

沖縄県における防錆・防食技術の研究開発（第7報）

機械金属室 國吉 和男 長山 純朗
 比嘉 敏勝 比嘉 眞嗣
 羽地 龍志 石原 金盛

まえがき

平成元年度に計画し、大気暴露試験の準備を始めてから7年間がすぎて、今年度5カ年間大気暴露試験の結果がまとまった。本研究で実施した様な大気暴露試験は県内においては初めてのことである。すなわち、暴露地点の数と広がり・サンプルの種類・量・測定項目・測定回数および環境因子関連に関する検討等の面からして、その成果は県内では初めてで、その主な成果は①飛来塩分量の地域別分布②金属の材質別による腐食量の把握③防錆被覆別の耐食性の評価等である。

成果の活用についてみると 材料選択時の参考資料、地域的腐食量の推定、飛来塩分量の推定、防錆被覆法選定時の資料等であり、各種設備の新設及びメンテナンス時における適用例として、電力設備、橋梁設備、石油貯蔵設備、港湾設備、海上設備、製造業工場設備、学校等公共設備等への防錆対策への適用が考えられる。しかし、めっき試験片や塗装試験片については5カ年間暴露ではまだ十分な結果が得られたとは言えず、今後、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望みたい。

1. 研究経過

本研究は平成元年度にスタートして今回は7年目である。初年度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。平成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か所（石垣、宮古、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か所に試験片を設置して大気暴露試験を開始した。その後、暴露期間の1年毎に試験片の測定と報告を行ってきたが、今回は暴露5年目、すなわち最終年度の報告である。

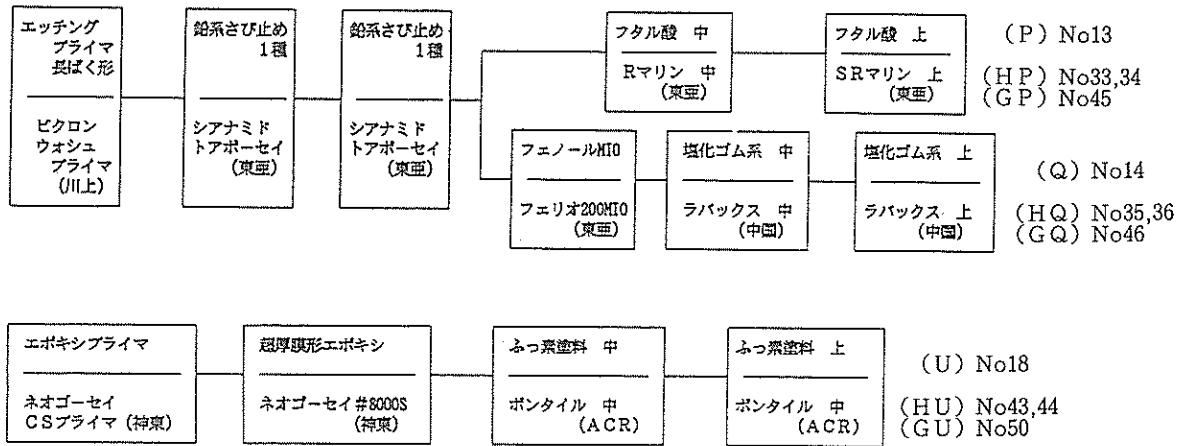
2. 試験片の作成と表面処理

試験片素材の素地の調整は表1のとおりに行い、塗装は図1～図3に示す行程で行った。また塗装中の工程管理はウエットフィルムゲージで管理し、乾燥後に初期値の膜厚を測定した。エッジはジアミド鉛さび止めで2回塗りとした。

表2は試験片の種類と測定項目の関係を示したものである。また全試験片のNo、記号、表面処理の内容を表3に示した。

表-1 試験片の素地調整区分

| | サンドブラスト | ショットブラスト | 酸洗 |
|----------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 試験片記号と番号 | A、B、C、D (no1)(no2)(no3)(no4) | M、N、O、MN (no27)(no29)(no31)(no10) | H、J、K、L (no19)(no21)(no23)(no25) |
| | P、Q、T、U (no13)(no14)(no17)(no18) | MN、MO (no11)(no12) | MH、MK (no8)(no9) |
| | HP、HQ、HT (no33)(no35)(no41) | R、S、HR、HS (no15)(no16)(no37)(no39) | |
| | HU、GP、GQ (no43)(no45)(no46) | GR、GS (no47)(no48) | |
| | GT、GU (no49)(no50) | | |
| | | | |



注) 1. 会社名

川上; 川上塗料

中国; 中国塗料

東亜; 東亜ペイント

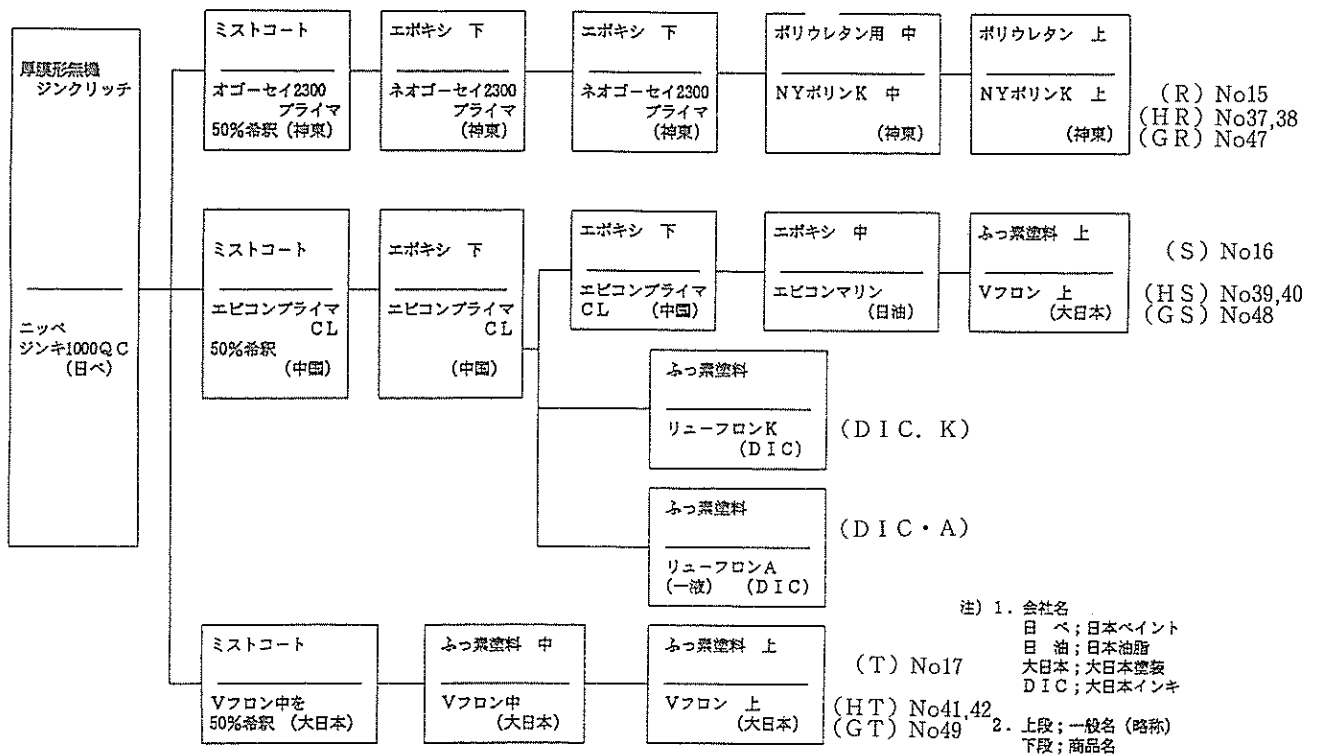
ACR; 旭ガラスコートアンドレジン

神東; 神東塗料

2. 上段; 一般名 (略称)

