

沖縄県における金属素材および防錆被覆剤の耐食性に関する研究（その3）

——大気暴露試験6か月および1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

まえがき

国内唯一の暴露試験専門機関である（財）日本ウェザリングテストセンターが宮古島の上野村におよそ3万平方メートルの広大な暴露試験場を建設して、各種耐久製品等の暴露試験を開始したのは平成3年12月のことである。

この暴露試験場はウェザリングテストセンターが通産省からの委託研究として行う「新発電関連要素機器の長期耐久性及び寿命予測の標準化研究」にも千葉県銚子市、沖縄県西原町、米国フロリダ州マイアミ市とともに暴露試験場として活用されており、国際的な見地からも重要な暴露試験場となることが予想される。

大気暴露試験によるデータの集積は時間と労力を必要とするが、当地沖縄が暴露試験場として重要視されている今日、同手法による本研究の重要度もますます高まるものと考えられる。

1 調査研究経過

本研究は沖縄電力（株）より、電力設備等の耐久性評価および防錆・防食技術の開発を目的として研究を受託し、平成元年度にスタートして、今回は3度目の報告である。初年度においては大気暴露試験の準備として、暴露地の選定、試験片の選定などとともに県内の金属腐食の実態について調査を行い報告した。2年度においては暴露台の製作および設置工事を行うとともに、31種類、1123枚の試験片作成を行い、県内5カ所（石垣、平良、那覇、石川、本部）と千葉県銚子市の日本ウェザリングテストセンター内との6カ所に試験片を設置して大気暴露試験を開始した。今回は3年目として、暴露6か月及び1か年時の試験片についての報告である。

2 大気暴露6か月時および1か年時における各特性値の変化

2.1 外観

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レイティングナンバー（以下RN値という）で評価するほか、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継続している。これらの変化を試験片毎にみると以下のとおりである。

2. 1. 1 素材・ステンレス試験片

素材試験片とした普通鋼板、冷間圧延鋼板、耐候性鋼板、溶接用鋼板及びダクタイル鋳鉄の5種類は、総括的にみるとつぎのとおりである。おもて面の場合、県内と銑子の比較ではさびの粒は県内が粗く銑子は細かく固着していて浮き錆が少ない。さび色は県内が黒っぽいのに対し、銑子は黄色っぽい。県内間の比較では石垣、平良が黒っぽい。赤錆の中に0.1mm程度の灰色粒子が目だが、この傾向は特に平良が多い。那覇、石川、本部の3地点は同様な色相を示しており、さび相が粗く、赤茶色と黄茶色のスポット状さびが密に点在している。

ステンレス試験片はSUS 304 (記号F) とSUS 444 (同G) とでは劣化度に明らかな差があり、304がレイティングナンバー値 (以下 RN値 と言う) 6前後を示すのに対してSUS 444は7~8を示していて耐食性の優っていることを示している。

地域別劣化順位はF、Gともに1か年時でおもて面が石垣>平良>銑子>石川>那覇>本部の順にうら面が石垣>平良>本部>石川=那覇=銑子であると観察される。また、F、Gとも赤錆発生がはじまっている。赤錆は止め具部からはじまり、銑子の場合、コーナーおさえ部より、両端面とも錆汁による変化がみられる。

1か年時の表面と裏面の比較では石垣、宮古は裏面劣化が大きい。特にFにおいて目立つ。那覇、石川、本部、銑子は表面の劣化が大きい。

2. 1. 2 めっき・溶射試験片

亜鉛めっき試験片は暴露初期においては全面白雲状に発生した白錆が時間の経過と共にはげ落ちて新たな亜鉛面になるような変化が見られる。おもて面よりうら面の方が白錆の発生量が多い。また、電気亜鉛めっきより溶融亜鉛めっきの方が白錆が多い。亜鉛めっき量の大小では大の方が白さび量も多い傾向を示している。

溶射試験片のうち、亜鉛アルミ合金溶射試験片 (アルミ13%) が白色から灰黒色へと色変化し、全試験片のなかでも目立った変化を示していたが、この原因については前報で「亜鉛アルミ合金の中で、雨水等により亜鉛が先に溶け出した後、この小穴に亜鉛塩が溜ることにより光が選択的に吸収されて黒色に見えるためであろう」との研究報告があることを報告した。この黒色変化は時間の経過と共にさめていく傾向にあり、代わりに白さびの発生を見るようになる。

アルミ溶射試験片は暴露1か年時においても、おもて面に付けた傷部の下部に数ミリのさび汁流れ跡が見られるほか、うら面によごれの付着が見られること以外は大きな変化は見られない。

2. 1. 3 塗装試験片

塗装試験片についてみると、PないしU試験片につけたカッター傷幅の錆進行による広がり方の違いが時間経過と共に明らかになってきた。すなわち、フタル酸 (P)、塩化ゴム (Q) には傷部に赤錆の始まりが見られ、傷幅もやや大きくなったのに対し、ポリウレタン (R) とふっ素樹脂 (S、T、U) の場合、ほとんど異常のない状況を示している。一方、全く同様の塗装系でHPないしHUの記号で、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を測定することにより推定すると、やはりフタル酸が大きく塩化ゴムがこれに次いで大きい。これを地域差でみると、石垣、宮古地区は大きく、銑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通常平面には殆ど異常はないものの、曲面部、側

面部、裏側面部等に点さびの発生が見られた。この傾向は石垣地区の試験片において明らかである。これらの点さびはふっ素樹脂塗料の様な高級塗装系でもみられることから、塗装ピンホールからのさびであろうと思われる。

2. 2 重量変化 (図2-1)

ステンレス試験片については外観の項で述べたようにシミ状劣化や赤錆の始まりが見られるものの%で見たときの重量変化はSUS304、444ともほとんど見られない。SUS444の本部6カ月時、銚子6カ月時において0.25%以内の変動がみられるが、1か年時の場合、その傾向が見られないことから、特に注意を払うべき地域差であるとは考えられない。

めっき試験片については、どの地区に於ても電気めっき、溶融めっきともに増量の傾向にある。中でも、溶融めっきは重量増加が大きい。電気めっきと溶融めっきとでは、外観観察でも触れたように、白さび発生量が明らかに違い、その結果が重量測定結果にも明瞭に現れている。地域別の変化では石垣と銚子が大きく、平良、那覇、石川、本部はほとんど変化がないと言えよう。

溶射膜の重量増はアルミ溶射が比較的小さく、亜鉛溶射、亜鉛アルミ合金溶射が比較的大きい。どの試験片においても暴露1か年時までには増量の傾向にあるが、亜鉛アルミ合金溶射の増量は明らかである。暴露1か年時を数量的にみると、亜鉛溶射で約0.2%、亜鉛アルミ合金溶射で0.35%、アルミ溶射で0.15%程度であると言える。この試験片については地域差があるどうかは明らかでない。

2. 3 光沢残存率 (図2-2)

2. 3. 1 ステンレス試験片

本試験片は60度鏡面光沢度では反射が大きく、SUS304、SUS444とも初期値は測定不可能であった。しかし、ステンレスの初期劣化をみるには光沢度の減少率はよい指標であると考えられる。そこで今回は60度鏡面光沢度計の測定限界値とみれる「200」をステンレス試験片の初期光沢値とにおいて、その後の光沢残存率を算出した。SUS444においては3カ月時点でもまだ光沢の劣化が殆どなく、測定不可能なものもあったので、この場合の値も「200」として取り扱ったが、1か年経ってもSUS444では測定値「200」の試験片が多くみられた。

図2-2にこれらの測定結果を示した。図からわかるように、SUS304と444とでは明らかに差がみられる。表面は304がおよそ60%前後であるのに対し、444は90%前後の残存率である。また、ウラ面と表面との光沢度はあまり大きな差は見られなくなっている。地域別の変化は石垣がやや低いだけでその他は殆ど変化が見られない。

2. 3. 2 めっき・溶射試験片

めっき試験片の場合、電気亜鉛めっき、溶融亜鉛めっきとも初期の光沢度は大きく、溶融めっきはほとんどが測定不能であった。それが大気中に暴露するとたちまちにして光沢度を失い、3カ月時点での残存率は電気めっきで20%以下に、溶融めっきになると6%以下となり、1か年では電気めっきは僅かな光沢度が残るものの、溶融めっきは光沢が残らない状態である。

なお、溶射試験片については光沢度を特性値として扱うことは適当でない判断されたので、測定対象から除外した。

2. 3. 3 塗装試験片

塗装試験片では6種類の試験片のうちポリウレタンがやはり高い光沢度を有し、ふっ素樹脂、フタル酸樹脂がこれに次いで塩化ゴム塗料は比較的低い光沢度である。ただし、同じふっ素塗料でも

