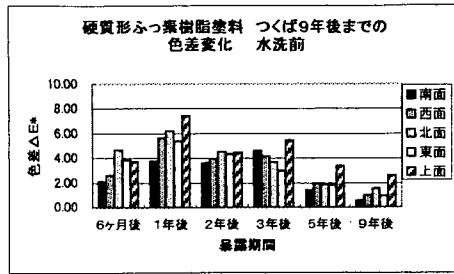
(2) 緑色



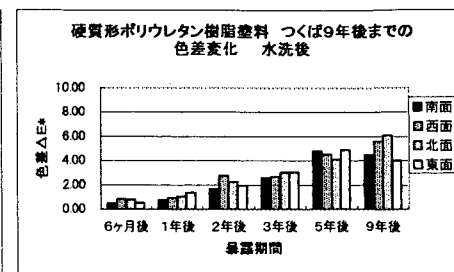
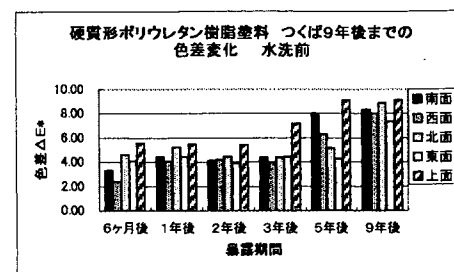
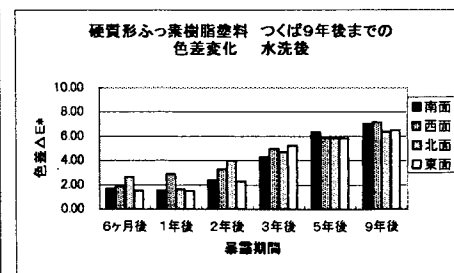
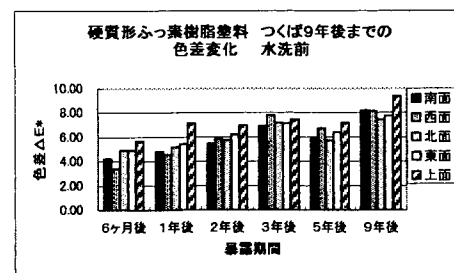
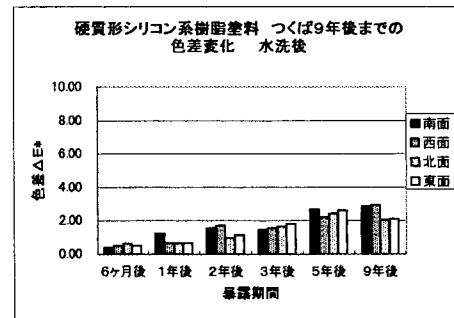
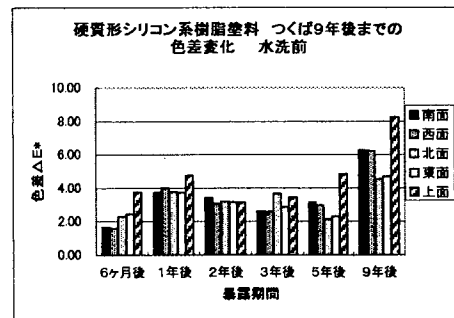
図一5-9 つくば暴露 硬質樹脂樹脂別色差変化比較

(3) ページュ色

その2

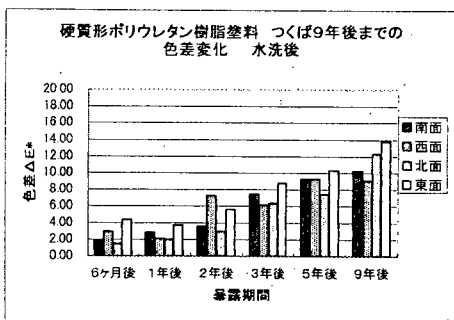
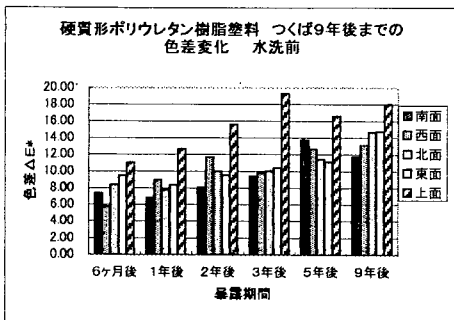
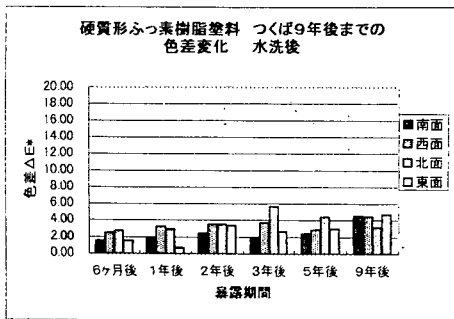
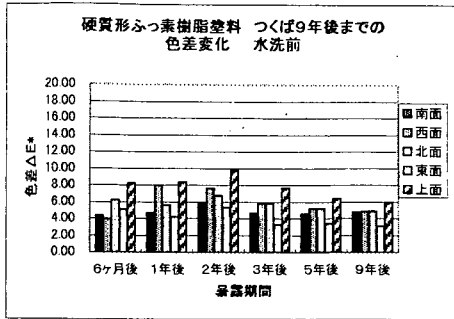
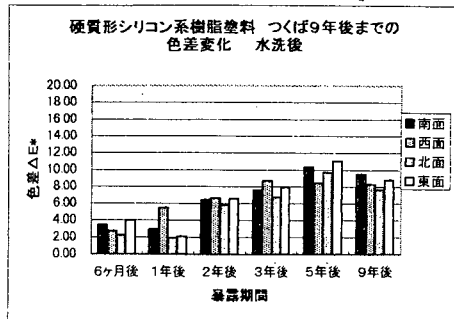
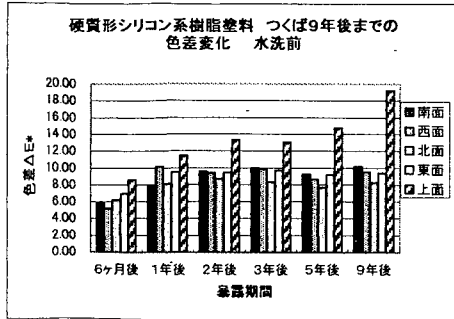


(4) 青色



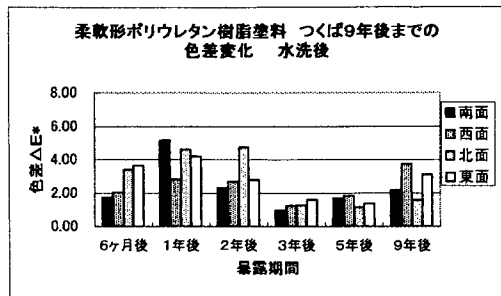
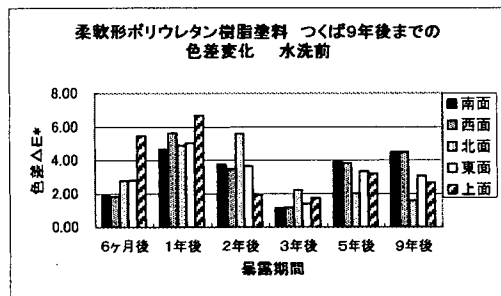
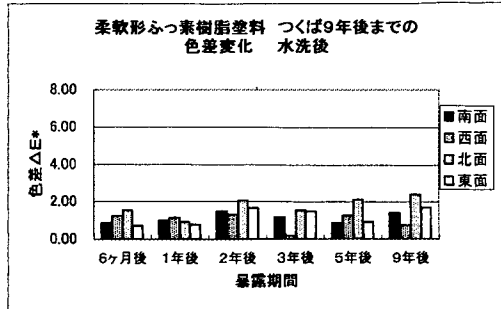
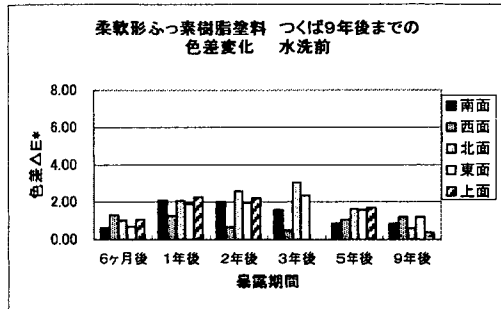
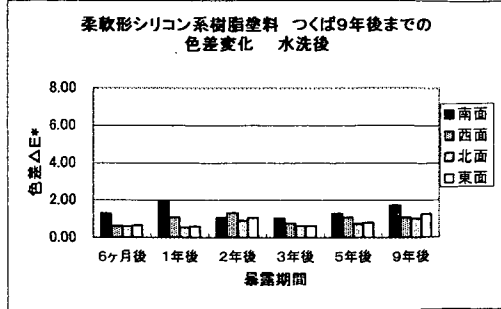
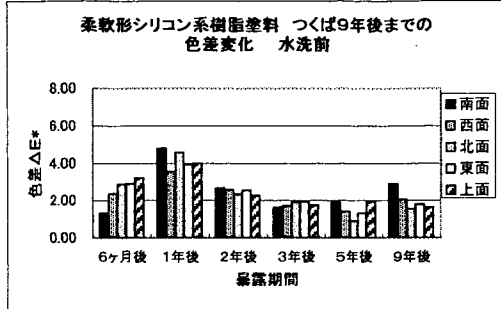
(5) 赤色

その3



(1) グレー色

その1



(2) 緑色

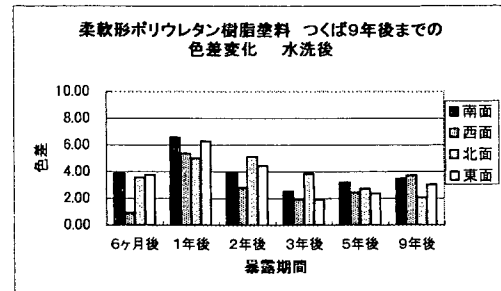
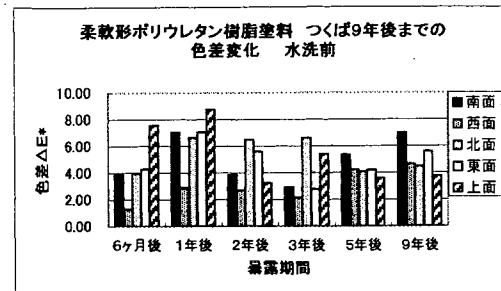
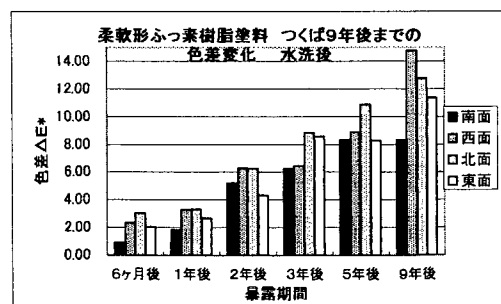
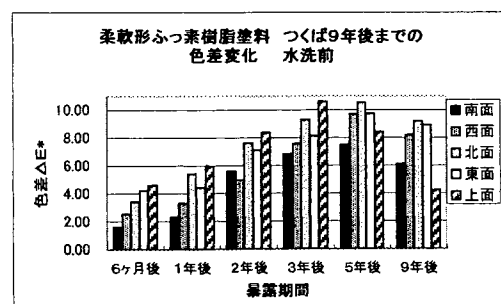
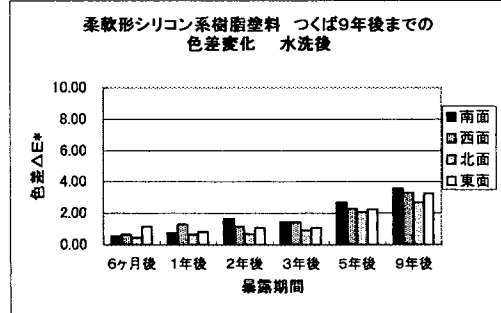
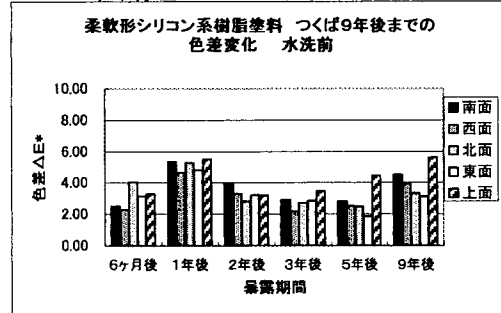
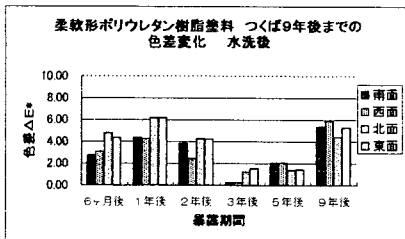
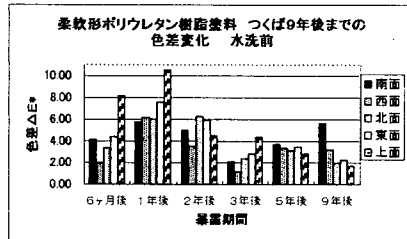
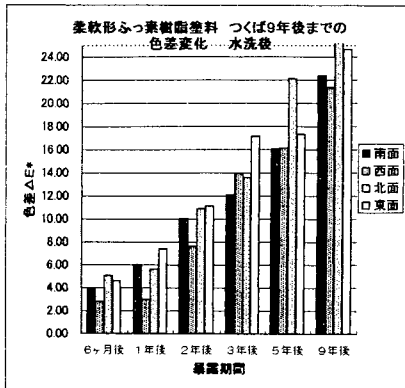
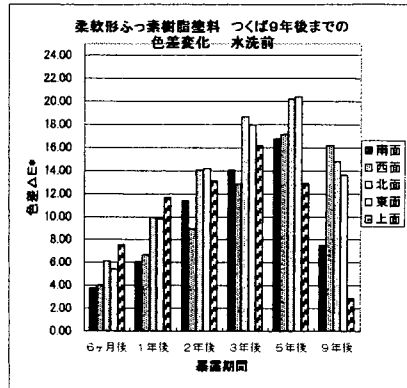
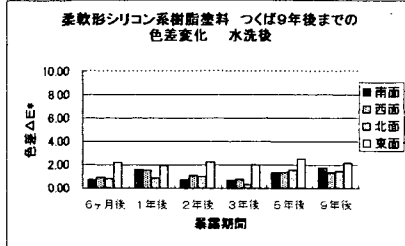
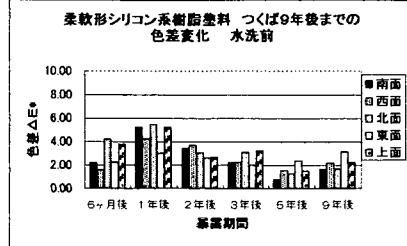


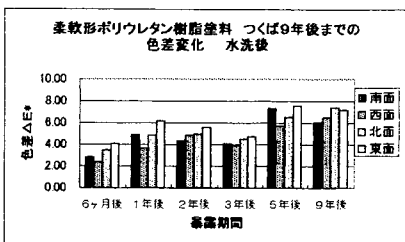
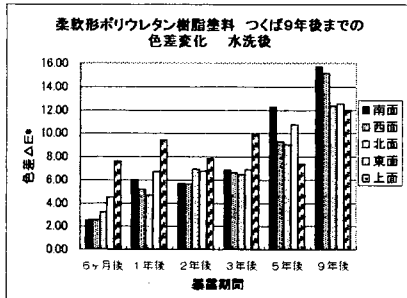
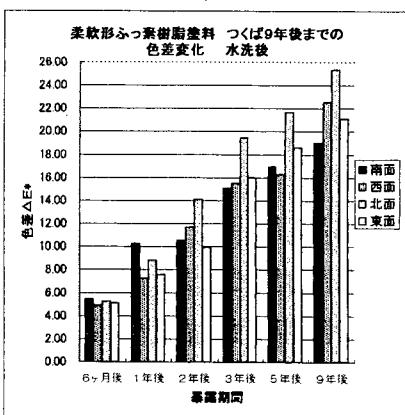
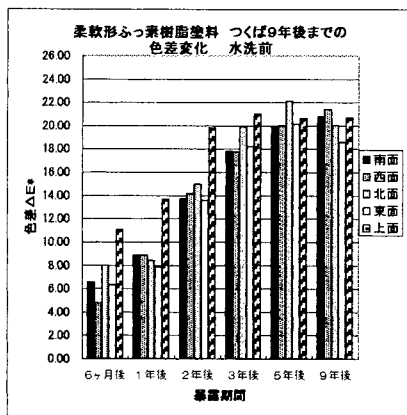
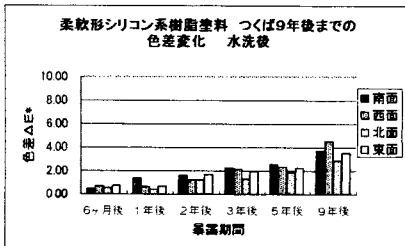
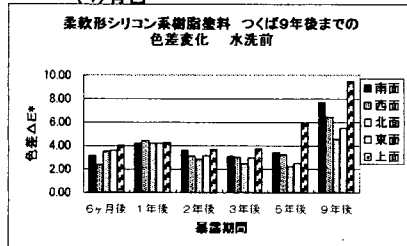
図-5・10 つくば暴露 柔軟形樹脂別色差変化比較

(3) ページュ色

その2

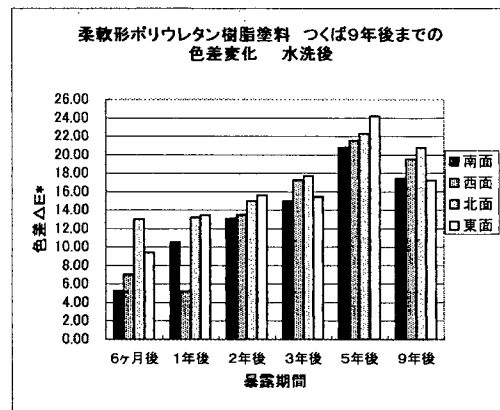
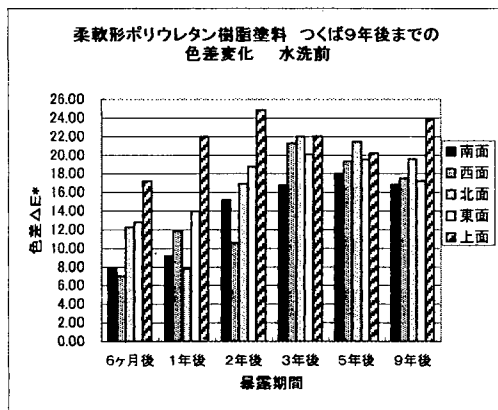
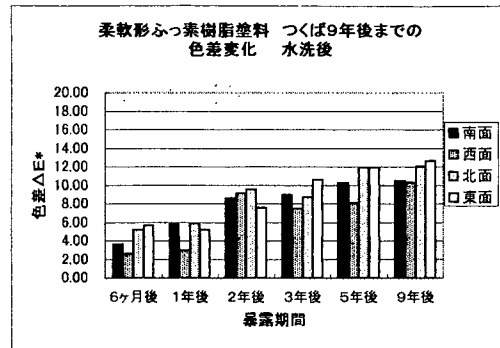
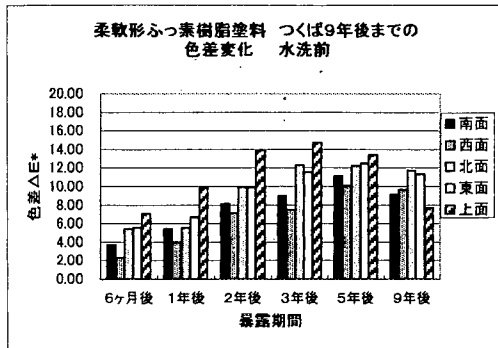
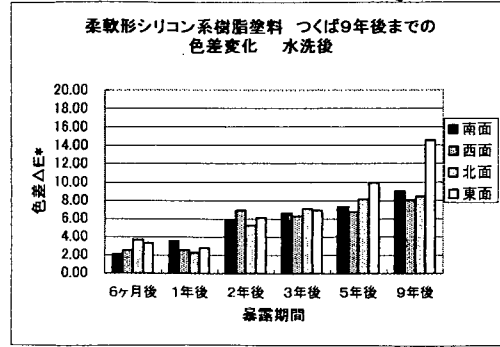
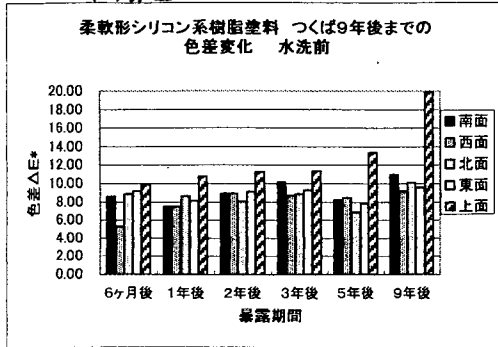


