

金属の塩害に関する調査研究（第Ⅲ報）

—— 大気暴露 24 ヶ月の結果 ——

機械金属室 石 原 金 盛
 比 嘉 敏 勝
 長 山 純 朗

1. まえがき

近時、県内においては、メッキ、溶射、塗装、樹脂コーティング等の金属防錆処理技術が関係者の強い関心をあつめている。これらの現象もみな裏を返せば、腐食の激しさ、すなわち塩害の激しさを物語るものである。

沖縄のような地域においては、他のいかなる腐食因子にも増して、海塩粒子の影響が大であろうという考えのもとに本調査研究を継続しているが、暴露24ヶ月の時点から、海塩粒子量と腐食速度の相関性が低下するほか、那覇と銚子の腐食速度が逆転するなど、興味ある結果が出はじめている。

本報では海塩粒子量と腐食速度の関係を中心に、各種塗膜の劣化状況についてもものべることにする。

2. 大気中海塩粒子量の測定結果

表-1 に沖縄本島各地区および銚子における大気中海塩粒子量の測定結果を示した。測定方法は JIS Z2383 の参考3 にもとづくガーゼ法であり、1 カ月間の付着量を測定して、ガーゼの面積および暴露日数で除し、 $mg/dm^2/day$ で表わした。また図-1 は各地点における測定値の母平均の推定を行い、その範囲を地域毎にプロットしたものである。

月別に示した表-1 中の値は1年目と2年目の測定値間に大きな差があり、特に冬場の1月、2月はその差が著しいが、ここでは一応二カ年間の平均値をもって、地域差ならびに後述する腐食速度との関係をのべることにした。

表-1 および図-1 から、県内各地区は銚子にくらべて海塩粒子量が多く、那覇では2.0倍、糸満4.4倍、読谷4.4倍と大きな差を示している。この原因の1つは第1報にも示したように、測定点の海岸からの距離の違いであり、銚子4.0キロに対して、那覇1.8、糸満0.03、西原1.0、読谷2.0、具志川0.15と差があるためである。しかし、海塩粒子量に影響を与える因子はこのほかに、風向、風速その他海岸線の状況などいろいろあり、必ずしも距離による差ばかりとはいえない。

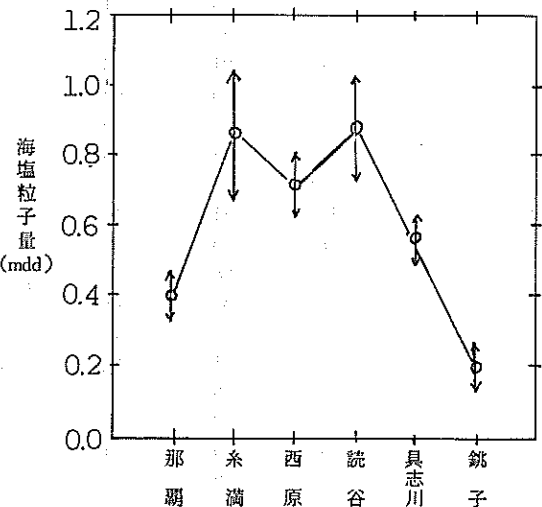


図-1 大気中海塩粒子量測定値の母平均の推定

各地点における平均値の範囲を見ると、那覇、具志川、銚子の場合は平均値の範囲がせまく、測定値のバラツキが比較的少ないことを示しているが、糸満、西原、読谷はそのバラツキが大きいことを示している。

図-2は各月毎に測定した海塩粒子量を3、6、12、24ヶ月の4区分に分けて平均値を出し、その値を地域別にプロットしたものである。これにより、銚子と那覇およびその他の地域との差異が明らかに現われており、読谷地区が最高値を、銚子地区が最低値を示している。

