

沖縄県における金属素材および防錆被覆材の耐食性に関する研究(その5)

—— 大気暴露試験3か年の結果 ——

機械金属室 石原金盛・長山純朗・國吉和男・比嘉眞嗣・比嘉敏勝

1. 緒言

本研究は県内における電力施設等の防錆技術向上に資することを目的として、金属素材を含めて塗装、めっき、溶射の各種試験片について、その耐食性を評価するために、平成2年から、石垣、宮古、那覇、石川、本部及び千葉県銚子市において、大気暴露試験に着手したものであり、今回は大気暴露3か年時の結果についての報告である。

2. 実験方法

本研究における試験片暴露の方法はJIS K5400、塗料一般試験法、耐候性試験に準拠しており、暴露面の角度を緯度-5度とし各試験片特性値の経時変化および地域変化を測定している。測定項目は外観観察、重量変化、光沢度、インピーダンス、付着力、ゴバン目試験、腐食減量、大気中海塩粒子、その他の気象因子であるが、今回は主として素材試験片の腐食減量と海塩粒子量および気象因子の関係についての報告とした。各特性地の測定方法については第2報(文献1)に示した通りである。

3. 結果および考察

3.1 外観観察による各試験片の変化

全試験片について試験片回収時期に外観観察および写真撮影を行っている。外観観察は白錆や赤錆の発生状況を評価するほか、めっき試験片や塗装試験片につけた傷部からの錆の進行状況等についても観測を行っている。これらの変化を試験片ごとにみると以下のとおりである。

3.1.1 素材試験片

総括的にみると表面の場合、県内と銚子の比較では錆の粒は県内が粗く銚子は細かく固着している。浮き錆が少ない傾向で、2か年時と同様である。試験片別では冷間圧延鋼板(B)がもっとも粗く、地域別では石垣、宮古、本部、石川、銚子、那覇の順に細くなる。

錆の状況では、石垣の場合、冷間圧延鋼板で板厚3.2mmの試験片が2枚の内1枚は上部から約4分の1程度腐食消失し、残りの部分は表・裏ともふくれ錆が剥落した状態である。腐食劣化程度の順序は冷間圧延鋼板>普通鋼板>耐候性鋼板=溶接用鋼板=球状黒鉛鑄鉄の順で2か年時と同じである。表面と裏面ではどの地区においても裏面が大きい。

3.1.2 ステンレス試験片

ステンレス試験片はSUS304とSUS444とでは劣化度に明かな差があり、この差は光沢度において明かである。地域別劣化順位はSUS304, 444ともに表面が石垣>宮古>石川>那覇>本部>銚子の順である。また、304, 444とも赤錆発生がはじまっており、その程度は石垣>宮古>沖縄本島>銚子の順である。銚子の場合、赤錆の粒が比較的細かい。

3か年時の表面と裏面の比較では石垣、宮古は裏面劣化が明かでその他の地区でも前者ほどではないが裏面の劣化が大きい。

3. 1. 3 めっき・溶射試験片

本試験片の地域による劣化順位は石垣>宮古>那覇=石川>本部>銚子の順である。H1、H2、J1、J2とした電気亜鉛めっき試験片は石垣4枚、宮古2枚、那覇1枚、石川1枚に赤錆発生が見られる。5mm幅の切傷は石垣2枚、宮古1枚、那覇1枚が異常な赤錆発生を示している。また、溶融亜鉛めっき以下の傷幅はせばまる方向の変化を示している。亜鉛・アルミ合金溶射のゴマ状白錆量の程度は宮古、石川、那覇、本部、石垣、銚子の順であり、普通鋼材等の劣化順位とは異なった傾向を示している。これらの劣化状況を細かくみると以下のとおりである。

電気亜鉛めっき(H1、30g/m²)では石垣、宮古の試験片に赤錆が、2か年時の約40%に対して3か年時では約60%発生している。石川地区では約20%の赤錆が見られるがその他の地区では赤錆の発生は見られない。H2は同試験片に5mm巾の切傷をつけた試験片で、傷部からの錆発生に明かな違いが見られる。目視観察であるが、石垣100%、宮古60%、那覇20%で、その他の地区では傷部以外には赤錆の発生はなく、5mm幅傷部の広がり、石川、13.0mm、本部12.5mm、銚子9.7mmである。J1、J2は同試験片のめっき量が50g/m²としたものであり、石垣地区では試験片の止め具部や周辺部に赤錆の発生が見られるが、宮古地区を含めたその他の地区では赤錆は見られず、耐食性に明かな差が見られる。

溶融亜鉛メッキ面の切傷(K2)は初期5mm巾が白錆の両側からの伸張で狭まり、傷部を保護している状況は2か年時と殆ど同じである。この傾向は亜鉛溶射(M)、亜鉛・アルミ溶射(N)、アルミ溶射(O)においても同様である。N試験片(亜鉛アルミ溶射)は暴露初期の黒色変化が次第にさめて灰色に近づき、点状白錆が多くなっている。

3. 1. 4 [めっき+塗装、溶射+塗装] 試験片

この試験片はめっき面や溶射面に塗装を施した場合の変化を見るための試験片であるが、暴露3か年時における状況は以下のとおりである。

電気亜鉛めっき面に銘柄Aの変性エポキシを塗装したMH試験片でみると、表面の塗膜が風化後流失した状況で、その程度は宮古>石垣>本部>石川>那覇=銚子の順で、2か年時とは多少違った傾向が見られる。変性エポキシの銘柄を変えたMK試料はハクリもなく、石垣、宮古以外は光沢も残っている。MM、MN、MO試験片にはハクリは見られない。

3. 1. 5 塗装試験片

6種類の塗装系のうち、フタル酸(P)および塩化ゴム(Q)は塗膜面につけたカッター傷の広がり方が他の試験片に較べて大きく、その巾は2~10mm程度で2か年時より更に大きな広がりをみせている。また、ポリウレタン(R)とふっ素樹脂(S、T、U)の場合、3か年時でも、ほとんど異常のない状況を示しているが、石川ではUが、本部ではTが傷部からの錆の始まりが見られる。裏面ではフタル酸塗料試験片(P)の石垣に点錆3個が見られるほかは錆の発生は見られない。

一方、全く同様の塗装系で記号HPないしHUとし、塗り残し部を作った試験片でも、この傾向は同様である。塗り残し部から塗装部へのさびの侵入長さを塗膜の上から錆色変化部の長さとして測定することにより推定すると、24か月時まではフタル酸と塩化ゴムが大きかったのに対し、36か月時ではポリウレタン仕上げ(R)に錆侵入度の明かな進行が見られるようになっている。これを地

域差で見ると、石垣、宮古地区は大きく、沖縄本島地区は殆ど差がなく、銚子地区は小さい傾向を示している。

その他、塗装系が同じ溝型鋼試験片については1か年時までは通常平面には殆ど異常は見られなかったが、2か年時から、石垣、宮古、石川のフタル酸(P)と塩化ゴム(Q)に点錆発生が見られるようになり、3か年時は更に増加している。

