共同研究報告書
整理番号第411号

鋼構造物塗装のVOC（揮発性有機化合物）削減に関する共同研究報告

平成22年12月

独立行政法人土木研究所
関西ペイント株式会社
株式会社トウペ
神東塗料株式会社
中国塗料株式会社
日本ペイント株式会社
大日本塗料株式会社

Copyright © (2010) 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 Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事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、独立行政法人土木研究所理事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。

共同研究報告書
第411号2010年12月

鋼構造物塗装のVOC（揮発性有機化合物）削減に関する共同研究報告

材料地盤研究グループ（新材料）	上席研究員	西崎　到
	総括主任研究員	守屋　進
	主任研究員	冨山禎仁
関西ペイント株式会社	汎用塗料本部防食技術開発部長	浜村寿弘
	同　課長	後藤宏明
株式会社トウペ	技術本部技術部副部長	木村武久
神東塗料株式会社	技術本部第３技術部次長	内藤義巳
	同　副課長	大山博昭
中国塗料株式会社	技術本部防食技術部主管	齋藤　誠
日本ペイント株式会社	汎用塗料事業本部開発部マネージャー	中村宏之
	汎用塗料事業本部鉄構塗料技術部係長	藤城正樹
大日本塗料株式会社	構造物塗料事業部グループ長	山本基弘
	開発部主任	松本剛司

要旨：

鋼構造物塗装におけるＶＯＣ（揮発性有機化合物）排出量の大幅な削減が求められている。このためには、溶剤形塗料を無溶剤形や水性塗料に転換することが必要である。しかしながら、これらの塗料には、防食性や塗装作業条件及び塗装作業性に課題がある。本共同研究は、無溶剤形塗料を河川鋼構造物へ適用するための塗装作業性と塗装機の適用性、及び水性塗料を鋼道路橋へ適用するための防食性と塗装作業性を把握し、これらの塗料を鋼構造物に適用を図ることを目的とする。

キーワード：無溶剤形塗料、水性塗料、VOC削減、鋼構造物、塗装作業性

はじめに

溶剤形塗料に含まれる揮発性有機化合物（VOC）は、大気中に放出されると太陽の紫外線を受けて光化学反応により光化学オキシダントを生成する。また、VOC は光化学オキシダントを生成するだけでなく、大気中で粒子化し、浮遊粒子状物質（SPM）にも変化するなど大気汚染物質の一つである。平成 16 年５月に大気汚染防止法が改正され、法規制と事業者の自主的取組による排出抑制を組み合わせ、効果的な削減を行っていく新たな制度（ベスト・ミックス）が始まった。

土木鋼構造物の代表的な鋼材防食法である塗装の VOC を削減するため、塗料中の VOC 量を削減する方法として、塗料の水性化と無溶剤化を図ることが不可欠である。公募に応じた塗料会社６社と共同研究で鋼構造物塗装の VOC 削減を達成するため、河川管理施設への適用を想定した無溶剤形塗料の検討を行う無溶剤形塗料ワーキング（５社）と、鋼道路橋への適用を想定した水性塗料の検討を行う水性塗料ワーキング（６社）を結成して共同研究を実施した。

無溶剤形塗料 WG では、無溶剤形塗料の塗装作業性を室内試験で把握するとともに、汽水環境での暴露試験を東京都江戸川区江戸川河口で行いその防食性を把握した。また、無溶剤形塗料の塗装機の探索の結果、適用可能性の高い塗装機で施工性試験を室内並びに静岡県富士宮市朝霧の実大桁で実施し、その塗装作業性を評価した。その結果、無溶剤形塗料を河川鋼構造物に容易に適用できる塗装機はないことが明らかとなった。このため、河川鋼構造物塗装の VOC 削減は、当面は低溶剤形塗料を適用することが不可欠で有ることが明らかとなった。これらの検討結果より、低溶剤形塗料を適用した河川鋼構造物塗装の VOC を削減するための塗装仕様を提案し、その VOC の削減効果を明らかにした。

水性塗料 WG では、水性塗料の防食性能を把握するため、我が国の平均的な気候条件である茨城県つくば市と、厳しい腐食環境である亜熱帯海浜環境の沖縄県大宜味村での暴露試験と促進試験を実施した。また、水性塗料の塗装条件を把握するため静岡県富士宮市朝霧で夏期と冬期に実大桁での施工性試験を実施した。また、水性塗料のさらに詳細な塗装条件の把握と塗装作業性を改善するため室内試験を実施した。これらの検討結果より、水性塗料を適用した鋼構造物（鋼道路橋）塗装の VOC を削減するための塗装仕様を提案し、その VOC の削減効果を明らかにした。

平成 22 年 12 月

鋼構造物塗装の VOC（揮発性有機化合物）削減に関する共同研究報告書

目　次

はじめに

第Ⅰ編　共通編

１．共同研究の目的 …… Ⅰ-1

２．共同研究体制および期間 …… Ⅰ-1

２．１　共同研究体制 …… Ⅰ-1

２．２　共同研究の期間 …… Ⅰ-1

第Ⅱ編　無溶剤形塗料 WG 編

１．目的 …… Ⅱ-1

１．１　概要 …… Ⅱ-1

１．２　目標の設定 …… Ⅱ-2

２．施工性試験 …… Ⅱ-3

２．１　無溶剤形エポキシ樹脂塗料の施工性試験 …… Ⅱ-3

２．１．１　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験 …… Ⅱ-3

２．１．２　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のローラー塗装作業性試験 …… Ⅱ-7

２．１．３　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のスプレー塗装作業性試験 …… Ⅱ-10

２．１．４　無溶剤形エポキシ樹脂塗料の冬季スプレー塗装作業性試験 …… Ⅱ-29

２．１．５　まとめ …… Ⅱ-40

２．２　低溶剤形エポキシ樹脂塗料の施工性試験 …… Ⅱ-41

２．２．１　低溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験 …… Ⅱ-41

２．２．２　低溶剤形エポキシ樹脂塗料のローラー塗装作業性試験 …… Ⅱ-46

２．２．３　まとめ …… Ⅱ-52

３．VOC 削減塗装仕様の塗膜性能試験 …… Ⅱ-53

３．１　VOC 削減塗装仕様 …… Ⅱ-53

３．２　塗膜性能試験概要 …… Ⅱ-58

３．３　塗膜性能試験方法 …… Ⅱ-60

３．４　塗膜性能試験結果 …… Ⅱ-62

３．５　まとめ …… Ⅱ-80

４．結論 …… Ⅱ-81

４．１　VOC 削減塗料に関する試験結果 …… Ⅱ-81

４．２　今後の課題 …… Ⅱ-82
５．VOC 削減塗装仕様の提案と適用 …… Ⅱ-83
第Ⅱ編　付属資料 …… Ⅱ-86
資料Ⅱ－１　屋外暴露試験・水中浸せき試験 …… Ⅱ-87
資料Ⅱ－２　付着試験装置 …… Ⅱ-88
資料Ⅱ－３　温度勾配試験装置 …… Ⅱ-89
資料Ⅱ－４　おもり落下試験装置（デュポン式） …… Ⅱ-90
資料Ⅱ－５　摩耗試験装置 …… Ⅱ-91
資料Ⅱ－６　複合サイクル試験装置 …… Ⅱ-92

第Ⅲ編　水性塗料 WG 編
１．共同研究の概要 …… Ⅲ-1
１．１　目的 …… Ⅲ-1
１．２　目標の設定 …… Ⅲ-1
１．３　共同研究内容 …… Ⅲ-1
１．４　提案水性塗装系と VOC 削減率 …… Ⅲ-2
２．新設用塗装系の塗膜性能試験 …… Ⅲ-6
２．１　概要 …… Ⅲ-6
２．２　試験方法 …… Ⅲ-6
２．２．１　屋外暴露試験 …… Ⅲ-6
２．２．２　複合サイクル腐食試験 …… Ⅲ-8
２．２．３　促進耐候性試験 …… Ⅲ-9
２．２．４　耐湿性試験 …… Ⅲ-9
２．２．５　耐湿潤冷熱繰返し性試験 …… Ⅲ-10
２．２．６　塗膜特性試験 …… Ⅲ-10
２．２．７　試験方法、評価方法および評価基準に関する関連規格 …… Ⅲ-11
２．３　試験結果 …… Ⅲ-13
２．３．１　一次試験結果 …… Ⅲ-13
２．３．２　二次試験結果 …… Ⅲ-60
３．塗替用塗装系の塗膜性能試験 …… Ⅲ-76
３．１　概要 …… Ⅲ-76
３．２　試験方法 …… Ⅲ-76
３．３　試験結果 …… Ⅲ-76
３．３．１　一次試験結果 …… Ⅲ-76
３．３．２　二次試験結果 …… Ⅲ-117

４．水性塗料の施工時条件への適用性の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-129
４．１　塗装後短時間の環境変化への適用性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-129
４．２　施工時環境への適用性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-137
４．３　塗替塗装時の素地調整程度への適用性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-155
４．４　まとめ・・・ Ⅲ-165
５．施工性に関する検討・・・ Ⅲ-166
５．１　施工性試験の予備検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-166
５．１．１　ジンクリッチペイント塗膜の空隙率の把握・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-166
５．１．２　水性有機ジンクリッチペイントのミストコート必要性の検討・・・ Ⅲ-168
５．１．３　溶剤形無機ジンクリッチペイントの水性（下塗）塗料のミストコート必要性の検討 ・・・ Ⅲ-170
５．１．４　水性エポキシ樹脂塗料下塗の粘性挙動の把握・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-175
５．２　夏季施工性試験・・・ Ⅲ-179
５．２．１　供試塗装仕様および供試材料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-179
５．２．２　実施方法・・ Ⅲ-180
５．２．３　試験結果・・ Ⅲ-182
５．２．４　追跡調査・・ Ⅲ-190
５．２．５　まとめ・・・ Ⅲ-193
５．３　冬季施工性試験・・・ Ⅲ-195
５．３．１　供試塗装仕様および供試材料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-195
５．３．２　実施方法・・ Ⅲ-196
５．３．３　試験結果・・ Ⅲ-198
５．３．４　追跡調査・・ Ⅲ-207
５．３．５　まとめ・・・ Ⅲ-210
５．４　水性塗料の施工性に関する課題の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-213
５．４．１　水性無機ジンクリッチペイントの施工性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-213
５．４．２　水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-224
５．４．３　水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-228
５．４．４　水性ふっ素樹脂塗料上塗の防汚性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-232
６．結論・・ Ⅲ-234
６．１　VOC 削減率 ・・・ Ⅲ-234
６．２　水性塗料の塗膜性能・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-234
６．２．１　新設用塗装系の塗膜性能・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-234
６．２．２　塗替用塗装系の塗膜性能・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-235
６．３　水性塗料の施工性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Ⅲ-235
６．４　今後の課題・・・ Ⅲ-236

７．道路橋塗装の VOC 削減暫定塗装仕様・・・

第Ⅰ編　共通編

１．共同研究の目的

鋼構造物塗装における VOC（揮発性有機化合物）排出量の削減が求められている。工場内塗装においては、工程や設備の改善による VOC 排出抑制策が期待できる。しかしその一方で、現場塗装ではこれらの対策は困難であり、塗料に含まれる VOC 量自体を大幅に削減する必要がある。このためには、現行の溶剤形塗料から無溶剤形塗料や水性塗料への転換を図らなければならない。

そこで本共同研究では、無溶剤形塗料を河川鋼構造物へ適用するための塗装作業性と塗装機の適用性、及び水性塗料を鋼道路橋へ適用するための防食性と塗装作業性、塗装条件を把握し、これらの塗料の土木鋼構造物への適用を図ることを目的とした。

２．共同研究体制および期間

２．１　共同研究体制

本共同研究は、独立行政法人土木研究所と、公募に応じた塗料製造会社６社（関西ペイント㈱、㈱トウペ、神東塗料㈱、中国塗料㈱、日本ペイント㈱、大日本塗料㈱）によって実施された。研究を効率的に進めるために、河川鋼構造物への適用を想定した無溶剤形塗料の検討を行う無溶剤形塗料ワーキンググループ（５社）と、鋼道路橋への適用を想定した水性塗料の検討を行う水性塗料ワーキンググループ（６社）を結成し、実務を推進した。各ワーキンググループ参加組織は表 2.1 の通りである。

表 2.1　「鋼構造物塗装の VOC（揮発性有機化合物）削減に関する共同研究」参加組織

ワーキンググループ	参加組織
無溶剤形塗料ワーキンググループ	・独立行政法人土木研究所 ・関西ペイント株式会社 ・神東塗料株式会社 ・中国塗料株式会社 ・日本ペイント株式会社 ・大日本塗料株式会社
水性塗料ワーキンググループ	・独立行政法人土木研究所 ・関西ペイント株式会社 ・株式会社トウペ ・神東塗料株式会社 ・中国塗料株式会社 ・日本ペイント株式会社 ・大日本塗料株式会社

２．２　共同研究の期間

共同研究の期間は、平成１８年４月から平成２３年３月までの５年間とした。

第Ⅱ編　無溶剤形塗料 WG 編

無溶剤形塗料ワーキンググループ

	守屋　　進	土木研究所
	冨山　禎仁	土木研究所
主査	藤城　正樹	日本ペイント（株）
委員	浜村　寿弘	関西ペイント（株）
	後藤　宏明	関西ペイント（株）
	内藤　義巳	神東塗料（株）
	大山　博昭	神東塗料（株）
	斉藤　　誠	中国塗料（株）
	山本　基弘	大日本塗料（株）
	松本　剛司	大日本塗料（株）

１．目的

１．１　概要

本研究は、河川構造物の塗替塗装、その中でも現場塗装における VOC 削減を目指して実施した。これは新設構造物の塗装や、塗替塗装でも部材を工場へ持ち込んで塗装する場合には、塗料だけでなく塗装環境や工場設備の改善で VOC を削減できるのに対し、現場での塗替塗装の VOC 削減は、塗料による改善しかないのが現状であるためである。

したがって、現在河川構造物の塗替塗装で使用されている溶剤形塗料を、無溶剤形タイプへの置き換えることが、VOC 削減の有効な方法といえる。

本研究では、土木研究所資料第 3684 号「河川・ダム施設防食ガイドライン（案）塗料・塗装編」に記載されている塗替塗装系のうち、表－1.1.1 に示す４塗装系を現行塗装系とし、そこで使用されている塗料を無溶剤形タイプに置き換えることを目的とした。

表－1.1.1　現行塗装系

塗装系 No.	b-1B （水中部塗装系①）	b-1 （水中部塗装系②）	c -1B （大気部塗装系①）	c -1 （大気部塗装系②）
１層目	有機ジンクリッチペイント （300ｇ/㎡　75μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	有機ジンクリッチペイント （300ｇ/㎡　75μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）
２層目	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）
３層目	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	ふっ素樹脂塗料用中塗 （180ｇ/㎡ 40μｍ）
４層目	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	ふっ素樹脂塗料用中塗 （180ｇ/㎡ 40μｍ）	ふっ素樹脂塗料上塗 （140ｇ/㎡ 30μｍ）
５層目	エポキシ樹脂塗料 （240ｇ/㎡ 60μｍ）	―	ふっ素樹脂塗料上塗 （140ｇ/㎡ 30μｍ）	―

しかしながら、現在の塗料技術や施工技術では、無溶剤形タイプへの置き換えの可能性がある溶剤形塗料はエポキシ樹脂塗料のみであるのが現状である。また、VOC 削減のためには、有機ジンクリッチペイントも含めて無溶剤形エポキシ樹脂塗料に置き換えができれば大幅な効果が見込めるが、有機ジンクリッチペイントをエポキシ樹脂塗料に置き換えて防食性を維持することが難しいことは各種研究によって実証済みであることから、本研究でも、有機ジンクリッチペイントの無溶剤形エポキシ樹脂塗料への置き換えについては研究対象外とした。また、エポキシ樹脂塗料が耐候性に劣ることは公知の事実であるので、ふっ素樹脂塗料の無溶剤形エポキシ樹脂塗料への置き換えについても研究対象外とした。

以上のことから、本研究では、表－1.1.1 のエポキシ樹脂塗料の無溶剤形エポキシ樹脂塗料への置き換えについて施工性と塗膜性能から検討し、VOC 削減塗装仕様と塗料規格案の策定を目指した。

無溶剤形エポキシ樹塗料は、低分子量の液状エポキシ樹脂を配合した塗料液と、低分子量アミンを配合した硬化剤の硬化反応によって塗膜を形成する塗料である。

固形の樹脂を有機溶剤に溶解して製造される溶剤形エポキシ樹脂塗料と違い、無溶剤形エポキシ樹脂塗料は液状の樹脂であることから、見かけの乾燥が遅く、特に低温ではその傾向が顕著であることが特徴である。一方で低分子量の樹脂同士の反応であることから反応熱が大きく、これによって常温以上の硬化反応では急激に反応が進むことで粘度が上昇するため、塗料液と硬化剤を混合してからの塗装可能時間（可使時間）が短い。さらに、液状エポキシ樹脂は粘度の温度依存性が大きく、低温での粘度上昇が大きいことも特徴としてあげられる。

このように無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、溶剤形エポキシ樹脂塗料と比べ、施工面・取り扱い面で管理すべき点が多いことが特徴である。

したがって本研究ではまず、無溶剤形エポキシ樹脂塗料の施工性について、河川構造物の現場塗替塗装が可能であるかを検討した。次に表－1.1.1 のエポキシ樹脂塗料を無溶剤形エポキシ樹脂塗料に置き換えた塗装系の塗膜性能について検討することとした。

なお、無溶剤形エポキシ樹脂塗料には、1 回で 500μm～１mm 前後の塗膜厚に塗装可能な超厚膜タイプのものがあるが、これらは現行のエポキシ樹脂塗料と比較し大幅なコスト増になるだけでなく、河川構造物の狭あい部の部材に塗装された場合、設備の稼動に支障をきたす可能性があるため、本研究では超厚膜形タイプの無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、研究対象外とした。

１．２　目標の設定

以上のことを踏まえ、本研究は表－1.2.1 に示す基本目標の達成を目指して実施した。

表－1.2.1　基本目標

項目	試験内容	基本目標
VOC 量	塗料中の溶剤の検出	塗装系中のエポキシ樹脂塗料の総 VOC 量を 90%削減する
施工性	低温および常温における施工性	塗装作業の支障がなく、目標の塗膜性能を有した塗膜が得られること
塗膜性能	防食性、耐水性 耐衝撃性、耐磨耗性	溶剤形塗装系と同等であること

２．施工性試験

２．１　無溶剤形エポキシ樹脂塗料の施工性試験

２．１．１　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験

（１）試験概要

無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性、可使時間および乾燥性について、現状性能の把握を目的に試験した。

（２）試験方法

表－2.1.1 に示す方法で、無溶剤形エポキシ樹脂塗料を塗装した。

表－2.1.1　試験方法

被塗物素材・大きさ	ボンデライト鋼板（450ｍｍ×900ｍｍ）
試験塗料	無溶剤形エポキシ樹脂塗料　標準用Ａ 無溶剤形エポキシ樹脂塗料　標準用Ｂ 溶剤形エポキシ樹脂塗料　　標準用（比較） 無溶剤形エポキシ樹脂塗料　低温用Ｄ 無溶剤形エポキシ樹脂塗料　低温用Ｅ 溶剤形エポキシ樹脂塗料　　低温用（比較）
混合量	２kg
塗装場所	独立行政法人土木研究所つくば中央研究所内実験室
使用はけ	筋違はけ（サイズ：15 号　毛丈：52㎜）
塗装温度	20℃（標準用Ａ）、30℃（標準用Ａ、標準用Ｂ） ５℃（低温用Ｄ、低温用Ｅ）、10℃（低温用Ｅ）
塗装時間	混合直後、混合 30 分後、 混合１時間後、混合２時間後
目標乾燥膜厚	100μｍ

（３）評価項目および評価方法

１）はけ塗装作業性

はけ塗装作業に支障がないか評価した。

２）可使時間

塗料を混合してから所定時間ごとにはけ塗装と塗料の温度と粘度の測定を行い、はけ塗装が可能であり、著しい温度上昇および粘度上昇がなく、仕上がり外観が混合直後と大差がない時間を評価した。また、可使時間経過後も、粘度と温度の測定を行った。

なお本研究では、可使時間の目標を２時間とした。

３）仕上がり外観

塗膜にたれ、割れ、しわ等がないか、目視で評価した。

４）乾燥性

可使時間試験で塗装した試験板を利用して、JIS K 5600-1-1 4.3.5 に準拠し、指触乾燥・半硬化乾燥・硬化乾燥時間を評価した。

（4）試験結果

1）はけ塗装作業性

標準用はA、B共に、20℃、30℃の塗装で、はけ塗装作業性に支障はなく良好だった。低温用は、Dは5℃では非常に粘度が大きく、重くて塗ることはできなかった。Eも5℃の塗装では、目標乾燥膜厚の100μm塗装が難しかった。

2）可使時間

表－2.1.2 に標準用、表－2.1.3 に低温用の各塗料の各温度での可使時間、塗料温度と塗料粘度の測定結果を示す。

標準用Aの可使時間は、20℃では目標の2時間を満たせたが、30℃ではA、B共に、混合して1時間以内に塗料温度が45℃以上になり、取り扱いが困難になった。

低温用Dは、5℃では混合1時間で重くて塗ることが出来なくなった。10℃では混合1時間半で塗料温度が48℃になり、取り扱いが困難になった。

表－2.1.2　標準用の試験結果

塗装・乾燥温度	20℃		30℃	
試験塗料	溶剤形（比較）	無溶剤形A	無溶剤形A	無溶剤形B
混合直後の粘度	9.9dPa･s	37dPa･s	32dPa･s	22dPa･s
可使時間	8時間	2時間	30分	30分以内
可使時間時の温度	—	29℃	36℃	49℃
可使時間時の粘度	17dPa･s	56dPa･s	34dPa･s	31dPa･s
可使時間から30分後の温度	—	30℃ （混合2.5時間後）	45℃ （混合1時間後）	—
可使時間から30分後の粘度	—	69dPa･s	44dPa･s	—

—：測定せず

表－2.1.3　低温用の試験結果

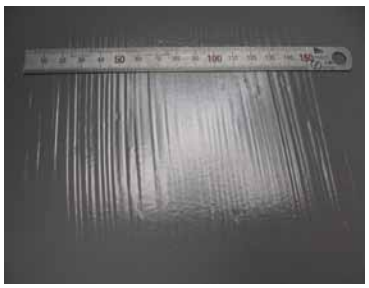
塗装・乾燥温度	5℃			10℃
試験塗料	溶剤形（比較）	無溶剤形D	無溶剤形E	無溶剤形E
混合直後の粘度	20dPa･s	376dPa･s	58dPa･s	38dPa･s
可使時間	5時間	塗装不可	30分	1時間
可使時間時の温度	—		9℃	29℃
可使時間時の粘度	38dPa･s		48dPa･s	34dPa･s
可使時間から30分後の温度	—		12℃	48℃
可使時間から30分後の粘度	—		52dPa･s	42dPa･s

—：測定せず

3）仕上がり外観

標準用では、A，B共にはけ目が目立つ仕上がり外観だった。写真－2.1.1 に、はけ目

の状態を示す。低温用は、D、E共にたれが多く発生した。塗料粘度が大きく塗装が困難なため、塗付量が多くなったためと思われる。写真－2.1.2にたれの状態を示す。



写真－2.1.1　はけ目



写真－2.1.2　たれ

4）乾燥性

表－2.1.4に標準用、表－2.1.5に低温用の乾燥性結果を示す。

標準用は、A、B共に、20℃で24時間以内に硬化乾燥に達していたが、低温用は5℃での硬化乾燥がDで120時間、Eは168時間後でも硬化乾燥に達しておらず、溶剤形との顕著な差が見られた。10℃においても、Eは168時間後でも硬化乾燥に達していなかった。

表－2.1.4　標準用の乾燥性結果

温度	試験塗料	乾燥状態	1時間	5時間	24時間
20℃	溶剤形（比較）	指触	○	－	－
		半硬化	○	－	－
		硬化	×	○	－
	無溶剤形A	指触	×	×	○
		半硬化	－	－	○
		硬化	－	－	○
30℃	無溶剤形A	指触	×	－	○
		半硬化	－	－	○
		硬化	－	－	○
	無溶剤形B	指触	×	－	○
		半硬化	－	－	○
		硬化	－	－	○

表－2.1.5　低温用の乾燥性結果

温度	試験塗料	乾燥状態	5時間	8時間	24時間	48時間	12時間	14時間	16時間
5℃	溶剤形（比較）	指触	○	－	－	－	－	－	－
		半硬化	○	－	－	－	－	－	－
		硬化	×	○	－	－	－	－	－
	無溶剤形Ｄ	指触	×	×	○	－	－	－	－
		半硬化	－	－	×	○	－	－	－
		硬化	－	－	×	×	○	－	－
	無溶剤形Ｅ	指触	×	×	○	－	－	－	－
		半硬化	－	－	○	－	－	－	－
		硬化	－	－	×	×	×	×	×
10℃	無溶剤形Ｅ	指触	×	×	○	－	－	－	－
		半硬化	－	－	○	－	－	－	－
		硬化	－	－	×	×	×	×	×

（5）まとめ

無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、低温では塗料粘度が大きくなり、はけ塗装が困難であること、また低温での乾燥が著しく遅いことが確認できた。

標準用は、はけ塗装の可能性が見出せたので、さらに混合量、塗装面積をスケールアップして試験することとした。

２．１．２　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のローラー塗装作業性試験

（１）試験概要

無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性と可使時間、乾燥性について試験した結果、低温（5℃、10℃）での塗装作業性・乾燥性については、現状では溶剤形塗料からの置き換えは難しいことがわかったが、常温（20℃）の塗装作業性・乾燥性は、溶剤形塗料からの置き換えの可能性を見出した。

そこで、常温での塗装作業性について、被塗物と塗装環境、使用量をより現場に近い状態で試験することとした。また、塗装方法も大面積の施工性に優れるローラー塗装とした。

（２）試験方法

表－2.1.6 に示す方法で無溶剤形エポキシ樹脂塗料を塗装した。また、写真－2.1.3 に被塗物のH形鋼示す。

表－2.1.6　試験方法

被塗物・大きさ	H形鋼（長さ 800㎜ 、幅 300㎜、高さ 540㎜）
塗装面積	約 0.776 ㎡
素地調整	動力工具にてさび、浮塗膜を除去
試験塗料	無溶剤形エポキシ樹脂塗料　標準用Ａ 無溶剤形エポキシ樹脂塗料　標準用Ｂ
混合量	８kg
塗装場所	沖縄建設材料耐久性試験施設（沖縄県大宜味村）
使用ローラー	中毛ローラー（毛丈 12㎜、長さ６inch）
塗装日	2007 年 5 月 15 日～16 日
塗装時の気温	26℃
塗装時間	混合直後、混合 1 時間後（粘度測定のみ） 混合 2 時間後
目標乾燥膜厚	100μm



写真－2.1.3　被塗物のH形鋼

（３）評価項目および評価方法

１）可使時間

塗料混合直度と混合２時間後にはけ塗装と塗料の温度と粘度の測定を行い、著しい温度上昇および粘度上昇の有無とローラー塗装に支障がないか評価した。

２）乾燥性

JIS K 5600-1-1 4.3.5 に準拠し、指触乾燥・半硬化乾燥・硬化乾燥時間を評価した。

（４）試験結果

１）可使時間

表－2.1.7 に混合後の塗料温度と粘度、ローラー塗装作業性の試験結果を示す。

また、写真－2.1.4 にローラー塗装作業の様子、写真－2.1.5 に、混合後の塗料の保管状態を示す。

Ａ、Ｂ共に、混合後２時間で固化し塗装不可能となった。混合１時間後でも、粘度そのものは高粘度ではないにも関わらず、塗料が被塗物面およびローラーにまとわりつくような感じで、塗装作業は非常に困難だった。

表－2.1.7　塗料粘度・温度測定、ローラー塗装作業性の試験結果

試験塗料	評価項目	混合直後	混合１時間後	混合２時間後
無溶剤形Ａ	塗料温度	29℃	43℃	70℃
	塗料粘度	37dPa･s	45dPa･s	固化
	ローラー塗装作業性	良好	ローラー重いのびない	塗装不可
無溶剤形Ｂ	温度	30℃	45℃	70℃
	粘度	40dPa･s	26dPa･s	固化
	ローラー塗装作業性	良好	ローラーの転がりが悪く、塗料が広がらない	塗装不可



写真－2.1.4　ローラー塗装作業の様子



写真－2.1.5　混合塗料の保管状態

２）乾燥性

表－2.1.8 に乾燥性結果を示す。

Ａ、Ｂ共に、塗装 20 時間後に硬化乾燥に達していた。

表－2.1.8　乾燥性結果

試験塗料	乾燥状態	2 時間	5 時間	20 時間
無溶剤形 A	指触	×	○	○
	半硬化	－	×	○
	硬化	－	－	○
無溶剤形 B	指触	×	×	○
	半硬化	－	－	○
	硬化	－	－	○

（５）まとめ

混合料を８kg にスケールアップして試験したが、２時間で固化し目標の可使時間の２時間を満たすことは出来なかった。

以上の結果および「2.1.1 無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験」の結果とあわせて、現状では無溶剤形エポキシ樹脂塗料を大面積の河川構造物にはけ・ローラーで塗装するのは困難であると判断した。

２．１．３　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のスプレー塗装作業性試験

（１）試験概要

無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ･ローラー塗装は、可使時間が短く、また作業性の悪さから大型構造物への適用が難しい。そこで、スプレー塗装での施工性、塗膜状態について評価した。

（２）試験方法

１）塗装機の選定

通常のエアレス塗装機で無溶剤形エポキシ樹脂塗料を塗装すると、施工管理（可使時間等）の煩雑さからトラブルになる可能性が高いため、電子制御混合式の塗装機で試験した。写真－2.1.6 に塗装機の全景を示す。電子制御混合方式とは、塗装機本体から所定量の塗料液と硬化剤を別々に吐出し、塗装機外の混合ミキサー（スタティックミキサー）で混合するタイプのものである。







スタティック（混合）ミキサー

写真－2.1.6　試験塗装機

２）試験塗料

無溶剤形エポキシ樹脂塗料（混合比 88：12（質量比)、81：19（容量比））を用いた。

３）塗装場所

屋内塗装ブースで試験した。

（３）評価項目

１）塗料の吐出量の検証

塗料液と硬化剤が､塗装機の設定通りに吐出しているかを評価した｡吐出量の設定は、

①塗料液と硬化剤を同容量

②製品の容量混合比（塗料液：硬化剤＝81：19）

の２通りとした。写真－2.1.7、写真－2.1.8 に吐出の様子と混合比設定の状況を示す。



写真－2.1.7　塗料の吐出



写真－2.1.8　混合比設定

２）塗料混合状態の確認

以下の６種類の混合塗料と、アプリケーター塗装（すきま 400μｍと 600μｍ）した塗膜の、それぞれの硬化を評価した。①～③については、繰り返し数（ｎ数）を２回とした。④～⑥は、塗料液と硬化剤を電子天秤で秤量し、十分に攪拌・混合した。

① スタティックミキサーでの混合直後の塗料

② スタティックミキサーからのホース先５ｍでの混合塗料

③ スタティックミキサーからのホース先 10ｍでの混合塗料

④ 正常混合比の混合塗料

⑤ 硬化剤を 3/4 に減らした混合塗料

⑥ 硬化剤を 5/4 に増やした混合塗料

なお、塗膜の硬化の評価は、以下の方法で評価した。

ａ：JIS K 5600 1.1 4.3.5 に準拠し評価した。

ｂ：メチルエチルケトン（MEK）による溶剤ラビング(*)により、塗膜の硬化状態を評価した。

(*)試験板の上に乗せたガーゼに MEK を 0.5cc 滴下し、このガーゼを金属製蓋で１分間覆ったのち、ガーゼで軽く 10 往復擦り、ガーゼに付いた塗料の量を評価した。評価基準は以下の通りとした。

○・・ガーゼに塗料が全くつかない。あるいは、つくがわずかである。
△・・ガーゼに塗料がつくが、塗膜全体を溶解しているわけではない。
×・・ガーゼに塗料がつき、塗膜全体を溶解している。
××・・ガーゼに塗料が大量につき、塗膜全体を溶解している。

3）スプレー塗装作業性

①微粒化条件の選定

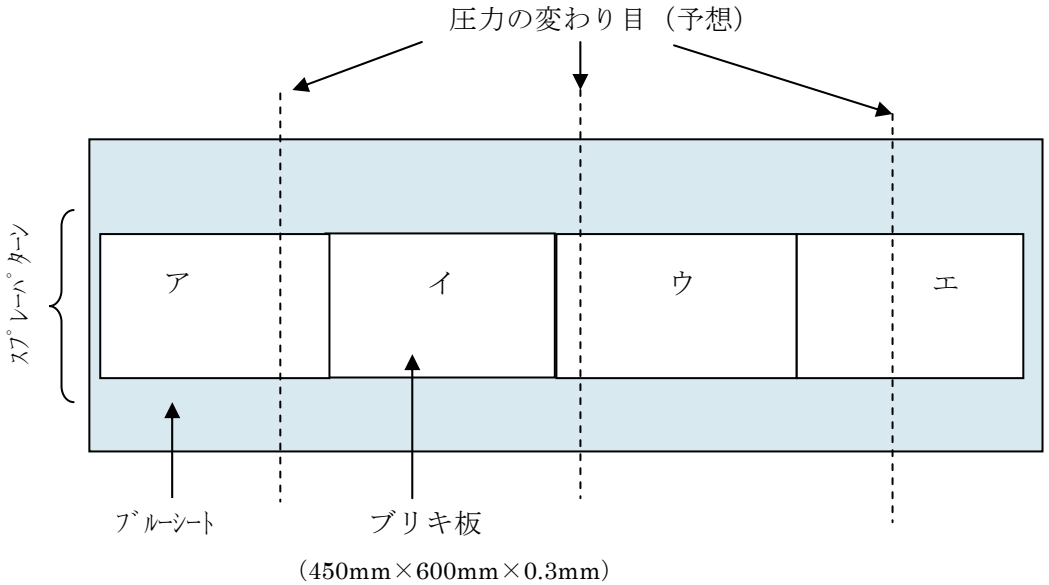
図－2.1.1のように配置したブリキ板（450mm×600mm×0.3mm）に塗装し、良好な微粒化状態になる吐出圧力と塗料温度の選定を行った。なお、塗装はラップ部をつくらない１パス塗装を基本とし、必要に応じて２パス塗装も実施した。また、塗装時に目視で吐出圧力の変わり目を観察し、その場所をマーキングするようにした。写真－2.1.9に塗装作業の様子を示す。

その他の塗装条件を以下に示す。

気温　　：23℃（13 時 20 分測定）
湿度　　：43%　（13 時 20 分測定）
目標乾燥膜厚：300μm
チップ No.　：521
ホース長さ　：10m



写真－2.1.9　塗装状況



図－2.1.1　スプレー塗装図

②塗装中断後の作業性

①で選定した条件で塗装し、18 分間塗装を中断した後、同じ方法で塗装した。さらに

32 分中断した後、再び塗装し、それぞれの塗装時の塗装作業性を評価した。
③厚膜塗装性
試験板を垂直に立てかけた状態で塗装し、膜厚に傾斜をつけて塗装し、厚膜塗装性を評価した。

４）塗膜状態
３）で塗装した塗膜について、塗装翌日に以下の評価を行った。
①塗膜外観・・スプレーテール（スプレーパターンの両端に太い線が生じる現象）の有無、かすれ等を目視で評価した。
②塗布量、乾燥膜厚測定・・・ブリキ板への塗布量を質量測定で、電磁式膜厚測定器で乾燥膜厚を測定した。乾燥膜厚は、試験板１枚につき９点測定し、その平均値を算出した。また、９点以外にも、目視で塗膜状態に特徴のある部分についても乾燥膜厚を測定した。
③ 硬化状態・・・２）と同じ方法で、硬化状態を評価した。
④ 光沢度測定・・・目視で鏡面光沢度に差が見られる試験板について、光沢計（BYK ガードナー製マイクロトリグロス）を用いて、60° 光沢度および 20° 光沢度を測定した。

（３）試験結果
１）塗料の吐出量の検証結果
写真－2.1.10 に塗料液と硬化剤が同容量吐出するように設定して吐出させた場合の結果を示す。その結果、設定通り同容量吐出していることがわかった。また、写真－2.1.11に塗料液と硬化剤を、製品の容量比混合比率である塗料液：硬化剤＝81：19に設定して吐出させた場合の結果を示す。塗料液と硬化剤の質量を電子天秤で測定したところ、87.2：12.8 であり、ほぼ混合比（88：12(質量比)）通り吐出していることがわかった。
写真－2.1.12 に質量測定の様子を示す。


写真－2.1.10 同容量吐出


写真－2.1.11 混合比容量吐出


写真－2.1.12 質量測定

２）．塗料混合液および塗膜の硬化結果
表－2.1.9 に、６種類の混合塗料の硬化結果を示す。また、表－2.1.10 に混合塗料をアプリケーター塗装（すきま 400μｍと 600μｍ）した塗膜の硬化結果、図－2.1.2 に

溶剤ラビング結果を示す。

表－2.1.9 の通り、③スタティックミキサーから 10mのホースから採取した混合塗料と、④塗料液と硬化剤を正常比率で十分に混合した混合塗料は、塗装翌日には、写真－2.1.13に示す堅く硬化した固形物の状態だった。

表－2.1.9　混合塗料の硬化結果（表中の○は、堅く固化した状態）

塗料 No.	塗料種	n 数	硬化状態
①	スタティックミキサーでの混合直後の塗料	ｎ１	×（一部硬化していない）
		ｎ2	○
②	スタティックミキサー ＋ ホース 5mの混合塗料	ｎ1	××（硬化せず。流動性あり）
		ｎ2	○-（強く押すとわずかにへこむ）
③	スタティックミキサー ＋ ホース 10mの混合塗料	ｎ1	○
		ｎ2	○
④	正常混合液	-	○
⑤	硬化剤 3/4	-	×（押すとへこむ）
⑥	硬化剤 4/3	-	○



写真－2.1.13　固形物

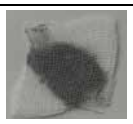
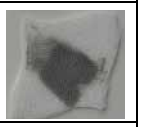
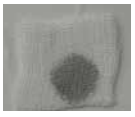
一方で、①の 1 回目（ｎ１）と⑤の硬化剤が 3/4 の混合塗料では、塗装翌日は固形物にはなっているものの、押すとへこんでしまい堅く固化している状態ではなかった。また、②の 1 回目（ｎ１）の混合塗料では、翌日は硬化せず液体の状態だった。

表－2.1.10 の通り、塗膜の硬化は②の 1 回目（ｎ１）の塗料の塗膜と、⑤の硬化剤が 3/4 の塗料の塗膜が、塗装翌日に硬化乾燥に達していなかったが、その他の塗膜は硬化乾燥に達していた。

図－2.1.2 溶剤ラビング試験においても、②の 1 回目（ｎ１）の混合塗料と⑤硬化剤が 3/4 の塗料の塗膜は、MEK ラビングによって溶解しガーゼに塗料がつく状態だった。その他の塗膜は、ほとんどガーゼに塗料はつかず、硬化がすすんでいることが確認できた。

表－2.1.10　塗膜の硬化結果

塗料 No.	塗料種	n 数	400 μ m	600 μ m
①	スタティックミキサーでの混合直後の塗料	n 1	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○
		n 2	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○
②	スタティックミキサー＋ ホース 5mの混合塗料	n 1	半硬化乾燥 ×	半硬化乾燥 ×
		n 2	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○
③	スタティックミキサー＋ ホース 10mの混合塗料	n 1	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○
		n 2	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○
④	正常混合液	－	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○
⑤	硬化剤 3/4	－	硬化乾燥　×	硬化乾燥　×
⑥	硬化剤 4/3	－	硬化乾燥　○	硬化乾燥　○

塗料 No.	塗料種	n 数	400 μ m	600 μ m
①	スタティックミキサーでの 混合直後の塗料	n 1		
			○	○
		n 2		
			○	○
②	スタティックミキサー ＋ ホース 5mの混合塗料	n 1		
			××	××
		n 2		
			○	○
③	スタティックミキサー ＋ ホース 10mの混合塗料	n 1		
			○	○
		n 2		
			○	○
④	正常混合液	-		
			○	○
⑤	硬化剤 3/4	-		
			×	×
⑥	硬化剤 4/3	-		
			○	○

図－2.1.2　溶剤ラビング試験結果

以上の結果より、スタティックミキサーから採取した塗料の一部およびホース５ｍから採取した塗料は、塗料液の硬化剤の混合が不十分であったか、あるいは硬化剤量が少なかったことが考えられる。

３）スプレー塗装作業性結果

①微粒化条件の選定結果

表－2.1.11 に、塗装時の圧力、塗料温度を変えて塗装した場合の塗装作業性結果を示す。なお、表中の１次圧は塗装機からの塗料の吐出圧力、２次圧は、スプレーガン付近での塗料の吐出圧力である。

表－2.1.11　塗装作業性結果

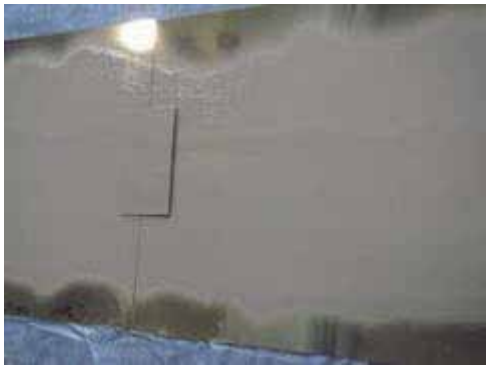
塗装 No.	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ (Ⅲの２パス)	Ⅴ
１次圧	180kg/㎡	200kg/㎡	240kg/㎡	240kg/㎡	150kg/㎡
２次圧	70kg/㎡	100kg/㎡	130kg/㎡	130kg/㎡	70kg/㎡
塗料液温度	23℃	23℃	23℃	23℃	42℃ (混合液温度 31℃)
塗膜外観	スプレーテール 目立つ	スプレーテール やや目立つ	スプレーテール ほぼなし	スプレーテール なし	スプレーテール ほぼなし

塗装 No.Ⅰでは塗料の微粒化が不十分だったため、スプレーテールが目立つ塗膜外観となった。No.Ⅰ→No.Ⅱ→No.Ⅲと圧力を上げることで微粒化が良好になり、No.Ⅲではスプレーテールはほぼなくなった。

No.Ⅳでは、No.Ⅲと同じ条件で２パス塗装すると、スプレーテールがない良好な塗膜外観が得られた。

No.Ⅲは１次圧が 240kg/㎡と、かなり高圧力での塗装だったので、No.Ⅴでは塗料を加温して粘度を下げ、No.Ⅰと同じ圧力で塗装可能か試験したところ、スプレーテールがほとんどない、No.Ⅲと同等の良好な塗膜外観が得られた。

写真―2.1.14 にスプレーテールの状態を示す。



写真－2.1.14　スプレーテール

②塗装中断後の作業性結果

①で見出した塗装 No.Ⅲの塗装条件で塗装し、18 分中断したのち塗装した。さらにその後 32 分中断した後に塗装した場合の塗装作業性結果を表－2.1.12 に示す。

No.Ⅲの条件で塗装したのち、18 分間中断して塗装した No.Ⅵでは、No.Ⅲと同等の塗膜外観が得られたが、さらに 32 分間中断して塗装した No.Ⅶでは、パターン幅の小さい塗膜外観になった。また、No.Ⅶは、１次圧が No.Ⅲ、No.Ⅵと同じ 240kg/㎡でありながら、２次圧は No.Ⅲ、No.Ⅵより低い 100kg/㎡に低下していた。これは、塗装中断中に塗料粘度が大きくなり、２次圧力が低下したものと思われる。

表－2.1.12　塗装中断後の作業性評価

塗装 No.	Ⅲ	Ⅵ	Ⅶ
中断時間	-	18 分	32 分
１次圧	240kg/㎡	240kg/㎡	240kg/㎡
２次圧	130kg/㎡	130kg/㎡	100kg/㎡
塗料液温度	23℃	23℃	23℃
塗膜外観	スプレーテール ほぼなし	スプレーテール ほぼなし	パターン幅狭い

③厚膜塗装性結果

写真－2.1.15 に厚膜塗装性結果を示す。

乾燥膜厚 500μｍまでたれること
なく塗装できることがわかった。



写真－2.1.15　厚膜塗装試験結果

４）塗膜状態結果

①塗膜外観

表－2.1.13、写真－2.1.17～写真－2.1.20 に塗膜外観結果を示す。

No.Ⅰ～No.Ⅲの結果より、吐出圧力を高くすることで、微粒化のよい、スプレーテールが少ない塗膜外観が得られることがわかった。また、１パス塗装（No.Ⅲ）よりも２パス塗装（No.Ⅳ）の方が塗膜外観は良くなることがわかった。さらに No.Ⅰと No.Ⅴの結果から、塗料を加温することで、同じ圧力で塗装するよりも塗膜外観が向上することがわかった。

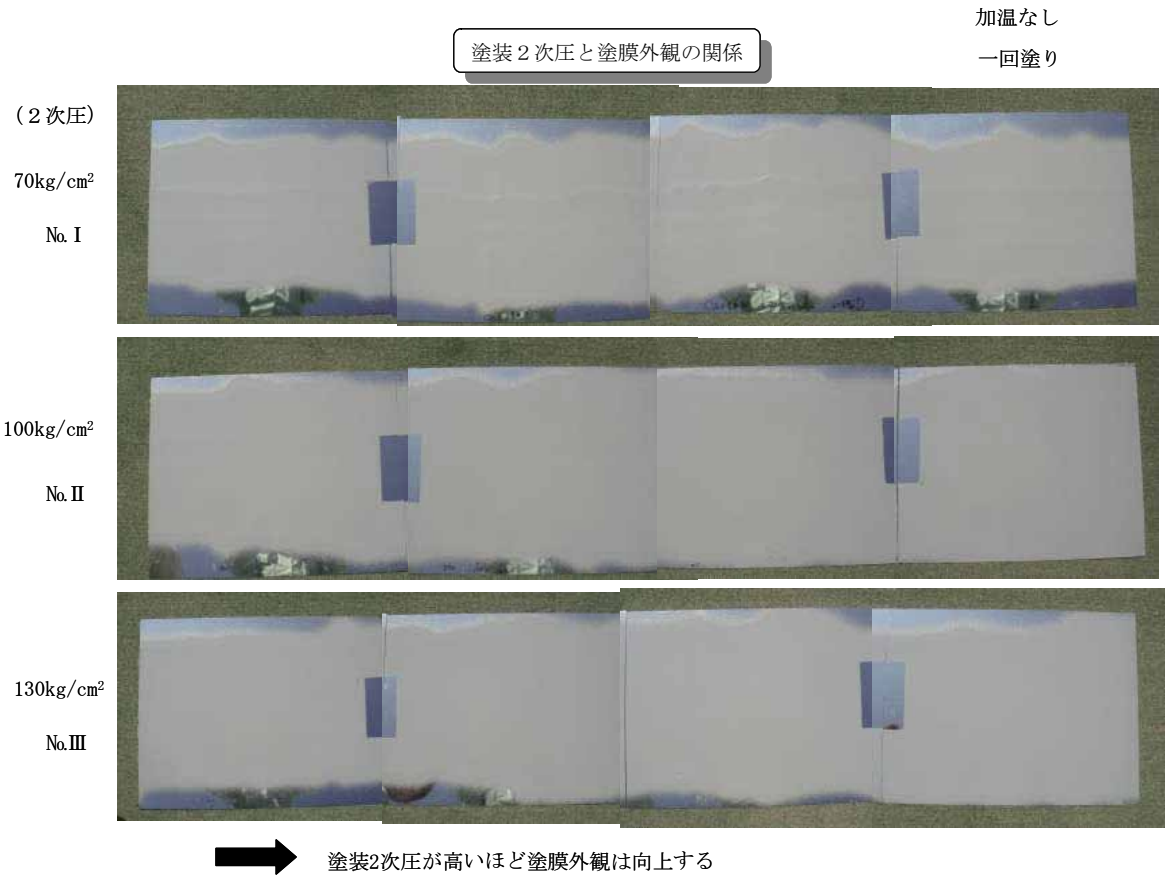
一方で、スプレー中断時間が長く（Ⅲ→18 分→Ⅵ→32 分→Ⅶ）なると、パターン幅が小さくなり、スプレーテールがでる塗膜外観になることがわかった。これは、時間の経過によって塗料の粘度が上昇し、塗装機からの吐出圧力の損失によって微粒化不良になり、パターン幅が小さいスプレーテールがでる塗膜外観になったものと思われる。また、多くの試験板で、膜厚が小さくかすれたような塗膜が見られた。写真－2.1.16 にかすれの写真を示す。



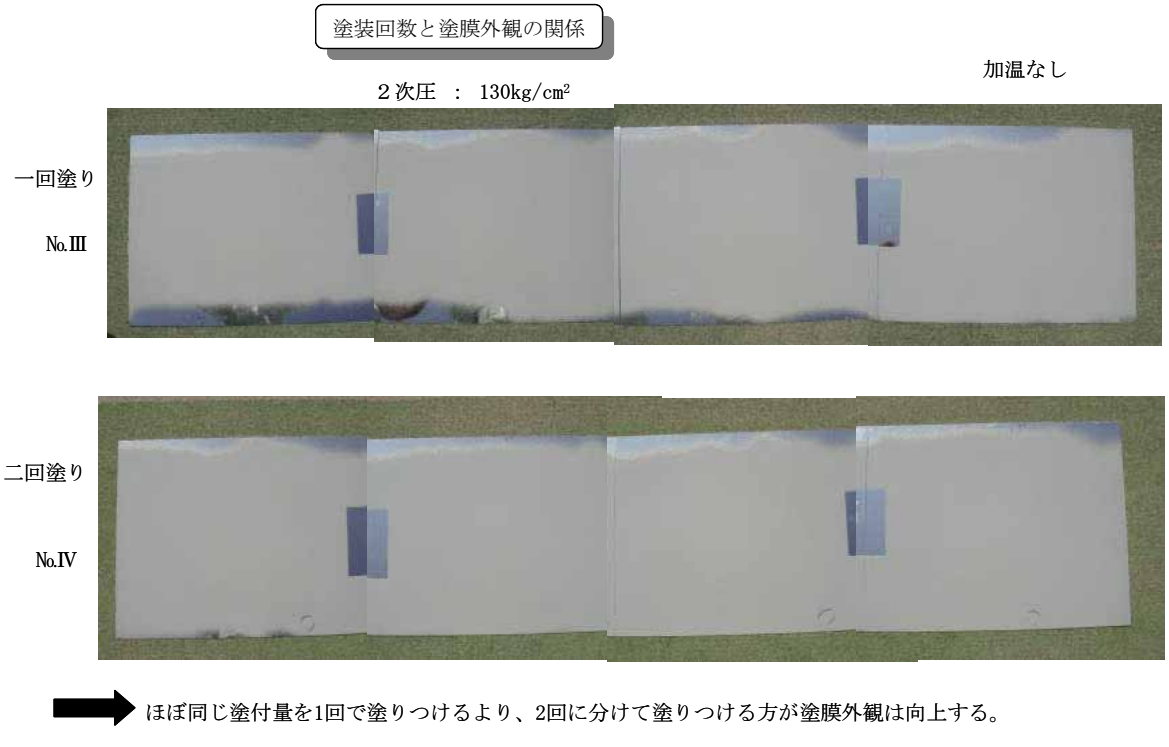
写真－2.1.16　かすれ

表－2.1.13　塗膜外観察結果

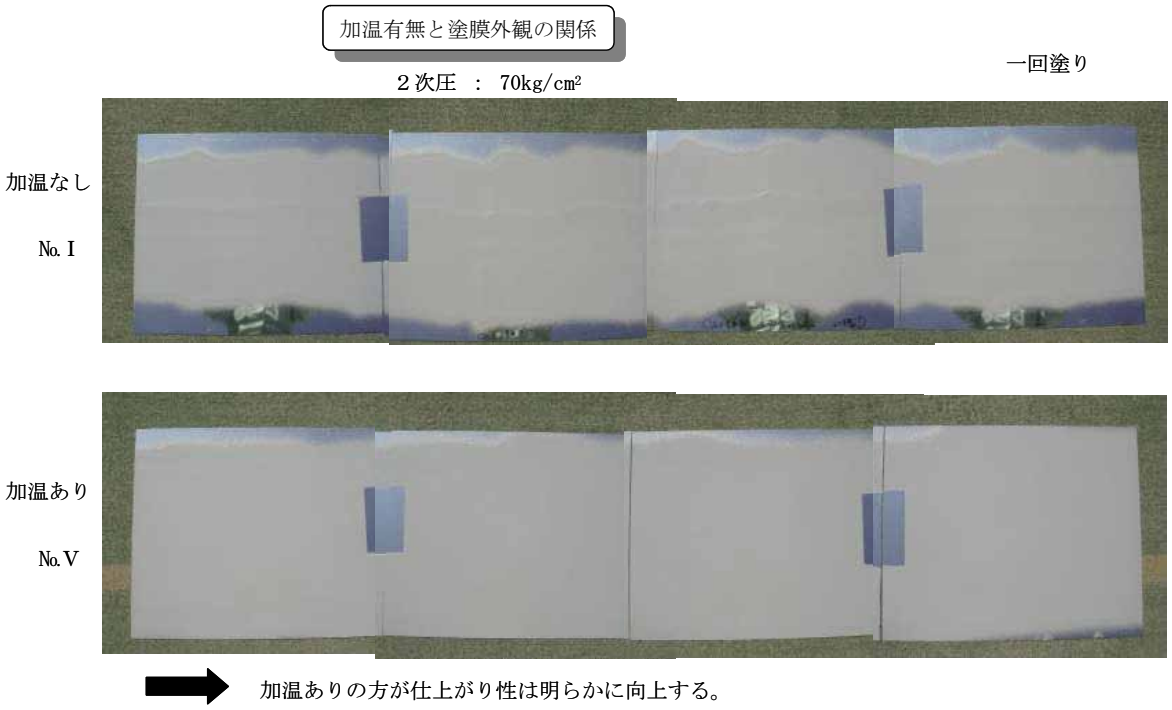
塗装 No.	測定場所	塗膜外観	パターン幅（ｃｍ）	
			最小	最大
Ⅰ	ア	スプレーテール目立つ　かすれあり	31	36
	イ	スプレーテール目立つ　かすれあり	35	36
	ウ	スプレーテール目立つ　かすれあり	33	40
	エ	スプレーテール目立つ　かすれあり	30	36
Ⅱ	ア	スプレーテールあり	37	38
	イ	スプレーテールあり	36	41
	ウ	スプレーテールあり	39	42
	エ	スプレーテールあり	40	44
Ⅲ	ア	スプレーテール少しあり	36	39
	イ	スプレーテール少しあり	35	41
	ウ	スプレーテール少しあり	37	43
	エ	スプレーテール少しあり	39	44
Ⅳ	ア	スプレーテールほぼなし	41	41
	イ	スプレーテールほぼなし	42	44
	ウ	スプレーテールほぼなし	41	44
	エ	スプレーテールほぼなし	41	42
Ⅴ	ア	スプレーテール少しあり	38	40
	イ	スプレーテール少しあり	41	40
	ウ	スプレーテール少しあり	40	43
	エ	スプレーテール少しあり	42	40
Ⅵ	ア	スプレーテール少しあり	33	35
	イ	スプレーテール少しあり	35	38
	ウ	スプレーテール少しあり	37	39
	エ	スプレーテール少しあり	38	43
Ⅶ	ア	スプレーテールあり	27	26
	イ	スプレーテールあり	24	27
	ウ	スプレーテールあり	29	32
	エ	スプレーテールあり	27	31



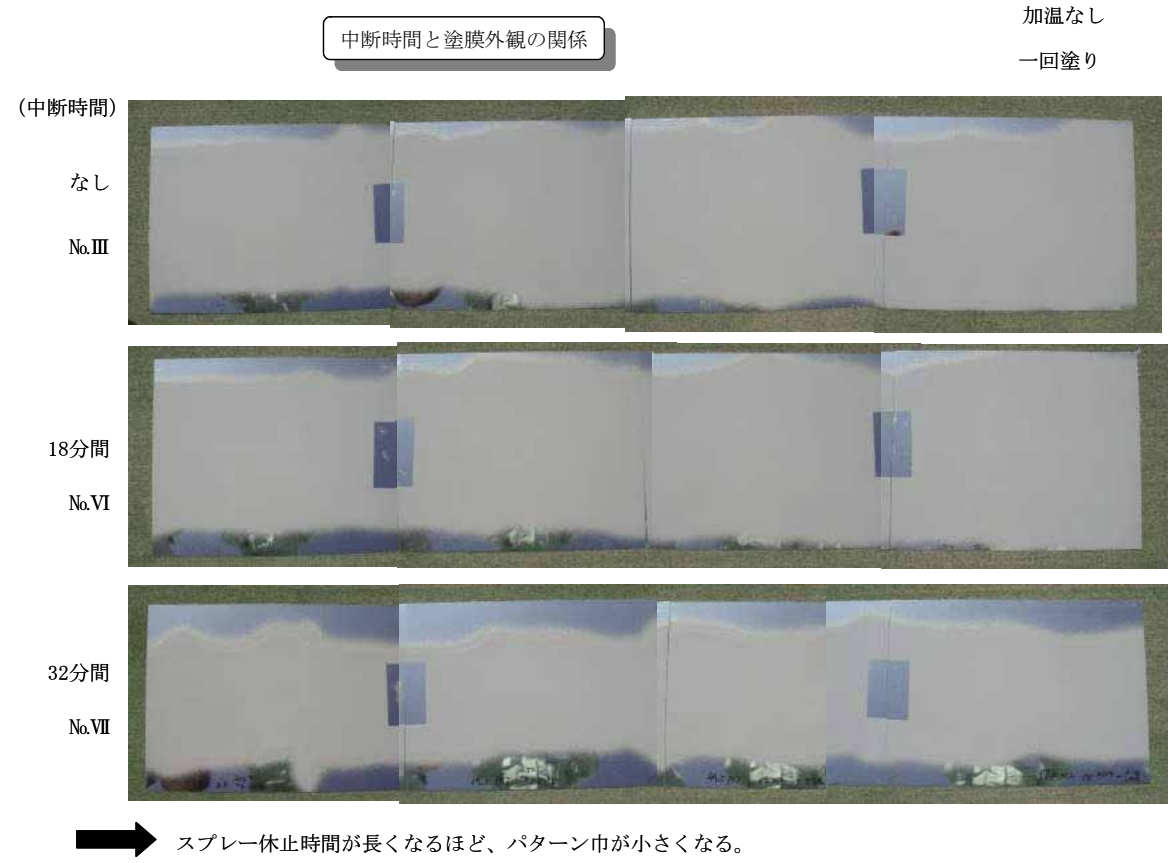
写真－2.1.17　塗膜外観結果（２次圧と塗膜外観の関係）



写真－2.1.18　塗膜外観結果（塗装回数と塗膜外観の関係）



写真－2.1.19　塗膜外観結果（加温の有無と塗膜外観の関係）



写真－2.1.20　塗膜外観結果（中断時間と塗膜外観の関係）

②塗り付け量・膜厚

表－2.1.14 に、各試験板の塗り付け量と乾燥膜厚測定結果を示す。

No. Ⅰ～No. Ⅳでは、塗り付け量は 80ｇ～90ｇ、乾燥膜厚が 250μｍ前後で、一部、塗り付け量70ｇ、乾燥膜厚 170μｍ前後ものもあった。

加温した塗料を塗装した No. Ⅴは、塗り付け量が 60ｇ～70ｇとやや少なく、乾燥膜厚は 180μｍ～200μｍだった。

塗装を中断したのち再塗装した No. Ⅵは、塗り付け量 70ｇ前後、乾燥膜厚は 200μｍだったが、No. Ⅶでは、塗り付け量が 70ｇ～90ｇに対し乾燥膜厚は 250～300μｍとやや厚めだった。スプレーパターン幅が小さい分、塗り付け量に対する膜厚が、他の試験板より大きかったことが考えられる。

表－2.1.14(1)　塗り付け量と乾燥膜厚測定結果

塗装 No.	測定箇所	塗り付け量（ｇ/450㎜×600㎜）	乾燥膜厚（μｍ）		
			平均	最小	最大
Ⅰ	ア	85.1	246	171	317
	イ	90.1	261	197	347
	ウ	86.6	292	209	356
	エ	72.6	208	77	305
	テール部	－	579	407	636
	かすれ部	－	93	73	105
Ⅱ	ア	95.3	270	182	316
	イ	87.7	233	165	351
	ウ	94.2	201	119	319
	エ	79.2	175	118	265
	テール部	－	332	237	464
	かすれ部	－	133	111	149
	厚膜部	－	308	－	－
Ⅲ	ア	92.7	257	176	350
	イ	85	218	195	241
	ウ	94.2	207	132	356
	エ	79.2	162	111	211
	かすれ部	－	123	117	129
	厚膜部	－	334	257	430
	凹凸部	－	118	101	147

表－2.1.14(2)　塗り付け量と乾燥膜厚測定結果

塗装 No.	測定箇所	塗り付け量（g/450mm×600mm）	乾燥膜厚（μm）		
			平均	最小	最大
Ⅳ	ア	104.7	291	255	337
	イ	82.8	250	190	291
	ウ	79.9	223	165	303
	エ	66	170	130	227
	かすれ部	-	113	68	169
	テール部	-	153	134	177
Ⅴ	ア	53	212	123	202
	イ	58.8	202	104	160
	ウ	68.9	183	109	192
	エ	75.6	181	116	281
	凹凸部	-	107	94	136
Ⅵ	ア	66.3	212	156	263
	イ	75.5	202	163	296
	ウ	65.6	183	117	271
	エ	64.3	181	126	269
	凹凸部	-	107	89	123
Ⅶ	ア	99.3	323	275	378
	イ	81.1	323	151	467
	ウ	78.3	287	213	373
	エ	60.3	259	133	279
	凹凸部	-	180	90	411

③硬化状態

全ての試験板は、塗装翌日に硬化乾燥に達していた。

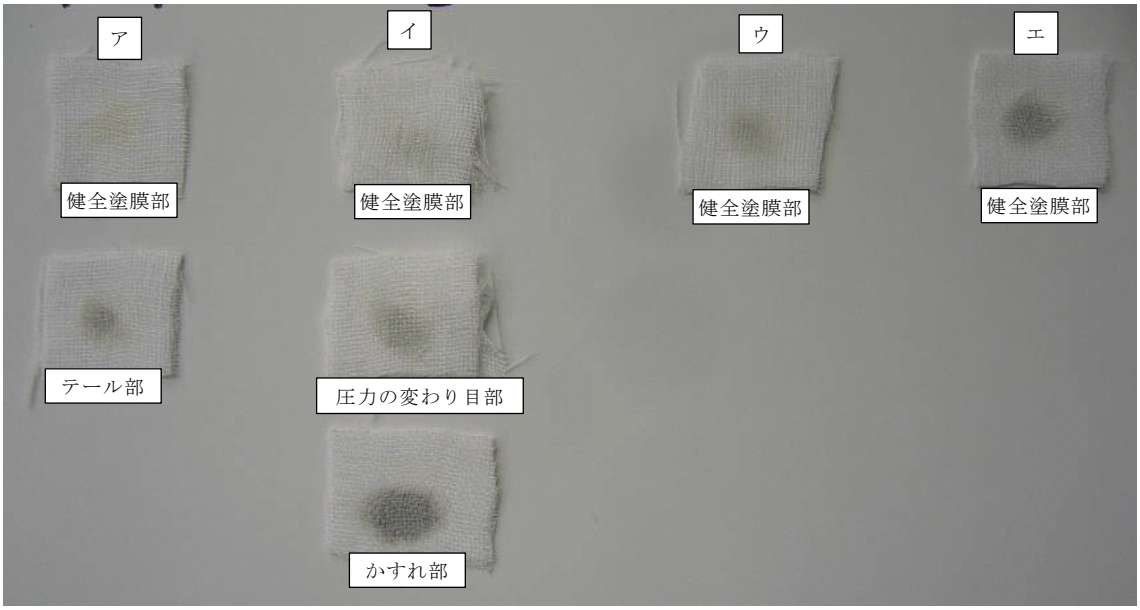
表－2.1.15、写真－2.1.21～写真－2.1.27 に溶剤ラビング結果を示す。

No.Ⅴの通常塗膜部やかすれ部で塗料がついたが、塗膜全体を溶解してはいなかった。

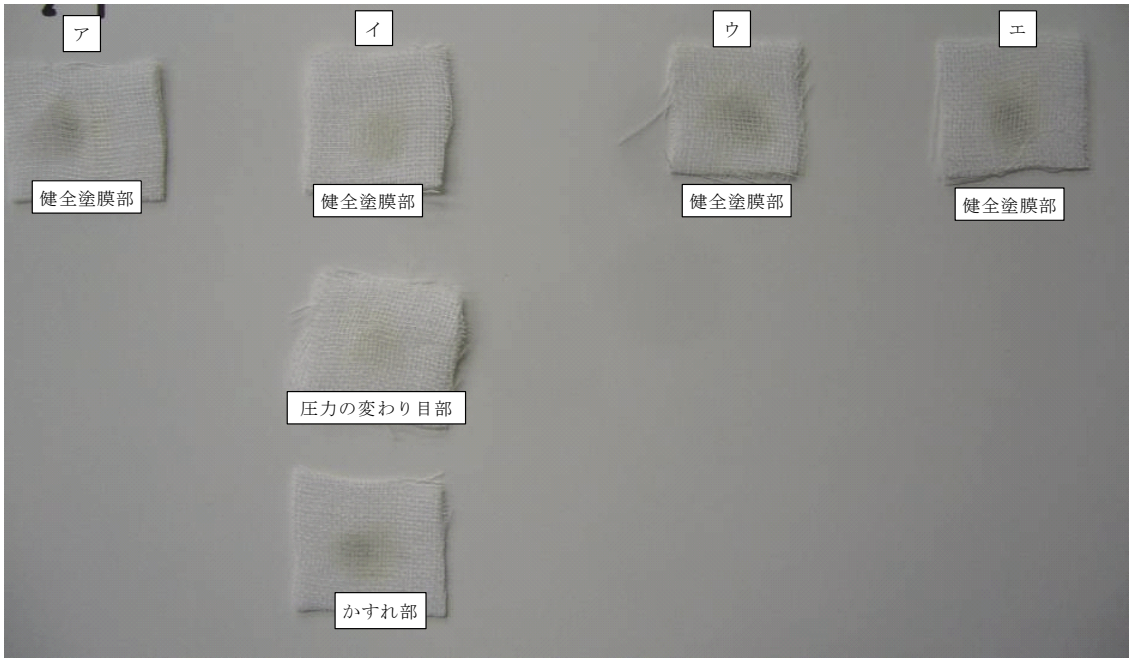
他の試験板では塗料はほとんどつかず、硬化がすすんでいることが確認できた。

表－2.1.15　溶剤ラビング結果

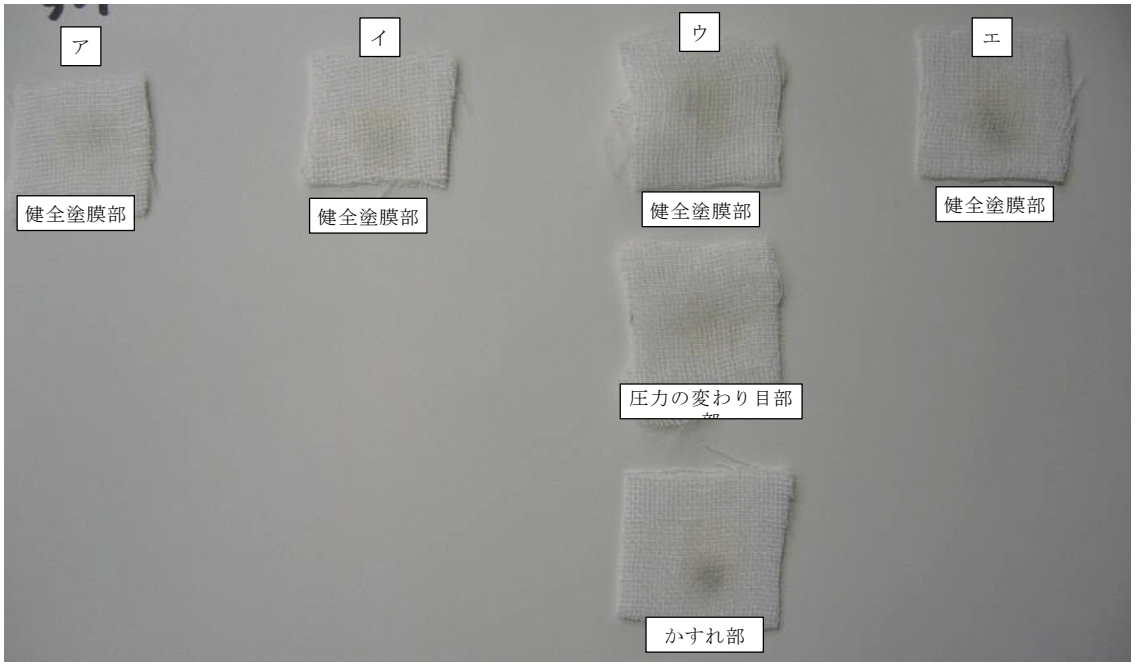
塗装 No.	測定箇所	健全な塗膜部	テール部	圧力の変わり目部	かすれ部
Ⅰ	ア	○	○	－	－
	イ	○	－	○	△
	ウ	○	－	－	－
	エ	△	－	－	－
Ⅱ	ア	○	－	－	－
	イ	○	－	○	○
	ウ	○	－	－	－
	エ	○	－	－	－
Ⅲ	ア	○	－	－	－
	イ	○	－	－	－
	ウ	○	－	○	○
	エ	○	－	－	－
Ⅳ	ア	○	－	－	－
	イ	○	－	－	△
	ウ	○	－	－	－
	エ	○	－	－	－
Ⅴ	ア	△	－	－	△
	イ	△	－	－	△
	ウ	△	－	－	△
	エ	△	－	－	－
Ⅵ	ア	○	－	－	－
	イ	○	－	－	－
	ウ	○	－	－	－
	エ	○	－	－	－
Ⅶ	ア	○	－	－	－
	イ	○	－	－	－
	ウ	○	－	－	－
	エ	－	○	○	－



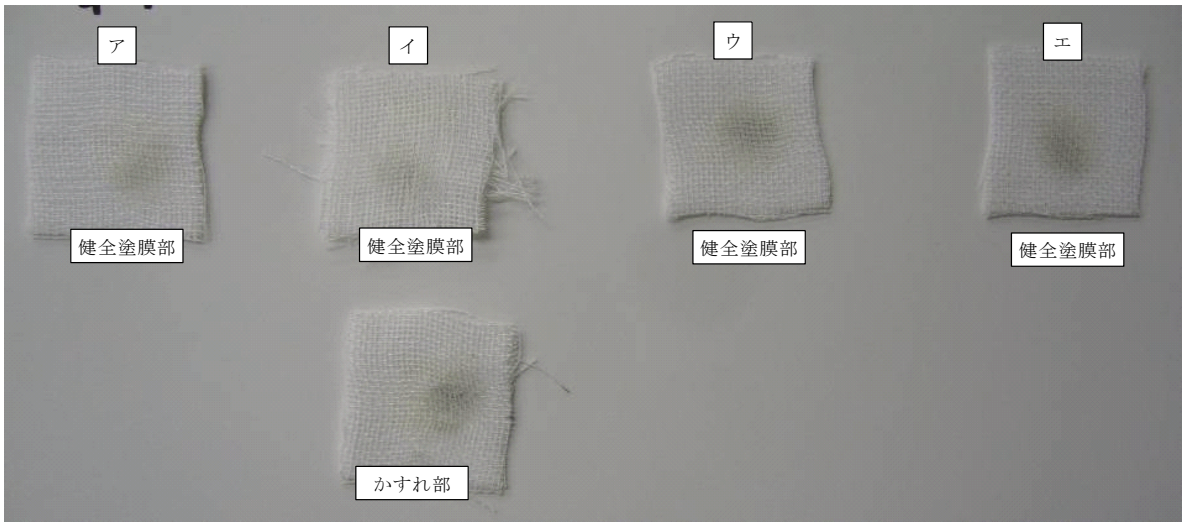
写真－2.1.21　溶剤ラビング試験結果（No. Ⅰ）



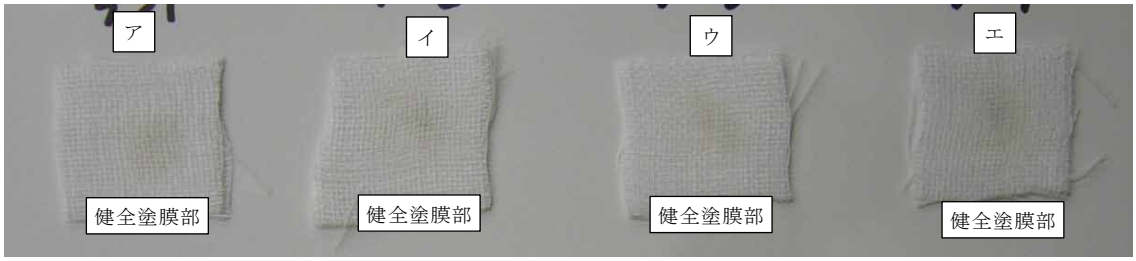
写真－2.1.22　溶剤ラビング試験結果（No. Ⅱ）



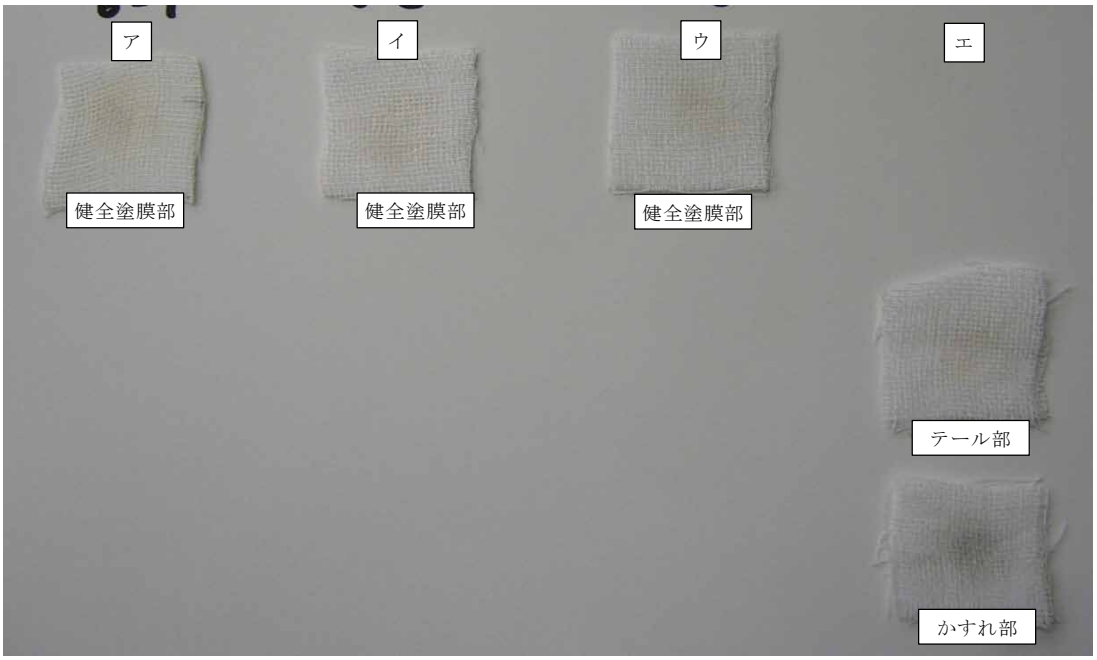
写真－2.1.23　溶剤ラビング試験結果（No.Ⅲ）



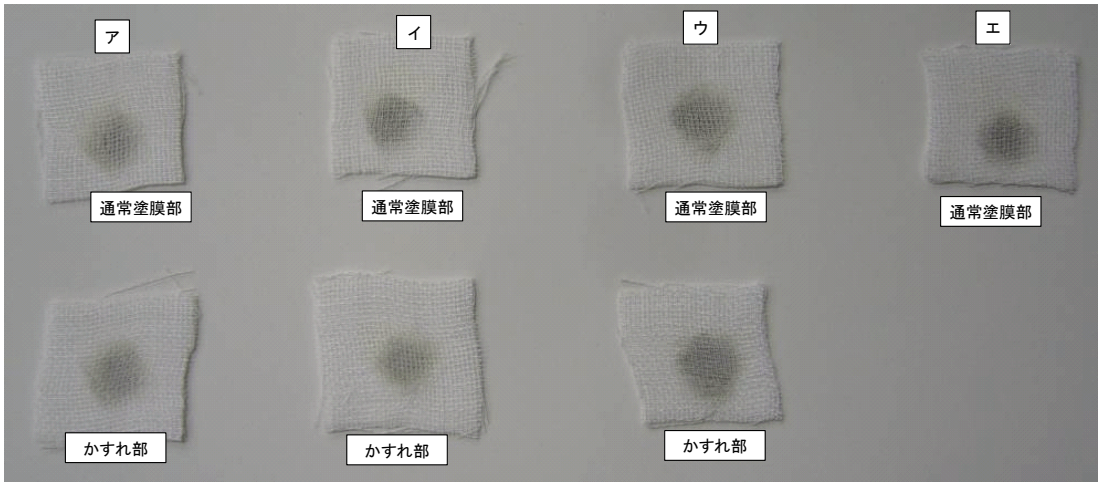
写真－2.1.24　溶剤ラビング試験結果（No.Ⅳ）



写真－2.1.54　溶剤ラビング試験結果（No.Ⅴ）



写真－2.1.26　溶剤ラビング試験結果（No.Ⅵ）



写真－2.1.27　溶剤ラビング試験結果（No.Ⅶ）

④光沢度測定

表－2.1.16 に光沢度測定結果を示す。

20° 光沢度が 5～21、60° 光沢度が 33～64 と、ややばらつきの大きい結果だった。

表－2.1.16　光沢度測定結果

測定箇所	光沢度	
	20°	60°
Ⅰ-イ	5	33
Ⅱ-イ	10	49
Ⅲ-ウ	10	47
Ⅳ-イ	10	48
Ⅴ-イ	9	45
Ⅵ-イ	15	57
Ⅶ-イ	21	64

（4）まとめ

以上の結果より、電子制御混合式の塗装機による塗装は、塗膜外観・膜厚保持においては、吐出圧力や塗料温度、スプレーパスの回数を調節することによって、良好な塗膜を得られることがわかった。

一方で、塗料液と硬化剤の混合およびそれによって得られる塗膜の硬化については、課題を残す結果となった。これは、塗料液と硬化剤の混合比率や、それぞれの粘度の影響もあると思われる。すなわち、混合比率が偏った方が、また、塗料液と硬化剤の粘度の差が大きいほど、混合不良や混合比率のずれによる硬化不良も起こりやすいと予想される。構造物塗装においては、これらを十分に検討した上で使用することが必要と考える。また塗装中断による塗膜外観の変化や混合ホースの取替えなども、十分に管理する必要がある。

無溶剤形エポキシ樹脂塗料のスプレー施工について可能性を見出したので、塗料粘度が高くなり、はけ・ローラーでの取り扱いが困難な施工環境である低温環境下での施工性試験を実施した。

２．１．４　無溶剤形エポキシ樹脂塗料の冬季スプレー塗装作業性試験

（１）試験概要

無溶剤形エポキシ樹脂塗料のスプレー塗装の冬季施工性について、塗装環境、被塗物をより現場に近い条件で評価した

（２）試験方法

１）設備内容

以下の各設備を用いた。写真－2.1.28 に設備設置の様子と概要を示す。

塗装機　　：電子制御式混合塗装機

発電機　　：三相 200Ｖ

エアコンプレッサー：吐出空気量 2.5m^3/min



a）塗装機運搬



b）発電機の運搬



c）各装置の配置



d）発電機概要



e）コンプレッサー概要

写真－2.1.28　各装置の設置・概要

２）試験塗料

塗装日の２日前から屋外放置した無溶剤形エポキシ樹脂塗料を用いた。試験塗料の混合比は、容量比で 81（塗料液）：19（硬化剤）、質量比で 88（同）：12（同）である。

３）試験日：2010 年２月 20 日

４）塗装場所：独立行政法人土木研究所朝霧環境材料観測施設

５）塗装対象物

写真－2.1.29 に示す模擬桁内面の旧塗膜をブラスト処理により除去し、有機ジンクリッチペイントを塗装したものを塗装対象とした。塗装面積は約 27 ㎡だった。

６）塗装条件

スタティックミクサーからスプレーガンまで 10ｍのホースを用いた。その他の塗装条件は、スプレー塗装作業時に設定することとした。



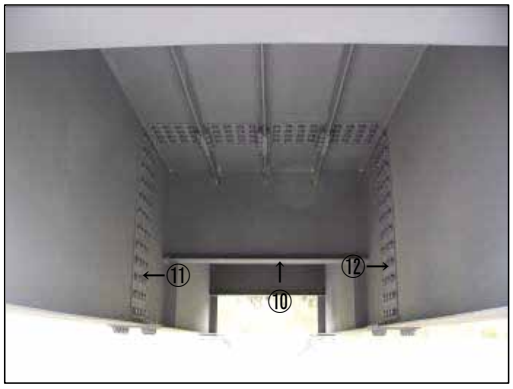

a）外観　　b）塗装面

写真－2.1.29　塗装対象物

7）目標乾燥膜厚

目標乾燥膜厚は 300μm とした。写真－2.1.30 に示す位置に、膜厚測定用のブリキ板を塗装面に貼り付けて、測定点とした。







写真－2.1.30　上：膜厚測定点　下：膜厚測定用ブリキ板貼り付け状態

（3）評価項目

1）スプレー塗装作業性

塗装の加温から混合調整、塗装機の洗浄まで、スプレー塗装作業に支障がないか評価した。

2）混合液の硬化状態の確認

混合塗料の硬化状態を評価した。比較として、塗料液と硬化剤を電子天秤で計量して混合したものを用いた。

3）塗膜の硬化性

以下の２つの方法で塗膜の硬化性を評価した。比較として、塗料液と硬化剤を

電子天秤で計量して混合し作製した塗膜を用いた。

① JIS K 5600-1-1 4.3.5 に準拠し、指触乾燥・半硬化乾燥・硬化乾燥時間を評価した。

②MEK ラビングによる硬化を評価した。

4）仕上がり外観

塗膜の仕上がり外観を目視で評価した。

5）乾燥膜厚測定

電磁式膜厚計を用いて、塗膜厚測定を行った。

（4）試験結果

1）スプレー塗装作業性結果

それぞれの工程とその結果について表－2.1.17 と写真－2.1.31 に示す。

表－2.1.17(1)　各工程と作業結果

工　　程	作業結果	処　　置
粘度・温度測定 (8:30 a.m.)	・塗料液 650dPa･s（0℃） ・混合液 150dPa･s（0℃）	－
塗料液・硬化剤の注入	へらですくいながら注入	－
塗料液・硬化剤の加温	・高粘度のため、塗装機の加温部（設定温度４５℃）へ塗料液を循環できず ・また、塗料液・硬化剤の粘度差大きく塗装機停止	・対策１：配管除去 ・対策２：塗料液・硬化剤の事前加温
	・対策１・対策２の実施により循環成功 ・塗料液温度：４１℃	－
混合比率の設定	・4.3 ：１（容量比）で設定 ・採取量：　塗料液 637ｇ 　　硬化剤 93ｇ ・質量比：　87.3：12.7	・4.4：１で再設定 ・採取量：　塗料液 664ｇ 　　硬化剤 89ｇ ・質量比：　88.2：11.8
混合開始 混合液の採取１回目（ｎ2） (10:50 a.m.)	・混合液の粘度：　65dPa･s ・混合液の温度：　36℃	－
試し吹き・吐出圧力の設定	・吐出圧力：　120kg/㎡ ・チップ No.：　319 ・スプレー状態：　良好	－

表－2.1.17(2)　各工程と作業結果

工程	作業結果	処置
塗装開始 （11:15 a.m.）	問題なくスプレー作業進むも、ウェット３００μｍにスプレーパス３～４回必要	－
（11:30 a.m.頃）	一時、塗装中断	①塗料液・硬化剤追加 ②加温のため循環。ホース内にシンナー注入 ③加温終了、ホース内のシンナー入り混合液を捨て吹き
混合液の採取２回目（ｎ2） （10:46 a.m.）	・混合液の粘度： 47dPa･s ・混合液の温度： 33℃	－
試し吹き・吐出圧力の設定	・吐出圧力： 170kg/㎡ ・チップNo.： 327 ・スプレー状態： 良好	－
塗装再開	・スプレー作業性良好 ・塗料液・硬化剤追加	①～③を実施
塗装終了（12:10 a.m.） 混合液の採取３回目（ｎ2） 洗浄開始	・混合液の粘度： 44dPa･s ・混合液の温度： 37℃	－
洗浄終了（14:00 a.m.）	－	－

塗装日まで屋外で保管していた塗料は著しく粘度が上昇しており、その状態では塗装機での加温循環が不可能だった。また、塗料液と硬化剤の粘度差が大きいことで塗装機が停止した。そこで、塗料液タンクから加温部への配管を短くし、同時に塗料液と硬化剤を車中で予め加温した後にタンクに注入したところ、循環が可能になった。