下段; 商品名

図-1 塗装作業工程



注) 1. 会社名

日べ; 日本ペイント

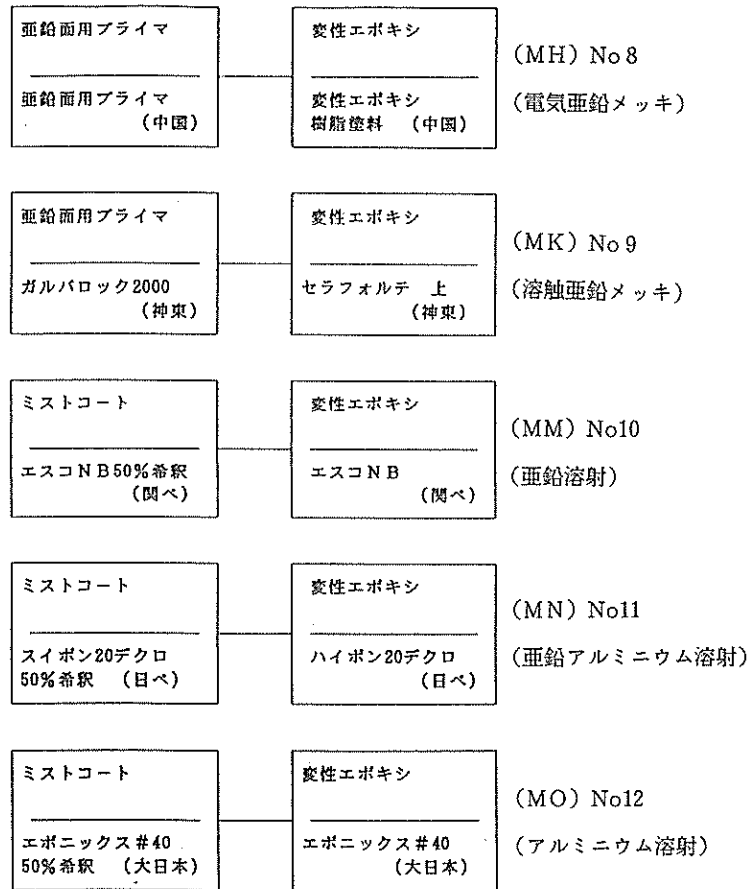
日油; 日本油脂

大日本; 大日本塗料

DIC; 大日本インキ

2. 上段; 一般名 (略称)
下段; 商品名

図-2 塗装作業工程



注) 1. 会社名
関ベ; 関西ペイント
2. 上段; 一般名 (略称)
下段; 商品名

図-3 塗装作業工程

表-2 暴露試験片と測定項目の関係

| 試験片の種類 | 試験片 No | 試験項目 | 腐食面像積廻の理 | 重量変化 | 腐食減量 | ゴバ面像目処の理 | 付着力試験 | 光沢残存率 | 写真 | 画像処理 | | |
|--------|------------|-----------|-----------|------|------|----------|-------|-------|----|-------|-------|------|
| | | | | | | | | | | カッター傷 | 5mm幅傷 | 塗れ残し |
| 破壊試験片 | 素材試験片 | No1~No5 | | | ○ | | | | ○ | | | |
| | SUS試験片 | No6~No7 | ○ | | | | | ○ | ○ | | | |
| | 金属被覆+塗装試験片 | No8~No12 | | | | ○ | ○ | | ○ | | | |
| | 塗装試験片 | No13~No18 | | | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | |
| 非破壊試験片 | 金属被覆試験片 | No19~No32 | | ○ | | | | | ○ | | ○ | |
| | 塗装試験片 | H | No33~No44 | | | | | ○ | ○ | | | ○ |
| | | G | No45~No50 | | | | | | ○ | | | |

表-3 試験片及び表面処理内容

| NO | 記号 | 試験片及び表面処理内容 |
|----|-----|--|
| 1 | A | 一般構造用圧延鋼材 JIS G 3101(SS400) |
| 2 | B | 冷間圧延鋼板 JIS G 3141(SPCC) |
| 3 | C | 高耐候性圧延鋼材 JIS G 3125(SPAC) |
| 4 | D | 溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3106(SM490A) |
| 5 | E | 球状黒鉛鋳鉄 JIS G 5502(FCD600) |
| 6 | F | ステンレスSUS304 |
| 7 | G | ステンレスSUS444 |
| 8 | MH | 電気亜鉛メッキ+亜鉛面用プライマー+変性エポキシ |
| 9 | MK | 溶融亜鉛メッキ+亜鉛面用プライマー+変性エポキシ |
| 10 | MM | 亜鉛溶射+ミストコート+変性エポキシ |
| 11 | MN | 亜鉛アルミ溶射+ミストコート+変性エポキシ |
| 12 | MO | アルミ溶射+ミストコート+変性エポキシ |
| 13 | P | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+7外酸樹脂塗料X2 |
| 14 | Q | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+フェノールMI0+塩化ゴム系塗料X2 |
| 15 | R | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ホリウレン塗料X2 |
| 16 | S | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ふっ素樹脂塗料 |
| 17 | T | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+ふっ素樹脂塗料X2 |
| 18 | U | エポキシプライマー-X1+超厚膜型エポキシ+ふっ素樹脂塗料X2 |
| 19 | H1 | 電気亜鉛メッキ 30 g/m ² (傷無し) |
| 20 | H2 | 電気亜鉛メッキ 30 g/m ² (傷有り) |
| 21 | J1 | 電気亜鉛メッキ 50 g/m ² (傷無し) |
| 22 | J2 | 電気亜鉛メッキ 50 g/m ² (傷有り) |
| 23 | K1 | 溶融亜鉛メッキ 300 g/m ² (傷無し) |
| 24 | K2 | 溶融亜鉛メッキ 300 g/m ² (傷有り) |
| 25 | L1 | 溶融亜鉛メッキ 600 g/m ² (傷無し) |
| 26 | L2 | 溶融亜鉛メッキ 600 g/m ² (傷有り) |
| 27 | M1 | 亜鉛溶射 100 μ (傷無し) |
| 28 | M2 | 亜鉛溶射 100 μ (傷有り) |
| 29 | N1 | 亜鉛アルミニウム溶射 100 μ (傷無し) |
| 30 | N2 | 亜鉛アルミニウム溶射 100 μ (傷有り) |
| 31 | O1 | アルミニウム溶射 100 μ (傷無し) |
| 32 | O2 | アルミニウム溶射 100 μ (傷有り) |
| 33 | HP1 | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+7外酸樹脂塗料X2 (塗れ無し) |
| 34 | HP2 | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+7外酸樹脂塗料X2 (塗れ有り) |
| 35 | HQ1 | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+フェノールMI0+塩化ゴム系塗料X2 (塗れ無し) |
| 36 | HQ2 | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+フェノールMI0+塩化ゴム系塗料X2 (塗れ有り) |
| 37 | HR1 | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ホリウレン塗料X2 (塗れ無し) |
| 38 | HR2 | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ホリウレン塗料X2 (塗れ有り) |
| 39 | HS1 | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ふっ素樹脂塗料(塗れ無し) |
| 40 | HS2 | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ふっ素樹脂塗料(塗れ有り) |
| 41 | HT1 | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+ふっ素樹脂塗料X2 (塗れ無し) |
| 42 | HT2 | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+ふっ素樹脂塗料X2 (塗れ有り) |
| 43 | HU1 | エポキシプライマー-X1+超厚膜型エポキシ+ふっ素樹脂塗料X2 (塗れ無し) |
| 44 | HU2 | エポキシプライマー-X1+超厚膜型エポキシ+ふっ素樹脂塗料X2 (塗れ有り) |
| 45 | GP | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+7外酸樹脂塗料X2 |
| 46 | GQ | ETCHINGプライマー-X1+鉛系さび止めX2+フェノールMI0+塩化ゴム系塗料X2 |
| 47 | GR | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ホリウレン塗料X2 |
| 48 | GS | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+エポキシ樹脂塗料X2+ふっ素樹脂塗料 |
| 49 | GT | 厚膜型無機ゾンクリッチX1+ミストコート+ふっ素樹脂塗料X2 |
| 50 | GU | エポキシプライマー-X1+超厚膜型エポキシ+ふっ素樹脂塗料X2 |