地域別ではやはり、銚子は全試験片とも錆発生はなく健全であるが、表面にスス状の汚れが目だっている。

3. 2 光沢残存率

3. 2. 1 ステンレス試験片

図1に光沢残存率の測定結果を示した。SUS304(F)では1か年時と較べると、石垣(1)、宮古(2)、那覇(3)の変化がやや大きく、全般的には24か月時では40~60%であったのが36か月では20~45%の残存率である。444では殆ど変化がなく、

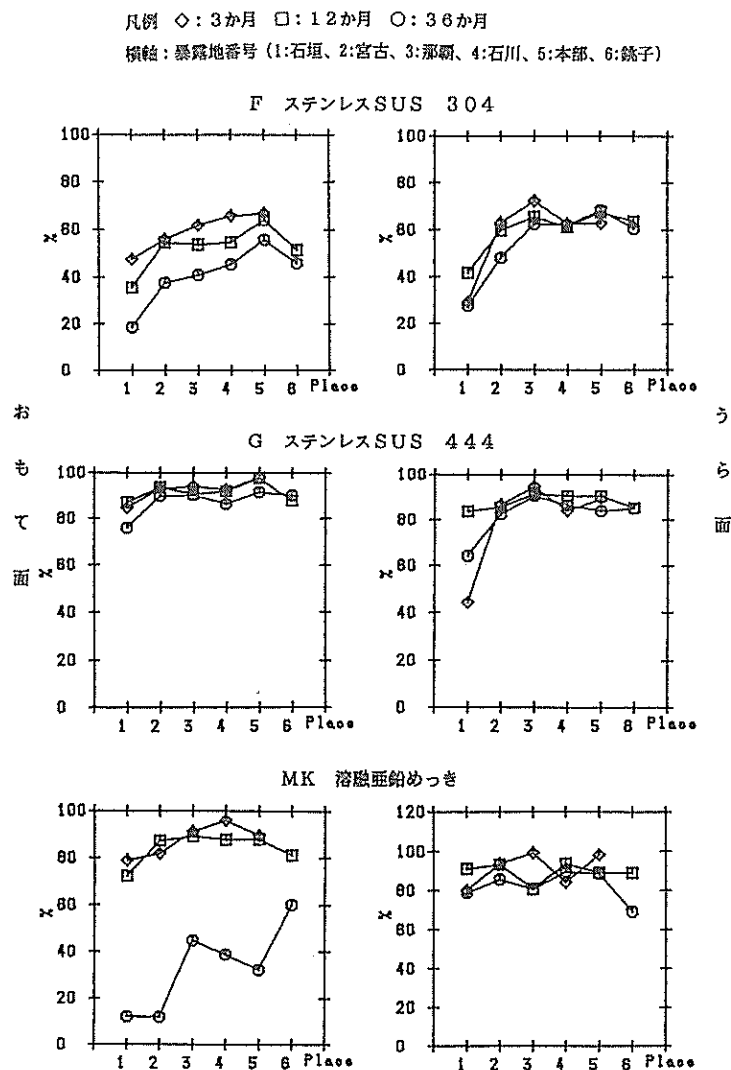


図1-1 各試験片の地域別光沢残存率

凡例 ◇ : 3か月 □ : 12か月 ○ : 36か月

横軸 : 暴露地番号 (1 : 石垣、2 : 宮古、3 : 那覇、4 : 石川、5 : 本部、6 : 銚子)

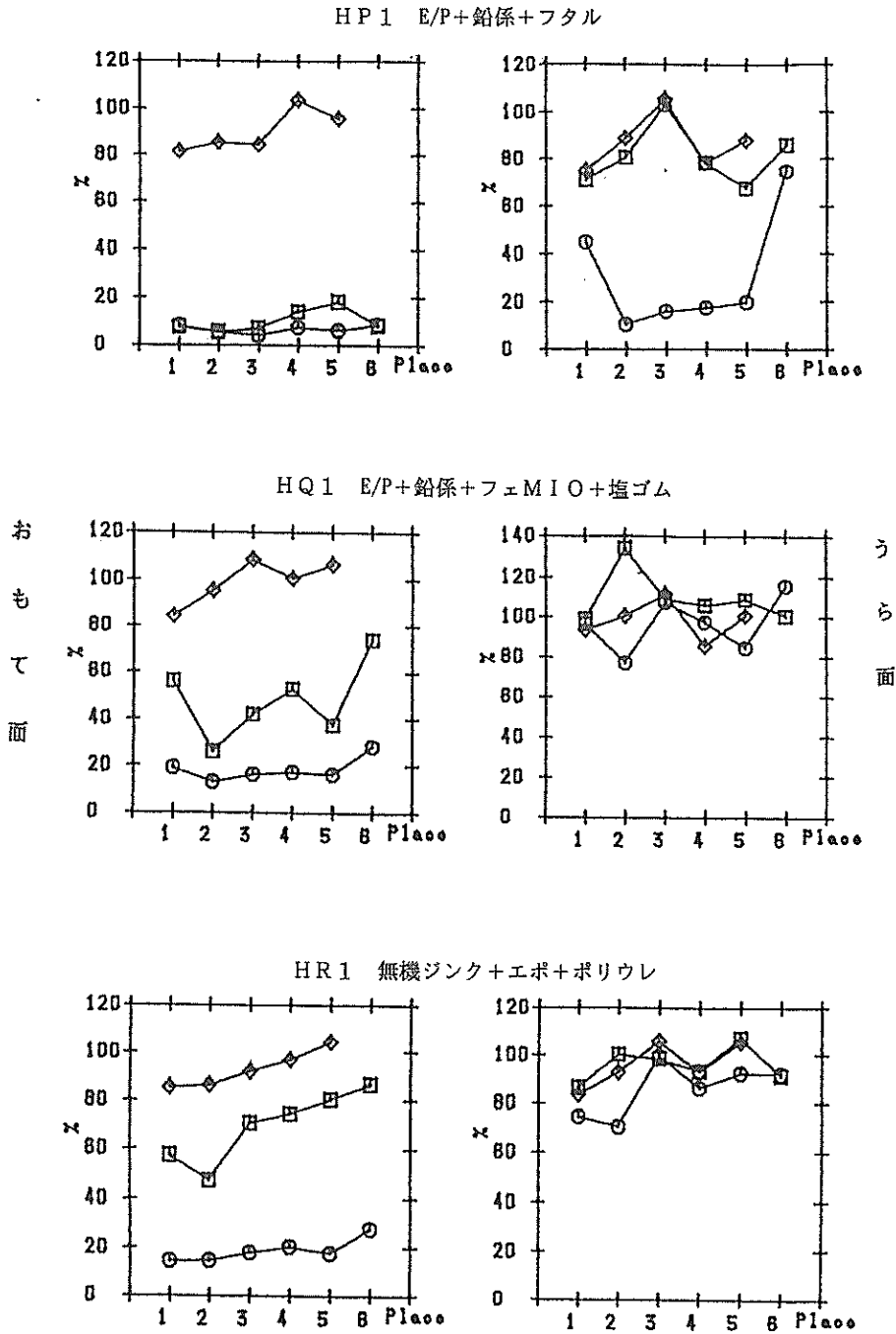


図1-2 各試験片の地域別光沢残存率 (続き)

