

第 172 研究部会

船舶の防食防汚に関する調査研究

報 告 書

昭 和 55 年 3 月

社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会

本研究は防食防汚技術の高度化、塗装作業の安全性確保ならびに公害防止の問題点について究明するために、タンクの防食基準の設定に関する調査研究、防汚塗料に関する研究及び新船舶用塗料の実用化に関する研究を実施した。

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会の昭和54年度補助事業「船舶の建造技術の高度化に関する研究」の一部として日本造船研究協会第172研究部会においてとりまとめたものである。

第172研究部会委員名簿（敬称略・五十音順）

部会長	岡田正三	
幹事	浅井孝雄（日本郵船）	石田富之輔（日本ペイント）
	植田健二（三菱重工業）	太田元久（日本防蝕工業）
	太田昭三（三菱重工業）	小川信行（日本ペイント）
	大久保貞夫（石川島播磨重工業）	賀田秀夫
	神例昭一（住友重機械工業）	国田公義（石川島播磨重工業）
	佐野隆一（関西ペイント）	佐々木義昭（日本鋼管）
	重野隼太（中川防蝕工業）	嶋谷四郎（三井造船）
	瀬尾正雄	谷口誠（大阪商船三井船舶）
	高野浩（佐世保重工業）	土井浩（日本油脂）
	中川敬三（関西ペイント）	二宮守之（中国塗料）
	平野正治（日本油脂）	広田信義（中国塗料）
	馬渡静夫	南義夫（大分工業大学）
	峰久節治（日立造船）	宮嶋時三（東京商船大学）
	三好貢	森 稔（川崎重工業）
	和田攻（群馬大学）	
委員	青木真一（川崎製鉄）	青木精一（神戸ペイント）
	秋山重雄（中国塗料）	天野正三（佐野安船）
	石川浩（カナエ塗料）	猪之鼻春己（大阪造船所）
	岩上彰夫（中央工産）	内堀利也（日本防蝕工業）
	海野武人（中川防蝕工業）	川路正（昭和海運）
	岸野敏郎（神東塗料）	木村朝夫（中川防蝕工業）
	齊木昇（大日本塗料）	真田良（船主協会）
	実藤公一（三菱金属鉱業）	鈴木省輔（函館ドック）
	周布保（林兼造船）	高橋弘孝（三菱重工業）
	平井靖男（日立造船）	福永陽司（飯野海運）
	藤井巖（日本造船技術センター）	牧島博（大日本塗料）
	丸山裕規（三菱金属鉱業）	宮瀬昭夫（ジャパンライン）
	宮本芳文（鬼田化学工業）	山田光二（新日本製鉄）
	山本昇三（日立造船）	吉田守男（東亜ペイント）

第172研究部会第1分科会委員名簿

分科会長	南義夫（大分工業大学）	
委員	浅井孝雄（日本郵船）	岩上彰夫（中央工産）
	植田健二（三菱重工業）	内堀利也（日本防蝕工業）
	海野武人（中川防蝕工業）	太田元久（日本防蝕工業）

大久保 貞夫 (石川島播磨重工業)	小川 信行 (日本ペイント)
神例 昭一 (住友重機械工業)	木村 朝夫 (中川防蝕工業)
佐々木 義昭 (日本鋼管)	佐野 隆一 (関西ペイント)
重野 隼太 (中川防蝕工業)	鳴谷 四郎 (三井造船)
瀬尾 正雄 (	谷口 誠 (大阪商船三井船舶)
丸山 裕規 (三井金属鉱業)	三好 貢
山本 昇三 (日立造船)	

第172研究部会第2分科会委員名簿

分科会長	二宮 守之 (中国塗料)	
委員	青木 精一 (神戸ペイント)	石川 浩 (カナエ塗料)
	石田 富之輔 (日本ペイント)	小川 信行 (日本ペイント)
	岸野 敏郎 (神東塗料)	斎木 昇 (大日本塗料)
	佐々木 義昭 (日本鋼管)	佐野 隆一 (関西ペイント)
	鳴谷 四郎 (三井造船)	瀬尾 正雄
	高橋 弘孝 (三菱重工業)	土井 浩 (日本油脂)
	中川 敬三 (関西ペイント)	平野 正治 (日本油脂)
	広田 信義 (中国塗料)	丸山 裕規 (三井金属鉱業)
	馬渡 静夫 (	宮嶋 時三 (東京商船大学)
	宮本 芳文 (兎田化学工業)	三好 貢
	吉田 守男 (大日本塗料)	和田 攻 (群馬大学)

第172研究部会第3分科会委員名簿

分科会長	賀田 秀夫	
委員	秋山 重雄 (中国塗料)	石田 富之輔 (日本ペイント)
	太田 昭三 (三菱重工業)	小川 信行 (日本ペイント)
	川路 正正 (昭和海運)	神例 昭一 (住友重機械工業)
	岸野 敏郎 (神東塗料)	国田 公義 (石川島播磨重工業)
	佐々木 義昭 (日本鋼管)	佐野 隆一 (関西ペイント)
	実藤 公一 (三井金属鉱業)	鳴谷 四郎 (三井造船)
	瀬尾 正雄	高橋 弘孝 (三菱重工業)
	土井 浩 (日本油脂)	平井 靖男 (日立造船)
	牧島 博 (大日本塗料)	宮嶋 時三 (東京商船大学)
	宮本 芳文 (兎田化学工業)	三好 貢
	森 槟 (川崎重工業)	吉田 守男 (東亜ペイント)
討議参加者	新居 博 (大日本塗料)	岡本 一 (三井造船)
	落合 俊彦 (神戸ペイント)	織田 凌司 (三井造船)
	川田 修 (日本ペイント)	神田 三 (神東塗料)
	小竹 博 (神東塗料)	小林 豊治 (日本防蝕工業)
	佐野 俊一 (日本油脂)	柴田 昭男 (三菱重工業)
	鳴田 憲一 (日本ペイント)	鈴木 昭雄 (兎田化学工業)
	鈴木 昌己 (日本防蝕工業)	仙波 享 (東亜ペイント)

高橋和敏（石川島播磨重工業） 竹本薰（日本ペイント）
田嶋弘（神東塗料） 対比地穂（東亜ペイント）
鶴田富雄（日立造船） 永江康雄（三菱重工業）
広野一郎（三井金属鉱業） 門田理（日本油脂）
諸江昭洋（東亜ペイント） 松本直三（神戸ペイント）
柳瀬元昭（川崎重工業）

目 次

1. タンクの防食基準の設定に関する調査研究	1
1.1 パラスト率と防食電流密度との関連調査試験	1
1.1.1 試験目的	1
1.1.2 試験方法	1
1.1.3 試験条件	1
1.1.4 試験結果	2
1.1.5 まとめ	5
1.2 Zn陽極によるパラストタンク防食試験	18
1.2.1 研究の概要	18
1.2.2 試験方法	18
1.2.3 試験条件	18
1.2.4 試験結果	19
1.2.5 まとめ	20
1.3 スクラバー海水利用によるパラスト専用タンクの防食基準	32
1.3.1 既研究の概要	32
1.3.2 イナートガス封入要領に関する研究	32
1.3.3 過防蝕と鋼材のクラックに関する研究	33
1.4 新しい船舶塗装系と流電防食併用に関する研究	45
1.4.1 既研究の概要と昭和54年度の研究	45
1.4.2 実験要領	45
1.4.3 実験方法	45
1.4.4 判定及び評価基準	50
1.4.5 試験結果	52
1.4.6 実験結果の解析	59
1.4.7 まとめ	75
2. 防汚塗料に関する研究	77
2.1 船底塗料塗膜表面の流体抵抗の測定	77
(回転円筒による塗膜表面の抵抗測定)	77
2.1.1 研究の目的と概要	77
2.1.2 実験の方法	77
2.1.3 実験測定の結果	78
2.1.4 考察	80
2.2 防汚剤の毒性に関する調査研究	96
2.2.1 目的	96
2.2.2 方法	96
2.2.3 結果	98
2.2.4 コメント	100
2.2.5 まとめ	101

2.3 船底防汚塗料の安全取扱実験	102
(防汚塗料の飛散と環境測定)	102
2.3.1 ドック実験	102
2.3.2 風洞実験	106
2.3.3 考察	111
2.3.4 まとめ	113
2.4 防汚塗料評価促進試験法の研究	116
2.4.1 研究目的	116
2.4.2 供試塗料	116
2.4.3 試験板の塗料系	116
2.4.4 試験	116
2.4.5 試験結果	117
2.4.6 まとめ	119
2.5 文献調査	133
 3. 新船舶用塗料の実用化に関する研究	134
まえがき	134
3.1 ショッププライマ単独塗膜性能調査	134
3.1.1 概要	134
3.1.2 供試塗料	134
3.1.3 塗料物性試験	134
3.1.4 塗膜物性試験	138
3.1.5 ショッププライマ板の加工調査	144
3.1.6 まとめ	160
3.2 クロム対策ショッププライマとデッキ及び上構内外部用塗料の適合性の検討	161
3.2.1 概要	161
3.2.2 供試塗料	161
3.2.3 試験板	162
3.2.4 塗膜性能試験要領	162
3.2.5 塗装	166
3.2.6 試験結果	167
3.2.7 考察	180
3.2.8 まとめ	182
3.3 クロム対策ショッププライマと外板用塗料の適合性の検討	183
3.3.1 概要	183
3.3.2 供試塗料	183
3.3.3 試験内容とその方法	184
3.3.4 試験結果とその考察	185
3.3.5 むすび	190
3.4 クロム対策ショッププライマとタンク用塗料との適合性の検討	191
3.4.1 供試塗料	191

3.4.2 試験要領	191
3.4.3 試験結果	194
3.4.4 むすび	195
あとがき	206
4. 第17回防食防汚国際委員会年次総会出席報告	208

1. タンクの防食基準の設定に関する調査研究

1.1 バラスト率と防食電流密度との関連調査試験

1.1.1 試験目的

海水バラスト専用タンクの腐食および電気防蝕に関してはすでに多くの実験を重ね、その結果、現行の防食基準を見直し、改正案ともいるべき海水専用バラストタンク電気防食基準案を作成して提案した。さらに昨年度はより実船条件に近い自然流電法によって計画防食電流密度を再検討し、防食当初に陽極数を増加し、計画防食電流密度を大きくとることがバラスト張排水くり返し過程においてタンクの陰分極、亜鉛陽極の復極、防食電流密度の低減などの諸特性にいずれも好結果をもたらし、防食率の向上にも有効であることを明らかにした。また、この平均防食電流密度の低減は陽極消耗量の減少となって寿命延長を可能にするので経済性を損なわないことも示唆した。引き続き今年度は鋼板のみがき表面を所定の条件で発錆させてさび面に対する電気防食条件を検討した。

1.1.2 試験方法

試験装置および配線状況を図1.1.1に示す。塩ビ製恒温水槽内に円筒型塩ビ製タンクを試験槽としてならべ、この中に鋼試験片4枚と亜鉛陽極1本を吊下げ、所定の計画防食電流密度となるよう算出された固定抵抗を介して短絡した。防食電流はこの固定抵抗の両端のIR-dropを測定して算出した。亜鉛陽極および陰極試験片の電位測定はそのつど飽和カロメル電極を挿入し至近の距離に近づけて行なった。

1.1.3 試験条件

(1) 恒温水槽

形 状 塩ビ製角型 $1m \times 3m \times 0.4m$ 1個

(2) 試験水槽

形 状 塩ビ製丸型 直径 $34cm$ 高さ $37cm$ 12個

(3) 陰極試験片

材 質 SS41

形 状 板状 $6cm \times 20cm \times 2.3mm$

枚 数 1条件に各4枚

供試面積 1枚両面で $250cm^2$ 、これを結線して4枚計 $1000cm^2$

表 面 みがき面(入手のまま)および発錆面(さび)

発錆試験片はみがき面を引き続き供試される防食試験と同一バラスト条件で3サイクル暴露腐食させて発錆したものでSISのC~D程度に相当する。

(4) 陽 極

材 料 亜鉛合金

形 状 丸棒状、直径 $2cm$ 、長さ $30cm$ 、浸漬深さ $25cm$

供試面積 先端の一部を被覆絶縁して側面の $1.57cm^2$ を供試

(5) 海 水

人工海水 JIS 2510

液 量 25ℓ /水槽、水深 $28cm$

温 度 $40^\circ C$ 、静止、密閉、排水(空槽)期の温度 $35 \sim 40^\circ C$ 、湿度 100%

(6) バラスト条件

バラスト率	50 %, 33 %
バラスト日数	7日, 14日
バラスト回数	3回
期間	バラスト条件により42日, 63日もしくは84日

(7) 計画防食電流密度

今回の試験は主として発鏡(さび)面を対象としたため計画防食電流密度は若干大きな値とした。接水抵抗式はLloyd式を用い所定の計画電流密度になるよう回路に挿入する固定抵抗を算出した。ここで計画防食電流密度とは通電1日以内に防食電位に達すると予想し、その時点での陰極電流密度をいう。したがって現行の設計に用いる平均防食電流密度とは異なりこれより大きい。表1.1.1にその値を示す。

表1.1.1 バラスト条件と計画防食電流密度

バラスト率 (%)	張水 (日)	排水 (日)	くり返し (回)	期間 (日)	計画防食電流密度 (A/m ²)	挿入抵抗 (Ω)
50	7	7	3	42	0.2	9.7
					0.25	7.7
					0.3	6.3
50	14	14	3	84	0.1	19.7
					0.15	13.0
					0.2	9.7
33	7	14	3	63	0.2	9.7
					0.25	7.7
					0.3	6.3

1.1.4 試験結果

(1) 防食電流密度および陰極電位

図1.1.2～図1.1.4に各条件の各張水期における期間中の防食電流密度と陰極電位の経時変化を示す。

防食電流密度は一般に各張水期ともみがき面の第1張水期を除けば浸漬当初かなり大きく、時間の経過とともに急速に低減する。しかもこの初期の値は第2張水期以後は次第に大きくなり、とくにみがき面よりさび面の場合が極めて大きい。しかし浸漬初期に大きい値を示す防食電流密度も期間中の低減は著しい。表面状態の比較では期間中を通じてさび面の場合の防食電流密度の方が常にかなり大きい。また今回の7日あるいは14日のバラスト期間では各張水期の最終時でも防食電流密度の低減傾向はなお継続し定常状態に至らない。

陰極電位の変化は一般に浸漬2日間位の陰分極が大きく、その後も徐々に分極を続ける傾向がある。とくに第2張水期以後は浸漬時の自然電位が著しく貴であるもののやはり初期の陰分極は速ゆかである。表面状態の比較ではみがき面に対してさび面の陰分極の方が小さく同じ期間中を通じて常にかなり陰極電位は貴である。みがき面においてはバラスト率50%の場合浸漬1～2日で防食電位に達し、他のバラスト率33%あるいはさび面の場合でも、いずれも張水期半ばまでには防食電位に達する。

(2) 腐食片の自然電位

図1.1.2～図1.1.4には腐食片の自然電位の経時変化も示した。

一般にみがき面の第1張水期を除けば腐食片の自然電位は浸漬期間中に当初より0.1～0.3V程度卑に変化している。また、各条件の各張水期とも、期間中を通じてさび面の方がみがき面より0.1V以上

貴な値を示している。みがき面の場合、浸漬当初の自然電位が第2張水期以後0.1 v位貴になって明らかにさび面の電位であることを示す。各張水時最終の測定電位は次第に少しづつ貴となる傾向を示し、みがき面で-0.71～0.76 v、さび面で-0.61～0.66 v程度を示している。

(3) 浸漬初期における防食片と亜鉛陽極の自然電位

図1.1.5に防食片および亜鉛陽極の各張水期の浸漬当初における通電直前の自然電位を示す。防食片といえども張排水をくり返すごとに張水初期の自然電位は次第に貴となる傾向がある。亜鉛陽極の自然電位はみがき面防食の場合は張排水くり返しとともにあってやゝ卑化傾向を示し、さび面防食の場合は逆に貴化している。この貴化はさび面防食の場合陽極電流が大きく表面に溶解生成物がより多く付着するからであろう。

(4) 各張水期最終時の陽極電位、陰極電位、防食電流密度

図1.1.6に各張水期の終了における亜鉛陽極電位および陰極電位の変化を示す。

陰極電位は今回の試験では比較的大きい計画防食電流密度を適用したためみがき面、さび面の場合ともほぼ張水期前半に防食電位に到達し、最終的には充分に卑な陰極電位を示し、大体みがき面で-0.9～-1.0 v、さび面で-0.85～-0.95 vを示している。ただしバラスト張排水くり返しごとに次第に貴化傾向を示しているのは注意を要する。これは水温40°Cにも原因があろう。

亜鉛陽極電位は-1.0～-1.05 vの間にあってやゝ貴化傾向を示すもののバラスト条件、計画防食電流密度が異なっても比較的安定した電位を示す。

図1.1.7に各張水期終了における防食電流密度の変化を示す。図における防食電流密度とは陽極の発生電流値を陰極の防食電流密度に換算したものであり、これは当初、比較的大きい発生電流を示して計画値に近い電流密度値となり、それが充分な陰分極を生じて陽極との電位差を減少し、それにともなって発生電流値すなわち防食電流密度を速やかに低減するのがぞましい。

防食電流密度は各条件を通じてみがき面よりさび面防食の方が大きく大体2倍以上を示しているがバラスト率33%の第3張水期はみがき面防食の所要値が急増して同程度の大きさである。

バラスト条件で比較するとバラスト率50%，張水日数14日の場合が最も小さい。これは張水期間が長いので陰分極がすすみ電位差が最小になるためである。一般にみがき面防食では第2張水期に防食電流密度が増加するが、これは排水期を経て表面が発錆状態となるからであろう。第3張水期はバラスト率50%では低減し、33%では増加している。一方さび面防食の場合では第1張水期から防食電流密度が大きいが第2張水期以降はほぼ横ばいかもししくは若干の増減を示している。

第3張水期の防食電流密度最終値としては表1.1.2に示すようにバラスト率50%，張水14日の場合が最も小さく、他の条件の場合も計画防食電流密度に比較してかなりの低減が認められる。

表1.1.2 第3張水期の防食電流密度最終値 (A/m²)

% バラスト率	(日) 張水	(日) 排水	(A/m ²) 計画防食電流密照	みがき面	さび面
50	7	7	0.2 0.25 0.3	<0.1	約0.15
50	14	14	0.1 0.15 0.2	<0.04	約0.10
33	7	14	0.2 0.25 0.3	約0.15	約0.17

以上の結果から、表面が発錆状態で防食を開始するときは、当初はみがき面の1.5～2倍程度の防食電流密度を必要とし、バラスト率が低い場合、バラスト日数が短かい場合はさらに所要防食電流密度を大きくとるべきことが示唆される。なお長期間の経過後における防食電流密度の低減傾向については試

験期間が短かいので明瞭でないがみがき面のバラスト率50%の場合はすでに低減傾向が認められる。

(5) 腐食速度および防食率

表1.1.3および図1.1.8～図1.1.9に腐食速度および防食率を示す。ここで当初発錆させて試験に供した試験片の重量減は、先行させたさび生成期間に生じた重量減を別の試験片によって求めて差引いてある。したがって表示の重量減はさび面にさらに生じた腐食による重量減と考えてよい。なお重量減はいずれの場合も供試4枚の平均値で示した。

腐食片の腐食速度はみがき面もさび面の場合も、バラスト率の小さいほど、バラスト日数の短かいほど大きい。

当初の表面状態で比較すると、腐食片、防食片とともにさび面からさらに腐食を続けた場合の方がみがき面からの腐食より若干大きく、張排水条件でいえば、張排水くり返し条件では全期間浸漬状態の腐食速度にみられるような時間の経過にともなう腐食進行率の低減はあまり期待できないものと思われる。

みがき面の防食ではバラスト率50%，張水7日の条件で $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ 以上、また張水14日の条件で $0.1 \text{ A}/\text{m}^2$ 以上の計画防食電流密度のとき防食率80～88%が得られ、平均侵食度は $0.1 \text{ mm}/\text{yr}$ 以下に抑制された。バラスト率33%の場合は $0.2 \sim 0.3 \text{ A}/\text{m}^2$ でも防食率は30～60%にとどまり、侵食度はかなり大きかった。

さび面の防食ではいずれのバラスト条件でも防食率はみがき面防食の場合より劣りバラスト率50%のとき防食率が30～60%，バラスト率33%では約35%の防食率で防食効果は小さい。

(6) 試験片の表面状況

写真1.1.1～写真1.1.4に試験片の表面状況を示す。比較的大きい防食電流密度を適用したにもかかわらず、水温40°Cの張排水くり返し条件下では均一な固着性の厚いエレクトロコーティング被覆は生成されず、部分的に赤さび部が残っている。エレクトロコーティングは一般にみがき面上の方がうすいが固く、さび面上は厚くやわらかい。とくにバラスト率50%，張水14日の場合にそれが著しい。さび面上にもエレクトロコーティングは厚く多量に生成するが時間の経過にともない下層のさび層とともに次第に浮上り、部分的に脱落が始まる。これは通電によるさびの還元とバラスト張排水くり返しによりさびの付着力が失なわれる結果と考えられる。さびとエレクトロコーティングの脱落した後の鋼表面は黒色を呈しその後は良質のエレクトロコーティングの生成付着が始まると予想される。なお、みがき面上のエレクトロコーティングはその下層にさび層をはさんでいないので脱落は少ない。エレクトロコーティングの量からみて計画防食電流密度の大きい方が張排水くり返し条件下の防食にはやはり有利と考えられる。

さびおよびエレクトロコーティングを除去した面は、みがき面防食で80%以上の防食率を得た場合はうすい部分腐食が認められる程度であるが、防食率の低い防食片やさび面防食の防食片、あるいは腐食片はいずれもやや粗な腐食面を呈している。しかし著しい局部腐食や鋭い孔食状の腐食などはいずれの試験片にも認められない。

(7) 平均防食電流密度

図1.1.10に各張水期間中の平均防食電流密度を示す。

平均防食電流密度としてもさび面防食の値の方がみがき面防食の値よりかなり大きい。みがき面防食においては第1張水期がほぼ同じ状態で開始されており、結果にもあまり差はないので第2張水期以後を比較してみると、張排水くり返しにともなう傾向としては、バラスト率50%の場合は低減傾向が認められバラスト率33%で、張水7日の場合は第3回目もなお増加し、腐食条件として苛酷なことが判る。

一方、さび面防食の場合はゆるやかな低減傾向を示している。すなわちすでに述べたように初期の段階ではさびの還元脱落に大きい電流密度を要し、かつそのため陰分極が十分すます陽極と鋼との間

になお大きい電位差が残り、電流密度低減が小さいものと考えられる。したがってさびの脱落があればその後の防食はみがき面に近い状態のものと同様に防食がすすみ、比較的低い電流密度でエレクトロコーティング生成も良好に推移し、電流密度低減も十分期待できるものと予想される。

各条件のうち計画防食電流密度 $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ について、第3張水期における平均防食電流密度と最終防食電流密度測定値とその後の推移の傾向および全期間の防食率などを表1.1.4に示す。

表1.1.4 第3張水期における防食電流密度

バラスト率 (%)	張水日数	排水日数	計画値 (A/m^2)	みがき面				さび面			
				最終値 (A/m^2)	平均値 (A/m^2)	推移	防食率 (%)	最終値 (A/m^2)	平均値 (A/m^2)	推移	防食率 (%)
50	7	7	0.2	0.10	0.14	→	79	0.14	0.22	→	32
50	14	14	0.2	0.03	0.06	→	88	0.12	0.18	→	45
33	7	14	0.2	0.15	0.20	→	35	0.16	0.22	→	36

みがき面防食ではバラスト率50%のとき80%以上の防食率を得たが平均防食電流密度はバラスト日数によって大幅に異なり、バラスト日数の長い方が低減が大きく有利である。しかし低減傾向はともに期待できる。バラスト率33%では平均防食電流密度の値が大きいが、今後は低減傾向に変るものと思う。しかし防食効果は期待できない。

さび面防食ではいずれの条件も平均防食電流密度が低減傾向を示しているもののゆるやかである。また防食率も低い。

1.1.5 まとめ

人工海水、40°Cの各種バラスト条件下において鋼のみがき面(研磨面)およびさび面(発錆面)を対象に亜鉛陽極による自然流電法を適用して防食試験を行なった。今回はさび面の防食を主目的としたうえに温度が40°Cなので大きめの計画防食電流密度を採用した。またさび片は、防食試験を行なうときと同じバラスト条件でくり返し3回の期間だけそれぞれ先行させて発錆させ調製したもので発錆条件はバラスト条件ごとに異なる。本試験における計画防食電流密度とは現行の設計値として用いられている平均防食電流密度とは異なり、陰分極がすんで陰極が防食単位に達した時点における防食電流密度をいう。しかもなるべく速やかに防食電位に到達することを目標としたので比較的大きい計画防食電流密度を設定した。

試験結果の要点は次のとおりである。

- (1) 今回の試験条件、試験期間ではさび面の腐食速度の方がみがき面より若干大きい。これはバラスト張排水くり返しと短期間の試験のためと考えられる。バラスト率は小さいほど、張水日数は短かいほど、みがき面もさび面も腐食速度が大きい。
- (2) 陰極電位は、みがき面防食においてはバラスト率33%の条件以外はすべて1日以内に防食電位に到達している。さび面防食においては防食電位に達するのに2~8日を要し、これが防食率の低い原因となっている。
- (3) みがき面ではバラスト率50%のときは計画防食電流密度 $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ 以上で80%の防食率が得られ $0.1 \text{ mm}/\text{yr}$ 以下の腐食速度に抑制されたが、バラスト率33%では $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ では防食率40%, $0.3 \text{ A}/\text{m}^2$ でも防食率60%程度である。さび面ではいずれのバラスト率においてもみがき面の場合より防食率が劣り、 $0.2 \sim 0.3 \text{ A}/\text{m}^2$ で30~60%の防食率にとどまる。
- (4) 防食電流密度はみがき面に比べてさび面の方が常に2倍程度の大きさである。どの張水期においても初期は著しく大きいが低減は速やかである。張排水くり返しが3回と少ないのでまだ張水期ごとの低減

はあまり大きくない。平均防食電流密度はバラスト率33%のみがき面防食の場合を除けば低減傾向を示している。みがき面防食においてはエレクトロコーティング生成効果、さび面防食においては当初のさび脱落効果として陰分極の増大が予想されるので防食電流密度の低減が期待できる。

- (5) みがき面上におけるエレクトロコーティング生成は顕著で、防食電流密度低減に有効である。さび面上にもエレクトロコーティング生成は顕著に認められるが、時間の経過とともに素地から浮上り脱落に至る。

以上の結果をみると、計画防食電流密度に対する防食率が必ずしも十分ではないが設定した腐食条件が水温、バラスト率、バラスト日数、試験期間ともいずれも苛酷なためやむを得ないものと考えられる。しかし大きめの計画防食電流密度を適用し、かつ短期間という本試験の特徴は明瞭に表われている。すなわちさび面上のエレクトロコーティングの生成やその剥離、脱落などは大電流密度を適用した効果であり、小電流密度では陰分極もエレクトロコーティング生成も不十分で防食効果も上らず、さびやエレクトロコーティング脱落も望めないものと思われる。このことは大きい計画防食電流密度を適用することが從来確認されていた陰分極促進、エレクトロコーティング生成、防食電流密度低減、防食率向上の他にすでに発錆したさび面に対する防食にも有利であることを明らかに示すものである。さびやエレクトロコーティング脱落後の素地面は陰分極が大きいであろうから良質のエレクトロコーティングが生成して防食効果を高め、さらに急速に著しい防食電流低減も期待される。本試験においてすでに認められた防食電流密度の低減は結局、陽極溶解量の減少となり、それは陽極寿命の延長効果となる筈である。したがって計画防食電流密度を大きくすることは経済的にも有効である。なおすでに述べたように計画防食電流密度は現行の平均防食電流密度とは異なりそれより大きな値を設定したものであり、当初大きい電流が発生するような配慮を行ない、陽極の所要重量は現行どおり平均防食電流密度や単位重量当たりの有効電気量などから求められる。

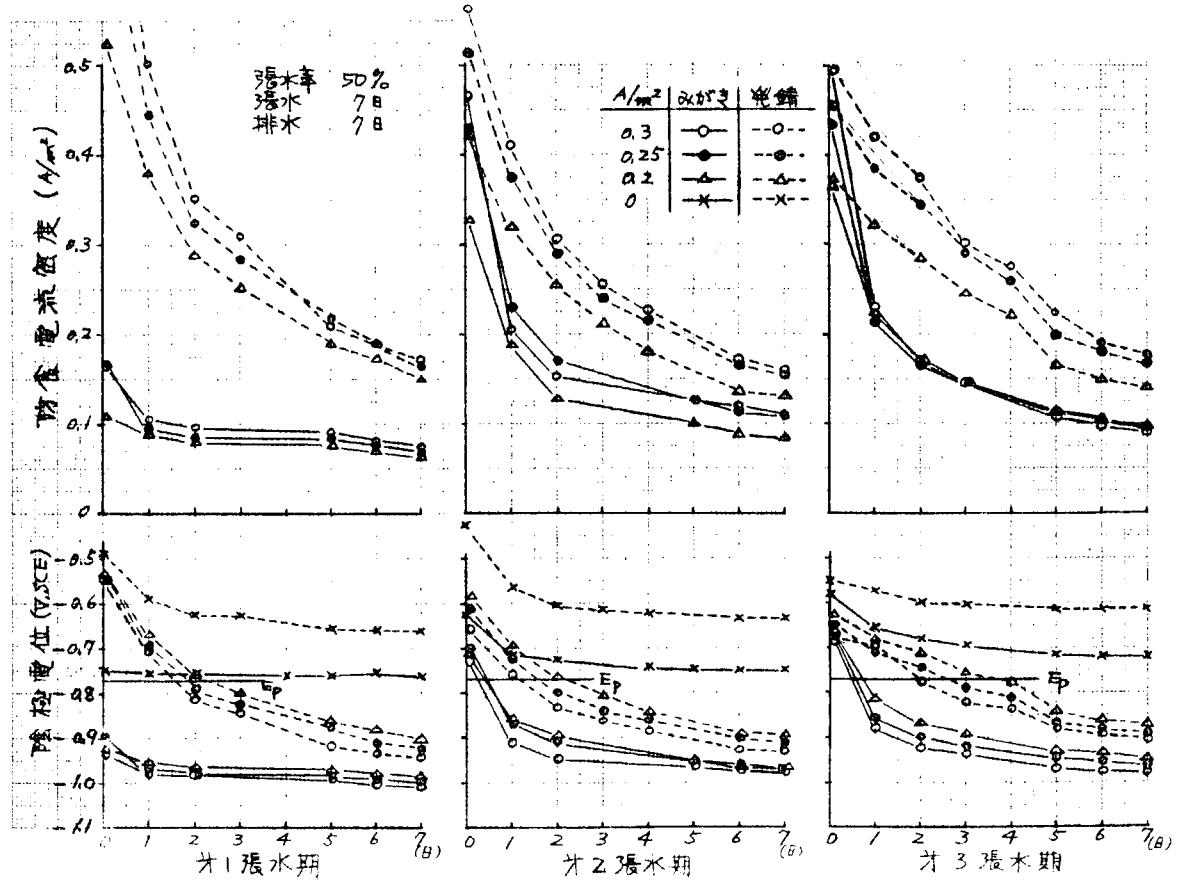
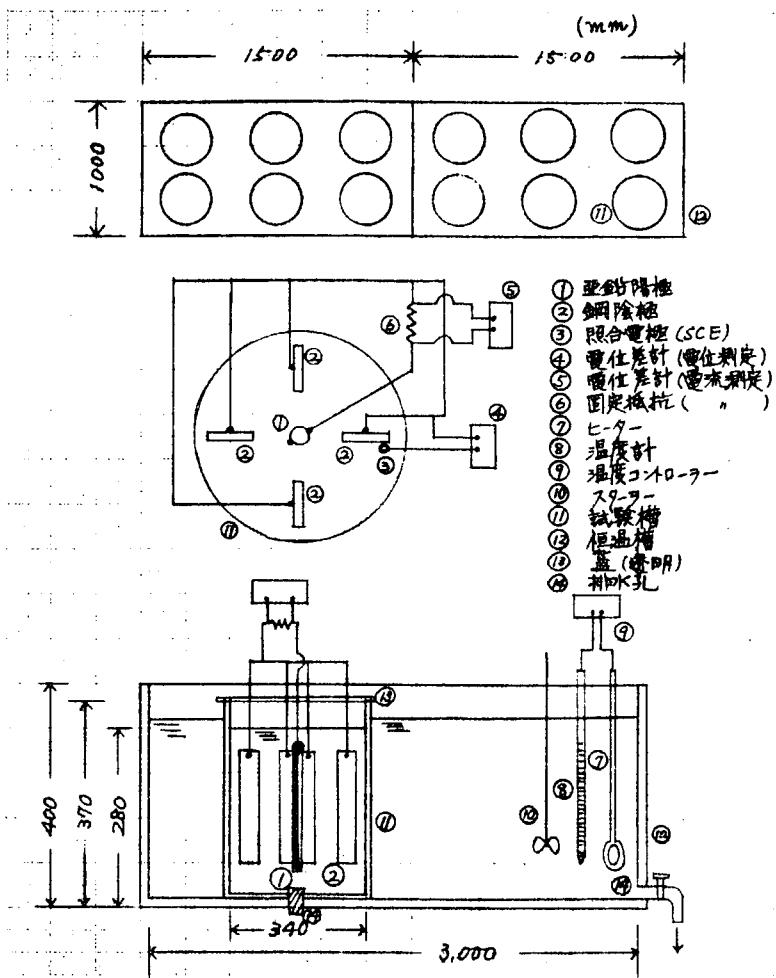


図 1.1.2 防食電流密度と陰極電位の経時変化

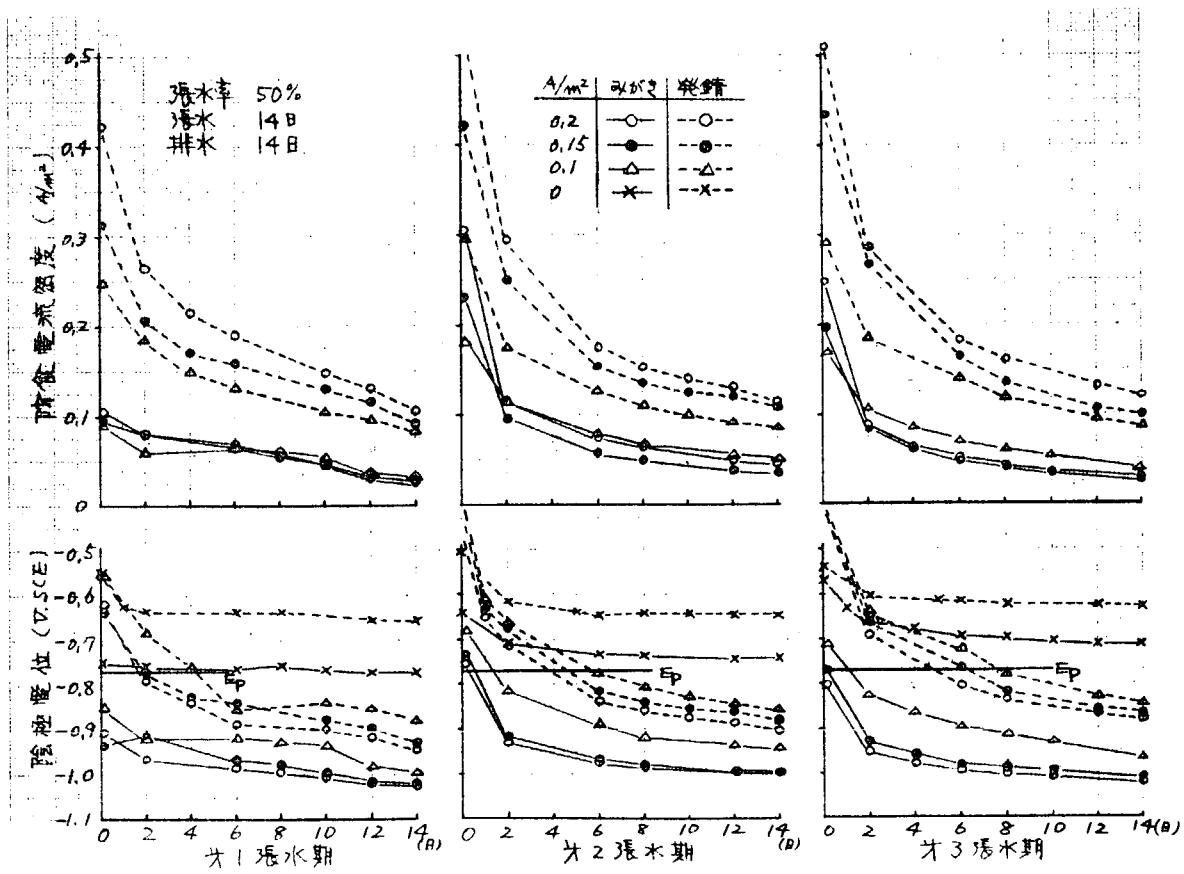


図 1.1.3 防食電流密度と陰極電位の経時変化

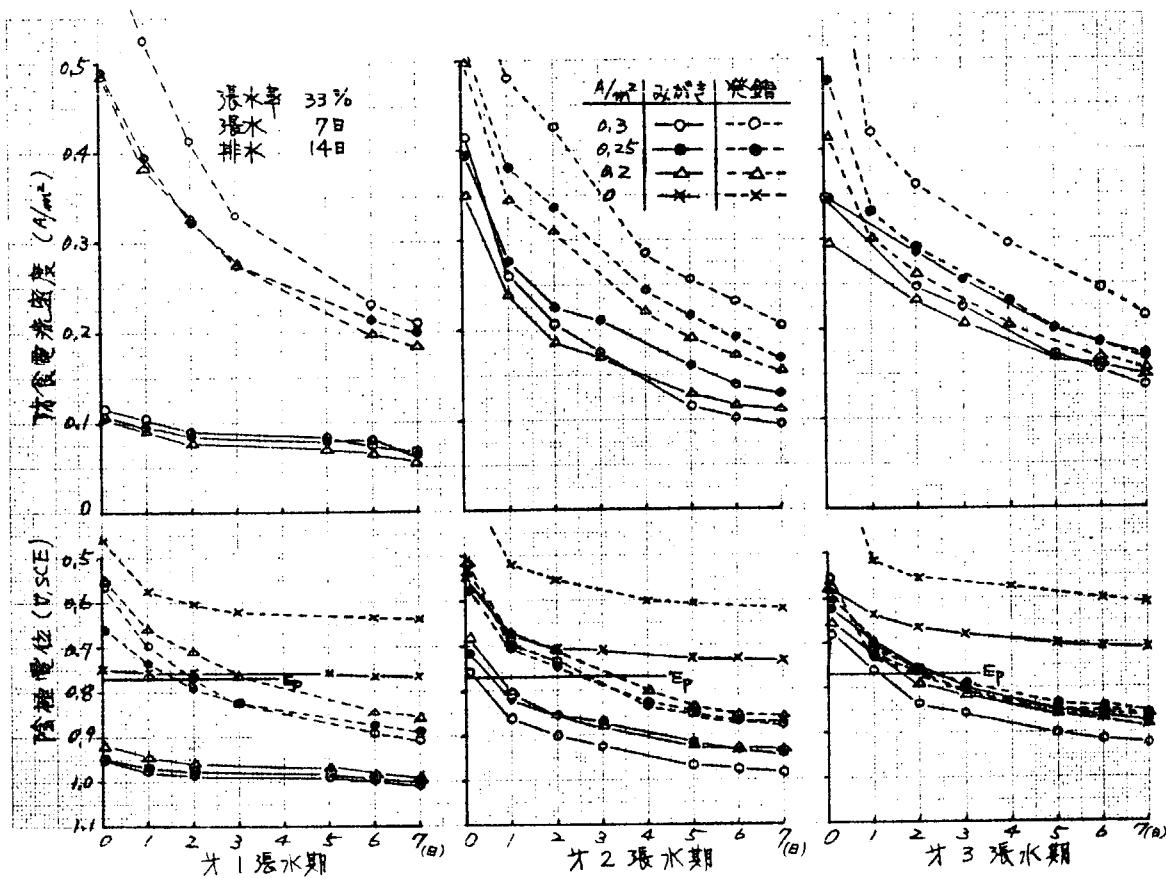


図 1.1.4 防食電流密度と陰極電位の経時変化

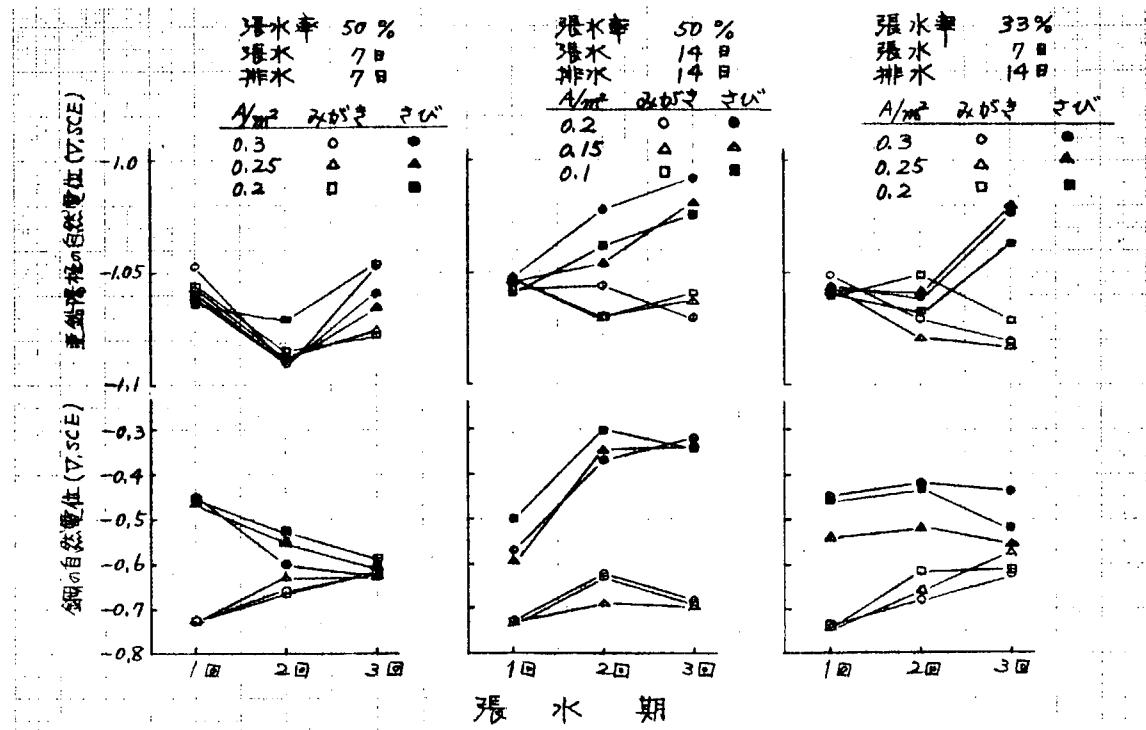


図 1.1.5 各張水期初期の浸漬時における防食片と亜鉛陽極の自然電位

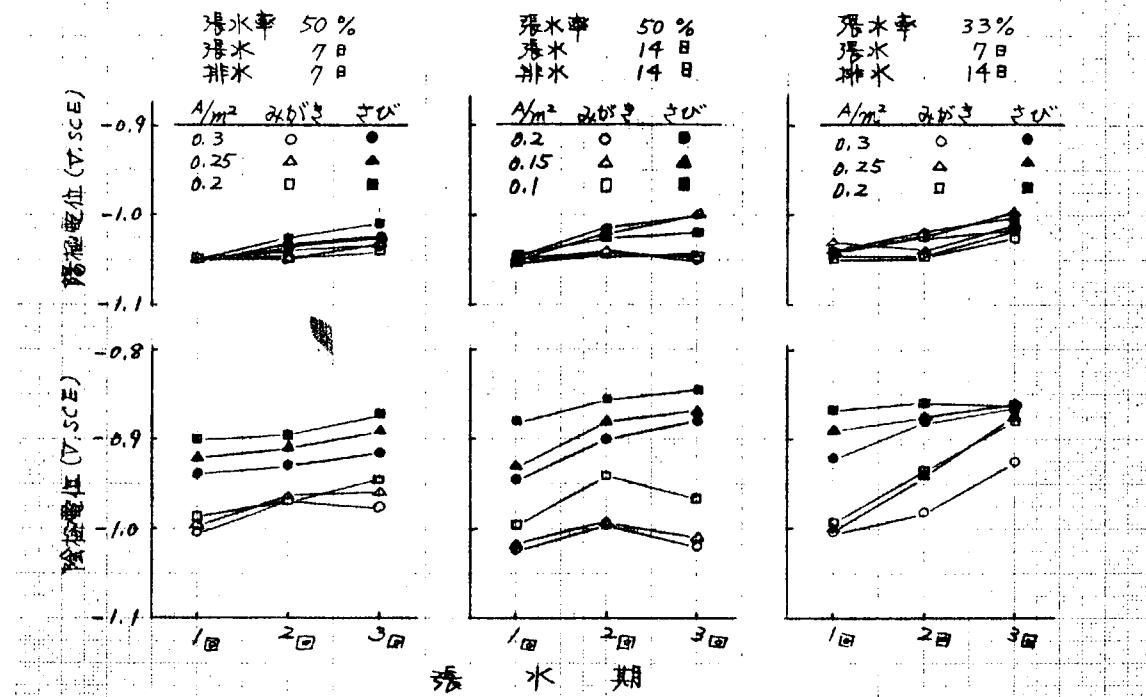


図 1.1.6 各張水期の最終時における陰極電位、陽極電位

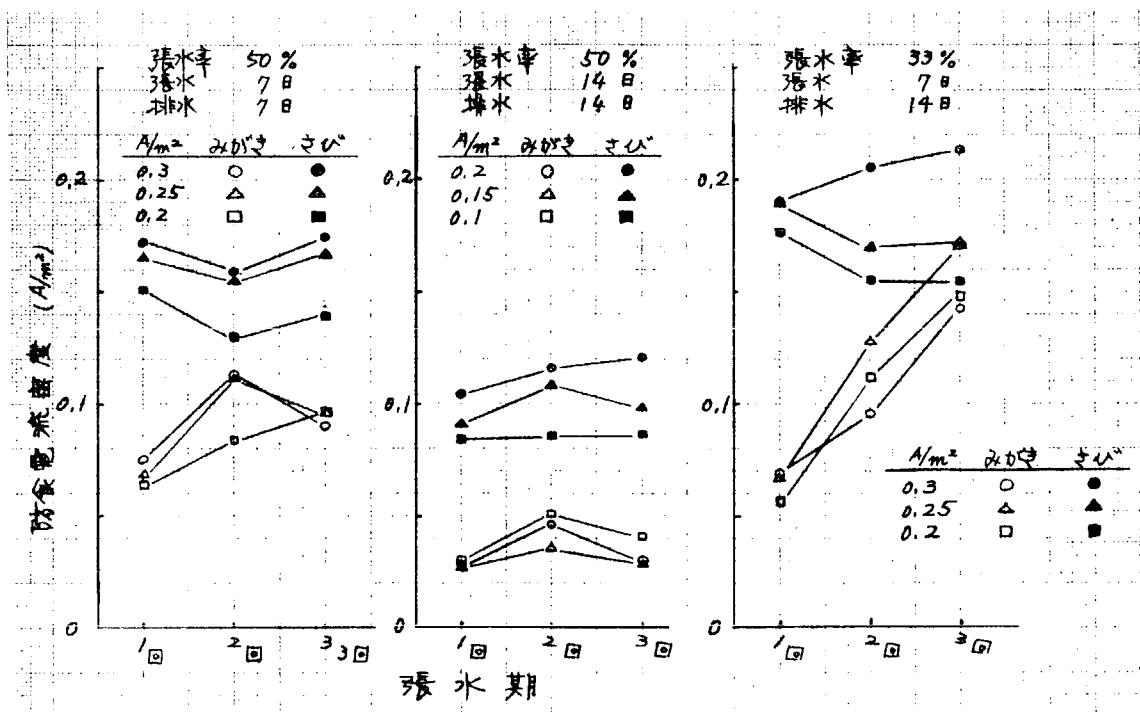


図 1.1.7 各張水期の最終時における防食電流密度

表 1.1.3 腐食速度と防食率

人工海水、40°C Zn陽極による直流防食法

(4枚の平均)

バラスト率 %	張水 日	排水 日	くり返し回数	期間 日	計画電流 A/m ²	重量減			平均侵食度			防食率			さび面		
						(g)	(mm/yr)	%	(g)	(mm/yr)	%	(g)	(mm/yr)	%	(g)	(mm/yr)	%
5.0	7	7	3	4.2	0	8.8094	0.3894	0				9.0198	0.3987	0			
					0.2	1.8664	0.0825	7.8.8				6.1444	0.2716	3.1.9			
					0.25	1.7940	0.0793	7.9.6				6.1150	0.2703	3.2.2			
					0.3	1.2827	0.0567	8.5.4				3.7283	0.1648	5.8.7			
5.0	1.4	1.4	3	8.4	0	1.43710	0.3176	0				2.07149	0.4578	0			
					0.1	2.5430	0.0562	8.2.3				1.34118	0.2964	3.5.3			
					0.15	2.2081	0.0488	8.4.6				1.25204	0.2767	3.9.6			
					0.2	1.7285	0.0382	8.8.0				1.14027	0.2520	4.5.0			
3.3	7	1.4	3	6.3	0	2.06803	0.6080	0				2.42253	0.7133	0			
					0.2	1.34660	0.3959	3.4.9				1.62340	0.4780	3.3.0			
					0.25	1.31360	0.3862	3.6.5				1.55955	0.4592	3.5.6			
					0.3	7.9082	0.2325	6.1.8				1.36155	0.4009	4.3.8			

※ さび面の重量減は先行させたさび生成期間に生じた重量減を別の試験片から求めて差引いた。

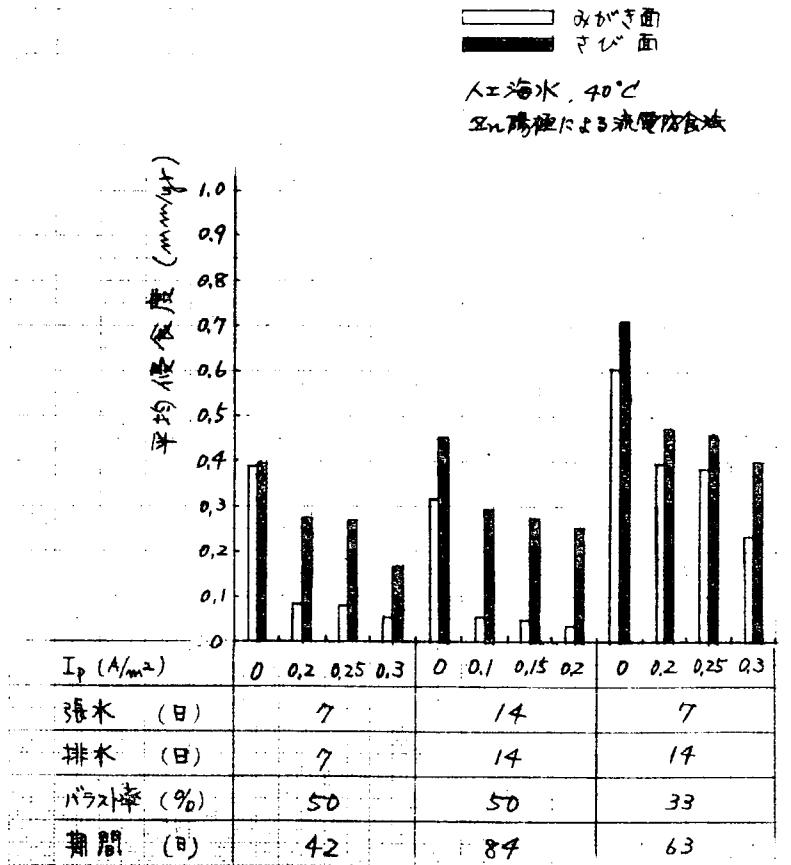


図 1.1.8 平均侵食度の比較

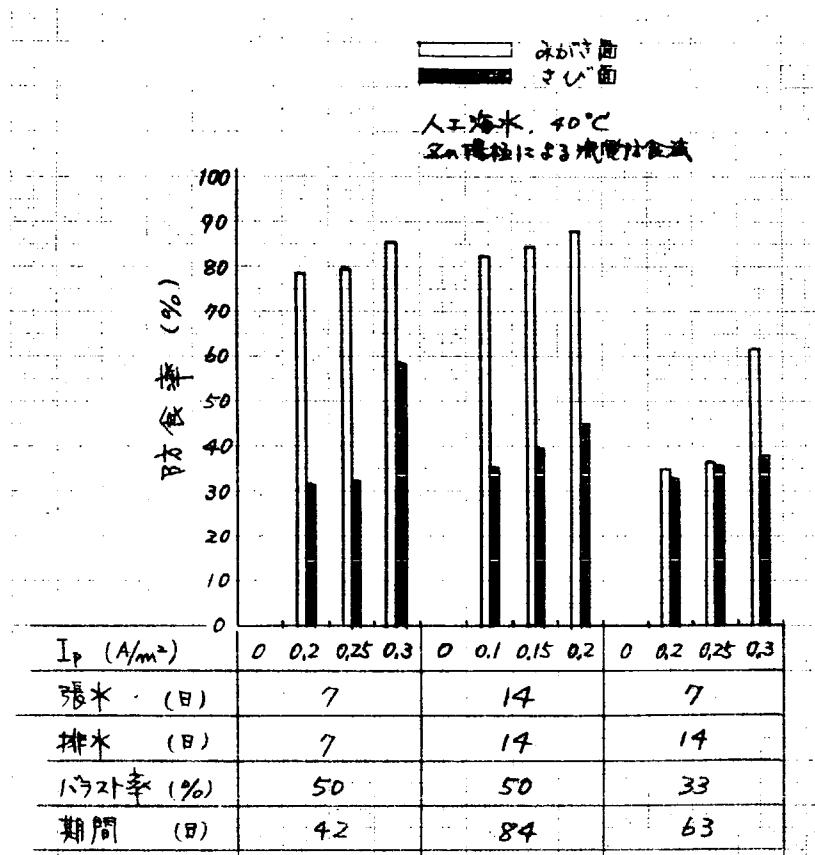


図 1.1.9 防食率の比較

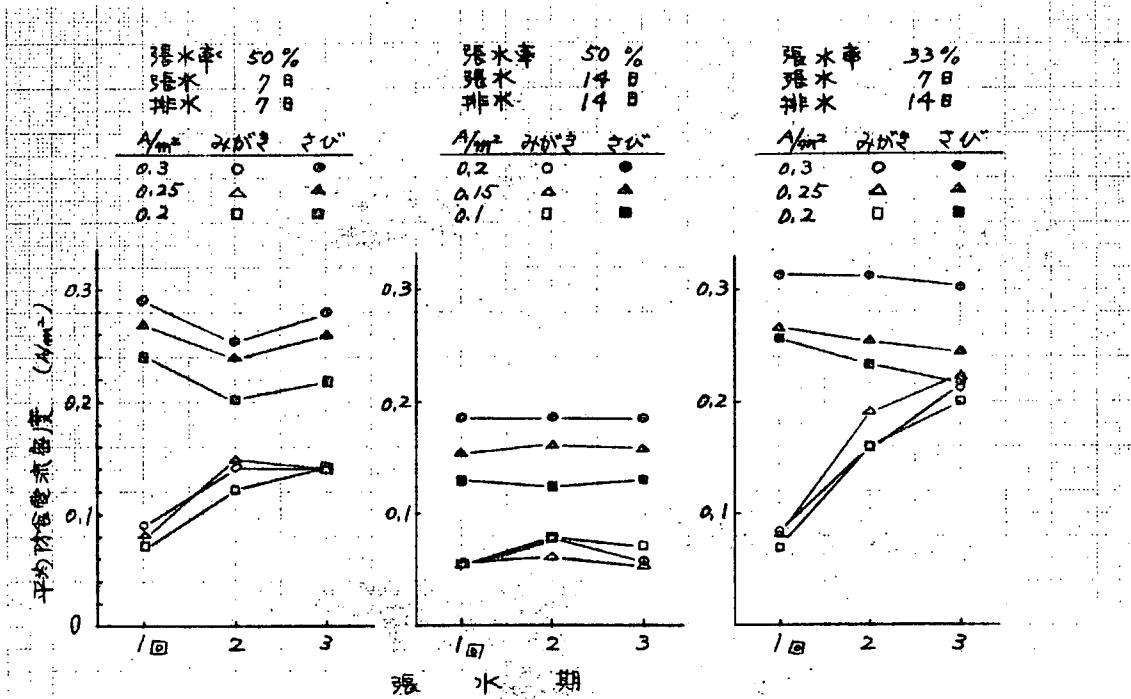


図 1.1.10 各張水期の平均防食電流密度

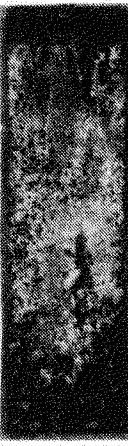
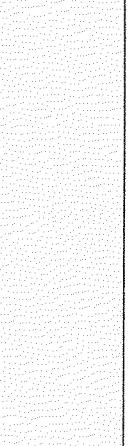
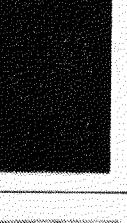
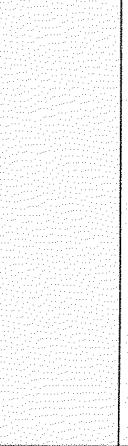
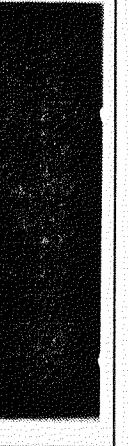
バラスト 率 %	張水 日	排水 日	期間 日	計画防食電流密度 (A/m ²)					
				0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0
50	7	7	42						
50	14	14	84						
33	7	14	63						

写真 1.1.1 研磨面に対する電気防食(生成物付着状況)

人工海水, 40°C, 静止, 亜鉛陽極による流電防食

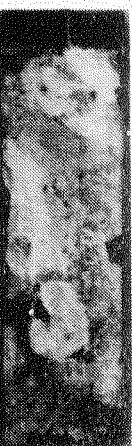
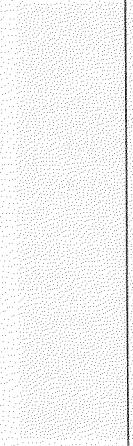
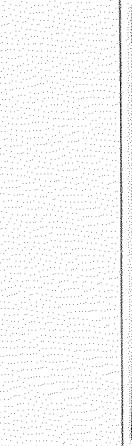
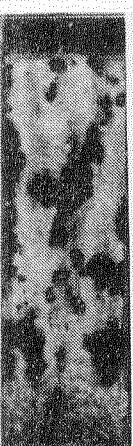
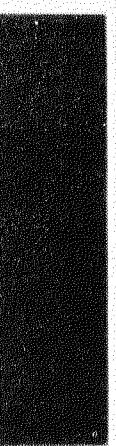
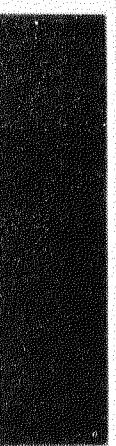
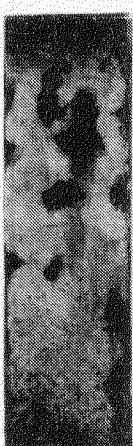
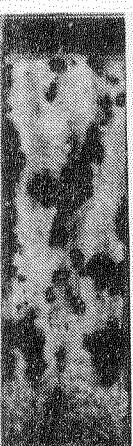
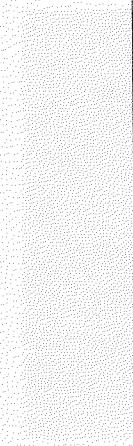
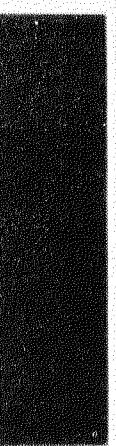
バラスト 率 %	張水 日	排水 日	期間 日	計画防食電流密度 (A/m ²)					
				0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0
50	7	7	42						
50	14	14	84						
33	7	14	63						

写真 1.1.2 発錆面に対する電気防食(生成物付着状況)

人工海水, 40°C, 静止, 亜鉛陽極による流電防食

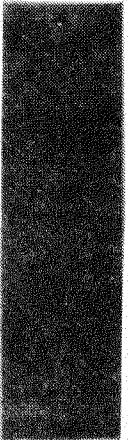
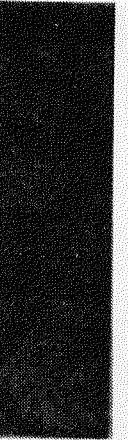
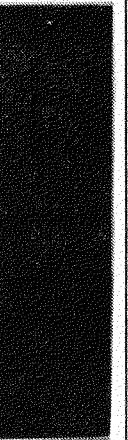
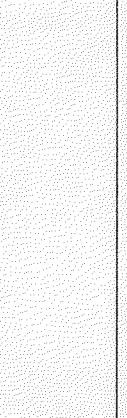
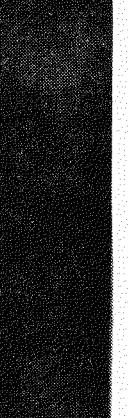
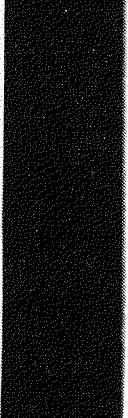
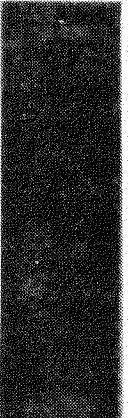
ラスト 率 %	張水 日	排水 日	期間 日	計画防食電流密度 (A/m ²)					
				0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0
50	7	7	42						
50	14	14	84						
33	7	14	63						