凡例 ◇—6ヶ月 □—12ヶ月

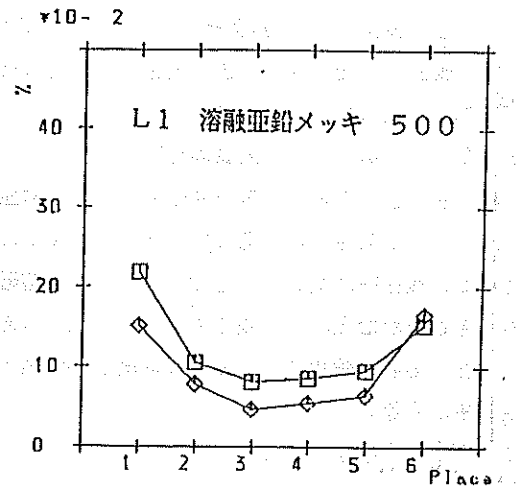
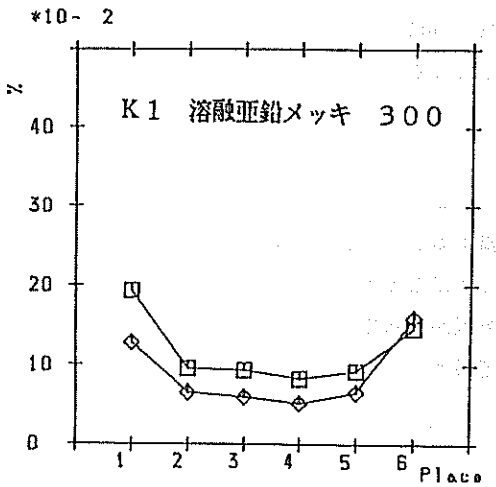
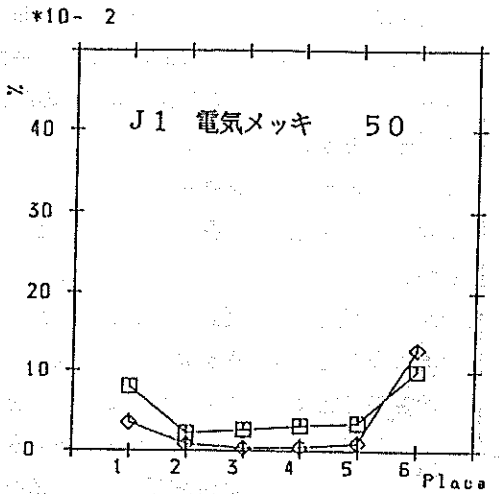
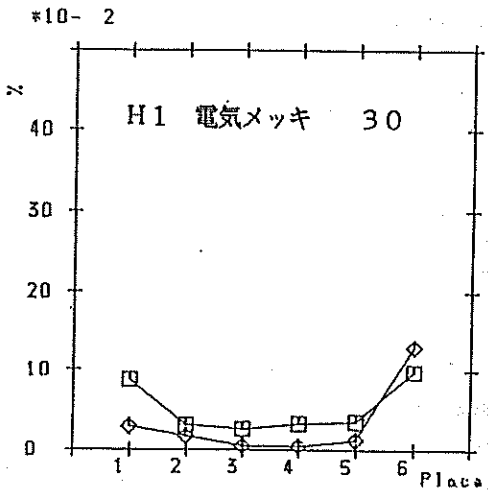
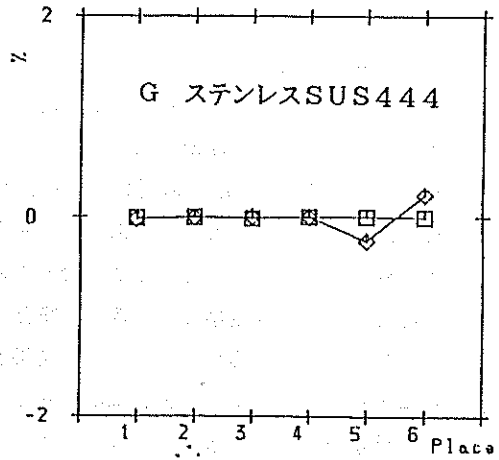
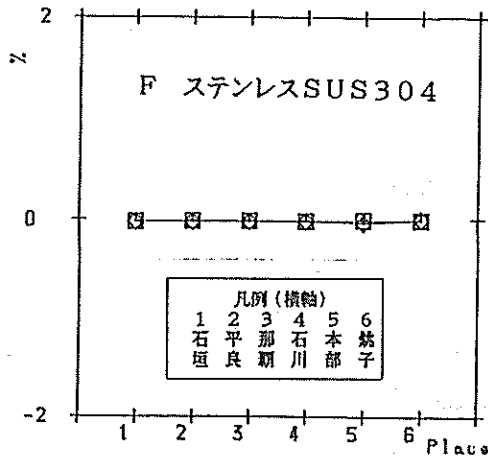


図2-1 各試験片の地域別重量変化

凡例 ◇—6ヶ月 □—12ヶ月

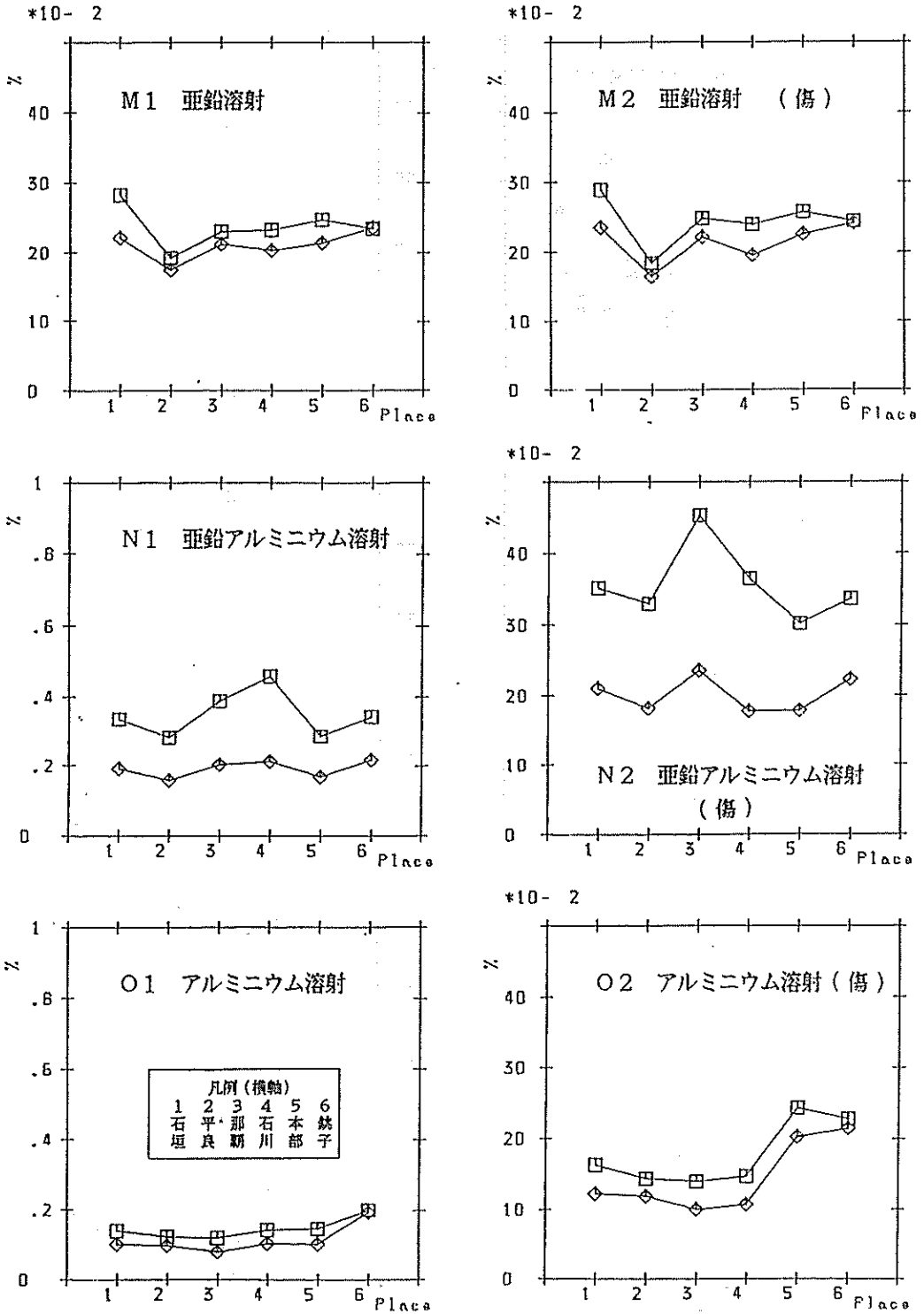


図2-1 (つづき)

凡例 表 ◇—3ヶ月 □—6ヶ月 ○—12ヶ月

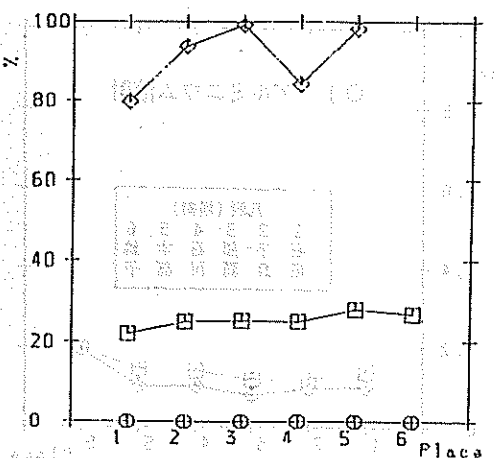
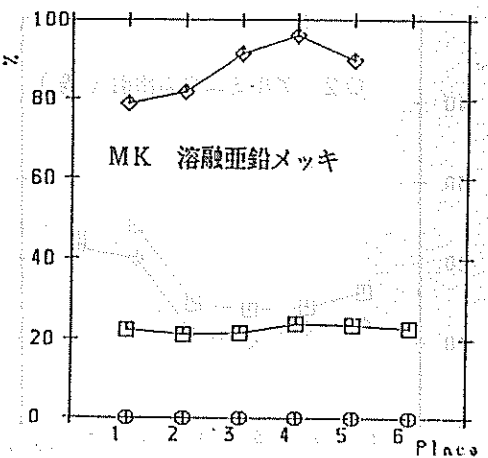
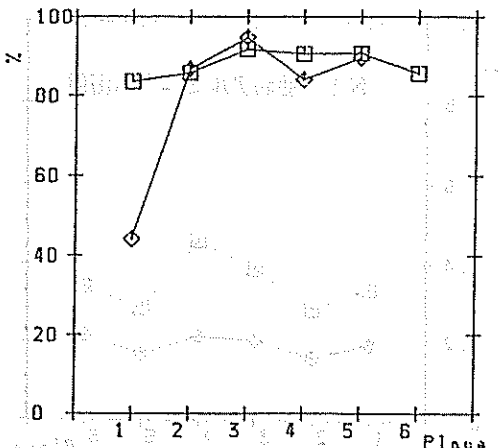
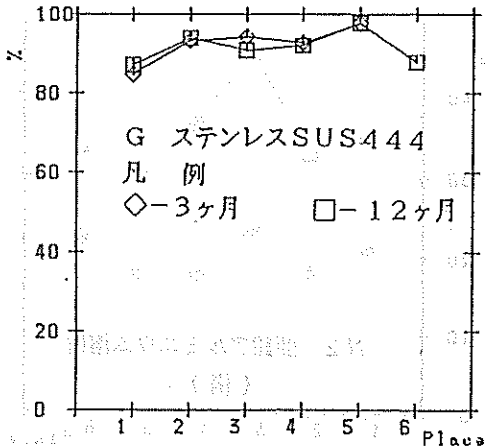
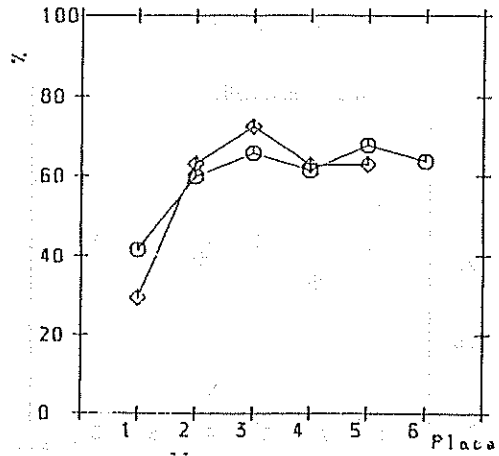
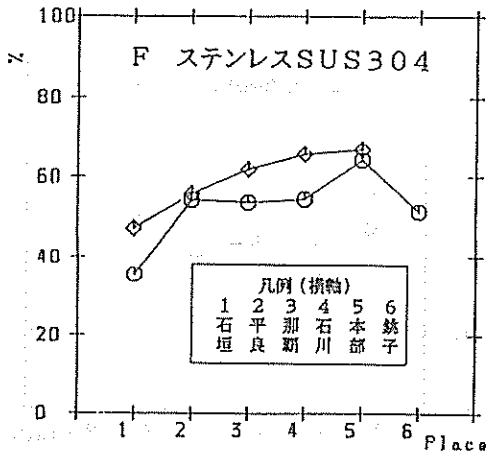
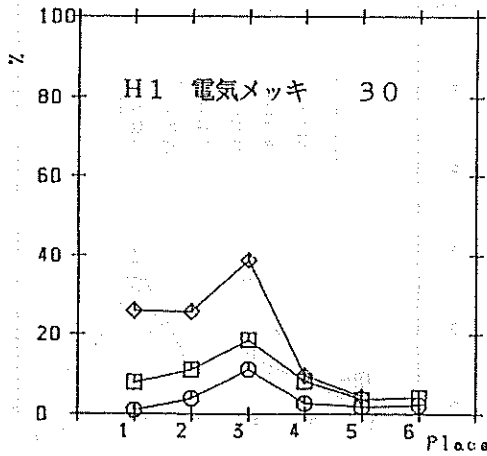