80~90%の残存率で経時変化がきわめて少ない傾向である。

また、裏面と表面との光沢度は暴露1か年の時点からあまり大きな差は見られなくなっている。表面・裏面を含めて地域別の変化を見ると、石垣と宮古がやや大きくて、その他の地域は304の表面以外では殆ど差がない。

3. 2. 2 めっき+塗装試験片

めっき・溶射面に塗装した5銘柄の変性エポキシ樹脂塗料のうちMK（神東塗料）だけが光沢度が大きく、残りのものは殆ど艶消しの状態であった。3か月時のMK試料の光沢残存率は80~90%を示しており、12か月時も殆ど変化はなかったが、24か月時点から大きく変化し、36か月では、石垣・宮古では約10%、那覇と銚子では裏面で80~90%の残存率である。

凡例 ◇：3か月 □：12か月 ○：36か月

横軸：暴露地番号（1：石垣、2：宮古、3：那覇、4：石川、5：本部、6：銚子）

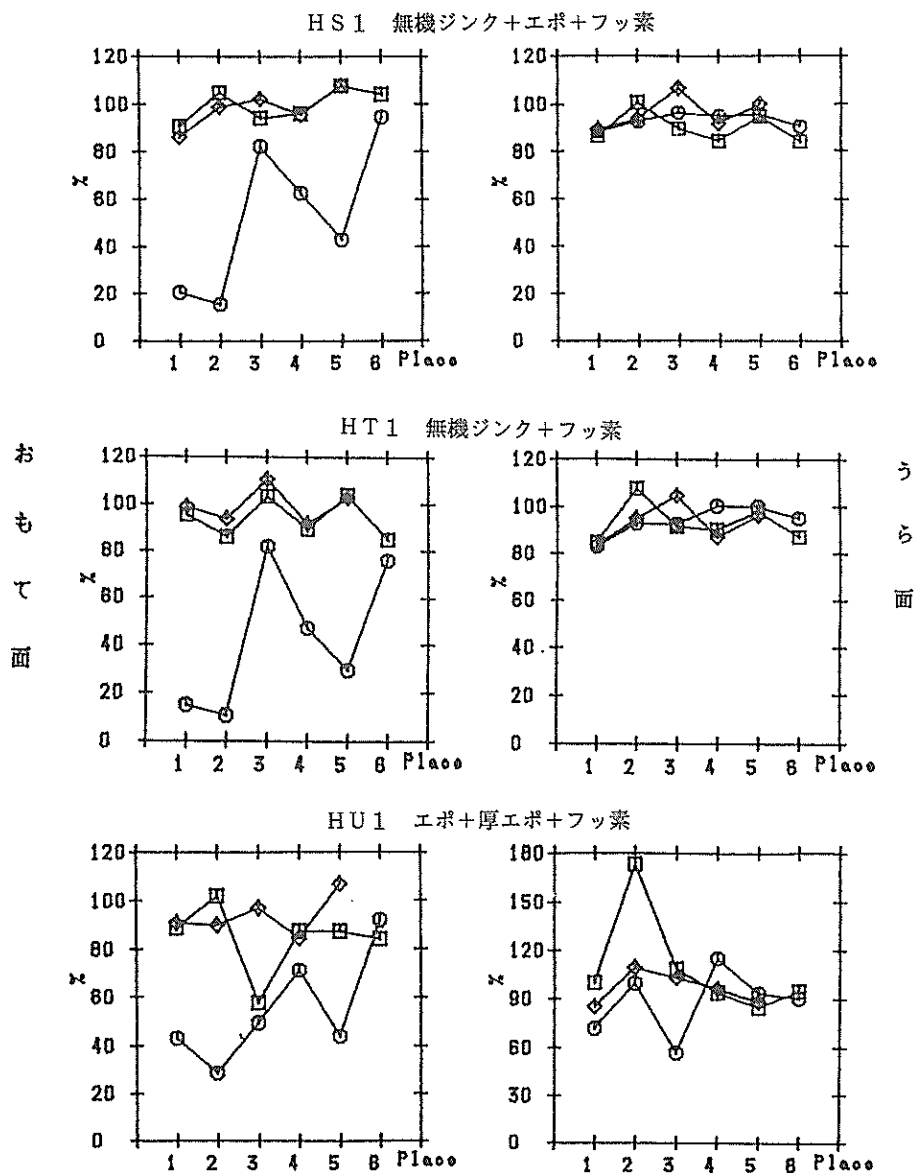


図1-3 各試験片の地域別光沢残存率（続き）

3. 2. 3 塗装試験片

塗装試験片は表面と裏面では紫外線劣化の程度が違うため、光沢残存率に大きな差が見られる。表面ではフタル酸樹脂塗料 (HP) は全地区で光沢が殆ど残らず、塩化ゴム (HQ) およびポリウレタン (HR) は銚子が約30%で県内地区では約20%の残存率である。これに対し記号HS・HTとした試験片は、塗装系を変えたふっ素樹脂塗料であるが、那覇と銚子では依然として80%前後の光沢残存率を示している。しかし、石垣・宮古地区ではウレタン樹脂塗料と同じか、またはこれ以下であり石川・本部地区でもかなりの光沢減が見られる。HS・HT試験片の塗装系は共に厚膜型無機ジंकリッチ+ふっ素樹脂塗料であり、HSは中塗りにエポキシ樹脂塗料2回塗りとしたもの、HTは中塗りを省略して、ふっ素樹脂塗料を2回塗りとしたものである。両試験片には光沢度の差が見られないが、耐候性においてはどうなるのか今後の変化に注目する必要がある。また、HU試験片は超厚膜型エポキシ塗料の上にふっ素樹脂塗料を2回塗りしたもので、ハケ塗りのため、ハケ目の残る試験片となり、実際の光沢度よりも低い値を示しているものと思われる。

地区別変化は、宮古・石垣地区、沖縄本島地区および銚子地区の3地区に区分され、南になるほど劣化の度合が大きくなっている。

図においては光沢残存率が100%を越えるものがみられたが、この理由についてはこれまでもコメントしておいたように、暴露のある期間内では、風雨による洗浄効果が紫外線等による劣化効果を上回って、光沢度が増加したことが考えられる。36か月時点の表面ではそのような結果は見られず、いずれの試験片も光沢度は大きく減少している。

なお、紫外線の影響が少ない裏面についてはフタル酸樹脂の他は大きな光沢減は見られなかった。

凡例 ◇: 3か月 □: 12か月 ○: 36か月

横軸: 暴露地番号 (1: 石垣, 2: 宮古, 3: 那覇, 4: 石川, 5: 本部, 6: 銚子)