3. 大気暴露試験 5 年間の経時変化

3.1 素材試験片 (試験片No1~No5)

素材試験片の外観は全試料ともすでに赤錆で全面が腐食し、冷間圧延鋼板 (SPCC) (No2=B) のように激しく腐食し、初期形状をとどめずに消滅したものもある。

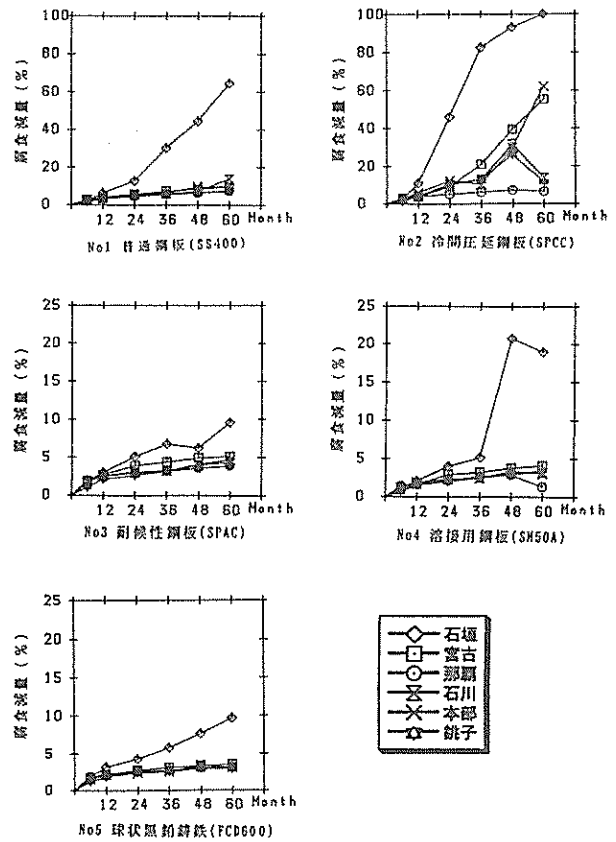
図4は素材試験片5種類の腐食減量を初期値に対する変化量 (%) で示したものである。図から全体的には素材試験片の中で冷間圧延鋼板 (SPCC) (No2=B) の腐食減量が最も大きく、地域別では各素材試験片とも石垣地域が10~100%も腐食減量し著しく腐食が進行していることがわかる。

また腐食速度 (mdd) は、冷間圧延鋼板 (SPCC) (No2=B) 以外は時間と共に低下し60カ月で約5 mdd前後となっている。普通鋼板 (SS400) (No1=A) と冷間圧延鋼板 (SPCC) (No2=B)、溶接用鋼板 (SM490A) (No4=D) の石垣地域での腐食速度 (mdd) は経時的に収束する様子はなく60ヶ月で20~70mddの著しく高い腐食速度を示した。これは板厚で年間0.01~0.32mm減少することを意味している。

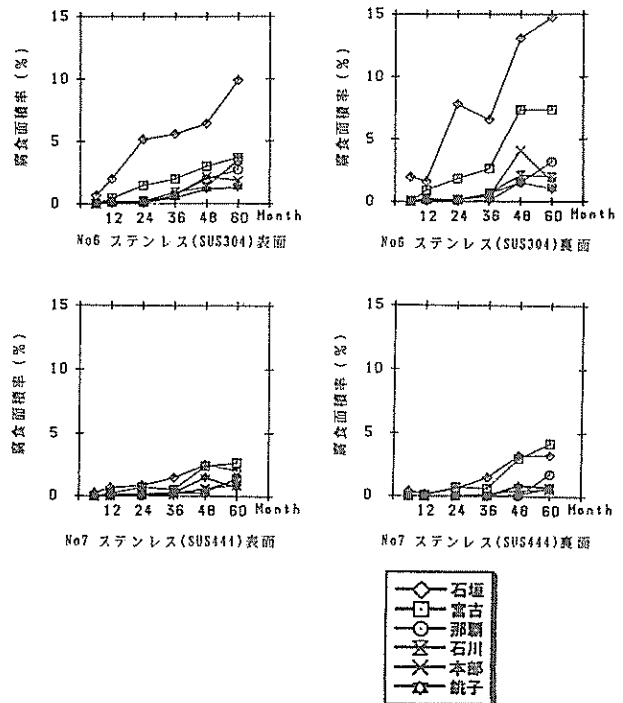
3.2 ステンレス試験片 (試験片No6~No7)

図5はステンレスの腐食面積の経時変化を示した図で、画像処理装置による測定面積は試験片の縁辺部の影響を除くために中央部から190×160mmの矩形面積を一定にして測定した。

SUS304ステンレス (No6=F) が SUS444ステンレス (No7=G) より腐食が進み、また表 (おもて) 面より裏 (うら) 面の方が腐食進行が大きかった。SUS304ステンレス (No6=F) は12カ月で腐食点が多発発生し、24カ月頃からは光沢も減少し、石垣地域では面積の5%以上腐食が進行している。60カ月ではSUS304ステンレス



(図-4) 素材試験片の腐食減量 (%) の経時変化



(図-5) ステンレスの腐食面積率 (%) の経時変化

(No6=F) は3~10%の面積が孔食につながると思われる腐食点で汚れているがSUS444 (No7=G) は光沢も残して多少のシミのような汚れしか見られなかった。

これらのことからCr (17.00~20.00%)、Mo (1.75~2.50%) を含有するフェライト系SUS444ステンレス (No7=G) はいずれの地域でも36カ月までは十分な光沢度とシミ汚れの少ない表面を保持し、一方のCr (18.00~20.00%)、Ni (1.75~2.50%) を含有するオーステナイト系SUS304ステンレス (No6=F) は12カ月目でシミ汚れが発生し光沢度も50~60%まで落ち込み、耐食性に大きな差があることがわかる。

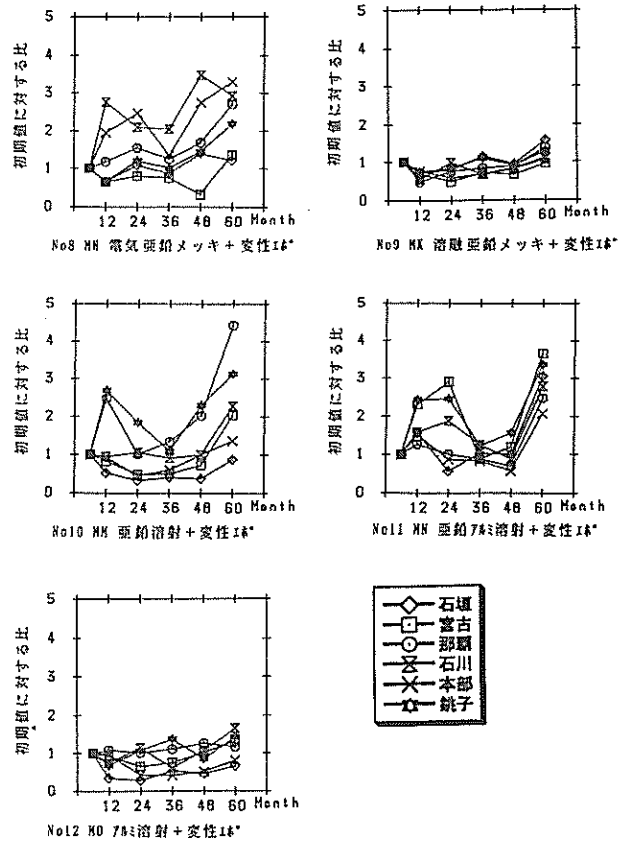
3.3 金属被覆+塗料試験片 (試験片No8~No12)