混合比の設定の後、スプレー塗装を開始し順調にすすんだ。

その後、一時中断した後、塗料液、硬化剤を追加し、加温循環してから塗装を再開した。

なお、加温循環中はホース内で混合液が硬化しないようにシンナーを注入した。したがって、塗装再開時はホース内の混合液を含んだシンナーの捨て吹きを行った。

塗装再開後は順調に塗装をすすめることができた。



a）塗料液の状態（固い）



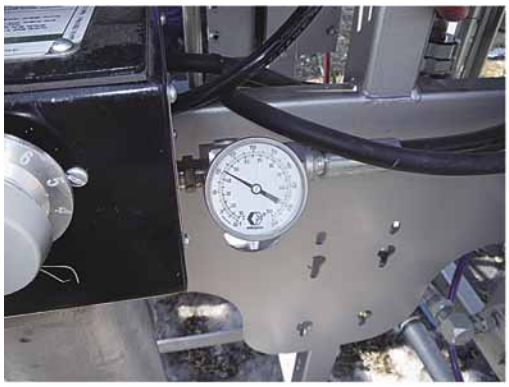
b）塗料液のタンクへの注入



c）タンクと塗装機を結ぶ配管



d）同左（加温循環のため除去）



e）加温部の温度設定（４５℃）



f）タンクの保温

写真－2.1.31(1)　塗装工程の様子



g）混合比調整時の吐出塗料液・硬化剤



h）試し吹き



i）塗装中



j）塗装中



k）洗浄シンナー配管



l）捨て吹き

写真－2.1.31(2)　塗装工程の様子

２）混合液の硬化状態の確認結果

表－2.1.18 に混合液の硬化状態の確認結果を示す。

表－2.1.18　混合液の硬化状態

塗料種類	計量混合（比較）	１回目採取		２回目採取		３回目採取	
		n1	n2	n1	n2	n1	n2
１日後	柔らかい	特に柔らかい	固化	柔らかい	固化	柔らかい	柔らかい
２日後	流動性なし 押すとへこむ	柔らかい	－	流動性なし 押すとへこむ	－	流動性なし 押すとへこむ	流動性なし 押すとへこむ
３日後	固形 強く押すと へこむ	柔らかい	－	固形 強く押すと へこむ	－	固形 強く押すと へこむ	固形 強く押すと へこむ
４日後	固化	柔らかい	－	固化	－	固化	固化
16 日後	－	柔らかい	－	－	－	－	－

混合比設定を終え、ホース内に通して最初に採取した混合液（1 回目採取のｎ１）が１６日経過後も固化せず柔らかい状態だった。他の混合液は、電子天秤で計量混合したものと同じく４日経過後に全て固化した。

写真－2.1.32 に、柔らかい状態の混合液と、固化したものを示す。



a）１回目採取ｎ１サンプル（柔かい）



b）同左ｎ２サンプル（固化）

写真－2.1.32　混合液の外観

３）塗膜の硬化性結果

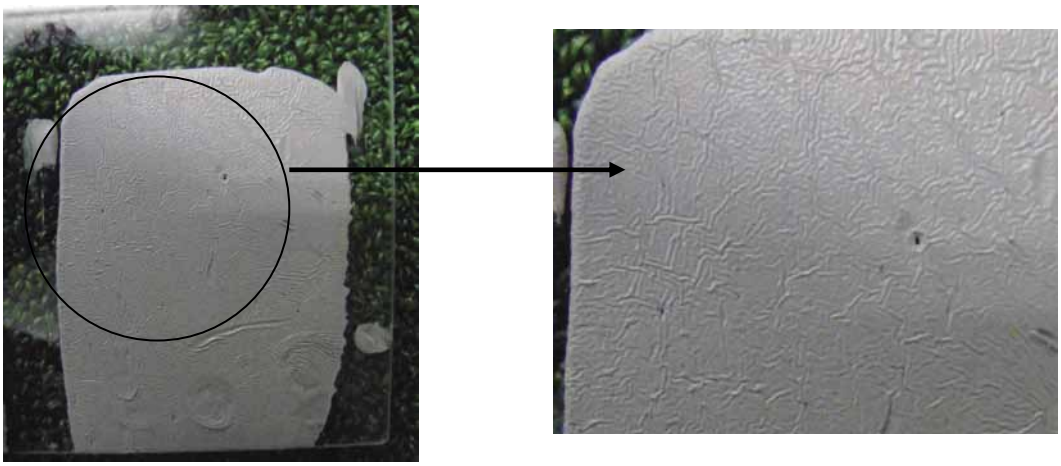
表－2.1.19 に塗膜の硬化性結果、図－2.1.3 に塗膜の MEK ラビング試験結果を示す。

混合比設定を終え、ホース内に通して最初に採取した混合液（1 回目採取のｎ１）の塗膜は、16 日経過後でも硬化乾燥に達しておらず、また、塗膜外観にはしわの発生が認められた。写真－2.1.33 にしわの状態を示す。

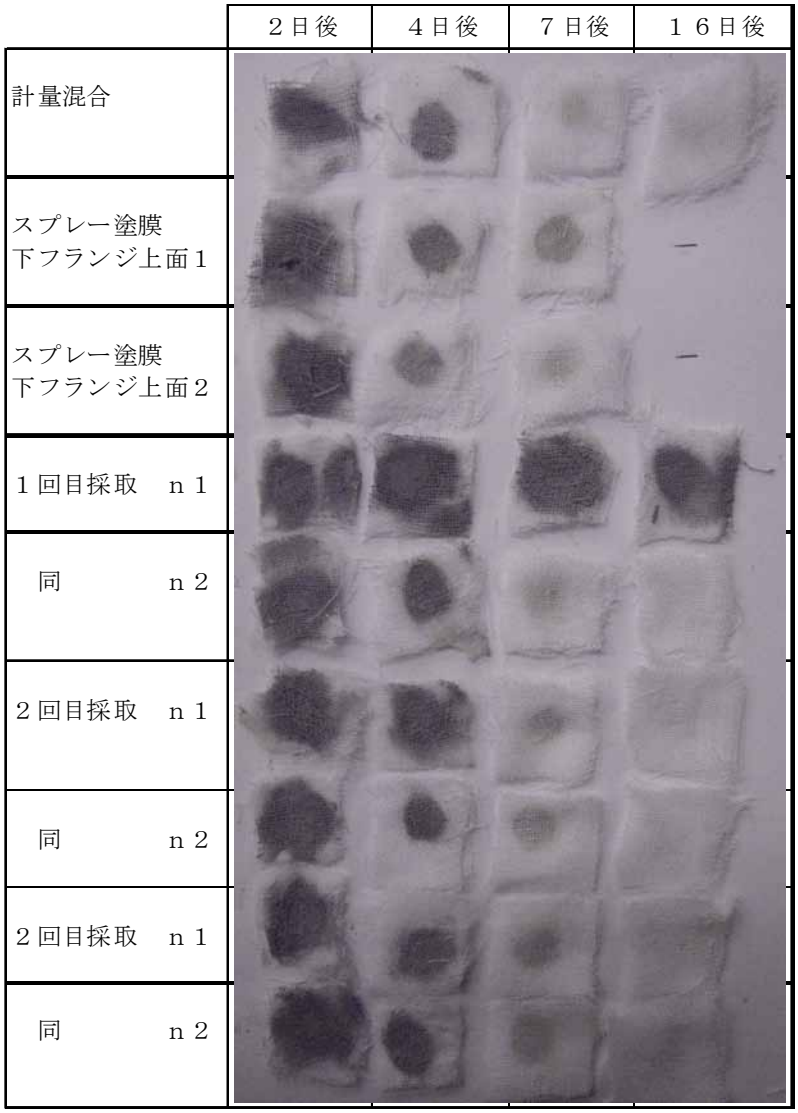
他の混合塗料および試験桁に塗装した塗膜は、電子天秤で計量混合したものと同じく、４日経過後に全て硬化状態に達していた。

表－2.1.19　塗膜の硬化性結果

塗膜種類	計量混合(比較)	スプレー塗装面	１回目採取		２回目採取		３回目採取	
			n1	n2	n1	n2	n1	n2
１日後	指触 ×	指触 ×	指触 ×	指触 ×	指触 ×	指触 ×	指触 ×	指触 ×
２日後	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×	指触 ○ 半硬化 ×
３日後	半硬化 ○ 硬化 ×	半硬化 ○ 硬化 ×	半硬化 ×	半硬化 ○ 硬化 ×	半硬化 ○ 硬化 ×	半硬化 ○ 硬化 ×	半硬化 ○ 硬化 ×	半硬化 ○ 硬化 ×
４日後	硬化 ○	硬化 ○	半硬化 ×	硬化 ○	硬化 ○	硬化 ○	硬化 ○	硬化 ○
16日後	—	—	半硬化 ○ 硬化 ×	—	—	—	—	—



写真－2.1.33　１回目採取ｎ１混合塗料の塗膜のしわ



図－2.1.3　ラビング試験結果

１回目採取のｎ１サンプルの塗膜は、16 日経過後も容易に MEK ラビングで溶解しており、硬化反応がすすんでいないことがわかった。その他の塗膜は、４日経過では容易に溶解したが、７日経過で溶解程度が小さくなり、16 日経過でほぼ溶解しなくなった。塗料液と硬化剤の効果が進んでいることがわかった。

４）仕上がり外観結果

写真－2.1.34 に仕上がり外観状態を示す。

たれ・割れ・しわ等は見られなかったが、塗装日翌朝の結露水の影響で白化した部分が多く見られた。



写真－2.1.34　仕上がり外観（上２枚：全景、下２枚：結露水による白化跡）

５）塗膜厚測定結果

表－2.1.20 に、塗膜厚測定結果を示す。

いくつかの部位で目標膜厚の 300μｍ を満たしておらず、ややばらつきの大きい結果だった。

表－2.1.20　塗膜厚測定結果

測定部位	塗膜厚（μｍ）	測定部位	塗膜厚（μｍ）
①下フランジ上面	２３２	⑧中間横桁腹板	３４２
②腹板	４２７	⑨中間横桁下フランジ上面	１８７
③天井面補鋼材	２０８	⑩中間横桁下フランジ下面	２８２
④天井面	５５５	⑪添接部	６６９
⑤　井面補鋼材	２１７	⑫添接部	５８２
⑥腹板	３３６	⑬端横桁腹板	４４２
⑦下フランジ上面	１８９		

（５）まとめ

以上の結果より、無溶剤形塗料のスプレー塗装は塗料の加温により適正な粘度にすることが必要であることがわかった。

また、ホース内で混合したもので最初に吐出したものは混合不良になることがあり、これは、「2.1.3　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のスプレー塗装作業性試験」においても見られた現象である。混合不良の原因として、塗装機の混合精度がまず挙げられる。すな

わち、設定混合比通り、常時塗出しているか。また、スプレーガン到達までに十分に混合されているか否かが原因として考えられる。また、塗料液と硬化剤の粘度差が大きいと、混合ミキサーやホース内で十分に攪拌されにくいことが考えられる。

さらに塗料液と硬化剤の混合比率がかけ離れたものであった場合、わずかな混合比率のずれが硬化不良の原因となると考えられる。

２．１．５　まとめ

無溶剤形エポキシ樹脂塗料の施工性試験を実施したが、はけ・ローラー施工では、低温時の塗料粘度の大きさ、常温以上での可使時間の短さから、河川構造物の大面積の施工は困難であることを確認した。

エアレススプレー施工においても、低温環境での塗装では塗料粘度が大きくなっているので、加温して粘度を下げることが必要であることがわかった。また、塗料液と硬化剤が規定量通り混合され、健全な塗膜が得られているか、確認の必要があることがわかった。その上で塗装機の操作を熟知し、さらに飛散防止のための養生や設備設置のスペースの確保が必要など、一般的なエアレス塗装機と同様に、施工上および施工管理上の留意すべき点が多いことがわかった。

これら留意すべき点は、工場塗装なら対応することは可能であるが、様々な制約が考えられる現場塗装においては、現実的には困難であると思われる。

以上のことから、無溶剤形エポキシ樹脂塗料を河川構造物の現場での塗替塗装に適用することは難しいと判断した。

２．２　低溶剤形エポキシ樹脂塗料の施工性試験

無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、施工性の観点から現場塗替塗装への適用は困難であることが明らかとなった。

そこで、無溶剤形ではないが、従来の溶剤形エポキシ樹脂塗料よりも大幅に VOC 量を削減した、低溶剤形エポキシ樹脂塗料について適用可能か検討した。

検討内容については無溶剤形エポキシ樹脂塗料と同様とし、施工性と塗膜性能について、従来のエポキシ樹脂塗料からの置き換えが可能か検討した。また、目標性能も表－1.2.1 と同様としたが、VOC 量については、「塗装系中のエポキシ樹脂塗料の総 VOC 量を 70%削減」とした。

なお、本研究では、低溶剤形エポキシ樹脂塗料について、「塗装時の最大希釈時のVOC 量が 30%（質量）以下」であるものと定義した。

２．２．１　低溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験

（１）試験概要

低溶剤形エポキシ塗料のはけ塗装作業性、可使時間および乾燥性について、現状性能の把握を目的に試験した。

（２）試験方法

表－2.2.1 に示す方法で、低溶剤形エポキシ樹脂塗料を塗装した。なお、使用したはけは、「2.1.1　無溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験」と同じものを使用した。

表－2.2.1　試験方法

被塗物素材・大きさ	ボンデライト鋼板（450ｍｍ×900ｍｍ）
試験塗料	低溶剤形エポキシ樹脂塗料　標準用Ａ 低溶剤形エポキシ樹脂塗料　標準用Ｂ 無溶剤形エポキシ樹脂塗料　低温用Ｃ 無溶剤形エポキシ樹脂塗料　低温用Ｄ
混合量	２kg
希釈量	製品に規定する量
塗装場所	独立行政法人土木研究所つくば中央研究所内実験室
塗装温度	20℃（標準用Ａ）、 30℃（標準用Ａ、標準用Ｂ） 10℃（低温用Ｃ，低温用Ｄ）
塗装時間	混合直後、混合２時間後
目標乾燥膜厚	100μｍ

（３）評価項目および評価方法

１）はけ塗装作業性

はけ塗装作業に支障がないか評価した。

２）可使時間

塗料を混合してから所定時間ごとにはけ塗装と塗料の温度と粘度の測定を行い、はけ塗装が可能であり、著しい温度上昇および粘度上昇がなく、仕上がり外観が混合直後と大きな差がない時間を評価した。

なお本研究では、目標の可使時間を３時間（20℃）とした。

３）仕上がり外観

塗膜にたれ、割れ、しわ等がないか、目視で評価した。

４）乾燥性

ポットライフ試験で塗装した板を利用して、JIS K 5600-1-1 4.3.5 に準拠し、指触乾燥・半硬化乾燥・硬化乾燥時間を評価した。

５）加熱残分測定

各塗料の最大希釈時の加熱残分測定を実施した。加熱条件は、125℃で１時間とし、1塗料につき２個測定した。

（４）試験結果

１）はけ塗装作業性

標準用はＡ、Ｂ共に、20℃、30℃の塗装で、はけ塗装作業性に支障はなく良好だった。

低温用もＣ、Ｄ共に、10℃で塗りやすく、はけ塗装作業性に支障はなかった。

２）可使時間

表－2.2.2 に標準用、表－2.2.3 に低温用の各塗料の各温度での可使時間、塗料温度と塗料粘度の測定結果を示す。

標準用はＡ、Ｂ共に、20℃で５時間、30℃で３時間の可使時間があり、実用上、問題のない性能であると考える。低温用も、10℃で５時間の可使時間があり、実用上、問題のない性能であると考える。

表－2.2.2　低溶剤形エポキシ樹脂塗料（標準用）の可使時間結果

塗装・乾燥温度	20℃		30℃	
試験塗料	標準用Ａ	標準用Ｂ	標準用Ａ	標準用Ｂ
希釈率（%）	5%	なし	2%	3%
混合直後の粘度	24dPa･s	21.4dPa･s	27dPa･s	11dPa･s
可使時間	５時間	５時間 (塗りにくい)	３時間 (少し重い)	３時間
可使時間時の温度	22℃	22℃	32℃	30℃
可使時間時の粘度	33dPa･s	27dPa･s	40dPa･s	16dPa･s

表－2.2.3　低溶剤形エポキシ樹脂塗料（低温用）の可使時間結果

塗装・乾燥温度	10℃	
試験塗料	低温用Ａ	低温用Ｂ
希釈量（%）	なし	5%
混合直後の粘度	57dPa･s	29dPa･s
可使時間	５時間	５時間
可使時間時の温度	10℃	10℃
可使時間時の粘度	82dPa･s	52dPa･s

３）仕上がり外観

標準用では、塗り継ぎ部やはけ目の凹凸がやや目立つ仕上がり外観だった。低温用では、混合５時間後に塗装した塗膜でたれが見られた。これらは、塗料中の溶剤量が少なく、また厚膜塗装が必要なことから不可避なところもある。写真－2.2.1 に、塗り継ぎ部の凹凸、たれを示す。



a）標準用の塗り継ぎ部の凹凸



b）低温用のたれ

写真－2.2.1　仕上がり外観

４）乾燥性

表－2.2.4 に 20℃、表－2.2.5 に 30℃、表－2.2.6 に 10℃のそれぞれの乾燥性結果を示す。

20℃、30℃では、標準用ＡおよびＢ共に、塗装 24 時間後には硬化乾燥に達していた。

10℃では、低温用ＡおよびＢ共に、塗装 48 時間後には硬化乾燥に達しており、無溶剤形エポキシ樹脂塗料のような極端な乾燥遅延は見られなかった。

表－2.2.4　20℃の乾燥結果

試験塗料	乾燥状態	2 時間	6 時間	24 時間
標準用Ａ	指触	○	－	
	半硬化	×	－	
	硬化	×	○	
標準用Ｂ	指触	○	－	
	半硬化	×	○	
	硬化	×	×	○

表－2.2.5　30℃の乾燥結果

試験塗料	乾燥状態	3 時間	24 時間
標準用Ａ	指触	○	－
	半硬化	○	－
	硬化	×	○
標準用Ｂ	指触	○	－
	半硬化	○	－
	硬化	×	○

表－2.2.6　10℃の乾燥結果

試験塗料	乾燥状態	2 時間	5 時間	24 時間	48 時間
低温用Ｃ	指触	○	－	－	－
	半硬化	○	－	－	－
	硬化	×	×	×	○
低温用Ｄ	指触	×	○	－	－
	半硬化	－	×	×	○
	硬化	－	－	-	○

5）加熱残分測定

表－2.2.7 に各塗料の加熱残分測定結果を示す。

いずれの塗料も、目標である塗装時の VOC 量 30%以下を満たしていた。

表－2.2.7　加熱残分測定結果

試験塗料	希釈率	加熱残分	VOC 量%
標準用Ａ	5%	78.6	21.4
標準用Ｂ	3%	80.5	19.5
低温用Ｃ	無希釈	81.5	18.5
低温用Ｄ	5%	81.9	18.1

（5）まとめ

以上の結果より、低溶剤形エポキシ樹脂塗料は、はけ塗装作業性、可使時間、乾燥性において、大型構造物への適用の可能性を見出した。

次に、塗料粘度が高くなり、はけ・ローラーの取り扱いが困難な施工環境である低温環境下での施工性試験を実施することとする。

２．２．２　低溶剤形エポキシ樹脂塗料のローラー作業性試験

（１）試験概要

低溶剤形エポキシ樹脂塗料の作業性と乾燥性について各温度の実験室において試験した結果、塗装作業性・乾燥性において、従来の溶剤形塗料からの置き換えの可能性を見出した。

そこで低温環境下での施工性について、被塗物と塗装環境、使用量をより現場に近い状態で評価することとした。

（２）試験方法

表－2.2.8 に示す方法で、低溶剤形エポキシ樹脂塗料を塗装した。また、写真－2.2.2 に塗装対象物、写真－2.2.3 に使用したローラーハンドルとはけを示す。

表－2.2.8　試験方法

塗装対象物	橋梁模擬桁内面
塗装面積	約７㎡（塗料１種類につき）
塗装方法	平面部：ローラー塗装 狭あい部・添接部・高力ボルト部：はけ塗装
試験塗料	低溶剤形エポキシ樹脂塗料Ａ（加熱残分 80%） 低溶剤形エポキシ樹脂塗料Ｂ（加熱残分 81%）
混合量	Ａ：10.5kg　Ｂ：10kg
希釈量	製品に規定する量
塗装場所	独立行政法人土木研究所朝霧環境材料観測施設
塗装日	2010 年 2 月 22 日～23 日
塗装時間	混合直後、混合５時間後
目標乾燥膜厚	１００μｍ



a）全景



b）塗装面

写真－2.2.2 塗装対象物



写真－2.2.3　使用ローラー・はけ

（３）評価項目

１）ローラー塗装作業性

ローラー塗装作業に支障がないか評価した。

２）可使時間

１）で使用した塗料を、混合５時間後にローラーで塗装した。ローラー作業性が混合

直後と大きな差がないときは、「可使時間５時間問題なし」とした。

３）塗り重ね適性

１）２）を塗装した翌日、同じ塗料を同様の方法で塗り重ね、作業性を評価した。

４）乾燥性

３）で塗装した塗膜について、JIS K 5600-1-1 4.3.5 に準じ、半硬化乾燥を評価した。

５）仕上がり外観

３）塗装した塗膜の仕上がり外観を目視で評価した。

６）塗膜厚測定

塗装面に貼り付けて塗装したブリキ板の塗膜厚を、電磁式膜厚計を用いて測定した。

（４）試験結果

１）ローラー塗装作業性

ローラー塗装作業性評価結果を表－2.2.9 に、作業状況を写真－2.2.4～写真－2.2.7 に示す。

A、B 共に、はけ・ローラー塗装作業に支障はなく、問題なく施工できた。

表－2.2.9　作業性評価結果

塗料 No.	A	B
希釈量	３％	２％
希釈後粘度	26 d Pa･s（6℃）	37 d Pa･s（7℃）
希釈後の加熱残分	78.6%	79.4%
塗装時の気温	５℃	５℃
作業性	問題なし　塗りやすい	問題なし　塗りやすい
塗装面積	約４㎡	約４㎡
ウェット膜厚	はけ　150μm ローラー　150～175μm	はけ　150μm ローラー　150μm
塗料使用量	1.52kg	1.62kg



写真－2.2.4　塗料の混合



写真－2.2.5　塗料攪拌



写真－2.2.6　添接部のはけ塗装



写真－2.2.7　一般部のローラー塗装

2）可使時間

混合５時間後のローラー塗装作業性評価結果を表－2.2.10 に、作業状況を写真－2.2.8、写真－2.2.9 に示す。

表－2.2.10　混合５時間後のローラー作業性評価結果

塗料 No.	A	B
混合５時間後の粘度	30ｄPa･s（9℃）	45ｄPa･s（12℃）
追加希釈量	なし	なし
塗装時の気温	4.4℃	4.4℃
塗装面積	約３㎡	約３㎡
作業性	問題なし　塗りやすい	やや重い
塗料使用量	0.92kg	1.0kg



写真－2.2.8　混合塗料の放置状態



写真－2.2.9　混合５時間後のローラー塗装

Ａは混合５時間後もローラー塗装作業に支障はなかった。Ｂはローラー塗装作業がやや重かったが塗装可能だった。５時間経過により塗料粘度が上昇したためと思われる。

3）塗り重ね適性

翌日に同様の方法で塗り重ねた結果を表－2.2.11 に示す。

Ａ、Ｂ共に、塗装翌日の塗装作業に支障はなく、問題なく施工できた。

表－2.2.11　塗り重ね適性評価結果

塗料 No.	A	B
希釈量	３%	２%
希釈後粘度	28ｄPa･ｓ（10℃）	30ｄPa･ｓ（14℃）
塗装時の気温	８℃	９℃
塗装面積	約７㎡	７㎡
作業性（ローラー）	問題なし　塗りやすい	問題なし　塗りやすい
ウェット膜厚*	（ローラー　150μｍ）	（ローラー　150μｍ）
塗料使用量	2.3kg	2.1kg

*1 層目の塗膜面の凹凸が大きいため、ウェット膜厚は参考値

４）乾燥性

両サンプル共に、塗装翌日に半硬化乾燥に達しており、冬季環境下でも著しい硬化の遅れは見られなかった。

５）仕上がり外観

写真－2.2.10～写真－2.2.13 に仕上がり外観を示す。

Ａ、Ｂ共に、やや凹凸の大きい仕上がり外観だった。たれ、割れ、膨れはみられなかった。また、１層目および２層目を塗装した翌日の朝は天井面に結露水が付着していたが、白化は見られなかった。



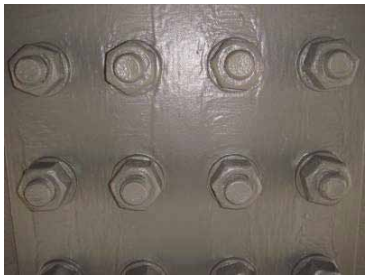
写真－2.2.10　１層目終了後



写真－2.2.11　２層目終了後



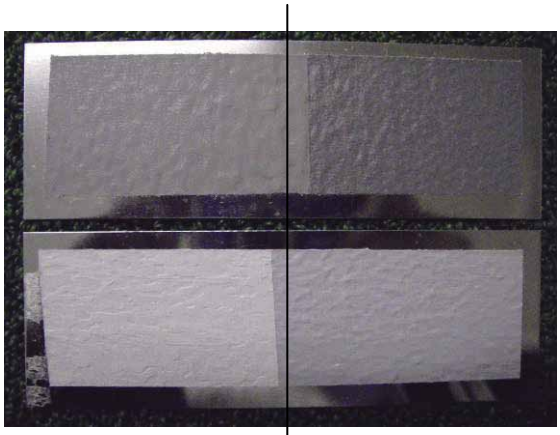
写真－2.2.12　一般部の外観



写真－2.2.13　同左 添接部

６）塗膜厚測定

写真－2.2.14 に塗膜厚測定用ブリキ板の塗装後の状態、表－2.2.12 に塗膜厚測定結果を示す。



写真－2.2.14　膜厚測定用の塗膜

表－2.2.12　塗膜厚測定結果

塗料 No.		A		B	
測定部位		１層目（μm）	１層目+２層目（μm）	１層目（μm）	１層目+２層目（μm）
①	中間横桁	156	289	109	220
②	天井面	125	175	90	164
③	添接部	159	259	195	334
④	下フランジ上面	185	437	140	187
⑤	腹板	120	257	105	192
⑥	下フランジ上面	154	332	94	204
⑦	腹板	138	327	104	208
⑧	天井面	－	306	114	209
⑨	端横桁	163	330	108	260

①～⑤は混合直後、⑥～⑨は混合５時間後に塗装した部位。測定値はいずれも６点の平均値。

A、B共にばらつきが大きいものの、目標乾燥膜厚 100μm（２層合計 200μm）はほぼ満たしていた。

（５）まとめ

以上の結果より、試験した低溶剤形エポキシ樹脂塗料は、はけ･ローラー塗装作業性、可使時間、塗り重ね適性に大きな支障はなく、低温環境下においても十分施工可能であることがわかった。

仕上がり外観は、従来のエポキシ樹脂塗料と比べ凹凸の大きい外観だった。低溶剤形塗料は塗料中の溶剤量および希釈量の少なさから粘度が高い状態で塗装するこ

とになり、その影響で従来のエポキシ樹脂塗料と比べ平滑性に劣るのは避けられないと考える。また特にローラー塗装では、目標乾燥膜厚確保のために、塗料の含みのよいローラーカバーを使用することになるため、その傾向は顕著になる。すなわち、仕上がり外観が劣っていても目標膜厚が確保されていれば、防食性能も確保されていると考えられる。

２．２．３　まとめ

「2.2.1　低溶剤形エポキシ樹脂塗料のはけ塗装作業性試験」および「2.2.2　低溶剤形エポキシ樹脂塗料のローラー塗装作業性試験」の結果より、低溶剤形エポキシ樹脂塗料は、目標 VOC 量を満たしつつ、河川構造部物の塗替塗装において、はけ・ローラー塗装作業に支障がなく、現行のエポキシ樹脂塗料との置き換えが可能であることがわかった。

ただし、現行のエポキシ樹脂塗料と比較して、可使時間が短く、塗料の使用量が多くなることが予想されることや、仕上がり外観は凹凸の大きいものになることは避けられないことに留意する必要がある。

３．VOC 削減塗装仕様の塗膜性能試験

３．１　VOC 削減塗装仕様

無溶剤形エポキシ樹脂塗料および低溶剤形エポキシ樹脂塗料を用いた塗装系の各種塗膜性能試験を実施し、現行の溶剤形塗装系からの置き換えが可能か検討した。

表－3.1.1～表－3.1.4 に、現行の溶剤形塗装系のエポキシ樹脂塗料を、無溶剤形エポキシ樹脂塗料または低溶剤形エポキシ樹脂塗料に置き換えた VOC 削減塗装系を示す。各塗装系の VOC 削減率は、各工程の塗装時の最大希釈量を含めた数値である。

なお、参考として、厚膜塗装タイプの無溶剤形塗料エポキシ樹脂塗料、無溶剤形ポリウレタン樹脂塗料も試験した。

表－3.1.1　VOC 削減塗装系（水中部塗装系①）

塗装系	１層目	２層目	３層目	４層目	５層目	６層目	ＶＯＣ削減率①*	ＶＯＣ削減率②**
溶剤形	有機 ジンクリッチ ペイント （300ｇ/㎡ 37.5μｍ）	有機 ジンクリッチ ペイント （300ｇ/㎡ 37.5μｍ）	変性エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	－	－
無溶剤形①			無溶剤形 エポキシ 樹脂塗料 （230ｇ/㎡　120μｍ）	無溶剤形 エポキシ 樹脂塗料 （230ｇ/㎡　120μｍ）	－	ー	94.0%	68.4%
無溶剤形②			無溶剤形 ウレタン用 プライマー （60ｇ/㎡　20μｍ）	無溶剤形ウレタン （700ｇ/㎡　500μｍ）	－	ー	91.1%	66.3%
無溶剤形③			無溶剤形エポキシ 樹脂塗料*** （470ｇ/㎡　250μｍ）	無溶剤形エポキシ 樹脂塗料*** （470ｇ/㎡　250μｍ）	－	ー	92.7%	67.4%
低溶剤形①			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （400ｇ/㎡　150μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （400ｇ/㎡　150μｍ）	－	ー	52.1%	37.9%
低溶剤形②			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （210ｇ/㎡　80μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （210ｇ/㎡　80μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （210ｇ/㎡　80μｍ）	ー	67.2%	48.9%
低溶剤形③			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	77.0%	56.0%
低溶剤形④			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （300ｇ/㎡　120μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （300ｇ/㎡　120μｍ）	－	－	67.2%	48.9%
低溶剤形⑤			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （350ｇ/㎡　120μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （水中部用） （350ｇ/㎡　120μｍ）	－	－	56.3%	40.9%

*エポキシ樹脂塗料の VOC 削減率

**塗装系全体での VOC 削減率

***JWWA K 157 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料（日本水道協会）

表－3.1.2　VOC 削減塗装系（水中部塗装系②）

塗装系	補修塗装	１層目	２層目	３層目	４層目	ＶＯＣ削減率①*	ＶＯＣ削減率②**
溶剤形	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	－	－
無溶剤形①	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	無溶剤形エポキシ樹脂塗料 （230ｇ/㎡　120μｍ）	無溶剤形エポキシ樹脂塗料 （230ｇ/㎡　120μｍ）	－	－	94.0%	83.6%
無溶剤形②	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	無溶剤形ウレタン用 プライマー （60ｇ/㎡　20μｍ）	無溶剤形ウレタン （700ｇ/㎡　500μｍ）	－	－	91.1%	81.0%
無溶剤形③	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	無溶剤形エポキシ樹脂塗料 *** （470ｇ/㎡　250μｍ）	無溶剤形エポキシ樹脂塗料 *** （470ｇ/㎡　250μｍ）	－	－	92.7%	82.4%
低溶剤形①	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （110ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （400ｇ/㎡　150μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （400ｇ/㎡　150μｍ）	－	－	52.1%	40.1%
低溶剤形②	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （80ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （210ｇ/㎡　80μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （210ｇ/㎡　80μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （210ｇ/㎡　80μｍ）	－	67.2%	67.1%
低溶剤形③	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （130ｇ/㎡　60μｍ）	77.0%	68.4%
低溶剤形④	変性エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （300ｇ/㎡　120μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （300ｇ/㎡　120μｍ）	－	－	67.2%	59.7%
低溶剤形⑤	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （90ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （350ｇ/㎡　120μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （水中部用） （350ｇ/㎡　120μｍ）	－	－	56.3%	56.1%

*エポキシ樹脂塗料の VOC 削減率

**塗装系全体での VOC 削減率

***JWWA K 157 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料（日本水道協会）

表－3.1.3　ＶＯＣ削減塗装系（大気部塗装系①）

塗装系	１層目	２層目	３層目	４層目	５層目	６層目	ＶＯＣ削減率①*	ＶＯＣ削減率②**
溶剤形	有機 ジンクリッチ ペイント （300ｇ/㎡ 37.5μｍ）	有機 ジンクリッチ ペイント （300ｇ/㎡ 37.5μｍ）	変性エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	ふっ素樹脂 塗料用中塗 （180ｇ/㎡　40μｍ）	ふっ素樹脂塗料上塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	－	－
無溶剤形①			無溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （230ｇ/㎡　120μｍ）	水性水性ふっ素樹脂 塗料用中塗 （170ｇ/㎡　40μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料上塗 （114ｇ/㎡　30μｍ）	ー	93.5%	62.4%
低溶剤形①			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （400ｇ/㎡　150μｍ）	VOC削減 アクリルシリコン樹脂 中塗上塗兼用塗料 （160ｇ/㎡　55μｍ）	－	ー	48.2%	48.4%
低溶剤形②			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （190ｇ/㎡　70μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （190ｇ/㎡　70μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料用中塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料上塗 （120ｇ/㎡　25μｍ）	57.2%	47.9%
低溶剤形③			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （152ｇ/㎡　70μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （152ｇ/㎡　70μｍ）	ＶＯＣ削減 ふっ素樹脂塗料上塗 （177ｇ/㎡　50μｍ）	－	70.9%	40.2%
低溶剤形④			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （300ｇ/㎡　120μｍ）	水性水性ふっ素樹脂 塗料用中塗 （170ｇ/㎡　40μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料上塗 （114ｇ/㎡　30μｍ）	－	64.5%	51.2%
低溶剤形⑤			低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （150ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ 樹脂塗料 （大気部用） （150ｇ/㎡　60μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料用中塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料上塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	67.9%	51.8%

*エポキシ樹脂塗料の VOC 削減率

**塗装系全体での VOC 削減率

表－3.1.4　VOC 削減塗装系（大気部塗装系②）

塗装系	補修塗装	１層目	２層目	３層目	４層目	ＶＯＣ削減率①*	ＶＯＣ削減率②**
溶剤形	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （240ｇ/㎡　60μｍ）	ふっ素樹脂塗料用中塗 （180ｇ/㎡　40μｍ）	ふっ素樹脂塗料上塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	－	－
無溶剤形①	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	無溶剤形エポキシ樹脂塗料 （230ｇ/㎡　120μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料用中塗 （170ｇ/㎡　40μｍ）	水性ふっ素樹脂塗料上塗 （114ｇ/㎡　30μｍ）	ー	93.5%	79.8%
低溶剤形①	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （400ｇ/㎡　150μｍ）	VOC削減 アクリルシリコン樹脂 中塗上塗兼用塗料 （160ｇ/㎡　55μｍ）	－	ー	48.2%	47.2%
低溶剤形②	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （80ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （190ｇ/㎡　70μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （190ｇ/㎡　70μｍ）	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	水性ふっ素樹脂塗料上塗 （120ｇ/㎡　25μｍ）	57.2%	69.2%
低溶剤形③	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （152ｇ/㎡　70μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （152ｇ/㎡　70μｍ	ＶＯＣ削減 ふっ素樹脂塗料上塗 （177ｇ/㎡　50μｍ）	－	70.9%	51.4%
低溶剤形④	変性エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （120ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （300ｇ/㎡　120μｍ）	水性ふっ素樹脂 塗料用中塗 （170ｇ/㎡　40μｍ）	水性ふっ素樹脂塗料上塗 （114ｇ/㎡　30μｍ）	－	64.5%	65.4%
低溶剤形⑤	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （75ｇ/㎡　30μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （150ｇ/㎡　60μｍ）	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （大気部用） （150ｇ/㎡　60μｍ）	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	水性ふっ素樹脂塗料上塗 （140ｇ/㎡　30μｍ）	67.9%	74.6%

*エポキシ樹脂塗料の VOC 削減率

**塗装系全体での VOC 削減率

３．２　塗膜性能試験概要

各 VOC 削減塗装系について、溶剤形塗装系と比較して、水中部塗装系は表－3.2.1、大気部塗装系は表－3.2.2 の試験を実施した。

表－3.2.1　水中部塗装系の試験項目

試験目的	試験方法	具体的方法
耐水性	水中浸せき試験	資料Ⅱ－１
耐水性	20℃/40℃温度勾配試験	資料Ⅱ－３
耐衝撃性	おもり落下試験（JIS K 5600 5.3）	資料Ⅱ－４
耐磨耗性	磨耗試験（JIS K 5600 5.9）	資料Ⅱ－５

表－3.2.2　大気部塗装系の試験項目

試験目的	試験方法	具体的方法
防食性	屋外暴露試験	資料Ⅱ－１
防食性	土研式複合サイクル腐食試験	資料Ⅱ－６

（２）試験板作製方法

①素材

試験板は、JIS K 5600-1-4 に規定された材料（鋼板の厚さ 3mm 以上は JIS G 3101 に規定する SS400）を用い、以下の条件でブラスト処理したものを使用した。

また、水中部浸せき試験の試験板は、ブラスト処理した鋼板にエポキシ樹脂塗料を塗装し、海浜地区で暴露し劣化させた後、素地調整程度２種および３種を実施したものも使用した。同様に屋外暴露試験の試験板も、ブラスト処理した鋼板にエポキシ樹脂塗料を塗装し、海浜地区で暴露し劣化させた後、素地調整程度２種および３種を実施したものも使用したが、海浜地区に暴露した試験板の一部分はエポキシ樹脂塗料を塗装せず、鋼板のまま暴露した。

写真－3.2.1 に水中部浸せきに用いた試験板の素地調整程度２種および３種の写真を示す。写真－3.2.2 に屋外暴露試験に用いた試験板の素地調整程度２種および３種の写真を示す。また、各試験項目の試験板の種類を表－3.2.3 に示す。

（ブラスト条件）

除せい度：ISO 8500-1 Sa2 1/2

研掃材　：グリッド

Ｒｚjis　：34μｍ（実測値）



a）素地調整程度２種　　b）素地調整程度３種

写真－3.2.1　水中部浸せき試験板



a）素地調整程度２種　　b）素地調整程度３種

写真－3.2.2　屋外暴露試験板（○部分が鋼板暴露部分）

表－3.2.3　各試験項目の試験板の種類

試験項目	ブラスト鋼板	素地調整程度２種	素地調整程度３種
水中浸せき試験	水中部塗装系①	水中部塗装系①	水中部塗装系②
温度勾配試験	水中部塗装系①	－	－
おもり落下試験	水中部塗装系②	－	－
磨耗試験	水中部塗装系①	－	－
屋外暴露試験	大気部塗装系①	大気部塗装系①	大気部塗装系②
複合サイクル腐食試験	大気部塗装系①	－	－

②塗装方法

各塗装系の第１層目から最終層まで､各規定膜厚になるようにはけ塗りにて塗装した。各工程の塗装間隔は１日以上とした。また、屋外暴露試験および複合サイクル腐食試験の試験板には、塗装終了後、鋼素地に達する傷を入れて試験を行った。

３．３　塗膜性能試験方法

（１）水中浸せき試験

１）試験目的と方法

塗膜の耐水性を確認するために、江戸川水門下流側汽水域に浸せきして評価した。詳細内容については資料Ⅱ－１（屋外暴露試験・水中浸せき試験）を参照のこと。

２）評価項目と方法

①塗膜外観観察

目視にて、さび、膨れ、割れ、はく離などの有無を観察した。

さびの評価は ASTM D-610、膨れの評価は ASTM D-714 に準じた。

②付着性

JIS K 5600 5.6 に準じ、プルオフ法による引張付着試験を行い、付着強度（MPa）を評価した。詳細内容については、資料Ⅱ－２（付着試験装置）を参照のこと。

（２）温度勾配試験

１）試験目的と方法

塗膜の耐水性を短期間で確認するために、試験板の表裏で温度差をつけた水中に塗膜を浸せきし、耐久性を評価した。水の温度は塗膜表面を 40℃、試験板面を 20℃とし、浸せき期間は 28 日間とした。詳細内容については資料Ⅱ－３（温度勾配試験装置）を参照のこと。

２）評価項目と方法

（１）水中浸せきと同じ評価を行った。

（３）おもり落下試験

１）試験目的と方法

塗膜の衝撃に対する強さを確認するために、JIS K 5600 5.3 に準じ、デュポン式落下試験で耐衝撃性を評価した。おもりの質量と落下高さは、JIS K 5551 7.11 に準じ、300ｇ/500㎜ とした。また、500ｇ/500㎜ についても試験した。詳細内容については、資料Ⅱ－４（おもり落下試験装置（デュポン式））を参照のこと。

２）評価項目と方法

目視にて塗膜の割れ、はく離の有無について評価した。また、落下試験後、塩水噴霧試験（SST）を 24 時間行い、落下試験跡からのさびの有無について目視で観察し、評価した。

割れ・はく離および塩水噴霧 24 時間後のさびの評価基準は以下の通りとした。

（おもり落下試験後の割れ・はく離の評価基準）

○・・・割れ・はく離なし

△・・・部分的に、もしくは小さな割れ・はく離が見られる

×・・・全体的に、もしくは大きな割れ・はく離が見られる

（塩水噴霧後のさびの評価基準）

○・・・さびなし

△・・・わずかにさびあり

×・・・さびあり

（４）磨耗試験

１）試験目的と方法

塗膜の磨耗に対する抵抗性を評価した。磨耗輪質量１kg×２、磨耗輪 No.CS-17、回転数1000 回転で試験した。詳細の内容については、資料Ⅱ－５（磨耗試験装置）を参照のこと。

２）評価項目と方法

試験前後の試験板の質量を電子天秤で測定し、質量損失を算出した。

（５）屋外暴露試験

１）試験目的と方法

塗膜の防食性を確認するために、国土交通省江戸川河川事務所江戸川河口出張所構内の暴露架台に試験板を設置し、屋外暴露時における塗膜の経時変化を評価した。詳細内容については資料Ⅱ－１（屋外暴露試験・水中浸せき試験）を参照のこと。

２）評価項目と方法

①塗膜外観観察

一般部については、目視にてさび、膨れ、割れ、はく離などの有無を観察した。さびの評価は ASTM D-610、膨れの評価は ASTM D-714 に準じた。

カット部については、カット部からの膨れ最大幅（片側侵入幅で最大値）を評価した。

②付着性

JIS K 5600 5.6 に準じ、プルオフ法による引張付着試験を行い、付着強度（MPa）を評価した。

（６）複合サイクル腐食試験

１）試験目的と方法

塗膜の防食性を短期間で確認するために、サイクル腐食環境での耐久性を評価した。試験サイクルは土木研究所式とした。詳細の内容については、資料Ⅱ－６（複合サイクル試験装置）を参照のこと。

２）評価項目と方法

①塗膜外観観察

一般部については、目視にてさび、膨れ、割れ、はく離などの有無を観察した。さびの評価は ASTM D-610、膨れの評価は ASTM D-714 に準じた。

カット部については、カット部からの膨れ最大幅（片側侵入幅で最大値）を評価した。

②付着性

JIS K 5600 5.6 に準じ、プルオフ法による引張付着試験を行い、付着強度（MPa）を評価した。

３．４　塗膜性能試験結果

（１）水中浸せき試験結果

１）外観観察

表－3.4.1、表－3.4.2 に水中部塗装系①、表－3.4.3 に水中部塗装系②の江戸川浸せき２年までの外観観察結果を示す。

溶剤形塗装系と比較し、低溶剤形塗装系の一部で膨れが多く見られるものがあったが、ほとんどの無溶剤形塗装系および低溶剤形塗装系は、溶剤形塗装系と同等の性能だった。

表－3.4.1　水中部塗装系①の外観観察結果（ブラスト処理鋼板）

浸せき期間	１年		２年	
繰り返し数	ｎ１	ｎ２	ｎ１	ｎ２
溶剤形	異状なし	膨れ 8F	異状なし	膨れ 4F
無溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
無溶剤形②	膨れ 6F	異状なし	膨れ 6F	膨れ 6F
無溶剤形③	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 8F
低溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形②	異状なし	異状なし	試験板紛失	膨れ 8F
低溶剤形③	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形④	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形⑤	膨れ 6M	膨れ 6M	膨れ 6M	膨れ 6M

＜水中部塗装系①＞

溶剤形　　・・・有機ジンク（75μｍ）～変性エポキシ（60μｍ×4）

無溶剤形①・・・有機ジンク（75μｍ）～無溶剤形エポキシ（120μｍ×2）

無溶剤形②・・・有機ジンク（75μｍ）～無溶剤形ウレタン用プライマー（20μｍ）～無溶剤形ウレタン（500μｍ）

無溶剤形③・・・有機ジンク（75μｍ）～無溶剤形エポキシ（250μｍ×2）

低溶剤形①・・・有機ジンク（75μｍ）～低溶剤形エポキシ（150μｍ×2）

低溶剤形②・・・有機ジンク（75μｍ）～低溶剤形エポキシ（80μｍ×3）

低溶剤形③・・・有機ジンク（75μｍ）～低溶剤形エポキシ（60μｍ×4）

低溶剤形④⑤・・有機ジンク（75μｍ）～低溶剤形エポキシ（120μｍ×2）

表－3.4.2　水中部塗装系①の外観観察結果（素地調整程度２種）

浸せき期間	１年		２年	
繰り返し数	ｎ１	ｎ２	ｎ１	ｎ２
溶剤形	膨れ 6F	膨れ 6F	膨れ 4F	膨れ 4F
無溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
無溶剤形②	異状なし	膨れ 4F	異状なし	膨れ 4F
無溶剤形③	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 8F
低溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形②	膨れ 4F	膨れ 4F	膨れ 4F	膨れ 4F
低溶剤形③	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 8F
低溶剤形④	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形⑤	膨れ 4F	膨れ 4M	膨れ 4M	膨れ 4M

＜水中部塗装系①＞

溶剤形　　・・・有機ジンク（75μm）～変性エポキシ（60μm×4）

無溶剤形①・・・有機ジンク（75μm）～無溶剤形エポキシ（120μm×2）

無溶剤形②・・・有機ジンク（75μm）～無溶剤形ウレタン用プライマー（20μm）～無溶剤形ウレタン（500μm）

無溶剤形③・・・有機ジンク（75μm）～無溶剤形エポキシ（250μm×2）

低溶剤形①・・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（150μm×2）

低溶剤形②・・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（80μm×3）

低溶剤形③・・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（60μm×4）

低溶剤形④⑤・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（120μm×2）

表－3.4.3　水中部塗装系②の外観観察結果（素地調整程度３種）

浸せき期間	１年		２年	
繰り返し数	ｎ１	ｎ２	ｎ１	ｎ２
溶剤形	膨れ 6M	膨れ 6M	膨れ 6M	膨れ 6M
無溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
無溶剤形②	異状なし	異状なし	異状なし＊	異状なし＊
無溶剤形③	膨れ 8F	膨れ 8F	膨れ 6F	膨れ 6F
低溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形②	膨れ 6F	膨れ 8F	異状なし＊	膨れ 8F
低溶剤形③	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし＊
低溶剤形④	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし
低溶剤形⑤	膨れ 6F	膨れ 6M	膨れ 6MD	膨れ 6MD

＊　試験板のエッジ部に膨れあり

＜水中部塗装系②＞

溶剤形　　・・・変性エポキシ（60μm×4）
無溶剤形①・・・無溶剤形エポキシ（120μm×2）
無溶剤形②・・・無溶剤形ウレタン用プライマー（20μm）～
　　無溶剤形ウレタン（500μm）
無溶剤形③・・・無溶剤形エポキシ（250μm×2）
低溶剤形①・・・低溶剤形エポキシ（150μm×2）
低溶剤形②・・・低溶剤形エポキシ（80μm×3）
低溶剤形③・・・低溶剤形エポキシ（60μm×4）
低溶剤形④⑤・・低溶剤形エポキシ（120μm×2）

２）付着試験

図－3.4.1、図－3.4.2 に水中部塗装系①、図－3.4.3 に水中部塗装系②の江戸川浸せき前後の付着試験結果を示す。

無溶剤形塗装系、および低溶剤形塗装系共に、ブラスト処理鋼板に塗装したものは、溶剤形塗装系と同等以上の良好な付着力を示した。素地調整程度２種、素地調整程度３種の鋼板に塗装したものは、一部、付着力が劣るものも見られた。

試験時期		浸せき前		浸せき２年後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所 および面積比(%)	付着力 (MPa)	はく離箇所および面積比(%)	
溶剤形		2.0	下　10 接　90	3.0	素　30 接　70	
無溶剤形	①	4.5	下　5 接　95	3.0	下　50 接　50	
	②	6.5	下　40 接　60	2.0	素　90 接　10	
	③	2.2	接　100	3.0	素　100	
低溶剤形	①	2.0	下　10 接　90	2.5	素　50 下　40 接　10	
	②	2.0	下　70 接　30	試験実施せず		
	③	3.0	接　100	5.0	素　10 接　90	
	④	2.2	下　100	6.0	接　100	
	⑤	4.5	下　20 接　80	2.0	素　100	

素：素材、下:下塗、接：接着剤　からのそれぞれのはく離

図－3.4.1　水中部塗装系①の付着試験結果（ブラスト処理鋼板）

試験時期		浸せき２年後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所および面積比(%)	
溶剤形		3.0	素 100	
無溶剤形	①	4.5	素 80 下 20	
	②	2.0	接 100	
	③	3.0	素 100	
低溶剤形	①	2.5	素 50 接 50	
	②	1.0	素 100	
	③	1.0	素 100	
	④	4.0	接 100	
	⑤	1.0	素 100	

素：素材、下:下塗、接：接着剤　からのそれぞれのはく離

図－3.4.2　水中部塗装系①の付着試験結果（素地調整程度２種）

試験時期		浸せき２年後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所および面積比(%)	
溶剤形		3.0	素　100	
無溶剤形	①	4.0	下　100	
	②	3.0	下　60 接　40	
	③	4.0	素　60 下　40	
低溶剤形	①	6.0	素　20 下　20 接　50	
	②	2.5	素　50 下　50	
	③	2.5	下　100	
	④	3.5	下　100	
	⑤	1.0	素　100	

素：素材、下:下塗、接：接着剤　からのそれぞれのはく離

図－3.4.3　水中部塗装系②の付着試験結果（素地調整程度３種）

（２）温度勾配試験

図－3.4.4 に温度勾配試験結果を示す。

いずれの塗装系も７日後では異状はなかった。28 日後では、無溶剤形塗装系、低溶剤形塗装系共に膨れが発生しているものが多かったが、付着力はほとんどの仕様が２MPa 以上あり、良好な付着力を保っていた。

試験時期		７日後	２８日後			
評価項目		外観	外観	付着力 (MPa)	はく離箇所 および面積比(%)	
溶剤形		異状なし	異状なし	1.5	ジンク　100	
無溶剤形	①	異状なし	膨れ 2F	2.6	ジンク　100	
	②	異状なし	膨れ 4D	3.0	素　85 下塗　15	
	③	異状なし	異状なし	2.4	素　100	
低溶剤形	①	異状なし	膨れ 4F	2.8	ジンク　100	
	②	異状なし	膨れ 4MD	2.8	素　10 ジンク　90	
	③	異状なし	膨れ 8M	2.0	素　100	
	④	異状なし	膨れ 2	2.9	素　60 下塗　40	
	⑤	異状なし	膨れ 4MD	1.2	素　80 ジンク　20	

素：素材、ジンク：有機ジンクリッチペイント、下:下塗、接：接着剤

からのそれぞれのはく離

図－3.4.4　温度勾配試験結果

（3）おもり落下試験

図－3.4.5 におもり落下試験結果を示す。

なお、おもり落下試験後および塩水噴霧（SST）24 時間後の評価基準は以下の通りである。

(おもり落下試験後の割れ・はく離の評価基準)

○・・・割れ・はく離なし

△・・・部分的に、もしくは小さな割れ・はく離が見られる

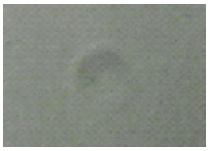
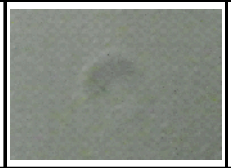
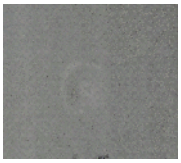
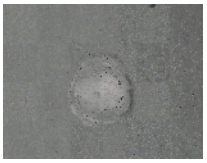
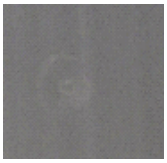
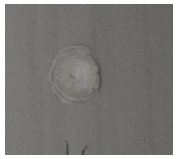
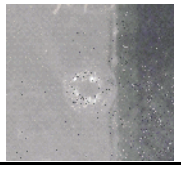
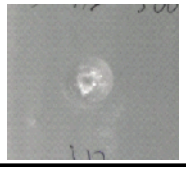
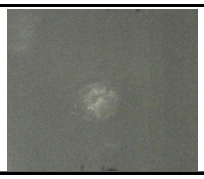
×・・・全体的に、もしくは大きな割れ・はく離が見られる

(塩水噴霧後のさびの評価基準)

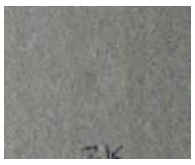
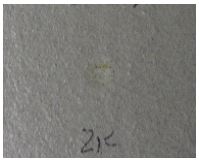
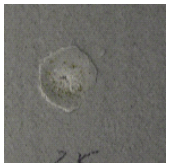
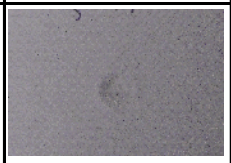
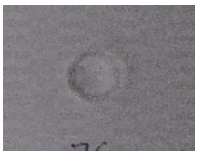
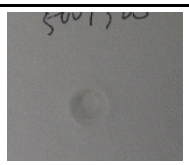
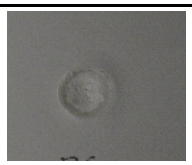
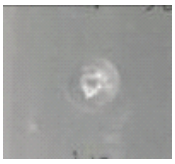
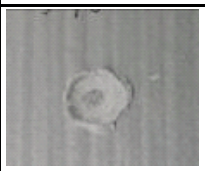
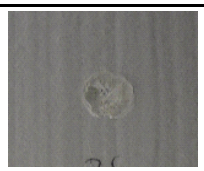
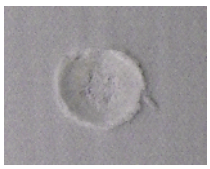
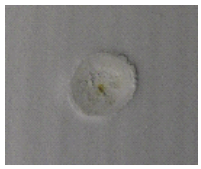
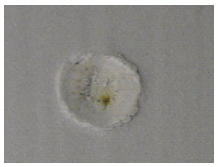
○・・・さびなし

△・・・わずかにさびあり

×・・・さびあり

試験時期		おもり落下試験後		SST24時間後	
試験条件		300ｇ/500mm	500ｇ/500mm	300ｇ/500mm	500ｇ/500mm
溶剤形					
		○	△	○	○
無溶剤形	①				
		○	△	○	○
	②				
		○	○	○	○
	③				
		○	○	○	○

図－3.4.5（1） おもり落下試験結果

試験時期		おもり落下試験後		SST24時間後	
試験条件		300ｇ/500㎜	500ｇ/500㎜	300ｇ/500㎜	500ｇ/500㎜
低溶剤形	①				
		○	△	○	○
	②				
		○	△	○	○
	③				
		△	△	○	○
	④				
		△	×	○	×
	⑤				
		△	×	△	△

図－3.4.5（2） おもり落下試験結果

300ｇのおもりを 500㎜ の高さから落下させた試験では、低溶剤形塗装系でわずかにはく離や割れが生じるものがあったが、ほとんどの仕様で異状はなく、溶剤形塗装系と同等の結果だった。また、はく離・割れが生じた塗装系も、塩水噴霧試験（SST）24 時間入によってさびが発生することはなかった。

500㎜の高さから500ｇのおもりを落下させたところ、溶剤形塗装系も含めて、わずかにはく離や割れが生じるものが多かった。試験後 SST によって、低溶剤形塗装系でさびが生じるものもあった。

（4）磨耗試験結果

表－3.4.4 に磨耗試験結果を示す。

無溶剤形塗装系、低溶剤形塗装系共に、溶剤形塗装系と比べ良好な耐磨耗性を示した。

表－3.4.4　磨耗試験結果

塗装系	質量損失（g）
溶剤形	0.130
無溶剤形①	0.075
無溶剤形②	0.046
無溶剤形③	0.070
低溶剤形①	0.118
低溶剤形②	0.084
低溶剤形③	0.071
低溶剤形④	0.111
低溶剤形⑤	0.099

（５） 屋外暴露試験結果

１）外観観察結果

表－3.4.5、表－3.4.6 に大気部塗装系①、表－3.4.7 に大気部塗装系②の屋外暴露２年までの外観観察結果を示す。

いずれの仕様も、一般部では異状は見られず良好だった。

カット部では、溶剤形塗装系と比較し、無溶剤形塗装系、低溶剤形塗装系はやや膨れ幅が大きいものも見られた。

表－3.4.5　大気部塗装系①の外観観察結果（ブラスト処理鋼板）

暴露期間	１年		２年	
評価部分	一般部	カット部	一般部	カット部
溶剤形	異状なし	異状なし	異状なし	膨れ 1mm
無溶剤形①	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 3mm
低溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	膨れ 3mm
低溶剤形②	異状なし	異状なし	異状なし	膨れ 2mm
低溶剤形③	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 5mm
低溶剤形④	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 3mm
低溶剤形⑤	異状なし	異状なし	異状なし	異状なし

＜大気部塗装系①＞

溶剤形　・・有機ジンク（75μm）～変性エポキシ（60μm×2）～
ふっ素用中塗（40μm）～ふっ素上塗（30μm）

無溶剤形①・・有機ジンク（75μm）～無溶剤形エポキシ（120μm）～
水性ふっ素用中塗（40μm）～水性ふっ素上塗（30μm）

低溶剤形①・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（150μm）～
アクリルシリコン樹脂中塗上塗兼用（55μm）

低溶剤形②・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（70μm×2）～
水性ふっ素用中塗（30μm）～水性ふっ素上塗（25μm）

低溶剤形③・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（70μm×2）～
ふっ素上塗（50μm）

低溶剤形④・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（120μm）～
水性ふっ素用中塗（40μm）～水性ふっ素上塗（30μm）

低溶剤形⑤・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（60μm）～
水性ふっ素用中塗（30μm）～水性ふっ素上塗（30μm）

表－3.4.6　大気部塗装系①の外観観察結果（素地調整程度２種）

暴露期間	１年		２年	
評価部分	一般部	カット部	一般部	カット部
溶剤形	異状なし	異状なし	異状なし	膨れ 1mm
無溶剤形①	異状なし	膨れ 2mm	異状なし	膨れ 5mm
低溶剤形①	異状なし	異状なし	異状なし	膨れ 3mm
低溶剤形②	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 4mm
低溶剤形③	異状なし	膨れ 2mm	異状なし	膨れ 9mm
低溶剤形④	異状なし	膨れ 3mm	異状なし	膨れ 7mm
低溶剤形⑤	異状なし	異状なし	異状なし	膨れ 1mm

＜大気部塗装系①＞

溶剤形　　・・有機ジンク（75μm）～変性エポキシ（60μm×2）～
ふっ素用中塗（40μm）～ふっ素上塗（30μm）

無溶剤形①・・有機ジンク（75μm）～無溶剤形エポキシ（120μm）～
水性ふっ素用中塗（40μm）～水性ふっ素上塗（30μm）

低溶剤形①・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（150μm）～
アクリルシリコン樹脂中塗上塗兼用（55μm）

低溶剤形②・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（70μm×2）～
水性ふっ素用中塗（30μm）～水性ふっ素上塗（25μm）

低溶剤形③・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（70μm×2）～
ふっ素上塗（50μm）

低溶剤形④・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（120μm）～
水性ふっ素用中塗（40μm）～水性ふっ素上塗（30μm）

低溶剤形⑤・・有機ジンク（75μm）～低溶剤形エポキシ（60μm）～
水性ふっ素用中塗（30μm）～水性ふっ素上塗（30μm）

表－3.4.7　大気部塗装系②の外観観察結果（素地調整程度３種）

暴露期間	１年		２年	
評価部分	一般部	カット部	一般部	カット部
溶剤形	異状なし	膨れ 2mm	異状なし	膨れ 3mm
無溶剤形①	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 2mm
低溶剤形①	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 5mm
低溶剤形②	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 2mm
低溶剤形③	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 2mm
低溶剤形④	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 3mm
低溶剤形⑤	異状なし	膨れ 1mm	異状なし	膨れ 2mm

＜大気部塗装系②＞

溶剤形　　・・変性エポキシ（60μm×2）～ふっ素用中塗（40μm）～
ふっ素上塗（30μm）

無溶剤形①・・無溶剤形エポキシ（120μm）～水性ふっ素用中塗（40μm）～
水性ふっ素上塗（30μm）

低溶剤形①・・低溶剤形エポキシ（150μm）～
アクリルシリコン樹脂中塗上塗兼用（55μm）

低溶剤形②・・低溶剤形エポキシ（70μm×2）～水性ふっ素用中塗（30μm）～
水性ふっ素上塗（25μm）

低溶剤形③・・低溶剤形エポキシ（70μm×2）～ふっ素上塗（50μm）

低溶剤形④・・低溶剤形エポキシ（120μm）～水性ふっ素用中塗（40μm）～
水性ふっ素上塗（30μm）

低溶剤形⑤・・低溶剤形エポキシ（60μm）～水性ふっ素用中塗（30μm）～
水性ふっ素上塗（30μm）

２）付着試験結果

図－3.4.6 および図－3.4.7 に大気部塗装系①のブラスト鋼板と素地調整程度２種、図－3.4.8に大気部塗装系②の素地調整程度３種の試験板の、屋外暴露前後の付着試験結果を示す。

いずれの塗装系も、暴露前後で２MPa 以上の付着力があり、良好な結果だった。

試験時期		暴露前		暴露２年後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所 (%)	付着力 (MPa)	はく離箇所 および面積比(%)	
溶剤形		3.0	下　90 中　10	3.5	素　95 下　5	
無溶剤形	①	7.0	－	7.0	－	
低溶剤形	①	3.0	接　100	3.5	下/中　90 接　10	
	②	3.0	下　60 中　30 接　10	5.5	下　60 中　40	
	③	7.0	－	4.0	接　100	
	④	7.0	－	5.5	下　100	
	⑤	3.0	ジンク 30 中　40 接　30	3.5	下　100	

素：素材、ジンク：有機ジンクリッチペイント、下:下塗、下/中：下塗と中塗の層間、接：接着剤からのそれぞれのはく離

図－3.4.6　大気部塗装系①の付着試験結果（ブラスト鋼板）

試験時期		暴露前		暴露２年後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所 (%)	付着力 (MPa)	はく離箇所 および面積比(%)	
溶剤形		3.0	下　85 中　15	4.0	ジンク 20 中　10 接　70	
無溶剤形	①	6.0	下　80 下/中　20	7.0	－	
低溶剤形	①	4.0	接　100	3.0	下/中　90 接　10	
	②	4.0	下　70 中　30	5.0	下　90 中　10	
	③	7.0	接　100	7.0	－	
	④	4.0	下　90 中　10	5.5	下　90 下/中　10	
	⑤	4.0	ジンク 50 中　10 接　40	2.5	接　100	

素：素材、ジンク：有機ジンクリッチペイント、下:下塗、下/中：下塗と中塗の層間、接：接着剤からのそれぞれのはく離

図－3.4.7　大気部塗装系①の付着試験結果（素地調整程度２種）

試験時期		暴露前		暴露２年後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所 (%)	付着力 (MPa)	はく離箇所 および面積比(%)	
溶剤形		3.0	下　100	6.5	下　100	
無溶剤形	①	5.0	接　100	7.0	下　50 下/中　50	
低溶剤形	①	2.5	接　100	2.5	下/中　90 接　10	
	②	6.0	下　70 中　30	5.0	素　5 下　60 下/中　30 中/上　5	
	③	7.0	－	4.0	下　100	
	④	7.0	－	3.5	素　10 下　40 下/中　50	
	⑤	2.6	素　40 下　30 中　10 接　20	2.5	中/上　30 接　70	

素：素材、下:下塗、下/中：下塗と中塗の層間、中/上：中塗と上塗の層間、接：接着剤からのそれぞれのはく離

図－3.4.8　大気部塗装系②の付着試験結果（素地調整程度３種）

（6） 複合サイクル腐食試験結果

1）外観観察結果

図－3.4.9 に複合サイクル腐食試験 200 サイクルの結果を示す。

塗装系	一般部	カット部	試験後写真
溶剤形	異状なし	膨れ 6mm	
無溶剤形①	異状なし	膨れ 8mm	
低溶剤形①	異状なし	膨れ 3mm	
低溶剤形②	膨れ８F	膨れ 9mm	
低溶剤形③	異状なし	膨れ 8mm	
低溶剤形④	異状なし	膨れ 11mm	
低溶剤形⑤	膨れ 8F	膨れ 12mm	

図－3.4.9　複合サイクル腐食試験結果（200 サイクル）

一般部では、低溶剤形塗装系でわずかに膨れが発生していた他は、無溶剤形塗装系、低溶剤形塗装系共に、溶剤形塗装系とほぼ同等だった。

カット部では、溶剤形塗装系と比較し、無溶剤形塗装系、低溶剤形塗装系共にやや膨れ幅が大きかった。

2）付着力試験結果

図－3.4.10 に、複合サイクル 200 サイクル後の付着力試験結果を示す。

低溶剤形塗装系で、付着力が小さいものがあった。

試験時期		200 サイクル後		
評価項目		付着力 (MPa)	はく離箇所 および面積比(%)	
溶剤形		3.0	素 90 接 10	
無溶剤形	①	3.0	下/中 50 接 50	
低溶剤形	①	1.5	接 100	
	②	3.5	下 100	
	③	1.0	素 100	
	④	3.0	下 90 接 10	
	⑤	1.0	素 100	

素：素材、下:下塗、下/中：下塗と中塗の層間、接：接着剤　からのそれぞれのはく離

図－3.4.10　複合サイクル腐食試験（200 サイクル）後の付着試験結果

３．５　まとめ

無溶剤形エポキシ樹脂塗料、低溶剤形エポキシ樹脂塗料を使用した VOC 削減塗装系の塗膜性能試験を実施した。

水中部用塗装系については、耐水性、耐衝撃性、耐磨耗性において現行の溶剤形塗装系と比べ、一部、耐水性で劣る塗装系も見られたが、ほぼ同等の性能を有していることがわかった。

大気部塗装系については、現行の溶剤形塗装系と防食性はほぼ同程度であることが明らかとなった。

４．結論

VOC 削減塗料の河川構造物の現場塗装への適用の検討として、現行の溶剤形エポキシ樹脂塗料を比較として、無溶剤形エポキシ樹脂塗料および低溶剤形エポキシ樹脂塗料を評価した結果と、今後の課題を以下にまとめた。

４．１　VOC 削減塗料に関する試験結果

（１）施工性

無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、常温以上での可使時間の短さや低温での粘度の高さ、塗膜の硬化乾燥が遅いことが大きな特徴であることがわかった。このため、塗料の取り扱いや塗装作業は、従来の溶剤形エポキシ樹脂塗料より劣ることが明らかとなった。したがって、河川構造物の現場での全面および部分塗替をはけ・ローラーで塗装することは、塗装効率や作業効率を考慮すると困難と思われる。同様のことが一般的なエアレススプレー塗装についても言えると思われる。

また、電子制御混合式のエアレススプレー塗装は、はけ・ローラー塗装と比較して、可使時間を考慮せずに施工できることがわかったが、一方で、塗料混合の不確実性やそのことに起因する塗膜の硬化不良が発生する可能性があることがわかった。

したがって、電子制御混合式のエアレススプレー施工の際は、塗装機や使用材料の特徴を十分に把握し、健全な塗膜が得られることを確認した上で実施しなければならない。また、塗装機や周辺機器を設置するための敷地の確保も必要である。さらに、エアレススプレー施工の場合は、塗料の飛散により周辺環境を汚染等しないようにする配慮が必要である。特に河川構造物への塗装では、河川水を汚染しないよう、スプレーされた塗料の飛散防止のための十分な養生が欠かせない。このように、電子制御混合式エアレススプレー塗装においても、施工管理や周辺環境への配慮など、現場での塗替塗装では、現実的に困難なことが多いことがわかった。

低溶剤形エポキシ樹脂塗料は無溶剤形エポキシ樹脂塗料より施工性は良好で、河川構造物の現場での塗替においても、はけ・ローラー塗装は可能である。ただし従来の溶剤形エポキシ樹脂塗料と比べ、可使時間は短いことや仕上がり外観がやや劣ることは、VOC削減塗料という配合上の特徴から不可避であることに留意する必要がある。

（２）　塗膜性能

無溶剤形エポキシ樹脂塗料および低溶剤形エポキシ樹脂塗料共に、塗膜性能は現在までの試験結果からは、従来のエポキシ樹脂塗料と同等の性能を有している。

ただし、無溶剤形エポキシ樹脂塗料および低溶剤形エポキシ樹脂塗料の本研究での試験については、長期試験データが蓄積されていないため、今後も継続的な検討が必要である。

（３）まとめ

河川構造物の現場での塗替塗装の VOC 削減には、現行のエポキシ樹脂塗料に対し、低溶剤形エポキシ樹脂塗料を適用するのが適当である。

無溶剤形エポキシ樹脂塗料の適用は、現場塗装の施工性の観点から、現時点での適用は困難である。

４．２　今後の課題

低溶剤形エポキシ樹脂塗料は、溶剤形エポキシ樹脂塗料と比較して仕上がり外観に劣るため、塗料の改善が求められる。また、塗装時に使用したはけ・ローラーの洗浄にはシンナーを使用しなければならいことは、現行のエポキシ樹脂塗料を使用する場合と変わらない。現場塗装において更なる VCO 削減を実現するためには、使用したはけ・ローラーを持ち帰り、VOC 排出を抑制できる作業所内で洗浄するなど、使用者側からの対策が求められる。

無溶剤形エポキシ樹脂塗料は、施工性向上のために、材料面、施工面から改善が必要である。材料面では、可使時間の短さや低温での粘度上昇による施工性の低下などが課題として挙げられる。また、施工面、特にスプレー塗装においては、施工管理の徹底や無溶剤形塗料の特徴にも対応できる塗装機の開発が急がれる。

５．VOC 削減塗装仕様の提案と適用

今後の河川構造物の現場塗替塗装について、VOC 削減提案塗装仕様を表－5.1～表－5.3に、塗料規格（案）を表－5.4 にまとめた。また、VOC 削減提案塗装仕様の適用にあたって留意すべき点を以下にまとめた。

- 低溶剤形エポキシ樹脂塗料は、塗装時の気温により標準用（使用温度 10℃以上）と低温用（使用温度５℃～20℃）を使い分けること。
- 水中部仕様の素地調整程度３種については、その耐久性が旧塗膜の状態に影響を受けるため、現時点では、VOC 削減塗装仕様を提案することはできなかった。
- 旧塗膜が塩化ゴム系塗料の場合は、必ず旧塗膜を除去することが必要である。これは、低分子量のエポキシ樹脂と低分子量のアミンの反応硬化で得られる低溶剤形エポキシ樹脂塗料の塗膜は、硬化収縮が大きく硬いことが特徴であり、これらが塩化ゴム系塗膜の上に塗装された場合、塗装時にちぢみや、塗装後に割れが発生する可能性があるためである。

表－5.1　水中部仕様（素地調整程度１種）（VOC 削減率 50%程度）

工　　程	塗料一般名 （標準使用量　塗装方法）	塗り重ね時間 （23℃）	（参考膜厚） （μm）
素地調整	１種		
１層目	有機ジンクリッチペイント （300 g/㎡　はけ・ローラー） （700 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（37.5　はけ･ローラー） （75　エアレス）
２層目	有機ジンクリッチペイント （300 g/㎡　はけ･ローラー）	１日～10 日	（37.5　はけ･ローラー）
３層目	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （350 g／㎡　はけ・ローラー） （460 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（120）
４層目	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （350 g／㎡　はけ・ローラー） （460 g/㎡　エアレス）	―	（120）

エアレススプレー塗装の時は、有機ジンクリッチペイントは 75μm／回とする。

表－5.2　大気部仕様（素地調整程度１種）（VOC 削減率 50%程度）

工　　程	塗料一般名 （標準使用量）	塗り重ね時間 （23℃）	（参考膜厚） （μm）
素地調整	１種		
１層目	有機ジンクリッチペイント （300 g/㎡　はけ・ローラー） （700 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（37.5　はけ･ローラー） （75　エアレス）
２層目	有機ジンクリッチペイント （300 g/㎡　はけ･ローラー）	１日～10 日	（37.5　はけ･ローラー）
３層目	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （350 g/㎡　はけ・ローラー） （460 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（120）
４層目	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 （180 g/㎡　はけ･ローラー） （240 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（40）
５層目	水性ふっ素樹脂塗料上塗 （140 g/㎡ はけ･ローラー） （180 g/㎡　エアレス）	―	（30）

エアレススプレー塗装の時は、有機ジンクリッチペイントは 75μm／回とする。

表－5.3　大気部仕様（素地調整程度３種）（VOC 削減率 60%程度）

工　　程	塗料一般名 （標準使用量）	塗り重ね時間 （23℃）	（参考膜厚） （μm）
素地調整	３種		
補修塗装	変性エポキシ樹脂塗料 （120 g/㎡　はけ・ローラー）	４時間以内	（－）
１層目	低溶剤形エポキシ樹脂塗料 （350 g/㎡　はけ・ローラー） （460 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（120）
２層目	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 （180 g/㎡　はけ･ローラー） （240 g/㎡　エアレス）	１日～10 日	（40）
３層目	水性ふっ素樹脂塗料上塗 （140 g/㎡ はけ･ローラー） （180 g/㎡　エアレス）	―	（30）

低溶剤形エポキシ樹脂塗料規格（案）

１．適用範囲

この規格は、鋼構造物及び建築物などの金属用のポリアミド、アミンアダクト、イソシアネートなどを硬化剤とする、２液形の低溶剤形エポキシ樹脂塗料について規定する。

２．適用温度

適用温度を以下の通り規定する。

Ａ：10℃以上で使用するもの

Ｂ：5～20℃程度で使用するもの

３．品質

表-5.4 の通り、品質を規定する

表－5.4　低溶剤形エポキシ樹脂塗料の品質

	評価項目	試験方法	品　　質
共通	可使時間	JIS K 5600-2-6 による	A：３時間まで使用できる（23℃） B：３時間まで使用できる（5℃）
	塗装作業性	JIS K 5600-1-1 の 4.2 による	はけ塗りおよびエアレス塗装作業性に支障がないこと
	加熱残分	JIS K 5601-1-2 による	最大希釈時の加熱残分が 70%（質量）以上であること
	乾燥時間	JIS K 5600-1-1 の 4.3.5 ｂ）半硬化乾燥による	Ａ：24 時間以内（23℃） Ｂ：24 時間以内（5℃）
水中部用	耐水性	温度勾配 (20℃/40℃×1 週間)	塗膜に膨れ、はがれがないこと
	耐衝撃性	JIS K 5600-5-3 による デュポン式衝撃試験 （300ｇ/500mm）	塗膜に割れ、はがれがないこと。ただし､割れ･はがれが生じても､SST24 時間でさびが生じなければよい。
	耐磨耗性	JIS K 5600-5-9 による テーバー磨耗試験 （1000rpm･CS17･1kg×2）	質量損失が 0.15mg 以下であること
大気部用	促進耐食性	土研式 CCT	200 サイクルで、一般部にさび・膨れがないこと

第Ⅱ編　付属資料

資料Ⅱ－１　屋外暴露試験・水中浸せき試験

資料Ⅱ－２　付着試験装置

資料Ⅱ－３　温度勾配試験装置

資料Ⅱ－４　おもり落下試験装置（デュポン式）

資料Ⅱ－５　摩耗試験装置

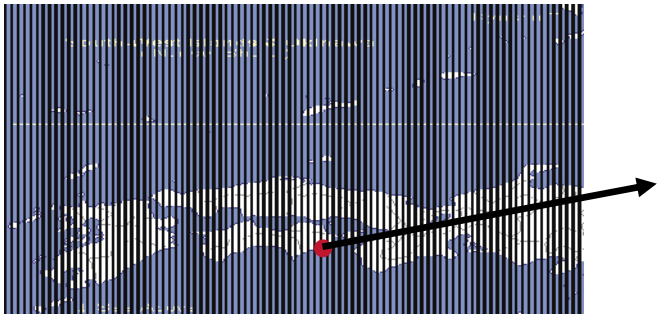
資料Ⅱ－６　複合サイクル試験装置

屋外暴露試験・水中浸せき試験

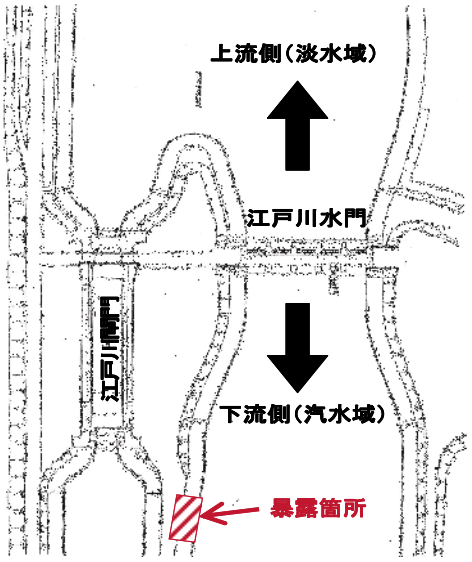
解析用途

大気環境、および没水環境に直接試験片(塗膜)をさらして、自然の環境から受ける影響(紫外線・酸素・水分・温度など)に対する抵抗性(耐久性)を確認する。

暴露場所



国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所
江戸川河口出張所構内

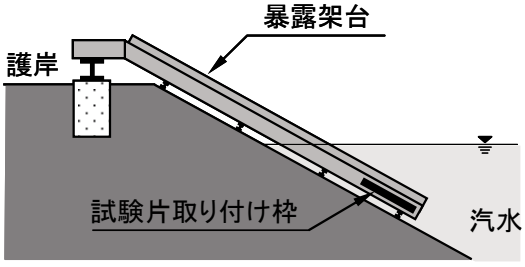




浸せき試験（下流側汽水域）



屋外暴露試験（江戸川水閘門付近）



浸せき試験暴露架台の設置状況

関連 JIS 規格：
JIS K 5600-7-6「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第６節：屋外暴露耐候性」

付着試験装置

解析用途

塗膜面に端子(ドリー)を接着剤で接着し、垂直引張力による引張試験を行い、塗膜の付着力を確認する。

装　　置

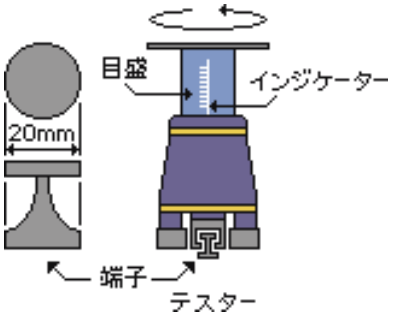


形式：Elcometer 106 プルオフ式引張試験機
製造：英国エルコメーター社



接着端子：ドリー　(直径 20㎜)

試験方法



①塗膜の測定位置をサンドペーパー(#240 程度)で軽く研磨して清浄にする。
②接着剤(2 液のエポキシ樹脂系)を端子(ドリー)に塗り、塗膜の測定位置に押し付け、貼り付ける。
③接着剤が固化した後、端子(ドリー)周辺に沿って、塗膜にカッターなどで素地に達する切込みを入れる。
④プルオフ式引張試験機(アドヒージョンテスター)で端子(ドリー)を引きはがし、そのときの引張力を読む。
⑤引張力(MPa)を記録すると同時に、剥離した塗膜層とその比率を記録する。
(例えば、素地／第一層:20%, 第一層／第二層:60%, 最終層／端子:20%など)

関連 JIS 規格：
JIS K 5600-5-7「塗料一般試験方法　第５部：塗膜の機械的性質　第７節：付着性（プルオフ法)」

温度勾配試験装置

解析用途

水に浸せきした塗装試験鋼板の塗装試験面と裏面の温度に勾配を設け、高温側から低温側に働く熱浸透圧に対する塗膜の抵抗性（膨れなど）を確認する。

装　　置



制御盤と水槽部



試験板取り付けボックス部

測定原理

鋼板に塗装された塗膜が水に浸され、水に接する側の塗膜温度と鋼板に接する側の塗膜の温度が異なる場合、高温側から低温側に向かう熱浸透圧が働いて、塗膜膨れの生成が促進される。この温度勾配による浸透圧は次式で表される。

$$\Pi = K \times (T_H - T_L) / T_L$$

Π　：　浸透圧
K　：　塗膜により異なる定数
T_H　：　高温側の温度
T_L　：　低温側の温度

上式より、塗膜を同じにして測定した場合、温度差が大きいほど、また、低温側の温度が低いほど、温度差による浸透圧は、大きくなることがわかる。標準的な条件としては、試験板取り付けボックスの内側を４０℃、外側を２０℃とし、試験面をボックス内向きに取り付ける。

おもり落下試験装置（デュポン式）

解析用途

乾燥塗膜におもりを落下させたときの変形による、割れおよび素地からのはく離を評価する。

装　　置





測定原理

先端に一定の丸みをもつ型と、その丸みに合うくぼみをもつ受け台に試験板を挟み、おもりを一定の高さから落下させる

関連 JIS 規格：

JIS K 5600-5-3「塗料一般試験方法　第５部:塗膜の機械的性質－第３節:耐おもり落下性」

摩耗試験装置

解析用途

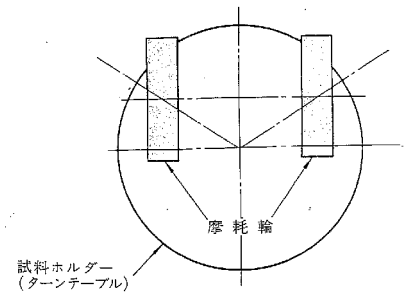
乾燥塗膜の表面を回転する摩耗輪によって摩耗させ、その塗膜の耐摩耗性を測定する。

装　　置



装置名：ROTARY ABRASION TESTER
製造　：㈱東洋精機製作所

測定原理



2 個の摩耗輪がターンテーブルに配置され、回転する摩耗輪によって塗膜表面が摩耗する。摩耗輪には、規定の荷重をかけることができ、耐摩耗性は規定回転数の摩耗を受けたときの塗膜の摩耗減量、または塗膜がはがれて下層塗膜、もしくは素材表面に達するのに必要な回転数として求められる。

関連 JIS 規格：

JIS K 5600-5-9「塗料一般試験方法　第 5 部:塗膜の機械的性質－第 9 節:耐摩耗性(摩耗輪法)」

複合サイクル試験装置

解析用途

塩水噴霧・乾燥・湿潤のサイクル試験環境に直接試験片(塗膜)をさらして、塩分・酸素・水分・温度などに対する抵抗性(防食性)を確認する。

装　　置





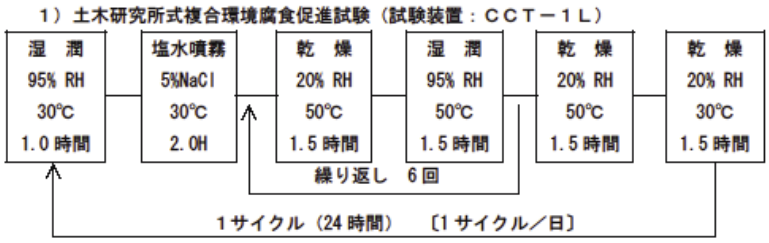
型式：ＣＣＴ－１Ｌ（スガ試験機㈱製）

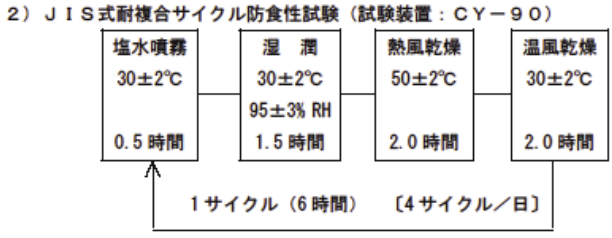




型式：ＣＹ－９０（スガ試験機㈱製）

試験条件





関連 JIS 規格：

JIS K 5600-7-9「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性　第９節：サイクル腐食試験方法－塩水噴霧/乾燥/湿潤」

第Ⅲ編　水性塗料 WG 編

水性塗料ワーキンググループ

	守屋　　進	土木研究所
	冨山　禎仁	土木研究所
主査	山本　基弘	大日本塗料（株）
委員	浜村　寿弘	関西ペイント（株）
	後藤　宏明	関西ペイント（株）
	木村　武久	（株）トウペ
	内藤　義巳	神東塗料（株）
	大山　博昭	神東塗料（株）
	斉藤　　誠	中国塗料（株）
	中村　宏之	日本ペイント（株）
	藤城　正樹	日本ペイント（株）
	松本　剛司	大日本塗料（株）

１．共同研究の概要

１．１　目的

鋼構造物塗装における VOC 排出量の大幅な削減を実現するために、新設塗装、塗替塗装各々について「鋼道路橋塗装・防食便覧」の C-5 塗装系、Rc-Ⅰ塗装系、Rc-Ⅲ塗装系と同等の性能を有する水性塗装系を構築することを目標として、水性塗装系の塗膜性能試験、長期耐久性試験、施工性試験を行い、実用性の総合評価を実施し、鋼道路橋塗装の VOC削減塗装仕様の提案を行うことを目的とする。

１．２　目標の設定

表－1.2.1 に示す「目標性能」の達成を目指す。

表－1.2.1　目標性能

項目	試験内容	目標性能
塗膜性能	複合サイクル腐食試験	C-5 塗装系同等以上
	塗膜の水蒸気透過性	
	塗膜の酸素透過係数	
	塗膜の直流抵抗	
	促進耐候性試験	
VOC 量	沸点 260℃以下の物質の含有量	C-5 塗装系と比較して、VOC 削減率 90%程度
塗装作業性（施工性）	夏季および冬季における施工性	塗装作業に支障がなく、目標の塗膜性能を有した塗膜が得られること。

１．３　共同研究内容

鋼構造物の新設塗装方法、塗替塗装各々について、塗料メーカー共通の提案水性塗装系を設定し、塗膜性能試験、長期耐久性試験、施工性評価を実施した。表－1.3.1 に共同研究内容の経緯を示した。

一次試験は、塗料メーカー６社から提案された水性塗装系の塗膜性能試験であり、二次試験は、追加で提案された水性塗装系の塗膜性能試験である。

表－1.3.1　共同研究内容の経緯

	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年
目標の設定	→				
試験板の作製	→	→			
塗膜性能試験					
・一次試験		→	→	→	→
・二次試験			→	→	→
施工性試験					
・予備検討				→	
・夏季施工性試験				→	
・冬季施工性試験					→
・塗料課題の検討					→

