

金属構造物の防食技術開発に関する研究 (第5報)

安里昌樹、石原金盛

1 はじめに

沖縄県は亜熱帯特有の高温多湿に加え島嶼環境にあるため、金属構造物の腐食が著しく、沖縄県全体ではその損失も莫大であると推定される。本研究は大気腐食に関わる素材や被覆材の評価、研究を行い、金属の防錆防食に効果的な素材や被覆材の効果的な活用を開発し、金属構造物の防食技術の向上を目指すとともに、金属材料の沖縄型仕様の提案を目的とする。

大気暴露試験は5年間を予定しており、本報告はその4年目までの結果をまとめたものである。

2 測定項目

本大気暴露試験は、平成9年度より開始しており、(財)日本ウエザリングテストセンター銑子暴露試験場(以下「銑子」という)、琉球大学(以下「琉大」という)、(財)ウエザリングテストセンター宮古島試験場(以下「宮古」という)の3カ所に総計554枚(保存板も含む)の試験片を暴露した。

平成13年度は各試験片について、46ヵ月目(琉大)、48ヵ月目(銑子、宮古)に試験片を回収し、表1に示す項目について測定等を行った。

表2にこれまでの試験片回収日、表3に試験片内容を示す。

表3-1. 試験片内容

試験片名	試験片記号	仕様
ステンレス鋼	A(B,C)-1-1-2-1	SUS304
	A(B,C)-1-2-2-1	SUS316
	A(B,C)-1-3-2-1	SUS444
炭素鋼	A(B,C)-2-1-2-1	SMA490A
	A(B,C)-2-2-2-1	SM490A
	A(B,C)-2-3-2-1	SS400
溶射	A(B,C)-3-1-1-1	溶射亜鉛(傷有)
	A(B,C)-3-1-2-1	溶射亜鉛(傷無)
	A(B,C)-3-3-1-1	溶射亜鉛・アルミニウム合金(傷有)
	A(B,C)-3-3-2-1	溶射亜鉛・アルミニウム合金(傷無)
	A(B,C)-3-5-1-1	溶射アルミニウム(傷有)
	A(B,C)-3-5-2-1	溶射アルミニウム(傷無)
	A(B,C)-3-7-1-1	溶射亜鉛アルミニウム合金低温アーク(傷有)
	A(B,C)-3-7-2-1	溶射亜鉛アルミニウム合金低温アーク(傷無)
	A(B,C)-3-8-1-1	溶射ポリエチレン系(傷有)
	A(B,C)-3-8-2-1	溶射ポリエチレン系(傷無)

表1 暴露試験測定項目

ステンレス鋼材	目視観察、重量測定、写真撮影
炭素鋼	目視観察、重量測定(腐食減量)、写真撮影
溶射	目視観察、重量測定、写真撮影
溶射+塗装	目視観察、インピーダンス、写真撮影
溶融亜鉛めっき	目視観察、重量測定、写真撮影
溶融亜鉛めっき+塗装	目視観察、色差、インピーダンス、写真撮影
塗装(工程短縮)	目視観察、色差、光沢度、インピーダンス、写真撮影
塗装(特殊)	目視観察、衝撃試験、写真撮影
錆抑制剤	目視観察、写真撮影

表2 暴露試験片の設置日および回収日

	銑子	琉大	宮古
試験片設置日	H10.3.27	H10.3.20	H10.3.17
1年目回収日	H11.2.1	H11.1.25	H11.1.20
2年目回収日	H11.11.17	H11.11.15	H11.11.5
3年目回収日	H12.11.27	H12.11.15	H12.11.20
4年目回収日	H14.3.15	H14.1.17	H14.3.15

表3-2 試験片内容

試験片名	試験片記号	仕様
溶射+塗装	A(B,C)-3-2-2-1	溶射亜鉛+塗装
	A(B,C)-3-4-2-1	溶射亜鉛・アルミニウム合金+塗装
	A(B,C)-3-6-2-1	溶射アルミニウム+塗装
めっき	A(B,C)-4-1-1-1	亜鉛めっき (傷有)
	A(B,C)-4-1-2-1	亜鉛めっき (傷無)
めっき+塗装	A(B,C)-4-2-2-1	亜鉛めっき+塗装 (電力仕様)
	A(B,C)-4-3-2-1	亜鉛めっき+塗装 (エポキシプライマ)
塗装 (工程短縮)	A(B,C)-5-1-2-1	塗装1 (電力仕様)
	A(B,C)-5-2-2-1	塗装2 (短縮1)
	A(B,C)-5-3-2-1	塗装3 (短縮2)
	A(B,C)-5-4-2-1	塗装4 (短縮3)
特殊塗装	A(B,C)-6-1-1-1	セメント系 (傷有)
	A(B,C)-6-1-2-1	セメント系 (傷無)
	A(B,C)-6-2-1-1	有機ジンクリッチ (傷有)
	A(B,C)-6-2-2-1	有機ジンクリッチ (傷無)
錆抑制剤	B-7-1-2-1	MK剤
	B-7-2-2-1	レノーバコンク

3 結果及び考察

3-1 ステンレス鋼

ステンレス鋼の試験片は素材別、地域別によって劣化度に差が認められた。

素材別にみると、表裏とも SUS304>SUS316>SUS444の順にさびが発生しており、表面と裏面では、裏面の方がさびの発生は大きく、特に宮古においてはかなりのさびの発生が認められた。