ゴバン目試験は画像処理装置を使って、ゴバン目傷の16個の交点が入るように約20×20mmの面積を固定し、剥離した部分の面積割合を(%)で求め、6カ月目の値を初期値とし、比の値を縦軸に取って塗料を評価した。

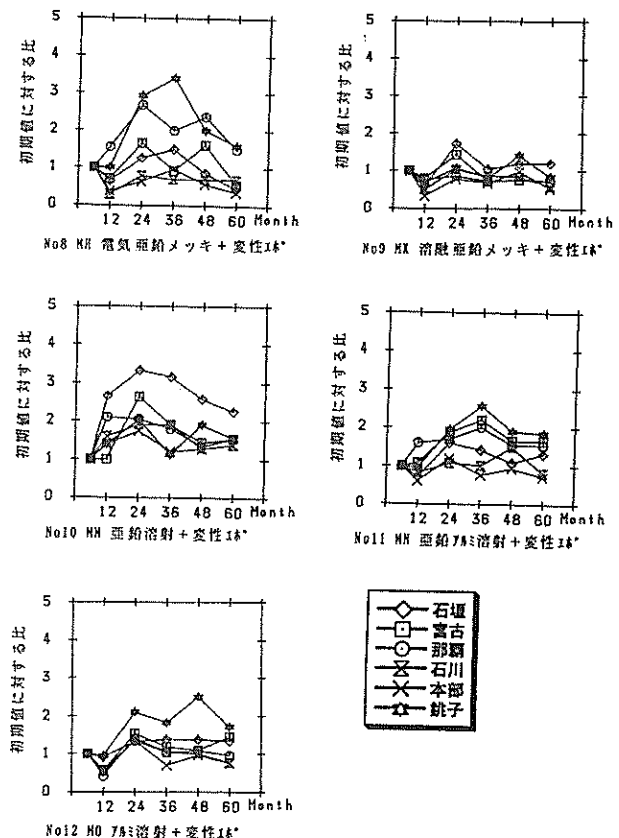
その結果は図6に示した。これで見ると亜鉛電気メッキ+プライマー (No8=MH)、亜鉛溶射+ミストコート+変性エポキシ (No10=MM)、亜鉛アルミ溶射+ミストコート+変性エポキシ (No11=MM) は地域によるばらつきが大きく、暴露期間が長くなると剥離も大きくなる傾向を示し、60カ月目で、6カ月の初期値に対して約1~4倍の最大の剥離を示している。

溶融亜鉛メッキ+プライマー (No9=MK) とアルミ溶射+ミストコート (No12=MO) は60カ月でも6カ月の初期値とほとんど変わらない剥離状態で、地域差もなく安定した値を示している。

図7は6カ月目の付着力N/mm²を初期値とし、経時変化を比の値で示した。



(図-6) 金属被覆+塗料試験片のゴバン目試験の経時変化



(図-7) 金属被覆+塗料試験片の付着力の経時変化

亜鉛電気メッキ+プライマー+変性エポキシ (No8=MH)、亜鉛溶射+ミストコート+変性エポキシ (No10=MM)、亜鉛アルミ溶射+ミストコート+変性エポキシ (No11=MN) は24カ月～36カ月の間に付着力の最大値を示し、60カ月目で1～2倍程度に落ち着いているが、地域間のバラツキは大きい。また溶融亜鉛メッキ+プライマー+変性エポキシ (No9=MK)、は地域差や経時変化が少なく比較的安定した付着力を示している。

図8は付着力 N/mm^2 の実測値を縦軸に取り表示したものである。溶融亜鉛メッキ+プライマー+変性エポキシ (No9=MK) が約 $4 N/mm^2$ で高く、他は $2 \sim 4 N/mm^2$ 以下の付着力である。

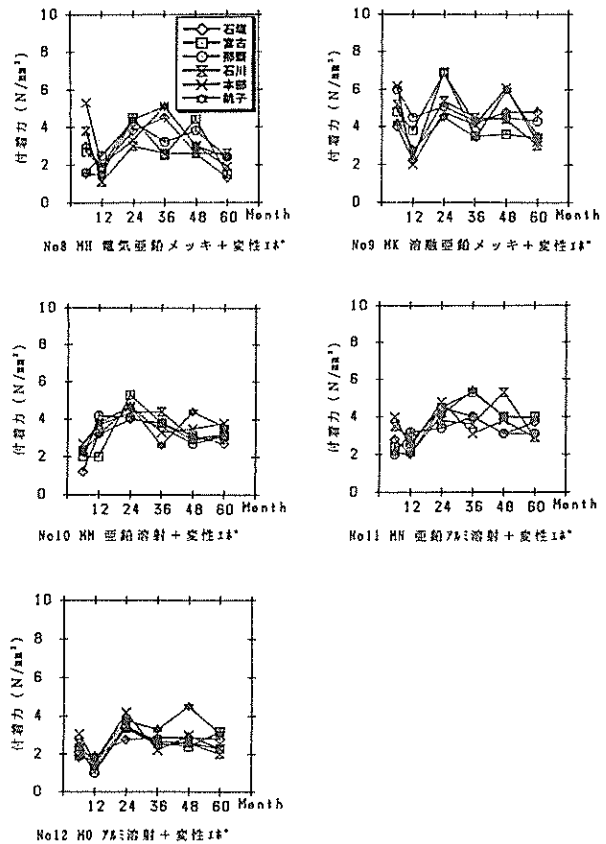
これらの試験片はメッキと溶射による金属被覆の種類と塗膜の密着性を評価するために、プライマーやミストコートの上に同一の変性エポキシを塗布したが、その結果、溶融亜鉛メッキ+亜鉛面用プライマーと変性エポキシの組合せがいずれの地域でも安定した塗膜密着性を示した。

3.4 塗装試験片 (試験片No13～No18)

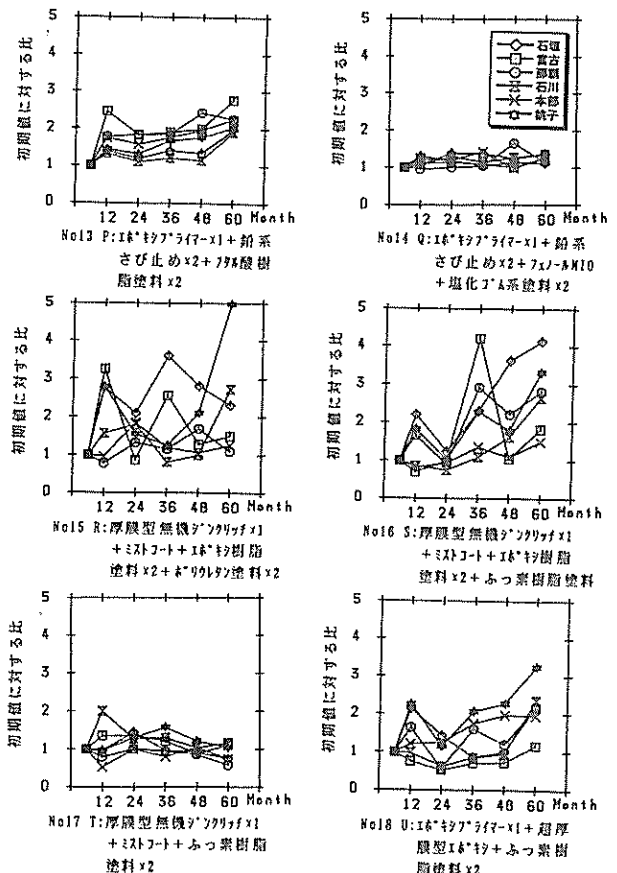
図9は塗装試験片のゴバン目試験結果を、6カ月目の値を初期値とし、比の値を縦軸に取って経時変化を見たものである。

無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ポリウレタン (No15=R)、無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ふっ素 (No16=S) は地域差が大きく、時間と共にその差が大きくなり、剥離面積が初期の1～5倍と大きく劣化している様子がわかる。