写真 1.1.3 研磨面に対する電気防食(生成物除去後)

人工海水, 40°C, 静止, 垂鉛陽極による流電防食

パラスト 率 %	張水 日	排水 日	期間 日	計画防食電流密度 (A/m ²)					
				0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0
50	7	7	42						
50	14	14	84						
33	7	14	63						

写真 1.1.4 発錆面に対する電気防食（生成物除去後）

人工海水, 40°C, 静止, 垂鉛陽極による流電防食

1.2 Zn陽極によるバラストタンク防食試験

1.2.1 研究の概要

S R - 1 4 0 部会で実施した研究から、張水、排水が繰返されるバラストタンクの電気防食法として、計画電流密度を高電流密度にし、張水時の電位降下を良好にすることで、ある程度の期間、空槽時での腐食を防止することができるという結果を得た。

S R - 1 7 2 部会第2年度では計画電流密度を $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ にしたときの張水排水繰返し条件下での防食効果を計画電流密度 $0.1 \text{ A}/\text{m}^2$ と比較して調査した。また無機ジンクリッヂプライマー（以後、IZPと略す）と電気防食（計画電流密度 $0.08 \text{ A}/\text{m}^2$ ）を併用する防食方法も合せて調査した。その結果、計画電流密度を $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ にした場合、電位降下が早く、しかも防食電位に達した後の防食維持電流は非常に低い電流で良いということが示唆された。またIZPと電気防食を併用したものは、IZP塗膜が良い防食被膜となり、低い電流で電位降下を早くすることが示唆された。しかし、試験期間が短いため、IZP塗膜の耐久性など問題が残されたので、第3年度も研究を継続して行い、長時間に渡り張水・排水を繰返したときの防食維持電流、陰極電位およびIZP塗膜の防食効果などの調査を行った。

1.2.2 試験方法

円筒形タンクの内壁を陰極として、1基当たりの亜鉛合金陽極を計画電流密度から計算して大きさを変え付けた。1週間毎に張水・排水を繰返し、張水時には陽極発生電流および陰極電位を測定した。また、陰極の一部としてテストピースを取り付け腐食量および防食率を測定した。

IZP塗装と電気防食の併用効果も同様な方法にて試験を行った。この他に、テストピースのみであるが、無防食およびIZP塗装（電気防食を併用しないもの）も合せて調査した。

1.2.3 試験条件

表、1.2.1に「陽極寸法および陰極面積」、図1.2.1に「試験装置および配線図」を示した。

(1) 試験用タンク …… PVC製蓋付き

形 状	$\phi 600 \times 850 \text{ mm}$ H (陰極部面積約 1.8 m^2)
表面処理	サンドブラスト
種 類	. 電気防食 2基 (計画電流密度 $0.1 \text{ A}/\text{m}^2$, $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$) . IZP塗装+電防 1基 (計画電流密度 $0.08 \text{ A}/\text{m}^2$) . 無防食テストピース用 1基 (無防食, IZP塗装テストピース)

(2) テストピース

形 状	$100 \times 50 \times 3.2 \text{ mm}$ (供試部 $80 \times 50 \text{ mm}$)
表面処理	サンドブラスト
種 類	. 電気防食 ($0.1 \text{ A}/\text{m}^2$, $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$) . IZP塗装+電防 ($0.08 \text{ A}/\text{m}^2$) …… IZP塗装の損傷部として裸テストピース . 無防食, IZP塗装のみ

(3) 陽 極

計画電流密度に応じて 0.1 及び $0.08 \text{ A}/\text{m}^2$ 用には $\phi 100 \text{ mm}$, $0.2 \text{ A}/\text{m}^2$ 用には $\phi 200 \text{ mm}$ の亜鉛合金陽極を使用した。両端は絶縁被覆し、側面のみを供試した。

(4) IZP塗装

円筒形タンク内壁およびテストピースの表面をサンドブラストにより処理した後、アルキルシリケート

ト系無機ジンクプライマー（亜鉛含有量約90%）をエアースプレーで約20μの塗膜厚になるように塗装した。

(5) 張水，排水状況

張水率は50%として、張水7日、排水7日を1周期にした。これを36周期（540日間）繰返した。

(6) 人工海水

JIS.K-2510により調製、1基当たり226ℓ使用した。人工海水の取替えは4周期毎におこない、室温、静止状態で試験を行った。

1.2.4 試験結果

(1) 陰極電位および電流密度の経時変化

図1.2.2～5に「陰極電位および電流密度の経時変化」図1.2.6に「各張水期24時間後の電流密度」をそれぞれ示した。

計画電流密度を0.2A/m²にしたもの張水24時間後の電位は張・排水を繰返す毎に貴方向へ変化しているものの第30回張水までは-1.0vより卑な電位を示し、その後も-0.95vより卑な電位を示した。そして2～3日後には-1.0v付近の電位を示した。

計画電流密度を0.1A/m²にしたものは張水回初期に電位降下が遅く徐々に卑な電位になり第9～22までは張水24時間後に-1.0vを示した。しかし、その後電位降下がまた遅くなり第34回張水以後は-0.9vにも達しなくなってしまった。

I Z P塗装と電気防食を併用したものは、張水回初期に塗膜中の含有亜鉛の影響で-1.0vより卑な電位を示し、含有亜鉛の消耗が進むと、塗膜が良い防食被膜となり電位も-0.95v前後を常に示して安定していた。

無防食試験片の電位は張水回初期には-0.75v程度を示した後、徐々に貴な電位へ変化し、第18回頃より-0.68v前後で安定した。

I Z P塗装し電気防食を併用しないものは、張・排水を繰返す毎に貴な電位へ変化した。しかし第15回張水までは、塗膜中の含有亜鉛により-0.8vより卑な電位を示していた。その後さらに貴方向へ変化し、第21回張水頃より約-0.65vで安定した。

通電電流を見ると、各張水回ともに張水直後は計画電流密度0.2A/m²が常に一番大きな電流値を示した。しかし電流の低減が早いため、張水24時間後および防食電位に達した後の防食維持電流は計画電流密度を0.1A/m²にしたものの方が大きな電流を必要とした。これは、張水初期に大きな電流が得られず電位降下が遅いためであると思われる。またI Z P塗装と電気防食を併用したものは、I Z P塗膜が良い防食被膜になるため、張水初期に大きな電流を必要とせず、微小電流にて防食電位を維持するという結果を得た。

(2) 通電電気量

図1.2.8に「通電電気量」を示した。

電流密度の経時変化から通電電気量を求めたところ、試験開始直後は計画電流密度0.2A/m²のものが最も大きな値を示したが張水回を増す毎に電気量は小さくなり上期（1～12回張水）の合計では、計画頂流密度0.1A/m²の方が大きな値を示した。これは、前項にも記したように、電流の低減が少なかったためであろう。中期（13～24回張水）の電気量は上期と比較して約1/4になったが、ここでも0.1A/m²の方が大きな電気量を必要とした。下期（25～36回張水）は0.1A/m²の方が小さな値を示したが陽極容量の差が出たものと思われる。

I Z P塗装と電気防食を併用したものは、試験開始から第4回張水までI Z P塗膜中の含有亜鉛の影

響で防食電流を必要としなかった。第5回張水以後、陽極から電流が流れ始めたが、電気量を見ると塗膜中の含有亜鉛の減少および塗膜の劣化にともない張水回を増す毎に徐々に電気量が大きくなつた。

(3) 陰分極曲線

図1.2.9に「陰分極曲線」を示した。

張水・排水を36回繰返した後、各条件のテストピースについて陰分極測定を実施した。この結果、計画電流密度 $0.1\text{ A}/\text{m}^2$ および $0.2\text{ A}/\text{m}^2$ の陰分極曲線にはあまり差が見られなかつた。またIZP塗装と電気防食併用条件の中に塗膜損傷部として短絡状態で取付けた裸テストピースもほぼ同様な分極を示した。JZP塗装したテストピースは電気防食併用の有無にかかわらず電気防食単独のテストピースより大きな分極を得たが、IZP塗装単独のテストピースについては、張・排水がさらに繰返されたとき、分極は徐々に小さくなると思われる。

無防食テストピースの分極は前記のものより当然小さくなっているが電流密度 $190\text{ mA}/\text{m}^2$ において -745 mV から -795 mV に大きく分極するのが示された。これはテストピース表面の錆層の還元電流と酸素の限界電流との関係からあらわれたものと思われる。

(4) 防食状況

図1.2.10に「侵食度および防食率」を示した。また写真1.2.1～5に各条件のタンク内面写真を示した。

IZP塗装と電気防食を併用したものはIZP塗膜が健全であり、防食率も100%近くと良好な防食状態であった。また電気防食を併用しないIZP塗装単独のものは一部に赤錆が見られ、IZP塗膜の劣化が進んでいるが、防食率は90%以上を示した。IZP塗装と電気防食を併用したものの中に短絡状態で取付けたテストピースは一部に発錆が見られるものの90%以上の防食率を示した。

計画電流密度 $0.2\text{ A}/\text{m}^2$ のものは錆が還元され、その上をエレクトロコーティングが覆っている状態であったが計画電流密度 $0.1\text{ A}/\text{m}^2$ のものは錆とエレクトロコーティングが混ったような状態であり、防食率も前者が90%以上を示したのに対し、後者は80%台であった。

1.2.5 まとめ

今回の試験から得られた結果をまとめて見ると

- (1) 計画電流密度を $0.1\text{ A}/\text{m}^2$ にしたものは張水初期に高電流が得られないため電位降下が遅くなる。このためエレクトロコーティングの生成状態が悪く、空槽時の防食効果が期待できない。
- (2) 計画電流密度を $0.2\text{ A}/\text{m}^2$ にしたものは張水初期に高電流が流れる為、電位降下が早い。このため防食電位に達した後の維持電流は非常に低い電流で良く、エレクトロコーティングの生成も良好である。
- (3) IZP塗装したものはIZP塗膜中の含有亜鉛の効果で初期の防食が達成でき、含有亜鉛が消耗した後もある程度の期間、防食効果が期待できる。(ただし塗膜に損傷部がある場合は防食効果が短くなる)
- (4) IZP塗膜と電気防食を併用した場合、前項にも記したように初期は塗膜中の含有亜鉛による防食効果が得られ、含有亜鉛が消耗した後は塗膜が良い防食被膜となり、張水初期に高電流を必要とせず、計画電流密度 $0.08\text{ A}/\text{m}^2$ でも充分に防食できる。
- (5) 陰極面の写真からも判るように計画電流密度 $0.1\text{ A}/\text{m}^2$ では空槽時に発生した錆を還元するだけで張水期を終了してしまうことが多く、陰極面へのエレクトロコーティング生成は充分に行われていない。 $0.2\text{ A}/\text{m}^2$ では試験前に発生した薄い錆を還元した後はエレクトロコーティングの生成が充分に行われ、空槽時の発錆を抑える。
- (6) Zn陽極から通電される電気量を見ると、 $0.1\text{ A}/\text{m}^2$ で計画した陽極では容量が足りないため、消費量が大きくなっているが、防食効果は上っていない。 $0.2\text{ A}/\text{m}^2$ で計画したものは初期に電気量が大きくなるものの、その後の電気量の低減が大きいため陽極消費量は少なく防食効果も上がる所以、経済的

にも有用性があると思われる。

以上のようなことから計画電流密度を上げることにより、良い防食効果を得、しかも陽極消耗量が少なく経済性もあるということが示唆された。またIZP塗装のような簡易塗装をすることにより、低い計画電流密度でも充分に防食効果を上げることが判明した。しかし、今回の結果は試験面積が 2m^2 弱という小規模試験であるため、この防食法をすぐに実船へ応用するには問題が残り、さらに大規模な試験（実船試験も含めて）を実施する必要があろう。

表 1.2.1 陽極寸法および陰極面積

計画電流密度 (A/m ²)	Zn 陽極	陰極面積			備考	
		試験槽内壁	テストピース			
			1～4周期	5～8周期	9～36周期	
0.1 A/m ²	φ10×100 lm/m	1.791 m ²	0.024 m ² (6枚)	0.016 m ² (4枚)	0.008 m ² (2枚)	
0.2 A/m ²	φ20×200 lm/m		0.048 m ² (12枚)	0.032 m ² (8枚)	0.016 m ² (4枚)	テストピースの1/2はIZP塗装残り1/2は無塗装
0.08 A/m ² (注) (IZP塗装併用)	φ10×75 lm/m					
無防食						

注 テストピースのうち無塗装のものをIZP塗装損傷部とすると0.6%である。

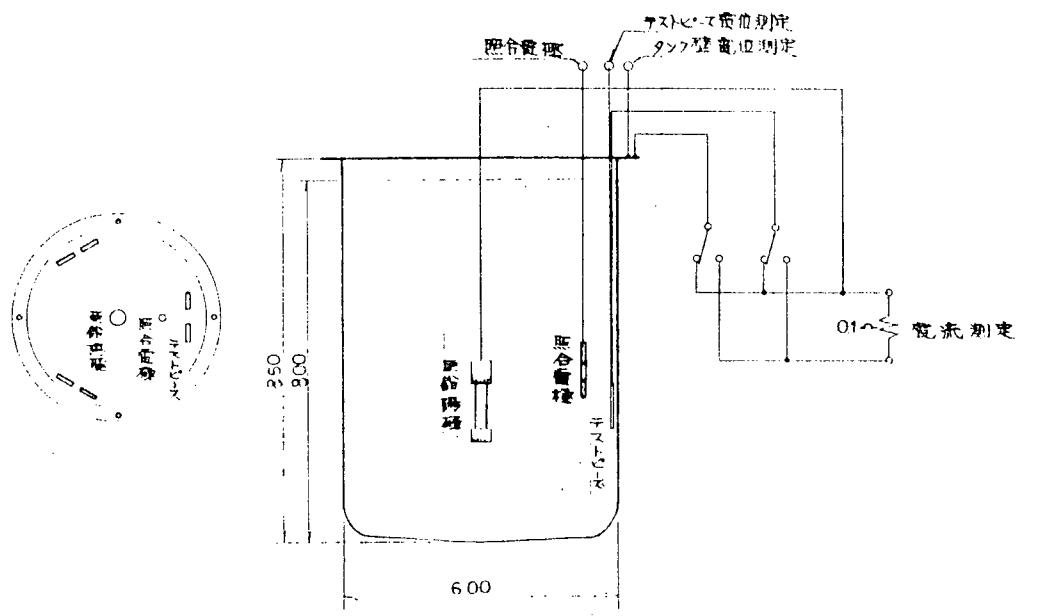


図 1.2.1 試験装置および配線図

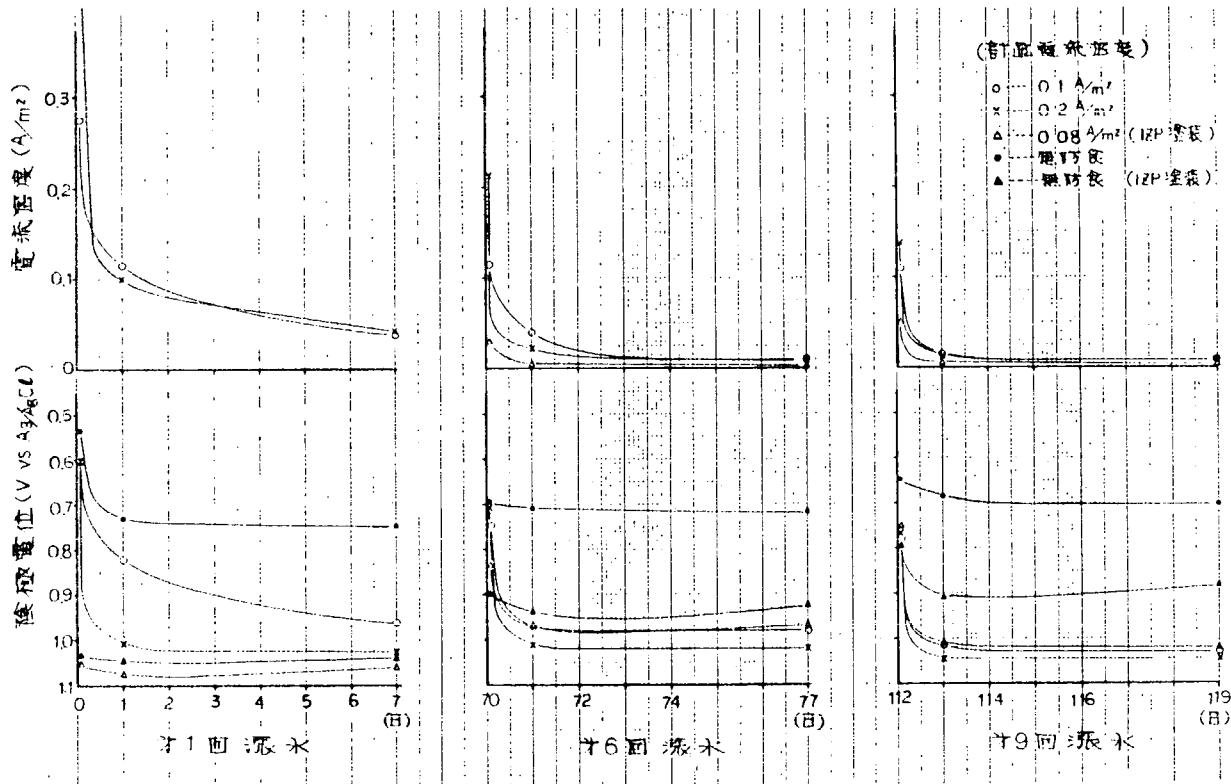


図 1.2.2 陰極電位および電流密度の経時変化(1)

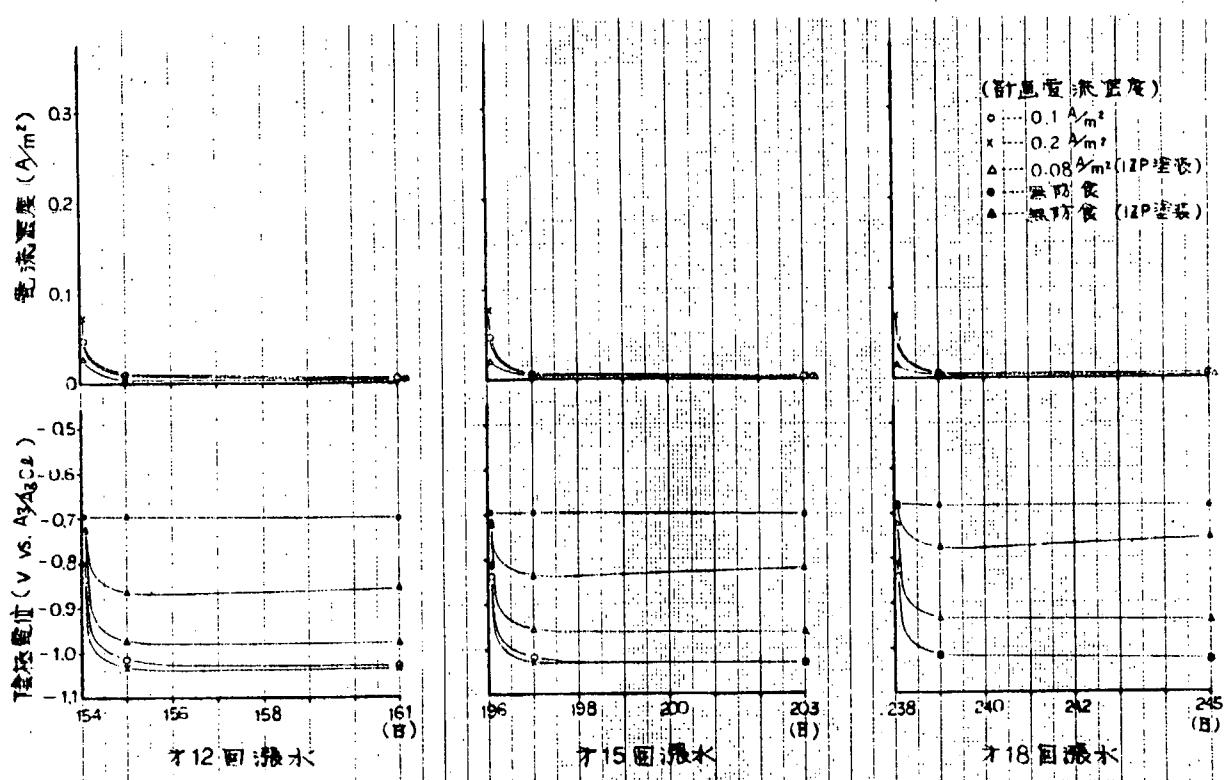


図 1.2.3 陰極電位および電流密度の経時変化(2)

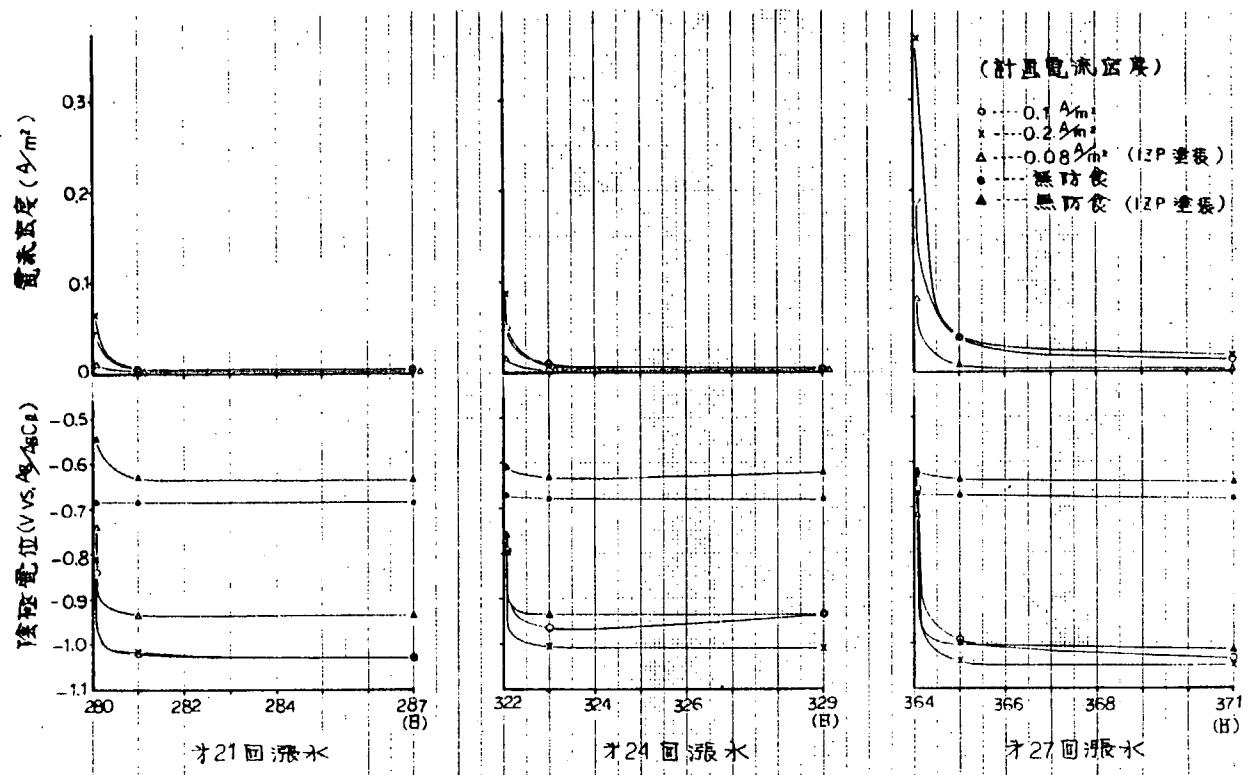


図 1.2.4 陰極電位および電流密度の経時変化(3)

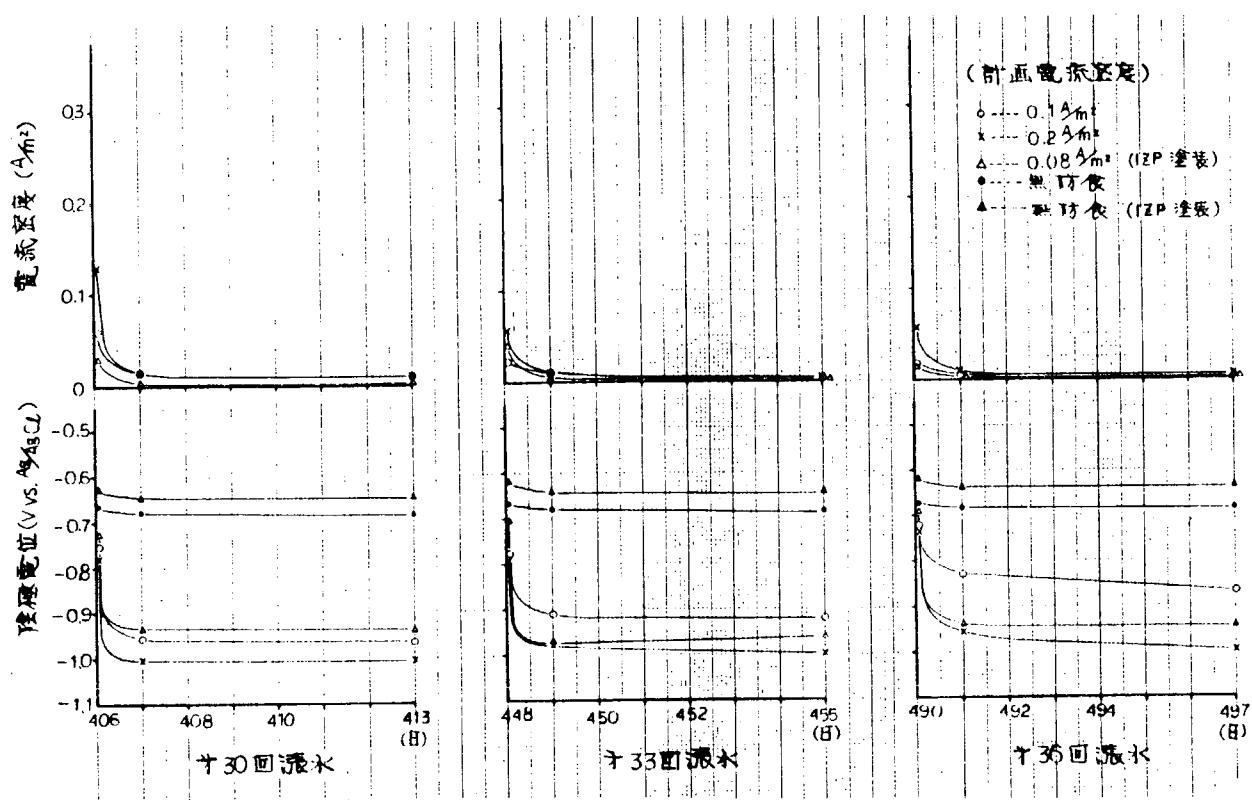


図 1.2.5 陰極電位および電流密度の経時変化(4)

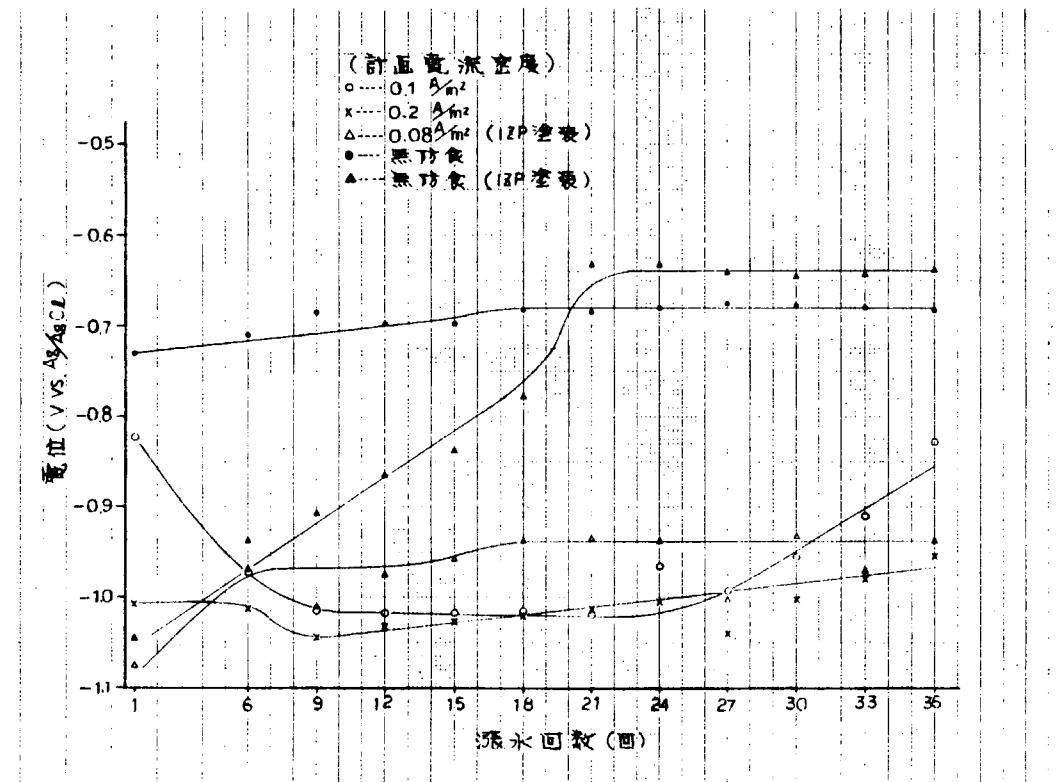


図 1.2.6 各張水期 24 時間後の陰極電位

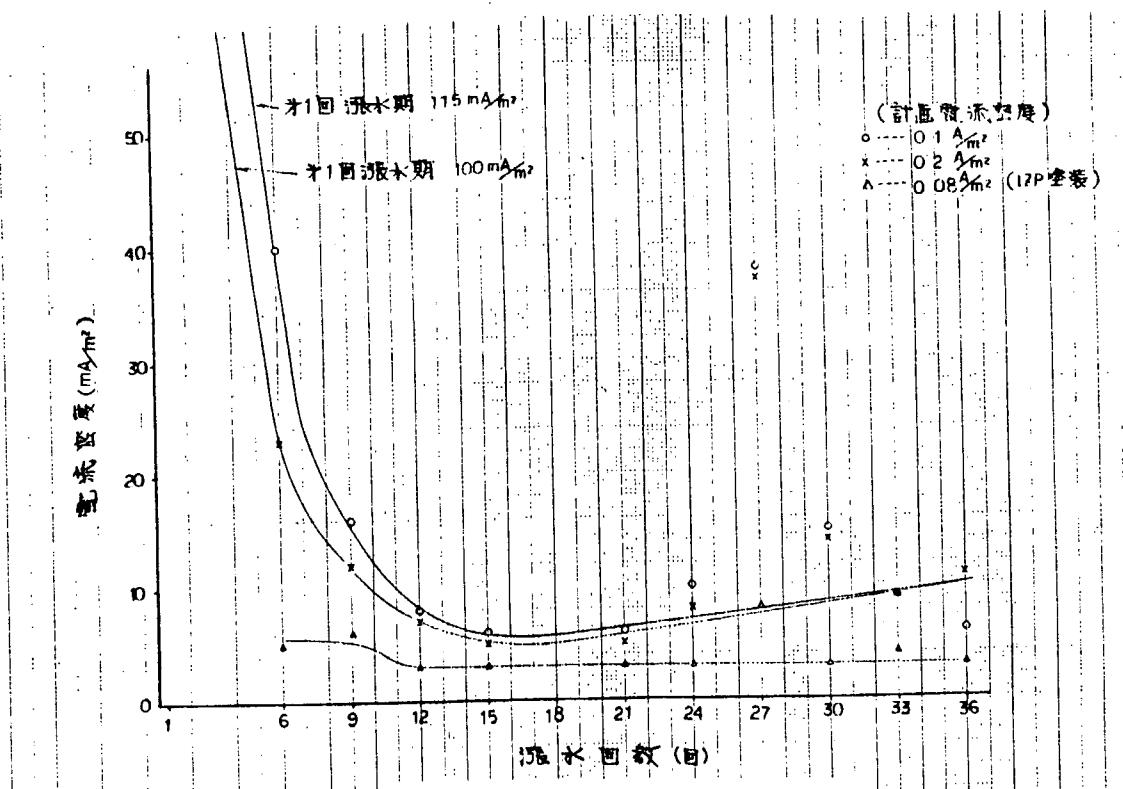


図 1.2.7 各張水期 24 時間後の電流密度

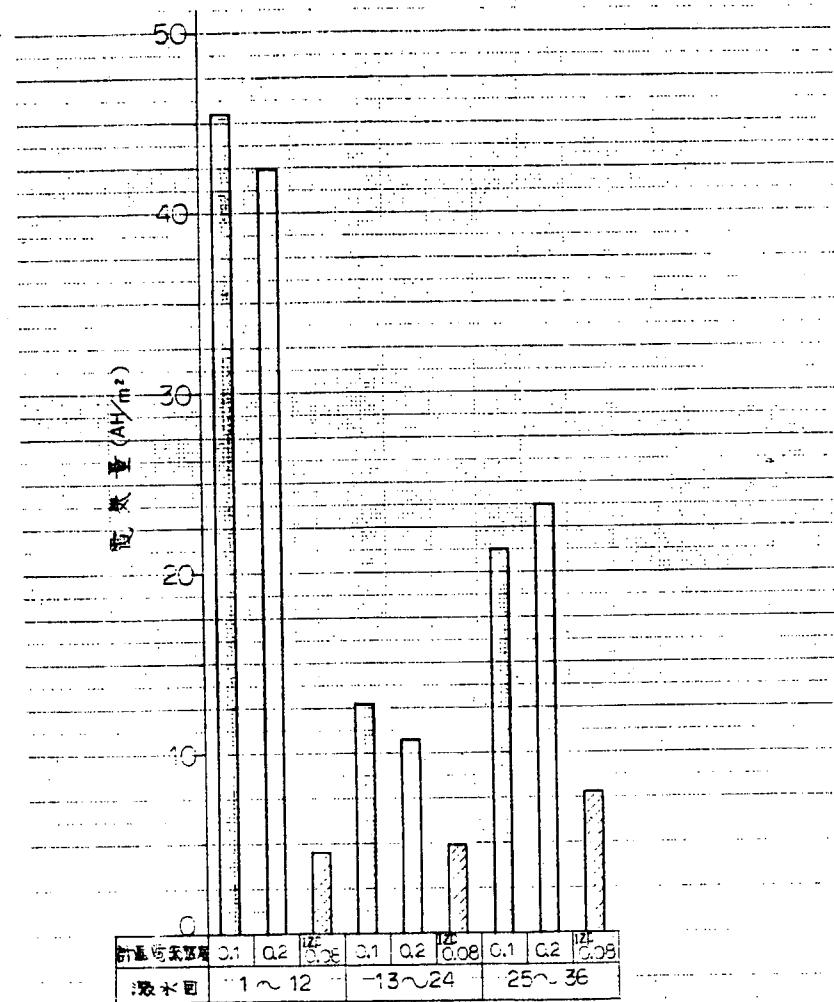


図 1.2.8 通電電気量

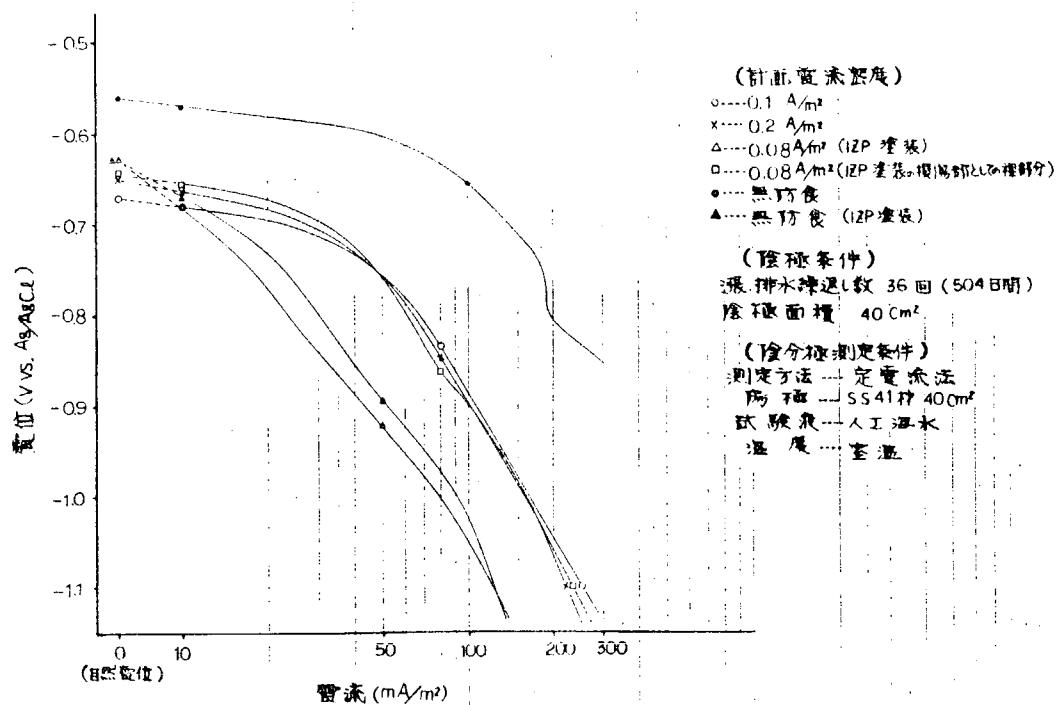


図 1.2.9 試験終了後の陰分極曲線

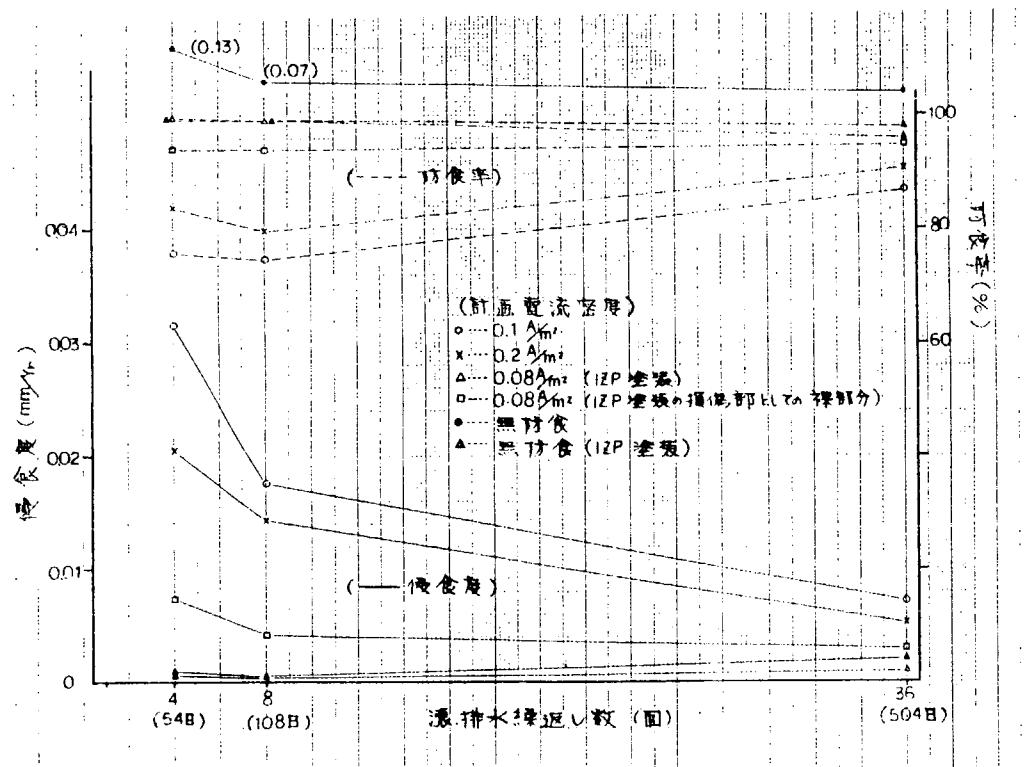
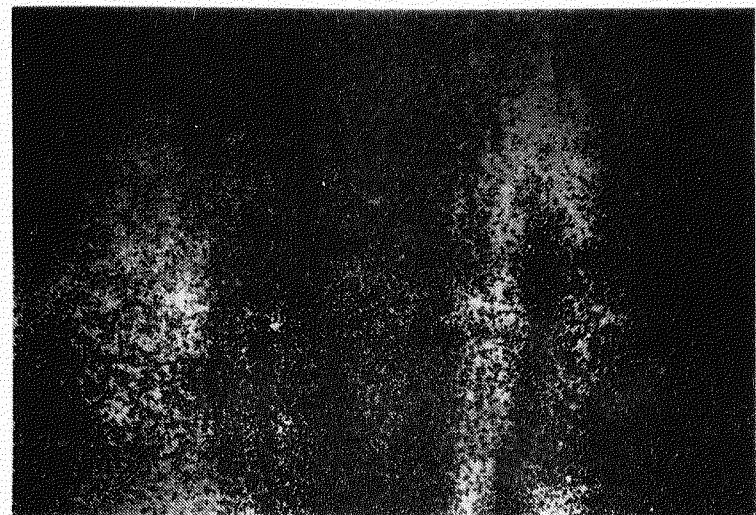
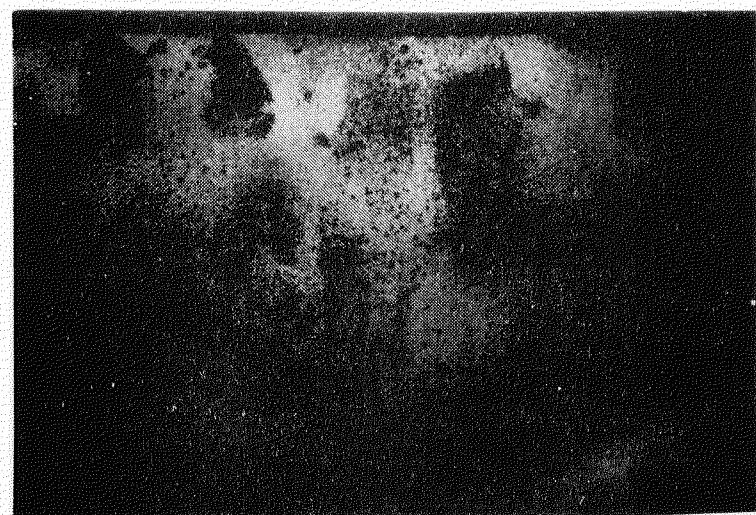


図 1.2.10 侵食度および防食率



0.1 A/m²

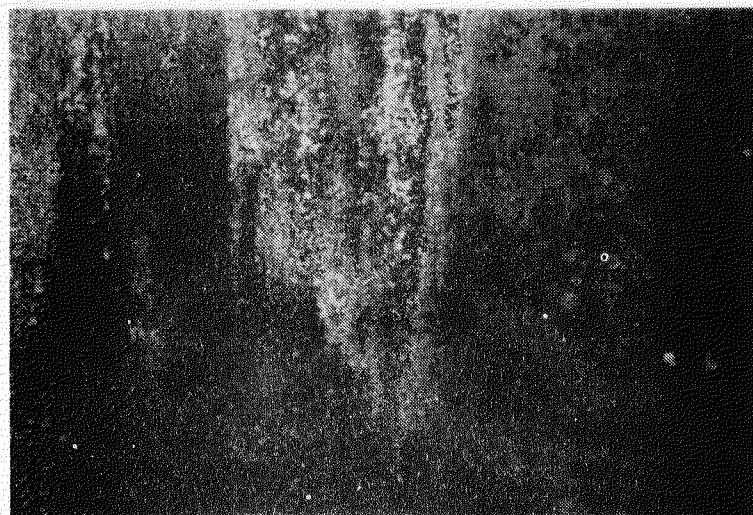


0.2 A/m²

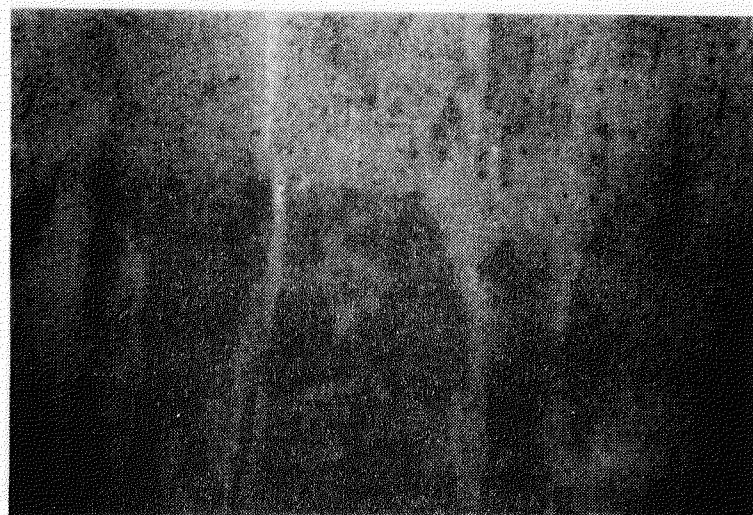


I-Z-P
0.08 A/m²

写真 1, 2, 1 試験前タンク内面状況



0. 1 A / m²

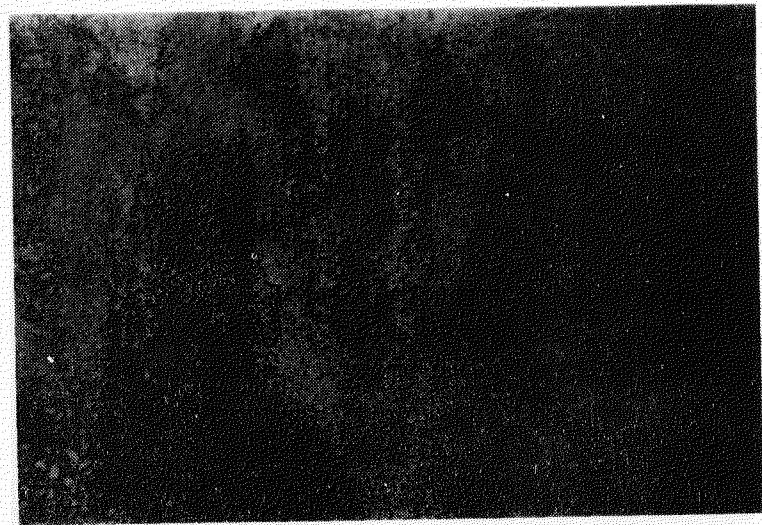


0. 2 A / m²

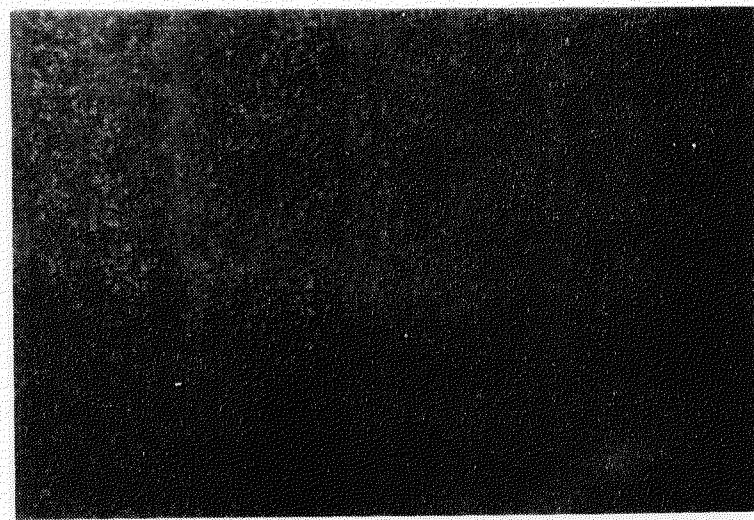


1 Z P
0. 0 8 A / m²

写真1, 2, 2 4周期(56日間)後タンク内面状況



0.1 A/m²



0.2 A/m²

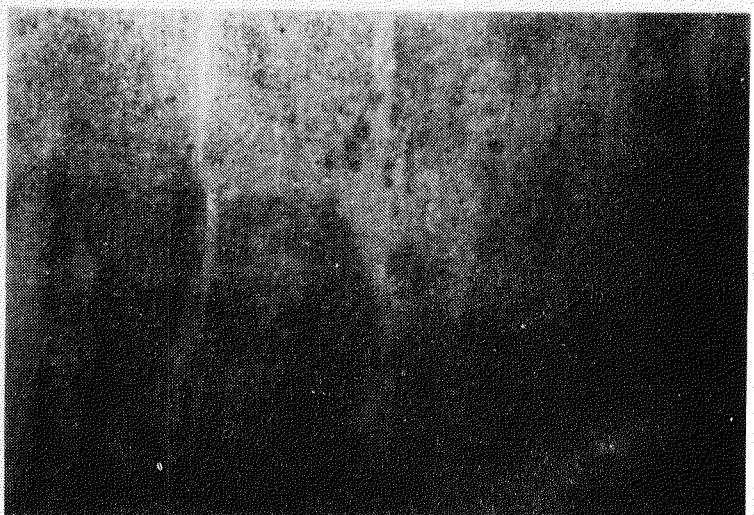


I.Z.P
0.08 A/m²

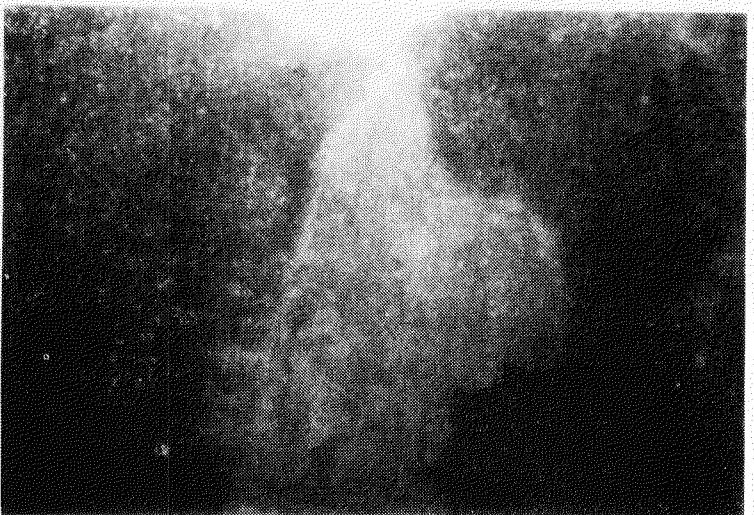
写真1.2.3 8周期(112日間)後タンク内面状況



0. 1 A / m²

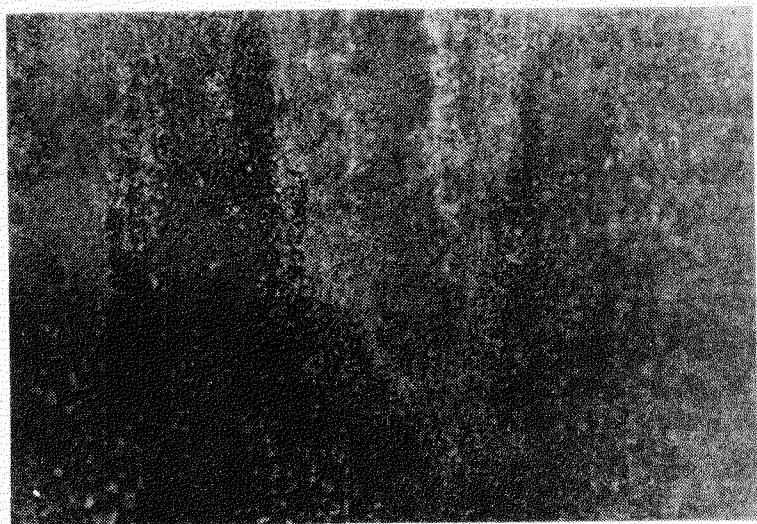


0. 2 A / m²

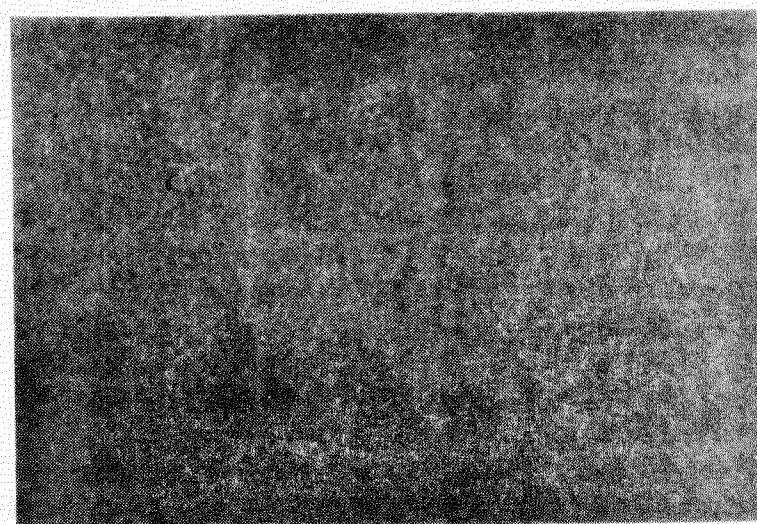


I Z P
0. 0 8 A / m²

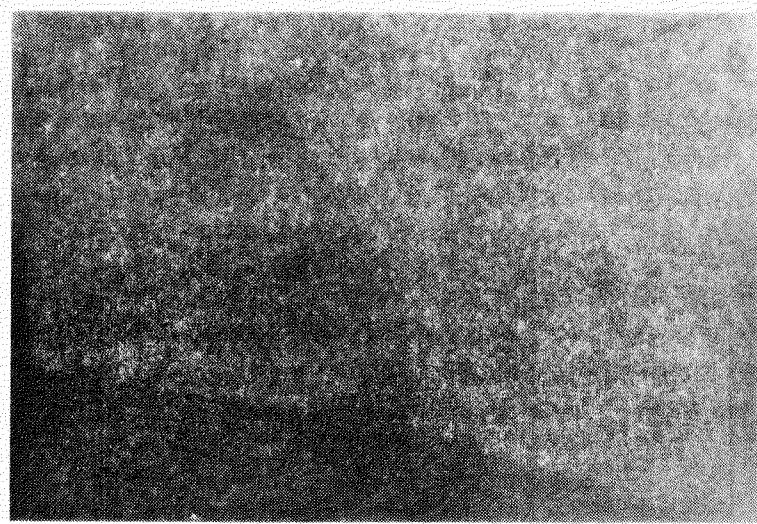
写真 1.2.4 16周期(224日間)後タンク内面状況



0.1 A/m²



0.2 A/m²



I Z P
0.08 A/m²

写真 1, 2, 5 36周期(504日間)後タンク内面状況

1.3 スクラバー海水利用によるバラスト専用タンクの防食基準

1.3.1 既研究の概要

第1年度調査研究において、バラストタンク防食基準設定を目標にバラストタンク防食方法の一つとして、スクラバー水利用によるバラストタンク電気防食基準案がまとめられ、この中でなお、検討を要する項目として次の項目があげられた。

- (1) イナートガス中の SO_2 濃度規制に対する知見
- (2) Zn陽極の取付けに関する知見
- (3) 過防食と鋼材クラックに関する研究

第2年度研究においてはこの中から(2)Zn陽極の取付けに関する知見を検討した。その結果、鋼材表面に錆の存在しない場合及び錆の存在する場合の計画防食電流密度としてそれぞれ $150\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $100\text{mA}/\text{m}^2$ の値が得られ、従来からある流電陽極による防食計画で使用されている計画防食電流密度による防食計画方法がそのまま適用できることを明らかにした。

第3年度は残された(1)、(3)について検討した。

1.3.2 イナートガス封入要領に関する研究

現在、原油タンカーに使用されているIGSではイナートガスとして燃焼排ガスが使用され、海水で洗浄後のガス中にはなお、 SO_2 ガスが50~200 ppm残留し、この SO_2 が兼用タンクの水平部材の腐食に甚だしく影響を及ぼすとされている。しかしながら、また一方ではタンク洗浄用のバタウォースの影響やそれらとの相乗作用も考えられるとしてその原因については明確でない。

タンク水平部材の腐食は一般に皿状の局部腐食を発生し、その他の部分は原油スラッジが固着しており、腐食は軽微であるのが特長である。本報ではその腐食機構について検討を加え、イナートガス中の SO_2 の腐食に及ぼす影響を空気の場合と比較検討した。

(1) 試験方法と試験条件

図1.3.1に示した $300\text{mm}\phi \times 200\text{mm}$ (H)のアクリル製容器(14ℓ)の底部中央部に $10\text{mm}\phi$ の裸鋼材と $300\text{mm}\phi$ の裸鋼材を電気絶縁して取付け、 $300\text{mm}\phi$ の裸鋼を原油スラッジで覆い(4mm厚さ)、海水レベルを $10\text{mm}\phi$ 試験片面より 9mm に保持した。このように兼用タンクの水平部材のスラッジに覆われた部分とそうでない部分のモデルを作製し、この両者の間の腐食電流を計測した。タンク内の雰囲気として空気、イナートガスの2条件を選んだ。試験条件を図1.3.2に示す。

(2) 試験結果

人工イナートガスの使用量がタンク容積の50, 100, 200倍のときと空気の場合の裸試験板とスラッジで覆われた試験板間の電流の経時変化を図1.3.1に示す。空気、イナートガス通気中はスラッジで覆われた試験板の部分から裸試験板へ電流の流入がみられたが、ガスの流通を停止し、密閉放置後は電流の方向が逆転した。空気、イナートガスいずれの場合も程度の差はあるが、試験の初期にはスラッジで覆われた部分の腐食が促進されるが10数時間経つと電流の方向は裸鋼材からスラッジで覆われた部分へ流出し、裸鋼材の腐食の進行を示した。しかし、この腐食電流は100時間経過頃からは空気の場合と略同じ値に落ちついた。特にイナートガス使用量が容器体積の50倍では、裸鋼材の腐食への寄与の小さいことを示唆した。

図1.3.4は試験終了後の裸鋼材の腐食減量、スラッジ部及び残水部のPHを示した。この図はイナートガスの使用量が容器体積の150倍以下であれば空気雰囲気より腐食量は小さいことを示した。また、図1.3.4試験期間中に流れた電気量から求めた腐食量と重量減少による腐食量比からガルバニック腐食の占める比率は約50%程度であった。

本試験は残水がスラッジ堆積部分を確かにカバーする程度の量であり、裸鋼材のアノード部面積に対し、スラッジ堆積部のカソード部面積が余り大きくないケースであり、裸鋼の腐食電流密度も比較的低い値となった。

実船の場合には残水量も多く小面積アノード、大面積カソードが形成されるものと推測され、より大きな腐食の促進が考えられる。

水平部の腐食の促進は、このようなスラッジカバー部、金属露出部を起点として進行するものと考えられ、この起点の発生にはイナートガスが関与するよりも、バタウォースによるとする方が自然に思える。本試験の結果はイナートガスの使用方法を誤まることがなければ即ち、タンクシーリング不良による常時チャージング等がなければ特に有害であるとの結果は得られなかった。むしろ、腐食抑制効果を示すケースさえも得られた。

(3) まとめ

バラストタンクへのイナートガス (SO_2 含有) の封入は過大なガスの封入が行われない限り有害であるとの結果は得られなかった。むしろ腐食抑制効果を示すケースのある結果を得た。

引用文献

- 1) 日本造船研究部会：第172研究会52年度報告書
研究資料No.300 P18 (昭53.3)

1.3.3 過防食と鋼材のクラックに関する研究

(歪分布の存在する場合の流電陽極の防食に対する陽極効果)既研究で電気防食に際し、高い歪の繰り返し応力が付加され、高防食電流密度が付加される場合、長期間後には腐食は少ないが、クラックを生ずる現象のあることが見出された。

防食のみに着目すれば高応力部分への流電陽極の集中配置が考えられるが、どの程度の電流集中が応力の集中部分に生じるかを確認するため以下の実験を行った。

(1) 試験方法

(a) 試験装置の概要

従来専用の応力付加試験槽を使用し、3種の組合せの歪あり鋼(S_s)対歪なし鋼(S_o)及び1種の歪なし鋼(S_s)対歪なし鋼(S_o)の各試験板を試験槽内に取付け所定のバラスト条件下で試験した。

各組合せの試験板の取付状況を図1.3.5及び図1.3.6に示す。4種の各組合せ試験板には、本図のように亜鉛陽極各2本を配置して脱酸素海水浸漬中に流電防食を行い、各組合せの歪あり鋼側(S_s)と歪なし鋼側(S_o)の両者の防食電流密度及び電位を計測した。

空槽部には所定のイナートガスを封入し、各バラスト周期の切換時にはイナートガス組成を一定に調整して試験した。

(b) 試験条件

4種の組合せの試験板(A)₁、(A)₂、B、Cの試験条件を表1.3.1に示す。

歪あり鋼(S_s)対歪なし鋼(S_o)の面積比は(A)₁、(B)は1/78、(A)₂は1/5、歪なし鋼(S_s)対歪なし鋼(S_o)の面積比(C)は1/78とした。この中で組合せ(C)は同じ歪なし鋼であるが(A)、(B)の試験板で応力の付加される側の造船用鋼板の方を便宜上(S_s)として表示した。