一方、地域別にみると表面、裏面とも宮古>銚子>琉大の順になっており、これまでの結果と同様の傾向を示した。

ステンレス鋼の重量変化率を図1に示す。変化率はいずれも0.1%未満で地域差も特にみられない。

3-2 炭素鋼

炭素鋼の状況は、地域別にみると、琉大、宮古のさびは粗く、銚子は細かく固着しており、特に宮古においてさびの剥離もみられた。さびの色に関しては、銚子では全体的に赤っぽく、琉大、宮古になるにしたがって黒みを帯びた状態を示した。

素材別にみるとSS材は耐候性鋼と比較して赤色を呈しているが、さびのあらさに関しては裏面でSS材が粗く、剥離も確認された。

炭素鋼については腐食速度を求め、腐食環境の定量的な評価を試みた。さびの除去は60℃に加熱した10%クエン酸アンモニウム水溶液中に炭素鋼を浸し、さびを完全に除去し、水洗後メタノールに浸した後、乾燥・冷却し

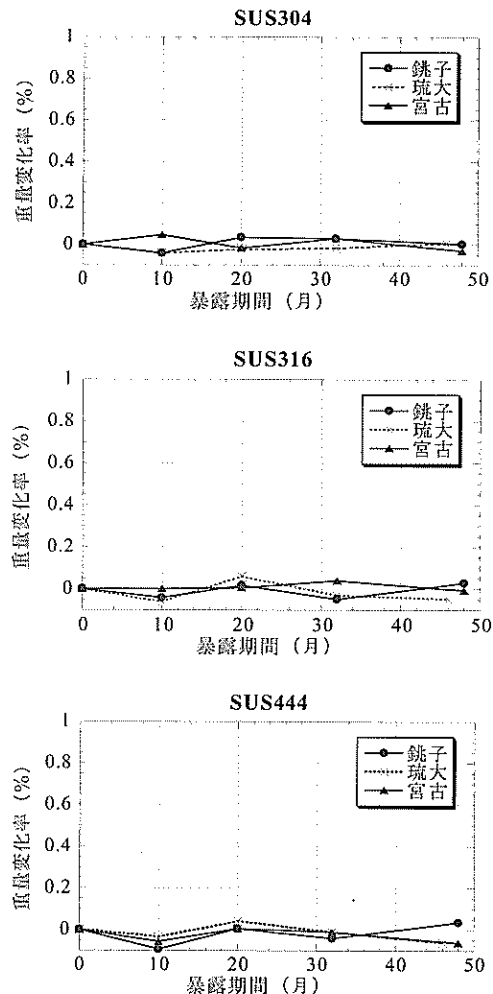


図1 ステンレス鋼の重量変化率

秤量する。得られた腐食減量から次式により腐食速度を求めた。

$$\text{腐食速度 (mdd)} = (\text{初期重量} - \text{除錆後重量}) / \text{試験片表面積} / \text{暴露日数}$$

結果を図2に示す。いずれの炭素鋼も宮古が腐食速度が大きく、銑子と琉大は同程度となっている。一般的に腐食速度は期間を経るごとに小さくなる傾向を示すが（さびによる鉄素地の保護効果）、腐食環境の厳しい地域では必ずしもそのような傾向に当てはまらないことが知られている。宮古では、SS400材で20ヶ月時より腐食速度の増加傾向を示しており、腐食環境が厳しいことがわかる。SMA490A（耐候性鋼）でも増加傾向を示していることから、この地域での使用については注意が必要である。

3-3 溶射試験片

溶射亜鉛試験片は宮古が銑子、琉大に比べやや黒みがかった灰色を呈しており、点状の白さびが多くみられた。銑子は点状のさびは少なく、琉大は点さびと白雲状のさびが混ざった状態であった。傷有りの試験片については基本的に傷無し試験片と同傾向を示した。傷部のさびの形状は、宮古のさびの色が銑子、琉大の赤さびよりも黒みがかっており、傷部の広がりは見られないが、さび汁の流れが認められた。

溶射亜鉛・アルミニウム合金試験片は各試験片とも灰黒色に変化しており、その上に白さびが点状に発生していた。白さびの発生量は琉大>宮古>銑子の順で、おもて面が発生量は多かった。