エッチングプライマー+鉛系+フェノール+塩ゴム (No14=Q)、無機ジンク+ミストコート+ふっ素 (No17=T) は60カ月目でも地域差が少なく、剥離面積は1～2倍程度で



(図-8) 金属被覆+塗料試験片の付着力の経時変化 (N/mm^2)



(図-9) 塗料試験片のゴバン目試験の経時変化

安定した塗膜性状を示している。

図10は塗装試験片の6カ月目の付着力 N/mm^2 を初期値とし、比の値を縦軸に取って経時変化を見たものである。

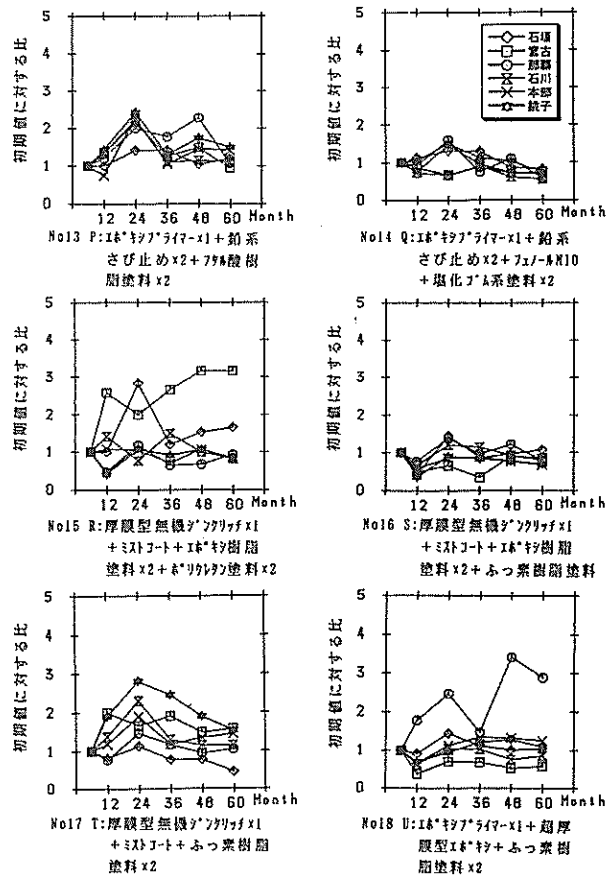
無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ポリウレタン (No15=R)、無機ジンク+ミストコート+ふっ素 (No17=T) は地域差が大きく1~4倍程度の付着力の変化を示し、エッチングプライマー+鉛系+フェノール+塩ゴム (No14=Q)、無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ふっ素 (No16=S) は1~2倍前後の変化で比較的安定した性状を示している。

図11は付着力 N/mm^2 の実測値を縦軸に取り表示したものである。エポキシプライマー+超厚膜型エポキシ+ふっ素 (No18=U) が4 N/mm^2 よりやや高く、無機ジンク+ミストコート+ふっ素 (No17=T) が2 N/mm^2 以下で悪く、他は2~4 N/mm^2 程度の付着力であった。

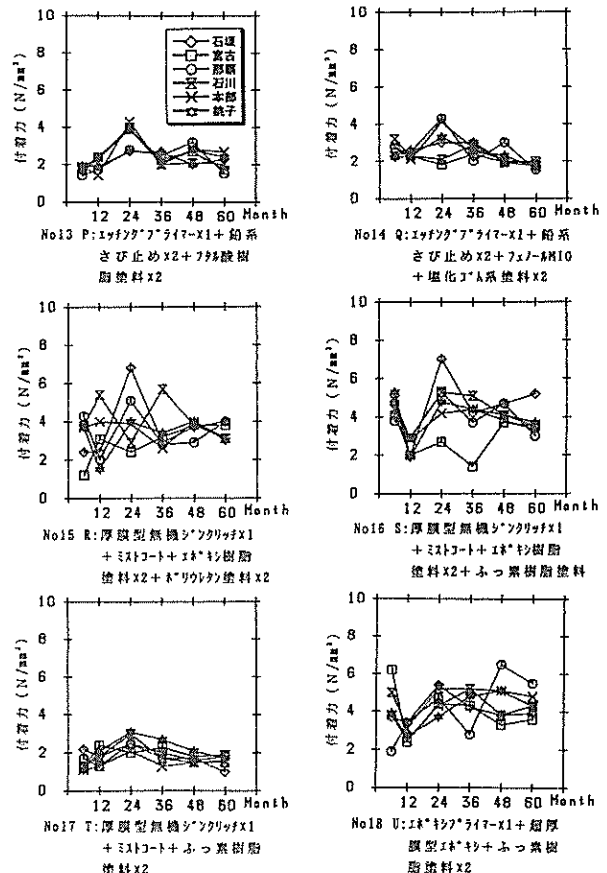
これらのことからエッチングプライマー+鉛系+フェノール+塩ゴム (No14=Q) は地域差や経時変化が少なく安定した性状を示しているのがわかるが、剥離面積%がやや少なめに推移し、付着力 N/mm^2 が高い塗料は無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ポリウレタン (No15=R)、無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ふっ素 (No16=S)、エポキシプライマー+超厚膜型エポキシ+ふっ素 (No18=U) の3種であることがわかる。

3.5 非破壊金属被覆試験片 (試験片No19~No32)

図12は非破壊用金属被覆試験片すなわち常設のメッキ及び溶射試験片の例としてNo19~No24の初期重量に対する重量変化(%)を示したものである。



(図-10) 塗料試験片の付着力の経時変化



(図-11) 塗料試験片の付着力の経時変化 (N/mm^2)

非破壊試験片であるため除錆せずに重量変化を測定した。従って亜鉛、亜鉛アルミ合金及びアルミの金属被膜が大気と反応して酸化物が生成されたり、あるいはその生成物が脱落したりで、重量が増減して変動している様子がわかる。

電気亜鉛メッキと溶融亜鉛メッキ試験片(No19~No26)は重量が増加する地域と減少する地域がみられるが、溶射試験片(No27~No32)は全地域で重量が増加する傾向を示した。

図の左側は金属被覆試験片で傷の無い試験片、右側は同一の被覆で幅5mmの切削傷の有る試験片の変化を示している。全体的に-0.1~+0.4%の重量変化で、素材の普通鋼板(SS400)が10~40%減少したのに比べると、金属被覆をすることで腐食による重量変化が極端に少なくなっていることがわかる。

地域別では石垣地区の重量増加が比較的目的立っている。特に電気亜鉛メッキ30g傷有り(No20=H2)は1.0%も変動があり、他の試験片でも直線的に重量増加が見られたり、酸化物の生成が激しい地域であることがうかがえる。

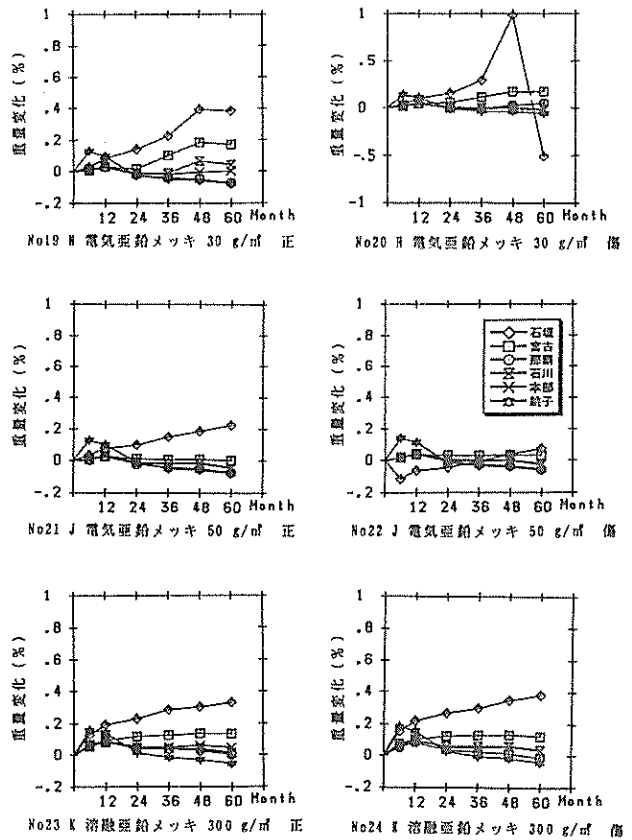
また偶数の試験片番号は被覆面に5mmの切削傷を施したものだ、金属被覆の犠牲陽極的性質で防錆効果が発揮され、傷なしと傷有りでは腐食による重量変化の差がほとんど見られない。