表 裏

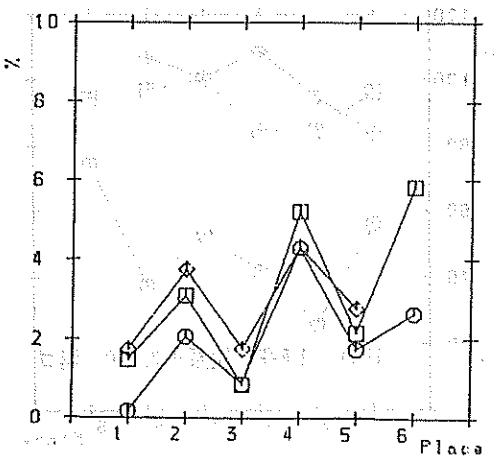
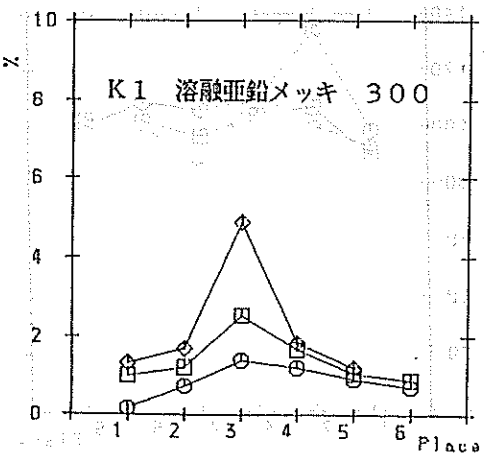
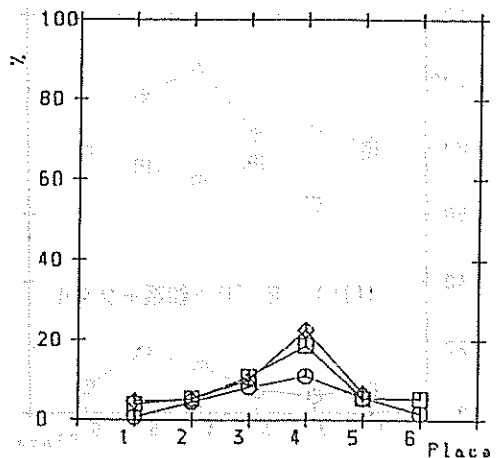
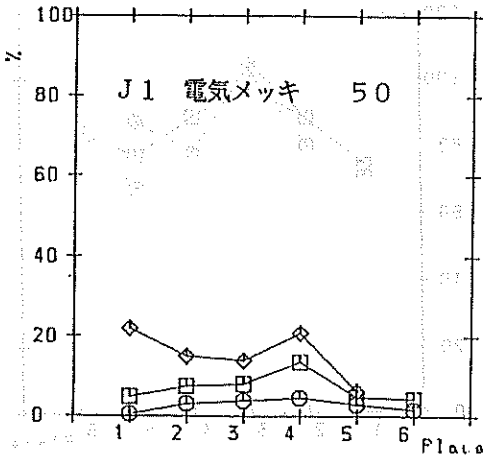
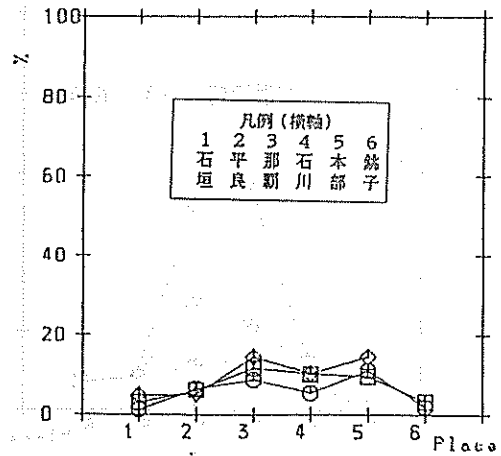
図2-2 各試験片の地域別光沢残存率

凡例 ◇—3ヶ月 □—6ヶ月 ○—12ヶ月

表



裏



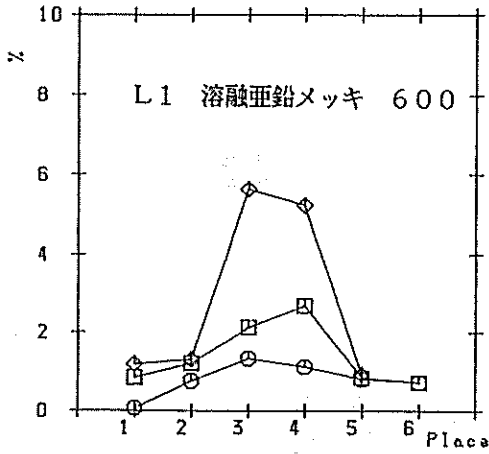
表

裏

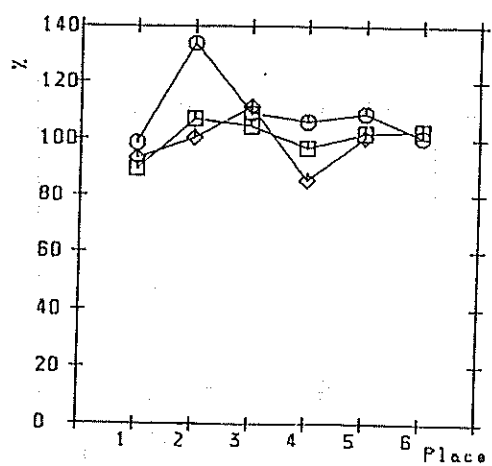
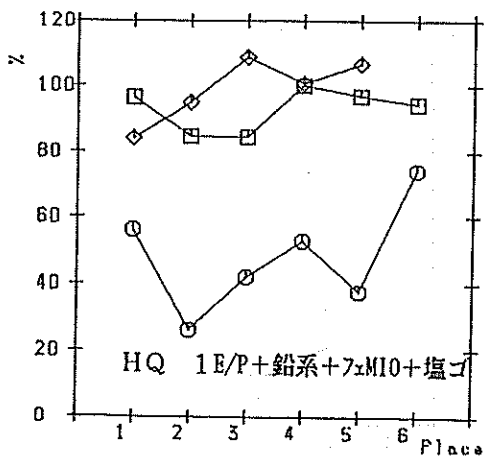
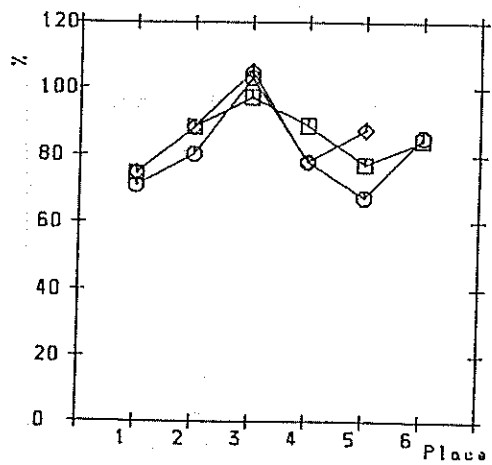
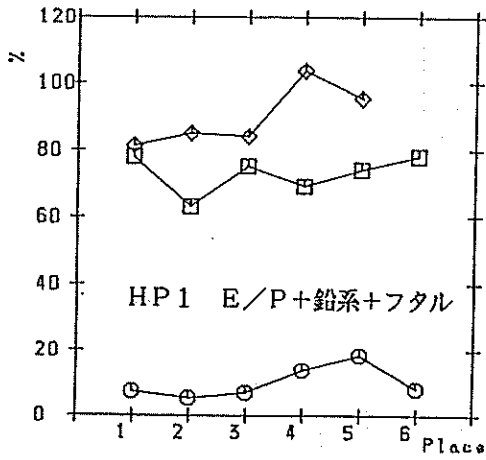
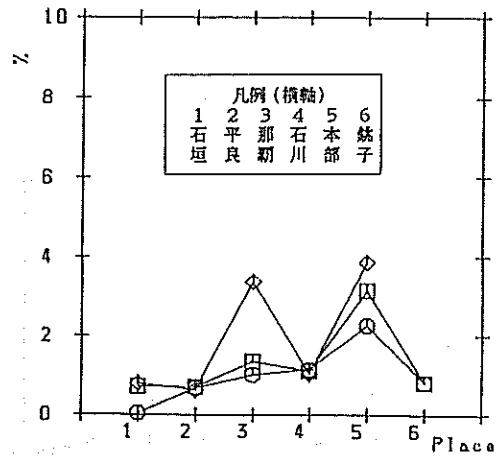
図2-2 (つづき)

凡例 ◇—3ヶ月 □—6ヶ月 ○—12ヶ月

表



裏



表

裏

図2-2 (つづき)