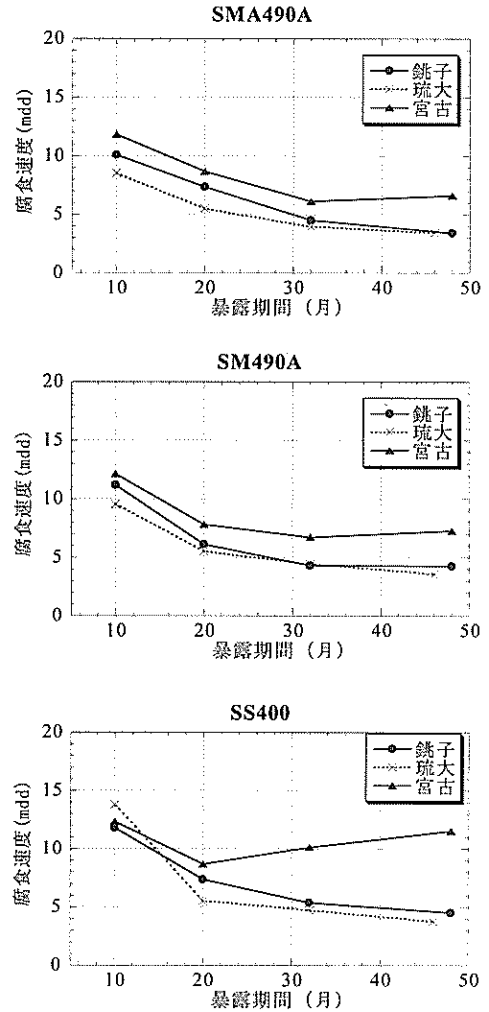


図2 炭素鋼の腐食速度

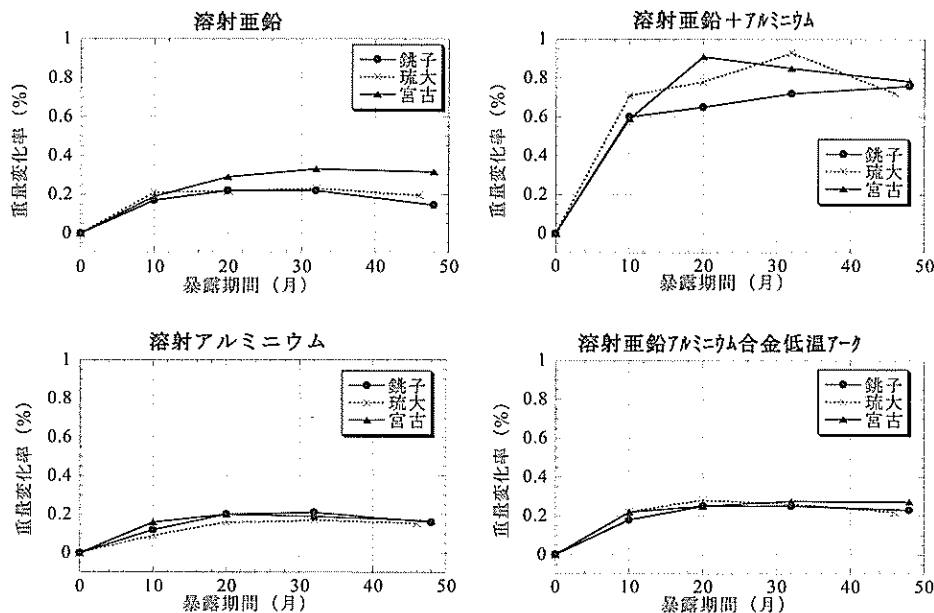


図3 溶射試験片の重量変化率

溶射アルミニウム試験片は、宮古の試験片で灰黒色への変化がみられた。

溶射亜鉛アルミニウム合金低温アーク試験片は各試験片とも灰色に変化しており、そのうえに点状の白さびが発生していた。宮古の白さびが銚子、琉大に比較して細かくなっている。白さびの量は表面が多くなっていた。

溶射ポリエチレン系試験片は、各試験片とも黒ずんでおり、特に銚子で顕著であった。さびの発生はみられなかった。

傷有りの試験片については、アルミニウム、ポリエチレン系を除く試験片では、亜鉛の犠牲陽極作用により、傷部の縁側は赤さびの発生は抑えられていた。アルミニウム、ポリエチレン系試験片については傷部全面赤さびが発生し、さび汁の流れはみられたが、傷部の広がりはみられなかった。

溶射試験片の暴露前後の重量変化率を図3に示す。亜鉛溶射は宮古で重量変化が大きいのに対し、アルミニウ

ム溶射、亜鉛・アルミニウム低温アーク溶射では地域差が認められない。また亜鉛・アルミニウム溶射は重量変化が大きく、溶射法の違いにより表面状態および酸化状態の違いが示唆される。

3-4 溶射+塗装試験片

今回初めて宮古島の亜鉛・アルミ溶射+塗装試験片で赤さび（裏面端部、点状）、アルミ溶射+塗装試験片で赤さび（おもて面、点状）とわれ（おもて面端部）がみられた。その他の試験片については特に異常はみられなかった。