この犠牲陽極的効果の評価は別に傷の画像処理で比較検討することとする。

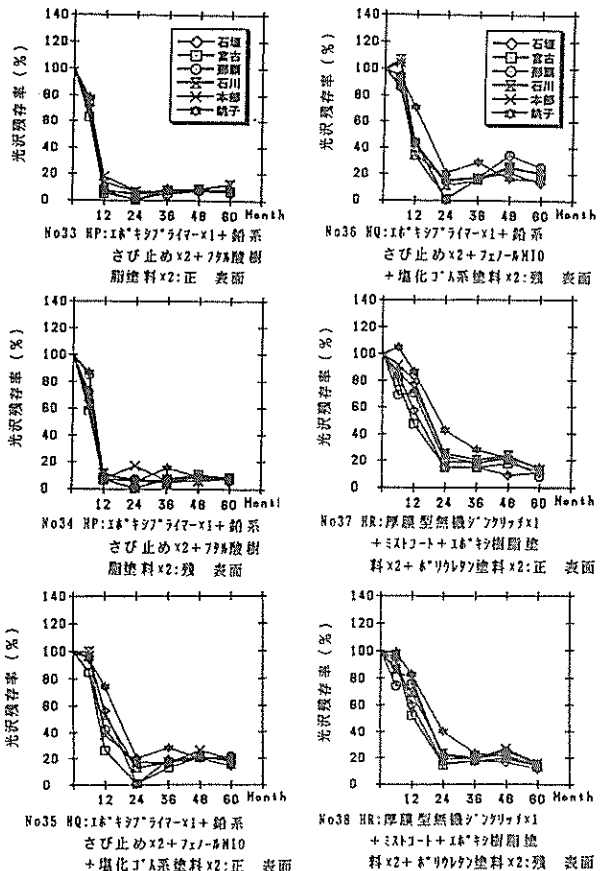
3.6 非破壊塗装試験片(試験片No33~No44)

図13は非破壊用塗装試験片すなわち常設の塗り残しなし塗装試験片の表(おもて)面の光沢残存率の変化を示したものである。

各試験片共表(おもて)面の光沢残存率の



(図-12) 非破壊金属被覆試験片の重量変化



(図-13) 非破壊用塗料試験片の光沢残存率の経時変化

低下は裏(うら)面よりも大きく、エッチングプライマー+鉛系+フタル酸塗り残しなし(No33=HP1)が12カ月で、エッチングプライマー+鉛系+フェノール+塩ゴム塗り残しなし(No35=HQ1)、無機ジンク+エポキシプライマー+ポリウレタン塗り残しなし(No37=HR1)は24カ月で、全地域の試験片で光沢度が失われている。

上塗りフッ素系の試料(No39~No44)は暴露経過とともに地域差がみられるようになり、60カ月目で銚子では40~60%の高い光沢残存率を示し、ふっ素系塗料の耐久性の高さがうかがえる。しかし石垣、宮古地域では36カ月目に約20%程度まで劣化して環境の差が大きいことがわかる。

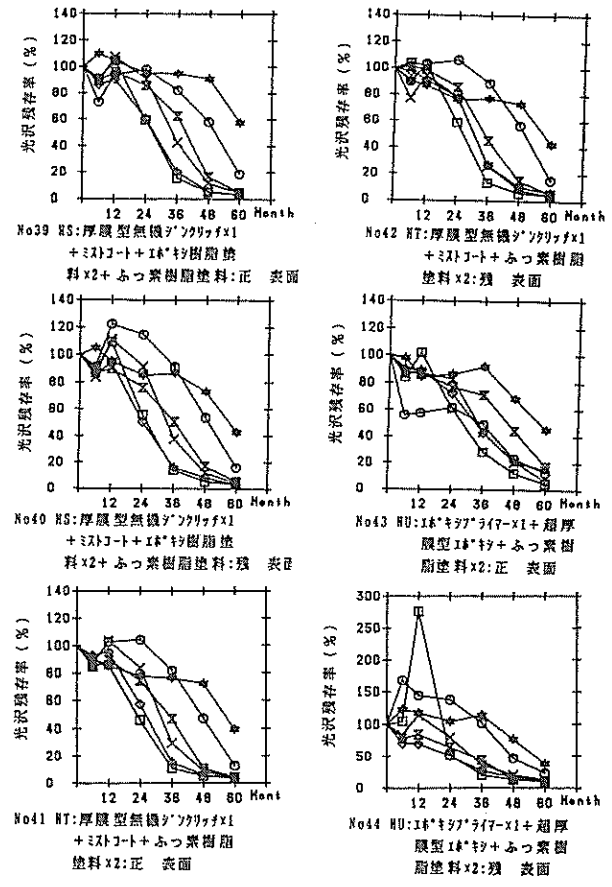
残りの塩化ゴム系塗料(No35~No36)とポリウレタン塗料(No37~No38)は約40%の光沢残存率があり、またフッ素樹脂塗料の(No43~No44)は地域によるバラツキが多少見られるものの光沢度の劣化はほとんど見られなかった。

4. 塗膜傷と塗り残し試験片

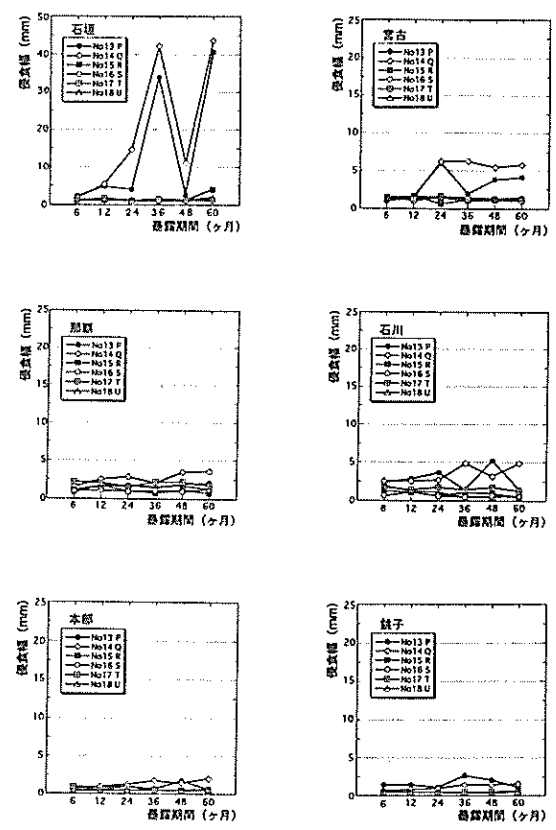
4.1 カッター傷(試験片No13~No18)

図14は塗装試験片(試験片No13~No18)の表(おもて)面に付けたカッター傷から侵食して行く錆幅を測定して、各地域の経時変化として整理して表示したものである。

縦軸にカッター傷から侵食した錆の最大幅(mm)を示した。これで見ると地域により錆の侵食幅に大きな差があることがわかる。すなわち腐食環境の厳しい石垣地区が大きく侵食されて、エッチングプライマー+鉛系さび止め+フタル酸樹脂塗料(No13=P)、エッチングプライマー+鉛系さび止め+フェノールMIO+塩化ゴム系塗料(No14=Q)の試料は最大30mm以上の錆の侵食が見られる。こ



