

金属構造物の防食技術に関する研究 (第6報)

安里昌樹、石原金盛

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、鋼構造物や電力設備等の防食技術の目的として、平成9年度より行ってきた。研究期間での主な成果は①金属材料別の腐食量の把握②新たな防食仕様（工程短縮型塗装、溶射+塗装等）の評価③腐食センサによる環境評価等である。しかし5カ年間の暴露試験結果では、特に塗装系の試験片については十分な成果が得られたとはいえず、今後も県内において同様な暴露試験データがいろいろな見地から継続されることを期待する。

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年間計画であり、本報告は最終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銼子暴露試験場（以下「銼子」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14年度は各試験片について、60ヵ月目に試験片を回収し、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、写真撮影 重量測定（腐食減量）
溶射	目視観察、重量測定、写真撮影
溶射+塗装	目視観察、インペーダンス、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、インペーダンス、写真撮影
塗装（工程短縮）	目視観察、色差、光沢度、インペーダンス、写真撮影
塗装（特殊）	目視観察、衝撃試験、写真撮影

表2 暴露試験片の設置日および回収日

	銼子	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
5年目回収日	H15.3.20	H15.3.20	H15.3.20
暴露日数	1819	1826	1829

表3 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7%ニッケル合金（傷有）
	A(B,C)-3-3-2-1	溶射亜鉛7%ニッケル合金（傷無）
	A(B,C)-3-5-1-1	溶射7%ニッケル（傷有）
	A(B,C)-3-5-2-1	溶射7%ニッケル（傷無）
	A(B,C)-3-7-1-1	溶射亜鉛7%ニッケル合金低温7-3（傷有）
	A(B,C)-3-7-2-1	溶射亜鉛7%ニッケル合金低温7-3（傷無）
	A(B,C)-3-8-1-1	溶射7%ニッケル系（傷有）
	A(B,C)-3-8-2-1	溶射7%ニッケル系（傷無）
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7%ニッケル合金+塗装
	A(B,C)-3-6-2-1	溶射7%ニッケル+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（エネルギーライフ）
塗装（工程短縮）	A(B,C)-5-1-2-1	塗装1（短縮1）
	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	有機ゾウリチ（傷有）
	A(B,C)-6-2-2-1	有機ゾウリチ（傷無）

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（腐食点）が発生しており、表面と裏面では、裏面の方がさびの発生が認められた。

地域別にみると表面、裏面とも宮古>銚子>琉大の順にさびの発生が認められた。

これらの結果は、暴露試験 60 ヶ月間を通して同様の傾向を示しており、宮古での SUS304 ステンレス鋼においては、暴露 20 ヶ月頃から光沢の減少が認められたのに対し、SUS444 ステンレス鋼は暴露 60 ヶ月においても多少のシミは存在するものかなりの光沢度を有しており、耐食性に大きな差があることが認められた。