凡例 ◇—3ヶ月 □—6ヶ月 ○—12ヶ月

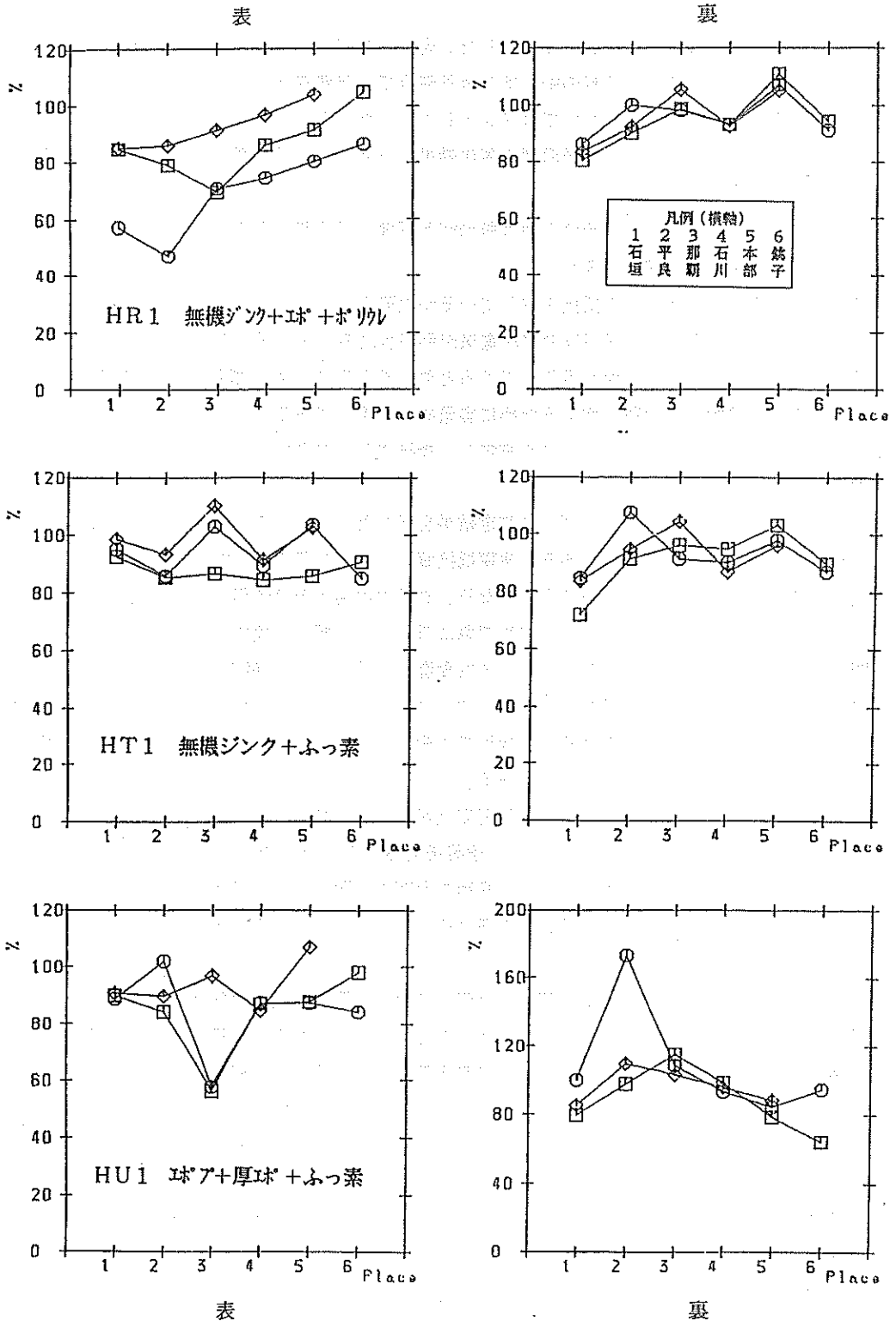


図2-2 (つづき)

ハケ塗りでハケ目の残る試験片は乱反射の影響もあり、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。

これら試験片の光沢残存率も図2-2に示した。光沢残存率の比較図では絶対値の大小は比較できないが、ウレタンが大きい。塗料の中には3カ月時点で光沢残存率が100%を越えるものがみられたがこの理由については前報においてコメントしておいたように、暴露の短い期間内では、風雨による洗浄効果が、紫外線等による光沢度の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。

暴露1か年時ではハケ塗りによる塗料の他は概ね80%程度の光沢残存率である。

2. 4 インピーダンス (図2-3)

一般に健全な塗膜は大きな電気抵抗を有しているが欠陥を生ずると抵抗は減少して来る。インピーダンスの測定には周波数200~1000Hzの交流電気が利用される。インピーダンス測定では抵抗成分と容量成分とが得られるが、塗膜が劣化してくると欠陥部発生のため、抵抗成分が減少し、逆に、塩水などが素地と接触する面積が増えるために容量成分が増して来る。

また、周波数を変えてインピーダンスを測定し、抵抗成分・容量成分の特性から塗膜劣化を判断する方法はよく用いられている。

図2-3に塗装試験片のインピーダンス測定結果を示した。このような形の図形から塗膜の善し悪しを判断する方法は次のとおりである。塗膜抵抗値(R値)の図では、得られた測定値のように、周波数が大きくなるにつれて抵抗値は小さくなり、グラフは右下がりの形となる。これが周波数の変化に鈍くなると、要注意で、大きい周波数で急に低下すると悪い塗膜である。

実際の測定方法は10cm×10cmのアルミ箔に3%食塩水で練ったCMC糊を塗膜面につけて、1時間馴染ませたのち、携帯型簡易容量計(キャパシタンスメーター、アイコウ電気社製ACM-03型)で測定した。この際注意すべき事は同じ試験片でも測定箇所が変わると値が変わるので常に同じ箇所を測定するように印を付けておくことである。

今回の試験片の初期値は指数オーダーでは殆ど変化がなく、抵抗値で $10^4 \Omega$ 、容量値で 10^{-8} ファラドオーダーである。塗膜の一般的性質として、塗装後ある程度の時間をかけて、乾燥したのち安定化する性質があるとされ、長いものでは6か月程の期間を必要とするとされている。

図から6か月および1か年時点では、抵抗値(R: Ω)に多少の変動が見られるのみであり、容量値(C: ファラド)は殆ど変化がない。

インピーダンスの変化は対数目盛で表現した時のグラフの形が塗膜の耐候性に関して重要な情報を提供するといわれており、今後の変化に注目して行きたい。ちなみに建設後約8年を経過した那覇港臨海道路(泊大橋)でのインピーダンスの測定例では、膜厚350~450ミクロンの一般部では抵抗値が 10^4 オーム、容量値が 10^{-8} ファラドのオーダーである、溶接部などのようなさびの出易い箇所では抵抗値が 10^4 オーム程度まで下がる測定例もみられており指数オーダーの変化がない内は問題はないようである。

以上非破壊試験によって得られる特性値について述べてきたが、つぎに破壊試験によって得られる特性値について述べることとする。

2. 5 付着力 (図2-4)