１．４　提案水性塗装系と VOC 削減率

「鋼道路橋塗装・防食便覧」の C-5 塗装系、Rc-Ⅰ塗装系、Rc-Ⅲ塗装系に対応させて塗料メーカー６社から提案された水性塗装系の VOC 削減率(%)を表－1.4.1～表－1.4.3 に示す。

新設塗装用水性塗装系 No.B1 は、C-5 塗装系の塗膜性能を目標とするもので、VOC 削減率は約 90%程度が期待できる。

無機ジンクリッチペイントのみ溶剤形塗料を適用した新設塗装用水性塗装系 No.B2 は、C-5 塗装系の塗膜性能を目標とするもので、VOC 削減率は約 70%程度が期待できる。

塗替塗装用（素地調整程度１種）水性塗装系 No.B3 は、Rc-Ⅰ塗装系の塗膜性能を目標とするもので、VOC 削減率は約 90%程度が期待できる。

塗替塗装用（素地調整程度３種）水性塗装系 No.B4 は、Rc-Ⅲ塗装系の塗膜性能を目標とするもので、VOC 削減率は約 90%程度が期待できる。

表－1.4.1　新設塗装用水性塗装系と VOC 削減率

塗装系 No.	B8	B1						B2					
塗装系の内容	C-5 塗装系（比較）	完全水性塗装系						無機ジンクリッチペイントのみ溶剤形塗料を適用した水性塗装系					
防食下地	溶剤形無機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m²)	水性無機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m²)						溶剤形無機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m²)					
ミストコート	溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 (160g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 (160g/m²)						水性エポキシ樹脂塗料下塗 (160g/m²)					
下塗1層目	溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 120μm (540g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m²)						水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m²)					
下塗2層目		水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m²)						水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (240g/m²)					
中塗	溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m²)						水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m²)					
上塗	溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m²)						水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m²)					
合計膜厚（μm）	250	250						250					
塗料会社 No.	比較	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
VOC 量 (g/m²)	775	57	64	25	34	54	62	201	238	193	196	222	193
VOC 削減率 (%)	―	92	91	96	95	93	92	74	69	75	74	71	75

*)VOC 量は、「鋼道路橋塗装・防食便覧」に規定されているエアレス塗装での最大希釈率を適用して算出。

表－1.4.2　塗替塗装用（素地調整程度１種）水性塗装系と VOC 削減率

塗装系 No.	B9	B3					
塗装系の内容	Rc-Ⅰ塗装系（比較）	完全水性塗装系					
防食下地	溶剤形有機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m²)	水性有機ジンクリッチペイント 75μm (600g/m²)					
下塗１層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 60μm(240g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm(240g/m²)					
下塗２層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 60μm(240g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm(240g/m²)					
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(170g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(170g/m²)					
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(140g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(140g/m²)					
合計膜厚（μm）	250	250					
塗料会社 No.	比較	①	②	③	④	⑤	⑥
VOC 量 (g/m²)	556	58	83	16	35	76	42
VOC 削減率 (%)	－	89	85	97	93	86	92

*)VOC 量は、「鋼道路橋塗装・防食便覧」に規定されているエアレス塗装での最大希釈率を適用して算出。

表－1.4.3　塗替塗装用（素地調整程度３種）水性塗装系と VOC 削減率

塗装系 No.	B10	B4					
塗装系の内容	Rc-Ⅲ塗装系（比較）	完全水性塗装系					
補修塗り（鋼材露出部）	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)					
下塗 1層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)					
下塗 2層目	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)					
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (170g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm (200g/m²)					
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm (140g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm (140g/m²)					
合計膜厚（μm）	235	235					
塗料会社 No.	比較	①	②	③	④	⑤	⑥
VOC 量 (g/m²)	347	53	58	11	30	49	34
VOC 削減率 (%)	－	84	83	96	91	85	90

*)VOC 量は、「鋼道路橋塗装・防食便覧」に規定されているはけ・ローラー塗装での最大希釈率を適用して算出。

２．新設用塗装系の塗膜性能試験

２．１　概要

提案の水性塗装系について、溶剤形塗装系を比較として、耐久性試験および塗膜特性試験を表－2.1.1 に示す各試験方法により実施した。

表－2.1.1　試験項目と試験方法

試験項目		試験目的	試験方法	備考
耐久性試験	屋外暴露試験	耐候性、防食性	沖縄暴露	資料Ⅲ－１
			つくば暴露	
	促進劣化試験	防食性	土研式複合サイクル腐食試験	資料Ⅲ－２
			JIS 式複合サイクル腐食試験（JIS K 5600-7-9）	
		耐候性	キセノンランプ法（JIS K 5600-7-7）	資料Ⅲ－３
		耐水性	耐湿性試験（JIS K 5600-7-2）	資料Ⅲ－４
		冷熱繰返し性	耐湿潤冷熱繰返し性試験（JIS K 5600-7-4）	資料Ⅲ－５
	塗膜表面観察	表面状態変化	電子顕微鏡観察	資料Ⅲ－６
			IR による組成変化	
塗膜特性試験		電気特性	インピーダンス法	資料Ⅲ－７
			直流抵抗値	資料Ⅲ－８
		環境遮断性	酸素透過性	資料Ⅲ－９
			透湿度	資料Ⅲ－10
		塗膜物性	塗膜伸び率（破断歪み）	資料Ⅲ－11
			塗膜破断強度（破断応力）	
			応力緩和能	

２．２　試験方法

２．２．１　屋外暴露試験

（１）試験目的と試験場所

塗膜の耐候性と防食性を確認するために、環境・気象条件が異なる下記の屋外暴露試験場で屋外暴露試験を実施した。詳細内容については、資料Ⅲ－１（屋外暴露試験）に示す。

①亜熱帯／海浜地区の沖縄県大宜味村：沖縄建設材料耐久性試験施設（沖縄暴露場）

②温帯環境／内陸地区の茨城県つくば市：独立行政法人土木研究所建設材料研究施設（つくば暴露場）

（２）試験板作製方法

１）試験板

試験板は、JIS K 5600-1-4 に規定された材料（鋼板の厚さ 3㎜以上は JIS G 3101 に規定する SS400）をブラスト処理した鋼板（300㎜×200㎜×3.2㎜）とした。ブラストの条件は、防錆度：ISO 8501-1 Sa2 1/2、研掃材：グリッド、表面粗さ：25μmRZjis 目標で実施した。

（注）RZjis（十点平均粗さ）について

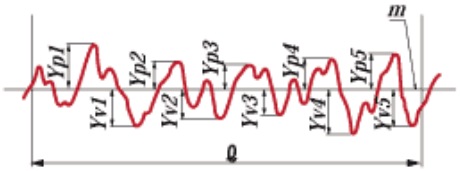
表面粗さに関する JIS 規格は、国際規格に整合化することを目的として、2001 年に JIS B 0601を含む規格が改正され、旧規格の最大高さ Ry が、高さ方向の軸であることから最大高さ Rz に変更された。十点平均粗さ Rz は規格から削除され、旧規格の十点平均粗さ Rz を RZjis として区別することとなった。

（Rzjis の求め方）JIS B 0601-1994 解説より

粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さだけを抜き取り、この抜き取り部分の平均線から縦倍率の方向に測定した、最も高い山頂から 5 番目までの山頂の標高（Yp）の絶対値の平均値と、最も低い谷底から 5 番目までの谷底の標高（Yv）の絶対値の平均値との和を求め、この値をマイクロメートル（μm）で表したものをいう。

$$Rzjis = \frac{(Yp1+Yp2+Yp3+Yp4+Yp5)+(Yv1+Yv2+Yv3+Yv4+Yv5)}{5}$$

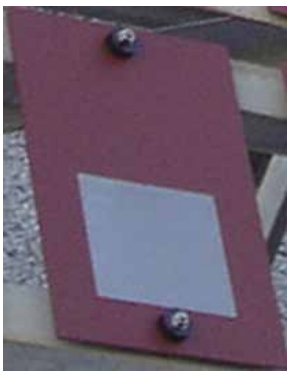
（求め方の例）



Yp1,Yp2,Yp3,Yp4,Yp5：基準長さ ℓに対する抜き取り部分の、最も高い山頂から 5 番目まで の山頂の標高

Yv1,Yv2,Yv3,Yv4,Yv5 ：基準長さ ℓに対する抜き取り部分の、最も低い谷底から 5 番目までの谷底の標高

屋外暴露試験には、上記のブラスト処理鋼板および旧塗膜・さび混在塗装鋼板を用いた。旧塗膜・さび混在塗装鋼板は、塗替塗装用水性塗装系の評価に使用するため、ブラスト処理鋼板に無塗装部も設定し、JIS K 5621 の一般さび止め塗料を塗装し、12～5 月の半年間、沖縄暴露場で屋外暴露し作製した（図－2.2.1）。この旧塗膜・さび混在塗装鋼板を１種、２種、３種の各程度の素地調整を実施し、各試験に供した。

暴露開始前	暴露後
	

図－2.2.1　旧塗膜・さび混在塗装鋼板の状態

２)塗装

「鋼道路橋塗装・防食便覧」の C-5 塗装系、Rc-Ⅰ塗装系、Rc-Ⅲ塗装系に対応させて各塗料メーカーが提案した水性塗装系に準じて、第１層から最終層までを各々規定膜厚になるようにスプレー塗りで塗装した。各工程の塗装間隔は、無機ジンクリッチペイント塗装後は２日以上、その他の工程では、１日以上とし、最終工程の上塗りの色は白（N-9.5 近似）とした。

（３）評価項目と方法

試験前（初期）および試験開始後定期的に下記の項目について評価をした。

１）塗膜外観観察

①一般部：目視観察にて、膨れ、さび、割れ、はがれなどの塗膜欠陥の有無を評価した。欠陥がある場合はその程度も調べた。評価基準は ASTM D-610、ASTM D-714 に準じた。

②カット部：カット部からの膨れ幅（片側侵入幅で最大値を記録）を評価した。膨れの形状は、外観記録した。

２）塗膜表面観察

塗膜の表面状態を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察し、表面樹脂の劣化状態を、フーリエ変換型赤外分光光度計（FT-IR）を用いて ATR 法で測定した。

３）付着性

テープ付着試験（碁盤目法・5mm 升目 9 目）で付着性（テープはく離後の残存目数）を、引張付着試験（プルオフ法）で付着強度を測定した。

４）光沢度

光沢計（BYK ガードナー：マイクロトリグロス）60°、20°を用いて塗膜の水洗前後の 60 度光沢度を測定し、塗膜の光沢保持率を測定した。３点測定し、その平均値を測定値とした。

５）色差

色差計（コニカミノルタ：CR-300）を用いて塗膜の水洗前後の L^*、a^*、b^*を測定し、色差（ΔE^*_{ab}）を求めて色の変化度合いとした。３点測定し、その平均値を測定値とした。

６）インピーダンス

インピーダンスメータ（三田無線研究所：D-55Ａ）を用いて塗膜の交流抵抗、静電容量を測定・評価した。測定方法や測定原理の詳細内容は、資料Ⅲ－７（インピーダンス試験装置）に示す。

７）直流抵抗値

高抵抗計（Keithley：Model6517A）を用いて直流抵抗値を測定・評価した。測定方法や測定原理の詳細内容は、資料Ⅲ－８（塗膜抵抗測定装置）に示す。

２．２．２　複合サイクル腐食試験（Combined Cyclic Corrosion Test、以下 CCT と記す）

（１）試験目的と試験方法

塗膜の防食性を短時間で評価するために、塩水噴霧・乾燥・湿潤のサイクル試験環境で

の耐久性を確認した。試験条件が異なる土木研究所式と JIS 式の２つの試験を行った。詳細内容については、資料Ⅲ－２（複合サイクル試験装置）に示す。

（２）試験板作製方法

試験片は、２．２．１（２）に準じて作製した。なお、ブラスト処理試験片の寸法を150㎜×70㎜×3.2㎜とした。

（３）評価項目と方法

試験前（初期）および試験開始後定期的に下記の項目について評価した。

１）塗膜外観観察

①一般部：目視観察にて、膨れ、さび、割れ、はがれなどの塗膜欠陥の有無を評価した。欠陥がある場合は、その程度も調べた。評価基準は ASTM D-610、ASTM D-714 に準じた。

②カット部：カット部からの膨れ幅（片側侵入幅で最大値を記録）を評価した。

２）付着性

引張付着試験（プルオフ法）にて付着強度を測定した。

２．２．３　促進耐候性試験

（１）試験目的と試験方法

塗膜の促進耐候性試験はキセノンランプ法で試験した。試験装置はキセノンウェザーメーター（スガ試験機：SX2-75）を用いた。詳細内容については、資料Ⅲ－３（促進耐候性試験装置）に示す。

（２）試験板作製方法

試験片は、２．２．１（２）に準じて作製した。なお、ブラスト処理試験片の寸法を150㎜×70㎜×3.2㎜とした。

（３）評価項目と方法

光沢度および色差について、試験前（初期）および試験開始後定期的に測定し、評価を行った。

２．２．４　耐湿性試験

（１）試験目的と試験方法

耐湿性試験装置を用いて、塗膜の連続結露に対する抵抗性を評価した。詳細内容については、資料Ⅲ－４（耐湿性試験装置）に示す。

（２）試験板作製方法

試験片は、２．２．１（２）に準じて作製した。なお、ブラスト処理試験片の寸法を150㎜×70㎜×3.2㎜とした。

（３）評価項目と評価方法

１）塗膜外観観察

目視観察にて、膨れ、はがれ、割れ、さびなどの塗膜欠陥の有無を評価した。欠陥がある場合は、その程度も調べた。評価基準は ASTM D-610、ASTM D-714 に準じた。

２．２．５　耐湿潤冷熱繰返し性試験

（１）試験目的と試験方法

耐湿潤冷熱繰返し性試験装置を用いて、塗膜の冷熱繰返しに対する抵抗性を評価した。詳細内容については、資料Ⅲ－５（耐湿潤冷熱繰返し性試験装置）に示す。

（２）試験板作製方法

試験片は、２．２．１（２）に準じて作製した。なお、ブラスト処理試験片の寸法を150㎜×70㎜×3.2㎜とした。

（３）評価項目と評価方法

１）塗膜外観観察

目視観察にて、膨れ、はがれ、割れ、さびなどの塗膜欠陥の有無を評価した。欠陥がある場合は、その程度も調べた。評価基準はASTM D-610、ASTM D-714に準じた。

２．２．６　塗膜特性試験

塗膜の重要な機能に防食機能、環境遮断能があり、環境中に存在する各種腐食性物質の侵入を抑制する作用である。また、塗膜の持つ物性把握も劣化のメカニズムを知る上では大変重要である。このため、ひとつの試みとして、鋼材をさびさせる腐食因子となる酸素や水分（水蒸気）の塗膜透過性を判断できる塗膜の環境遮断性（酸素透過性、透湿度）と塗膜に変形や負荷が加えられた場合の挙動を把握する力学的物性(破断ひずみ､破断応力、応力緩和能）を測定し､各種塗装系の塗膜物性を把握した｡測定は室温で１～２ヶ月乾燥・養生させた塗膜を用いた。

また、鋼構造物塗装の性能に関して、鋼道路橋塗装・防食便覧Ｃ塗装系と同等以上の防食性能を有する塗膜環境遮断性の目安として、酸素透過係数が10^{-11}cm^3(STP)･cm/cm^2･sec･cmHg以下、水蒸気透過度（透湿度）が 2g/m^2･24h 以下が提案されている[1)]。

（１）酸素透過性

酸素透過率測定装置(ツクバリカセイキ:K-316)を用いて測定した｡試験用塗膜フィルムは、ジンクリッチペイントを除いた複合塗膜（下塗+中塗+上塗）を用い、サイズはφ18㎜とした。詳細内容については、資料Ⅲ－９（酸素透過率測定装置）に示す。

（２）水蒸気透過度（透湿度）

JIS K 7129（A 法）に規定された感湿センサーで測定する水蒸気透過度計（Lyssy：L80-4000）型を用いて測定した。試験用塗膜フィルムは、ジンクリッチペイントを除いた複合塗膜（下塗+中塗+上塗）を用い、サイズは 110㎜ 以上×110㎜ 以上（測定面積：80㎜φ）とした。詳細内容については、資料Ⅲ－９（水蒸気透過度測定装置）に示す。

（３）塗膜物性

小型卓上試験機（島津製作所：EZtest）を用いて、塗膜に引張荷重を与えたときの破断応力および破断時の伸び率と、塗膜に一定の伸びを与えた時の応力残存率の経時変化を測定し、応力残存率が 50%になるまでの時間を応力緩和能として求めた。試験用塗膜フィルムは、ジンクリッチペイントを除いた複合塗膜（下塗+中塗+上塗）を用い、サイズは

40㎜×5㎜（試験長さは 20㎜）とした。詳細内容については、資料Ⅲ－11（塗膜力学特性測定装置）に示す。

なお、測定条件は、①破断応力および伸び率測定時のクロスヘッド速度は 10㎜/分とし、②応力緩和能測定時の測定開始時の伸びは、長さ 20㎜ の 1%（0.2㎜）とした。

２．２．１から２．２．６の各試験項目に対して、各提案塗装系に供試した試験板一覧を表－2.2.1 に示す。

表－2.2.1　各提案塗装系の試験項目と試験板の種類

試験項目	屋外暴露試験				促進劣化試験	塗膜特性試験
試験板 ＼ 塗装系 No.	ブラスト処理鋼板	旧油性塗膜板（沖縄暴露）			ブラスト処理鋼板	ポリプロピレン板
		素地調整程度１種	素地調整程度２種	素地調整程度３種		
B1、B2、B8	○	－	－	－	○	－
B3、B9	○	○	○	－	○	－
B4、B10	○	○	○	○	○	○

２．２．７　試験方法、評価方法および評価基準に関する関連規格

試験方法、評価方法および評価基準については、各関連規格に基づいて行った。各試験方法、評価方法および評価基準を以下に示す。

（１）試験方法

①JIS K 5600-7-2

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第２節：耐湿性（連続結露性）」

②JIS K 5600-7-4

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第４節：耐湿潤冷熱繰返し性」

③JIS K 5600-7-6

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第６節：屋外暴露耐候性」

④JIS K 5600-7-7

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第７節：促進耐候性（キセノンランプ法）」

⑤JIS K 5600-7-9

「塗料一般試験方法　第９部：塗膜の長期耐久性－第９節：サイクル腐食試験方法－塩水噴霧/乾燥/湿潤」

⑥JIS K 7129

「プラスチックフィルム及びシートの水蒸気透過度試験方法（機械測定法）」

（２）評価方法・評価基準

①JIS K 5600-4-6

「塗料一般試験方法　第４部：塗膜の視覚特性－第６節：測色（色差の計算）」

②JIS K 5600-4-7

「塗料一般試験方法　第４部：塗膜の視覚特性－第７節：鏡面光沢度」

③JIS K 5600-5-6

「塗料一般試験方法　第５部：塗膜の機械的性質－第６節：付着性（クロスカット法)」

④JIS K 5600-5-7

「塗料一般試験方法　第５部：塗膜の機械的性質－第７節：付着性（プルオフ法)」

⑤JIS K 5600-8-2

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第２節：膨れの等級」

⑥JIS K 5600-8-3

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第３節：さびの等級」

⑦JIS K 5600-8-4

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第４節：割れの等級」

⑧JIS K 5600-8-5

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第５節：はがれの等級」

⑨JSS Ⅳ 03-1993

「鋼橋塗膜調査マニュアル」

２．３　試験結果

２．３．１　一次試験結果

（１）屋外暴露試験結果

１）塗膜外観観察（一般部・カット部）

屋外暴露試験後の各試験板について、一般部およびカット部のさび、膨れを観察した結果を表－2.3.1～表－2.3.3 に、試験後の外観（表面）を図－2.3.1～図－2.3.2 に示す。沖縄屋外暴露試験３年後のカット部の膨れ幅が最大、最小の試験板の外観を図－2.3.3に示す(但し､顕著な膨れが認められた塗装系No.B1の塗料会社No.②は除く)。

①塗装系 No.B1 では、塗料会社 No.②の沖縄屋外暴露試験板（裏面）およびつくば屋外暴露試験板（裏面）において、カット部の膨れ幅が溶剤系に比べて顕著に大きかった以外は、比較の溶剤形とほぼ同等の結果であった。なお、一部の試験板で一般部に微細な膨れが認められた。

②塗装系 No.B2 では、沖縄屋外暴露試験板、つくば屋外暴露試験板ともに、比較の溶剤形とほぼ同等の結果であった。なお、一部の試験板で一般部に微細な膨れが認められた。

２）付着性

屋外暴露試験３年経過のプルオフ法による付着性試験結果を表－2.3.4に示す。初期の付着強度が１MPa未満の試験板が確認されていたが、これらの試験板について、初期の付着強度と屋外暴露３年後の試験板表面の付着強度を対比させた結果を図－2.3.4に示す。初期の付着強度が１MPa未満の試験板においても付着強度の向上が確認された。

表－2.3.1　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B1、B2）

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B8 （比較：溶剤形C-5）		表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
B1	①	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	②	表	○	2mm	○	1mm
		裏	○	32mm	○	100mm
	③	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	④	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	⑤	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	⑥	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	0mm
B2	①	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	2mm
	②	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
	③	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	④	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
	⑤	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	2mm
	⑥	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	0mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－2.3.2　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B1、B2）

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B8 （比較：溶剤形C-5）		表	○	1mm	○	3mm
		裏	○	0mm	○	2mm
B1	①	表	8M	1mm	○	7mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	②	表	8M	2mm	○	5mm
		裏	8F	20mm	○	130mm
	③	表	○	0mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	8mm
	④	表	○	1mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
	⑤	表	○	1mm	○	0mm
		裏	○	1mm	○	0mm
	⑥	表	○	1mm	○	2mm
		裏	○	0mm	○	0mm
B2	①	表	8M	1mm	○	2mm
		裏	○	1mm	○	3mm
	②	表	8M	1mm	○	1mm
		裏	○	1mm	○	1mm
	③	表	○	2mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	④	表	○	1mm	○	2mm
		裏	○	1mm	○	2mm
	⑤	表	○	2mm	○	2mm
		裏	○	1mm	○	2mm
	⑥	表	8F	1mm	○	2mm
		裏	○	1mm	○	2mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

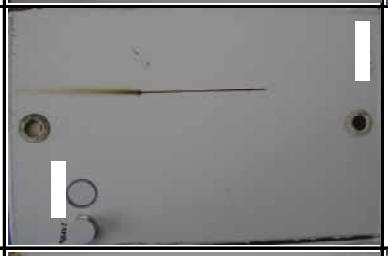
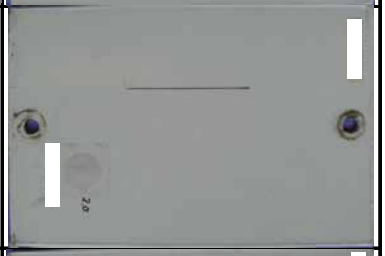
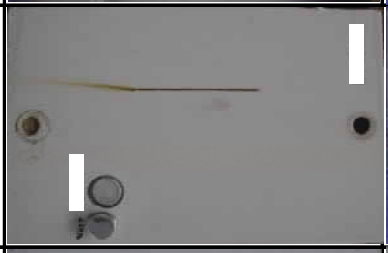
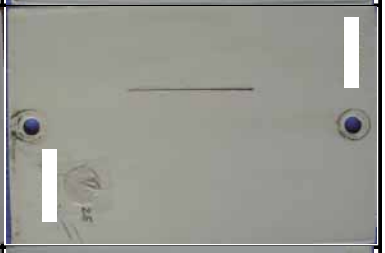
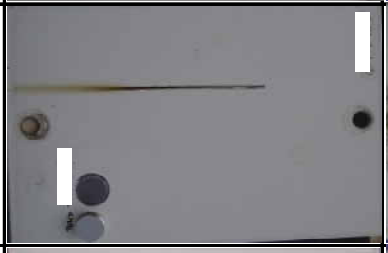
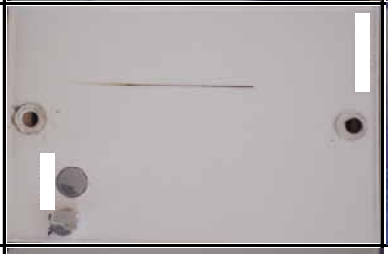
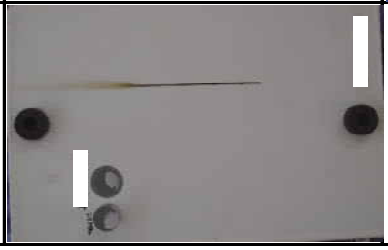
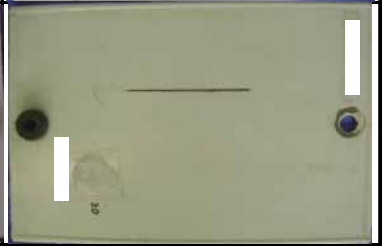
表－2.3.3　屋外暴露試験３年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B1、B2）

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B8 （比較：溶剤形C-5）		表	8M	2mm	○	2mm
		裏	○	0mm	○	2mm
B1	①	表	8M	2mm	○	7mm
		裏	8M	1mm	○	1mm
	②	表	8M	2mm	○	5mm
		裏	8F	40mm	はがれ	
	③	表	○	0mm	○	4mm
		裏	○	3mm	○	7mm
	④	表	○	2mm	○	1mm
		裏	○	1mm	○	2mm
	⑤	表	○	3mm	○	0mm
		裏	○	1mm	○	2mm
	⑥	表	○	0mm	○	2mm
		裏	○	0mm	○	0mm
B2	①	表	8M	1mm	○	2mm
		裏	8M	2mm	○	3mm
	②	表	8M	2mm	○	1mm
		裏	○	1mm	○	1mm
	③	表	○	4mm	8F	2mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	④	表	○	3mm	○	2mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	⑤	表	○	2mm	○	2mm
		裏	○	1mm	○	2mm
	⑥	表	6FM	1mm	8F	2mm
		裏	○	2mm	○	2mm

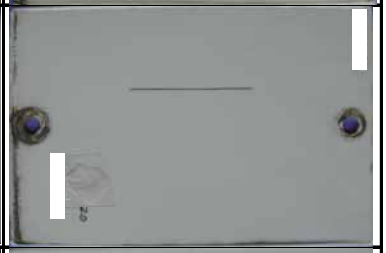
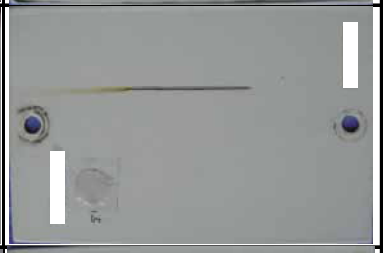
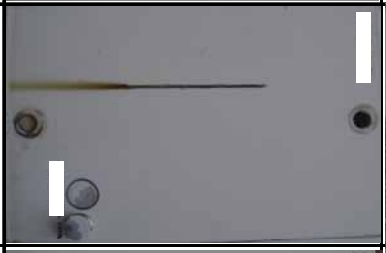
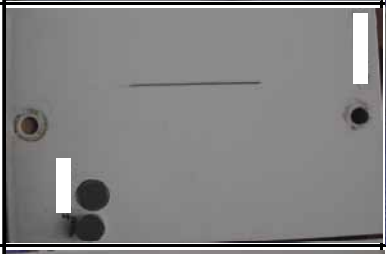
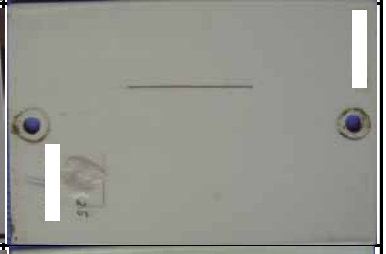
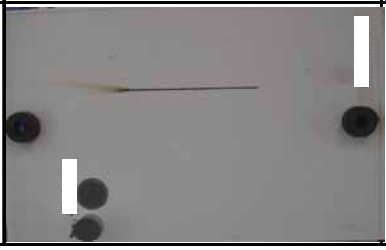
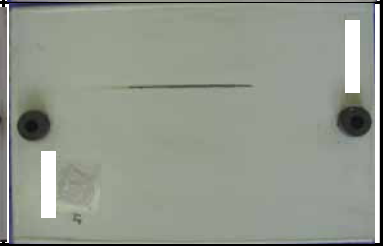
（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－2.3.4　屋外暴露試験３年後の付着性試験結果（塗装系 No.B1、B2）

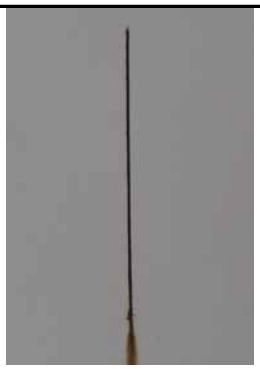
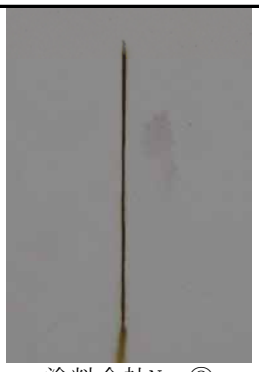
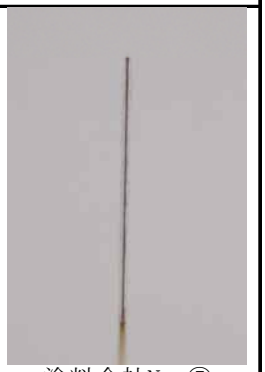
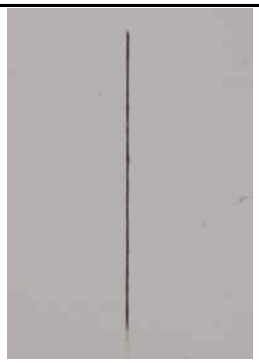
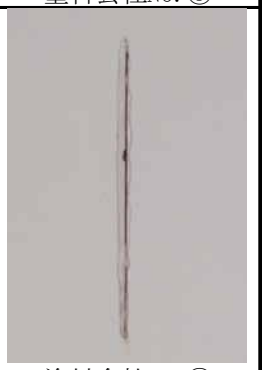
塗装系 No.	塗料会社 No.	塗板の表裏	沖縄		つくば	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B8 (比較：溶剤形 C-5)		表	3.7	ジンク内 :60 中塗/上塗 :40	2.5	ジンク内 :100
		裏	7.0	ジンク内 :30 接着剤 :70	4.5	ジンク内 :40 接着剤 :60
B1	①	表	2.5	下塗内 :5 中塗/上塗 :95	2.0	中塗内 :100
		裏	2.0	中塗/上塗 :70 接着剤 :30	4.0	中塗内 :10 接着剤 :90
	②	表	1.2	ジンク/下塗 :10 中塗/上塗 :90	2.0	ジンク/下塗 :10 中塗/上塗 :90
		裏	0.8	ジンク/下塗 :100	－	－
	③	表	4.5	素地/ジンク :30 下塗内 :70	2.5	ジンク内 :80 中塗/上塗 :20
		裏	3.5	ジンク内 :75 下塗内 :25	3.5	ジンク内 :100
	④	表	1.3	ジンク内 :100	2.5	ジンク内 :100
		裏	2.7	ジンク内 :30 接着剤 :70	1.5	ジンク内 :100
	⑤	表	4.0	ジンク/下塗 :100	5.0	ジンク/下塗 :100
		裏	1.8	ジンク/下塗 :100	2.5	ジンク/下塗 :100
	⑥	表	2.5	ジンク内 :60 接着剤 :40	3.0	ジンク内 :100
		裏	1.5	ジンク内 :100	2.0	ジンク内 :100
B2	①	表	2.0	ジンク内 :30 中塗/上塗 :70	2.0	ジンク内 :100
		裏	2.3	ジンク内 :100	2.5	ジンク内 :100
	②	表	1.2	ジンク内 :5 中塗/上塗 :95	2.0	ジンク内 :60 中塗/上塗 :40
		裏	2.8	ジンク内 :30 接着剤 :70	2.5	ジンク内 :30
	③	表	3.7	ジンク内 :70 接着剤 :30	1.5	ジンク内 :100
		裏	2.5	ジンク内 :100	2.0	ジンク内 :100
	④	表	2.8	ジンク内 :100	2.5	ジンク内 :100
		裏	3.0	ジンク内 :70 接着剤 :30	2.0	ジンク内 :100
	⑤	表	2.5	下塗内 :10 下塗/中塗 :50 接着剤 :40	4.0	ジンク内 :100
		裏	3.0	素地/ジンク :70 ジンク/下塗 :30	4.5	ジンク内 :100
	⑥	表	1.2	ジンク内 :100	1.5	ジンク内 :100
		裏	4.5	ジンク内 :5 接着剤 :95	4.0	ジンク内 :30 上塗内 :30 接着剤 :40

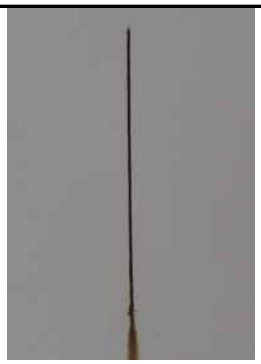
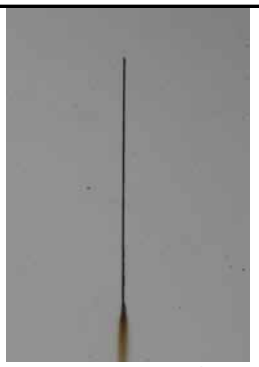
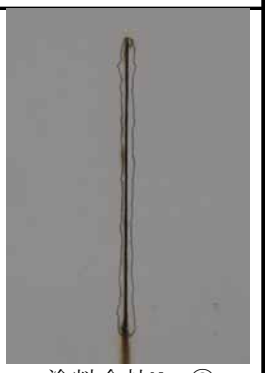
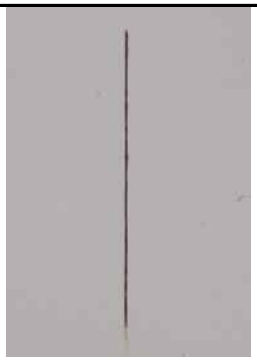
塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B8 （比較：溶剤形C-5）			
B1	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－2.3.1　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B1、表面）

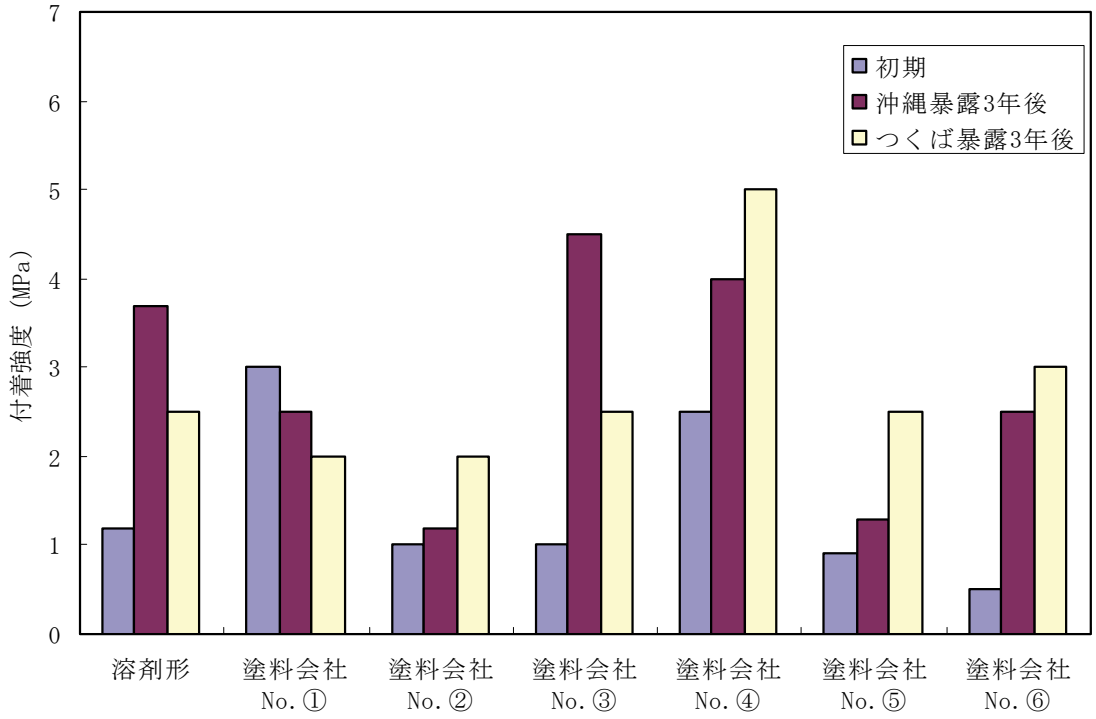
塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B8 （比較：溶剤形C-5）			
B2	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－2.3.2　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B2、表面）

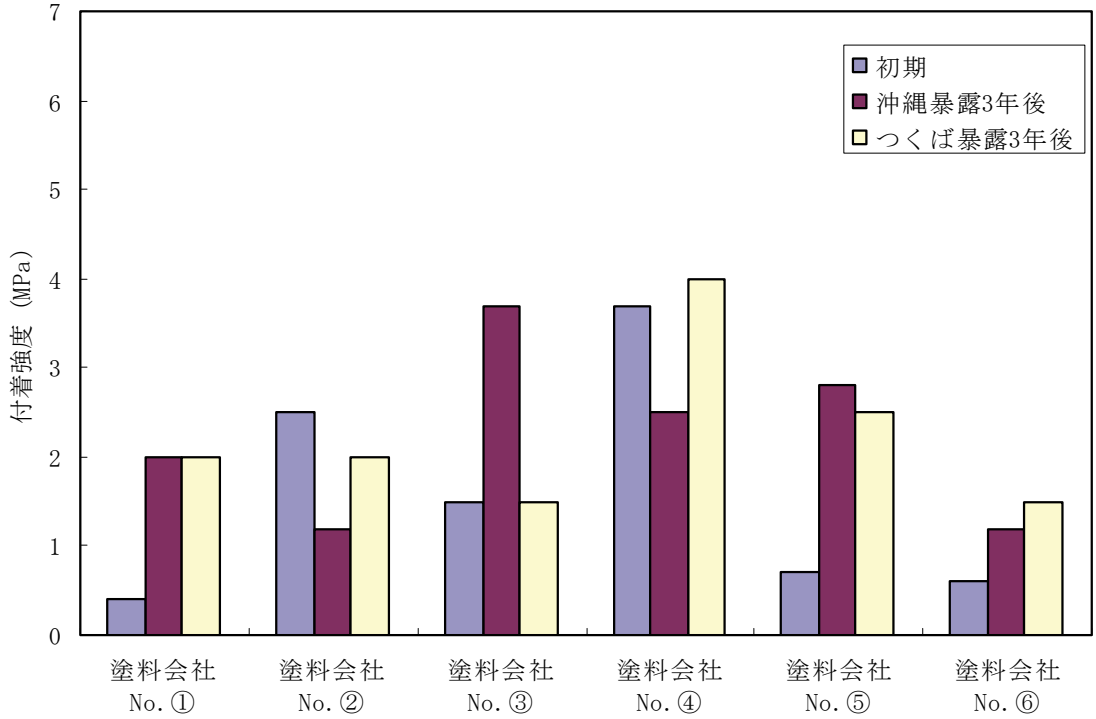
塗装系No.	塗板の表裏	B8 比較：溶剤形	膨れ幅最小	膨れ幅最大
B1	表		 塗料会社No.③	 塗料会社No.⑤
	裏		 塗料会社No.⑥	 塗料会社No.③

塗装系No.	塗板の表裏	B8 比較：溶剤形	膨れ幅最小	膨れ幅最大
B2	表		 塗料会社No.①	 塗料会社No.③
	裏		 塗料会社No.⑤	 塗料会社No.①

図－2.3.3　沖縄屋外暴露試験３年後のカット部の膨れ幅が最大、最小の試験板の外観
（塗装系 No.B1、B2）



a)塗装系 No.B1 および溶剤形（比較）の塗装系 No.B8



b)塗装系 No.B2

図－2.3.4　初期と屋外暴露試験３年後の付着強度

３）光沢保持率

屋外暴露試験後の塗装系No.B2の水洗前後の光沢保持率の測定結果を表－2.3.5～表－2.3.6に、水洗後の光沢保持率の変化を図－2.3.5～図－2.3.6に示す。

①沖縄屋外暴露試験３年経過において表面の光沢保持率が、塗料会社No.③で溶剤形塗料より若干劣っていたが、塗料会社No.①、②、④、⑤、⑥では溶剤形塗料同等以上の結果であった。

②つくば屋外暴露試験３年経過では、いずれの試験板も顕著な光沢低下は認められなかった。

４）色差

屋外暴露試験後の塗装系No.B2の水洗前後の色差の測定結果を表－2.3.7～表－2.3.12に、水洗後の色差の変化を図－2.3.7～図－2.3.8に示す。

①沖縄屋外暴露試験３年経過において、塗料会社No.⑥で汚れにより色差が大きく認められたが、塗料会社No.①、②、③、④、⑤ではΔE^*_{ab}＝2.0 以下であり、溶剤形と有意差は認められなかった。

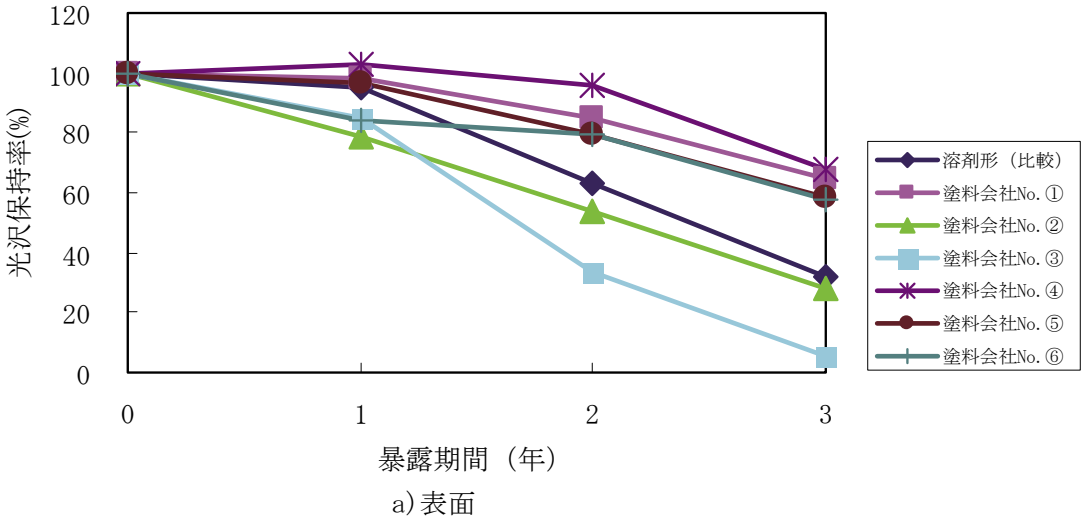
②つくば屋外暴露試験３年経過において、沖縄屋外暴露試験３年経過と同様、塗料会社No.⑥で汚れにより色差が大きく認められたが、塗料会社No.①、②、③、④、⑤ではΔE^*_{ab}＝2.0 以下であり、溶剤形と有意差は認められなかった。

表－2.3.5　屋外暴露試験後の光沢度および光沢保持率（塗装系No.B2、水洗前）

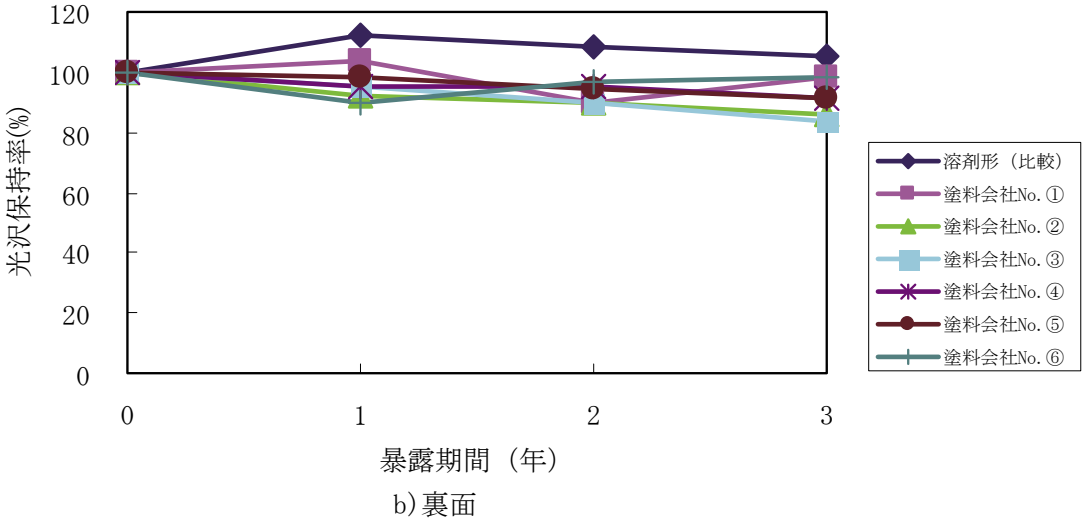
暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	60度鏡面光沢度				光沢保持率		
			初期値	1年	2年	3年	1年	2年	3年
沖縄	溶剤形（比較）	表	78.5	64.1	50.9	18.2	81.7%	64.8%	23.2%
		裏	71.6	64.8	63.9	72.1	90.5%	89.2%	100.7%
	①	表	79.6	60.7	63.7	46.6	76.3%	80.0%	58.5%
		裏	79.0	61.9	57.8	73.2	78.4%	73.2%	92.7%
	②	表	67.6	51.8	34.7	19.9	76.6%	51.3%	29.4%
		裏	70.6	57.0	49.8	58.3	80.7%	70.5%	82.6%
	③	表	81.5	60.3	36.3	9.2	74.0%	44.5%	11.3%
		裏	80.9	62.4	58.6	65.8	77.1%	72.4%	81.3%
	④	表	59.9	54.9	56.6	42.9	91.7%	94.5%	71.6%
		裏	62.6	51.4	53.3	55.1	82.1%	85.1%	88.0%
	⑤	表	75.5	63.6	58.7	40.7	84.2%	77.7%	53.9%
		裏	76.2	62.5	61.3	66.3	82.0%	80.4%	87.0%
	⑥	表	69.4	55.8	53.3	38.0	80.4%	76.8%	54.8%
		裏	62.3	48.8	40.6	57.0	78.3%	65.2%	91.5%
つくば	溶剤形（比較）	表	78.9	65.0	60.4	66.1	82.4%	76.6%	83.8%
		裏	78.7	73.6	70.8	72.2	93.5%	90.0%	91.7%
	①	表	80.9	58.6	55.3	61.8	72.4%	68.4%	76.4%
		裏	81.2	77.7	77.3	71.6	95.7%	95.2%	88.2%
	②	表	67.5	47.3	39.5	42.3	70.1%	58.5%	62.7%
		裏	71.7	68.5	68.3	64.1	95.5%	95.3%	89.4%
	③	表	81.9	62.0	51.9	54.3	75.7%	63.4%	66.3%
		裏	81.9	77.6	76.8	73.9	94.7%	93.8%	90.2%
	④	表	55.8	48.3	43.8	53.7	86.6%	78.5%	96.2%
		裏	61.4	58.9	58.1	57.0	95.9%	94.6%	92.8%
	⑤	表	76.3	60.5	59.6	65.0	79.3%	78.1%	85.2%
		裏	77.5	73.7	72.2	70.6	95.1%	93.2%	91.1%
	⑥	表	68.1	43.0	39.3	41.0	63.1%	57.7%	60.2%
		裏	59.0	47.1	44.8	47.4	79.8%	75.9%	80.3%

表－2.3.6　屋外暴露試験後の光沢度および光沢保持率（塗装系No.B2、水洗後）

暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	60度鏡面光沢度				光沢保持率		
			初期値	1年	2年	3年	1年	2年	3年
沖縄	溶剤形（比較）	表	78.5	74.7	49.6	24.8	95.2%	63.2%	31.6%
		裏	71.6	80.3	77.4	75.4	112.2%	108.1%	105.3%
	①	表	79.6	78.2	67.5	51.5	98.2%	84.8%	64.7%
		裏	79.0	82.2	71.1	77.4	104.1%	90.0%	98.0%
	②	表	67.6	53.4	36.3	18.8	79.0%	53.7%	27.8%
		裏	70.6	64.9	63.6	60.7	91.9%	90.1%	86.0%
	③	表	81.5	69.4	27.4	4.2	85.2%	33.6%	5.2%
		裏	80.9	77.0	72.6	67.5	95.2%	89.7%	83.4%
	④	表	75.5	73.0	60.1	44.0	96.7%	79.6%	58.3%
		裏	76.2	75.2	71.7	69.8	98.7%	94.1%	91.6%
	⑤	表	59.9	61.6	57.6	40.6	102.8%	96.2%	67.8%
		裏	62.6	59.8	59.4	57.0	95.5%	94.9%	91.1%
	⑥	表	69.4	58.5	55.3	39.9	84.3%	79.7%	57.5%
		裏	62.3	55.8	60.5	61.1	89.6%	97.1%	98.1%
つくば	溶剤形（比較）	表	78.9	79.8	75.8	71.4	101.1%	96.1%	90.5%
		裏	78.7	75.3	73.3	71.5	95.7%	93.1%	90.9%
	①	表	80.9	72.4	72.1	72.5	89.5%	89.1%	89.6%
		裏	81.2	76.4	76.8	75.2	94.1%	94.6%	92.6%
	②	表	67.5	59.4	52.6	44.9	88.0%	77.9%	66.5%
		裏	71.7	70.1	68.9	67.1	97.8%	96.1%	93.6%
	③	表	81.9	74.1	68.4	56.6	90.5%	83.5%	69.1%
		裏	81.9	78.9	78.2	75.7	96.3%	95.5%	92.4%
	④	表	76.3	72.6	72.3	69.5	95.2%	94.8%	91.1%
		裏	77.5	75.5	75.3	74.8	97.4%	97.2%	96.5%
	⑤	表	55.8	60.1	60.1	59.5	107.7%	107.7%	106.6%
		裏	61.4	59.2	57.3	58.7	96.4%	93.3%	95.6%
	⑥	表	68.1	57.2	54.2	51.2	84.0%	79.6%	75.2%
		裏	59.0	51.0	49.6	53.0	86.4%	84.1%	89.8%

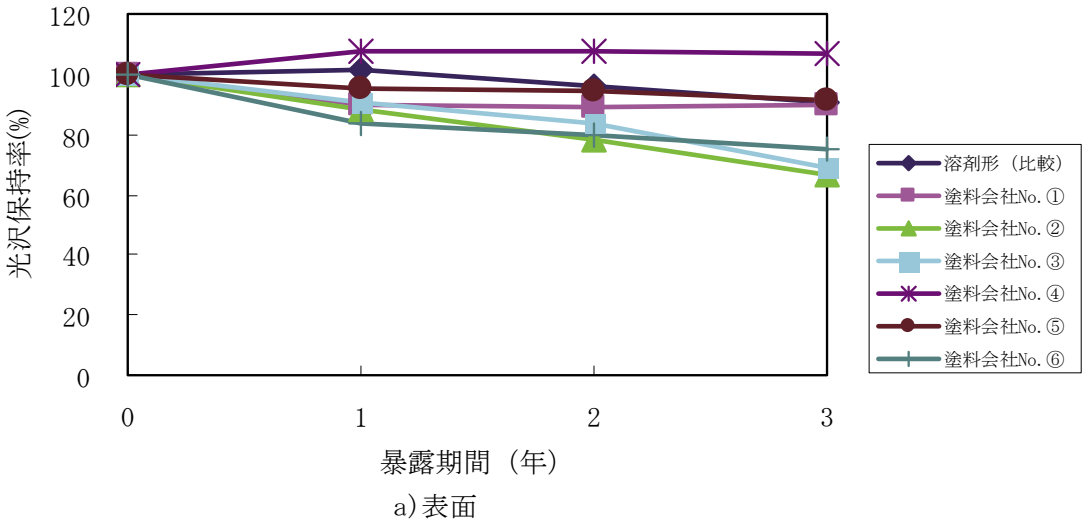


a)表面

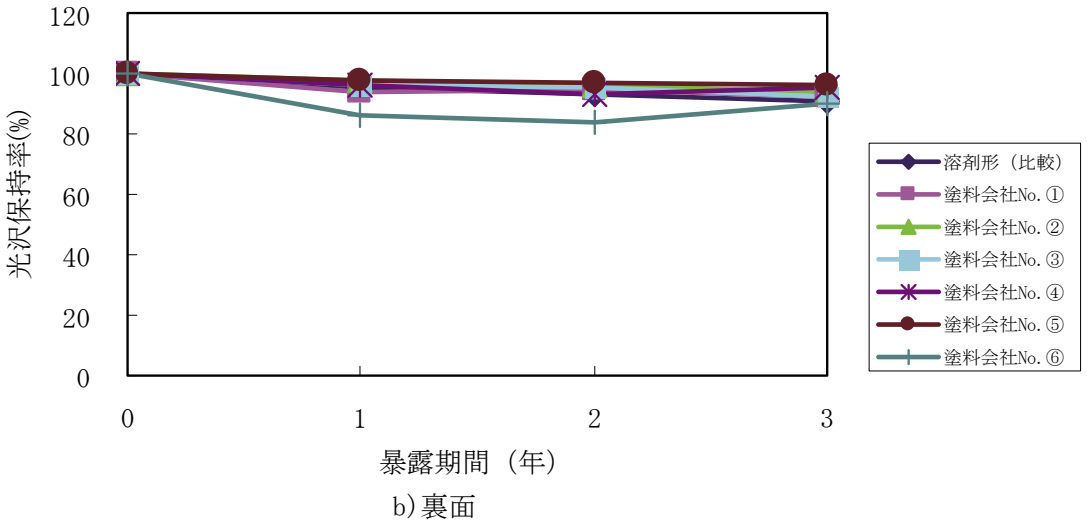


b)裏面

図－2.3.5　沖縄屋外暴露試験３年経過の光沢保持率測定結果（塗装系No.B2）



a)表面



b)裏面

図－2.3.6　つくば屋外暴露試験３年経過の光沢保持率測定結果（塗装系No.B2）

表－2.3.7　屋外暴露試験１年後の色差（塗装系No.B2、水洗前）

暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	初期値			1年			
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	93.55	-0.31	2.64	2.94
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.14	-0.44	2.02	1.34
	①	表	96.01	-0.54	1.38	95.36	-0.55	1.62	0.69
		裏	95.94	-0.52	1.36	94.78	-0.47	1.60	1.19
	②	表	93.84	-0.65	0.57	92.43	-0.64	1.13	1.52
		裏	95.20	-0.50	1.09	94.17	-0.55	1.65	1.17
	③	表	96.60	-0.46	0.95	95.33	-0.49	1.78	1.52
		裏	96.31	-0.51	0.83	95.81	-0.53	1.36	0.73
	④	表	95.55	-0.47	0.88	93.90	-0.62	1.78	1.89
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.03	-0.57	1.26	0.83
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	94.05	-0.40	1.30	2.34
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.91	-0.50	0.70	0.61
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	92.55	-0.59	2.17	2.84
		裏	96.82	-0.38	0.31	95.96	-0.63	1.42	1.43
つくば	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	90.05	0.11	3.19	6.36
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.42	-0.09	1.62	0.85
	①	表	96.01	-0.54	1.38	91.13	-0.17	2.44	5.01
		裏	95.94	-0.52	1.36	94.72	-0.53	1.48	1.23
	②	表	93.84	-0.65	0.57	88.80	-0.23	1.92	5.23
		裏	95.20	-0.50	1.09	94.63	-0.49	1.04	0.57
	③	表	96.60	-0.46	0.95	91.63	0.00	2.09	5.12
		裏	96.31	-0.51	0.83	95.35	-0.28	0.78	0.99
	④	表	95.55	-0.47	0.88	89.90	-0.04	2.27	5.83
		裏	95.82	-0.44	1.04	94.92	-0.34	1.24	0.93
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	90.49	0.17	2.29	6.06
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.08	-0.14	0.41	1.25
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	87.06	-0.05	2.48	4.78
		裏	96.82	-0.38	0.31	95.54	-0.58	1.40	1.69

表－2.3.8　屋外暴露試験１年後の色差（塗装系No.B2、水洗後）

暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	初期値			1年			
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	95.47	-0.29	1.65	0.81
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.87	-0.40	1.37	0.40
	①	表	96.01	-0.54	1.38	96.13	-0.44	0.76	0.64
		裏	95.94	-0.52	1.36	96.02	-0.47	0.88	0.49
	②	表	93.84	-0.65	0.57	94.20	-0.53	0.39	0.42
		裏	95.20	-0.50	1.09	95.20	-0.56	0.89	0.21
	③	表	96.60	-0.46	0.95	96.63	-0.42	0.88	0.09
		裏	96.31	-0.51	0.83	96.57	-0.51	0.58	0.36
	④	表	95.55	-0.47	0.88	95.49	-0.54	1.12	0.26
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.69	-0.59	0.82	0.30
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	95.93	-0.43	0.25	0.47
		裏	96.30	-0.38	0.24	96.63	-0.44	0.16	0.34
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	94.66	-0.55	1.64	4.10
		裏	96.82	-0.38	0.31	96.42	-0.61	1.37	1.16
つくば	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	94.72	-0.07	1.99	1.62
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.69	-0.11	1.48	0.57
	①	表	96.01	-0.54	1.38	94.25	-0.36	1.62	1.79
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.88	-0.60	1.34	0.10
	②	表	93.84	-0.65	0.57	92.20	-0.46	0.83	1.67
		裏	95.20	-0.50	1.09	95.01	-0.49	1.02	0.20
	③	表	96.60	-0.46	0.95	95.22	-0.15	1.34	1.47
		裏	96.31	-0.51	0.83	95.90	-0.29	0.68	0.49
	④	表	95.55	-0.47	0.88	93.90	-0.23	1.20	1.70
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.04	-0.37	1.00	0.78
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	94.60	-0.01	1.03	1.78
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.68	-0.14	0.27	0.67
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	90.66	-0.27	1.71	1.94
		裏	96.82	-0.38	0.31	96.24	-0.60	1.27	1.14

表－2.3.9　屋外暴露試験２年後の色差（塗装系No.B2、水洗前）

暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	初期値			2年			
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	95.25	-0.45	2.24	1.43
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.25	-0.44	2.06	1.30
	①	表	96.01	-0.54	1.38	96.17	-0.59	1.14	0.29
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.36	-0.59	1.19	0.61
	②	表	93.84	-0.65	0.57	91.41	-0.84	1.63	2.66
		裏	95.20	-0.50	1.09	93.98	-0.49	1.51	1.29
	③	表	96.60	-0.46	0.95	96.26	-0.59	2.00	1.11
		裏	96.31	-0.51	0.83	96.03	-0.53	1.01	0.33
	④	表	95.55	-0.47	0.88	94.90	-0.71	1.83	1.18
		裏	95.82	-0.44	1.04	94.86	-0.53	1.12	0.97
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	94.19	-0.63	1.17	2.18
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.39	-0.40	1.15	1.29
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	95.27	-0.72	1.27	4.53
		裏	96.82	-0.38	0.31	95.00	-0.53	1.75	2.33
つくば	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	89.32	0.10	3.47	7.14
		裏	96.03	-0.24	1.04	94.89	-0.08	1.77	1.36
	①	表	96.01	-0.54	1.38	92.68	-0.22	2.15	3.43
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.16	-0.33	1.42	0.81
	②	表	93.84	-0.65	0.57	87.37	-0.20	2.00	6.64
		裏	95.20	-0.50	1.09	94.20	-0.26	1.05	1.03
	③	表	96.60	-0.46	0.95	90.85	-0.30	1.97	5.84
		裏	96.31	-0.51	0.83	95.03	-0.42	0.78	1.28
	④	表	95.55	-0.47	0.88	87.93	-0.27	2.36	7.76
		裏	95.82	-0.44	1.04	94.86	-0.48	1.24	0.98
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	91.83	-0.31	2.14	4.71
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.05	-0.37	0.44	1.27
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	88.45	-0.30	2.78	3.92
		裏	96.82	-0.38	0.31	94.98	-0.58	1.55	2.23

表－2.3.10　屋外暴露試験２年後の色差（塗装系No.B2、水洗後）

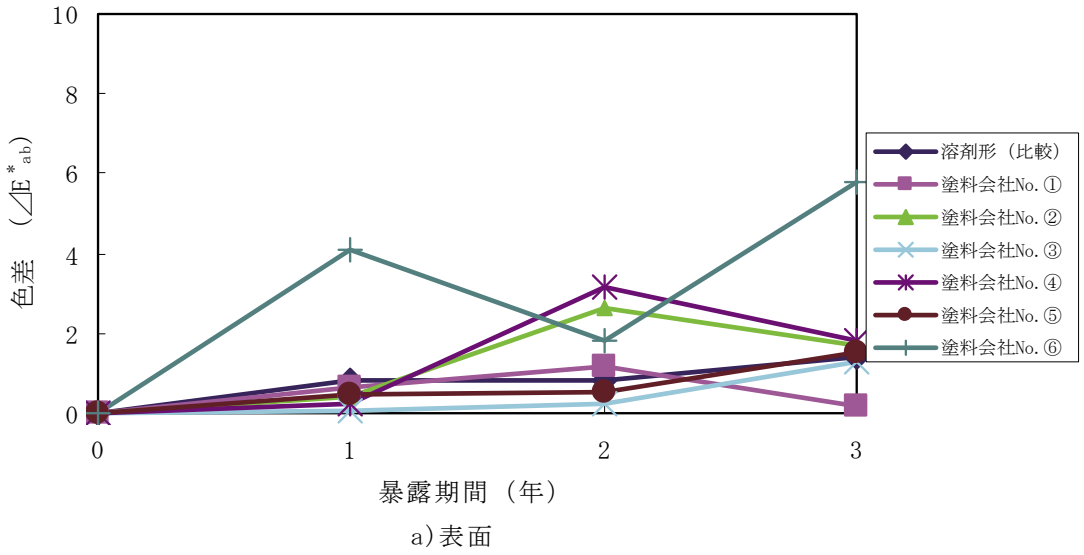
暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	初期値			2年			
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	95.59	-0.48	1.75	0.85
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.64	-0.43	1.77	0.85
	①	表	96.01	-0.54	1.38	94.94	-0.71	0.96	1.16
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.97	-0.51	0.76	0.60
	②	表	93.84	-0.65	0.57	91.33	-0.86	1.31	2.63
		裏	95.20	-0.50	1.09	94.75	-0.49	0.61	0.66
	③	表	96.60	-0.46	0.95	96.48	-0.57	1.10	0.22
		裏	96.31	-0.51	0.83	96.29	-0.50	0.54	0.29
	④	表	95.55	-0.47	0.88	92.55	-1.17	1.60	3.16
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.07	-0.55	0.63	0.86
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	95.83	-0.57	0.31	0.54
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.23	-0.85	1.43	1.67
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	90.69	-0.87	1.54	1.83
		裏	96.82	-0.38	0.31	97.39	-0.45	1.46	1.29
つくば	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	94.46	-0.20	2.25	1.97
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.62	-0.29	1.56	0.66
	①	表	96.01	-0.54	1.38	95.68	-0.48	1.03	0.48
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.94	-0.49	1.07	0.29
	②	表	93.84	-0.65	0.57	92.71	-0.54	0.57	1.14
		裏	95.20	-0.50	1.09	94.97	-0.45	1.01	0.25
	③	表	96.60	-0.46	0.95	95.72	-0.28	1.14	0.92
		裏	96.31	-0.51	0.83	96.00	-0.37	0.50	0.47
	④	表	95.55	-0.47	0.88	94.48	-0.45	0.98	1.07
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.27	-0.48	0.84	0.59
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	95.22	-0.31	0.72	1.06
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.96	-0.31	0.13	0.36
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	92.31	-0.31	1.34	2.02
		裏	96.82	-0.38	0.31	96.06	-0.52	1.23	1.20

表－2.3.11　屋外暴露試験３年後の色差（塗装系No.B2、水洗前）

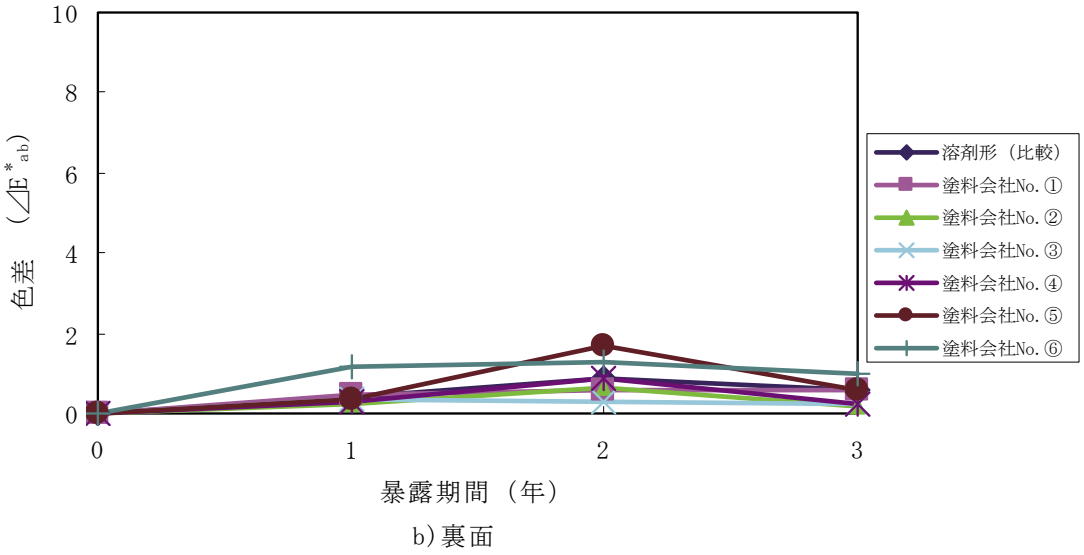
暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	初期値			3年			
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	94.52	-0.39	2.87	2.36
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.86	-0.29	1.93	0.91
	①	表	96.01	-0.54	1.38	95.54	-0.65	1.97	0.76
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.93	-0.49	1.25	0.11
	②	表	93.84	-0.65	0.57	92.41	-0.72	2.34	2.28
		裏	95.20	-0.50	1.09	95.06	-0.52	1.40	0.34
	③	表	96.60	-0.46	0.95	94.80	-0.62	3.42	3.06
		裏	96.31	-0.51	0.83	96.32	-0.42	1.24	0.42
	④	表	95.55	-0.47	0.88	94.16	-0.81	2.93	2.50
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.37	-0.50	1.21	0.48
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	94.48	-0.50	1.72	2.13
		裏	96.30	-0.38	0.24	96.31	-0.36	1.00	0.76
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	95.73	-0.70	1.86	5.17
		裏	96.82	-0.38	0.31	96.16	-0.40	1.63	1.48
つくば	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	92.97	0.19	2.52	3.42
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.37	0.16	1.55	0.93
	①	表	96.01	-0.54	1.38	93.98	0.02	1.52	2.11
		裏	95.94	-0.52	1.36	95.32	-0.01	1.25	0.81
	②	表	93.84	-0.65	0.57	90.52	-0.01	1.35	3.47
		裏	95.20	-0.50	1.09	94.44	-0.03	0.95	0.90
	③	表	96.60	-0.46	0.95	93.94	-0.31	1.40	2.70
		裏	96.31	-0.51	0.83	95.16	-0.27	0.73	1.18
	④	表	95.55	-0.47	0.88	91.37	-0.37	2.15	4.37
		裏	95.82	-0.44	1.04	94.65	-0.33	1.19	1.18
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	93.81	-0.36	1.65	2.69
		裏	96.30	-0.38	0.24	95.31	-0.31	0.31	0.99
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	92.09	-0.02	1.68	2.21
		裏	96.82	-0.38	0.31	92.75	-0.05	1.34	4.21

表－2.3.12　屋外暴露試験３年後の色差（塗装系No.B2、水洗後）

暴露場所	塗料会社No.	塗板の表裏	初期値			3年			
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	95.27	-0.41	2.21	1.38
		裏	96.03	-0.24	1.04	96.20	-0.22	1.57	0.56
	①	表	96.01	-0.54	1.38	95.86	-0.60	1.45	0.18
		裏	95.94	-0.52	1.36	96.28	-0.44	0.88	0.59
	②	表	93.84	-0.65	0.57	92.81	-0.69	1.94	1.71
		裏	95.20	-0.50	1.09	95.28	-0.49	0.96	0.15
	③	表	96.60	-0.46	0.95	95.77	-0.58	1.89	1.26
		裏	96.31	-0.51	0.83	96.46	-0.40	0.72	0.22
	④	表	95.55	-0.47	0.88	94.36	-0.76	2.18	1.79
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.66	-0.47	0.89	0.22
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	95.02	-0.49	1.41	1.51
		裏	96.30	-0.38	0.24	96.70	-0.35	0.69	0.60
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	96.65	-0.56	1.03	5.78
		裏	96.82	-0.38	0.31	97.02	-0.35	1.25	0.96
つくば	溶剤形（比較）	表	96.04	-0.25	1.07	95.28	0.11	1.66	1.03
		裏	96.03	-0.24	1.04	95.99	0.08	1.34	0.44
	①	表	96.01	-0.54	1.38	96.23	-0.07	0.63	0.91
		裏	95.94	-0.52	1.36	96.06	-0.05	0.87	0.69
	②	表	93.84	-0.65	0.57	92.10	-0.32	0.35	1.78
		裏	95.20	-0.50	1.09	95.05	0.00	0.76	0.62
	③	表	96.60	-0.46	0.95	96.52	-0.38	0.85	0.15
		裏	96.31	-0.51	0.83	95.91	-0.33	0.43	0.59
	④	表	95.55	-0.47	0.88	94.93	-0.57	0.72	0.65
		裏	95.82	-0.44	1.04	95.05	-0.47	0.57	0.90
	⑤	表	96.27	-0.40	0.57	95.70	-0.45	0.75	0.60
		裏	96.30	-0.38	0.24	96.21	-0.30	-0.01	0.28
	⑥	表	91.00	-0.40	-0.20	94.40	-0.06	0.92	3.60
		裏	96.82	-0.38	0.31	95.89	-0.14	0.95	1.15

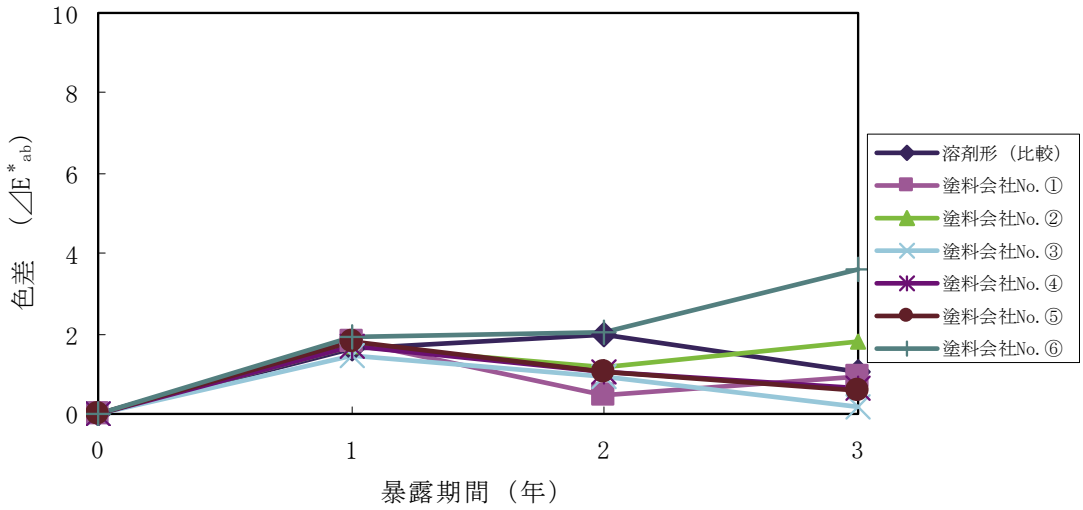


a）表面

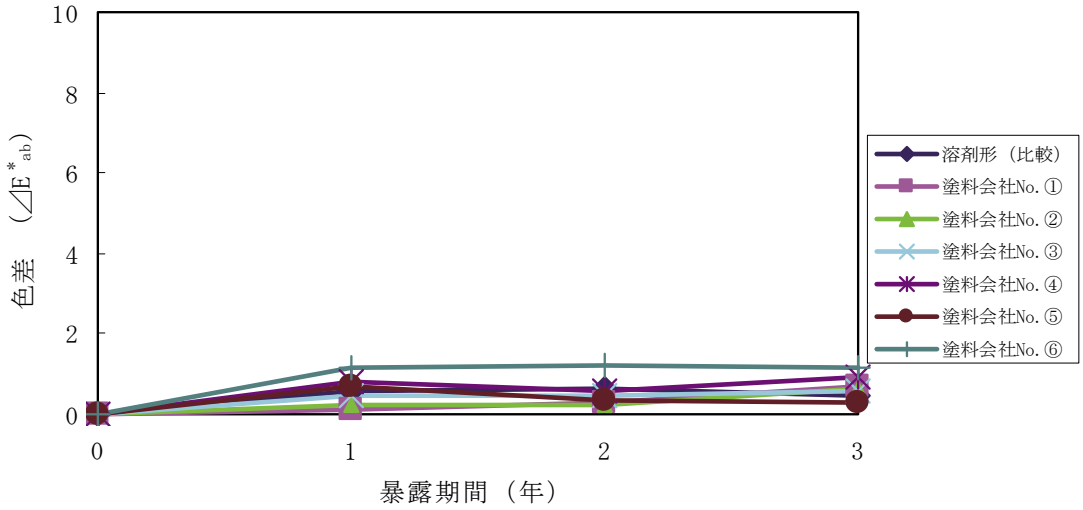


b）裏面

図－2.3.7　沖縄屋外暴露試験３年経過の色差測定結果（塗装系No.B2）



a)表面



b)裏面

図－2.3.8　つくば屋外暴露試験３年経過の色差測定結果（塗装系No.B2）

５）塗膜表面の形状変化観察および組成変化解析の結果

水性ふっ素樹脂塗料上塗塗膜の屋外暴露開始前と沖縄屋外暴露試験後の表面形状の変化を走査型電子顕微鏡の画像で観察し、組成変化はFT-IRで解析を行った。

ｉ）走査型電子顕微鏡（SEM）観察

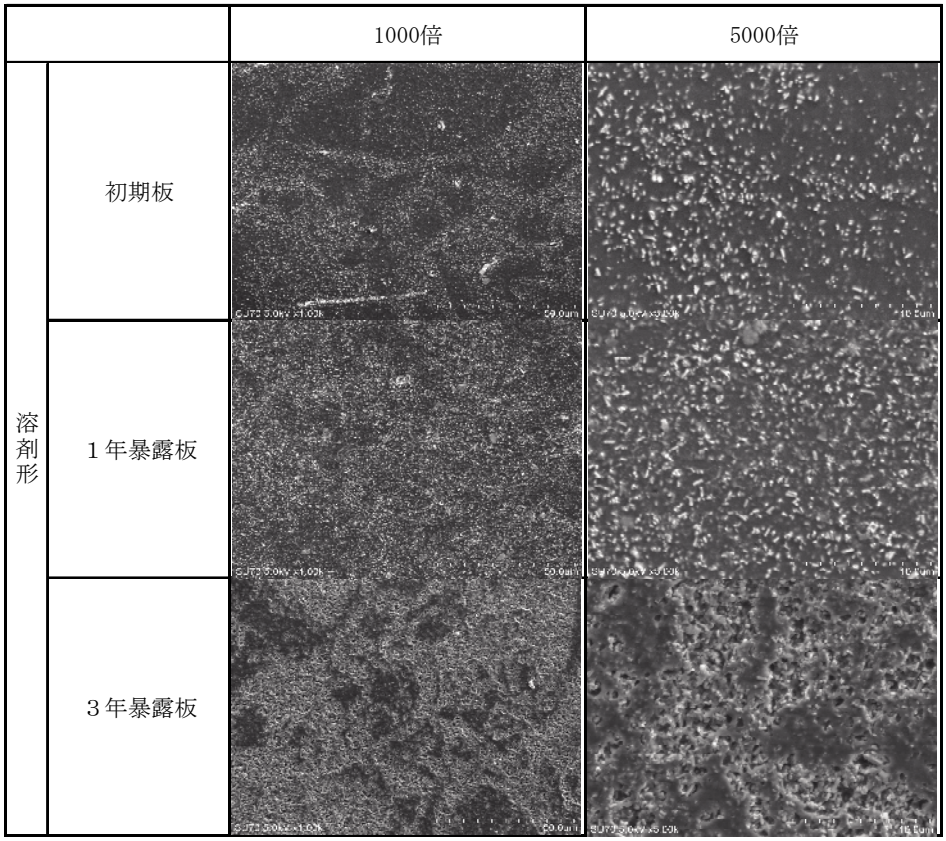
走査型電子顕微鏡の画像を図－2.3.9に示す。

沖縄屋外暴露試験３年後では、塗料会社No.①～⑥ともに溶剤形と同様に塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

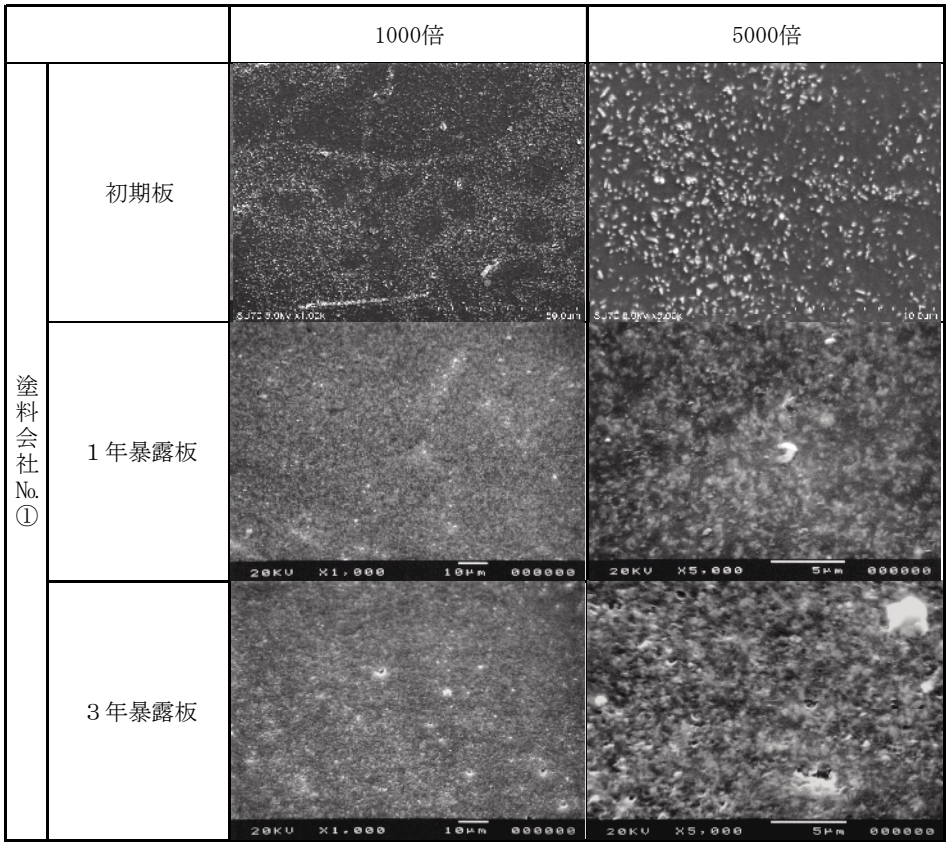
ⅱ）FT-IR測定

FT-IRの測定結果と樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を図－2.3.10に示す。

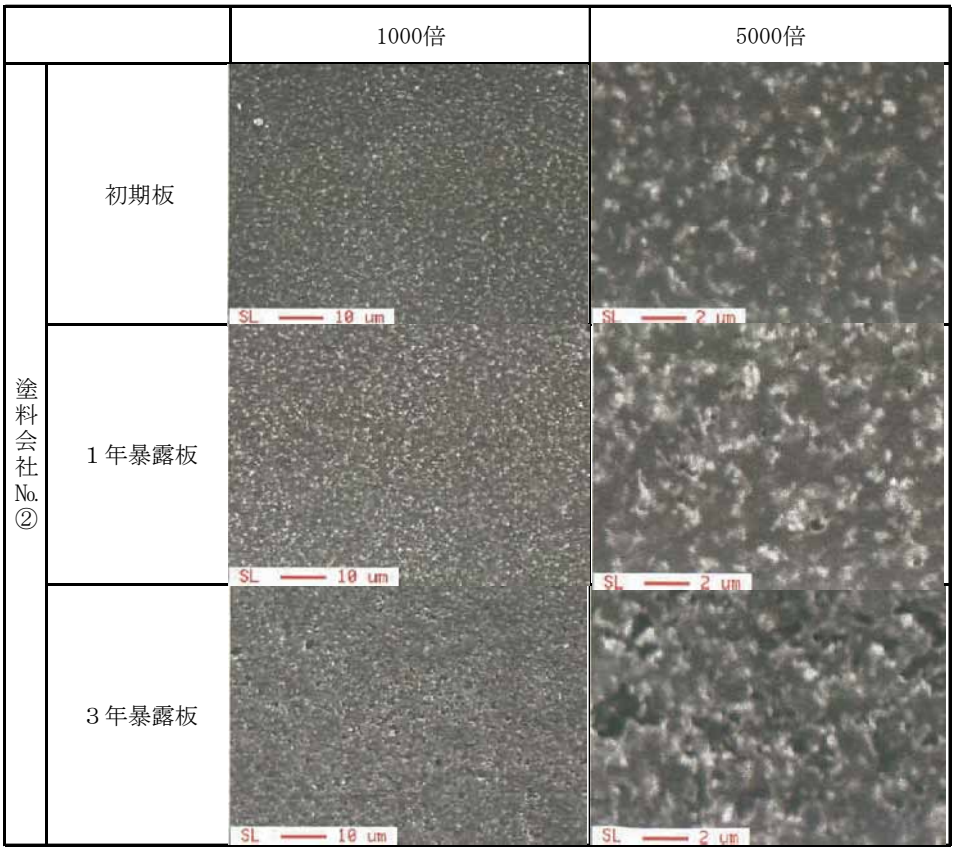
沖縄屋外暴露試験３年後では、溶剤形の吸光度比変化と比較して、水性塗装系では、吸光度比が溶剤形とほぼ同程度変化している上塗塗膜と、ほとんど変化していない上塗塗膜があった。



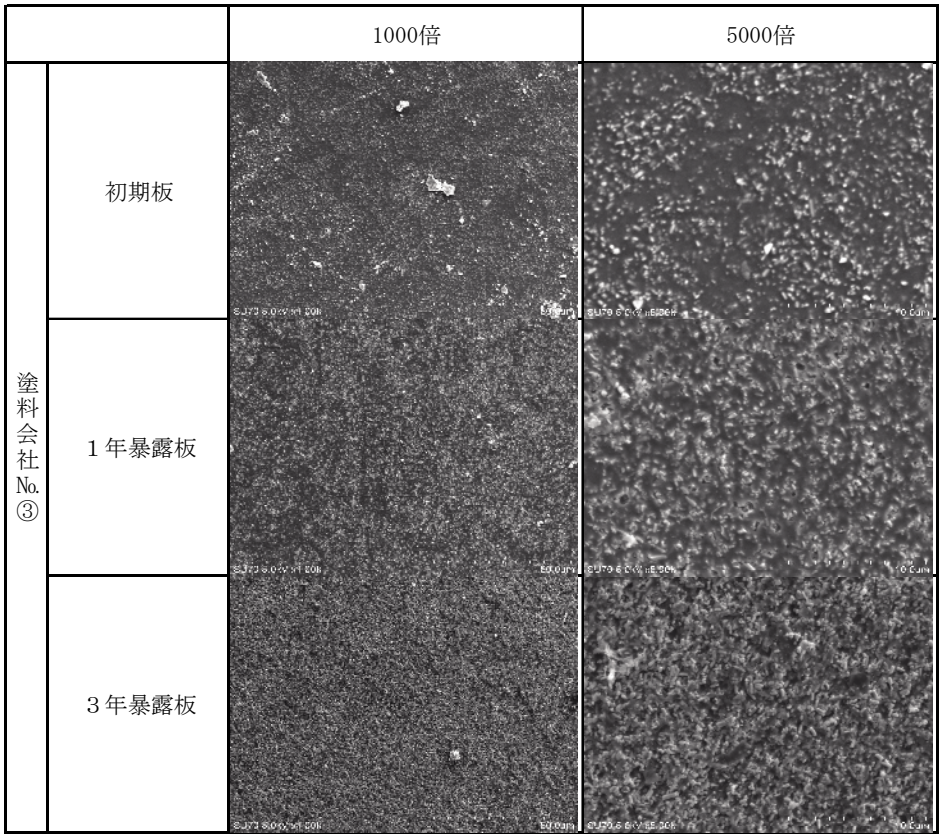
図－2.3.9(1)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B8）