表-1：大気中海塩粒子量の測定結果

単位 $\text{mdd} \times 10^{-3}$

| 月 | 地区名 | 沖縄平均 | No 1 (那覇) | No 2 (糸満) | No 3 (西原) | No 4 (読谷) | No 5 (具志川) | No 6 (銚子) |
|-----|-----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | 区分 | | | | | | | |
| 1月 | (1) | 1,019 | 473 | 1,339 | 1,077 | 1,444 | 764 | 98 |
| | (2) | 291 | 130 | 309 | 280 | 449 | 290 | 90 |
| | 平均 | 655 | 301 | 824 | 538 | 946 | 527 | 94 |
| 2月 | (1) | 1,284 | 330 | 2,500 | 1,110 | 1,690 | 790 | 428 |
| | (2) | 618 | 541 | 696 | 754 | 618 | 483 | 242 |
| | 平均 | 951 | 435 | 1,598 | 932 | 1,154 | 636 | 335 |
| 3月 | (1) | 830 | 290 | 1,140 | 930 | 1,230 | 560 | 269 |
| | (2) | 539 | 203 | 778 | 736 | 659 | 321 | 565 |
| | 平均 | 684 | 246 | 959 | 833 | 944 | 440 | 417 |
| 4月 | (1) | 614 | 210 | 590 | 800 | 780 | 690 | 339 |
| | (2) | 467 | 211 | 575 | 609 | 541 | 397 | 131 |
| | 平均 | 540 | 210 | 582 | 704 | 660 | 543 | 235 |
| 5月 | (1) | 664 | 330 | 690 | 500 | 1,280 | 520 | 123 |
| | (2) | 553 | 448 | 698 | 605 | 507 | 507 | 175 |
| | 平均 | 608 | 389 | 694 | 552 | 893 | 513 | 149 |
| 6月 | (1) | 714 | 659 | 812 | 806 | 655 | 637 | 113 |
| | (2) | 516 | 362 | 628 | 628 | 450 | 511 | 140 |
| | 平均 | 615 | 510 | 720 | 717 | 552 | 574 | 126 |
| 7月 | (1) | 921 | 778 | 884 | 1,108 | 998 | 837 | 56 |
| | (2) | 570 | 385 | 738 | 652 | 627 | 447 | 53 |
| | 平均 | 745 | 581 | 811 | 880 | 812 | 642 | 54 |
| 8月 | (1) | 433 | 440 | 393 | 512 | 518 | 305 | 136 |
| | (2) | 701 | 736 | 786 | 778 | 461 | 744 | - |
| | 平均 | 569 | 588 | 589 | 645 | 489 | 524 | 136 |
| 9月 | (1) | 454 | 229 | 540 | 424 | 685 | 391 | 227 |
| | (2) | 504 | 550 | 393 | 646 | 375 | 559 | - |
| | 平均 | 479 | 389 | 466 | 535 | 530 | 475 | 227 |
| 10月 | (1) | 741 | 640 | 569 | 606 | 1,240 | 651 | 232 |
| | (2) | 576 | 285 | 592 | 434 | 1,138 | 434 | 233 |
| | 平均 | 658 | 462 | 580 | 520 | 1,189 | 542 | 232 |
| 11月 | (1) | 887 | 571 | 1,283 | 791 | 1,090 | 698 | 346 |
| | (2) | 975 | 262 | 1,299 | 1,141 | 1,407 | 1,028 | 180 |
| | 平均 | 931 | 416 | 1,291 | 966 | 1,248 | 863 | 263 |
| 12月 | (1) | 855 | 371 | 1,406 | 763 | 1,249 | 486 | 188 |
| | (2) | 722 | 290 | 1,098 | 796 | 1,011 | 414 | 25 |
| | 平均 | 788 | 330 | 1,252 | 779 | 1,130 | 450 | 106 |
| 年平均 | \bar{x} | 685 | 405 | 864 | 717 | 879 | 561 | 198 |
| | Vn | 140 | 115 | 333 | 155 | 260 | 109 | 102 |
| | Cv | 204 | 284 | 385 | 216 | 296 | 194 | 515 |