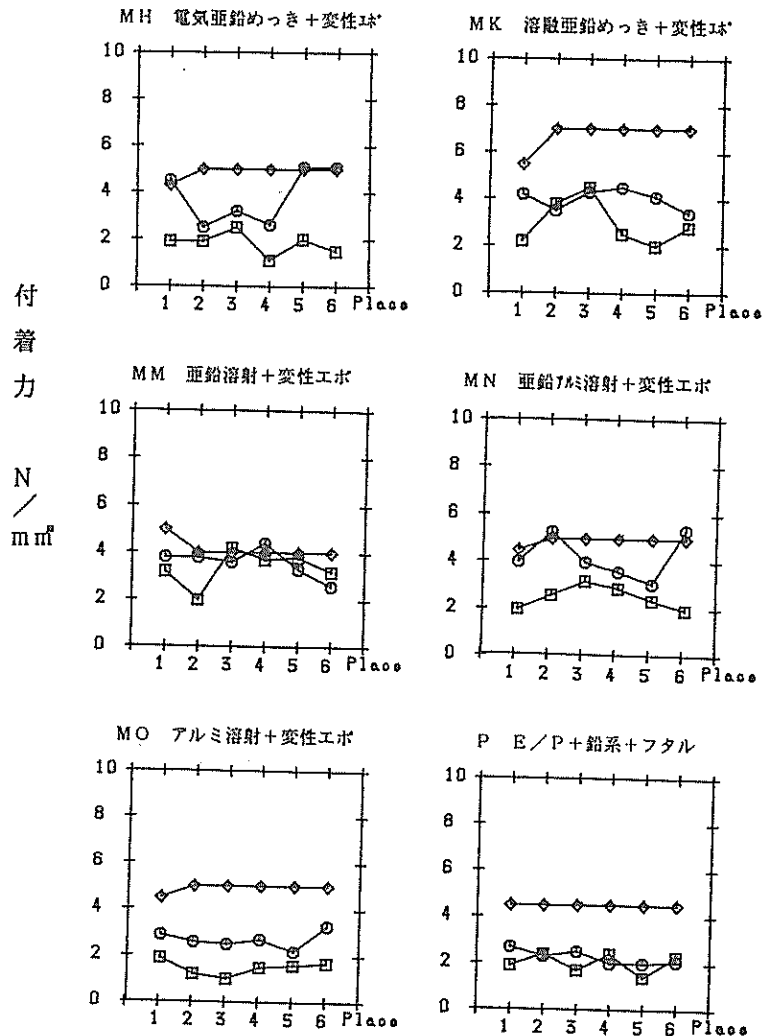


図2-1 各試験片の地域別付着力の変化

3.3 付着力

付着力の測定はアドヒージョンテスター (Elcometer Instruments 社製 Model 106) を用いて行った。対象とした試験片はめっき面または溶射面に塗装した試験片と一般塗装試験片である。本試験は塗膜面に治具を接着するときの接着剤の選択と接着方法に注意を払う必要がある。

試験方法は塗膜を240番研磨紙で粗し、アルコールで拭いて乾かしたのち、エポキシ系接着剤で付着面積 2 cm^2 の治具を接着して12時間以上置いたのち、治具の周囲の塗膜をカットして付着力を測定した。

試験の結果は毎回ハクリの仕方に大きな違いが見られた。ハクリの仕方には大きく分けて、①接着面から、②上塗りの表皮から、③中塗りから、④下塗りから、⑤素地から、の5つの場合が観察された。またそれぞれの場合、塗膜のハクリ程度は0%から100%までさまざまであり、厳密な意味での付着力が得られているかどうかについては疑問が残るが、防錆塗膜として実用に耐え得る付着力があるかどうかの検討には役立つものと判断される。

測定結果を図2に示した。めっき面に塗られた変性エポキシ塗料は初期付着力が $4 \sim 7 \text{ N/mm}^2$ ($40 \sim 70 \text{ kgf/cm}^2$) である。中でも熔融亜鉛めっき面に塗った塗料 (MK) は $5 \sim 7 \text{ N/mm}^2$ で比較的付着力がよい。

その他の塗装試験片も付着力においては大きな差は見られないが12か月時点までは、一般に時間の経過で付着力が下がる傾向を示していたのが、24か月時と今回の36か月時では逆に増加している。これは前述の測定方法のノウハウにかかるともあれこれらの試験片においては現時点では実用上問題となるような付着力の低下は見られない。塗装試験片においても同様な結果であり、P (フタル酸) およびT (ふっ素樹脂) が比較的弱い値を示しているが、その他の塗装系では実用上問題ないとされる 20 kgf/cm^2 (2 N/mm^2) 以上の付着力を示している。

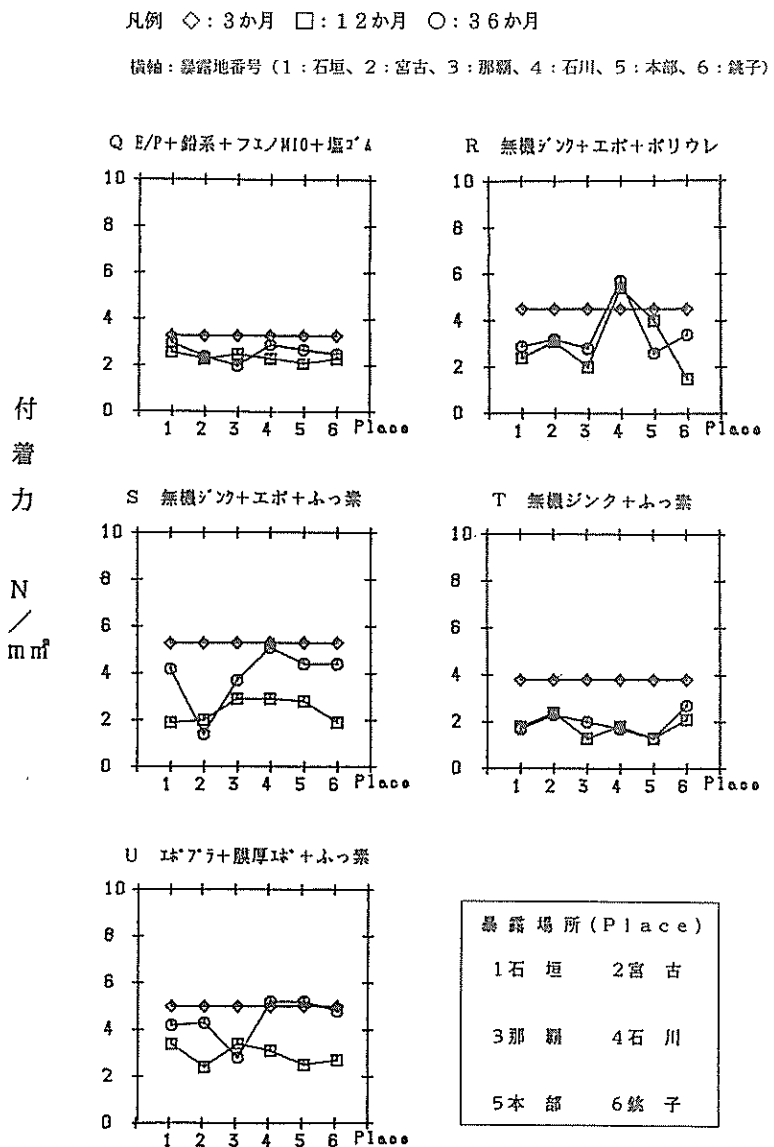


図2-2 (つづき)