バラスト周期はスクラバ海水浸漬20日、空槽10日の繰り返しとした。

図1.3.7、図1.3.8に応力付加試験片の歪分布と Stress-Strain 曲線を示す。

表 1.3.1 試験条件

No 1	バラスト条件 (40°C)	脱酸素海水 イナートガス組成 バラスト周期			PH 6 SO ₂ 0.02%、O ₂ 5%、CO ₂ 15%、N ₂ 残 スクラバ海水 20日 + 空槽 10日	
2 試験鋼板 組合せ	(A) ₁	記号	面積比 (S _s /S _o)	歪値(%)	絶縁塗装方法	露出面積 (cm ²)
		1/78	1.4%(S _s)	A級造船用鋼板 60×49.5×80(20t)mm の 応力平行部 35×76×20(t)mm 全面を露出 し、他は全面タールエポキシ塗装	83.6	
	(A) ₂	1/5	0%(S _o)	SS40鋼板 1000×1000×1(t)mm の中 片面 1000×650mm を露出し、他は全面タ ールエポキシ塗装	6500	
				上記(A) ₁ (S _s) と同様	83.6	
	(B)	1/78	1.4%(S _s)	SS40鋼板 900×300×1(t)mm の中 片面 100×420mm を露出し、他は全面タ ールエポキシ塗装	420	
			0%(S _o)	上記(A) ₁ (S _s) と同様	6500	
	(C)	1/78	0%(S _s)	上記(A) ₁ (S _s) と同様	83.6	
			0%(S _o)	上記(A) ₁ (S _s) と同様	6500	
3	応力(歪)繰り返し速度	2回/day				
4	亜鉛陽極	$\phi 18 \times L 250$ (mm) を各組合せ試験鋼板に 対し各 2本配設				
5	試験日数	115日間				

(2) 試験結果

(a) 防食電流の経時変化

4種の組合せの試験板に対し、脱酸素海中に歪あり鋼側(S_s)と歪なし鋼側(S_o)に流入する防食電流を計測した。この結果を図1.3.9～図1.3.12に示す。

(i) 図1.3.9に見られるように脱酸素海水浸漬当初は S_s/S_o 比の小さい(1/5)場合は歪あり鋼側(S_s)と歪なし鋼側(S_o)とに流入する防食電流密度は数 100mA/m²と共に極めて大きい。しかし S_s/S_o 比の大きい 1/78 の場合には歪なし鋼側(S_o)の防食電流密度は張水の初期から 100mA/m²と略一定している。これに対し、歪あり鋼側(S_s)の防食電流密度は S_s/S_o 比には余り影響されず海水浸漬後かなり長時間高電流密度を保持し、又、若干変動しながら極めて徐々に減少する。図1.3.9～図1.3.12中に補正線として S_s 試験板への防食電流密度を示してあるのは、試験条件(C)の組合せ(図1.3.9～図1.3.12(C))試験の結果から空間構造の影響を補正したものである。S_s、S_o材、防食亜鉛の相互位置の関係で電流の分配がかわり、歪の効果を求めるためにはこの補正が必要である。

(ii) 試験条件(C)による電流密度の補正をして、S_s 材と S_o 材との電流集中比(S_c 材電流密度(補正值)/S_o 材電流密度)のバラスト周期による変化は図1.3.13に見られるように第1周期での電流の集中が大きいが、第2周期以降は半減し、歪の存在で約2倍の電流集中を示した。(各周期の平均電流密度比)この電流の集中現象は S_s/S_o 面積比、バラスト条件、応力付加条件、陽極位

置等の条件によって異なるものと考えられる。実船のような歪分布率(S_s/S_o)が大きいことの予想される場合、歪の発生する部分に、陽極を集中して取りつけることは、相当大きな電流集中のあることが予想される。

(b) 防食電位の経時変化

脱酸素海水浸漬中に各組合せの試験板の電位変化を計測した。この結果を図1.3.1.4～図1.3.1.7に示す。

各組合せの鋼材電位はいずれも比較的短時間内に落着き、試験条件(A)₁、(B)では(S_s)側が約-1000mV／海水AgCl前後、(S_o)側が約-940～-950mV程度を示している。しかしながら、応力の負荷されない試験条件(C)と(A)₁、(B)の(S_s)試験片の電位を比較すると(S_s)の方が20～30mV低い電位を示し、防食電流密度の高い現象と一致した。

なお、1m×1mの(S_o)側の電位分布は図1.3.1.4～図1.3.1.7中にみられるように、ほとんど差が認められなかった。

(3) まとめ

イナートガス脱酸素海水中の鋼材の高歪下における電気防食において、歪集中部分に集中する防食電流及び電位を計測した結果をまとめると次の通りである。

- (a) 試験の初期には特に大きな防食電流が流入するが、歪あり鋼側(S_s)への防食電流密度は歪なし鋼側(S_o)に比べて非常に大きく、流電防食期間中は長時間高電流を保持しつつ緩慢に減衰する。
- (b) 歪あり鋼側(S_s)に集中する防食電流の密度は2周期以降の平均集中倍率(i_s/i_o)は面積比(S_s/S_o)=1/78のとき歪0.7～1.4%、(S_s)側で(S_o)側の約2倍を示した。

引用文献

- 1) 日本造船研究部会：第140研究会 51年度報告書

研究資料 N260 P18 (昭52.3)

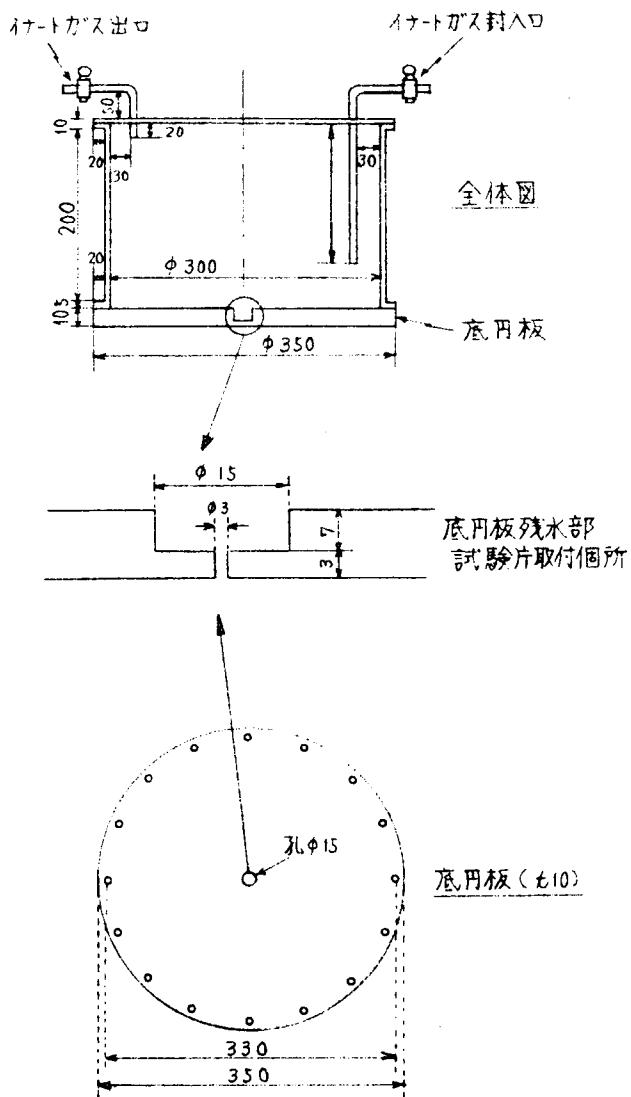


図 1.3.1 腐食試験容器（アクリル製）

・ イナートガス試料組成 (%)	SO_2	CO_2	O_2	N_2
	0.005	15	5	残

・ 試験環境条件

スラッジ量：約 700g，厚さ約 4mm。

海水レベル：スラッジ堆積面まで

試験片面より約 9mm。

残水部試験片：SS40材

$\phi 10 \times 15 (\text{mm})$

0.79cm^2 露出

側面・底面は塗装

スラッジ部試験板：

SS40材, $\phi 300 \times 13 (\text{mm})$

707cm^2 露出,

底面塗装

温度：室温

上記の環境条件にセットして所定ガス試料を一定量通気した後、密封状態に7日間保持し、流出電流を計測する。

試験終了後、残水部及びスラッジ部のPH、試験片の腐食状態を調査する。

通気ガス量 (l)

試験内容	a) 試験容器容積 $\times N_1$	$\rightarrow N_1 = 200$ (倍)
	b) " $\times N_{n-}$	
	c) " $\times N_{n'}$	

図 1.3.2 試験条件

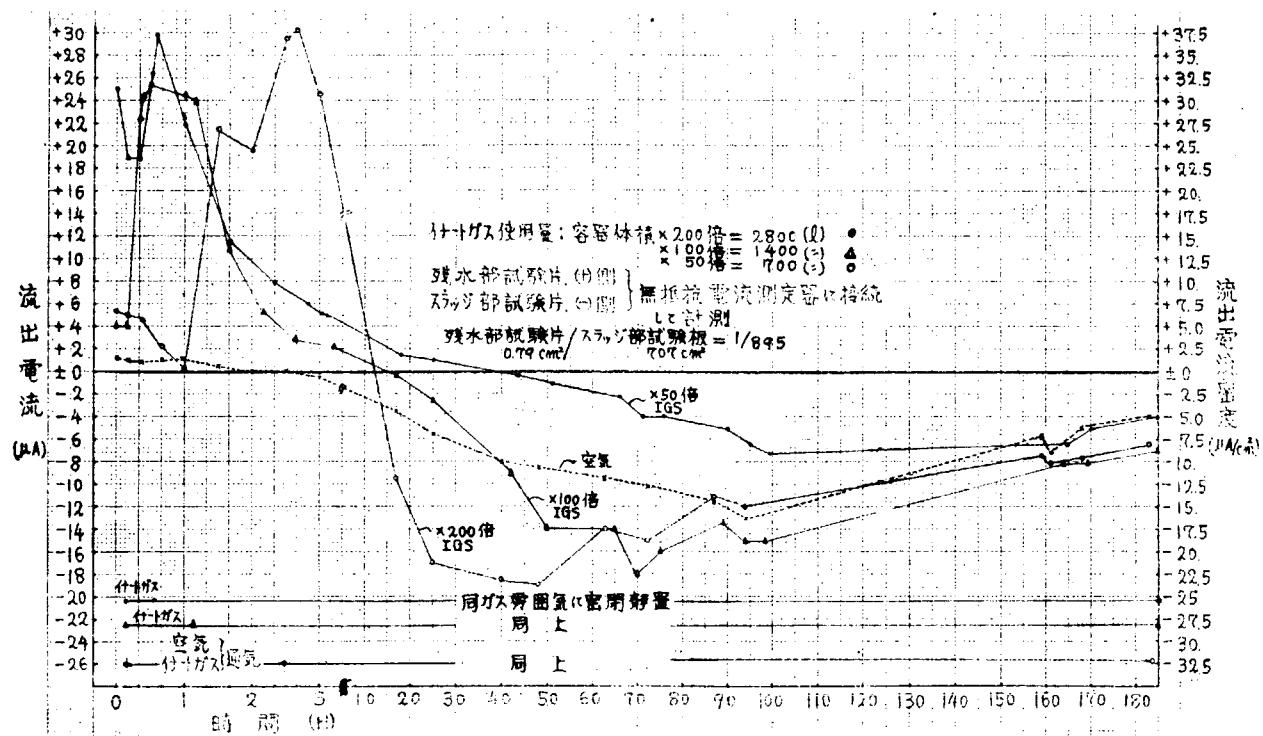


図 1.3.3 IGS 槽残水部と空気槽残水部の試験片からの流出電流

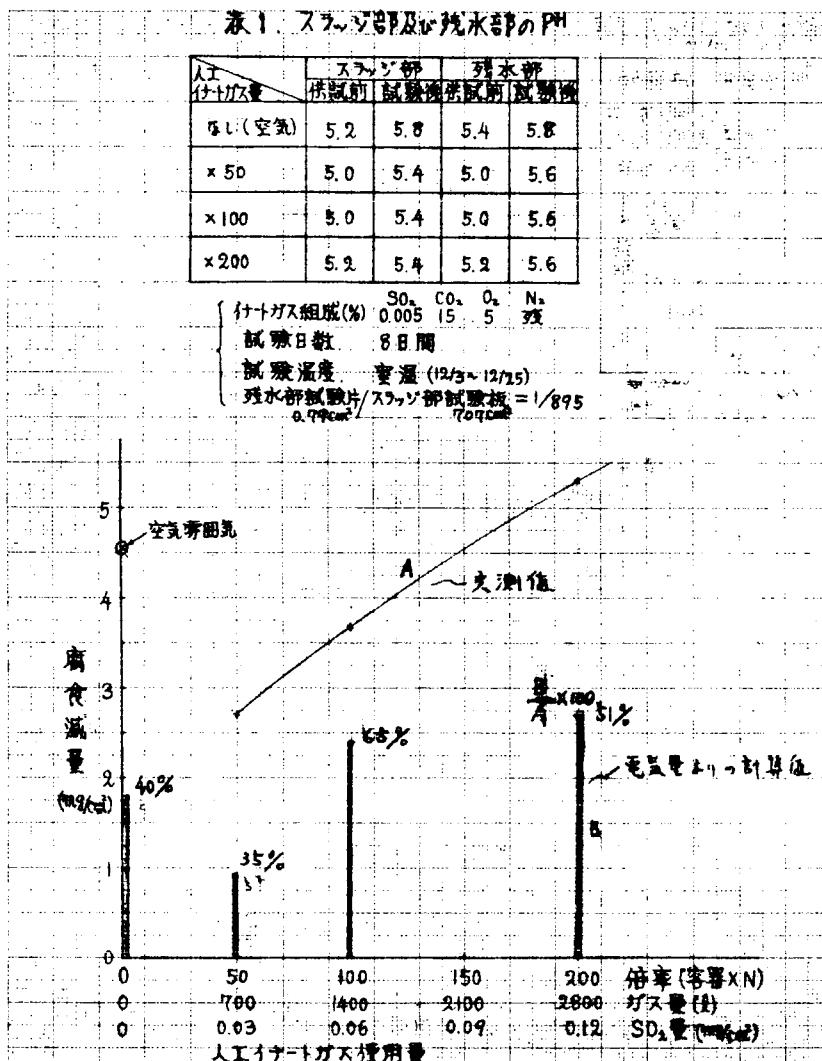


図 1.3.4 イナートガス・残水部分の鋼材腐食

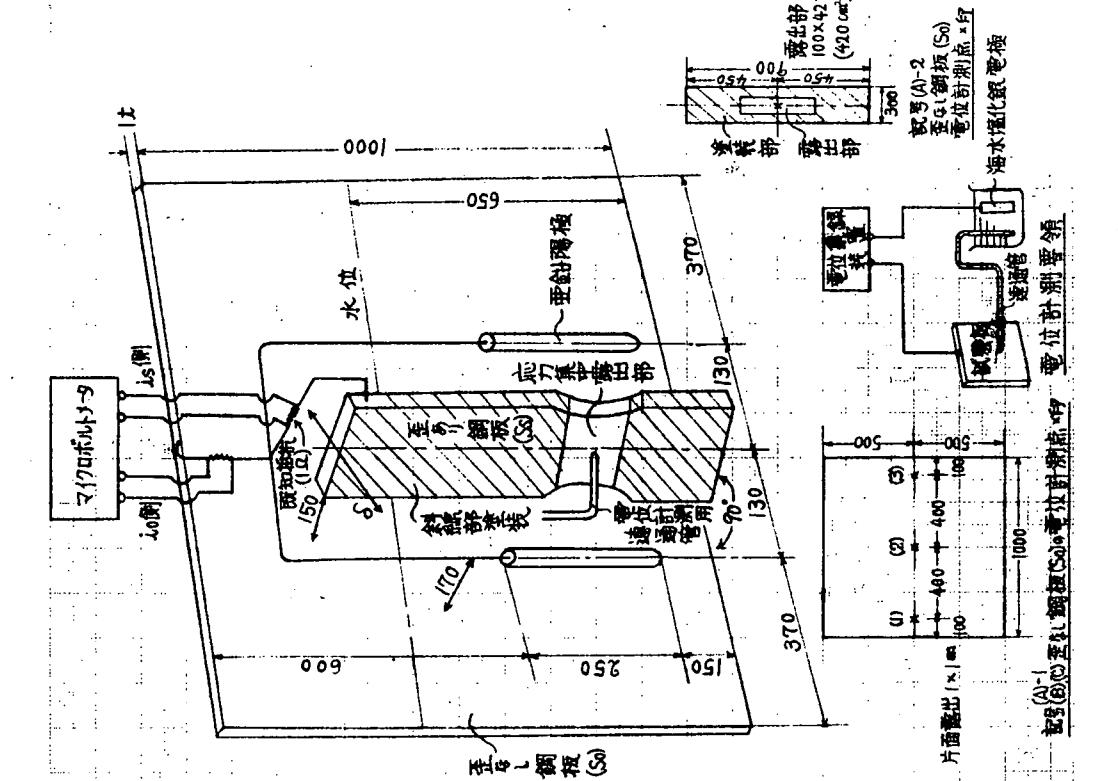


図1.3.5 歪あり鋼板(S_s)と歪なし鋼板(S_0)の計測装置取付要領

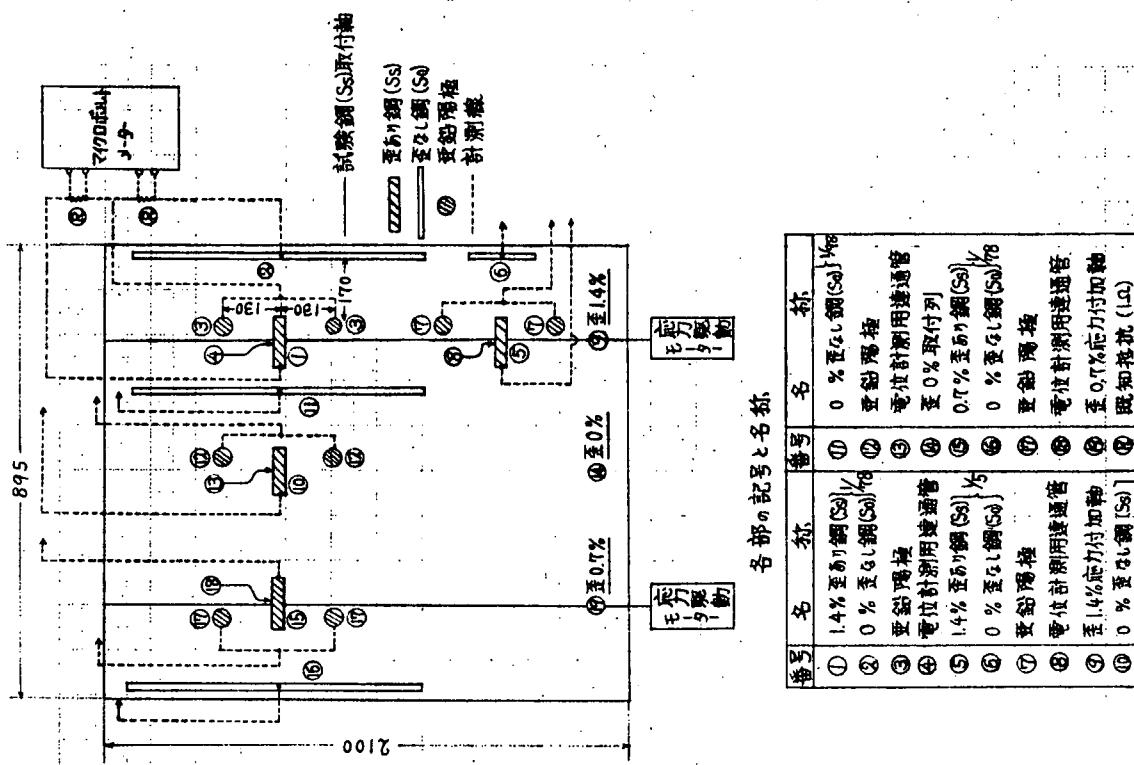


図 1.3.6 試験槽内の取付配置（平面図）

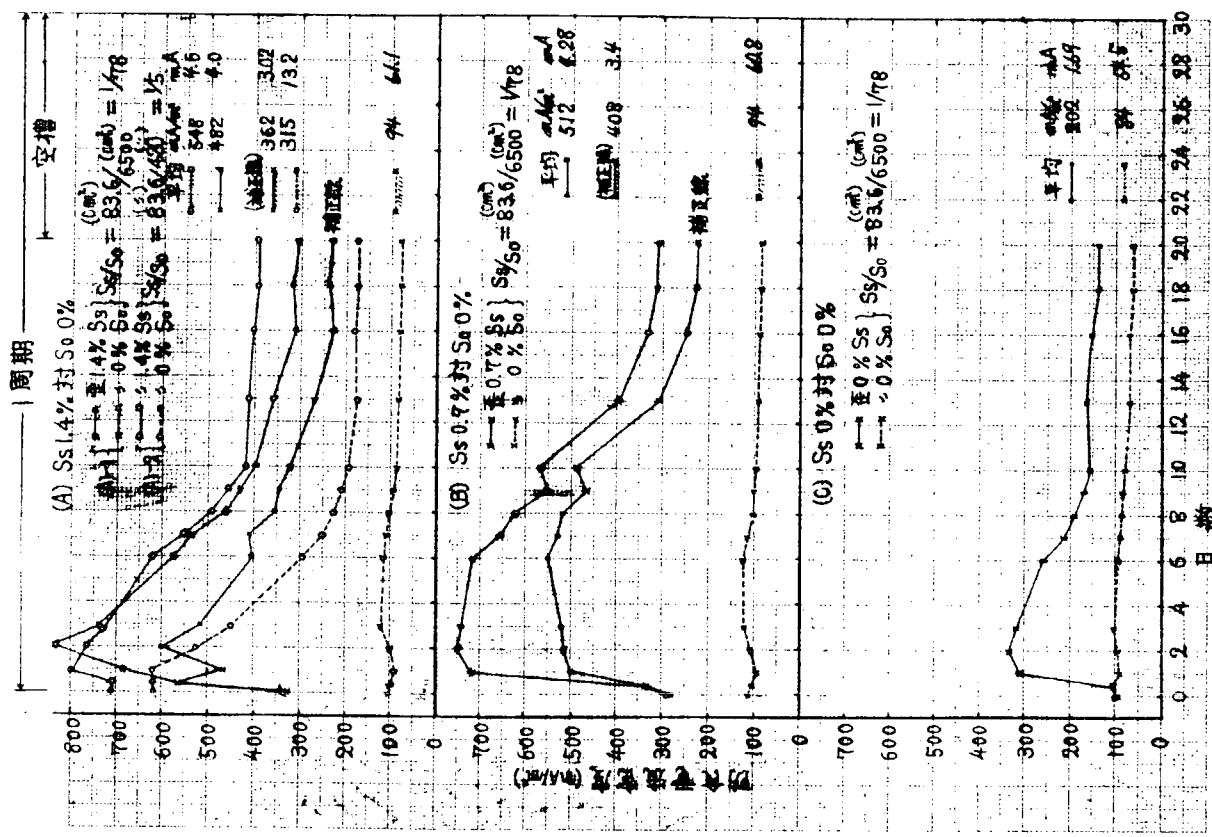


図 1.3.9 防食電流密度の経時変化

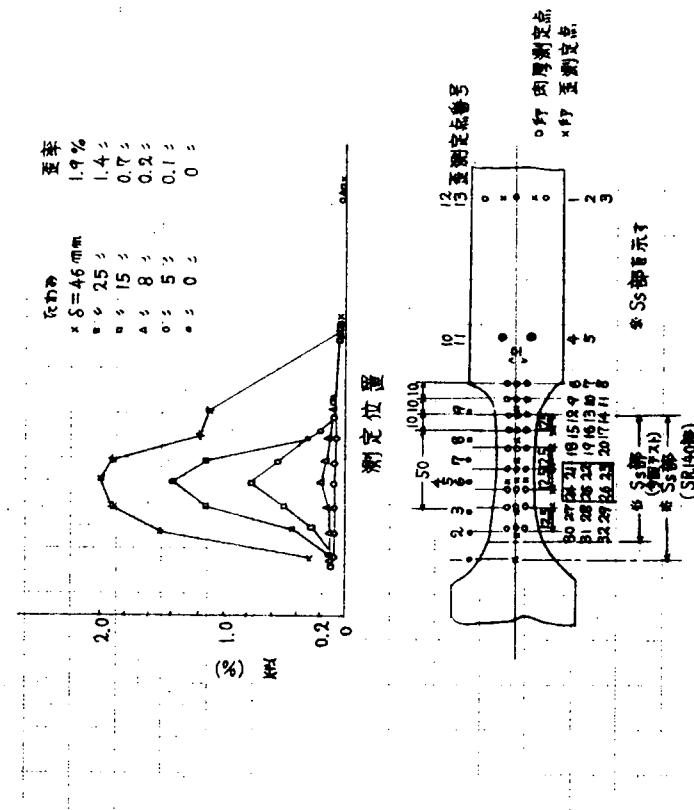
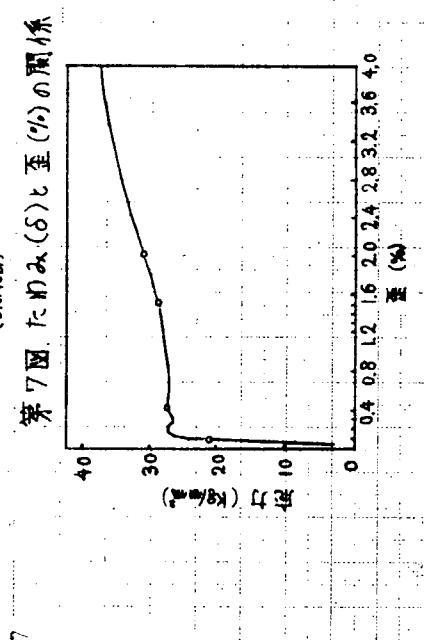


図 1.3.8 試験鋼板 (Ss) の Stress Strain 曲線



第 7 図 大切み (δ) と歪 (%) の関係

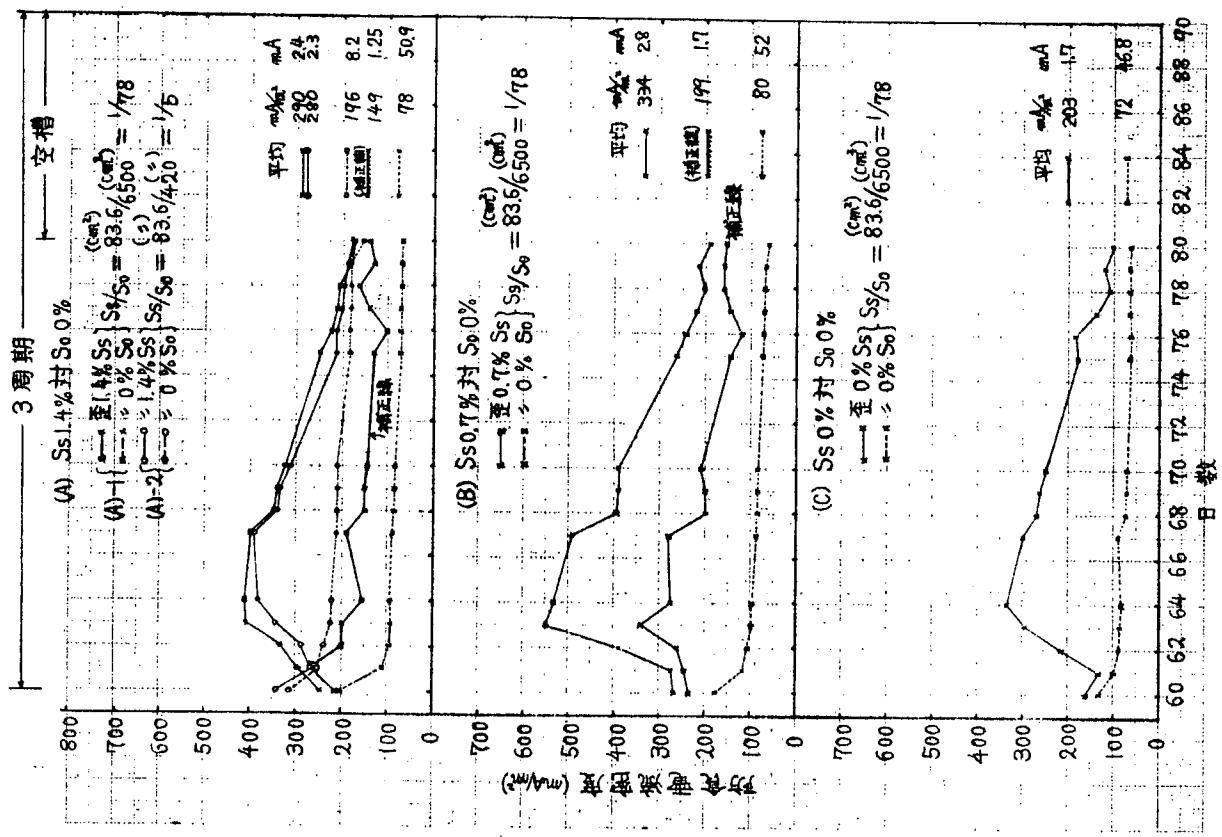
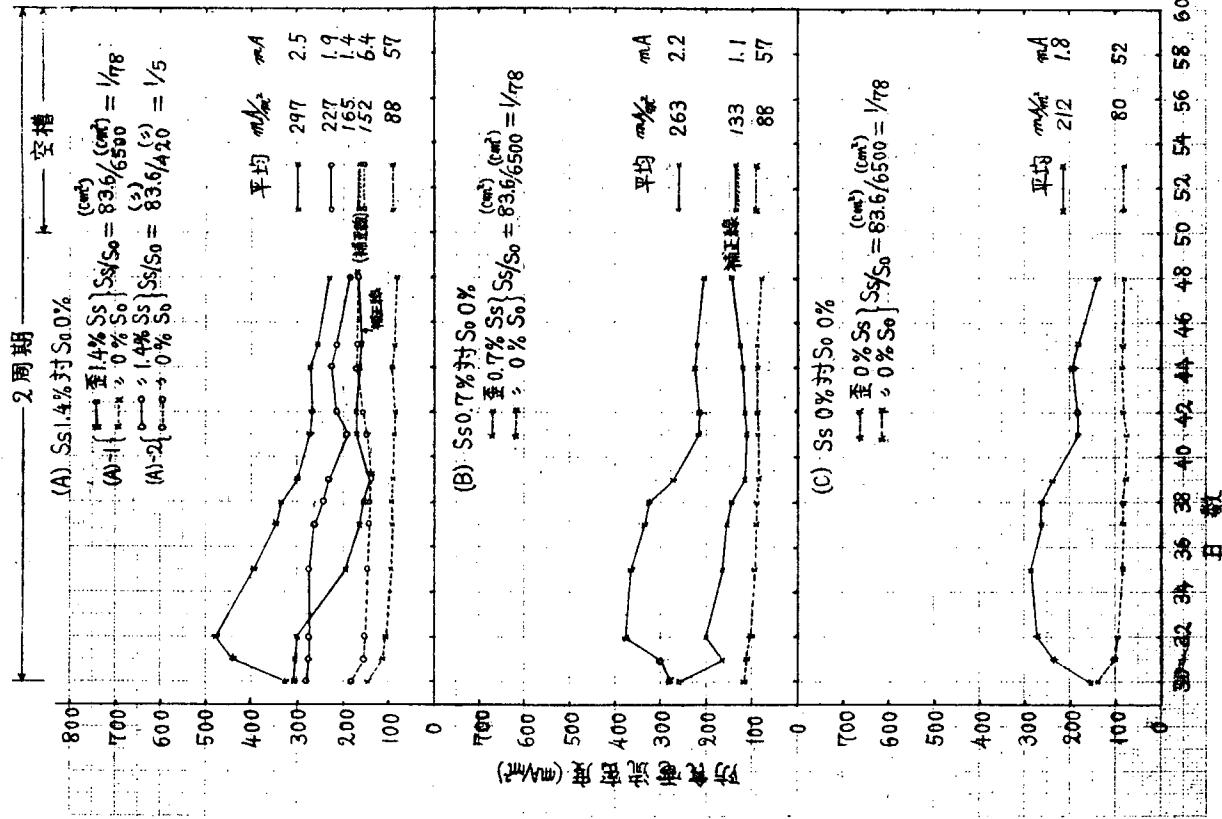


図 1.3.10 防食電流密度の経時変化

図 1.3.11 防食電流密度の経時変化

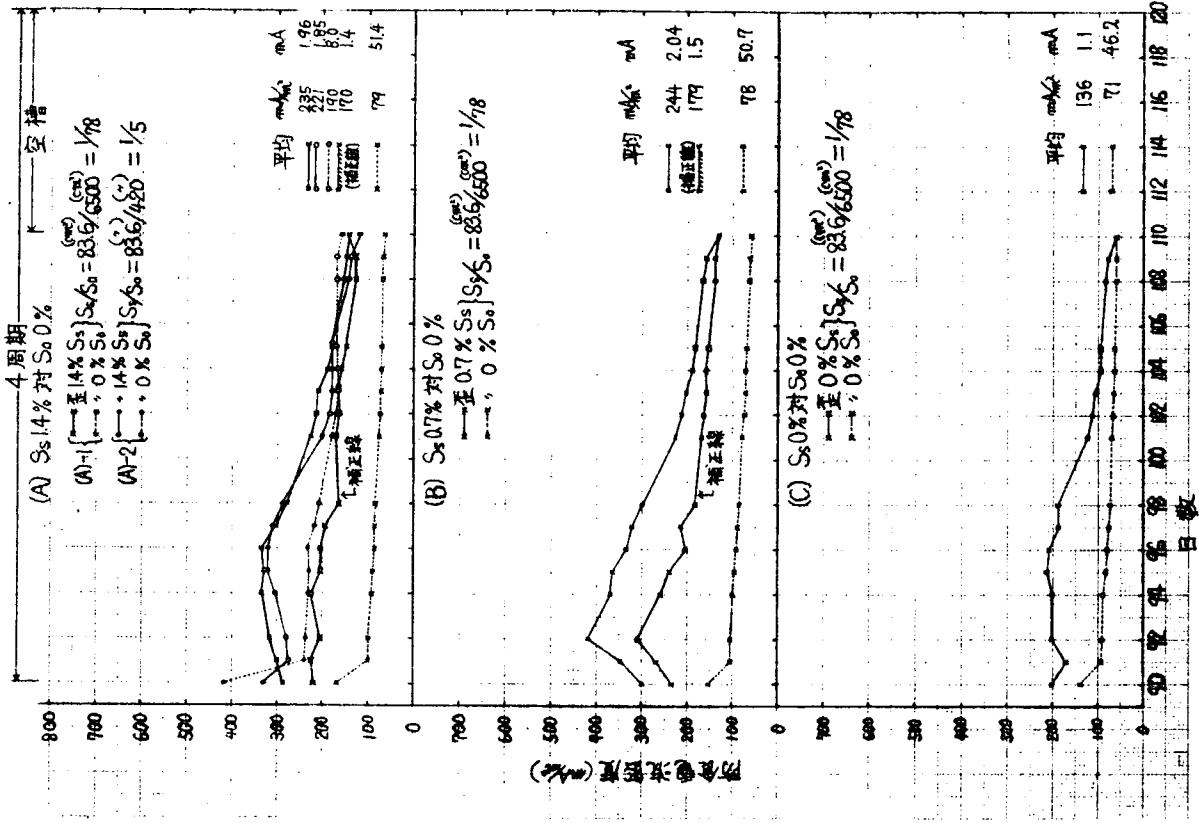
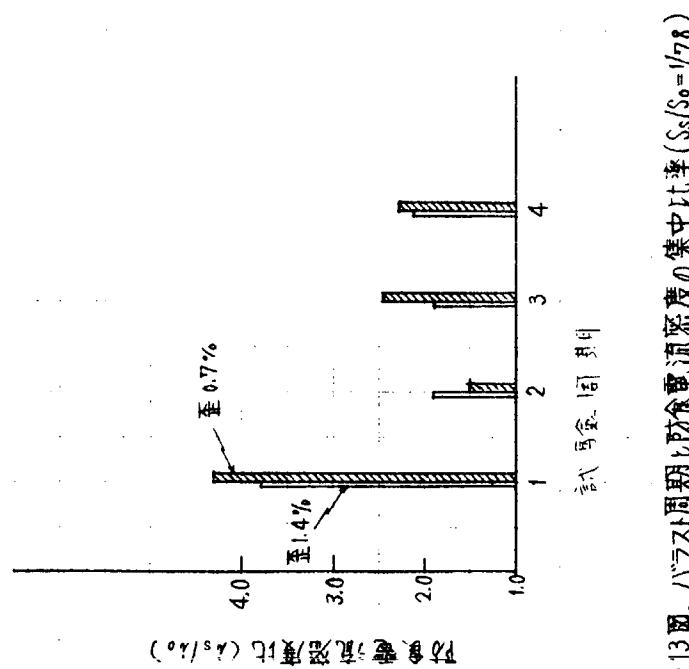


図 1.3.12 防食電流密度の経時変化



第13図 バラスト周期と防食電流密度の集中比率 ($S_s/S_{s0} = 1/7.8$)

図 1.3.13 バラスト周期と防食電流密度の集中比率 ($S_s/S_{s0} = 1/7.8$)

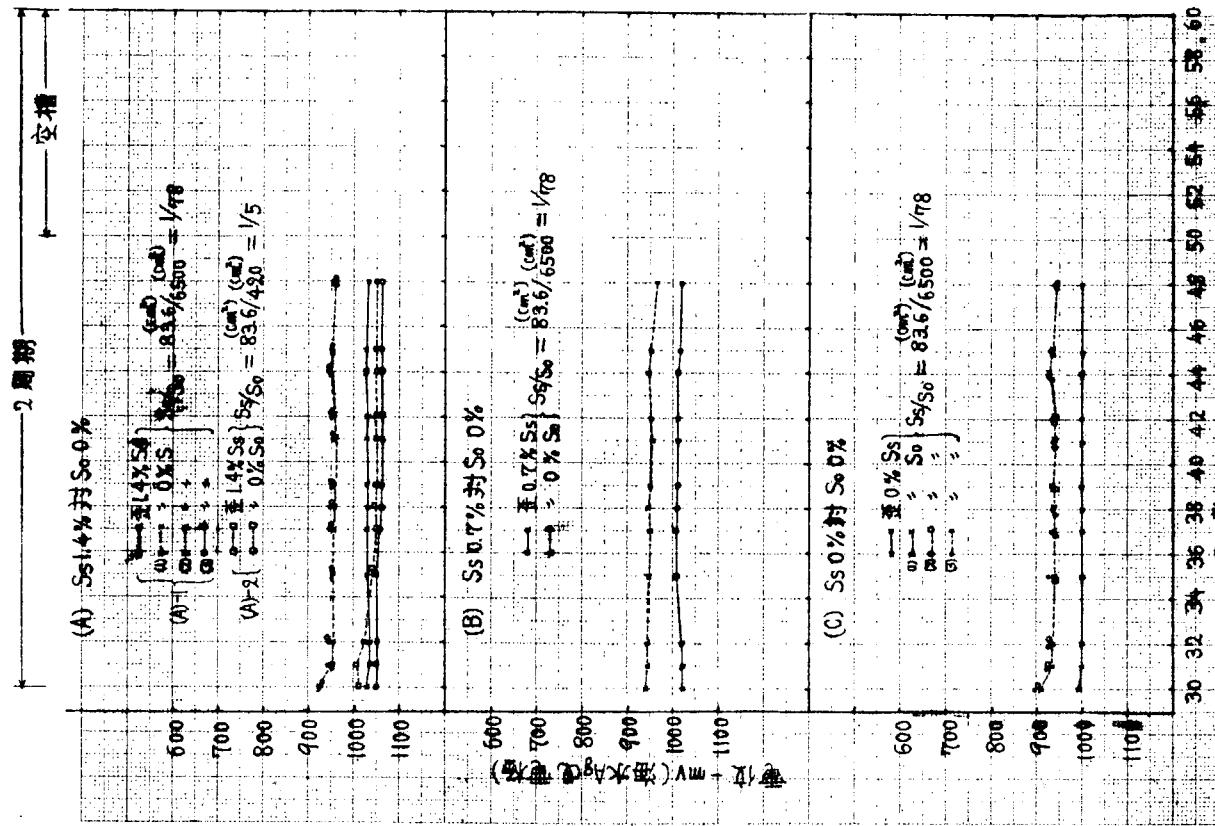
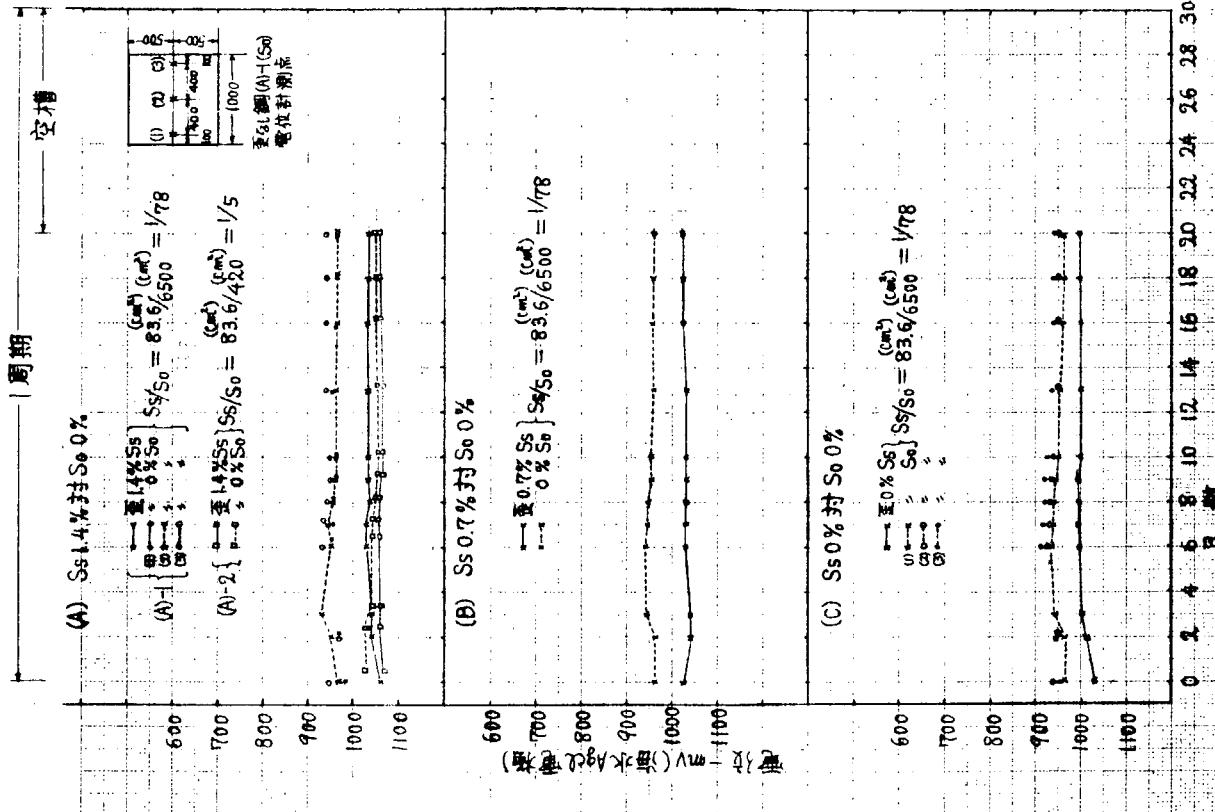
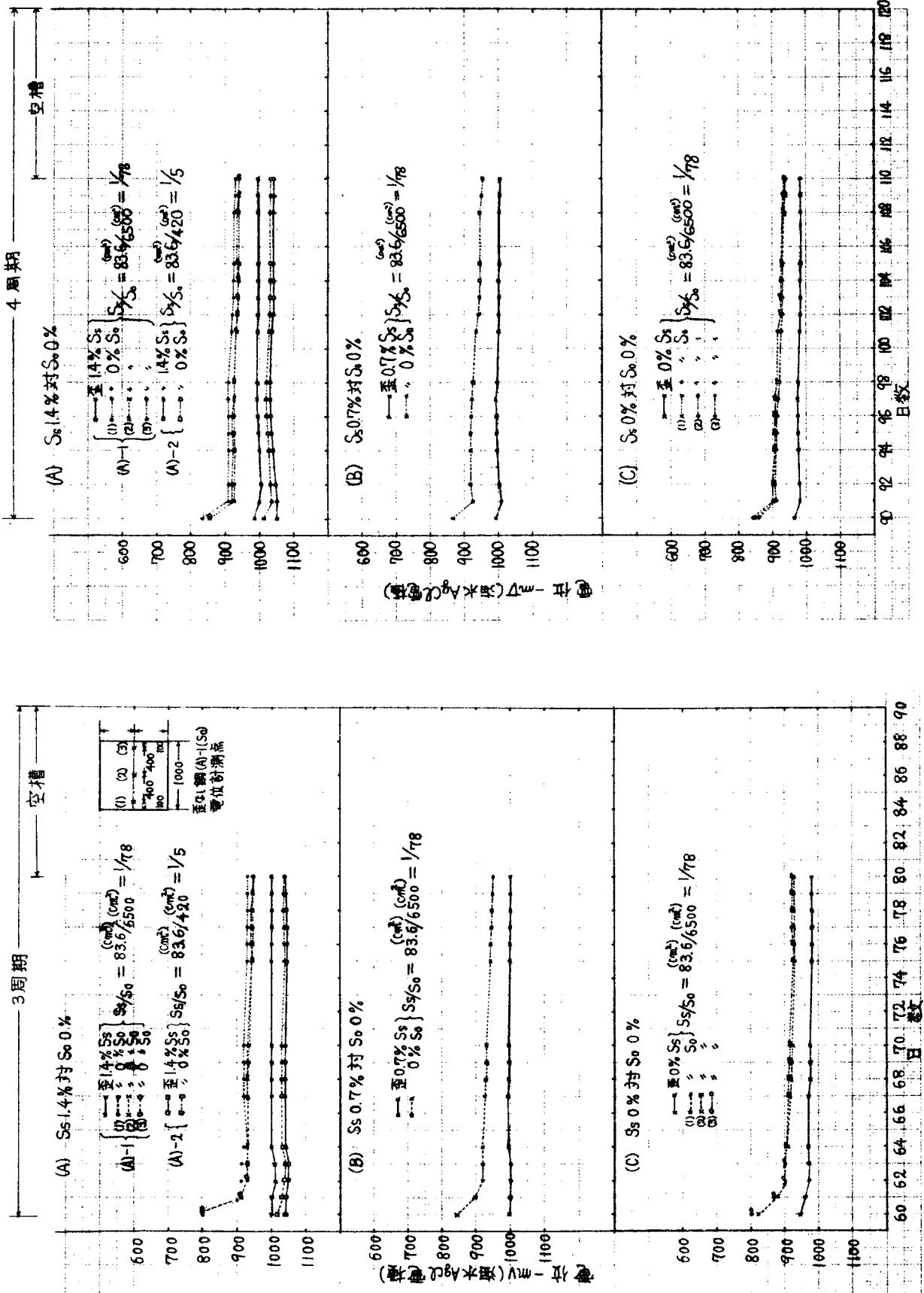


図 1.3.14 防食電位の経時変化

図 1.3.15 防食電位の経時変化



1.4 新しい船舶用塗装系と流電防食併用に関する研究

1.4.1 既研究の概要と昭和54年度の研究

昭和53年度調査研究において、船体外板、バラストタンク等の防食を目的とする、公害規制塗料と流電防食併用による耐食性を、海水浸漬、干満潮帶浸漬、コロージョンレートメータ試験によって評価した。

しかしそれら評価は概念的な面も多く、問題点として次の項目があげられた。

- (1) 天然試験の調査が短期である。
- (2) 実船形態の試験が必要である。
- (3) コロージョンレートメータ試験は実績がない。

昭和54年度研究は、これら試験を総合して、次の項目を調査することにした。

- (1) 天然試験の継続(12~18ヶ月)
- (2) 1m²モデルタンク試験の新規計画
- (3) コロージョンレートメータ試験の詳細な解析法

此の中で(2)のモデルタンク試験については、調査が短期間で評価が得られないが(1)、(3)について検討し、報告することにした。

1.4.2 実験要領

実験は適正な陰極防食における各塗装系の防食性能を求めるものではなく、塗膜劣化に及ぼす電気防食の影響を促進的に得るため塗膜に対する印加電圧を、陽極電位に近い値で与えた場合の塗膜劣化と温度勾配法で促進する電気的計測法(コロージョンレートメータ)の相関性について、①塗料の種類 ②塗膜に対するスクラッチの有無 ③維持電位の差などの条件下で調査したものである。

1.4.3 実験方法

(1) 試験板の製作

試験板は造船用鋼板(S S 4 1)を所定の寸法に切断し、サンドブラストにてホワイトメタル(SPSS S d³)程度に清浄とした後、タールエポキシ系塗料で完全なバックシールを行い、各塗装系の仕様書に従った塗装を実施し実験に供した。尚、天然試験法に供する試験板については側面に所定の陽極を溶接した。

(2) 試験板寸法

天然試験法

S S 4 1 150×250×4.5mm

コロージョンレートメータ法

S S 4 1 70×70×23mm(70×150を2分割)

(3) 供試塗料の種類とノンタールエポキシ塗料(N T)について

(a) S/Pの種類

ウォッシュプライマー(W P) : Long Life型

有機ジンクリッヂプライマー(O Z) : 中濃度エポキシ型

無機ジンクリッヂプライマー(I Z) : 高濃度エチルシリケート型

(b) A/Cの種類

本実験に用いたA/Cは、各種規制問題、省資源の観点からノンタール(N T)、塩化ゴム(C R)、塩化ビニール(C V)、溶剤変更(N P)、低溶剤(S L)、無溶剤(N S)型の塗料と汎用タールエポキシ(T E · S T)であり、その含有するエポキシ及びその他の樹脂量は表1.4.1に示す通りである。

表 1.4.1 A/C の種類とエポキシ及びその他の樹脂量

A/C	樹脂 記号	エポキシ樹脂	その他の樹脂
現用溶剤型 ノンタールエポキシ	N T · S T	14.0	石油樹脂 12.0 ポリアミド樹脂 7.7
現用溶剤型 タールエポキシ	T E · S T	10.8	コールタールビッチ 26.0 ポリアミド樹脂 4.0
溶剤変更型 塩化ゴム	C R · N P	—	石油樹脂 7.8 塩化ゴム樹脂 11.0
溶剤変更型 塩化ビニル	C V · N P	—	塩化ビニル樹脂 20.8
低溶剤型 タールエポキシ	T E · S L	20.0	アミン樹脂 8.3 コールタールビッチ 18.0
無溶剤型 タールエポキシ	T E · N S	30.0	コールタールビッチ 6.9、ポリアミド樹脂 10.0、芳香合油 17.4

注 樹脂：塗料全体を 100%とした重量パーセント

(4) 各塗装系の膜厚

本実験では S/P と A/C の相関性で耐食性を調査するため、天然海水浸漬、コレージョンレートメータ法は、標準膜厚を適用しているが、腐食が比較的激しい干満潮帶浸漬では、S/P を固定因子 (OZ) とし A/C 膜厚は、表 1.4.2 に示す様に標準及び大膜厚の 2 水準で評価している。

(5) 塗装方法

- (a) T E · N S : 刷毛塗り
- (b) 上記以外のもの : エアスプレイ

(6) 塗膜へのスクラッチの有無

コレージョンレートメータ試験では、塗膜のスクラッチ傷：有無について評価を行った。

しかし、海水浸漬では、塗膜インピーダンス試験を除いてスクラッチ有のみを設定し、一方干満潮帶浸漬では、スクラッチ無のみを設定した。

スクラッチは、アンカー傷、塗膜欠陥等からの塗膜劣化を調査するため設定したものである。但し、スクラッチは図 1.4.1 に示す様に海水浸漬用試験板では、上部の一般部を広くするため下部に長さ 110 mm のものを横方向に設定しコレージョンレートメータ用試験板では中心に 5 mm のものを設定した。

(7) 電極材料

亜鉛陽極（表面積約 10 cm² 重量 65 g）

寸法 18 × 30 mm 鉄芯入り

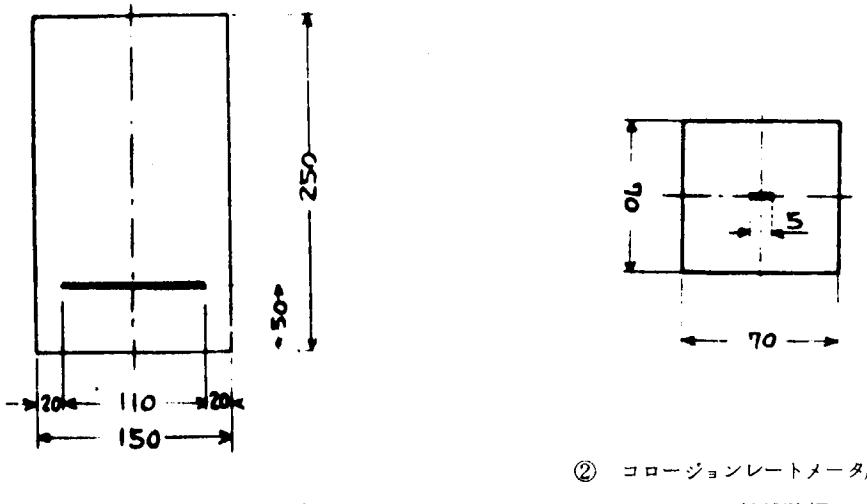
マグネシウム陽極（表面積約 70 cm² 重量 140 g）

寸法 30 φ × 100 mm 鉄芯入り

亜鉛陽極及びマグネシウム陽極は、試験板 1 枚ごとに上記寸法のものを接続し、亜鉛は約 30% 消耗した時、新しい陽極に取替えた。

表 1.4.2 A/C の膜厚 (μ)

A/C	膜厚	大膜厚	標準膜厚
N T · S T	290	190	190
T E · S T	270	180	180
C R · N P	170	120	120
C V · N P	200	140	140
T E · S L	250	155	155
T E · N S	220	160	160



① 海水浸漬用スクラッチ付試験板

② コロージョンレートメータ用
スクラッチ付試験板

図 1.4.1 塗膜へのスクラッチの状態

(8) 防食電位

陽極接続試験板は、夫々、亜鉛及びマグネシウムの自然電位を保持する様に計画した。

電防中の陽極の防食電位は、下記の如きものである。

測定値

亜鉛陽極 (SCE) -1000~-1030mV

マグネシウム陽極 (SCE) -1350~-1500mV

(9) 浸漬方法

天然試験法：干満潮帯浸漬試験は、三井造船玉野工場内の岸壁に懸垂された浸漬枠に取付け、満潮時は水面下約1m干潮時は水面上約0.5mに位置する様に浸漬した。

海水浸漬試験は、試験用150t海水TANKでリード線の没水が無い様浸漬した。

コロージョンレートメータ法：試験板を2個のセルでサンドイッチ状に固定し、セル中の3%NaClで浸漬する。その詳細は試験方法の項で説明する。

(10) 陽極材料の取付方法

コロージョンレートメータ法では、陽極取付けの必要はないが、天然法では図1.4.2に示す様に150×250mmの試験板の右上部に2mm鉄芯をリード線にした亜鉛又は、マグネシウム陽極を溶接した。リード線である鉄芯はシールドを完全にし、陽極の余分な消耗を防止した。

尚、海水浸漬試験における電位測定は、データー取得上必要ないため、電位測定用のリード線は接続しなかったが、必要に応じ「ワニロ」付臨時リード線の接続を可能にし、電極電位に近い陰極電位であることを確認した。

(11) 付着力試験

付着力試験は、海水浸漬試験にのみ適用し、浸漬前6ヶ月、実験終了時(18ヶ月)に、アドヒージョンテスター(エルコメータ社)で測定しKg/cm²で表示する。

評価は剥離が素地から起っているものに減点を多くしA/Cの内部破壊等では減点が少なくする様配分した。

尚、浸漬前の付着力試験は70×150×23mmの塗装板を作成し浸漬板の誤差を少なくする様にした。

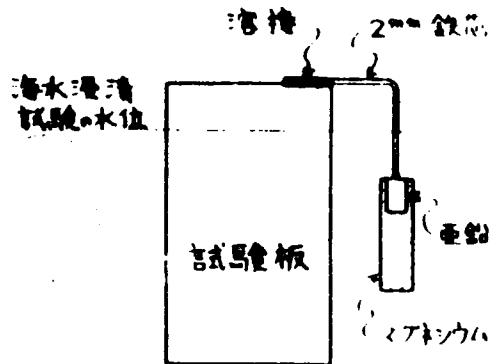


図 1.4.2 陽極材料の取付方法

(12) 塗膜インピーダンス試験

塗膜のインピーダンス測定は、海水浸漬試験の内 OZ の系にスクラッチ無の試験板を作成し実施した。

測定は、抵抗値と容量値で表示するが、それらの数値からの計算値である $\tan\delta$ 値を併記した。

(13) コロージョンレートメータによる塗膜耐食性試験

塗装鋼板の電気化学的腐食反応を自動的に追跡するため、ボテンショスタットを基本として開発された装置（コロージョンレートメータ AT-101型）を用い図 1.4.3 に示す様なガラス・セルによりサンドイッチ状に固定した塗装鋼板に表／裏 = 3%・40°C 食塩水 / 30°C 脱イオン水の温度勾配を加え、表面に対し所定時間毎に、電位掃引速度 50mV/min を加える動電位法でアノード、カソード両分極曲線を求める。

(a) スクラッチ有の分極曲線について

スクラッチ有の試験板では、その耐食性を腐食電流で判断するためアノード、カソード両分極曲線のターフェル外挿線交点から各時間毎の腐食電流、および電位を求めるが、それは例えば図 1.4.4 に示す様に A のごく普通な分極曲線では、一般的手法を用い、B のピークを持つカソード分極曲線では、ピークの両側を結ぶ線としている。

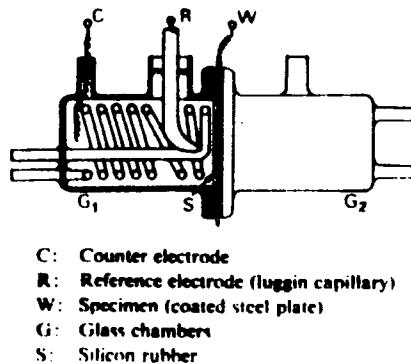


図 1.4.3 温度勾配浸漬用測定セル

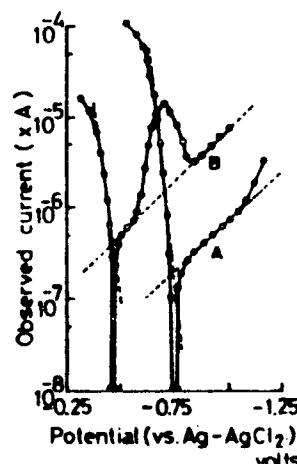


図 1.4.4 分極曲線のターフェル外挿線

* 日本ペイント技術センター

前記の手法によって求めた腐食電流と電位は、図 1.4.5 に示す様に時間毎にプロットする。此の場合、ピークのない電流値に対しては、黒丸で表示し、ピークの現われた電流値は白丸で表示した。又、電位の時間毎の変化は×印で表示した。

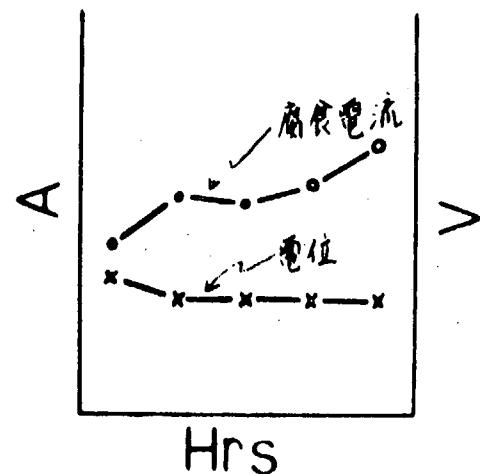


図 1.4.5 腐食電流と電流

(b) スクラッチ無の分極曲線について

スクラッチ無の試験板では、その耐食性を塗膜抵抗で判断するため、自然電位より -0.1 V 変動させた時の電流値を、各測定時間毎に図 1.4.6 に示す様な手法で求め次式により算出した。

$$R = \frac{0.1V}{I} = X\Omega / 12.5 \text{ cm}^2$$

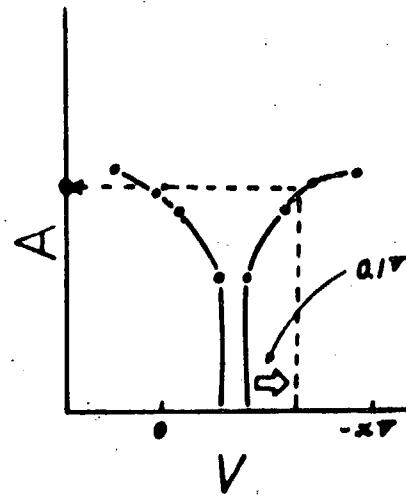


図 1.4.6 電流値の求め方

前記の計算式によって求めた塗膜抵抗値と、図中に示される測定前の自然電位を、図 1.4.7 に示す様に、時間毎にプロットする。此の場合、一般的なモデルでは初期に著しい塗膜抵抗の低下があり、後に安定するものが多いが、①電位変化と比例するもの、②反比例するもの、③全く変化しないものがある。