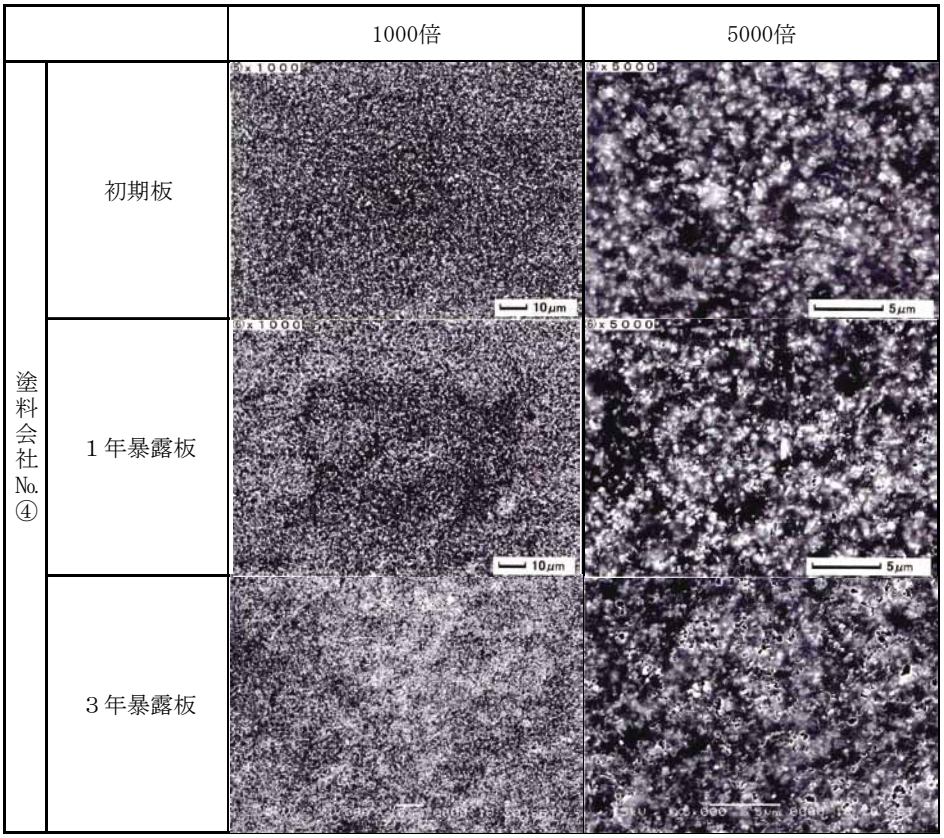
図－2.3.9(2)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B2）



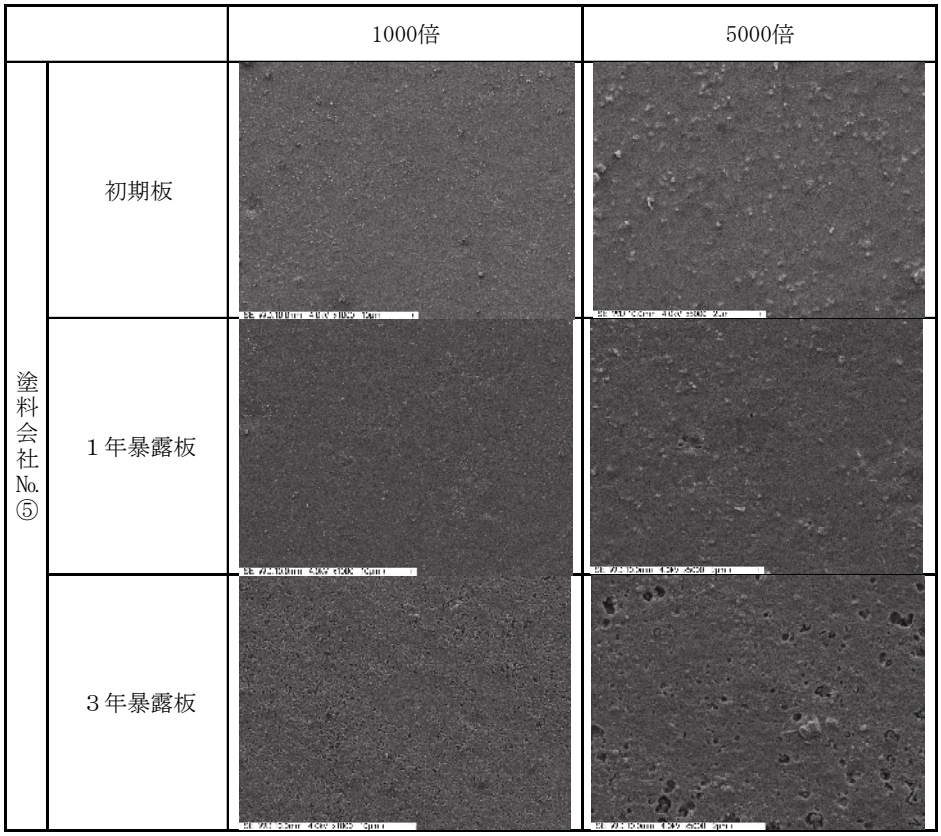
図－2.3.9(3)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B2）



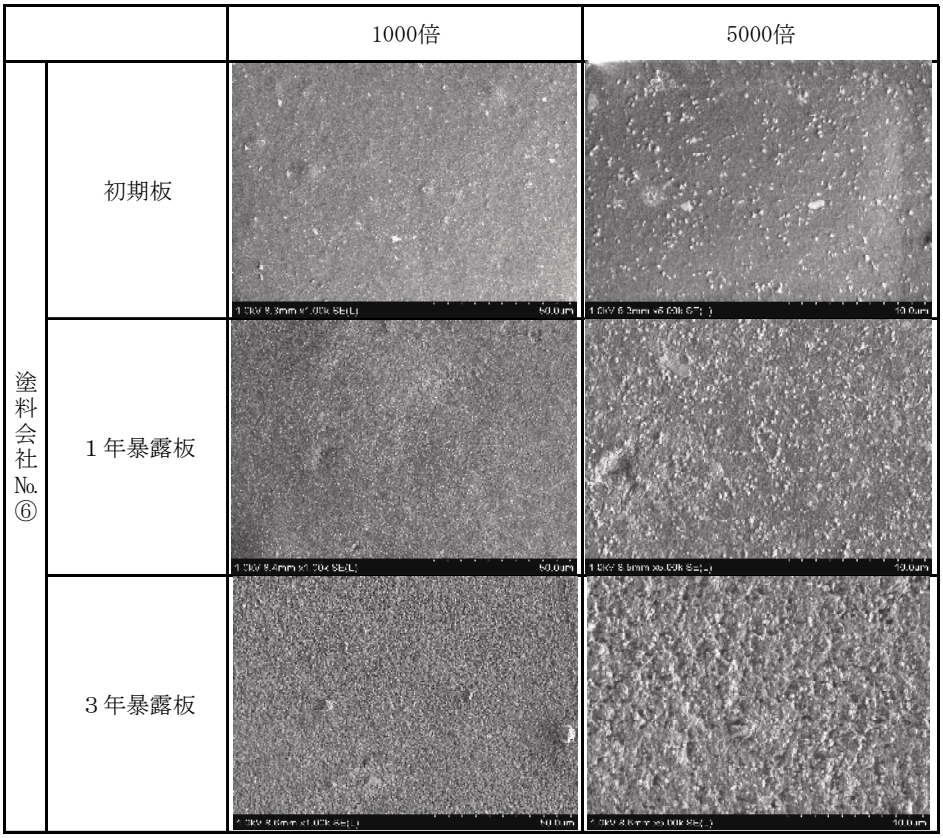
図－2.3.9(4)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B2）



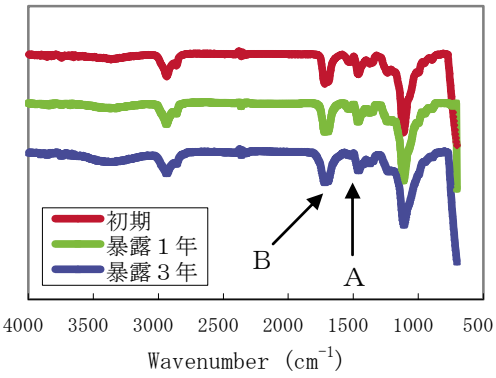
図－2.3.9(5)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B2）



図－2.3.9(6)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B2）



図－2.3.9(7)　走査型電子顕微鏡の画像（塗装系No.B2）



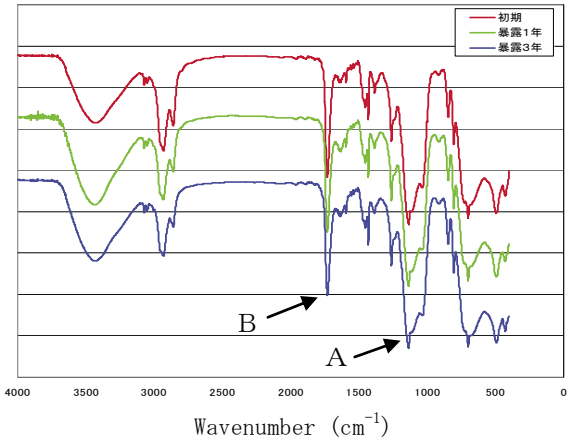
特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	0.26
暴露１年後	0.17
暴露３年後	0.11

A:1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(1)　FT-IR測定結果（比較：溶剤形）



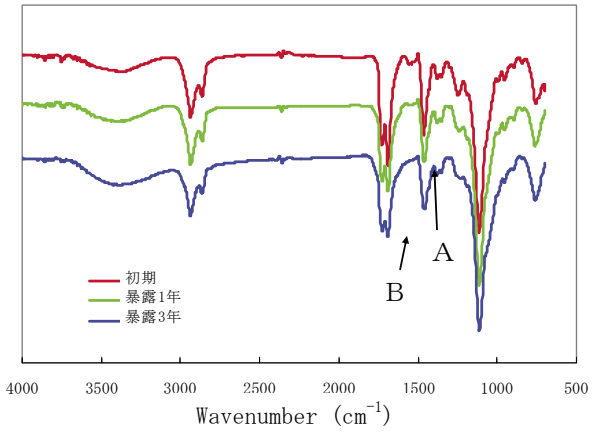
特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	1.66
暴露１年後	1.69
暴露３年後	1.68

A:1140cm^{-1}　Si-O-Siの伸縮振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(2)　FT-IR測定結果（塗料会社No.①）



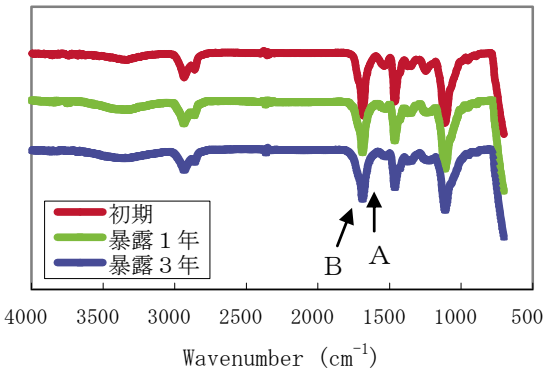
特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	0.11
暴露１年後	0.06
暴露３年後	0.06

A:1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(3)　FT-IR測定結果（塗料会社No.②）



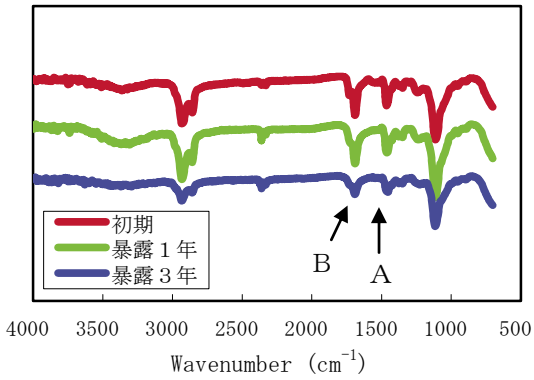
特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	0.13
暴露１年後	0.08
暴露３年後	0.06

A:1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(4)　FT-IR測定結果（塗料会社No.③）



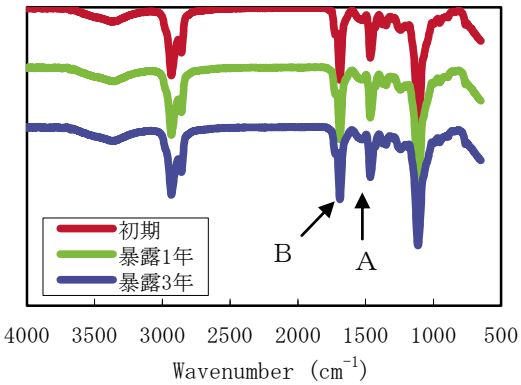
特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	1.06
暴露１年後	1.05
暴露３年後	1.03

A:1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(5)　FT-IR測定結果（塗料会社No.④）



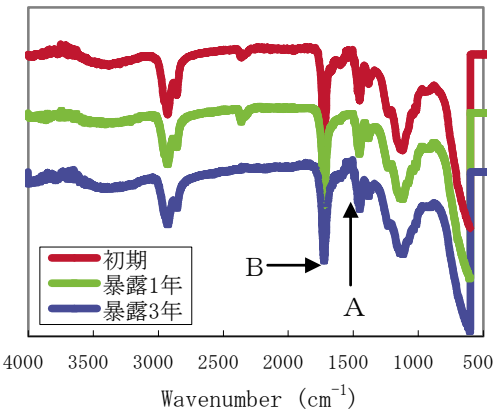
特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	0.49
暴露１年後	0.41
暴露３年後	0.28

A:1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(6)　FT-IR測定結果（塗料会社No.⑤）



特定吸収部位での吸光度比

吸光度比	A/B
初期	0.07
暴露１年後	0.08
暴露３年後	0.05

A:1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B:1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－2.3.10(7)　FT-IR測定結果（塗料会社No.⑥）

６）インピーダンス測定結果

初期板および沖縄屋外暴露試験３年後の試験板について、インピーダンスの測定結果を表－2.3.13に示す。

ⅰ）静電容量

静電容量を図－2.3.11～図－2.3.12 に示す。

初期板において、塗装系 No.B1 では、塗料会社 No.⑥のみが溶剤形より高い静電容量であったが、塗料会社 No.①～⑤は溶剤形とほぼ同等の静電容量であった。塗装系 No.B2 では、塗料会社 No.①～⑥ともに溶剤形とほぼ同等の静電容量であった。

沖縄屋外暴露試験３年後の試験板において、塗装系 No.B1、B2 では、塗料会社 No.①～⑥ともに溶剤形とほぼ同等の静電容量であった。

ⅱ）抵抗値

抵抗値を図－2.3.13～図－2.3.14 に示す。

初期板において、塗装系 No.B1 では、塗料会社 No.①のみが溶剤形より低い抵抗値であったが、塗料会社 No.②～⑥は溶剤形とほぼ同等の抵抗値であった。塗装系 No.B2 では、塗料会社 No.①～⑥ともに溶剤形とほぼ同等の抵抗値であった。

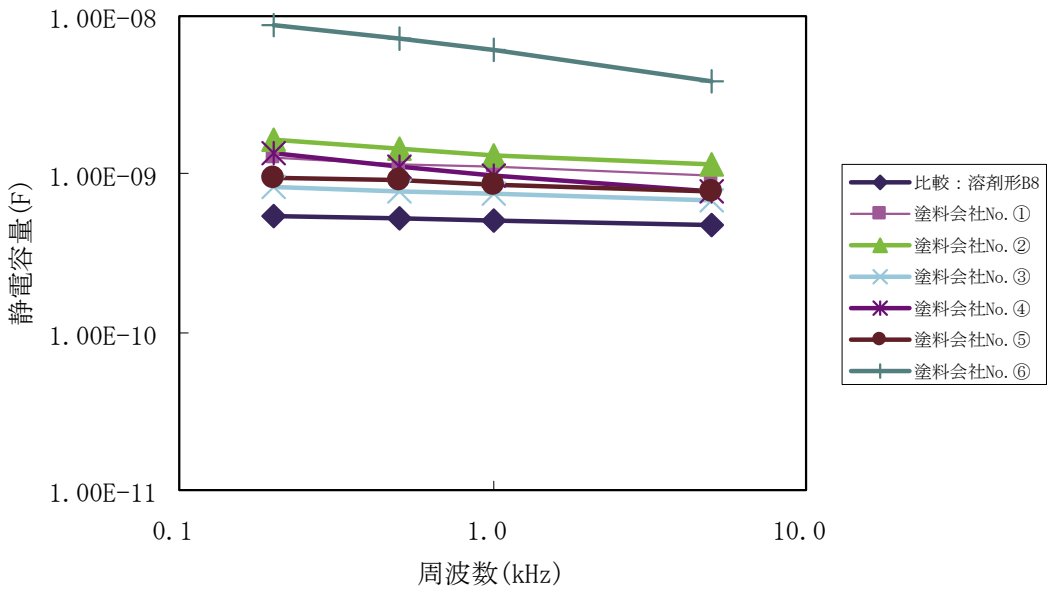
沖縄屋外暴露試験３年後の試験板では、塗装系 No.B1、B2 では、塗料会社 No.①～⑥ともに溶剤形とほぼ同等の抵抗値であった。

表－2.3.13(1)　インピーダンス測定結果（塗装系No.B1,B2、初期値）

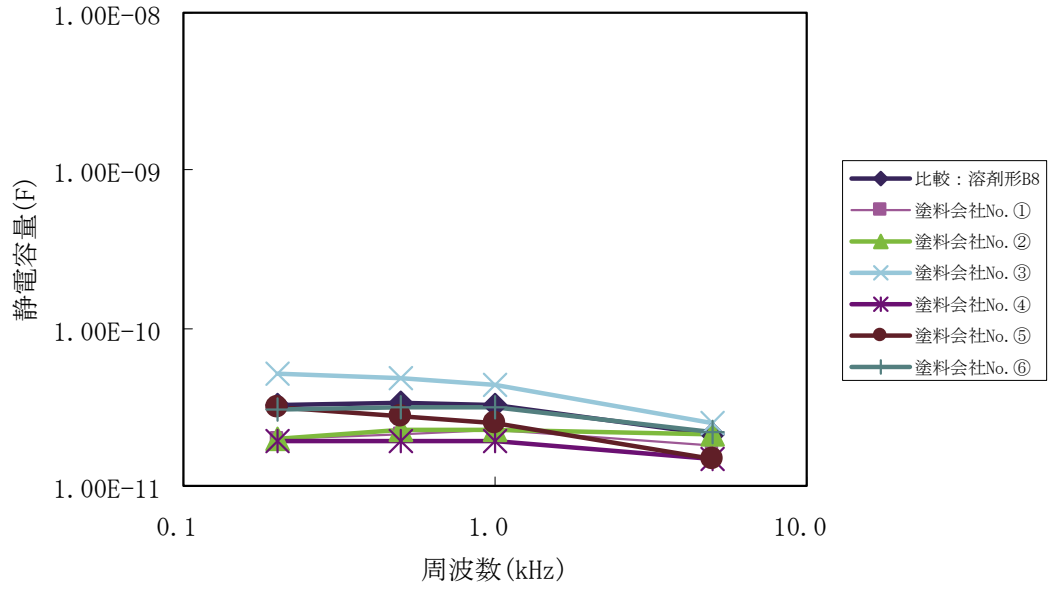
塗装系No.	塗料会社No.	周波数 (kHz)	初期値		
			静電容量 (nF)	抵抗値 (MΩ)	tanδ (計算値)
B8 (比較：溶剤形C-5)		0.2	0.551	14.29	0.10
		0.5	0.526	7.69	0.08
		1.0	0.510	4.55	0.07
		5.0	0.477	1.00	0.07
B1	①	0.2	1.285	2.63	0.24
		0.5	1.168	1.52	0.18
		1.0	1.101	0.98	0.15
		5.0	0.977	0.33	0.10
	②	0.2	1.639	1.96	0.25
		0.5	1.448	1.02	0.22
		1.0	1.334	0.63	0.19
		5.0	1.137	0.22	0.13
	③	0.2	0.837	7.69	0.12
		0.5	0.784	3.70	0.11
		1.0	0.750	2.08	0.10
		5.0	0.680	0.71	0.07
	④	0.2	0.957	8.33	0.10
		0.5	0.902	3.45	0.10
		1.0	0.862	1.79	0.10
		5.0	0.770	0.53	0.08
	⑤	0.2	1.365	0.93	0.63
		0.5	1.113	0.62	0.46
		1.0	0.977	0.44	0.37
		5.0	0.778	0.19	0.21
	⑥	0.2	8.890	0.19	0.47
		0.5	7.160	0.11	0.41
		1.0	6.030	0.07	0.40
		5.0	3.850	0.02	0.43
B2	①	0.2	0.999	3.85	0.21
		0.5	0.907	2.22	0.16
		1.0	0.859	1.41	0.13
		5.0	0.748	0.50	0.09
	②	0.2	1.306	4.35	0.14
		0.5	1.210	2.08	0.13
		1.0	1.150	1.25	0.11
		5.0	1.046	0.40	0.08
	③	0.2	0.855	7.69	0.12
		0.5	0.804	3.85	0.10
		1.0	0.771	2.22	0.09
		5.0	0.708	0.77	0.06
	④	0.2	0.834	10.00	0.10
		0.5	0.789	4.35	0.09
		1.0	0.759	2.38	0.09
		5.0	0.695	0.67	0.07
	⑤	0.2	1.131	1.61	0.44
		0.5	0.958	1.01	0.33
		1.0	0.864	0.68	0.27
		5.0	0.716	0.29	0.15
	⑥	0.2	1.510	2.63	0.20
		0.5	1.377	1.43	0.16
		1.0	1.298	0.88	0.14
		5.0	1.159	0.37	0.07

表－2.3.13(2)　インピーダンス測定結果（塗装系No.B1,B2、沖縄屋外暴露試験３年後）

塗装系No.	塗料会社No.	周波数 (kHz)	沖縄暴露３年後		
			静電容量 (nF)	抵抗値 (MΩ)	tanδ (計算値)
B8 (比較：溶剤形C-5)		0.2	0.033	30.30	0.80
		0.5	0.034	23.81	0.39
		1.0	0.032	14.71	0.34
		5.0	0.021	2.48	0.61
B1	①	0.2	0.020	50.00	0.80
		0.5	0.021	45.45	0.33
		1.0	0.023	33.33	0.21
		5.0	0.018	4.24	0.42
	②	0.2	0.020	50.00	0.80
		0.5	0.023	47.62	0.29
		1.0	0.023	38.46	0.18
		5.0	0.021	4.44	0.34
	③	0.2	0.051	23.26	0.67
		0.5	0.048	15.15	0.44
		1.0	0.044	9.17	0.39
		5.0	0.025	1.98	0.64
	④	0.2	0.031	29.41	0.87
		0.5	0.028	21.74	0.52
		1.0	0.025	14.08	0.45
		5.0	0.015	2.84	0.75
	⑤	0.2	0.019	47.62	0.88
		0.5	0.019	40.00	0.42
		1.0	0.019	27.78	0.30
		5.0	0.015	4.24	0.50
	⑥	0.2	0.030	32.26	0.82
		0.5	0.031	28.57	0.36
		1.0	0.031	17.54	0.29
		5.0	0.022	2.68	0.54
B2	①	0.2	0.018	58.82	0.75
		0.5	0.020	62.50	0.25
		1.0	0.021	50.00	0.15
		5.0	0.019	5.21	0.32
	②	0.2	0.017	58.82	0.80
		0.5	0.018	66.67	0.27
		1.0	0.019	66.67	0.13
		5.0	0.018	6.29	0.28
	③	0.2	0.049	20.83	0.78
		0.5	0.043	15.15	0.49
		1.0	0.039	8.47	0.48
		5.0	0.023	1.88	0.74
	④	0.2	0.017	45.45	1.03
		0.5	0.018	45.45	0.39
		1.0	0.018	33.33	0.27
		5.0	0.014	4.65	0.49
	⑤	0.2	0.025	40.00	0.80
		0.5	0.023	31.25	0.44
		1.0	0.023	20.83	0.33
		5.0	0.016	3.44	0.58
	⑥	0.2	0.024	41.67	0.80
		0.5	0.026	34.48	0.36
		1.0	0.025	23.26	0.27
		5.0	0.019	3.38	0.50

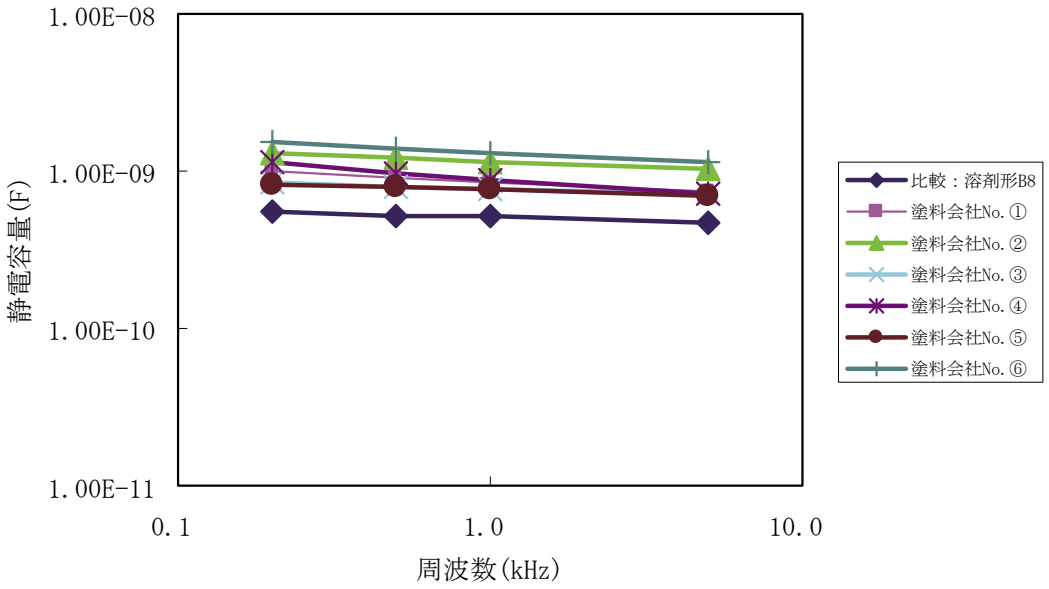


a)初期

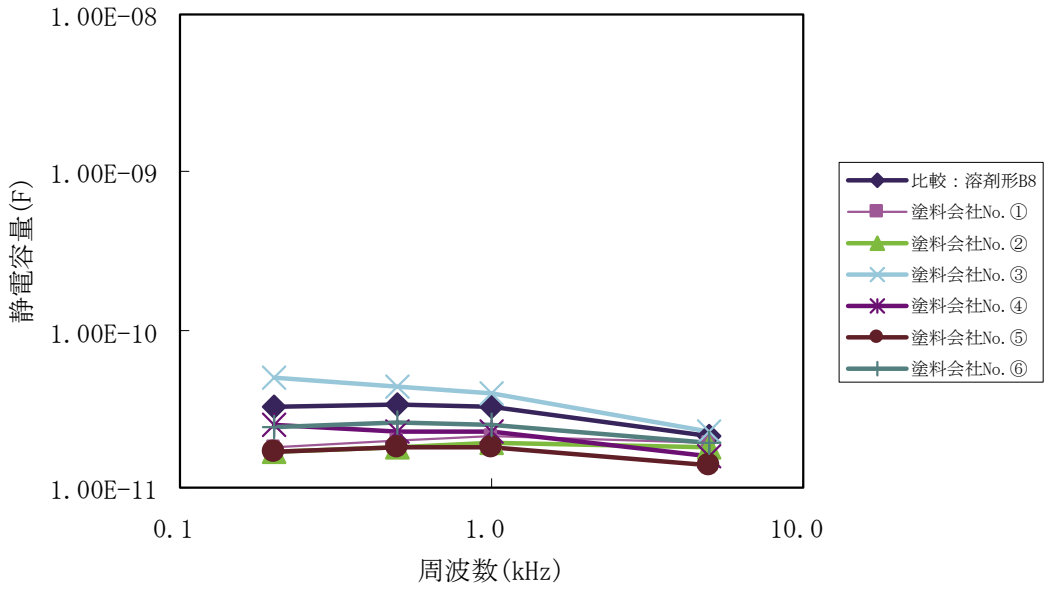


b)沖縄暴露試験３年後

図－2.3.11　静電容量（塗装系 No.B1）

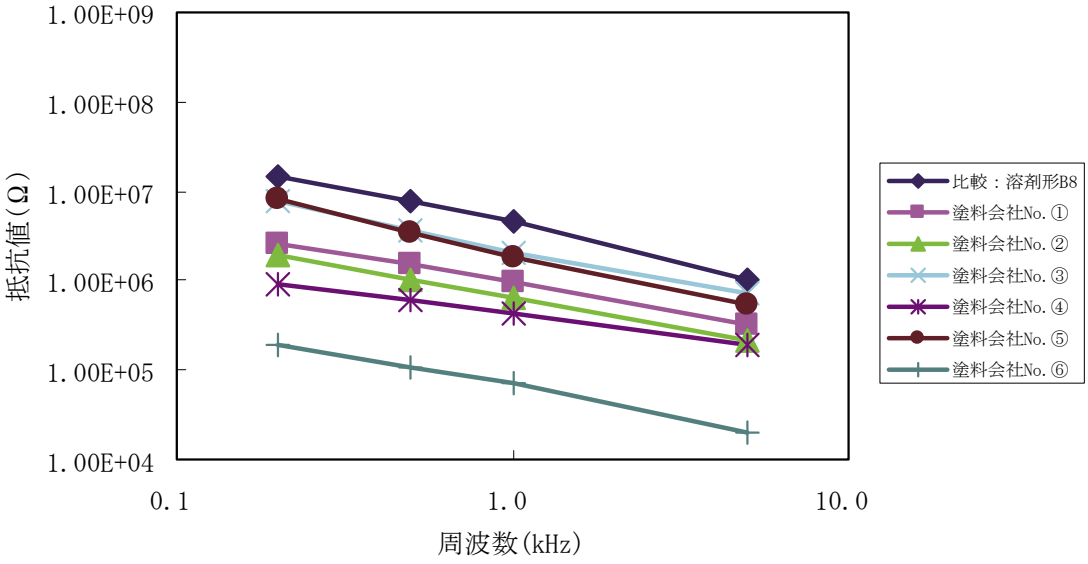


a) 初期

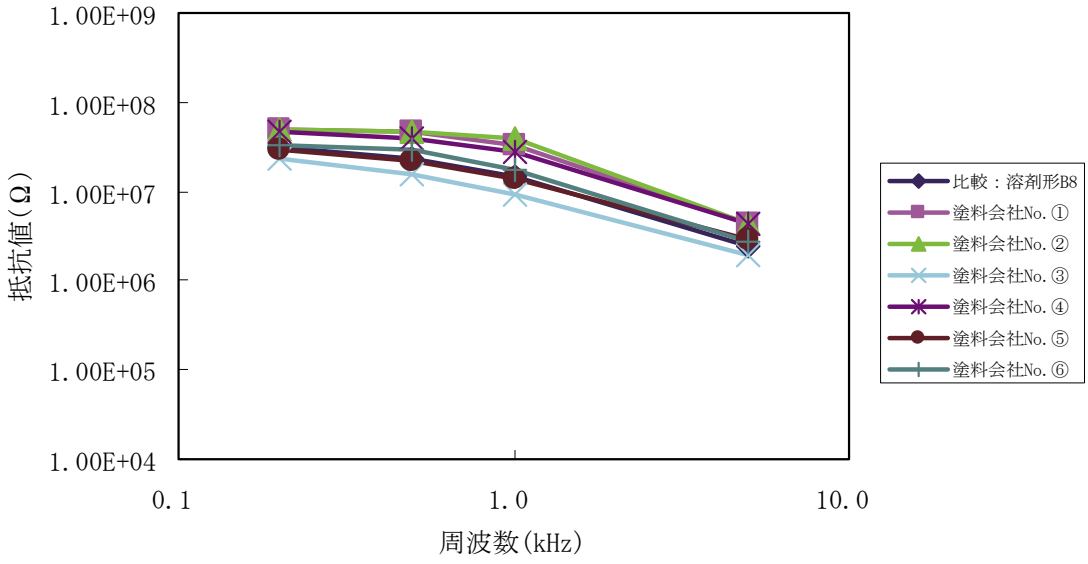


b) 沖縄暴露試験３年後

図－2.3.12　静電容量（塗装系No.B2）

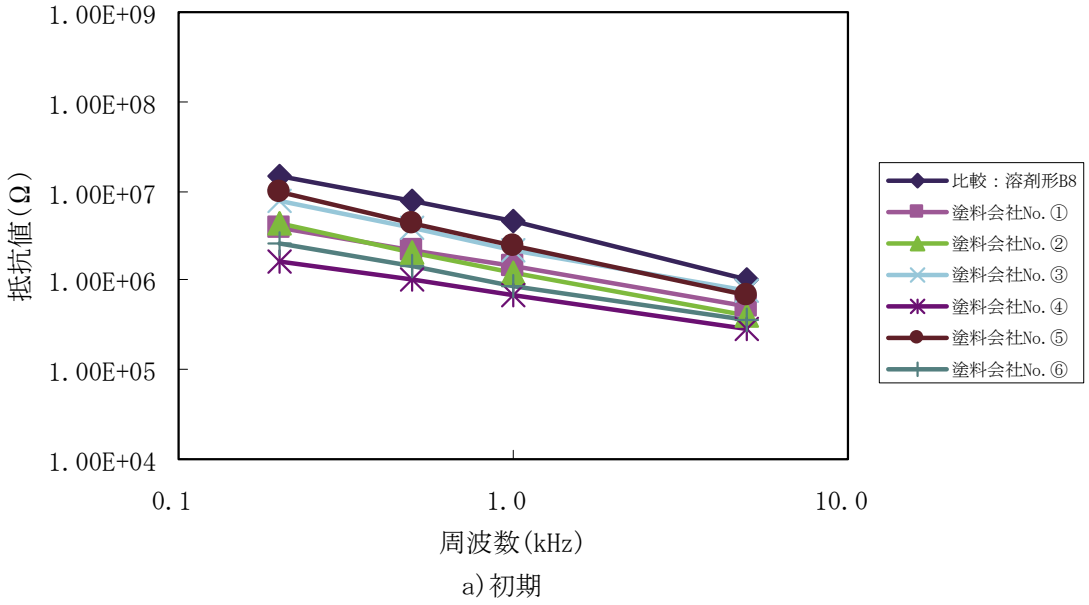


a)初期

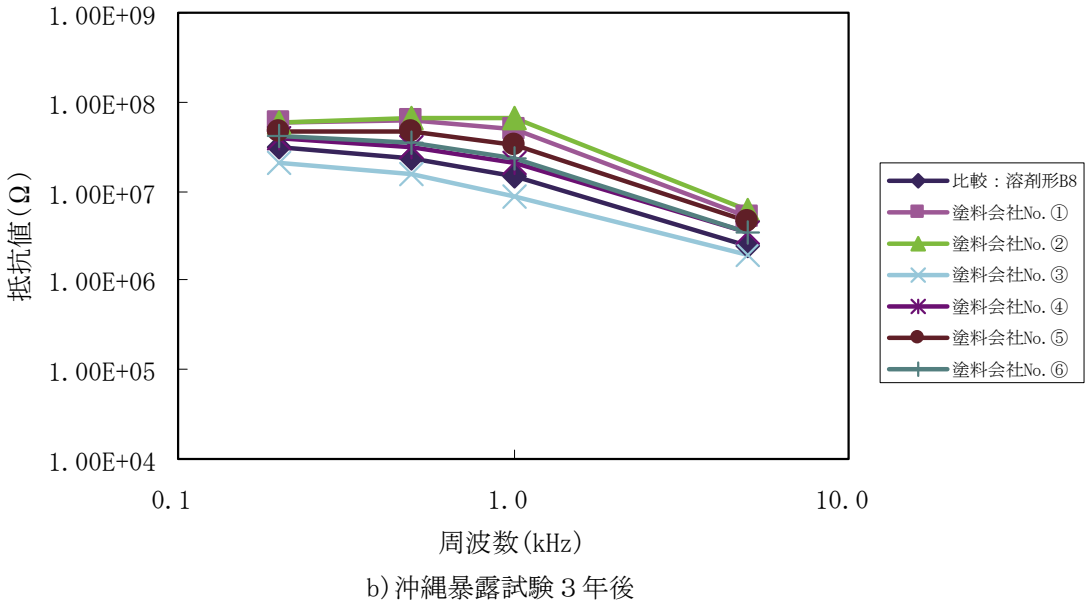


b)沖縄暴露試験３年後

図－2.3.13　抵抗値（塗装系 No.B1）



a)初期



b)沖縄暴露試験３年後

図－2.3.14　抵抗値（塗装系 No.B2）

7）直流抵抗

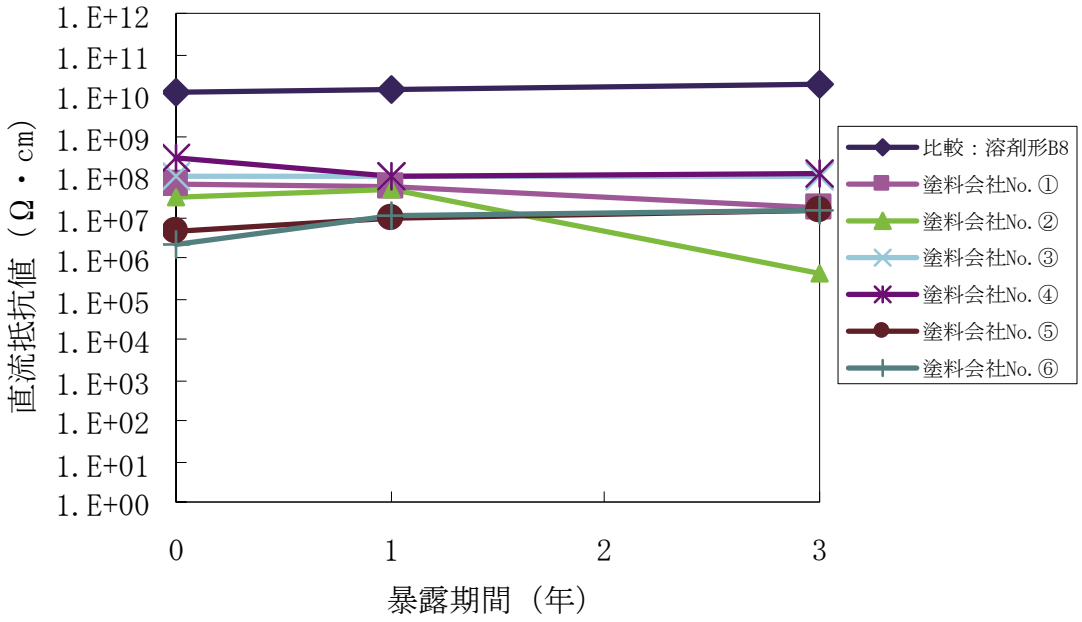
初期板および沖縄屋外暴露試験３年後の試験板について、直流抵抗値の測定結果を表－2.3.14および図－2.3.15に示す。

塗装系No.B1、No.B2ともに初期板では、溶剤形が水性塗装系より高い直流抵抗値であった。また、沖縄屋外暴露試験３年後の試験板においても溶剤形が水性塗装系より高い直流抵抗値であった。

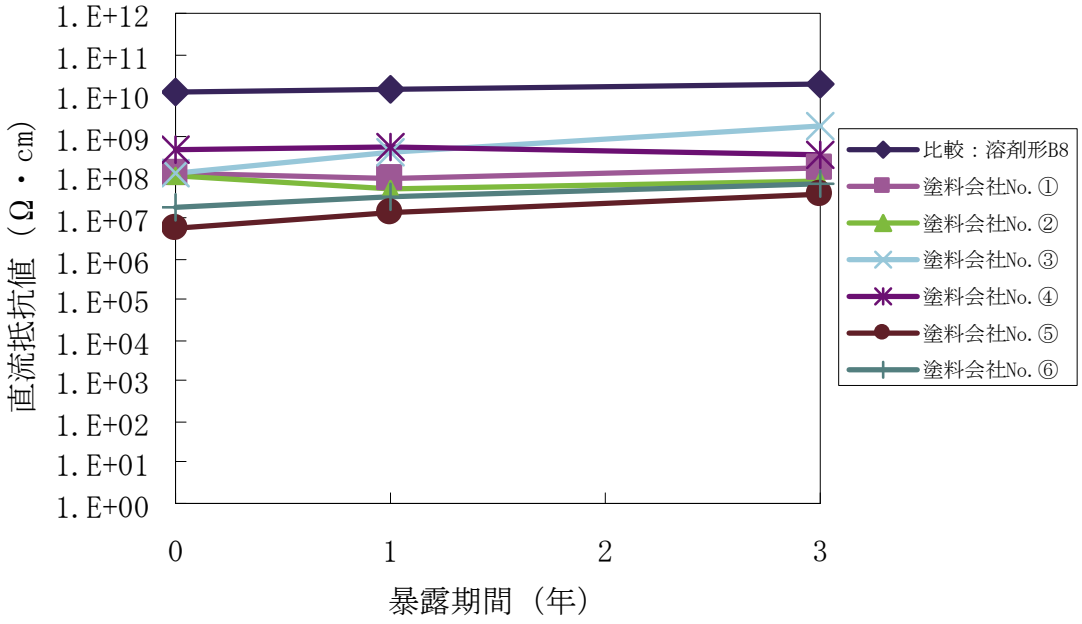
表－2.3.14　直流抵抗値測定結果

塗装系No.	塗料会社No.	直流抵抗値（Ω・cm）		
		初期	沖縄暴露１年後	沖縄暴露３年後
B8（比較：溶剤形C-5）		1.16E+10	1.40E+10	1.89E+10
B1	①	6.11E+07	5.44E+07	1.63E+07＊
	②	3.03E+07	5.10E+07	3.83E+05＊
	③	9.70E+07	9.92E+07	1.02E+08
	④	2.81E+08	9.40E+07	1.09E+08
	⑤	4.47E+06	9.26E+06	1.45E+07
	⑥	2.00E+06	1.09E+07	1.40E+07
B2	①	1.23E+08	9.73E+07	1.54E+08＊
	②	1.02E+08	4.76E+07	7.47E+07
	③	1.17E+08	3.95E+08	1.75E+09
	④	4.70E+08	5.17E+08	3.68E+08
	⑤	5.26E+06	1.26E+07	3.79E+07
	⑥	1.66E+07	3.31E+07	7.00E+07

＊印の板は、膨れがある。（8M）



a）塗装系No.B1



b）塗装系No.B2

図－2.3.15　直流抵抗値

（２）複合サイクル腐食試験結果

１）土研式CCT

土研式CCT400サイクル後の塗膜外観観察結果を表－2.3.15に示す。

塗装系No.B1では、塗料会社No.②が溶剤形と比較してカット部の膨れ幅が大幅に大きかったが、塗料会社No.①、③、④、⑤、⑥は溶剤形とほぼ同等の膨れ幅であった。また、何れの試験板も一般部に異状は認められなかった。

塗装系No.B2では、何れの試験板も溶剤形とほぼ同等の結果であった。

２）JIS式CCT

JIS式CCT1000サイクル後の塗膜外観観察結果を表－2.3.16に示す。

塗装系No.B1、No.B2ともに一般部に異状が認められず、カット部の膨れ幅についても溶剤形とほぼ同等の結果であった。

土研式CCT400サイクル後およびJIS式CCT1000サイクル後の付着性試験結果を表－2.3.17に、試験後の外観を図－2.3.16に示す。

塗装系 No.B1 では、土研式 400 サイクル後において、塗料会社 No.①～⑥ともに 1.0MPa 以上の付着強度であった。JIS 式 1000 サイクル後において、塗料会社 No.②の付着強度が 0.6MPa、塗料会社 No.⑥の付着強度が 0.7MPa であったが、塗料会社 No.①、③、④、⑤の付着強度は 1.0MPa 以上であった。

塗装系 No.B2 では、土研式 400 サイクル後および JIS 式 1000 サイクル後ともに、1.0MPa 未満の付着強度のものが多かった。

表－2.3.15　土研式CCT試験後の塗膜外観観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	塗膜外観観察					
		50サイクル		100サイクル		200サイクル	
		一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B8（比較：溶剤形C-5）		○	0.5	○	2	○	3
B1	①	○	0	○	2	○	3
	②	○	25.5	○	25.5	○	26
	③	○	1	○	2.5	○	3
	④	○	1	○	2.5	○	3.5
	⑤	○	1.5	○	3.5	○	4
	⑥	○ もらい錆　有	1	○ もらい錆　有	3.5	○ もらい錆　有	5
B2	①	○	1.5	○	2.5	○	3
	②	○	1	○	1.5	○	2
	③	○	2	○	8.5	○	9
	④	○	1	○	3.5	○	5
	⑤	○	1.5	○	2.5	○	4
	⑥	○	0	○	3	○ もらい錆　有	5

塗装系No.	塗料会社No.	塗膜外観観察			
		300サイクル		400サイクル	
		一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B8（比較：溶剤形C-5）		○	5	○	5
B1	①	○	4	○	6
	②	○	26	○	26
	③	○	6	○	7
	④	○	8	○	8
	⑤	○	8	○	8
	⑥	○ もらい錆　有	6	○ もらい錆　有	7
B2	①	○	5	○	5
	②	○	5	○	6
	③	○	10	○	10
	④	○	6	○	7
	⑤	○	19	○	19
	⑥	○ もらい錆　有	6	○ もらい錆　有	6

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－2.3.16　JIS式CCT試験後の塗膜外観観察結果

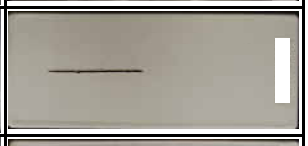
塗装系No.	塗料会社No.	塗膜外観観察					
		200サイクル		400サイクル		600サイクル	
		一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B8（比較：溶剤形C-5）		○	1	○	1	○	2
B1	①	○	0	○	0	○	2
	②	○	3	○	6	○	6
	③	○	1	○	2	○	2
	④	○	1	○	1	○	2
	⑤	○	1	○	1	○	2
	⑥	○	1	○	1	○	4
B2	①	○	0	○	2	○	2
	②	○	0	○	1	○	2
	③	○	2	○	2	○	3
	④	○	1	○	2	○	3
	⑤	○	1	○	1	○	1
	⑥	○	0	○	0	○	1

塗装系No.	塗料会社No.	塗膜外観観察			
		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B8（比較：溶剤形C-5）		○	2	○	4
B1	①	○	2	○	2
	②	○	7	○	7
	③	○	3	○	3
	④	○	3	○	6
	⑤	○	2	○	2
	⑥	○	4	○	4
B2	①	○	2	○	2
	②	○	2	○	4
	③	○	5	○	9
	④	○	3	○	3
	⑤	○	2	○	3
	⑥	○	2	○	3

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－2.3.17　CCT試験後の付着性試験結果

塗装系 No.	塗料会社 No.	土研式 400 サイクル		JIS 式 1000 サイクル	
		付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B8 (比較：溶剤形 C-5)		1.5	ジンク内:100	1.5	ジンク内:100
B1	①	1.0	ジンク内：30 下 塗 内：70	2.0	下 塗 内：90 下塗／中塗：10
	②	1.0	ジンク内:100	0.6	ジンク内:100
	③	2.0	ジンク内:100	1.2	ジンク内:100
	④	1.0	ジンク内:100	1.4	ジンク内:100
	⑤	1.0	ジンク内:100	1.5	上 塗 内:100
	⑥	1.0	ジンク内:100	0.7	ジンク内:100
B2	①	0.5	ジンク内:100	2.0	ジンク内:100
	②	1.0	ジンク内:100	1.0	ジンク内:100
	③	0.5	ジンク内:100	0.8	ジンク内:100
	④	0.8	ジンク内:100	0.8	ジンク内:100
	⑤	1.0	ジンク内:100	0.6	ジンク内:100
	⑥	0.5	ジンク内:100	0.7	ジンク内:100

塗装系No.	塗料会社No.	土研式CCT400サイクル	JIS式CCT1000サイクル
B8 （比較：溶剤形C-5）			
B1	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		
B2	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－2.3.16　CCT試験後の外観

（３）耐水性試験結果

耐湿潤冷熱繰返し性試験 10 サイクル後および耐湿性性試験７日後の塗膜外観観察結果を表－2.3.18 に示す。

塗装系No.B1およびB2では、塗料会社No.①～⑥すべての水性塗装系で溶剤形と同様に異状は見られなかった。

表－2.3.18　耐水性試験後の塗膜外観観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	耐湿潤冷熱繰返し性試験１０サイクル	耐湿性試験７日
B8（比較：溶剤形 C-5）		○	○
B1	①	○	○
	②	○	○
	③	○	○
	④	○	○
	⑤	○	○
	⑥	○	○
B2	①	○	○
	②	○	○
	③	○	○
	④	○	○
	⑤	○	○
	⑥	○	○

（注）塗膜外観　　○：異状なし

（４）促進耐候性試験結果（キセノンランプ法）

光沢度（60度鏡面光沢度）および光沢保持率の評価結果を表－2.3.19に、光沢保持率の変化を図－2.3.17に示す。

光沢保持率において、2000時間では塗料会社No.①～⑥ともに溶剤形とほぼ同等であった。5500時間では、塗料会社No.⑥が溶剤形より若干劣る結果であった。

色差の測定結果を表－2.3.20に、色差の変化を図－2.3.18に示す。

色差において、塗料会社No.①～⑥のすべての水性塗装系で溶剤形と有意差のない結果であった。

表－2.3.19　光沢度（60度鏡面光沢度）および光沢保持率の評価結果

塗料会社No.	60度鏡面光沢度				
	初期	1000時間	2000時間	3500時間	5500時間
溶剤形（比較）	76.0	75.4	74.9	71.9	59.2
①	80.7	75.2	72.9	70.3	61.7
②	60.4	55.6	55.0	51.7	46.7
③	79.3	73.8	71.1	63.2	63.0
④	61.9	60.5	61.3	60.5	61.5
⑤	73.3	71.1	70.9	68.5	67.9
⑥	58.2	59.0	58.0	45.1	34.2

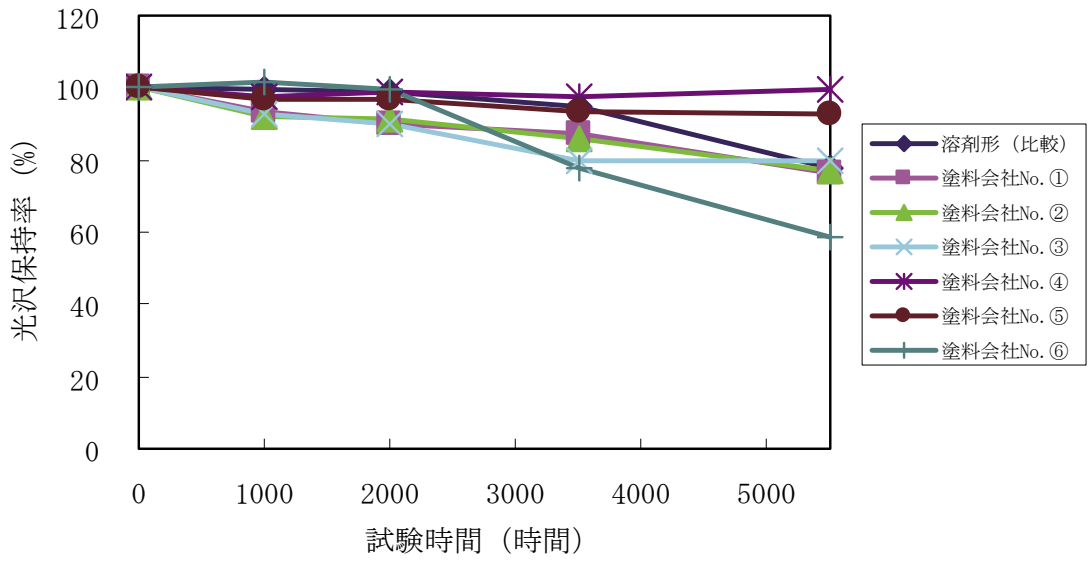
塗料会社No.	光沢保持率				
	初期	1000時間	2000時間	3500時間	5500時間
溶剤形（比較）	100.0%	99.2%	98.6%	94.6%	77.9%
①	100.0%	93.2%	90.3%	87.1%	76.5%
②	100.0%	92.1%	91.1%	85.6%	77.3%
③	100.0%	93.1%	89.7%	79.7%	79.4%
④	100.0%	97.7%	99.0%	97.7%	99.4%
⑤	100.0%	97.0%	96.7%	93.5%	92.6%
⑥	100.0%	101.4%	99.7%	77.5%	58.8%

表－2.3.20　色差の評価結果

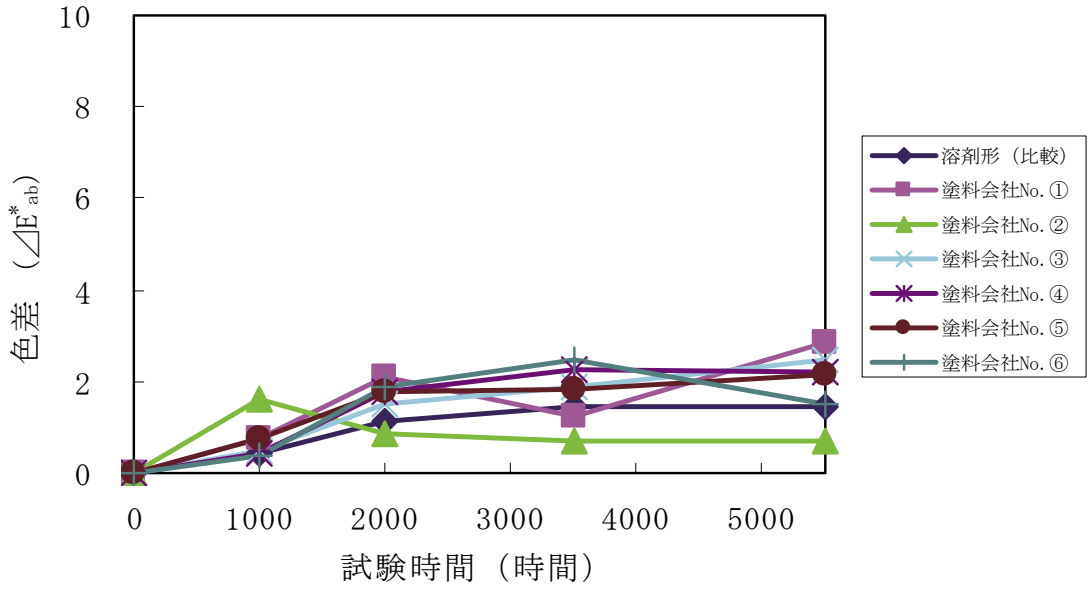
塗料会社No.	初期値		
	L^*	a^*	b^*
溶剤形（比較）	94.30	-0.96	2.00
①	94.04	-1.19	2.85
②	92.56	-1.31	2.38
③	94.96	-1.09	2.07
④	95.03	-1.31	2.71
⑤	95.23	-1.23	2.40
⑥	92.82	-1.20	0.85

塗料会社No.	1000時間				2000時間			
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
溶剤形（比較）	93.95	-0.95	2.21	0.41	95.04	-0.33	1.44	1.12
①	94.62	-1.01	2.02	0.77	95.40	-0.46	1.14	2.08
②	92.51	-1.01	1.67	1.60	93.83	-0.57	0.91	0.88
③	94.85	-0.97	1.60	0.50	95.60	-0.43	0.88	1.51
④	94.94	-1.08	2.00	0.75	95.72	-0.57	1.23	1.79
⑤	95.04	-1.07	2.04	0.45	96.13	-0.42	1.07	1.80
⑥	92.68	-1.19	0.49	0.38	94.20	-0.69	-0.36	1.90

塗料会社No.	3500時間				5500時間			
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
溶剤形（比較）	94.92	-0.36	1.43	1.43	95.24	-0.47	1.46	1.46
①	95.52	-0.42	1.14	1.26	92.00	-0.61	1.21	2.87
②	93.44	-0.58	1.84	0.69	89.76	-0.69	2.45	0.70
③	96.10	-0.51	0.69	1.88	92.93	-0.63	0.70	2.49
④	95.88	-0.60	1.23	1.85	95.98	-0.67	0.92	2.13
⑤	96.50	-0.50	0.69	2.25	96.63	-0.58	0.84	2.20
⑥	94.82	-0.66	-0.50	2.46	92.13	-0.88	-0.45	1.51



図－2.3.17　促進耐候性試験（キセノン）での光沢保持率



図－2.3.18　促進耐候性試験（キセノン）での色差

（５）塗膜物性試験結果

環境遮断性（酸素透過性、透湿度）、塗膜物性（破断強度、伸び率、応力緩和半減期）を試験した結果を表－2.3.21 に示す。

１）酸素透過係数、透湿度

塗料会社 No.①～⑥ともに酸素透過係数および透湿度が溶剤形と有意差のない結果であった。これらの結果から、水性塗料の環境遮断性は、溶剤形とほぼ同等の性能を有していることが確認できた。

２）塗膜の引張試験における破断強度、伸び率および応力緩和半減期

塗料会社 No.①～⑥ともに破断強度および伸び率が溶剤形塗料とほぼ同等の結果が得られた。また、塗膜の応力緩和能評価試験においても、加えた応力の半減期が塗料会社 No.②、④で長かったが、塗料会社 No.①、③、⑤、⑥では溶剤形と有意差のない結果であった。

表－2.3.21　塗膜物性試験結果

塗装系No.	塗料会社No.	酸素透過係数※ ($\times 10^{11}$)	透湿度 ($g/m^2 \cdot 24h$)	引張試験		応力緩和半減期 (sec)
				破断強度 (MPa)	破断時の伸び率 (%)	
B10（比較：溶剤形 Rc-Ⅲ）		5.58	0.44	25.0	5.4	900
B4	①	0.20	0.49	23.8	8.4	150
	②	0.87	0.63	27.0	6.3	2910
	③	0.12	0.53	32.0	8.9	640
	④	0.69	1.84	30.1	5.0	9570
	⑤	0.23	0.79	19.1	10.9	130
	⑥	0.21	0.62	22.2	6.9	710

※ 酸素透過係数の単位：$cm^3(STP) \cdot cm/cm^2 \cdot sec \cdot cmHg$

（６）まとめ

新設塗装用完全水性塗装系No.B1では、暴露試験や促進腐食サイクル試験において、塗料会社No.②の水性無機ジンクリッチペイントからのはがれが観察されたが、塗料会社No.①、③、④、⑤、⑥では、暴露試験、促進試験および塗膜特性試験においても溶剤形C-5塗装系とほぼ同等の性能であった。

新設塗装用水性塗装系No.B2では、塗料会社No.①～⑥ともに暴露試験、促進試験および塗膜特性試験においても溶剤形C-5塗装系とほぼ同等の性能であった。

２．３．２　二次試験結果

二次試験に供した塗装系と塗装会社の一覧を表－2.3.22に示す。

塗料会社No.②の水性無機ジンクリッチペイントおよび水性ふっ素樹脂塗料上塗を変更したもの、塗料会社No.⑥の水性ふっ素樹脂塗料上塗を変更したもの、比較として塗料会社No.⑥の一次試験と同じ塗装系の合計３種を二次試験に供した。

表－2.3.22　二次試験に供した塗装系と塗装会社の一覧表

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	一次試験からの変更点
B1	②	②－ａ	水性無機ジンクリッチペイント および水性ふっ素樹脂塗料上塗
	⑥	⑥－ａ	水性ふっ素樹脂塗料上塗
		⑥	一次試験に同じ

（１）屋外暴露試験結果

１）塗膜外観観察（一般部・カット部）

屋外暴露試験後の各試験板について、一般部およびカット部のさび、膨れを観察した結果を表－2.3.23～表－2.3.24に、試験後の外観（表面）を図－2.3.19に示す。

沖縄屋外暴露試験２年後およびつくば屋外暴露試験２年後の試験板において、試験片No.②－ａ、⑥－ａ、⑥ともに一次試験の比較の溶剤形の結果とほぼ同等の結果であった。

２）付着性

屋外暴露試験２年経過のプルオフ法による付着性試験結果を表－2.3.25に示す。

屋外暴露試験２年後の付着性は、試験片No.②－ａ、⑥－ａ、⑥ともに1.0MPa以上の付着力であった。

表－2.3.23　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				沖縄		つくば	
				一般部	カット部	一般部	カット部
B1	②	②－a	表	○	1mm	○	2mm
			裏	○	0.5mm	○	1mm
	⑥	⑥－a	表	○	1mm	○	0mm
			裏	○	0.5mm	○	0.5mm
		⑥	表	○	1mm	○	0mm
			裏	○	1mm	○	0.5mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

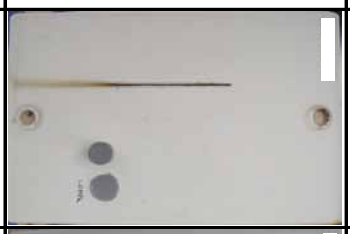
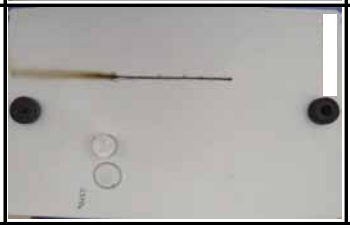
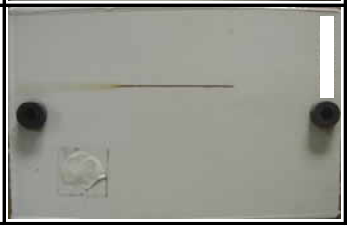
表－2.3.24　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				沖縄		つくば	
				一般部	カット部	一般部	カット部
B1	②	②－a	表	○	2mm	○	3mm
			裏	○	1mm	○	5mm
	⑥	⑥－a	表	○	1mm	○	1mm
			裏	○	1mm	○	1mm
		⑥	表	○	1mm	○	1mm
			裏	○	1mm	○	1mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－2.3.25　屋外暴露試験２年後の付着性試験結果（塗装系 No.B1）

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	沖縄		つくば	
				付着強度(MPa)	破断箇所(%)	付着強度(MPa)	破断箇所(%)
B1	②	②－a	表	1.0	ジンク内　:100	1.5	ジンク内　:10 ジンク/下塗　:90
			裏	1.8	ジンク内　:80 接着剤　:20	1.5	ジンク内　:60 ジンク/下塗　:20 接着剤　:20
	⑥	⑥－a	表	1.5	素地　:50 接着剤　:50	4.5	ジンク内　:80 接着剤　:20
			裏	4.0	ジンク内　:10 接着剤　:90	7.0	ジンク内　:100
		⑥	表	3.5	接着剤　:100	5.0	ジンク内　:50 接着剤　:50
			裏	3.5	接着剤　:100	4.5	ジンク内　:20 上塗内　:80

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	沖縄	つくば
B1	②	②－a		
	⑥	⑥－a		
		⑥		

図－2.3.19　屋外暴露試験２年後の外観（塗装系No.B1、表面）

３）光沢保持率

二次試験に供した試験片の光沢保持率の測定に関しては、塗装系 No.B4（P. Ⅲ-117 表－3.3.23参照）の試験片で測定を行った。

屋外暴露試験２年後の塗装系No.B4の水洗前後の光沢保持率の測定結果を表－2.3.26～表－2.3.27に、水洗後の光沢保持率の変化を図－2.3.20～図2.3.21に示す。

沖縄屋外暴露試験２年後では、試験片No.④－ａで著しい光沢低下が確認されたが、試験片No.①－ａ、③－ａ、⑤－ａ、⑥－ａでは一次試験の溶剤形の結果とほぼ同等であった。

つくば屋外暴露試験２年後では、試験片No.①－ａが他の試験片と比較して若干劣る結果となったが、試験片No.③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥では一次試験の溶剤形の結果とほぼ同等であった。

４）色差

二次試験に供した試験片の色差の測定に関しては、塗装系 No.B4（P.Ⅲ-117 表－3.3.23参照）の試験片で測定を行った。

屋外暴露試験２年後の塗装系No.B2の水洗前後の色差の測定結果を表－2.3.28～表－2.3.31に、水洗後の色差の変化を図－2.3.22～図2.3.23に示す。

沖縄屋外暴露試験２年後では、試験片No.⑥の１年経過時点で色差が顕著であったが、２年経過時点では、試験片No.①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに一次試験の溶剤形の結果とほぼ同等であった。

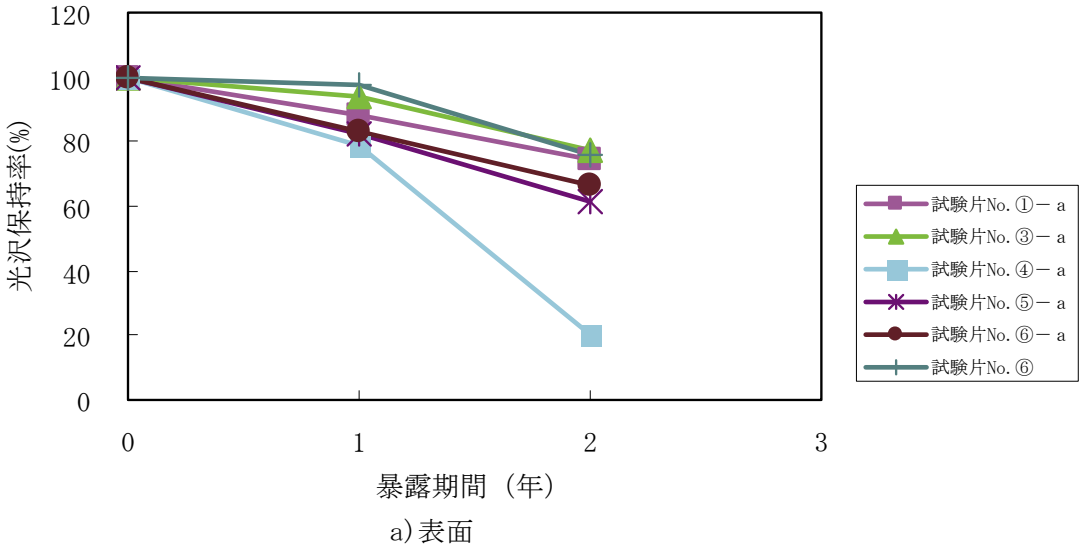
また、つくば屋外暴露試験２年後においても、一次試験の溶剤形の結果と同等であった。

表－2.3.26　屋外暴露試験後の光沢度および光沢保持率（塗装系No.B4、水洗前）

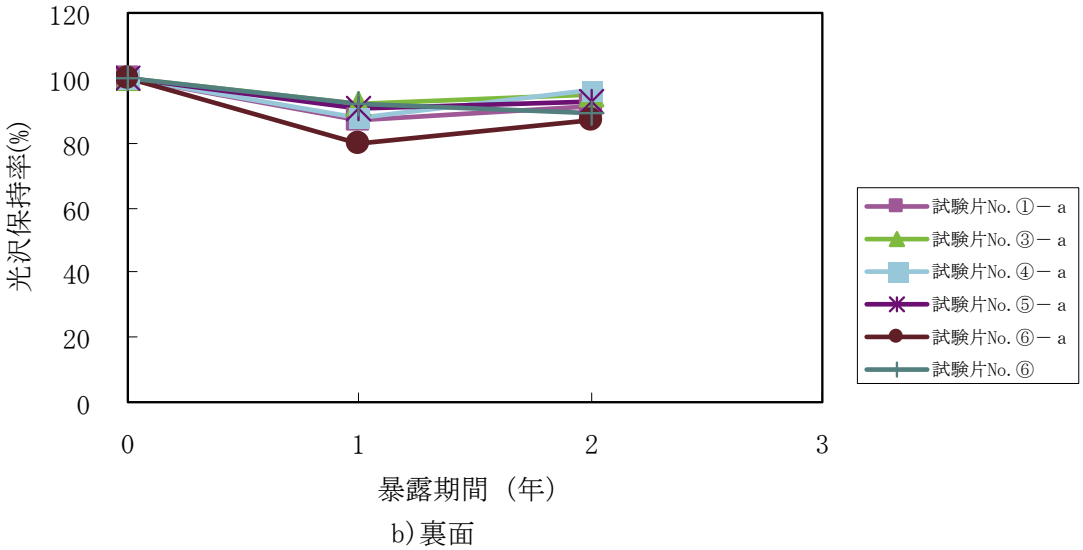
暴露場所	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	60度鏡面光沢度			光沢保持率	
				初期	１年	２年	１年	２年
沖縄	①	①－a	表	58.1	43.9	27.7	75.5%	47.7%
			裏	60.6	33.0	37.4	54.5%	61.7%
	③	③－a	表	84.5	71.2	38.3	84.2%	45.3%
			裏	83.3	54.7	68.3	65.7%	82.0%
	④	④－a	表	79.0	58.2	31.1	73.7%	39.4%
			裏	76.8	41.7	71.5	54.3%	93.1%
	⑤	⑤－a	表	75.3	58.9	36.1	78.3%	48.0%
			裏	77.0	57.5	62.6	74.6%	81.2%
	⑥	⑥－a	表	60.7	37.7	32.5	62.1%	53.6%
			裏	63.1	32.8	44.2	51.9%	70.1%
		⑥	表	70.4	56.3	36.3	80.1%	51.6%
			裏	71.4	54.3	56.2	76.1%	78.6%
つくば	①	①－a	表	58.1	31.4	31.1	54.1%	53.5%
			裏	60.6	52.8	48.9	87.5%	80.8%
	③	③－a	表	84.5	59.3	64.1	70.2%	75.8%
			裏	83.3	80.8	78.7	97.1%	94.5%
	④	④－a	表	79.0	54.7	57.3	69.3%	72.6%
			裏	76.8	70.8	70.9	92.2%	92.3%
	⑤	⑤－a	表	75.3	52.1	55.2	69.2%	73.3%
			裏	77.0	72.3	72.8	93.9%	94.5%
	⑥	⑥－a	表	60.7	36.4	36.1	60.1%	59.5%
			裏	63.1	51.8	50.9	82.0%	80.6%
		⑥	表	70.4	40.2	42.9	57.2%	61.0%
			裏	71.4	68.0	64.7	95.2%	90.6%

表－2.3.27　屋外暴露試験後の光沢度および光沢保持率（塗装系No.B4、水洗後）

暴露場所	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	60度鏡面光沢度			光沢保持率	
				初期	１年	２年	１年	２年
沖縄	①	①－a	表	58.1	51.1	43.4	88.1%	74.8%
			裏	60.6	52.8	55.2	87.1%	91.1%
	③	③－a	表	84.5	79.5	65.6	94.1%	77.6%
			裏	83.3	76.6	79.1	92.0%	95.0%
	④	④－a	表	79.0	62.3	16.0	78.9%	20.3%
			裏	76.8	67.5	73.9	87.8%	96.2%
	⑤	⑤－a	表	75.3	62.1	46.2	82.5%	61.4%
			裏	77.0	70.0	71.3	90.8%	92.6%
	⑥	⑥－a	表	60.7	50.5	40.3	83.3%	66.6%
			裏	63.1	50.1	54.8	79.4%	86.8%
		⑥	表	70.4	68.8	53.2	97.9%	75.6%
			裏	71.4	65.8	63.6	92.2%	89.1%
つくば	①	①－a	表	58.1	37.1	39.1	63.9%	67.4%
			裏	60.6	56.5	51.8	93.4%	85.6%
	③	③－a	表	84.5	82.3	79.4	97.3%	93.9%
			裏	83.3	83.0	83.5	99.7%	100.3%
	④	④－a	表	79.0	74.8	70.3	94.7%	89.0%
			裏	76.8	73.9	74.8	96.2%	97.4%
	⑤	⑤－a	表	75.3	72.1	70.1	95.8%	93.1%
			裏	77.0	73.6	73.1	95.6%	94.9%
	⑥	⑥－a	表	60.7	53.3	53.3	87.8%	87.9%
			裏	63.1	57.4	60.2	90.9%	95.4%
		⑥	表	70.4	57.9	57.8	82.2%	82.3%
			裏	71.4	68.3	71.1	95.6%	99.5%

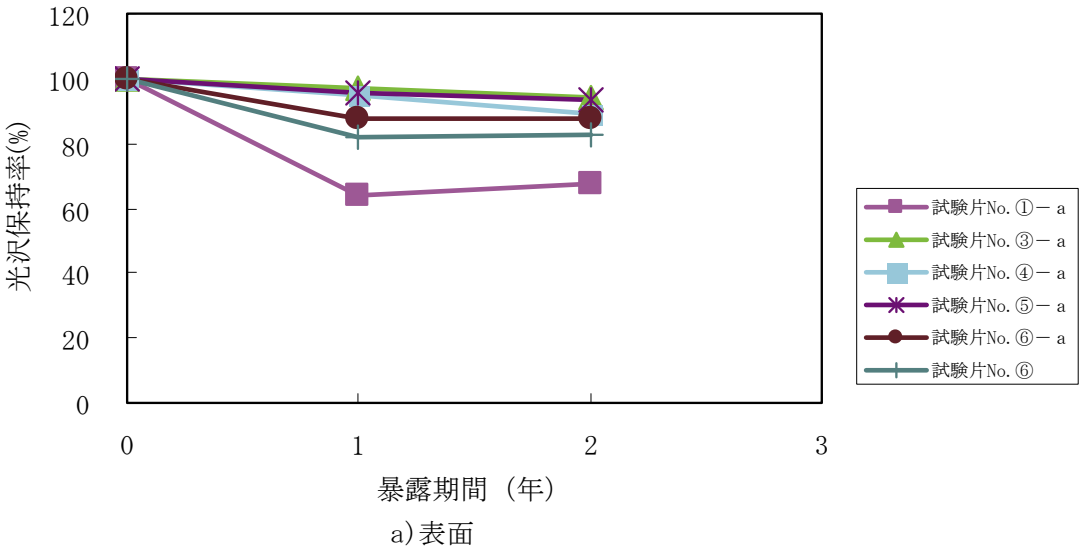


a)表面

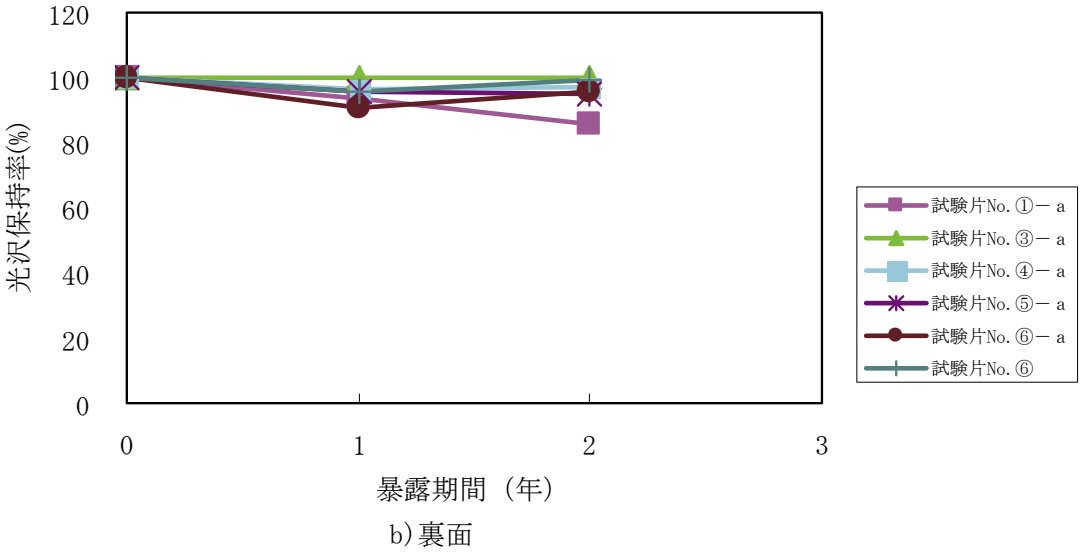


b)裏面

図－2.3.20　沖縄屋外暴露試験２年経過の光沢保持率測定結果（塗装系No.B4）



a)表面



b)裏面

図－2.3.21　つくば屋外暴露試験２年経過の光沢保持率測定結果（塗装系No.B4）

表－2.3.28　屋外暴露試験１年後の色差（塗装系No.B4、水洗前）

暴露場所	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	初期値			１年			
				L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	93.48	-0.44	1.91	2.16
			裏	95.75	-0.68	1.45	94.93	-0.43	1.19	0.90
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	95.04	-0.45	2.22	1.36
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.63	-0.50	1.99	0.89
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	96.42	-0.60	1.02	1.19
			裏	97.36	-0.65	-0.07	96.81	-0.58	0.46	0.76
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	96.17	-0.57	1.63	2.20
			裏	98.63	-0.56	0.58	97.91	-0.48	0.95	0.82
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	93.70	-0.58	2.83	3.43
			裏	96.91	-0.45	1.47	95.95	-0.44	1.75	1.00
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	91.99	-0.42	3.48	6.27
			裏	98.10	-0.53	1.33	97.04	-0.55	2.08	1.29
つくば	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	89.16	-0.24	1.38	6.27
			裏	95.75	-0.68	1.45	94.84	-0.51	0.84	1.12
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	90.53	-0.22	2.98	5.90
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.18	-0.49	1.59	1.04
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	90.34	-0.14	1.37	7.08
			裏	97.36	-0.65	-0.07	96.55	-0.56	-0.27	0.84
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	91.43	-0.14	1.79	6.65
			裏	98.63	-0.56	0.58	97.77	-0.43	0.53	0.87
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	89.18	-0.23	3.01	7.75
			裏	96.91	-0.45	1.47	95.95	-0.44	1.75	1.00
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	89.58	-0.15	3.12	8.42
			裏	98.10	-0.53	1.33	96.56	-0.65	1.94	1.66

表－2.3.29　屋外暴露試験１年後の色差（塗装系No.B4、水洗後）

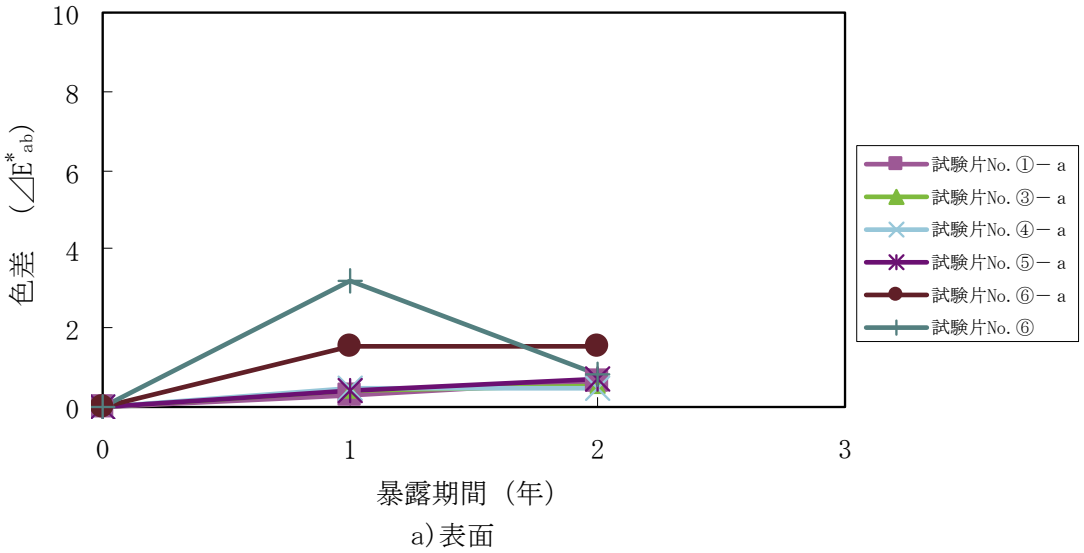
暴露場所	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	初期値			１年			
				L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	95.15	-0.48	0.85	0.28
			裏	95.75	-0.68	1.45	95.15	-0.48	0.85	0.87
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	95.89	-0.49	1.70	0.39
			裏	96.17	-0.41	1.29	96.22	-0.48	1.24	0.09
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	96.83	-0.60	0.19	0.48
			裏	97.36	-0.65	-0.07	97.12	-0.59	-0.28	0.33
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	97.71	-0.56	0.64	0.43
			裏	98.63	-0.56	0.58	98.46	-0.48	0.39	0.27
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	95.30	-0.58	1.80	1.55
			裏	96.91	-0.45	1.47	96.27	-0.49	1.22	0.69
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	94.62	-0.47	1.80	3.21
			裏	98.10	-0.53	1.33	97.19	-0.56	1.72	0.99
つくば	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	93.28	-0.62	0.56	2.15
			裏	95.75	-0.68	1.45	95.27	-0.48	0.83	0.81
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	94.59	-0.49	1.23	1.73
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.54	-0.49	1.49	0.67
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	96.37	-0.33	0.04	1.00
			裏	97.36	-0.65	-0.07	96.78	-0.59	-0.40	0.67
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	96.63	-0.37	0.23	1.26
			裏	98.63	-0.56	0.58	97.71	-0.50	0.28	0.97
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	92.82	-0.50	2.15	4.01
			裏	96.91	-0.45	1.47	96.27	-0.49	1.22	0.69
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	94.48	-0.28	2.14	3.46
			裏	98.10	-0.53	1.33	96.92	-0.62	2.00	1.36

表－2.3.30　屋外暴露試験２年後の色差（塗装系No.B4、水洗前）

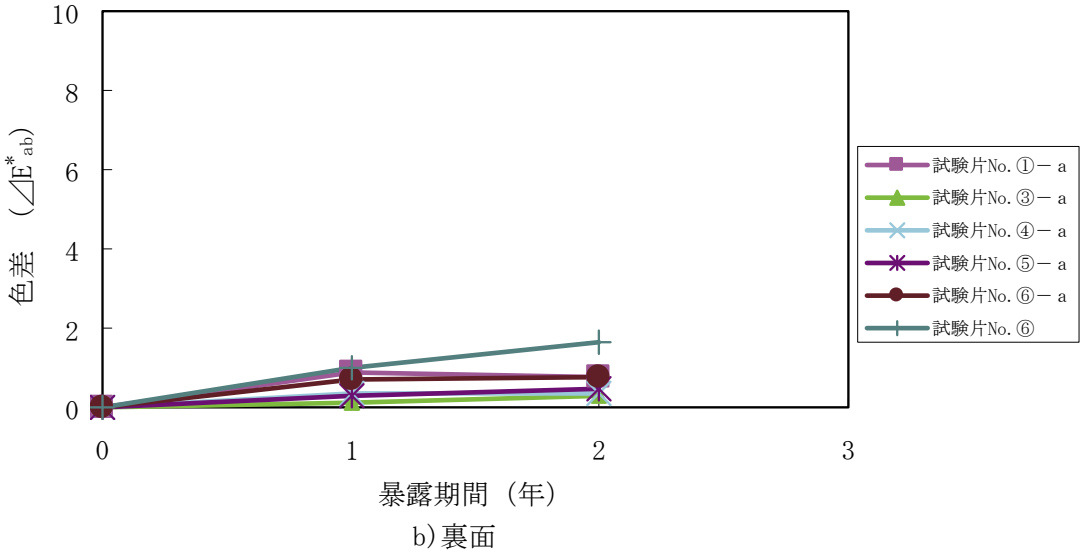
暴露場所	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	初期値			２年			
				L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	93.89	-0.50	2.75	2.36
			裏	95.75	-0.68	1.45	94.04	-0.36	2.04	1.84
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	95.12	-0.54	2.87	1.69
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.60	-0.54	2.36	1.21
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	96.27	-0.69	1.93	1.99
			裏	97.36	-0.65	-0.07	96.89	-0.61	0.89	1.07
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	97.14	-0.68	2.05	1.95
			裏	98.63	-0.56	0.58	97.70	-0.57	1.65	1.41
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	94.05	-0.70	3.92	3.83
			裏	96.91	-0.45	1.47	95.75	-0.55	2.27	1.42
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	95.76	-0.68	2.83	2.75
			裏	98.10	-0.53	1.33	96.14	-0.58	3.23	2.73
つくば	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	89.85	-0.23	1.70	5.62
			裏	95.75	-0.68	1.45	94.55	-0.03	1.15	1.40
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	92.75	-0.16	2.32	3.59
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.00	-0.08	1.81	1.32
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	92.13	-0.26	1.05	5.25
			裏	97.36	-0.65	-0.07	96.08	-0.19	0.11	1.38
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	93.28	-0.25	1.37	4.75
			裏	98.63	-0.56	0.58	97.22	-0.12	0.97	1.53
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	90.04	-0.18	3.03	6.93
			裏	96.91	-0.45	1.47	95.74	-0.12	1.67	1.23
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	91.47	-0.14	2.75	6.51
			裏	98.10	-0.53	1.33	96.18	-0.25	2.32	2.18

表－2.3.31　屋外暴露試験２年後の色差（塗装系No.B4、水洗後）

暴露場所	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	初期値			２年			
				L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
沖縄	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	95.09	-0.41	1.49	0.67
			裏	95.75	-0.68	1.45	95.14	-0.37	1.13	0.76
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	95.86	-0.45	2.01	0.55
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.98	-0.43	1.52	0.30
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	97.00	-0.58	0.62	0.49
			裏	97.36	-0.65	-0.07	97.01	-0.56	0.05	0.38
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	97.80	-0.60	0.97	0.72
			裏	98.63	-0.56	0.58	98.23	-0.48	0.76	0.45
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	95.63	-0.61	2.25	1.53
			裏	96.91	-0.45	1.47	96.19	-0.47	1.74	0.77
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	96.95	-0.57	1.21	0.81
			裏	98.10	-0.53	1.33	96.72	-0.50	2.26	1.66
つくば	①	①－a	表	95.39	-0.60	0.92	94.11	-0.38	1.06	1.31
			裏	95.75	-0.68	1.45	94.91	-0.04	1.17	1.09
	③	③－a	表	96.26	-0.40	1.64	95.11	-0.35	1.67	1.16
			裏	96.17	-0.41	1.29	95.89	-0.06	1.56	0.52
	④	④－a	表	97.31	-0.62	0.24	96.82	-0.40	0.23	0.54
			裏	97.36	-0.65	-0.07	96.75	-0.20	-0.11	0.76
	⑤	⑤－a	表	97.88	-0.55	0.25	96.97	-0.36	0.31	0.93
			裏	98.63	-0.56	0.58	97.64	-0.14	0.70	1.09
	⑥	⑥－a	表	96.70	-0.46	1.16	94.45	-0.34	2.24	2.50
			裏	96.91	-0.45	1.47	96.11	-0.08	1.73	0.92
		⑥	表	97.69	-0.53	0.86	95.04	-0.30	2.10	2.93
			裏	98.10	-0.53	1.33	96.86	-0.25	2.29	1.59