(注) (1)：1年目の値で1981年8月から1982年7月まで (2) 2年目の値で1982年8月から1983年7月まで

3 腐食速度と海塩粒子量の関係

表-2に海塩粒子量と腐食速度の測定結果を示した。海塩粒子量は図-2に示した値であり、腐食速度はそれぞれの経過月における測定値である。

腐食速度の経時変化についてみると(図-3~図-6)、那覇、西原、具志川、糸満の4地点は特に異常はなく、通常の漸減型であるが、銚子および読谷は12カ月時点から、腐食速度が増大し、24ヶ月時点では読谷は最高となり、銚子は那覇をしのいで、西原地区の腐食速度にせまっている。同様のことを耐候性鋼についてみると、腐食速度の順位は読谷を最高に銚子が那覇より大となっている。このことから、読谷における普通鋼の腐食速度の動きには疑門もあるが、24ヶ月時点での腐食速度の順位は大きい順に、読谷、糸満、具志川、西原、銚子、那覇の順序であるといえる。

読谷地区の腐食量が大きいのは、測定地点が夏冬ともに直接風のあたる場所になっており、海塩粒子量も最大となっているためと思われる。具志川地区は海塩粒子量の割合に較べて腐食量が毎回大きくなっているが、これは測定地点が、製糖工場内であるため、煙突ガスの影響があることも考えられる。

ここで意外な結果は銚子の腐食速度の変化である。普通鋼においては12ヶ月を境に那覇と逆転し、耐候性鋼においても24ヶ月の時点で逆転している。これを海塩粒子との関係でみると、那覇と銚子とでは約2倍(24ヶ月平均)の差があり

ながら、腐食速度では逆転しているのは、やはり腐食が一元的な因子による単相関では説明できかねることによるものであろう。24ヶ月時点で、海塩粒子と腐食速度の相関々係は図-7、図-8のとおりで、相関性が低下していることがわかる。

現時点では那覇と銚子の腐食特性については、暴露初期(1~2年以内)の腐食速度は那覇が銚子より大であるが、それ以後の腐食速度は銚子が大となる傾向を示しているといえる。

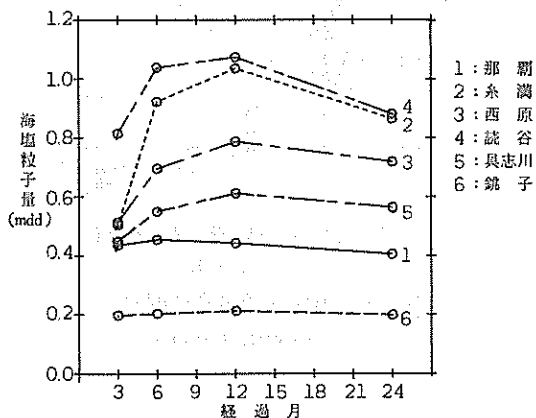


図-2: 地区別海塩粒子量の経時変化

表-2: 海塩粒子量と腐食速度

単位: mdd

| 項目 地区 経過月 | 海塩粒子量 | | | | 普通鋼腐食速度 | | | | 耐候性鋼腐食速度 | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|------|
| | 3ヶ月 | 6ヶ月 | 12ヶ月 | 24ヶ月 | 3ヶ月 | 6ヶ月 | 12ヶ月 | 24ヶ月 | 3ヶ月 | 6ヶ月 | 12ヶ月 | 24ヶ月 |
| 那覇 | 0.436 | 0.454 | 0.443 | 0.405 | 37.8 | 20.6 | 12.0 | 7.4 | 26.5 | 13.6 | 9.0 | 4.8 |
| 糸満 | 0.504 | 0.922 | 1.035 | 0.864 | 70.6 | 39.7 | 41.9 | 34.2 | 36.8 | 22.7 | 13.5 | 9.3 |
| 西原 | 0.514 | 0.696 | 0.786 | 0.717 | 52.5 | 32.7 | 21.5 | 14.7 | 34.8 | 17.8 | 11.0 | 6.8 |
| 読谷 | 0.814 | 1.038 | 1.072 | 0.879 | 51.0 | 32.1 | 34.9 | 44.0 | 36.3 | 24.0 | 18.0 | 15.2 |
| 具志川 | 0.449 | 0.549 | 0.611 | 0.561 | 57.4 | 42.6 | 28.9 | 20.3 | 38.3 | 19.8 | 11.4 | 6.4 |
| 沖縄平均 | 0.543 | 0.732 | 0.789 | 0.685 | 53.86 | 33.54 | 27.84 | 24.12 | 34.54 | 19.58 | 12.58 | 5.92 |
| 銚子 | 0.198 | 0.204 | 0.213 | 0.198 | 29.9 | 12.3 | 11.9 | 13.7 | 20.1 | 9.3 | 7.4 | 5.2 |