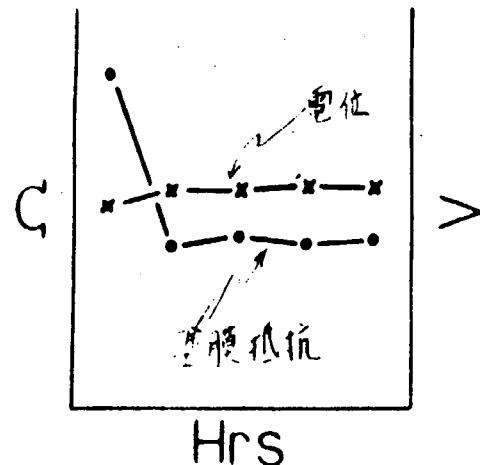


図 1.4.7 塗膜抵抗と電位

(c) アノード、カソード分極曲線の読み方

カソード分極曲線でピークを有するものは、塗膜と鋼のスキマ腐食を示し、ピークを有しないものは、孔食を示すという事例について前年度に報告しているが、分極挙動には他に多くの特異な現象があるため、図1.4.8に従ってその読み方と解析法を説明する。

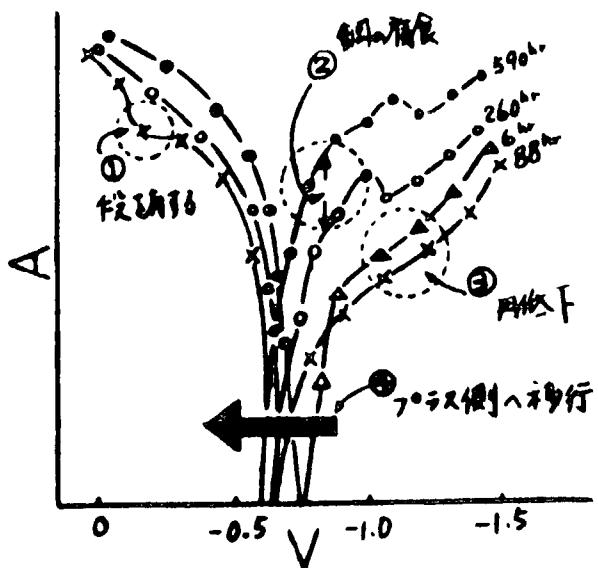


図1.4.8 アノード、カソード曲線の読み方

(1) アノード曲線IC段を有する場合

S/Pに亜鉛末を含有する系であり、亜鉛の防食機能が発揮されていることを示している。稀に他の系においても段を有するものもあるが、鋼に対して電位的に何らかの影響を与えていたるものに見られる現象である。

(2) 鋼の腐食

ピークを有するカソード分極曲線の経時における電流値の間隔が広い試験板では将来、鋼の腐食が進むといわれている。それは即ちS/P層の腐食又は、塗膜-鋼のスキマ腐食が大きく次第に鋼の単独腐食に移行するものと思われる。

(3) カソード分極曲線の再低下

測定の初期において経時後の腐食電流値が低い試験板、例えば図1.4.8 ③の88hr後の電流値が6hr後の電流値より低いものでは、S/Pの亜鉛が消耗し、次第に鋼の腐食に変化することを明確に示すといわれている。

(4) 測定前、自然電位のプラス側への移行

此の現象もS/P中の亜鉛が活性を失い、S/Pの防食性が低下しているものといわれており、次第に腐食が進む傾向があることを示している。

1.4.4 判定及び評価基準

(1) 耐食性

規定期間浸漬後の試験板について、ふくれ、さび等を次の基準で外観判定し、評価した。

(a) ふくれ

サイズ及頻度の判定はASTM.D714-56の基準に従い、その評価は表1.4.3に準じた。

表 1.4.3 塗膜のふくれ評価基準(10点満点)

サイズ 頻度	M2 以上	M4	M6	M8
OK	10	10	10	10
F	5	6	7	8
M	4	5	6	7
MD	3	4	5	6
D	2	3	4	5
D以上	1	2	3	4

F : Few
M : Medium
MD : Medium Dense
D : Dense

* エッヂより 10% 幅は判定の対象としない。

(b) さび

さびの判定方法は、SSPCによる Examples of Area Percentages 基準に従い、その評価は表 1.4.4 の方法に準じた。

表 1.4.4 さびの評価基準(10点満点)

さび(%)	評価点
0.1 以内	10
0.1 以上～ 1 以内	8
1 " ~ 5 "	6
5 " ~ 10 "	4
10 " ~ 25 "	2
25 以上	1

* エッヂより 10% 幅は判定の対象としない。

(2) 付着力試験

測定結果を表 1.4.5 で評価した。

表 1.4.5 付着力試験評価基準(10点満点)

破壊値 Kg/cm ²	Ad 占有面積		
	70～100(%)	20～60(%)	10%以下
4.5 以上	10	10	10
4.4～3.5	9	10	10
3.4～3.0	8	9	10
2.9～2.5	7	8	10
2.4～2.0	6	7	10
1.9～1.5	4	5	8
1.4～1.0	2	3	6
1.0 以上	1	2	4

* Ad : 素地からの剥離

1.4.5 試験結果

- (1) 表 1.4.6 天然試験 12 ヶ月後の調査結果
- (2) 表 1.4.7 天然試験 18 ヶ月後の調査結果
- (3) 表 1.4.8 付着力試験結果
- (4) 表 1.4.9 天然海水浸漬 0, 12, 18 ヶ月後インピーダンス測定結果
- (5) 図 1.4.9 天然海水浸漬 0 ~ 18 ヶ月後 $\tan(1\text{KHz})$ 値
- (6) 図 1.4.10 ①、②スクラッチ無塗装系の電位・電流曲線(コロージョンレートメータ)
- (7) 図 1.4.11 ①、②スクラッチ無塗装系の電位・電流曲線(コロージョンレートメータ)
- (8) 図 1.4.12 コロージョンレートメータ試験後の外観及び付着性

表 1.4.6 天然試験 12ヶ月後の調査結果

S/P 部位 定個所 塗料	W P		I Z		O Z								無					
	1.0 V		1.0 V		1.0 V		1.0 V		干溝潮帯				1.0 V		1.5 V			
	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	外観	評 価 基 点 部	tan θ	大	評 価 基 点 部	小	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	
NT-ST	OK	10 大 D 巾: 3cm	2 OK	10 ~大 F 巾: 1	5 OK	10 ~大 F 巾: 1.5	6 OK	10 ~火 F-M 巾: 5	0.082	OK チュー・キング	10 チュー・キング	OK	10 OK	10 OK	10 大 M 巾: 5	6 E	n d	
TE-ST	OK	10 ~大 M 巾: 2	5 OK	10 ~大 F	5 OK	10 ~大 F 巾: 2	9 OK	10 ~大 F 巾: 1.5	0.073	OK チュー・キング	10 チュー・キング	OK	10 大ツクレ 1ヶ	9 大ツクレ F	5 E	n d		
CR-NP	OK	10 ~大 M 巾: 5	5 OK	10 ~大 M 巾: 4.5	6 OK	10 ~大 M 巾: 1.5	5 MD	10 ~大 M 巾: 1.5	0.175	OK チュー・キング	10 チュー・キング	OK	10 OK	10 ~大 M 巾: 5	6 E	n d		
CV-NP	大ツク 1ヶ	9 ~大 F	6 OK	10 ~大 MD	5 OK	10 ~大 MD	5 F	6 点ナビ 0.1%	0.80	OK 変更	10 OK 変更	OK	10 ~大 F >	8 ~2 D <	2 E	n d		
TE-SL	OK	10 大ツク 2ヶ	9 OK	10 ~大 F 巾: 3.5	6 OK	10 大ツク 7ヶ	6 OK	10 ~大 F 巾: 3.5	0.094	OK チュー・キング	10 チュー・キング	OK	10 OK	10 ~大 F >	9 E	n d		
TE-NS	OK	10 ~大 MD 巾: 4	5 OK	10 ~大 MD 巾: 3.5	6 OK	10 ~大 MD 巾: 3	3 OK	10 ~大 MD 巾: 8	0.074	微 ワレ 全 面 (最層) チュー・キング	8 微 ワレ 全 面 (浅い) チュー・キング	OK	8 ~大 F >	7 ~大 MD 巾: 5	5 E	n d		

表 1.4.7 天然試験 18ヶ月後の調査結果

S/P 部位 定個所 塗料	W P		I Z		O Z								無					
	1.0 V		1.0 V		1.0 V		1.0 V		干溝潮帯				1.0 V		1.5 V			
	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	外観	評 価 基 点 部	tan θ	大	評 価 基 点 部	小	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	評 価 基 点 部	
NT-ST	OK	10 大 D 巾: 3cm	2 OK	10 大 M 巾: 2	4 OK	10 ~大 M 巾: 1.5	5 OK	10 ~大 M 巾: 5	0.086	OK チュー・キング	10 チュー・キング	OK	10 OK	10 ~大 M 巾: 7	4 E	n d		
TE-ST	OK	10 ~大 M 巾: 3	5 OK	10 ~大 F	5 OK	10 ~大 F 巾: 3	8 OK	10 ~大 F 巾: 3	0.100	OK チュー・キング	10 OK チュー・キング	OK	10 大ツクレ 2ヶ	9 ~大 M 巾: 4	5 E	n d		
CR-NP	OK	10 ~大 M 巾: 6	5 OK	10 ~大 MD 巾: 6	4 OK	10 ~大 MD 巾: 6	5 OK	10 ~大 MD 巾: 2	0.166	OK チュー・キング	10 チュー・キング	OK	10 ~大 F 巾: 7	6 E	n d			
CV-NP	大ツク 1ヶ	8 ~大 M	5 OK	9 ~大 MD 巾: 3.5	9 OK	10 ~大 MD 巾: 3.5	4 OK	10 ~大 M 巾: 2	2653	OK チュー・キング	10 OK チュー・キング	OK	10 ~大 D 巾: 3	3 E	n d			
TE-SL	OK	10 大 3ヶ	8 OK	10 ~大 F 巾: 3.5	5 OK	10 大 F	5 OK	10 ~大 F 巾: 3.5	0.086	OK チュー・キング	10 OK チュー・キング	OK	10 ~大 F 巾: 6	8 E	n d			
TE-NS	OK	10 ~大 D 巾: 4	3 OK	10 ~大 D 巾: 4.5	3 OK	10 ~大 D 巾: 3	6 OK	10 ~大 MD 巾: 6	0.091	微 ワレ 全 面 (表面) チュー・キング	8 微 ワレ 全 面 (表面) チュー・キング	OK	8 ~大 F 巾: 6	6 E	n d			

表 1.4.8 付着力試験結果

S/D Paint	海水浸漬 12ヶ月				干溝潮帯 12ヶ月				海水浸漬 18ヶ月				干溝潮帯 18ヶ月							
	W P		I Z		O Z		無		SP: OZ		SP: OZ		W P		I Z		O Z		無	
	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小	SP: OZ 膜厚: 大	SP: OZ 膜厚: 小		
NT-ST	4.0 S100 (1.0)	3.5 S100 (1.0)	3.8 S100 (1.0)	3.3 S100 (1.0)	4.2 S100 (1.0)	4.2 S100 (1.0)	5.0 S100 (1.0)	3.8 S100 (1.0)	5.3 S100 (1.0)	6.4 S100 (1.0)	6.0 Co 5 S100 (1.0)	6.1 Co 5 S100 (1.0)	4.0 S100 (1.0)	3.5 S100 (1.0)	3.6 S100 (1.0)	3.4 S100 (1.0)	4.2 S100 (1.0)			
TE-ST	4.0 S100 (1.0)	3.5 S100 (1.0)	3.3 Co 100 (1.0)	5.0 S100 (1.0)	3.2 S100 (1.0)	4.0 S100 (1.0)	4.0 S100 (1.0)	4.0 S100 (1.0)	4.5 S100 (1.0)	5.2 S95 S100 (1.0)	3.6 S100 (1.0)	3.4 S100 (1.0)	4.2 S100 (1.0)	3.4 S100 (1.0)	3.4 S100 (1.0)	3.4 S100 (1.0)	4.2 S100 (1.0)			
CR-NP	2.7 Co 100 (1.0)	1.5 SP-Addit 50, Co 50 (1.0)	3.1 Co 100 (1.0)	2.5 Co 100 (1.0)	2.0 S100 (1.0)	2.4 Co 100 (1.0)	2.4 Co 100 (1.0)	1.5 S100 (1.0)	2.0 Co 100 (1.0)	2.2 Co 100 (1.0)										
CV-NP	3.7 SP-Addit 50, S50 (1.0)	3.2 SP-Addit 50, S50 (1.0)	3.2 SP-Addit 50, S50 (1.0)	4.0 S50 (1.0)	3.5 SP-Addit 50, S50 (1.0)	4.0 SP-Addit 50, S50 (1.0)	4.0 SP-Addit 50, S50 (1.0)	2.6 SP-Addit 50, S50 (1.0)	2.6 SP-Addit 50, S50 (1.0)	2.0 SP-Addit 50, S50 (1.0)	2.5 SP-Addit 50, S50 (1.0)	3.0 SP-Addit 50, S50 (1.0)	4.1 SP-Addit 50, S50 (1.0)	3.0 SP-Addit 50, S50 (1.0)	3.8 SP-Addit 50, S50 (1.0)					
TE-SL	4.8 S100 (1.0)	5.5 S100 (1.0)	4.8 Co 40 S60 (1.0)	3.5 S100 (1.0)	6.5 Co 10 S90 (1.0)	6.5 Co 10 S90 (1.0)	6.5 Co 10 S90 (1.0)	5.5 Co 10 S90 (1.0)	6.0 Co 10 S90 (1.0)	6.0 Co 40 S60 (1.0)	7.5 Co 40 S60 (1.0)	7.5 Co 40 S60 (1.0)	6.0 Co 40 S60 (1.0)	6.0 Co 40 S60 (1.0)	6.0 Co 40 S60 (1.0)	6.0 Co 40 S60 (1.0)				
TE-NS	3.5 S100 (1.0)	6.5 S100 (1.0)	5.3 S100 (1.0)	3.0 S100 (1.0)	2.2 S100 (1.0)	4.8 S100 (1.0)	5.7 S100 (1.0)	6.5 S100 (1.0)	6.0 S100 (1.0)	6.0 S100 (1.0)	6.0 S100 (1.0)	6.0 S100 (1.0)	3.2 S100 (1.0)	3.8 S100 (1.0)	3.8 S100 (1.0)					
備考	1. () 内は評価点 2. S/P-A/C 間は Adt と 標定																			

表 1.4.9 天然海水浸漬 0, 12, 18 ヶ月後インピーダンス測定結果

塗料	0 ケ月				12 ケ月				18 ケ月			
	f	KΩ	μF	$\tan\delta$ (1KHz)	f	KΩ	μF	$\tan\delta$ (1KHz)	f	KΩ	μF	$\tan\delta$ (1KHz)
NT·ST	.2	3000	0.0049	0.034	.2	1000	0.0061	0.082	.2	1200	0.0067	0.086
	.5	2000	0.0047		.5	700	0.0058		.5	600	0.0063	
	1.0	1000	0.0047		1.0	340	0.0057		1.0	300	0.0062	
	2.0	1000	0.0046		2.0	200	0.0053		2.0	200	0.0059	
TE·ST	.2	1000	0.0060	0.070	.2	900	0.0077	0.073	.2	470	0.0077	0.100
	.5	610	0.0057		.5	600	0.0074		.5	340	0.0073	
	1.0	400	0.0057		1.0	300	0.0073		1.0	220	0.0072	
	2.0	330	0.0055		2.0	200	0.0070		2.0	160	0.0069	
CR·NP	.2	920	0.0100	0.048	.2	190	0.0185	0.175	.2	170	0.0194	0.166
	.5	500	0.0099		.5	100	0.0163		.5	90	0.0172	
	1.0	340	0.0098		1.0	60	0.0152		1.0	60	0.0160	
	2.0	230	0.0095		2.0	40	0.0142		2.0	40	0.0149	
CV·NP	.2	620	0.0153	0.056	.2	1.2	0.51	0.80	.2	2	2	2.653 (ブクレ・サビ)
	.5	320	0.0146		.5	1.2	0.33		.5	2	1	
	1.0	200	0.0143		1.0	0.8	0.25		1.0	.1	0.60	
	2.0	130	0.0139		2.0	0.6	0.19		2.0	.1	0.34	
TE·SL	.2	2200	0.0057	0.041	.2	1100	0.0069	0.094	.2	1000	0.0081	0.086
	.5	1100	0.0055		.5	500	0.0065		.5	490	0.0076	
	1.0	700	0.0055		1.0	270	0.0063		1.0	250	0.0074	
	2.0	400	0.0053		2.0	170	0.0060		2.0	150	0.0070	
TE·NS	.2	1300	0.0052	0.154	.2	1300	0.0059	0.074	.2	1200	0.0060	0.091
	.5	520	0.0049		.5	700	0.0055		.5	600	0.0059	
	1.0	220	0.0047		1.0	390	0.0055		1.0	300	0.0058	
	2.0	100	0.0042		2.0	260	0.0052		2.0	200	0.0055	

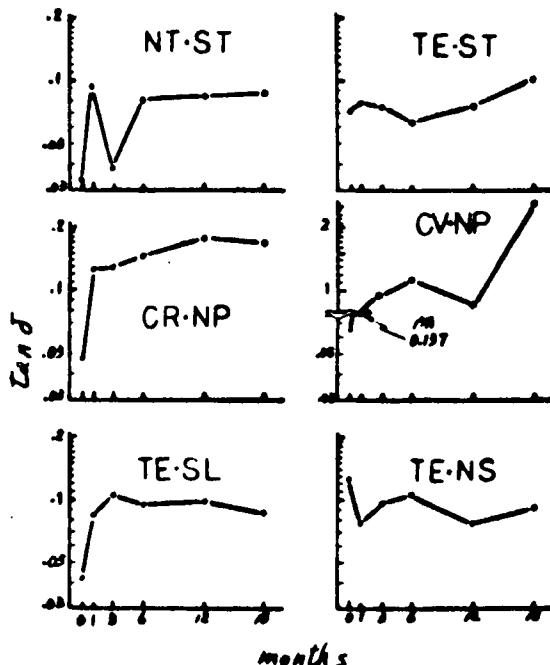


図 1.4.9 天然海水浸漬 0 ~ 18 ヶ月後
tan δ(インピーダンス測定 1KHz 時)

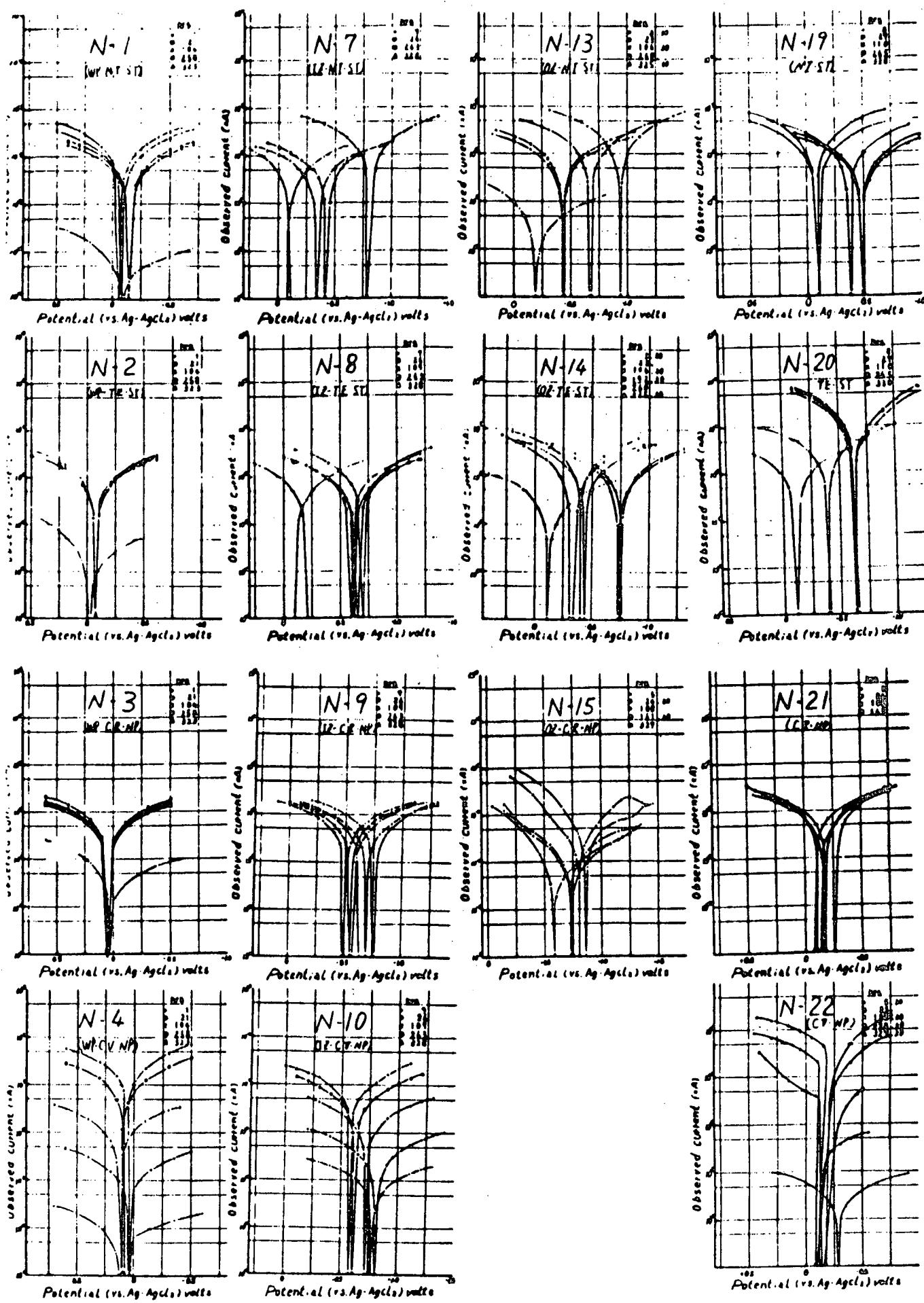


図 1.4.10 ① スクラッチ無塗装系の電位・電流曲線(コロージョンレートメータ)

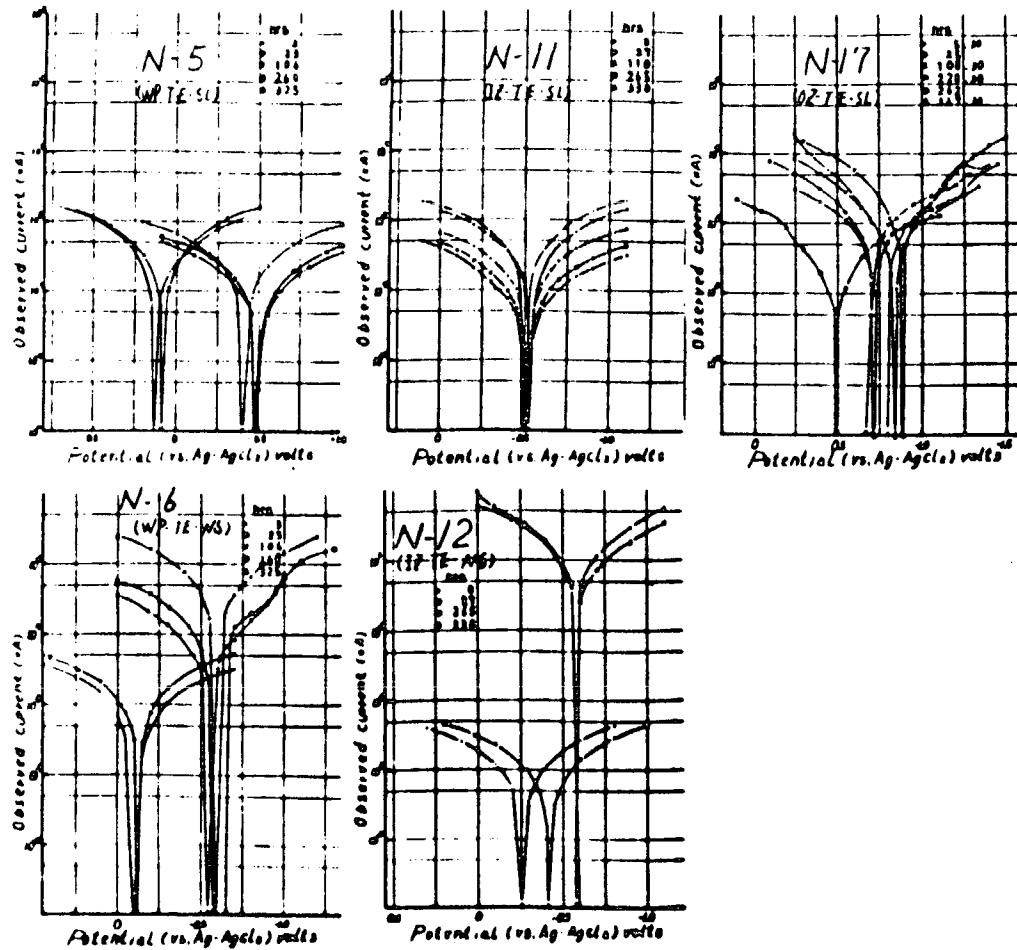


図 1.4.10② スクラッチ無塗装系の電位・電流曲線（コレージョンレートメータ）

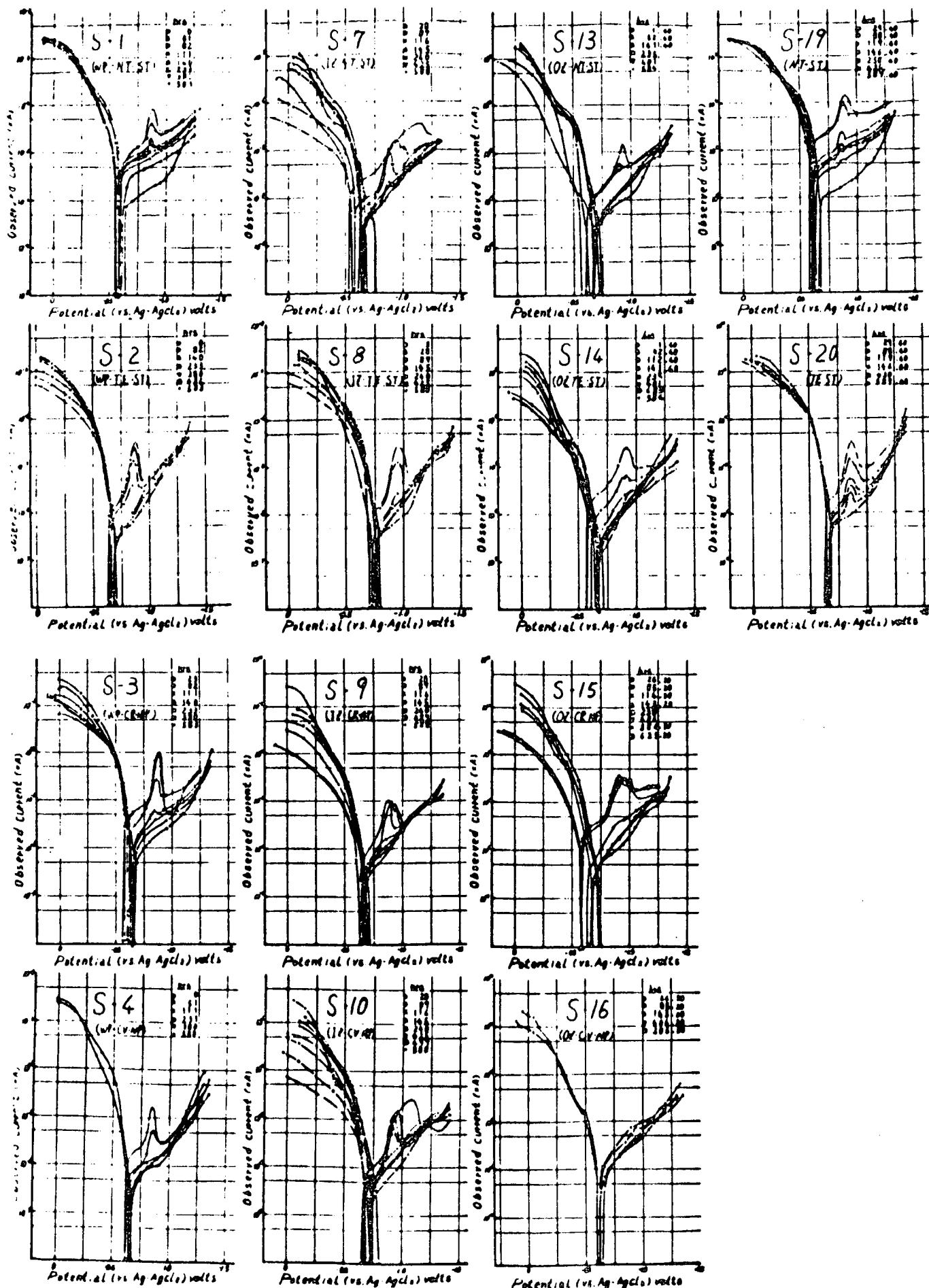


図 1.4.11① スクラッチ有塗装系の電位・電流曲線(コロージョンレートメータ)

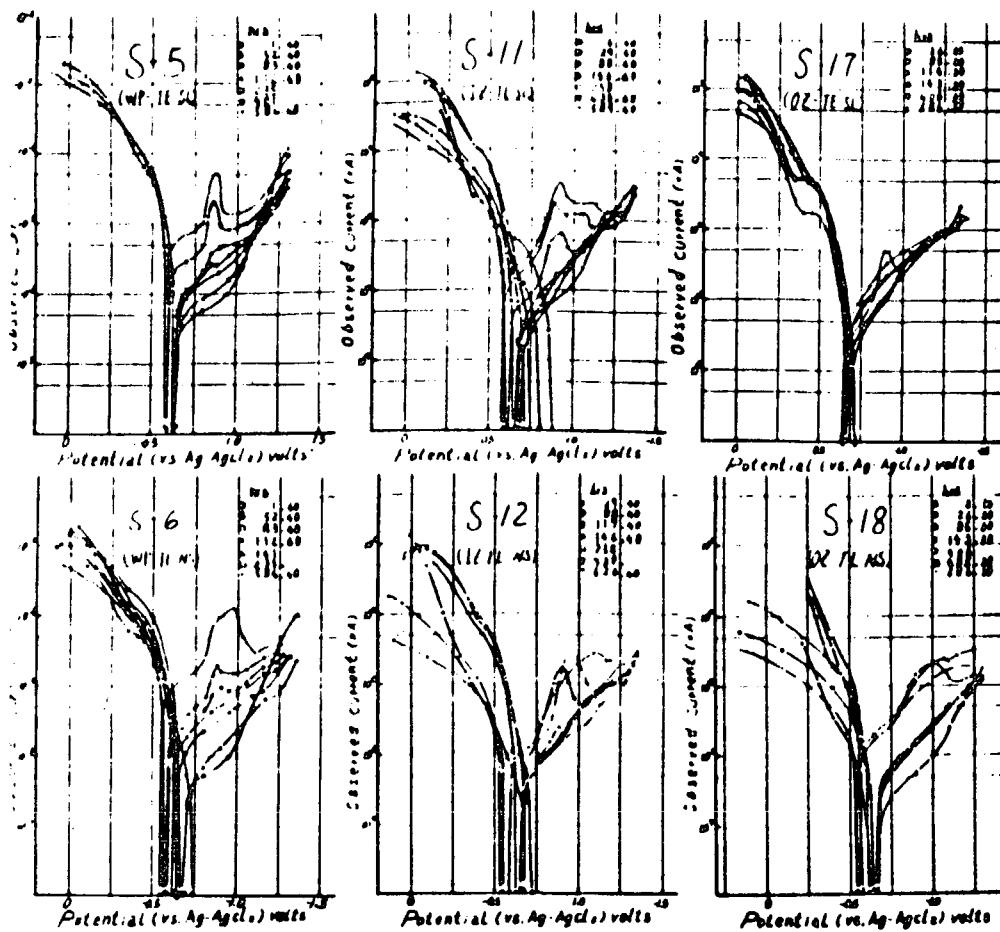


図 1.4.11⁽²⁾ スクラッチ有塗装系の電位・電流曲線(コロージョンレートメータ)

表 1.4.10 コロージョンレートメータ試験後の外観及び付着性

スクラッチ無
スクラッチ有

S/P 塗料 調査	WP			IZ			OZ			無		
	外観	評価	ゴバン目	外観	評価	ゴバン目	外観	評価	ゴバン目	外観	評価	ゴバン目
NT・ST	ふくれ No.2 1ヶ OK	9 / 10	1	ふくれ No.2 3ヶ / ふくれ No.2 以上 1ヶ	8 / 7	6	ふくれ No.6~8 F~M ふくれ No.6 3ヶ	6 / 9	10	ふくれ No.2 1ヶ No.6~8 M F~M	5 / 6	4
TE・ST	OK / ふくれ No.6 5ヶ	10 / 9	6	OK / ふくれ No.8 D	10 / 4	8	OK / OK	10 / 10	8	OK / ハクリ 1mm巾	10 / 3	6
CR・NP	OK / OK	10 / 10	7	OK / OK	10 / 10	7	OK / OK	10 / 10	7	OK / -	10 / -	7
CV・NP	OK / OK	10 / 10	10	OK / OK	10 / 10	10	- / OK	- / 10	-	OK / -	10 / -	10
TE・SL	OK / OK	10 / 10	9	ふくれ No.4~8 M ふくれ No.4 1ヶ	5 / 9	2	ふくれ No.4~8 D ふくれ No.8 M	3 / 7	2	-	-	-
TE・NS	ふくれ No.2~8 M No.2 F	4 / 5	4	ふくれ No.2~4 F~M ふくれ No.2~4 F~M	4 / 5	2	- / ふくれ No.4~8 D	- / 3	-	-	-	-

OK : 異常なし ゴバン目 : スクラッチ無試験板

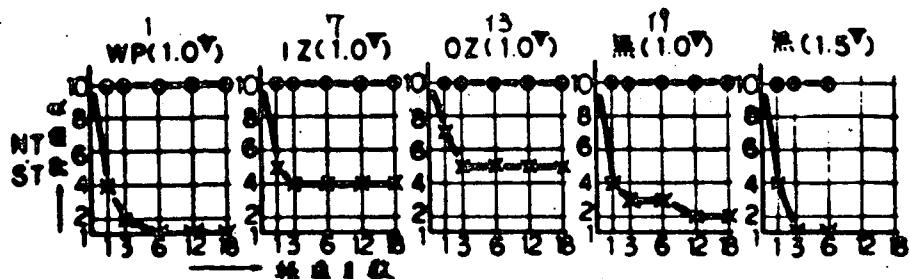
1.4.6 実験結果の解析

天然試験については、実験開始後1, 3, 6, 12, 18ヶ月を同時に解析し、コロージョンレートメータ試験におけるスクラッチ(有)、(無)の解析結果と比較した。

但し、付着力試験は、12, 18ヶ月の結果で解析している。

(1) 現用溶剤型ノンタールエポキシ(NT・ST)

(a) 海水浸漬試験



・：一般部 ×：スクラッチ部

一般部は18ヶ月の段階迄S/P種に拘わらず充分な耐食性を示している。

スクラッチ部では、ふくれが多く、特にWP、S/P(無)の系は、1ヶ月の段階から評価点：4以下を示し、6ヶ月の段階では、10～20mm巾の帯状ふくれに発展し、更に、18ヶ月の段階では、夫々30mm, 70mm巾に迄発展して、評価点：1, 2を示している。

1Zの系は、それらに比較して、やや良好な耐ふくれ性を示し、3ヶ月～18ヶ月迄評価点：4と発展は見られない。

OZの系は、最も良い評価を示し、3ヶ月以後18ヶ月迄評価点：5のふくれ発生にとどまっている。この良好な状態は $\tan \delta$ 値が18ヶ月の段階迄0.1以内に納まっていることでも判断出来る。

尚、マグネシウム陽極を併用したS/P(無)塗装系は、スクラッチ部のふくれからの帯状剥離が著しいため、6ヶ月の段階で試験を中止した。(TE・ST, CR・NP, CV・NP, TE・SL, TE・NSも同様であるため以下省略する。)

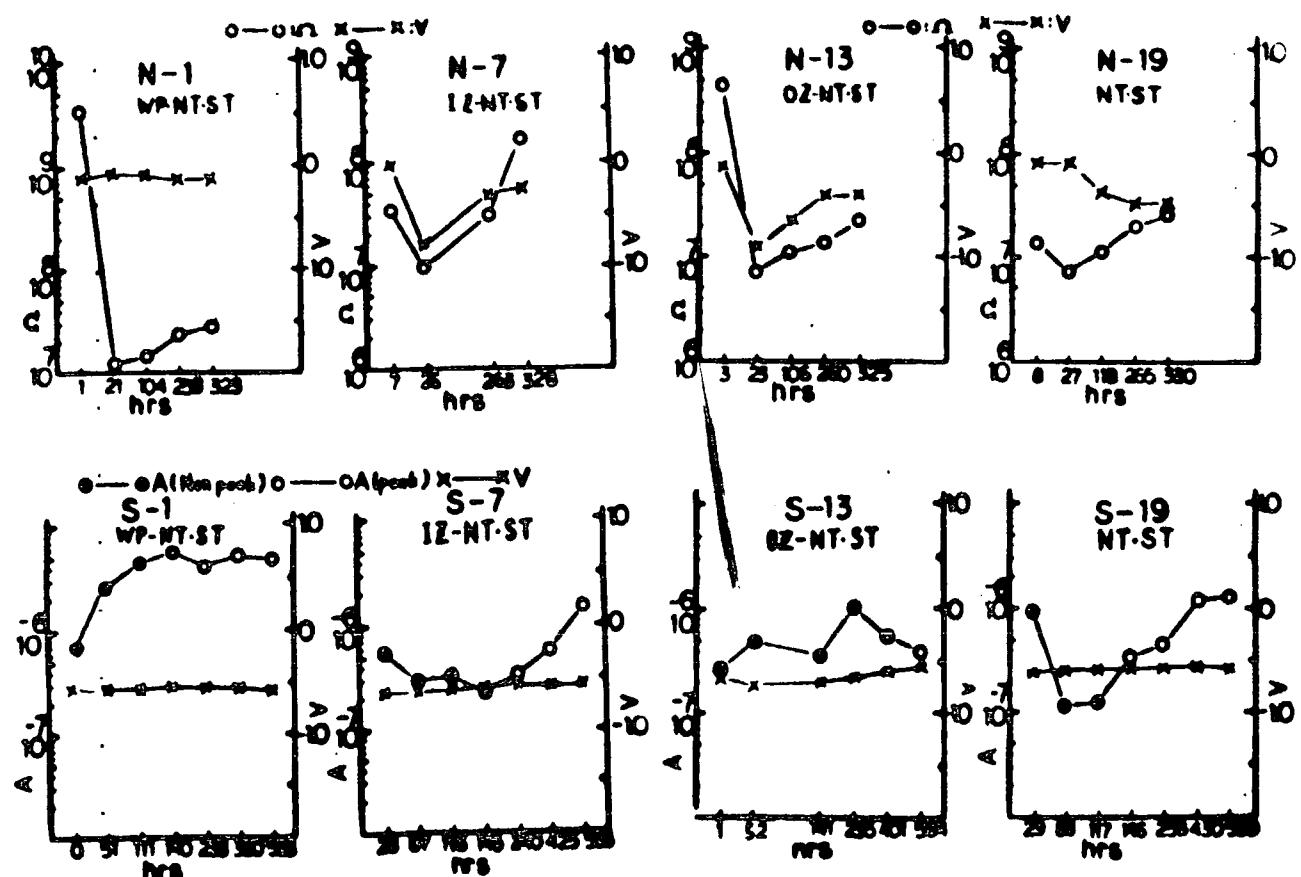
付着力は、全塗装系共18ヶ月の段階において、 50 kg/cm^2 前後の値を示し、良好である。

(b) 干満潮帶浸漬試験

S/PがOZで膜厚は標準および1.5倍の2水準の条件で、バラストタンク内のバラスト条件以上に厳しい環境での亜鉛併用浸漬であるが、スクラッチ(無)の条件を設定した当試験では、18ヶ月の段階においても6ヶ月の段階と殆んど差は無く、予想外に劣化は進んでいない。

此の種試験では、膜厚：大小の設定よりも、スクラッチ(有)、(無)の設定によって耐食性比較するか又は、試験期間の長期化が必要であると思われる。

(C) コロージョンレートメータ試験(N:スクラッチ無, S:スクラッチ有)



WP系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^8 オーダであるが、21時間後にふくれ(No.2-1ヶ)および素地全面に及ぶWPの溶解により、 10^7 オーダ迄低下し、WPとNT・STのマッチングが不良であることを判断出来るが、それは試験終了後のゴバン目テストで全面剝離していることによっても裏付けられている。

更に、初期の電位がWP溶解の影響で高い値を示し、その経時変化がほとんどないことによっても、初期から、素地に達する透水が多かった事が判断出来る。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、初期に 10^{-7} オーダであるが100時間前後で 4×10^{-6} 以上に達し、更に140時間後にピークを伴って 5.4×10^{-6} を示す様になる。その値は、583時間後迄殆んど変化はなく、将来、急激に腐食が進むことは考えられない。

しかし、初期電流値の上昇は、スクラッチ無の塗膜抵抗値の低下と同様の傾向を示し、WPの耐食性が低い事が判断出来る。

電位変化は、 $-0.62\text{v}/0\text{hr}$ 、 $-0.54\text{v}/140\text{hr}$ 、 $-0.59\text{v}/583\text{hr}$ と僅かであり、その電位は鋼の電位に近い値を示しているため、腐食は殆んど起っていないことが判断出来る。

IZ系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、7時間後に 3.45×10^7 を示しているが、26時間後にふくれ(No.2-3ヶ)の発生によって 9.1×10^7 に低下し、その後、 $2.78 \times 10^7/263\text{hr}$ 、 $1.67 \times 10^8/328\text{hr}$ へと再び上昇している。

電位は、塗膜抵抗とほぼ同様の傾向を示し $-0.08\text{v}/7\text{hr}$ 、 $-0.81\text{v}/26\text{hr}$ 、 $-0.42\text{v}/263\text{hr}$ 、

- $-0.34V/328\text{hr}$ の V型変化である。この変化は完全塗膜→ふくれ発生（その範囲の亜鉛消耗） \rightarrow スキマ腐食の進歩無し（腐食生成物による電流値の低下）を示すものと思われ、ゴバン目テストのハクリ個所がふくれ部分に限定されることでも推定が可能である。

これら塗膜抵抗と電位の V型変化の特徴によってピンホール等の欠陥からのふくれは発生するが、その後の進歩は無く、耐食性の良好なことを判断出来る。

スクラッチ有の腐食電流値(A)はピークを伴なわない 145 時間迄は 10^{-7} オーダの範囲内で低下を続けるがピークを伴う 240 時間以後は上昇に転じ、 $3.6 \times 10^{-7}/240\text{hr}$ 、 $6 \times 10^{-7}/425\text{hr}$ 、 $1.4 \times 10^{-6}/588\text{hr}$ を示している。このピークを伴った電流値の差が大きい程将来鋼の腐食が進むことは前述しているが、それは即ち、IZの耐食性が良好であるため、スキマ腐食は起らないで、垂直方向の孔食が進むことを示すものと思われスクラッチ無の傾向と全く同様である。

更にその傾向は、電位変化によっても裏付けられ、 $-0.71V/28\text{hr}$ 、 $-0.64V/145\text{hr}$ 、 $-0.54V/588\text{hr}$ と初期に亜鉛の影響で低いが、それ以上には横方向（スキマ）への腐食は進まないため、亜鉛の影響は無くなり鋼の電位に近くなっている。

OZ系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^8 オーダであるが、23時間後にふくれ(No.6～8-F～M)を発生したため、 10^6 オーダに低下する。それ以後 10^7 オーダに上昇し、WP系と同様な傾向を示すが、ゴバン目テストによる付着性低下はなく、又、電位変化も初期に低い値を示すV型であるため、耐食性は良好である。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、141時間迄 10^{-7} オーダであるが、235時間後にふくれ(No.6～3ヶ)の影響で 10^6 オーダに上昇し、ピークを伴う 401 時間以後は $5.4 \times 10^{-7}/401\text{hr}$ 、 $3.8 \times 10^{-7}/584\text{hr}$ へと低下する傾向を示す。逆に電位は $-0.67V/1\text{hr}$ 、 $-0.71V/52\text{hr}$ 、 $-0.56V/584\text{hr}$ と逆V型を示し、これら電流、電位の傾向から、スクラッチおよびピンホール等への耐食性が稍不良であることを判断出来る。

S/P無系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、27時間後にふくれ(No.2～2ヶ, No.6 M)を発生したため 10^6 オーダに低下するがその後、 10^7 オーダに回復する。電位は、27時間迄 $-0.09V$ を示し、その後 $-0.38V/110\text{hr}$ 、 $-0.48V/265, 330\text{hr}$ で次第に鋼の電位に近づいて来ている。NT・STは耐水性が稍不良であり、下地にふくれに沿った点さびの発生が見られるがゴバン目テストにおいても鉄素地に対する付着性不良が見られるため、マッチングの良い S/P の適用が必要である。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は 117 時間迄低下しているが、ピークを伴う 146 時間以後は、ふくれ(No.6～8-F～M)を発生したため $3.4 \times 10^{-7}/146\text{hr}$ 、 $4.4 \times 10^{-7}/258\text{hr}$ 、 $1.2 \times 10^{-6}/430\text{hr}$ 、 $1.3 \times 10^{-6}/589\text{hr}$ へと上昇し、将来、鋼の腐食が多点的に起ることが判断出来る。

(d) 天然試験とコロージョンレートメータ試験の相関性

相関性は海水浸漬試験 18 ヶ月の外観評価とコロージョンレートメータ試験の腐食評価および外観評価を比較する。

但し、OZの外観評価の項に $\tan \delta$ 値、干満潮帯浸漬試験の評価を併記する。

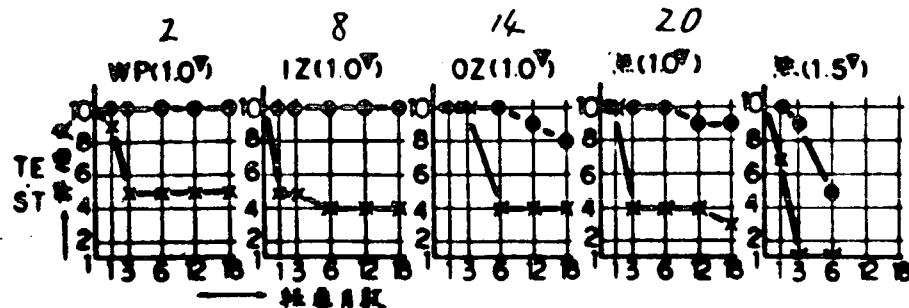
試験種	S/P	WP	IZ	OZ	無	
					1.0v	1.5v
海水浸漬(18ヶ月)		10/1	10/4	10/5 干満潮帶 tan δ: 0.086	10/2	10/1 (6ヶ月)
一般部／スクラッチ部						
コロージョン レートメータ 試験	外観	スクラッチ 無 スクラッチ 有	9/10	8/7	6/9	5/6
	腐食 評価	スクラッチ 無 スクラッチ 有	1/5	7/7	7/5	1/3

N T・S T塗装系のコロージョンレートメータ試験による腐食評価は、天然試験評価に比べ一般部で厳しい評価が得られている。特にWP、S/P無系は、スキマ腐食が激しいため評価点の低下が著しい。

天然試験スクラッチ部はコロージョンレートメータ試験の腐食評価の平均点がほぼ合致している。

(2) 現用溶剤型タールエポキシ(T E・S T): 汎用品

(a) 海水浸漬試験



一般部は6ヶ月の段階迄S/P種に拘わらず充分な耐食性を示していたが、12ヶ月の段階ではOZ、S/P(無)系が夫々No.2-2ヶと大-1ヶのふくれ発生で評価点:9に低下している。更に18ヶ月の段階では、夫々大-3ヶと大-2ヶのふくれに進歩し、OZの系は評価点:8に低下している。その状態は、 $\tan \delta$ 値が6ヶ月迄下降していたにも拘わらず、12, 18ヶ月の段階では上昇に転じ劣化が徐々に進む傾向にあることでも判断出来る。

スクラッチ部では、N T・S Tに比べWP系のふくれが少なく、1ヶ月の段階で評価点:9、3ヶ月以後18ヶ月の段階迄、評価点5に止まっている。

IZの系は、1ヶ月の段階で早期に付着性劣化を起し、評価点:5を示しているが、18ヶ月の段階迄ふくれの著しい進歩はなく、WP系と同等な評価に納っている。

OZの系は、3ヶ月の段階迄評価点:10であったが、6ヶ月の段階で40mm巾のふくれ発生があり評価点:4に低下した。しかし、それ以後18ヶ月の段階迄ふくれの著しい進歩はなく、評価点4に止まっている。

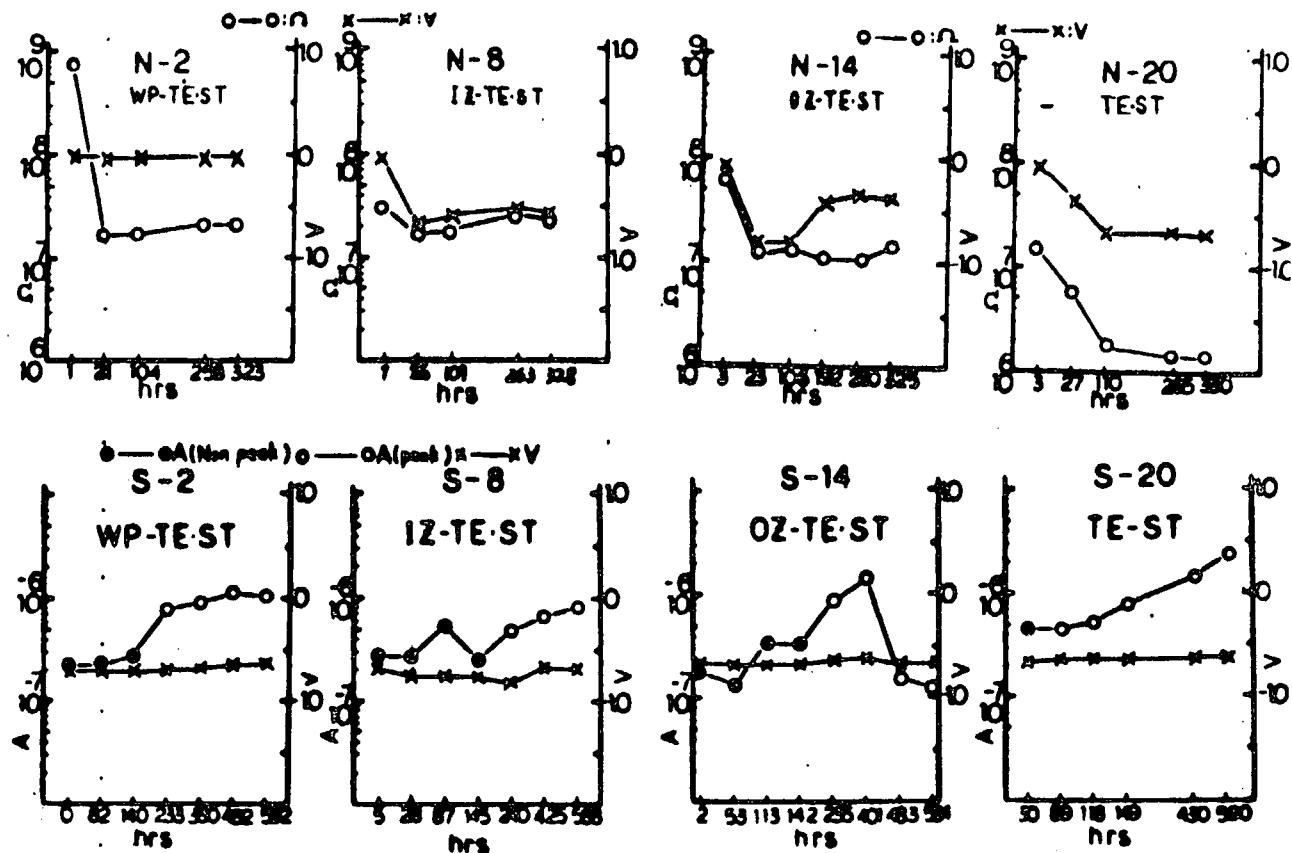
S/P無の系では、1ヶ月の段階迄評価点:10であったが3ヶ月の段階でふくれ(No.8-M)の発生により評価点:4に低下した。しかし、それ以後、12ヶ月の段階迄進歩はなく、18ヶ月の段階で帯状ふくれの僅かな進歩により、評価点:3に低下している。

付着力は全塗装系共良好であり、18ヶ月の段階において、 30 kg/cm^2 以上の値を示している。

(b) 干満潮帯浸漬試験

18ヶ月の段階迄 N T · S T と同様に全く欠陥はない。

(c) コロージョンレートメータ試験



WP系

スクラッチ無の評価は、N T · S T と全く同様の傾向を示し、W P と T E · S T のマッチングが不良である。そのゴバン目テストは評価点：6 であり、N T · S T の評価点：1 に比較し良好である。しかし S/P 層は完全に溶解しており、タルル添加の影響で塗膜凝集力が弱められ、全面剥離に及ばなかったに過ぎないことが判断できる。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、0 ~ 14 時間迄 2×10^{-7} 程度で安定している。ピークを併う 233 時間後に 10^{-6} オーダに近づき 482, 583 時間後に 1×10^{-7} に達するがその変化は少なく急激な腐食が進むことは考えられない。しかし、スクラッチにふくれ(No 6 - 3 ケ)を伴っており、耐食性は稍低い傾向を示している。

電位は N T · S T に比べ稍低くその変化は $-0.69 \text{ V}/0 \text{ hr}$ 、 $-0.66 \text{ V}/380 \text{ hr}$ 、 $-0.63 \text{ V}/583 \text{ hr}$ 、と僅かに上昇する傾向を見せているため、ふくれ発生に伴って腐食が起り始めていることが判断出来る。

IZ系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、 $33 \times 10^7 / 7 \text{ hr}$ 、 $1.92 \times 10^7 / 109 \text{ hr}$ 、 $2.28 \times 10^7 / 328 \text{ hr}$

と変化は小さく、電位変化は、 $-0.09\text{v}/7\text{hr}$ 、 $-0.7\text{v}/26\text{hr}$ 、 $-0.65\text{v}/328\text{hr}$ と比較的大きい。従って透水は比較的たやすく起るが、IZの電気的な防食性とマッチングの良さで耐食性は良好であることが判断出来る。それは、ゴバン目テストにおける素地からの剥離がほとんどないことによても判断出来る。

スクラッチ有のピークを伴わない腐食電流値(A)は、87時間後に 5.2×10^{-7} とやや高いがそれ以外は $2.8 \times 10^{-7}/5\text{hr}$ 、 $2.4 \times 10^{-7}/145\text{hr}$ とほぼ同じ位低い。しかし、ピークを伴う240時間以後はふくれ(№8-D)の発生で $4.8 \times 10^{-7}/240\text{hr}$ 、 $6.6 \times 10^{-7}/425\text{hr}$ 、 $8.0 \times 10^{-7}/588\text{hr}$ へと上昇し、IZの層が浸食され始めている。

従ってスクラッチ、ピンホール等の欠陥がある場合は、TE・STとIZのマッチングが不良であるが判断出来る。

OZ系

スクラッチ無の塗膜抵抗値の変化はIZ系とほぼ同様の傾向であるが、電位変化は192時間後より -0.4v 付近へ上昇し、OZの電気的な防食性が低下している。

しかし、この現象は不自然ではない。それは即ち塗膜表面に見られるツブ(ピンホール状)で電位が低下していた状態から腐食生成物で塗膜抵抗が回復し、電位が再上昇したと考えられるからである。従って、ゴバン目テストの評価にも見られる様にOZへの浸食はなく良好な付着性を示している。

スクラッチ有の腐食電流(A)の変化は、初期から142時間後迄IZ系とほぼ同様の傾向である。しかし、235時間以後 $8.4 \times 10^{-7}/235\text{hr}$ 、 $1.5 \times 10^{-6}/40\text{hr}$ 、 $1.7 \times 10^{-7}/483\text{hr}$ 、 $1.2 \times 10^{-7}/584\text{hr}$ と一旦上昇した後激しい再低下を見せている。この現象はOZとTE・STのマッチングが良好であることを示しており、スクラッチ無の項でも説明した様に、欠陥部からの浸食は腐食生成物等によって抑制される事が判断出来る。

S/P(無)系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、3時間後から 1.52×10^7 と低く、それ以後 5.9×10^6 $/27\text{hr}$ 、 $1.9 \times 10^6/110\text{hr}$ 、 $1.47 \times 10^6/265\text{hr}$ 、 $1.39 \times 10^6/330\text{hr}$ と極端に低下している。又、電位も全く同傾向を示し、鉄素地への透水が多いことを判断出来る。

この現象は前述した様にS/Pが有効であれば、その抑制作用により、透水が防止出来ることを裏付けておりS/Pが無ければ当然ゴバン目テストの付着性評価も低くなっている。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は初期から稍高く、89時間以後はピークを伴い 10^{-6} オーダへ上昇する。

この現象は、スクラッチに沿って発生した1mm巾のハクリで鋼の露出面積が増加し、電流値の上昇となったものであり、サンドプラス面といえども、TE・STの鉄素地への直接的な付着性が不足していることを示している。

上記2項から考えて、マッチングの良いS/Pの適用が必要である。

(d) 天然試験とコロージョンレートメータ試験の相関性

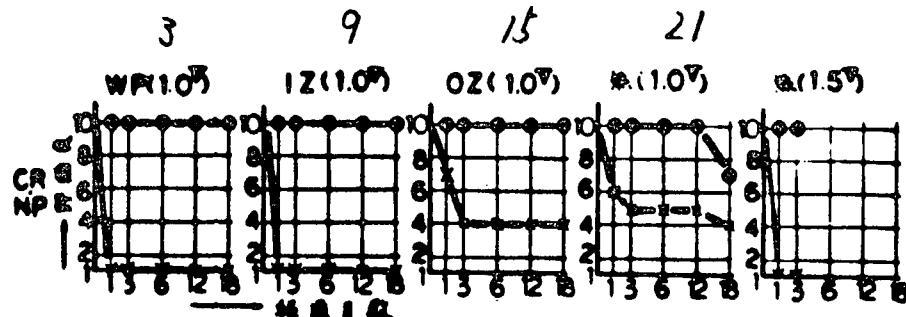
試験種	S/P	WP	IZ	OZ	無	
					1.0v	1.5v
海水浸漬(18ヶ月)		10/5	10/4	8/4 干満潮帶 tan δ : 0.100	9/3	5/1 (6ヶ月)
一般部/スクラッチ部						
コロージョン レートメータ 試験	外観 スクラッチ 無 / 斑点 有	10/9	10/4	10/10	10/10	—
腐食 評価	スクラッチ 無 / 斑点 有	3/5	7/4	8/10	3/3	—

N T・S T塗装系と同様にコロージョンレートメータ試験は一般部で厳しいがスクラッチ部の評価は、WP, IZ, WP無系でよく合致する。

OZ系は、コロージョンレートメータ試験の温度勾配法に適するためか、良好な評価を得ている。

(3) 溶剤変更型塩化ゴム(CR・NP)

(a) 海水没漬試験



一般部は12ヶ月の段階迄S/P種に拘わらず充分な耐食性を示していたが、18ヶ月の段階ではS/P(無)系がふくれ(No.8~4-MD)発生で評価点:7に低下している。

スクラッチ部では、WP、IZの系が1ヶ月で夫々5mm、15mmの剥離を生じたため、評価点:1を示し早期の付着性劣化を起している。その後18ヶ月の段階では、夫々60mm巾の剥離に進歩し、CR・NPとのマッチングが悪いことを示している。