(図-13) つづき 非破壊用塗料試験片の光沢残存率の経時変化



(図-14) カッターに傷による錆侵食幅の経時変化

のエッチングプライマー系はいずれの地域でも約2mm以上の錆の侵食がみられた。

他の試験片 (No15~No18) の試料はいずれの地域でも2mm以下の浸食量で安定した塗膜性状を示した。

ゴバン目と付着力試験で比較的评价のよかった厚膜型無機ジンクリッチ+ミストコート+ふっ素樹脂塗料 (No17=T) はここでも良い特性を示したが、エッチングプライマー+鉛系さび止め+フェノールMIO+塩化ゴム系塗料 (No14=Q) は初期傷に対して防錆効果が悪いことがわかる。

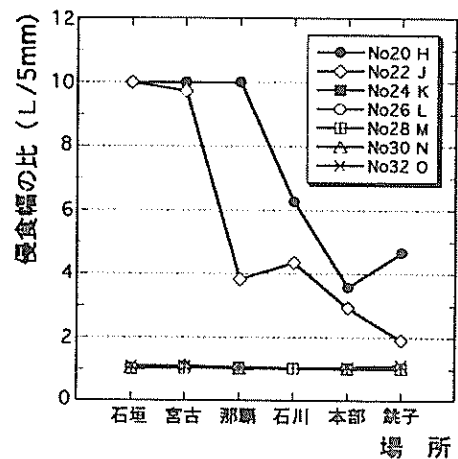
4.2 切削幅5mmの傷 (試験片No19~No32)

金属被膜の重要な特徴である犠牲陽極的性質を評価するために、エンドミルによる切削で金属被覆を5mm×50mmはぎ取り暴露して60カ月目に切削傷から拡大した腐食の最大幅を測定した。

図15は縦軸に初期の5mm傷に対する最大腐食幅の比を表示したものである。電気亜鉛メッキ30g傷あり (No20=H2) は石垣、宮古、那覇において全面に腐食が拡大し、電気亜鉛メッキ50g傷あり (No22=J2) は石垣、宮古で大きく腐食が進んでいる。これらの全面腐食をした試験片は比の値を10.0としてプロットしてある。

その他の地域でも2倍以上の腐食拡大がみられたことから、電気亜鉛メッキ30~50g/mm²程度では犠牲陽極的効果が余り期待できないことが分かる。

その他の金属被覆系は宮古地区で比較的腐食の進行が見られるものの、ほとんど初期傷5mmに対して1.1倍以下の腐食幅で、60カ月目でも十分犠牲陽極的効果があることがわかった。

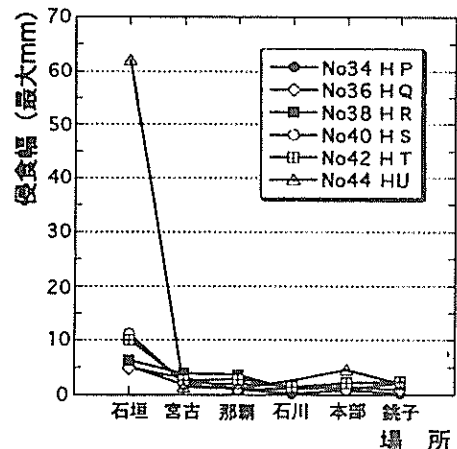


(図-15) 暴露60ヶ月目の切削幅5mmによる錆侵食量

4.3 塗残し (試験片No33~No44)

図16は非破壊試験片の下端を20mmを塗り残し、60カ月目の錆侵食の最大値を示したものである。

石垣地域の試料はここでも全般的に錆の侵食が大きいことがわかる。特にエポキシプライマー+超厚膜型エポキシ+ふっ素樹脂塗料 (No44=HU2) の侵食はエッジ部分から激しく腐食が進行し著しく値が大きくなっているのがわかる。その他の試料は5mm以下の侵食で大きな差はみられなかった。



(図-16) 暴露60ヶ月目の塗り残し試験片の錆侵食量 (最大)

5. 気象因子について

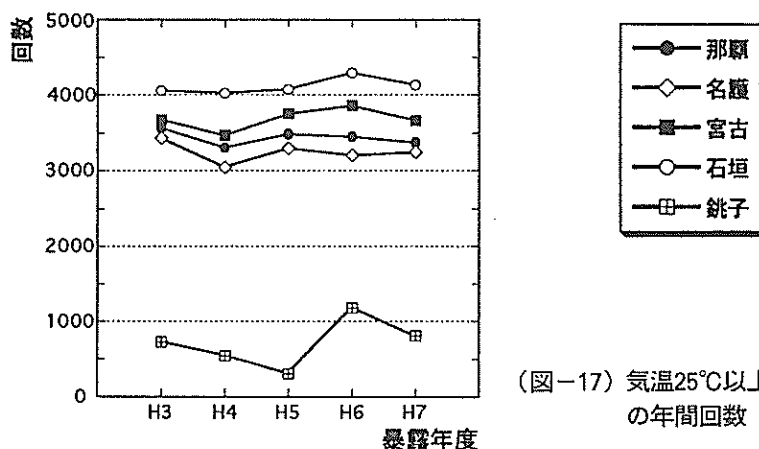
暴露期間中（1990年10月～1995年9月）の気象因子については石川を除く5箇所名護、那覇、宮古、石垣、銚子の気象庁「SDP（Surface Data Point）・気象官署の地上気象観測データ」を活用して検討を加えた。

図17と図18はSDP時別値から一般的な高腐食地域より環境が厳しいと考えられる気象条件として、気温25℃以上と湿度90%以上の測定時をカウントして縦軸に年間値を表示したものである。

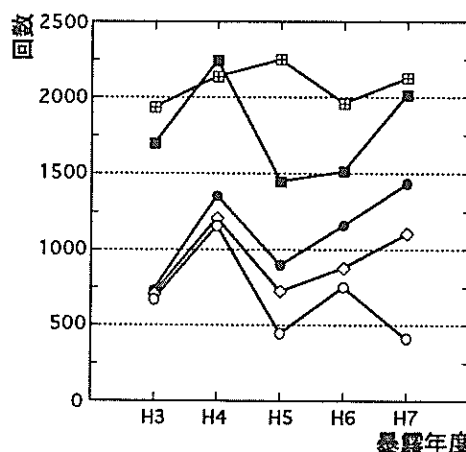
気温25℃以上は銚子が1000回前後であるのに比べ、県内4地域は3000～4000回で石垣>宮古>那覇>名護の順であった。また湿度90%以上の回数は銚子が最も高く、宮古>那覇>名護>石垣の順である。しかしこれらを合成した気温25℃以上で湿度90%以上を同時に満たす測定時をカウントしたのが図19である。これで見ると宮古地域が最も高く那覇>石垣>名護>銚子の順となった。

図20は前図と逆に低腐食気象として気温20℃以下で湿度60%以下を同時に満たす測定時をカウントして縦軸に5年間を表示したものである。これで見ると銚子が1500～2000回と最も高く500～1000回の範囲で那覇>名護>石垣>宮古の順であった。