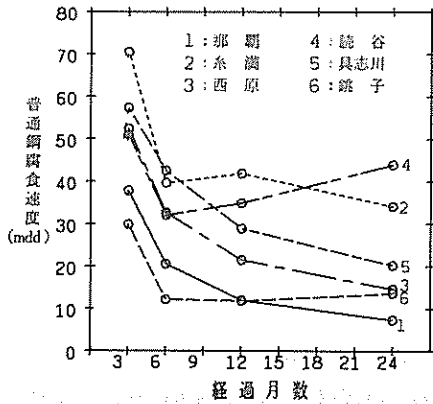


図-3：普通鋼腐食速度の経時変化 (その1)

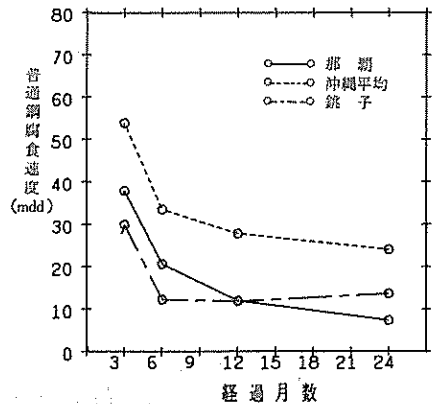


図-4：普通鋼腐食速度の経時変化 (その2)

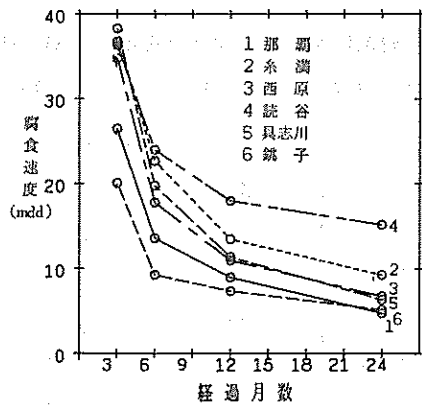


図-5 耐候性鋼腐食速度の経時変化 (その1)

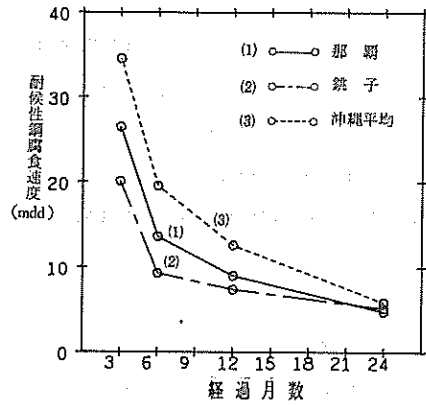


図-6：耐候性鋼腐食速度の経時変化 (その2)