3. 4 腐食減量 (素材試験片)

表1に各暴露地における素材試験片の腐食度(m d d)の生データを示した。これらの表から試験片別腐食度は冷間圧延鋼板>普通鋼板>溶接構造用鋼板>耐候性鋼板>球状黒鉛鑄鉄の順であることがわかる。これらの値をより正確に比較するために各測定値を偏差値に直したのが表2である。表から、鋼種別では耐候性鋼板(C)や普通鋼板(A)を基準として比較すると、暴露3か年時の場合、普通鋼板に較べて冷間圧延鋼板は1.43倍、耐候性鋼板は0.80倍、溶接構造用鋼板は0.89倍、球状黒鉛鑄鉄は0.78倍の腐食量であり、普通鋼板、冷間圧延鋼板、鑄鉄(耐候性鋼、溶接用鋼)間には腐食度に差が見られるが、鑄鉄・耐候性鋼・溶接用鋼の間には差は見られない。

また地域差を各鋼種

腐食量の合計値で比較すると、石垣、宮古、沖縄本島(那覇・石川・本部)、銚子の順であるが、沖縄本島内および沖縄本島と銚子とでは差が見られなくなっている。このことから、環境因子の影響は暴露初期に大きくて次第に小さくなるものと考えられる。

また、県内各地の腐食度の平均は銚子に比べて約1.19倍で24か月時の1.27倍と較べるとその差が狭まっている。

表1 素材試験片の腐食速度測定結果

	2 4 ヶ 月 時 (単位m d d)							合計	比較値1	比較値2
	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銚子				
A	18.65	8.31	6.93	7.51	8.30	6.40	56.10	1.75	1.00	
B	71.53	13.68	7.81	15.85	18.65	15.55	143.07	4.45	2.55	
C	7.94	6.10	4.65	4.80	4.60	4.05	32.14	1.00	0.57	
D	10.50	7.82	5.78	5.89	6.38	5.26	42.63	1.30	0.76	
E	7.48	5.00	4.54	4.60	4.08	4.23	29.93	0.93	0.53	
合計値	116.10	40.91	29.71	38.65	42.01	35.49	試料名 A 普通鋼板 B 冷間圧延鋼板 C 耐候性鋼板 D 溶接用鋼板 E 球状黒鉛鋼板			
比較値	3.27	1.15	0.84	1.09	1.18	1.00				
腐食順位	1	3	6	4	2	5				

	3 6 ヶ 月 時 (単位m d d)							合計	比較値1	比較値2
	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銚子				
A	29.56	7.04	5.61	5.59	6.00	5.13	58.95	2.36	1.00	
B	85.89	21.88	6.28	13.51	10.37	13.41	151.34	6.07	2.57	
C	7.00	4.57	3.43	3.35	3.34	3.26	24.95	1.00	0.42	
D	9.10	5.67	4.69	4.38	4.25	4.61	32.70	1.31	0.55	
E	6.76	3.70	3.27	3.23	2.99	2.97	22.92	0.92	0.39	
合計値	138.31	42.86	23.28	30.06	26.95	29.38	試料名 A 普通鋼板 B 冷間圧延鋼板 C 耐候性鋼板 D 溶接用鋼板 E 球状黒鉛鋼板			
比較値	4.71	1.46	0.79	1.02	0.92	1.00				
腐食順位	1	2	6	3	5	4				

表2 各種金属素材の腐食度測定結果

2か年時

①鋼種間の腐食度を偏差値で示したとき。

	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銚子	合計	比較
A	47.67	50.53	59.69	49.34	49.76	47.98	304.97	1.00
B	74.66	72.95	68.32	74.23	74.02	74.52	438.70	1.44
C	42.20	41.31	37.33	41.26	41.09	41.16	244.35	0.80
D	43.51	48.49	48.41	44.51	45.26	44.67	274.85	0.90
E	41.97	36.72	36.25	40.66	39.87	41.68	237.15	0.78

A：普通鋼板 B：冷間圧延鋼板 C：耐候性鋼板

D：溶接用鋼板 E：球状黒鉛鋼鉄

②地域間の腐食度を偏差値で示したとき。単位：m d d

	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銚子	合計	比較
A	77.58	46.92	42.82	44.54	46.89	41.25		
B	77.62	44.11	40.71	45.37	46.99	45.20		
C	74.63	57.09	43.26	44.69	42.79	37.54		
D	75.00	56.19	41.87	42.64	46.08	38.22		
E	77.04	50.13	45.14	45.79	40.14	41.77		
合計	381.87	254.44	213.80	223.03	222.89	203.98		
比較	1.87	1.25	1.05	1.09	1.09	1.00		

3か年時

①鋼種間の腐食度を偏差値で示したとき。

	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銚子	合計	比較
A	50.78	47.16	60.10	48.63	52.83	47.58	307.08	1.00
B	73.99	74.66	67.19	74.38	73.06	74.45	437.73	1.43
C	41.49	42.59	37.02	41.34	40.51	41.51	244.46	0.80
D	42.35	44.62	50.36	44.69	44.72	45.89	272.63	0.89
E	41.39	40.97	35.33	40.95	38.89	40.57	238.10	0.78

A：普通鋼板 B：冷間圧延鋼板 C：耐候性鋼板

D：溶接用鋼板 E：球状黒鉛鋼鉄

②地域間の腐食度を偏差値で示したとき。単位：m d d

	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銚子	合計	比較
A	77.89	46.07	44.05	44.02	44.60	43.37		
B	77.54	48.48	41.40	44.68	43.26	44.64		
C	76.35	53.82	43.25	42.51	42.42	41.67		
D	76.92	51.62	44.40	42.11	41.15	43.81		
E	77.49	48.88	44.86	44.48	42.24	42.05		
合計	386.19	248.87	217.96	217.80	213.67	215.54		
比較	1.79	1.15	1.01	1.01	0.99	1.00		

4 各暴露地における環境因子の特徴および腐食量との関係

暴露場を県内5か所、県外1か所の計6か所としたのは環境差による耐食性の差を見ることが目的である。従って環境因子の測定が必要であり、塩分量等の測定と気象台のデータを活用して環境の特性を把握することに努めている。