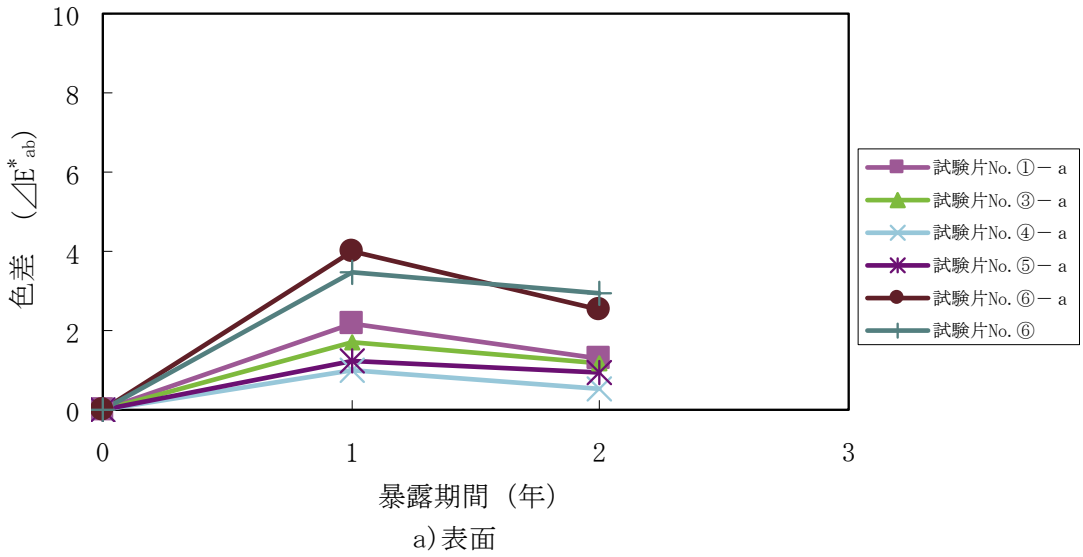


a)表面

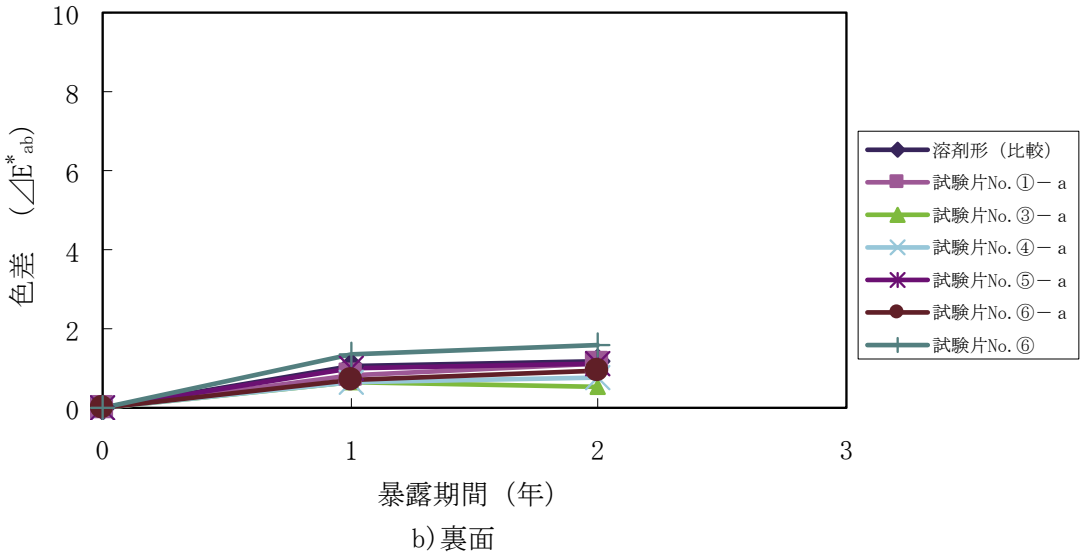


b)裏面

図－2.3.22　沖縄屋外暴露試験２年経過の色差測定結果（塗装系No.B4）



a）表面



b）裏面

図－2.3.23　つくば屋外暴露試験２年経過の色差測定結果（塗装系No.B4）

（２）複合サイクル腐食試験結果

１）土研式CCT

土研式CCT400サイクル後の塗膜外観観察結果を表－2.3.32に示す。付着性試験結果を表－2.3.33に、試験後の外観を図－2.3.24に示す。

カット部の膨れ幅に関して、一次試験の溶剤形の結果と比較して、何れの試験板もほぼ同等の結果であった。

付着力に関して、試験片 No.②－ａでは 0.8MPa であったが、試験片 No.⑥－ａ、⑥では 1.0MPa 以上の付着強度であった。

表－2.3.32　土研式CCT試験後の塗膜外観観察結果

塗装系 No.	塗料会社 No.	試験片 No.	塗膜外観観察					
			50サイクル		100サイクル		230サイクル	
			一般部	カット部 (mm)	一般部	カット部 (mm)	一般部	カット部 (mm)
B1	②	②－ａ	○	2	○	3	○	6
	⑥	⑥－ａ	○	2	○	3	○	6
		⑥	○	2	○	3	○	5

塗装系 No.	塗料会社 No.	試験片 No.	塗膜外観観察			
			300サイクル		400サイクル	
			一般部	カット部 (mm)	一般部	カット部 (mm)
B1	②	②－ａ	○	6	○	9
	⑥	⑥－ａ	○	6	○	11
		⑥	○	6	○	6

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－2.3.33　CCT試験後の付着性試験結果

塗装系 No.	塗料会社 No.	試験片 No.	土研式 400 サイクル	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B1	②	②－a	0.8	ジ ン ク 内：100
	⑥	⑥－a	2.2	素地/ジンク：100
		⑥	1.0	素地/ジンク：100

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	土研式CCT400サイクル
B1	②	②－a	
	⑥	⑥－a	
		⑥	

図－2.3.24　CCT試験後の外観

（３）耐水性試験結果

耐水性試験（耐湿性試験）後の塗膜外観観察結果を表－2.3.34に示す。

塗装系No.B1では、試験片No.⑥－ａ、⑥で膨れが観察されたが、試験片No.②－ａでは塗膜外観に異状は見られなかった。

表－2.3.34　耐水性試験後の塗膜外観観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	耐湿性試験 ７日
B1	②	②－ａ	○
	⑥	⑥－ａ	膨れ4M
		⑥	膨れ6F

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

（４）まとめ

新設塗装用完全水性塗装系 No.B1 では、溶剤形 C-5 塗装系の一次試験の結果と比較して、促進試験において、溶剤形と比較して若干劣る試験結果も確認されたが、屋外暴露試験２年後の結果において、試験片 No.②－ａ、⑥－ａともに溶剤形 C-5 塗装系とほぼ同等の結果であった。

３．　塗替用塗装系の塗膜性能試験

３．１　概要

提案の水性塗装系について、溶剤形塗装系を比較として、耐久性試験および塗膜特性試験を表－3.1.1に示す各試験方法により実施した。

表－3.1.1　試験項目と試験方法

試験項目		試験目的	試験方法	備考
耐久性試験	屋外暴露試験	耐候性、防食性	沖縄暴露	資料Ⅲ－１
			つくば暴露	
	促進劣化試験	防食性	土研式複合サイクル腐食試験	資料Ⅲ－２
			JIS 式複合サイクル腐食試験（JIS K 5600-7-9）	
		耐水性	耐湿性試験（JIS K 5600-7-2）	資料Ⅲ－４
		冷熱繰返し性	耐湿潤冷熱繰返し性試験（JIS K 5600-7-4）	資料Ⅲ－５
塗膜特性試験		電気特性	インピーダンス法	資料Ⅲ－７
			直流抵抗値	資料Ⅲ－８

３．２　試験方法

試験方法は、「２．２　試験方法」に準じた。

３．３　試験結果

３．３．１　一次試験結果

（１）屋外暴露試験結果

１）塗膜外観観察（一般部・カット部）

屋外暴露試験後の各試験板について、一般部およびカット部のさび、膨れを観察した結果を表－3.3.1～表－3.3.12に、試験後の外観（表面）を図－3.3.1～図－3.3.7に示す。沖縄屋外暴露試験３年後のカット部の膨れ幅が最大、最小の試験板の外観を図－3.3.8に示す（但し、顕著な膨れが認められた、塗装系No.B3の塗料会社No.①は除く）。

①ブラスト鋼板を使用した試験板については、カット部の評価で塗装系No.B3の塗料会社No.①の沖縄屋外暴露試験（裏面）で顕著な膨れ、また塗装系No.B4 の塗料会社No.③のつくば屋外暴露試験（表面）で程度の大きい膨れが認められた以外は、溶剤形塗料とほぼ同等の結果であった。また、溶剤形塗装系、水性塗装系ともに沖縄屋外暴露試験３年においてジンクリッチペイントを適用した試験板に比べてジンクリッチペイントを適用していない試験板は、カット部からの膨れの進行が大きくなることが確認された。

②旧塗膜・さび混在塗装鋼板を素地調整して使用した試験板については、カット部の評価で塗装系No.B3の塗料会社No.①の沖縄屋外暴露試験（裏面：素地調整程度１種、素地調整程度２種）、塗料会社No.⑥の沖縄屋外暴露試験（表面：素地調整程度２種）、塗装系No.B4の塗料会社No.⑤の沖縄屋外暴露試験（表面：素地調整程

度２種）で顕著な膨れ、また、塗装系No.B4の塗料会社No.③のつくば屋外暴露試験（裏面：素地調整程度１種、素地調整程度２種）で程度の大きい膨れが確認された以外は、溶剤形塗料とほぼ同等の結果であった。素地調整程度によるカット部の膨れの進行差は、大半の提案塗料において素地調整程度１種より素地調整程度２種の方が、膨れの進行は大きかった。塗装系No.B4、B10で素地調整程度３種の試験板において比較的膨れ幅が小さかった。

２）付着性

屋外暴露試験３年経過のプルオフ法による付着性試験結果を表－3.3.13～表－3.3.16に示す。

塗装系 No.B3 および B4 では、ブラスト鋼板、旧塗膜・さび混在塗装鋼板の素地調整程度に関係なく、塗料会社 No.①～⑥のすべての水性塗装系で 1.0MPa 以上の付着強度であった。

表－3.3.1　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：ブラスト鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	6mm	○	5mm
		裏	○	0mm	○	4mm
B3	①	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	7mm	○	0mm
	②	表	○	2mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	③	表	○	1mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
	④	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	⑤	表	○	2mm	○	0mm
		裏	○	1mm	○	0mm
	⑥	表	○	2mm	○	2mm
		裏	○	2mm	○	0mm
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	16mm	○	1mm
		裏	○	9mm	○	1mm
B4	①	表	○	9mm	○	2mm
		裏	○	7mm	○	1mm
	②	表	○	8mm	○	2mm
		裏	○	7mm	○	2mm
	③	表	○	13mm	○	5mm
		裏	○	8mm	○	3mm
	④	表	○	6mm	○	2mm
		裏	○	4mm	○	1mm
	⑤	表	○	8mm	○	3mm
		裏	○	7mm	○	3mm
	⑥	表	○	8mm	○	2mm
		裏	○	6mm	○	1mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.2　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：ブラスト鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	3mm	○	8mm
		裏	○	3mm	○	8mm
B3	①	表	8M	0mm	○	2mm
		裏	○	12mm	○	1mm
	②	表	8M	2mm	○	3mm
		裏	8F	2mm	○	2mm
	③	表	○	2mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	④	表	○	2mm	○	0mm
		裏	○	1mm	○	2mm
	⑤	表	○	3mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	⑥	表	○	2mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	2mm
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	25mm	○	22mm
		裏	○	30mm	○	3mm
B4	①	表	8M	13mm	○	3mm
		裏	8F	15mm	○	3mm
	②	表	8M	9mm	○	4mm
		裏	○	7mm	○	3mm
	③	表	○	14mm	○	12mm
		裏	○	10mm	○	7mm
	④	表	○	9mm	○	4mm
		裏	○	7mm	○	3mm
	⑤	表	○	10mm	○	4mm
		裏	○	9mm	○	4mm
	⑥	表	○	10mm	○	4mm
		裏	○	8mm	○	3mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.3　屋外暴露試験３年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：ブラスト鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	15mm	○	8mm
		裏	○	10mm	○	7mm
B3	①	表	8M	4mm	○	2mm
		裏	8M	70mm	○	1mm
	②	表	8M	7mm	○	2mm
		裏	8F	2mm	○	2mm
	③	表	○	10mm	○	4mm
		裏	○	3mm	○	2mm
	④	表	○	3mm	○	2mm
		裏	○	2mm	○	3mm
	⑤	表	○	8mm	○	4mm
		裏	○	3mm	○	3mm
	⑥	表	○	3mm	○	5mm
		裏	○	2mm	○	2mm
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	75mm	○	22mm
		裏	○	70mm	○	3mm
B4	①	表	8M	24mm	○	3mm
		裏	塗り残し部8M	30mm	○	3mm
	②	表	8M	25mm	○	7mm
		裏	○	25mm	○	3mm
	③	表	8M	27mm	○	25mm
		裏	○	20mm	○	11mm
	④	表	○	18mm	○	6mm
		裏	○	15mm	○	3mm
	⑤	表	○	30mm	8M	8mm
		裏	○（一部8M）	16mm	8M	6mm
	⑥	表	○	20mm	○	4mm
		裏	○	25mm	○	3mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.4　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度１種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	7mm	○	2mm
		裏	○	0mm	○	0mm
B3	①	表	○	0mm	○	0mm
		裏	○	11mm	○	0mm
	②	表	○	0mm	○	1mm
		裏	○	1mm	○	0mm
	③	表	○	2mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
	④	表	○	1mm	○	0mm
		裏	○	0mm	○	0mm
	⑤	表	○	1mm	○	1mm
		裏	○	1mm	○	0mm
	⑥	表	○	0mm	○	2mm
		裏	○	2mm	○	1mm
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	12mm	○	2mm
		裏	○	10mm	○	1mm
B4	①	表	○	8mm	○	3mm
		裏	○	12mm	○	2mm
	②	表	○	7mm	○	2mm
		裏	○	5mm	○	1mm
	③	表	○	13mm	○	4mm
		裏	○	6mm	○	2mm
	④	表	○	7mm	○	2mm
		裏	○	4mm	○	2mm
	⑤	表	○	11mm	○	3mm
		裏	○	7mm	○	3mm
	⑥	表	○	8mm	○	1mm
		裏	○	4mm	○	0mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.5　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度１種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	2mm	○	5mm
		裏	○	2mm	○	3mm
B3	①	表	8M	2mm	○	0mm
		裏	8F	20mm	○	2mm
	②	表	8M	0mm	○	3mm
		裏	8F	2mm	○	2mm
	③	表	○	2mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	④	表	○	2mm	○	3mm
		裏	○	1mm	○	1mm
	⑤	表	○	2mm	○	2mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	⑥	表	○	2mm	○	4mm
		裏	○	2mm	○	3mm
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	19mm	○	4mm
		裏	○	13mm	○	2mm
B4	①	表	8M	15mm	○	3mm
		裏	○	8mm	○	3mm
	②	表	8M	7mm	○	3mm
		裏	8M	10mm	○	3mm
	③	表	○	20mm	○	10mm
		裏	○	5mm	○	5mm
	④	表	○	9mm	○	3mm
		裏	○	10mm	○	3mm
	⑤	表	○	18mm	○	5mm
		裏	○	10mm	○	3mm
	⑥	表	○	12mm	○	2mm
		裏	○	11mm	○	2mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.6　屋外暴露試験３年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度１種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	12mm	○	5mm
		裏	○	7mm	○	3mm
B3	①	表	8M	14mm	○	1mm
		裏	8M	70mm	○	2mm
	②	表	8M	3mm	○	2mm
		裏	8F	7mm	○	2mm
	③	表	○	7mm	○	5mm
		裏	○	5mm	○	2mm
	④	表	○	4mm	○	5mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	⑤	表	○	5mm	○	4mm
		裏	○	3mm	○	2mm
	⑥	表	○	13mm	○	4mm
		裏	○	4mm	○	3mm
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	50mm	○	6mm
		裏	○	50mm	○	2mm
B4	①	表	8M	28mm	○	5mm
		裏	○	20mm	○	3mm
	②	表	8M	30mm	○	5mm
		裏	8M	30mm	○	3mm
	③	表	8M	30mm	○	7mm
		裏	○	35mm	○	19mm
	④	表	○	16mm	○	5mm
		裏	○	25mm	○	3mm
	⑤	表	○	40mm	8M	6mm
		裏	○（一部8M）	35mm	8M	3mm
	⑥	表	○	25mm	○	6mm
		裏	○	25mm	○	3mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.7　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度２種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	2mm	○	9mm
		裏	○	2mm	○	4mm
B3	①	表	○	4mm	○	0mm
		裏	○	20mm	○	0mm
	②	表	○	2mm	○	1mm
		裏	○	0mm	○	1mm
	③	表	○	3mm	○	1mm
		裏	○	2mm	○	0mm
	④	表	○	0mm	○	5mm
		裏	○	0mm	○	3mm
	⑤	表	○	2mm	○	1mm
		裏	○	1mm	○	1mm
	⑥	表	○	2mm	○	2mm
		裏	○	2mm	○	1mm
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	14mm	○	2mm
		裏	○	20mm	○	1mm
B4	①	表	○	10mm	○	2mm
		裏	○	4mm	○	1mm
	②	表	○	12mm	○	2mm
		裏	8F	3mm	8F	1mm
	③	表	○	25mm	○	7mm
		裏	○	8mm	○	4mm
	④	表	○	10mm	○	4mm
		裏	○	6mm	○	2mm
	⑤	表	○	25mm	○	5mm
		裏	○	10mm	○	3mm
	⑥	表	○	11mm	○	3mm
		裏	○	14mm	○	2mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.8　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度２種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	6mm	○	10mm
		裏	○	7mm	○	6mm
B3	①	表	8M	2mm	○	3mm
		裏	○	75mm	○	2mm
	②	表	8M	3mm	○	4mm
		裏	8F	2mm	○	3mm
	③	表	○	5mm	○	4mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	④	表	○	2mm	○	6mm
		裏	○	2mm	○	5mm
	⑤	表	○	5mm	○	3mm
		裏	○	2mm	○	2mm
	⑥	表	○	3mm	○	4mm
		裏	○	3mm	○	2mm
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	16mm	○	5mm
		裏	○	20mm	○	3mm
B4	①	表	8M	18mm	○	4mm
		裏	○	13mm	○	3mm
	②	表	8M	12mm	8F	5mm
		裏	8F	17mm	8F	3mm
	③	表	8F	22mm	○	18mm
		裏	○	27mm	○	10mm
	④	表	○	13mm	8F	4mm
		裏	○	10mm	8M	3mm
	⑤	表	6M	45mm	8M	12mm
		裏	○	14mm	8M	5mm
	⑥	表	○	12mm	○	4mm
		裏	○	15mm	○	3mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.9　屋外暴露試験３年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度２種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		表	○	12mm	○	13mm
		裏	○	20mm	○	6mm
B3	①	表	8M	53mm	○	3mm
		裏	8M	120mm	○	3mm
	②	表	8M	10mm	○	4mm
		裏	8F	6mm	○	3mm
	③	表	○	15mm	○	4mm
		裏	○	6mm	○	2mm
	④	表	○	5mm	8F	12mm
		裏	○	3mm	○	9mm
	⑤	表	○	16mm	○	3mm
		裏	○	4mm	○	3mm
	⑥	表	○	65mm	○	5mm
		裏	○	7mm	○	3mm
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	33mm	○	10mm
		裏	○	75mm	○	3mm
B4	①	表	8M	32mm	○	5mm
		裏	○	30mm	○	4mm
	②	表	8M	40mm	8M	11mm
		裏	8F	60mm	8M	4mm
	③	表	8M	46mm	○（一部8M）	17mm
		裏	○	50mm	○	42mm
	④	表	○	20mm	8M	5mm
		裏	○	25mm	8M	3mm
	⑤	表	4～6M	100mm	8M	17mm
		裏	○（一部8M）	40mm	8M	5mm
	⑥	表	○	40mm	○	5mm
		裏	○	40mm	○	3mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.10　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B4）

基材：沖縄、つくばで暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度３種で素地調整した鋼板

a)沖縄で暴露した油性塗膜／さび混在鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	10mm	○	3mm
		裏	○	10mm	○	3mm
B4	①	表	○	12mm	○	2mm
		裏	○	5mm	○	1mm
	②	表	○	15mm	○	4mm
		裏	○	7mm	○	1mm
	③	表	○	23mm	○	7mm
		裏	○	3mm	○	4mm
	④	表	○	9mm	○	3mm
		裏	○	5mm	○	2mm
	⑤	表	○	16mm	○	6mm
		裏	○	12mm	○	1mm
	⑥	表	○	9mm	○	5mm
		裏	○	5mm	○	2mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

b)つくばで暴露した油性塗膜／さび混在鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	－	－	－	－
		裏	－	－	－	－
B4	①	表	○	18mm	○	2mm
		裏	○	11mm	○	2mm
	②	表	○	17mm	○	2mm
		裏	○	4mm	○	2mm
	③	表	○	31mm	○	6mm
		裏	○	7mm	○	5mm
	④	表	○	8mm	○	3mm
		裏	○	5mm	○	2mm
	⑤	表	○	28mm	○	3mm
		裏	○	12mm	○	3mm
	⑥	表	○	7mm	○	3mm
		裏	○	6mm	○	1mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.11　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B4）

基材：沖縄、つくばで暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度３種で素地調整した鋼板

a)沖縄で暴露した油性塗膜／さび混在鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	9mm	○	5mm
		裏	○	9mm	○	5mm
B4	①	表	8M	15mm	○	5mm
		裏	○	10mm	○	4mm
	②	表	8M	7mm	8F	7mm
		裏	8F	10mm	8F	3mm
	③	表	○	25mm	○	14mm
		裏	○	6mm	○	11mm
	④	表	○	13mm	○	5mm
		裏	○	13mm	○	3mm
	⑤	表	○	30mm	8M	10mm
		裏	○	10mm	8D	4mm
	⑥	表	○	16mm	○	6mm
		裏	○	11mm	○	5mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

b)つくばで暴露した油性塗膜／さび混在鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	－	－	－	－
		裏	－	－	－	－
B4	①	表	8M	23mm	○	5mm
		裏	○	16mm	○	3mm
	②	表	8M	20mm	○	4mm
		裏	○	8mm	8M	3mm
	③	表	○	18mm	○	22mm
		裏	○	9mm	○	10mm
	④	表	○	12mm	○	4mm
		裏	○	13mm	○	4mm
	⑤	表	○	40mm	○	12mm
		裏	○	10mm	○	3mm
	⑥	表	○	12mm	○	5mm
		裏	○	13mm	○	4mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.12　屋外暴露試験３年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B4）

基材：沖縄、つくばで暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度３種で素地調整した鋼板

a)沖縄で暴露した油性塗膜／さび混在鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	○	18mm	○	9mm
		裏	○	25mm	○	5mm
B4	①	表	8M	36mm	○	5mm
		裏	○	30mm	○	4mm
	②	表	8M	40mm	8M	11mm
		裏	8F	33mm	8M	4mm
	③	表	8M	45mm	○	20mm
		裏	8F	22mm	○	10mm
	④	表	○	28mm	○	5mm
		裏	○	35mm	○	3mm
	⑤	表	○	70mm	8M	33mm
		裏	○（一部8M）	40mm	8D	3mm
	⑥	表	○	38mm	○	10mm
		裏	○	27mm	○	6mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

b)つくばで暴露した油性塗膜／さび混在鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
			沖縄		つくば	
			一般部	カット部	一般部	カット部
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		表	－	－	－	－
		裏	－	－	－	－
B4	①	表	8M	46mm	○	8mm
		裏	○	35mm	○	5mm
	②	表	8M	37mm	8MD	7mm
		裏	○	30mm	8M	4mm
	③	表	8M	50mm	○（一部8M）	22mm
		裏	○	35mm	○	47mm
	④	表	○	22mm	○	4mm
		裏	○	30mm	○	6mm
	⑤	表	○	80mm	○	8mm
		裏	○	40mm	○	3mm
	⑥	表	○	30mm	○	7mm
		裏	○	25mm	○	5mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.13　屋外暴露試験３年後の付着性試験結果（塗装系No.B3、B4）

基材：ブラスト鋼板

塗装系 No.	塗料会社 No.	塗板の 表裏	沖縄		つくば	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B9 (比較：溶剤形 Rc-Ⅰ)		表	1.7	素地/ジンク　:100	1.5	素地/ジンク　:100
		裏	1.5	素地/ジンク　:100	1.5	素地/ジンク　:100
B3	①	表	1.0	素地/ジンク　:100	1.5	素地/ジンク　:100
		裏	1.0	素地/ジンク　:100	3.5	素地/ジンク　:100
	②	表	1.2	中塗/上塗　:100	3.0	中塗/上塗　:100
		裏	2.5	中塗/上塗　:100	4.0	ジンク内　:10 中塗/上塗　:70 接　着　剤　:20
	③	表	1.8	ジンク内　:90 接　着　剤　:10	1.5	ジンク内　:100
		裏	2.3	ジンク内　:100	2.0	ジンク内　:100
	④	表	1.8	ジンク内　:100	4.0	ジンク内　:15 接　着　剤　:85
		裏	2.8	ジンク内　:70 接　着　剤　:30	4.5	ジンク内　:20 接　着　剤　:80
	⑤	表	2.2	下塗/中塗　:60 接　着　剤　:40	3.5	下塗/中塗　:70 接　着　剤　:30
		裏	2.5	接　着　剤　:100	4.0	下塗/中塗　:80 接　着　剤　:20
	⑥	表	3.5	ジンク内　:5 接　着　剤　:95	6.0	ジンク内　:20 下　塗　内　:40 上　塗　内　:20 接　着　剤　:20
		裏	4.5	中塗/上塗　:5 接　着　剤　:95	4.0	中塗/上塗　:20 上　塗　内　:30 接　着　剤　:50
B10 (比較：溶剤形 Rc-Ⅲ)		表	6.0	下　塗　内　:20 接　着　剤　:80	4.5	下　塗　内　:20 中　塗　内　:30 接　着　剤　:50
		裏	3.7	中塗/上塗　:20 接　着　剤　:80	6.5	中塗/上塗　:50 接　着　剤　:50
B4	①	表	2.0	中塗/上塗　:100	4.0	中塗/上塗　:90 接　着　剤　:10
		裏	4.0	素地/下塗　:20 下　塗　内　:80	5.0	下　塗　内　:40 接　着　剤　:60
	②	表	1.5	中塗/上塗　:100	3.5	中塗/上塗　:100
		裏	2.8	中塗/上塗　:20 接　着　剤　:80	7.0	中塗/上塗　:30 接　着　剤　:70
	③	表	5.0	中塗/上塗　:100	5.0	下　塗　内　:20 中塗/上塗　:80
		裏	7.0	下　塗　内　:100	7.0	下　塗　内　:100
	④	表	2.7	素地/下塗　:100	3.5	素地/下塗　:10 下　塗　内　:50 接　着　剤　:40
		裏	1.2	素地/下塗　:100	3.5	素地/下塗　:5 下　塗　内　:55 接　着　剤　:40
	⑤	表	3.0	下　塗　内　:20 下塗/中塗　:10 接　着　剤　:70	4.0	下塗/中塗　:30 接　着　剤　:70
		裏	3.5	下塗/中塗　:10 接　着　剤　:90	4.5	下塗/中塗　:80 接　着　剤　:20
	⑥	表	2.0	素地/下塗　:30 接　着　剤　:70	6.0	上　塗　内　:20 接　着　剤　:80
		裏	3.0	素地/下塗　:10 接　着　剤　:90	4.5	上　塗　内　:40 接　着　剤　:60

表－3.3.14　屋外暴露試験３年後の付着性試験結果（塗装系No.B3、B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度１種で素地調整した鋼板

塗装系 No.	塗料会社 No.	塗板の 表裏	沖縄		つくば	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B9 （比較：溶剤形 Rc-Ⅰ）		表	2.0	素地/ジンク :100	2.0	素地/ジンク :100
		裏	2.2	素地/ジンク :100	2.0	素地/ジンク :100
B3	①	表	1.5	素地/ジンク :5 中塗/上塗 :95	6.0	中塗/上塗 :70 接 着 剤 :30
		裏	1.0	ジンク内 :100	2.0	ジンク内 :100
	②	表	1.5	中塗/上塗 :100	2.5	中塗/上塗 :100
		裏	2.3	ジンク内 :10 中塗/上塗 :90	4.5	ジンク内 :30 中塗/上塗 :70
	③	表	2.0	ジンク内 :100	3.0	ジンク内 :100
		裏	3.5	ジンク内 :100	2.0	ジンク内 :100
	④	表	2.0	ジンク内 :80 下塗/中塗 :20	1.5	ジンク内 :50 接 着 剤 :50
		裏	3.8	ジンク内 :40 接 着 剤 :60	4.5	中 塗 内 :10 接 着 剤 :90
	⑤	表	3.5	下 塗 内 :5 中塗/上塗 :45 接 着 剤 :50	5.0	下塗/中塗 :90 接 着 剤 :10
		裏	3.0	中塗/上塗 :20 接 着 剤 :80	5.5	下塗/中塗 :100
	⑥	表	3.5	ジンク内 :50 接 着 剤 :50	5.5	ジンク内 :30 接 着 剤 :70
		裏	4.5	ジンク内 :5 接 着 剤 :95	7.0	上 塗 内 :70 接 着 剤 :30
B10 （比較：溶剤形 Rc-Ⅲ）		表	3.8	中塗/上塗 :70 接 着 剤 :30	7.0 以上	－
		裏	6.7	中塗/上塗 :20 接 着 剤 :80	5.5	下 塗 内 :20 中 塗 内 :20 接 着 剤 :60
B4	①	表	1.3	中塗/上塗 :100	5.0	中塗/上塗 :60 接 着 剤 :40
		裏	3.8	中塗/上塗 :20 接 着 剤 :80	5.5	下 塗 内 :20 接 着 剤 :80
	②	表	2.0	中塗/上塗 :100	2.0	中塗/上塗 :100
		裏	3.0	中塗/上塗 :100	5.5	中塗/上塗 :100
	③	表	3.0	中塗/上塗 :100	3.5	下 塗 内 :10 中塗/上塗 :90
		裏	7.0 以上	－	5.5	中塗/上塗 :30 接 着 剤 :70
	④	表	1.7	素地/下塗 :100	2.5	素地/下塗 :100
		裏	1.5	素地/下塗 :100	2.5	素地/下塗 :100
	⑤	表	4.2	素地/下塗 :35 下 塗 内 :30 下塗/中塗 :35	6.0	下塗/中塗 :40 接 着 剤 :60
		裏	5.8	下塗/中塗 :20 接 着 剤 :80	4.0	下塗/中塗 :80 接 着 剤 :20
	⑥	表	3.5	素地/下塗 :60 接 着 剤 :40	6.0	上 塗 内 :40 接 着 剤 :60
		裏	3.3	素地/下塗 :40 接 着 剤 :60	6.5	上 塗 内 :20 接 着 剤 :80

表－3.3.15　屋外暴露試験３年後の付着性試験結果（塗装系No.B3、B4）

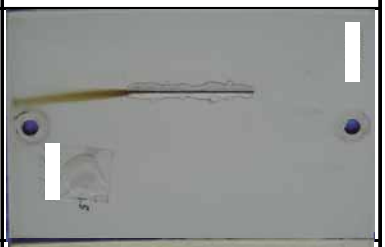
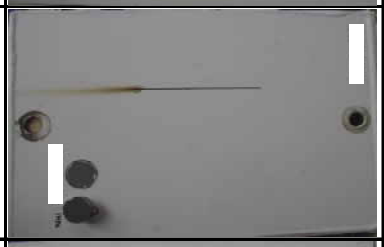
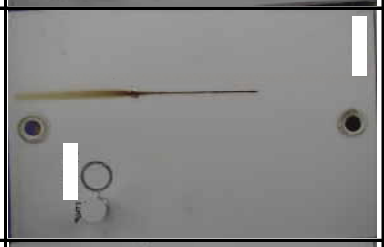
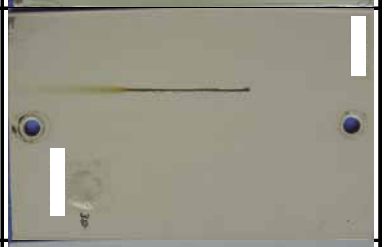
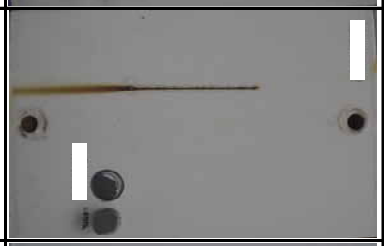
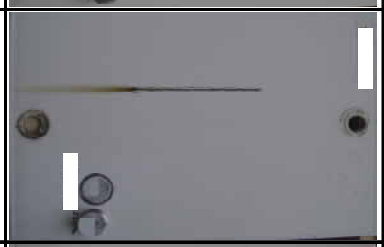
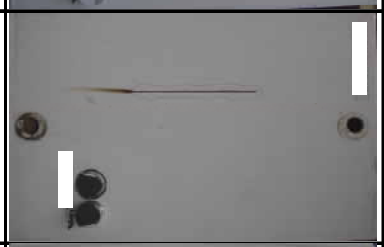
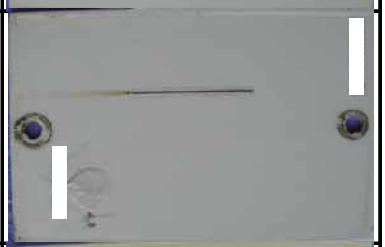
基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度２種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	沖縄		つくば	
			付着強度(MPa)	破断箇所(%)	付着強度(MPa)	破断箇所(%)
B9（比較：溶剤形 Rc-Ⅰ）		表	1.3	素地/ジンク :100	2.0	素地/ジンク :100
		裏	1.0	素地/ジンク :100	3.5	素地/ジンク :100
B3	①	表	1.5	素地/ジンク :10 中塗/上塗 :90	3.5	中塗/上塗 :70 接着剤 :30
		裏	3.3	素地/ジンク :30 下塗内 :30 接着剤 :40	4.5	素地/ジンク :30 下塗内 :70
	②	表	1.2	中塗/上塗 :100	3.5	中塗/上塗 :100
		裏	3.2	素地/ジンク :5 中塗/上塗 :95	4.0	ジンク内 :40 中塗/上塗 :60
	③	表	2.5	ジンク内 :100	3.5	ジンク内 :100
		裏	3.5	ジンク内 :100	2.5	ジンク内 :100
	④	表	3.0	ジンク内 :100	3.0	ジンク内 :40 接着剤 :60
		裏	2.3	下塗/中塗 :50 接着剤 :50	3.5	ジンク内 :80 接着剤 :20
	⑤	表	3.2	素地/下塗 :10 下塗内 :30 下塗/中塗 :20 接着剤 :40	4.0	下塗/中塗 :90 接着剤 :10
		裏	4.3	素地/下塗 :70 接着剤 :30	4.5	下塗/中塗 :90 接着剤 :10
	⑥	表	1.8	素地/ジンク :50 接着剤 :50	3.0	ジンク内 :50 上塗内 :20 接着剤 :30
		裏	3.5	ジンク内 :40 接着剤 :60	7.0	素地/ジンク :10 ジンク内 :30 上塗内 :30 接着剤 :30
B10（比較：溶剤形 Rc-Ⅲ）		表	3.8	下塗内 :50 接着剤 :50	6.0	素地/下塗 :30 中塗内 :70
		裏	7.0	素地/下塗 :10 中塗/上塗 :20 接着剤 :70	5.0	下塗内 :10 中塗内 :40 接着剤 :50
B4	①	表	2.2	下塗内 :5 中塗/上塗 :95	3.0	中塗/上塗 :50 接着剤 :50
		裏	3.7	素地/下塗 :95 接着剤 :5	4.0	接着剤 :100
	②	表	1.5	中塗/上塗 :100	3.0	中塗/上塗 :100
		裏	2.8	素地/下塗 :5 中塗/上塗 :95	7.0	中塗/上塗 :90 接着剤 :10
	③	表	2.7	素地/下塗 :10 中塗/上塗 :90	6.5	中塗/上塗 :30 接着剤 :70
		裏	7.0以上	－	4.0	素地/下塗 :40 接着剤 :60
	④	表	1.7	素地/下塗 :100	4.5	素地/下塗 :80 接着剤 :20
		裏	3.0	素地/下塗 :90 接着剤 :10	4.0	素地/下塗 :80 下塗内 :20
	⑤	表	3.3	素地/下塗 :80 接着剤 :20	4.0	素地/下塗 :10 下塗/中塗 :50 接着剤 :40
		裏	3.0	素地/下塗 :100	7.0	素地/下塗 :90 下塗/中塗 :10
	⑥	表	4.0	素地/下塗 :20 下塗内 :20 接着剤 :60	3.0	素地/下塗 :80 接着剤 :20
		裏	3.7	素地/下塗 :20 下塗内 :10 接着剤 :70	3.5	素地/下塗 :10 上塗内 :30 接着剤 :60

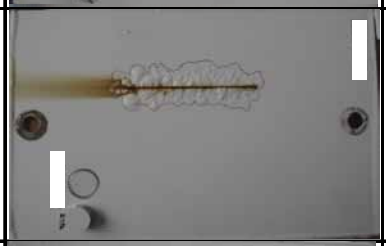
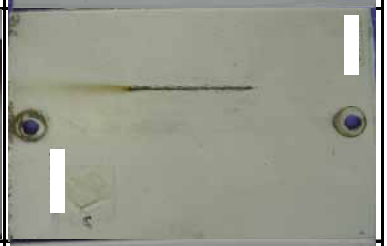
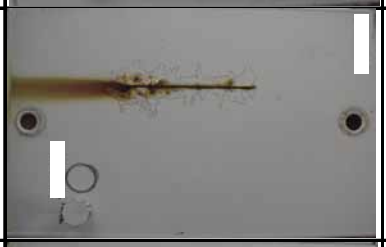
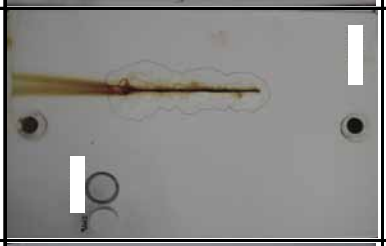
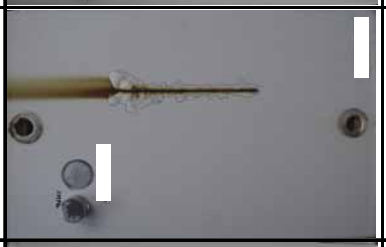
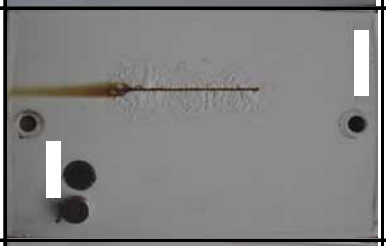
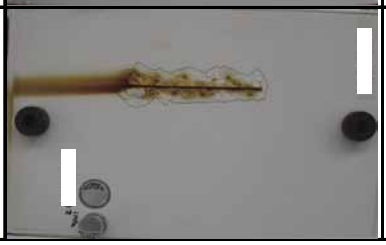
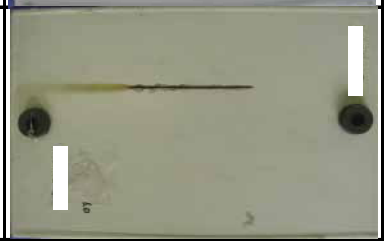
表－3.3.16　屋外暴露試験３年後の付着性試験結果（塗装系No.B4）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度３種で素地調整した鋼板

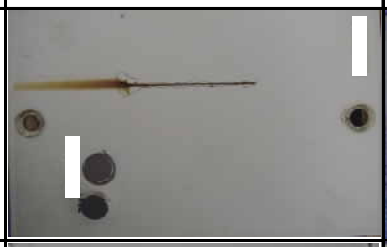
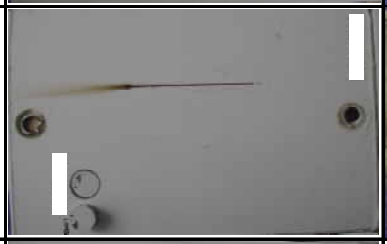
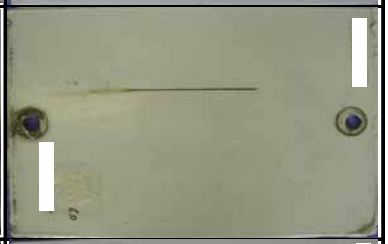
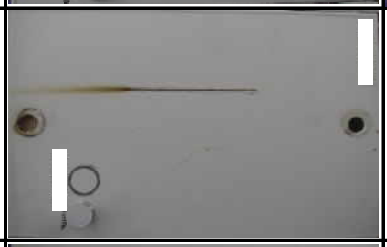
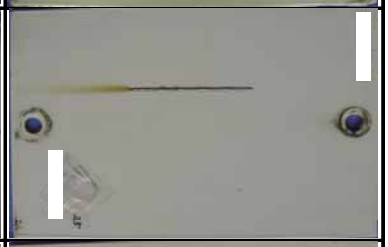
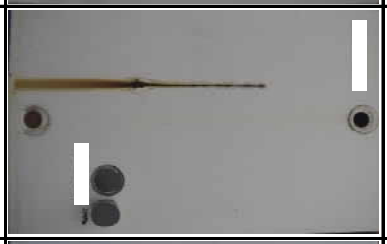
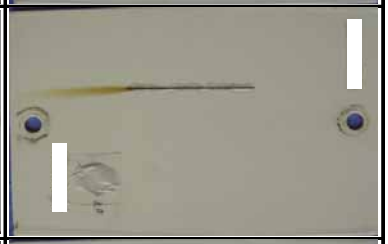
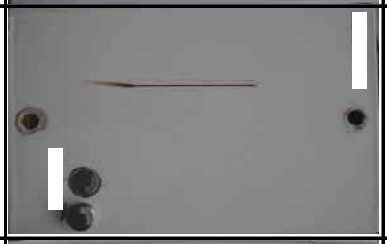
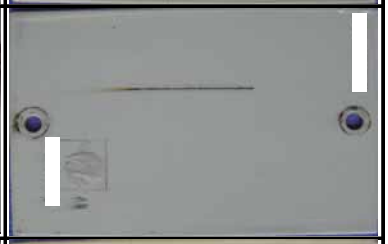
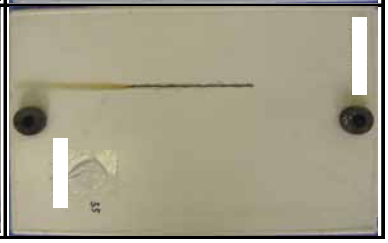
塗装系No.	塗料会社No.	塗板の表裏	沖縄		つくば	
			付着強度(MPa)	破断箇所(%)	付着強度(MPa)	破断箇所(%)
B10（比較：溶剤形 Rc-Ⅲ）		表	4.5	下 塗 内 :40 接 着 剤 :60	4.5	下 塗 内 :30 中 塗 内 :70
		裏	7.0	素地/下塗 :10 中塗/上塗 :10 接 着 剤 :80	4.5	素地/下塗 :10 中 塗 内 :50 接 着 剤 :40
B4	①	表	1.3	素地/下塗 :5 中塗/上塗 :95	3.5	中塗/上塗 :70 接 着 剤 :30
		裏	3.0	素地/下塗 :60 中塗/上塗 :40	4.5	中塗/上塗 :5 接 着 剤 :95
	②	表	1.5	中塗/上塗 :100	2.0	中塗/上塗 :100
		裏	3.2	中塗/上塗 :100	3.5	下 塗 内 :10 中塗/上塗 :90
	③	表	2.3	中塗/上塗 :100	1.5	素地/旧膜 :100
		裏	6.3	素地/下塗 :20 接 着 剤 :80	4.5	旧 膜 内 :100
	④	表	2.0	素地/下塗 :100	2.5	素地/下塗 :80 旧 膜 内 :10 下 塗 内 :10
		裏	2.5	素地/下塗 :40 接 着 剤 :60	6.0	素地/下塗 :60 接 着 剤 :40
	⑤	表	2.5	下 塗 内 :20 下塗/中塗 :30 接 着 剤 :50	3.0	素地/下塗 :10 下塗/中塗 :90
		裏	6.0	素地/下塗 :15 接 着 剤 :85	5.0	旧 膜 内 :15 下塗/中塗 :85
	⑥	表	2.0	素地/下塗 :100	5.5	素地/下塗 :70 上 塗 内 :15 接 着 剤 :15
		裏	3.5	素地/下塗 :85 接 着 剤 :15	7.0	上 塗 内 :30 接 着 剤 :70

塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）			
B3	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－3.3.1　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B3、表面）
基材：ブラスト鋼板

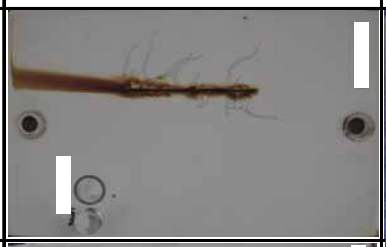
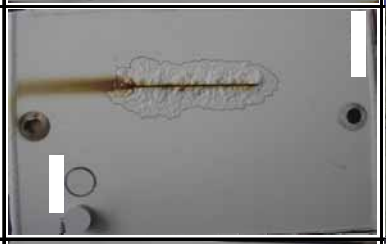
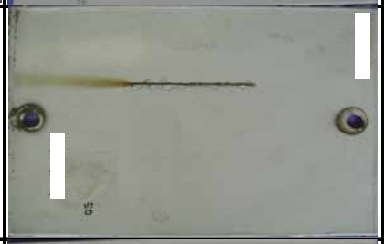
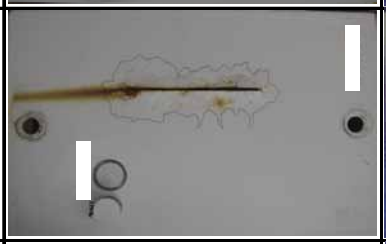
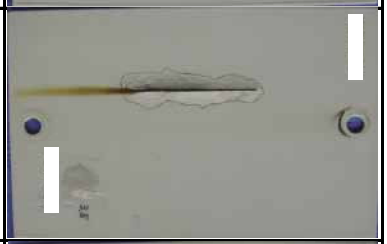
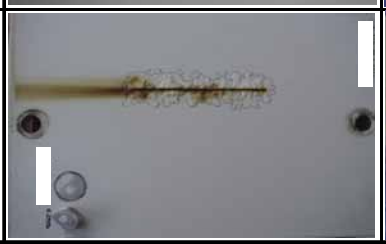
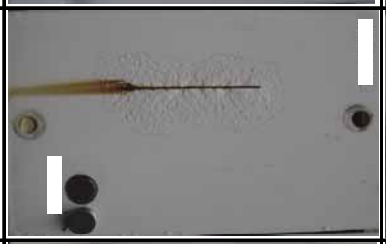
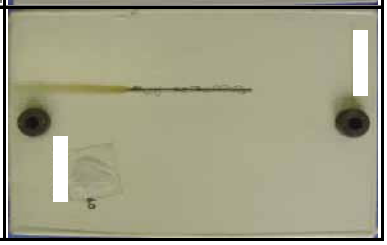
塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）			
B4	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－3.3.2　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B4、表面）
基材：ブラスト鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）			
B3	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

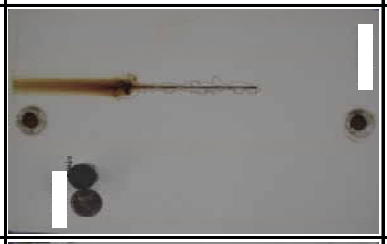
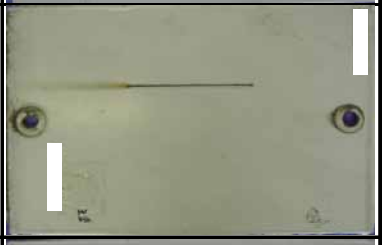
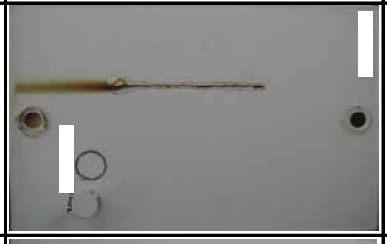
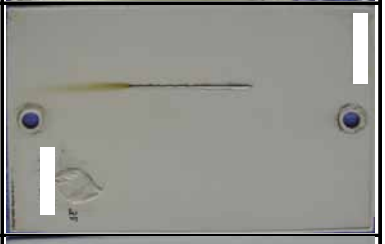
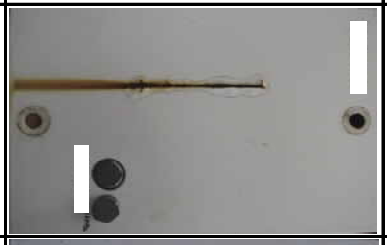
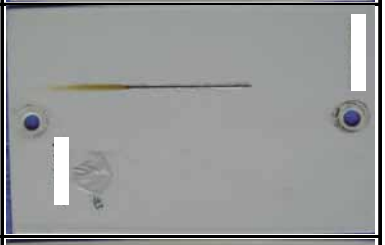
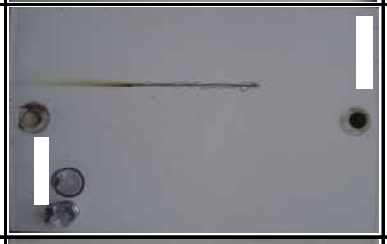
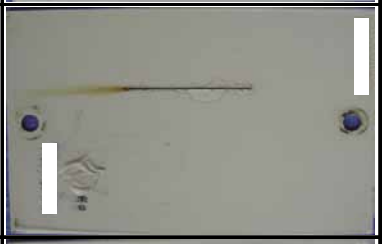
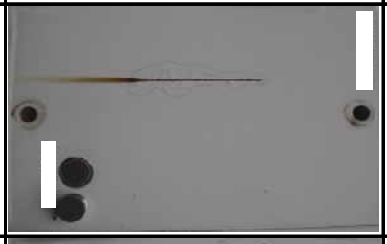
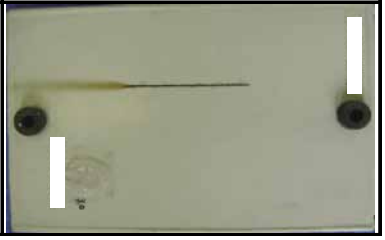
図－3.3.3　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B3、表面）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度１種で素地調整した鋼板

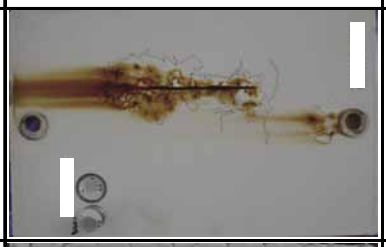
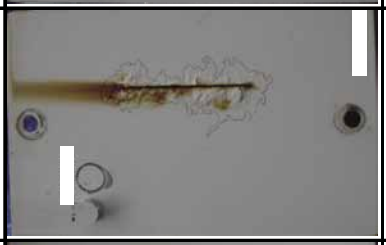
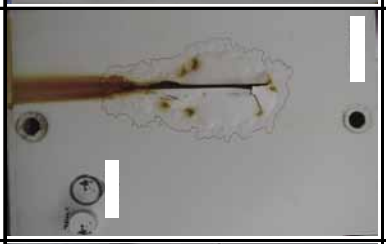
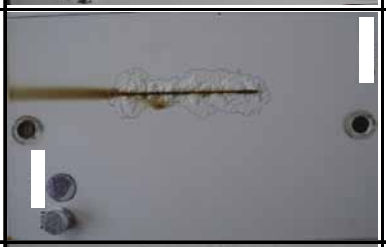
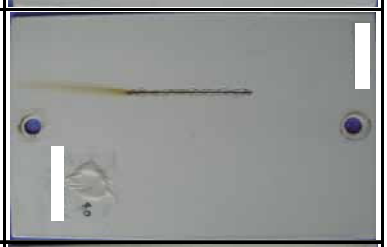
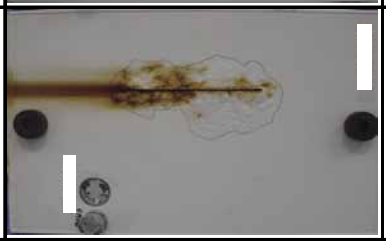
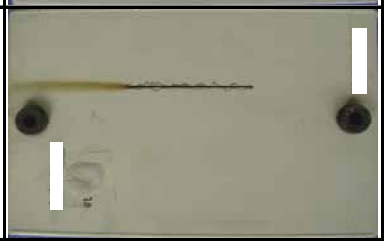
塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）			
B4	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－3.3.4　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B4、表面）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度１種で素地調整した鋼板

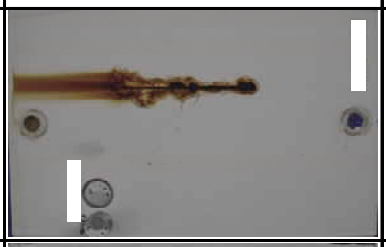
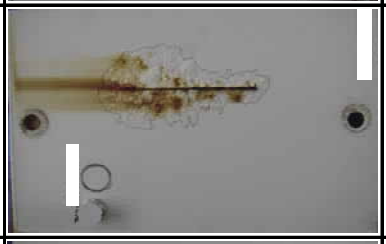
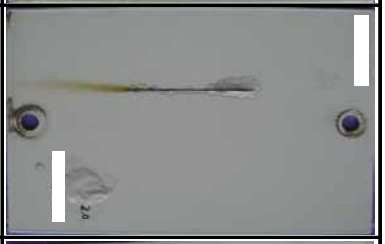
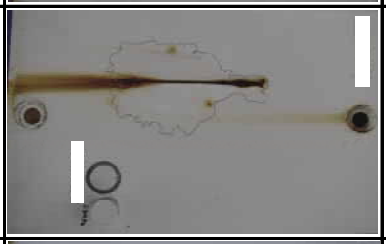
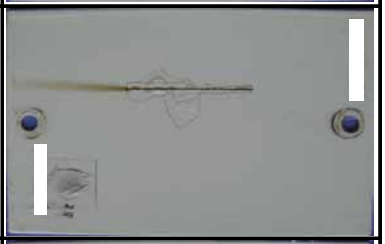
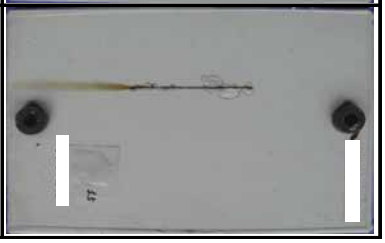
塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）			
B3	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－3.3.5　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B3、表面）
基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度２種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）			
B4	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

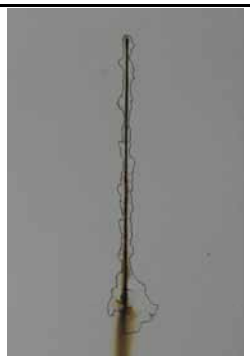
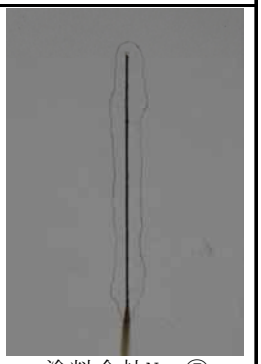
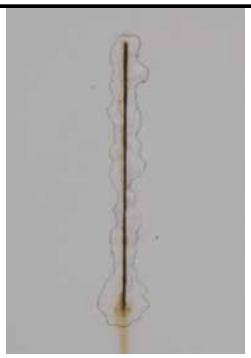
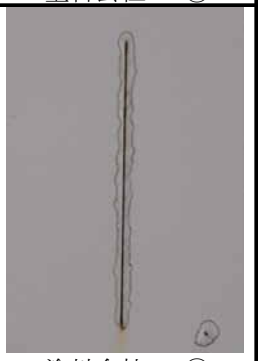
図－3.3.6　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B4、表面）

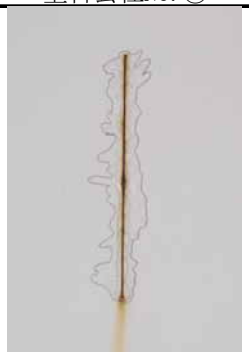
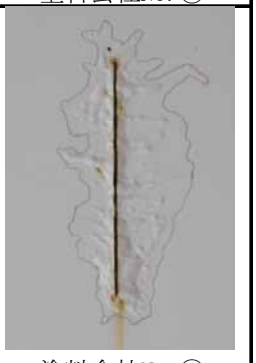
基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度２種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	沖縄	つくば
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）			
B4	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－3.3.7　屋外暴露試験３年後の外観（塗装系No.B4、表面）

基材：沖縄で暴露した油性塗膜・さび混在鋼板を調整程度３種で素地調整した鋼板

塗装系No.	塗板の表裏	B9 比較：溶剤形	膨れ幅最小	膨れ幅最大
B3	表		 塗料会社No.⑥	 塗料会社No.⑤
	裏		 塗料会社No.③	 塗料会社No.②

塗装系No.	塗板の表裏	B10 比較：溶剤形	膨れ幅最小	膨れ幅最大
B4	表		 塗料会社No.④	 塗料会社No.⑤
	裏		 塗料会社No.④	 塗料会社No.①

図－3.3.8　沖縄屋外暴露試験３年後のカット部の膨れ幅が最大、最小の試験板の外観
基材：ブラスト鋼板
（塗装系No.B3,B4）

３）インピーダンス測定結果

初期板および沖縄での屋外暴露試験３年後の試験板について、インピーダンスの測定結果を表－3.3.17に示す。

ⅰ）静電容量

静電容量を図－3.3.9～図－3.3.10 に示す。

初期板および沖縄屋外暴露試験３年後の試験板ともに、塗装系 No.B3 および B4 の塗料会社 No.①～⑥のすべての水性塗装系で溶剤形とほぼ同等の静電容量であった。

ⅱ）抵抗値

抵抗値の測定結果を図－3.3.11～図－3.3.12 に示す。

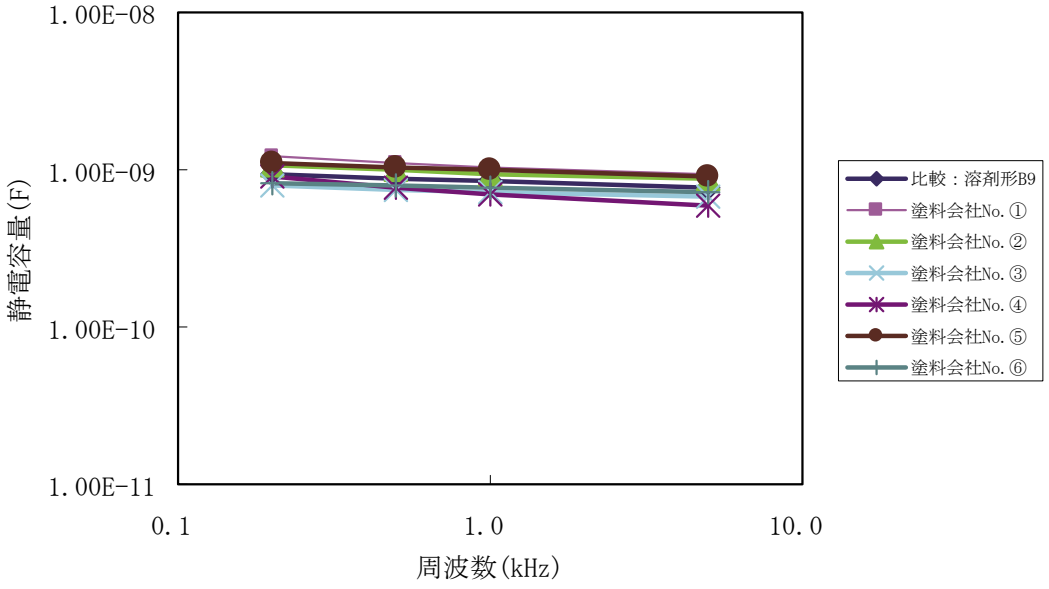
初期板および沖縄屋外暴露試験３年後の試験板ともに、塗装系 No.B3 および B4 の塗料会社 No.①～⑥のすべての水性塗装系で溶剤形とほぼ同等の抵抗値であった。

表－3.3.17(1)　インピーダンス測定結果（塗装系No.B3,B4、初期）

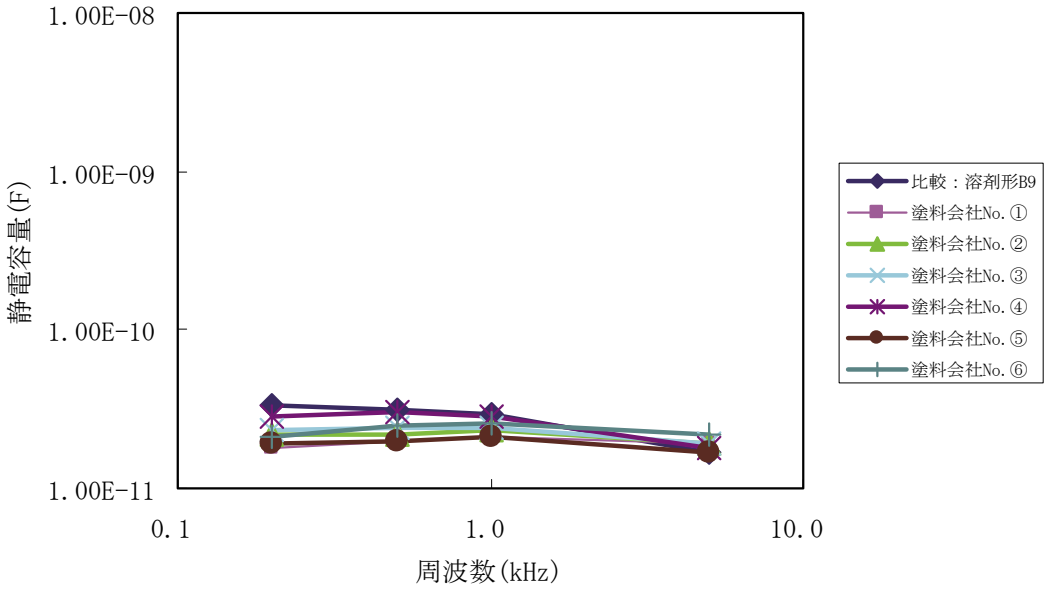
塗装系No.	塗料会社No.	周波数 (kHz)	初期値		
			静電容量 (nF)	抵抗値 (MΩ)	tanδ (計算値)
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		0.2	0.924	7.69	0.11
		0.5	0.872	3.70	0.10
		1.0	0.838	2.17	0.09
		5.0	0.773	0.71	0.06
B3	①	0.2	1.223	2.56	0.25
		0.5	1.107	1.52	0.19
		1.0	1.042	1.00	0.15
		5.0	0.929	0.38	0.09
	②	0.2	1.061	5.56	0.14
		0.5	0.988	2.70	0.12
		1.0	0.943	1.61	0.10
		5.0	0.863	0.56	0.07
	③	0.2	0.800	8.33	0.12
		0.5	0.753	4.17	0.10
		1.0	0.723	2.38	0.09
		5.0	0.663	1.11	0.04
	④	0.2	1.100	6.25	0.12
		0.5	1.032	2.86	0.11
		1.0	0.986	1.59	0.10
		5.0	0.892	0.50	0.07
	⑤	0.2	0.909	1.75	0.50
		0.5	0.771	1.16	0.36
		1.0	0.698	0.82	0.28
		5.0	0.584	0.42	0.13
	⑥	0.2	0.830	7.69	0.12
		0.5	0.788	4.17	0.10
		1.0	0.762	2.56	0.08
		5.0	0.712	0.91	0.05
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		0.2	0.710	10.00	0.11
		0.5	0.671	5.00	0.09
		1.0	0.646	2.94	0.08
		5.0	0.594	1.00	0.05
B4	①	0.2	0.838	3.33	0.29
		0.5	0.758	2.08	0.20
		1.0	0.713	1.41	0.16
		5.0	0.638	0.56	0.09
	②	0.2	0.863	7.14	0.13
		0.5	0.805	3.45	0.11
		1.0	0.769	2.00	0.10
		5.0	0.704	0.71	0.06
	③	0.2	0.725	10.75	0.10
		0.5	0.688	5.00	0.09
		1.0	0.662	2.86	0.08
		5.0	0.609	0.91	0.06
	④	0.2	0.798	11.11	0.09
		0.5	0.760	5.00	0.08
		1.0	0.733	2.70	0.08
		5.0	0.674	0.77	0.06
	⑤	0.2	1.039	1.43	0.54
		0.5	0.870	0.94	0.39
		1.0	0.779	0.67	0.31
		5.0	0.644	0.29	0.17
	⑥	0.2	0.964	6.67	0.12
		0.5	0.917	3.70	0.09
		1.0	0.888	2.27	0.08
		5.0	0.831	0.71	0.05

表－3.3.17(2)　インピーダンス測定結果（塗装系No.B3,B4、沖縄屋外暴露試験３年後）

塗装系No.	塗料会社No.	周波数 (kHz)	沖縄暴露３年後		
			静電容量 (nF)	抵抗値 (MΩ)	tanδ (計算値)
B9 (比較：溶剤形Rc-Ⅰ)		0.2	0.033	24.39	0.99
		0.5	0.031	20.41	0.50
		1.0	0.029	12.66	0.43
		5.0	0.017	2.66	0.70
B3	①	0.2	0.018	55.56	0.80
		0.5	0.020	62.50	0.25
		1.0	0.021	52.63	0.14
		5.0	0.019	5.32	0.32
	②	0.2	0.022	40.00	0.90
		0.5	0.022	37.04	0.39
		1.0	0.023	28.57	0.24
		5.0	0.019	4.15	0.40
	③	0.2	0.023	50.00	0.69
		0.5	0.024	40.00	0.33
		1.0	0.024	27.78	0.24
		5.0	0.019	3.66	0.46
	④	0.2	0.019	47.62	0.88
		0.5	0.020	45.45	0.35
		1.0	0.021	32.26	0.24
		5.0	0.017	4.44	0.42
	⑤	0.2	0.028	31.25	0.91
		0.5	0.030	22.22	0.48
		1.0	0.028	14.29	0.40
		5.0	0.018	2.74	0.65
	⑥	0.2	0.021	47.62	0.80
		0.5	0.025	45.45	0.28
		1.0	0.026	34.48	0.18
		5.0	0.022	3.69	0.39
B10 (比較：溶剤形Rc-Ⅲ)		0.2	0.028	30.30	0.94
		0.5	0.027	25.64	0.46
		1.0	0.025	15.87	0.40
		5.0	0.018	3.01	0.59
B4	①	0.2	0.027	40.00	0.74
		0.5	0.026	41.67	0.29
		1.0	0.026	31.25	0.20
		5.0	0.022	3.76	0.39
	②	0.2	0.022	43.48	0.83
		0.5	0.023	41.67	0.33
		1.0	0.023	30.30	0.23
		5.0	0.018	3.88	0.46
	③	0.2	0.031	35.71	0.72
		0.5	0.029	30.30	0.36
		1.0	0.028	19.61	0.29
		5.0	0.020	2.93	0.54
	④	0.2	0.028	38.46	0.74
		0.5	0.029	33.33	0.33
		1.0	0.029	20.83	0.26
		5.0	0.022	2.98	0.49
	⑤	0.2	0.016	52.63	0.95
		0.5	0.019	45.45	0.37
		1.0	0.018	29.41	0.30
		5.0	0.014	4.46	0.51
	⑥	0.2	0.028	40.00	0.71
		0.5	0.031	38.46	0.27
		1.0	0.032	27.78	0.18
		5.0	0.027	3.24	0.36

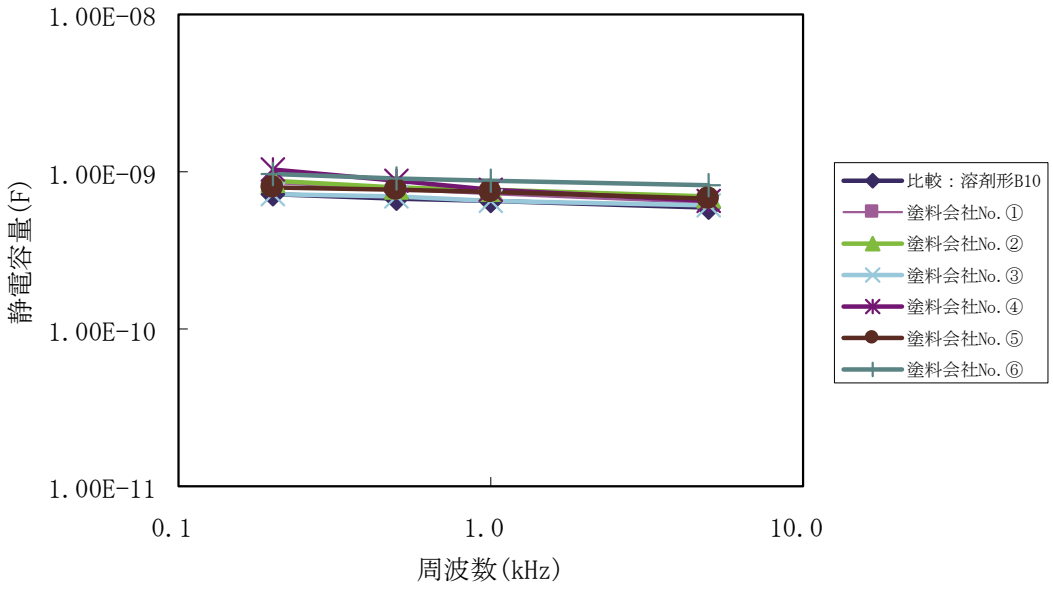


a)初期

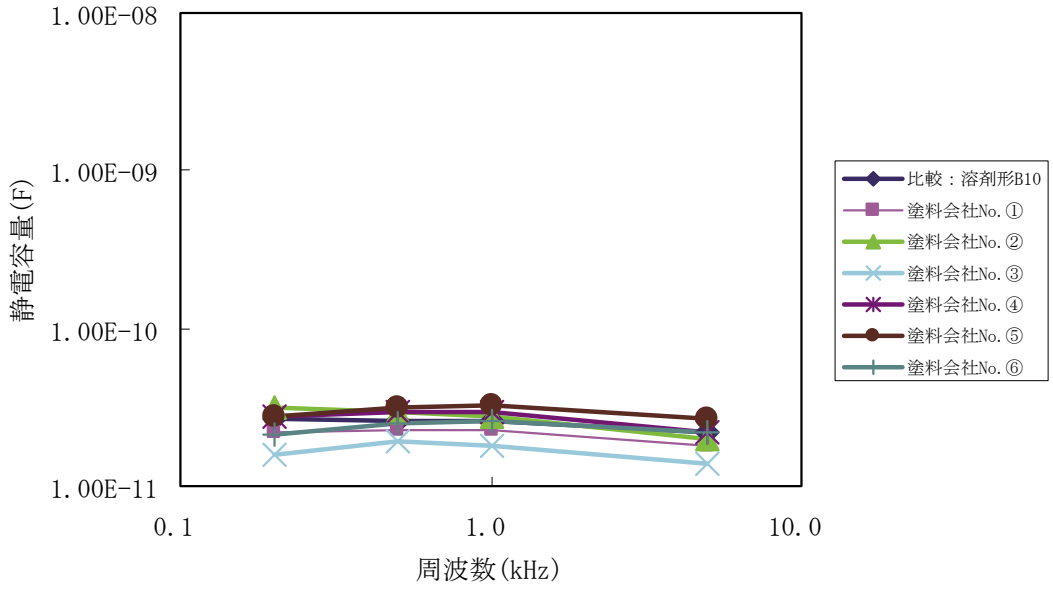


b)沖縄暴露試験３年後

図－3.3.9　静電容量（塗装系No.B3）

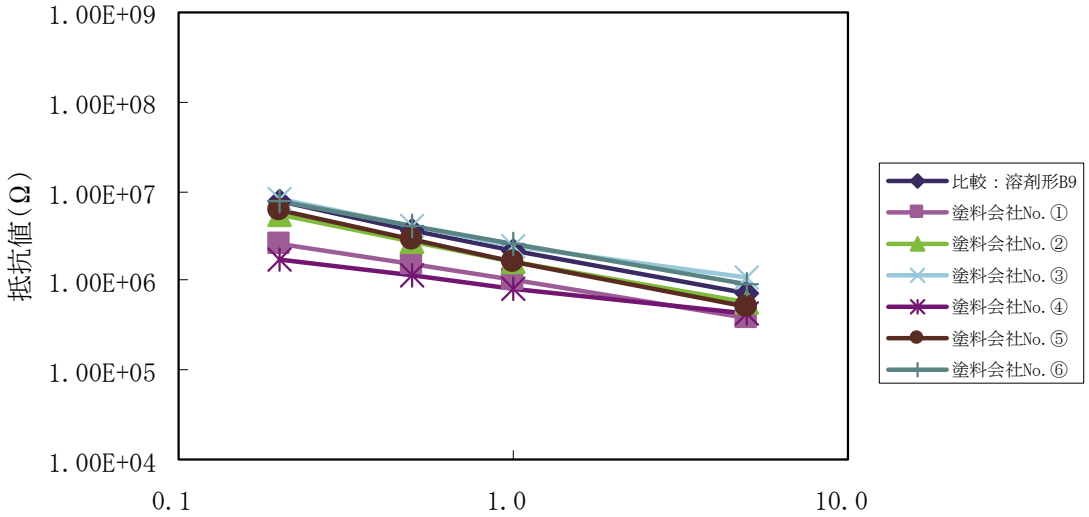


a) 初期

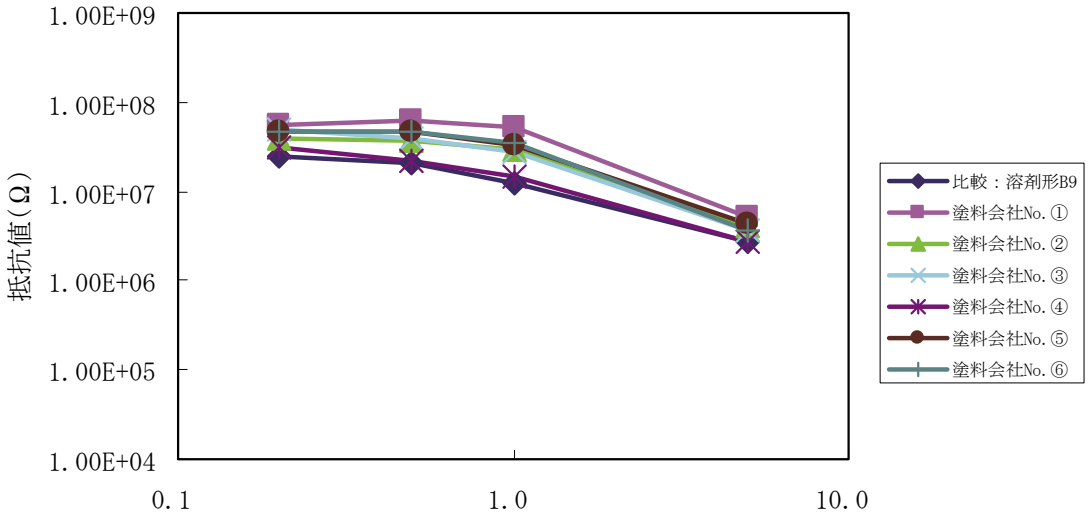


b) 沖縄暴露試験３年後

図－3.3.10　静電容量（塗装系No.B4）

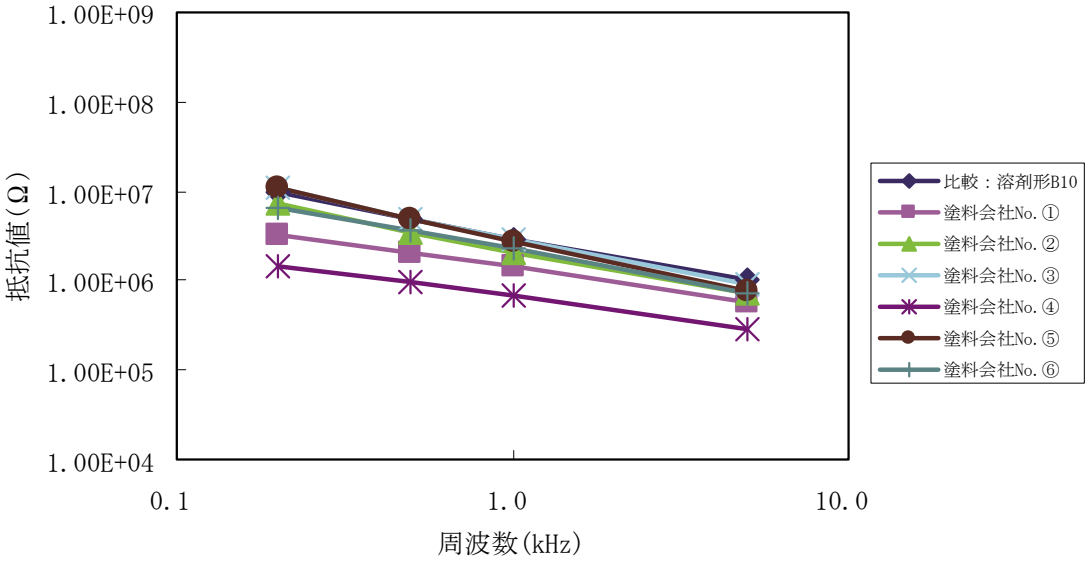


a) 初期

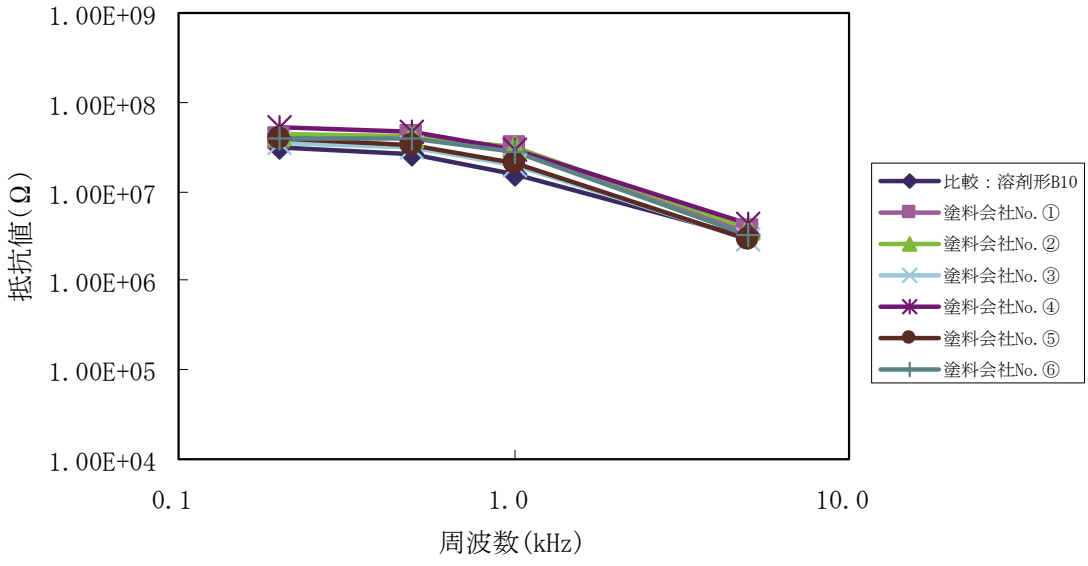


b) 沖縄暴露試験３年後

図－3.3.11　抵抗値（塗装系No.B3）



a)初期



b)沖縄暴露試験３年後

図－3.3.12　抵抗値（塗装系No.B4）

４）直流抵抗

初期板および沖縄屋外暴露試験３年後の試験板について、直流抵抗値の測定結果を表－3.3.18および図－3.3.13に示す。

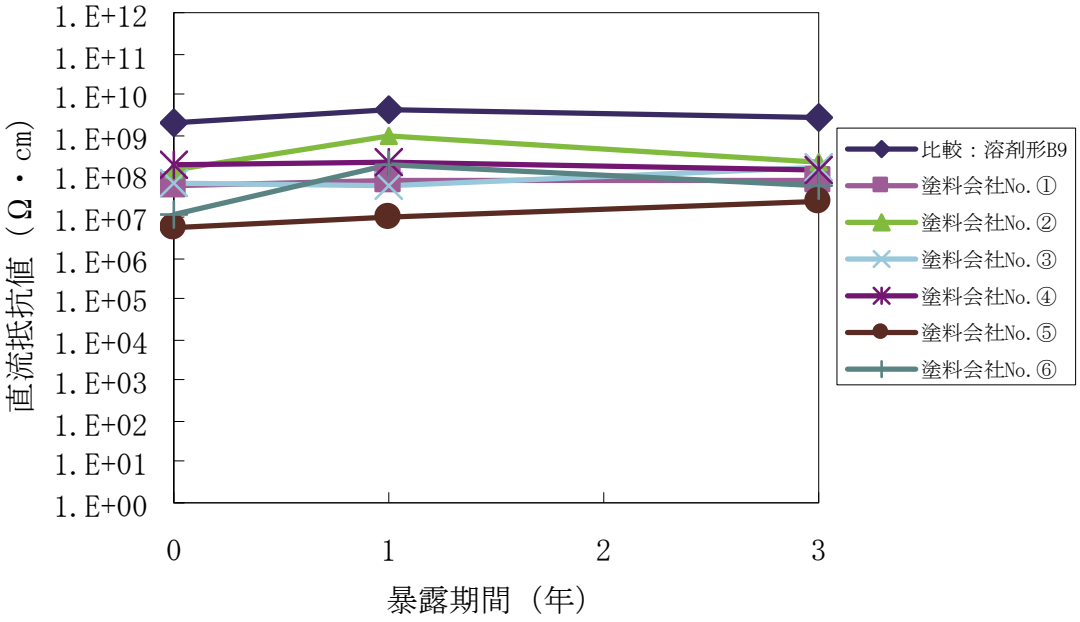
塗装系 No.B3 では、初期板において溶剤形が水性塗装系より高い直流抵抗値であり、沖縄屋外暴露試験３年後の試験板においても溶剤形が水性塗装系より高い直流抵抗値であった。

塗装系 No.B4 では、初期板において水性塗装系の方が溶剤形より高い直流抵抗値であったが、沖縄屋外暴露試験３年後の試験板においては溶剤形が水性塗装系より高い抵抗値であった。

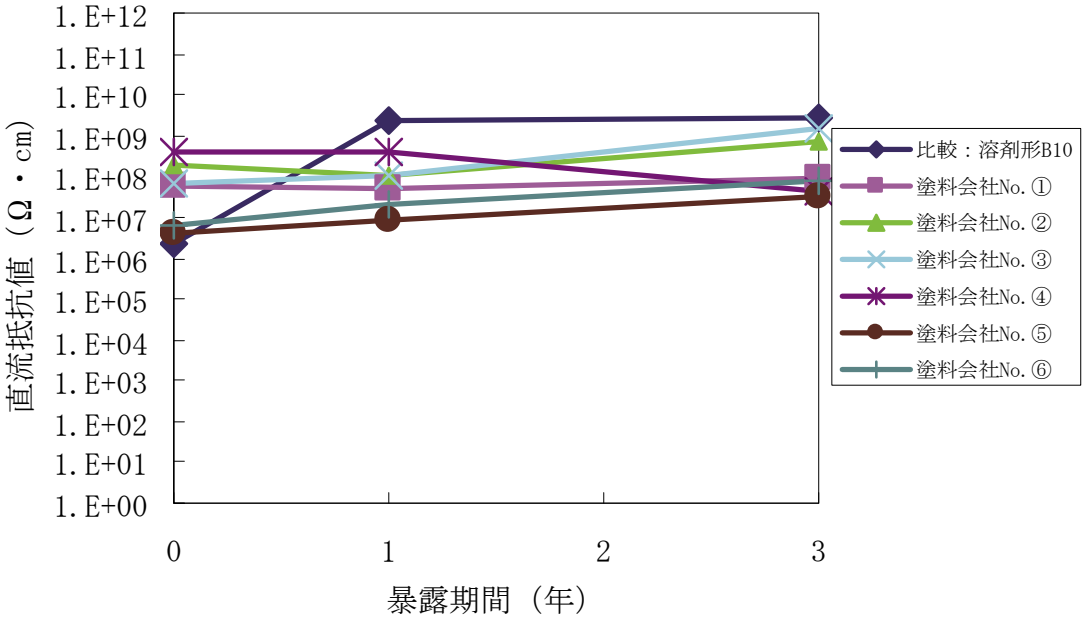
表－3.3.18　直流抵抗値測定結果

塗装系No.	塗料会社No.	直流抵抗値（Ω・cm）		
		初期	沖縄暴露１年後	沖縄暴露３年後
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		2.07E+09	3.99E+09	2.53E+09
B3	①	5.83E+07	7.78E+07	8.11E+07
	②	1.33E+08	9.80E+08	2.09E+08＊
	③	6.97E+07	6.08E+07	1.75E+08
	④	1.86E+08	2.31E+08	1.43E+08
	⑤	5.80E+06	9.23E+06	2.41E+07
	⑥	1.09E+07	1.82E+08	5.61E+07
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		2.41E+06	2.32E+09	2.64E+09
B4	①	5.53E+07	5.15E+07	9.57E+07＊
	②	1.93E+08	1.02E+08	7.36E+08＊
	③	6.35E+07	1.02E+08	1.49E+09
	④	4.09E+08	4.26E+08	4.59E+07
	⑤	4.37E+06	9.05E+06	3.16E+07
	⑥	6.68E+06	2.00E+07	7.29E+07

＊印の板は、膨れがある。（8M）



a)塗装系No. B3



b)塗装系No. B4

図－3.3.13　直流抵抗値

（２）複合サイクル腐食試験結果

１）土研式CCT

土研式CCT400サイクル後の塗膜外観観察結果を表－3.3.19に示す。

塗装系No.B3、B4ともに溶剤形よりもカット部の膨れ幅が、若干大きい試験板が認められたが、大半は溶剤形と同等の結果であった。また、何れの試験板も一般部に異状は認められなかった。

２）JIS式CCT

JIS式CCT1000サイクル後の塗膜外観観察結果を表－3.3.20に示す。

塗装系No.B3、B4ともに塗料会社No.①～⑥すべての水性塗装系でカット部の膨れ幅が溶剤形とほぼ同等であった。また、何れの試験板も一般部に異状は認められなかった。

土研式CCT400サイクル後およびJIS式CCT1000サイクル後の付着性試験結果を表－3.3.21に、記録外観を図－3.3.14に示す。

土研式 CCT400 サイクル後の付着力については、塗装系 No.B3 では、比較の溶剤系が0.5MPa であったが、塗料会社 No.①～⑥ともに 1.0MPa 以上の付着力であった。塗装系 No.B4では、比較の溶剤形と同様に塗料会社 No.①～⑥ともに 1.0MPa 以上の付着強度であった。

JIS 式 CCT100 サイクル後の付着力については、塗装系 No.B3 および B4 では、比較の溶剤形と同様に塗料会社 No.①～⑥ともに 1.0MPa 以上の付着強度であった。