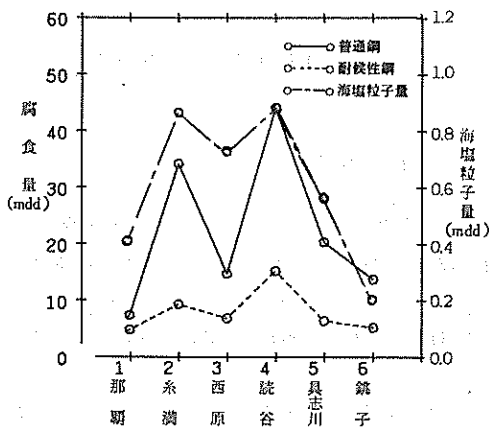


図-7：地区別海塩粒子量と腐食速度

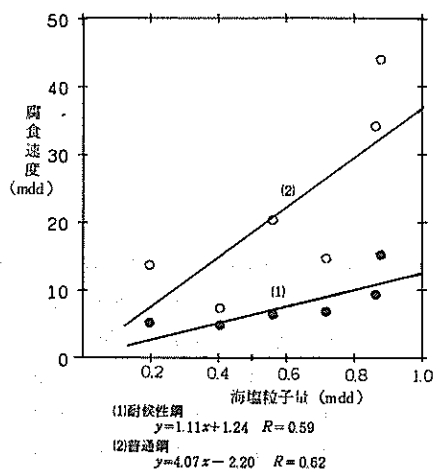


図-8：海塩粒子量と腐食速度の相関関係

4. 塗装試験片の劣化状況

4.1 外観検査による塗膜の劣化状況

図9(1)～9(6)に塗装試験片別RN値の3ヶ月値と24ヶ月値を示した。9(1)～9(2)において、那覇と銚子の比較をみると、3ヶ月時点では殆んど差はみられないが、24ヶ月時点で両者のちがいが試験片ごとに現われている。ここでタテ軸のRN値は、さび発生度が大なる程評点が小となるように観測RN値を再評価して、均等目盛に置きかえた値である。

J試験片（エポキシ粉体塗料）、K（鉛系さび止め+フタル酸）、M（エポキシ+ポリウレタン）は那覇が劣化しやすく、N（無機ジंक+塩化ゴム）、P（NCラッカー）、Q（エポキシ+ポリウレタン+アクリル）は逆に銚子が劣化しやすい傾向を示している。

県内地区についてみると、西原、読谷、具志川地区などにおいて、3ヶ月値と24ヶ月値の逆転がみられるが、これは、塗膜の変化にそれ程大きな差がないことに加えて、試験片取り付け部の塗膜キズを除外して評価するときの人為誤差が影響しているものと考えられる。

4.2 光沢残存率でみる塗膜の劣化状況

図10(1)～10(3)および11(1)～11(3)に光沢残存率の地区別変動と経時変化を示した。これらの図から、那覇と銚子との比較をみると、H（エポキシ+ポリエステル）では差がなく、Qではむしろ銚子の光沢低下が大きい。

これら塗膜の特性値と耐候性、耐食性との具体的関係については今後検討し、報告していく予定である。

4.3 プルオフ値およびエリクセン値の変化でみる塗膜の劣化状況

プルオフ値は塗膜の付着力をみるための試験であり、測定法については第1報に示した。図-12(1)にみるとおり、プルオフ値は試験片によって大きな差がみられるが、経時変化も一様ではない。しかし、暴露時間の進行に伴って、付着力は低下し、したがって耐食性も低下するはずである。

本試験でみる那覇と銚子の地域差は明らかではなく、わずかに銚子の経時変化が少ないとみられる程度である。

エリクセン値の変化は塗料の性質により、大きく異なることはもちろんであるが、エポキシ粉体塗料、フタル酸、塩化ゴム等は初期が大きく、変化量も大きいのに対し、NCラッカー、アクリル塗料などは初期値が小さく、変化量も小さい（図-13(1)、13(2)）

5 暴露試験24ヶ月のまとめ

- (1) 24ヶ月24回の大気中海塩粒子量測定値の平均値は多い方から、読谷、糸満、西原、具志川、那覇、銚子の順であり、那覇は銚子の2倍量である。
- (2) 海塩粒子量と腐食速度の相関々係は12カ月時点に較べて、その相関度合いが低下し、相関係数はおよそ0.6である。
- (3) 24ヶ月時の腐食速度の順位は読谷、糸満、具志川、西原、銚子、那覇の順であり概ね海塩粒子量の順位と一致するが、具志川と銚子の腐食量が相対的に大きい。
- (4) 那覇と銚子における腐食特性は暴露初期（1～2年以内）には那覇が大きく、その後は銚子が大きくなる傾向を示している。

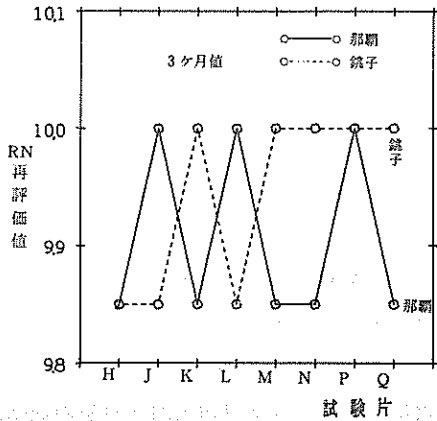


図-9：試験片別 RN 値の変化(1)