OZの系は、1ヶ月の段階で僅かなふくれ(No.8-M)を発生し、評価点:7に低下する。3ヶ月以後は、18ヶ月迄ふくれの進歩は少なく、評価点:4に止どまっている。

この塗膜状態はtan δ値が、CR系の標準である1~2の間に納り、塗膜劣化の進んでいないことが判断出来る。

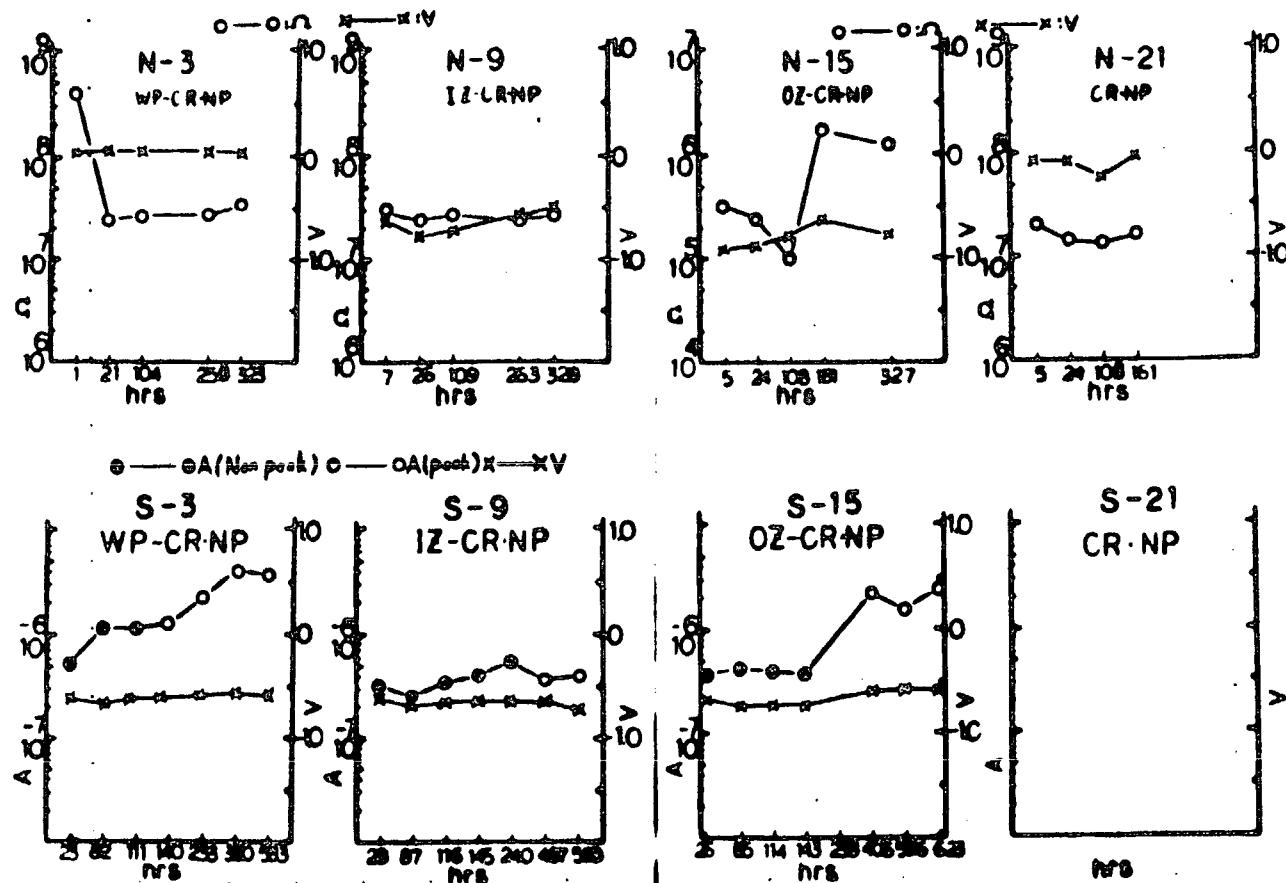
S/P(無)の系は、12ヶ月の段階迄他の塗装系に比べ良好な耐食性を示していたが、一般部のふくれ発生と共にスクラッチ部も帯状ふくれの進歩が著しく、OZの系と同様に評価点:4に低下した。

付着力は6ヶ月の段階でIZの系が20kg/cm²(S/P-A/C間剥離)で評価点:7に低下し、12ヶ月、18ヶ月の段階では15kg/cm²(S/P-A/C間)で評価点:5に低下した。

(b) 千満潮帶浸漬試験

1 8ヶ月の段階迄ふくれ、さび等の欠陥はない。

(c) コロージョンレートメータ試験



WP系

スクラッチ無における塗膜抵抗値(Ω)の変化はNT・ST、TE・STと全く同様の傾向を示しているが、その外観および付着性の低下はない。又、WPの溶解ではなく電位変化も $0.03V/1hr$ 、 $0.05V/104hr$ 、 $0.03V/323hr$ と貴の値を示し、WPの不動態化効果で耐食性は向上していることが判断出来る。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、23時間後に 5.1×10^{-7} であるが、82時間後よりピークを伴う140時間迄 $1.1 \sim 1.2 \times 10^{-6}$ で安定し、その後583時間後迄徐々に増加する。しかし、その外観に変化はなく、良好な耐食性を示している。

これら、塗膜抵抗と腐食電流の変化は、NT・ST、TE・STとほぼ同様の傾向を示すのに比べ、耐食性が良好である原因是、その塗膜構成が多孔質で温度勾配を利用した当試験に有利であることがあげられ、一般試験法とは全く異った結果になっている。

I Z系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、7時間後に 2.94×10^7 と稍低い数値を示しているが、26時間以後はTE・STと全く同様に 2.5×10^7 付近で安定している。

電位は初期から低く、透水の早いことを示している。従って亜鉛の消耗も早くその電位は $-0.76V/26hr$ であったにも拘わらず $-0.55V/263hr$ 、 $-0.49V/328hr$ に上昇した。しかし外観・付着性は共に良好であり、耐熱透析性の大きい塗膜であることが判断出来る。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、 10^{-7} オーダで安定しているがピークを伴う48時間後には逆に低下する傾向を見せスキマ腐食の少ないと示している。

O Z系

スクラッチ無の電位電流曲線は、稍スクラッチ有の曲線と似通っており、電流値はIZの系に比べ2オーダ高くなっている。この原因是、塗膜表面に表われたツブ2ヶによるものと思われ、ゴバン目テストでその周辺のOZに侵食が見られた。従って解析は不能である。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、143時間迄 10^{-7} オーダで安定しているが、ピークを伴う406時間以後は 10^{-6} オーダに上昇し、スキマ腐食の進んでいることが判断出来る。スクラッチ部へのテープ引き剝離テストでは僅かにOZ-A/C間で剝離が認められスキマ腐食の始っていることが裏付けられている。

S/P無系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、 10^7 オーダで安定し、電位も $0V$ 付近で安定しているため耐食性は最も良好であることが考えられるが、スクラッチ有のデータがないので明確な判断は不可能である。

しかし、耐熱透析性を持たせるためには、CR・NPの様にポーラスな膜では、S/P無が良い結果を生む事が考えられる。

(d) 天然試験とコロージョンレートメータ試験の相関性

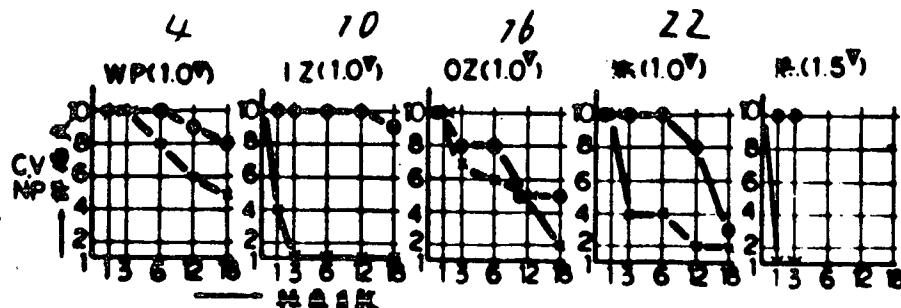
	試験種	S/P	WP	IZ	OZ	無	
						1.0V	1.5V
CR	海水浸漬(18ヶ月)						
	一般部/スクラッチ部		10/1	10/1	10/4 干満潮帶 OK $\tan\delta: 0.166$	7/4	10/1 (3ヶ月)
NP	コロージョン レートメータ	外観	スクラッチ 無/スクラッチ 有	10/10	10/10	10/10	10/-
	試験	腐食 評価	スクラッチ 無/スクラッチ 有	10/10	10/10	5/6	10/-

C R・N P塗装系のコロージョンレートメータ試験による、腐食評価は天然試験の評価に比べ良好である。

劣化促進が大きくなかった原因は種々あると思われるが、その一つとして温度勾配法の熱透析の影響を受け難いボーラスな塗膜であることがあげられる。一般に温度勾配を利用した塗膜劣化法に耐久性を持たせるためには、顔料の選定、高PVC化で可能であると言われており、CR・NPの高PVCの性質が評価を良好にしたものと思われる。

(4) 溶剤変更型塩化ビニル(CV・NP)

(a) 海水浸漬試験



一般部は、1ヶ月の段階迄S/P種に拘わらず充分な耐食性を示しているが、3ヶ月の段階でOZの系に僅かなふくれが発生し、6ヶ月の段階迄あまり進歩はない。しかし、12ヶ月の段階ではWP系にふくれ(大-1ヶ)S/P無系にふくれ(164下>)が発生し、夫々評価点：9,8に低下している。

OZ系は更に進歩したふくれ(162下)になり、評価点：5に低下している。この不良な塗膜状態は18ヶ月の段階でtanθ値が2.6にも達し、ふくれ、さびを伴っていることから容易に判断出来る。

18ヶ月の段階ではIZの系に、ふくれ(164-2ヶ)が発生し、評価点：9に低下しているがS/P無の系は進歩が最も著しく評価点：3に低下している。

スクラッチ部では、IZの系が1ヶ月の段階でふくれ(大-M)を発生し、評価点：4に低下して早期の付着性劣化を起している。

3ヶ月の段階では更に進歩したふくれ(162～小-D<)になり、評価点：1に低下した。これはIZとの付着性不良およびIZの高活性度に起因すると思われる。

S/P無の系は、3ヶ月の段階でふくれ(162-M)を発生し評価点：4に低下し、更に12ヶ月の段階でふくれ(168～2-D<)に進歩し評価点：2に低下した。

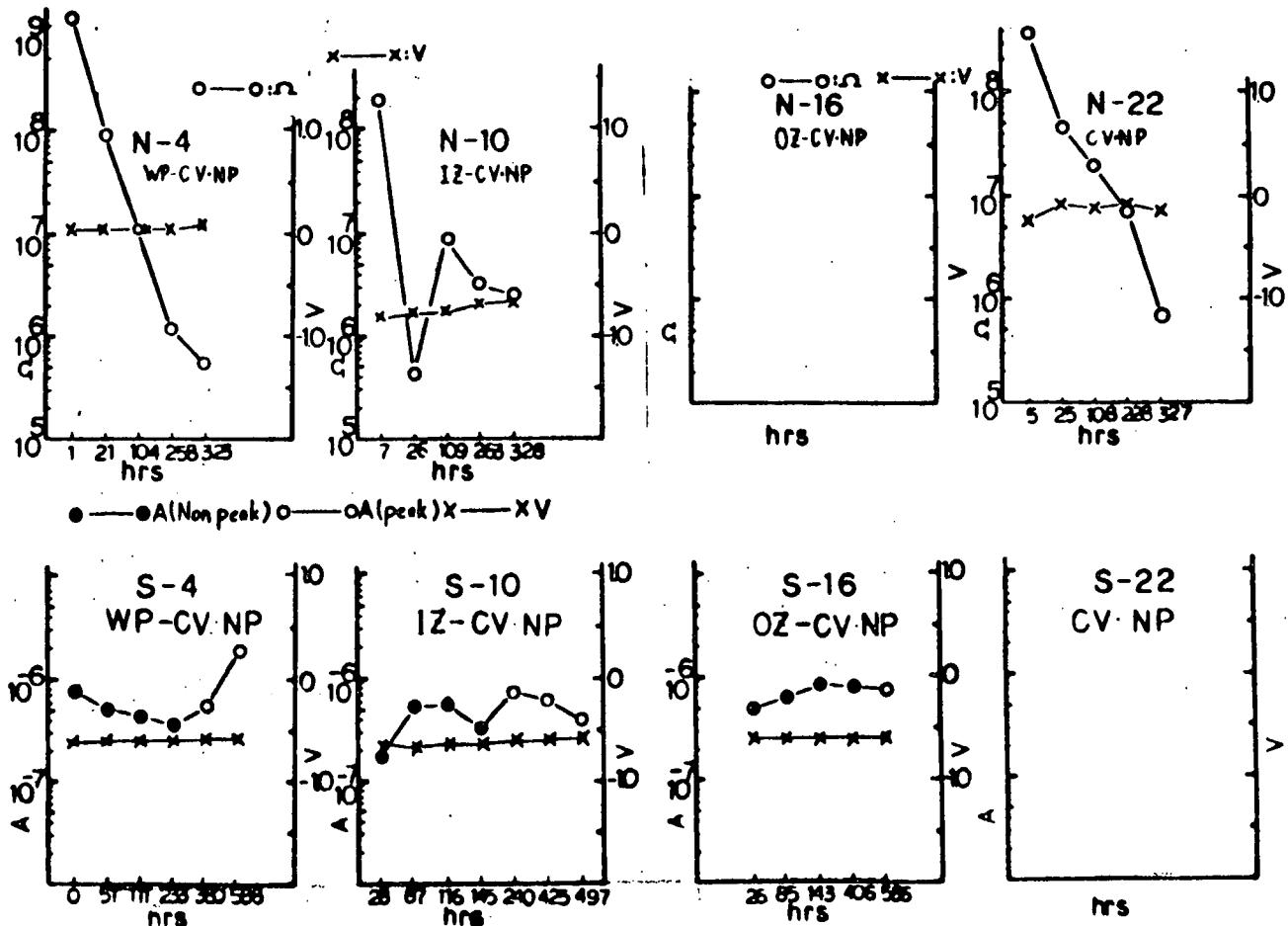
OZ系は3ヶ月の段階でふくれ(164-下>)を発生し、評価点：7に低下している。そのふくれは6,12ヶ月と徐々に進歩しているが18ヶ月の段階では、ふくれ(164～大-D)に進歩し、評価点：2に低下した。

WPの系はCV・NPと最もマッチングが良好であり、6ヶ月の段階でふくれ(162-下>)が発生し、評価点：8に低下するが、その後の進歩は、比較的遅く18ヶ月の段階においてもふくれ(168～大-M)であり、評価点：5に止まっている。

付着力は6ヶ月の段階でIZの系が30% (S/P-A/C間) OZの系が28% (S/P-A/C間) を示し、夫々評価点：8,7に低下している。更に12,18ヶ月の段階ではIZの系が32,26% (S/P-A/C) を示し評価点：5,7に低下しているが、OZの系は12ヶ月の段階で欠陥が無いものの、18ヶ月の段階では20% (S/P-A/C間) を示し、再び評価点：7に低下している。

(b) 干満潮帶浸漬試験

1 8ヶ月の段階で黄変現象が表われているがさびおよびふくれ等の欠陥はない。



WP系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^9 オーダであるが、経時の低下は著しく、 $9.09 \times 10^7 / 2 / \text{hr}$ 、 $1.08 \times 10^7 / 104 \text{hr}$ 、 $1.33 \times 10^6 / 258 \text{hr}$ 、 $5.56 \times 10^5 / 323 \text{hr}$ と透水の大きい事が明確に判断出来る。電位はCR・NPと同様に貴の値で推移し、WPの不動態化効果が認められる。

スクラッチ有の腐食電流(A)は、初期から233時間迄 10×10^{-7} オーダの範囲内で徐々に低下するが、ピークを伴う380時間以後は588時間にかけて急激に電流の増加が認められ、透水の大きな事が判断出来る。それは、スクラッチ部へのテープ引き剥しテストによっても認められ、スキマ腐食とは異った現象である。

IZ系

WP系と同様に透水が多い傾向を示すが亜鉛の電気的防食作用により、塗膜抵抗値は稍高い。しかし、電位の上昇と共に109時間以後は徐々に塗膜抵抗値が低下し、将来腐食が始まることを示している。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は一度上昇した後、145時間で下降しピークを伴う240時間で再び上昇する。この現象は亜鉛の消耗と鋼の腐食が進む事を示すと前述しているが、それはピークを伴った後に電流値が低下することによっても判断出来る。

OZ系

スクラッチ無のデータはないがスクラッチ有の電流値の変化および電位変化が極めて少ないため良好な耐食性を有していることが判断出来る。

S/P無系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)の変化は、WP系と全く同様な傾向を示し、透水の大きい事が明確に判断出来る。しかし、その電位変化はWP系に比べやや低く、鉄素地の腐食が始っている事が判断出来る。

スクラッチ有のデータが無いため明確な判断は出来ないが、WP系に比べ耐食性は低いと思われる。

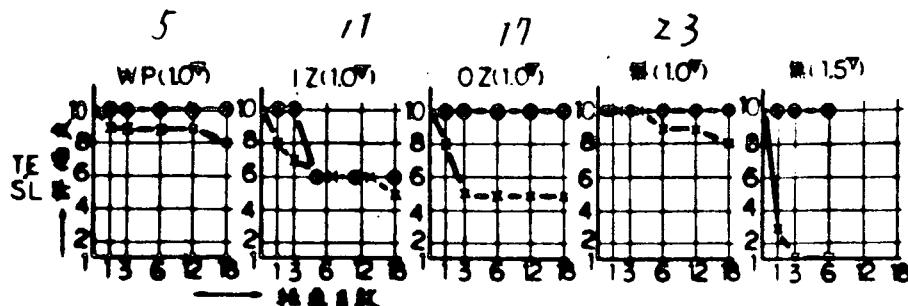
(d) 天然試験とコロージョンレートメータ試験の相関性

試験種	S/P	WP	IZ	OZ	無	
					1.0V	1.5V
CV NP	海水浸漬(18ヶ月)	8/5	9/4	5/2 干満潮帶 OK $\tan \delta : 2635$	3/2	10/1 (3ヶ月)
	一般部／スクラッチ部					
	コロージョン レートメータ 試験	外観 腐食評価	スクラッチ 無 スクラッチ 有	10/10 スクラッチ 無 スクラッチ 有	10/10 -/-10 -/-10	10/- -/-

CR・NPと全く同様の結果である。

(5) 低溶剤型タールエポキシ(TE・SL)

(a) 海水浸漬試験



一般部は、3ヶ月の段階迄S/P種に拘わらず良好な耐食性を示していたが、6ヶ月の段階でIZの系がふくれ(N.2～6～F)を発生し、評価点：6に低下している。しかし、それ以後18ヶ月迄進歩はなく、評価点：6を保っている。WP、OZ、S/P無の系は18ヶ月の段階迄良好な耐食性を示している。

スクラッチ部はIZ・OZの亜鉛末系で耐食性が低く、18ヶ月の段階では夫々ふくれ(N.4～大-F)、(大-F)を示し、評価点：5.5に低下している。

それに反し WP S/P 無系は 18 ヶ月の段階においても夫々ふくれ(大 - 3 ケ)、(M6 - F>)を示し、評価点：8.8 で耐食性は良好である。

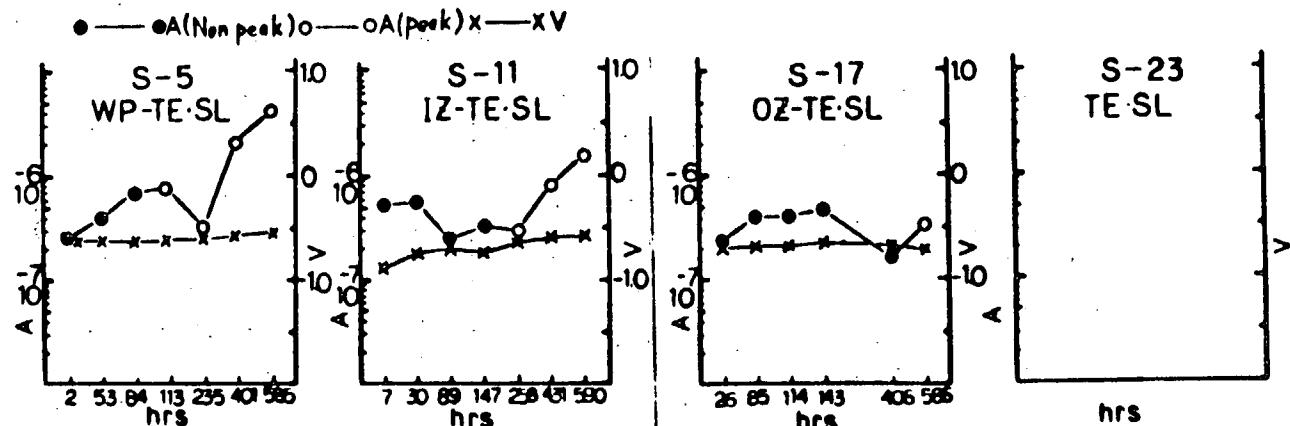
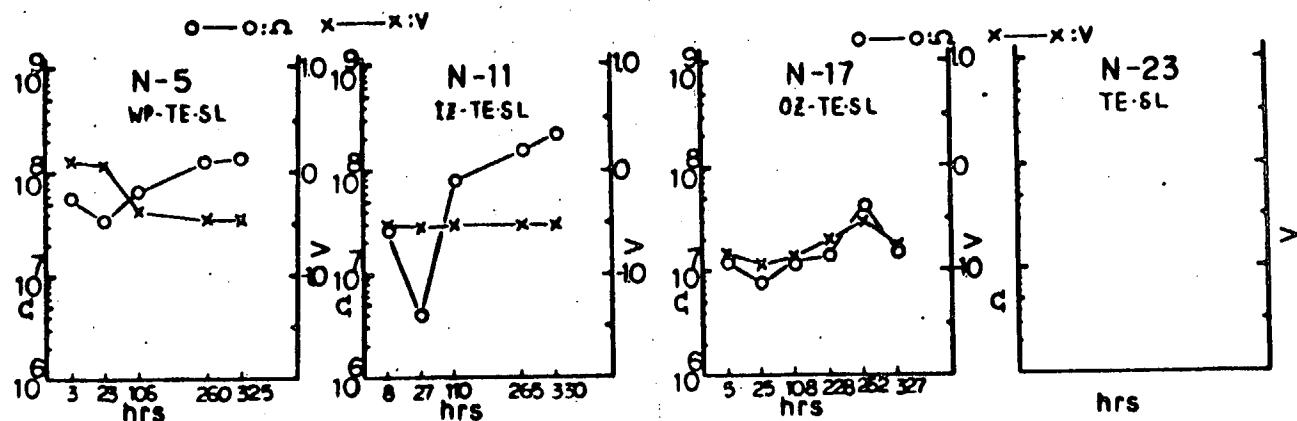
TE・SL の耐水性が非常に良好であることは、18 ヶ月後の $\tan \delta$ 値(0.086)で明確に判断出来るが、亜鉛末系の S/P とのマッチングは不良であり、ピンホール、スクラック等から S/P 層への侵食が大きい。

しかし、IZ・OZ に対する付着力が低い訳ではなく S/P の有無、種類に関係なく 35~75% の良好な付着力が得られている。

(b) 干満潮帯浸漬試験

18 ヶ月の段階でチョーキングを起しているが、充分な耐食性を示している。

(c) コロージョンレートメータ試験



WP系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^7 オーダであるが徐々に上昇し、260時間以後は、 10^8 オーダに達する。それに反し、電位は初期に貴の値で徐々に低下し、325時間後には-0.48Vを示す様になり僅かな透水は認められるが、耐食性は良好である。

スクラッチ有の腐食電流(A)は初期から84時間後まで序々に上昇するが、ピークを伴う113時間から235時間にかけて稍、低下し再び585時間迄 10^{-6} オーダに上昇する。電位は-0.6V付近で安定し、鉄の電位を示しているため、腐食の始まっていることが判断できる。

I Z系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^7 オーダであるが27時間後にふくれ(△8~4-M)を発生し 10^6 オーダに低下する。110時間後から生成物で塗膜抵抗が回復し、 10^8 オーダまで上昇する。しかし、その時点で付着性の低下は起っており、それはゴバン目テストによって完全な剥離を起している事によっても裏付けられている。

スクラッチ有の腐食電流(A)は初期から147時間まで 10^{-7} オーダの範囲内で推移しているが、ピークを伴う258時間以後は急激な上昇を示し590時間後には 10^{-6} オーダに達する。電位は初期の透水で-0.89Vを示すが、序々に消耗し、262時間以後は鉄の電位に近い-0.50Vに上昇する。しかし、スキマ腐食は少なく、良好な耐食性を示している。

O Z系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^7 オーダであるが25時間後にふくれ(△8~4-D)の発生によって 10^6 オーダに低下する。108時間以後260時間まで腐食生成物等で塗膜抵抗が回復し、 10^7 オーダに上昇する。しかし、その時点で付着性の低下は起っており、ゴバン目テストによって完全な剥離を起している。

スクラッチ有の腐食電流(A)は初期からピークを伴う586時間まで 10^{-7} オーダの範囲内で推移している。しかし、OZ層のスキマ腐食は可成り進んでおり、その影響で初期から586時間まで、-0.7V程度の電位を保っている。それは試験板のテープ引き剝しテストによって、スクラッチ周辺が5mm巾で剥離していることでも裏付けられている。

S/P無系

スクラッチ有無、共にデータはない。

(d) 天然試験とコロージョンレートメータ試験の相関性

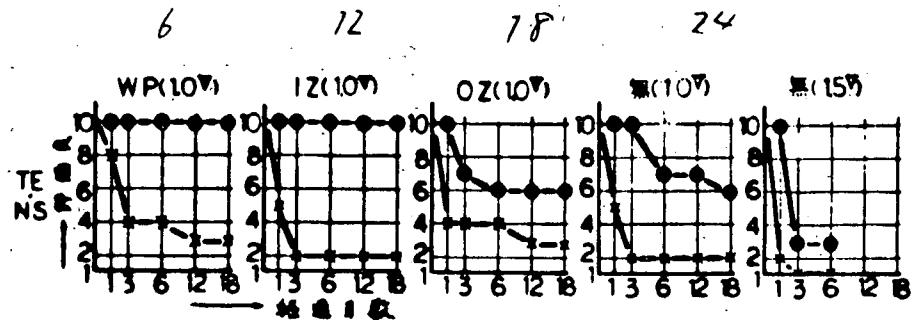
TE SL	試験種	S/P	W P	I Z	O Z	無	
						1.0V	1.5V
	海水浸漬(18ヶ月) 一般部/スクラッチ部		10/8	6/5	10/5 干満潮帶 OK $\tan\delta:0.086$	10/8	10/1 (6ヶ月)
	コロージョン レートメータ	外観	スクラッチ 無 / スクラッチ 有	10/10	5/9	3/7	- -
	試験	腐食 評価	スクラッチ 無 / スクラッチ 有	10/7	1/10	1/2	- -

TE・SL途装系のコロージョンレートメータ試験による腐食評価は、NT・ST、TE・STがWP・S/P無系では不良であるのと異なり、IZ、OZの系が不良である。

この原因はS/PとA/Cのマッチングに関係するものであり、天然試験のスクラッチ部においてもIZ、OZ系の評価が低くなっている。

(6) 無溶剤型タールエボキシ(TE・NS)

(a) 海水浸漬試験



一般部は1ヶ月の段階迄S/P種に拘わらず良好な耐食性を示していたが、3ヶ月の段階ではOZ系がふくれ($\text{M}8\sim4-\text{F}\sim\text{M}$)を発生したため評価点:7に低下している。6ヶ月の段階ではOZ系が更に進歩したふくれ($\text{M}8\sim2-\text{F}\sim\text{M}$)になり、評価点:6に低下する。S/P無の系はふくれ($\text{M}8\sim2-\text{F}$)を発生し、評価点:7に低下している。12・18ヶ月の段階ではOZ・S/P無系共ほとんどふくれの進歩はなく、夫々評価点:6,6を示している。

スクラッチ部では完全な耐食性を示すものではなく、18ヶ月の段階で夫々ふくれを多発し、評価点:2乃至1に低下している。

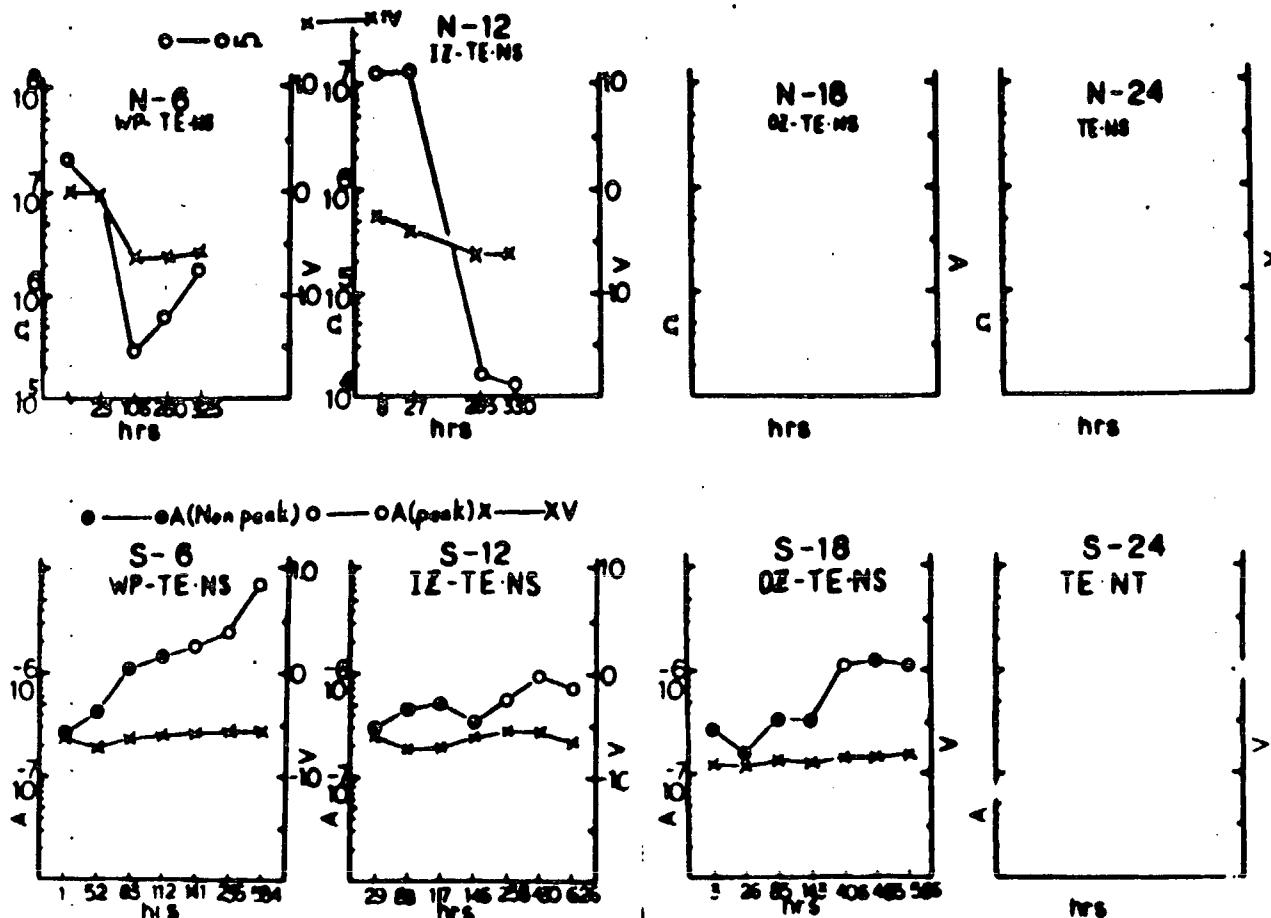
これらピンホール又はスクラッチ部の評価が低下する原因として、TE・NSの付着性不良、塗膜凝集力の過大が考えられるが、塗膜自体の耐透水性は充分持ち合せており、それは $\tan\delta$ 値が18ヶ月の段階で0.091に納っていることでも判断出来る。

付着力はS/P種に拘わらず良好である。

(b) 干満潮帶浸漬試験

6ヶ月の段階でクラッチが全面に発生し、18ヶ月の段階で評価点:8に低下している。

(c) コロージョンレートメータ試験



WP系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は初期に 10^7 オーダであるが、23~106時間にかけて発生したふくれ(M2~8-M)により 10^5 オーダに低下する。しかし、260時間以後325時間にかけて 10^6 オーダに上昇する。電位はそのふくれ発生と同時期に鉄の電位を示す様になり、WP層の侵食の起っていることが判断出来る。それはゴバン目テストにより、ハクリが起っていることでも裏付けられている。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、初期に 10^{-7} オーダを示すが52時間以後はふくれ(M2-F)を発生するため112時間で 10^{-6} オーダに上昇する。ピークを伴う141時間以後は、584時間にかけて急激に上昇し 10^{-5} オーダに近づいている。

この現象はスキマ腐食であると思われるが、電位がWPの不動態化作用を示さず、WP層の溶解は認められない。従ってふくれ発生個所に沿った侵食で電流の上昇を来たしたと考えるのが妥当であり、それはテープ引き剥しテストにより剥離が起らぬことによっても裏付けられる。

I Z 系

スクラッチ無の塗膜抵抗値(Ω)は、初期に 10^7 オーダであるが265時間から320時間にかけてふくれ(162~4~F~M)の発生により 10^4 オーダに低下し、電位もそれにつれて低下する。塗膜抵抗の著しい低下は透水の多いことを示しているが、それはI Z層のスキマ腐食を発生しており、ゴバン目テストによって完全に剥離している。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、初期から146時間後迄 10^{-7} オーダで推移するが、ピークを発生する258時間以後は 10^{-6} オーダに達する。又、電位も88, 117, 626 時間の段階で亜鉛の電気防食作用を示し、スキマ腐食の進んでいることが判断出来る。

それは、スクラッチ部へのテープ引き剥しテストで完全に剥離することによっても裏付けられている。

O Z 系

スクラッチ無のデータはない。

スクラッチ有の腐食電流値(A)は、初期に 10^{-7} オーダを示しているがピークを伴う406時間後にふくれ(164~8~D)を発生し、485時間以後はピークが消滅する。しかし、その電位は $-0.88V/3hr$, $-0.92V/26hr$, $-0.87V/143hr$, $-0.8V/586hr$ と異常に低く、スキマ腐食即ちO Z層の浸食が著しいことを示している。それは、スクラッチ部へのテープ引き剥しテストで完全に剥離することによっても裏付けられている。

S/P 無系

スクラッチ無、有共用データはない。

(d) 天然試験とコロージョンレートメータ試験の相関性

TE NS	試験種	S/P		WP	I Z	O Z	無	
		1.0V	1.5V					
	海水浸漬(18ヶ月)							
	一般部/スクラッチ部	10/3	10/2	6/3	干満潮帶: 8(微タレ) $\tan\delta: 0.091$	6/2	3/1 (6ヶ月)	
コロージョン レートメータ 試験	外観	スクラッチ 無	スクラッチ 有	4/5	4/5	-/3	-	-
	腐食評価	スクラッチ 無	スクラッチ 有	5/5	1/1	-/1	-	-

TE・NS塗装系のコロージョンレートメータ試験による腐食評価は、天然試験のスクラッチ部の評価と良く合致する。

特にI Z、O Zは評価が低くそれら塗装系には、促進試験法として適している。

1.4.7 まとめ

新しい船舶塗装系と流電防食併用に関する実験は18ヶ月経過後迄の観察を行って来たが、その耐食性評価はコロージョンレートメータ試験との相関性において掌握出来たものと思われる。

- ① NT・STとTE・SLの比較では、ノンタール化の耐食性低下に与える影響は稍大きい。
- ② タールエボキシ系塗料の低溶剤化は、耐食性に対する影響が少なく、WP・S/P無系は特に良好である。
- ③ タールエボキシ系塗料の無溶剤化は、耐食性を著しく低下させる。特に、天然試験におけるスクラッチ部とコロージョンレートメータ試験の評価が低く、塗膜凝集力の過大が付着性に影響を与えている。

- ④ 塩化ビニール、塩化ゴム系塗料の溶剤変更による耐食性低下は殆んどないものと思われる。
これら塗料は高PVCの影響で透水性を持ち、温度勾配法を適用したコロージョンレートメータ試験
で良好な評価を得る傾向がある。
- ⑤ 各塗装系共18ヶ月の段階迄付着力低下はない。
- ⑥ 天然試験とコロージョンレートメータ試験の耐食性評価は良く合致する。但し、その評価方法は、外
観、付着性、電気的計測値、塗膜下の挙動等から総合的に判断する必要がある。

参 考 文 献

- (1) 日本造船研究協会 S R 165部会報告書 昭5.2.3
- (2) 日本造船研究協会 S R 165部会報告書 昭5.3.3
- (3) 日本造船研究協会 S R 172部会報告書 昭5.4.3
- (4) 山本・尼子 コロージョンレートメータに塗装鋼板の防食性評価について 11.1978
- (5) 山本・尼子 カソード分極曲線による塗膜欠陥部の腐食形態の判定 防食技術 Vol.128 No.8 1979
- (6) 中川雅史 電気防食の実際 昭4.2.5
- (7) 秋山重雄 船舶の塗装系と電気防食についての一考察『中国塗料』 Vol.2-4 1968
- (8) 藤井・嶋谷 塗膜に及ぼす電気防食の影響『三井造船技報』第65号 昭4.1.1

2. 防汚塗料に関する研究

2.1 船底塗膜表面の流体抵抗の測定

(回転円筒による塗膜表面の抵抗測定)

2.1.1 研究の目的と概要

航行中の船舶の流体摩擦抵抗は、全抵抗の大部分を占め、船体表面の粗度に影響するところが大きい。船体の外板表面は滑面ではなく、船令とともに、また生物附着により粗度は著しく大きくなり抵抗を増加させる。

表面粗度と摩擦抵抗との関係は、模型船や平板の曳航試験によって推定することは極めて困難である。回転体による抵抗測定は比較的容易であるが、その結果を実船に応用し難い欠点がある。然しそれによる抵抗測定には排水抵抗を無視出来る利点を有するので、表面粗度と摩擦抵抗との関係を求めるのに有利である。

このような考え方で、回転円筒型摩擦抵抗測定装置を試作し、円筒表面に塗装された塗膜による摩擦抵抗を測定し、海水浸漬によって塗膜表面が汚損する結果、表面抵抗が如何に増加するかを研究する目的で本研究を計画し、実施した。

昭和54年度においては、ビニル系、油性系、塩化ゴム系の3種の船底塗料について、3ヶ月間の海水浸漬による表面抵抗の増加を測定し、表面粗度と摩擦抵抗係数との関係を求めた。

昭和55年度においては、塩化ゴム系の船底塗料3種について、天然海水と汎用海水に浸漬し、それぞれ表面粗度と抵抗の増加関係を求めようとした。

7月中旬に試験円筒の浸漬を開始し、8月、10月にそれぞれ1ヶ月、3ヶ月の浸漬による抵抗増を測定した。

本報告は、その結果をまとめ考察したものである。

2.1.2 試験の方法

(1) 試験円筒

試験円筒は53年度と同一の仕様で製作加工した。各円筒の寸法等を(表2.1.1)に示す。

(2) 摩擦抵抗の測定

(a) 摩擦抵抗の測定装置

昭和53年度に使用した測定装置を用いた。

(b) 摩擦抵抗の測定方法

供試円筒を測定装置に正しく装着した後、次の順序で抵抗を測定し記録する。

(i) 海水浸漬状態より引き掲げて試験円筒の上下端面を清拭、直ちに測定装置に装着し、1000RPMの回転速度で5分間抵抗を測定する。(スライム影響の判定)

(ii) (i)の操作の後、静止状態より200RPM毎に回転数を増加し、1600RPMまで各回転定常時の抵抗を測定記録する。

(iii) (ii)の操作の後、円筒を装置より取り外し室内にて24時間乾燥させ、再び装置に取り付けて(ii)の測定操作を行なう。

(ii), (iii)の測定はすべて同一条件で3回繰り返す。実際にはスライム等の脱落、塗膜の状態変化等により全くの同一条件とは云い難いが、抵抗測定の結果には大きな差は認められなかったので、測定値の整理は3回の平均値を用いることとした。

(3) 塗膜表面粗度の測定

円筒表面の粗度を測定することは困難であるから昭和53年度に行った方法と同様に、試験円筒と同一条件の塗装を施した塩化ビニル製の平板の表面粗度を測定し、円筒表面の粗度とした。平板は円筒と同一の条件で海水に浸漬し、所定時間経過の後、円筒と同時に引き揚げ室内にて24時間乾燥させた後に、それらの表面粗度を小坂式の触針移動型表面粗度計で計測した。測定装置、測定の手順、測定値の整理法は昭和53年度と同一である。

(4) 供試塗料の種類および塗装法

(a) 供試塗料

試験に供した塗料は塩化ゴム系塗料であり、含有防汚剤は、亜鉛化銅、有機錫である。各円筒及び粗度測定用平板の塗料種類と塗装データを(表2.1.2)に示す。

(b) 塗装法

円筒の表面に均一に塗装するため昭和53年度に実施した同様の装置を用い、円筒を30RPMで回転させながら50cmの距離より3.5kg/cm²の条件でスプレー塗装した。

粗度測定用平板表面の塗装も円筒表面の塗装とほぼ同じ条件となるように塗装した。

(5) 円筒及び平板の海水浸漬法

(a) 天然海水浸漬

供試円筒及び平板は東京商船大学内繫船池(隅田川)にそれぞれ上端が水面下20cm深さになるよう吊り下げて浸漬した。

(b) 沔過海水浸漬

上記繫船池の海水をポンプで引き、ウレタンホームの50mm層を透して撈過した後、屋外の撈過槽に送り、この撈過槽中に円筒と平板を浸漬した。流水量は21ℓ/hrであり、撈過槽内の水流は平均約10cm/minである。(約15minで水槽内の海水は新換される)

(6) 実験の経過

実験・測定等は(表2.1.3)の通りに実施された。

2.1.3 実験測定の結果

(1) 無塗装円筒の表面摩擦抵抗

塗装前の円筒表面の摩擦抵抗の測定結果を(図2.1.1)に示す。円筒相互の差はほぼ1%以下であり(図2.1.2)に示す如く、それらの差は主として円筒の寸法等の差によるものと考えられる。この程度の誤差は本測定装置の精度内にあるので、以後の塗装面の表面抵抗の測定値に対して、各円筒固有の相異は無視することにする。

1atmにおける水の動粘性係数は約0.0002cm²/sec(10°C~30°C)であり、表面摩擦抵抗は水温により変化する。昭和53年度行った実験結果から、抵抗測定時の水温による測定値の補正には次式を用いることとした。

$$T_0 = T_1 + T_1 \cdot a (t_0 - t_1)$$

但し $\begin{cases} T_0 = \text{水温 } 20^\circ\text{C} \text{ における補正軸トルク (kg-cm)} \\ T_1 = \text{水温 } t_1^\circ\text{C} \text{ における実測軸トルク (kg-cm)} \\ t_0, t_1 = \text{水温 } 20^\circ\text{C, 測定時の水温 (C)} \end{cases}$

$$a = \text{軸トルクの温度補正係数 } (\approx 3/1000)$$

温度補正係数は塗装円筒に対しては塗膜の性質により厳密には一定でないが今回はこれを考慮しない。

(2) 塗装円筒の軸トルク測定結果

(表2.1.2)に示した供試各円筒の塗装後、1ヶ月海水浸漬後(撈過海水、天然海水)、3ヶ月浸漬後(同)における軸トルクの測定結果を(図2.1.3)より(図2.1.8)に示す。

軸トルク測定法 2.1.2(2)で述べた通り、円筒は海水より引き揚げた後、円筒の上下両端面に付着している汚損物を水洗除去し、湿润状態のままで抵抗測定装置に装着し、1000 RPMの回転速度で約10 min予備回転させる。この予備回転の初期に、円筒表面の泥状のスライムは脱落し、抵抗が定常値を示すのを確認する。3ヶ月浸漬における円筒01, 02は予備運転中のスライム脱落、従って抵抗変動が大であったが、数分後に定常値を得た。予備運転完了後、湿润塗膜の状態における表面摩擦抵抗を、0より200 RPM毎に增速しつつ1600 RPMまであげ、各回転時の軸トルクの測定を行った。(標準測定法)。この測定後円筒を装置より外に、室内で24時間乾燥させた後、再び乾燥塗膜について標準測定法によって表面抵抗(軸トルク)を測定した。湿润塗膜による軸トルク測定値と乾燥塗膜による測定値とは殆んど差がないことが判ったので、各測定値の相互比較はすべて乾燥塗膜による測定値によることにする。前述の(図2.1.3)～(図2.1.8)は、各円筒の乾燥塗膜による測定結果で示したものである。

乾燥塗膜および表面の汚損物は、水槽中で膨潤脱落することも考えられるが、実際の測定値にはそれ程の差は生じなかったので測定値は3回の実測値の単純平均で示した。

(図2.1.9)、(図2.1.10)は同一回転における抵抗の変化傾向を示す。(図2.1.9)は沪過海水に浸漬した円筒01(塩化ゴム・亜酸化銅)、04(塩化ゴム、有機錫+亜酸化銅、溶出速度・遅)および05(塩化ゴム、有機錫+亜酸化銅、溶出速度・速)の摩擦抵抗(軸トルク)の変化を示す。1ヶ月浸漬における抵抗値は比較的大であり、特に円筒04, 05では3ヶ月浸漬における抵抗値より大きかった。これは沪過海水槽に海水を送入する海水ポンプが一時停止し(浸漬開始後20日より5日間)その間に水槽内水温が上昇し更に水位が低下し、円筒表面に影響をあたえた結果によるものと考えられる。

また、無塗装円筒面の抵抗より塗装円筒面(浸漬前)の抵抗が小であるが、このことは前回(昭和53年次の結果)と同様な傾向であり、表面抵抗は表面の粗さ以外の表面の物性にも影響されることを実証しているものと考えられる。

(図2.1.10)は、天然海水に浸漬した円筒02(塩化ゴム・亜酸化銅)、06(塩化ゴム・有機錫+亜酸化銅、溶出速度遅い)および07(塩化ゴム・亜酸化銅+有機錫、溶出速度速い)の摩擦抵抗の変化を示す。1ヶ月浸漬による摩擦抵抗の増加は、円筒02に認められるが、06, 07では認められない。3ヶ月浸漬では稍々増加しているが、円筒07の抵抗増加は僅少である。

(3) 表面の汚損状態および表面粗度

浸漬1ヶ月後の円筒表面の汚損状況を写真2.1.1, 2.1.2, 2.1.3にまた粗度測定用平板の写真を写真2.1.4, 2.1.5, 2.1.6に示す。いずれの面も僅かにスライム・藻類が付着しているが、円筒01, 04, 05の沪過海水に浸漬したものは稍々乾燥固化の傾向が見える。

3ヶ月浸漬後の表面状況は写真2.1.7, 2.1.8, 2.1.9に示す。円筒01, 02には引き揚げ直後において泥状スライムがかなり多量に付着していたが、抵抗の予備測定中に殆んど脱落し写真で見る如く他の円筒と同様かむしろよりなめらかに見える。

以上の表面状況の観察評価を点数評価でまとめたのが(表2.1.4)である。評価は6段階とし、汚損の大なるもの程、大なる数字評価を与える。各円筒による汚損程度の大小はつけ難い。

次に平板の表面粗度を小坂式触針型表面粗度計で測定した結果を(表2.1.5)に示す。同表には平板に相当する円筒の番号も記入してある。実際には、平板と円筒の表面汚損状況を全く等しいとは出来ないが便宜上平板表面の粗度測定値は同一の塗装をした相当する円筒表面の粗度に等しいものと仮定する。

なお、表面粗度は中心線粗さ(平板中心線上の平均粗さ)、次乗平均粗さ、十点平均粗さ、最大粗さで表示した。これらの粗さの変化を図に示したのが(図2.1.11)である。最大粗さは1ヶ月浸漬の方

が3ヶ月浸漬より大となり、特に円筒0.1, 0.4, 0.2でその傾向が大である。十点平均粗さについてもこの傾向は同様である。このような傾向は(表2.1.5)の表面汚損状況の観察評価の結果とは必ずしも対応していない。

次乗平均粗さと、中心線平均粗さは円筒0.2を除き、浸漬月数に応じて増加の傾向を示している。実際には測定した平板の面が一様の粗度分布しているものではなく、粗度測定部分の状態は一定ではないのでこれらの値をもって円筒表面の粗度とするのは無理である。

以上のことから考慮したうえ、一応、中心線平均粗さを代表粗度と仮定する。なお、今回は昭和53年度の測定で用いた粗面の粗さの平均波長は判定困難であり、計測しなかった。

2.1.4 考 察

(1) 軸トルクと円筒周速との関係

円筒回転時の軸トルクと円筒周速との関係を各円筒毎に図示し、それらを(図2.1.12)、(図2.1.13)、(図2.1.14)、(図2.1.15)、(図2.1.16)、(図2.1.17)に示す。軸トルク(kg-cm)と円筒周速(m/sec)との関係は、それらの図に示されるように両対数紙上で直線関係となり、周速が 4 m/sec 付近(レイノルズ数 約 1.7×10^6)で屈折する。

この関係は次式で示される。

$$T = K \cdot V^m \quad (2)$$

但し $T = \text{軸トルク} \quad (\text{kg-cm})$

$V = \text{円筒の周速度} \quad (\text{m/sec})$

$K = \text{定 数}$

$m = \text{定 数}$

(2)式中の定数Kは摩擦抵抗係数に相当し表面の状態粗度に影響される。またmは速度指数であり、必ずしも一定とならずKと同様円筒表面の状態によって変化する。

各円筒について、軸トルク-周速度の関係図よりそれぞれのKとmの値を求め、(表2.1.6)及び(表2.1.7)に示す。このK, mの値を円筒の浸漬期間に対して図示し(図2.1.18)に示す。

Kは摩擦抵抗係数に相当する値であるから表面の汚損が進み、表面粗度が増加するはずであるが、(図2.1.18)は必ずしもそのような傾向を示していない。特に0.6円筒では浸漬3ヶ月におけるKは減少している。この理由はよくわからないが、速度指数mとの関係で、さらに検討する必要がある。

mは円筒の周速に関係し、円筒表面と水流との接触面における流れの変化、水槽内の水の流れ、渦等に影響される。(図2.1.18)によればmは円筒表面の汚損が進むにしたがって僅かに減少するようであるがあきらかではない。

Kとmとの関係は(図2.1.19)に示す如く、低速域(4 m/sec 以下)と高速域($4 \text{ m/sec} \sim 10 \text{ m/sec}$)とで、それぞれ比例的の傾向を示す。

(2) 摩擦抵抗係数

今測定した軸トルクの値は摩擦抵抗に等しいと仮定し次式の関係が成立するものとする。但し、軸トルクは水温による補正值を用いる。

$$T \cdot g = f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot L \cdot S \cdot V^2 \quad (3)$$

但し、 $T = \text{軸トルク} (= \text{摩擦抵抗}) \quad (\text{g-cm})$

$g = \text{重力の加速度} \quad (980 \text{ cm/sec}^2)$

$\rho = \text{水の密度} \quad (\text{g/cm}^3)$

$L = \text{円筒の周長} \quad (\text{cm})$

$$S = \text{円筒の周表面の面積 (cm}^2)$$

$$V = \text{円筒の周速 (cm/sec)}$$

$$f = \text{摩擦抵抗係数}$$

(3)式においてTは回転円筒の場合、排水影響を無視できるものとして摩擦抵抗と等しいと考えた。周速Vにかかる指数は定数の2を用いたが実際には水槽内に発生する渦の影響を考慮し、式(2)におけるように表面状態に関係する指数mを用いるべきかも知れない。以上のことより、円筒表面の実際の摩擦抵抗はTの値より小さいであろう。 ρ は水温によって変化するが、 $\rho = 1.0$ 一定とした。実際の ρ の変化は水温10°Cの上昇により約0.2%小となる。

(3)式より摩擦抵抗係数fの値を各円筒、各浸漬期間毎に計算で求め、(4)式で示す。レイノルズ数Rnに対して図示し、(図2.1.20)～(図2.1.25)に示す。

$$R_n = L \cdot V / \nu \quad (4)$$

$$\nu = \text{水の動粘性係数 (cm}^2/\text{sec})$$

$$L = \text{円筒の周長 (cm)}$$

$$V = \text{円筒の周速度 (cm/sec)}$$

これらの図によれば摩擦抵抗係数の対数はレイノルズ数の対数に比例しレイノルズ数が約 1.5×10^6 附近で屈折することを示している。

(3) 摩擦抵抗と表面粗度との関係

昭和53年度における報告でも述べたよう(2)式のKは次式で示すことができる。

$$K = f' \cdot \rho / 2 g \cdot L \cdot S \quad (5)$$

(5)式の f' は本実験における摩擦抵抗係数であるが、 f' はKに比例するのでこのKについて、円筒表面粗度との関係を検討することとする。今回の粗度測定では2.1.3(3)の項で述べたように表面粗さの平均波長を求められなかったので、前報の如く R_n (=平均粗さ/粗さの平均波長)で表面粗度を代表できない。従って、表面粗度の浸漬による増加傾向を比較的よく表わしている。中心線平均粗さRaを用いて、RaとKとの関係を求め(図2.1.26)の上の図に示す。(図2.1.26)では表面粗度(中心線平均粗さ)とKとの間には殆んど相関が認められない。

次に中心線粗さと軸トルクとを1000回転時、1400回転時について比較し、(表2.1.8)および(図2.1.26)の下の図に示す。この場合にも各円筒とも分散が大で、特に両者間の相関を認められない。

同様に(3)式による f と中心線平均粗さとの関係も(図2.1.27)に示すように相関は得られない。

これらの結果を総合して考察すれば、今回の実験(浸漬期間3ヶ月)では、円筒・平板の表面汚損状態が軽微であり、塗膜表面の粗度変化も、粗度測定の精度をあまり越えない範囲内であったために抵抗測定の精度とも関連して有意的な相関関係を求めるまでには至らなかったものと推定される。

(2)式、(3)式および(5)式によって円筒表面の摩擦抵抗係数は、K, f, f'に相当すると考えるが、(図2.1.28)に示す如くKとfの間には一部の例外(図の点線の範囲)を除けば、ほぼ相関が認められる。又、TとKの関係についても同様である。これらの相関がそれ程高くないのは、円筒表面の自然状態における汚損が複雑で一様でなく抵抗測定値に影響した結果によるものと考える。

2.1.5 まとめ

本年度の研究においては、円筒表面の汚損条件、塗膜の劣化条件を天然海水浸漬と沪過海水浸漬とにわけ、それぞれの状態による抵抗増加の傾向を知ろうとした。

然し、実験期間が3ヶ月であり使用した塗料の性能からみて明らかな差を生ずるまでに至らず、抵抗増加の傾向、表面粗度と抵抗の関係を明らかにすることはできなかった。

$$\text{抵抗 (軸トルク)} : T = K \cdot V^m$$

の式において、Kは表面粗度に関係し、摩擦抵抗係数に相当する値であり、レイノルズ数には関係しない。mは速度指数でありやはり表面の状態に関係し、レイノルズ数にも関係する。このことは前報でも述べたが、今後さらに実験を継続してこれらの関係を明らかにしたい。また、汚損した塗膜の粗度評価法についても検討し、船底塗料と表面抵抗との関係を研究するための一助としたい。

表 2.1.1 円筒(無塗装)の寸法・重さ

円筒の番号	平均直径 mm	平均高さ mm	周囲表面積 cm ²	円筒の重さ gr
0 1	114.23	204.05	731.89	858.10
0 2	114.20	203.73	730.55	860.12
0 4	114.03	204.40	731.86	863.32
0 6	114.30	203.98	732.09	862.86
0 5	114.18	204.18	732.04	857.35
0 7	114.23	204.47	733.40	864.84
10筒の平均	114.19	204.28	732.46	862.89

表 2.1.2 塗料の種類と塗装

塗料の種類	海水浸漬条件	円筒			相当する粗度 測定用平板	
		番号	塗膜厚さ μm			
			A/C×1	A/F×2		
塩化ゴム系； 亜酸化銅標準	沪過海水	0 1	5 6	7 2	0 1 · 0 5	
	天然 "	0 2	9 0	9 0	0 9 · 1 3	
塩化ゴム系 有機錫+亜酸化銅 (溶出速度遅い)	沪過海水	0 4	7 2	1 2 5	0 2 · 0 6	
	天然 "	0 6	9 5	1 2 5	1 0 · 1 4	
塩化ゴム系 有機錫+亜酸化銅 (溶出速度速い)	沪過海水	0 5	8 8	1 2 5	0 3 · 0 7	
	天然 "	0 7	9 0	1 3 0	1 1 · 1 5	

表 2.1.3 実験・測定の経過

期間(月・日)	作業の内容	備考
4月	円筒および平板の製作	
5月 11・12日	無塗装円筒の抵抗測定	水温: 17.0 ~ 18.0 °C
6月	円筒および平板の塗装	
7月 10・11日	塗装された円筒の抵抗測定	水温: 24.8 ~ 25.0 °C
7月 19日	塗装円筒・平板の海水浸漬	
8月 22・23日	浸漬1ヶ月後の諸測定	水温: 27.3 ~ 27.5 °C
10月 27・28日	浸漬3ヶ月後の諸測定	水温: 19.0 ~ 19.2 °C
2月	浸漬6ヶ月後の諸測定	予定

表 2.1.4 円筒および試験板(粗度測定用)の汚損状況

円筒	浸漬1ヶ月		浸漬3ヶ月		板	浸漬1ヶ月		浸漬3ヶ月	
	スライム	藻類	スライム	藻類		スライム	藻類	スライム	藻類
01	1	1	3→1	2	01		2		1.5
					05		2		1.5
02	1	1	3→1	2→1	09		1		1
					13		1		1
04	1	1	1	2	02		2		1.5
					06		2		2
06	1	1	1	2	10		0.5		1
					14		1		1
05	1	1	1	2	03		2		1
					07		2		1
07	1	1	1	2	11		1		2
					15		1		2

(註) 1ヶ月浸漬: 天然海水浸漬では藻類とスライムが薄く附着
 沖縄海水浸漬ではスライムが比較的硬く附着
 3ヶ月浸漬: 藻類(ヒビミドロ)がスライムと共に薄く附着
 一般に附着物は抵抗測定により殆んど脱落しない。但し、円筒01, 02
 面に附着した泥状のスライムは調整回転時(1000 rpm)に脱落した。
 以後の抵抗標準測定時には影響が認められない。

表 2.1.5 浸漬による塗膜表面粗度の変化

板番号	円筒番号	浸漬月数	中心線粗さ	次乗平均粗さ	十点平均粗さ	(R _{max})
01	01	0月	0.4	0.5	5.2	13.1
		1〃	1.25	1.45	13.0	20.0
		3〃	2.3	2.4	12.0	16.0
		6〃				
09	02	0月	0.5	0.8	6.0	13.5
		1〃	1.3	1.6	10.2	16.2
		3〃	1.5	1.7	6.9	13.7
		6〃				
02	04	0月	0.5	0.6	5.5	11.9
		1〃	1.0	1.1	11.7	17.9
		3〃	1.85	2.1	9.5	13.5
		6〃				
10	06	0月	0.6	0.6	6.5	8.0
		1〃	0.7	0.75	5.8	14.0
		3〃	1.6	1.9	7.4	13.9
		6〃				
03	05	0月	0.7	0.8	7.1	13.2
		1〃	0.5	0.6	6.0	11.3
		3〃	1.1	1.35	5.3	8.1
		6〃				
11	07	0月	0.7	0.7	5.4	8.5
		1〃	0.9	1.1	9.9	12.8
		3〃	1.5	1.7	8.2	11.8
		6〃				

(註) 粗さの単位は $\mu\text{m} \times 10$ 表 2.1.6 $T = K \cdot V^m$ の定数mとKの値 ($V=4 \sim 10 \text{ m/sec}$)

円筒番号	浸漬0ヶ月(塗装後)		浸漬1ヶ月		浸漬3ヶ月	
	m	k	m	k	m	k
01	1.655	0.278	1.702	0.278	1.540	0.386
02	1.692	0.248	1.651	0.273	1.558	0.337
04	1.618	0.297	1.713	0.249	1.686	0.318
06	1.666	0.281	1.601	0.325	1.743	0.235
05	1.538	0.344	1.717	0.249	1.686	0.318
07	1.634	0.287	1.685	0.257	1.634	0.287
平均	1.634	0.289	1.678	0.272	1.641	0.313

表 2.1.7 $T = K \cdot V^m$ の定数・ m と k の値 ($V = 2 \sim 4 \text{ m/sec}$)

円筒番号	浸漬 0 ケ月(塗装後)		浸漬 1 ケ月		浸漬 3 ケ月	
	m	k	m	k	m	k
0 1	1.216	0.502	1.310	0.464	1.183	0.632
0 2	1.219	0.491	1.201	0.509	1.265	0.502
0 4	1.158	0.538	1.328	0.444	1.259	0.524
0 6	1.303	0.509	1.421	0.381	1.328	0.468
0 5	1.208	0.532	1.539	0.319	1.231	0.508
0 7	1.291	0.463	1.397	0.389	1.195	0.528
平均	1.232	0.514	1.366	0.418	1.243	0.527

表 2.1.8 各円筒 1000, 1400 RPM 時の軸トルクと摩擦抵抗係数

円筒番号	1000 RPM		1400 RPM		浸漬月数
	$T \text{ Kg-cm}$	$f \times 10^{-4}$	$T \text{ Kg-cm}$	$f \times 10^{-4}$	
0 1	5.262	10.83	9.141	9.60	0
	5.570	11.50	10.030	10.57	1
	5.890	12.17	10.050	10.58	3
0 2	5.028	10.35	8.823	9.27	0
	5.080	10.50	8.950	9.44	1
	5.340	11.00	9.060	9.53	3
0 4	5.438	11.13	9.313	9.72	0
	5.500	11.29	9.900	10.37	1
	5.600	11.46	9.730	10.16	3
0 6	5.525	11.53	9.450	10.06	0
	5.150	10.76	9.150	9.75	1
	5.400	11.25	9.525	10.13	3
0 5	5.350	11.20	9.120	9.74	0
	5.475	11.47	9.575	10.24	1
	5.350	11.18	9.450	10.08	3
0 7	5.250	10.96	8.975	9.56	0
	5.050	10.55	8.800	9.38	1
	5.120	10.67	9.050	9.62	3