表3.3.19　土研式CCT試験後の塗膜外観観察結果

塗装系 No.	塗料会社 No.	塗膜外観観察					
		50サイクル		100サイクル		200サイクル	
		一般部	カット部 (㎜)	一般部	カット部 (㎜)	一般部	カット部 (㎜)
B9 (比較：溶剤形Rc-Ⅰ)		○	3.5	○	6	○	6
B3	①	○	1	○	7	○	8
	②	○	4	○	5.5	○	6
	③	○	2	○	6	○	12
	④	○	4.5	○	12.5	○	16
	⑤	○	4	○	5.5	○	6
	⑥	○ もらい錆　有	7	○ もらい錆　有	8	○ もらい錆　有	10
B10 (比較：溶剤形Rc-Ⅲ)		○	8.5	○	14	○	17
B4	①	○	9.5	○	23	○	25
	②	○	6.5	○	18.5	○	20
	③	○	8.5	○	12	○	17
	④	○	6.5	○	18	○	30
	⑤	○	10	○	21.5	○	22
	⑥	○ もらい錆　有	4	○ もらい錆　有	18.5	○ もらい錆　有	19

塗装系 No.	塗料会社 No.	塗膜外観観察			
		300サイクル		400サイクル	
		一般部	カット部 (㎜)	一般部	カット部 (㎜)
B9 (比較：溶剤形Rc-Ⅰ)		○	7	○	8
B3	①	○	8	○	9
	②	○	10	○	10
	③	○	13	○	13
	④	○	17	○	19
	⑤	○	13	○	13
	⑥	○ もらい錆　有	11	○ もらい錆　有	12
B10 (比較：溶剤形Rc-Ⅲ)		○	31	○	35以上
B4	①	○	35以上	○	35以上
	②	○	22	○	26
	③	○	22	○	23
	④	○	35以上	○	35以上
	⑤	○	31	○	31
	⑥	○ もらい錆　有	19	○ もらい錆　有	20

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表3.3.20　JIS式CCT試験後の塗膜外観観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	塗膜外観観察					
		200サイクル		400サイクル		600サイクル	
		一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		○	1.5	○	2	○	3
B3	①	○	0.5	○	2	○	2
	②	○	0.5	○	3	○	4
	③	○	1	○	3	○	3
	④	○	1	○	3	○	4
	⑤	○	3	○	3.5	○	4
	⑥	○	3	○	4	○	6
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		○	9	○	12	○	15
B4	①	○	3	○	6	○	15
	②	○	5	○	8	○	13
	③	○	5	○	7	○	8
	④	○	3	○	15	○	20
	⑤	○	5	○	11	○	12
	⑥	○	5	○	9	○	13

塗装系No.	塗料会社No.	塗膜外観観察			
		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B9（比較：溶剤形Rc-Ⅰ）		○	4	○	4
B3	①	○	3	○	3
	②	○	4	○	4
	③	○	3	○	6
	④	○	5	○	5
	⑤	○	5	○	5
	⑥	○	6	○	8
B10（比較：溶剤形Rc-Ⅲ）		○	15	○	18
B4	①	○	16	○	21
	②	○	13	○	13
	③	○	8	○	9
	④	○	20	○	25
	⑤	○	16	○	17
	⑥	○	13	○	14

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表3.3.21　CCT試験後の付着性試験結果

塗装系 No.	塗料会社 No.	土研式 400 サイクル		JIS 式 1000 サイクル	
		付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B9 (比較：溶剤形 Rc-Ⅰ)		0.5	ジンク内　：100	1.0	素　　地　：100
B3	①	2.0	下　塗　内　：60 下塗/中塗　：40	3.1	下　塗　内　：100
	②	1.5	ジンク内　：100	4.0	ジンク内　：97 下　塗　内　：3
	③	2.0	ジンク内　：90 接着剤/ドリー　：10	1.7	ジンク内　：100
	④	3.0	下　塗　内　：95 接着剤/ドリー　：5	3.8	下　塗　内　：80 中　塗　内　：5 接　着　剤　：15
	⑤	3.5	中塗/上塗　：90 接着剤/ドリー　：10	5.1	上　塗　内　：100
	⑥	1.0	ジンク内　：100	4.8	ジンク内　：15 下塗/中塗　：5 上　塗　内　：40 接　着　剤　：40
B10 (比較：溶剤形 Rc-Ⅲ)		3.5	下　塗　内　：85 中　塗　内　：15	3.9	中　塗　内　：60 上　塗　内　：40
B4	①	1.5	下　塗　内　：50 接着剤/ドリー　：50	2.1	下　塗　内　：100
	②	3.0	下　塗　内　：60 接着剤/ドリー　：40	5.0	下　塗　内　：95 中　塗　内　：5
	③	3.0	上塗/接着剤　：80 接着剤/ドリー　：20	5.8	中　塗　内　：25 上　塗　内　：5 接　着　剤　：70
	④	3.0	下　塗　内　：60 接着剤/ドリー　：40	3.5	下　塗　内　：90 中　塗　内　：5 接　着　剤　：5
	⑤	2.0	中塗内/上塗内　：70 接着剤/ドリー　：30	4.0	上　塗　内　：100
	⑥	2.5	中塗/上塗　：50 上塗/接着剤　：40 接着剤/ドリー　：10	5.1	中　塗　内　：3 上　塗　内　：90 接　着　剤　：7

塗装系No.	塗料会社No.	土研式CCT400サイクル	JIS式CCT1000サイクル
B9 （比較：溶剤形Rc-Ⅰ）			
B3	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		
B10 （比較：溶剤形Rc-Ⅲ）			
B4	①		
	②		
	③		
	④		
	⑤		
	⑥		

図－3.3.14　CCT試験後の外観

（３）耐水性試験結果

耐湿潤冷熱繰返し性試験10サイクル後および耐湿性試験７日後の塗膜外観観察結果を表－3.3.22に示す。

塗装系No.B3およびB4ともに塗料会社No.①～⑥すべての水性塗装系で溶剤形と同様に異状は見られなかった。

表3.3.22　耐水性試験後の塗膜外観観察結果

塗装系No.	塗料会社No.	耐湿潤冷熱繰返し性試験１０サイクル	耐湿性試験７日
B9（比較：溶剤形 Rc-Ⅰ）		○	○
B3	①	○	○
	②	○	○
	③	○	○
	④	○	○
	⑤	○	○
	⑥	○	○
B10（比較：溶剤形 Rc-Ⅲ）		○	○
B4	①	○	○
	②	○	○
	③	○	○
	④	○	○
	⑤	○	○
	⑥	○	○

（注）塗膜外観　　○：異状なし

（４）まとめ

塗替塗装用完全水性塗装系No.B3では、沖縄屋外暴露試験において、塗料会社No.①の裏面でカット部の膨れが大きかった。また、屋外暴露試験の一部の試験板で一般部に微細な膨れが観察されたが、大半の試験板は暴露試験、促進試験および塗膜特性試験において溶剤形Rc-Ⅰ塗装系とほぼ同等の性能であった。

塗替塗装用完全水性塗装系No.B4では、屋外暴露試験の一部の試験板で一般部に微細な膨れが観察されたが、大半の試験板は暴露試験、促進試験および塗膜特性試験において溶剤形Rc-Ⅲ塗装系とほぼ同等の性能であった。

３．３．２　二次試験結果

二次試験に供した塗装系と塗装会社の一覧を表－3.3.23に示す。二次試験では、屋外暴露試験の基材には、ブラスト鋼板のみを使用した。

塗装系No.B3では、塗料会社No.⑤の水性エポキシ樹脂塗料下塗を変更したもの、塗料会社No.⑥の水性ふっ素樹脂塗料上塗を変更したもの、比較として塗料会社No.⑥の一次試験と同じ塗装系の合計３種を二次試験に供した。

塗装系No.B4では、塗料会社No.①、③、④の水性エポキシ樹脂塗料下塗および水性ふっ素樹脂塗料を変更したもの、塗料会社No.⑤の水性エポキシ樹脂塗料を変更したもの、塗料会社No.⑥の水性ふっ素樹脂塗料上塗を変更したもの、比較として塗料会社No.⑥の一次試験と同じ塗装系の合計６種を二次試験に供した。

表－3.3.23　二次試験に供した塗装系と塗装会社の一覧表

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	一次試験からの変更点
B3	⑤	⑤－ａ	水性エポキシ樹脂塗料下塗
	⑥	⑥－ａ	水性ふっ素樹脂塗料上塗
		⑥	一次試験に同じ
B4	①	①－ａ	水性エポキシ樹脂塗料下塗 および水性ふっ素樹脂塗料上塗
	③	③－ａ	水性エポキシ樹脂塗料下塗 および水性ふっ素樹脂塗料上塗
	④	④－ａ	水性エポキシ樹脂塗料下塗 および水性ふっ素樹脂塗料上塗
	⑤	⑤－ａ	水性エポキシ樹脂塗料下塗
	⑥	⑥－ａ	水性ふっ素樹脂塗料上塗
		⑥	一次試験に同じ

（１）屋外暴露試験結果

１）塗膜外観観察（一般部・カット部）

屋外暴露試験２年後の各試験板について、一般部およびカット部のさび、膨れを観察した結果を表－3.3.24～表－3.3.25に示す。試験後の外観（表面）を図－3.3.15～図－3.3.16に示す。

沖縄屋外暴露試験２年後について、塗装系 No.B3 では、試験片 No.⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに一次試験の溶剤形の結果と比較してほぼ同等の結果であった。塗装系 No.B4 では、試験片 No.⑤－ａが一次試験の溶剤形の結果と比較してカット部の膨れ幅が大きかったが、試験片 No.①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑥－ａ、⑥は、一次試験の溶剤形の結果と比較してほぼ同等の結果であった。

つくば屋外暴露試験２年後について、塗装系 No.B3 および B4 では、試験片 No.①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに一次試験の溶剤形の結果と比較してほぼ同等の結果であった。

２）付着性

塗装系 No.B3 では、試験片 No.⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに 1.0MPa 以上の付着強度であった。塗装系 No.B4 では、試験片 No.①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに 1.0MPa 以上の付着強度であった。

表－3.3.24　屋外暴露試験１年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）
基材：ブラスト鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				沖縄		つくば	
				一般部	カット部	一般部	カット部
B3	⑤	⑤－ａ	表	○	2mm	○	0.5mm
			裏	○	0mm	○	0.5mm
	⑥	⑥－ａ	表	○	0.5mm	○	0mm
			裏	○	1mm	○	0mm
		⑥	表	○	0.5mm	○	0mm
			裏	○	1mm	○	0mm
B4	①	①－ａ	表	○	3mm	○	0mm
			裏	○	3mm	○	0mm
	③	③－ａ	表	○	3mm	○	2mm
			裏	○	7mm	○	1mm
	④	④－ａ	表	○	2mm	○	1mm
			裏	○	6mm	○	0mm
	⑤	⑤－ａ	表	○	4mm	○	1mm
			裏	○	7mm	○	0mm
	⑥	⑥－ａ	表	○	2mm	○	1mm
			裏	○	3mm	○	1mm
		⑥	表	○	2mm	○	1mm
			裏	○	1mm	○	0mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.25　屋外暴露試験２年後のさび・膨れの観察結果（塗装系No.B3、B4）

基材：ブラスト鋼板

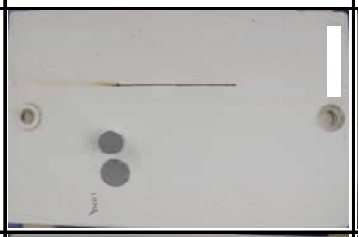
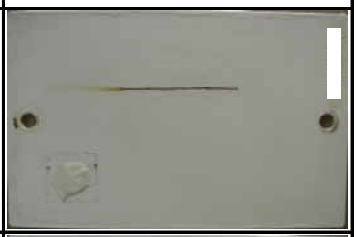
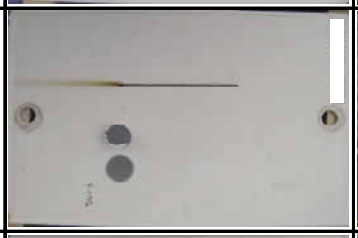
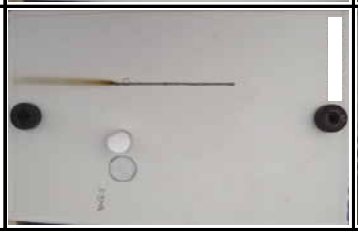
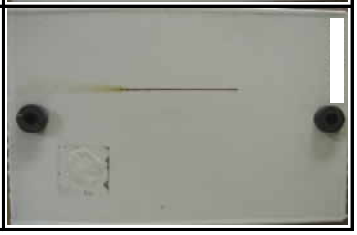
塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				沖縄		つくば	
				一般部	カット部	一般部	カット部
B3	⑤	⑤－a	表	○	3mm	○	1mm
			裏	○	1mm	○	1mm
	⑥	⑥－a	表	○	2mm	○	2mm
			裏	○	4mm	○	2mm
		⑥	表	○	6mm	○	1mm
			裏	○	4mm	○	1mm
B4	①	①－a	表	○	15mm	○	1mm
			裏	○	18mm	○	0mm
	③	③－a	表	○	15mm	○	5mm
			裏	○	40mm	○	4mm
	④	④－a	表	○	10mm	○	2mm
			裏	○	30mm	○	2mm
	⑤	⑤－a	表	○	64mm	○	2mm
			裏	○	65mm	○	1mm
	⑥	⑥－a	表	○	13mm	○	2mm
			裏	○	50mm	○	1mm
		⑥	表	○	9mm	○	2mm
			裏	○	12mm	○	1mm

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

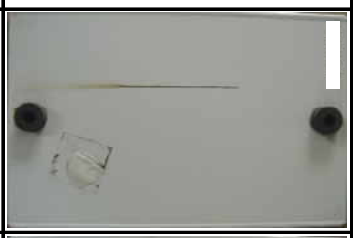
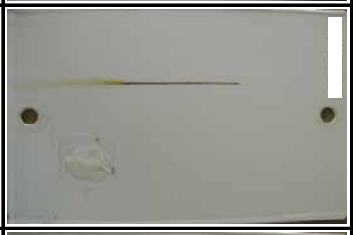
表－3.3.26　屋外暴露試験２年後の付着性試験結果（塗装系 No.B3、B4）

基材：ブラスト鋼板

塗装系 No.	塗料会社 No.	試験片 No.	塗板の表裏	沖縄		つくば	
				付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B3	⑤	⑤－a	表	1.0	ジンク内：100	2.0	ジンク内：100
			裏	2.0	ジンク内：100	1.5	ジンク内：100
	⑥	⑥－a	表	4.0	ジンク内：100	5.0	ジンク内：30 中 塗 内：40 上 塗 内：30
			裏	2.5	接 着 剤：100	5.0	上 塗 内：30 接 着 剤：70
		⑥	表	5.5	接 着 剤：100	5.0	ジンク内：30 接 着 剤：70
			裏	4.0	接 着 剤：100	5.0	ジンク内：10 接 着 剤：90
B4	①	①－a	表	4.0	中 塗 内：10 接 着 剤：90	5.0	中 塗 内：40 接 着 剤：60
			裏	5.0	接 着 剤：100	5.0	中 塗 内：70 接 着 剤：30
	③	③－a	表	2.0	接 着 剤：100	6.5	中 塗 内：10 接 着 剤：90
			裏	3.5	接 着 剤：100	7.0	接 着 剤：100
	④	④－a	表	5.5	接 着 剤：100	5.0	中 塗 内：30 接 着 剤：70
			裏	2.0	接 着 剤：100	4.0	下 塗 内：10 中 塗 内：40 接 着 剤：50
	⑤	⑤－a	表	2.5	下 塗 内：40 接 着 剤：60	3.0	下 塗 内：100
			裏	3.0	接 着 剤：100	3.0	下 塗 内：100
	⑥	⑥－a	表	5.5	接 着 剤：100	4.5	中 塗 内：10 接 着 剤：90
			裏	3.0	接 着 剤：100	5.0	中 塗 内：20 接 着 剤：80
		⑥	表	4.5	接 着 剤：100	4.0	上 塗 内：20 接 着 剤：80
			裏	4.8	接 着 剤：100	4.5	下 塗 内：50 接 着 剤：50

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	沖縄	つくば
B3	⑤	⑤－a		
	⑥	⑥－a		
		⑥		

図－3.3.15　屋外暴露試験２年後の外観（塗装系No.B3、表面）
基材：ブラスト鋼板

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	沖縄	つくば
B4	①	①－a		
	③	③－a		
	④	④－a		
	⑤	⑤－a		
	⑥	⑥－a		
		⑥		

図－3.3.16　屋外暴露試験２年後の外観（塗装系No.B4、表面）
基材：ブラスト鋼板

（２）複合サイクル腐食試験結果

１）土研式CCT

土研式CCT400サイクル後の塗膜外観観察結果を表－3.3.27に、付着性試験結果を表－3.3.28に、試験後の外観を図－3.3.17に示す。

塗装系 No.B3 では、試験片 No. ⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに一次試験の溶剤形の結果と比較してほぼ同等の結果であった。塗装系 No. B4 では、試験片 No.①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに一次試験の溶剤形の結果と比較してほぼ同等の結果であった。

付着性に関しては、塗装系 No.B3 では、試験片 No.⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに1.0MPa 以上の付着強度であった。塗装系 No.B4 では、試験片 No.①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに 1.0MPa 以上の付着強度であった。

表－3.3.27　土研式CCT試験後の塗膜外観観察結果

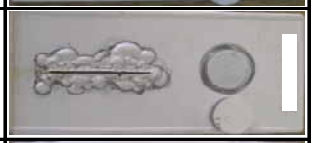
塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗膜外観観察					
			50サイクル		100サイクル		230サイクル	
			一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B3	⑤	⑤－a	○	2	○	2	○	3
	⑥	⑥－a	○	3	○	5	○	9
		⑥	○	1	○	4	○	6
B4	①	①－a	○	2	○	6	○	17
	③	③－a	○	3	○	10	○	16
	④	④－a	○	2	○	4	○	17
	⑤	⑤－a	○	2	○	13	○	35
	⑥	⑥－a	○	3	○	5	○	11
	⑥	⑥	○	5	○	6	○	10

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	塗膜外観観察			
			300サイクル		400サイクル	
			一般部	カット部(mm)	一般部	カット部(mm)
B3	⑤	⑤－a	○	3	○	8
	⑥	⑥－a	○	9	○	10
		⑥	○	7	○	10
B4	①	①－a	○	22	○	22
	③	③－a	○	16	○	26
	④	④－a	○	19	○	35
	⑤	⑤－a	○	35	○	35
	⑥	⑥－a	○	12	○	35
	⑥	⑥	○	10	○	17

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

表－3.3.28　CCT試験後の付着性試験結果

塗装系 No.	塗料会社 No.	試験片 No.	土研式 400 サイクル	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
B3	⑤	⑤－a	2.5	ジンク内：100
	⑥	⑥－a	2.0	ジンク内：100
		⑥	3.0	中塗/上塗：60 接　着　剤：40
B4	①	①－a	2.2	下塗/中塗：95 接　着　剤：5
	③	③－a	5.5	接　着　剤：100
	④	④－a	4.3	下　塗　内：90 中　塗　内：10
	⑤	⑤－a	3.2	下　塗　内：80 中塗/上塗：5 接　着　剤：15
	⑥	⑥－a	3.2	中塗/上塗：60 接　着　剤：40
	⑥	⑥	3.0	中塗/上塗：60 接　着　剤：40

塗装系No.	塗料会社No.	試験片No.	土研式CCT400サイクル
B3	⑤	⑤－a	
	⑥	⑥－a	
		⑥	
B4	①	①－a	
	③	③－a	
	④	④－a	
	⑤	⑤－a	
	⑥	⑥－a	
		⑥	

図－3.3.17　CCT試験後の外観

（３）耐水性試験結果

耐水性試験（耐湿性試験）後の塗膜外観観察結果を表－3.3.29に示す。

塗装系 No.B3 では、試験片 No.⑥－ａで微細な膨れが観察されたが、試験片 No.⑤－ａ、⑥では塗膜外観に異状は見られなかった。

塗装系 No.B4 では、試験片 No. ①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑤－ａ、⑥－ａ、⑥ともに塗膜外観に異状は見られなかった。

表－3.3.29　耐水性試験後の塗膜外観観察結果

塗装仕様No.	塗料会社No.	試験片No.	耐湿性試験 ７日
B3	⑤	⑤－ａ	○
	⑥	⑥－ａ	膨れ6F
		⑥	○
B4	①	①－ａ	○
	③	③－ａ	○
	④	④－ａ	○
	⑤	⑤－ａ	○
	⑥	⑥－ａ	○
		⑥	○

（注）塗膜外観　　○　：　異状なし

（４）まとめ

塗替塗装用完全水性塗装系 No.B3 では、溶剤形 Rc-Ⅰ塗装系の一次試験の結果と比較して、試験片 No.⑤－ａ、⑥－ａともに暴露試験および促進試験において、ほぼ同等の結果であった。

塗替塗装用完全水性塗装系 No.B4 では、溶剤形 Rc-Ⅲ塗装系の一次試験の結果と比較して、試験片 No.⑤－ａは沖縄暴露試験におけるカット部の膨れ幅が大きかったが、試験片 No. ①－ａ、③－ａ、④－ａ、⑥－ａは暴露試験および促進試験において、ほぼ同等の結果であった。

参考文献

1)　守屋進：鋼構造物塗装の性能規定化、鋼橋塗装 Vol.29 No.1(2001)

４．水性塗料の施工時条件への適用性の検討

塗装施工では、各々の塗料の性質を把握し、適切に取り扱うことが形成される塗膜の性能を最大限に発揮させることに繋がる。特に塗替塗装施工では、塗装面の状態、塗装時の環境や塗装後の気象変化などが様々である。これらの状況下における各塗料の適用性を把握しておく必要がある。溶剤形塗料では、その適用性が把握されているが、水性塗料については知見が少ない。そのため、本共同研究で水性塗料の適用性を溶剤形塗料と比較検討した。

４．１　塗装後短時間の環境変化への適用性

（１）試験目的

塗料を塗装した直後に降雨や結露が起きた場合、特に冬季の気温が低い時などは塗膜表面に膨れが発生したり、白化したりすることがある。これは、乾燥が不十分で未硬化の塗膜が水分の影響を受けたためであり、特に水性塗料は冬季での乾燥が遅くなるために、水分による影響は大きいと考えられる。施工時に降雨の影響を受けたり、結露が起きたりした場合を想定して、水性塗料施工時の環境変化適性を把握することを目的とする。

（２）試験内容

１）試験板の作製

①試験基材

磨軟鋼板（寸法 70 ㎜×150 ㎜×0.8 ㎜）を使用し、下塗試験用は鋼板を脱脂した面とし、上塗試験用は各々の中塗を塗装した面とした。

②塗装時の養生条件

養生温度は、10℃および 20℃の２水準とした。

③塗装塗膜が水分影響を受けるまでの養生時間

塗装後、塗膜が水分影響を受けるまでの時間は、３時間、５時間、16 時間の３水準とした。

④供試塗料（色相は N-7.0 近似とした）

水性エポキシ樹脂塗料下塗（４社）

水性ふっ素樹脂塗料上塗（３社）

弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗（比較）

弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗（比較）

２）試験方法

鋼板に塗料を、下塗は乾燥膜厚 60μm、上塗は 25μm に相当する塗付量をはけ塗りし、規定の温度で規定時間養生した後、速やかに規定の温度の水道水を入れた容器に試験板を半没させ、直ちに容器を密閉する。２時間経過後、試験板を引き上げて没水部（浸せき状態）および非没水部（結露状態）の塗膜を評価した。評価は、試験板引き上げ直後および翌日に目視評価を行った。また、試験板引き上げ翌日に光沢および明度差の測定を実施した。なお、光沢、色差は、23℃室内で養生した各々の塗料の試験板を標準とした。

３）評価項目

目視観察（つや引け、変色、膨れ､)、光沢測定、明度差測定

（３）試験結果

塗膜外観観察評価基準を表－4.1.1 に、塗膜外観観察結果を表－4.1.2～4.1.6 に、光沢値、明度差測定結果を表－4.1.7～4.1.9 に示す。また、試験板の写真を図－4.1.1～4.1.2 に示す。

表－4.1.1　塗膜外観観察評価基準

＜判定基準＞

◎　：基準塗膜と同じ

◎　：白化、ツヤひけ　　塗膜表面の変状

△　：著しい白化、ツヤひけ

×　：溶解、膨れ、しわ　　素材界面に関わる現象

××：溶出

表－4.1.2　塗膜外観観察結果（10℃、没水部）

塗料分類	供試塗料		引き上げ直後			引き上げ翌日		
	塗料種	塗料会社	塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
			３時間	５時間	16時間	３時間	５時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	×	×	×	△	△	○
		④	○	×	○	○	×	◎
		⑤	××	××	××	××	××	××
		⑥	×	×	○	×	○	○
	（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		○	○	○	○	○	○
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	×	×	×	◎	◎	◎
		②	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		⑥	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		◎	◎	◎	◎	◎	◎

表－4.1.3　塗膜外観観察結果（20℃、没水部）

塗料分類	供試塗料		引き上げ直後			引き上げ翌日		
	塗料種	塗料会社	塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
			3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	×	×	○	△	△	◎
		④	△	△	◎	○	◎	◎
		⑤	××	××	△	××	××	○
		⑥	△	△	○	△	○	◎
	（比較用） 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		△	△	◎	△	△	◎
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	×	×	×	◎	◎	◎
		②	○	○	◎	◎	◎	◎
		⑥	×	◎	○	◎	◎	◎
	（比較用） 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		◎	◎	◎	◎	◎	◎

表－4.1.4　塗膜外観観察結果（10℃、非没水部）

塗料分類	供試塗料		引き上げ直後			引き上げ翌日		
	塗料種	塗料会社	塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
			3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		④	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		⑤	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		⑥	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	（比較用） 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		◎	◎	◎	◎	◎	◎
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		②	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		⑥	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	（比較用） 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		◎	◎	◎	◎	◎	◎

表－4.1.5　塗膜外観観察結果（20℃、非没水部）

塗料分類	供試塗料		引き上げ直後			引き上げ翌日		
	塗料種	塗料会社	塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
			3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	供試③	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		供試④	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		供試⑤	◎	◎	◎	○	○	◎
		供試⑥	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		◎	◎	◎	◎	◎	◎
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	供試①	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		供試②	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		供試⑥	◎	◎	○	◎	◎	◎
	（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		◎	◎	◎	◎	◎	◎

表－4.1.6　光沢値、明度差測定結果（10℃、没水部）

塗料分類	供試塗料		標準塗膜の光沢値	光沢値			明度差（標準板とのΔL）		
	塗料種	塗料会社		塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
				3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	7.6	1.4	1.4	1.9	3.13	2.25	0.15
		④	17.1	10.6	20.6	14.9	0.55	0.56	0.58
		⑤	42.4	－	－	－	－	－	－
		⑥	19.9	7.4	13.1	10.4	0.64	0.39	0.53
	（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		13.1	3.8	3.4	6.5	0.60	0.70	2.49
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	61.1	58.2	60.0	67.5	0.01	0.00	0.15
		②	58.9	51.7	54.6	51.2	-0.03	-0.03	-0.05
		⑥	68.7	74.1	72.5	69.2	0.05	0.06	0.01
	（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		76.5	71.5	73.4	74.4	0.14	0.20	0.06

注）表中「－」は、塗膜が水に溶解し消失したため測定不能

表－4.1.7　光沢値、明度差測定結果（20℃、没水部）

塗料分類	供試塗料		標準塗膜の光沢値	光沢値			明度差（標準板とのΔL）		
	塗料種	塗料会社		塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
				3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	7.6	5.8	7.9	6.9	0.17	0.15	−0.02
		④	17.1	20.7	22.1	14.2	0.21	0.26	0.16
		⑤	42.4	―	―	30.5	―	―	0.86
		⑥	19.9	9.8	13.1	16.7	0.17	0.19	0.05
	（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		13.1	3.6	11.0	10.4	5.06	5.14	0.11
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	61.1	60.9	61.8	85.6	−0.02	−0.01	0.05
		②	58.9	57.9	56.9	57.6	−0.08	−0.05	0.02
		⑥	68.7	69.9	71.1	61.2	−0.02	0.04	−0.16
	（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		76.5	77.8	77.2	75.5	−0.08	−0.06	0.00

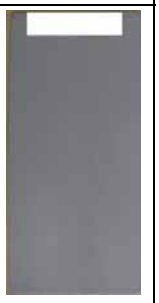
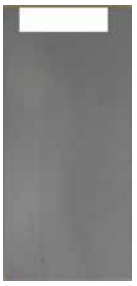
注）表中「－」は、塗膜が水に溶解し消失したため測定不能

表－4.1.8　光沢値、明度差測定結果（10℃、非没水部）

塗料分類	供試塗料		標準塗膜の光沢値	光沢値			明度差（標準板とのΔL）		
	塗料種	塗料会社		塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
				3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	7.6	3.0	3.8	3.6	0.47	0.56	0.41
		④	17.1	40.4	39.5	16.7	0.27	0.37	0.54
		⑤	42.4	70.4	75.0	48.6	2.07	2.15	1.66
		⑥	19.9	28.3	18.8	30.2	0.14	0.34	0.16
	（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		13.1	10.9	11.2	10.1	0.25	0.23	0.28
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	61.1	57.2	57.2	59.9	0.13	0.26	0.16
		②	58.9	57.9	46.2	50.9	0.04	0.23	−0.13
		⑥	68.7	72.7	74.7	65.0	0.02	0.06	−0.08
	（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		76.5	69.8	72.9	74.2	0.23	0.23	0.06

表－4.1.9　光沢値、明度差測定結果（20℃、非没水部）

塗料分類	供試塗料		標準塗膜の光沢値	光沢値			明度差（標準板とのΔL）		
	塗料種	塗料会社		塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
				3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	③	7.6	19.9	22.4	9.1	-0.21	-0.31	0.06
		④	17.1	22.2	24.3	15.6	0.13	0.16	0.11
		⑤	42.4	48.5	30.8	40.6	2.97	3.13	0.50
		⑥	19.9	20.1	22.4	18.6	0.05	0.05	0.03
	（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗		13.1	7.2	10.9	14.1	0.66	-0.02	-0.16
上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	①	61.1	63.0	67.4	60.0	0.14	0.12	0.05
		②	58.9	56.7	51.9	55.2	-0.05	-0.10	0.01
		⑥	68.7	66.2	64.3	58.3	0.08	0.02	-0.10
	（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗		76.5	76.4	77.6	75.9	-0.09	-0.06	0.00

供試塗料		養生温度：10℃			養生温度：20℃		
塗料種	塗料会社	塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
		3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
水性エポキシ樹脂塗料下塗	③						
	④						
	⑤						
	⑥						
（比較用）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗							

図－4.1.1　下塗塗料の引き上げ翌日の塗膜外観

供試塗料		養生温度：10℃			養生温度：20℃		
塗料種	塗料会社	塗装後浸せきまでの時間			塗装後浸せきまでの時間		
		3時間	5時間	16時間	3時間	5時間	16時間
水性ふっ素樹脂塗料上塗	①						
	②						
	⑥						
（比較用）弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗							

図－4.1.2　上塗塗料の引き上げ翌日の塗膜外観

（4）まとめ

没水部において下塗塗料では、溶剤形塗料は白化、つや引け等の塗膜表面の変状であるのに対して、水性塗料は、塗装後短時間で塗膜が没水状態となった場合、塗膜の水への溶解や膨れ等の防食性能への影響が懸念される現象を認めた塗料もあった。この傾向は、10℃の低温環境において顕著であった。上塗塗料では、溶剤形塗料は今回の試験条件において塗膜変状が認められなかったことに対して、水性塗料は膨れの発生が確認された塗料もあった。

非没水部においては、一部の水性塗料で若干の白化、つや引けが認められた以外は、顕著な変状は認められなかった。

以上の結果から、水性塗料は、塗装後短時間で降雨や結露により特に水が滞留した場合には、顕著な塗膜変状を生じる懸念が考えられる。

４．２　施工時環境への適用性

（１）試験目的

塗装施工時の環境は、特に塗替塗装の場合、塗装対象鋼構造物の設置環境が様々であるため、温度、湿度などの変化が大きい。このような種々の環境で塗装された水性塗料の塗膜性能を評価し、その適用性を把握することを目的とする。

（２）試験内容

１）供試塗装仕様

塗替塗装を想定した塗装系 No.B4（水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm×3／水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm／水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm）の塗装系を供した。比較には、溶剤形塗料の塗装系 No.B10 を供した。尚、上塗の色相は N-9.5（白）とし、試験板の塗装は、はけ塗りとした。

２）試験板の作製

①基材

ブラスト処理鋼板

寸法 200 ㎜×300 ㎜×3.2 ㎜（暴露試験用）

寸法 70 ㎜×150 ㎜×2.3 ㎜（促進試験用）

②塗装環境要因

a)標準環境　　：　23℃、50％RH

b)高湿度環境　：　23℃、90％RH 以上

c)低温環境　　：　５℃

③供試塗料

水性塗料（２社）

弱溶剤形塗料（比較）

３）試験項目

①初期付着性試験

②屋外暴露試験（沖縄、つくば）

③土研式複合サイクル腐食試験

④耐湿試験

４）評価方法

初期付着性試験は、塗装完了後１ヶ月養生した後、プルオフ法にて試験を実施した。屋外暴露試験および土研式複合サイクル腐食試験では、試験前に試験面の一部に鋼素地に達するカットを入れた。各試験とも経時にて塗膜外観観察を行った。また、屋外暴露試験では、経時で光沢値、色差を測定し、沖縄暴露では 1.5 年および２年経過の段階、つくば暴露では 1.5 年経過の段階でプルオフ法による付着性試験を実施した。

（３）試験結果

付着性試験結果を表－4.2.1～3 に、屋外暴露試験塗膜外観観察結果および外観写真を表－4.2.4～5および図－4.2.1～4 に、光沢値、色差の測定結果（３点測定の平均値）を表－4.2.6～14および図－4.2.5～8 に示す。また、土研式 CCT の塗膜外観評価結果および400 サイクル試験後の付着性試験結果を表－4.2.15～18 に、耐湿試験結果を表－4.2.19 に示す。

表－4.2.1　付着性試験結果（標準環境）

試験項目	塗装系№		付着性		破断面写真
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	
初期	B10		4.5	下塗内　：10 上塗内　：90	
	B4	塗料会社④	4.5	下塗内　：80 中塗内　：20	
		塗料会社⑥	8.5	上塗内　：30 接着剤　：70	
沖縄暴露 1.5 年	B10		5.0	下塗内　：30 接着剤　：70	
	B4	塗料会社④	2.7	接着剤　：100	
		塗料会社⑥	2.5	接着剤　：100	
沖縄暴露 2 年	B10		4.0	接着剤　：100	
	B4	塗料会社④	5.0	接着剤　：100	
		塗料会社⑥	6.5	接着剤　：100	
つくば暴露 1.5 年	B10		5.0	下塗内　：30 中塗内　：40 中塗／上塗：20 接着剤　：10	
	B4	塗料会社④	5.5	中塗内　：40 接着剤　：60	
		塗料会社⑥	4.0	下塗内　：40 上塗内　：20 接着剤　：40	

表－4.2.2　付着性試験結果（高湿度環境）

試験項目	塗装系No.		付着性		破断面写真
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	
初期	B10		1.5	上塗内　：100	
	B4	塗料会社④	2	中塗／上塗：80 上塗内　：15 接着剤　：5	
		塗料会社⑥	3	上塗内　：30 接着剤　：70	
沖縄暴露1.5年	B10		3.5	中塗／上塗：40 接着剤　：60	
	B4	塗料会社④	2.2	下塗／中塗：50 接着剤　：50	
		塗料会社⑥	1.8	接着剤　：100	
沖縄暴露2年	B10		4.5	接着剤　：100	
	B4	塗料会社④	2.5	中塗／上塗：10 接着剤　：90	
		塗料会社⑥	4.0	接着剤　：100	
つくば暴露1.5年	B10		6.5	下塗内　：10 中塗内　：40 中塗／上塗：30 接着剤　：20	
	B4	塗料会社④	3.0	下塗／中塗：100	
		塗料会社⑥	3.0	下塗内　：20 上塗内　：10 接着剤　：70	

表－4.2.3　付着性試験結果（低温環境）

試験項目	塗装系№		付着性		破断面写真
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	
初期	B10		3	上塗内　：100	
	B4	塗料会社④	3.5	下塗内　：40 中塗内　：10 中塗／上塗：50	
		塗料会社⑥	6	上塗内　：70 接着剤　：30	
沖縄暴露1.5年	B10		3.2	中塗／上塗：30 接着剤　：70	
	B4	塗料会社④	1.5	中塗／上塗：100	
		塗料会社⑥	3.0	下塗／中塗：5 接着剤　：95	
沖縄暴露2年	B10		3.0	下塗内　：5 接着剤　：95	
	B4	塗料会社④	5.0	中塗／上塗：20 接着剤　：80	
		塗料会社⑥	4.0	接着剤　：100	
つくば暴露1.5年	B10		3.5	中塗内　：80 接着剤　：20	
	B4	塗料会社④	3.5	中塗／上塗：70 接着剤　：30	
		塗料会社⑥	3.0	下塗内　：50 上塗内　：20 接着剤　：30	

表－4.2.4　屋外暴露試験外観観察結果（沖縄暴露）

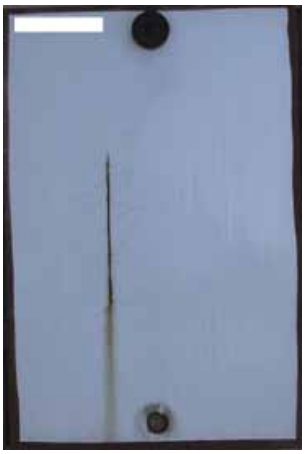
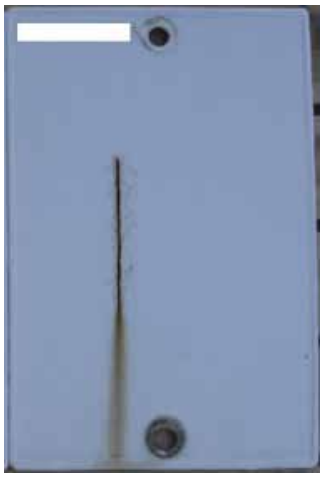
塗装環境	塗装系No.		1年		2年	
			一般部	カット部	一般部	カット部
標準環境	B10		○	28 mm	○	35 mm
	B4	塗料会社④	○	9 mm	○	10 mm
		塗料会社⑥	○	11 mm	○	12 mm
高湿度環境	B10		○	25 mm	○	55 mm
	B4	塗料会社④	膨れ 8F	2 mm	膨れ 8M	8 mm
		塗料会社⑥	○	2 mm	○	5 mm
低温環境	B10		○	32 mm	○	42 mm
	B4	塗料会社④	膨れ 8F	12 mm	膨れ 8M	20 mm
		塗料会社⑥	○	12 mm	○	20 mm

○：異状なし

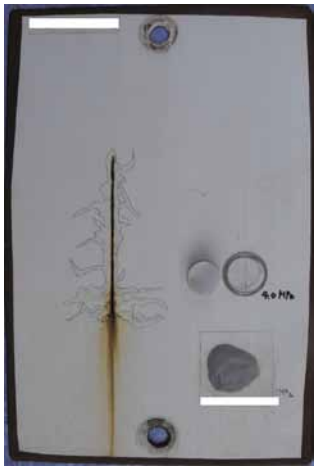
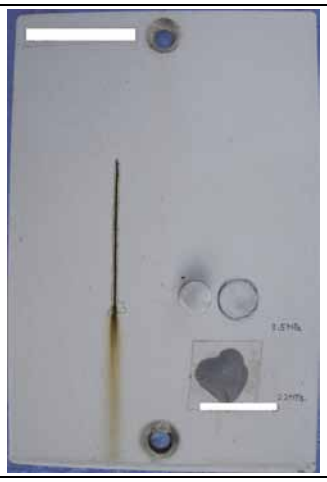
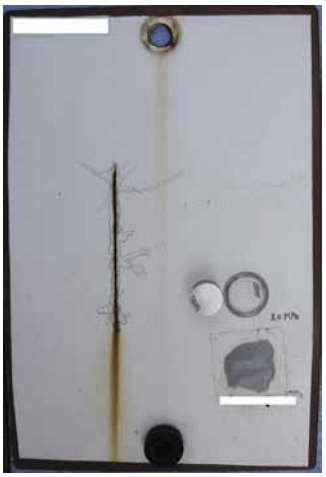
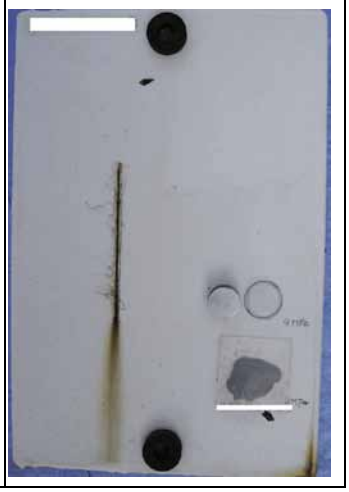
表－4.2.5　屋外暴露試験外観観察結果（つくば暴露）

塗装環境	塗装系No.		1年		2年	
			一般部	カット部	一般部	カット部
標準環境	B10		○	1 mm	○	2 mm
	B4	塗料会社④	○	1 mm	○	2 mm
		塗料会社⑥	○	1 mm	○	2 mm
高湿度環境	B10		○	1 mm	○	3 mm
	B4	塗料会社④	○	1 mm	○	2 mm
		塗料会社⑥	○	1 mm	○	2 mm
低温環境	B10		○	0 mm	○	3 mm
	B4	塗料会社④	○	1 mm	○	2 mm
		塗料会社⑥	○	1 mm	○	1 mm

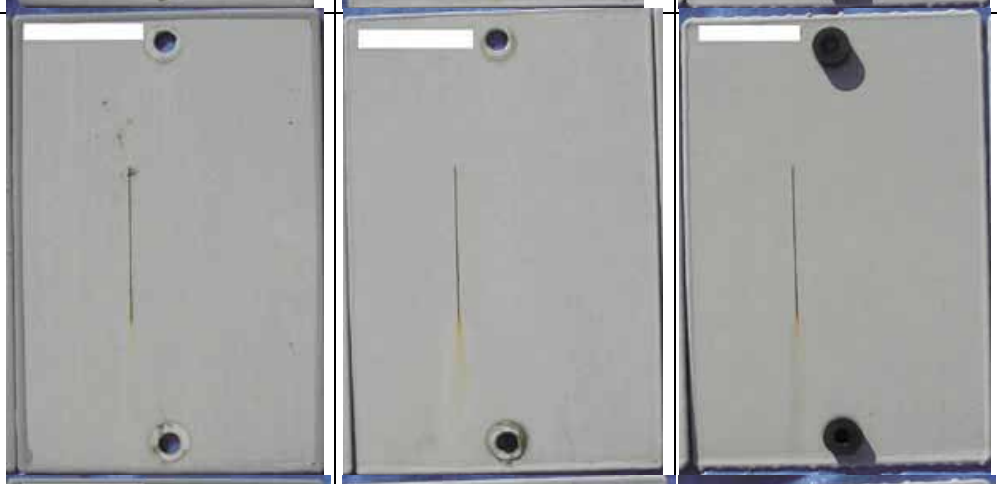
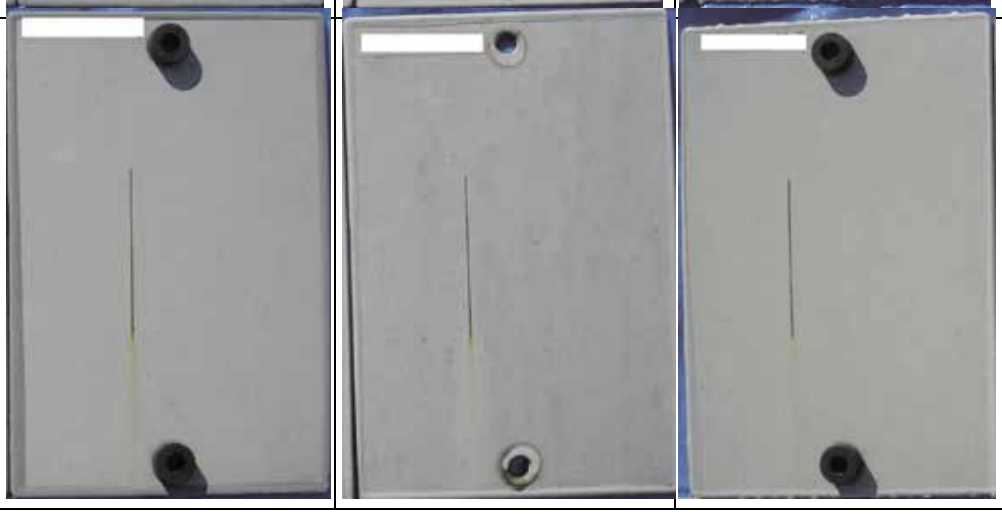
○：異状なし

塗装環境	塗装系 No.		
	B10	B4	
		塗料会社④	塗料会社⑥
標準環境			
高湿度環境			
低温環境			

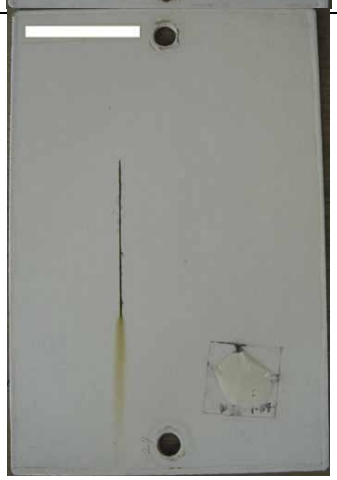
図－4.2.1　屋外暴露１年後塗膜外観写真（沖縄暴露）

塗装環境	塗装系 No.		
	B10	B4	
		塗料会社④	塗料会社⑥
標準環境			
高湿度環境			
低温環境			

図－4.2.2　屋外暴露２年後塗膜外観写真（沖縄暴露）

塗装環境	塗装系 No.		
	B10	B4	
		塗料会社④	塗料会社⑥
標準環境			
高湿度環境			
低温環境			

図－4.2.3　屋外暴露１年後塗膜外観写真（つくば暴露）

塗装環境	塗装系 No.		
	B10	B4	
		塗料会社④	塗料会社⑥
標準環境			
高湿度環境			
低温環境			

図－4.2.4　屋外暴露２年後塗膜外観写真（つくば暴露）

表－4.2.6　光沢値測定結果（沖縄暴露１年後）

塗装環境	塗装系No.		初期値	沖縄暴露１年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
標準環境	B10		63.2	66.1	104.6	79.8	126.4
	B4	塗料会社④	61.3	58.2	94.9	66.0	107.6
		塗料会社⑥	69.6	57.7	83.0	70.7	101.6
高湿度環境	B10		71.4	64.5	90.4	78.3	109.7
	B4	塗料会社④	65.3	52.0	79.7	57.8	88.5
		塗料会社⑥	71.0	57.7	77.9	70.5	99.3
低温環境	B10		63.4	55.2	87.0	67.4	106.4
	B4	塗料会社④	58.9	49.4	83.9	60.2	102.3
		塗料会社⑥	72.4	56.4	77.9	74.9	103.4

表－4.2.7　光沢値測定結果（沖縄暴露２年後）

塗装環境	塗装系No.		初期値	沖縄暴露２年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
標準環境	B10		63.2	43.3	68.5	55.7	88.1
	B4	塗料会社④	61.3	42.5	69.2	55.0	89.7
		塗料会社⑥	69.6	39.2	56.3	61.7	88.6
高湿度環境	B10		71.4	43.5	60.9	58.0	81.2
	B4	塗料会社④	65.3	33.2	50.9	40.2	61.5
		塗料会社⑥	71.0	41.5	58.4	61.6	86.8
低温環境	B10		63.4	39.7	62.6	47.6	75.1
	B4	塗料会社④	58.9	35.9	61.0	47.9	81.3
		塗料会社⑥	72.4	41.0	56.5	62.7	86.5

表－4.2.8　光沢値測定結果（つくば暴露１年後）

塗装環境	塗装系No.		初期値	つくば暴露１年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
標準環境	B10		63.2	47.3	74.9	69.5	110.0
	B4	塗料会社④	61.3	35.5	57.8	52.5	85.7
		塗料会社⑥	69.6	44.0	63.2	64.6	92.9
高湿度環境	B10		71.4	50.2	70.3	71.2	99.8
	B4	塗料会社④	65.3	43.6	66.8	61.5	94.2
		塗料会社⑥	71.0	49.0	69.0	68.3	96.3
低温環境	B10		63.4	36.6	57.7	55.3	87.2
	B4	塗料会社④	58.9	39.2	66.5	53.4	90.7
		塗料会社⑥	72.4	42.9	59.2	63.6	87.8

表－4.2.9　光沢値測定結果（つくば暴露２年後）

塗装環境	塗装系No.		初期値	つくば暴露２年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
標準環境	B10		63.2	54.4	86.2	64.5	102.1
	B4	塗料会社④	61.3	44.3	72.3	60.7	99.0
		塗料会社⑥	69.6	51.8	74.4	64.4	92.6
高湿度環境	B10		71.4	56.6	79.3	71.3	99.9
	B4	塗料会社④	65.3	47.7	73.0	58.8	90.1
		塗料会社⑥	71.0	43.7	61.5	66.4	93.6
低温環境	B10		63.4	46.9	74.0	54.6	86.1
	B4	塗料会社④	58.9	48.5	82.4	57.5	97.6
		塗料会社⑥	72.4	50.1	69.2	63.5	87.7

表－4.2.10　色差測定結果（初期値）

塗装環境	塗装系No.		初期値		
			L*	a*	b*
標準環境	B10		95.88	-0.39	1.24
	B4	塗料会社④	96.34	-0.50	1.30
		塗料会社⑥	97.86	-0.40	1.19
高湿度環境	B10		95.94	-0.33	1.43
	B4	塗料会社④	96.31	-0.48	1.39
		塗料会社⑥	98.01	-0.40	1.24
低温環境	B10		96.12	-0.35	1.68
	B4	塗料会社④	96.54	-0.46	1.46
		塗料会社⑥	97.82	-0.40	1.25

表－4.2.11　色差測定結果（沖縄暴露１年）

塗装環境	塗装系No.		沖縄暴露１年後									
			水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}	L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}
標準環境	B10		90.15	-0.10	3.43	-5.71	6.13	92.97	-0.38	2.39	-2.89	3.11
	B4	塗料会社④	94.82	-0.51	2.08	-1.57	1.74	95.53	-0.58	0.93	-0.86	0.96
		塗料会社⑥	92.23	-0.26	3.88	-5.58	6.20	94.86	-0.43	2.64	-2.96	3.30
高湿度環境	B10		90.67	0.04	4.20	-5.15	5.90	93.14	-0.28	2.89	-2.67	3.09
	B4	塗料会社④	94.89	-0.62	2.55	-1.42	1.83	95.78	-0.59	1.43	-0.52	0.59
		塗料会社⑥	92.82	-0.30	3.46	-5.15	5.63	94.85	-0.42	2.36	-3.13	3.36
低温環境	B10		89.85	0.09	4.44	-6.22	6.85	92.68	-0.35	2.73	-3.39	3.57
	B4	塗料会社④	94.60	-0.52	2.05	-2.07	2.12	95.63	-0.60	1.06	-1.04	1.17
		塗料会社⑥	92.14	-0.31	3.34	-5.63	6.03	94.59	-0.35	2.54	-3.19	3.48

表－4.2.12　色差測定結果（沖縄暴露２年）

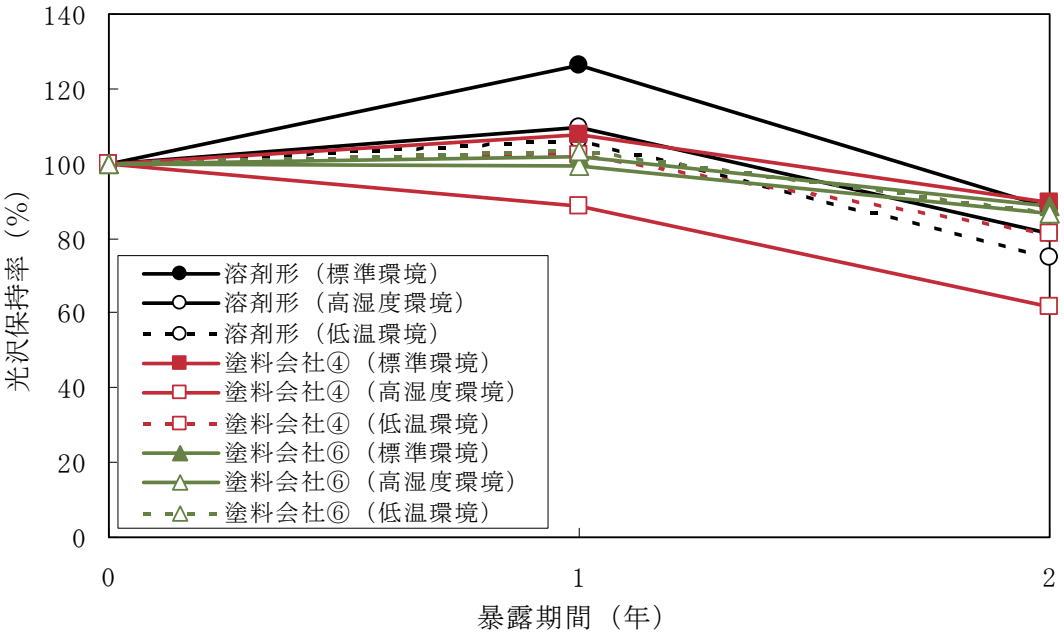
塗装環境	塗装系No.		沖縄暴露２年後									
			水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}	L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}
標準環境	B10		94.24	-0.27	3.22	-1.61	2.58	95.20	-0.48	1.94	-0.66	1.00
	B4	塗料会社④	94.75	-0.69	3.18	-1.64	2.47	95.62	-0.64	1.62	-0.77	0.83
		塗料会社⑥	96.09	-0.66	3.38	-1.72	2.79	97.39	-0.57	1.57	-0.42	0.60
高湿度環境	B10		94.08	0.01	3.63	-1.74	2.91	95.51	-0.34	2.43	-0.31	1.14
	B4	塗料会社④	94.79	-0.78	3.67	-1.52	2.74	95.86	-0.70	2.20	-0.45	0.93
		塗料会社⑥	96.21	-0.67	3.09	-1.76	2.59	97.14	-0.56	1.61	-0.84	0.96
低温環境	B10		94.25	-0.24	3.96	-1.82	2.97	95.61	-0.42	2.31	-0.46	0.83
	B4	塗料会社④	94.12	-0.73	3.65	-2.54	3.31	95.61	-0.70	1.76	-1.05	1.11
		塗料会社⑥	95.73	-0.47	3.73	-2.04	3.26	97.47	-0.48	1.84	-0.31	0.78

表－4.2.13　色差測定結果（つくば暴露１年）

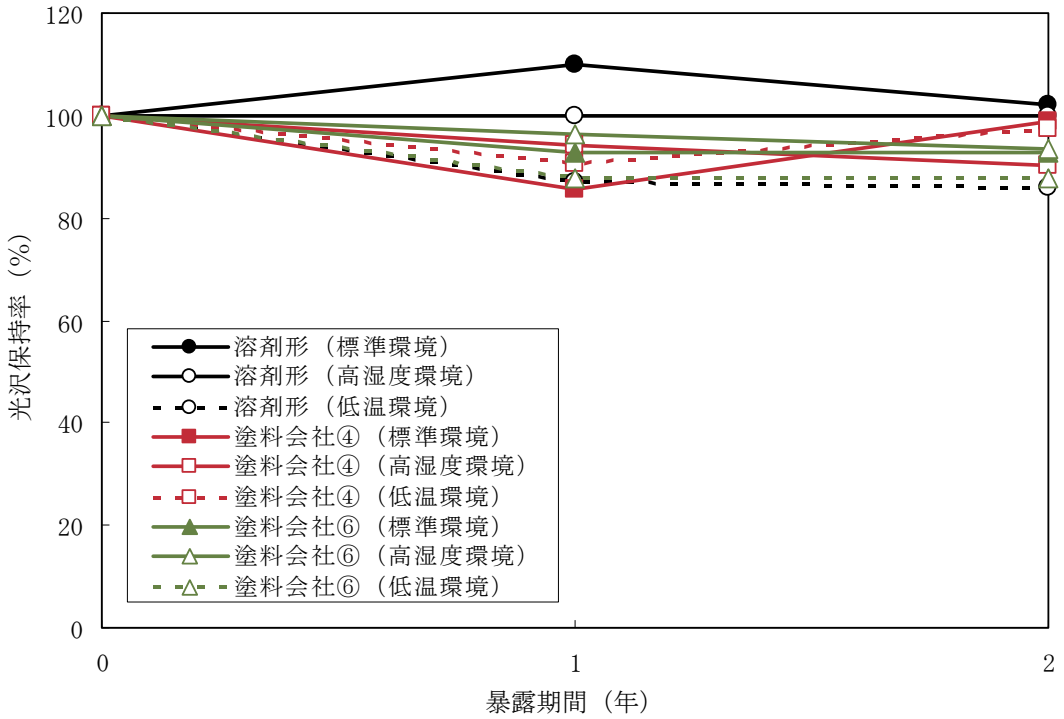
塗装環境	塗装系No.		つくば暴露１年後									
			水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}	L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}
標準環境	B10		88.81	0.07	3.65	-7.07	7.48	92.47	-0.10	2.42	-3.41	3.62
	B4	塗料会社④	84.72	-0.16	2.29	-11.63	11.68	94.38	-0.46	1.76	-1.97	2.02
		塗料会社⑥	89.99	-0.19	3.24	-7.87	8.14	94.58	-0.37	1.94	-3.29	3.37
高湿度環境	B10		87.96	0.10	3.71	-7.98	8.31	92.39	-0.09	2.56	-3.55	3.73
	B4	塗料会社④	88.87	-0.28	2.33	-7.44	7.51	94.91	-0.48	1.49	-1.40	1.40
		塗料会社⑥	90.27	-0.22	3.13	-7.74	7.97	94.92	-0.34	2.15	-3.10	3.23
低温環境	B10		88.00	0.11	3.93	-8.12	8.44	92.30	-0.04	2.91	-3.82	4.03
	B4	塗料会社④	86.85	-0.20	2.49	-9.69	9.75	94.24	-0.54	1.31	-2.31	2.31
		塗料会社⑥	89.82	-0.16	3.57	-8.00	8.33	94.59	-0.37	2.16	-3.23	3.35

表－4.2.14　色差測定結果（つくば暴露２年）

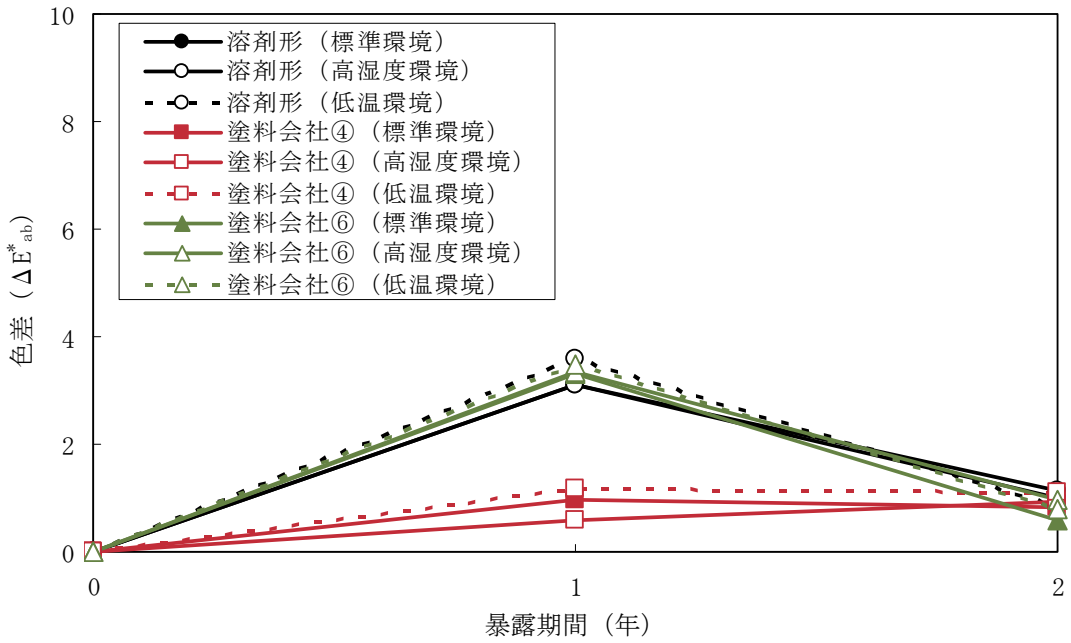
塗装環境	塗装系No.		つくば暴露２年後									
			水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}	L*	a*	b*	ΔL*	ΔE^*_{ab}
標準環境	B10		89.49	-0.10	3.38	-6.40	6.75	92.79	-0.23	2.70	-3.10	3.42
	B4	塗料会社④	88.32	-0.16	2.44	-8.03	8.12	95.03	-0.40	1.61	-1.31	1.35
		塗料会社⑥	92.03	-0.15	2.88	-5.83	6.08	95.22	-0.34	2.03	-2.65	2.78
高湿度環境	B10		89.42	-0.04	3.45	-6.52	6.83	93.12	-0.18	2.92	-2.82	3.19
	B4	塗料会社④	90.09	-0.18	2.25	-6.22	6.29	94.83	-0.43	1.67	-1.49	1.51
		塗料会社⑥	92.33	-0.19	3.12	-5.68	5.99	95.30	-0.33	2.28	-2.71	2.91
低温環境	B10		88.80	0.02	3.71	-7.32	7.61	93.02	-0.21	3.08	-3.10	3.41
	B4	塗料会社④	88.15	-0.08	2.50	-8.40	8.47	94.52	-0.44	1.76	-2.02	2.05
		塗料会社⑥	91.93	-0.11	3.39	-5.89	6.28	94.93	-0.35	2.32	-2.89	3.08



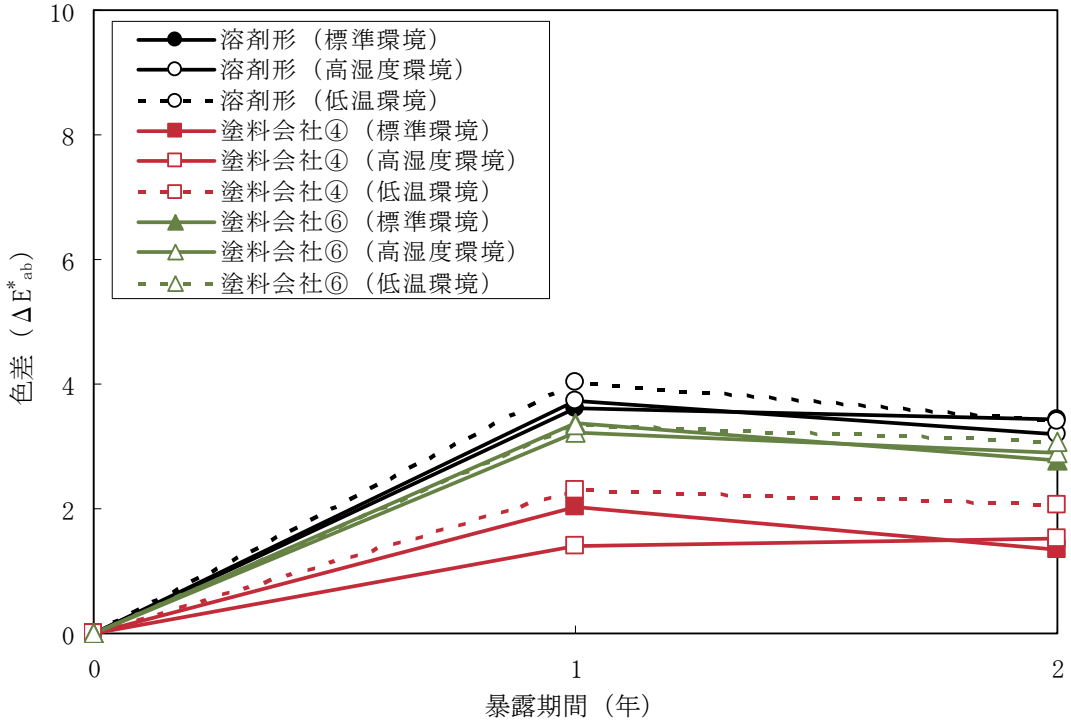
図－4.2.5　沖縄暴露試験の光沢保持率



図－4.2.6　つくば暴露試験の光沢保持率



図－4.2.7　沖縄暴露試験の色差



図－4.2.8　つくば暴露試験の色差

表－4.2.15　土研式 CCT 塗膜外観評価結果（標準環境）

塗装系No.		50 サイクル		100 サイクル		150 サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	4 ㎜	○	8 ㎜	○	17 ㎜
B4	塗料会社④	○	2 ㎜	○	8 ㎜	○	14 ㎜
	塗料会社⑥	○	4 ㎜	○	6 ㎜	○	10 ㎜
塗装系No.		230 サイクル		300 サイクル		400 サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	28 ㎜	○	35 ㎜	○	35 ㎜
B4	塗料会社④	○	29 ㎜	○	30 ㎜	○	35 ㎜
	塗料会社⑥	○	21 ㎜	○	21 ㎜	○	22 ㎜

○：異状なし

表－4.2.16　土研式 CCT 塗膜外観評価結果（高湿度環境）

塗装系No.		50 サイクル		100 サイクル		150 サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	5 ㎜	○	10 ㎜	○	15 ㎜
B4	塗料会社④	○	2 ㎜	○	4 ㎜	○	8 ㎜
	塗料会社⑥	○	2 ㎜	○	3 ㎜	○	4 ㎜
塗装系No.		230 サイクル		300 サイクル		400 サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	15 ㎜	○	15 ㎜	○	35 ㎜
B4	塗料会社④	○	25 ㎜	○	25 ㎜	○	35 ㎜
	塗料会社⑥	○	12 ㎜	○	12 ㎜	○	19 ㎜

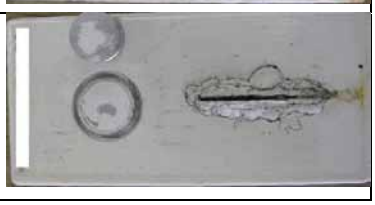
○：異状なし

表－5.26　土研式 CCT 塗膜外観評価結果（低温環境）

塗装系No.		50 サイクル		100 サイクル		150 サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	5 ㎜	○	12 ㎜	○	20 ㎜
B4	塗料会社④	○	2 ㎜	○	11 ㎜	○	20 ㎜
	塗料会社⑥	○	3 ㎜	○	6 ㎜	○	7 ㎜
塗装系No.		230 サイクル		300 サイクル		300 サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	20 ㎜	○	20 ㎜	○	27 ㎜
B4	塗料会社④	○	29 ㎜	○	35 ㎜	○	35 ㎜
	塗料会社⑥	○	13 ㎜	○	13 ㎜	○	14 ㎜

○：異状なし

表－4.2.18　土研式 CCT400 サイクル後の付着性試験結果および試験板写真

塗装環境	塗装系№		付着性		試験板写真
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	
標準環境	B10		2.2	下塗内　：80 中塗内　：15 接着剤　：5	
	B4	塗料会社④	3.0	下塗内　：10 中塗内　：90	
		塗料会社⑥	2.5	下塗／中塗：60 接着剤　：40	
高湿度環境	B10		2.0	中塗内　：100	
	B4	塗料会社④	3.2	中塗／上塗：10 上塗内　：10 接着剤　：80	
		塗料会社⑥	2.9	下塗／中塗：20 中塗／上塗：10 接着剤　：70	
低温環境	B10		2.9	中塗内　：100	
	B4	塗料会社④	3.0	中塗内　：70 接着剤　：30	
		塗料会社⑥	3.5	下塗／中塗：15 中塗／上塗：15 接着剤　：70	

表－4.2.19　耐湿試験結果

塗装系No.		耐湿試験７日		
		標準環境 (23℃、50%RH)	高湿度環境 (23℃、90%RH)	低温環境 (５℃)
		外観評価	外観評価	外観評価
B10		○	○	○
B4	塗料会社④	○	膨れ 4M	○
	塗料会社⑥	○	膨れ 4M	○

○：異状なし

（４）まとめ

沖縄暴露試験において、水性塗料の塗料会社④で高湿度環境塗装および低温環境塗装試験板の一般部に若干膨れが認められたが、他は異状が認められなかった。また、水性塗料の塗料会社④では高湿度環境塗装試験板が、他環境塗装試験板に比べて光沢保持率の低下が若干大きい。つくば暴露試験では、何れの塗料も塗装環境による有意差は認められない。土研式 CCT では、何れの塗料も一般部に異状を認めず、付着性、カット部の膨れ幅についても塗装環境による有意差は認められない。耐湿試験で、供試の水性塗料は何れも高湿度環境塗装の試験板で塗膜膨れが確認された。以上の結果から、水性塗料の塗膜性能は、塗装時の環境湿度の影響を大きく受けることが明らかとなった。

４．３　塗替塗装時の素地調整程度への適用性

（１）試験目的

鋼構造物の塗替塗装では、素地調整方法によっては一部に若干のさびが残存することもある。このような素地に対して水性塗料の適用性を把握することを目的とする。

（２）試験内容

１）供試塗装仕様

塗替塗装を想定した塗装系 No.B4（水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm×3／水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm／水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm）の塗装系を供した。比較には、溶剤形塗料の塗装系 No.B10 を供した。尚、上塗の色相は N-9.5（白）とし、試験板の塗装は、はけ塗りとした。

２）試験板の作製

①基材

ブラスト処理鋼板（寸法 300 ㎜×200 ㎜×3.2 ㎜）を沖縄地区で５月～９月の４ヶ月間暴露し、さび鋼板を作製した。このさび鋼板を動力工具、ワイヤブラシ、ペーパーを用いて程度の異なる素地に調整した。試験に供した試験板およびその調整程度を以下に記す。また、素地調整後の表面状態写真を図－4.3.1 に示す。

ⅰ)ブラスト処理鋼板：　　素地調整ａ

（鋼道路橋塗装･防食便覧の素地調整程度１種相当）

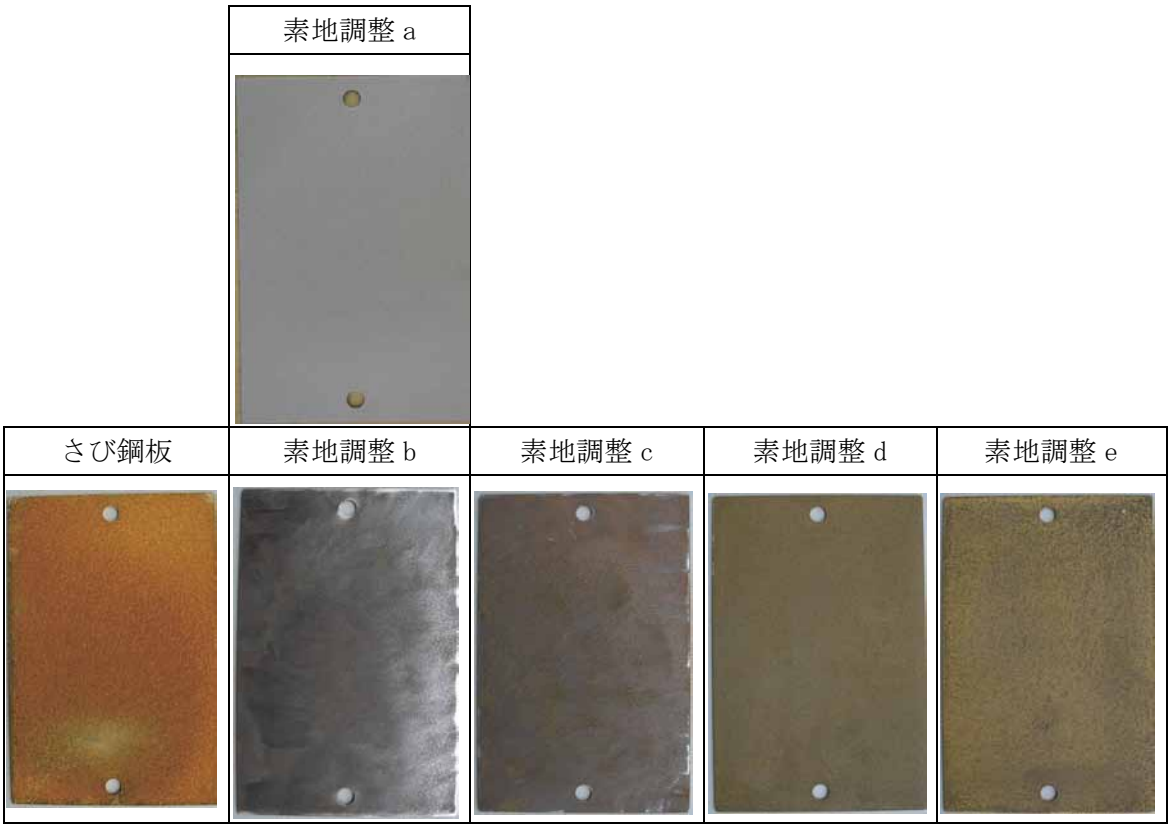
ⅱ)さび鋼板のさびを動力工具で十分に除去：素地調整ｂ

（鋼道路橋塗装･防食便覧の素地調整程度２種相当）

ⅲ)さび鋼板のさびを動力工具で軽く除去：　素地調整ｃ

ⅳ)さび鋼板のさびをワイヤブラシで除去：　素地調整ｄ

ⅴ)さび鋼板のさびをペーパーで軽く除去：　素地調整ｅ



図－4.3.1　試験基材の素地調整写真

②供試塗料

水性塗料（３社）

弱溶剤形塗料（比較）

３）試験項目

①初期付着性試験

②屋外暴露試験（沖縄）

４）評価方法

初期付着性試験は、塗装完了後１ヶ月養生した後、プルオフ法にて試験を実施した。屋外暴露試験では、試験前に試験面の一部に鋼素地に達するカットを入れ、経時にて塗膜の外観観察を行った。また、1.5 年および２年経過の段階でプルオフ法による付着性試験を実施した。

（３）試験結果

付着性試験結果を表－4.3.1 および図－4.3.2～4.3.4 に示す。また、屋外暴露試験塗膜外観観察結果および塗膜外観写真を表－4.3.2～4.3.3 および図－4.3.5～4.3.6 に示す。

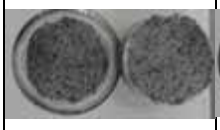
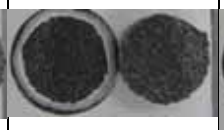
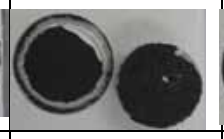
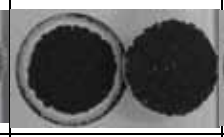
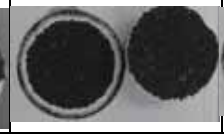
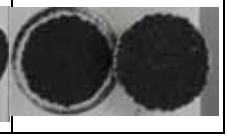
表－4.3.1(1)　付着性試験結果

試験項目	塗装系No.		素地調整 a		素地調整 b		素地調整 c	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
初期付着性	B10		3	下塗内：50 上塗内：50	5	素地/下塗：5 下塗内　：65 上塗内　：30	6.5	さび層：10 下塗内：40 上塗内：50
	B4	塗料会社③	3.5	下塗内：10 中塗内：90	3	素地/下塗：50 下塗内　：50	2	さび層：100
		塗料会社④	3	下塗内：10 中塗内：30 上塗内：60	5	素地/下塗：40 下塗内　：40 上塗内　：20	6	さび層：40 下塗内：40 上塗内：20
		塗料会社⑥	6.5	上塗内：100	5	素地/下塗：25 下塗内　：25 下塗/中塗：10 上塗内　：40	4.5	さび層：100
沖縄暴露1.5年	B10		7.0 以上	－	5.0	素地/下塗：5 下塗内　：35 接着剤　：60	4.2	さび層：30 下塗内：65 接着剤：5
	B4	塗料会社③	3.5	接着剤：100	4.7	素地/下塗：40 接着剤　：60	2.7	さび層：100
		塗料会社④	3.0	接着剤：100	2.0	素地/下塗：15 下塗/中塗：5 接着剤　：80	2.5	さび層：100
		塗料会社⑥	2.5	接着剤:100	3.5	素地/下塗：60 接着剤　：40	1.8	さび層：100
沖縄暴露２年	B10		2.0	接着剤：100	3.5	接着剤　：100	4.0	接着剤：100
	B4	塗料会社③	3.5	接着剤：100	3.0	接着剤　：100	2.5	さび層：100
		塗料会社④	3.0	接着剤：100	5.0	接着剤　：100	2.5	さび層：100
		塗料会社⑥	3.0	接着剤：100	4.0	接着剤　：100	2.0	さび層：100

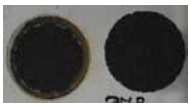
表－4.3.1(2)　付着性試験結果

試験項目	塗装系No.		素地調整 d		素地調整 e	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
初期付着性	B10		6	さび層：5 下塗内：45 上塗内：50	3.5	さび層：45 下塗内：45 上塗内：10
	B4	塗料会社③	2	さび層：100	1.5	さび層：100
		塗料会社④	2	さび層：100	2	さび層：100
		塗料会社⑥	2	さび層：100	1.5	さび層：100
沖縄暴露1.5年	B10		6.8	さび層：70 下塗内：30	5.5	さび層：70 下塗内：25 接着剤：5
	B4	塗料会社③	2.0	さび層：100	3.3	さび層：100
		塗料会社④	2.0	さび層：100	3.8	さび層：100
		塗料会社⑥	1.8	さび層：100	1.5	さび層：100
沖縄暴露2年	B10		4.5	接着剤：100	3.0	さび層：80 下塗内：20
	B4	塗料会社③	1.5	さび層：100	1.5	さび層：100
		塗料会社④	1.5	さび層：100	2.0	さび層：100
		塗料会社⑥	－	－	－	－

注）表中「－」は、引張試験前に接着試験用ジグが、さび層より破断

塗装系No.		素地調整 a	素地調整 b	素地調整 c	素地調整 d	素地調整 e
B10						
B4	塗料会社③					
	塗料会社④					
	塗料会社⑤					

図－4.3.2　初期付着性試験の破断面

塗装系No.		素地調整 a	素地調整 b	素地調整 c	素地調整 d	素地調整 e
B10						
B4	塗料会社③					
	塗料会社④					
	塗料会社⑤					

図－4.3.3　沖縄暴露 1.5 年後付着性試験の破断面

塗装系No.		素地調整 a	素地調整 b	素地調整 c	素地調整 d	素地調整 e
B10						
B4	塗料会社③					
	塗料会社④					
	塗料会社⑤				―	―

注）表中「－」は、引張試験前に接着試験用ジグが、さび層より破断

図－4.3.4　沖縄暴露２年後付着性試験の破断面

表－4.3.2　沖縄暴露試験１年後塗膜外観評価結果

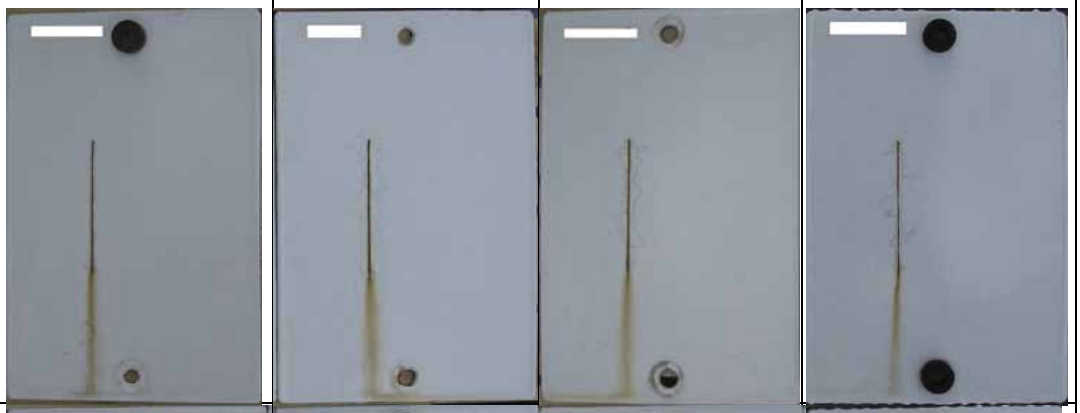
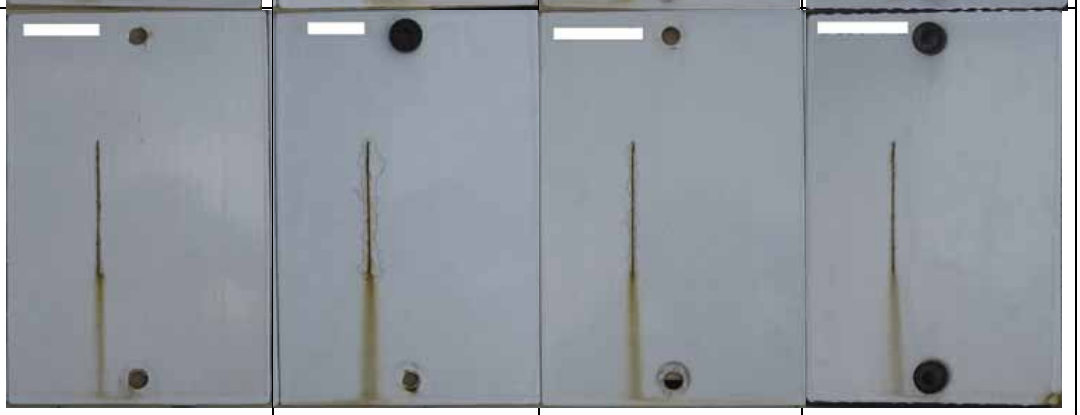
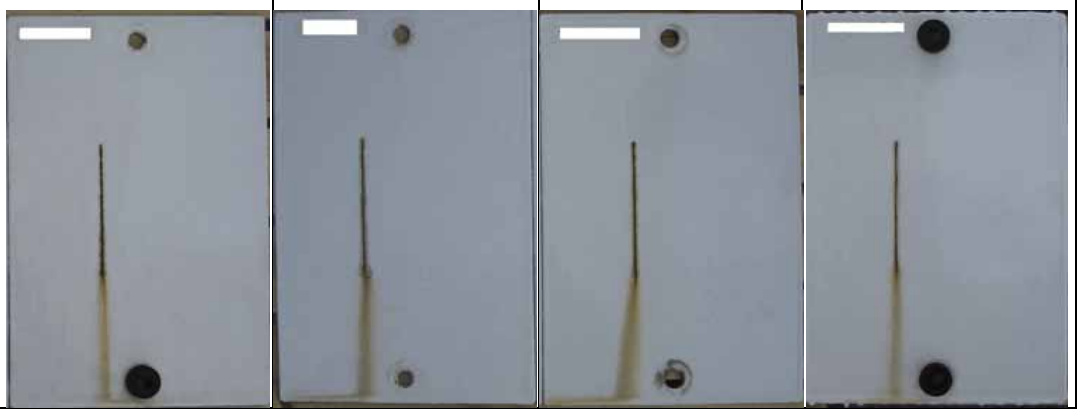
塗装系No.		素地調整 a		素地調整 b		素地調整 c		素地調整 d		素地調整 e	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	5 mm	膨れ 8F	3 mm	膨れ 8M	3 mm	膨れ 8F ～ 8M	2 mm	膨れ 8F	3 mm
B4	塗料会社③	○	16 mm	○	13 mm	○	4 mm	○	6 mm	○	6 mm
	塗料会社④	○	15 mm	膨れ 8F	6 mm	膨れ 8M	3 mm	膨れ 8MD	5 mm	膨れ 8MD ～ 6MD	7 mm
	塗料会社⑥	○	13 mm	膨れ 8F	3 mm	膨れ 8F	3 mm	膨れ 8M～ 6M	5 mm	膨れ 8F ～ 6F	4 mm

○：異状なし

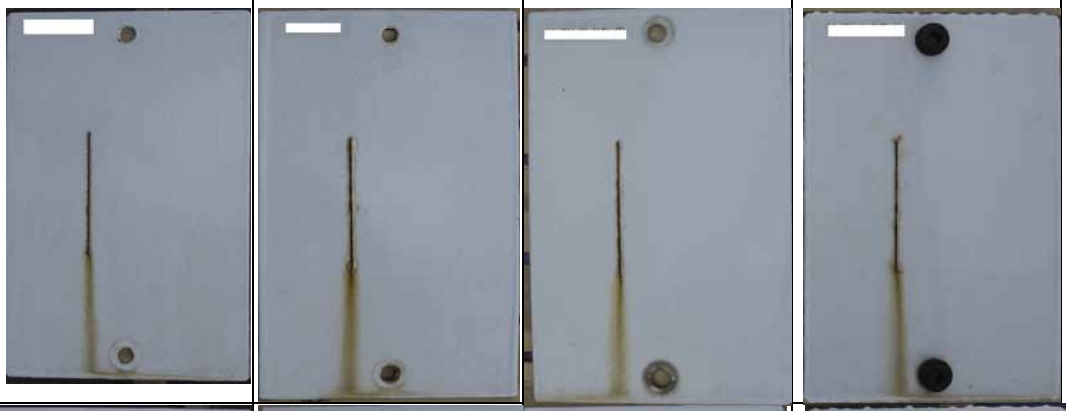
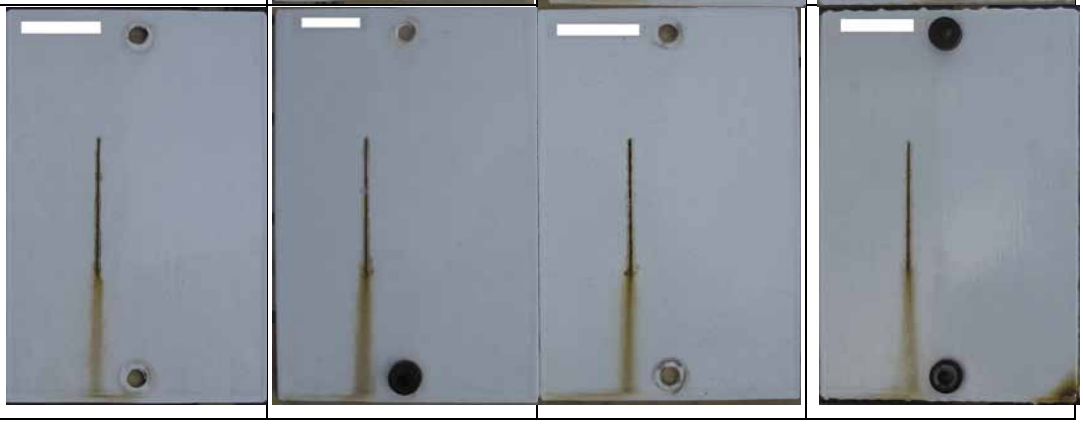
表－4.3.3　沖縄暴露試験２年後塗膜外観評価結果