(4) 青色



(5) 赤色

その3



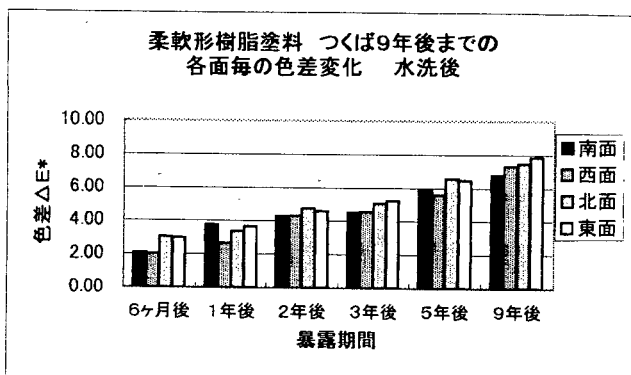
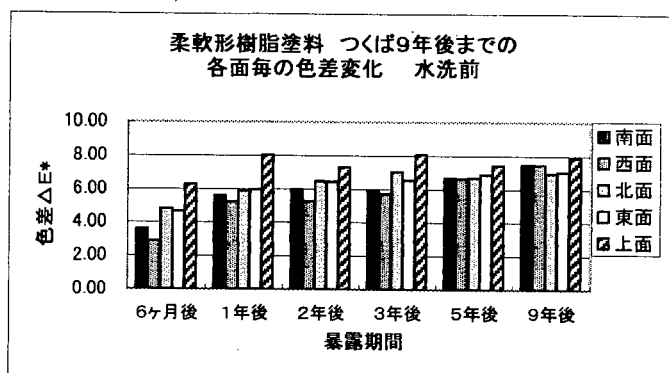
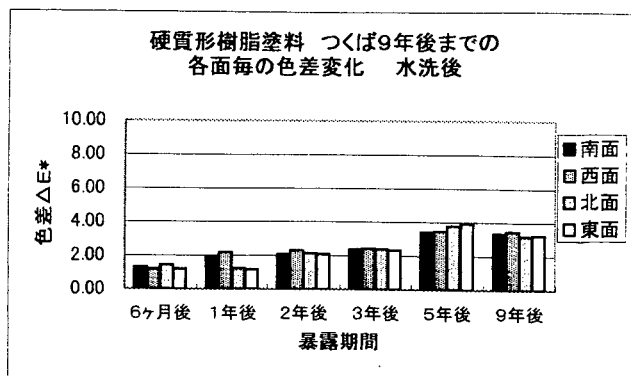
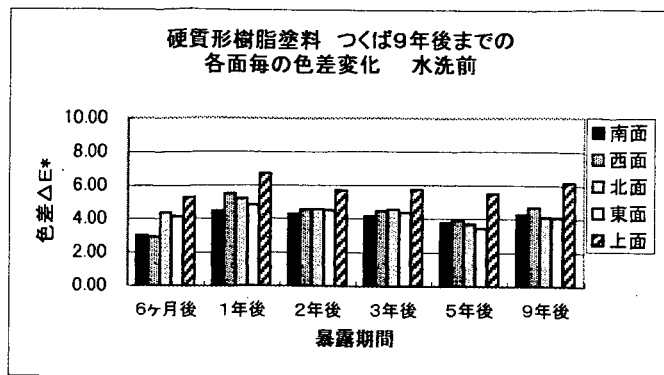


図-5-11 つくば暴露 各面毎の色差変化比較

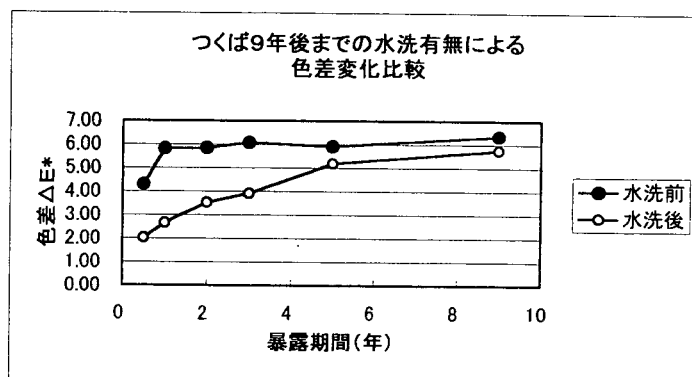


図-5-12 つくば暴露 水洗有無による色差変化比較

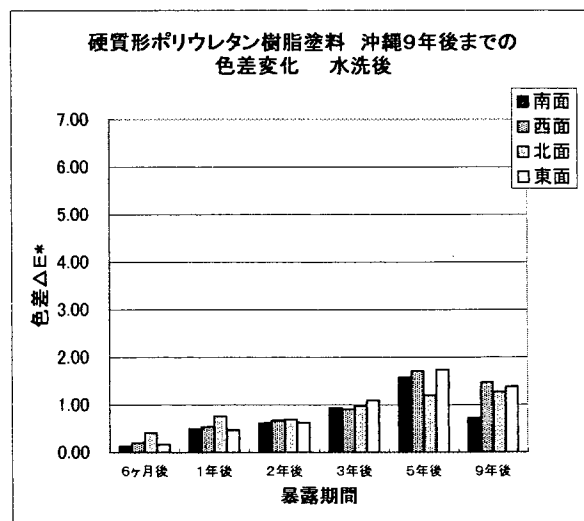
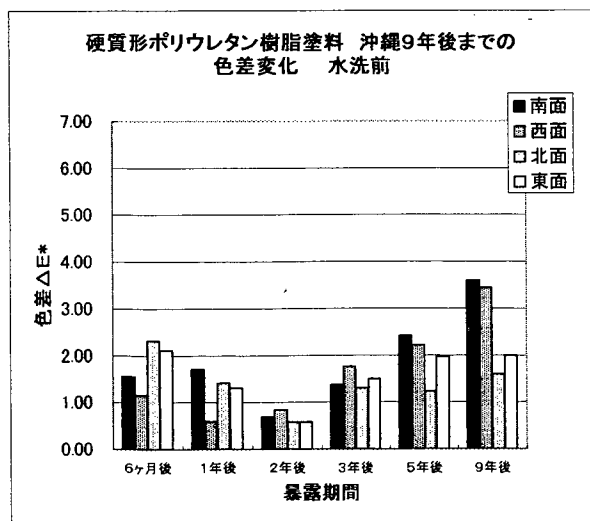
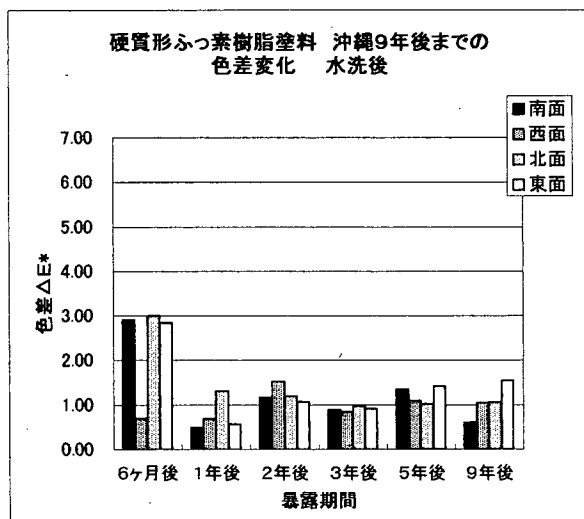
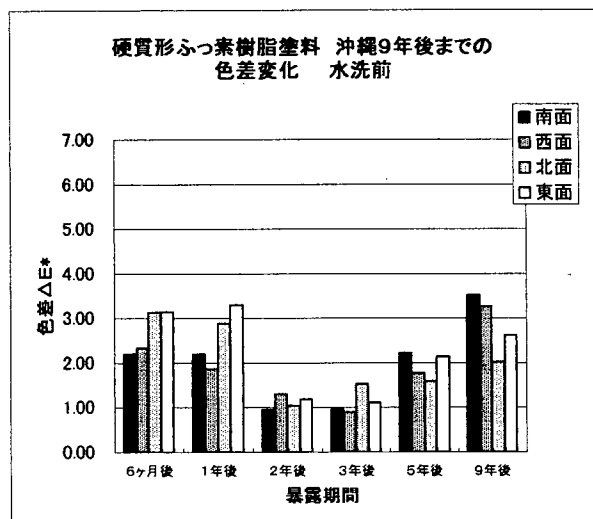
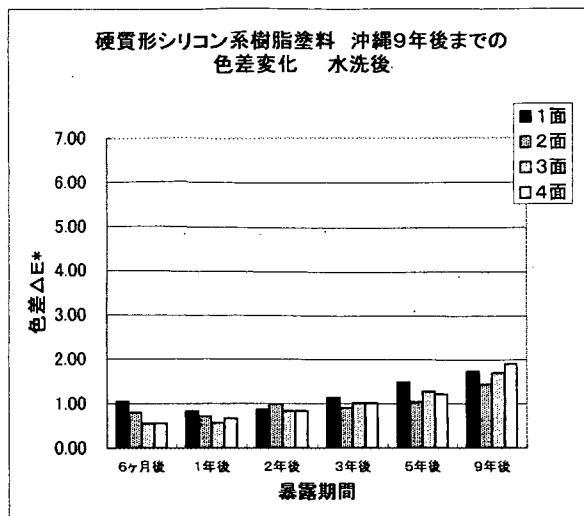
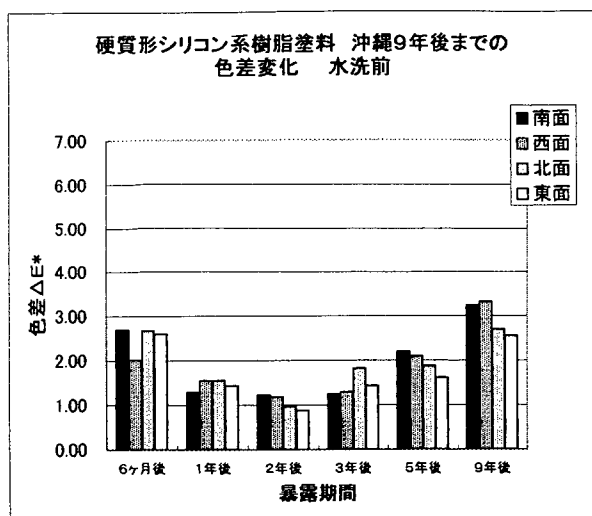


図-5.13 沖縄暴露 樹脂種別色差変化比較

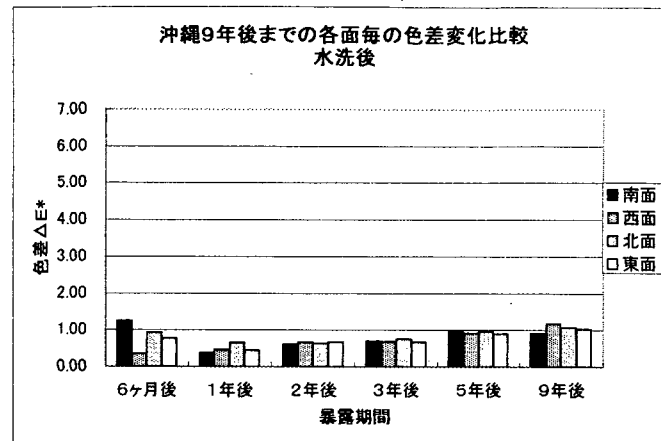
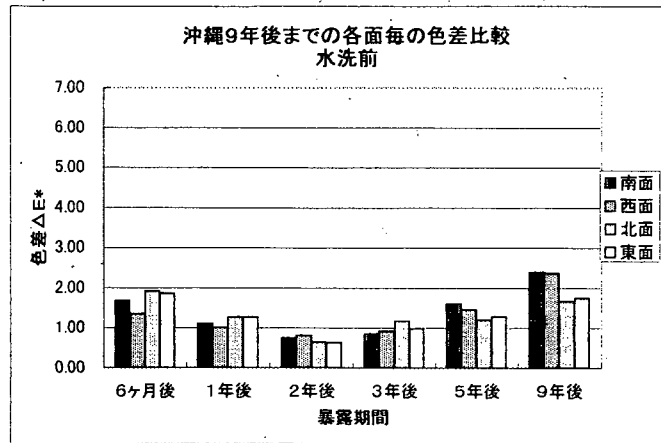


図-5.14 沖縄暴露 各面毎の色差変化比較

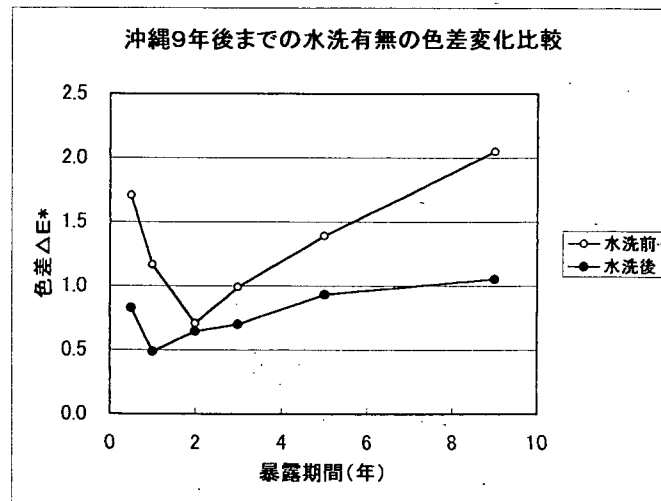


図-5.15 沖縄暴露 水洗有無の色差変化比較

表-5・9 つくば暴露試験体の外観観察結果

その1

無筋コンクリート試験体

白亜化は南面についてのみ調査

供試体No.	暴露期間	被覆材の外観異常 (ふくれ・われ・はがれ等)	遊離石灰流出	白亜化	コンクリート躯体異常	雨すじ汚れ (水洗無)				雨すじ汚れ (水洗有)			
						南面	西面	北面	東面	南面	西面	北面	東面
AOH 130 ページ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	コーナー部にコンクリートによる割れ発生	異常なし	8-10	コーナー部にクラック発生	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	6-8	同上	4	5	5	5	5	5	5	5
AOH 160 OP1 クリアー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	コーナー部にコンクリートによる割れ発生	異常なし	10	コーナー部にクラック発生	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	10	同上	5	5	5	5	5	5	5	5
AIH 110 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
AIH 120 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	3	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	4	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	5	5	4	5	5	5	5	5
AIH 130 ページ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
AIH 140 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	2	2	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	部分的な傷あり	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6-8	同上	5	5	5	5	5	5	5	5
AIH 150 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
BOH 230 ページ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	3	3	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	2	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	4	5	5	4	5	5
	5年	異常なし	異常なし	6	異常なし	5	3	4	5	5	4	5	5
	9年	異常なし	異常なし	4	異常なし	5	3	4	5	5	4	5	5
BIH 210 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	2	4	5	5	5	5
	3年	上面から西面にかけてコンクリートによる割れ発生	異常なし	10	部分的にクラック発生	4	4	3	4	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	6	同上	4	5	5	4	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	4	同上	4	5	5	4	5	5	5	5
BIH 220 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	3	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	5	5	5	5	5
	3年	上面から西面にかけてコンクリートによる割れ発生	異常なし	10	部分的にクラック発生	4	5	5	5	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	10	同上	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	8	同上	5	5	5	5	5	5	5	5
BIH 230 ページ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	2	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	3	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	8	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	4	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
BIH 240 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	3	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	5	4	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	8	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	4	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
BIH 250 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	3	4	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
CIH 130 OP1 ページ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
DOH 330 ページ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	4	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	3	3	5	5	4	4
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	3	3	5	5	4	4
DIH 310 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	4	5	5	4	5
	5年	各面にコンクリートによる割れ発生	遊離石灰流出	10	各面に割れ発生	4	3	4	4	5	5	4	5
	9年	同上	同上	10	同上	4	3	3	3	5	5	4	4

つくば暴露試験体の外観観察結果 その2

無筋コンクリート試験体

白亜化は南面についてのみ調査

供試体No.	暴露期間	被覆材の外観異常 (ふくれ・われ・はがれ等)	遊離石灰 流出	白亜化	コンクリート 躯体異常	雨すじ汚れ (水洗無)				雨すじ汚れ (水洗有)			
						南面	西面	北面	東面	南面	西面	北面	東面
DIH 320 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	5	5	5	5	5	5
	5年	各面にコンクリートによる割れ発生	異常なし	10	各面に割れ発生	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	10	同上	4	5	5	5	5	5	5	5
DIH 330 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	3	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	4	5	5	5	4	4	5
	5年	コンクリートによる割れ部分的に発生	異常なし	10	部分的に割れ発生	3	4	5	5	5	4	4	5
	9年	同上	異常なし	10	同上	3	4	5	5	5	4	4	5
DIH 340 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	5	5	5	4	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	4	4	5	5	4	5
DIH 350 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	5	5	4	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	4	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	4	5	5	4	4	5
DOH 330 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	4	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	3	3	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	3	3	5	5	5	4
FIS 110 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	5	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
FIS 120 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	4	4	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	4	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	5	5	4	5	5	5	4	5
FIS 130 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	4	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
FIS 140 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	1	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	1	3	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
FIS 150 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
FIS 210 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	4	5	5	5	5
	3年	全面に上塗りのみの割れ発生	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	8-10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	4	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
FIS 220 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	5	5	5	5	5	5
	3年	全面に上塗りのみの割れ発生	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	8-10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	4-6	異常なし	5	5	5	3	5	5	5	4
FIS 230 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	4	3	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	5	5	5	5	5	5
	3年	全面に上塗りのみの割れ発生	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	8	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	4-6	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
FIS 240 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	3	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	5	5
	3年	全面に上塗りのみの割れ発生	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	8-10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	2-4	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
FIS 250 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	5	5	5	5	5	5
	3年	全面に上塗りのみの割れ発生	異常なし	8-10	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5
	5年	同上	異常なし	8-10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	同上	異常なし	8-10	異常なし	5	4	4	4	5	5	5	5

つくば暴露試験体の外観観察結果

その3

無筋コンクリート試験体

白亜化は南面についてのみ調査

供試体No.	暴露期間	被覆材の外観異常 (ふくれ・われ・はがれ等)	遊離石灰 流出	白亜化	コンクリート躯体異常	雨すじ汚れ (水洗無)					雨すじ汚れ (水洗有)				
						南面	西面	北面	東面	上面	南面	西面	北面	東面	上面
FIS 310 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	4	3	4	5	5	4	4	5	5	5
FIS 320 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	2	4	3	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	3	5	4	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	4	4	5	5	3	5	4	5
	9年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	4	2	3	4	5	4	2	4	4	4
FIS 330 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	2	5	5	5	5	3	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	5	5	5	5	3	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	5	5	5	5	3	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	1	5	5	5	3	2	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	1	3	3	5	3	2	2	3	3
	9年	異常なし	異常なし	8	異常なし	2	1	1	2	5	2	1	1	2	2
FIS 340 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	4	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	3	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	8	異常なし	5	2	4	5	5	5	2	4	5	5
FIS 350 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	5	5	5	5	3	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4
GIH 510 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	4	4	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	8-10	上面傷あり	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	2-4	同上	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	2	同上	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GIH 520 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	2	4	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	4	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	6-10	異常なし	5	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	2-4	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	2	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GIH 530 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	3	4	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	2	3	3	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	2-4	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	2-4	異常なし	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
GIH 540 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	3	4	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	2-4	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	2	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GIH 550 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	3	4	5	5	5	4	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	3	5	5	5	5	4	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	8	異常なし	3	5	5	5	5	3	5	5	5	5
GIS 510 グレー	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	3	5	5	5	3	3	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	2	3	3	5	5	2	3	5	5
	2年	異常なし	異常なし	8	異常なし	3	2	2	3	5	5	2	3	5	5
	3年	異常なし	異常なし	4-6	異常なし	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	0-2	異常なし	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	0-2	異常なし	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
GIS 520 緑色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	5	5	5	3	3	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	3	2	4	5	5	4	2	5	5
	2年	異常なし	異常なし	8	異常なし	4	3	2	4	5	5	4	2	5	5
	3年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	5	4	2	4	5	5	5	4	4	4
	5年	異常なし	異常なし	0-2	異常なし	5	4	3	4	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	0-2	異常なし	4	4	3	4	4	4	5	5	5	5
GIS 530 ベージュ	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	3	5	3	5	3	3	5	3	3
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	2	3	3	2	5	3	3	5	3	3
	2年	異常なし	異常なし	8	異常なし	2	3	3	2	5	3	3	4	3	3
	3年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	2	異常なし	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	0-2	異常なし	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5
GIS 540 青色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	3	3	3	5	5	3	3	3	5	5
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	4	5	5	2	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	8	異常なし	4	2	2	4	5	5	2	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	6-8	異常なし	5	3	5	5	5	5	3	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	4-6	異常なし	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	異常なし	2	異常なし	4	3	4	4	5	5	5	5	5	5
GIS 550 赤色	6ヵ月	異常なし	異常なし	10	異常なし	5	3	3	3	5	5	3	3	3	3
	1年	異常なし	異常なし	10	異常なし	4	2	3	3	5	5	2	3	3	3
	2年	異常なし	異常なし	8	異常なし	3	2	2	3	5	5	2	3	3	3
	3年	異常なし	異常なし	8-10	異常なし	5	2	2	3	5	5	2	2	4	4
	5年	異常なし	異常なし	8-10	部分的な傷あり	5	3	3	5	5	5	3	3	5	5
	9年	異常なし	異常なし	8-10	同上	5	4	3	4	5	5	4	3	4	4
GO-0 無塗装	6ヵ月	—	異常なし	—	異常なし	5	3	3	5	5	5	3	3	5	5
	1年	—	異常なし	—	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	—	異常なし	—	異常なし	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	—	異常なし	—	異常なし	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
	5年	—	異常なし	—	異常なし	3	3	3	3	5	4	4	4	4	4
	9年	—	異常なし	—	同上	2	2	2	2	5	4	4	4	4	4