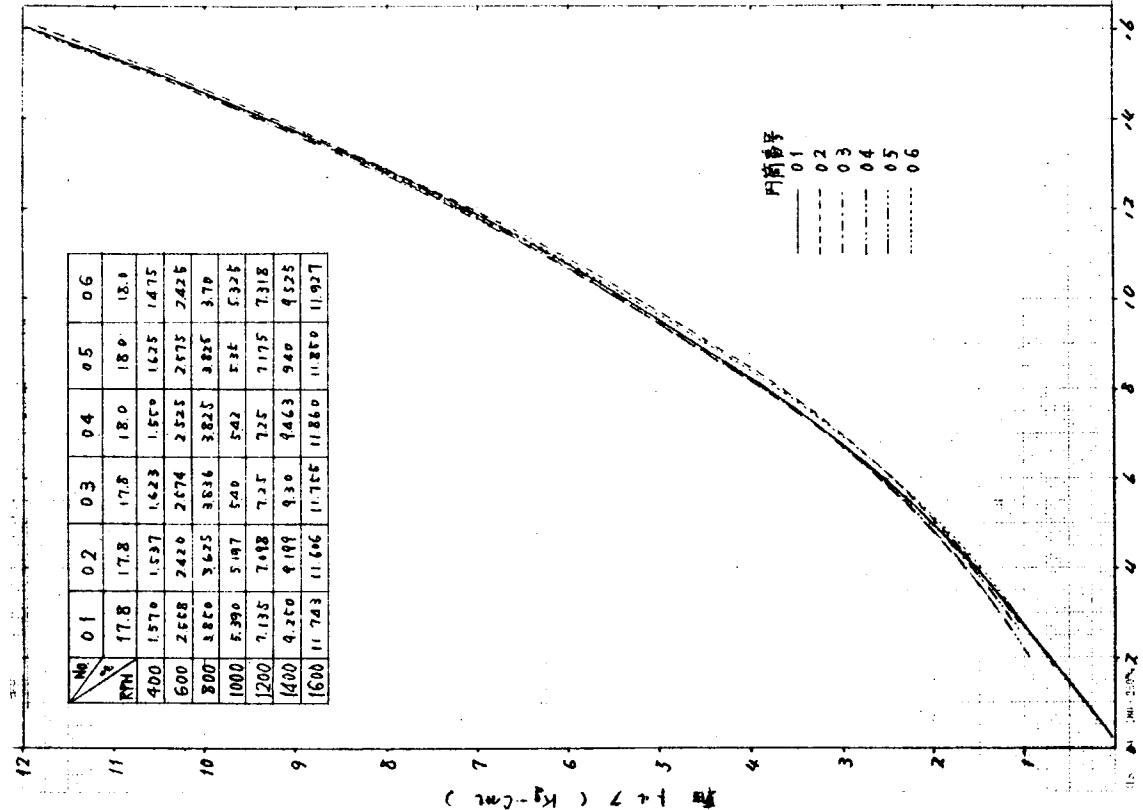


図 2.1.1 無塗装円筒の摩擦抵抗(軸トルク)

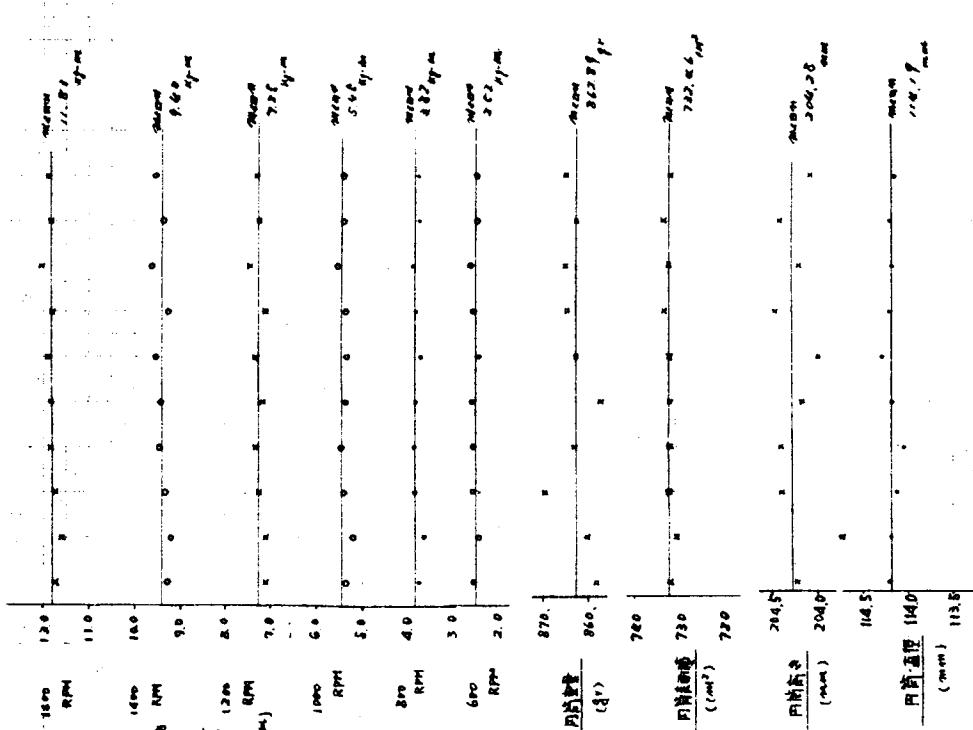


図 2.1.2 無塗装円筒の諸計測値の相互比較

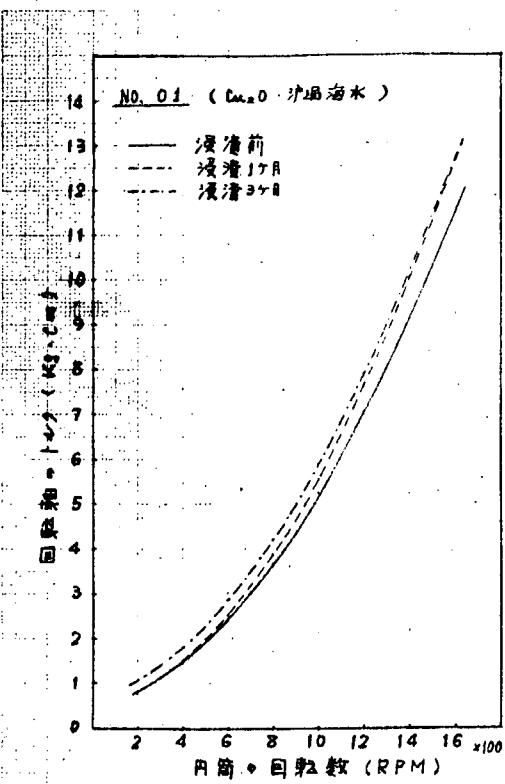


図 2.1.3

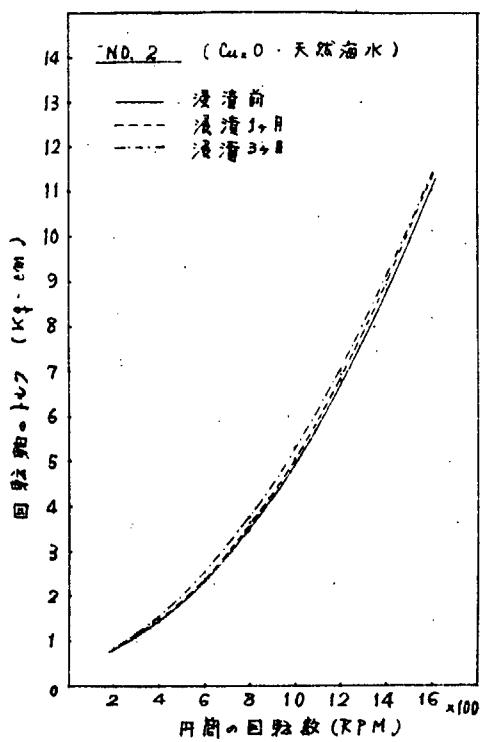


図 2.1.4

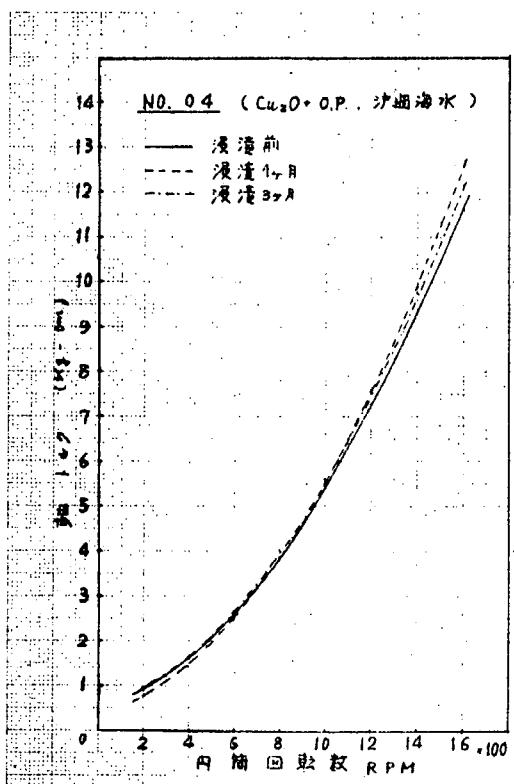


図 2.1.5

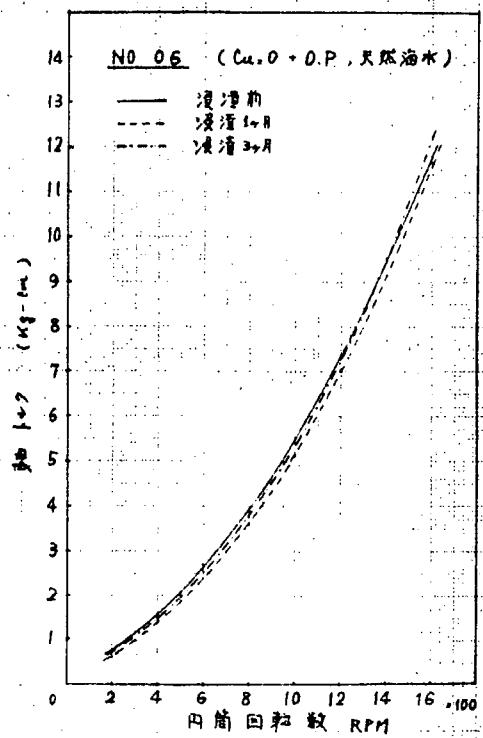


図 2.1.6

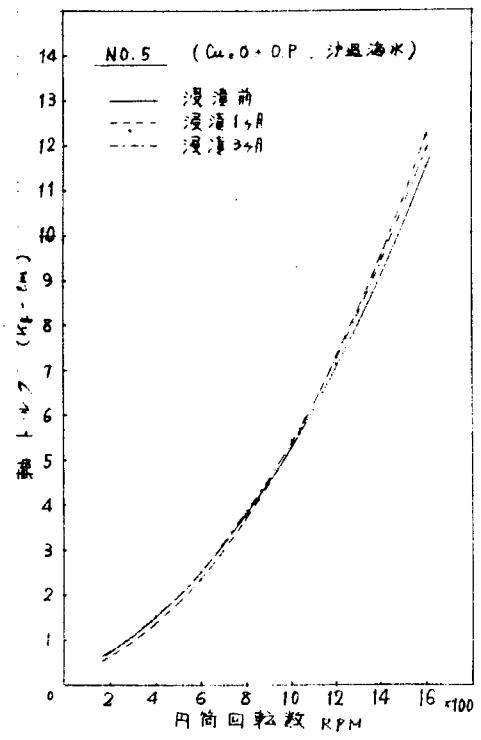


図 2.1.7

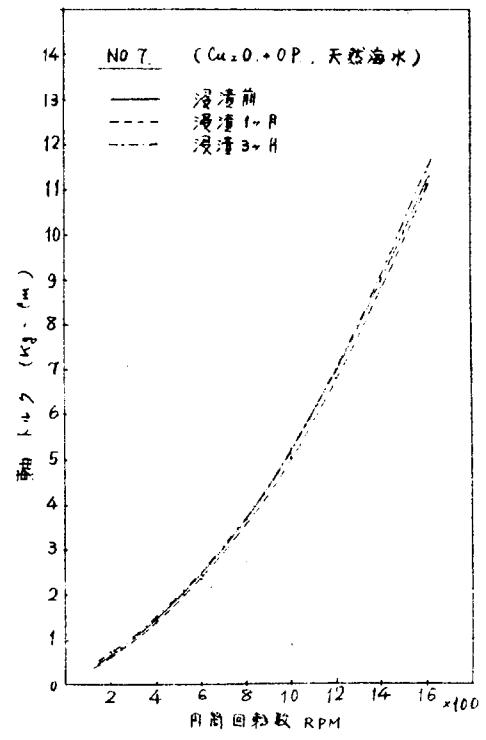


図 2.1.8

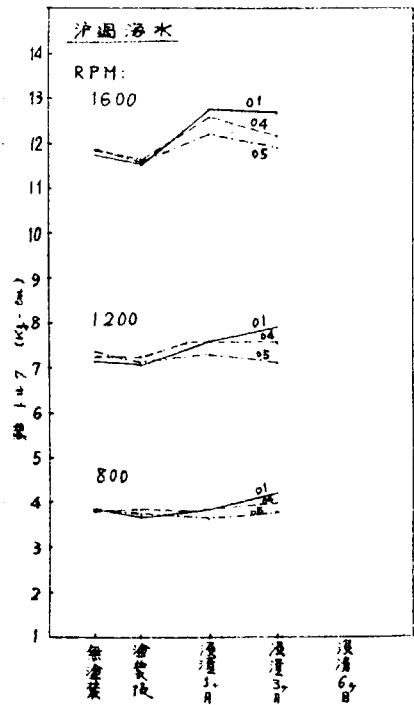


図 2.1.9 軸トルクの変化(沖縄海水)

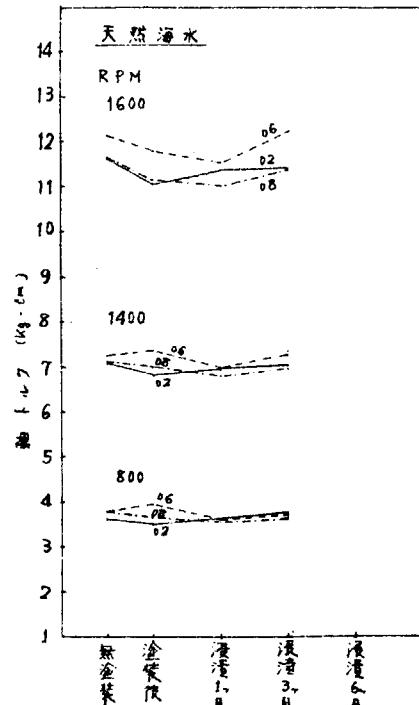


図 2.1.10 軸トルクの変化(天然海水)

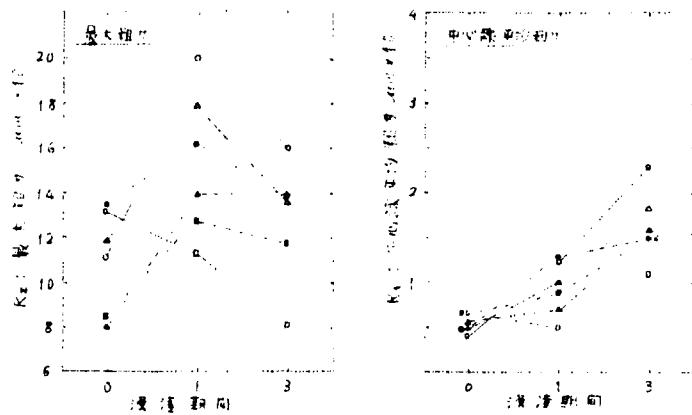
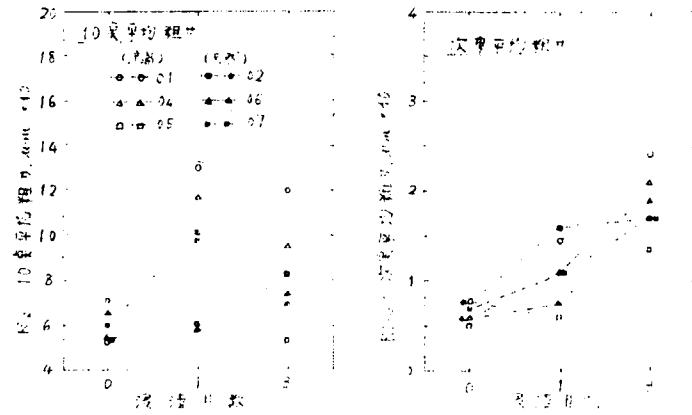


図 2.1.11 円筒表面粗度の浸漬による変化

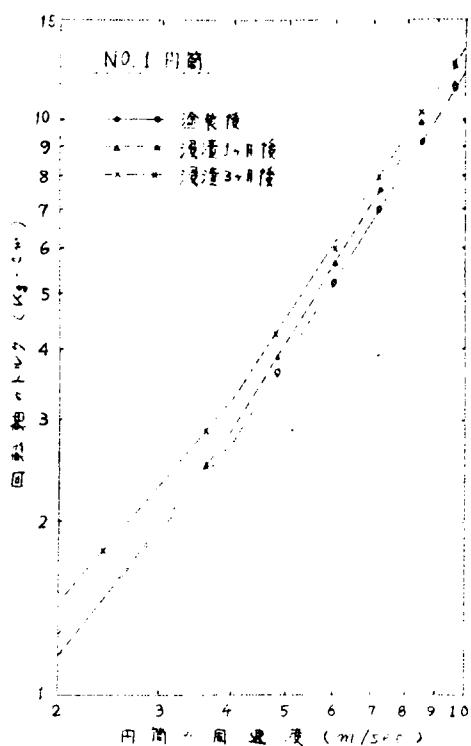


図 2.1.12

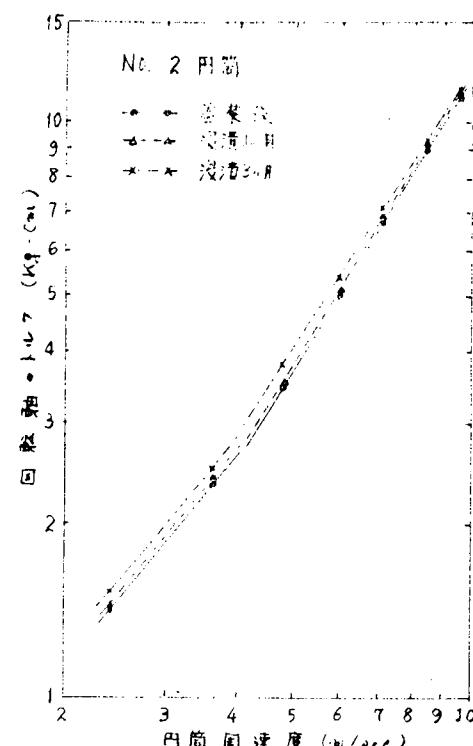


図 2.1.13

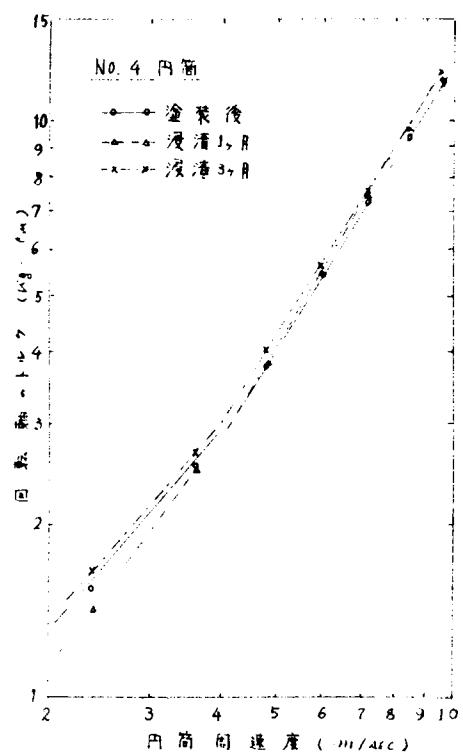


図 2.1.14

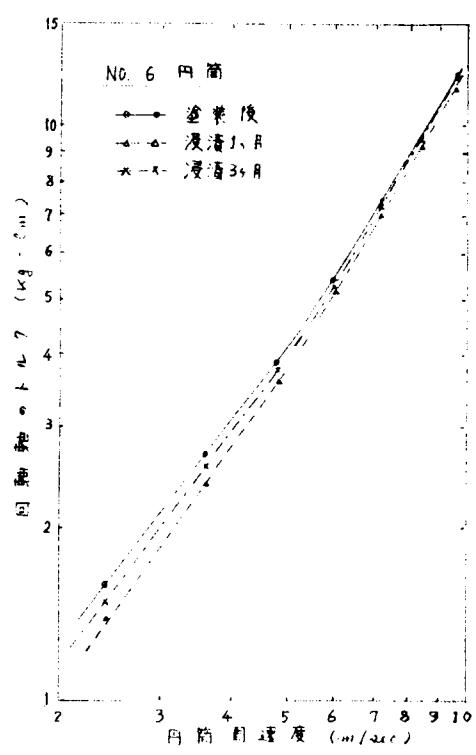


図 2.1.15

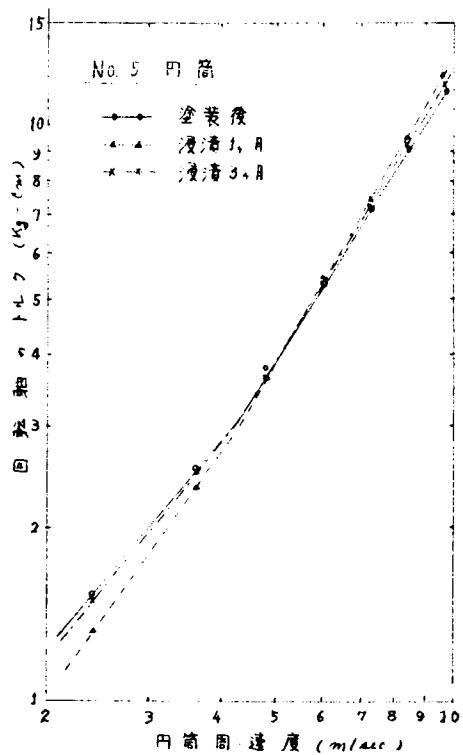


図 2.1.16

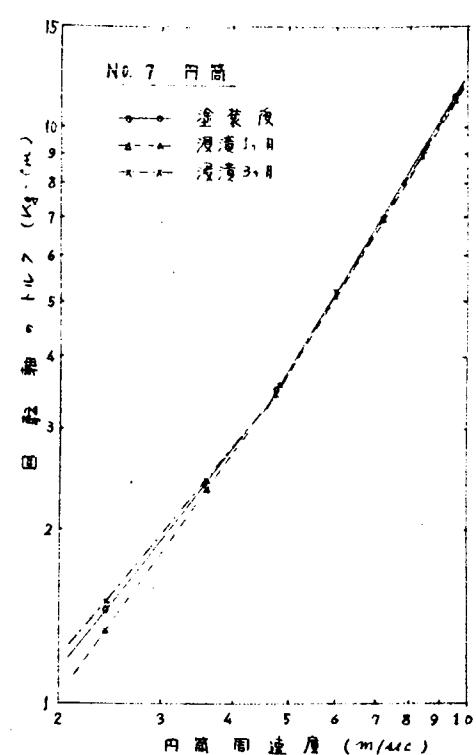


図 2.1.17

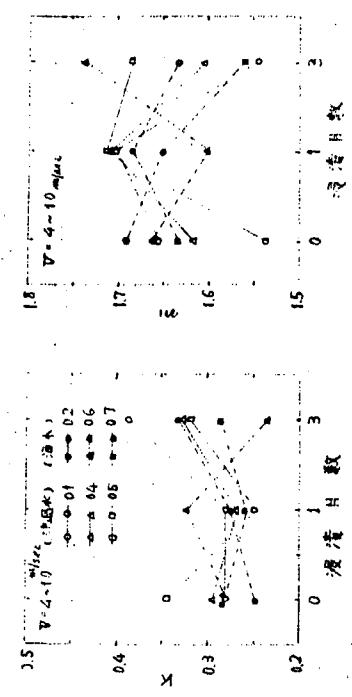
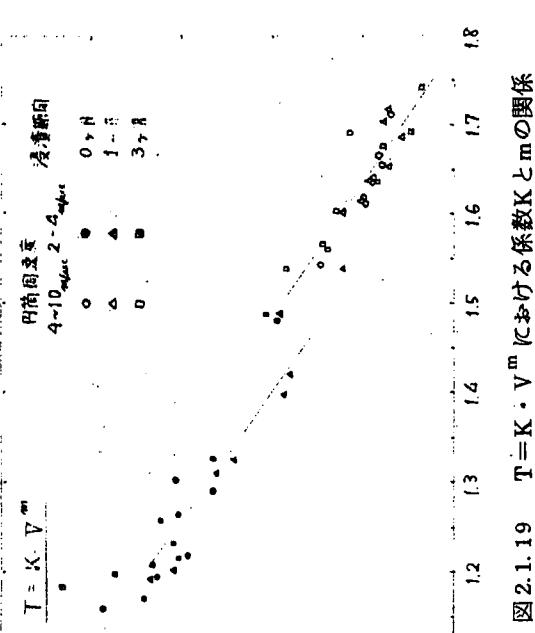
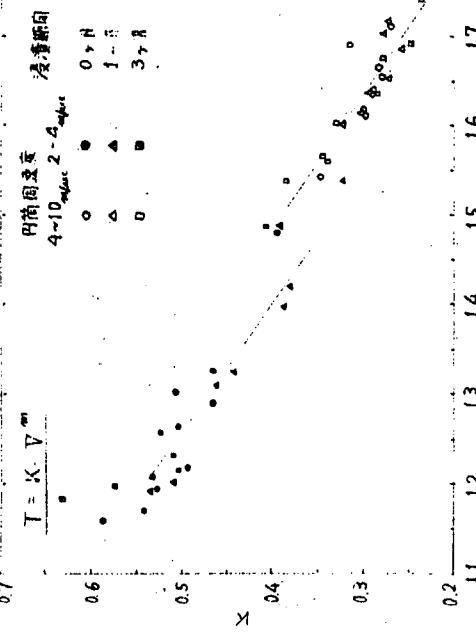
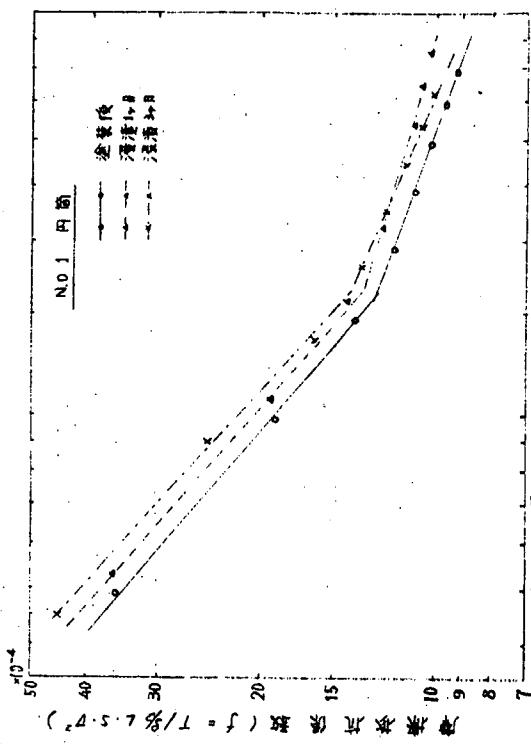


図 2.1.18 浸漬期間によるKおよびV^mの変化



- 91 -

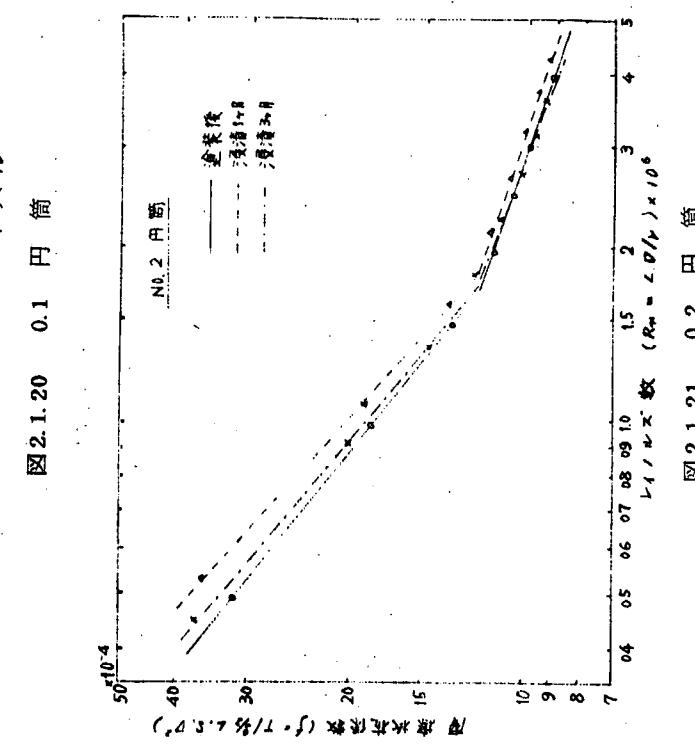


図 2.1.19 T=K・V^mにおける係数Kとmの関係

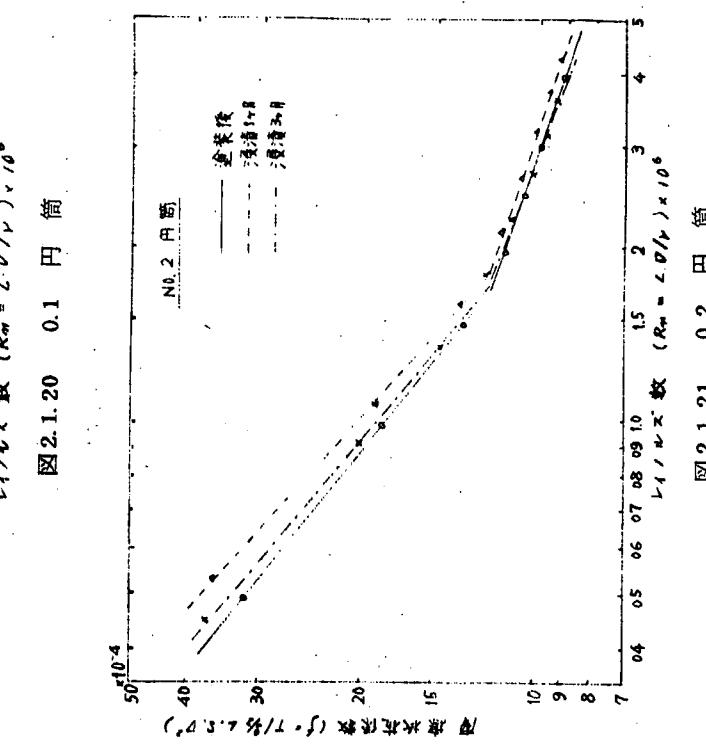
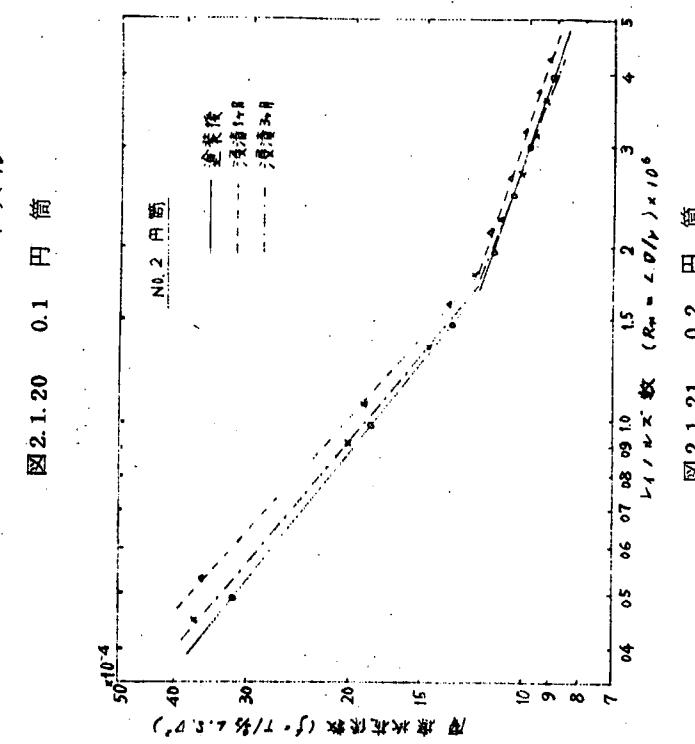
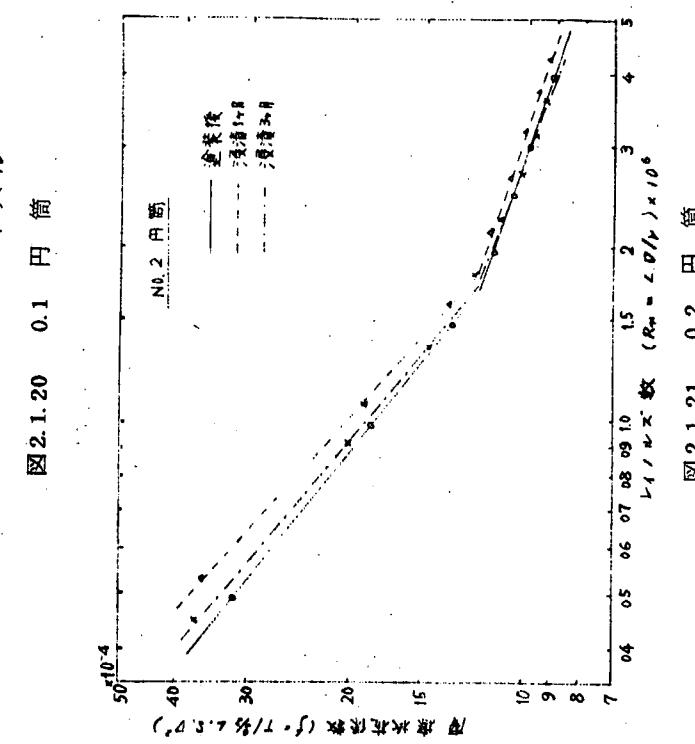
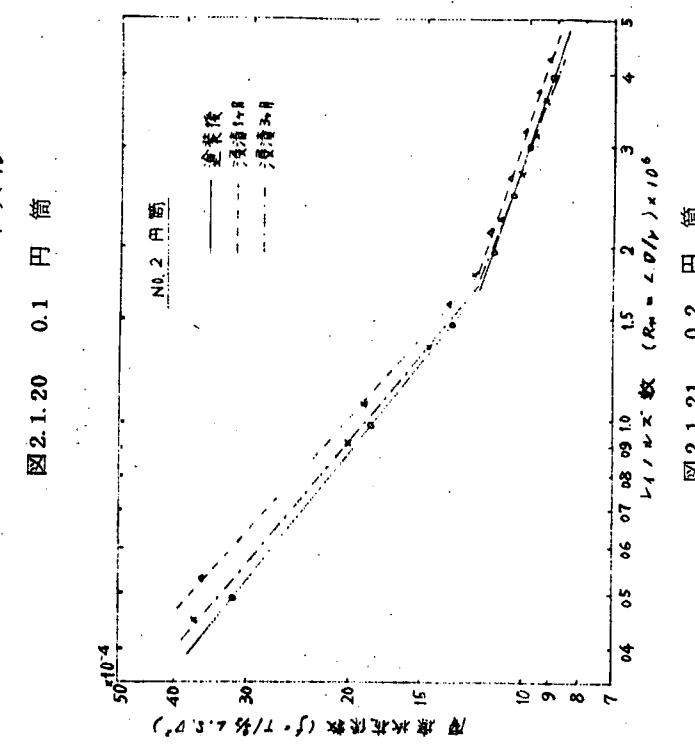


図 2.1.21 0.2 円 簡



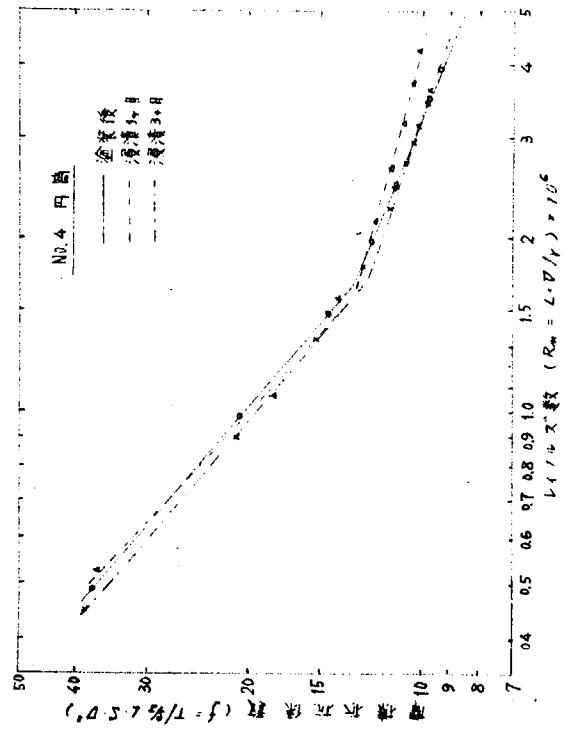


図 2.1.22 0.4 円 筒

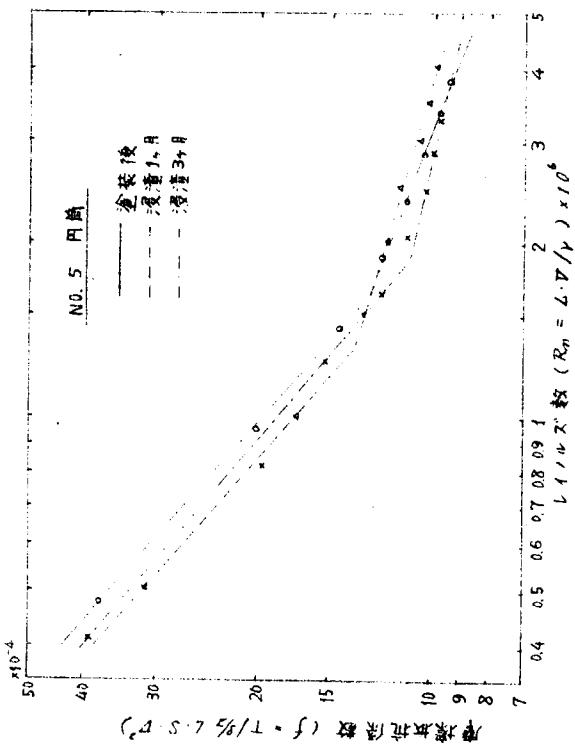


図 2.1.24 0.5 円 筒

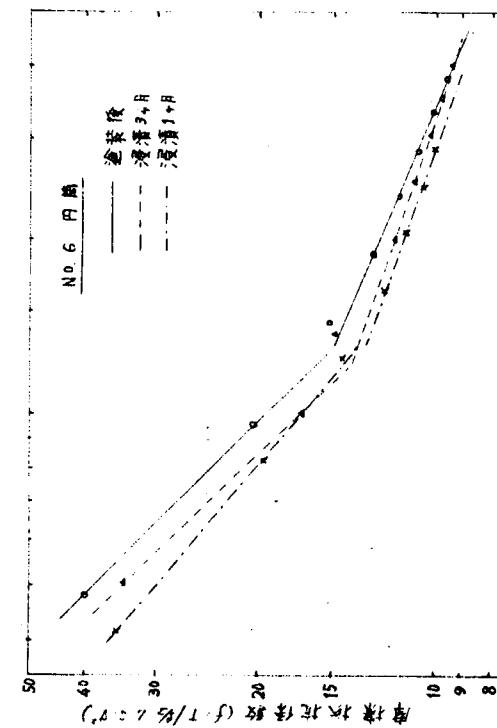


図 2.1.23 0.6 円 筒

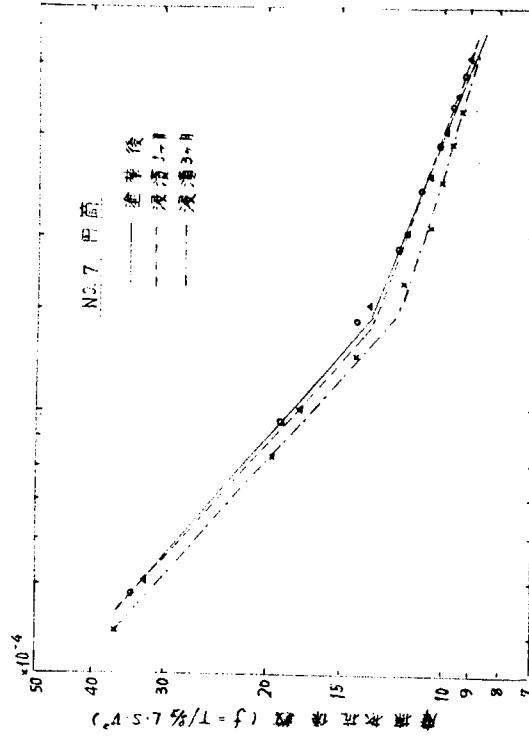


図 2.1.25 0.7 円 筒

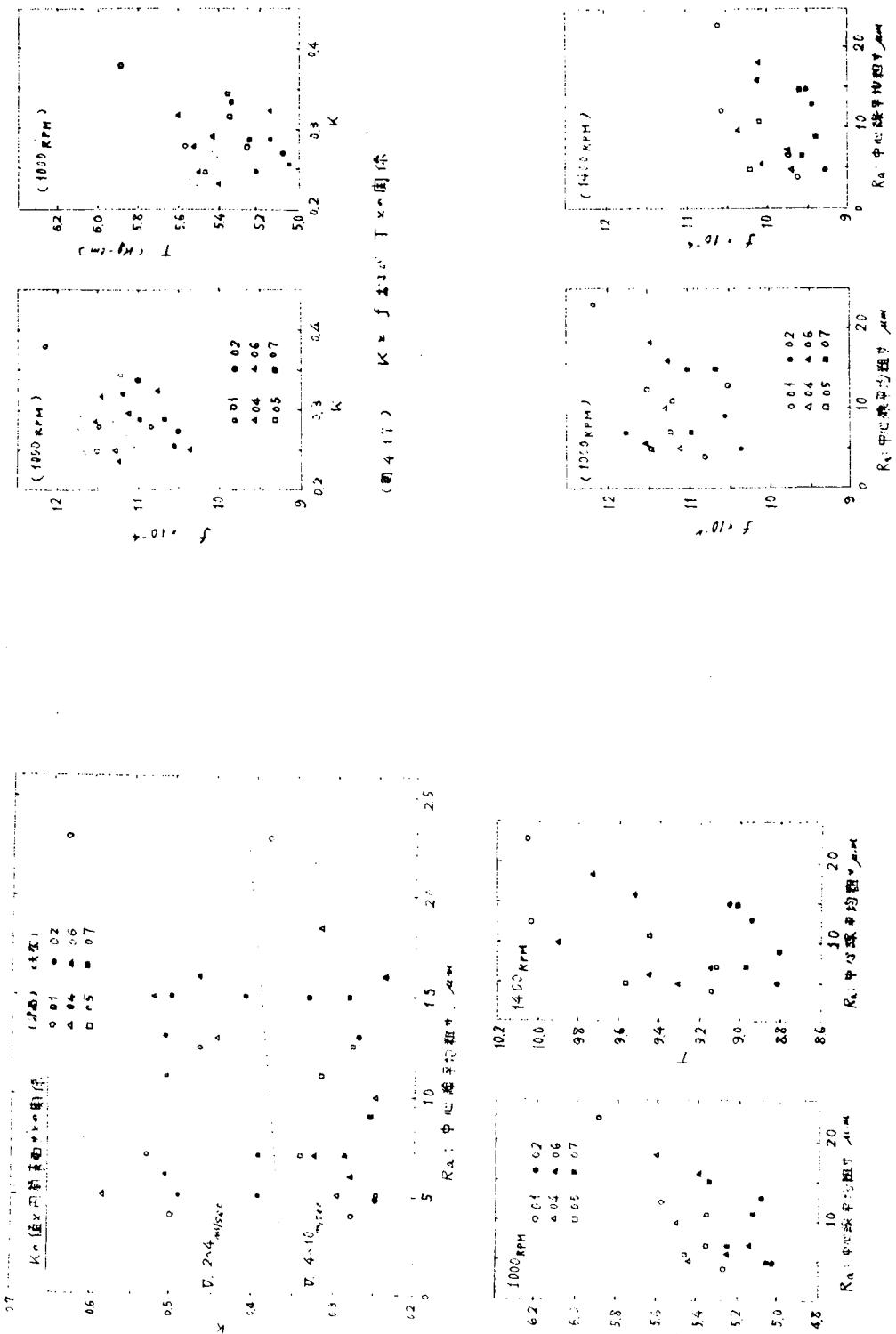
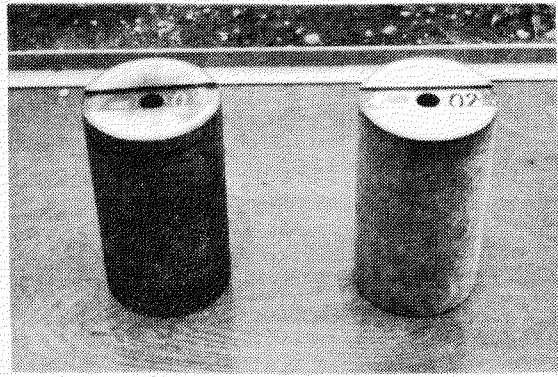


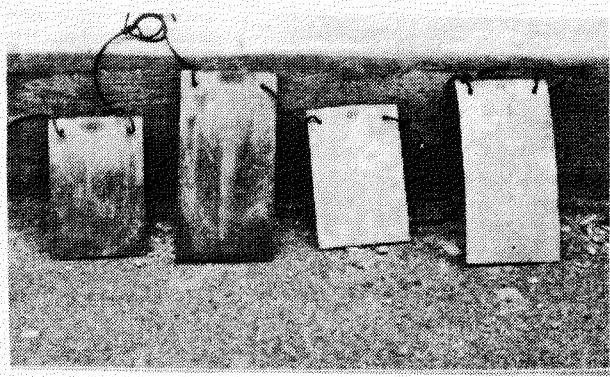
図 2.1.26 円筒表面粗度と K_r より f の関係

図 2.1.27 円筒表面粗度と K_r および T との関係



0.1 (沪)

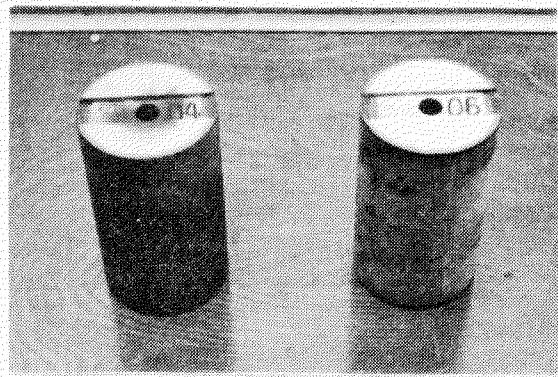
写真 2.1.1



0.1 (沪) 0.5

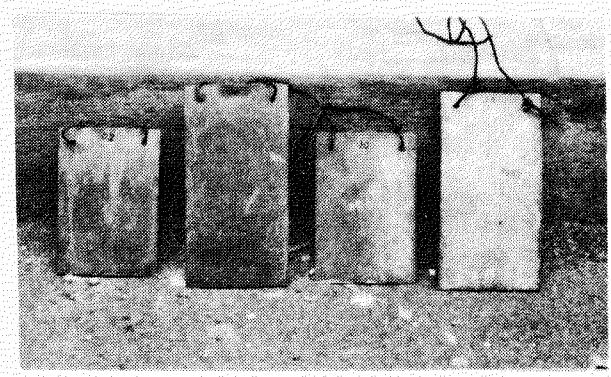
0.9 (海) 1.3

写真 2.1.4



0.4 (沪)

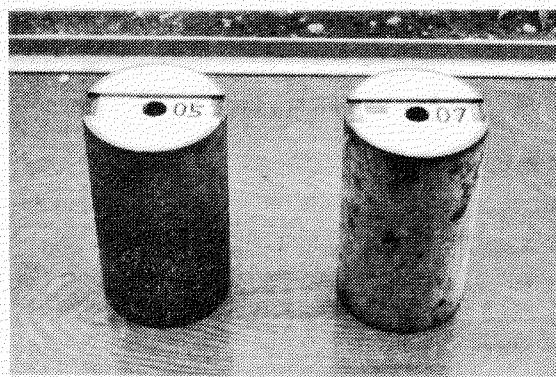
写真 2.1.2



0.2 (沪) 0.6

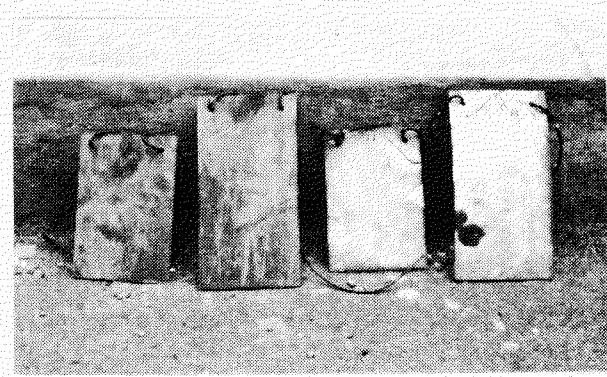
1.0 (海) 1.4

写真 2.1.5



0.5 (沪)

写真 2.1.3

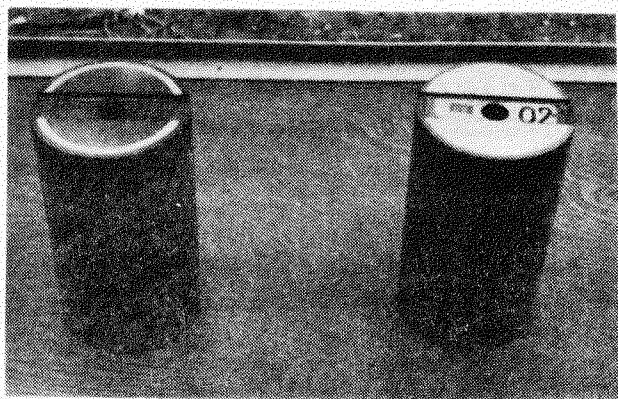


0.3 (沪) 0.7

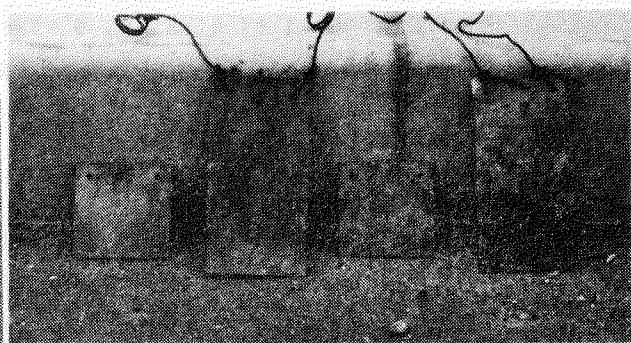
1.1 (海) 1.5

写真 2.1.6

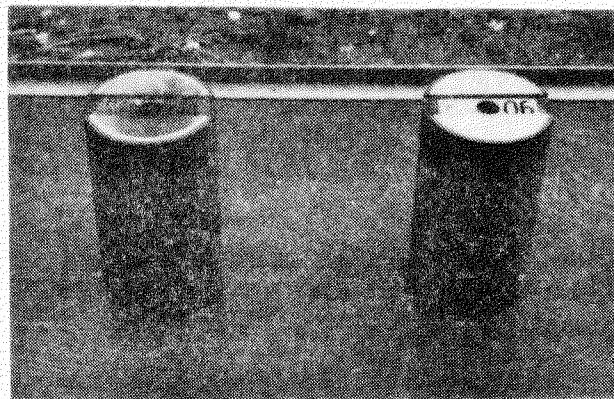
写真 2.1.1～写真 2.1.6 浸漬 3ヶ月の汚損状況



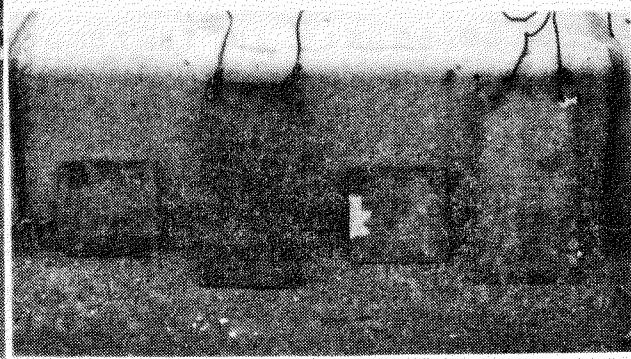
0.1 (沪) 0.2 (海)
写真 2.1.7



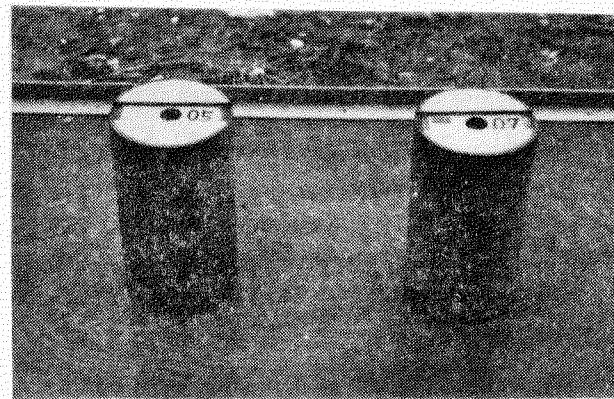
0.1 (沪) 0.5 0.9 (海) 1.3
写真 2.1.10



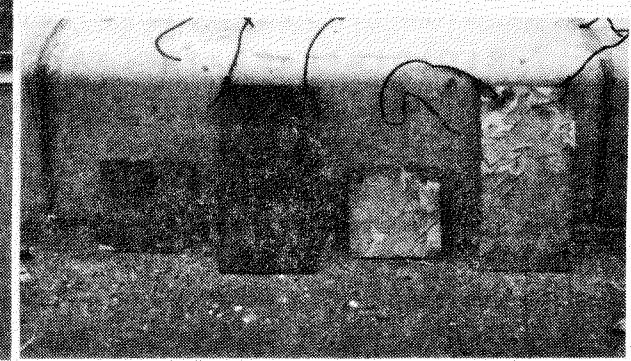
0.4 (沪) 0.6 (海)
写真 2.1.8



0.2 (沪) 0.6 1.0 (海) 1.4
写真 2.1.11



0.5 (沪) 0.7 (海)
写真 2.1.9



0.3 (沪) 0.7 1.1 (海) 1.5
写真 2.1.12

写真 2.1.7 ~ 2.1.12 浸漬 1ヶ月の汚損状況

2.2 防汚剤の毒性に関する調査研究

2.2.1 目的

Dowicil S-13 (2, 3, 5, 6-テトラクロロ-4-メチルスルホニルピリジン)をマウスに1回経口的に投与して、肝その他の臓器中の含有量を経時的に測定して体内残留性を調べた。

2.2.2 方 法

(1) 測定法の検討

抽出法の検討—種々の有機溶剤を用い、抽出の可能性、能率、抽出率などを検討した。

カラムの検定—市販および自作の種々のカラムで検討した。

ガスクロマトグラフィーの条件—キャリアガスの検定、流量などを種々検討した。

(2) 動物・投与法

ICR系雌性マウス計50匹を大きく2群(40匹と10匹)に分け、前者にDowicil S-13をオリーブ油にサスペンドし、100mg/kg体重になるように胃管を通して強制投与1回行った。投与群から投与後1日、3日、5日、7日に各5~8匹を取り出し、採血致死せしめ、血液、肝臓および腎臓を摘出し、秤量し、保存した。

なお、対照群(10匹)には、オリーブ油のみを強制投与し、同様に血液、臓器をとり保存した。

(3) 実際の測定法

上記の基礎的検討の結果次の如く処理した。

臓器、血液を1N塩酸中で10%のホモジネートを作製し、次いでn-ヘキサン3ml添加後、ミキサーで30分間よく攪拌してから3000rpmで30分間遠心分離し、n-ヘキサン層を分離した。ついで、シリカゲルカラム(1.2×4cm)にn-ヘキサン層をのせ、まず15mlのn-ヘキサンで洗い、ついで15mlのn-ヘキサン：酢酸エチル(19:1)混合液で洗浄後、15mlのn-ヘキサン：酢酸エチル(2:1)で溶出させた。ついで15mlの溶出液をエバボレーターで1ml^{1/2}濃縮し、そのうちから2μlをガスクロマトグラフィーに注入した。

ガスクロマトグラフィーは3%Dexsil 300GCを液相とするクロモソルブW(酸DMC S処理したもの)の1mカラムを225°Cにおいて注入した。検出部温度は240°CでNi線源ECD検出器で検出した。なおキャリアーガスは高純度N₂ガスを使用し、70ml/minの流速で流した。

図2.2.1は0.1ppm Dowicil S-13のガスクロマトグラフである。

GAS CHROMATOGRAPHY
3 PER CENT DEXICIL 300 GC CROMOSORB W(ACID,DMCS)
COLUMN TEMPERATURE, 225; INJ, DET, TEMPERATURE, 240
DETECTOR, NI-SOURCE ECD
CARRIER GAS HIGH PURITY NITROGEN
FLOW RATE, 70 ML/MIN
PULSES, 2.5 KHZ

0.1 ppm Dowicil S-13

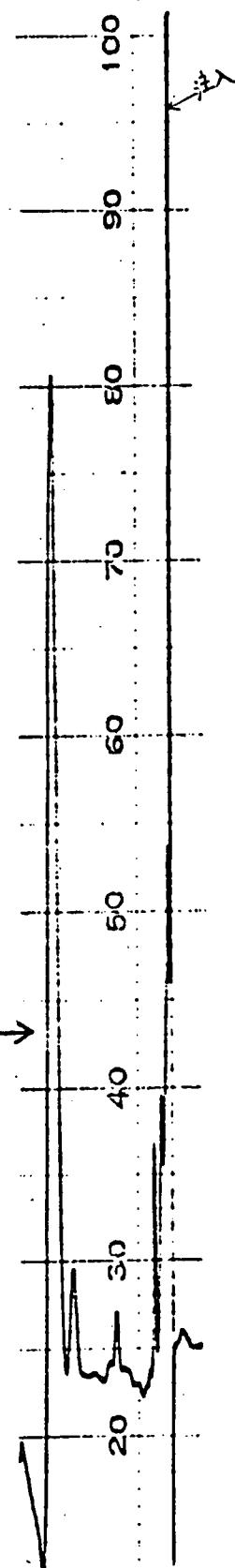


図 2.2.1 Dowicil S-13 のガスクロマトグラフ

2.2.3 結 果

表2.2.1に肝臓、腎臓および血液中のDowicil S-13の経時的含量を示す。数値は平均値±標準偏差で示した。()内の数字は検体数である。

なお、オリーブ油のみを投与した対照マウスからは、全て検出されなかった。

図2.2.2はこれを図示したものである。

(1) 経口投与量に比べ臟器中含量は極めて少ない。

マウス体重は約20gであり、総投与量は $2\text{mg} = 2000\mu\text{g}$ である。体内濃度を仮に平均 $2\mu\text{g/g}$ とすれば、その時の体内量は $2 \times 20\text{g} = 40\mu\text{g}$ であり、投与量の50分の1にすぎない。実際はもっと低いと考えられ、Dowicil S-13の腸管吸収率は2%以下と推定される。

(2) 検索した臟器中では肝含量が最も大であり、多くは肝に一時的に貯留されると思われる。腎含量はこれについた。

(3) 肝での投与後の経時的变化をみると投与後5日までは徐々に含量の増加がみられた。これは吸収が極めてゆっくりしていることと、肝への貯留時間があるためと考えられる。しかし、その後は減少傾向を示し、蓄積性が極めて大であることは否定できる。

このような変化は腸管から吸収されて肝へ入ってくるDowicil S-13量と肝への親和性と肝から排泄される速さの総合的結果によるものである。

(4) 腎の含量の変化は投与後3日まではやゝ増加傾向を示したがその後減少した。この変化の機作は肝と同様と推定されるが、肝よりは排泄速度が大であることを示し、また、貯留能も肝より少ないと考えられる。

(5) 血液中濃度は1日以後漸減を示した。これは吸収率が一定であるとすれば腸管内の残量に比例することを示している。

(6) 仮に各臟器(肝、腎、血液)の最高濃度からその後の減少でもって生物学的半減期を計算すると表2.2.2の如くなる。

表2.1.1 一回投与後の肝臓、腎臓および血液中の含量の経日変化

Dowicil S-13 含量 ($\mu\text{g/g}$)			
	肝臓	腎臓	血液
1 日	2.50 ± 0.32 (3)	3.00 ± 1.78 (3)	1.70 ± 1.25 (3)
3 日	3.90 ± 1.40 (4)	3.60 ± 1.37 (3)	0.80 ± 0.53 (3)
5 日	6.00 ± 2.40 (8)	0.97 ± 0.25 (3)	0.53 ± 0.38 (3)
7 日	4.30 ± 1.09 (5)	1.47 ± 0.70 (3)	0 (3)