塗装系No.		素地調整 a		素地調整 b		素地調整 c		素地調整 d		素地調整 e	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
B10		○	47 mm	膨れ 8F	10 mm	膨れ 6M	3 mm	膨れ 6M ～ 6MD	3 mm	膨れ 8F	3 mm
B4	塗料会社③	○	20 mm	膨れ 8F ～ 8M	20 mm	膨れ 8F	17 mm	○	15 mm	○	10 mm
	塗料会社④	○	20 mm	膨れ 8F	10 mm	膨れ 6M ～ 4M	3 mm	膨れ 6MD ～ 4MD	10 mm	膨れ 6MD ～ 4MD	12 mm
	塗料会社⑥	○	15 mm	膨れ 8F	5 mm	膨れ 8F	3 mm	膨れ 8F ～ 6F	8 mm	膨れ 8F ～ 6F	5 mm

○：異状なし

素地調整	塗装系 No.			
	B10	B4		
		塗料会社③	塗料会社④	塗料会社⑥
a				
b				
c				

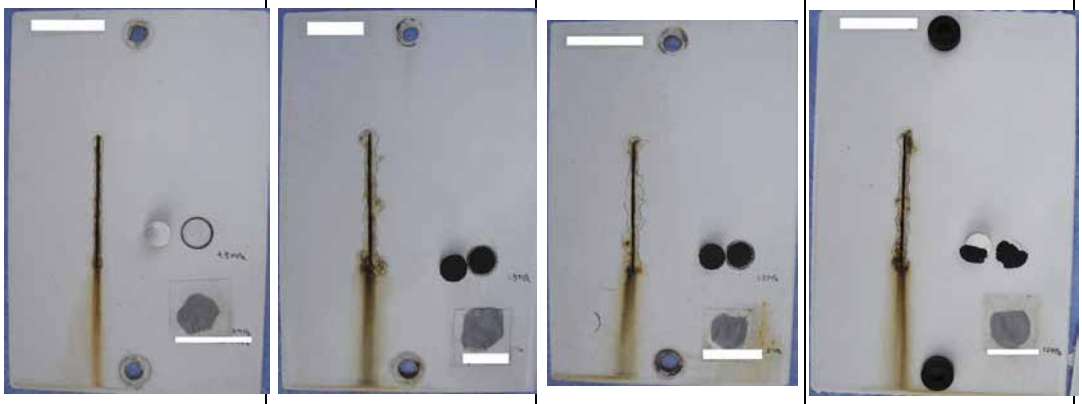
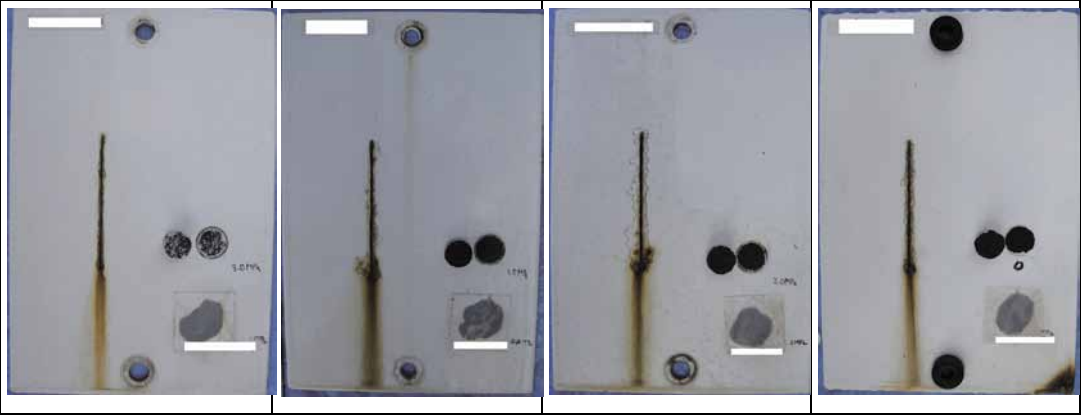
図－4.3.5(1)　沖縄暴露１年後の塗膜外観写真

素地調整	塗装系 No.			
	B10	B4		
		塗料会社③	塗料会社④	塗料会社⑥
d				
e				

図－4.3.5(2)　沖縄暴露 1 年後の塗膜外観写真

素地調整	塗装系 No.			
	B10	B4		
		塗料会社③	塗料会社④	塗料会社⑥
a				
b				
c				

図－4.3.6(1)　沖縄暴露２年後の塗膜外観写真

素地調整	塗装系 No.			
	B10	B4		
		塗料会社③	塗料会社④	塗料会社⑥
d				
e				

図－4.3.6(2)　沖縄暴露２年後の塗膜外観写真

（４）まとめ

沖縄暴露試験後の塗膜外観評価で､素地調整 b～e において溶剤形塗料も含めて一般部に塗膜膨れが認められた。

プルオフ法による付着性試験において、水性塗料は、沖縄暴露試験後では素地調整 c～e でいずれの試験板もさび層内の破断が 100%である。溶剤形塗料では、下塗内とさび層内の破断が混在した状態であることから水性塗料は、溶剤形塗料に比べてさび層への浸透性が低いと考えられる。

４．４　まとめ

水性塗料の施工時条件への適用性に関して検討した結果から以下のことが確認された。

1) 水性塗料は、塗装完了後短時間で、降雨や結露により水の滞留が生じた場合、特に低温時期では、塗膜が水に溶解したり、膨れを生じたりする懸念がある。

2) 塗装時の環境が塗膜性能に与える影響を確認した試験結果から、水性塗料の塗装では、湿度の影響が大きいと考えられる。

3) 塗装時の鋼材表面残存さびの影響を確認した試験結果から、水性塗料の施工では、素地調整における配慮が溶剤形塗料に比べて、より重要であることが確認された。

５．施工性に関する検討

塗料が持っている本来の性能を十分に発揮させるためには、その塗料にあった施工を行い健全な塗膜を形成させなければならない。鋼構造物塗装に適用する水性塗料は、従来の溶剤形塗料と比べて塗料粘性、乾燥性（溶剤形塗料に比べて乾燥過程中に気象条件の影響を受け易い）等の塗料性状において異なる点があり、施工性が十分に把握されていない。そこで、水性塗料の施工性を把握する目的で、ジンクリッチペイントへのミストコートの必要性、水性エポキシ樹脂塗料下塗の粘性挙動を検討した後、塗料の粘性や乾燥性に影響が大きいと考えられる夏季と冬季に橋梁模擬桁を用いて試験塗装を実施した。また、試験塗装で確認された水性塗料の施工性に関する課題について検討した。

５．１　施工性試験の予備的検討

水性塗料と溶剤形塗料は塗料性状が大きく違うため、塗装作業性や塗装工程は溶剤形塗料とは異なる可能性がある。水性ジンクリッチペイントは溶剤形ジンクリッチペイントと比べて塗膜空隙率や、水性塗料でのミストコート効果が異なる可能性があり、ミストコートが不適切な場合にはピンホールが発生する可能性がある。また、水性塗料は一般に水を溶媒としており、溶剤形塗料に比べて溶剤（水）の揮発が遅いため、塗料粘性を適切に設定しないと、たれ易いと推測される。このため橋梁模擬桁を用いた施工性試験を実施する前に、各種ジンクリッチペイントの塗膜空隙率の測定や室内試験でのミストコートの必要性、および水性エポキシ樹脂塗料下塗の粘性挙動を調べ水性エポキシ樹脂塗料のたれ性について検討した。

５．１．１　ジンクリッチペイント塗膜の空隙率の把握

（１）　試験目的

水性無機ジンクリッチペイント，水性有機ジンクリッチペイント，溶剤形無機ジンクリッチペイント，および溶剤形有機ジンクリッチペイントの塗膜中空隙率を測定、比較することにより、水性無機ジンクリッチペイント，および水性有機ジンクリッチペイントに対するミストコートの必要性の有無を推定する。

（２）　試験方法

１）　試験板の作製

ブラスト処理鋼板（70㎜×150㎜×1.6㎜）を用いて、乾燥膜厚が 35μm，75μ m，150μmになりようにエアスプレーで試験板の両面に塗装し、室温で 12 日間乾燥養生させたものを試験板とした。また、スプレーガンのブラスト処理鋼板に対する角度は水平と垂直とした。

２）　空隙率の測定方法

以下の手順①～⑥で塗膜中の空隙率(vol%)を求めた。

手順①：ブラスト処理鋼板の質量（W_0）を測定した。

手順②：塗装後乾燥させた試験板の質量（W_1）を測定した。

手順③：乾燥させた試験板を流動パラフィン溶液中に浸せき法により、10分間完全に浸す。

手順④：10 分間浸せき後引き上げ、塗膜表面に付着している流動パラフィンを取り除く目的で、試験板を静置した状態で10分間吊り下げた後、直ちにろ紙を用いて塗膜表面を軽く拭き取った。

手順⑤：試験板の質量（W_2）を測定する。

手順⑥：下記の式で空隙率を求めた。

$$V = \frac{(W_2 - W_1) / d\,p}{(W_1 - W_0) / d\,f + (W_2 - W_1) / d} \times 100$$

但し、ｄｐ：流動パラフィンの密度(0.875)、ｄｆ：乾燥塗膜の密度（計算値）

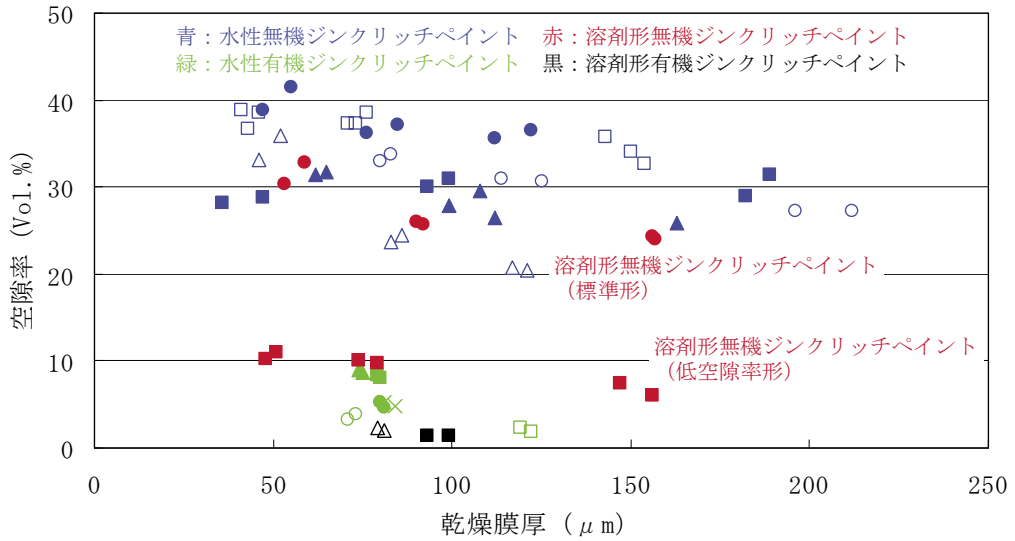
3） 測定サンプル

測定は、以下の 11 種類のサンプルで行った。

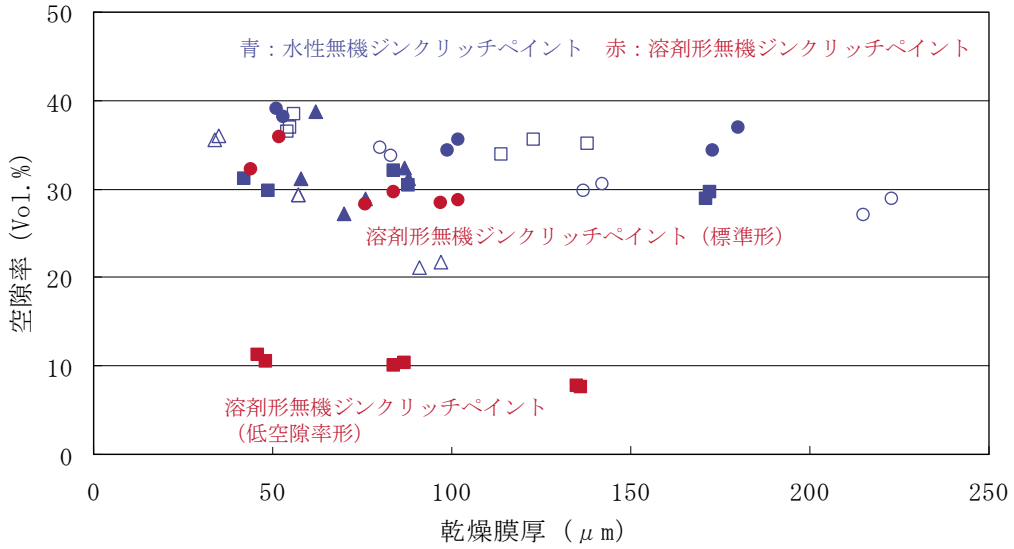
・水性無機ジンクリッチペイント　６種類（①～⑥）
・水性有機ジンクリッチペイント　６種類（①～⑥）
・溶剤形無機ジンクリッチペイント　２種類（標準形、低空隙率形）
・溶剤形有機ジンクリッチペイント　１種類

（３） 結果

各種ジンクリッチペイント塗膜中の空隙率測定結果を図－5.1.1，図－5.1.2、ジンクリッチペイントの種類別の塗膜中空隙率結果を表－5.1.1 に示す。



図－5.1.1　各種ジンクリッチペイント塗膜中の空隙率（水平面塗装）



図－5.1.2　各種ジンクリッチペイント塗膜中の空隙率（垂直面塗装）

表－5.1.1　ジンクリッチペイントの種類別の塗膜中空隙率

			測定数	空隙率（vol%）　最小～最大
無機 ジンクリッチペイント	溶剤形	標準形	6	24.0～32.8
		低空隙率形	6	6.1～11.0
	水性		39	20.5～41.5
有機 ジンクリッチペイント	溶剤形		2	1.4
	水性		14	2.0～9.0

（4）　まとめ

水性および溶剤形ともに無機ジンクリッチペイントの空隙率は、有機ジンクリッチペイントの空隙率より大きかった。 無機ジンクリッチペイント（標準形）の空隙率に関しては、水性と溶剤形で空隙率に大きな差異は認められなかった。このため、塗膜空隙率からは水性無機ジンクリッチペイントには、ミストコートが必要であると推測される。

有機ジンクリッチペイントの空隙率に関しては、溶剤形の測定数が少ないため断定はできないが、水性有機ジンクリッチペイントの方が溶剤形有機ジンクリッチペイントよりも空隙率が大きい傾向があった。このため水性有機ジンクリッチペイントについては、ミストコートが不必要であるかどうか十分な検証が必要である。

５．１．２　水性有機ジンクリッチペイントのミストコート必要性の検討

（1）試験目的

溶剤形有機ジンクリッチペイントは、亜鉛末が主剤に既調合となっており、ミストコート工程を必要としないのが一般的である。一方、水性有機ジンクリッチペイントは亜鉛末が水と反応するために、亜鉛末と液を分けた荷姿となる。亜鉛末と液の攪拌時において、亜鉛末の分散が不十分であると有機ジンクリッチペイント塗膜中の空隙が多くなると予想される。また、水性有機ジンクリッチペイントの塗膜空隙率は、溶剤形

有機ジンクリッチペイントよりも大きかった。このため、水性有機ジンクリッチペイントのミストコートの必要性の有無を検討した。

（2）試験方法

1）試験板の作製

水性有機ジンクリッチペイントの亜鉛末混合時の条件を、攪拌機による十分な攪拌と、ラフな攪拌と攪拌程度を変え塗料を配合した。攪拌条件の異なる水性有機ジンクリッチペイントを、ブラスト処理鋼板(90㎜×300㎜×3.2㎜)に乾燥膜厚が40μm,75μm,150μmとなるようにエアスプレーで塗装した。その後、水性エポキシ樹脂塗料を乾燥膜厚が60μmとなるように塗装し試験板を作製した。

2）供試サンプル

・水性有機ジンクリッチペイント　6種類（塗料会社①～⑥）

・水性エポキシ樹脂塗料下塗　6種類（塗料会社①～⑥）

3）評価方法

作製した試験板の塗り重ね塗膜にピンホールの外観異状があるかどうか、目視により評価した。

（3）試験結果

水性有機ジンクリッチペイントに塗り重ねられた塗膜の外観観察結果（ピンホールの有無）を表－5.1.2に示す。

表－5.1.2　塗り重ね塗膜外観の観察結果（ピンホールの有無）

亜鉛末の攪拌条件	水性有機ジンクリッチペイント目標膜厚	塗料会社					
		①	②	③	④	⑤	⑥
十分な攪拌	40μm	○	○	○	○	○	○
	75μm	○	○	×	○	○	○
	150μm	○	○	×	○	○	○
ラフな攪拌	40μm	○	○	×	○	○	○
	75μm	○	○	○	○	○	○
	150μm	○	○	○	○	○	○

判定基準　○：ピンホールの発生無し

×：ピンホールの発生有り

（4）まとめ

水性有機ジンクリッチペイント塗膜上にミストコートを行わないで水性エポキシ樹脂塗料を塗り重ねた場合、一部のサンプルではピンホールの発生がみられたが、大半の

サンプルは、ピンホール等の異状はなく良好な塗膜外観であった。水性有機ジンクリッチペイント塗膜上に水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装する場合には、ミストコートは必要ないことがわかった。

５．１．３　溶剤形無機ジンクリッチペイントの水性（下塗）塗料のミストコート必要性の検討

（１）試験目的

溶剤形無機ジンクリッチペイントに溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗を塗装する場合には、ミストコートを行うのが一般的な方法である。水性エポキシ樹脂塗料は、溶剤形エポキシ樹脂塗料に比べて塗れ性や粘性挙動，樹脂形状が違うため、ジンクリッチペイント塗膜へのミストコート適性が異なる可能性がある。このため、水性エポキシ樹脂塗料のミストコート性を検討した。

（２）試験方法

１）試験板の作製

溶剤形無機ジンクリッチペイントをエアスプレーでブラスト処理鋼板（90㎜×300㎜×3.2㎜）に目標乾燥膜厚 75μｍとなるように塗装し乾燥させた後、水性エポキシ樹脂塗料下塗でミストコート（水希釈率 30～50%）、または目標膜厚 20μｍの薄膜塗装を行い乾燥させた。その後、さらに水性エポキシ樹脂塗料下塗を乾燥膜厚 60μｍになるように塗装し試験板を作製した。なお、水性エポキシ樹脂塗料下塗でのミストコートを行わない試験板も作製した。

また、比較のために、溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗でも同様な方法で試験板を作製した。

２）供試サンプル

・溶剤形無機ジンクリッチペイント　６種類（塗料会社①～⑥）
・水性エポキシ樹脂塗料下塗　６種類（塗料会社①～⑥）
・溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗　１種類

３）評価方法

作製した試験板の塗膜外観を目視により、ピンホール等の外観異状を評価した。また、プルオフ法での付着力測定、碁盤目テープ法での付着性試験での評価も行った。

（３）試験結果

溶剤形無機ジンクリッチペイントに塗り重ねられた塗膜外観の観察を表－5.1.3、付着力測定結果を表－5.1.4(1)～(3)、試験板の写真を図－5.1.3 に示す。

表－5.1.3　塗り重ね塗膜外観の観察結果（ピンホールの有無）

第２層目	ミストコート有		ミストコート無	薄膜塗装	
塗料会社	ミストコートの希釈率	塗膜外観	塗膜外観	薄膜塗装の希釈率	塗膜外観
①	40%	○	×	15%	○
②	40%	○	×	18%	○
③	35%	○	×	15%	○
④	20%	○	×	10%	○
⑤	30%	○	×	5%	○
⑥	40%	○	○	20%	○
溶剤形	45%	○	×	18%	○

判定基準　○：ピンホールの発生無し

×：ピンホールの発生有り

表－5.1.4(1)　付着性試験結果（第２層目：ミストコート有）

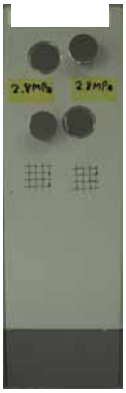
項目	付着力測定				碁盤目テープ法	
繰返し	1		2		1	2
塗料会社	付着強度(MPa)	破断箇所(%)	付着強度(MPa)	破断箇所(%)	残升目	残升目
①	3.8	ミスト内：80 エポキシ内：20	4.8	ミスト 50% エポキシ 50%	９／９	９／９
②	2.0	ジンク内：100	1.8	ジンク内：100	８／９	８／９
③	3.0	ジンク内：100	3.0	ジンク内：100	７／９	６／９
④	2.8	ジンク内：100	2.0	ジンク内：100	８／９	８／９
⑤	2.0	ジンク内：100	1.4	ジンク内：100	９／９	９／９
⑥	2.8	ジンク内：100	2.5	ジンク内：100	９／９	９／９
溶剤形	2.0	ジンク内：100	2.0	ジンク内：100	７／９	７／９

表－5.1.4(2)　付着性試験結果（第２層目：ミストコート無）

項目	付着力測定				碁盤目テープ法	
繰返し	1		2		1	2
塗料会社	付着強度(MPa)	破断箇所(%)	付着強度(MPa)	破断箇所(%)	残升目	残升目
①	2.8	ジンク内：10 エポキシ内：90	3.0	ジンク内：10 エポキシ内：90	９／９	９／９
②	1.6	ジンク内：100	0.8	ジンク内：100	８／９	８／９
③	3.2	ジンク内：100	3.2	ジンク内：100	７／９	７／９
④	2.8	ジンク内：100	2.8	ジンク内：100	９／９	９／９
⑤	1.0	ジンク内：100	1.8	ジンク内：100	９／９	９／９
⑥	3.0	ジンク内：100	2.8	ジンク内：100	９／９	９／９
溶剤形	4.0	エポキシ内：100	3.5	エポキシ内：100	９／９	９／９

表－5.1.4(3)　付着性試験結果（第２層目：薄膜塗装）

項目	付着力測定				碁盤目テープ法	
繰返し	1		2		1	2
塗料会社	付着強度(MPa)	破断箇所(%)	付着強度(MPa)	破断箇所(%)	残升目	残升目
①	1.9	ジンク内：100	2.0	ジンク内：100	７／９	７／９
②	3.4	ジンク内：100	1.6	ジンク内：100	６／９	１／９
③	2.0	ジンク内：100	3.0	ジンク内：100	７／９	６／９
④	4.0	ジンク内：100	3.4	ジンク内：100	７／９	７／９
⑤	2.0	ジンク内：100	1.5	ジンク内：100	８／９	７／９
⑥	3.0	ジンク内：100	3.8	ジンク内：100	８／９	８／９
溶剤形	4.0	エポキシ内:100	4.0	エポキシ内：100	９／９	９／９

塗料 会社	ミスト コート有	ミスト コート無	薄膜 塗装	塗料 会社	ミスト コート有	ミスト コート無	薄膜 塗装
①				⑤			
②				⑥			
③				溶剤形			
④				—	—	—	—

図－5.1.3　試験板の写真

（４）まとめ

溶剤形無機ジンクリッチペイント塗膜に、ミストコートまたは薄膜塗装を行わないで水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装した場合には、ピンホールが発生することが確認された。溶剤形無機ジンクリッチペイント塗膜に水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装する場合には、ピンホール等のない正常な塗膜を得るためにはミストコート、あるいはそれに準ずる工程が必要であることがわかった。また、ミストコートを水性エポキシ樹脂塗料下塗で行う場合には、溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗のような大きな希釈率でなくてもミストコートの効果が得られた。

５．１．４　水性エポキシ樹脂塗料下塗の粘性挙動の把握

（１）試験目的

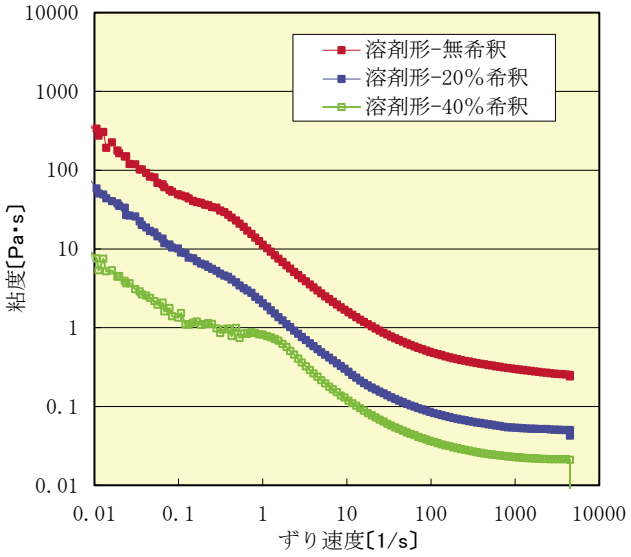
水性塗料は溶剤形塗料に比べてたれ易いと予想される。また、水性塗料と溶剤形塗料は粘度等も異なる。このため、水性エポキシ樹脂塗料下塗と溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗の粘性挙動を比較し、その結果から水性エポキシ樹脂塗料下塗の施工性の推測を行った。

（２）試験の方法

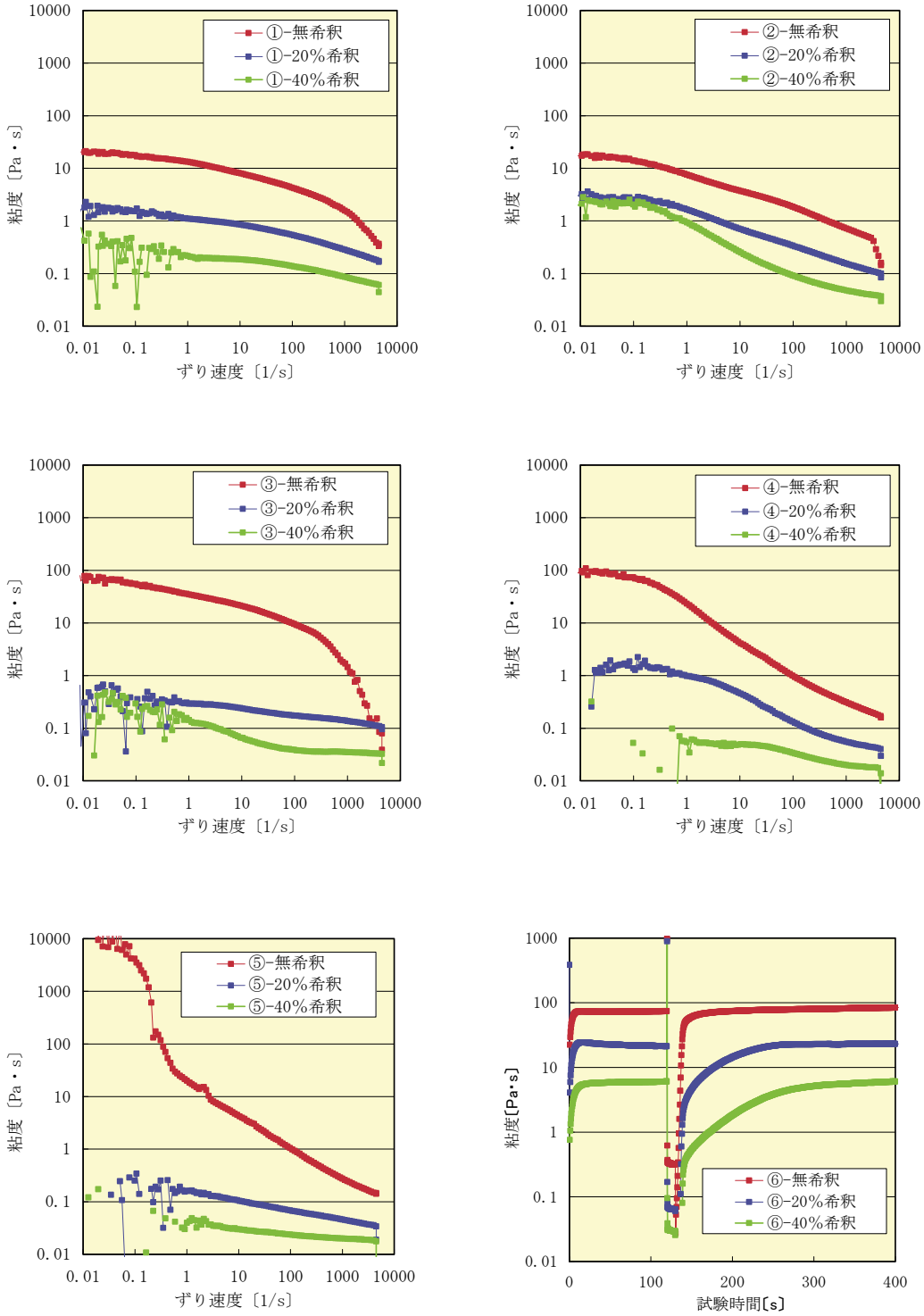
粘弾性測定装置として、HAAKE 社製 液体粘弾性測定装置 を使用した。センサーは、コーンプレート型センサーを使用した。測定試料の調整は、測定直前に塗料液／硬化剤を混合した液を希釈（無希釈、20%、40%）して行った。また、ずり速度を0.001～4500(1/S)と徐々に変化させて粘度測定を行った。次に、低ずり速度0.001(1/S) ⇒ 高ずり速度1000(1/S) ⇒ 低ずり速度0.001(1/S) と変化させて粘度測定を行った。

（３）結果

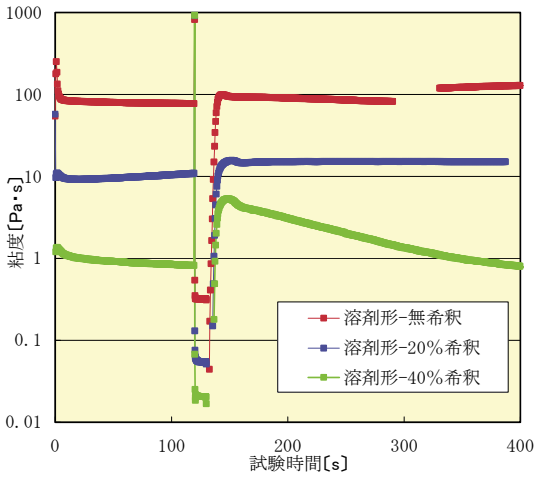
粘度－ずり速度曲線を図－5.1.4(1), (2)、粘度回復曲線を図－5.1.5(1)～(3)に示す。



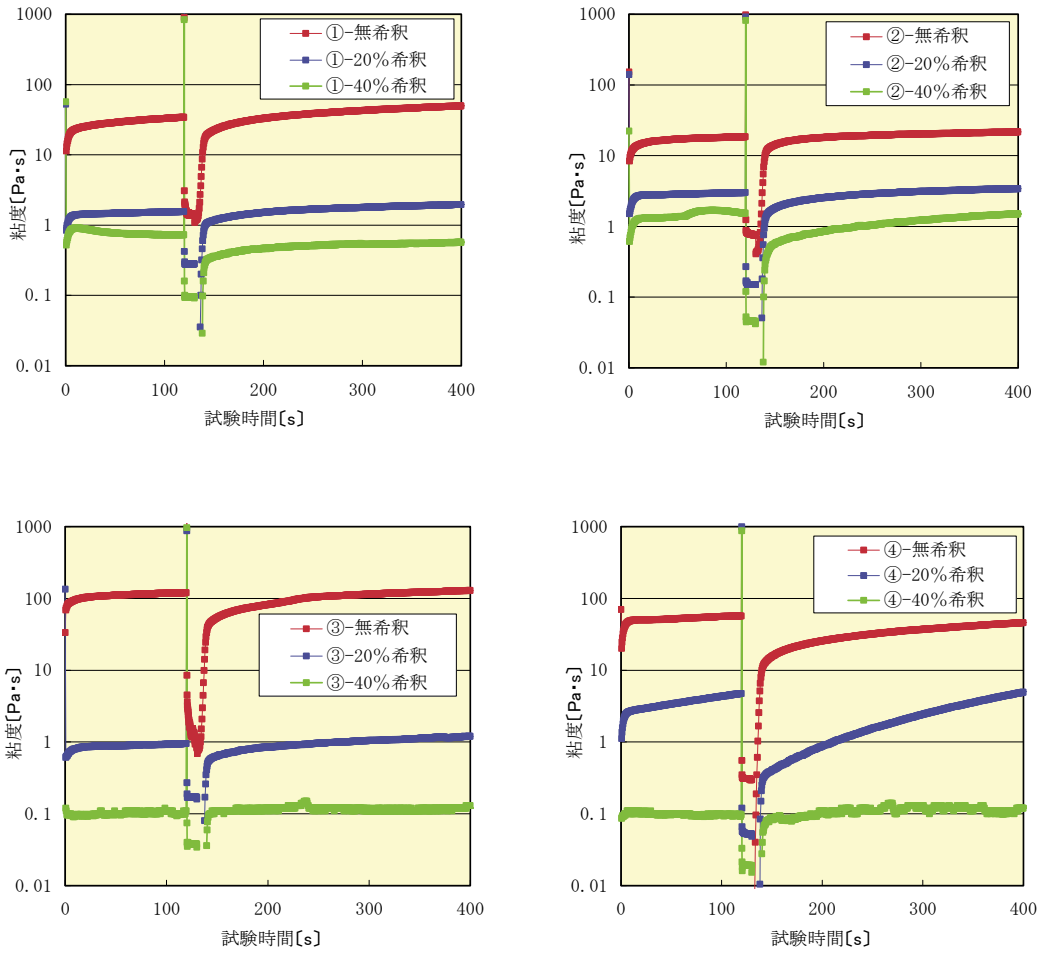
図－5.1.4(1)　粘度－ずり速度曲線（溶剤形）



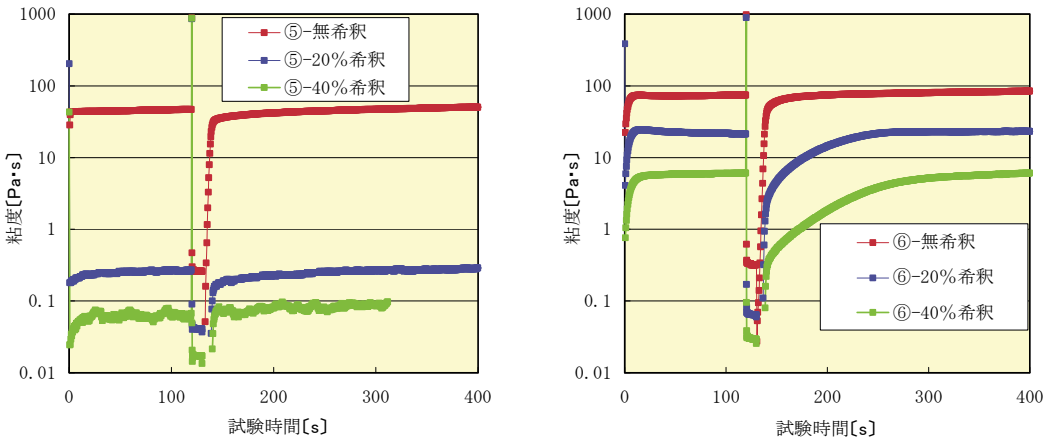
図－5.1.4(2)　粘度－ずり速度曲線（塗料会社①～⑥）



図－5.1.5(1)　粘度回復曲線（溶剤形）



図－5.1.5(2)　粘度回復曲線（塗料会社①～④）



図－5.1.5(3)　粘度回復曲線（塗料会社⑤～⑥）

水性エポキシ樹脂塗料各種は、溶剤形に比較して低ずり速度域での粘度が小さかった。また、溶剤形は20%、40%と希釈しても擬塑性挙動を維持するのに比較して、水性エポキシ樹脂塗料各種は希釈により擬塑性が失われニュートン流動に近づく傾向を示した。この傾向の中で擬塑性挙動を比較的維持している水性エポキシ樹脂塗料は、塗料会社②と塗料会社⑥であった。塗料会社④も近い傾向を示すが、ミストコート時を想定した40%希釈時において粘度低下が著しかった。

高シェアを受けてからの粘度回復に関しては、溶剤形と比較して水性エポキシ樹脂塗料の回復速度が緩やかであった。塗料会社⑥は希釈率増大につれ粘度回復が遅くなる傾向が顕著であるが、回復粘度が他のサンプルに比べて高かった。これらのことより、溶剤形と比較して水性エポキシ樹脂塗料はたれが生じやすい傾向が予想される。

５．２　夏季施工性試験

水性塗料の夏季における施工性を把握するために、橋梁模擬桁において施工性試験を実施し、塗装作業性、乾燥性、仕上がり性（たれ、割れ等)、塗着性の評価を行った。

５．２．１　供試塗装系および供試材料

供試塗装系は以下の７仕様である。

（１）新設塗装

塗装系№B8：「鋼道路橋塗装・防食便覧」C-5 塗装系(比較溶剤形仕様)→エアレス塗装

塗装系№B1：完全水性塗装系（目標：C-5 塗装系）→エアレス塗装

塗装系№B2：無機ジンクリッチペイントのみ溶剤形塗料を適用した水性塗装系→エアレス塗装

＊ミストコートは、あり・なしの二通りで行った。

（２）塗替塗装

塗装系№B9-1：「鋼道路橋塗装・防食便覧」Rc-Ⅱ塗装系（比較溶剤系）→はけ・ローラー塗装

塗装系№B3　：素地調整Ｉ種を想定した完全水性塗装系→エアレス塗装

＊ミストコートは、あり・なしの二通りで行った。

塗装系№B3-1：素地調整Ｉ種を想定した完全水性塗装系→はけ・ローラー塗装

塗装系№B3-2：ジンクリッチペイントに溶剤形有機ジンクリッチペイントを適用した水性塗装系→はけ塗装

供試塗装系一覧表を表－5.2.1(1)～(2)に示す。

表－5.2.1(1)　供試塗装系（新設塗装）

塗装系№	B8	B1	B2
防食下地	溶剤形無機ジンクリッチペイント 75μm	水性無機ジンクリッチペイント 75μm	溶剤形無機ジンクリッチペイント 75μm
ミストコート	溶剤形エポキシ樹脂塗料 下塗 あり	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 あり	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 あり・なし
下塗 １層目	溶剤形エポキシ樹脂塗料 下塗 120μm	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm
下塗 ２層目		水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm
中塗	溶剤形ふっ素樹脂塗料用 中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用 中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用 中塗 30μm
上塗	溶剤形ふっ素樹脂塗料 上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料 上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料 上塗 25μm
塗装方法	エアレス	エアレス	エアレス

上塗の色相はN7.0 近似

表－5.2.1(2)　供試塗装系（塗替塗装）

塗装系№	B9-1	B3	B3-1	B3-2
防食下地	溶剤形有機ジンクリッチペイント 40μm	水性有機ジンクリッチペイント 75μm	水性有機ジンクリッチペイント 40μm	溶剤形有機ジンクリッチペイント 40μm
ミストコート	なし	水性エポキシ樹脂塗料下塗 あり・なし	なし	なし
下塗1層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm
下塗2層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm
塗装方法	はけ・ローラー	エアレス	はけ・ローラー	はけ

上塗の色相はN7.0 近似

５．２．２　実施方法

（１）試験場所

独立行政法人土木研究所　朝霧環境材料観測施設

（２）試験期間

平成 21 年７月 26 日～８月３日

（３）試験体

橋梁模擬桁（長さ：6.5m、幅：2.5m、高さ：1.2m）



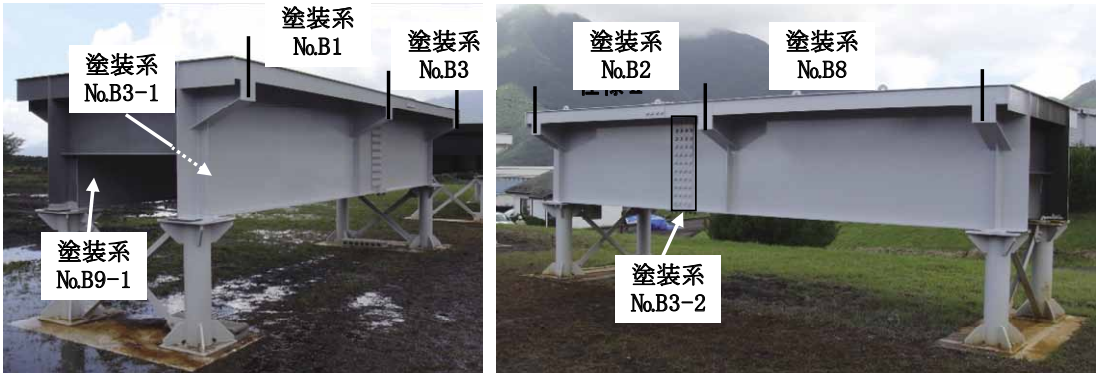
写真－5.2.1　橋梁模擬桁（素地調整前）

（４）素地調整

ブラスト処理（処理グレード：ISO　Sa2 1/2 程度）

（５）塗装系区分

塗装系区分は、塗装系№B8、B1、B2、B3 は桁外面の腹板とし、塗装はエアレス塗装で行った。なお、塗装系№B2 と B3 に関しては、ミストコートあり・なしで行った。塗装系№9-1、B3-1 は桁内面の腹板とし、塗装ははけ・ローラー塗装で行った。塗装系№B3-2 は塗装系№B2 の添接部にはけ塗装を行った。塗装系区分を写真－5.2.2 に示す。



写真－5.2.2　塗装系区分：夏季施工性試験

（６）気象状況

施工時の気象状況を表－5.2.2 に示す。

表－5.2.2　施工時の気象状況

	防食下地	ミストコート	下塗１層目	下塗２層目	中塗	上塗
天候	くもり	くもり	くもり	くもり	くもり	くもり
気温(℃)	21～24	26	26～30	22	22	21
湿度(%)	68～85	77	61～69	80	77	85

（７）試験方法

各種水性塗料について夏季における塗装作業性、乾燥性、仕上がり性（たれ、割れ等）、塗着性の評価を行った。

（８）評価項目

１）塗装作業性

塗料を指定の塗装方法で塗装した際に、支障なく塗装（塗着性は除く）できるか確認を行った。なお、塗着性については、平均膜厚の測定で確認を行った。

２）乾燥性

塗装後１日後の塗膜の乾燥状態が、次工程の塗料を塗装しても支障のない程度であるか確認を行った。

３）仕上がり性

乾燥した塗膜において、異状（たれ、泡、ピンホール、はじき、割れ等）がないか確認を行った。

４）平均膜厚

塗着性について確認を行った。

５．２．３　試験結果

（１）ジンクリッチペイントの施工性試験結果

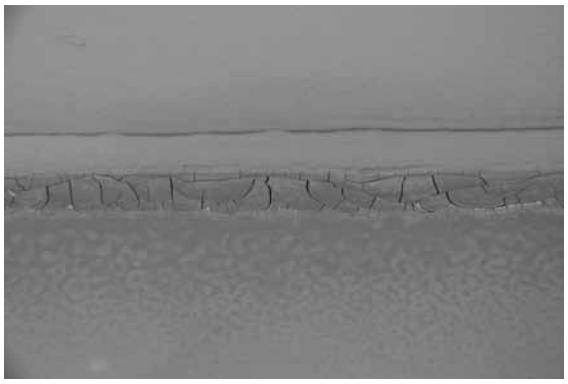
ジンクリッチペイントの施工性試験結果を表－5.2.3(1)～(2)に示す。

１）水性無機ジンクリッチペイント

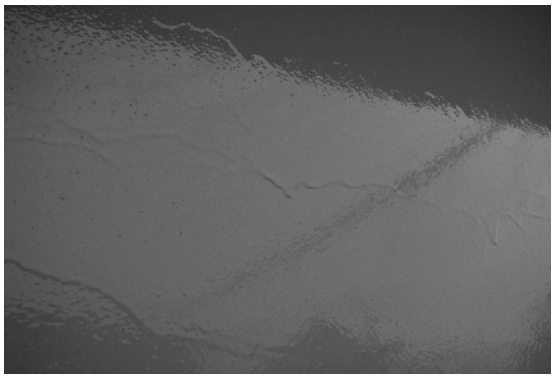
塗装系№B1 の水性無機ジンクリッチペイントは、エアレス塗装作業性、乾燥性に問題はなかった。仕上がり性については、腹板では問題がなかったが、腹板と下フランジの溶接部において塗膜割れが生じた。

２）水性有機ジンクリッチペイント

塗装系№B3 の水性有機ジンクリッチペイントは、エアレス塗装作業性、乾燥性に問題はなかったが、仕上がり外観において、全面に発泡によるピンホールおよびたれを生じた。



写真－5.2.3　溶接部の塗膜割れ
（水性無機ジンクリッチペイント）



写真－5.2.4　たれ
（水性有機ジンクリッチペイント）

表－5.2.3(1)　ジンクリッチペイントの施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2
			塗料会社⑥	塗料会社③
塗料		溶剤形無機ジンクリッチペイント	水性無機ジンクリッチペイント	溶剤形無機ジンクリッチペイント
塗料温度(℃)		24	25	24
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	専用シンナー
希釈率(%)		3		
希釈塗料粘度(poise)		1.1	4.5	1.1
塗装方法		エアレス		
チップ		517		
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	溶接部に塗膜割れ	溶接部に塗膜割れ
平均膜厚(μm)		80	47	85

○：異状なし、

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.2.3(2)　ジンクリッチペイントの施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社②	塗料会社③
塗料		溶剤形有機ジンクリッチペイント	水性有機ジンクリッチペイント		溶剤形有機ジンクリッチペイント
塗料温度(℃)		24	25		24
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		専用シンナー
希釈率(%)		5	8	7	5
希釈塗料粘度(poise)		9.0	16.0	22.0	9.0
塗装方法		はけ ローラー	エアレス	はけ ローラー	はけ
チップ		－	517	－	－
塗装作業性		○	○	ローラー さばきが軽い	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	全面たれ	○	○
	泡	○	全面発泡	全面発泡	○
	ピンホール	○	発泡による ピンホール	発泡による ピンホール	○
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		55	52	47	40

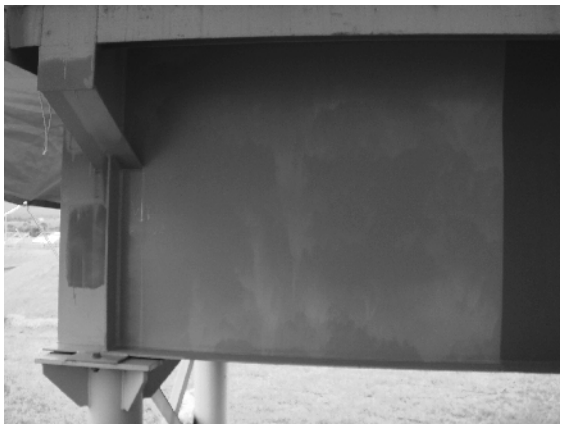
○：異状無し、

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

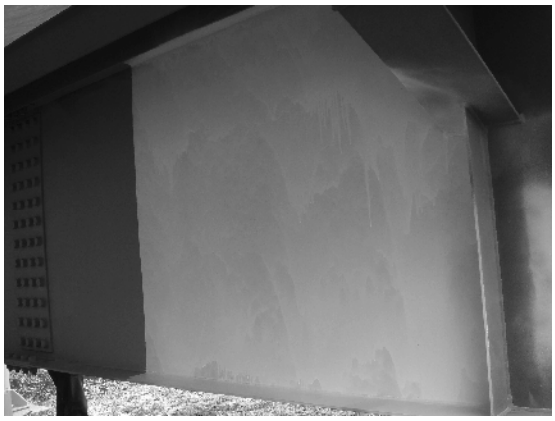
（２）ミストコートの施工性試験結果

ミストコートの施工性試験結果を表－5.2.4 に示す。

塗装系№B1、B2、B3 の水性エポキシ樹脂塗料下塗は、エアレス塗装作業性ついて問題はなかった。仕上がり性については、塗装系№B1、B2、B3 でたれが生じ、塗装系№B1、B2ではじきがみられた。



写真－5.2.5(1)　たれ
（ミストコート:水性エポキシ樹脂塗料下塗）



写真－5.2.5(2)　たれ
（ミストコート:水性エポキシ樹脂塗料下塗）

表－5.2.4　ミストコートの施工性試験結果

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形 エポキシ樹脂 塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗		
塗料温度(℃)		23	22	24	22
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		
希釈率(%)		40	40	35	40
希釈塗料粘度 (秒/岩田カップ)		14	32	15	15
塗装方法		エアレス			
チップ		517			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	たれ（少）	たれ	たれ
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○	○	○	○
	はじき	○	下フランジに はじき	はじき（少）	○
	割れ	○	○	○	○

○：異状なし、

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

（３）水性エポキシ樹脂塗料下塗の施工性試験結果

水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の施工性試験結果を表－5.2.5(1)～(2)に、水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目）の施工性試験結果を表－5.2.6(1)～(2)に示す。

表－5.2.5(1)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B1	B2	B3
		塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		水性エポキシ樹脂塗料下塗		
塗料温度(℃)		27	28	27
希釈剤		上水(*1)		
希釈率(%)		15	15	15
希釈塗料粘度(poise)		14.0	14.0	7.0
塗装方法		エアレス		
チップ		417		
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	一部たれ	たれ	たれ
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		102 (*2)	119 (*2)	70 (*2)

○：異状なし

＊１：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

＊２：ミストコート＋水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の膜厚

表－5.2.5(2)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	
塗料温度(℃)		27	23	28
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	5	15
希釈塗料粘度(poise)		12.0	24.0	14.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	目標塗付量が付き難い	目標塗付量が付き難い
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		79	35	90

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.2.6(1)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目）の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形 エポキシ樹脂 塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗		
塗料温度(℃)		22	24	23	24
希釈剤		専用シンナー	上水(*1)		
希釈率(%)		8	16	15	14
希釈塗料粘度(poise)		6.0	14.0	15.0	9.0
塗装方法		エアレス			
チップ		317			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	一部たれ	たれ
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○	○	たれ部に ピンホール	たれ部に ピンホール
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		146(*2)	36	41	40

○：異状なし

＊１：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

＊２：ミストコート＋エポキシ樹脂塗料下塗の膜厚

表－5.2.6(2)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目）の施工性試験結果（その２）

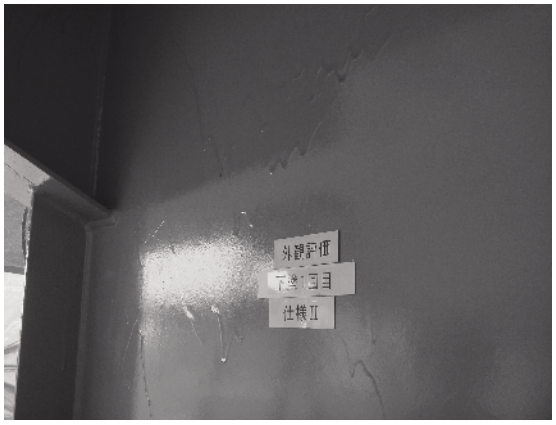
塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形変性 エポキシ樹脂 塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	
塗料温度(℃)		24	23	23
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	5	15
希釈塗料粘度(poise)		14.0	26.0	15.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	目標塗付量が 付き難い	目標塗付量が 付き難い
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		43	44	30

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

塗装系No.B1、B2、B3 の水性エポキシ樹脂塗料下塗は、エアレス塗装作業性、乾燥性に問題はなかった。仕上がり性については、塗装系No.B1、B2、B3 でたれが生じ、塗装系No.B2、B3-1 の下塗２層目でたれ部の一部にピンホールがみられた。

塗装系No.B3-1、3-2 の水性エポキシ樹脂塗料下塗は、はけ・ローラー塗装作業性において目標塗付量が付き難かった。仕上がり性に問題がなかった。



写真－5.2.6　たれ
（水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目））



写真－5.2.7　たれ部のピンホール
（水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目））

塗装系No.B2 の溶剤形無機ジンクリッチペイントにミストコートなしで直接水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装した箇所および塗装系No.B3 の水性有機ジンクリッチペイントにミストコートなしで直接水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗料装した箇所において、置換発泡はみられなかった。

（４）水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果

水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果を表－5.2.7(1)～(2)に示す。

塗装系No.B1、B2、B3 の水性ふっ素樹脂塗料用中塗は、エアレス塗装作業性、乾燥性に問題はなかった。仕上がり性においては、塗装系No.B1 では問題はなかったが、塗装系No.B2 の一部および塗装系No.B3 でたれがみられ、塗装系No.B3 のたれ部ではピンホールがみられた。

塗装系No.B3-1、3-2 の水性ふっ素樹脂塗料用中塗は、はけ・ローラー塗装作業性、仕上がり性共に問題はなかった。

表－5.2.7(1)　水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗		
塗料温度(℃)		21	22	23	22
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		
希釈率(%)		5	5	17	22
希釈塗料粘度(poise)		3.5	8.0	14.0	6.0
塗装方法		エアレス			
チップ		315			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	一部たれ	たれ
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○	○	○	たれ部にピンホール
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		26	28	44	32

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.2.7(2)　水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	
塗料温度(℃)		21	21	21
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	5	15
希釈塗料粘度(poise)		11.0	11.0	21秒(岩田カップ)
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		25	13	133

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

（５）水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果

水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果を表－5.2.8(1)～(2)に示す。

表－5.2.8(1)　水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗		
塗料温度(℃)		21	22	23	21
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		
希釈率(%)		10	5	5	10
希釈塗料粘度(poise)		0.8	5.0	5.0	9.5
塗装方法		エアレス			
チップ		315			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	一部たれ	たれ	たれ	たれ
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○	ジンクからのピンホール	○	ピンホール(少)
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		57	14	18	22

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.2.8(2)　水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	
塗料温度(℃)		21	22	23
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	2	3
希釈塗料粘度(poise)		7.5	22.0	12.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		目標塗付量が付き難い	かすれ易い	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
	かすれ	○	かすれ	○
平均膜厚(μm)		31	22	22

○：異状なし、＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

塗装系№B1、B2、B3 の水性ふっ素樹脂塗料上塗は、エアレス塗装作業性、乾燥性について問題はなかった。仕上がり性については、塗装系№B1、B2、B3 でたれが生じ、塗装系№3 で一部にはじきを生じ、塗装系№B1、B3 ではピンホールを生じた。

塗装系№B3-1 の水性ふっ素樹脂塗料上塗は、ローラー（中毛）での塗装が困難なためはけ塗装のみで行った。はけ塗装では、はけ返し時に塗着していた塗料の一部が除去されかすれが散見された。

５．２．４　追跡調査

（１）調査時期

初期　：平成 21 年９月　３日

１年後：平成 22 年９月 10 日

（２）調査項目

１）塗膜外観観察

２）付着性（テープ付着試験、引張付着試験）

３）光沢保持率

４）色差

（３）調査結果

塗膜外観観察結果を表－5.2.9 に、付着性試験結果を表－5.2.10、11 に、光沢保持率および色差の結果を表－5.2.12 に示す。

表－5.2.9　塗膜外観観察結果

塗装系№			初期	１年後
B8			異状なし	異状なし
B1		塗料会社⑥	たれ跡が残る ジンクからのピンホール 溶接部にジンクからの塗膜割れ	初期調査以降の異状はなし
B2	ミストコートあり	塗料会社③	たれ跡が残る	初期調査以降の異状はなし
	ミストコートなし			
B9			異状なし	異状なし
B3	ミストコートあり	塗料会社②	たれ跡が残る ジンクからのピンホール	初期調査以降の異状はなし
	ミストコートなし			
B3-1		塗料会社②	上塗塗膜において一部かすれ	初期調査以降の異状はなし
B3-2		塗料会社③	たれ跡が残る	初期調査以降の異状はなし

表－5.2.10　付着性試験結果（テープ付着試験）

調査時期	塗装系No.			No.1	No.2
初期	B8			9／9	9／9
	B1		塗料会社⑥	0／9 （ジンク内：100%）	0／9 （ジンク内：100%）
	B2	ミストコートあり	塗料会社③	6／9	9／9
		ミストコートなし		7／9	6／9
	B9			9／9	9／9
	B3	ミストコートあり	塗料会社②	9／9	9／9
		ミストコートなし		9／9	9／9
	B3-1		塗料会社②	9／9	9／9
1年後	B8			8／9	7／9
	B1		塗料会社⑥	0／9 （ジンク内：100%）	0／9 （ジンク内：100%）
	B2	ミストコートあり	塗料会社③	9／9	9／9
		ミストコートなし		3／9	5／9
	B9			9／9	9／9
	B3	ミストコートあり	塗料会社②	9／9	9／9
		ミストコートなし		9／9	9／9
	B3-1		塗料会社②	9／9	9／9

表－5.2.11　付着性試験結果（引張付着試験）

調査時期	塗装系No.			No.1		No.2	
				付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
初期	B8			7.0＜	－	7.0＜	－
	B1		塗料会社⑥	1.5	ジンク内 :100	2.0	ジンク内 :100
	B2	ミストコートあり	塗料会社③	5.5	ジンク内 :100	4.5	ジンク内 :100
		ミストコートなし		2.8	ジンク内 :100	4.0	ジンク内 :100
	B9			6.0	ジンク内 :10 上塗内 :60 中塗内 :20 下塗内 :10	－	－
	B3	ミストコートあり	塗料会社②	6.0	ジンク内 :70 接着剤 :30	－	－
		ミストコートなし		5.5	ジンク内 :100	5.0	ジンク内 :100
	B3-1		塗料会社②	4.5	ジンク内 :100	7.0	ジンク内 :100
1年後	B8			3.0	ジンク内 :100	2.5	ジンク内 :100
	B1		塗料会社⑥	1.0	ジンク内 :100	1.2	ジンク内 :100
	B2	ミストコートあり	塗料会社③	5.0	ジンク内 :100	4.5	ジンク内 :100
		ミストコートなし		2.8	ジンク内 :100	3.0	ジンク内 :100
	B9			2.5	ジンク内 : 5 下塗内 :10 中塗内 :80 中塗/上塗: 5	3.5	ジンク内 :15 下塗内 :20 中塗内 :65
	B3	ミストコートあり	塗料会社②	4.0	ジンク内 :100	4.5	ジンク内 :100
		ミストコートなし		3.0	ジンク内 :100	4.8	ジンク内 :100
	B3-1		塗料会社②	3.5	ジンク内 :100	5.5	ジンク内 100

表－5.2.12　光沢保持率および色差

調査時期	塗装系No.		水洗有無	60度鏡面光沢度	光沢保持率(%)	L*	a*	b*	ΔE*ab
初期	B8		－	71.2	－	75.03	-0.14	0.03	－
	B1	塗料会社⑥	－	63.7	－	75.63	-0.53	-2.80	－
	B2	塗料会社③	－	65.9	－	75.38	-0.16	-0.91	－
	B9		－	31.9	－	70.19	0.17	-0.51	－
	B3	塗料会社②	－	58.7	－	69.69	-0.11	-0.37	－
	B3-1	塗料会社②	－	43.1	－	70.15	-0.18	-0.74	－
1年後	B8		無	73.0	102.5	74.13	-0.18	0.39	0.97
			有	77.1	108.3	74.72	-0.19	0.13	0.33
	B1	塗料会社⑥	無	62.8	98.6	75.52	-0.53	-2.73	0.13
			有	62.8	98.6	75.60	-0.54	-2.73	0.08
	B2	塗料会社③	無	70.8	107.4	73.99	-0.18	-0.51	1.45
			有	76.8	116.5	74.40	-0.20	-0.80	0.99
	B9		無	35.1	110.0	70.20	0.20	-0.35	0.17
			有	35.0	109.7	70.12	0.15	-0.38	0.15
	B3	塗料会社②	無	53.0	90.3	69.49	-0.14	-0.28	0.22
			有	56.9	96.9	69.57	-0.19	-0.31	0.16
	B3-1	塗料会社②	無	44.8	103.9	70.11	-0.10	-0.38	0.37
			有	50.3	116.7	70.17	-0.11	-0.49	0.26

塗装系No.B1の付着性が、初期、１年後共にテープ付着試験で0／9（ジンク内:100%）、引張付着試験においても1.0～2.0MPa（ジンク内:100%）であり、溶剤形（塗装仕様No.B8）と比べて低い結果であった。付着性が低い原因としては、破断箇所が水性ジンクリッチペイント塗膜凝集破壊 100%であることから、水性ジンクリッチペイント塗膜の硬化性の影響が大きいものと考える。

また、塗装系No.B2 のテープ付着試験において、ミストコートなしの塗装系がミストコートありの塗装系より付着性が劣る結果であった。

５．２．５　まとめ

試験施工の結果より、各種水性塗料について以下のことが確認できた。

（１）水性無機ジンクリッチペイント

・塗装作業性については、エアレス塗装で支障なく塗装できることが確認できた。

・乾燥性については、問題のないことが確認できた。

・仕上がり性については、腹板では問題がなかったが、腹板と下フランジの溶接部において塗膜割れが生じた。

・付着性については、溶剤形塗料より劣る結果であった。

（２）水性有機ジンクリッチペイント

・塗装作業性については、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装で支障なく塗装できることが確認できた。

・乾燥性については、問題のないことが確認できた。

・仕上がり性については、全面に発泡によるピンホールおよびたれを生じた。
・水性有機ジンクリッチペイントに直接水性エポキシ樹脂下塗を塗装しても置換発泡はみられなかった。

（３）ミストコート（水性エポキシ樹脂塗料下塗）
・塗装作業性については、エアレス塗装で支障なく塗装できることが確認できた。
・仕上がり性については、たれ、はじきがみられた。
・塗装系№B2 の付着性については、ミストコートなしの仕様がミストコートありの仕様より付着性が劣る結果であった。
・溶剤形無機ジンクリッチペイントに直接水性エポキシ樹脂下塗を塗装しても置換発泡はみられなかった。

（４）水性エポキシ樹脂塗料下塗
・塗装作業性については、エアレス塗装で支障なく塗装できることが確認できた。はけ・ローラー塗装においては、目標塗付量が付き難かった。
・乾燥性については、問題のないことが確認できた。
・仕上がり性については、たれがみられた。

（５）水性ふっ素樹脂塗料用中塗
・塗装作業性については、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装で支障なく塗装できることが確認できた。
・乾燥性については、問題のないことが確認できた。
・仕上がり性については、塗装系№B2 の一部および塗装系№B3 でたれがみられ、塗装系№B3 のたれ部ではピンホールがみられた。

（６）水性ふっ素樹脂塗料上塗
・塗装作業性については、エアレス塗装で支障なく塗装できることが確認できた。はけ・ローラー塗装においては、塗装系№B3-1 でローラー（中毛）での塗装が困難なため、はけ塗装のみで行った。なお、はけ塗装では、はけ返し時に塗着していた塗料の一部が除去されかすれが散見された。

上記の各種水性塗料の課題を検討し、冬季施工性試験を行った。

５．３　冬季施工性試験

水性塗料の冬季における施工性を把握するために、橋梁模擬桁において施工性試験を実施し、塗装作業性、乾燥性、仕上がり性（たれ、割れ等)、塗着性の評価を行うと共に、夏季施工性試験で確認された課題に対して改善が図れているか確認を行った。

５．３．１　供試塗装系および供試材料

供試塗装系は以下の７仕様である。

（１）新設塗装

塗装系No.B8：「鋼道路橋塗装・防食便覧」C-5 塗装系(比較溶剤形仕様)→エアレス塗装

塗装系No.B1：完全水性塗装系（目標：C-5 塗装系）→エアレス塗装

塗装系No.B2：無機ジンクリッチペイントのみ溶剤形塗料を適用した水性塗装系→エアレス塗装

（２）塗替塗装

塗装系No.B9-1：「鋼道路橋塗装・防食便覧」Rc-Ⅱ塗装系（比較溶剤系）→はけ・ローラー塗装

塗装系No.B3　：素地調整Ｉ種を想定した完全水性塗装系→エアレス塗装

塗装系No.B3-1：素地調整Ｉ種を想定した完全水性塗装系→はけ・ローラー塗装

塗装系No.B3-2：ジンクリッチペイントに溶剤形有機ジンクリッチペイントを適用した水性塗装系→はけ塗装

供試塗装系一覧表を表－5.3.1(1)～(2)に示す。

表－5.3.1(1)　供試塗装系（新設塗装）

塗装系No.	B8	B1	B2
防食下地	溶剤形無機ジンクリッチペイント 75μm	水性無機ジンクリッチペイント 75μm	溶剤形無機ジンクリッチペイント 75μm
ミストコート	溶剤形エポキシ樹脂塗料 下塗 あり	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 あり	なし
下塗 １層目	溶剤形エポキシ樹脂塗料 下塗 120μm	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm
下塗 ２層目		水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料 下塗 60μm
中塗	溶剤形ふっ素樹脂塗料用 中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用 中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用 中塗 30μm
上塗	溶剤形ふっ素樹脂塗料 上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料 上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料 上塗 25μm
塗装方法	エアレス	エアレス	エアレス

上塗の色相はN7.0 近似

表－5.3.1(2)　供試塗装系（塗替塗装）

塗装系№	B9-1	B3	B3-1	B3-2
防食下地	溶剤形有機ジンクリッチペイント 40μm	水性有機ジンクリッチペイント 75μm	水性有機ジンクリッチペイント 40μm	溶剤形有機ジンクリッチペイント 40μm
下塗 1層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm
下塗 2層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm	水性エポキシ樹脂塗料下塗 60μm
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm
塗装方法	はけ・ローラー	エアレス	はけ・ローラー	はけ

上塗の色相はN7.0 近似

５．３．２　実施方法

（１）試験場所

独立行政法人土木研究所　朝霧環境材料観測施設

（２）試験期間

平成 22 年２月 18 日～３月１日

（３）試験体

橋梁模擬桁（長さ：6.5m、幅：2.5m、高さ：1.2m）



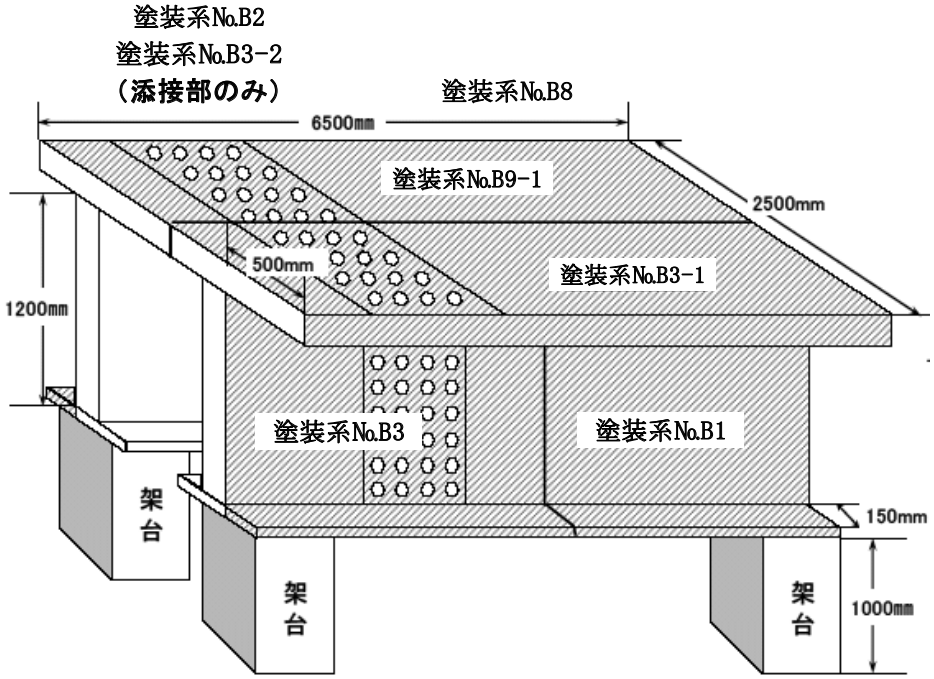
写真－5.3.1　橋梁模擬桁（素地調整前）

（４）素地調整

ブラスト処理（処理グレード：ISO　Sa2 1/2 程度）

（５）塗装系区分

塗装系区分は、塗装系№B8、B1、B2、B3 は桁外面の腹板とし、塗装はエアレス塗装で行った。塗装系№9-1、B3-1 は天板とし、塗装ははけ・ローラー塗装で行った。塗装系№B3-2 は塗装系№B2 の添接部にはけ塗装を行った。塗装系区分を図－5.3.1 に示す。



図－5.3.1　塗装系区分

（６）気象状況

施工時の気象状況を表－5.3.2 に示す。

表－5.3.2　施工時の気象状況

	防食下地	ミストコート	下塗１層目	下塗２層目	中塗	上塗 ＊
天候	くもり	くもり	晴れ	晴れ	晴れ	くもり
気温(℃)	-0.2～3.2	26	26～30	22	22	21
湿度(%)	62～77	77	61～69	80	77	85

＊：上塗の塗装は、塗装系№B8、B9 の順で行われたが、塗装系№B9 塗装終了直後に、降雨による影響で結露が生じたため、残りの塗装系№B1、B2、B3、B3-1、B3-2(水性塗装系)については、日を改めて塗装を行った。表中の記載は水性塗装系施工時の気象状況である。

（７）試験方法

各種水性塗料について冬季における塗装作業性、乾燥性、仕上がり性(たれ、割れ等)、塗着性の評価を行うと共に、夏季施工性試験で確認された課題に対して改善が図れてい

か確認をおこなった。

（８）評価項目

１）塗装作業性：塗料を指定の塗装方法で塗装した際に、支障なく塗装（塗着性は除く）できるか確認を行った。なお、塗着性については、平均膜厚の測定で確認を行った。

２）乾燥性：塗装後１日後の塗膜の乾燥状態が、次工程の塗料を塗装しても支障のない程度であるか確認を行った。

３）仕上がり性：乾燥した塗膜において、異状（たれ、泡、ピンホール、はじき、割れ等）がないか確認を行った。

４）平均膜厚：塗着性について確認を行った。

５．３．３　試験結果

（１）ジンクリッチペイントの施工性試験結果

ジンクリッチペイントの施工性試験結果を表－5.3.3(1)～(2)に示す。

表－5.3.3(1)　ジンクリッチペイントの施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2
			塗料会社⑥	塗料会社③
塗料		溶剤形無機ジンクリッチペイント	水性無機ジンクリッチペイント	溶剤形無機ジンクリッチペイント
塗料温度(℃)		5	4	5
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	専用シンナー
希釈率(%)		6	0	6
希釈塗料粘度(poise)		0.8	13.0	0.8
塗装方法		エアレス		
チップ		317		
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	溶接部に塗膜割れ	○
平均膜厚(μm)		52	78	64

○：異状なし、

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.3.3(2)　ジンクリッチペイントの施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社②	塗料会社③
塗料		溶剤形有機ジンクリッチペイント	水性有機ジンクリッチペイント		溶剤形有機ジンクリッチペイント
塗料温度(℃)		3	9		3
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		専用シンナー
希釈率(%)		10	11	11	10
希釈塗料粘度(poise)		6.0	23.0	21.0	6.0
塗装方法		はけ ローラー	エアレス	はけ ローラー	はけ
チップ		－	317	－	－
塗装作業性		○	○	ローラー さばきが軽い	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	一部たれ	○	○
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○			○
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		45	66	45	30

○：異状無し、

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

１）水性無機ジンクリッチペイント

塗装系№B1 の水性無機ジンクリッチペイントは、エアレス塗装作業性、塗着性目標膜厚(75μm)については問題がなかった。仕上がり性については、腹板では問題がなかったが、腹板と下フランジおよびリブの溶接部（スプレーパターンが重なり厚塗りになりやすい個所）において、夏季施工性試験同様に塗膜割れを生じた。ただし、夏季試験の際は、塗装後翌日に塗膜割れが確認されたが、冬季施工性試験においては、塗膜割れは塗装後５日後の第３層目（水性エポキシ樹脂塗料下塗１層目）乾燥塗膜で確認された。塗膜の乾燥性が影響したものと考える。

また、塗装終了後、エアレス塗装機を洗浄した際に、フィルターに詰まりがみられた。

２）水性有機ジンクリッチペイント

塗装系№3 の水性有機ジンクリッチペイントは、エアレス塗装作業性については問題がなかったが、仕上がり外観において、スプレーパターンが重なり厚塗りになった箇所でたれが生じたが、夏季施工性試験（全面たれ発生）に比べて改善がみられた。また、塗装系№3-1 のはけ・ローラー塗装作業性については、ローラーで塗装した場合、従来の溶剤形塗料に比べてローラーさばきが軽いと感じるとの評価結果であった。



写真－5.3.1(1)　溶接部の塗膜割れ
（水性無機ジンクリッチペイント）



写真－5.3.1(2)　溶接部の塗膜割れ
（水性無機ジンクリッチペイント）



写真－5.3.2　たれ（水性有機ジンクリッチペイント）

（２）ミストコートの施工性試験結果

ミストコートの施工性試験結果を表－5.3.4 に示す。

塗装系№B1 のミストコート(水性エポキシ樹脂塗料下塗(B):上水 30%希釈)は、エアレス塗装作業性について問題はなかった。仕上がり性につては、置換発泡跡が残る傾向がみられたが、Wet 状態で再度１パス塗装することで回避できることが確認でき、問題のない程度に仕上った。仕上がり外観は、夏季施工性試験（たれ、はじき発生）に比べて改善がみられた。

表－5.3.4　ミストコートの施工性試験結果

塗装系№		B8	B1 塗料会社⑥
塗料		溶剤形 エポキシ樹脂塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗
塗料温度(℃)		5	11
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊
希釈率(%)		40	30
希釈塗料粘度 (秒/岩田カップ)		14	32
塗装方法		エアレス	
チップ		317	
塗装作業性		○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○
仕上がり性	たれ	○	置換発泡跡が残る傾向有り
	泡	○	○
	ピンホール	○	○
	はじき	○	○
	割れ	○	○
平均膜厚(μm)		30	33

○：異状なし、

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

（３）水性エポキシ樹脂塗料下塗の施工性試験結果

水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の施工性試験結果を表－5.3.5(1)～(2)に、水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目）の施工性試験結果を表－5.3.6(1)～(2)に示す。

塗装系№B1、B2、B3 の水性エポキシ樹脂塗料下塗は、エアレス塗装作業性、塗着性に問題はなかった。また、仕上がり性においても問題はなく、夏季施工性試験（塗装系№B1、B2、B3：たれ発生）に比べて改善がみられた。

塗装系№B3-1、3-2 のはけ・ローラー塗装においては、夏季施工性試験では、目標塗付量が付き難かったが、冬季施工性試験ではローラーさばきが軽いと感じるものの溶剤形塗料と同程度であり、塗着性の改善がみられた。

表－5.3.5(1)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形 エポキシ樹脂 塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗		
塗料温度(℃)		5	7	7	9
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		
希釈率(%)		9	10	10	13
希釈塗料粘度(poise)		9.5	28.0	23.0	29.0
塗装方法		エアレス			
チップ		317			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○	○
	泡	○	○	置換発泡有り	○
	ピンホール	○	○	○	○
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		104	61	79	40

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.3.5(2)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（１層目）の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形変性 エポキシ樹脂 塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	
塗料温度(℃)		9	10	7
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	12	10
希釈塗料粘度(poise)		10.0	31.0	23.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	ローラーさばき が軽い	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		41	56	75

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.3.6(1)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目）の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B1	B2	B3
		塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		水性エポキシ樹脂塗料下塗		
塗料温度(℃)		12	8	10
希釈剤		上水 ＊		
希釈率(%)		10	10	12
希釈塗料粘度(poise)		30.0	24.0	31.0
塗装方法		エアレス		
チップ		317		
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		35	47	61

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

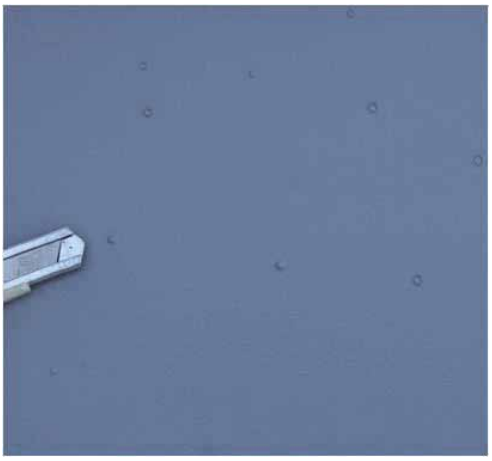
表－5.3.6(2)　水性エポキシ樹脂塗料下塗（２層目）の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形変性 エポキシ樹脂 塗料下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	
塗料温度(℃)		14	9	8
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	12	10
希釈塗料粘度(poise)		10.0	33.0	24.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		42	46	50

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

塗装系No.B3 は、溶剤形無機ジンクリッチペイントにミストコートなしで直接水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装した塗装系である。夏季施工性試験では置換発泡がみられなかったが、冬季施工性試験では、置換発泡を生じた。５．１．３の溶剤形無機ジンクリッチペイントに水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装する際のミストコート（水性エポキシ樹脂塗料下塗）の必要性について検討した結果より、置換発泡を抑えるためにはミストコートが必要であることが確認されている。



写真－5.3.3　置換発泡（塗装仕様No.B2）

（４）水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果

水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果を表－5.3.7(1)～(2)に示す。

塗装系No.B1、B2、B3 の水性ふっ素樹脂塗料用中塗は、エアレス塗装作業性、塗着性共に問題はなかった。また、仕上がり性においても問題はなく、夏季施工性試験（塗装系No.B2、B3-2：若干たれ発生、塗装系No.B3：たれ部でピンホール発生）に比べて改善がみられた。

塗装系 B3-1、B3-2 のはけ・ローラー塗装においては、塗装作業性、塗着性および仕上がり性に問題はなかった。

表－5.3.7(1)　水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形 ふっ素樹脂 塗料用中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗		
塗料温度(℃)		7	11	8	11
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		
希釈率(%)		10	8	11.5	14
希釈塗料粘度(poise)		2.0	21.0	20.0	22.0
塗装方法		エアレス			
チップ		315			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○	○
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○	○	○	○
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		59	30	65	51

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.3.7(2)　水性ふっ素樹脂塗料用中塗の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形 ふっ素樹脂塗料用 中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	
塗料温度(℃)		14	10	8
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		3	10	11.5
希釈塗料粘度(poise)		7.0	31.0	22.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
平均膜厚(μm)		33	45	63

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

（５）水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果

水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果を表－5.3.8(1)～(2)に示す。

表－5.3.8(1)　水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果（その１）

塗装系№		B8	B1	B2	B3
			塗料会社⑥	塗料会社③	塗料会社②
塗料		溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗		
塗料温度(℃)		9	11	11	11
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊		
希釈率(%)		10	1.5	4	5
希釈塗料粘度(poise)		0.8	13.0	17.0	17.5
塗装方法		エアレス			
チップ		315			
塗装作業性		○	○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○	○
	泡	○	○	○	○
	ピンホール	○	○	○	○
	はじき	○	○	○	○
	割れ	○	○	○	○
平均膜厚(μm)		57	31	23	35

○：異状なし

＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

表－5.3.8(2)　水性ふっ素樹脂塗料上塗の施工性試験結果（その２）

塗装系№		B9-1	B3-1	B3-2
			塗料会社②	塗料会社③
塗料		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	
塗料温度(℃)		12	11	11
希釈剤		専用シンナー	上水 ＊	
希釈率(%)		5	3	4
希釈塗料粘度(poise)		4.0	22.0	17.0
塗装方法		はけ・ローラー	はけ・ローラー	はけ
塗装作業性		○	○	○
乾燥性(塗装後１日後)		○	○	○
仕上がり性	たれ	○	○	○
	泡	○	○	○
	ピンホール	○	○	○
	はじき	○	○	○
	割れ	○	○	○
	かすれ	○	○	○
平均膜厚(μm)		70	45	22

○：異状なし、＊：上水は静岡県富士宮市のものを使用した。

塗装系№B1、B2、B3 の水性ふっ素樹脂塗料上塗は、エアレス塗装作業性、塗着性共に問題はなかった。また、仕上がり性においても問題はなく、夏季施工性試験（塗装系№B1、B2、B3：たれ発生、塗装系№B1、B3：ピンホール発生、塗装系№B3：一部にはじき発生）に比べて改善がみられた。

塗装仕様№B3-1、B3-2 のはけ・ローラー塗装においては、塗装作業性、塗着性共に問題はなく､仕上がり性についても夏季施工性試験でみられたようなかすれはみられなかった。

５．３．４　追跡調査

（１）調査時期

初期　　：平成 22 年４月　６日

６ヶ月後：平成 22 年９月 10 日

（２）調査項目

１）塗膜外観観察

２）付着性（テープ付着試験、引張付着試験）

３）光沢保持率

４）色差

（３）調査結果

塗膜外観観察結果を表－5.3.9 に、付着性試験結果を表－5.3.10、11 に、光沢保持率および色差の結果を表－5.3.12 に示す。

表－6.3.9　塗膜外観観察結果

塗装系№		初期	６ヶ月後
B8		塗装直後の結露の影響で上塗塗膜につや引け傾向有り	初期調査以降の異状はなし
B1	塗料会社⑥	溶接部の塗膜割れ	溶接部の割れが広がっている
B2	塗料会社③	異状なし	異状なし
B9		塗装直後の結露の影響で上塗塗膜につや引け傾向有り	初期調査以降の異状はなし
B3	塗料会社②	異状なし	異状なし
B3-1	塗料会社②	異状なし	異状なし
B3-2	塗料会社③	異状なし	異状なし

表－5.3.10　付着性試験結果（テープ付着試験）

調査時期	塗装系No.		No.1	No.2
初期	B8		9／9	9／9
	B1	塗料会社⑥	0／9 （ジンク内：100%）	0／9 （ジンク内：100%）
	B2	塗料会社③	9／9	9／9
	B9		9／9	9／9
	B3	塗料会社②	9／9	9／9
	B3-1	塗料会社②	9／9	9／9
6ヶ月後	B8		9／9	9／9
	B1	塗料会社⑥	0／9 （ジンク内：100%）	0／9 （ジンク内：100%）
	B2	塗料会社③	0／9 （ジンク内：100%）	0／9 （ジンク内：100%）
	B9		9／9	9／9
	B3	塗料会社②	9／9	9／9
	B3-1	塗料会社②	9／9	9／9

表－5.3.11　付着性試験結果（引張付着試験）

調査時期	塗装系No.		No.1		No.2	
			付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)	付着強度 (MPa)	破断箇所 (%)
初期	B8		7.0＜	－	6.0	下塗内　：5 接着剤　：95
	B1	塗料会社⑥	0.9	ジンク内：100	0.9	ジンク内：100
	B2	塗料会社③	4.2	ジンク内：100	2.5	ジンク内：100
	B9		5.0	中塗内　：20 上塗内　：40 接着剤　：40	6.0	中塗内　：20 上塗内　：70 接着剤　：10
	B3	塗料会社②	4.0	ジンク内：100	3.2	ジンク内：100
	B3-1	塗料会社②	3.7	ジンク内：10 上塗内　：50 接着剤　：40	3.5	ジンク内：30 上塗内　：20 接着剤　：50
６ヶ月後	B8		3.0	ジンク内：30 下塗内　：10 上塗内　：30 接着剤　：30	3.5	ジンク内：10 上塗内　：40 接着剤　：50
	B1	塗料会社⑥	0.5＞	ジンク内：100	2.0	ジンク内：100
	B2	塗料会社③	2.8	ジンク内：50 接着剤　：50	3.0	ジンク内：80 接着剤　：20
	B9		2.0	ジンク内：45 中塗/上塗：15 上塗内　：15 接着剤　：25	4.8	ジンク内：20 中塗/上塗：5 上塗内　：30 接着剤　：45
	B3	塗料会社②	3.0	上塗内　：40 接着剤　：60	4.0	上塗内　：40 接着剤　：60
	B3-1	塗料会社②	1.0	ジンク内：20 中塗/上塗：75 上塗内　：5	1.5	中塗/上塗：80 上塗内　：15 接着剤　：5

表－5.3.12　光沢保持率および色差

調査時期	塗装系No.		水洗有無	60度鏡面光沢度	光沢保持率(%)	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
初期	B8		－	32.6	－	75.03	-0.16	-0.09	－
	B1	塗料会社⑥	－	63.1	－	66.36	-0.68	-3.89	－
	B2	塗料会社③	－	66.9	－	70.20	-0.20	-0.66	－
	B9		－	11.5	－	67.28	0.18	0.62	－
	B3	塗料会社②	－	52.9	－	69.19	-0.22	0.06	－
	B3-1	塗料会社②	－	40.2	－	69.4	-0.34	-0.20	－
6ヶ月後	B8		無	31.2	95.7	74.87	-0.20	-0.12	0.17
			有	32.9	100.9	74.98	-0.22	-0.10	0.08
	B1	塗料会社⑥	無	58.2	92.2	66.27	-0.72	-4.02	0.16
			有	66.1	104.8	65.67	-0.75	-3.67	0.73
	B2	塗料会社③	無	64.2	96.0	69.55	-0.17	-0.69	0.65
			有	71.8	107.3	69.91	-0.14	-0.76	0.31
	B9		無	8.1	70.4	66.16	0.17	1.71	1.56
			有	11.0	95.7	66.50	0.03	1.29	1.04
	B3	塗料会社②	無	48.8	92.2	68.80	-0.24	0.07	0.39
			有	51.4	97.2	68.55	-0.30	0.22	0.66
	B3-1	塗料会社②	無	35.1	87.3	65.60	-0.39	0.97	3.98
			有	52.5	130.6	68.92	-0.25	0.03	0.54

塗装系No.B1の付着性が、初期、6ヶ月後共にテープ付着試験で0／9（ジンク内:100%）、引張付着試験においても1.0MPa以下（ジンク内:100%）であり、夏季施工性試験同様に溶剤形（塗装系No.B8）と比べて低い結果であった。付着性が低い原因としては、破断箇所が水性ジンクリッチペイント塗膜凝集破壊 100%であることから、水性ジンクリッチペイント塗膜の硬化性の影響が大きいものと考える。

また、塗装系No.B2（ミストコートなし）において、6ヶ月後のテープ付着試験が 0／9（ジンク内:100%）で溶剤形塗料よりも劣る結果であった。この結果に関しては、夏季試験においても同様の傾向が認められた。