表-5・10 沖縄暴露試験体の外観観察結果 その1

有筋塩入大型コンクリート試験体

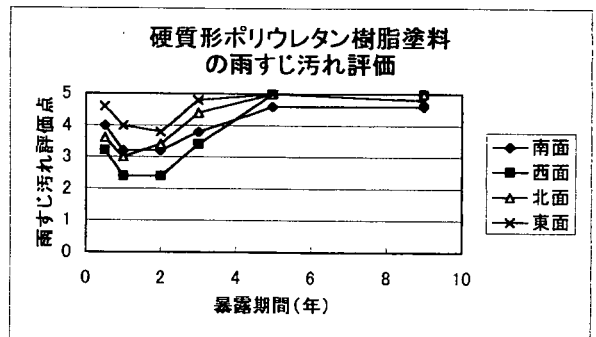
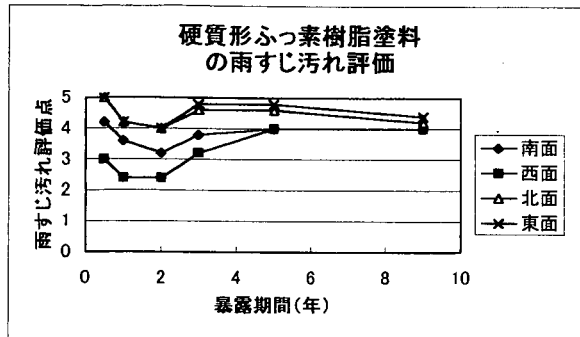
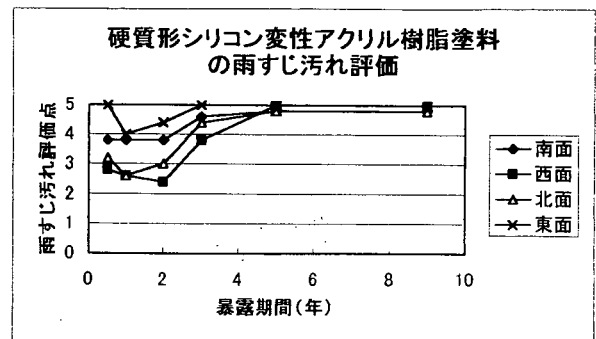
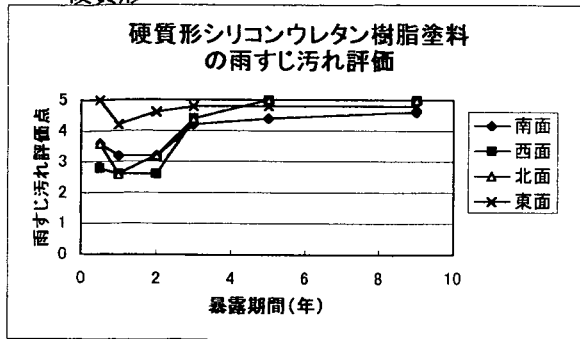
供試体No.	暴露期間	被覆材の外観異常 (ふくれ・われ・はがれ等)	コンクリート躯体のクラック等外観異常	遊離石灰流出	白亜化				雨すじ汚れ (水洗無)				雨すじ汚れ (水洗有)			
					下面	北面	上面	南面	下面	北面	上面	南面	下面	北面	上面	南面
AIS 131 OP2	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	4	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	8	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	6	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	上面に下地の割れが生じているが塗膜は割れず保護している	無塗装側面に幅0.5mm×長さ30mm程度のクラック2本発生	異常なし	10	6	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	上面に下地の割れが生じているが塗膜は割れず保護している	同上	異常なし	10	6	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
AIS 131 OP3	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	3	3	5	5	4	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	1	5	5	5	1
	2年	異常なし	無塗装側面に幅0.3mm×長さ30mm程度のクラック3本発生	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	4	5	5	5	4
	3年	異常なし	同上	異常なし	10	8	6	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	同上	異常なし	10	4	2	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	同上	異常なし	8	4	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
BIS 231 OP1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	3	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし (塗膜はコンクリートのクラックに追従)	無塗装側面に幅1.0mm×長さ82mm程度のクラック1本発生	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	同上	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	下、上、北、南面にごく僅か部分的な上塗りのヘヤークラックが全体的に観察される	同上	異常なし	10	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	下、上、北、南面にごく僅か部分的な上塗りのヘヤークラックが全体的に観察される	同上	異常なし	6~8	6	4~6	4~6	5	5	5	5	5	5	5	5
BIS 231 OP2	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	4	3	5	5	4	5
	1年	北面10mm×1、上面10×2、南面40×1、10×1のふくれ	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	4	5	5	5	5
	2年	北面10mm×1、30×1、上面10×2、5×2、南面40×1、20×2のふくれ	異常なし	異常なし	10	8	6	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	北面10mm×1、30×1、10×20×1、上面10×2、5×2、クラック80mm、南面40×1、20×2	無塗装側面に幅0.1mm×長さ50mm程度のクラック3本発生	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	上面部分的チェックング (しわ)、下、北、南面しわ有	同上	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	下、上、北、南面部分的チェックング、しわ有	同上	異常なし	10	2~4	2	2~4	5	5	5	5	5	5	5	5
CIS 331 OP3	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	4	2	3	5	5	4	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	2	5	5	5	2
	2年	異常なし	無塗装側面に幅0.1mm×長さ20mm程度のクラック2本発生	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	同上	異常なし	10	10	10	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	同上	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	同上	異常なし	10	4~6	4	4~6	5	5	5	5	5	5	5	5
CIS 331 OP4	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	4	3	3	5	5	4	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	2	5	5	5	2
	2年	異常なし	無塗装側面に幅0.1mm×長さ10mm程度のクラック2本発生	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	同上	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	同上	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	同上	異常なし	10	8	6	8	5	5	5	5	5	5	5	5
CIS 031 OP5	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	4	4	3	5	5	5	4
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	3	5	5	5	4
	2年	異常なし	無塗装側面に幅0.2mm×長さ50mm程度のクラック6本発生	異常なし	10	8	6	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	同上	異常なし	10	8	8	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	同上	異常なし	8	6	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	無塗装面から塗装面へ幅0.4~0.8×7~10mmクラック3箇所発生	同上	異常なし	4	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
GIH 531	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	4	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	無塗装側面に幅0.1mm×長さ10mm程度のクラック2本発生	異常なし	10	8	6	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	同上	異常なし	8	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	同上	異常なし	8	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	同上	異常なし	4	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
GIS 731	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	4	4	3	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	6	10	5	5	5	3	5	5	5	5
	2年	異常なし	無塗装側面に幅0.3mm×長さ60mm程度のクラック3本発生	異常なし	10	6	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	同上	異常なし	8	6	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	同上	異常なし	6	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	異常なし	同上	異常なし	4	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
GIS 831	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	5	5	4	3	5	5	4	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	6	10	5	5	5	4	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	6	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	6	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	上面コーナー部分に上塗りのヘヤークラック多数発生	異常なし	異常なし	8	6	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	9年	上面コーナー部分に上塗りのヘヤークラック多数発生 (増加傾向なし)	異常なし	異常なし	6	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
GO-1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2年	異常なし	下面に幅0.1mm×長さ500mm程度のクラック発生	異常なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3年	異常なし	同上	異常なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5年	異常なし	下面のクラック 幅0.5mm×長さ600mm程度に拡大	異常なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9年	異常なし	下面のクラック 幅1.0mm×長さ750mm程度に拡大	異常なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

沖縄暴露試験体の外観観察結果 その2

無筋コンクリート試験体

供試体No.	暴露期間	被覆材の外観異常 (ふくれ・われ・はがれ等)	コンクリート躯体のクラック等外観異常	遊離石灰流出	白亜化					雨すじ汚れ (水洗無)					雨すじ汚れ (水洗有)				
					北面	東面	南面	西面	上面	北面	東面	南面	西面	上面	北面	東面	南面	西面	上面
AOH 161 OP1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
AIH 131	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BIH231	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	8	8	8	8	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	6~8	6~8	4	4	2~4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	8	10	10	10	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	8	8	10	10	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CIH 131 OP1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	6	6	2~4	2~4	2~4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	8	8	10	10	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CIH 331	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	4	4	6	6	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	4	2~4	2	2~4	2~4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CIH 331 OP2	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	3	3	2	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
DIH 331	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	3	5	2	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	6	6	8	10	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GIH 531	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	10	10	10	10	10	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	8	8	8	8	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	6	6	8	8	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GO-1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	2~4	2~4	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GO-1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GO-1	6ヵ月	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5年	異常なし	異常なし	異常なし	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

硬質形



柔軟形

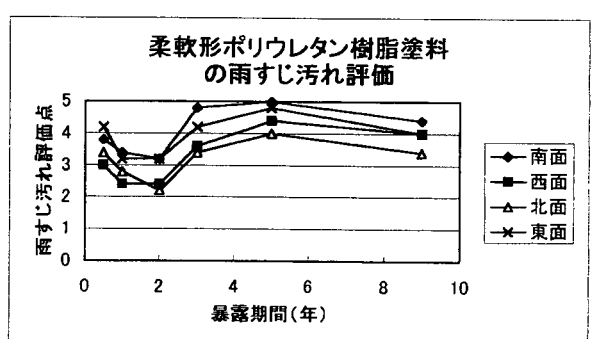
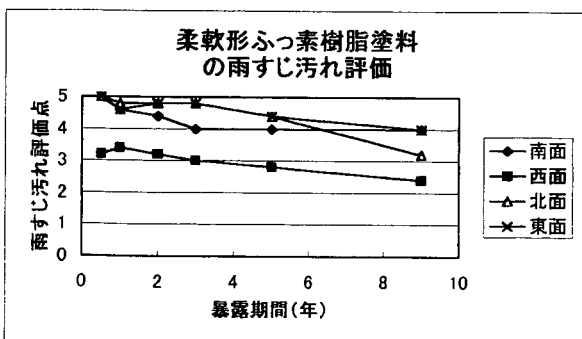
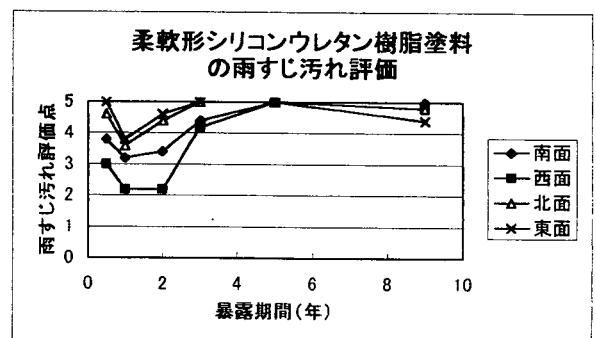
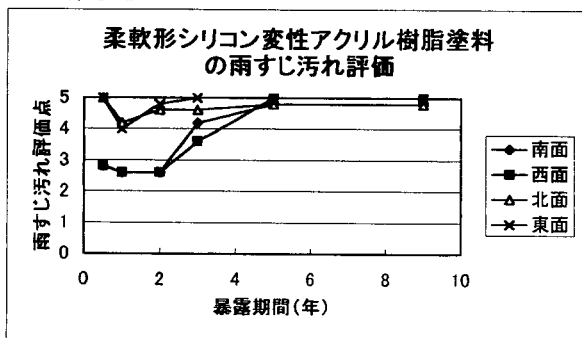
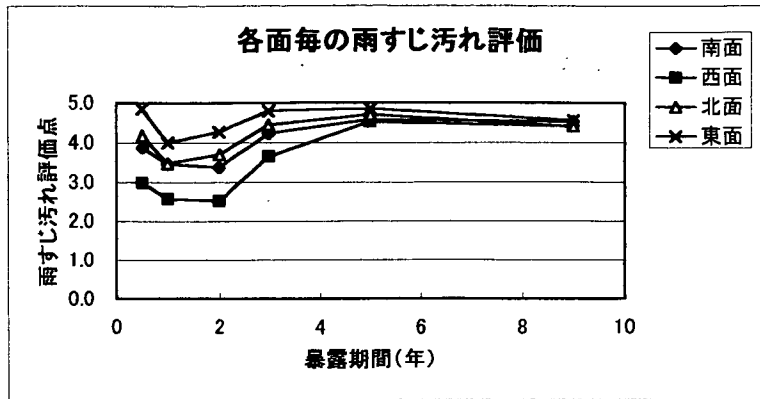
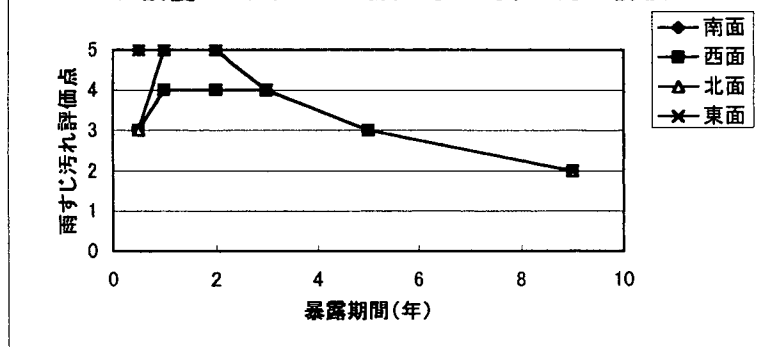


図-5・16 水洗前の樹脂組成別雨すじ汚れ評価

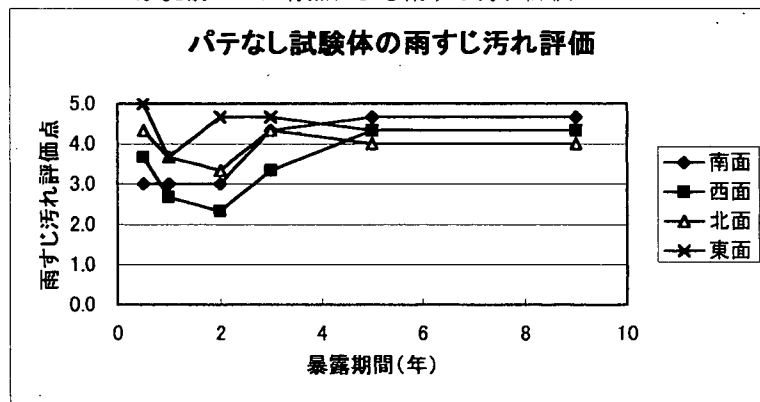
水洗前の各面毎の雨すじ汚れ評価



無被覆コンクリートの各面毎の雨すじ汚れ評価



水洗前のパテ有無による雨すじ汚れ評価



パテあり試験体の雨すじ汚れ評価

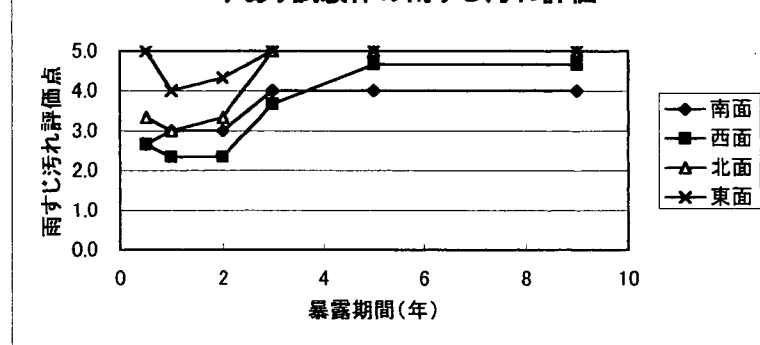
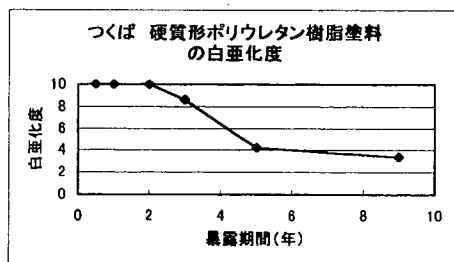
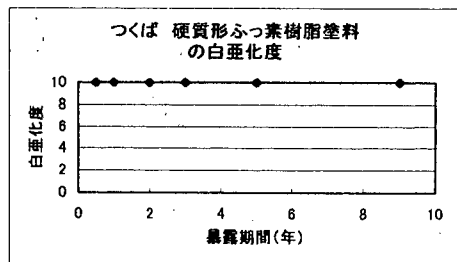
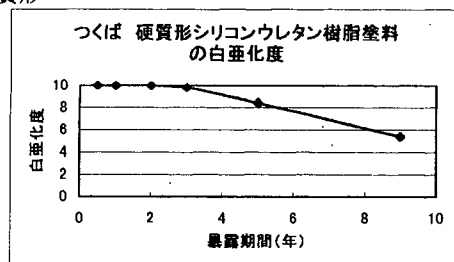
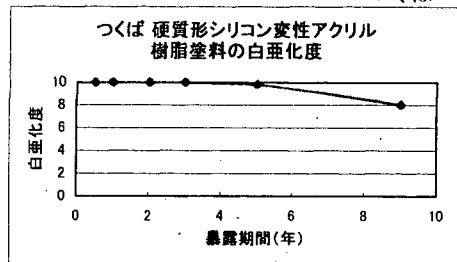
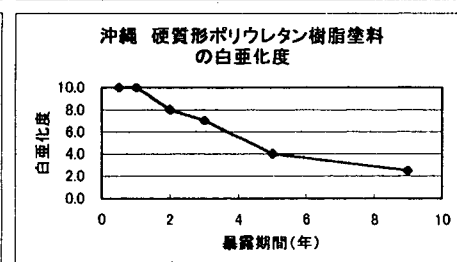
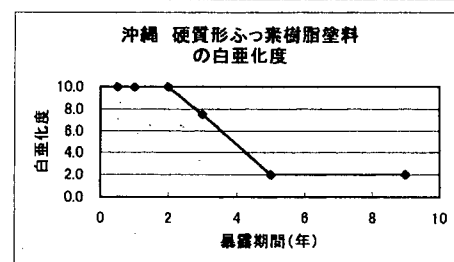
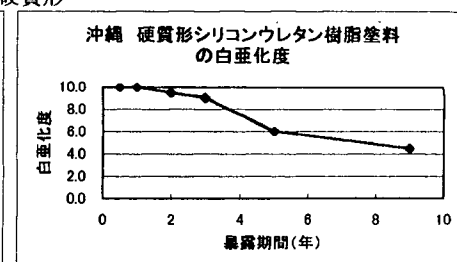
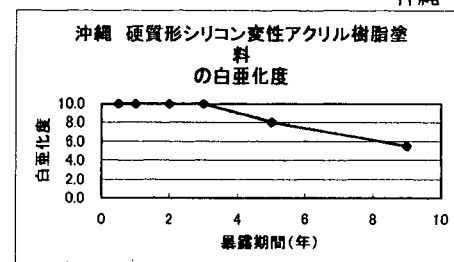


図-5・17 つくば水洗前 方位・パテ有無による雨すじ汚れ傾向

つくば 硬質形



沖縄 硬質形



つくば 柔軟形

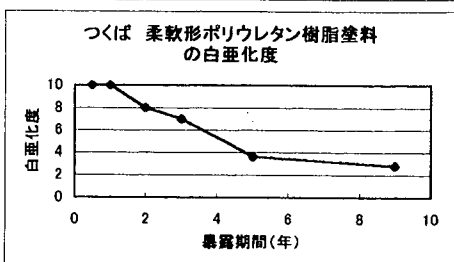
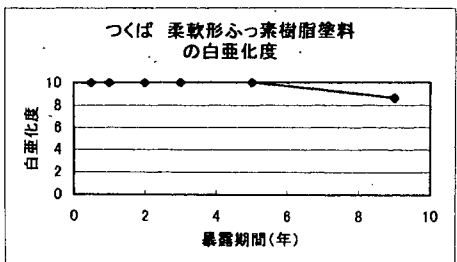
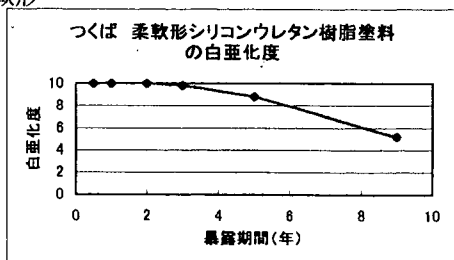
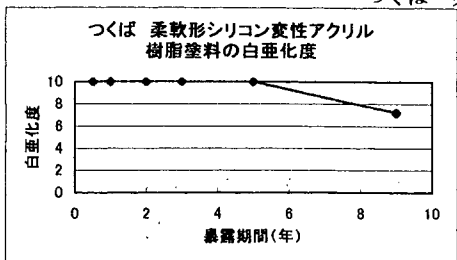