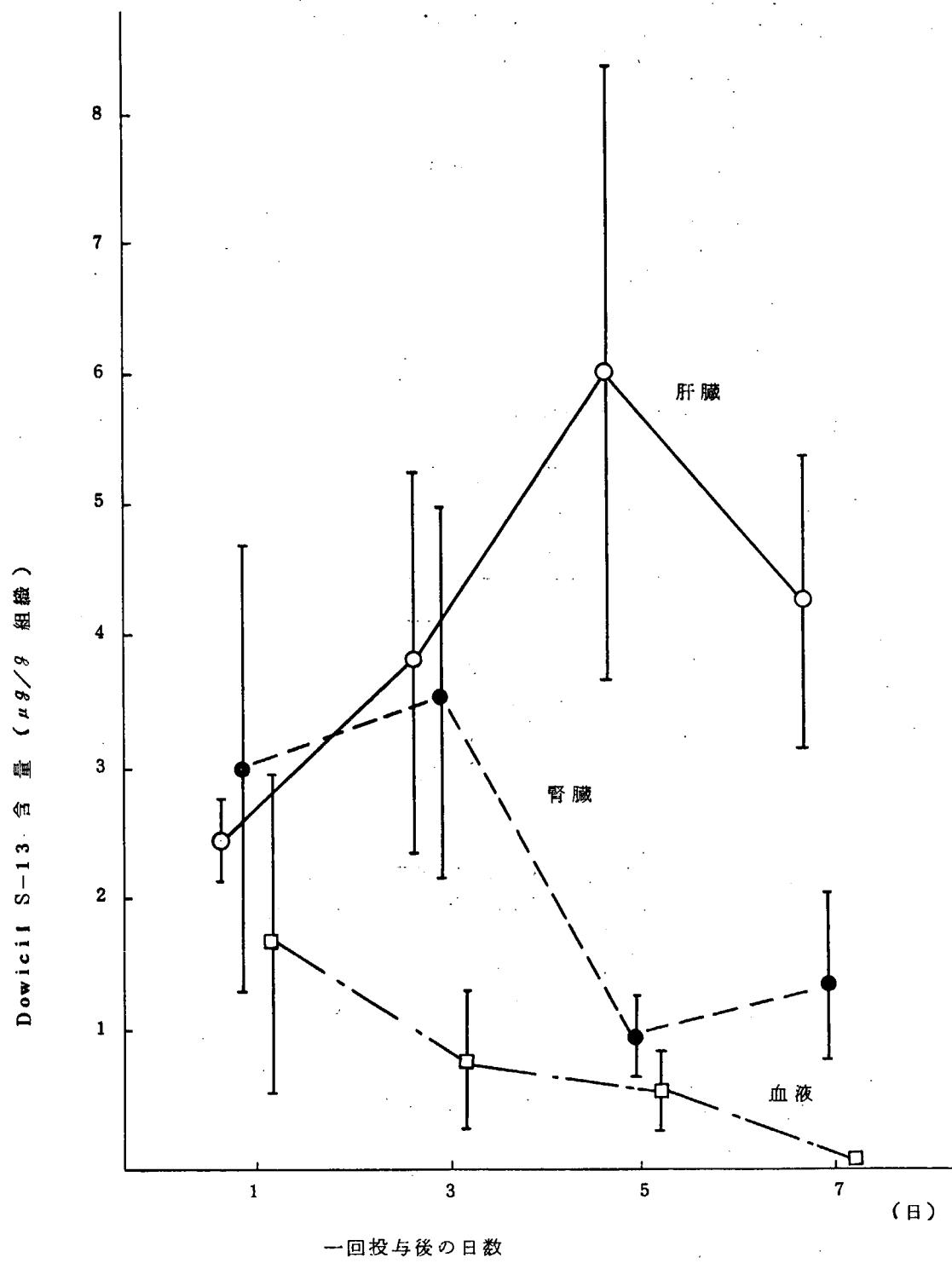


図 2.2.2 一回投与後の各組織中の Dowicil S - 1 3

含量の経時的変化

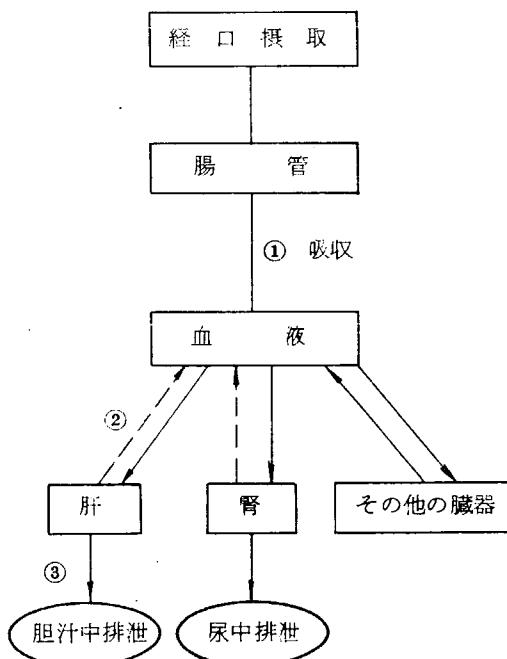
表 2.2.2 Dowicil S-13 の各臓器の
仮の生物学的半減期

臓 器	生 物 学 的 半 減 期
肝 臓	4. 1 5 日
腎 臓	3. 1 5 日
血 液	3. 3 6 日

いずれも割合と短いことが分る。

2.2.4 コメント

一般に経口摂取した化学物質がある臓器に達し、やがて排泄される経路は次のように考えられる。



今回の実験では①の腸管吸収は極めて低いことが推定された。

前にも述べたように、肝、腎の含量は②の血液から臓器への取り込みの早さから③の排泄すなわち、生物学的半減期でほぼ代表される早さを引いたもので決定される。

投与後、肝および腎で少しの間含量は増加しその後減少することは血液中にある程度の Dowicil S-13 があると肝や腎への取り込みはかなり強いためこの量は比較的早い生物学的半減期よりもなお大であることを示している。

血液中濃度が低くなると臓器への取り込み量は減少し、かつ、生物学的半減期の早いため、かなり急速に臓器濃度は低下するものと考えられる。

図 2.2.2 の各臓器の含量の比較から推定して血液中濃度が $0.8 \mu g/g (= 0.8 \text{ ppm})$ 以下であれば、腎への貯留はみられなく、又、 0.53 ppm 以下であれば肝への貯留はみられないと思われる。

逆にいえばこれらの血液中濃度以上であれば、短い生物学的半減期をもってしても排泄より臓器への取り込みが優り貯留する可能性があることを示している。

しかし、この貯留性は一般的にいわれている蓄積性とは異なる。もし蓄積性が大であればこのように血液中濃度が低下しても決して臓器中含量は急速に低下しないからである。

2.2.5 まとめ

- (1) Dowicil S-13 の生体試料中濃度の測定法を確立した。
- (2) Dowicil S-13 の腸管吸収率は極めて低い。
- (3) マウスに経口的IC₁₀₀mg/Kg量のDowicil S-13を一回投与すると肝では5日まで、腎では3日まで漸増しその後減少した。血中濃度は1日から漸減した。
- (4) 仮の生物学的半減期は肝臓で4.15日、腎臓で3.15日、血液で3.36日と計算された。
いずれもかなり短かく、強い臓器蓄積性はみられない。
- (5) しかし、血液中より肝および腎臓へのとり込みはかなり早く、かつ大であり血中Dowicil S-13濃度がある程度高いと、生物学的半減期で代表される臓器よりの除去率よりもとり込みが大となり、従って一時的な貯留は大となる。
- (6) 連続的に曝露される場合は、血中濃度をあげないようにすべきと思われ、また間欠的に曝露から避けることが望ましいと思われる。
曝露減少対策を用いれば吸収率は低いので血中濃度を低く保つことは可能と考えられる。

2.3 船底防汚塗料の安全性取扱実験 (防汚塗料の飛散と環境測定)

S R 1 7 2 第 2 分科会において、昭和 53 年度は「マスクの遮断効果の参考的実験」のテーマのもとに、塗装作業者及び周辺の作業者については、ガーゼマスクを着用することによって無着用の場合に比べてその遮断効果は大、との結論が得られた。

昭和 54 年度は、ドックにおいて船底防汚塗料塗装時に塗料ミストの捕集実験を行ない、捕集量から気中の環境濃度を測定し、塗装作業現場における有機錫の環境濃度を把握し、環境基準値 (T L V) を見比べ、船底防汚塗料塗装時の防護方法との関連づけを行ない、併せてドック塗装時に飛散状態に及ぼす最も基本的なパラメーターである風と飛散状態との関連を明確にする為、風洞実験を実施した。

2.3.1 ドック実験

修繕船が入渠の折、船底防汚塗料塗装時に塗料ミストを捕集する。船側部を塗装時に塗装部を数ブロックに分けて、その 1 ブロックを 1 捕集時間として、1 船で n 回の捕集実験を行なう。各捕集スタンド上に展開した沪紙に付着した飛散量を沪紙の重量変化から算出する。同時に風向及び風速を測定する。飛散量（捕集量）から塗装作業現場の環境濃度を推定し、環境基準値 (T L V) と比較して防汚塗料塗装時の防護対策を検討する。

(1) 実験条件

	第 1 次	第 2 次
実施日時	昭和 54 年 8 月 28 日(火) 13:30~15:30 晴	昭和 54 年 9 月 12 日(水) 9:00~12:00 晴
場所	三井造船(株)玉野事業所(船渠の寸法は図 2.3.1 参照)	
入渠船	外国バルクキャリアー(約 8 万トン、全長 250m)	国内カーキャリアー(約 15 万トン、全長 140m)
塗料	外国メーカー 塩化ゴム系 A/F	国内メーカー 加水分解型 A/F
塗装条件	エアレス日本グレコ 40:1 4.5~5 kg/cm ² チップ 621	エアレス日本グレコ 40:1 4.5~5 kg/cm ² チップ 727
捕集方法	図 2.3.2 の位置に配置した高さ 1 m、天板 0.5 × 0.5 m の捕集台上に 25 × 20 の沪紙を展開	図 2.3.3 の位置に配置。実験⑤, ⑥では高さ 1 m の固定盤木上に、実験⑦, ⑧では高さ 1 m、天板 0.5 × 0.5 の捕集台上にキレンをしみこませた沪紙(直径 15 cm)を展開。
沪紙	東洋沪紙(株) 大気微量分析用 GB-100R	
飛散量測定	沪紙を充分に乾燥放置後感度 0.1 mg の直示天びんで重量を測定	
風速測定	日本科学工業(株)の定温度熱式風速計(アネモスター風速計) MODEL 6151 を使用してドックサイド及び飛散量測定時に捕集台付近の風速分布を測定。	

(2) 測定結果

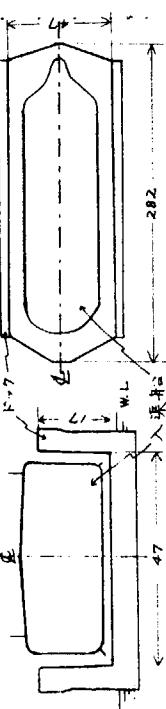


図 2.3.1 ドック寸法図(単位:m)

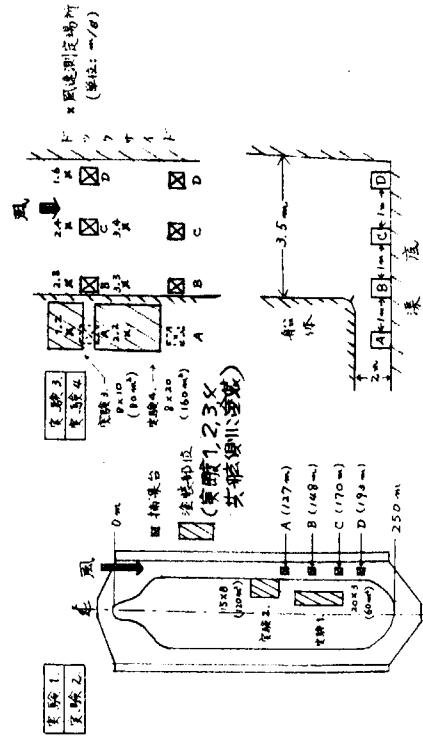


図 2.3.2 捕集台配置図(第1次テスト)

(1次) 風速分布 (単位: m/s)			
地点	風速		
	1回目	2回目	平均
0 m	0.5-1.5	0.7-1.3	1.7-2.5
20	1.5-2.5	0.8-1.0	2.5-3.2
40	3.0-4.0	1.7-2.2	2.6-3.2
60	3.0-3.7	2.0-3.2	2.3-2.7
80	1.5-2.4	1.0-3.0	2.7-3.6
100	1.2-1.5	0.9-1.0	1.8-2.5
120	1.2-1.5	1.1-3-1.5	1.8-2.3
140	1.3-1.7	1.5-1.8	1.7-2.0
160	1.7-2.1	1.7-2.2	2.3-2.7
180	1.7-2.3	1.4-1.7	2.3-2.7
200	2.1-2.6	2.3-2.5	2.3-2.8
220	2.3-2.6	3.0-4.0	2.8-4.0
240	2.3-3.7	3.0-4.5	1.8-2.5
平均	2.1	2.0	2.5

(1次) 風速分布 (単位: m/s)			
地點	風速		
	1回目	2回目	平均
0 m	0.5-1.5	0.7-1.3	1.7-2.5
20	1.5-2.5	0.8-1.0	2.5-3.2
40	3.0-4.0	1.7-2.2	2.6-3.2
60	3.0-3.7	2.0-3.2	2.3-2.7
80	1.5-2.4	1.0-3.0	2.7-3.6
100	1.2-1.5	0.9-1.0	1.8-2.5
120	1.2-1.5	1.1-3-1.5	1.8-2.3
140	1.3-1.7	1.5-1.8	1.7-2.0
160	1.7-2.1	1.7-2.2	2.3-2.7
180	1.7-2.3	1.4-1.7	2.3-2.7
200	2.1-2.6	2.3-2.5	2.3-2.8
220	2.3-2.6	3.0-4.0	2.8-4.0
240	2.3-3.7	3.0-4.5	1.8-2.5
平均	2.1	2.0	2.5

(2次) 風速分布 (単位: m/s)			
地點	風速		
	1回目	2回目	平均
A1	5.2	0.7-0.9	6.37
B1	5.3	0.6-1.2	0.8-1.1
C1	3.2	1.3-1.7	1.2-1.4
D1	3.1	0.8-1.5	2.5-3.1
5	3.2	2.4-3.2	A1
B2	4.7	1.0-4.0	3.426
C2	1.8	1.8-2.5	0.6-0.9
D2	2.0	1.6-4.5	0.6-0.9
捕集台	3.2	1.6-4.5	1.2-2.1
時間	52	2.5-3.5	8
18分	52	2.5-3.5	B2
18分	137	2.5-3.5	576
時間	137	2.5-3.5	C2
250分	137	2.5-3.5	868
時間	868	1.7-2.2	1.0-1.3
250分	603	1.7-2.7	1.2-1.5
時間	603	2.3-3.0	2.0-2.4
48分	456	3.5-3.8	500
時間	456	2.5-3.2	2.7-3.5
48分	195	3.0-3.5	353
時間	195	2.5-3.0	2.2-3.0
176	85	2.0-2.4	
時間	85	2.0-2.4	
59	176	3.0-3.1	
時間	176	3.0-3.5	
59	59	3.0-3.5	

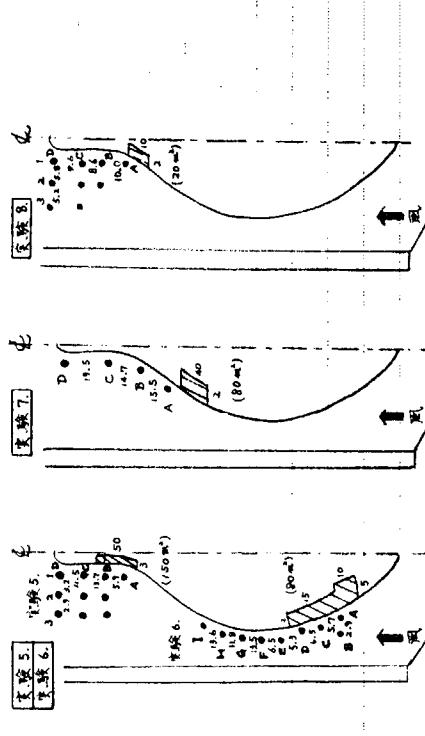


図 2.3.3 捕集合配置図(第2次テスト)

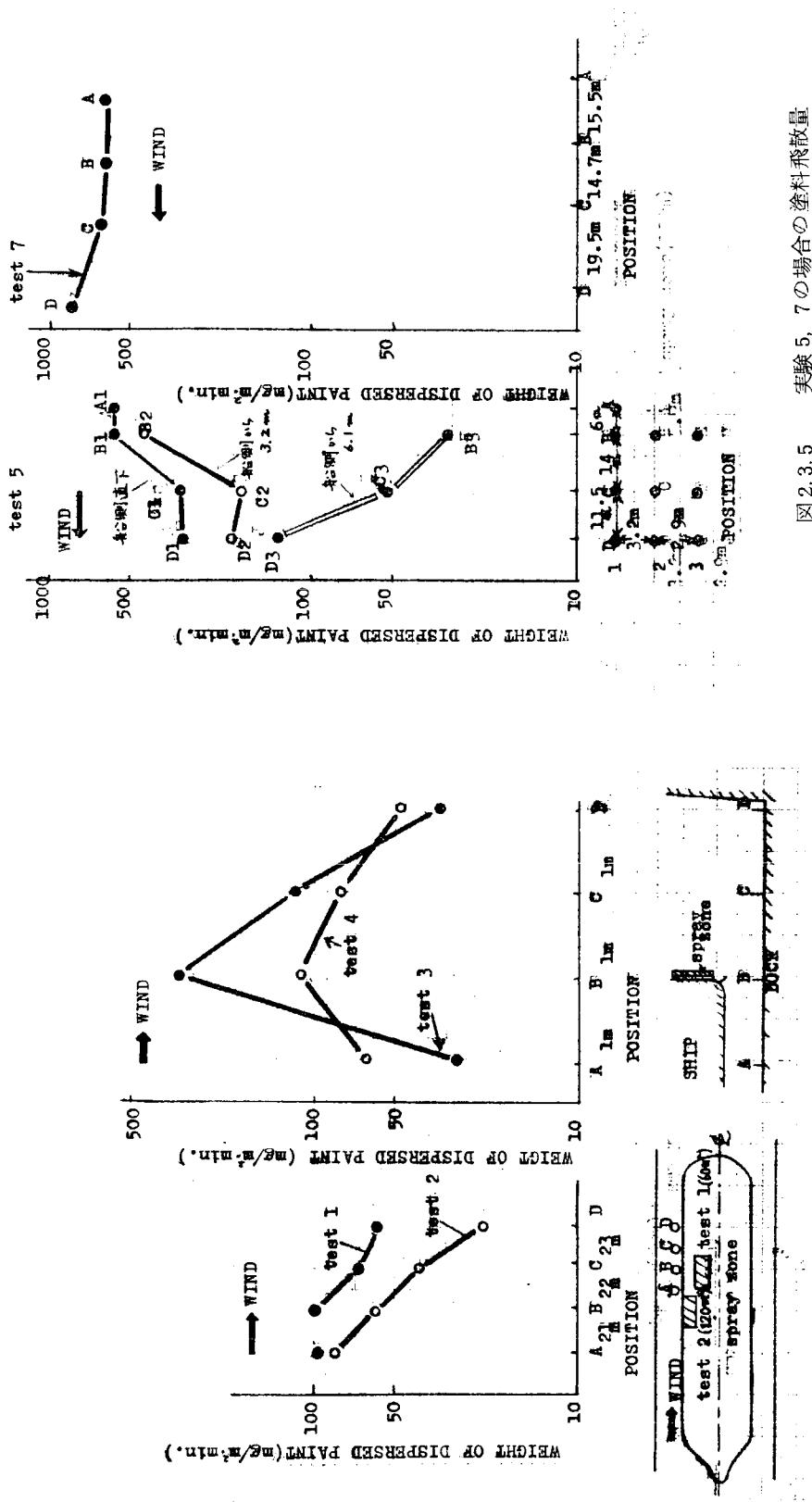


図 2.3.4 実験 1, 2, 3, 4 の場合の塗料飛散量

図 2.3.5 実験 5, 7 の場合の塗料飛散量

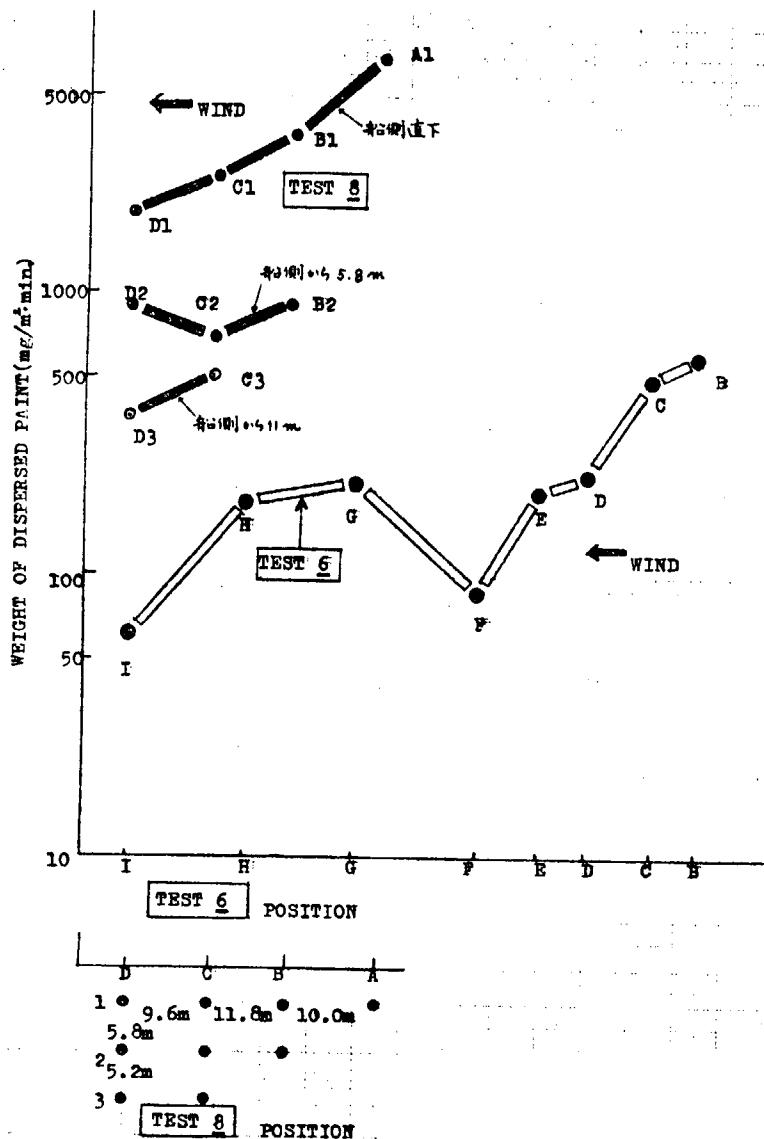
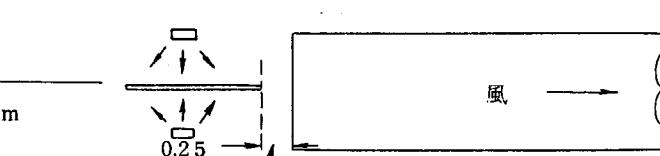
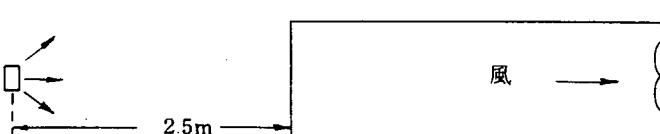


図 2.3.6 実験 6 の場合の塗料飛散量

2.3.2 風洞実験

ドックで塗装する時に、飛散に影響を及ぼす最も大きい因子として風（風速、風向）が考えられる。ドックの形状等をスケールダウンした条件ではなく、風洞を試作し、風速を変えた時の飛散状態（捕集量）の変化を把握する。

(1) 実験条件

風洞仕様	寸法：高さ 82cm、長さ 1000cm、概観は写真参照 風源：換気扇（排気） 能力：ファン直径 50cm、モーター 155W（可変抵抗より風速可変）												
風速測定	測定器：日本科学工業㈱の定温度熱式風速計（アネモマスター風速計）MODEL 6151 測定法：風洞壁に測定用小孔を設置し、センサーを挿入し測定												
捕集用沪紙	東洋沪紙㈱大気微量分析用沪紙 GB-100R（直径 11cm）												
捕集用沪紙の設置状態	風洞内に入口から 1m 間隔で風洞床面の中心線上に捕集地点を設置する。各捕集地点には、①水平状態〔X面とする〕、②垂直状態（風向に対しては水平方向）〔Y面とする〕、③垂直状態（風向に対して垂直方向）〔Z面とする〕になるよう設置。沪紙の固定は磁石を利用。												
供試塗料	i) 国内メーカー油性 A/F 不揮発分 75% 塗料比重 1.64 塗料中の Sn 含有率 1.5% ii) 国内メーカービニル A/F 不揮発分 77% 比重 1.08 塗膜中の Sn 含有率 20%												
塗装法	3種類の塗装方法で実施。 (A法) 床面から 0.5m  (B法) 試験板 0.5m × 0.5m (垂直)  (C法) 床面から 0.5m 2.5m 												
塗装条件	エヤスプレー。スプレーガン：岩田 WIDER-61 吐出圧力 4.5 kg/cm²												
塗料吐出量	塗装は各実験毎に塗料 200g 精量												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>塗料量(g)</th> <th>塗装時間(分)</th> <th>吐出量(g/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>油性 A/F</td> <td>200</td> <td>2.4</td> <td>83</td> </tr> <tr> <td>ビニル A/F</td> <td>200</td> <td>2.5</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table>		塗料量(g)	塗装時間(分)	吐出量(g/min)	油性 A/F	200	2.4	83	ビニル A/F	200	2.5	80
	塗料量(g)	塗装時間(分)	吐出量(g/min)										
油性 A/F	200	2.4	83										
ビニル A/F	200	2.5	80										
飛散量（捕集量）測定	沪紙を充分に乾燥放置後、感度 0.1mg の直示天びんで重量測定												

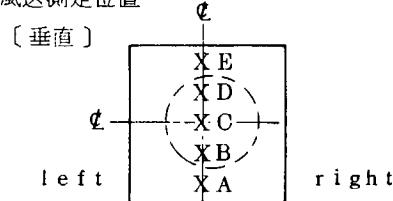
(2) 測定結果

(a) 風洞内の風速分布

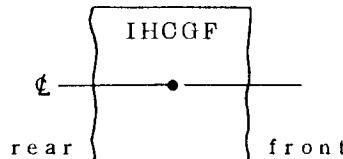
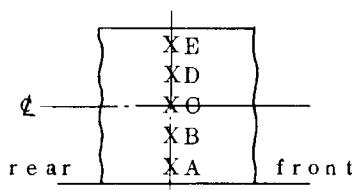
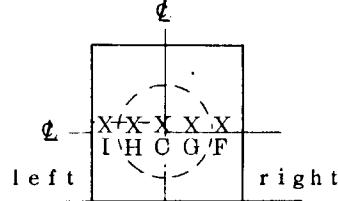
(単位: m/s)

計画風 東 風洞、布 場 入口か らの距離	1.5 m/s						0.75 m/s					
	垂直			水平			垂直			水平		
	位置	m/s	平均m/s	位置	m/s	平均m/s	位置	m/s	平均m/s	位置	m/s	平均m/s
8 m	A	1.7		F	1.8		A	0.55		F	0.55	
	B	1.9		G	1.7		B	0.60		G	0.60	
	C	1.9	1.76	C	1.7	1.58	C	0.75	0.58	C	0.60	0.54
	D	1.8		H	1.5		D	0.60		H	0.60	
	E	1.5		I	1.2		E	0.40		I	0.35	
6 m	A	1.7		F	1.8		A	0.50		F	0.40	
	B	1.9		G	2.0		B	0.60		G	0.60	
	C	1.7	1.68	C	1.7	1.68	C	0.55	0.53	C	0.50	0.48
	D	1.6		H	1.6		D	0.55		H	0.50	
	E	1.5		I	1.3		E	0.45		I	0.40	
4 m	A	1.5		F	1.7		A	0.50		F	0.60	
	B	1.7		G	1.7		B	0.60		G	0.75	
	C	1.7	1.56	C	1.7	1.66	C	0.70	0.55	C	0.80	0.65
	D	1.7		H	1.8		D	0.60		H	0.60	
	E	1.4		I	1.4		E	0.40		I	0.50	
2 m	A	1.9		F	1.5		A	0.65		F	0.45	
	B	2.0		G	1.7		B	0.60		G	0.50	
	C	2.1	1.78	C	1.3	1.58	C	0.60	0.56	C	0.70	0.59
	D	1.6		H	1.6		D	0.55		H	0.70	
	E	1.3		I	1.3		E	0.40		I	0.60	
0 m	A	2.1		F	2.2		A	0.70		F	0.55	
	B	2.0		G	2.0		B	0.70		G	0.60	
	C	1.9		C	1.9	1.94	C	0.70	0.69	C	0.60	0.62
	D	2.0	2.02	H	1.9		D	0.70		H	0.65	
	E	2.1		I	1.7		E	0.60		I	0.70	
平均	1.76			1.68			0.58					
	1.72											

風速測定位置



[水平]



(b) 風洞実験捕集量

TEST ¹ (V A/F 1.7m/s Spray A)							
TEST ² (V A/F 0.6m/s Spray B)							
喷嘴孔 径(Φ) mm	TEST ¹			TEST ²			TOTAL
	x	y	z	x	y	z	
9m	1.2	0.1	0.6	1.2	0.3	0.1	1.4
8	1.6	0.2	0.9	1.9	0.2	0.2	1.9
7	2.0	0.2	1.4	3.6	0.1	0.1	2.1
6	2.3	0.2	2.3	4.8	0.2	0.1	2.1
5	2.7	0.3	4.8	6.3	0.3	0.2	2.8
4	3.0	0.4	12.0	17.4	4	0.2	0.8
3	10.5	1.2	38.5	59.7	3	7.2	4.6
2	14.5	1.6	53.4	69.7	2	29.9	13.3
1	20.5	1.0	26.8	38.3	1	62.9	22.7
						11.7	8.9
						2.1	22.7

TEST No. 4		TEST No. 3		TEST No. 2		TEST No. 1	
(V A/P)		(V A/P)		(V A/P)		(V A/P)	
Spray C)		Spray B)		Spray A)		Spray A)	
喷嘴内径	喷嘴外径	喷嘴内径	喷嘴外径	喷嘴内径	喷嘴外径	喷嘴内径	喷嘴外径
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
9m	0.16	0.06	0.08	0.20	1.1	0.7	1.4
8	0.18	0.05	0.09	0.32	7	1.0	1.5
7	0.17	0.07	0.07	0.21	5	1.1	0.4
6	0.15	0.06	0.09	0.30	4	1.8	0.9
5	0.22	0.07	0.09	0.38	3	2.5	0.4
4	0.18	0.07	0.15	0.40	2	3.6	0.4
3	0.27	0.12	0.22	0.71	1	7.4	0.5
2	0.40	0.14	0.33	0.87	0	21.8	1.4
1	0.63	0.22	0.74	1.63			
0	1.67	1.12	2.42	5.21			

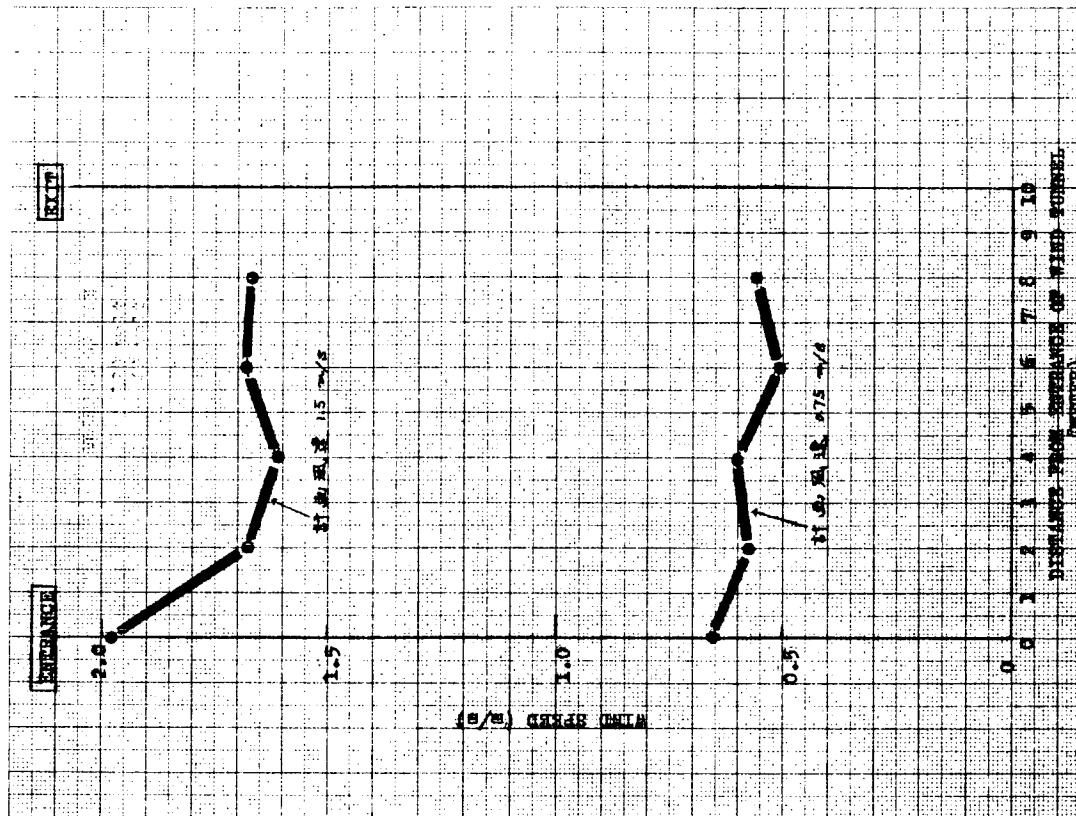


图 2.3.7

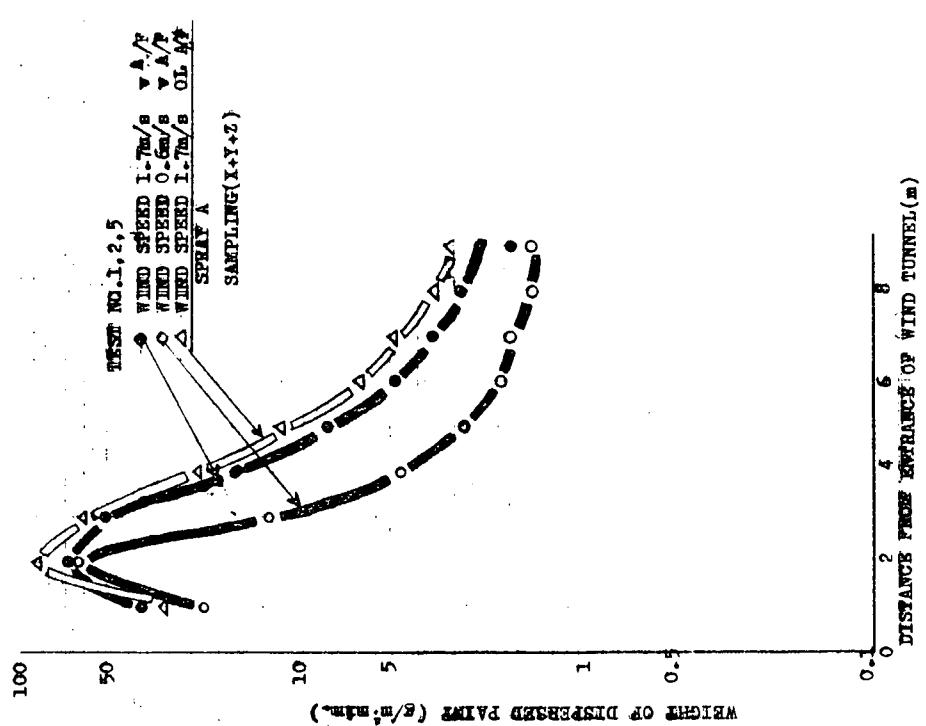


図 2.3.9

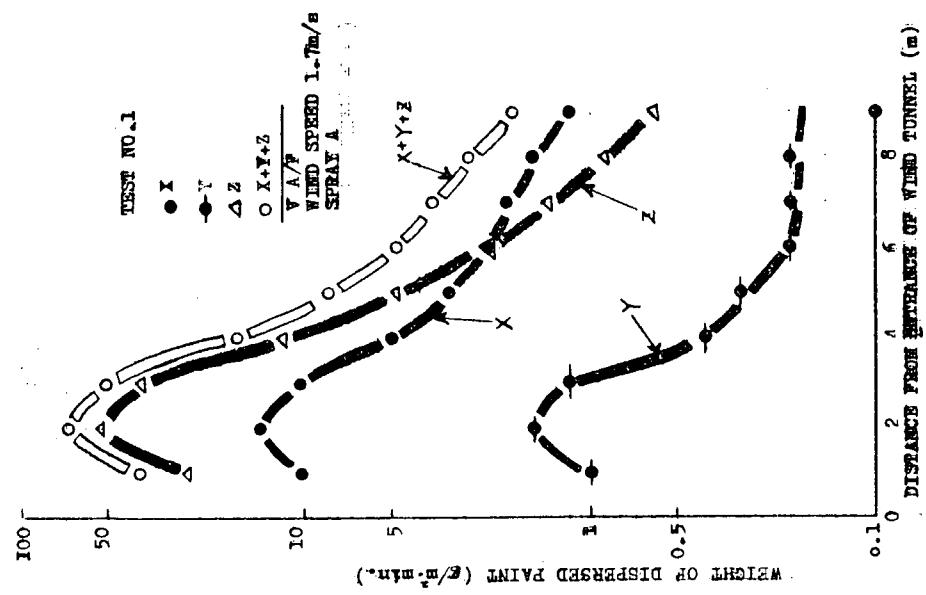


図 2.3.8

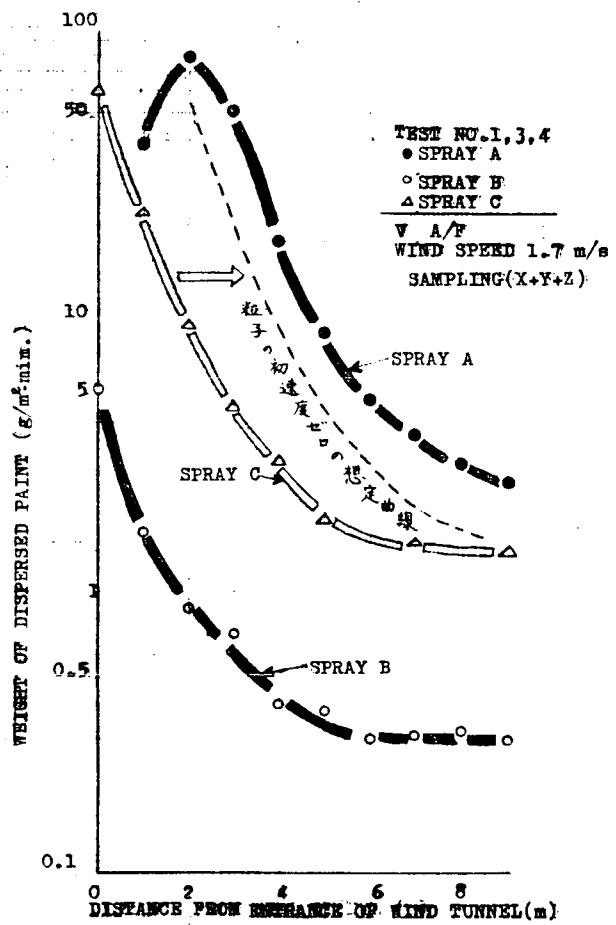


図 2.3.10

2.3.3 考 察

(1) ドック実験の現象的考察

第1次と第2次の現象的な面からまとめてみると、1次に比べて2次の方が風がやや強く不安定であった。

- (a) 実験①と②で塗布量（塗装面積）からみると、②が①の2倍程度であるのに飛散量が②の方で少ないこと、同様に実験④でも③に比べて塗布量が2倍程度であるのに飛散量は④の方が少ないので風の影響による為で④と③を比較してみると、④の方が風速が強いためである。
- (b) 船側からの距離（横方向）と飛散量の関係を調べたが、塗装場所から離れれば飛散量は少なく、直下の飛散量が多い。風速（流れ）の分布は船体壁面では流体抵抗が増加し、風速が低下する事から、壁面近傍の粒子は自重による沈降が大きい。（実験③、④で確認）
- (c) 第2次では風が第1次より強く、ドックに対する風量が大きく、その余量が開口部の大きな上方向へ上昇気流として働くため塗装場所から離れても必ずしも飛散量が減少するとは限らないことが確認された。（実験⑥、⑦で確認）
- (d) 塗装源の高さが約4.5～7mに達すると0～2mに比べて8倍の塗装面積があっても直下では飛散量が約1/10になり塗装源が高い程飛散距離が長くなることが判った。（実験⑤、⑧で確認）
- (e) 全体的には塗装場所から離れるに従って飛散量は少なくなるが、風の状態によっては風下側では相当離れていてもかなりの飛散が起きる事がある。概ねドックサイド寄りで飛散は少ない。

(2) ドック実験における環境濃度

有風時における大気中の煙拡散の一般式い(A)式で表わされる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{Ky \cdot Kz}} \cdot e^{-\frac{u}{4\pi} (\frac{y^2}{Ky} + \frac{z^2}{Kz})} \quad \dots \dots \quad (A)$$

C : (x, y, z) の煙の濃度 [mg/m³]

Q : 煙源強度

u : 風速 [m/sec]

Ky, Kz : y, z 軸方向の拡散係数

(A)式には前提条件があり、スプレー粒子の場合その前提条件を満たすには、条件設定が複雑であるが単純化して

$$C : 濃度 = \frac{\text{飛散量 (S_n)} [\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}]}{\text{粒子の沈降速度} [\text{m}/\text{sec}]}$$

として仮定した。

この時、飛散量は実験で戸紙に付着した実験値 [mg/m² · min] (S_nに換算) を用い沈降速度については実測できなかったが、風速2～3m/Sにおける沈降速度0.05m/Sを用いた。飛散粒子の粒径は、写真2.3.4, 2.3.5から10μm～200μmの範囲である。粒径と沈降速度の関係は Stokes; Allen Newton の式があり、飛散粒子径の範囲では次のようにある。

$$\text{粒径} (\mu\text{m}) 1 \sim 100 \quad V_s = 0.003 P_s \cdot D_p^2 \quad \dots \dots \quad \text{Stokesの式}$$

V_s : 沈降速度 (cm/s), P_s : 粒子の密度 (g/cm³), D_p : 粒径 (μm)

この式を考慮すると、粒径10μm～200μmでは0.5～1.0cm/sで平均的な値を考えれば0.05m/s (5cm/s) はほぼ妥当な値といえる。

例えば、実験④のB(舷側の真下)の環境濃度を求めてみる。この時防汚塗料塗膜中に2%の金属錫

が含まれているとして

$$\begin{aligned} \text{飛散量(捕集量)} &= 112 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{min} \\ &\times 0.02 \\ S_n \text{ 飛散量} &= 2.2 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{min} \\ C &= \frac{2.2 / 60}{0.05} = 0.7 \text{ mg/m}^3 \quad \text{が得られた。} \end{aligned}$$

現在設定されている一つの基準 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) の有機錫については TLV (Threshold Limit Value) として 0.1 mg/m^3 (for skin; 金属錫) がある。塗膜中に 2% の錫を含む防汚塗料が 0.1 mg/m^3 を示す捕集量は逆算すると $1.5 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{min}$ である。今回のドック実験では捕集量の最高; $2 \sim 3000 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{min}$ 、最低; $23 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{min}$ である。これらは TLV をオーバーしている。しかし、TLV は常時作業者に対する基準であるため、一定期間の濃度を実験から試算した環境濃度は単純には比較できない。又、常時実験環境のような条件(密閉気)に立ち入るようなことはあり得ないし、一定期間後は拡散沈降でその条件(密閉気)の濃度はゼロになる事で基準値を越えることはないと考えられる。しかしながら安全面から飛散状態を考えれば防汚塗料塗装周辺の作業者は塗装作業場所から距離をおき、なおかつ風下を避ける配慮が必要である。

(3) 風洞実験における考察

本実験で試作した風洞の最大風速は平均で 1.7 m/s の能力である。

- (a) 図 2.3.8 で捕集用戸紙の設置方向による差を x, y, z 面として比較しているが、入口から近い所では垂直に置き、しかも、風向に對しても直角な Z 面での捕集が水平に置いた X 面より捕集量が多い。これは各粒子の運動方向が入口付近では風と同じ方向にあり、入口から遠くなるにつれて垂直成分を持ち、落下現象となるためである。これは各粒子の運動方向に対する有効面積の差を意味している。
- (b) 油性 A/F の飛散量はビニル A/F に比べ 1 m 地点で少なく 2 m 以遠で多くなっている。これはそれぞれの比重が 1.64, 1.80 であるのが主原因と思われるが、油性 A/F の方が霧化されやすく、粒子径が小さいこともその一因と考えられる。
- (c) 同じく図 2.3.9 では風速の影響をみるために、 1.7 m/s と 0.6 m/s で実験したが、入口から近い所は差が少なく遠方になる程差が大きくなるのは風速が遅いと落下沈着の距離が短くなる事が言える。
- (d) 図 2.3.10 では塗装法 A, B, C と 3 種類の塗装条件で実験を行なった。塗装法 A では風洞入口手前約 0.5 m の地点から風洞内へ向けて吹き込んだ。この方法の場合、入口から 2 m 付近にピークができる。ピークの原因は、粒子がスプレーガンを離れる時の初速度の影響であるが、それを取り除く為に塗装法 C で 2 m 分(ピークの生じる距離)だけ塗装する地点を入口から遠ざけた。塗装法 A と C を比較すると塗装場所が遠ざかると塗装法 C ではピークは表われない。

図 2.3.10 の塗装法 C の飛散量変化の様子は塗装法 A の 2 m 以降の曲線と同一で、図 2.3.10 には 2 m 平行移動した曲線を点線で図示した。実際に両曲線が重なる為には約 3 m の平行移動が必要となる。塗装法 C では入口までの状態がオープンによるロスがこの 1 m の補正を要していると考えられる。塗装法 A 及び C においては吐出した塗料の全てが風洞方向へ流入するが、実際の塗装では塗布面から反射した粒子及び塗布面に平行成分を持った粒子が飛散する。塗装法 B は、その条件を仮定し、入口付近に風向に對して平行に試験板を設置した実験を行なった。

飛散量の結果は、塗装法 C に比べて約 1 オーダー少ない事から、被塗物に対してのスプレー粒子の

反射は、全スプレー粒子の1/10程度と考えられる。

2.3.4 まとめ

今回の実験はある条件下での塗料ミストの飛散状況を把握する事を主体にした為、環境濃度試算には無理な仮定があるが、防汚塗料塗装下では作業場所周辺の環境濃度は瞬間的にはACGIHのTLV 0.1 mg/m³(skin)よりは高い。しかし、試算した環境濃度は瞬間的な値であり、ACGIHの基準である常時作業者の見方および経験的に安全な方向にさける点からみると作業者はTLV 0.1 mg/m³以下になっていると思われるが、本実験結果の特徴を理解して防汚塗料塗装周辺の作業者は、安全面から塗装作業場所から距離を置き、なおかつ風下側をできるだけ避ける必要がある。

ドックにて塗装時の飛散の特徴は下記の通りである。

- ・ 塗装作業現場の風下側では飛散量が多い。
- ・ 飛散状態は塗装源から風下側に扇状に拡散する。
- ・ 風が強い場合並びに塗装源が高所のときは遠方へ飛散する。
- ・ 船側の直下の飛散量が最も多く、船側から離れる程飛散量は少ない。



写真 2.3.1

ドックにおける飛散実験

捕集台 4 台設置

フォークリフトの位置で塗装

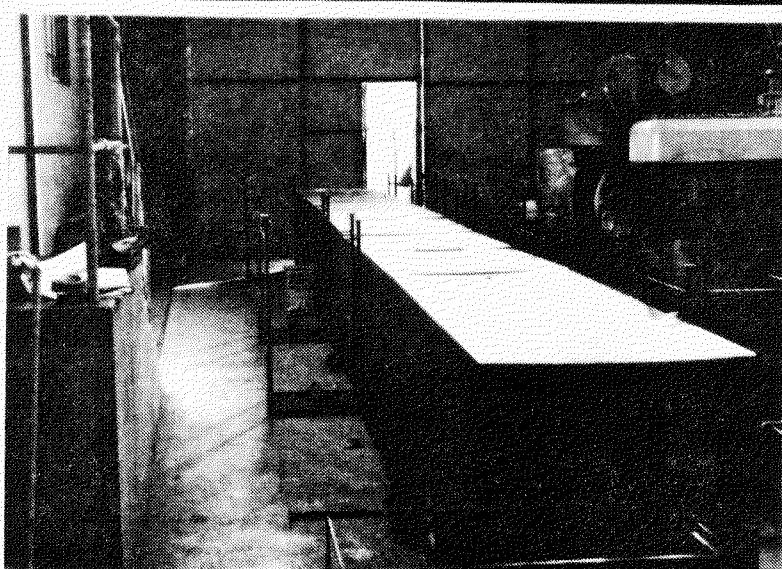


写真 2.3.2

風洞実験

長さ 10 m

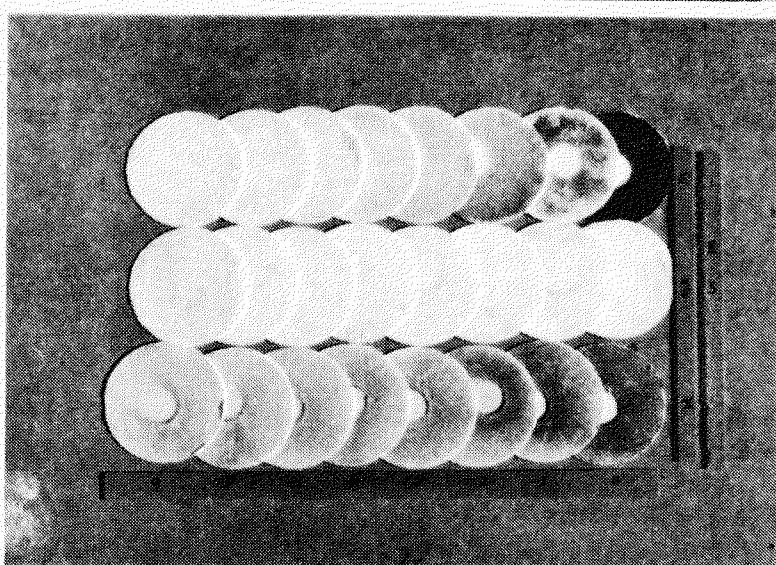


写真 2.3.3

風洞実験

沪紙に捕集された

(11 cm ϕ) 飛散粒子

実験 4

ビニル A / F

風速 1.7 m / s

塗装法 ©

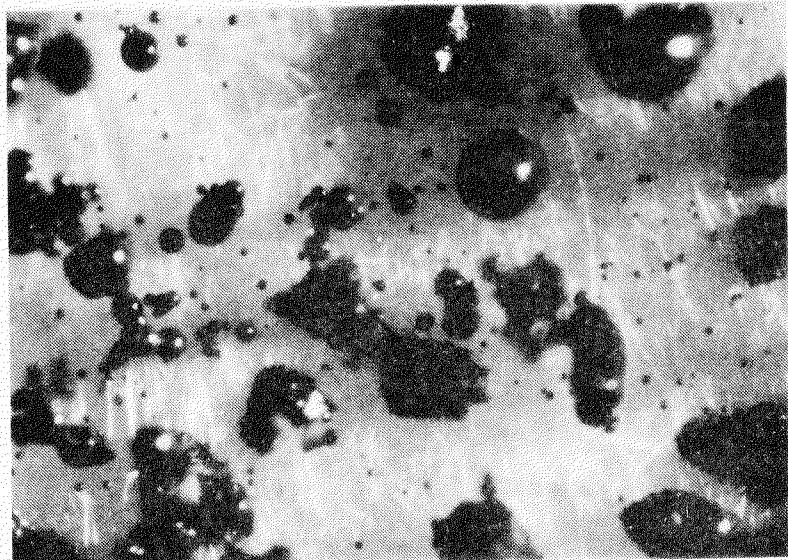


写真 2.3.4

風洞実験

汎紙に捕集された
飛散粒子の顕微鏡写真

実験 I ピニル A / F

風速 1.7 m / s

塗装法 ②

入口から 2 m

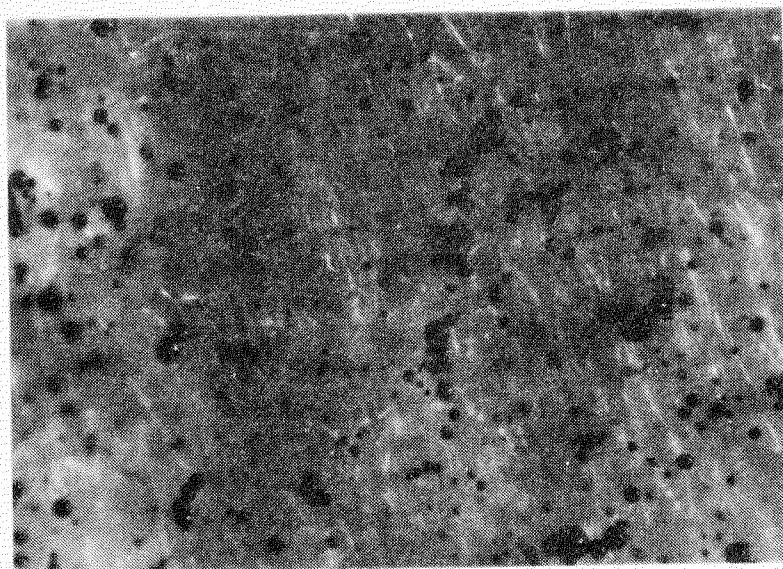
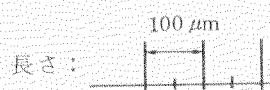


写真 2.3.5

風洞実験

入口から 8 m



2.4 防汚塗料評価促進試験法の研究

2.4.1 研究目的

長期防汚塗料の性能を短期に判定できる促進試験法の開発を目的として、54年にロータリー試験、実船ビルジキール試験、海中浸漬試験、促進溶出速度試験等の諸試験を実施した。

2.4.2 供試塗料

試験に供した防汚塗料は、表2.4.1に示す塩化ゴム系、ビニル系、MIL規格ビニル系の3種である。

2.4.3 試験板の塗装系

試験に用いた試験板の塗装系は、すべて次の通りとした。

(1) 塩化ゴム系

A/C 40 μm × 3回 + A/F 45 μm × 2回

(2) ビニル系、MIL規格ビニル系

A/C 25 μm × 4回 + A/F 45 μm × 2回

2.4.4 試験

(1) ロータリー試験

53年度に設置したロータリー装置により、下記の要領で試験を行った。

(a) ローター回転速度(周速) 10 m/s(約20ノット)

(b) 試験板 150×150×3mm、磨き鋼板

(c) 試験期間 1, 2, 3, 6カ月

(2) 実船ビルジキール試験

実船ビルジキール表面に試験板を取り付けて航海し、A/F塗膜の変化を試験した。

(a) 試験対象船

船名(所属) せんとるいす丸

船種、トン数 貨物船 11,107トン

航路 日本↔アフリカ東岸

航海速度 15ノット

(b) 試験期間 4, 7カ月(54/7/3~54/11/5~55/2/1)

(c) 試験板取付方法 700×250×5mm塗装板(A)の表面に、150×150×3mm塗装板(B)をボルト締めし、A板をビルジキール表面にボルト締めして、両舷に2枚ずつ取り付けた。(図2.4.1)

(3) 海中浸漬試験

試験筏(広島県宮島)から水面下1mの位置に試験板を浸漬して、A/F塗膜の変化を調べた。

(a) 試験板 150×150×3mm、磨き鋼板

(b) 試験期間 1, 2, 3, 6カ月

(4) 促進溶出速度試験

53年度の研究で得た下記組成の促進液に試験板を浸漬して、液中に溶出したCuを原子吸光分析法により定量分析を行った。

(a) 促進液組成

グリシン 1.785%

0.1 NaOH溶液 28.8 ml

純水を加えて1000mlとなし、pH 1.05に調整

- (b) 試験板 150×150×3mm、磨き鋼板
(c) 液比 15l/試験板1枚
(d) 試験時間 1, 3, 6, 12, 18, 24, 48, 96, 192 hr

(5) 塗膜防汚剤消耗量測定

上記(1), (2), (3), (4)の試験板について、塗膜中の残存防汚剤成分(Cu, Sn)を、螢光X線分析法(XRF)により分析し、初期塗膜中の防汚剤量との差から消耗量を求めた。螢光X線法の分析条件は下記のとおりである。

	[Cu]	[Sn]
分光結晶	LiF	LiF
真空管電圧・電流	30KV-10mA	40KV-30mA
照射角度	45.02°	14.03°
検知器	シンチレーションカウンター	同 左

(6) 残存防汚剤の塗膜内分布測定

(5)の場合と同様の試験板について、塗膜断面をX線マイクロアナライザー(XMA)により走査し、残存防汚剤の分布状態を調べた。試験条件は下記のとおりである。

	[Cu]	[Sn]
分光結晶	LiF	ベンタエリトリトール
波長	8×10 ⁻⁸ Å	同 左
電圧	15KV	同 左

(7) 人工海水溶出速度試験

(5)の場合と同様の試験板について、人工海水中におけるCuの溶出速度を測定した。試験法はつきのとおりである。

試験板(150×150×3mm、片面塗装)を、人工海水^{*}3lを入れたピーカ中に全浸し、ガラス細管を通して空気を吹込み攪拌しながら、1hr溶出させ、液中のCu濃度を原子吸光法により分析した。

注) *組成(g/l)

NaCl	24.54	NaHCO ₃	0.20
MgCl ₂ ·6H ₂ O	11.10	KBr	0.10
Na ₂ SO ₄	4.09	H ₃ BO ₃	0.03
CaCl ₂	1.16	SrCl ₂ ·6H ₂ O	0.04
KCl	0.69	NaF	0.003

2.4.5 試験結果

(1) 防汚剤消耗量

図2.4.2., 2.4.3.および2.4.4に塩化ゴム系、ビニル系、MILビニル系塗膜のCuについて、図2.4.5~2.4.6に塩化ゴム系およびビニル系塗膜のSnについて、それぞれ消耗量の経時変化を測定した結果を示す。

この結果から、海中浸漬試験に対するロータリー試験、促進溶出試験、実船ビルジキール試験等の促進効果を、CuおよびSnの対比で比較すると次表のとおりである。

AFのタイプ	試験法	防汚剤消耗倍率	
		Cu	Sn
塩化ゴム系	ロータリー	1.3	1.3
	促進溶出	3.6	1.0
	ビルジキール	1.3	1.3
ビニル系	ロータリー	1.2	1.4
	促進溶出	2.7	3.6
	ビルジキール	1.4	1.5
MILビニル系	ロータリー	1.3	—
	促進溶出	4.8	—
	ビルジキール	1.2	—

ロータリー試験は実船の場合とほぼ同等であり、海中浸漬に比して1.3～1.5倍程度防汚剤の消耗が促進されている。促進溶出法は促進倍率が高く、Cuで3.0～5.0倍、Snでは1.0～3.6倍となっているが、塗料のタイプ、組成、防汚剤種類等によって促進効果が異なるようであるからさらに検討の余地がある。

(2) 残存防汚剤の分布状態

図2.4.7、2.4.8および2.4.9に、ビニル系塗膜の残存防汚剤(Cu, Sn)のXMA線分析結果を示す。

防汚剤の溶出した後の塗膜劣化層の概略深さが判定できた。Cuについてみると、ビルジキール試験4ヶ月間およびロータリー試験6ヶ月間後のものはいずれも約4.0μm、促進溶出試験7日間のものは約3.5μm程度であった。Snの影響は顕著な差異が現われていないが、測定感度を増せば試験可能な見込である。

(3) 促進溶出試験

図2.4.10に、促進液中に溶出したCu量の経時変化を示す。塩化ゴム、ビニル系は9.6hr、MILビニル系は4.8hr、浸漬したときの溶出量が、ロータリー試験3ヶ月間の結果と近似している。

また、海中浸漬3ヶ月間のものに比して、塩化ゴム系は約6.0hr、ビニル系は8.0hr、MILビニル系は4.0hr浸漬したときの溶出量がほぼ同等である。この促進液の促進倍率は、ロータリー試験の2.0～4.5倍、海中浸漬試験の3.0～5.0倍の範囲である。

(4) 人工海水中における溶出速度試験

図2.4.11～2.4.12溶出速度試験結果を示す。有効防汚限界値Cu 1.0 μg/cm²/dayを基準にして比較すると、ロータリー試験およびビルジキール試験の塩化ゴム系とビニル系は限界値よりやや低下し、MILビニル系はまだそれ以上を保っている。海中浸漬試験では各供試塗料とも限界値を保っている。また、促進溶出試験板ではいずれも限界値よりやや高い値にあった。これらは各試験による塗膜劣化後の防汚性を推定する目安となるが、溶出速度値と防汚性の関連については追って試験する。