塗装系の試験片については交流ブリッジ（塗膜劣化度測定器）を用いて、容量値（C）と抵抗（R）を測定し、塗膜劣化度推測を行った。

溶射+塗装試験片のインピーダンス測定（電気容量C、抵抗R）の測定結果を図4に示す。各試験片とも保存板と比較して、特に異常は認められなかった。

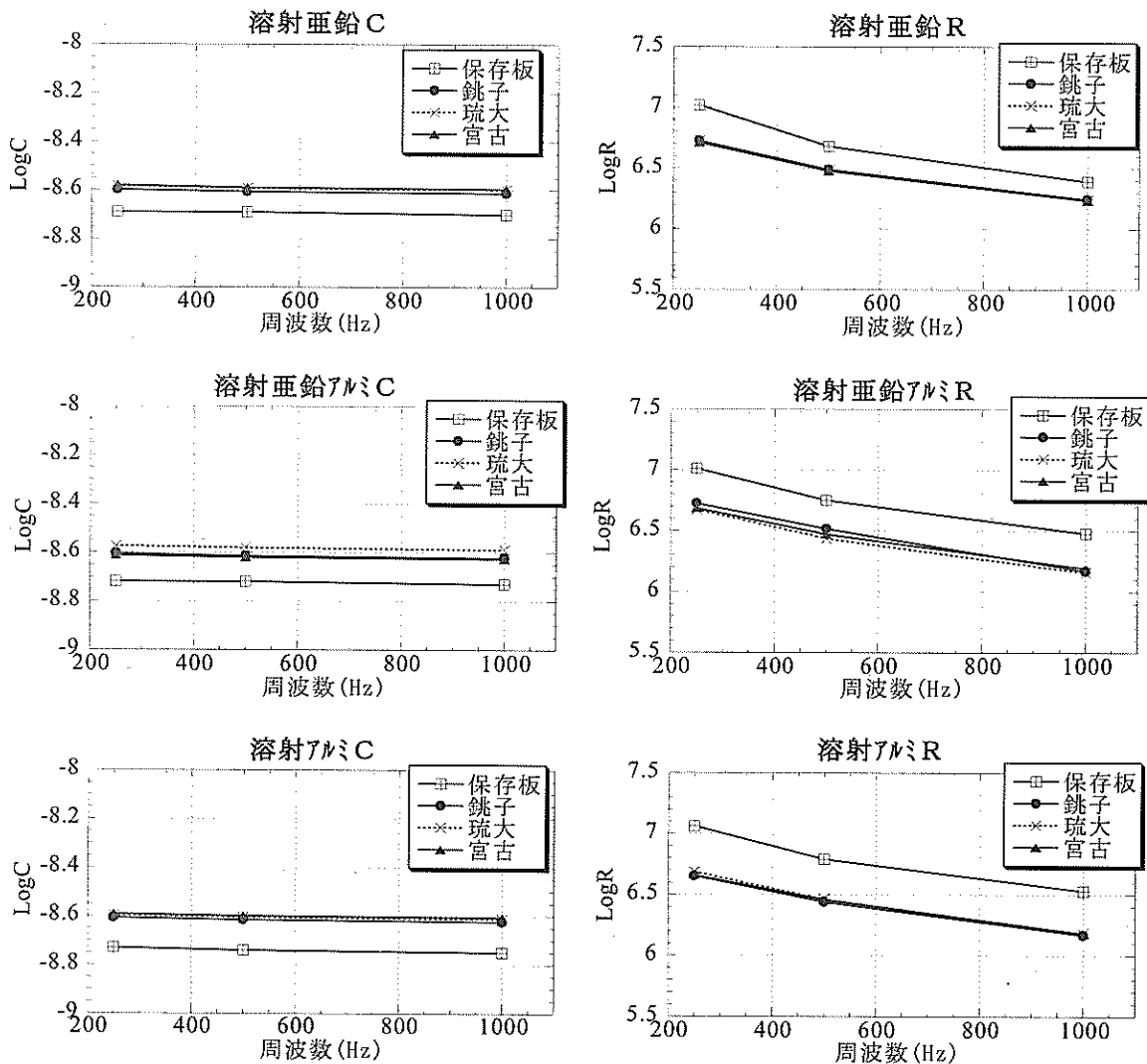


図4 溶射+塗装試験片のインピーダンス

3-5 めっき試験片

各試験片とも白雲状に白さびが発生しており、発生量は宮古>琉大>銚子の順で、裏面がより白さびが発生していた。

傷有りの試験片については傷部で銚子、琉大の試験片は赤さびが発生していない部分もみられたが、宮古では傷部は全面赤さびの状態である。傷の広がり等はみられなかった。

めっき試験片の暴露前後の重量変化率を図5に示す。前述のように白さびの発生量は宮古で最も多く、重量の増加を見せているのも宮古だけである。重量変化率は各地域ともこれまでと同様の変化を示しており、銚子、琉大ではほとんど変化がみられない

3-6 めっき+塗装試験片

塗膜のわれ、ふくれ等、特に異常はみられなかった。さびの発生もみられなかった。

インピーダンス測定の結果を図6に示す。この結果からも異常は認められなかった。

3-7 塗装試験片

塗装試験片は、電力仕様と工程短縮1がポリウレタン系、工程短縮2がフッ素系、工程短縮3がシリコン変性アクリルである。

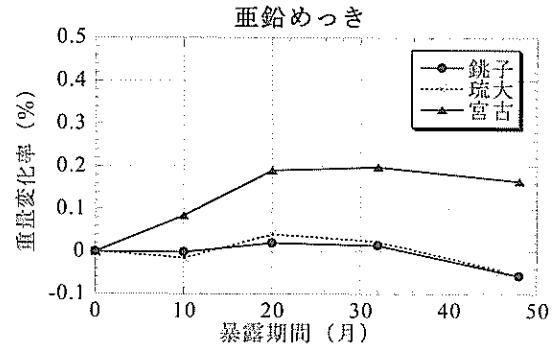


図5 めっき試験片の重量変化

今回の試験片で、銚子の電力仕様および工程短縮1の試験片で点状の赤さびが2点、裏面にみられた。琉大、宮古の試験片では異常はみられていないが、今後の経過に注意を要する。