図-5・18 つくば・沖縄 樹脂組成別白亜化度評価

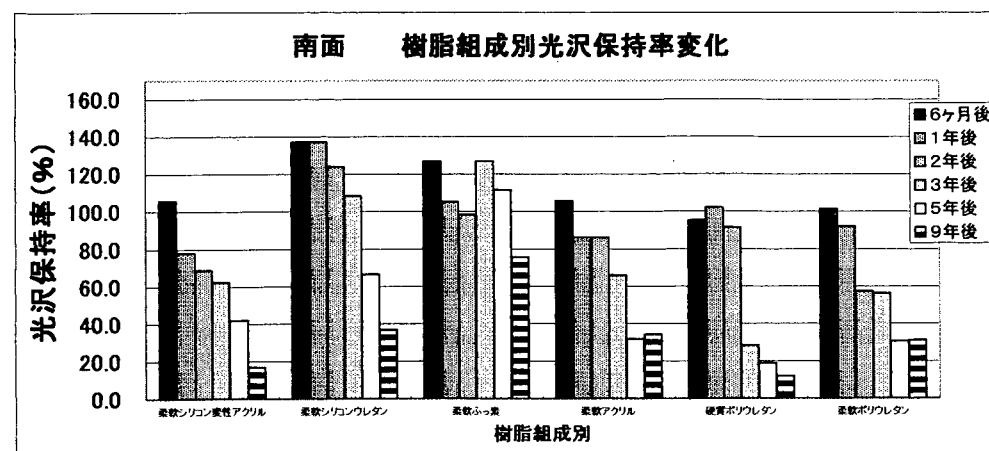
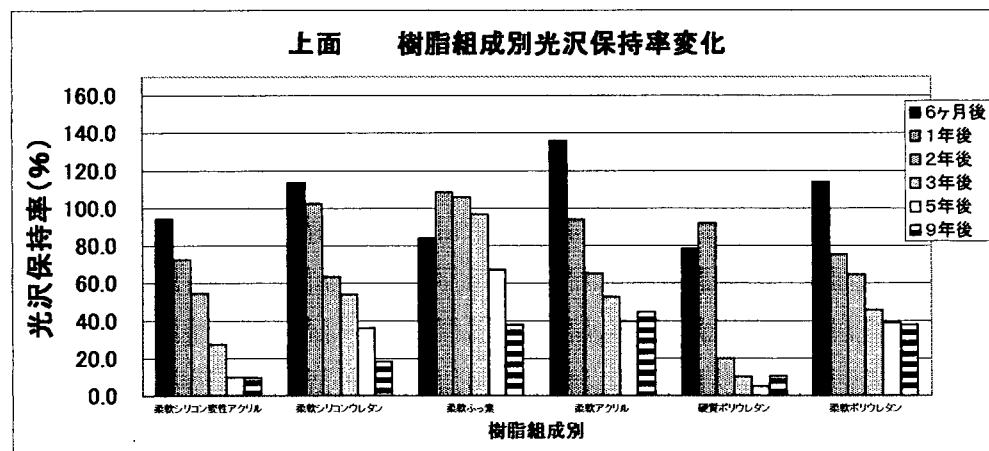
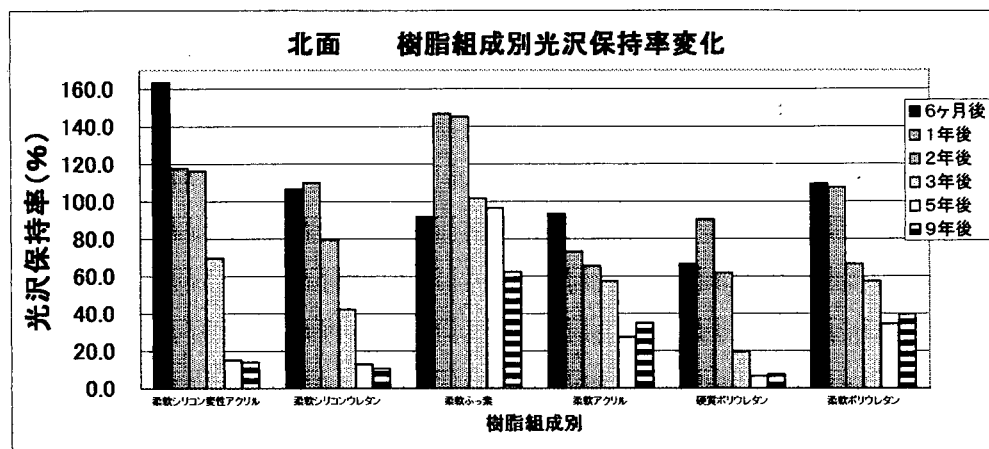
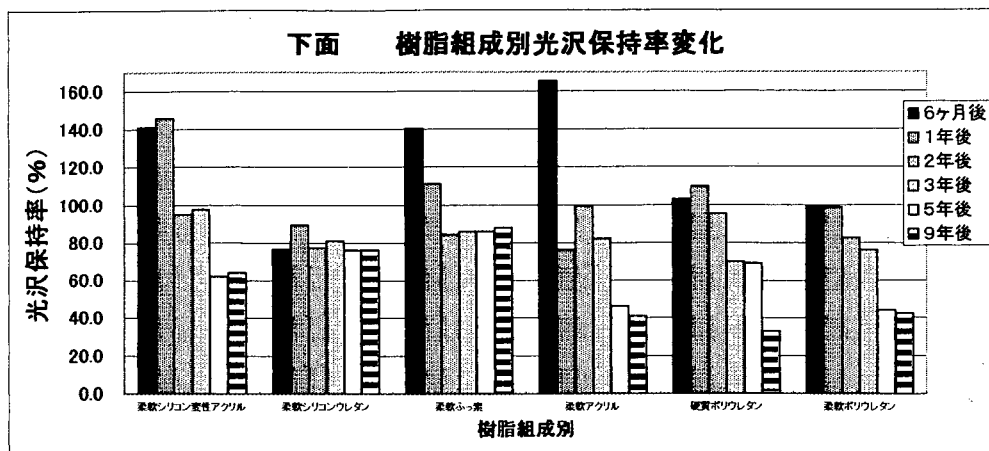


図-5-19 有筋塩入大型コンクリート暴露試験体の水洗後光沢保持率比較

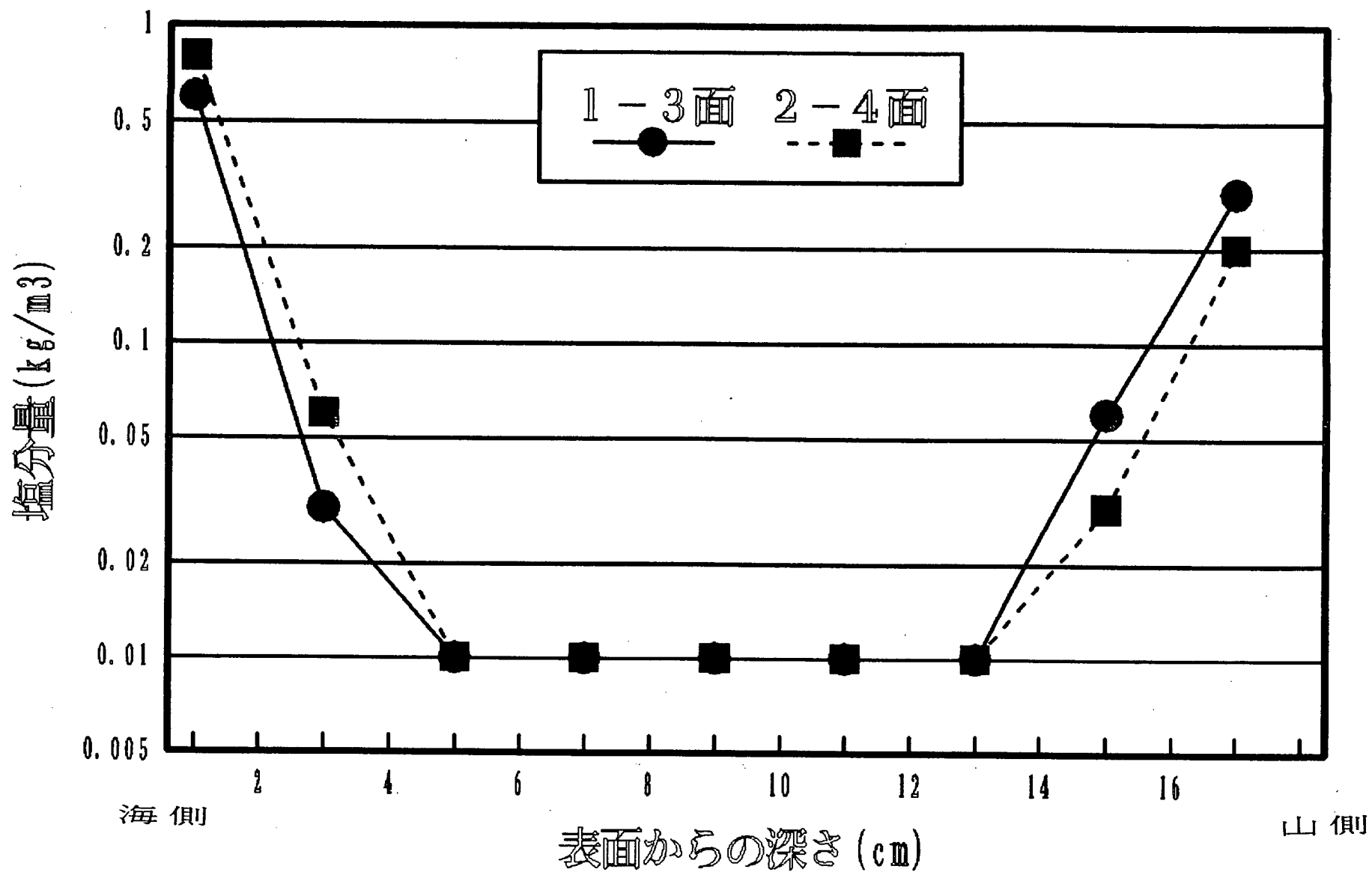


図-5.20 コアサンプルの浸透塩分量調査結果

5. 3. 2 屋内促進試験結果

(1) 促進耐候性試験結果

光沢値・光沢保持率の試験結果を表－5・11、色差の試験結果を表－5・12 に外観観察結果を表－5・13 に示す。

色相別でかつ樹脂別の光沢保持率を図－5・21、色差の変化を図－5・22 に示すとともに目視判定結果についても図－5・23 に示す。

照射 3000 時間の結果を要約すると下記のようになる。

1) 光沢保持率

光沢保持率は、色相によって多少異なるが、柔軟形ふっ素樹脂塗料は 70 % 以上で、ついで柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料と柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料が優れており、60 ～ 70 % の光沢保持率を示した。比較の柔軟形ポリウレタン樹脂塗料は 700 時間経過から低下が大きく 40 % 程度となり、3000 時間では 10 % 程度になっていた。

なお、光沢保持率について硬質形の各種樹脂組成による促進耐候性試験結果 (WG－3 での試験結果) と柔軟形の試験結果を図－5・24 と図－5・25 に示す。

この結果から、柔軟形と硬質形では、硬質形の方が若干優れているが差はほとんどなく、ふっ素樹脂塗料およびシリコン変性アクリル樹脂塗料、シリコンウレタン樹脂塗料ともにポリウレタン樹脂塗料よりかなり優れていた結果となっている。

2) 色差

色差は色相により挙動が異なり、グレー色・緑色およびベージュはどの樹脂系も良好でほぼ ΔE^* 1 以下であった。青色は樹脂系により僅かに異なるが、いずれも ΔE^* 2 程度以下であった。赤色は樹脂系により異なり、柔軟形ふっ素樹脂塗料、柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料、柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料、柔軟形ポリウレタン樹脂塗料の順で、他の色相に比べ ΔE^* は大きくなっている。

3) 外観観察

色相により多少の差はあるが、柔軟形ふっ素樹脂塗料が変化が小さく、ついで柔軟形シリコン変性アクリル樹脂塗料・柔軟形シリコンウレタン樹脂塗料で、いずれの色相でも比較の柔軟形ポリウレタン樹脂塗料より優れている。

(2) ひび割れ追従性試験結果

柔軟形被覆系を主体に代表的な被覆種と膜厚を変えてひび割れ追従性試験を行った。

試験方法としては「建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発、塩害を受けた土木構造物の補修指針 (案)」による曲げ載荷試験、日本道路公団維持補修要項・橋梁編による両引きゼロスパン試験、(社) 日本道路協会 道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説 (昭和 59 年 2 月) による材料の伸び率試験があるが、これらの関係を検討した。

試験結果を表－5・14 に示す。また曲げ載荷試験と両引きゼロスパン試験・伸び率試験の関連を図－5・26 に示す。これにより曲げ載荷試験と両引きゼロスパン試験で顕著な相関が見られたが、伸び率については十分な相関性が認められなかった。

(3) 水蒸気透過阻止性試験結果

柔軟形および硬質形被覆材について膜厚を変えて水蒸気透過阻止性試験を行った。

表－ 5・15 に試験結果を示したが、一般的に硬質形被覆材の方が柔軟形被覆材より水蒸気透過阻止性が高い傾向が見られた。

(4) 遮塩性試験結果

水蒸気透過阻止性と同様の条件で遮塩性試験を行った。

表－ 5・16 に試験結果を示したが、全試料とも測定下限値の $0.34 \times 10^3 \text{mg} / \text{cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下であった。

(5) 酸素透過阻止性試験結果

水蒸気透過阻止性と同様の条件で酸素透過阻止性試験を行った。

表－ 5・17 に試験結果を示したが、一般的に硬質形被覆材の方が柔軟形被覆材より酸素透過阻止性が高い傾向であるが、なかには必ずしも高いとは判定できないものもあった。また、水蒸気透過阻止性との相関性も認められなかった。

(6) 水透過阻止性試験

水蒸気透過阻止性と同様の条件で水透過阻止性試験を行った。

表－ 5・18 に試験結果を示したが、硬質形・硬質形, 樹脂組成, 膜厚による関係が明確ではなかった。

(7) 耐アルカリ性結果

水蒸気透過阻止性と同様の条件で耐アルカリ性試験を行った。

表－ 5・19 に試験結果を示したが、全試料ともに良好であった。

(8) 付着性試験結果

水蒸気透過阻止性と同様の条件で付着性試験を行った。

表－ 5・20 に試験結果を示したが、全試料ともに良好であった。

表-5-11 促進耐候性試験 光沢値および光沢保持率(%)変化

試験板No	初期光沢値	測定時間									
		300時間		700時間		1000時間		2000時間		3000時間	
		光沢値 (%)	光沢保持率 (%)	光沢値 (%)	光沢保持率 (%)	光沢値 (%)	光沢保持率 (%)	光沢値 (%)	光沢保持率 (%)	光沢値 (%)	光沢保持率 (%)
AS111	88.7	83.2	93.8	80.7	91.0	78.8	88.8	62.2	70.1	55.0	62.0
AS121	88.6	83.8	94.6	80.1	90.4	79.5	89.7	61.2	69.1	52.0	58.7
AS131	88.6	82.7	93.3	77.1	87.0	71.9	81.2	61.9	69.9	52.0	58.7
AS141	87.9	82.8	94.2	77.1	87.7	71.6	81.5	49.5	56.3	50.3	57.2
AS151	88.2	81.1	92.0	77.9	88.3	63.3	71.8	56.0	63.5	52.8	59.9
BS211	84.1	79.0	93.9	73.3	87.2	68.5	81.5	63.2	75.1	52.6	62.5
BS221	84.8	79.8	94.1	69.3	81.7	63.8	75.2	63.7	75.1	47.8	56.4
BS231	84.8	80.7	95.2	73.8	87.0	68.1	80.3	52.2	61.6	51.0	60.1
BS241	82.2	79.5	96.7	74.0	90.0	66.4	80.8	53.1	64.6	48.2	58.6
BS251	84.3	79.8	94.7	73.5	87.2	69.1	82.0	43.5	51.6	19.0	22.5
CS331	73.7	70.5	95.7	70.6	95.8	68.9	93.5	63.3	85.9	68.2	92.5
DS311	73.6	66.2	89.9	68.1	92.5	66.5	90.4	57.0	77.4	57.4	78.0
DS321	68.4	66.2	96.8	66.9	97.8	62.6	91.5	51.5	75.3	50.9	74.4
DS331	68.5	68.4	99.9	65.4	95.5	65.8	96.1	61.4	89.6	57.9	84.5
DS341	60.8	62.2	102.3	54.0	88.8	52.0	85.5	40.0	65.8	40.1	66.0
DS351	69.9	59.3	84.8	59.7	85.4	49.0	70.1	36.4	52.1	38.9	55.7
GS511	86.2	78.9	91.5	33.0	38.3	23.3	27.0	8.5	9.9	8.4	9.7
GS521	88.2	79.4	90.0	44.0	49.9	31.4	35.6	6.8	7.7	6.5	7.4
GS531	87.7	79.1	90.2	37.6	42.9	25.3	28.8	7.8	8.9	7.8	8.9
GS541	87.2	76.5	87.7	28.7	32.9	20.6	23.6	6.4	7.3	6.1	7.0
GS551	87.4	76.9	88.0	44.4	50.8	30.7	35.1	6.8	7.8	5.5	6.3

表-5-12 促進耐候性試験 色差 ΔE^* 変化

試験板No	初期色度			測定時間(数値は ΔE^* 値)				
	L*	a*	b*	300時間	700時間	1000時間	2000時間	3000時間
AS111	73.95	-0.01	-0.30	0.23	0.47	0.71	0.72	0.83
AS121	75.37	-9.27	11.77	0.23	0.22	0.46	0.66	0.91
AS131	81.94	0.24	12.69	0.23	0.41	0.73	0.83	0.94
AS141	65.60	-23.97	-6.34	0.34	0.52	0.87	1.78	2.48
AS151	42.72	51.21	28.24	0.79	1.21	1.46	2.77	3.97
BS211	72.64	-1.78	-0.53	0.17	0.48	0.58	0.83	0.62
BS221	79.86	-9.55	11.50	0.15	0.33	0.44	0.67	0.30
BS231	79.17	2.57	24.27	0.18	0.40	0.52	1.10	1.18
BS241	64.95	-29.24	-6.73	0.29	0.67	0.78	1.26	1.48
BS251	42.94	58.50	32.43	0.46	1.33	1.44	4.27	7.90
CS331	81.90	-0.50	12.16	0.13	0.13	0.13	0.36	0.48
DS311	46.23	-1.18	0.63	0.68	0.52	0.72	0.68	0.54
DS321	48.40	-20.29	15.81	0.28	0.27	0.62	0.92	1.01
DS331	87.81	0.52	10.86	0.46	0.32	0.43	0.63	0.33
DS341	34.51	-1.22	-32.75	0.25	1.00	1.49	1.74	3.23
DS351	35.73	30.69	25.95	0.76	1.73	1.96	2.99	3.80
GS511	74.58	-0.21	-0.63	0.31	0.69	0.44	0.31	0.80
GS521	75.93	-10.41	12.46	0.28	0.74	0.56	0.20	0.68
GS531	82.24	-0.48	12.57	0.14	0.59	0.53	0.19	0.48
GS541	62.15	-23.73	-5.31	0.26	1.69	1.19	1.16	3.77
GS551	43.53	59.02	29.41	0.50	4.91	6.18	9.51	14.45

表-5-13 促進耐候性試験 目視による変退色評価結果

試験板No	測定時間(数値は変退色判定基準値)				
	300時間	700時間	1000時間	2000時間	3000時間
AS111	6	6	6	5	4
AS121	6	6	6	5	5
AS131	6	6	6	5	4
AS141	6	6	5	5	3
AS151	6	6	5	5	3
BS211	6	6	6	5	5
BS221	6	6	6	5	5
BS231	6	6	5	5	5
BS241	6	6	6	5	4
BS251	6	6	5	3	3
CS331	6	6	6	6	6
DS311	6	6	6	5	5
DS321	6	6	6	5	4
DS331	6	6	6	6	5
DS341	6	6	6	5	4
DS351	6	6	6	5	4
GS511	6	6	6	4	3
GS521	6	6	6	5	3
GS531	6	6	6	5	3
GS541	6	6	4	3	2
GS551	6	5	3	2	2