５．３．５　まとめ

施工性試験の結果より、各種水性塗料について以下のことが確認できた。

（１）水性無機ジンクリッチペイント

・塗装作業性については、エアレス塗装で支障なく塗装できることが確認できた。
・塗着性、乾燥性については、問題ないことが確認できた。
・仕上がり性については、夏季および冬季の試験塗装共に、腹板と下フランジおよびリブの溶接部（スプレーパターンが重なり厚塗りになりやすい個所）で塗膜割れが生じたことから、今後も塗膜割れ対策の検討が必要である。
・水性無機ジンクリッチペイントに水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装する際には、置換発泡対策としてミストコートが必要であることが確認できた。
・エアレス塗装機のフィルターに詰まりがみられた。

（2）水性有機ジンクリッチペイント

・塗装作業性については、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装で支障なく塗装できること確認できた。

・塗着性、乾燥性については、問題ないことが確認できた。

・仕上がり性については、夏季施工性試験に比べてたるみ性の向上がみられたが、スプレーパターンが重なり厚塗りになった箇所でたれが生じた。なお、５．４．２のたるみ性の室内試験において、溶剤形塗料同等以上の材料があることが確認できている。

・夏季および冬季の施工性試験において、水性有機ジンクリッチペイントに直接水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装しても置換発泡はみられなかった。

（3）ミストコート（水性エポキシ樹脂塗料下塗）

・塗装作業性については、エアレス塗装で支障がなく塗装できることが確認できた。

・乾燥性については、問題ないことが確認できた。

・仕上がり性については、置換発泡跡が残る傾向がみられた。この点については Wet 状態で再度１パス塗装することで回避できることが確認できたが、今後、塗料自体について改良する必要があると考える。

・溶剤形無機ジンクリッチペイントに水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗装する際は、置換発泡を抑えるためにミストコートが必要であることが確認できた。

（4）水性エポキシ樹脂塗料下塗

・塗装作業性については、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装で支障なく塗装できることが確認できた。

・塗着性、乾燥性については、問題ないことが確認できた。

・仕上がり性については、夏季施工性試験ではたれがみられたが、冬季施工性試験ではみられず、改善が認められた。

（5）水性ふっ素樹脂塗料用中塗

・塗装作業性については、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装で支障なく塗装できることが確認できた。

・塗着性、乾燥性については、問題ないことが確認できた。

・仕上がり性については、夏季施工性試験ではたれがみられたが、冬季施工性試験ではみられず、改善が認められた。

（6）水性ふっ素樹脂塗料上塗

・塗装作業性については、エアレス塗装、はけ・ローラー塗装で支障なく塗装できることが確認できた。

・塗着性、乾燥性については、問題ないことが確認できた。

・仕上がり性については、夏季施工性試験ではたれ、かすれがみられたが、冬季施工性試験ではみられず、改善が認められた。

以上の結果より、水性有機ジンクリッチペイント、水性エポキシ樹脂塗料下塗、水性ふっ素樹脂塗料用中塗、水性ふっ素樹脂塗料上塗については、大きな支障がなく施工できることが確認できた。

今後、水性塗料の実用化に当たっては、水性塗料自体の施工性の向上を図っていくと共に、使用者側においも水性塗料の特性を理解した上で、塗装に適した環境、時期等を選定する配慮を持ってもらう必要があると考える。

追跡調査については、今後も引き続き行っていく予定である。

５．４　水性塗料の施工性に関する課題の検討

橋梁模擬桁を用いた施工性試験の結果より課題として挙がった、水性無機ジンクリッチペイントの割れおよび付着性、水性有機ジンクリッチペイントおよび水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性（たれ）に関して室内試験で検討を行った。また、水性ふっ素樹脂塗料上塗の防汚性について評価した。

５．４．１　水性無機ジンクリッチペイントの施工性

（１）試験目的

橋梁模擬桁を用いた施工性試験では、夏季、および冬季ともに橋梁模擬桁の溶接線上に水性無機ジンクリッチペイント塗膜の割れが発生した。また、施工性試験後の追跡調査（初期）では、水性無機ジンクリッチペイントと鋼材面との付着性が良くなかった。これら現象は、水性無機ジンクリッチペイントの塗膜厚と乾燥条件による影響が大きいと推定されるので、室内試験において水性無機ジンクリッチペイントの膜厚と乾燥条件（湿度）を変えて割れ性と付着性を確認した。

（２）試験方法

１）試験板の作製

水性無機ジンクリッチペイント、および比較用の溶剤形無機ジンクリッチペイントをブラスト処理鋼板（300㎜×450㎜×3.2㎜）にエアスプレーで膜厚を薄膜から厚膜に変化（傾斜塗り）させて塗付し、室内，および高湿度条件（水を入れた密閉容器）で水性無機ジンクリッチペイント塗膜を乾燥させた。

なお、付着性試験用試験板には、水性無機ジンクリッチペイントを乾燥させた後、さらにミストコート，水性エポキシ樹脂塗料下塗を塗り重ねた。比較用の溶剤形無機ジンクリッチペイントには溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗を塗装した。

２）供試塗料

・水性無機ジンクリッチペイント　６種類（塗料会社①～⑥）
・水性エポキシ樹脂塗料下塗　６種類（塗料会社①～⑥）
・溶剤形無機ジンクリッチペイント　１種類
・溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗　１種類

３）評価方法

作製した試験板の塗膜外観に割れ等の異状の有無を目視により観察した。また、付着性試験板では、プルオフ法での付着力測定、碁盤目テープ法での付着性試験を行った。

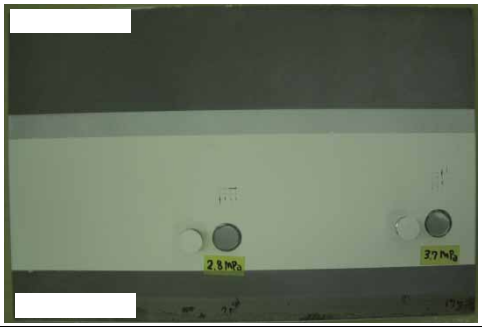
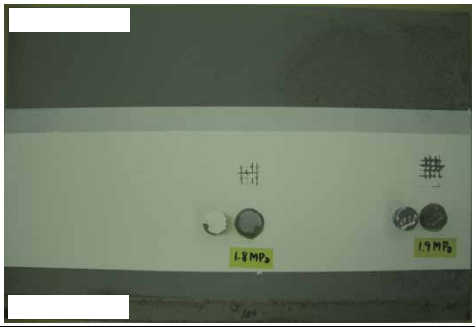
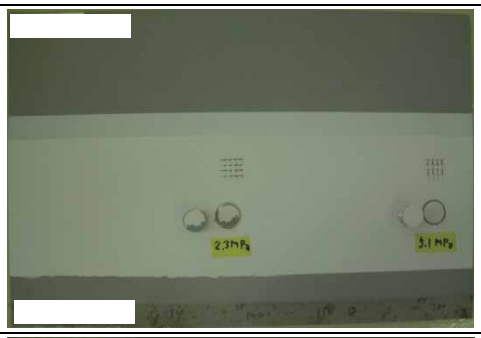
（３）結果

水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観結果（割れ）を表－5.4.1、付着性試験結果を表－5.4.2、水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観状態を図－5.4.1（1)、(2)、図－5. 4.2(1)、(2)、付着性試験結果写真を図－5.4.3(1)、(2)、図－5.4.4、水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観の異状例を写真－5.4.1～4 に示す。

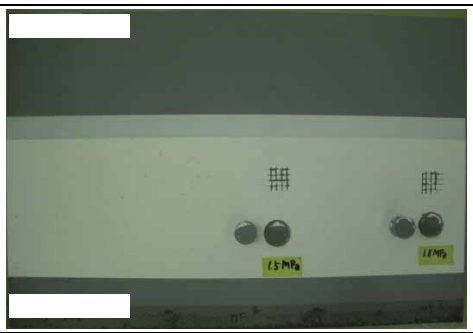
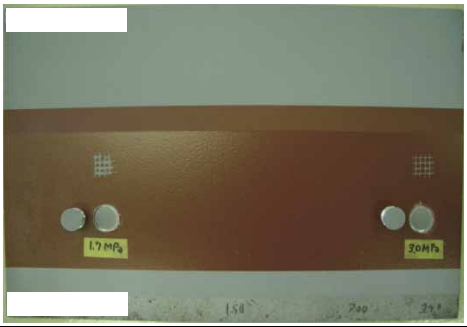
表－5.4.1　水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観結果（割れ）

乾燥条件	室内			高湿度		
塗料会社	塗膜外観（割れの有無）		たれ限界膜厚（μm）	塗膜外観（割れの有無）		たれ限界膜厚（μm）
	標準膜厚（75μm）	厚膜		標準膜厚（75μm）	厚膜	
①	無	無	130	無	無	150
②	無	無	120	無	無	150
③	無	無	150	無	有（243）＊	190
④	無	有（115）＊	160	無	有（200）＊	200
⑤	無	有（160）＊	338	無	有（194）＊	280
⑥	無	無	90	無	無	70
溶剤形	無	無	210	無	有（150）＊	180

＊：（　）は割れが発生した乾燥膜厚を示す。

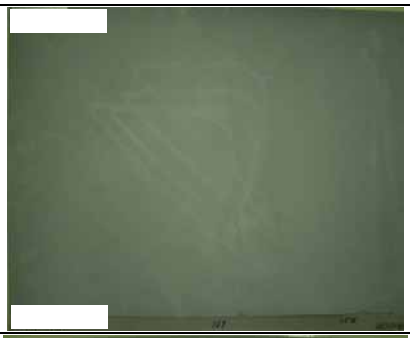
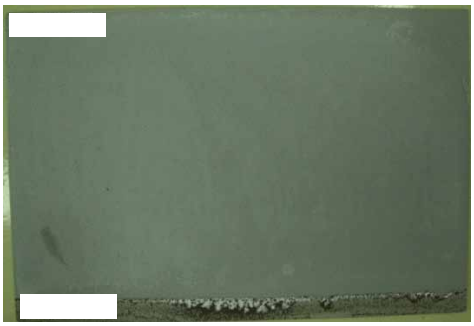
塗料 会社	乾燥条件：室内	乾燥条件：高湿度
①		
②		
③		
④		
⑤		

図－5.4.1(1)　水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観状態
（水性無機ジンクリッチペイント＋ミストコート＋水性エポキシ樹脂塗料下塗）

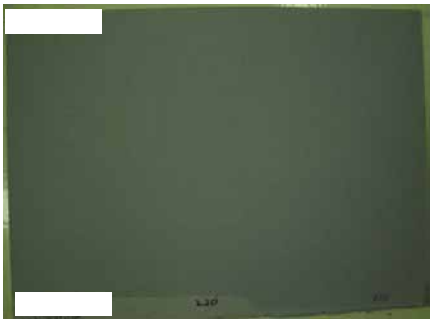
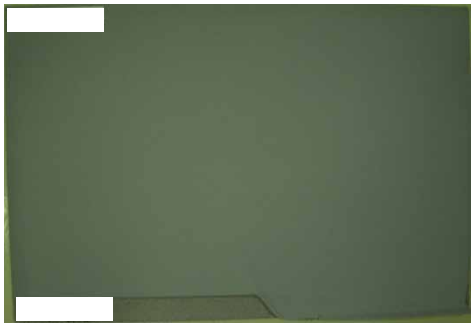
塗料 会社	乾燥条件：室内	乾燥条件：高湿度
⑥		
溶剤形		

図－5.4.1(2)　水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観状態

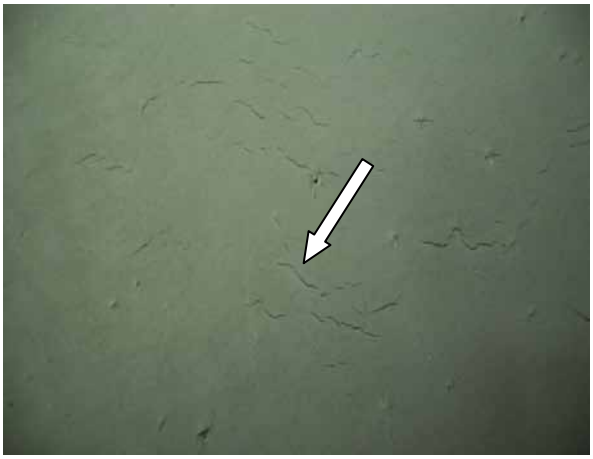
（水性無機ジンクリッチペイント＋ミストコート＋水性エポキシ樹脂塗料下塗）

塗料 会社	乾燥条件：室内	乾燥条件：高湿度
①		
②		
③		
⑤		

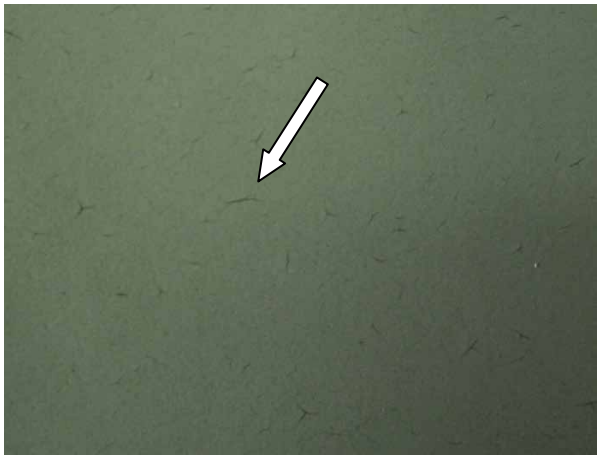
図－5.4.2(1)　水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観状態
（水性無機ジンクリッチペイント単膜（厚膜））

塗料 会社	乾燥条件：室内	乾燥条件：高湿度
⑥		
溶剤形		

図－5.4.2(2)　水性無機ジンクリッチペイントの塗膜外観状態
（水性無機ジンクリッチペイント単膜（厚膜））



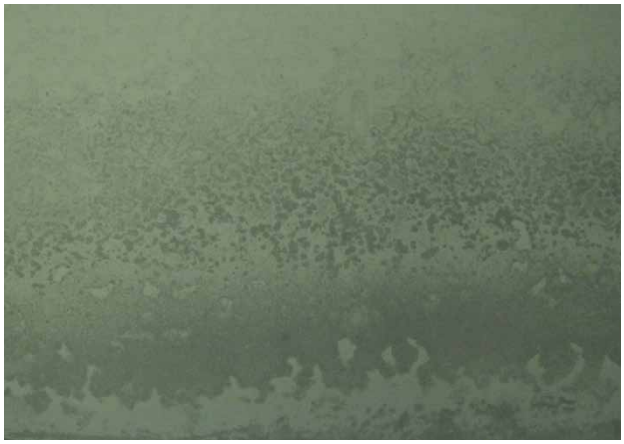
写真－5.4.1　水性無機ジンクリッチペイント塗膜の厚膜部の割れ
（塗料会社③、乾燥条件：高湿度）



写真－5.4.2　水性無機ジンクリッチペイント塗膜の厚膜部の割れ
（塗料会社⑤、乾燥条件：高湿度）



写真－5.4.3　水性無機ジンクリッチペイント塗膜たれ部の割れ
（塗料会社②、乾燥条件：高湿度）



写真－5.4.4　水性無機ジンクリッチペイント塗膜表面に生じたむら
（塗料会社①、乾燥条件：高湿度）

表－5.4.2(1)　付着力測定結果

塗料会社	評価項目	乾燥条件：室内		乾燥条件：高湿度	
		標準膜厚(75μm)	厚膜	標準膜厚(75μm)	厚膜
①	付着強度(MPa)	2.8	3.7	1.8	1.9
	破断箇所(%)	ミスト内：100	ミスト内：90 ジンク内：10	ミスト内：90 ジンク内：10	ミスト内：80 ジンク内：20
	碁盤目テープ法	８／９	８／９	７／９	４／９
②	付着強度(MPa)	3.0	3.1	1.0	1.9
	破断箇所(%)	ジンク内：100	ジンク内 100	ジンク内 100	ジンク内 100
	碁盤目テープ法	７／９	７／９	１／９	６／９
③	付着強度(MPa)	1.9	1.2	1.7	1.0
	破断箇所(%)	ジンク内：100	ジンク内：100	ジンク内：100	ジンク内：100
	碁盤目テープ法	４／９	３／９	２／９	０／９
④	付着強度(MPa)	2.3	5.1	2.2	1.0
	破断箇所(%)	ジンク内：30 エポキシ内：70	エポキシ内:100	ジンク内：10 ミスト内：10 エポキシ内：80	ジンク内：100
	碁盤目テープ法	７／９	７／９	６／９	４／９
⑤	付着強度(MPa)	3.1	2.1	2.0	2.0
	破断箇所(%)	ミスト内：100	ミスト内：95 ジンク内：5	ミスト内：95 ジンク内：5	ミスト内：90 ジンク内：10
	碁盤目テープ法	８／９	７／９	８／９	７／９

表－5.4.2(2)　付着力測定結果

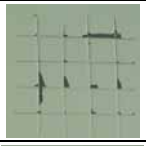
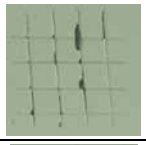
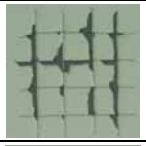
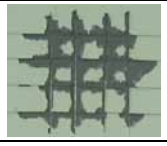
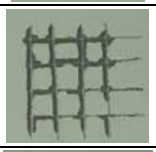
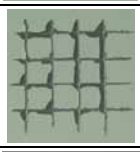
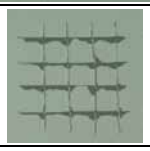
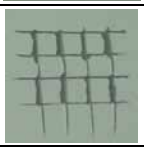
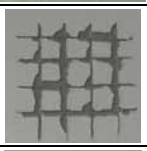
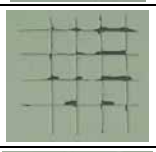
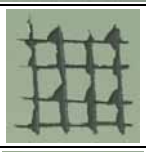
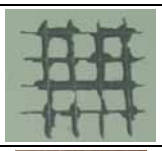
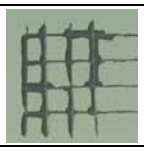
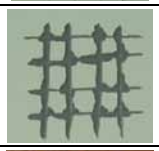
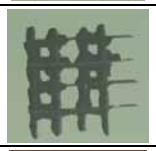
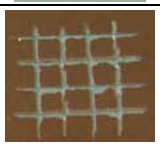
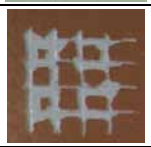
塗料会社	評価項目	乾燥条件：室内		乾燥条件：高湿度	
		標準膜厚（75μm）	厚膜	標準膜厚（75μm）	厚膜
⑥	付着強度（MPa）	1.5	1.8	1.2	0.8
	破断箇所（%）	ジンク内：90 エポキシ内：10	ジンク内：90 エポキシ内：10	ジンク内：100	ジンク内：100
	碁盤目テープ法	6／9	7／9	6／9	5／9
溶剤形	付着強度（MPa）	1.7	3.0	1.4	1.8
	破断箇所（%）	ジンク内：100	ジンク内：100	ジンク内：100	ジンク内：100
	碁盤目テープ法	5／9	8／9	7／9	6／9

塗料会社	乾燥条件	標準膜厚	厚膜
①	室内		
	高湿度		
②	室内		
	高湿度		
③	室内		
	高湿度		
④	室内		
	高湿度		
⑤	室内		
	高湿度		

図－5.4.3(1)　付着力測定（プルオフ法）結果写真

塗料会社	乾燥条件	標準膜厚	厚膜
⑥	室内		
	高湿度		
溶剤形	室内		
	高湿度		

図－5.4.3(2)　付着力測定（プルオフ法）結果写真

塗料会社	乾燥条件：室内		乾燥条件：高湿度	
	標準膜厚	厚膜	標準膜厚	厚膜
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
溶剤形				

図－5.4.4　付着性（碁盤目テープ法）結果写真

（4）まとめ

水性無機ジンクリッチペイントが標準膜厚（75μm）である場合には、乾燥条件が常温常湿、あるいは常温高湿度であっても塗膜外観に大きな異状はみられなかったが、厚膜（例えば160μm以上）になった場合には、塗膜に割れが発生したサンプルもみられた。また、乾燥条件の違いによるたれ限界膜厚には大きな差はみられなかった。溶剤形無機ジンクリッチペイントと比較すると、水性無機ジンクリッチペイントは、たれ限界膜厚は低い傾向であった。常温常湿の乾燥条件で比較した場合には、水性無機ジンクリッチペイントは塗膜に割れが発生し易い傾向が認められた。

付着力測定の結果では、水性無機ジンクリッチペイントは高湿度条件で養生された場合には常温常湿の条件に比べて、付着力は低い傾向があった。

５．４．２　水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性

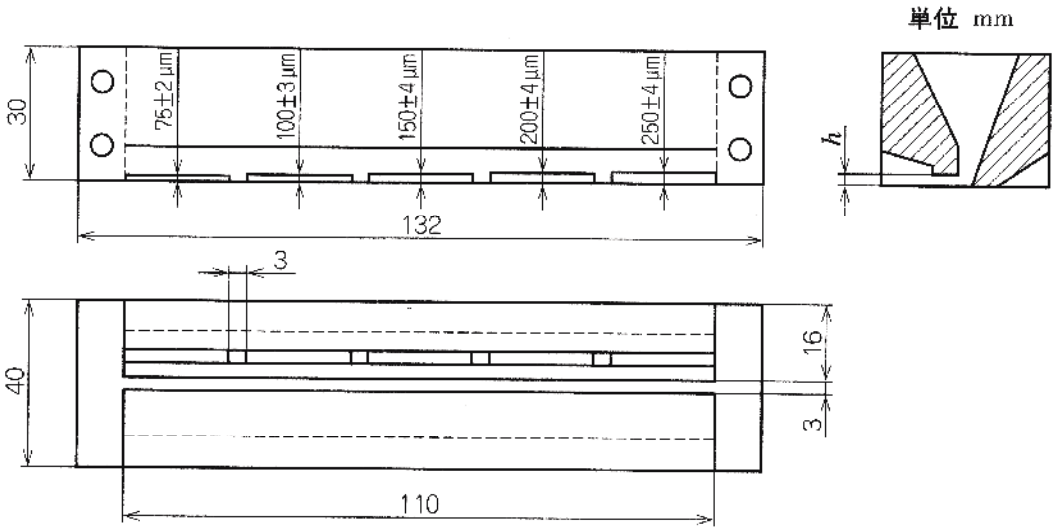
（1）目的

橋梁模擬桁を用いての水性塗料の施工性試験において、水性有機ジンクリッチペイントのたれがみられた。このため、水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性（たれ）を室内試験で確認した。

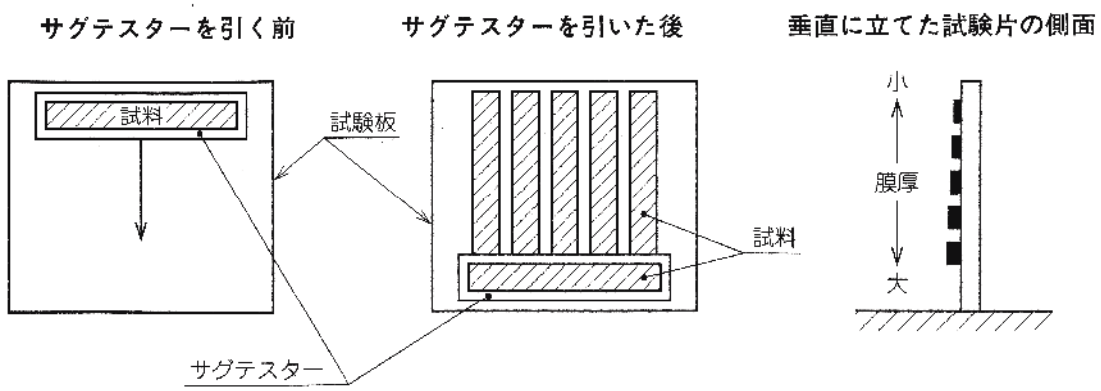
（2）試験要領

1）試験方法

水性有機ジンクリッチペイントをリオン粘度計での粘度が 2.0～2.5Pa･s になるように水で希釈調整した後、みがき軟鋼板にサグテスターを用いて塗布した。塗付後、標準養生（23℃、50%RH)、および高湿度養生（23℃、90%RH）の条件下で試験板を垂直に保ち乾燥させ、塗膜のたれ性を評価した。なお、たれ性の評価は、JIS K5551:2008 構造物用さび止めペイント 7.9 たるみ性に準拠して行った。サグテスターの例を図－5.4.5、試験の手順を図－5.4.6 に示す。



図－5.4.5　サグテスターの例



図－5.4.6　試験の手順

２）供試サンプル

・水性有機ジンクリッチペイント　６種類（塗料会社①～⑥）

・溶剤形有機ジンクリッチペイント　１種類

（３）試験結果

水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性試験結果を表－5.4.3、図－5.4.7(1)～(3)に示す。

表－5.4.3　水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性結果

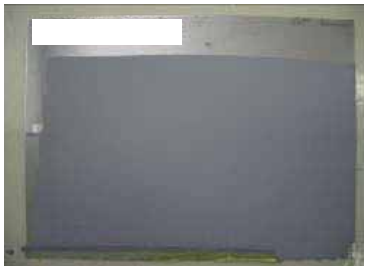
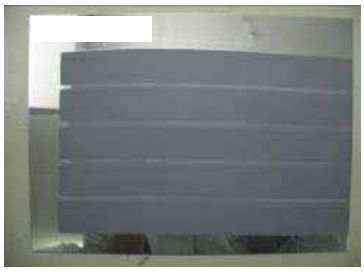
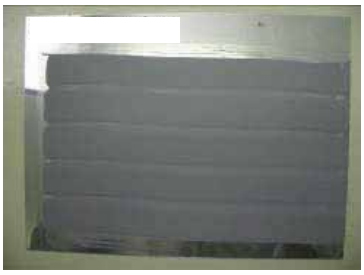
		①	②	③	④	⑤	⑥	溶剤形
希釈率（%）		8	7	1	2	3	3	4
粘度*1		2.2	2.0	2.2	2.4	2.1	2.2	1.5
粘度（6rpm）*2		7.2	4.1	11.4	7.3	5.0	15.0	9.2
粘度（60rpm）*2		2.9	1.8	3.3	2.8	2.6	2.6	1.3
TI値*3		2.5	2.3	3.5	2.6	1.9	5.8	7.1
標準養生	たれ限界膜厚（μm）	316	40	314以上	56	66	105	150
高湿度養生	たれ限界膜厚（μm）	307以上	43	308以上	62	67	84	216

*1：リオン粘度計で測定した塗料粘度（Pa･s）

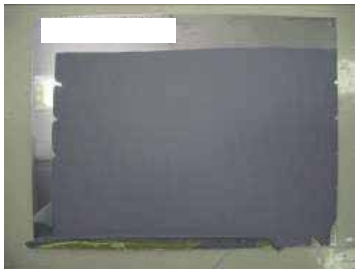
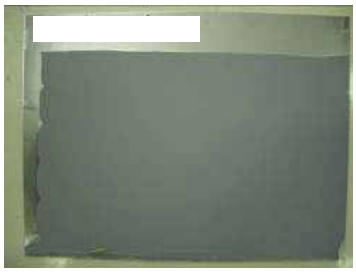
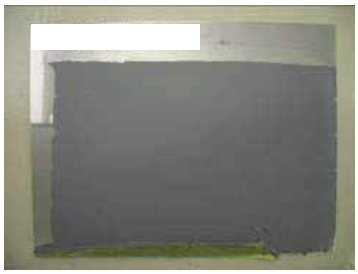
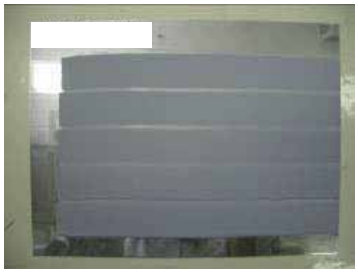
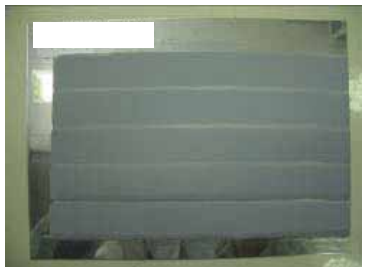
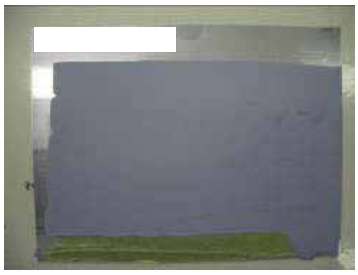
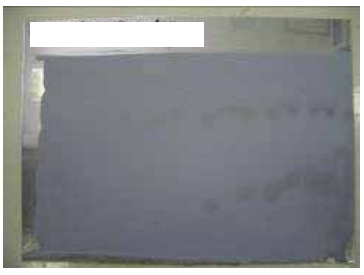
*2：B型粘度計で回転数６rpm，または60rpmの条件で測定した塗料粘度（Pa･s）

*3：チクソトロピーインデックス、TI値＝６rpmでの測定粘度／60rpmでの測定粘度

TI値が高いほどたれ限界膜厚が大きくなる傾向にある。

塗料会社	サグテスター	標準養生	高湿度養生
①	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
②	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
③	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		

図－5.4.7(1)　水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性試験結果

塗料会社	サグテスター	標準養生	高湿度養生
④	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
⑤	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
⑥	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		

図－5.4.7(2)　水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性試験結果

塗料会社	サグテスター	標準養生	高湿度養生
溶剤形	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		

図－5.4.7(3)　水性有機ジンクリッチペイントの厚塗り性試験結果

（4）まとめ

水性有機ジンクリッチペイントは溶剤形有機ジンクリッチペイントに比べて、TI値が小さく、たれ限界膜厚が低いものもみられたが、溶剤形と同等以上のたれ限界膜厚であった水性有機ジンクリッチペイントもあった。たれ限界膜厚が乾燥膜厚75μm以下であるものはエアレススプレー塗装で目標膜厚75μmとした場合には、たれ易いと推定される。

５．４．３　水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性

（1）目的

橋梁模擬桁を用いての水性塗料の施工性試験において、水性エポキシ樹脂塗料下塗はたれがみられた。このため、水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性（たれ）を室内試験で確認する。

（2）試験要領

1）試験方法

水性エポキシ樹脂塗料下塗をリオン粘度計での粘度が 2.0～2.5Pa･s になるように水で希釈調整した後、みがき軟鋼板にサグテスターを用いて塗布した。塗付後、標準養生（23℃、50%RH)、および高湿度養生（23℃、90%RH）の条件下で試験板を垂直に保ち乾燥させ、塗膜のたれ性を評価した。なお、たれ性の評価は、水性有機ジンクリッチペイントと同様な方法で行った。

2）供試塗料

・水性エポキシ樹脂塗料下塗　６種類（塗料会社①～⑥）

・溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗　１種類

（３）試験結果

水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性試験結果を表－5.4.4、図－5.4.6に示す。

表－5.4.4　水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性結果

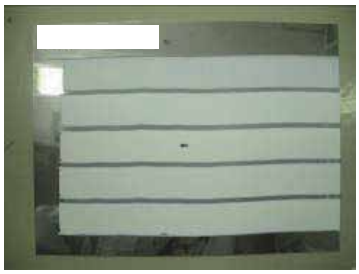
		①	②	③	④	⑤	⑥	溶剤形
希釈率（%）		13	8	3	3	5	13	8
粘度*1		2.4	2.2	2.5	2.3	2.0	2.4	0.4
粘度（6rpm）*2		10.2	4.7	10.0	11.2	5.3	13.3	1.45
粘度（60rpm）*2		2.9	2.4	2.6	3.0	2.5	1.9	0.36
TI値*3		3.5	2.0	3.8	3.7	2.1	7.1	4
標準養生	たれ限界膜厚（μm）	130	44	107	75	63	88	100
高湿度養生	たれ限界膜厚（μm）	153	44	102	75	62	79	118

*1：リオン粘度計で測定した塗料粘度（Pa･s）

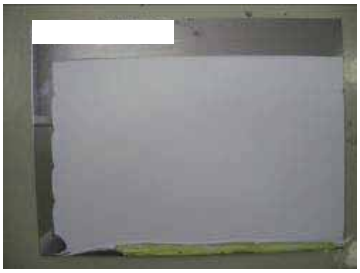
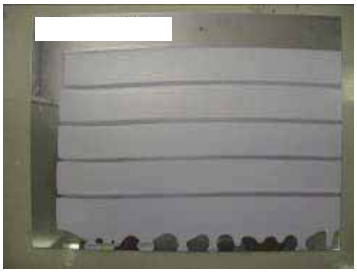
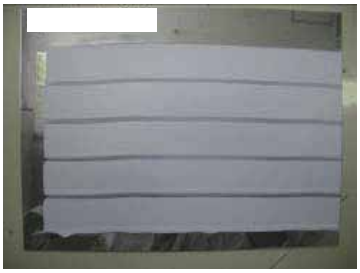
*2：B型粘度計で回転数６rpm，または60rpmの条件で測定した塗料粘度（Pa･s）

*3：チクソトロピーインデックス、TI値＝６rpmでの測定粘度／60rpmでの測定粘度

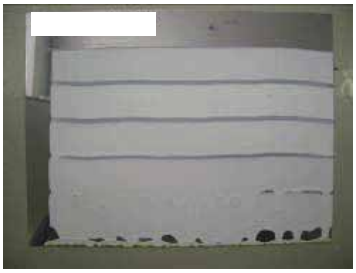
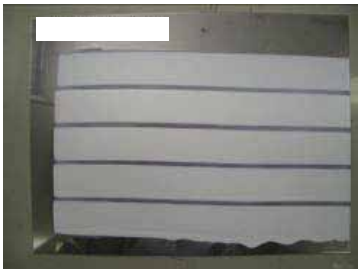
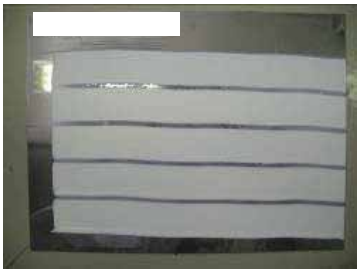
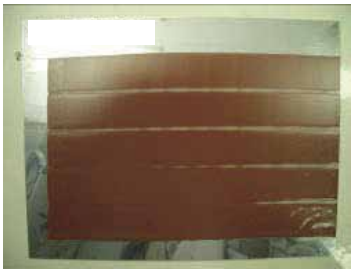
TI値が高いほどたれ限界膜厚が大きくなる傾向にある。

塗料会社	サグテスター	標準養生	高湿度養生
①	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		

図－5.4.6(1)　水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性試験結果

塗料会社	サグテスター	標準養生	高湿度養生
②	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
③	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
④	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		

図－5.4.6(2)　水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性試験結果

塗料会社	サグテスター	標準養生	高湿度養生
⑤	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
⑥	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		
溶剤形	隙間 100～500μm		
	隙間 600～1000μm		

図－5.4.6(3)　水性エポキシ樹脂塗料下塗の厚塗り性試験結果

（４）まとめ

溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗と同等以上のたれ限界膜厚をもつ水性エポキシ樹脂塗料下塗のサンプルもあった。たれ限界膜厚が60μm程度の場合には、目標乾燥膜厚60μmとして塗装された場合には、たれ易いと予想される。

５．４．４　水性ふっ素樹脂塗料上塗の防汚性

（１）試験目的

鋼道路塗装・防食便覧（平成 17 年 12 月）では、都市内などで自動車排ガスなどによる構造物に汚れが目立つ場合には土木用防汚材料を上塗に適用すると、記載されている。このため水性ふっ素樹脂塗料上塗の防汚性の確認試験を行った。

（２）試験内容

１）試験片の作製

水性ふっ素樹脂塗料上塗（色相：白）を試験板にエアスプレーで塗付し、乾燥させ試験片を作製した。

２）試験および評価方法

防汚材料評価促進試験方法Ⅰ（案）に準拠して試験を行った。あらかじめ試験前の明度を色彩計で測定した。その後、規定の前処理を行い、懸濁溶液（カーボンブラック 5.0%, 脱イオン水 95.0%）を脱イオン水にて希釈し、エアスプレーで試験片の表面に均一に隠蔽するまで塗付し、60℃で１時間乾燥させた後、流水下で試験片表面の汚れ物質をガーゼで落としながら洗浄した。洗浄後、室温で３時間乾燥させた後、試験後の明度を色彩計で測定した。評価は、「明度差（△L*）＝試験後の明度（L_1*）－試験前の明度（L_0*）」で行った。なお、防汚材料評価促進試験方法Ⅰ（案）では、合格値は明度差（△L*）＝-7.00 以上とされている。

３）供試塗料

・水性ふっ素樹脂塗料上塗　７種類

（３）試験結果

防汚材料評価促進試験方法Ⅰ（案）での試験結果を表－5.4.5 に示す。

表－5.4.5　防汚材料評価促進試験方法Ⅰ（案）の試験結果

塗料会社	測定数	試験前			試験後			△L*
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	
①－１	1	95.43	-0.42	0.57	40.18	1.06	5.81	
	2	95.51	-0.43	0.61	41.61	1.21	6.18	
	3	95.50	-0.46	0.64	48.05	1.20	7.43	
	平均	95.48	-0.44	0.61	43.28	1.16	6.47	-52.20
①－２	1	95.58	-0.57	1.31	88.88	0.02	2.04	
	2	95.63	-0.56	1.39	87.54	0.06	2.12	
	3	95.61	-0.57	1.40	88.45	0.02	2.00	
	平均	95.61	-0.57	1.37	88.29	0.03	2.05	-7.32
②	1	94.40	-0.66	0.66	57.15	0.94	6.31	
	2	94.55	-0.68	0.78	59.50	0.89	6.26	
	3	－	－	－	61.98	0.81	6.05	
	平均	94.48	-0.67	0.72	59.54	0.88	6.21	-34.94
③	1	95.56	-0.61	0.45	65.47	0.86	5.83	
	2	95.41	-0.60	0.38	64.94	0.86	5.76	
	3	95.25	-0.64	0.26	65.43	0.81	5.76	
	平均	95.41	-0.62	0.36	65.28	0.84	5.78	-30.13
④	1	93.24	-0.70	-0.26	70.42	0.74	5.29	
	2	93.45	-0.72	-0.21	69.17	0.68	5.53	
	3	92.59	-0.72	-0.57	69.34	0.63	5.38	
	平均	93.09	-0.71	-0.35	69.64	0.68	5.40	-23.45
⑤	1	94.96	-0.46	0.52	67.87	0.86	6.01	
	2	94.97	-0.44	0.52	68.04	0.86	5.99	
	3	94.89	-0.48	0.46	65.75	0.92	6.09	
	平均	94.94	-0.46	0.50	67.22	0.88	6.03	-27.72
⑥	1	95.74	-0.53	0.17	45.15	1.63	7.29	
	2	96.34	-0.49	0.55	43.55	1.80	7.54	
	3	96.59	-0.53	0.73	46.15	1.78	7.76	
	平均	96.22	-0.52	0.48	44.95	1.74	7.53	-51.27

表中「－」は、測定値なし

（4）まとめ

水性ふっ素樹脂塗料上塗は、防汚材料評価促進試験方法Ⅰ（案）の試験において、何れの塗料も明度差△L*＝-7.00 以下であり、大半の塗料が、明度差△L*＝-20 以下の値を示した。本結果から水性ふっ素樹脂塗料上塗は汚れやすいことが推測され、本塗料の防汚性については、今後の改良課題である。

６．結論

６．１　VOC削減率

各水性塗装系で期待できるVOC削減率は以下の通りである。

（１）C－5 塗装系の塗膜性能を目標とする新設塗装を想定し、全てに水性塗料を適用した塗装系No.B1では、約90％程度のVOC削減率が期待できる。

（２）C－5 塗装系の塗膜性能を目標とする新設塗装を想定し、無機ジンクリッチペイントのみ溶剤形塗料を適用した塗装系No.B2では、約70％程度のVOC 削減率が期待できる。

（３）Rc－Ⅰ塗装系の塗膜性能を目標とする塗替塗装で素地調整程度１種を想定し、全てに水性塗料を適用した塗装系No.B3では、約90％程度のVOC 削減率が期待できる。

（４）Rc－Ⅲ塗装系の塗膜性能を目標とする塗替塗装で素地調整程度３種を想定し、全てに水性塗料を適用した塗装系No.B4では、約90％程度のVOC 削減率が期待できる。

６．２　水性塗料の塗膜性能

６．２．１　新設用塗装系の塗膜性能

（１）塗装系 No.B1

屋外暴露３年の結果より、塗装系 No.B1 の防食性は溶剤形塗装系と比較して明確な有意差は認められなかった。ただし、一部の試験板においては裏面のカット部で顕著な膨れが見られたり、付着試験で十分な強度を示さずに無機ジンクリッチペイントの塗膜層内から凝集破断したりするものも見られた。また、一部の試験板において、中塗と上塗の界面で生じた微小な膨れが見られた。

促進防食性試験の結果より、塗装系 No.B1 の防食性は溶剤形仕様と比較して明確な有意差は認められなかった。ただし、一部の試験板において、カット部で大きな膨れ幅が見られた。

（２）塗装系 No.B2

屋外暴露３年の結果より、塗装系 No.B2 の防食性は溶剤形仕様と比較して明確な有意差は認められなかった。

促進防食性試験の結果より、塗装系 No.B2 の防食性は溶剤形塗装系と比較して明確な有意差は認められなかった。

（３）水性ふっ素樹脂塗料上塗の耐候性（６．２．１、６．２．２に共通）

沖縄およびつくばにおける屋外暴露試験３年、キセノンランプ法促進耐候性試験2000 時間の結果より、水性ふっ素樹脂塗料上塗は溶剤形ふっ素樹脂塗料と同等の耐候性であることが確認された。ただし、一部の試験板で溶剤形塗料よりも劣るサンプルも見られた。

（４）塗膜物性（６．２．１、６．２．２に共通）

無機ジンクリッチペイント、または有機ジンクリッチペイントを除いた下塗から上塗までの水性仕様の塗膜は、酸素透過係数、透湿度ともに溶剤形仕様と大差のない数値であった。これらの結果から、水性塗料の塗膜の環境遮断性は、溶剤形塗料とほぼ同等の性能を有していることが確認できた。

水性塗料の塗膜の引張破断強度、引張破断時の伸び率ともに溶剤形塗料とほぼ同等の数

値であった。水性塗料の塗膜は十分な強さを持ち、実用上の引張に耐える伸びを有していることがわかった。

水性塗料の塗膜の応力緩和の半減期は、溶剤形塗料と大差のない数値であり、水性塗料の塗膜は十分な応力緩和能を持つことが確認できた。

６．２．２　塗替用塗装系の塗膜性能

（１）塗装系No.B3

屋外暴露３年の結果より、塗装系No.B3の防食性は溶剤形塗装系と比較して明確な有意差は認められなかった。ただし、一部の試験板において、裏面のカット部で顕著な膨れが発生するものも見られた。

促進防食性試験の結果より、塗装系No.B3の防食性は溶剤形仕様と比較して明確な有意差は認められなかった。

（２）塗装系No.B4

屋外暴露試験の結果より、塗装系No.B4の防食性は溶剤形塗装系と比較して明確な有意差は認められなかった。ただし、一部の試験板において、程度の大きい膨れが見られた。

促進防食性試験の結果より、塗装系No.B4の防食性は溶剤形塗装系と比較して明確な有意差は認められなかった。

６．３　水性塗料の施工性

（１）水性塗料全般

水性塗料全般として、低温や高湿度の条件においては乾燥しにくいため、塗膜形成する前に降雨の影響や結露が起こると白化やつや引け等の塗膜表面の変状が起こる。さらに塗膜の流出、膨れ等の防食性能への影響が懸念される現象も起こる可能性もある。

また、低温や高湿度の条件下では塗料がたれる現象が起こり易く、特に添接部では要注意である。一方で、薄めに塗装すると乾燥後にかすれた仕上がりになりやすい。各塗料についての詳細を以下（２）から（７）で述べる。

（２）水性無機ジンクリッチペイント

水性無機ジンクリッチペイントの空隙率は溶剤形塗料と大差はないが、ミストコート塗装後に破泡跡が残り易い傾向がある。薄膜では造膜しにくく、厚膜になると割れ易い傾向があり、塗装管理幅は溶剤形と比べて狭い。また、溶接線の上でも割れる現象が確認されている。さらに、エアレス塗装機の内部に詰まり易く、水性無機ジンクリッチペイントの現状の品質では、施工性の点で問題が多く、塗装系No.B1の実用化は難しい。

（３）溶剤形無機ジンクリッチペイント

溶剤形無機ジンクリッチペイントの上に水性エポキシ樹脂塗料を塗装する塗装系 No.B2については、ミストコートなしでは破泡跡が残る傾向があり、ミストコートを行うことで破泡跡は残りにくく、良好な仕上がりが得られる。塗装系 No.B2 ではミストコートは必須である。

（４）水性有機ジンクリッチペイント

水性有機ジンクリッチペイントの空隙率は溶剤形塗料より高い傾向にある。基本的には

ミストコートは必要としないが、溶剤形塗料よりも破泡跡が残る可能性が大きいので更なる詳細な確認が必要である。また、厚膜になるとたれ易い傾向あり、現状では乾燥膜厚75μmを1回塗りで確保するのは困難である。乾燥膜厚37.5μmを2回塗りが望ましい。

（５）水性エポキシ樹脂塗料下塗

水性エポキシ樹脂塗料下塗は、改良されつつあるが現状では溶剤形と比べて厚塗り性が低い。乾燥膜厚60μmを確保するためには慎重な施工管理が必要となる。希釈率を高めると、溶剤形塗料と挙動が異なり、粘性挙動はニュートン流動に近づくため、希釈率や粘度の管理も慎重を要する。現状では1回塗り当たりの乾燥膜厚は40μm程度が望ましい。

また、低温や高湿度な環境で施工した場合、暴露早期で一般部に膨れを発生する場合もあるので施工時の環境管理に注意が必要である。

さらに、水性塗料は溶剤形塗料と比べてさび層への浸透性が低いと考えられる。さびの除去が不十分であると残存さび層が脆弱層となり、防食性に影響を及ぼす。また、暴露早期で一般部に膨れを発生することもあり、素地調整における配慮は溶剤形塗料と比べてより重要である。

（６）水性ふっ素樹脂塗料用中塗

水性ふっ素樹脂塗料用中塗は、厚膜になるとたれ易く、溶剤形塗料と比べて塗装管理幅が狭いため、慎重な施工管理を要する。

（７）水性ふっ素樹脂塗料上塗

水性ふっ素樹脂塗料上塗は、厚膜になるとたれ易く、溶剤形塗料と比べて塗装管理幅が狭いため、慎重な施工管理を要する。

６．４　今後の課題

（１）水性塗料は溶剤形塗料と粘性挙動が異なるため、はけ・ローラーで均一な膜厚に塗装することは難しく、一方で厚膜になるとたれやすい。これらの点を改善し、塗装作業幅の向上が必要である。

（２）水性塗料は、低温や高湿度環境下では塗膜は乾燥しにくく、そのような環境で形成した塗膜は、経年で膨れを発生する懸念がある。このような条件下での乾燥性を改善し、乾燥過程に受ける降雨や結露の影響を少なくする必要がある。

（３）溶剤形塗料と比べて塗装時の残存さびの影響が大きいため、水性塗料を施工する前の素地調整方法や程度の更なる検証が必要である。

（４）水性塗料塗装系の長期耐久性を評価するために、屋外暴露試験は継続が必要である。

7．道路橋塗装の VOC 削減暫定塗装仕様

7．1　新設用塗装仕様

（1）防食下地に水性無機ジンクリッチペイントを適用した提案塗装系 No.B1 は、屋外暴露試験、促進劣化試験で鋼道路橋塗装・防食便覧 C-5 塗装系と同等の結果が得られた。施工性評価試験では水性無機ジンクリッチペイントの溶接部における塗膜割れが確認され、室内評価試験でもたれ限界や割れ限界が溶剤形無機ジンクリッチペイントに比較するとやや劣り、施工時の湿度条件の影響を受けやすく、膜厚許容幅も狭いことがわかった。また、ミストコートを施しても上塗に泡が生じることが確認された。以上のことから、現段階では本仕様の確立は困難であると考える。たれ・割れに対しては今後も改善検討が必要である。

（2）防食下地に溶剤形無機ジンクリッチペイントを適用した提案塗装系 No.B2 は、屋外暴露試験､促進劣化試験で鋼道路橋塗装･防食便覧 C-5 塗装系と同等の結果が得られた。施工性評価試験と室内評価試験から水性エポキシ樹脂塗料によるミストコート塗装を実施すると、置換発泡を抑制することができ、その後の塗り重ねに支障がないことが確認された。但し、ミストコート時の希釈率は溶剤形とは異なり、希釈率を 30%程度に抑えて薄塗り塗装もしくは Wet 状態で再度１パス塗装することが効果的であると考える。以上のことから、鋼道路橋塗装・防食便覧 C-5 塗装系の置き換えは可能と考えられる。但し、水性エポキシ樹脂塗料の膜厚設定については今後の検討課題とする。表－7.1.1 に新設塗装 VOC 削減暫定提案塗装仕様を示す。

表－7.1.1　新設塗装 VOC 削減暫定提案塗装仕様（スプレー塗装）

	便覧 C-5 塗装系	VOC 削減暫定提案塗装仕様	塗装間隔
素地調整程度	ブラスト処理　ISO Sa2 1/2		4 時間以内
防食下地	無機ジンクリッチペイント 75μm(600g/m²)	無機ジンクリッチペイント 75μm(600g/m²)	1 日～10 日
ミスト コート	エポキシ樹脂塗料下塗 －(160g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 －(160g/m²)	1 日～10 日
下塗 1 層目	エポキシ樹脂塗料下塗 120μm(540g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm(200g/m²)	1 日～10 日
下塗 2 層目	－	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm(200g/m²)	1 日～10 日
下塗 3 層目	－	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm(200g/m²)	1 日～10 日
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(170g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(170g/m²)	1 日～10 日
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(140g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(140g/m²)	
合計膜厚	250μm	250μm	
VOC 削減率	－	70%程度	

注）VOC 削減暫定提案塗装仕様の膜厚および使用量は暫定数値とする。

７．２　塗替用塗装仕様

（１）素地調整程度１種

素地調整程度１種に対する提案塗装系 No.B3 は、屋外暴露試験や促進劣化試験で鋼道路橋塗装･防食便覧 Rc-Ⅰ塗装系と同等の結果が得られた。施工性評価試験では水性有機ジンクリッチペイントのたれが見られたが、改善は十分可能であることが確認された。室内の厚塗り性試験では溶剤形有機ジンクリッチペイントと比べてほぼ同等であることが確認された。また、ミストコートの必要性については夏季、冬季の施工性評価試験でミストコートなしでも泡はなく、室内評価試験でも攪拌程度や塗装膜厚の違いにより泡はほとんど確認されなかったことから、ミストコートは必要ないものと考える。但し、水性有機ジンクリッチペイント塗膜の空隙率は塗料混合時の攪拌程度により変化することが室内評価試験で確認されているので、電動攪拌機等により十分攪拌することが望ましい。たれ限界膜厚は目標の 75μｍを達成しない材料もあったので、この点については改善の必要性がある。以上のことから、鋼道路橋塗装・防食便覧 Rc-Ⅰ塗装系の置き換えは可能と考えられる。但し、水性有機ジンクリッチペイントおよび水性エポキシ樹脂塗料の膜厚設定については今後の検討課題とする。表－7.2.1 に塗替塗装 VOC 削減暫定提案塗装仕様（素地調整程度１種）を示す。

（２）素地調整程度３種

素地調整程度３種に対する提案塗装系 No.B4 は、屋外暴露試験や促進劣化試験で鋼道路橋塗装・防食便覧 Rc-Ⅲ塗装系と同等の結果が得られた。また、塗膜特性試験の結果から、水性塗料の環境遮断性は溶剤形塗料とほぼ同等の性能を有していることが確認できた。水性塗料は希釈量に伴い粘性挙動がニュートン流動に近づくため、溶剤形塗料に比較するとたれ易い傾向にある。しかし、施工性評価試験では塗料の粘性コントロールを施すことによって水性エポキシ樹脂塗料、水性ふっ素樹脂塗料用中塗、水性ふっ素樹脂塗料上塗のたれやかすれは改善されることが確認された。以上のことから、鋼道路橋塗装・防食便覧 Rc-Ⅲ塗装系の置き換えは可能と考えられる。但し、水性エポキシ樹脂塗料の膜厚設定については今後の検討課題とする。表－7.2.2 に塗替塗装 VOC 削減暫定提案塗装仕様（素地調整程度３種）を示す。

表－7.2.1　塗替塗装 VOC 削減暫定提案塗装仕様(素地調整程度１種)(スプレー塗装)

	便覧 Rc-Ⅰ塗装系	VOC 削減暫定提案塗装仕様	塗装間隔
素地調整程度	１種		4 時間以内
防食下地	有機ジンクリッチペイント 75μm(600g/m²)	水性有機ジンクリッチペイント　37.5μm(300g/m²)	1 日～10 日
		水性有機ジンクリッチペイント　37.5μm(300g/m²)	1 日～10 日
下塗 1 層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗　60μm(240g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm(200g/m²)	1 日～10 日
下塗 2 層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗　60μm(240g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm(200g/m²)	1 日～10 日
下塗 3 層目	－	水性エポキシ樹脂塗料下塗 40μm(200g/m²)	1 日～10 日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(170g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(170g/m²)	1 日～10 日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(140g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(140g/m²)	
合計膜厚	250μm	250μm	
VOC 削減率	－	90%程度	

注) VOC 削減暫定提案塗装仕様の膜厚および使用量は暫定数値とする。

表－7.2.2　塗替塗装 VOC 削減暫定提案塗装仕様(素地調整程度３種)(はけ、ローラー塗装)

	便覧 Rc-Ⅲ塗装系	VOC 削減暫定提案塗装仕様	塗装間隔
素地調整程度	３種		4 時間以内
下塗 1 層目(鋼材露出部)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗　60μm(200g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm(180g/m²)	1 日～10 日
下塗 2 層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗　60μm(200g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm(180g/m²)	1 日～10 日
下塗 3 層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗　60μm(200g/m²)	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm(180g/m²)	1 日～10 日
下塗 4 層目	－	水性エポキシ樹脂塗料下塗 45μm(180g/m²)	1 日～10 日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(140g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料用中塗 30μm(140g/m²)	1 日～10 日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(120g/m²)	水性ふっ素樹脂塗料上塗 25μm(120g/m²)	
合計膜厚	235μm	235μm	
VOC 削減率	－	90%程度	

注) VOC 削減暫定提案塗装仕様の膜厚および使用量は暫定数値とする。

７．３　水性塗料に関する留意事項

（１）塗料品質の確認

開缶時、塗料に皮張り、色分れ、沈殿などの変状がないか確認する。著しい変状が見られた塗料は使用を避ける。

（２）塗料調合

主剤と硬化剤を規定の混合割合にて混合後、電動攪拌機により十分攪拌する。小分けする場合は、主剤・硬化剤ともに質量を正確に秤量する。希釈には水道水を使用する。

（３）可使時間

水性塗料の樹脂成分は水溶媒中にエマルションとして分散し、水の蒸発とは別に樹脂の反応が進行するため、溶剤形塗料のように塗料粘度の上昇などから使用可否を判断することはできない。そのため、各塗料メーカーが規定する可使時間を守ること。

（４）塗装条件

水性塗料は溶剤形塗料と比較して粘性挙動が異なるので、塗装時の希釈には注意が必要である。各塗装方法に適した塗料粘度に調整し、適正に希釈すること。表－7.3.1 に各種水性塗料の塗装条件の一例を示す。

表－7.3.1　各種水性塗料の塗装条件の一例

		エアレス	はけ・ローラー
水性有機ジンクリッチペイント	適性粘度(Rion)	20～30 dPa・s	25～35 dPa・s
	Wet 膜厚	125～150 μm	125～150 μm
水性エポキシ樹脂塗料下塗	適性粘度(Rion)	20～30 dPa･s	25～35 dPa･s
	Wet 膜厚	100～125 μm	100～125 μm
水性ふっ素樹脂塗料用中塗	適性粘度(Rion)	20～25 dPa･s	25～30 dPa･s
	Wet 膜厚	75～100 μm	75～100 μm
水性ふっ素樹脂塗料上塗	適性粘度(Rion)	15～20 dPa･s	20～25 dPa･s
	Wet 膜厚	75～100 μm	75～100 μm

※エアレス…二次圧；10～15MPa、チップサイズ；(ジンクリッチペイント、下塗) 317・417,
(中塗・上塗) 315・415

※はけ・ローラー…水性塗料に適性のあるはけ・ローラーを使用する。

７．４　暫定提案塗装仕様の施工時の留意事項

（１）気温、湿度条件

水性塗料は、水を溶媒としているため低温や高湿度条件下では、乾燥しにくく、たれ易い傾向がある。したがって、気温 5℃以下、湿度 85%RH 以上のときは塗装しないこと。

（２）素地調整

水性塗料は、溶剤形塗料に比較して基材とのなじみが悪く、さびへの浸透性が低いため素地調整時のさび落としは十分に行うこと。

（3）塗装間隔

素地調整後は、ターニング現象を生じ易いのでその日のうちに塗装を行う。下塗以降は規定された塗り重ね塗装間隔を厳守すること。

塗装間隔が短いと下塗塗膜の乾燥が阻害され、上に塗り重ねた塗膜に泡や膨れが生じたり、下塗塗膜が脆くなったりする危険性がある。塗装間隔が長いと下塗塗膜の硬化が進み、上に塗り重ねた塗膜との密着性が低下し、層間はく離が生じ易くなる。

（4）被塗面に対する条件

結露した面では塗膜が所定の付着力を保持できない場合があるので、被塗面が結露していないことを確認してから塗装する。確認方法としては露点換算表を参照するか、もしくはセロテープ貼付けテストなどがある。また、鋼材温度が 50℃を超えるとワキが生じるので、塗装は 50℃以下で行うこと。

（5）降雨に対する条件

塗装作業中や塗装直後に降雨が生じると白化や色分れの原因になるので、降雨の恐れがある場合には塗装を避けること。万が一、白化や色分れが発生した場合はペーパーサンディング等による処置を行い、再度同一塗料で塗り重ねること。

（6）エアレス塗装機やはけの洗浄

エアレスやはけの塗装器具に関しては、水性塗料は乾燥しやすいので、塗装後直ちに水で洗浄すること。塗料が固まって落ちにくいときは、ラッカーシンナーなどの溶剤を使用してもよい。但し、この場合の注意事項として、洗浄はなるべく密閉空間で行い、使用溶剤は極力少なくすること。

（7）廃棄処理

使用したはけや容器の洗浄水、余った塗料は河川や道路側溝に流さないこと。これらは所定の廃棄物処理手続きにて処理する。

第Ⅲ編　付属資料

資料Ⅲ－１　屋外暴露試験

資料Ⅲ－２　複合サイクル試験装置

資料Ⅲ－３　促進耐候性試験装置

資料Ⅲ－４　耐湿試験装置

資料Ⅲ－５　耐湿潤冷熱繰返し性試験装置

資料Ⅲ－６　塗膜表面観察装置

資料Ⅲ－７　インピーダンス試験装置

資料Ⅲ－８　塗膜抵抗測定装置

資料Ⅲ－９　酸素透過率測定装置

資料Ⅲ－１０　水蒸気透過度測定装置

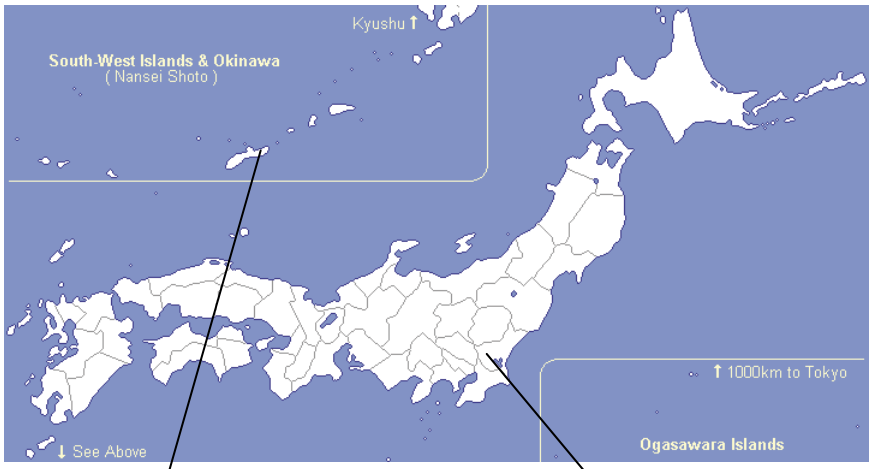
資料Ⅲ－１１　塗膜力学特性測定装置

屋外暴露試験

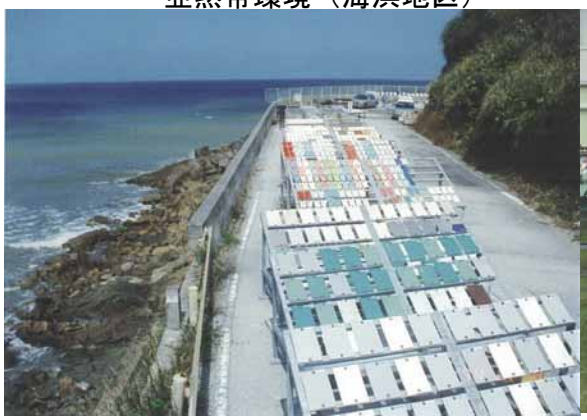
解析用途

日光および自然環境に直接試験片(塗膜)をさらして、自然の環境から受ける影響(紫外線・酸素・水分・温度など)に対する抵抗性(耐久性)を確認する。

場　所



亜熱帯環境（海浜地区）



沖縄建設材料耐久性試験施設（沖縄県大宜味村）

温帯環境（内陸地区）



独立行政法人土木研究所建設材料研究施設（茨城県つくば市）

関連 JIS 規格：

JIS K 5600-7-6「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第６節：屋外暴露耐候性」

複合サイクル試験装置

解析用途

塩水噴霧・乾燥・湿潤のサイクル試験環境に直接試験片(塗膜)をさらして、塩分・酸素・水分・温度などに対する抵抗性(防食性)を確認する。

装　置



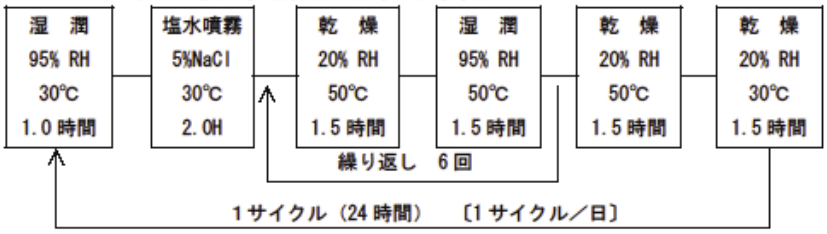

型式：ＣＣＴ－１Ｌ（スガ試験機㈱製）



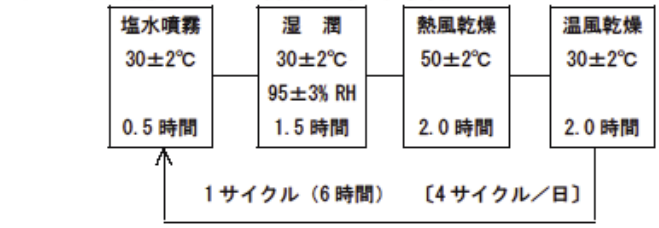

型式：ＣＹ－９０（スガ試験機㈱製）

試験条件

1）土木研究所式複合環境腐食促進試験（試験装置：ＣＣＴ－１Ｌ）



2）ＪＩＳ式耐複合サイクル防食性試験（試験装置：ＣＹ－９０）



関連 JIS 規格：

JIS K 5600-7-9「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性　第９節：サイクル腐食試験方法－塩水噴霧/乾燥/湿潤」

促進耐候性試験装置

解析用途

放射エネルギーの相対スペクトル分布が太陽光の紫外部と可視部にほぼ等しくなるよう調整されたキセノンアークランプの照射と水分の作用を施した環境に直接試験片(塗膜)をさらして、擬似自然環境に対する耐光性(耐候性)を確認する。

装　置





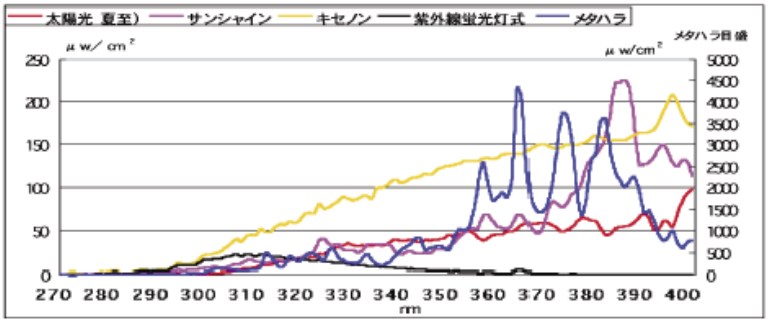
2灯式スーパーキセノンウェザーメーター
ＳＸ２－７５型（スガ試験機㈱製）

試験条件

ＪＩＳ　Ｋ　5600-7-7 促進耐候性(キセノンランプ法)に準拠する。

- ブラックパネル温度　：６３℃
- 試験槽内湿度　：５０％ＲＨ
- スプレー　：１８分/１２０分中
- 試料(塗膜)面放射照度：６０W/㎡（at300～400nm）

促進耐候性試験光源
および太陽光波長分布
(紫外線)



関連 JIS 規格：
JIS K 5600-7-7「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第７節：促進耐候性(キセノンランプ法)」

耐湿試験装置

解析用途

ある湿度環境に直接試験片(塗膜)をさらして、連続結露に対する抵抗性(耐水性)を確認する。

装　置





形式：ＣＴ－３（スガ試験機㈱製）

試験条件

JISK 5600-7-2 回転式に準拠する。

- 試験板(片)の位置の温度：５０±１℃
- 相対湿度　：９５%以上
- 空気流量　：湿潤箱内容積の薬３倍/ｈ
- 水　：脱イオン水
- 回転環の速さ　：毎分約１/３回転

関連 JIS 規格：
JIS K 5600-7-2「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第２節：耐湿性(連続結露法)」

資料Ⅲ－５

耐湿潤冷熱繰返し性試験装置

解析用途

塗膜の耐久性を評価する試験で、季節や自然条件による「温度差」の繰り返しに対する塗膜の抵抗性を確認する。

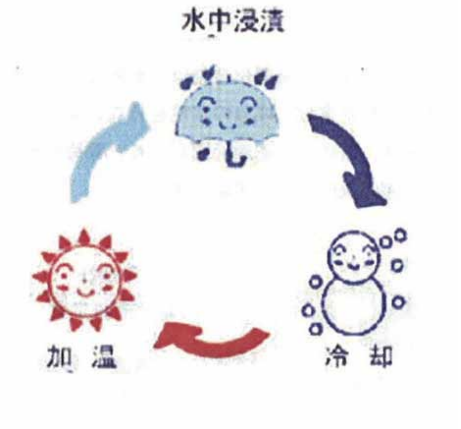
装　置





型式：MIT-1682-A4 型
製造：㈱マルイ

試験条件



＜１サイクルの条件＞

23±2℃の水中で 18 時間浸漬
↓
－20±2℃の低温で３時間冷却
↓
50±3℃の高温で３時間加熱

１サイクル２４時間で、１０回繰り返す

関連 JIS 規格：
JIS K 5600-7-4「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第４節：耐湿潤冷熱繰返し性」

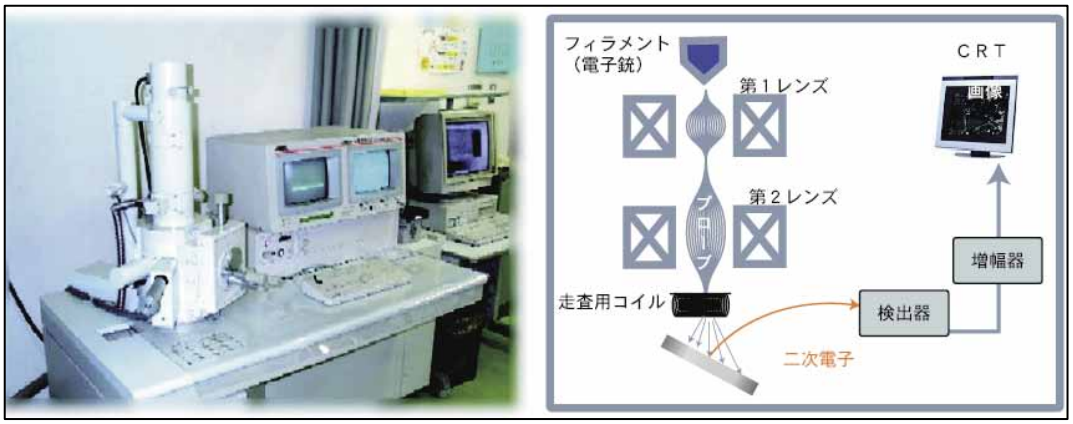
塗膜表面観察装置

解析用途

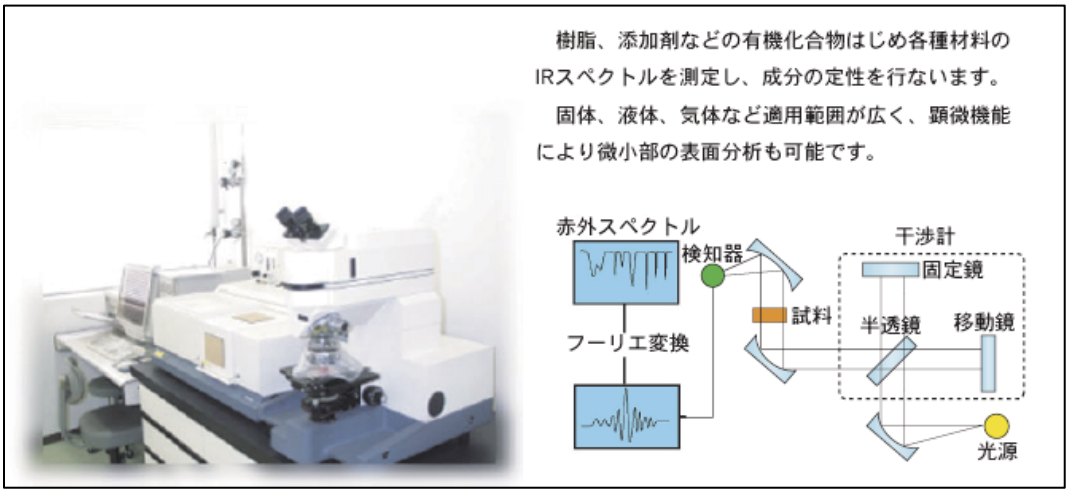
塗膜表面の微細な観察(SEM 観察)および樹脂など有機化合物の IR スペクトルの測定等を行い、塗膜表面の変化を追跡する。

装　置

走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：ＳＥＭ）



フーリエ変換赤外分光光度計
（Fourier Transform Infrared Spectrophotometer：ＦＴ－ＩＲ）

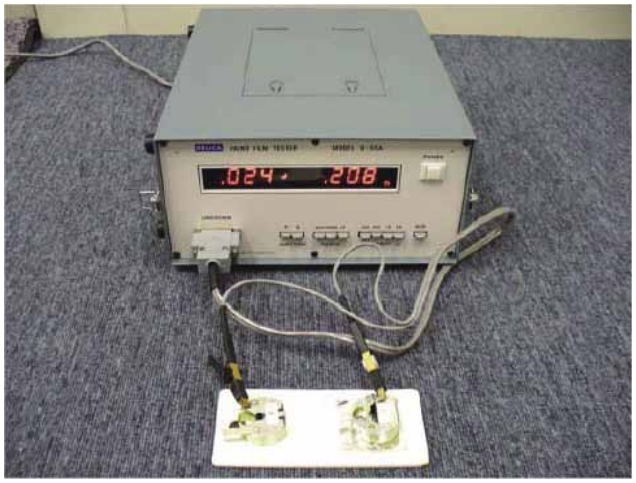


インピーダンス試験装置

解析用途

塗膜および塗膜下金属の劣化状態を電気化学的に測定する方法の一つで、交流法により塗膜のインピーダンスを測定(交流ブリッジを用いて容量と抵抗を同時に測定)して、その周波数特性から劣化の程度を調べる。

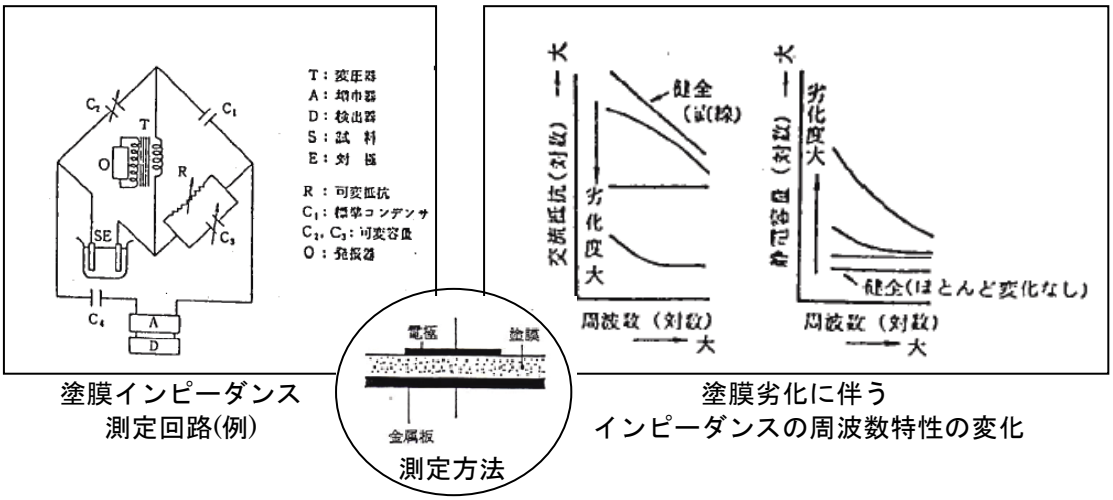
装　置



形式：インピーダンスメータ D-55A
製造：㈱三田無線研究所

測定原理

塗膜を絶縁物と考え、金属素地と塗膜表面に当てた別の電極との間でコンデンサーを形成し、交流電流を流してその静電容量C、コンダクタンスG（抵抗Rの逆数)、タンデルタD等を測定して塗膜の性能を評価する。インピーダンスとはC、G、R、D等の総称。



塗膜インピーダンス
測定回路(例)

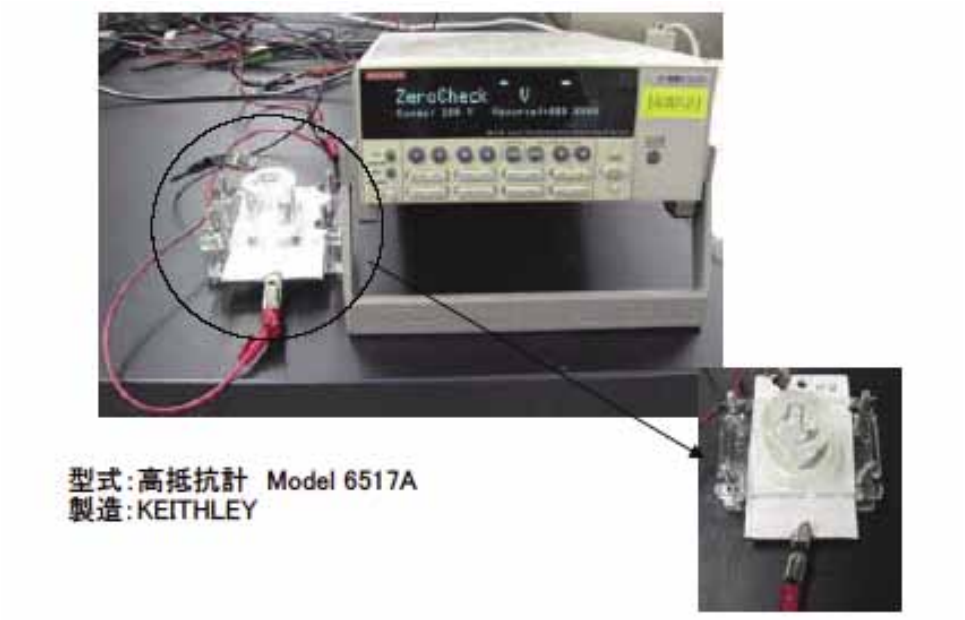
塗膜劣化に伴う
インピーダンスの周波数特性の変化

塗膜抵抗測定装置

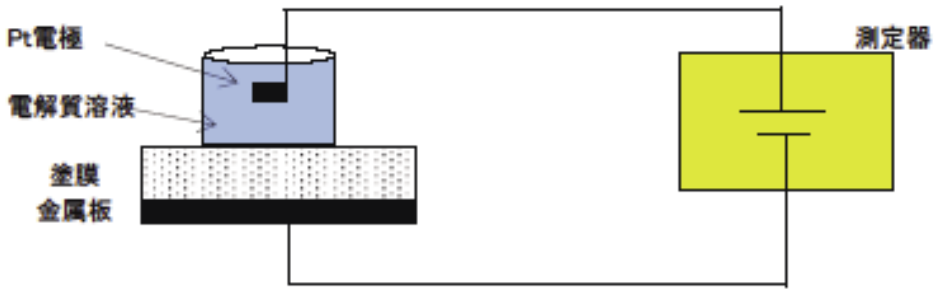
解析用途

塗膜および塗膜下金属の劣化状態を電気化学的に測定する方法の一つで、直流法により塗膜の抵抗あるいは試験板(片)の電位を測定し、それらの変化を劣化度として比較する。

装　置



測定原理



塗膜に定電圧(V)をかけ、塗膜中に流れた微小電流(I)を検出し、塗膜抵抗値(R_1)を測定する。金属板の抵抗値(R_2)および測定器の抵抗値(R_3)は塗膜抵抗値(R_1)と比べ、$R_1 \gg R_2$、R_3であることから回路全体の抵抗値$R \fallingdotseq R_1$となる。

酸素透過率測定装置

解析用途

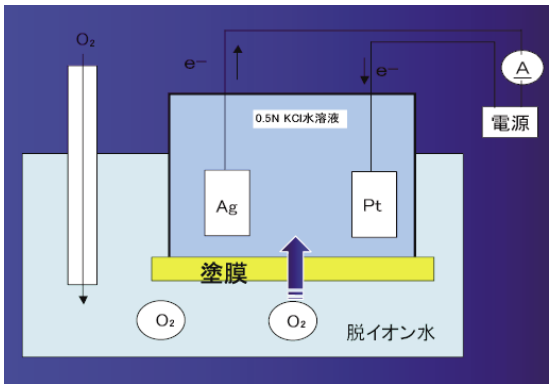
金属をさびさせる腐食因子となる酸素の塗膜の透過性を測定する。

装　置



形式：K-316 フィルム酸素透過率計
製造：ツクバリカセイキ㈱

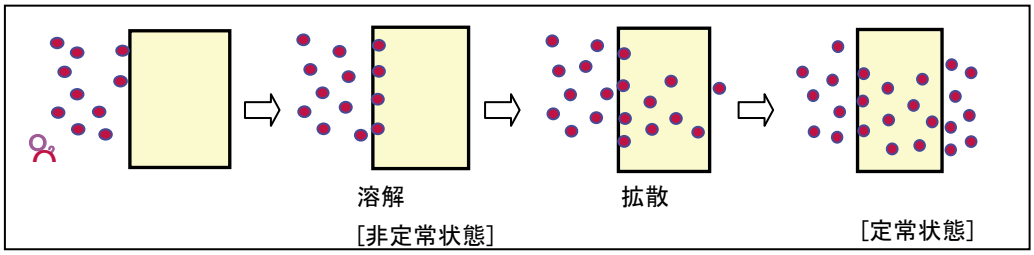
測定原理



フィルムを透過してくる酸素ガスと電極との還元反応を利用してフィルムの酸素透過係数を測定する方法を用いている。
陰極面（Pt部）での酸素の反応は $O_2+2H_2O+4e^-\rightarrow 4OH^-$
陽極面（Ag部）での反応は $4Ag+4OH^-\rightarrow 2H_2O+2Ag_2O+4e^-$
酸素が塗膜に溶解、拡散し、定常状態になった時の酸素の透過量（cm^3）及び膜厚（cm）を塗膜面積（cm^2）、時間（sec）及び圧力（Pa）当りに換算して酸素透過係数を計算する。
酸素透過量は還元反応により流れた電流より求められる。

酸素透過係数単位：　$cm^3(STP)\cdot cm/cm^2\cdot sec\cdot cmHg$
あるいは
$cm^3(STP)\cdot cm/cm^2\cdot sec\cdot Pa$

酸素の塗膜透過過程



酸素が塗膜を透過するということは、塗膜に酸素が溶けこみ(溶解)、塗膜中を酸素が移動していく(拡散)ことである。 酸素の塗膜への溶けこみやすさを溶解度係数で表し、塗膜中の酸素の移動のしやすさを拡散係数で表す。 酸素透過係数は溶解度係数と拡散係数の積で求められる。

水蒸気透過度測定装置

解析用途

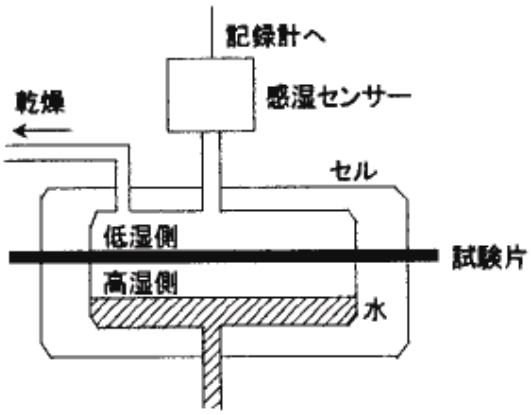
金属をさびさせる腐食因子となる水分(水蒸気)の塗膜への透過量を測定する。

装　置



形式：Ｌ80-4000 型
製造：Lyssy 社

測定原理



（注）透湿度(Water Vapor Transmission Rate)は水蒸気透過度とも呼ばれ、「所定の温度及び湿度の条件で単位時間に単位面積の試料片を透過する水蒸気の量」(JIS K 7129)と定義される。

本装置は JIS K 7129(A 法)に規定された感湿センサー法による検出器で、湿度センサーの取り付けられた上部チャンバーと下部チャンバー(飽和水蒸気)の間に塗膜を挿入して固定する。
上部チャンバーをあらかじめ決められた湿度下限レベルまで乾燥させた後、塗膜の水蒸気透過により上部チャンバーを加湿していき、上部チャンバーの湿度が９％から11％に変化する時間を測定し、下式から透湿度(ｇ/㎡・24ｈ)を算出する。

$$WVTR_{塗膜} = WVTR_{std.} \times T_{std.} / T_{塗膜}$$

$WVTR_{std}$ ：標準サンプルの透湿度
T_{std} ：標準サンプルで透湿度が 9%から11%に変化する時間
$T_{塗膜}$ ：塗膜で透湿度が9%から11%に変化する時間

また、塗膜厚を加味した透湿係数と透湿度の関係は以下の通りである。
透湿係数（g･cm/㎡･24h･mmHg＝透湿度（g/㎡･24h）×塗膜厚（μm）×10-4/55.324mmHg

塗膜力学特性測定装置

解析用途

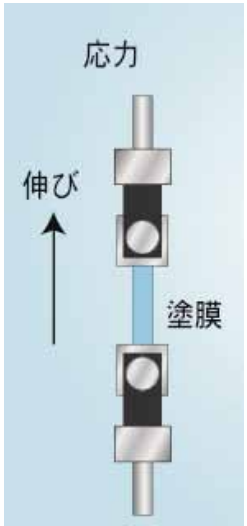
フィルム(塗膜)に引張、圧縮、曲げ荷重を与えた場合の特性(破断応力、破断ひずみ、応力緩和能など)を測定する。

装　置



形式：小型卓上試験機 EZTest
製造：島津製作所

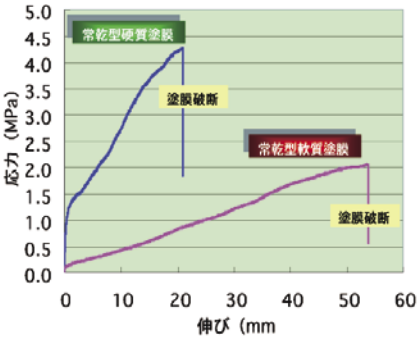
測定原理



破断応力（塗膜破断強度）

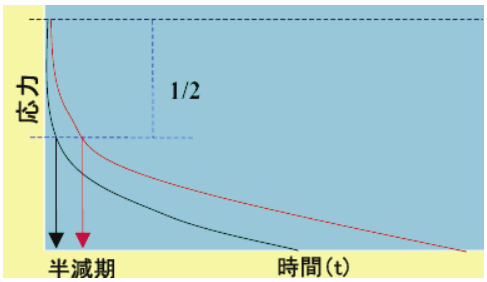
破断ひずみ（塗膜伸び率）

塗膜に引張荷重を与えた時の応力変化を測定する。



応力緩和

塗膜に一定の伸びを与え、経時での応力残存状態を測定する。応力残存率が50％になるまでの時間(半減期)で比較する。



おわりに

本共同研究の結果、河川鋼構造物塗装のVOCを削減することが可能であることが判明し、低溶剤形塗料を適用した河川鋼構造物塗装のVOCを削減するための塗装仕様を提案し、VOCの削減効果を明らかにした。しかしながら、残された課題も多く無溶剤形塗料、低溶剤形塗料の厳しい腐食環境である河川環境における防食性の長期耐久性は、まだ十分確認されていないのが現状であり今後も暴露試験片の追跡調査を継続して長期耐久性を検証する必要がある。現場での塗装作業性についても全国各地での河川鋼構造物において試験的な施工を実施して確認するとともに、さらなる作業性の改善並びに必要に応じて塗装機の改良・開発を図る必要がある。

また、鋼道路橋に水性塗料を適用した塗装仕様を提案しVOCの削減効果を明らかにした。しかしながら、残された課題も多く水性塗料を適用した防食性や耐候性などの長期耐久性は、まだ十分確認されていないのが現状であり今後も暴露試験片の追跡調査を継続して長期耐久性を検証する必要がある。現場での塗装作業性についても全国各地での実橋における試験的な適用を実施して確認するとともに、さらなる作業性の改善を図る必要がある。

最後に、汽水域での無溶剤形塗料の暴露試験で大変お世話になりました国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所江戸川河口出張所および、水性塗料の沖縄暴露試験で大変お世話になりました内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所の関係各位に謝意を表します。

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.411 December 2010

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754