付着力の試験は塗料の素地および層間の付着力を見るもので、塗装系の防錆能力と大きな関連が

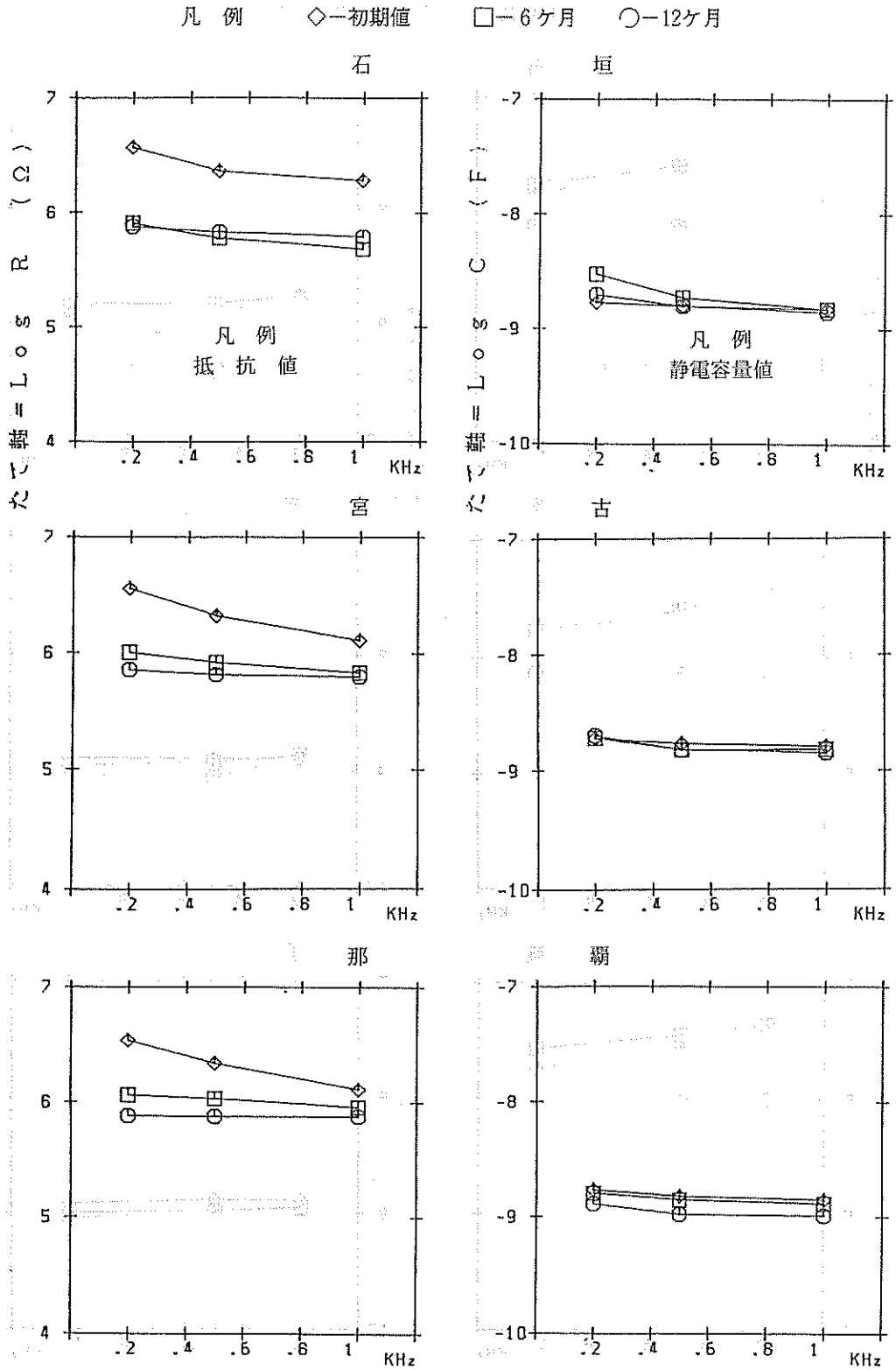


図 2-3 各暴露地における試験片インピーダンスの変化
試験片名: HU-エポ+厚エポ+ふら素

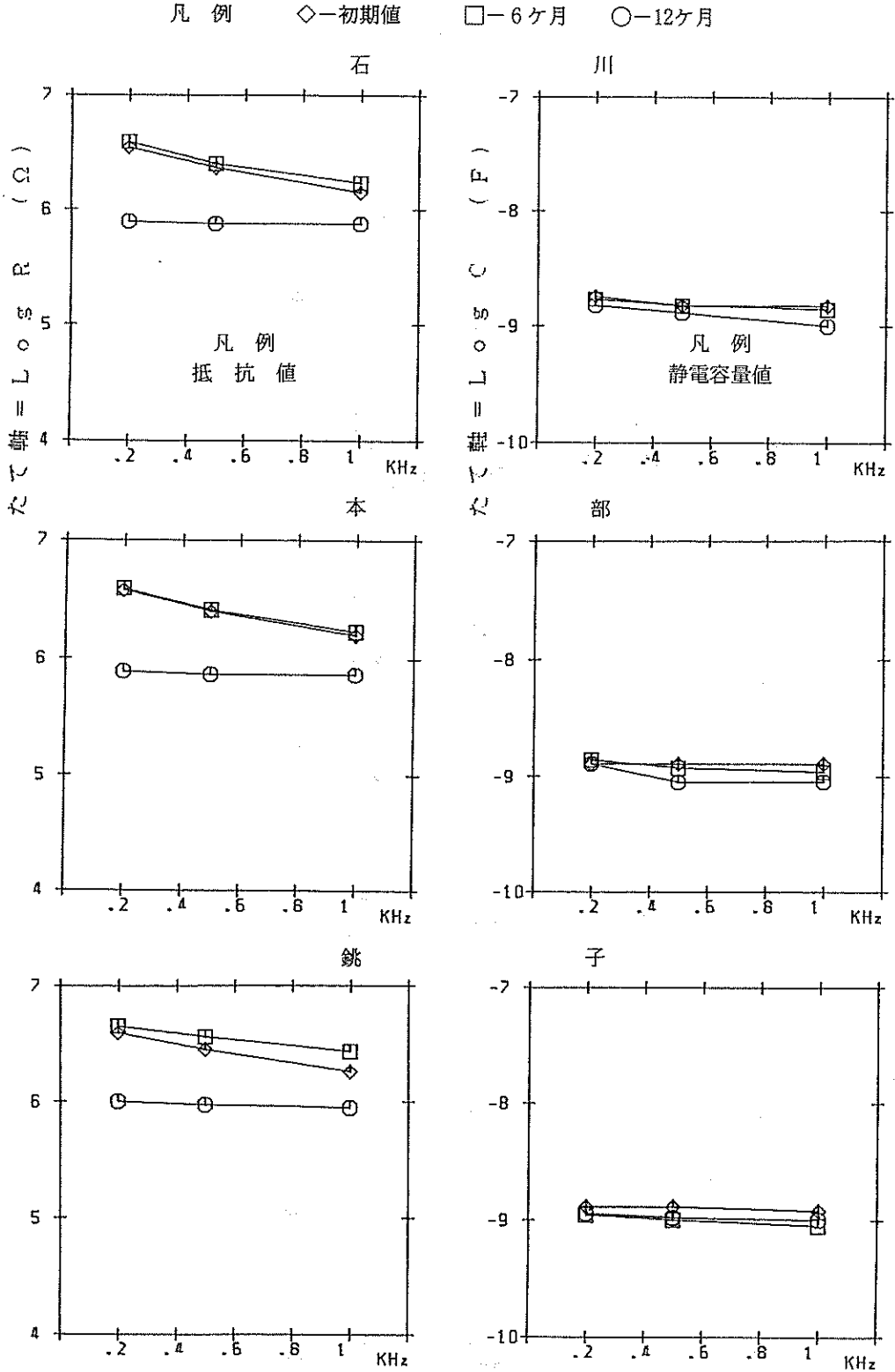


図2-3 (つづき)
試験片名: HU エポ+厚エポ+ふっ素

あるものと考えられる。付着力の測定方法には、塗膜のねじりによって、付着力を求めるトルク付着試験や、垂直方向の引っ張りによって付着力を求める試験があるが、本測定では、後者を採用し、アドヒージョンテスター (Elcometer Instruments社製 Model 106) を用いて測定を行った。

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。試験方法は塗膜を240番研磨紙で荒し、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。結果は図2-4のとおりである。

めっき面に塗られた変性エポキシ塗料の初期付着力は $4 \sim 5 \text{ N/mm}^2$ ($40 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$) であるが、溶融亜鉛鍍金面に塗ったB 銘柄の塗料は $5 \sim 6 \text{ N/mm}^2$ で比較的付着力のよい結果を示している。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、一般に時間の経過で付着力が下がる傾向を示している。

付着力の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要するので慎重を期したのであるが、試験結果では剥離箇所には大きな違いが見られた。剥離箇所には大きく分けて、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、塗膜のはくり程度は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。前述の泊大橋その他の測定例からすれば 20 kgf/cm^2 (2 N/mm^2) 以上の付着力があれば問題はないと判断されるが、試験結果は初期値に較べて段々低下する傾向にあり、特にT(無機ジンク+エポキシ+ふっ素) およびP(エポキシプライマー+鉛系錆止め+フタル酸樹脂) の塗装系は 2 N/mm^2 以下を示しており、付着性の面から問題がありそうで今後の変化に注意して行きたい。

2. 6 ゴバン目試験 (図2-5)

本項目も付着力の評価法の一部であるが、塗膜の硬軟によっても差が生じるので一つの特性値として見られる。測定方法はNTカッターで、塗膜面に 5 mm 間隔で、縦、横4本ずつの線で素地面に達するまで傷を入れ、この面上にセロテープを密着して引きはがし塗膜のハクリ状態を評価する。結果は図2-5のとおりで、タテ軸は塗膜の剥離面積を3段階にわけて表現し、1=剥離総面積が約5%以下、2=同5-30%、3=同30%以上として表したときのグラフである。図においてフタル酸、塩化ゴム、ふっ素塗料では初期値に較べて経時変化がみられないものの、下塗と中塗りに無機ジンクリッチ+エポキシとしたポリウレタン(R) やふっ素樹脂塗料(T) には時間経過によるはくり面積の増大がみられる。

これを付着力との関係でみるとTについてはもちろん、Rについてもやや付着力の低下傾向がみられる。

2. 7 腐食減量

6か月時及び1か年時において採取した錆試料は次の方法により除錆を行った。

①ワイヤーブラシにより浮き錆と固着錆をこすり落とす。②塩酸系除錆剤ラスパーM7に浸漬し目視により完全に除錆する。③水洗後メタノールに浸漬 ④乾燥・冷却後秤量する。

また、腐食減量から求める腐食速度は次式により計算した。

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

凡例 ◇—初期値 □—6ヶ月 ○—12ヶ月

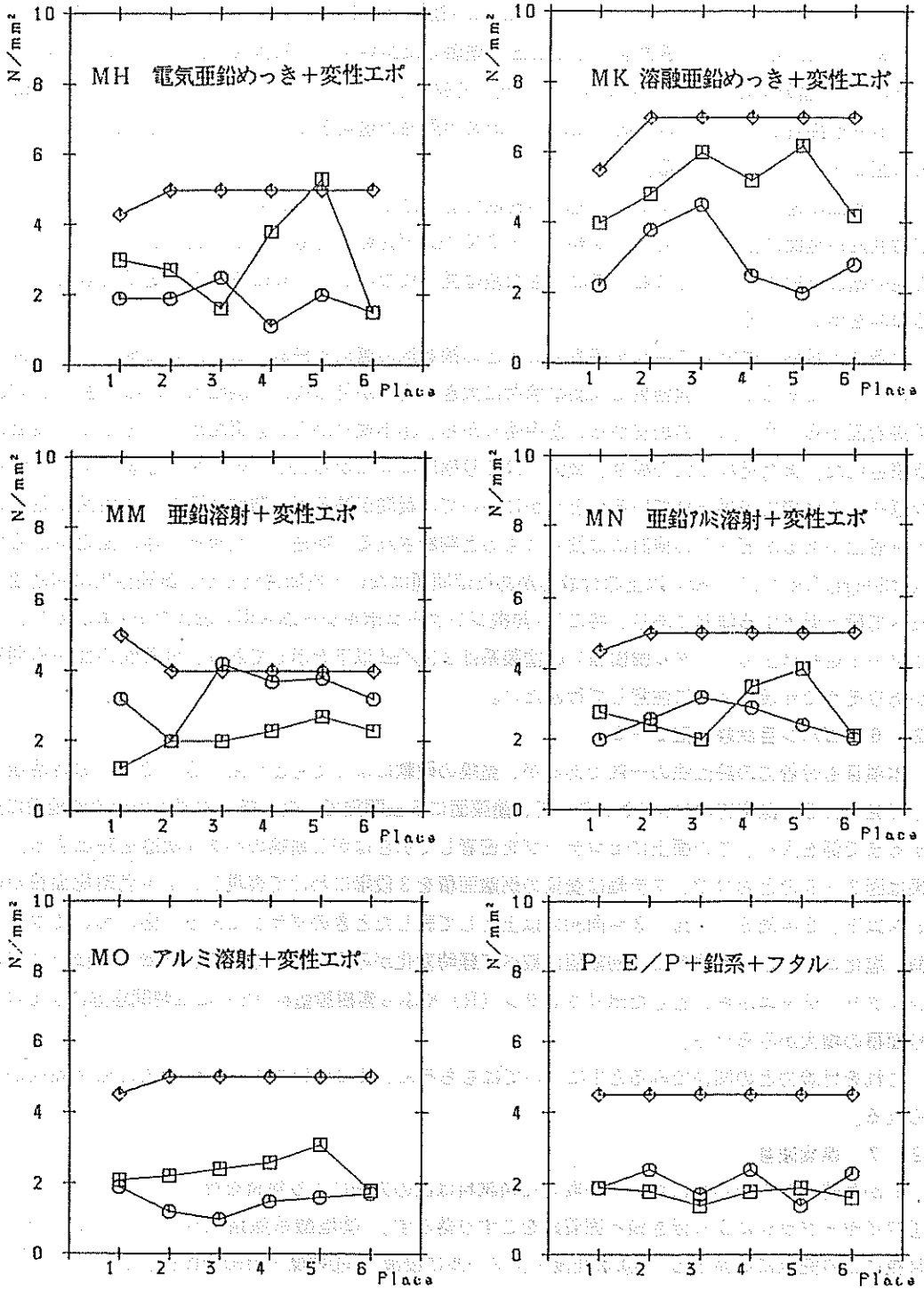
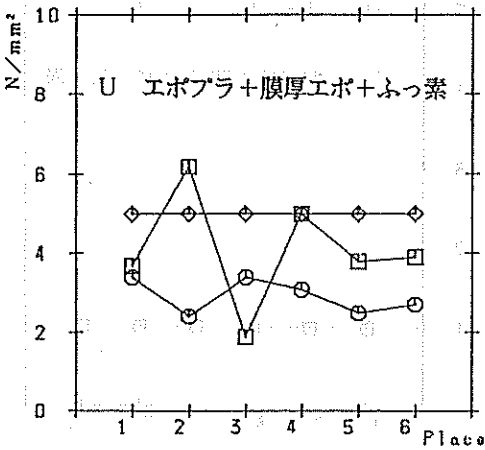
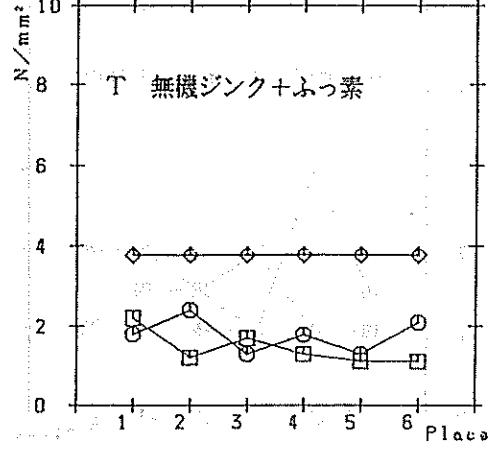
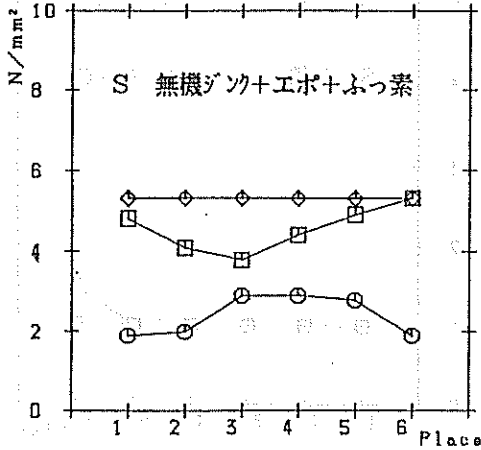
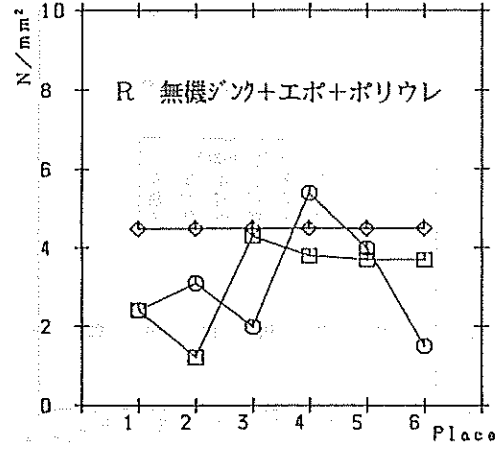
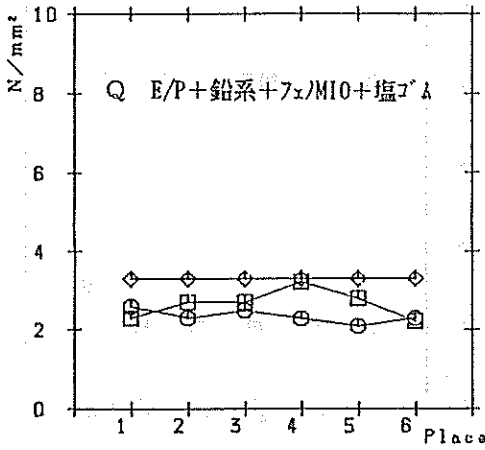