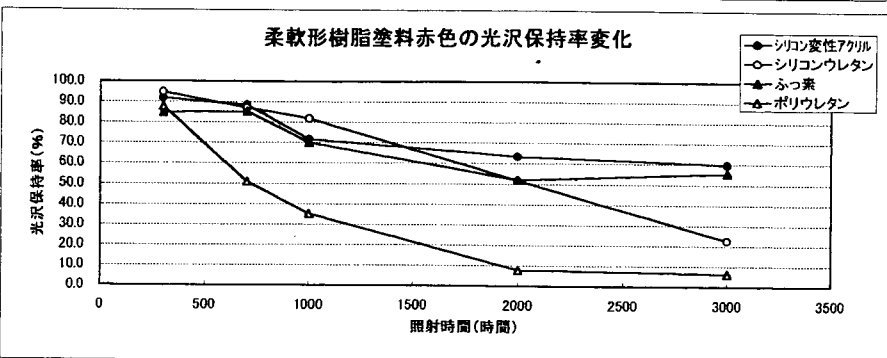
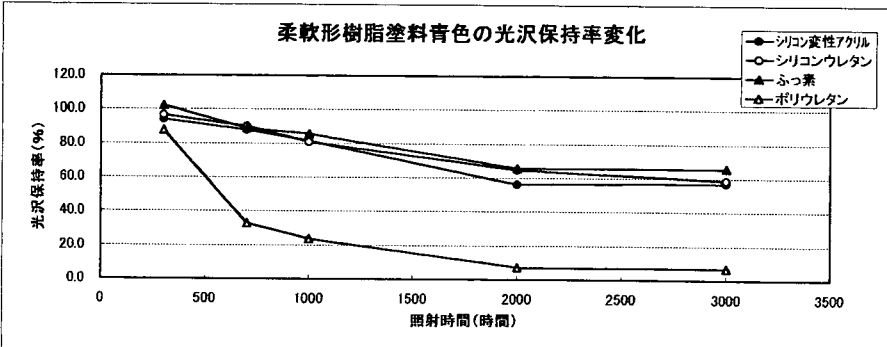
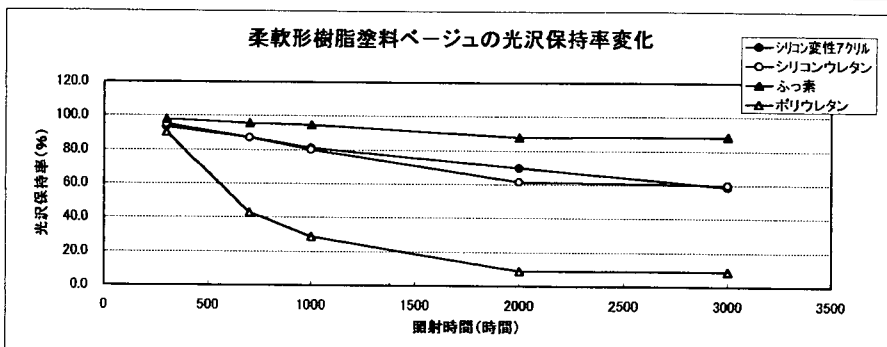
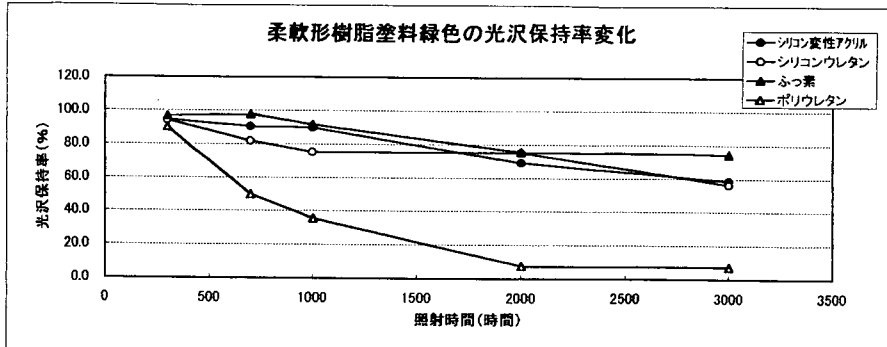
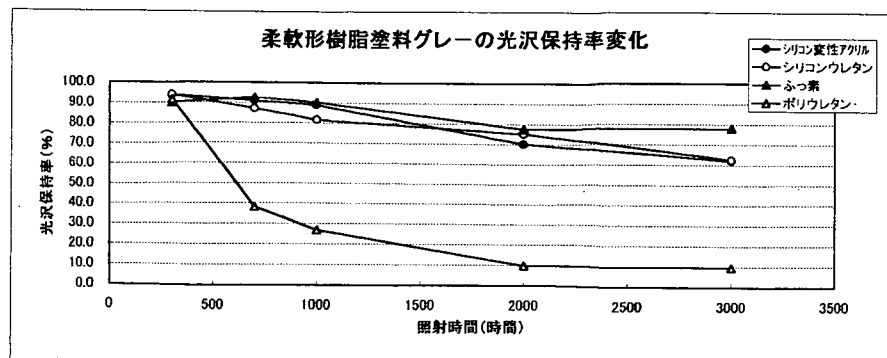


図-5-21 促進耐候性試験 樹脂組成別光沢保持率の変化

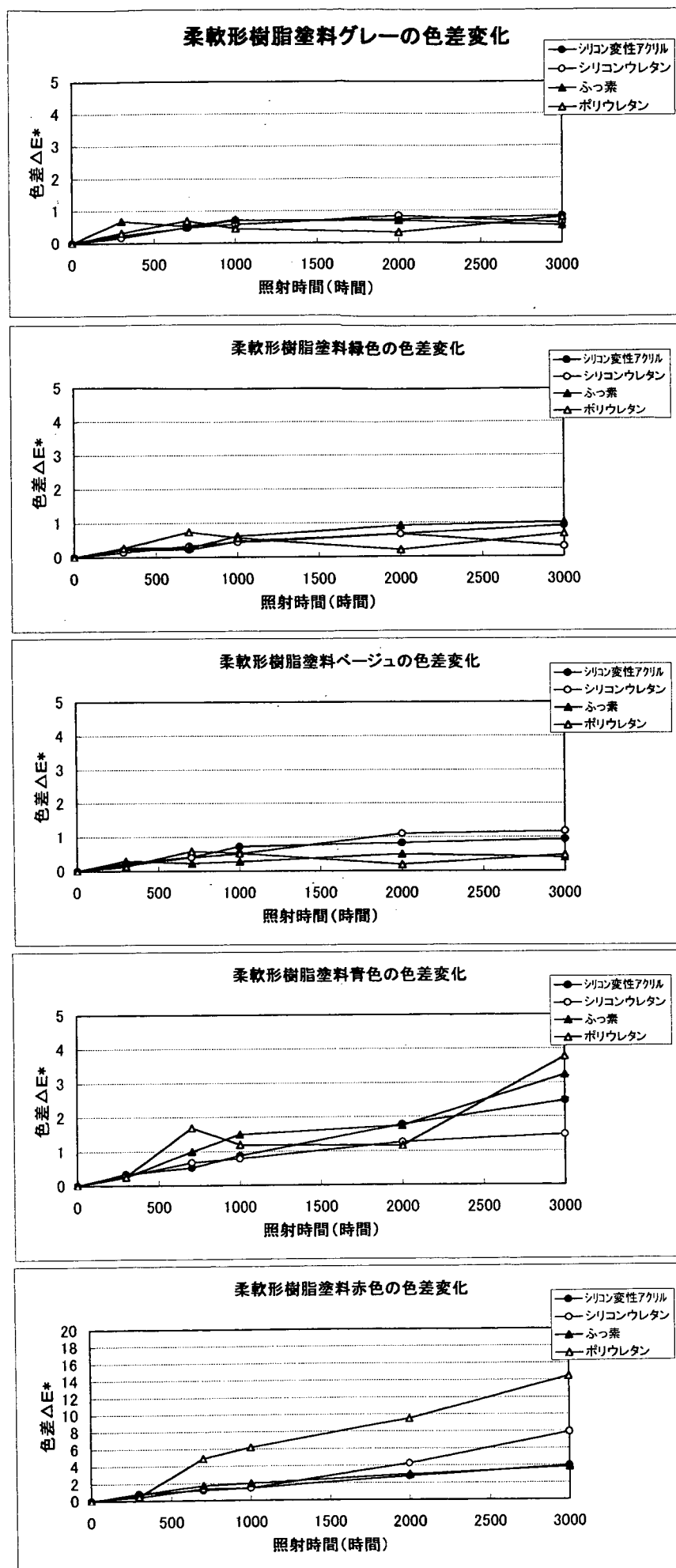


図-5-22 促進耐候性試験 樹脂組成別色差の変化

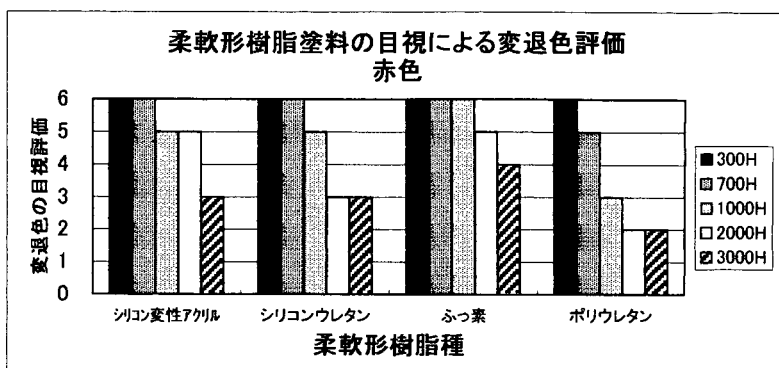
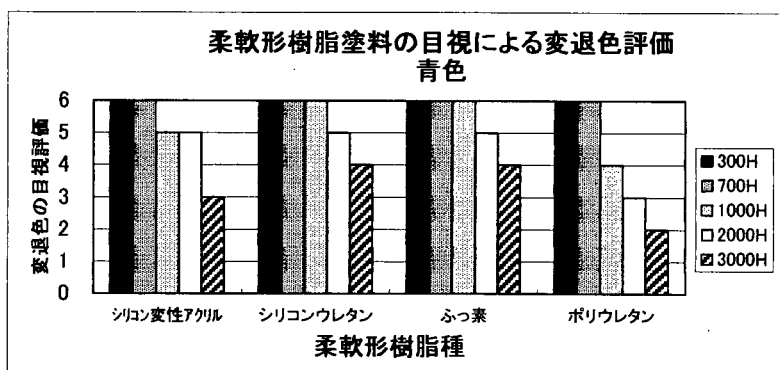
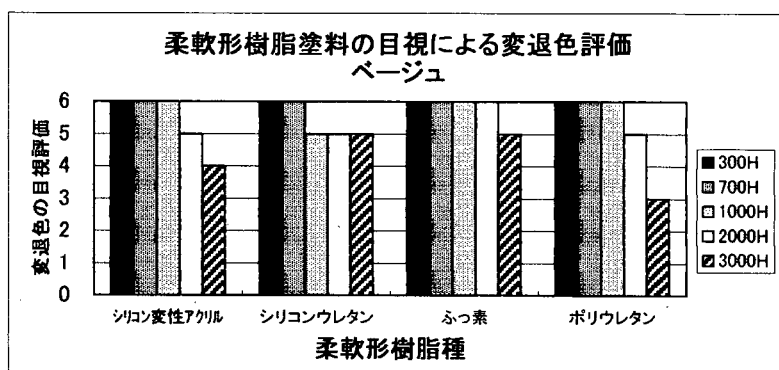
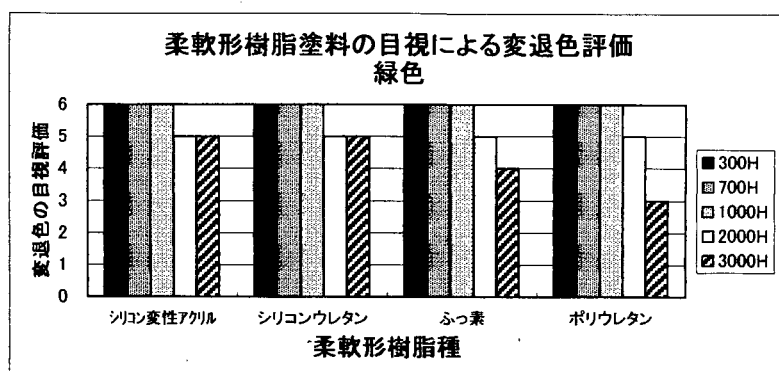
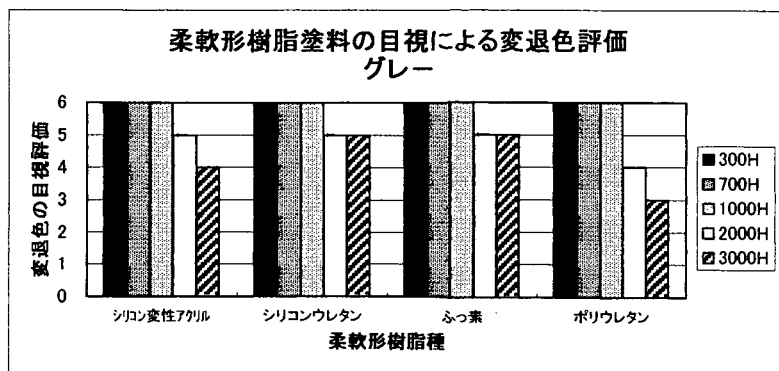


図-5-23 促進耐候性試験 目視による変退色評価

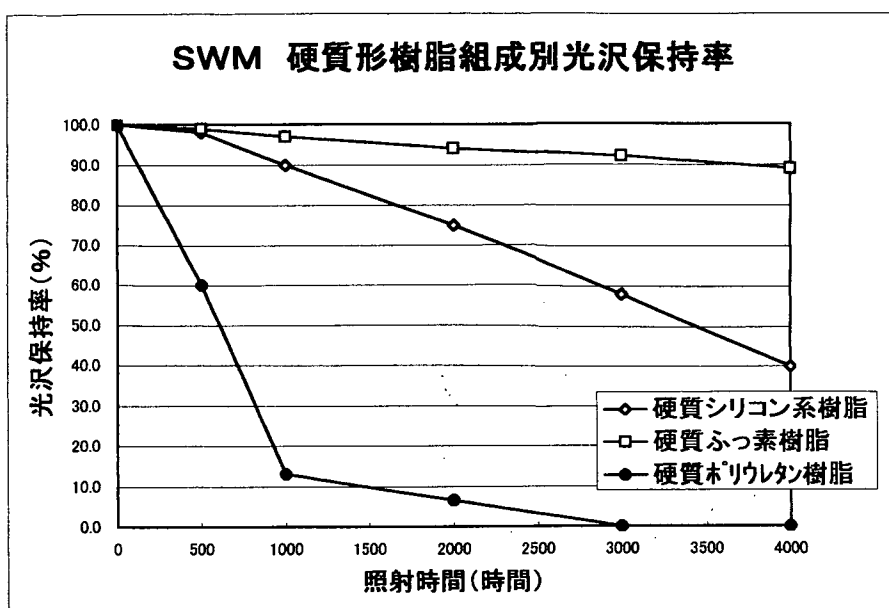


図-5-24 促進耐候性試験 硬質形樹脂光沢保持率の変化

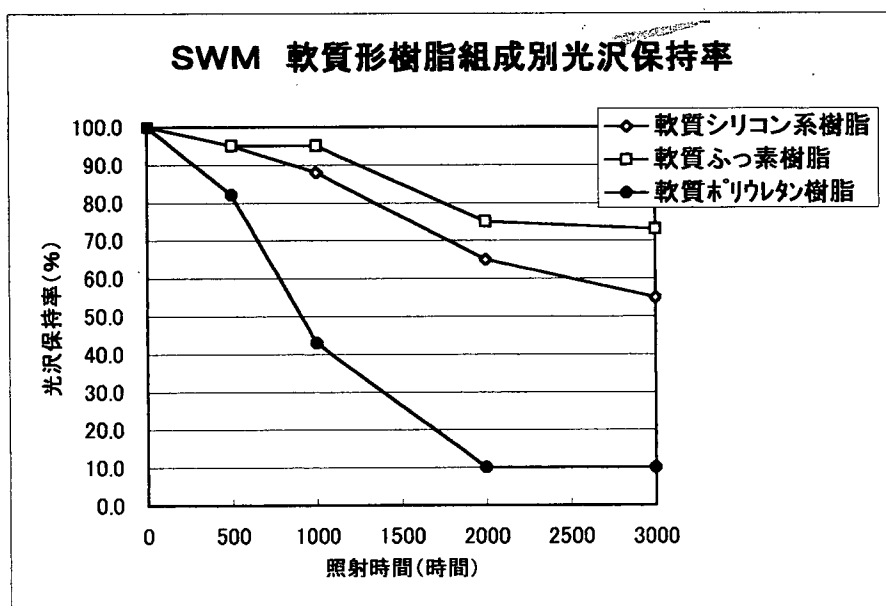


図-5-25 促進耐候性試験 柔軟形樹脂光沢保持率の変化

表-5-14 ひび割れ追従性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	曲げ載荷試験 (mm)	両引きゼロスパン試験 (mm)	伸び率試験 (%)
	中塗り	上塗り				
AS11	EP (S)	AS (S)	330	0.27	0.5	60
AS12	EP (S)	AS (S)	530	0.62	0.8	70
CS50	EP (S)	AU (S)	230	0.46	0.6	150
CS51	EP (S)	AU (S)	330	1.03	1.2	170
CS52	PB (S)	AU (S)	1030	3.97	4.0	150
DS33	PU (S)	F (S)	550	1.98	2.0	80
GH50	HGEP (H)	AU (H)	380	0.17	0.0	2

中塗り, 上塗りの詳しい内容は表-5-5参照

(H):硬質形 (S):柔軟形

EP:エポキシ樹脂塗料中塗 HGEP:厚膜エポキシ樹脂塗料中塗(ガラスフレーク入り)

PB:ポリブタジエン樹脂塗料中塗 PU:ポリウレタン樹脂塗料中塗

AS:シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗

F:ふっ素樹脂塗料上塗 AU:ポリウレタン樹脂塗料上塗

表-5-15 水蒸気透過阻止性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	水蒸気透過阻止性		
	中塗り	上塗り		実測膜厚 (mm)	試験結果 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$)	平均
AH130	EP (H)	AS (H)	120	0.17	0.11	0.11
				0.15	0.11	
				0.15	0.11	
AS131	EP (S)	AS (S)	190	0.28	1.50	1.80
				0.31	2.10	
				0.20	1.80	
AS132	EP (S)	AS (S)	350	0.33	0.24	0.22
				0.35	0.21	
				0.32	0.22	
BH230	EP (H)	SU (H)	90	0.12	0.28	0.29
				0.13	0.29	
				0.14	0.29	
BS230	EP (S)	SU (S)	190	0.20	0.59	0.49
				0.26	0.42	
				0.25	0.45	
CH130	EP (H)	AS (H)	90	0.14	0.37	0.34
				0.15	0.33	
				0.15	0.33	
CH330	EP (H)	F (H)	90	0.13	0.30	0.26
				0.14	0.23	
				0.13	0.25	
CS010	PC (S)	A (S)	400	0.74	1.80	1.90
				0.64	1.80	
				0.64	2.00	
CS310	PB (S)	F (S)	1030	1.42	0.30	0.31
				1.36	0.33	
				1.42	0.30	
DS330	PU (S)	F (S)	550	0.60	2.10	2.00
				0.53	1.80	
				0.54	2.00	
GH530	EP (H)	AU (H)	90	0.11	0.29	0.28
				0.12	0.31	
				0.15	0.24	
GS530	EP (S)	AU (S)	120	0.18	0.19	0.14
				0.17	0.11	
				0.18	0.12	

中塗り, 上塗りの詳しい内容は表-5-6参照

(H):硬質形 (S):柔軟形

EP:エポキシ樹脂塗料中塗 PC:ポリマーセメント中塗

PB:ポリブタジエン樹脂塗料中塗 PU:ポリウレタン樹脂塗料中塗

AS:シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 SU:シリコンウレタン樹脂塗料上塗

A:アクリル樹脂塗料上塗 F:ふっ素樹脂塗料上塗 AU:ポリウレタン樹脂塗料上塗

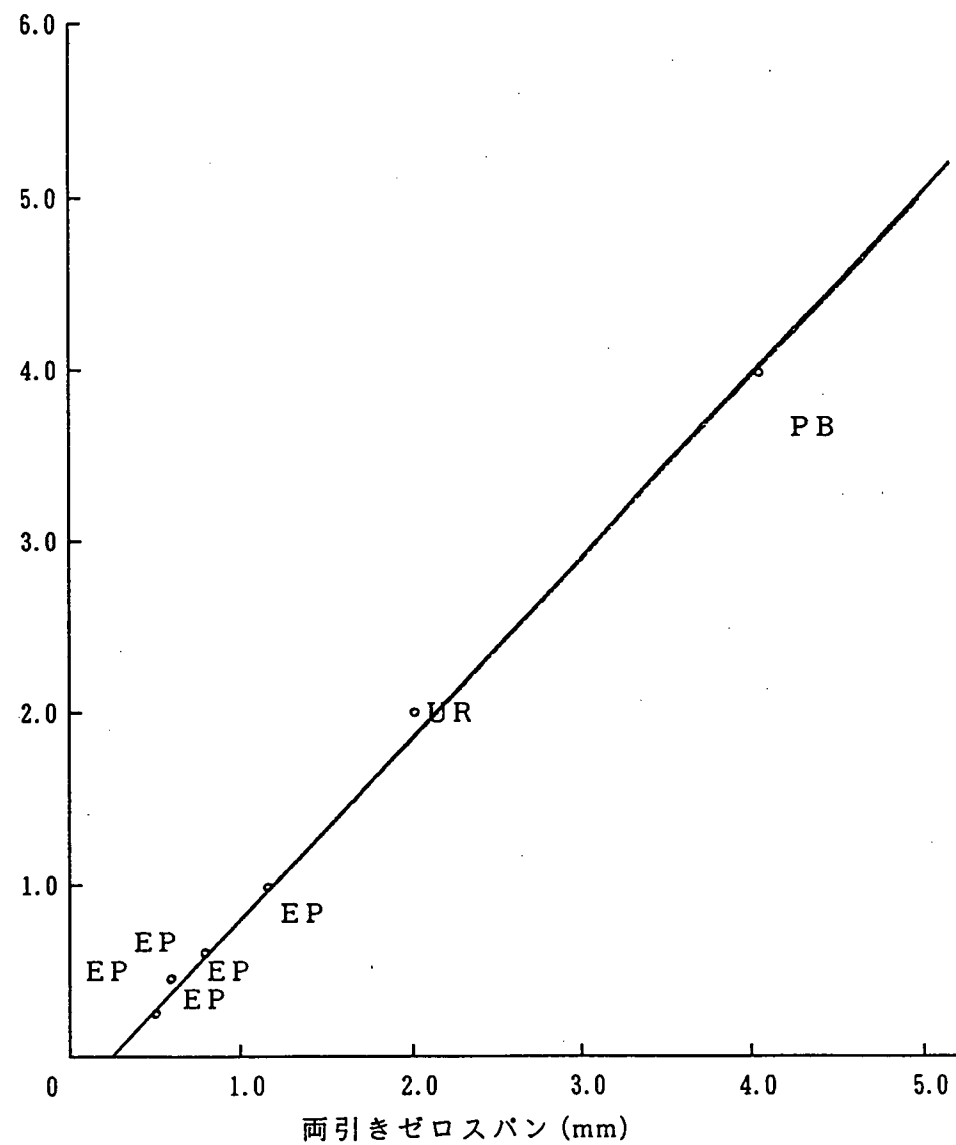
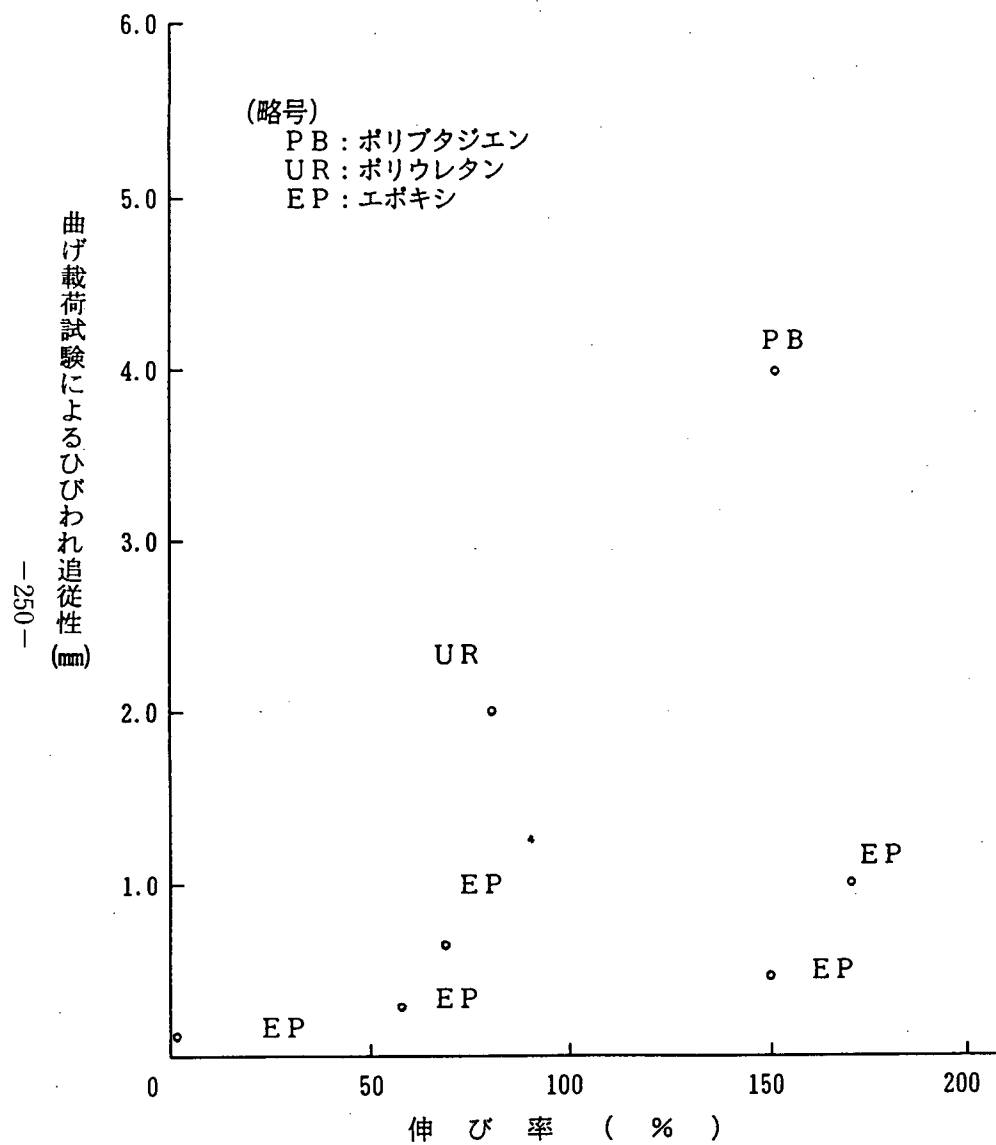