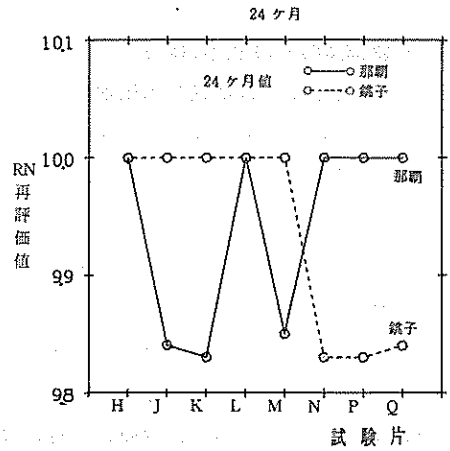


図-9：試験片別 RN 値の変化(2)

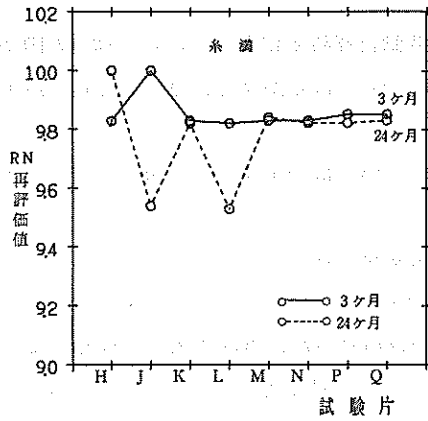


図-9：試験片別 RN 値の変化(3)

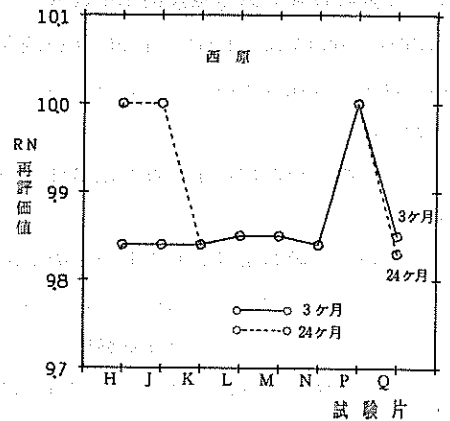


図-9：試験片別 RN 値の変化(4)

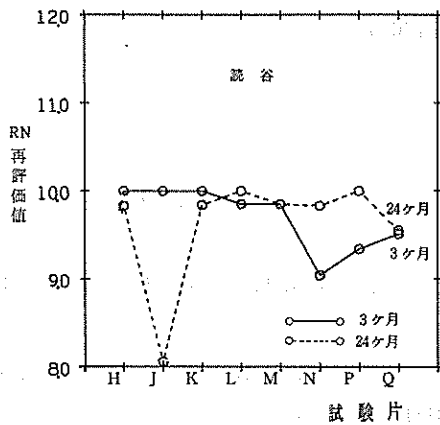


図-9：試験片別 RN 値の変化(5)

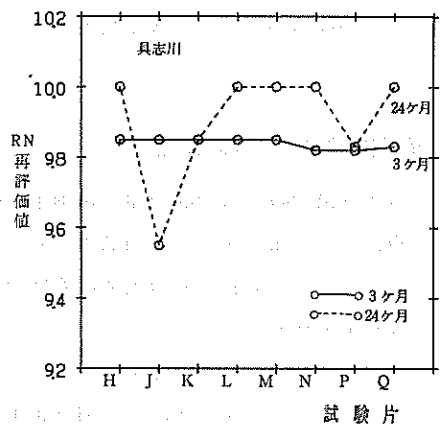


図-9：試験片別 RN 値の変化(6)

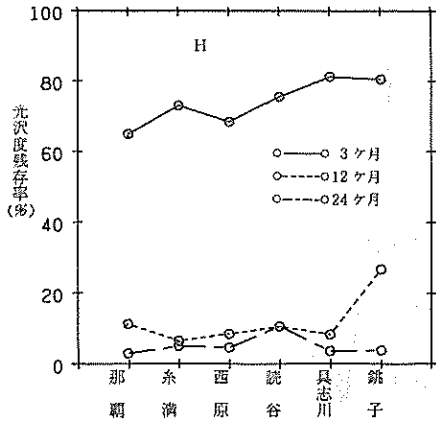


図-10：光沢残存率の地区別変動(1)