図2-4 各試験片の地域別付着力の変化

凡例 ◇—初期値 □—6ヶ月 ○—12ヶ月



暴露場所

1 石垣	2 宮古
3 那覇	4 石川
5 本部	6 銚子

図2-4 (つづき)

凡例 ◇—初期値 □—6ヶ月 ○—12ヶ月

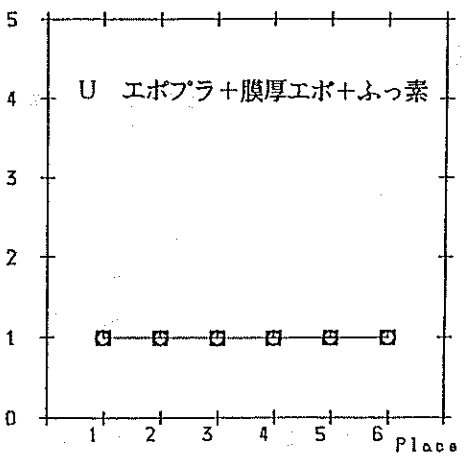
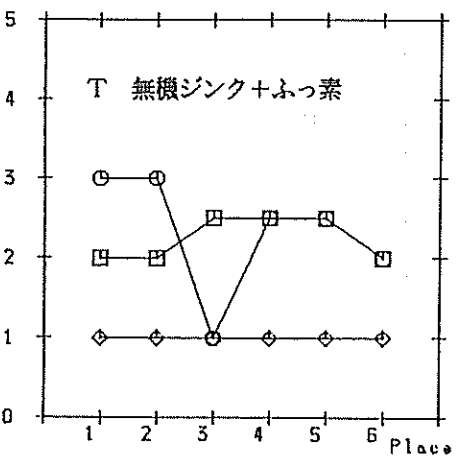
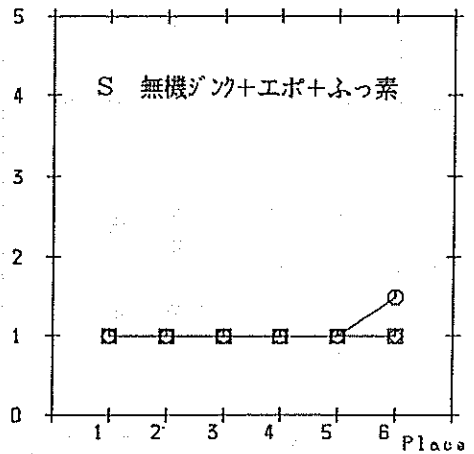
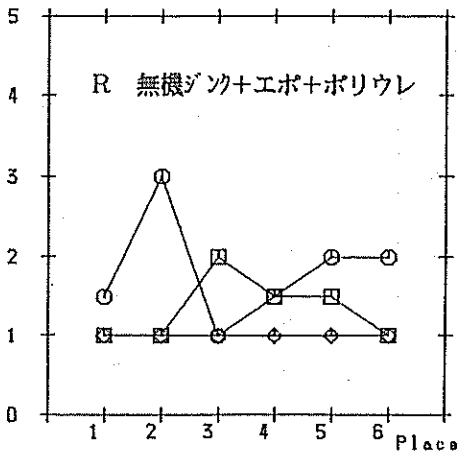
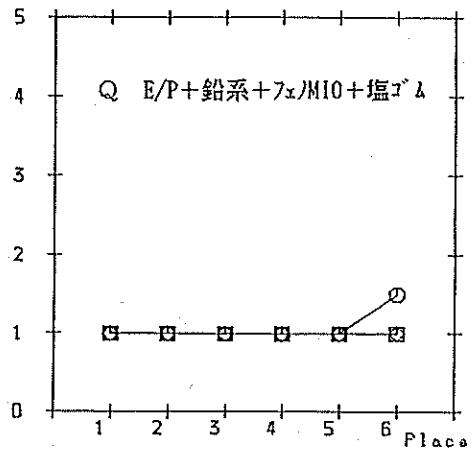
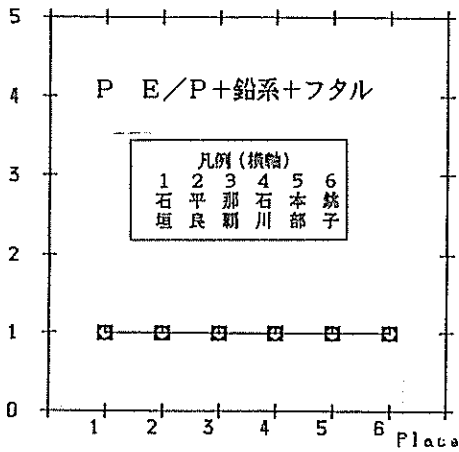


図2-5 各試験片の地域別ゴハン目試験結果

表2-1、図2-6に各暴露地における素材試験片の腐食速度 (mdd) を示した。これらの表及び図から試験片別腐食速度は冷間圧延鋼板、普通鋼板、溶接構造用鋼板、ダクタイル鋳鉄、耐候性鋼板の順であることがわかる。これらの腐食速度を耐候性鋼板や普通鋼板を基準として比較すると表2-3に見るとおりである。すなわち、暴露1か年時の場合、耐候性鋼板にくらべて普通鋼板は1.5倍、冷間圧延鋼板は2.2倍、溶接構造用鋼板は1.2倍、ダクタイル鋳鉄は1.0倍の腐食量であることが分かる。

また地域差についてみると、石垣、本部、那覇、石川、宮古、銚子の順であり、県内各地の腐食速度の平均は銚子に比べて約1.5倍であるといえる。一般に暴露期間が6ヶ月以上であれば、腐食速度は、時間経過によって減少するのが普通であり、A~Eまでの鋼種のうち、そのほとんどがその傾向にある。しかし、暴露地域と鋼種によっては1か年時が逆に大きくなったり、殆ど同じ程度であったりの変化が見られる。まず、鋼種についてみると、石垣島地区における冷間圧延鋼板 (B) の1か年時が異常な腐食速度を示している。この試験片は外観観察の結果でもうら面からの腐食が甚だしく、ふくれ錆を落とした時点では部分的に蜂の巣状の穴あきが見られ、除錆後は板厚の減少も大きく、腐食速度の大なることが推定された。すなわち、この鋼種は主として室内用であり、室外で使用されると極端に腐食しやすいことが分かる。また、銚子地区の腐食速度は全般的に少ないが、その腐食速度は6か月時と1か年時とで殆ど変わらず、鋼種によっては僅かではあるが逆転現象も見られる。即ち腐食環境の比較的穏やかな所では腐食は徐々に進行するため、腐食速度も暴露1か年時までは減少しないということが言えるようである。

2. 8 引張強度

腐食による肉厚の減少と引張強度との間にはどのような関係があるかを見るため、腐食減量測定後の試験片について引張試験を実施した。除錆された2枚組の腐食試験片のうち、1枚を機械加工により20mm幅の試験片に加工し、引張強度試験機 (島津オートグラフ) で引張強度を測定した。

結果は図2-7のとおりである。E試験片 (球状黒鉛鋳鉄) の6か月時強度に急激な落込みが見られるが、これは2枚組試験片の一方に鑄造欠陥としての鑄物巣が存在したためであり、腐食による強度低下ではない。B試験片 (冷間圧延鋼板) は明らかに腐食による強度低下である。この試験片の石垣地区における変化についてみると、初期強度409N/mm²に対して6か月時、1か年時の平均でおよそ25%の低下である。その他の試験片には暴露1か年時であまり大きな強度低下は見られない。腐食減量 (mg/dm²) と引張強度 (N/mm²) との関係については所要強度と所要腐食しろとの関係において興味を持たれることであり、今後検討して行きたい。

3 各暴露地における環境因子の特徴および腐食減量との関係

暴露場を県内5カ所、県外1カ所の計6カ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。暴露後1か年時における状況は以下のとおりである。