図-5-26 曲げ載荷試験と両引きゼロスパン・伸び率の関係

表-5-16 遮塩性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	遮塩性		平均
	中塗り	上塗り		実測膜厚 (mm)	試験結果 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$)	
AH130	EP (H)	AS (H)	120	0.19	0.34×10^{-3} 以下	0.34×10^{-3} 以下 (測定下限値)
				0.18	同上	
				0.17	同上	
AS131	EP (S)	AS (S)	190	0.21	同上	同上
				0.28	同上	
				0.26	同上	
AS132	EP (S)	AS (S)	350	0.30	同上	同上
				0.45	同上	
				0.31	同上	
BH230	EP (H)	SU (H)	90	0.15	同上	同上
				0.12	同上	
				0.12	同上	
BS230	EP (S)	SU (S)	190	0.19	同上	同上
				0.27	同上	
				0.30	同上	
CH130	EP (H)	AS (H)	90	0.15	同上	同上
				0.15	同上	
				0.14	同上	
CH330	EP (H)	F (H)	90	0.14	同上	同上
				0.15	同上	
				0.16	同上	
CS010	PC (S)	A (S)	400	0.61	同上	同上
				0.61	同上	
				0.59	同上	
CS310	PB (S)	F (S)	1030	1.33	同上	同上
				1.32	同上	
				1.44	同上	
DS330	PU (S)	F (S)	550	0.54	同上	同上
				0.58	同上	
				0.04	同上	
GH530	EP (H)	AU (H)	90	0.11	同上	同上
				0.10	同上	
				0.11	同上	
GS530	EP (S)	AU (S)	120	0.17	同上	同上
				0.15	同上	
				0.17	同上	

表-5-17 酸素透過阻止性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	酸素透過阻止性		平均
	中塗り	上塗り		実測膜厚 (mm)	試験結果 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$)	
AH130	EP (H)	AS (H)	120	0.13	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-2}
				0.13	1.6×10^{-2}	
				0.14	1.5×10^{-2}	
AS131	EP (S)	AS (S)	190	0.20	0.9×10^{-2}	0.8×10^{-2}
				0.20	0.7×10^{-2}	
				0.20	0.7×10^{-2}	
AS132	EP (S)	AS (S)	350	0.35	0.3×10^{-2}	0.4×10^{-2}
				0.35	0.5×10^{-2}	
				0.35	0.5×10^{-2}	
BH230	EP (H)	SU (H)	90	0.09	0.7×10^{-2}	0.7×10^{-2}
				0.11	0.7×10^{-2}	
				0.11	0.7×10^{-2}	
BS230	EP (S)	SU (S)	190	0.20	8.2×10^{-2}	7.7×10^{-2}
				0.20	7.3×10^{-2}	
				0.21	7.7×10^{-2}	
CH130	EP (H)	AS (H)	90	0.12	1.8×10^{-2}	1.8×10^{-2}
				0.11	1.8×10^{-2}	
				0.11	1.8×10^{-2}	
CH330	EP (H)	F (H)	90	0.11	1.3×10^{-2}	1.4×10^{-2}
				0.12	1.5×10^{-2}	
				0.11	1.3×10^{-2}	
CS010	PC (S)	A (S)	400	0.46	8.9×10^{-2}	8.5×10^{-2}
				0.49	8.1×10^{-2}	
				0.47	8.6×10^{-2}	
CS310	PB (S)	F (S)	1030	1.27	7.6×10^{-2}	7.4×10^{-2}
				1.28	7.2×10^{-2}	
				1.28	7.3×10^{-2}	
DS330	PU (S)	F (S)	550	0.56	11.2×10^{-2}	10.9×10^{-2}
				0.56	10.9×10^{-2}	
				0.56	10.7×10^{-2}	
GH530	EP (H)	AU (H)	90	0.10	2.3×10^{-2}	2.6×10^{-2}
				0.10	2.9×10^{-2}	
				0.12	2.6×10^{-2}	
GS530	EP (S)	AU (S)	120	0.14	1.6×10^{-2}	1.3×10^{-2}
				0.12	1.1×10^{-2}	
				0.12	1.3×10^{-2}	

中塗り、上塗りの詳しい内容は表-5-6参照 (H):硬質形 (S):柔軟形

EP:エポキシ樹脂塗料中塗り PC:ポリマーセメント中塗り

PB:ポリブタジエン樹脂塗料中塗り PU:ポリウレタン樹脂塗料中塗り

AS:シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗り SU:シリコンウレタン樹脂塗料上塗り

A:アクリル樹脂塗料上塗り F:ふっ素樹脂塗料上塗り AU:ポリウレタン樹脂塗料上塗り

表-5-18 水透過阻止性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	水透過阻止性 ($\text{ml}/\text{m}^2\cdot 24\text{H}$)
	中塗り	上塗り		
AH130	EP (H)	AS (H)	120	4.5
AS131	EP (S)	AS (S)	190	2.2
AS132	EP (S)	AS (S)	350	2.2
BH230	EP (H)	SU (H)	90	0.7
BS230	EP (S)	SU (S)	190	0.4
CH130	EP (H)	AS (H)	90	2.5
CH330	EP (H)	F (H)	90	2.5
CS010	PC (S)	A (S)	400	6.0
CS310	PB (S)	F (S)	1030	0.8
DS330	PU (S)	F (S)	550	0.0
GH530	EP (H)	AU (H)	90	2.5
GS530	EP (S)	AU (S)	120	0.0

中塗り, 上塗りの詳しい内容は表-5-6参照

表-5-19 耐アルカリ性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	耐アルカリ性
	中塗り	上塗り		
AH130	EP (H)	AS (H)	120	異常なし
AS131	EP (S)	AS (S)	190	異常なし
AS132	EP (S)	AS (S)	350	異常なし
BH230	EP (H)	SU (H)	90	異常なし
BS230	EP (S)	SU (S)	190	異常なし
CH130	EP (H)	AS (H)	90	異常なし
CH330	EP (H)	F (H)	90	異常なし
CS010	PC (S)	A (S)	400	異常なし
CS310	PB (S)	F (S)	1030	異常なし
DS330	PU (S)	F (S)	550	異常なし
GH530	EP (H)	AU (H)	90	異常なし
GS530	EP (S)	AU (S)	120	異常なし

中塗り, 上塗りの詳しい内容は表-5-6参照

表-5-20 付着性試験結果

試験板No	塗装系		目標膜厚 (μm)	上塗りの付着性
	中塗り	上塗り		
AH130	EP (H)	AS (H)	120	25/25
AS131	EP (S)	AS (S)	190	25/25
AS132	EP (S)	AS (S)	350	25/25
BH230	EP (H)	SU (H)	90	25/25
BS230	EP (S)	SU (S)	190	25/25
CH130	EP (H)	AS (H)	90	25/25
CH330	EP (H)	F (H)	90	25/25
CS010	PC (S)	A (S)	400	25/25
CS310	PB (S)	F (S)	1030	25/25
DS330	PU (S)	F (S)	550	25/25
GH530	EP (H)	AU (H)	90	25/25
GS530	EP (S)	AU (S)	120	25/25

中塗り, 上塗りの詳しい内容は表-5-6参照 (H): 硬質形 (S): 柔軟形

EP: エポキシ樹脂塗料中塗り PC: ポリマーセメント中塗り

PB: ポリブタジエン樹脂塗料中塗り PU: ポリウレタン樹脂塗料中塗り

AS: シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗り SU: シリコンウレタン樹脂塗料上塗り

A: アクリル樹脂塗料上塗り F: ふっ素樹脂塗料上塗り AU: ポリウレタン樹脂塗料上塗り

5. 3. 3 実構造物への試験施工結果

実構造物（コンクリートアバット部）への試験施工箇所については7ヶ月後、12ヶ月後、8年後に追跡調査を実施した。追跡調査としてはデータが不十分であるが調査結果を表-5・21にまとめた。また試験施工箇所を写真-5・5に示した。

(1) 樹脂組成別の光沢保持率比較 図-5・27 参照

1) つくば山側面：水洗前では樹脂種により光沢保持率低下の傾向が見られ、全体の傾向を比較するとふっ素樹脂塗料A・シリコン変性アクリル樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料B>シリコンウレタン樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

水洗後はすべて光沢保持率が向上し、7ヶ月調査の光沢と比較し、8年経過後も光沢低下はほとんど見られていない。全体の傾向は水洗前と同様。

2) 中央部：水洗前・水洗後ともに7ヶ月調査と比較し8年経過後もほとんど大きな低下は見られておらず、水洗後でポリウレタン樹脂塗料が70%程度、それ以外はすべて80%以上を保持している。全体的に見ると樹脂組成毎の差はあまり大きく現われてない。

3) つくばセンター側面：水洗前では樹脂種により光沢保持率低下の傾向が大きく見られ、全体の傾向を比較するとふっ素樹脂塗料B>シリコン変性ウレタン樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料A>シリコンウレタン樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料の順となる。

この面では水洗後の光沢保持率向上がほとんど見られないことから、塗膜の劣化が進行していることがうかがえる。

4) 結論：以上の結果から考察すると中央部は日光があたらないため劣化もあまり進まず、樹脂組成による差はあまり大きく見られていない。つくば山側面も廻りの環境から見てもあまり日光があたらないため劣化の進みが遅い。水洗後は汚れ除去により向上するが樹脂組成毎の差はあまり大きく見られてない。つくばセンター側面は直射日光が当たる場所のため、8年経過で劣化が進んでおり、水洗後もあまり向上しない。このことより直射日光の当たる個所では高耐久性被覆材料の優位性がはっきりでているが、直射日光の当たらない箇所ではほとんど差が見られない。

(2) 樹脂組成別の色差変化比較 図-5・28 参照

1) つくば山側面：水洗前では樹脂種により色差変化大きく見られ、全体の傾向を比較するとふっ素樹脂塗料A>ふっ素樹脂塗料B>ポリウレタン樹脂塗料>シリコン変性アクリル樹脂塗料>シリコンウレタン樹脂塗料の順となる。

水洗後はすべて色差が大きく向上している。全体の傾向を比較するとポリウレタン樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料A・B>シリコン変性アクリル樹脂塗料>シリコンウレタン樹脂塗料の順となる。

2) 中央部：どの樹脂種も色差増加傾向にあるがあまり大きな差は見られず、すべて ΔE^* で2以下となっている。水洗後はふっ素樹脂塗料は色差があまり向上してないが、それ以外は半減している。水洗前で比較するとポリウレタン樹脂塗料>ふっ素樹脂塗料A・B・シリコンウレタン樹脂塗料>シリコン変性アクリル樹脂塗料の順となる。

水洗後はポリウレタン樹脂塗料・ふっ素樹脂塗料A・B>シリコンウレタン樹脂塗料・シリコン変性アクリル樹脂塗料の順となる。

3) つくばセンター側面：樹脂種により若干の色差変化傾向が見られるが、水洗後もほとんど色差は同じで向上しない。全体の傾向を比較するとふっ素樹脂塗料A・B・ポリウ

レタン樹脂塗料>シリコン変性アクリル樹脂塗料>シリコンウレタン樹脂塗料の順となる。

4) 結 論：クリーム色は顔料はオーカーを採用しており、色差に顔料の影響はあまり見られないと考えられるため、色差は汚れによる影響等が大きいものと判断される。

色差の全体的傾向はふっ素樹脂塗料A・B・ポリウレタン樹脂塗料>シリコン変性アクリル樹脂塗料・シリコンウレタン樹脂塗料の順で、シリコン変性アクリル樹脂塗料・シリコンウレタン樹脂塗料のごとくシリコン系樹脂塗料は、表面親水性により汚れのつき難さが影響しているものと思われる。

表-5-21 コンクリートアバット試験施工調査結果

施工:平成3年11月 7ヵ月後調査:平成4年6月 12ヵ月後調査:平成4年11月 8年後調査:平成11年9月

樹脂種はいずれも硬質形

【光沢保持率】

つくば山側面 光沢保持率変化

樹脂種	初期光沢	水洗前			水洗後		
		7ヶ月	12ヶ月	8年後	7ヶ月	12ヶ月	8年後
ポリウレタン樹脂塗料	64.0	68.0	75.3	32.3	74.9	76.0	63.9
シリコンウレタン樹脂塗料	51.6	85.3	78.9	45.7	100.3	97.7	77.1
シリコン変性アクリル樹脂塗料	45.6	101.3	99.0	84.6	113.7	117.3	107.3
ふっ素樹脂塗料A	40.8	81.2	106.0	79.8	117.9	116.7	117.7
ふっ素樹脂塗料B	39.8	88.3	113.5	74.1	97.9	123.9	105.1

中央部 光沢保持率変化

樹脂種	初期光沢	水洗前			水洗後		
		7ヶ月	12ヶ月	8年後	7ヶ月	12ヶ月	8年後
ポリウレタン樹脂塗料	62.2	60.5	51.5	58.8	93.7	73.0	68.3
シリコンウレタン樹脂塗料	52.4	65.3	53.2	48.9	90.5	77.6	93.1
シリコン変性アクリル樹脂塗料	56.3	64.5	61.2	73.5	80.4	73.8	76.1
ふっ素樹脂塗料A	44.9	74.2	87.5	70.6	108.2	100.1	81.5
ふっ素樹脂塗料B	42.0	104.1	92.6	92.5	108.4	111.8	86.1

つくばセンター側面 光沢保持率変化

樹脂種	初期光沢	水洗前			水洗後		
		7ヶ月	12ヶ月	8年後	7ヶ月	12ヶ月	8年後
ポリウレタン樹脂塗料	48.3	97.4	89.2	31.8	117.7	84.2	22.8
シリコンウレタン樹脂塗料	47.3	89.7	87.6	41.8	108.0	94.6	59.5
シリコン変性アクリル樹脂塗料	45.1	79.5	86.1	80.3	105.9	93.8	83.1
ふっ素樹脂塗料A	44.9	94.3	88.8	66.5	108.8	113.1	74.2
ふっ素樹脂塗料B	36.0	102.5	99.1	105.9	117.1	103.8	95.6

【色 差】

つくば山側面 色差変化

樹脂種	初期値			水洗前			水洗後		
	L	a	b	7ヶ月	12ヶ月	8年後	7ヶ月	12ヶ月	8年後
ポリウレタン樹脂塗料	74.92	-0.24	-0.74	0.70	0.72	2.54	0.23	0.77	1.61
シリコンウレタン樹脂塗料	72.10	-0.50	0.17	0.32	0.46	0.96	0.21	0.47	0.64
シリコン変性アクリル樹脂塗料	74.62	-0.24	0.03	0.43	0.39	1.56	0.17	0.20	0.80
ふっ素樹脂塗料A	73.91	-0.11	-0.70	0.62	1.07	3.97	0.14	0.28	1.15
ふっ素樹脂塗料B	76.62	-0.32	0.41	0.33	0.58	3.57	0.20	0.44	1.17

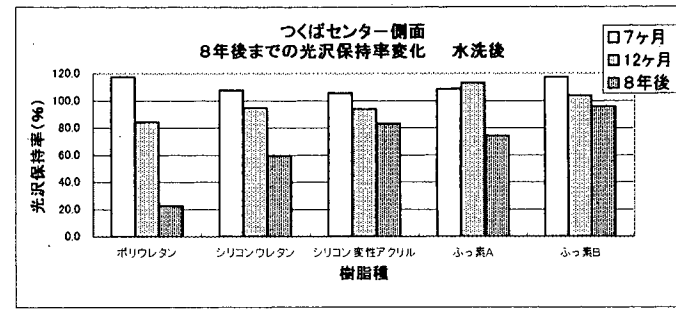
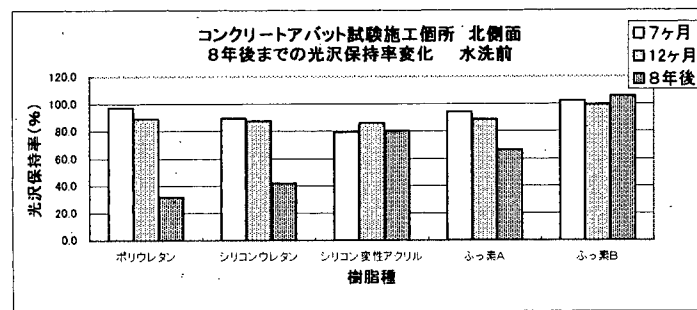
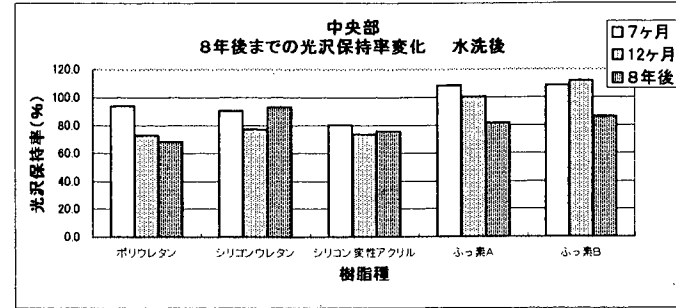
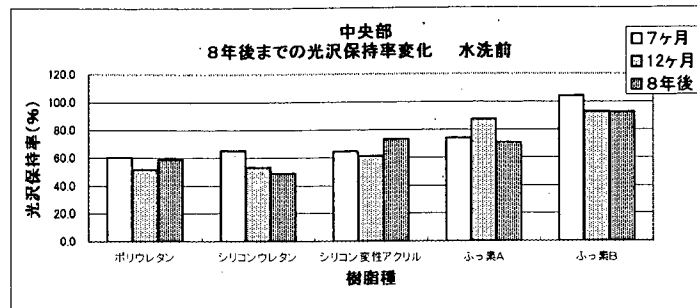
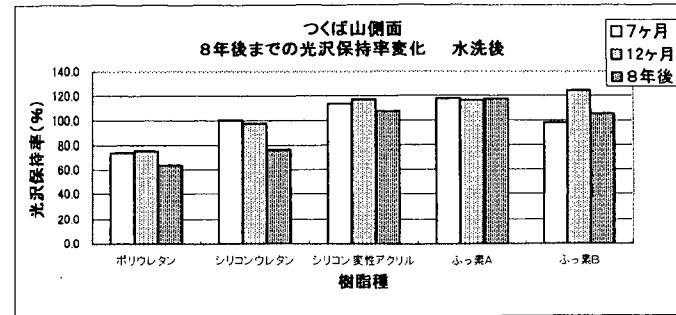
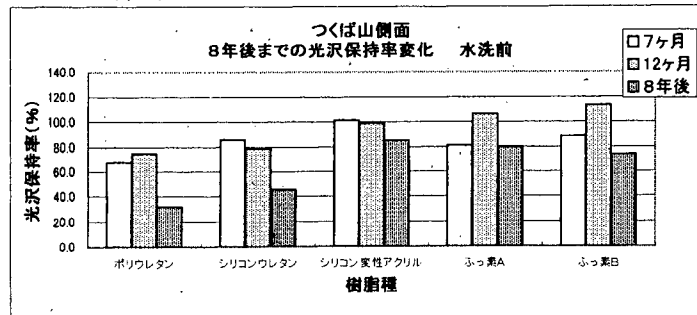
中央部 色差変化