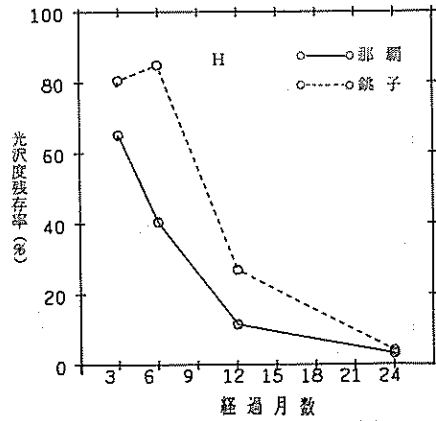


図-11：那覇と読子における光沢残存率の経時変化(1)

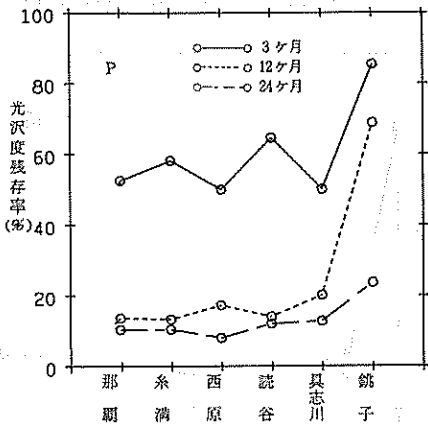


図-10：残存光沢率の地区別変動(2)

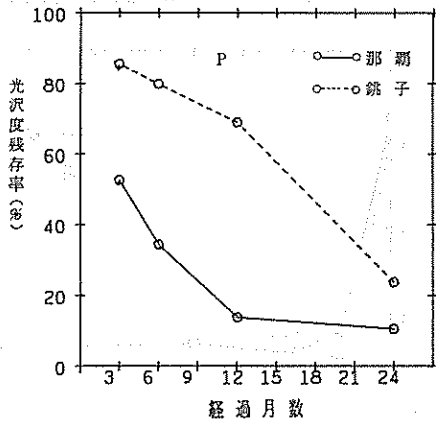


図-11：那覇と読子における光沢残存率の経時変化(2)

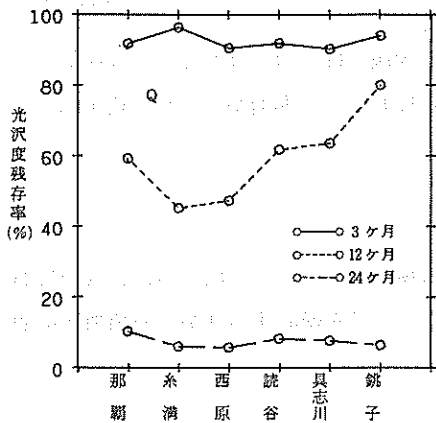


図-10：光沢残存率の地区別変動(3)

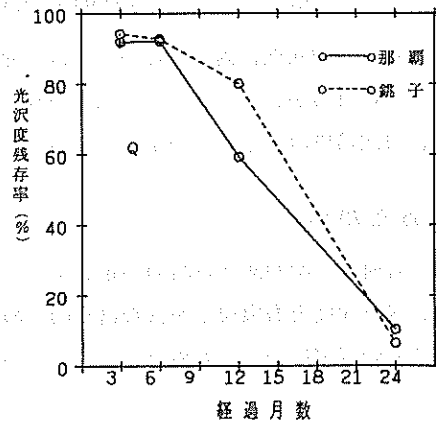


図-11：光沢残存率の経時変化(3)