3. 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いで大気中の海塩粒子を捕集した。

このようにして捕集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

表 2 - 1 素材試験片の腐食速度測定結果

	6 ケ 月 時								
	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銑子	合計	比較値 1	比較値 2
A	12.84	11.85	16.46	15.47	15.90	8.77	81.29	126	100
B	15.96	14.23	17.72	19.19	17.15	8.94	93.19	145	115
C	11.74	11.08	11.99	11.72	11.15	6.78	64.46	100	79
D	12.89	11.75	14.72	13.30	12.02	8.85	71.53	111	88
E	13.48	11.12	13.86	12.03	11.94	8.33	70.76	110	87
合計値	66.91	60.03	74.75	71.71	68.16	39.67	A 普通鋼板 B 冷間圧延鉄板 C 耐鋼性板鋼		
比較値	169	151	188	181	172	100			
腐食順位	4	5	1	2	3	6			

	12 ケ 月 時								
	石垣	宮古	那覇	石川	本部	銑子	合計	比較値 1	比較値 2
A	18.33	10.37	11.25	11.29	12.09	9.08	72.41	150	100
B	33.76	11.53	12.28	12.16	18.22	12.84	106.79	221	139
C	9.36	8.39	7.96	8.10	7.85	6.56	48.22	100	66
D	11.13	8.92	10.05	9.22	10.27	8.42	58.01	120	80
E	11.29	7.17	8.19	7.95	7.58	6.41	48.59	101	67
合計値	83.87	46.38	49.73	48.72	56.01	43.31	D 溶接用鋼板 E 琉状黒鉄		
比較値	194	107	115	112	129	100			
腐食順位	1	5	3	4	2	6			

凡例 ◇—6ヶ月 □—12ヶ月

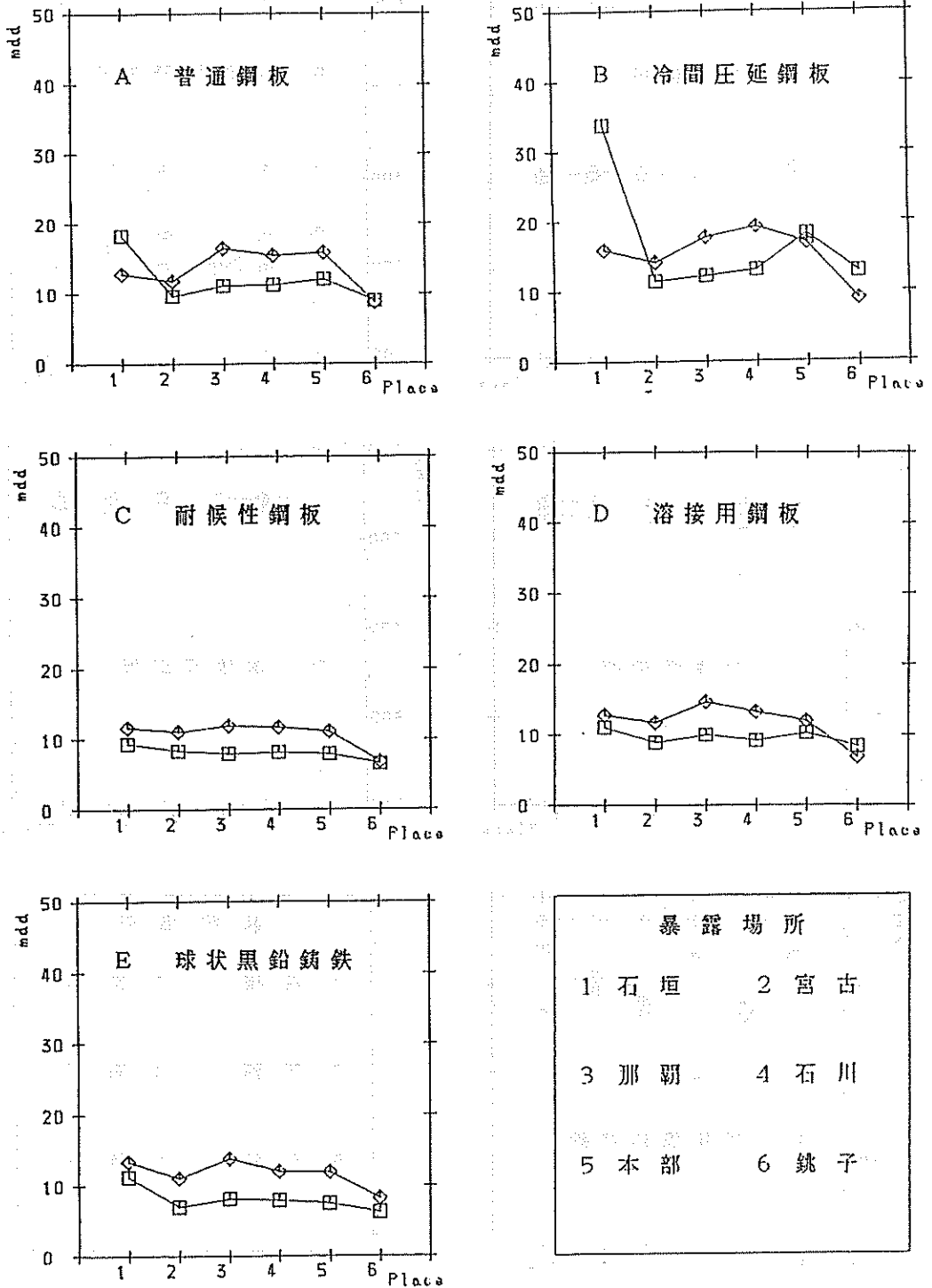
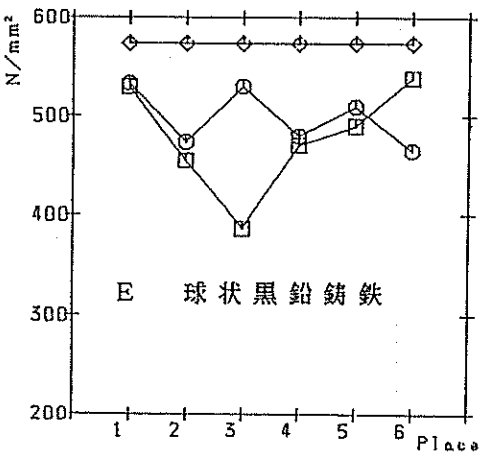
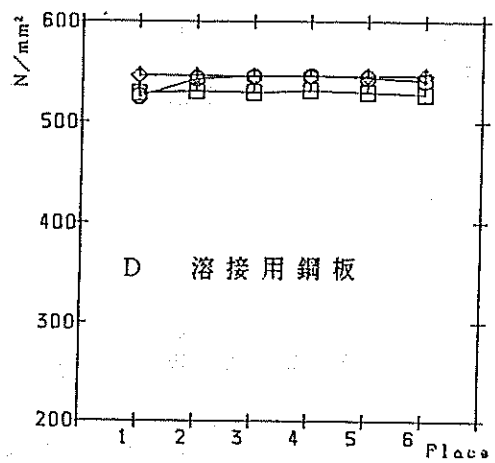
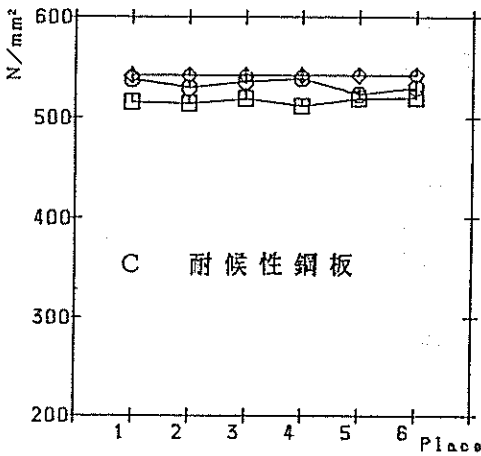
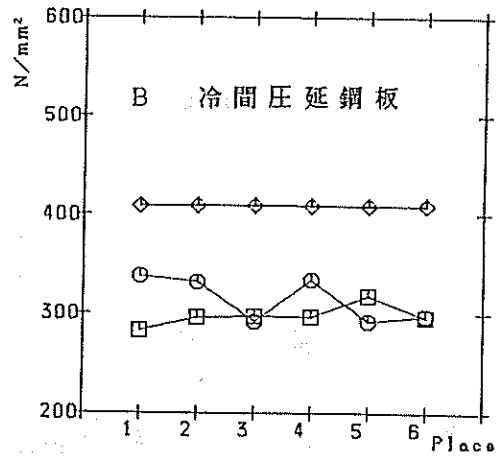
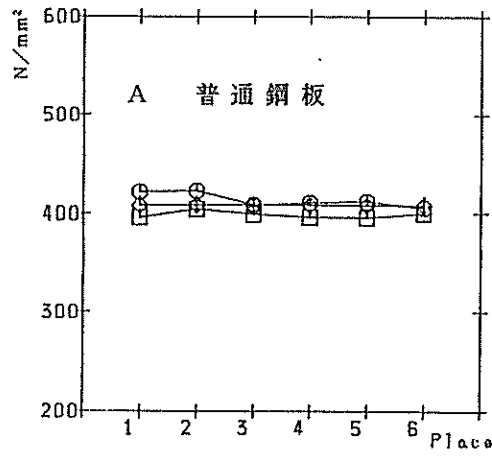


図2-6 各試験片の地域別腐食速度の変化

凡例 ◇—初期値 □—6ヶ月 ○—12ヶ月



暴露場所	
1 石垣	2 宮古
3 那覇	4 石川
5 本部	6 銚子

図2-7 各試験片の鋼種別引張強さの変化

量を求めた結果は表3-1のとおりである。

測定場所のうち浦添地区は沖縄電力構内の護岸縁であり、電力施設の腐食や維持管理の必要性から測定を行っている箇所である。浦添地区を除いて測定結果を地区別平均でみると、多い方から、石垣>石川>那覇>宮古>本部>銚子の順である。ただし銚子の平成2年11月の値は異常値と見なされるのでこれを除いて評価した。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。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。

銚子の場合、従来は、沖縄地区と較べて数分の1程度の塩分量であったのが、環境の変化によりかなり大きくなっている。

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分かっていたが、この場合は、腐食速度の順序すなわち石垣、本部、那覇、石川、宮古、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。

3. 2 めれ回数・めれ時間と腐食速度

金属面が常時ぬれているよりも乾湿の繰り返しが多いときに腐食が大きくなるという見方があり、本県は降水量が多い上、めれ回数が多いと言う報告がある。また海塩粒子量も単独では腐食度との相関性は小さいが、水との共存により、腐食の加速因子となる。すなわち、「めれ回数」は腐食促進因子であるとして測定中であるが測定機器の関係で実測できるのは那覇暴露場のみである。

そこで、その他の暴露場については気象台のアメダス情報から最寄りの観測値の降雨データを入力し、これを基に各暴露地の推定めれ回数と推定めれ時間(推定降水時間)を求めた。