樹脂種	初期値			水洗前			水洗後		
	L	a	b	7ヶ月	12ヶ月	8年後	7ヶ月	12ヶ月	8年後
ポリウレタン樹脂塗料	75.08	-0.16	-0.73	1.09	1.33	1.98	0.29	0.42	1.29
シリコンウレタン樹脂塗料	72.29	-0.47	0.14	1.04	1.02	1.64	0.27	0.57	0.83
シリコン変性アクリル樹脂塗料	74.48	-0.24	0.22	0.78	0.57	1.20	0.12	0.55	0.63
ふっ素樹脂塗料A	73.72	-0.09	-0.56	0.72	1.08	1.45	0.20	0.47	1.28
ふっ素樹脂塗料B	76.44	-0.36	0.73	0.61	0.71	1.35	0.22	0.42	1.50

つくばセンター側面 色差変化

樹脂種	初期値			水洗前			水洗後		
	L	a	b	7ヶ月	12ヶ月	8年後	7ヶ月	12ヶ月	8年後
ポリウレタン樹脂塗料	74.74	-0.22	-0.80	0.57	0.86	1.47	0.59	0.53	1.72
シリコンウレタン樹脂塗料	72.35	-0.49	0.16	1.12	0.89	0.59	0.38	0.48	0.81
シリコン変性アクリル樹脂塗料	74.99	-0.26	0.06	0.79	0.76	1.04	0.46	0.35	1.35
ふっ素樹脂塗料A	73.83	-0.19	-0.58	0.47	0.48	1.64	0.17	0.31	1.87
ふっ素樹脂塗料B	76.37	-0.41	0.76	0.88	0.55	1.93	0.12	0.25	1.77

樹脂種別の光沢保持率変化比較(樹脂種はいずれも硬質形)



各面ごとの光沢保持率変化比較

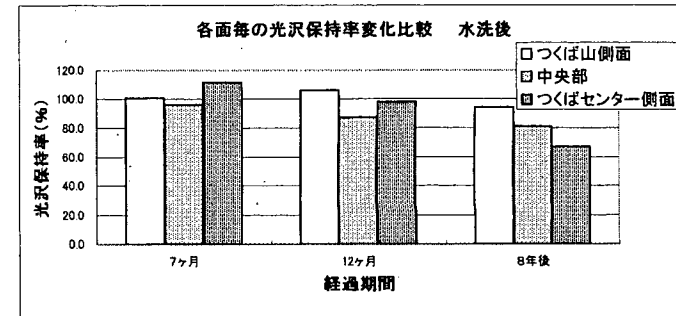
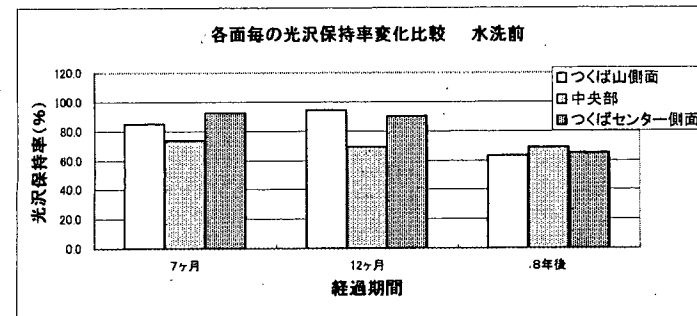


図-5.27 コンクリートアパート試験施工調査結果

樹脂種別の色差変化比較(樹脂種はいずれも硬質形)

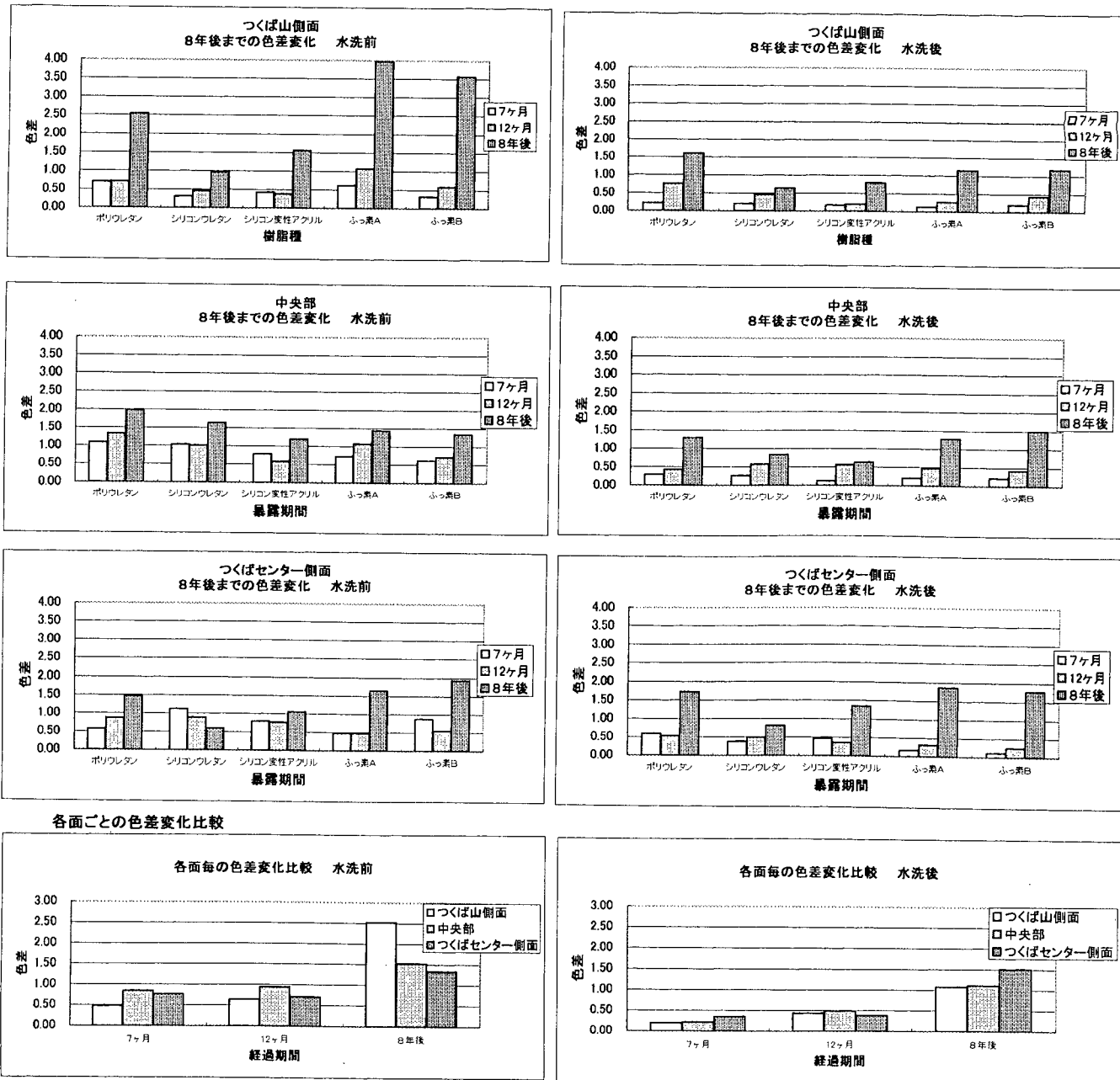


図-5-28 コンクリートアバット試験施工調査結果

5. 4 まとめ

5. 4. 1 促進耐候性試験と屋外暴露試験結果との相関性について

図－5・29 および 5・30 参照

(1) 促進耐候性試験とつくば、沖縄での屋外暴露試験水洗後の光沢保持率を比較すると、硬質形については耐久性として順位をつけると促進耐候性・屋外暴露試験ともにふっ素樹脂塗料>シリコン系樹脂塗料>ポリウレタン樹脂塗料と同じ傾向を示しているが、屋外暴露試験結果は促進耐候性試験で見られるほど著しい光沢保持率の差は見られていない。

一般的環境のつくば暴露では高耐久性被覆材の優位性が検証されているが、厳しい環境の沖縄暴露では劣化が著しく、樹脂組成毎の差があまり大きく出ていない。

劣化速度を見ると、促進耐候性試験ではシリコン系樹脂塗料 3000 時間照射がポリウレタン樹脂塗料約 500 時間の劣化に該当することと比較して屋外暴露と促進耐候性試験の劣化速度の現われ方に大きな差が見られて、また柔軟形で比較してみると促進耐候性試験結果と屋外暴露試験結果では、ふっ素樹脂塗料が逆転しており、あまり相関していない。これらのことから、促進耐候試験のみで耐久性特に寿命予測するのは問題がある。

(2) 屋外暴露試験の外観調査で白亜化については、紫外線量が少ないつくばでは、促進耐候性試験と相関が高い傾向が見られている。しかし、紫外線の多い沖縄では相関性が不明瞭となることから、屋外暴露では紫外線量と劣化度合いは比例関係とはならず、降雨・風・温度等の環境による影響も複雑に絡むように思われる。そのため促進試験方法として他要因を加味したサイクル試験等も検討する必要があると思われる。

(3) 以上のことから高耐久性被覆材の優位性が評価できたのはつくば（一般的な環境）での光沢保持率、白亜化との関連で、色差等では検証は出来なかった。厳しい環境でも優位となる高耐久性被覆材の開発と促進耐候性の試験方法の検討が必要である。

5. 4. 2 実構造物での高耐久性被覆材の検証 図－5・31 参照

試験施工箇所の高耐久性被覆材の評価では、直射日光の当たる箇所を中心に高耐久性被覆材の優位性が検証されているが、直射日光の当たらない箇所では9年後でも著しい差は見られていないことから、高耐久性被覆材を使用しても部位によりその効果に差が見られることとなる。

5. 4. 3 耐汚染性

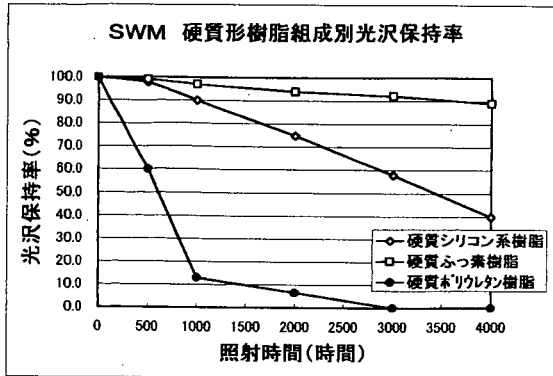
被覆材の高耐久性を考えた場合、耐汚染性も重要な要素となる。本試験で検討した高耐久性被覆材については、汚染性機能は不十分であった。今後耐汚染性の促進試験法の検討が必要である。

5. 4. 4 塩害等に対する保護機能のシステムについて

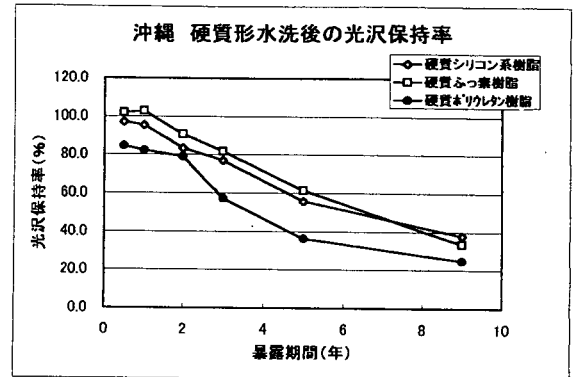
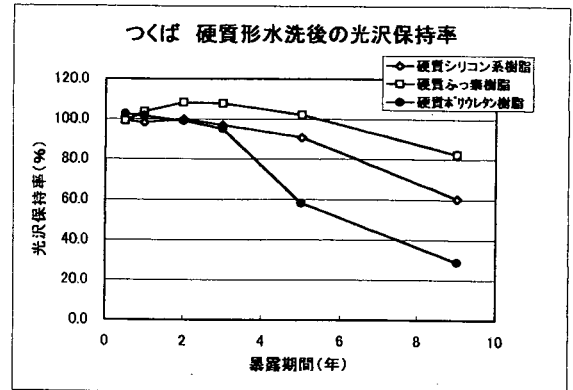
無被覆のコンクリート試験体は2年後に下面の鉄筋に沿って幅0.1 mm 長さ500mm のひび割れが発生し、経時とともに更に劣化が進行し、9年後には幅1.0 mm 長さ750mm に拡大していた。

これに対し当初より被覆したコンクリート試験体では試験体両サイドの無被覆箇所に0.1～0.3 mm のひび割れが入っているが、ほとんどの試験体で塩害が拡大しないよう保護機能が発揮されており、試験体にひび割れが生じているのを抑えていた。従って鉄筋腐食からのひび割れ防止等の塩害対策として初期段階から被覆していれば、道路橋の塩害対策指針案A種60 μm硬質ポリウレタンシステムでも十分効果があることが確認された。

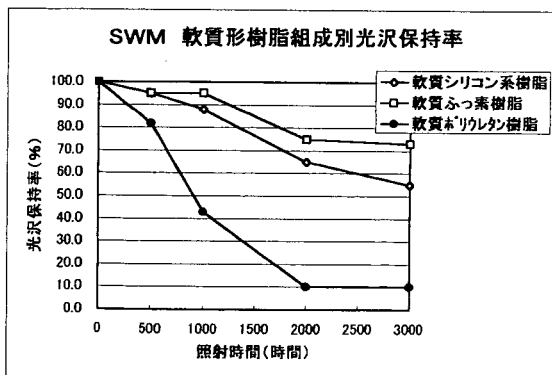
促進耐候試験結果



屋外暴露試験結果



促進耐候試験結果



屋外暴露試験結果

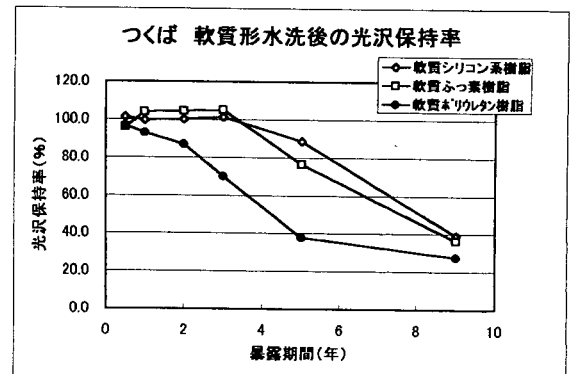


図-5-29 促進耐候試験と屋外暴露試験結果の比較

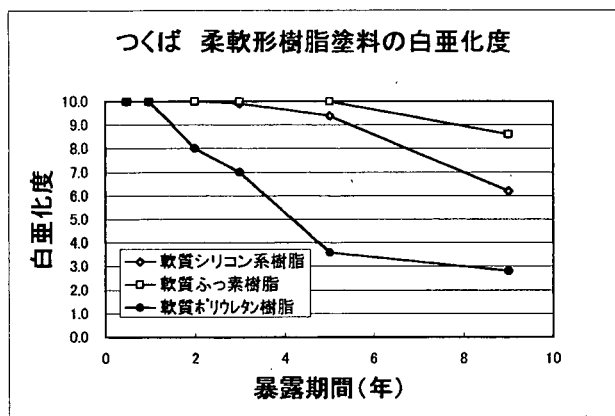
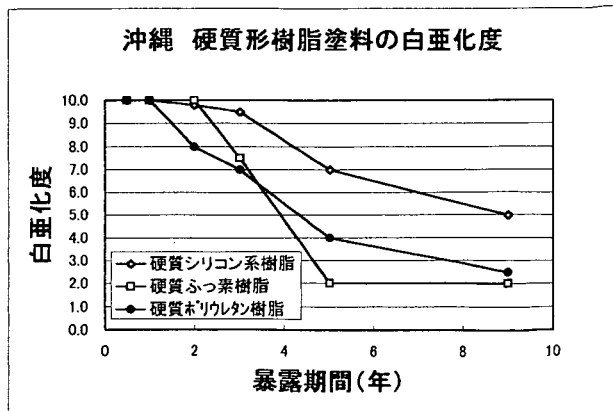
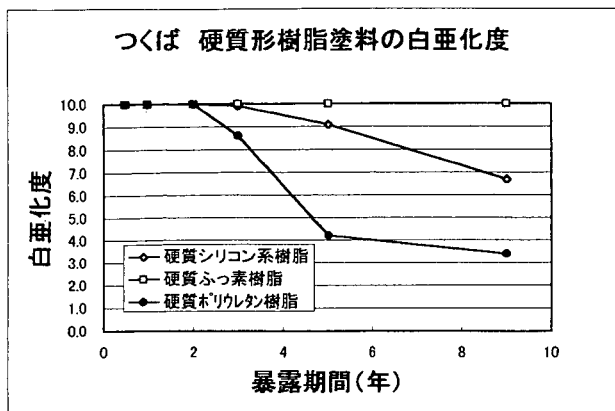


図-5-30 屋外暴露試験結果 白亜化度

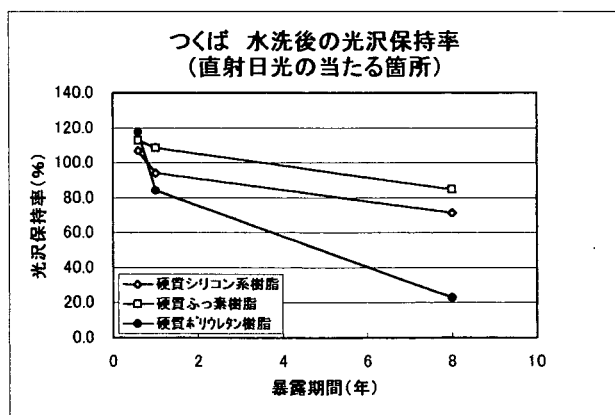
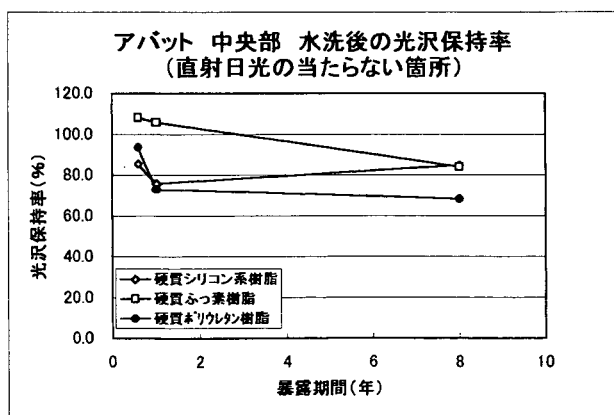
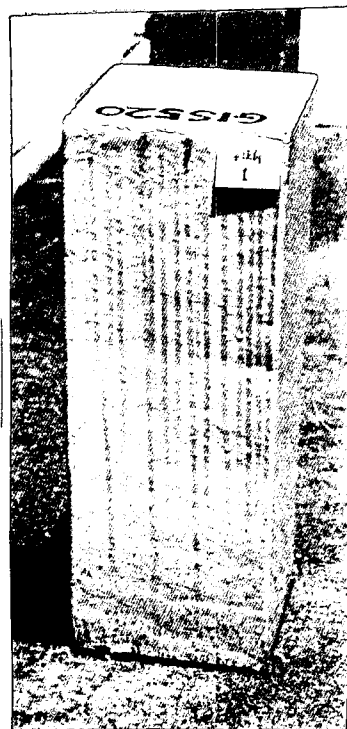
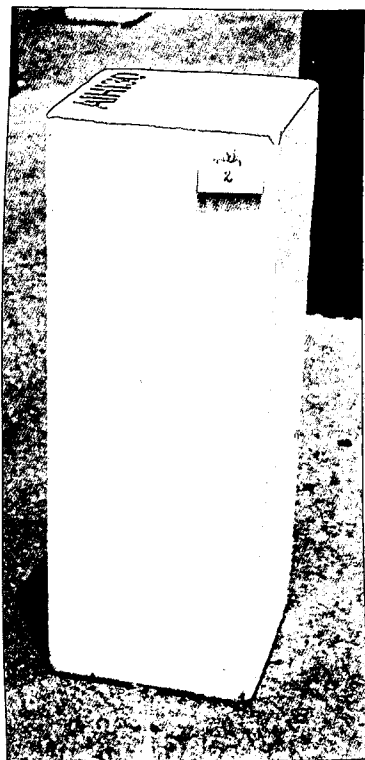