インピーダンス測定の結果は図7に示すとおり異常は認められなかった。

塗装試験片については、腐食の他に景観上の観点から光沢度と色差についても測定を行った。

光沢度は暴露試験片塗膜の60度鏡面光沢度を測定し、保存板の値を初期値と見なし各試験片について光沢残存率を求めた。

塗装試験片の光沢残存率を図8および図9に示す。各試験片とも表面より裏面が光沢残存率が大きくなって

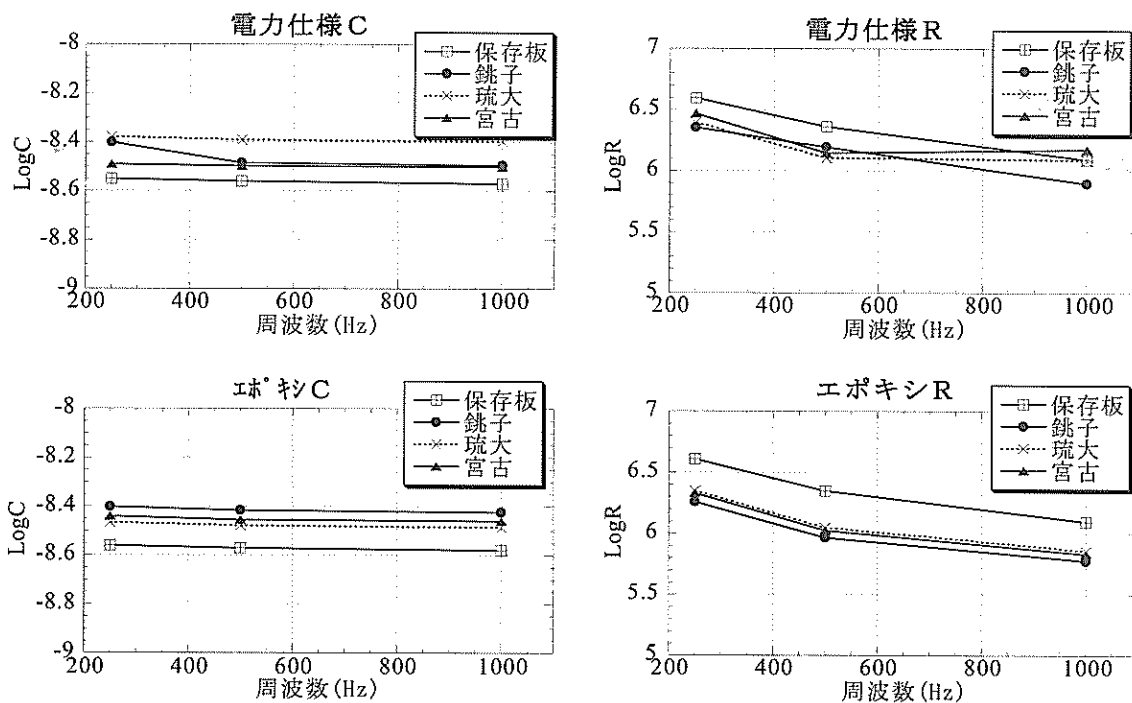


図6 めっき+塗装試験片のインピーダンス

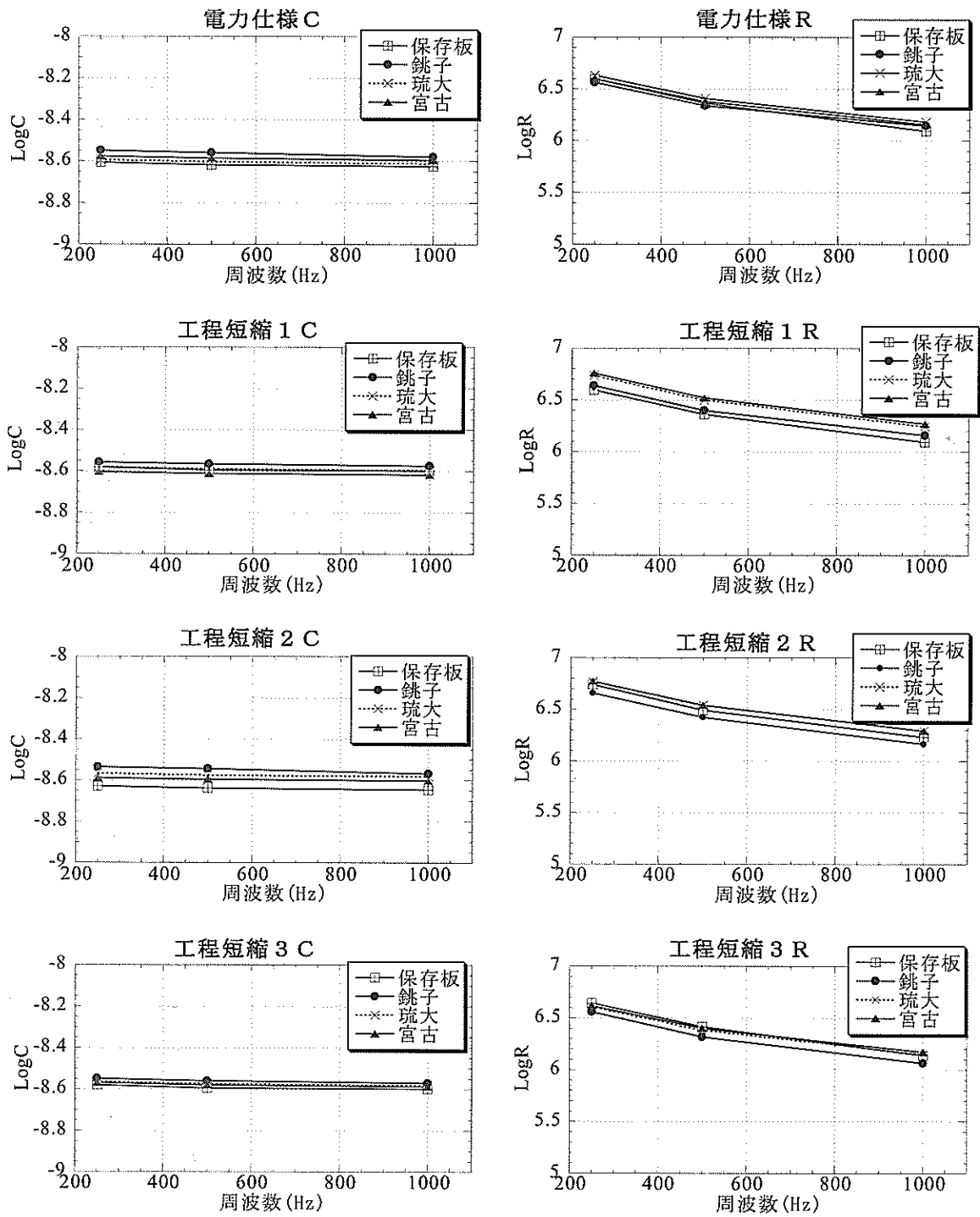