4.1 大気中海塩粒子量と腐食速度

木わく(10×10cm)に洗って乾燥したガーゼを2枚重ねにして張り、アングル鋼材とベニヤ板で作った屋根の下に吊して雨に濡れるのを防ぎ、1か月間暴露したのち回収してサンプルとした。このようにして回収したガーゼから塩分を加熱溶解して抽出し、硝酸銀溶液で滴定して海塩粒子量を求めた。結果は表3のとおりである。

36か月間の測定結果を地区別平均でみると、多い方から、石垣>那覇>本部>宮古>石川>銚子の順である。これらの測定結果は必ずしも地域特性、気象特性というよりも暴露場の特性を表しているようである。

表3 大氣中海塩粒子量測定結果

期間：平成2年10月～平成5年9月 単位：mdd

採取月		石垣(1)	宮古(2)	那覇(3)	石川(4)	本部(5)	銚子(6)
10月	1年目(H2)	0.357	0.258	0.217	0.265	0.282	0.297
	2年目(H3)	1.939	0.432	0.559	0.626	0.328	0.070
	3年目(H4)	2.900	0.670	0.570	0.488	0.172	0.120
	平均	1.732	0.453	0.449	0.460	0.261	0.162
11月	1年目(H2)	0.491	0.408	0.534	0.491	0.483	0.316
	2年目(H3)	1.043	0.431	0.454	0.648	0.268	0.319
	3年目(H4)	2.540	0.770	0.577	0.596	0.750	0.126
	平均	1.358	0.536	0.522	0.578	0.500	0.587
12月	1年目(H2)	0.346	0.206	0.317	0.224	0.225	0.250
	2年目(H3)	0.402	0.290	0.360	0.180	0.417	0.089
	3年目(H4)	0.997	0.271	0.315	0.255	0.221	0.058
	平均	0.582	0.256	0.331	0.220	0.288	0.132
1月	1年目(H3)	0.785	0.480	0.177	0.197	0.295	0.178
	2年目(H4)	1.591	0.618	0.544	0.616	0.992	0.467
	3年目(H5)	1.835	1.000	0.583	0.513	1.219	0.189
	平均	1.404	0.699	0.435	0.442	0.835	0.278
2月	1年目(H3)	0.643	0.388	0.194	0.239	0.190	0.351
	2年目(H4)	0.423	0.382	0.577	0.429	0.528	0.180
	3年目(H5)	0.527	欠	0.598	0.398	0.916	0.135
	平均	0.531	0.385	0.456	0.355	0.545	0.222
3月	1年目(H3)	0.425	0.339	0.372	0.492	0.290	0.413
	2年目(H4)	0.430	0.298	0.294	0.186	0.439	0.193
	3年目(H5)	0.544	0.319	0.428	0.189	0.298	0.069
	平均	0.466	0.319	0.365	0.289	0.342	0.225
4月	1年目(H3)	0.246	0.192	0.254	0.154	0.154	0.317
	2年目(H4)	0.462	0.323	0.318	0.167	0.677	0.325
	3年目(H5)	0.436	0.260	0.320	0.337	0.309	0.321
	平均	0.381	0.258	0.297	0.219	0.380	0.321
5月	1年目(H3)	0.469	0.387	0.493	0.239	0.154	0.293
	2年目(H4)	0.462	0.194	0.209	0.090	0.130	0.420
	3年目(H5)	0.547	0.421	0.441	0.283	0.665	0.134
	平均	0.493	0.334	0.381	0.204	0.316	0.282
6月	1年目(H3)	0.486	0.423	0.298	1.005	0.233	0.288
	2年目(H4)	1.008	—	0.916	0.422	0.406	0.615
	3年目(H5)	0.579	0.548	0.435	0.316	0.372	0.158
	平均	0.691	0.324	0.550	0.581	0.337	0.354
7月	1年目(H3)	0.804	0.559	0.624	0.540	0.484	0.140
	2年目(H4)	0.567	0.603	0.420	0.285	0.272	0.120
	3年目(H5)	0.691	0.503	1.441	0.236	0.351	0.168
	平均	0.687	0.555	0.495	0.354	0.369	0.143
8月	1年目(H3)	0.418	0.335	0.532	0.893	0.496	0.100
	2年目(H4)	0.676	0.380	0.573	0.486	0.717	0.029
	3年目(H5)	0.592	0.698	0.605	0.605	0.573	0.107
	平均	0.562	0.471	0.570	0.661	0.583	0.079
9月	1年目(H3)	0.762	0.331	0.502	0.287	0.438	0.164
	2年目(H4)	1.424	0.585	0.544	0.522	0.265	0.439
	3年目(H5)	1.147	0.413	0.792	0.195	0.226	0.181
	平均	1.111	0.443	0.613	0.335	0.310	0.261
36ヵ月平均		0.833	0.419	0.455	0.392	0.422	0.254
s (標準偏差)		0.622	0.175	0.165	0.211	0.252	0.226

銚子暴露場については(財)日本ウエザリングテストセンターの測定データを活用した。

従来の調査研究結果によると、海塩粒子量と腐食速度は暴露1か年時までは比較的良好な相関関係を有することがわかっていたが、この場合は、腐食速度の順序すなわち石垣、宮古、石川(沖縄本島)、銚子と較べると現在の所、関連性のない結果を示している。

図3はよこ軸にガーゼ付着塩分量の総量(mg/dm²)を、たて軸に金属腐食量の総量(mg/dm²)をとったときの普通鋼板、耐候性鋼板および溶接用鋼板の腐食量を示したものである。時間の経過でX軸・Y軸とも増加するので右上がりのグラフとなるのは当然であるが、この図から特徴的に言えるのは次のとおりである。

- ① 石垣地区では塩分量・腐食量とも大きく、特に普通鋼板の腐食度は他の地区の2倍以上である。
- ② 銚子地区では少ない塩分量に較べて腐食量が多い。特に暴露6か月から12か月の間の腐食量の伸びが石垣を除く他の地区に較べて大きい。

これらの結果は金属腐食が単に塩分量の違いだけによるものでなく、総合的な腐食因子に起因することを示すものであろう。

大気中における金属腐食の状況は普通鋼、ステンレス、亜鉛、銅、鉛等の金属の種類によって違いがあり、腐食量の地域差を考える際には同一鋼種ごとに検討する必要がある。

「那覇地区」とした工業試験場屋上は、大気中塩分量は少なくないが、金属の腐食度が比較的少ない上、塗膜の劣化度も少ない傾向が見られる。海からの距離が約2kmと比較的遠い上、周囲の建物等による影響が考えられ、那覇地区を代表する暴露地としては再検討の必要があると考えられる。

4.2 めれ時間と金属腐食度の関係

降雨や結露による材料表面の「ぬれ」と「乾燥」との繰り返しが材料の劣化に大きく関与すると言われ、特に、材料がぬれから乾燥状態に移る時に腐食速度が大きくなると言われている。一般に