図-5-31 アバット試験施工箇所の光沢保持率

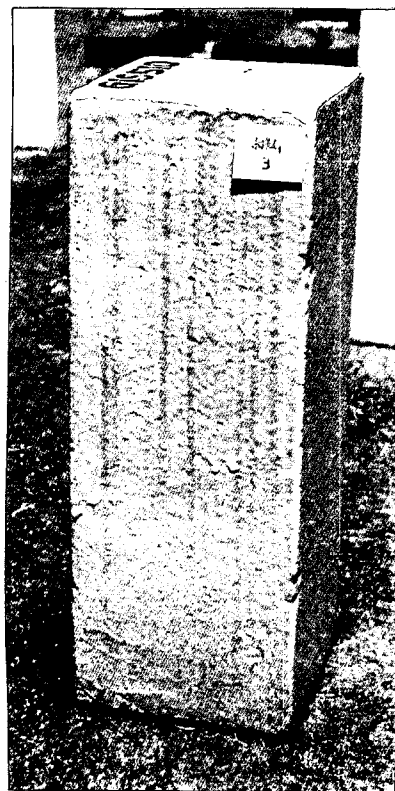
1 点



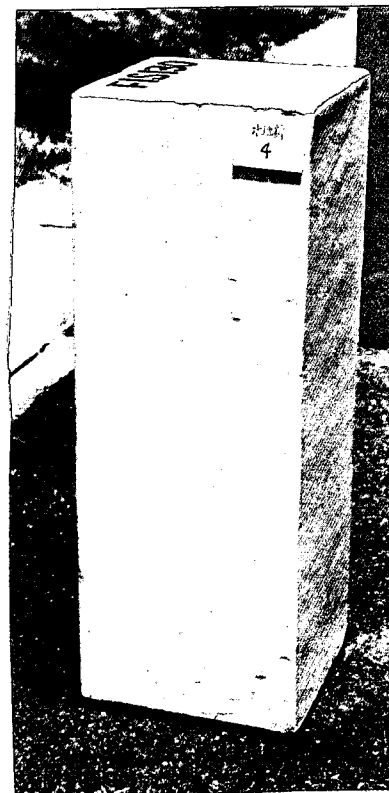
2 点



3 点



4 点



5 点

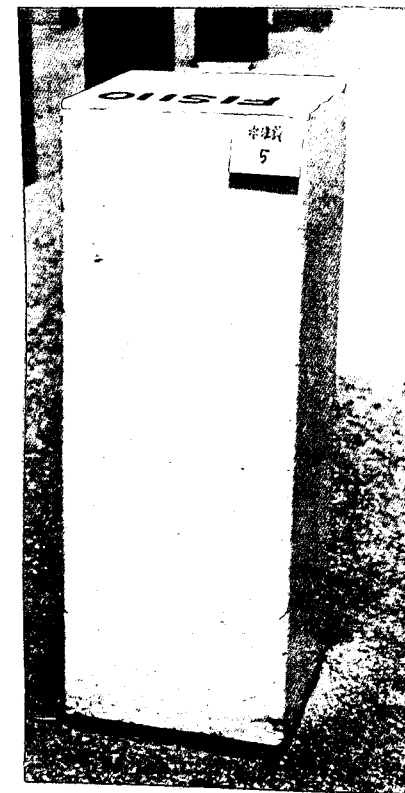
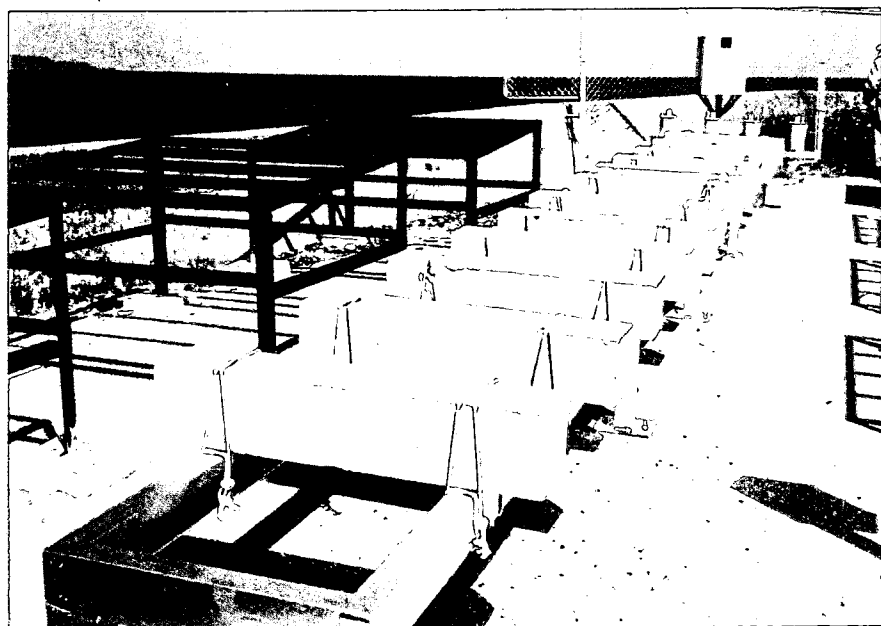


写真-5.1 雨すじ汚れ評価基準

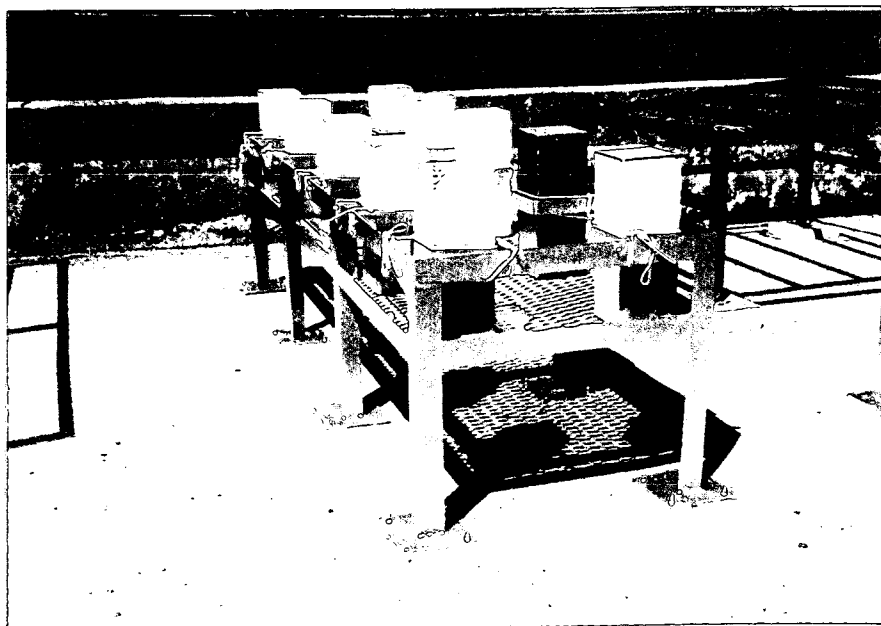
つくば暴露場
無筋コンクリート
試験体の暴露状況



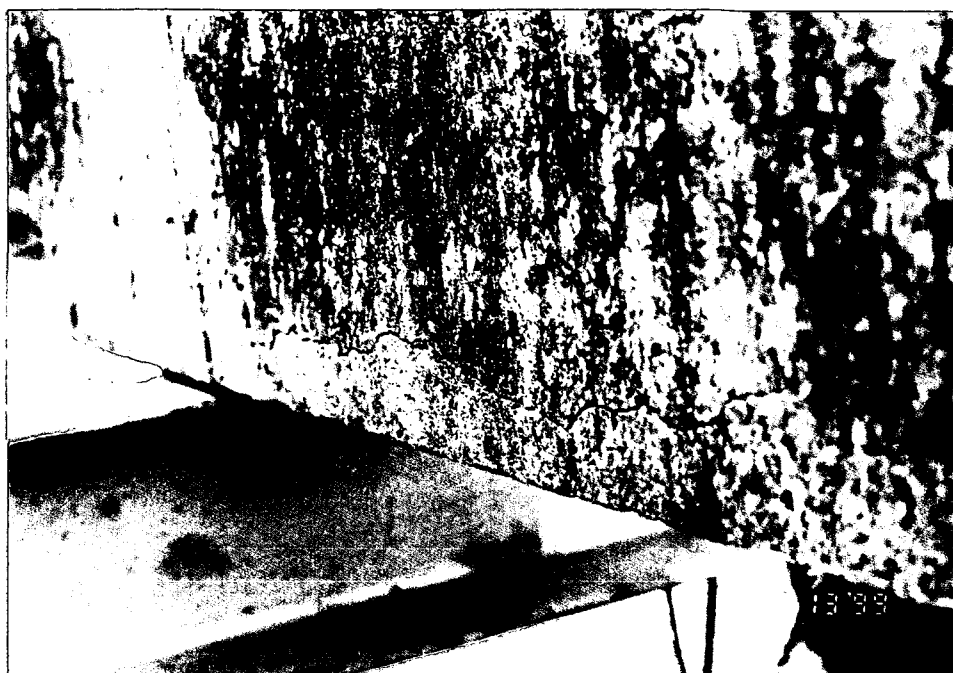
沖縄暴露場
有筋塩入大型コンクリート
試験体の暴露状況



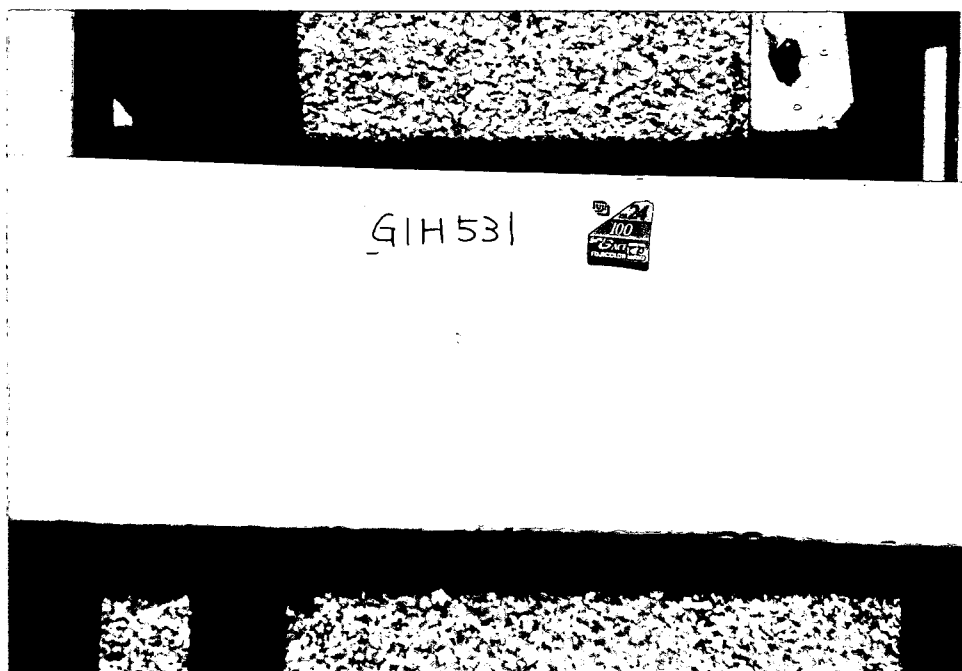
沖縄暴露場
無筋コンクリート
試験体の暴露状況



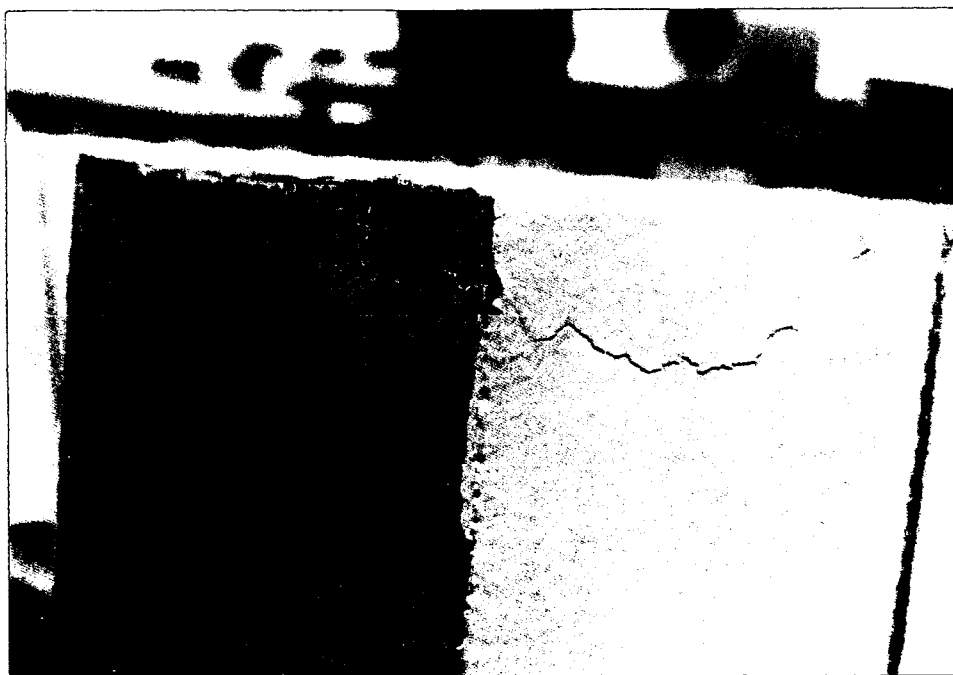
無被覆試験体 9 年後
のひび割れ発生状況



道路橋の塩害対策指針案
A 種 $60\mu\text{m}$ 硬質ポリウ
レタンシステム 9 年後の
状況
ひび割れ等全く発生して
ない。



柔軟形ポリマーセメント
系中塗 $390\mu\text{m}$ + 柔軟
形アクリル樹脂塗料上塗
 $30\mu\text{m}$ のシステムに見
られるコンクリート躯体
のひび割れ発生に伴う追
従状況



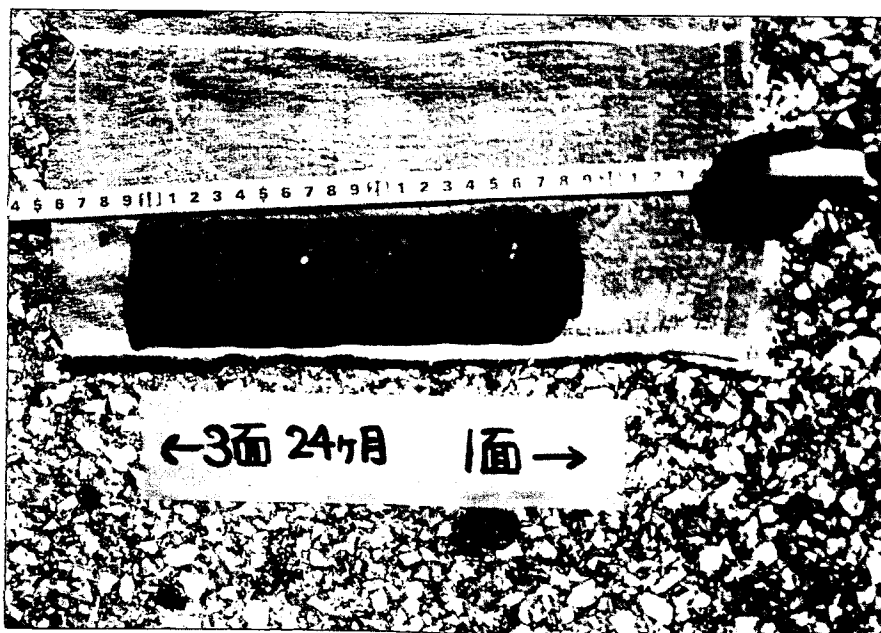
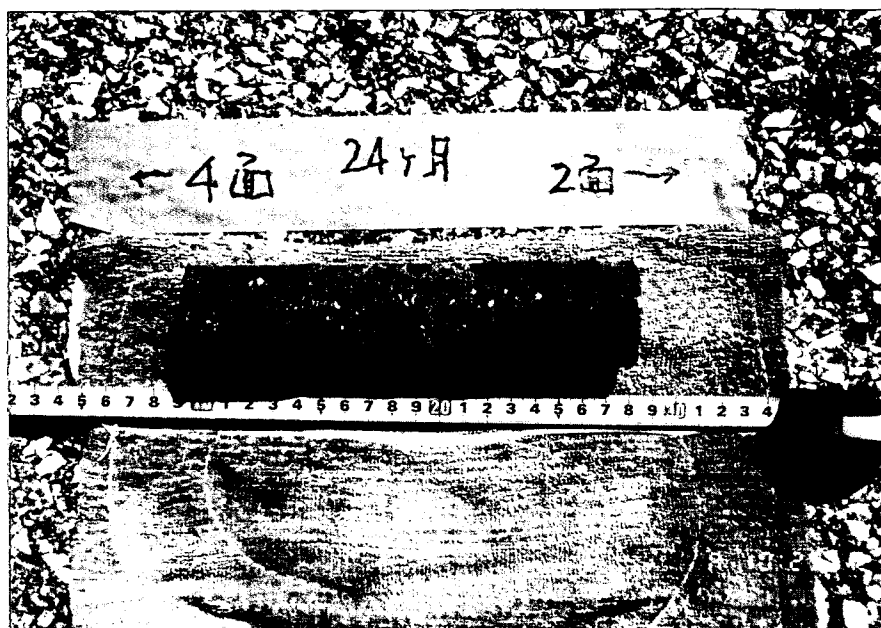
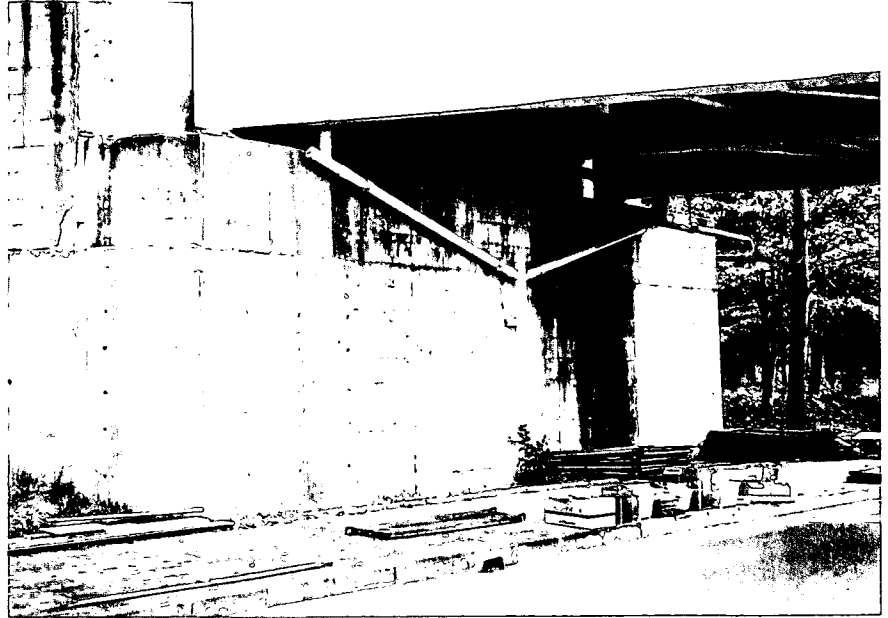
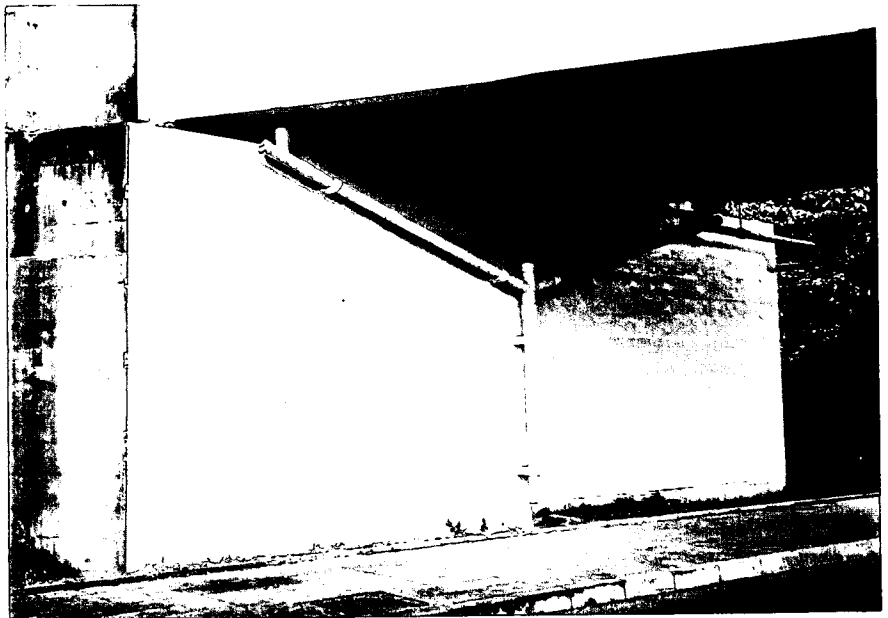


写真-5・4 コアサンプルの中性化深さ

施工前



施工直後



施工8年後



あとかき

暴露10年目の調査並びに本報告書のとりまとめにあたっては、「高耐久性被覆材料の利用技術の開発に関する共同研究」相手であった民間4社・1団体の関係者に共同で実施したものである。

謝辞

本共同研究において暴露試験を実施するにあたり、ご協力をいただいた沖縄開発庁沖縄総合事務局および同北部国道事務所、北海道開発庁開発土木研究所材料研究室、建設省関東地方建設局東京国道工事事務所および同金杉橋出張所並びに同中部地方建設局静岡国道工事事務所および同静岡国道維持出張所の関係各位に謝意を表します。