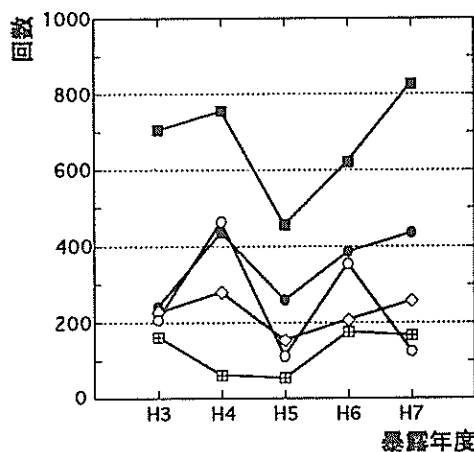
これらのことから温度と、湿度を組み合わせることで容易に



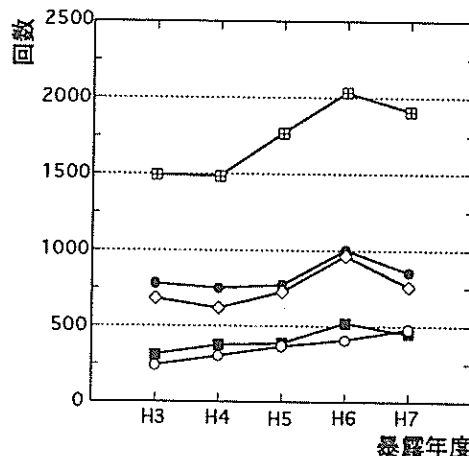
(図-17) 気温25℃以上の年間回数



(図-18) 温度90%以上の年間回数



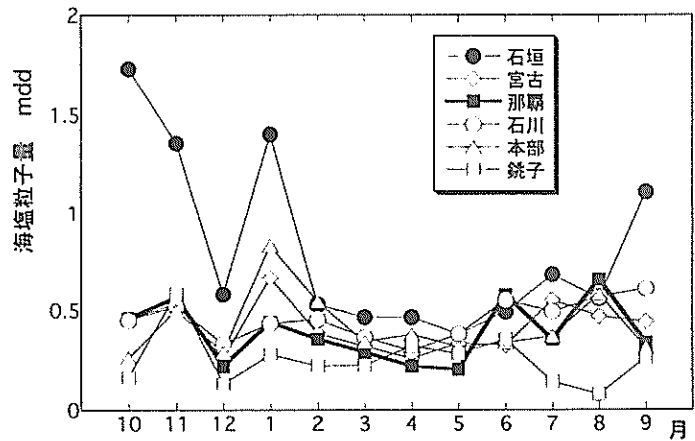
(図-19) 気温25℃以上で湿度90%以上の年間回数



(図-20) 気温20℃以下で湿度60%以下の年間回数

腐食環境を比較することができた。すなわち腐食環境は宮古地域が最も厳しく、銚子は県内4地域に比べて腐食環境はかなりよいなど、銚子と県内各地域の腐食環境の違いを明確することができた。

一方図21は6ヶ所の暴露地点における海塩粒子を、平成2年10月から平成5年9月までの3カ年間JISのガーゼ法で捕集し、AgNO₃滴定法によってNaCl濃度を定量化したものである。



(図-21) 各地域における海塩粒子量の推移 (平成2年10月～平成5年9月の3ヶ年間平均)

石垣島は9月～2月にかけての海塩粒子が他の地域に比べて2～3倍近くの高い海塩粒子量を示し、その結果はSS400をはじめステンレス等金属素材の腐食速度が著しく高い原因になっていると考えられる。

他の地域は11月～1月の間が若干高い値を示しているが、年間およそ0.2～0.5mddの間で推移し、那覇は約0.5mdd前後で推移している。

表-4 地域別海塩粒子の差の検定

| | 宮古 | 那覇 | 石川 | 本部 | 銚子 |
|----|----|----|----|----|----|
| 石垣 | ★★ | ★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| 宮古 | | — | — | — | ★★ |
| 那覇 | | | — | — | ★★ |
| 石川 | | | | — | ★ |
| 本部 | | | | — | ★ |

★★ : 99%有意差あり ★ : 95%有意差あり

表4は図25の各地区の海塩粒子量に差があるかをT検定したものである。これで見ると石垣と銚子が他の地域に対して、著しく海塩粒子量に差があることがわかる。すなわち石垣は平均値0.833mddと多く、銚子は0.254mddと少ない。またその他の宮古、那覇、石川、本部地域は海塩粒子量に著しい差があるとはいえない。

これら気象因子と海塩粒子の関係から、素材の暴露で著しく腐食が進行した石垣地区を考察すると、石垣地域はやや高温、高湿度地域で、20℃以下、60%以下の乾燥時間の少ない地域とみられること。また海塩粒子量が他の5地域より明かに多く、最も少ない銚子の約3.3倍もある。

さらに暴露地の北東側に牧場が、東～南側にゴルフ場が隣接しているため試験片に刈り取られた植物が付着しているのが観察されたことから、気象と海塩粒子以外の因子の影響も推察される。これらのことから6地域の中で最も石垣地域の腐食が進行したと考えられる。

6. 大気暴露5カ年のまとめ

暴露試験5カ年目の各試験片の特性値と、暴露試験場所5箇所の気象因子について検討を行った。その結果、得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 素材試験片の腐食減量は暴露時間と共に鋼種間及び地域差が明確になってきた。すなわち冷間圧延鋼版(S P C C)はいずれの地域においても激しく腐食し、石垣地域においては、60カ月で100%も減量し試験片が消滅した。また地域別では石垣地域がもっとも腐食の激しい環境であることがわかった。
- 2) ステンレスは腐食減量がわずかであるため、腐食面積を画像処理装置を使って定量化することで比較的容易に評価できる。すなわちステンレスはS U S 3 0 4 > S U S 4 4 4の順で腐食の進行が大きい。
- 3) 塗料のゴバン目試験の評価は画像処理装置を使って定量的に測定することが可能である。すなわち金属被覆+塗料試験片では溶融亜鉛メッキ+プライマー(No9=MK)が比較的安定した塗膜状態で、ごばん目による剥離面積は少なく、付着力は高く、地域差や経時変化の少ない安定した塗膜である。
- 4) 塗膜試験片の地域差はそれほど明確ではないが塗料間の差が明らかとなった。
エッチングプライマー+鉛系+フェノール+塩ゴム(No14=Q)は地域差や経時変化が少ない安定した塗料と言えるが、実測値から見ると剥離面積が大きく、付着力は低い。
また地域差や経時変化のバラツキはやや大きいですが、剥離面積が小さく、付着力が高い塗料は無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ポリウレタン(No15=R)、無機ジンク+ミストコート+エポキシプライマー+ふっ素(No16=S)、エポキシプライマー+超厚膜型エポキシ+ふっ素(No18=U)の3種である。
- 5) 非破壊金属被覆試験片は素材に比べてほとんど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てかなりの変色も見られた。
重量変化は1.0%以下の微増量で、中でも電気亜鉛メッキ30gの重量変化が最も大きい。他はほぼ0~0.2%程度の微量の変化で、5.0mm幅の傷の有無でも腐食量に差は見られなかった。すなわち被覆材である亜鉛やアルミの犠牲陽極的効果が確認できた。
- 6) 非破壊塗装試験片の光沢残存率は表(おもて)面の劣化が明確であった。またふっ素系で上塗りされた試験片は24カ月頃まで50%程度の光沢を残し、60カ月でも地域によっては高い光沢を残し耐久性が高いことがわかる。しかし他の塗料は60カ月でほとんど光沢は失われている。
- 7) 腐食の環境因子については「SDP・気象官署の地上気象観測データ」活用して検討した。すなわち気温25℃以上及び湿度90%以上の測定時回数と気温20℃以下及び湿度60%以下の測定時回数をを用いることで腐食環境を比較することが出来き、宮古>那覇=石垣>名護>>銚子の順であった。
- 8) 海塩粒子量は石垣地域と銚子地域が他の地域に比較して著しく差があった。すなわち石垣地区が0.833mddと最も多く、銚子地区の0.254mddの約3.3倍も高かった。
- 9) 石垣地域は気温、湿度の気象因子に加え、海塩粒子量が基本的に多いことが著しく腐食が進行した要因と考えられる。

あとかき

本研究は沖縄電力研究開発部、火力部、工務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たことに対し、紙面を借りて深く感謝の意を表します。

また社団法人日本鋼橋塗装専門会には暴露試験片の作成を快く引き受けていただいた上、同専門会の吉田真一氏には当場の防錆関係技術アドバイザーとして、終始ご指導をいただきました。さらに（社）日本ウエ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。記して心から感謝申し上げます。

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）～（6）」、沖工試研究報告17号～22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。