めれ回数の推定はアメダス情報で1時間に1mm以上の雨とし、更に、次の1時間は雨が無くてもぬれているものとして、その後に雨が降る時は連続して濡れているものとして計算し、2時間以上晴れ間の後を新しい回数として計算した。また降水時間は1時間内に1mm以上の雨が降れば、1時間の降水時間とみなして計算した。

表3-2は那覇地区におけるめれ回数とめれ時間(降水時間)について、実測値と推定値を比較したものである。両者を比較すると、めれ回数では約3分の1、降水時間が約2分の1といずれも推定値が実測値を下回っている。両者の間の相関関係を調べたところ、有意性のあるのはめれ時間のみであった。そこでめれ回数の推定法については今後検討することにして、現時点ではめれ時間(降水時間)と腐食速度との関係に注目することとした。図3-4はこれらの関係を示したものである。

図3-1において、横軸の降水時間は那覇と銚子が実測値で、その他は推定値である。また、A点、B点はそれぞれ暴露6か月時、1か年時における降水量と各鋼種の腐食速度とをプロットしたものである。どの地区においても腐食速度は6か月時が大となるのが一般的であるが、すでに述べたように銚子においては逆であること、また石垣のように地区によっては、冷間圧延鋼板や普通鋼板などの腐食量の大きい鋼材は腐食速度が減速しないことがわかる。

各地区における降水時間と腐食速度との相関関係については、現時点ではデータ不足で論ずることが出来ないため、データを積み重ねた上で検討していきたい。

表 3 - 1 大気中海塩粒子量測定結果

年 月	石垣(1)	宮古(2)	那覇(3)	石川(4)	本部(5)	銚子(6)	IHI(浦添)
平成2年10月	0.357	0.258	0.217	0.265	0.317	0.297	0.325
11月	0.491	0.408	0.534	0.491	0.483	(1.316)	0.534
12月	0.346	0.206	0.318	0.224	0.225	0.250	0.274
平成3年1月	0.785	0.480	0.177	0.197	0.295	0.178	0.239
2月	0.643	0.387	0.194	0.236	0.190	0.351	0.206
3月	0.424	0.339	0.387	0.491	0.216	0.413	0.842
4月	0.246	0.192	0.254	0.154	0.154	0.317	0.500
5月	0.469	0.387	0.493	0.239	0.154	0.293	0.508
6月	0.486	0.422	0.297	1.003	0.232	0.288	0.697
7月	0.802	0.558	0.622	0.539	0.483	0.140	0.418
8月	0.418	0.334	0.531	0.891	0.495	0.100	0.387
9月	0.761	0.330	0.500	0.286	0.473	0.164	0.354
地区平均	0.519	0.358	0.385	0.418	0.307	0.254	0.440
標準偏差	0.178	0.102	0.148	0.267	0.128	0.092	0.181

表3-2 那覇地区におけるぬれ回数等の実測値と推定値

No.	年 月	実 測 結露時間	実 測 ぬれ回数	推 定 ぬれ回数	実 測 降水時間	推 定 降水時間
1	H2.10月	28.2	91	12	102	58
2	11月	45.2	30	16	84	60
3	12月	70.7	35	7	30	18
4	H3.1月	86.5	51	16	96	51
5	2月	27.6	15	6	48	30
6	3月	177.8	41	21	119	52
7	4月	136.5	46	15	70	36
8	5月	116.9	30	5	17	9
9	6月	100.0	36	12	43	17
10	7月	87.0	40	10	64	39
11	8月	57.4	30	8	50	21
12	9月	74.2	34	22	142	83
	合 計	1,008	479	150	869	474

4 大気暴露6か月時および1か年時のまとめ

前報では、大気暴露試験3ヶ月の結果について非破壊試験項目で、光沢度など比較的短期間内に変化の見られる特性値に関する報告を行ったが、今回は破壊試験を含めた暴露6か月値および12か月値について分析検討を行った。これらの測定結果についてまとめると以下のとおりである。

- 1 ステンレス試験片はシミ状斑点の中に赤錆が発生している。その発生面積は石垣地区の場合、SUS304表面で10%程度、ウラ面で15%程度、SUS444では表面10%程度、ウラ面が5%程度である。光沢度残存率は汚れた状態では304が60%前後であるのに対し、444は約90%の光沢残存率である。
- 2 めっき・溶射試験片は、外観では亜鉛アルミ合金溶射の黒灰色が灰色へと変化し、白錆発生を見るようになったのが目だった変化である。重量増では溶射試験片が0.1ないし0.3%であるのに対し、めっき試験片は0.2%以下である。また光沢度は暴露1か年時で両試験片とも殆どなくなる。
- 3 塗装試験片はインピーダンスが初期値に較べて幾分電気抵抗が僅かに減少していく傾向にあるが、静電容量値は殆ど変化がなく、現在のところ、異常は認められない。また、付着着力試験結果では殆どの塗装系が2N/mm²以上をしめしめていて問題はないが、初期値に較べて段々低下する傾向にあり、特にT（無機ジンク+エポキシ+ふっ素）およびP（エポキシプライマー+鉛系錆

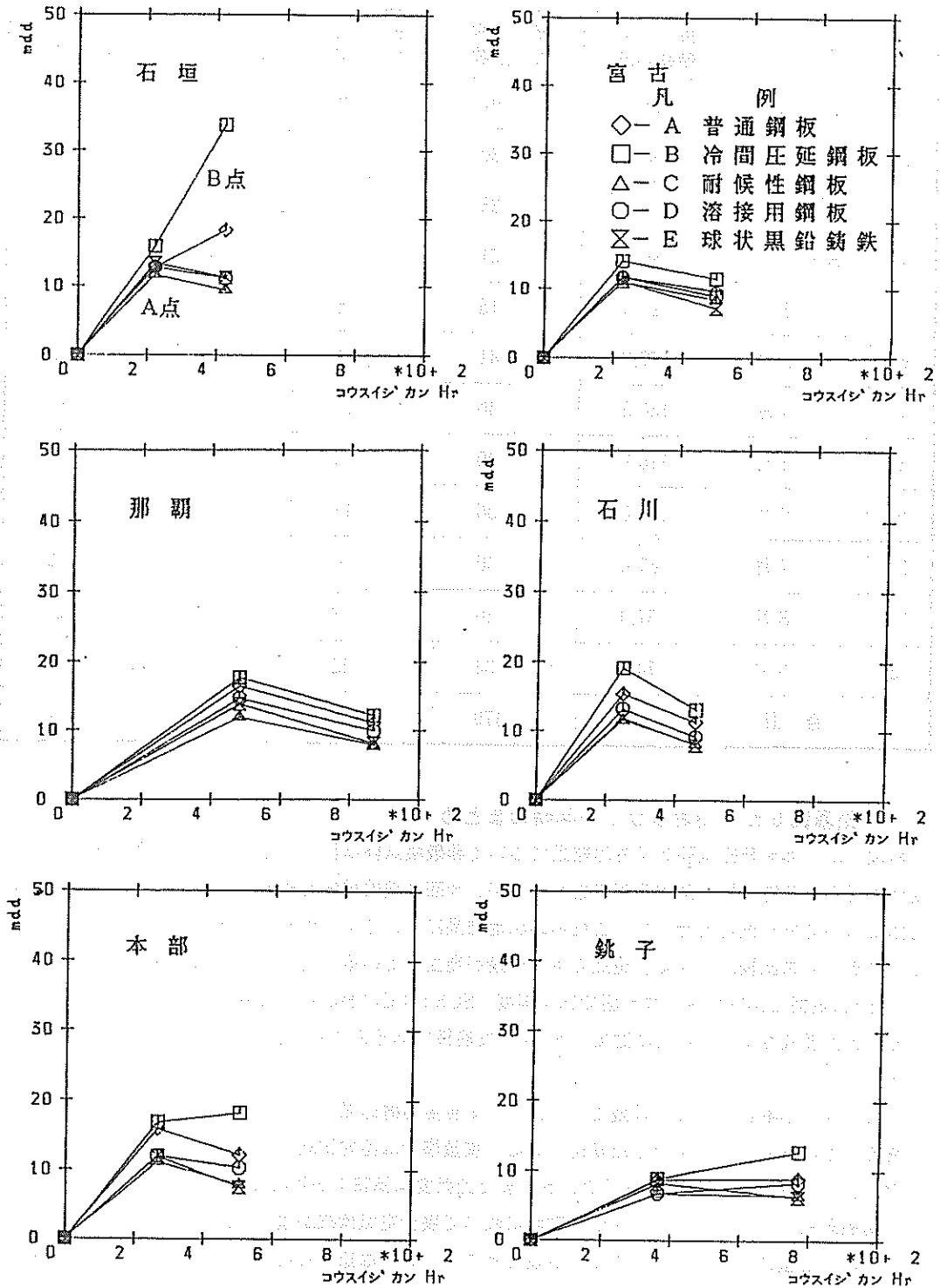


図3-4 推定降水時間と腐食減量
(那覇・銚子は実測時間)

止め+フタル酸樹脂)の塗装系は $2\text{N}/\text{mm}^2$ 以下を示しており、付着性の面から問題がありそうである。

- 4 素材試験片の腐食減量(腐食速度)を鋼種別・地域別に測定した結果では、腐食量は鋼種別では冷間圧延鋼板、普通鋼板、溶接構造用鋼板、ダクタイル鋳鉄、耐候性鋼板の順であり、地域別では石垣、本部、那覇、石川、宮古、銚子、の順である。また、これらの試験片について引張強度の変化をみた結果では冷間圧延鋼板に約25%程の強度低下がある他は大きな変化は見られない。
- 5 海塩粒子量の測定結果は、石垣、石川、那覇、宮古、本部、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 ぬれ回数・ぬれ時間(降水時間)と腐食速度の関係については現時点ではデータ不足のため、明らかではなく、今後引き続き検討していく必要がある。

あとがき

暴露1か年の時点では塗装試験片については大きな変化は見られないが、素材試験片やめっき試験片では試験片差や地域差が表れ始めており、この先、時間の経過により、塗装試験片においても、これらの差が表れるものと考えられる。今後の特性値変化に注目するとともに環境因子との関連についても検討を続けて行きたい。

なお、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。

参考文献

- 1 外川靖人(1991)、大気の腐食性を分類するための国際共同暴露試験、ウエザリング技術研究発表会テキストP9~18、(財)日本ウエザリングテストセンター
- 2 石原金盛ほか4名(1984)、金属の塩害に関する調査研究(第1報~第4報)、沖工試業務報告第9号~第12号
- 3 沖縄総合事務局開発建設部道路管理課(昭和63年1月)沖縄地区の鋼橋防錆調査報告書 P23
- 4 関 元治 石川量大(1981)金属溶射皮膜の耐食性について 防錆管理 Vol.25 No.10 別刷 P7
- 5 松本静頭(1983)亜鉛めっき鉄筋の性質と使い方 建築技術 No.385 P70
- 6 吉田真一(1971)山海堂 塗装技術者のための鋼橋塗装の知識 P258

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。