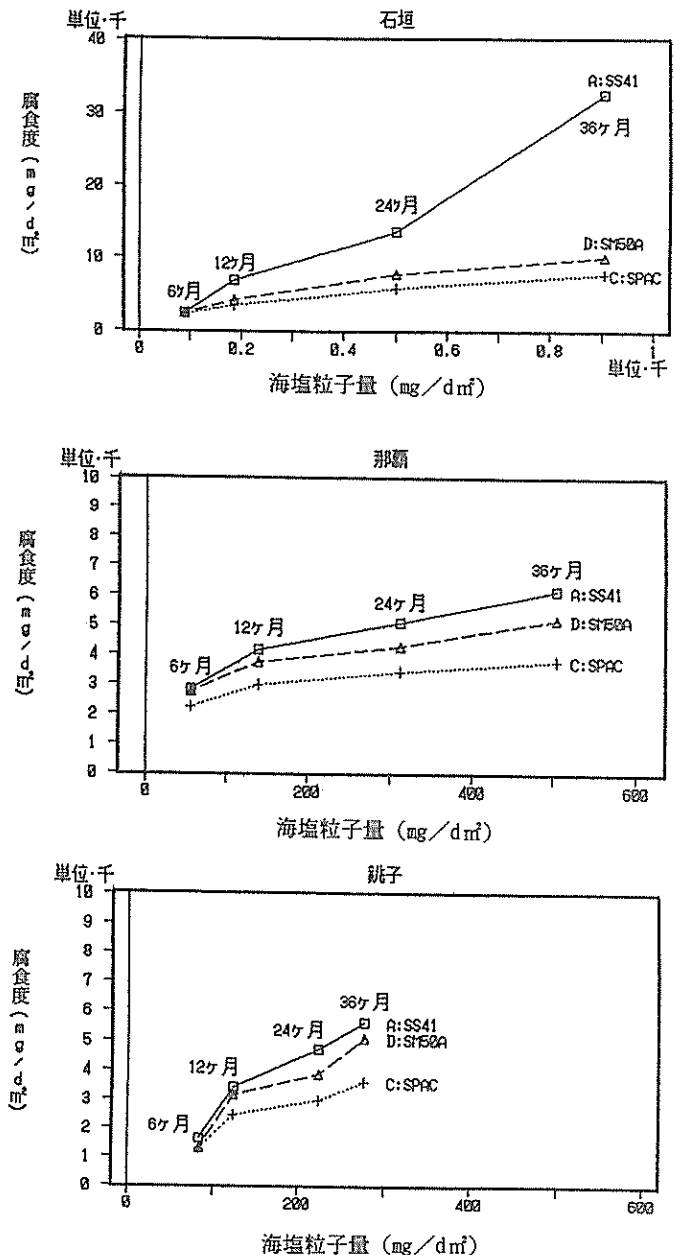


図3 海塩粒子量と腐食度の関係

相対湿度が75%以上のときは材料表面には何等かの形で水分が吸着し、ぬれているものと見られている。そこでISO9223では、気温0℃以上、相対湿度80%以上の時、材料表面はぬれ状態にあるとして、この持続時間をぬれ時間と規定している。

4. 2. 1 宮古、沖縄、銚子におけるぬれ時間等の比較

表4に宮古（ウエザリングテストセンター 宮古試験場）、那覇（工業試験場）、浦添（沖縄電力）および銚子（ウエザリングテストセンター銚子暴露場）における1992年度と1993年度の実測ぬれ時間等を示した。宮古島および銚子はウエザリングテストセンターによる測定値である。

ぬれ時間とは結露時間と降水時間の合計値である。測定機の設置方法は那覇がコンクリート二階建て屋上であり、その他の地区は地上設置である。表からその時間量は銚子>浦添>宮古>那覇の順序

である。その違いは主に結露時間の違いに起因している。すなわち、結露時間量もぬれ時間量の順序と同じであるが、銚子のそれは2725時間となり、他の地区との比較で見ると突出した値である。これに較べて那覇地区の測定値は1212時間で銚子の44%と極めて少ない値である。この理由は何か。1つにはコンクリート屋上での測定による誤差が考えられる。すなわち、コンクリート輻射熱の影響により、温度差が少なくなり、結露時間が少なくなることが考えられる。

当工試と日本金属工業㈱との共同研究結果では、最近5年間の気象台観測データから計算した結露時間（=ぬれ時間、気温0℃以上、相対湿度80%以上の時間）は平均値で3226時間となり、浦添地区での実測値3163時間と近い値が得られている。すなわち、那覇での測定値は何らかの原因による異常値ではないかと考えられる。

表4 各地におけるぬれ時間等の測定結果

(1992. 1月～1993. 12月迄24ヶ月間の平均)

	結露時間	降水時間	ぬれ時間 A	ぬれ回数 B	ぬれ時間 /回数比 C=A/B	年間ぬれ 時間率 D=A/8760hr	
宮古	1992年	1910	1255	3165	906	3.49	0.36
	1993年	1778	621	1399	742	3.23	0.27
平均		1844	938	2782	824	3.36	0.32
那覇	1992年	1361	1087	2448	432	5.67	0.28
	1993年	1063	839	1902	474	4.01	0.22
平均		1212	963	2175	453	4.84	0.25
浦添	1992年	2220	1295	3515	482	7.29	0.40
	1993年	1895	916	2811	531	5.29	0.32
平均		2058	1106	3163	507	6.29	0.36
銚子	1992年	2649	730	3379	492	6.86	0.39
	1993年	2800	907	3707	467	7.94	0.42
平均		2725	819	3543	480	7.40	0.41

4. 2. 2 那覇および銚子におけるぬれ時間と腐食度の関係

図4はたて軸に金属腐食量を、よこ軸に塗れ時間をとって両者の関係をプロットしたものである。図に於て3つのポイントは左から右へそれぞれ、6・12・24・36か月時のぬれ時間と腐食度との関係である。この図で見ると、B（冷間圧延鋼板）については、銚子がぬれ時間も長く、腐食量も多いが、全体的に見るとぬれ時間は銚子が多く腐食度は那覇が大きいという結果となっている。