図7 塗装試験片のインピーダンス

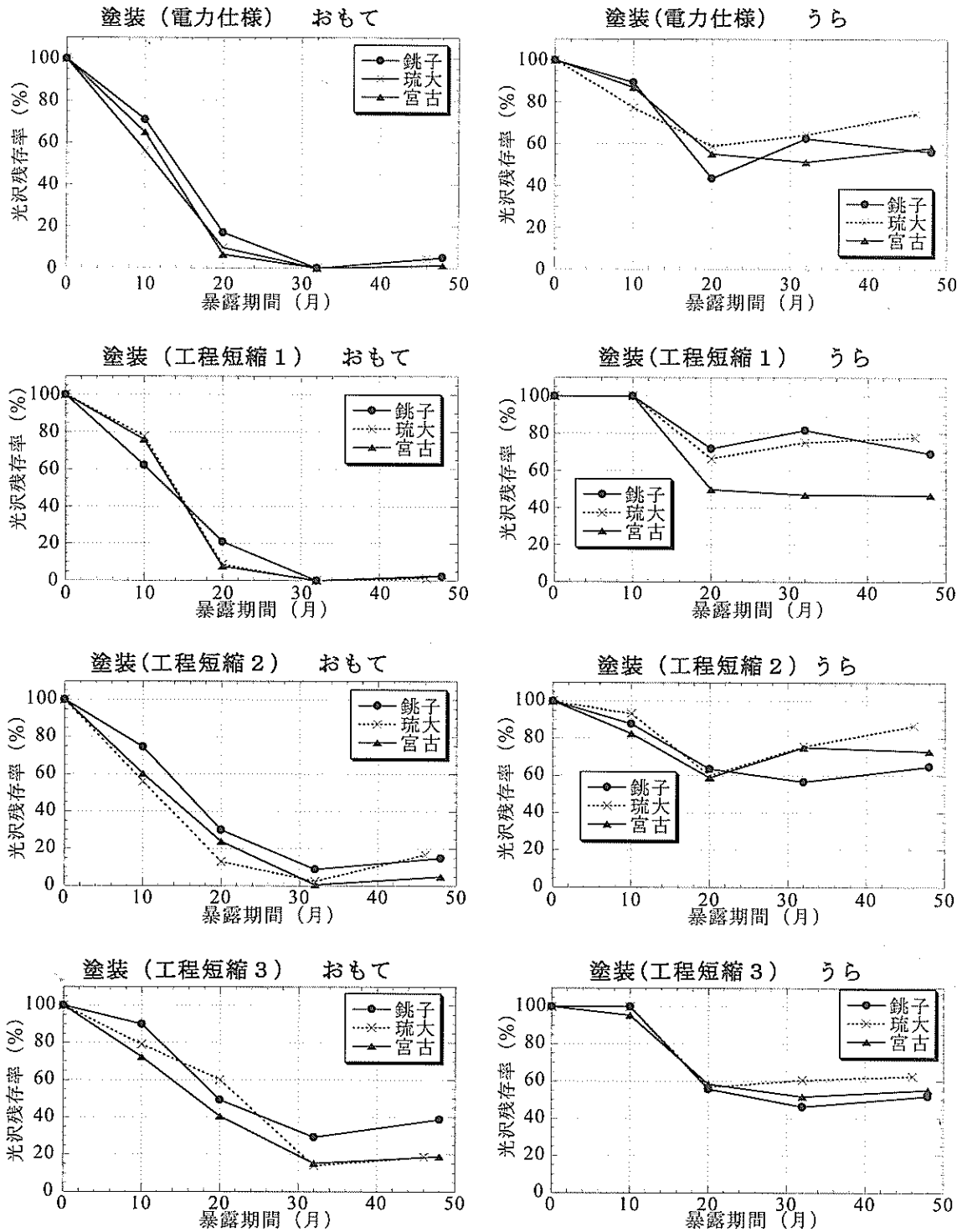


図8 塗装試験片(種類別)の光沢残存率

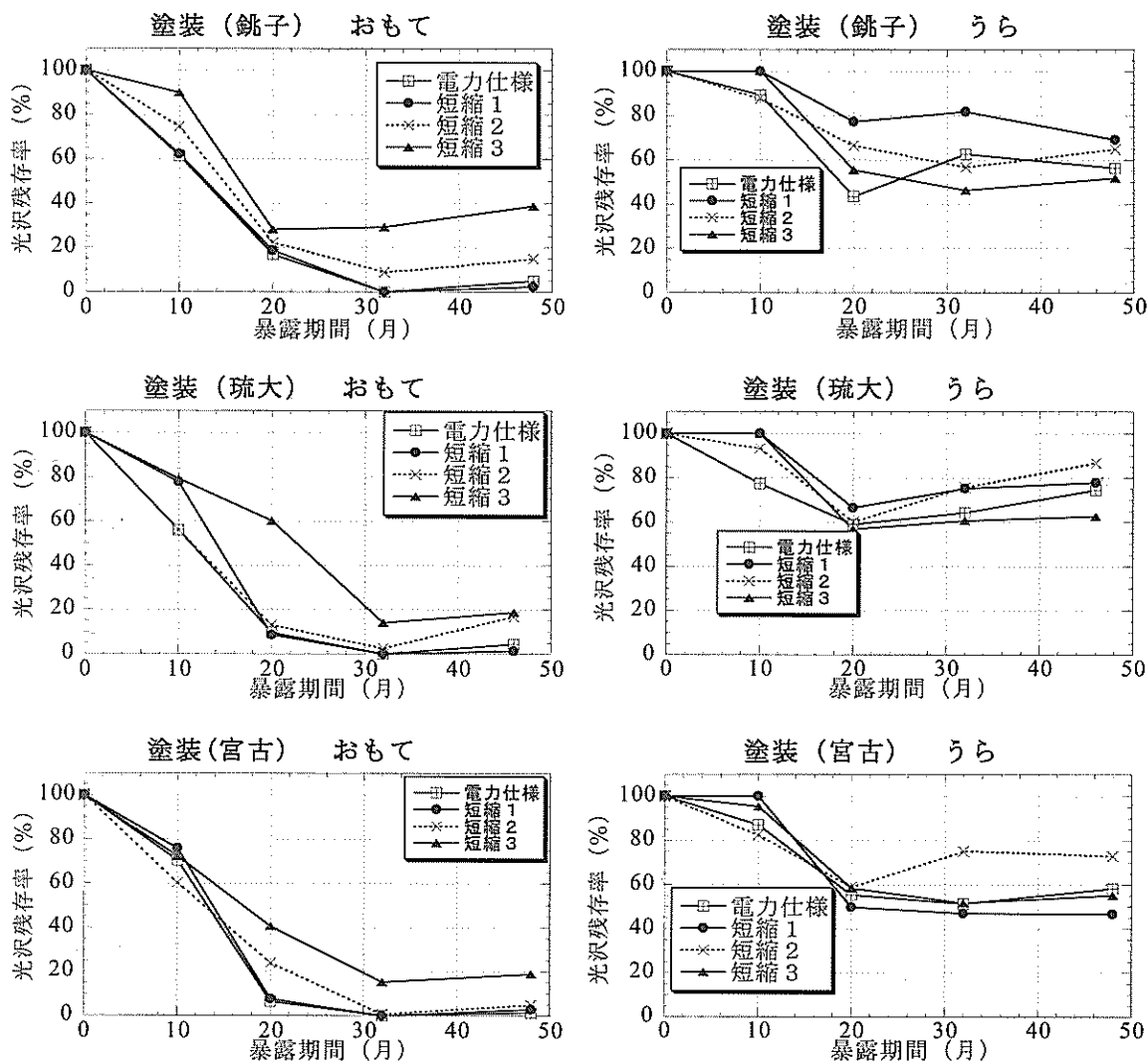


図9 塗装試験片 (地域別) の光沢残存率

いる。地域別の差はあまり明確ではないが、種類別で見ると、短縮3の光沢残存率が各地域で比較的高い値を示している。

塗装の色調も光沢度と同様紫外線等の影響により変化を見せる。本試験では保存板と暴露試験片塗膜との色差 (Lab) を色差計を用いて測定し (JIS Z 8730 色差表示方法による)、各試験片の評価を行った。

塗装試験片の色差測定結果を図10に示す。この試験片でも暴露期間が長くなるにつれて色差が大きくなる傾向にあり、おもて面が色差が大きくなっている。地域差をみみると沖電仕様、工程短縮1、工程短縮3で琉大、宮古の色差が鈹子に比べ大きくなっており、工程短縮2

では特に地域差は認められない。種類別にみると沖電仕様、工程短縮1の色差が他の試験片に比べ大きくなっている。

3-8 特殊塗装試験片

セメント系試験片ではピンホールから赤さびが発生し、特に宮古の試験片においてピンホール部から赤さびの周囲への広がりが見られた。各地域ともさびの発生はおもて面がうら面より多かった。