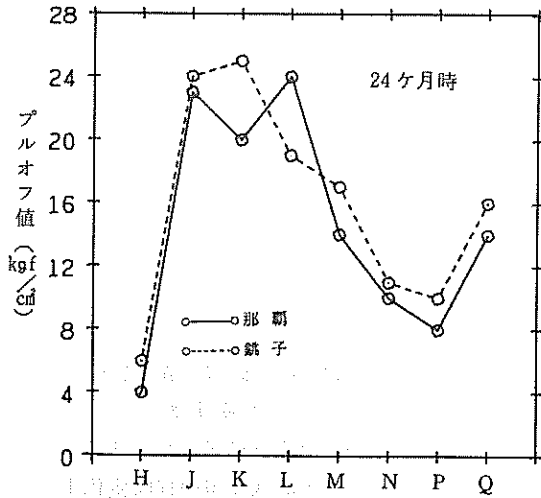


図-12 プルオフ値の試験片別変化①

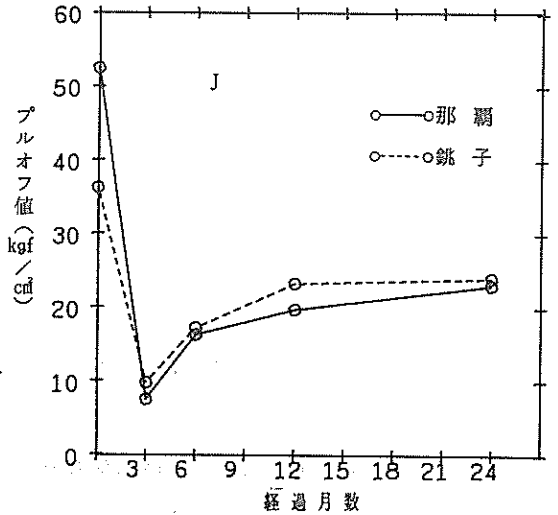


図-12 プルオフ値の経時変化②

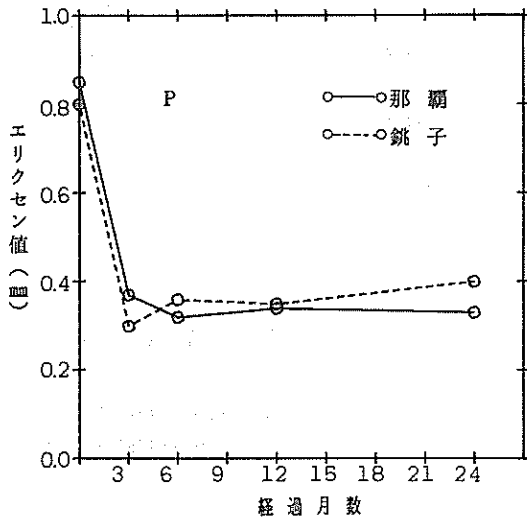


図-13 エリクセン値の経時変化(1)

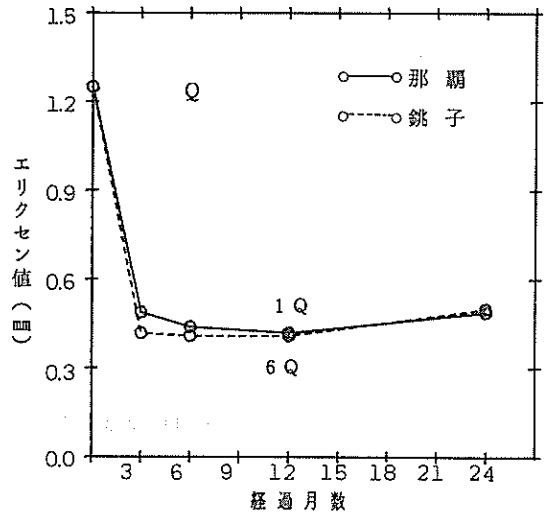


図-13 エリクセン値の経時変化

(5) 塗膜の耐候性、耐食性については、那覇と銚子との地域差は一様ではなく、試験片による差がみられるが、NCラッカーは光沢残存率の経時変化において、那覇が大きな変化を示しており、自然環境のきびしさを示しているといえよう。

6. あとがき

本調査研究も次回36ヶ月時の測定をもって3カ年暴露試験を終了することになるが、次報においては、腐食速度と海塩粒子を含む腐食因子の重相関関係についても検討するほか、沖縄地区に適した塗装系の選定についても検討していきたい。

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。