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かった。

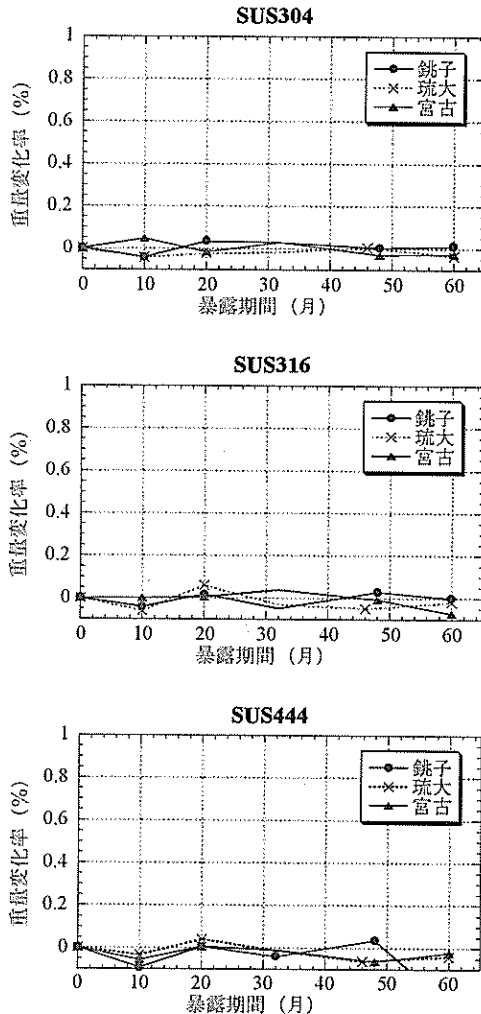


図1 ステンレス鋼の重量変化率

3-2 炭素鋼

炭素鋼の状況は、地域別にみても、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。

図2に炭素鋼試験片3種類の腐食速度を示す。いずれの炭素鋼も宮古が腐食速度が大きく、銚子と琉大は同程度となっている。一般的に腐食速度は初期段階が最も大きく、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、60 ヶ月時点で腐食速度が 13mdd であり、これは板厚で年間約 0.07mm 減少することを意味している。

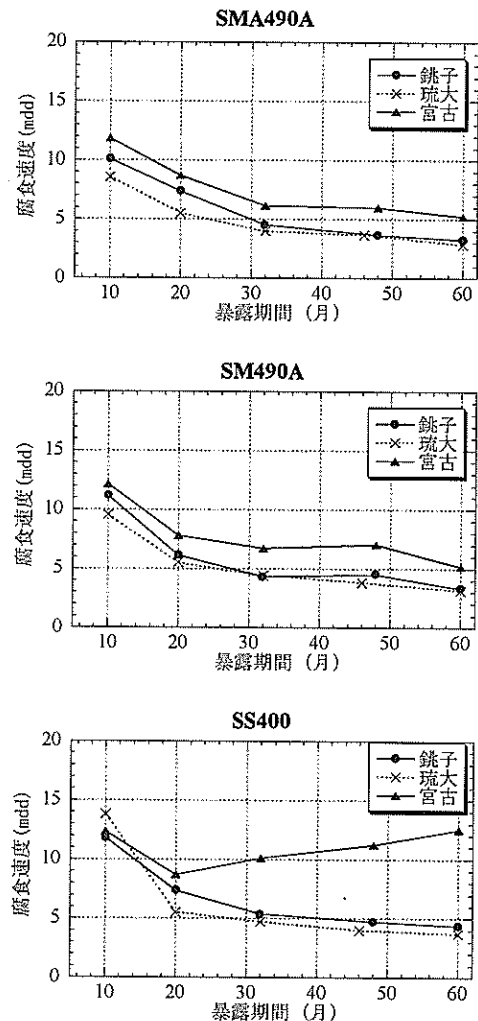


図2 炭素鋼の腐食速度

3-3 溶射試験片

溶射試験片の暴露前後の重量変化を図3に示す。亜鉛溶射は宮古が他地域に比べ大きな重量変化を示したのに対し、アルミニウム溶射では地域差はほとんど認められなかった。また亜鉛・アルミニウム合金溶射では重量変化率が約0.8%と高い値を示したのに対し、亜鉛・アルミニウム合金低温アーク溶射（擬合金）では地域差が認められず、亜鉛溶射と同じような傾向を示した。

溶射亜鉛試験片は宮古が銩子、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。銩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、宮古のさびの色が銩子、琉大の赤さびよりも黒みがかったり、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>銩子の順で、おもて面が発生量は多かった。

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。宮古の白さびが銩子、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、特に銩子で顕著であった。さびの発生はみられなかった。

3-4 溶射+塗装試験片

亜鉛溶射+塗装試験片及び亜鉛・アルミニウム溶射+塗装試験片では塗膜のわれ、ふくれ等、特に異常はみられなかった。しかし、アルミニウム溶射+塗装試験片は銩子、琉大で試験片端部に塗膜のわれが、宮古で試験片端部及び裏面中央部にわれ、おもて面端部で剥離が認められた。48ヶ月時点でも宮古のアルミ溶射+塗装試験片でわれ（おもて面端部）が認められている。

溶射+塗装試験片のインピーダンス測定では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。

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>銩子の順で、裏面がより白さびが発生していた。この傾向は暴露試験期間を通じて同様であった。