ここでも、那覇地区のぬれ時間のデータを再検討する必要があるので、両者の相関関係等については今後を検討することとしたい。

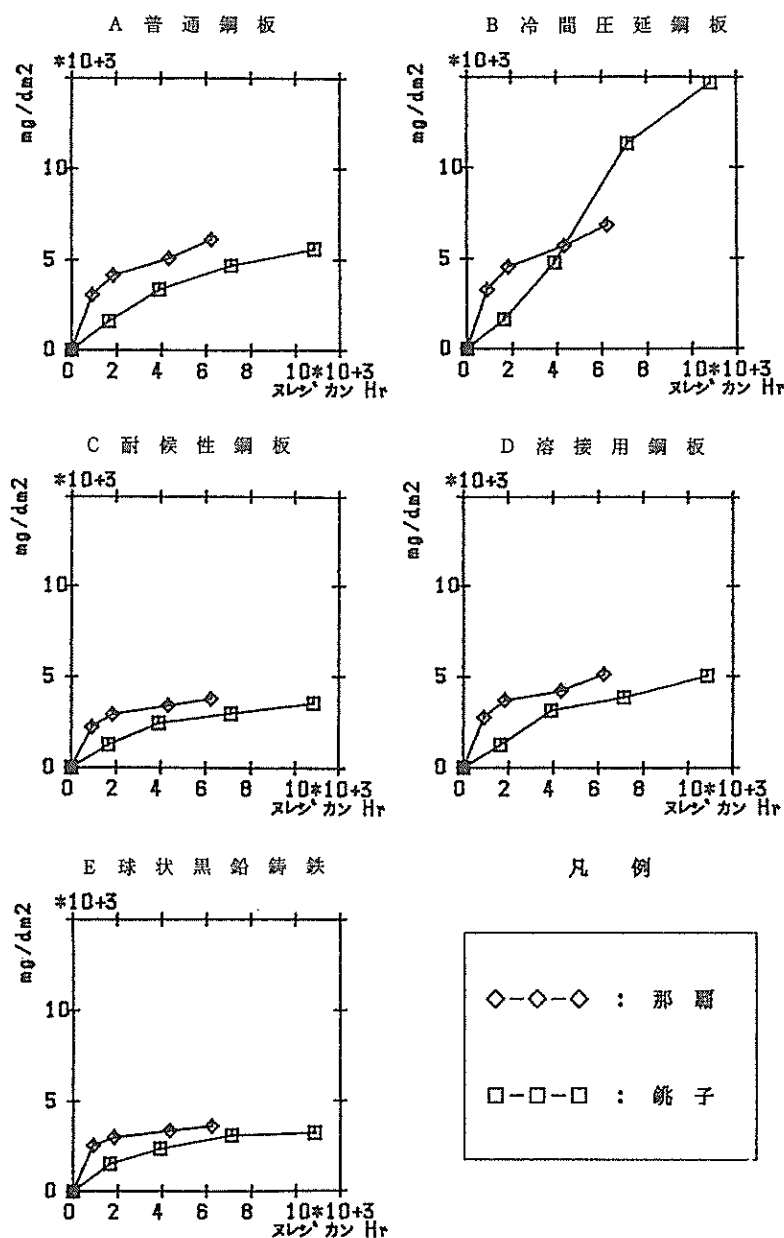


図4 那覇及び銚子におけるぬれ時間と金属腐食量の関係

5. 大気暴露3か年時のまとめ

今回は暴露3か年時の試験片について、各試験片特性値の測定結果について検討を行った。その結果は以下のとおりである。

- ① 素材試験片では暴露期間が長くなるにつれて鋼種間および地域間の腐食度差に変化がみられる。鋼種間の腐食度は冷間圧延鋼板>普通鋼板>球状黒鉛鑄鉄の順で、耐候性鋼板、溶接構造用鋼板と球状黒鉛鑄鉄との間には差が見られなくなっている。地域差も暴露期間の延長に伴って少なくなり、現時点では石垣>宮古>沖縄（石川、本部、那覇）=銚子の順で、沖縄本島内での差および銚子との差が殆ど無くなっている。このことから、気象因子その他の腐食因子は大気暴露の初期において大きく影響し、その後は徐々に小さくなることが考えられる。
- ② ステンレスは、外観、重量及び光沢残存率の変化で評価を行っている。重量ではあまり大きな変化は見られないが、光沢残存率では20~45%となり劣化が進行している。外観では、SUS 304、444とも赤錆発生が観察され、その程度を地域別で見ると、石垣>宮古>沖縄本島>銚子の順で、南になる程錆発生量が多くなる傾向を示している。
- ③ めっき・溶射試験片のうち、電気亜鉛めっき試験片は24か月時は石垣、宮古においてのみ赤錆発生が見られたが36か月では那覇、石川においても見られるようになっているほか、表面につけた5mm切傷巾も10~30mmと拡大して、他の試験片とは差のあることが明瞭である。

その他のめっき・溶射試験片では、切傷巾5mmが傷の両側からの白錆により、縮まる傾向の変化を示している。

- ④ 塗装試験片は外観、光沢残存率、インピーダンス、付着力、ゴバン目試験の結果で評価している。外観では殆どの地区であまり大きな変化は見られないが、塗り残し部をつけた石垣地区の試験片はフタル酸と塩化ゴムに続いて新たにポリウレタン仕上げ塗装に錆侵入部の増大が観察された。

インピーダンスは24か月と殆ど変わりが見られない。ゴバン目試験ではポリウレタンやふっ素樹脂塗料にハクリ面積の増大が見られるが、付着力ではフタル酸樹脂塗料とふっ素樹脂塗料が実用上問題がないとされる20kgf/cm²前後の値で比較的弱い付着力を示している。

塗装試験片の劣化順位は、総合的にみてフタル酸樹脂（P）>塩化ゴム（Q）>ポリウレタン>ふっ素樹脂（U）=ふっ素樹脂（T）=ふっ素樹脂（S）であると言える。

- ⑤ 海塩粒子量の測定結果は、石垣>那覇>宮古>本部>石川>銚子の順であり、腐食速度の順序と較べると必ずしも一致しているとは言えない。
- ⑥ ぬれ時間（結露時間+降水時間）と腐食速度の関係について検討した結果は次のとおりである。ぬれ時間量は銚子>浦添>宮古>那覇の順で、これは結露時間の順序と同じである。

過去2年間の実測結果から、銚子の結露時間は宮古、那覇より大であるとの結果が得られているが、この結果については測定機の精度チェックを含めて詳細に検討する必要があると考えらる。

あとがき

本研究は沖縄電力（株）研究開発部、火力部、中央電力所変電補修課、宮古支店、八重山支店の絶大なご協力により進められており、紙面を借りて深く感謝の意を表します。また、（社）日本ウェザリングテストセンターには、資料の提供など多大なご協力をいただきました。記して心から感謝いたします。

参考文献

1. 石原金盛、長山純朗、國吉和男他：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)～(4)、沖工試研究報告17号～20号、1990～1993
2. 外川靖人（1992）、大気環境の腐食性の推定方法、ウェザリング技術研究発表大会特別講演要旨
3. 富板 崇、樫野 紀元（1989）、我が国における気温補正結露マップの提案、高分子系建築材料の耐久性に関する研究（その3）、日本建築学会構造系論文集第405号
4. 富板、樫野、高根（昭和63年）、海塩粒子捕集量におよぼす気象因子の影響、日本機械学会構造系論文集第384号
5. I S O / T C 156対策専門委員会（1986）、金属と合金「腐食試験片からの腐食生成物除去手順」、I S O技術委員会活動報告
6. （財）日本ウェザリングテストセンター（1993）、新発電システムの標準化に関する調査研究成果報告書、金属系分科会報告書

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。