有機ジnkリッチ試験片はさびの発生はみられなかった。傷有りの試験片は傷部周辺への広がりがみられ、特に宮古において大きな広がりがみられた。

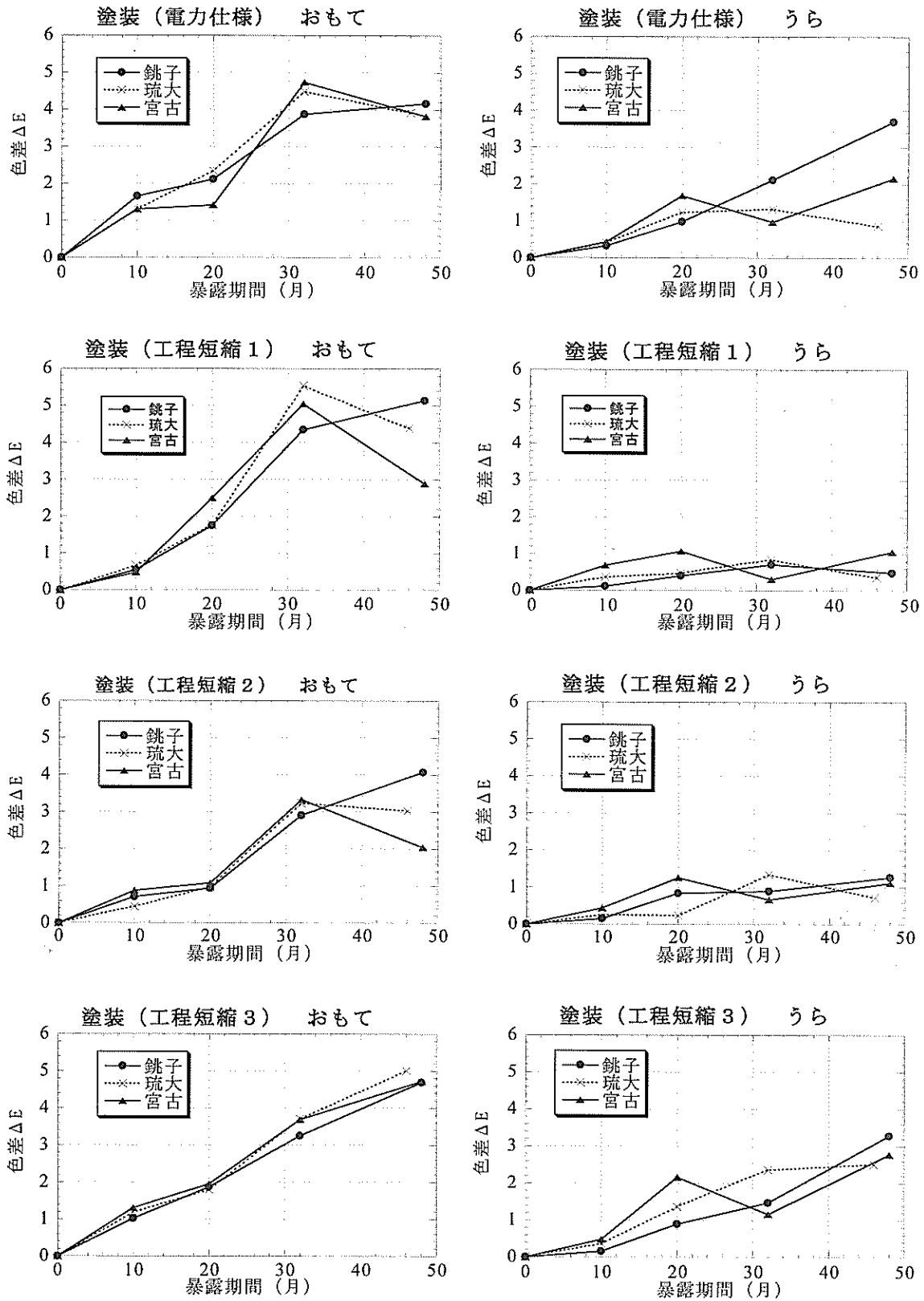


図10 塗装試験片の色差

特殊塗装試験片について、塗膜面に、260 gのおもりを、落下高さ1000mmより落とし、塗装面の状態を観察（ひび、はがれ等）した。その結果、塗装面でへこみはみられたが、われ、はがれ等は観察されなかった。

4 おわりに

暴露試験4年目における試験片の状況は以下の通りであった。

素材試験片であるステンレス試験片、炭素鋼とも腐食は宮古でもっともひどく、耐候性鋼についても腐食度が大きいことから使用については注意を要すると思われる。

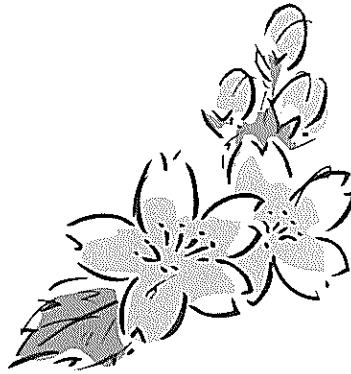
溶射およびめっき試験片は素材試験片に比べて腐食の進行は見られなかったが、表面の被覆材は酸化物が生成されかなりの変色が認められた。また、傷有りの試験片についてもポリエチレン系溶射を除いて傷部からの赤さびの広がりはみられず、犠牲陽極作用が確認された。

塗装系試験片については今回初めて赤さびの発生が認められた。

特殊塗装試験片は、セメント系の試験片については試験片作成時よりピンホールが存在が確認されており、ピンホールより赤さびが発生し、特に宮古の試験片では赤さびの周囲への拡がりも認められた。

参考文献

- 1) 石原金盛、長山純朗、國吉和男、比嘉眞嗣、比嘉敏勝 「沖縄県における金属素材及び防錆被覆材の耐食性に関する研究(1)～(7)」 沖縄県工業試験場研究報告17号～23号
- 2) 國吉和男、比嘉敏勝、羽地龍志、安里昌樹 「電力設備の防食技術開発に関する研究(第1報)」 沖縄県工業試験場研究報告25号
- 3) 國吉和男、羽地龍志、安里昌樹 「電力設備の防食技術開発に関する研究(第2報、3報)」 沖縄県工業技術センター研究報告1号、2号



編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。