めっき試験片の暴露前後の重量変化率を図4に示す。

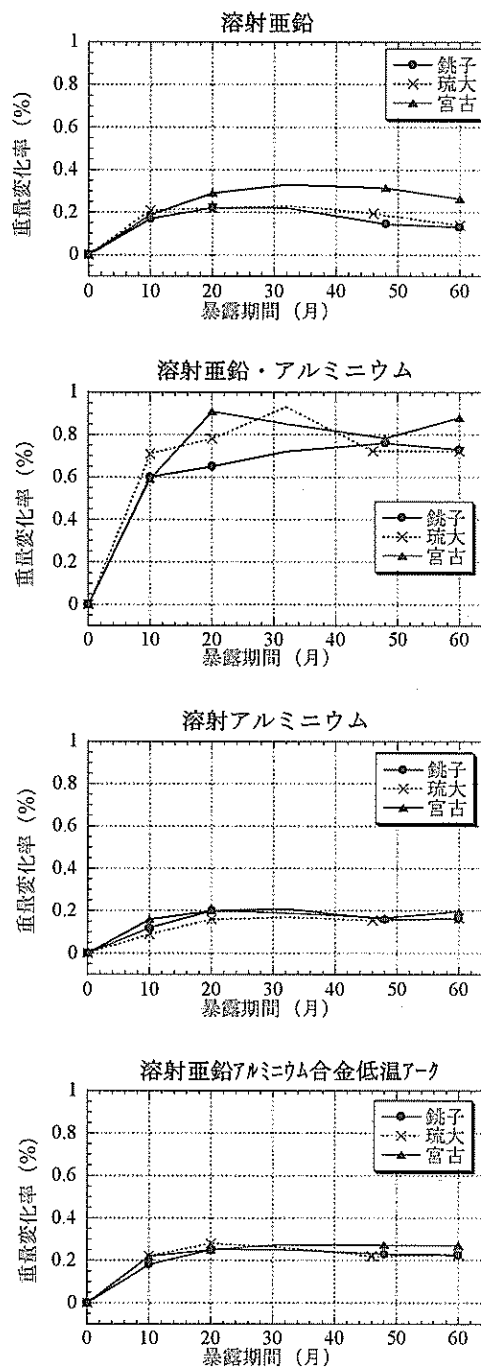


図3 溶射試験片の重量変化率

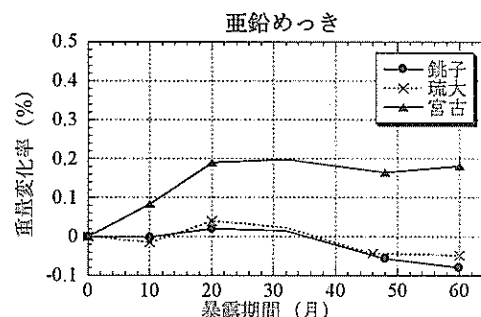


図4 めっき試験片の重量変化

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、銹子、琉大ではほとんど変化がみられなかった。

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で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がポリエチレン系、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。

暴露 48 ヶ月の試験片で、銹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裏面にみられたが、60 ヶ月目の試験片では特に異常は認められなかった。またインピーダンス測定でも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5に示す。各試験片とも地域別の差はあまり明確ではないが、種類別でみると、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(L a b)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6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っている。地域差をみてみると電力仕様、工程短縮1、工程短縮3で琉大、宮古の色差が銹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。種類別にみると電力仕様、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。

有機ジク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

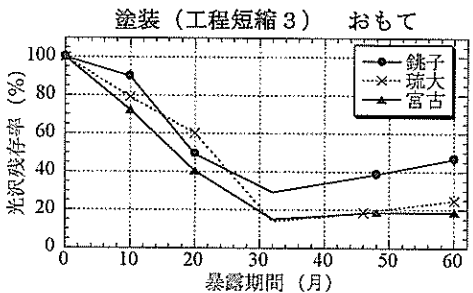
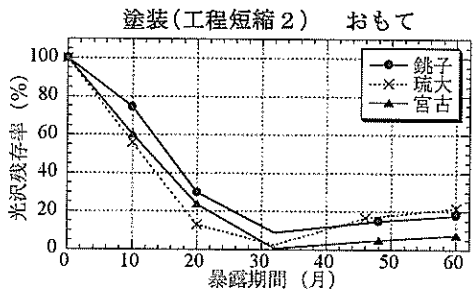
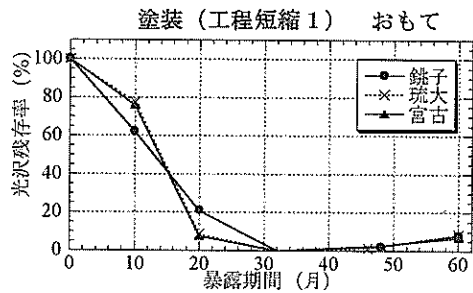
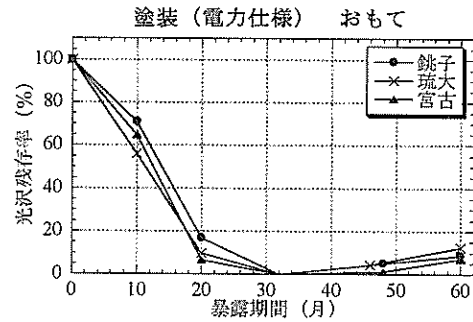


図5 塗装試験片の光沢残存率

に宮古において大きな広がりがみられた。

4 まとめ

暴露試験5年間(60ヶ月)における試験片の状況は以下の通りであった。

- 1) 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。
- 2) 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

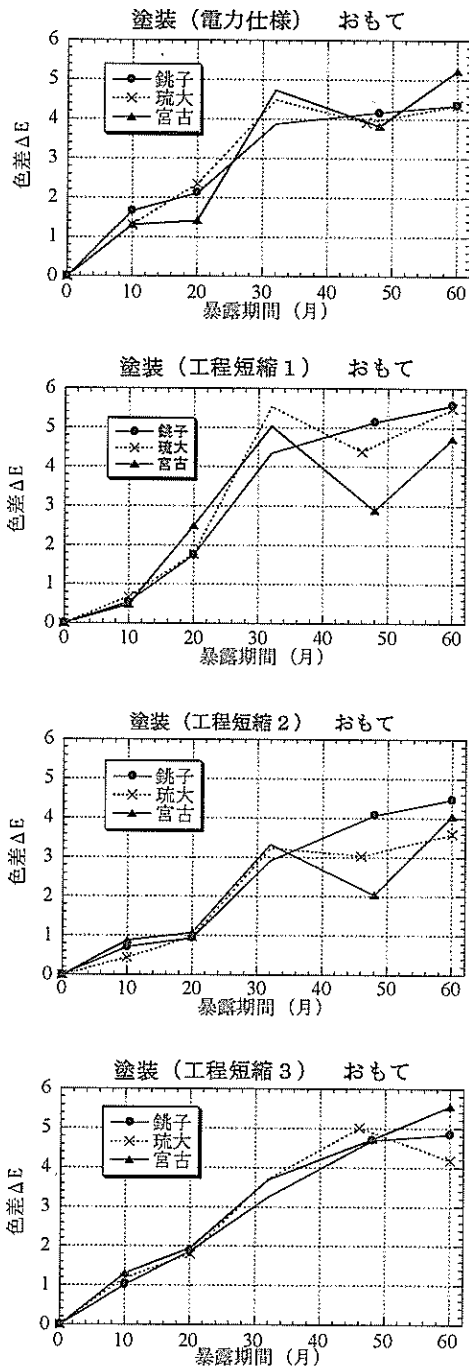


図6 塗装試験片の色差

片で一部点さびが確認されたが、60ヶ月時点ではいずれも異常は認められなかったことから、工程短縮型の塗装仕様について少なくとも5年間の使用に耐えるものと思われる。

5) 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、32ヶ月時点においてすでにピンホールより赤さびが発生しており、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 第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第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第1号、2号
- 4) 安里昌樹、石原金盛 「金属構造物の防食技術開発に関する研究(第4報、5報)」 沖縄県工業技術センター研究報告第3号、4号

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見られず、犠牲陽極作用が確認された。

3) 溶射+塗装、めっき+塗装試験片は、長期防食が期待される仕様であるが、60ヶ月経過時点で、アルミニウム溶射+塗装試験片において、われ、剥離が認められた。その他の試験片についてはいずれも異常は認められなかった。

4) 塗装系試験片については48ヶ月経過時点での試験

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。