(5) その他

表2.4.2～2.4.3に「せんとるいす丸」の航海状況、図2.4.13～2.4.14にロータリー試験、海中浸漬試験時の海水性状を示す。

2.4.6 まとめ

以上の研究結果をまとめると次のとおりである。

- (1) ロータリー試験は、実船における防汚塗膜の劣化と近似した結果が得られる。6カ月間運転の防汚剤の溶出状態(防汚性)は、15ノット貨物船の6~7カ月間就航(実運航3~3.5カ月間)後の状態とほぼ同等であった。
- (2) 促進溶出試験は、ロータリー試験、海中浸漬試験に比し、防汚剤の溶出促進倍率はかなり高く、ロータリー試験の20~45倍、海中浸漬試験の30~50倍の範囲であった。
- (3) 塗膜の防汚剤消耗度の経時変化は、XRF法やXMA法によって直接試験することが可能である。ただし、XMA法は定量法としては塗膜に適用することは困難である。
- (4) 今後の課題として
 - (a) ロータリー試験と実船における塗膜劣化の関係を一層明確にするため、さらに実船試験、防汚試験を行う必要がある。
 - (b) 促進溶出試験液の有機錫系防汚剤に対する適応性が不十分であるから、液組成の改良検討を行うとともに、ビヒクルや防汚剤の種類、塗料組成などの相違との関係についても検討の余地がある。
 - (c) XRF法やXMA法は、防汚塗膜の非破壊試験法として有効であるが、XRF法については定量分析精度向上のため、塗膜のサンプリング法、検量線作成法など、XMA法については錫の検知感度増加のための試験条件の検討をさらに行う必要がある。

表 2.4.1 供 試 塗 料

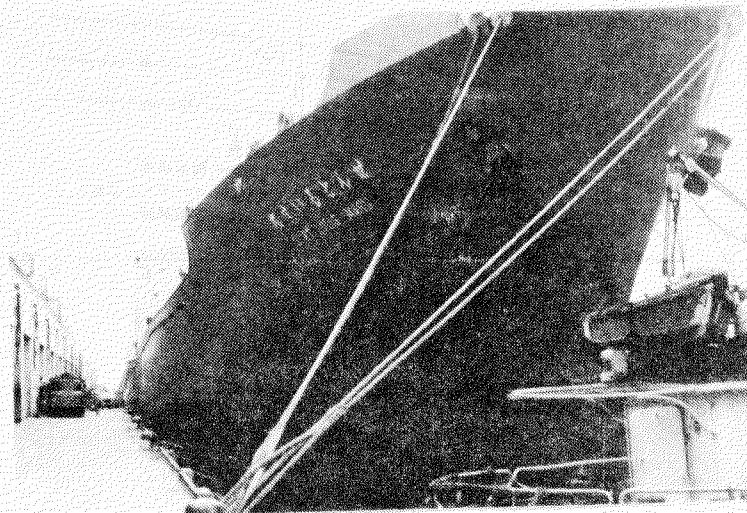
成 分	タイプ	塩化ゴム系	ビニル系	ビニル系 (MIL-P-15931A)
塩化ゴム		8.4	—	—
塩化ビニル		—	5.5	5.5
WWロジン		8.4	5.5	5.5
T C P		—	2	2
塩化パラフィン		2	—	—
亜酸化銅		30	30	55.2
T P T H		10	10	—
酸化マグネシウム		2.2	—	—
チャイナクレー		5.4	—	—
硫酸バリウム		—	4	—
タルク		—	11	—
べんがら		4.2	10	—
搖変剤		0.6	—	—
M I B K		—	11	19
キシロール		—	11	12.8
ソルベントナフサ		28.8	—	—
計		100	100	100
備考				
乾燥塗膜中の	Cu ₂ O (%)	40.7	37.1	80.0
	T P T H (%)	13.6	12.4	—

表 2.4.2 せんとるいす丸航海状況 (1)

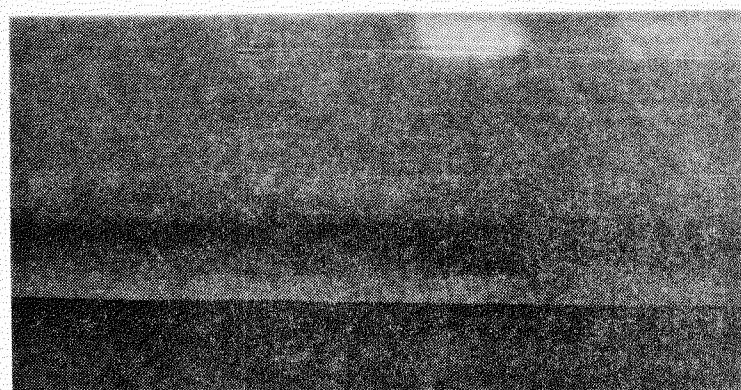
月 日	入 港 場 所	月 日	入 港 場 所
7. 4	出 渚	10. 10	SINGAPORE
14	名 古 屋	18	大 阪
15		19	
(	神 戸	(	大 阪
18		22	
22		28	名 古 屋
(	HONGKONG	24	
24		(	京 浜(川崎)
28		26	" (横浜)
(	SINGAPORE	(
8. 1		27	
10		28	名 古 屋(東海)
(	PORTLOUIS (MAURITIUS)	(
14		29	
16		30	神 戸
(	REUNION	31	
21		(	横 浜
22		11. 2	
(	PORTLOUIS (MAURITIUS)	3	神 戸
31			
9. 1	TAMATAVE (MALAGASY REPUBLIC)	航 海 日 数	120 日
(		運 航	60 日
12		停 泊	60 日
15	MAPUTO (MOZAMBIQUE)	航 路	日本 ~ アフリカ(東岸)
(
28			

表 2.4.3 せんとるいす丸航海状況 (2)

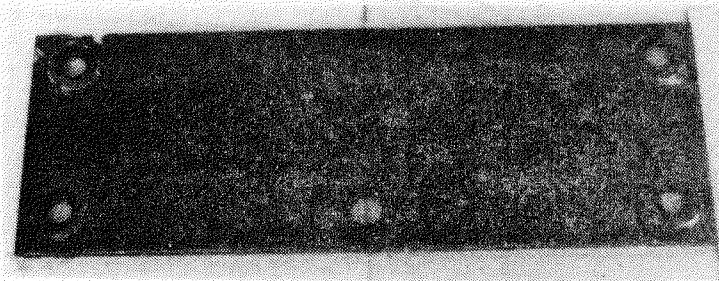
月 日	入 港 場 所	月 日	入 港 場 所
11. 3 5 7	神 戸	1. 14 18 5	SINGAPORE HONGKONG
8	戸 畑	19	
11 5 12	HONGKONG	22 5 24	門 司
16 5 18	SINGAPORE	25 26	神 戸 名古屋
27 5 30	TANGA	27 5 30	横 浜
12. 1 5 8	MOMBASA	2. 1	神 戸
9 5 19	DAR-ES-SALAAM	航海日数 90日 〔運航 45日 停泊 45日〕	
21 5 25	BEIRA	航 路 日本 — アフリカ(東岸)	
28 55年 1. 5	MOMBASA		



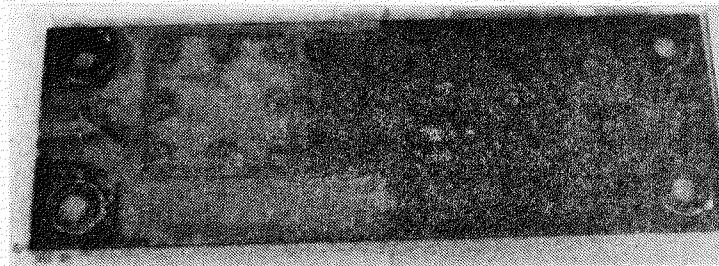
全 景



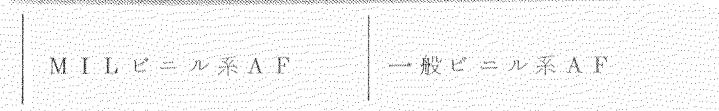
試験板 取付状態



試験板の形状



← 塩化ゴム系 A F



← ピニル系 A F

M I L ピニル系 A F

一般ピニル系 A F

図 2.4.1 ピルジキール試験船と試験板

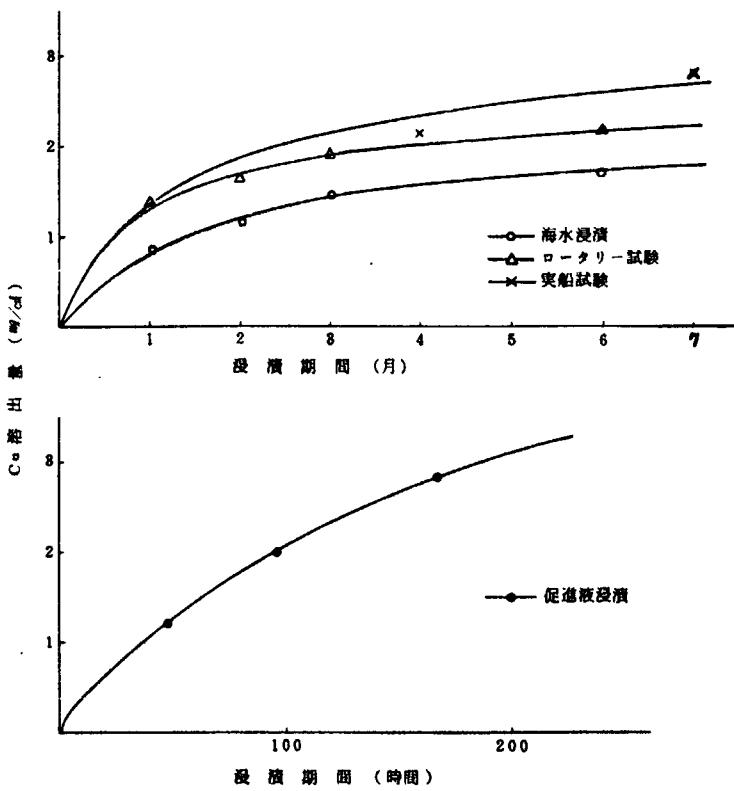


図 2.4.2 塩化ゴム系AFの銅溶出量

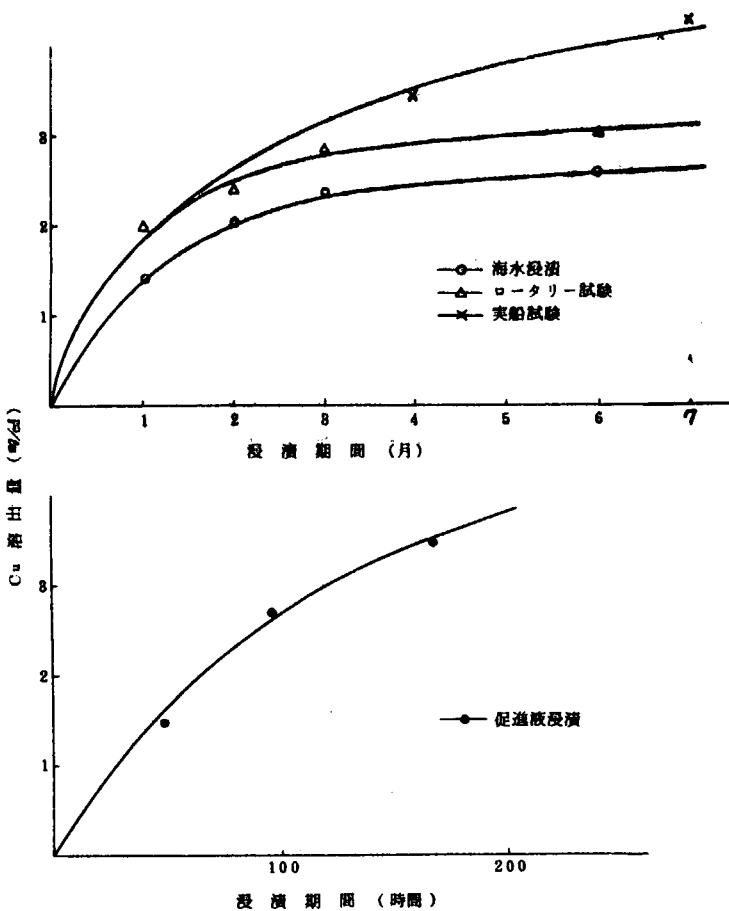


図 2.4.3 ピニル系AFの銅溶出量

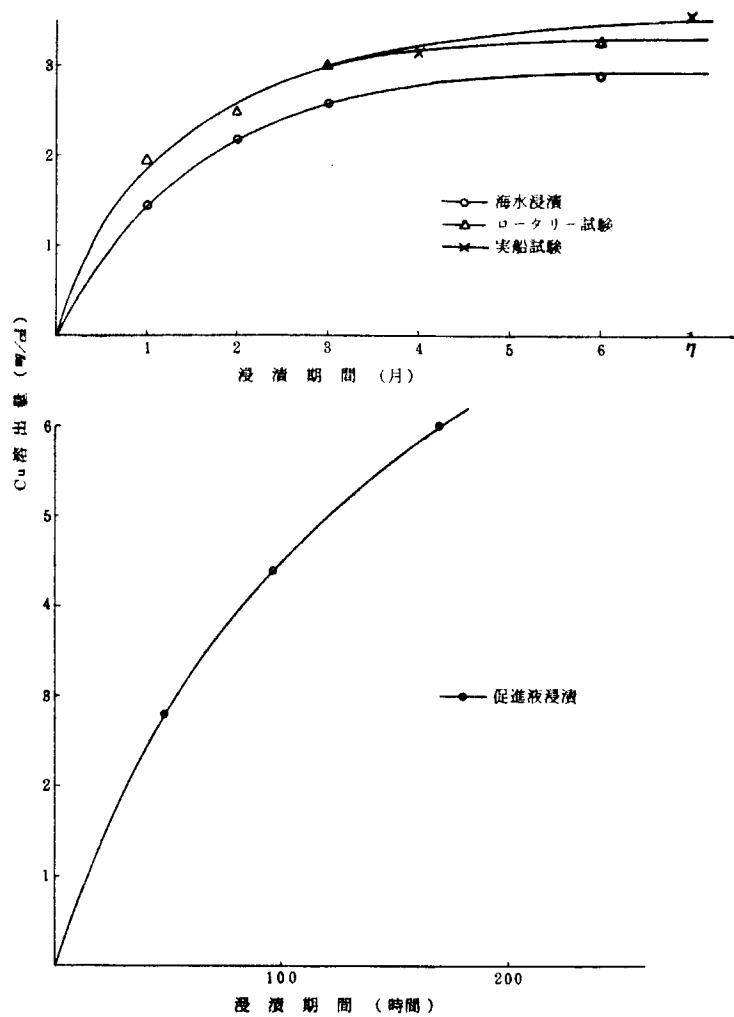


図 2.4.4 MIL ビニル系AFの銅溶出量

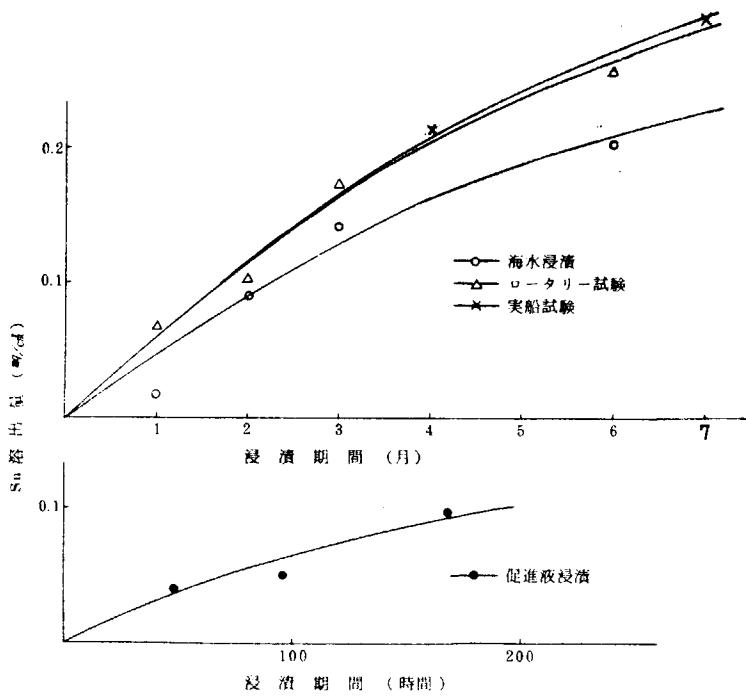


図 2.4.5 塩化ゴム系AFの錫の溶出量

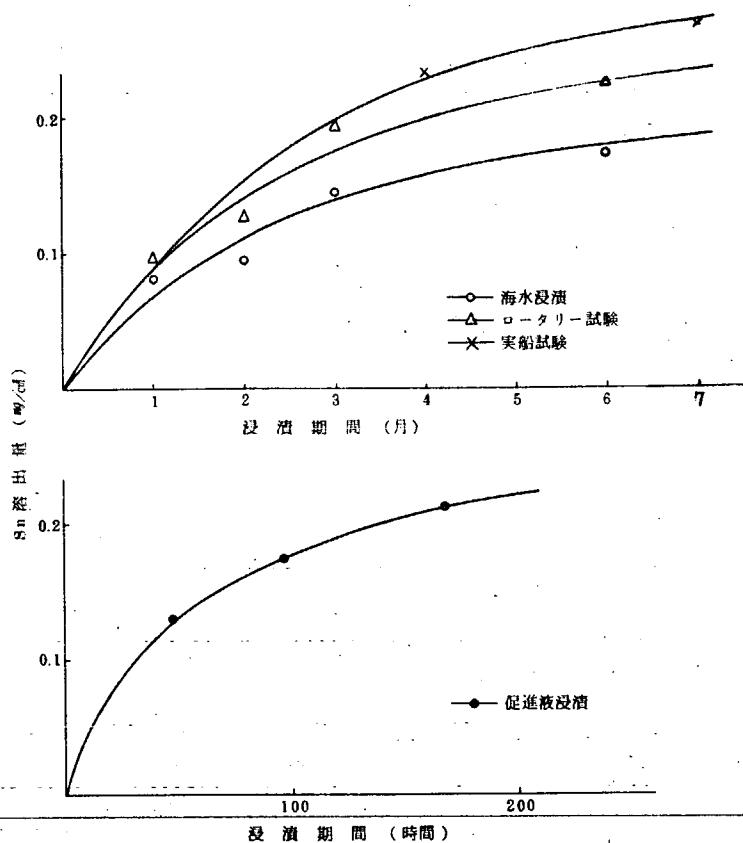


図 2.4.6 ビニル系AFの錫の溶出量

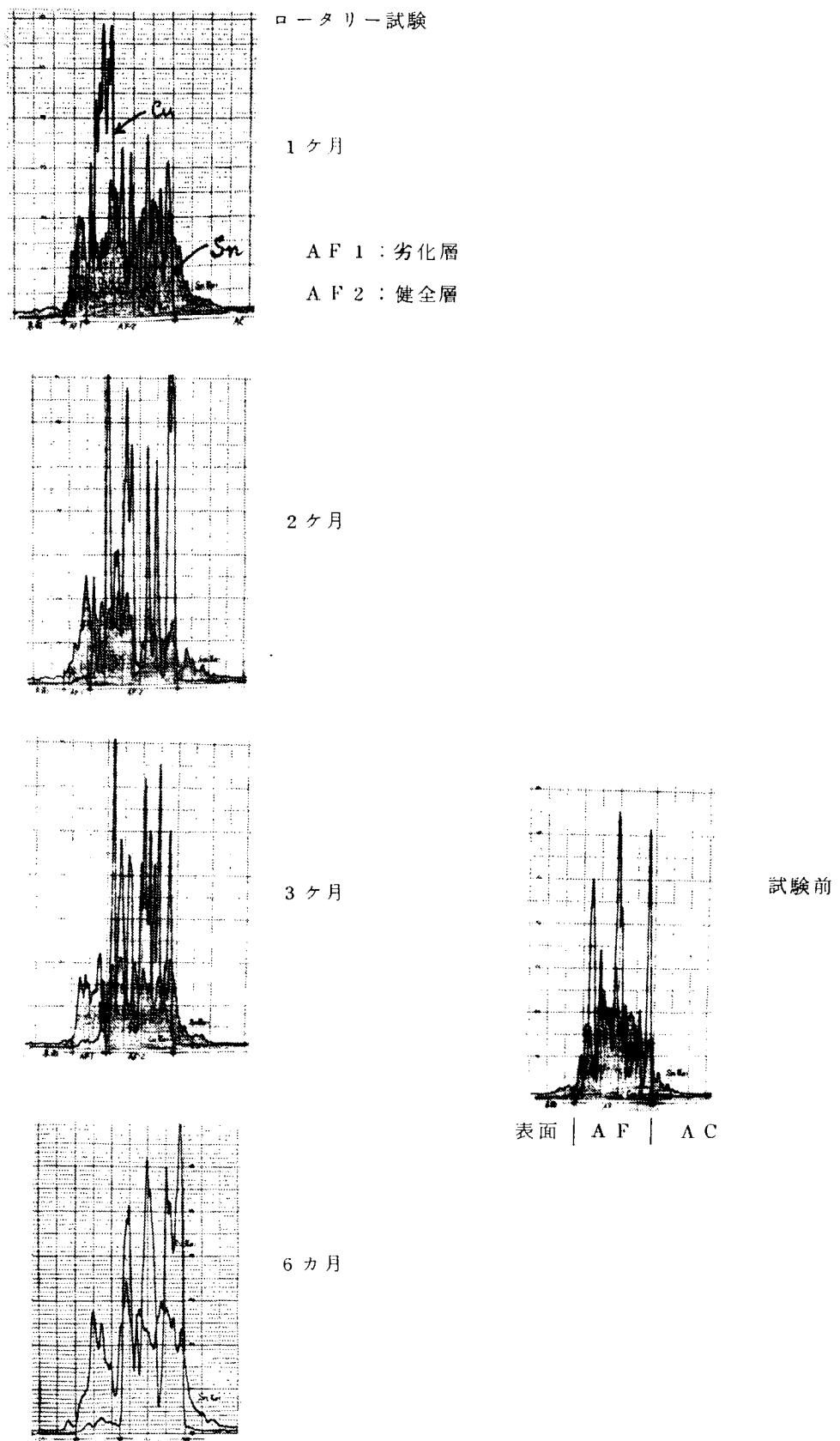
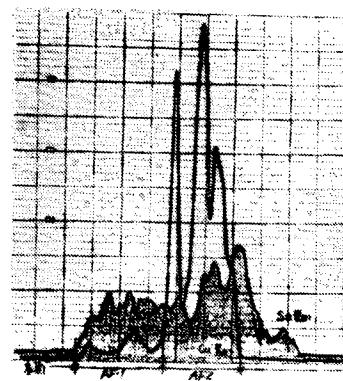
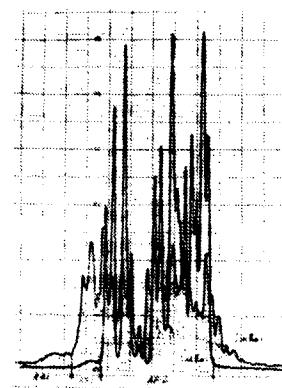


図 2.4.7 涂膜断面の XMA 線分析結果 (1)



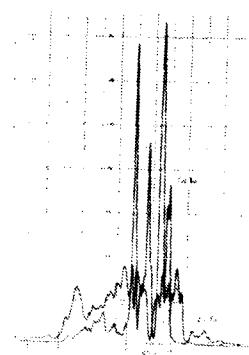
ピルジキール試験

4か月

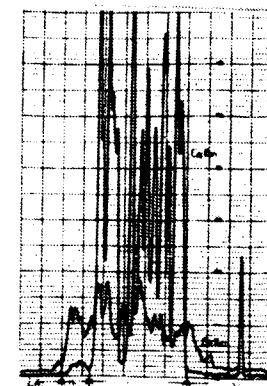


海中浸漬試験

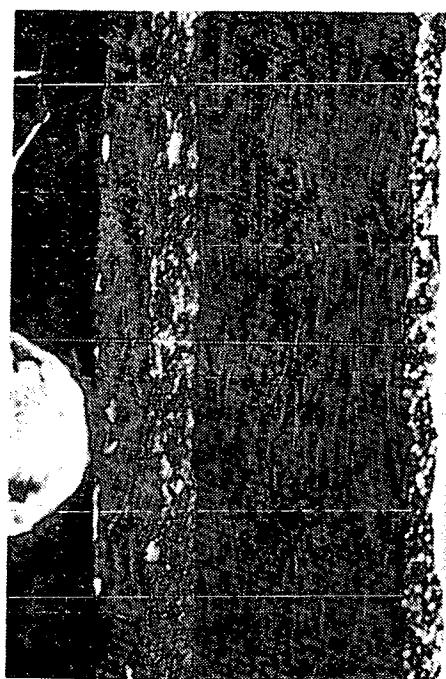
3か月



7か月



6か月



2次電子線像
($\times 200$)

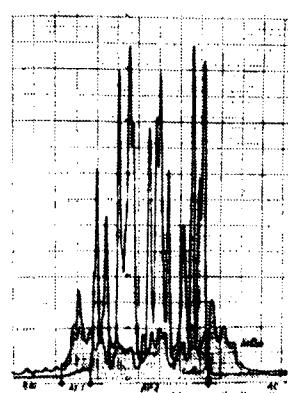
←走査方向

A F劣化層
A F健全層
A C層
プライマー
鋼板

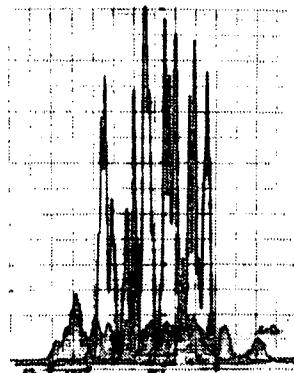
図 2.4.8 塗膜断面の XMA 線分析結果 (2)

促進溶出試験

2 日



4 日



7 日

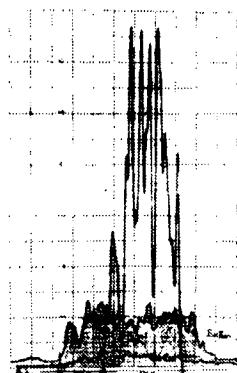


図 2.4.9 塗膜断面の XMA 線分析結果 (3)

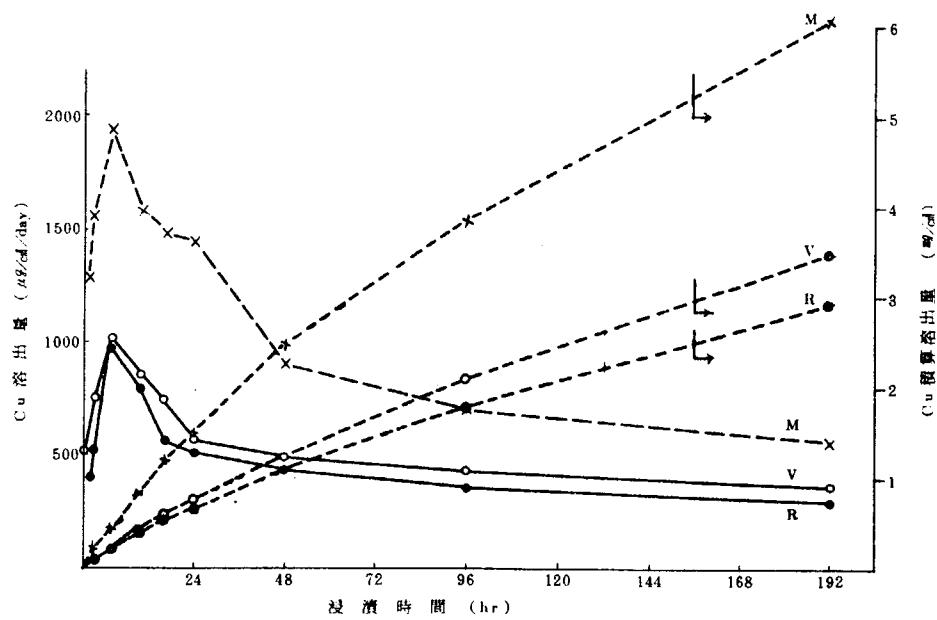


図 2.4.10 Cu の溶出速度(促進溶出液)

R : 塩化ゴム系
V : ビニル系
M : MIL ビニル系

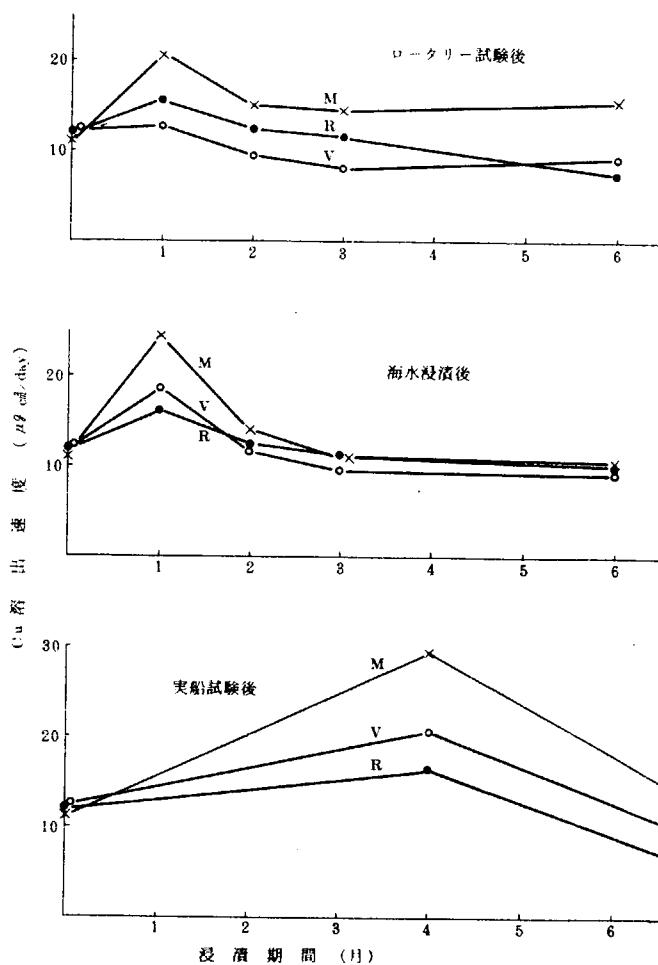


図 2.4.11

各浸漬環境における銅の溶出速度(人工海水中)

R : 塩化ゴム系
V : ビニル系
M : MIL ビニル系

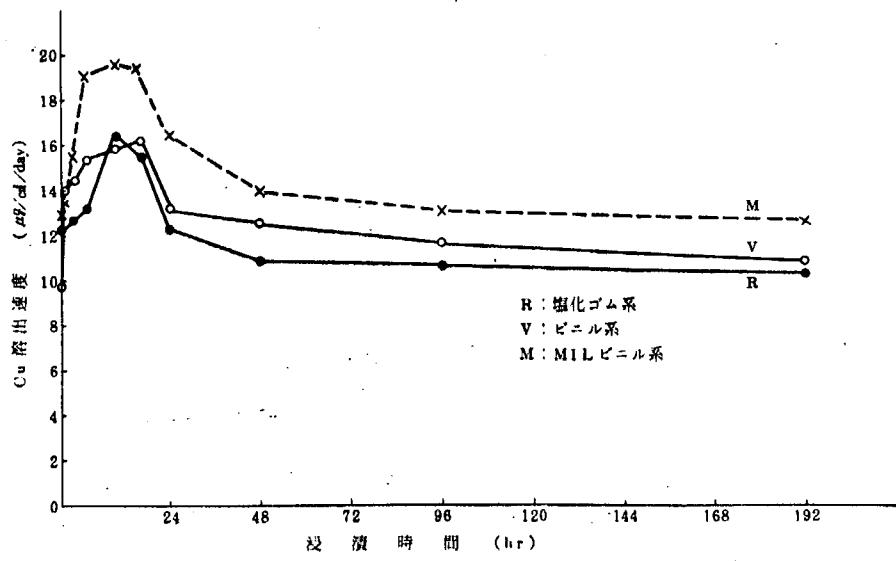


図 2.4.12 Cuの溶出速度(人工海水)

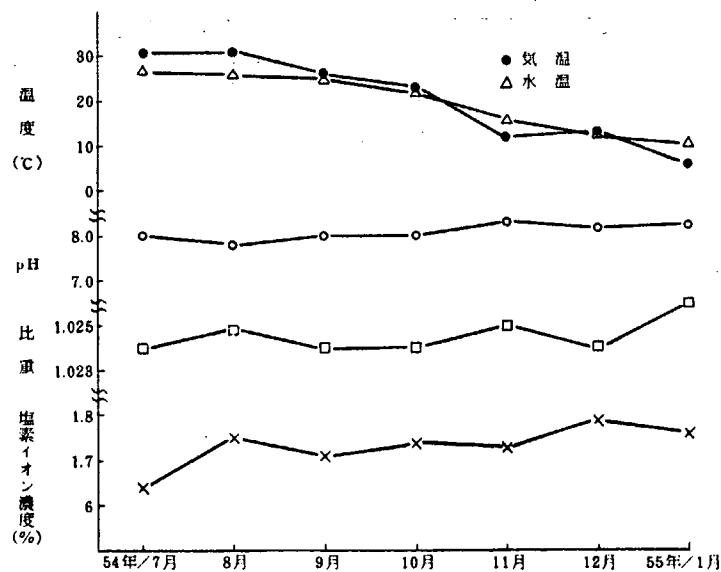


図 2.4.13 海水性状(ロータリー装置付近)

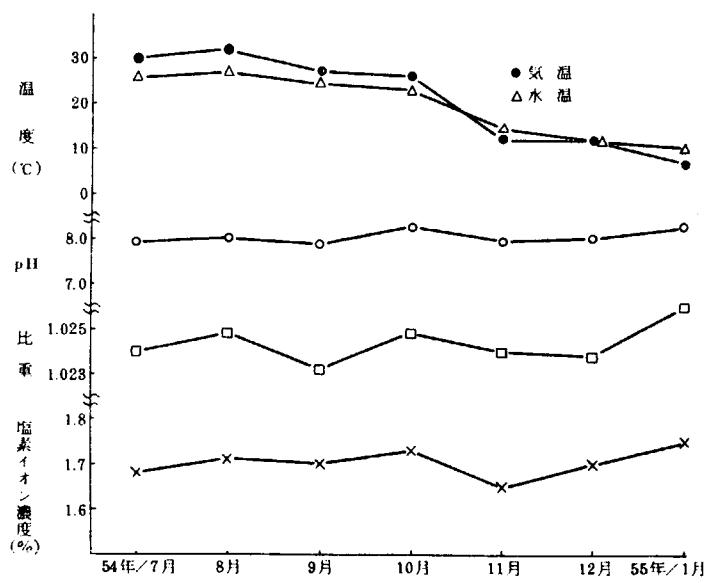


図2.4.14 海水性状(宮島)

25 文献調査

昭和 54 年度に収集した船底塗料関係の文献は下記の通りである。

総 数

138 編

内 訳

- | | |
|--------------------|------|
| (1) 防汚剤の溶出機構 | 3 編 |
| (2) 船底塗料の試験方法 | 4 編 |
| (3) 表面粗度、汚損と摩擦抵抗 | 4 編 |
| (4) 船底塗料の配合及び性能 | 93 編 |
| (5) 船底塗料の安全衛生 | 3 編 |
| (6) その他(船底塗料の総説等) | 9 編 |
| (7) 生物関係 | 12 編 |
| (8) 船底塗料及び生物関係の単行本 | 10 冊 |

詳細は、昭和 55 年度に SR172 部会文献集として 4 ヶ年の成果をまとめて別冊印刷の予定である。

3. 新船舶用塗料の実用化に関する研究

まえがき

第165研究部会において炭化水素類、コールタールおよびクロム等の公害規制対策および安全衛生対策として新しい塗料の開発を行なった。

第165研究部会を引継ぎ本研究ではクロム対策および炭化水素類対策の新しいショップ・プライマを取りあげ、実用化に際し必要な以下の項目について検討を行なった。

- イ) 新しいショップ・プライマの耐食性
- ロ) 新しいショップ・プライマ塗装板の製作加工性
- ハ) 新しいショップ・プライマ塗膜と炭化水素類対策塗料との適合性

3.1 ショップ・プライマ単独塗膜性能調査

3.1.1 概 要

造船塗装工程のうち塗料から発生する公害および作業安全衛生障害を防止する為塗料の無公害化が必要である。そこで本研究では塗料中の炭化水素対策、クロム化合物等の有害物質対策を考えて開発された船舶用塗料(ショップ・プライマ)の塗料物性および加工性について調査した。

3.1.2 供試塗料

供試塗料を表3.1.1に示す。

表 3. 1. 1 供 試 塗 料

新 シ ョ ッ プ ・ ブ ラ イ マ	塗 料 の 種 類	記 号
	クロム対策非光化学反応性溶剤含有ウォッシュ・プライマ	W P · N P
	クロム対策現用使用溶剤含有無機ジンク・プライマ	I Z P · S T
	クロム対策水性無機ジンク・プライマ	I Z P · W B
	クロム対策水性有機ジンク・プライマ	E Z P · E M
比較品	現用のクロム含有ウォッシュ・プライマ	S T

W P · N P : クロム化合物を含まず溶剤は光化学反応性の低い溶剤を使用したウォッシュ・プライマ

I Z P · S T : 溶剤は現用のものを使用しているがクロム化合物を含まない無機ジンク・プライマ

I Z P · W B : クロム化合物を含まず溶剤として水を使用した無機ジンク・プライマ

E Z P · E M : クロム化合物を含まず溶剤として水を使用した有機ジンク・プライマ

S T : クロム化合物を含む現用のウォッシュ・プライマ

3.1.3 塗料物性試験

塗料物性試験として加熱残分、粘度、乾燥時間を測定する。

(1) 試験項目および試験方法

(a) 加熱残分

J I S K 5 4 0 0 に準拠し、110℃、3時間塗料を乾燥硬化後溶剤の蒸発量を求め、次式より加熱残分を求める。

$$\text{加熱残分 \%} = \frac{\text{乾燥後の試料重量}(g)}{\text{試料採取重量}(g)} \times 100$$

なお、繰り返しは3とし試験結果は3データの平均とする。

(b) 粘度

(i) B型粘度計

ポリカップ200mlに試料を入れB型粘度計で粘度の経時変化を調べる。測定温度は20℃および35℃とし1時間毎に0~6時間迄測定する。

(ii) 岩田カップ

試料500mlをポリカップに計り岩田カップで粘度の経時変化を調べる。測定温度は20℃および35℃とし1時間毎に0~6時間迄測定する。

(c) 乾燥時間

試験板寸法150×75×3.2mmの普通鋼(S S 4 1材)をショット・プラスト処理したものにエア・スプレーで所定膜厚塗装後1分毎に塗膜の乾燥状態を調べ、J I S K 5 4 0 0 にある指触乾燥および硬化乾燥時間を求める。合せて安全靴のかかとで踏んでも傷がつかなくなる迄の時間(歩行可能時間)も求める。なお、測定時の温度は10℃および20℃とする。

(2) 試験結果

(a) 加熱残分

加熱残分測定結果を表3.1.2に示す。

(b) 粘度

粘度測定結果を表3.1.3および表3.1.4に示し、粘度の経時変化を図3.1.1および図3.1.2に示す。

(c) 乾燥時間

乾燥時間測定結果を表3.1.5に示す。

表3.1.2 加熱残分測定結果

(単位 wt%)

塗料の種類	理論値	塗料会社測定値	造船所測定値
WP・NP	24.1	24.1	25.4
I Z P・S T	66.0	66.0	65.5
I Z P・W B	85.0	85.0	81.6
E Z P・E M	81.6	82.3	83.3
S T	22.0	22.0	20.3

表 3.1.3 粘度測定結果

(単位 CP)

塗料の種類 測定温度 経過時間 h	WP・NP		IZP・ST		IZP・WB		EZP・EM*		ST	
	20°C	35°C	20°C	35°C	20°C	35°C	20°C	35°C	20°C	35°C
0	40	40	24	20	54	56	10	72	40	40
1	40	46	24	22	56	64	10	88	40	40
2	48	44	24	20	64	86	10	128	44	44
3	42	44	26	28	80	100	10	192	46	40
4	42	46	26	30	108	180	12	測定不可	46	40
5	40	44	26	30	320	200	16		44	42
6	44	44	28	36	400	400	16		48	52

備考 B型回転粘度計 回転数 200 rpm

※ただし EZP・EMは100 rpm
(35°C)

表 3.1.4 粘度測定結果(岩田カップ)

(単位 秒)

塗料の種類 測定時間 経過時間 h	WP・NP		IZP・ST		IZP・WB		EZP・EM		ST	
	20°C	35°C	20°C	35°C	20°C	35°C	20°C	35°C	20°C	35°C
0	35	47	10	8	20	17	10	14	46	45
1	38	45	10	10	47	測定不可	11	19	50	46
2	40	50	10	11	65		10	22	49	52
3	50	74	10	14	114		11	50	47	48
4	50	100	10	15	測定不可		12	測定不可	50	40
5	52	100	10	16			12		53	40
6	50	105	10	19			14		54	40

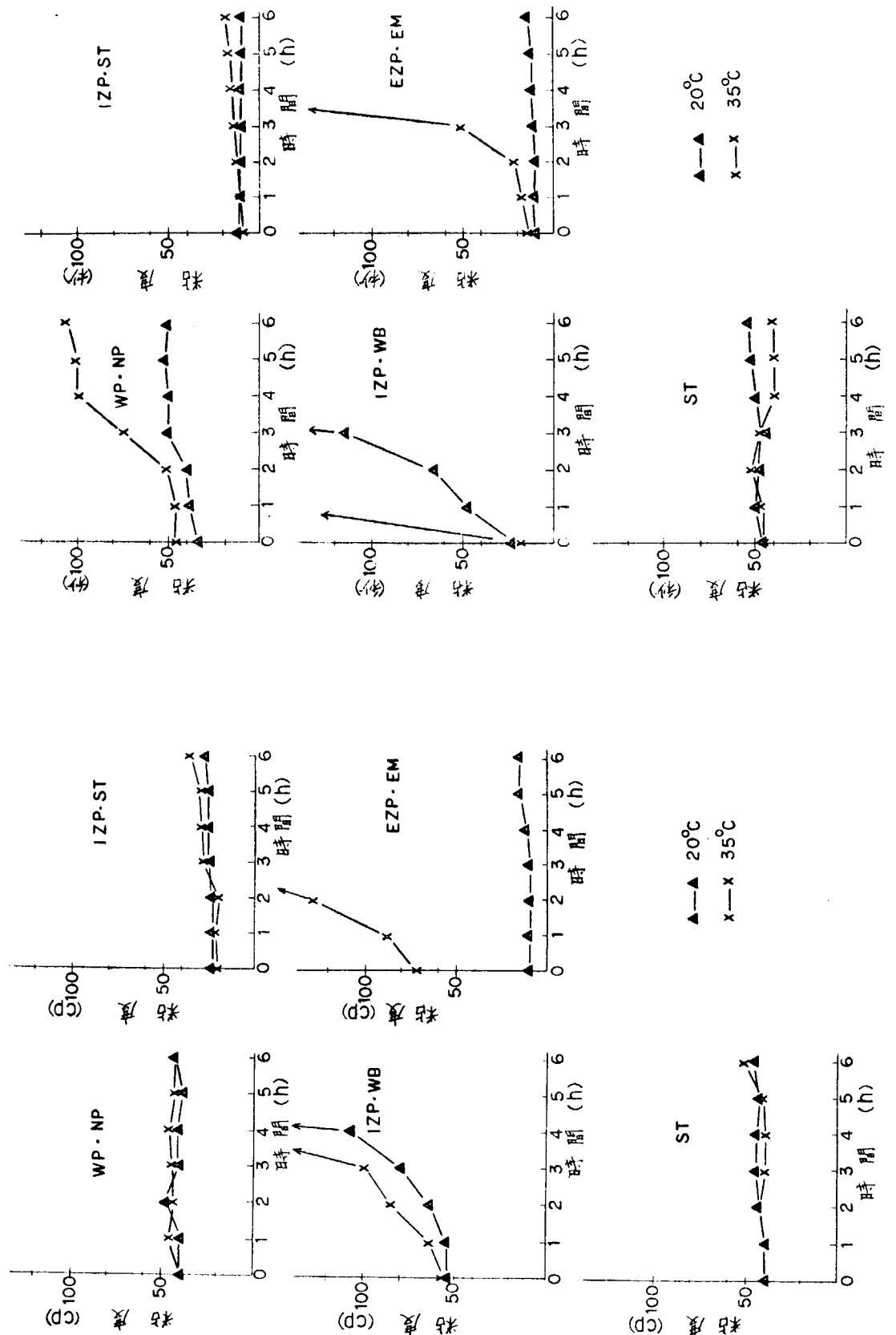


図 3.1.1 (a) 粘度経時変化 (B型粘度計)

図 3.1.1 (b) 粘度経時変化 (岩田カーブ)

表 3.1.5 乾燥時間測定結果

(単位:分)

塗料の 種類	指触		硬化		歩行可能	
	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C
WP・NP	5	2	11	7	28	21
I Z P・S T	1	1	2	1	7	2
I Z P・W B	9	4	18	8	25	14
E Z P・E M	4	3	15	12	35	30
S T	2	2	4	3	11	6

(6) 考察

(a) 加熱残分

WP・NPの加熱残分はS Tより若干多くなっている。シンク系の中ではI Z P・S Tが最も少くE Z P・E Mが最も多い。

(b) 粘度

(i) B型粘度計による結果

各供試塗料共、高温(35°C)でも20°Cに比べ粘度が異常に上昇することはなく可使時間も3時間以上ある。

(ii) 岩田カップによる結果

溶剤系のショップ・プライマは粘度変化が緩やかであるが、水系のショップ・プライマは温度が高くなると著しい粘度上昇を示す。

(c) 乾燥時間

全塗料共温度が低くなると乾燥時間は遅くなっているが溶剤系に比べて水系のショップ・プライマが温度の影響が大である。

3.1.4 塗膜物性試験

表3.1.1に示す塗料について塗膜物性試験を行なう。

(1) 試験片作製方法

試験板寸法150×75×3.2の普通鋼(SS41材)をショット・blastしたものに各供試塗料をエアスプレーで所定膜厚塗装し、1週間室内で自然乾燥したものを試験片とする。なお乾燥塗膜厚さは10および20μmとし、繰り返しを2とする。

(2) 試験項目および試験条件

(a) 初期付着力試験

図3.1.3に示すように試験片に無溶剤エポキシ接着剤で引張試験治具をはり付け、1日間室温で養生する。試験面と他の箇所の縁を絶つために鋼板面に達するナイフ傷を入れる。その後アドヒージョン・テスター(エルコメーター社製)を用い、ショップ・プライマと鋼板の付着力を求める。試験は試験片1枚につき3回行なう。

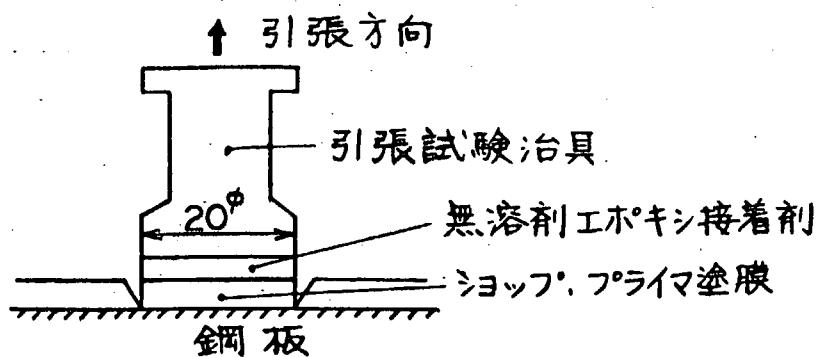


図 3.1.3 引張試験要領

(b) 屋外暴露試験

川崎重工(株)明石工場に 6 ヶ月屋外暴露する。塗膜欠陥の評価は日本塗料検査協会「塗膜の評価基準」に基き行なう。

(c) 塩水噴霧試験

試験片を J I S に準拠した塩水噴霧試験器に入れ、塩水噴霧試験を行なう。噴霧時間は 300 時間とし、塗膜欠陥の評価は日本塗料検査協会「塗膜の評価基準」にもとづき行なう。

(d) 促進耐候性試験

試験片をウエザロ試験機に入れ紫外線照射時間を 120 時間とし促進耐候性試験を行なう。塗膜欠陥の評価は日本塗料検査協会「塗膜の評価基準」にもとづき行なう。

(4) 試験結果

(a) 初期付着力試験

初期付着力試験結果を表 3.1.6 および図 3.1.3 に示す。

(b) 屋外暴露試験

屋外暴露試験結果を表 3.1.7 および図 3.1.4 に示す。

(c) 塩水噴霧試験

塩水噴霧試験結果を表 3.1.7 および図 3.1.5 に示す。

(d) 促進耐候性試験

促進耐候性試験結果を表 3.1.7 および図 3.1.6 に示す。

表 3.1.6 初期付着力試験結果

(単位: kg/cm²)

塗料の種類	膜厚	試験片 No.			
		1		2	
WP・NP	10 μm	26 (B:100)	平均 29.7	30 (B:100)	平均 26.7
		33 (B:100)		27 (B:99, D:1)	
		30 (B:100)		23 (B:100)	
	20 μm	34 (B:100)	平均 29.7	35 (B:100)	平均 34.7
		30 (B:100)		35 (B:100)	
		25 (B:100)		34 (B:100)	
IZP・ST	10 μm	35 (B:100)	平均 33.7	22 (A:28, B:70, D:2)	平均 29.0
		33 (B:50, D:50)		32 (B:99, C:10)	
		35 (B:100)		33 (B:100)	
	20 μm	20 (B:100)	平均 21.7	20 (B:100)	平均 20.0
		25 (B:100)		20 (B:100)	
		20 (B:100)		20 (B:100)	
IZP・WB	10 μm	25 (A:95, B:5)	平均 27.7	32 (A:98, B:2)	平均 32.0
		28 (A:95, B:5)		30 (A:98, B:2)	
		30 (A:95, B:5)		34 (A:98, B:2)	
	20 μm	30 (A:90, B:10)	平均 31.7	25 (A:90, B:10)	平均 25.7
		30 (A:90, B:10)		28 (A:90, B:10)	
		35 (A:90, B:10)		24 (A:90, B:10)	
EZP・EM	10 μm	60 (A:20, C:80)	平均 60.0	35 (B:70, C:30)	平均 51.7
		60 (A:5, C:95)		60 (B:2, C:98)	
		60 (A:8, C:92)		60 (B:2, C:98)	
	20 μm	35 (A:100)	平均 35.7	30 (A:100)	平均 33.3
		40 (A:100)		35 (A:100)	
		32 (A:99, C:1)		35 (A:100)	
S T	10 μm	30 (B:100)	平均 29.0	20 (B:100)	平均 29.0
		28 (B:100)		35 (B:100)	
		29 (B:100)		32 (B:100)	
	20 μm	34 (B:100)	平均 29.7	25 (B:100)	平均 24.0
		30 (B:100)		27 (B:100)	
		25 (B:100)		20 (B:100)	

()内の記号は破壊箇所を数字は%を示す。

A: 素地と S/P の界面、B: S/P の凝集破壊、C: S/P と接着剤の界面、D: その他

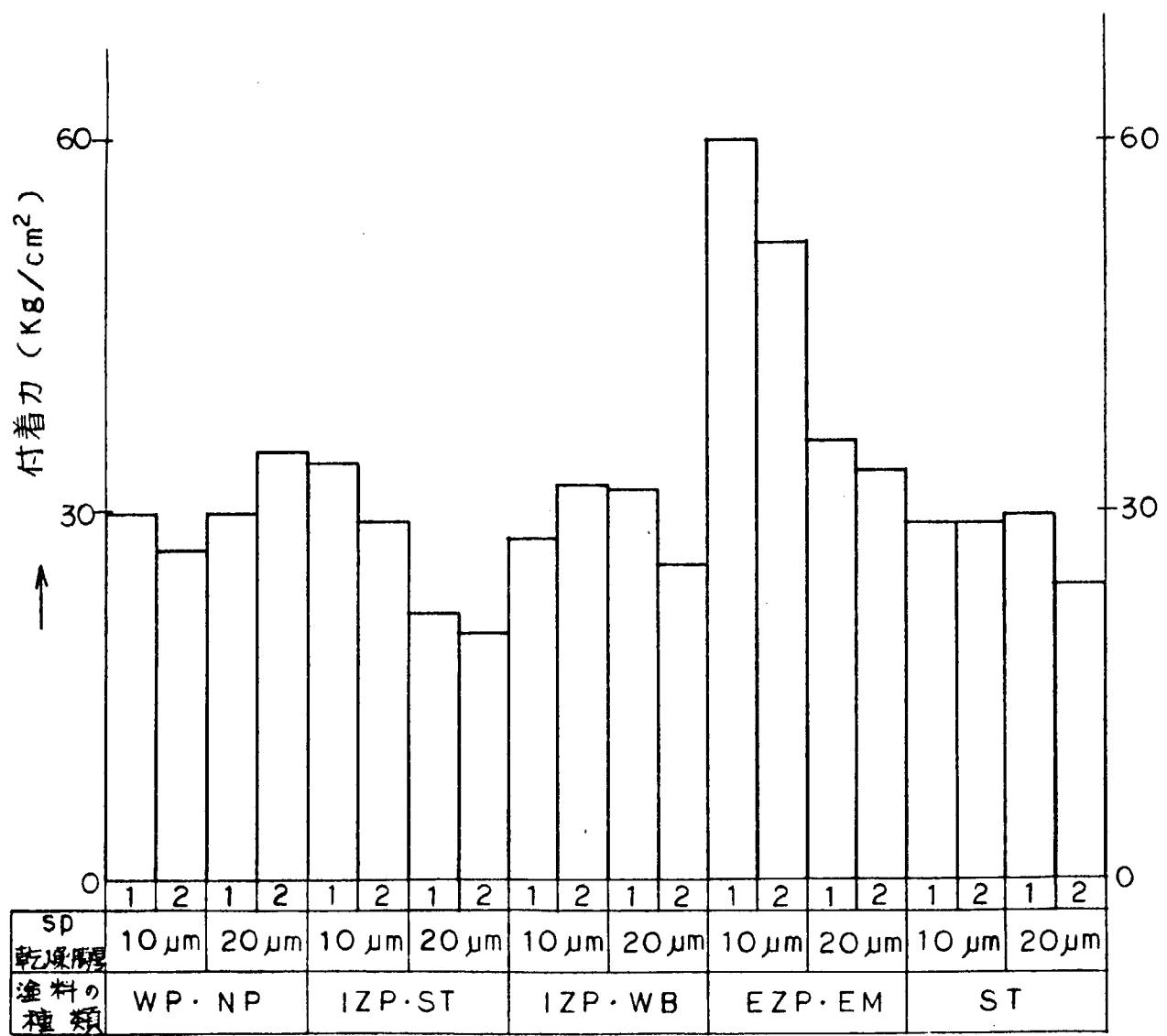


図 3.1.3 初期付着力試験結果

表 3.1.7 屋外暴露、塩水噴霧及び促進耐候性試験結果

試験項目		屋外暴露試験				塩水噴霧試験				促進耐候性試験			
試験片No	観察項目	1		2		1		2		1		2	
塗料の種類	膜厚	サビ	フクレ	サビ	フクレ	サビ	フクレ	サビ	フクレ	サビ	フクレ	サビ	フクレ
W P・N P	1 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	5	1 0	5	1 0	9	1 0	1 0	1 0
	2 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	6	6 s	6	6 s	1 0	1 0	1 0	1 0
I Z P・S T	1 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	9	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	2 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
I Z P・W B	1 0 μ m	8	1 0	8	1 0	6	6 s	6	6 s	1 0	1 0	1 0	1 0
	2 0 μ m	8	1 0	9	1 0	6	6 s	6	6 s	1 0	1 0	1 0	1 0
E Z P・E M	1 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	6	7 s	8	8 s	9	1 0	9	1 0
	2 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	8	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
S T	1 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	8	8 s	1 0	8 vs	1 0	1 0	1 0	1 0
	2 0 μ m	1 0	1 0	1 0	1 0	8	8 s	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0

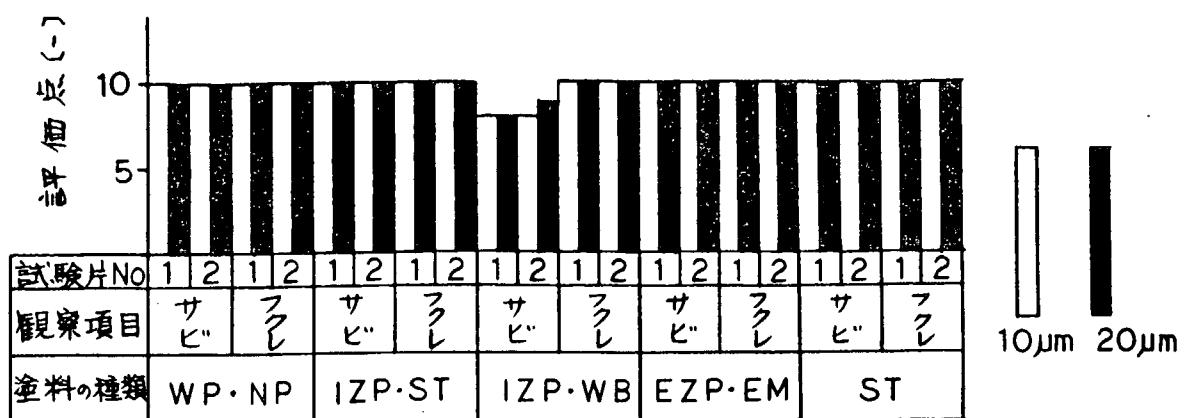


図 3.1.4 屋外暴露試験結果

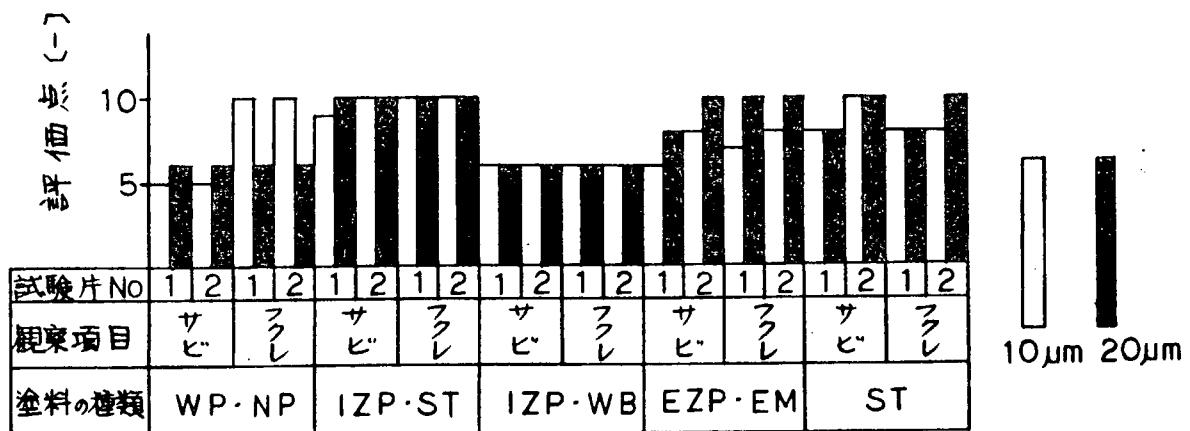


図 3.1.5 塩水噴霧試験結果

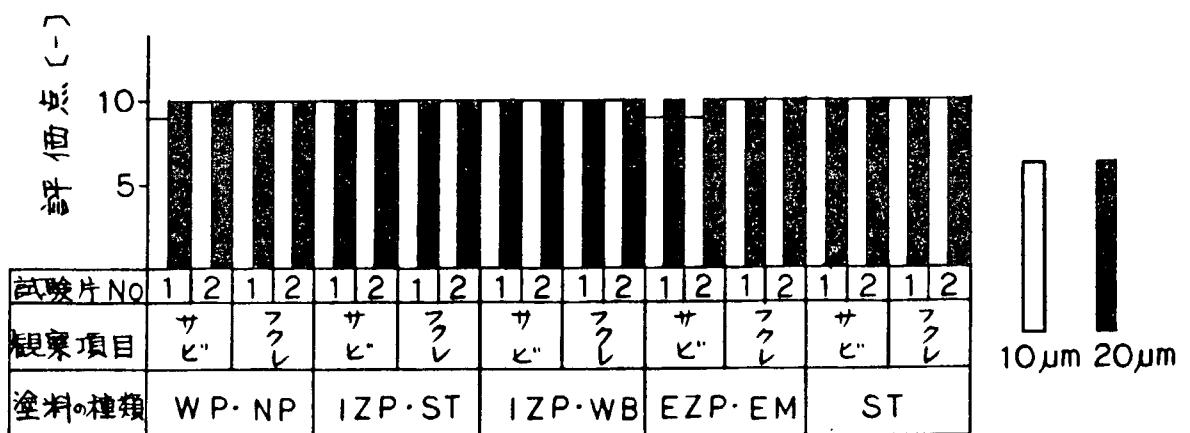


図 3.1.6 促進耐候性試験結果

(5) 考 察

(a) 初期付着力試験

全塗料共初期付着力は 20 kg/cm^2 以上と良好である。特に E Z P・E M は優れた付着力を示した。膜厚が付着力に与える影響は I Z P・S T のように膜厚が増すと付着力がかなり減少しているものもあるが、最低値の付着力でも満足できる値である。

(b) 屋外暴露試験

I Z P・W B のみ発錆がみられたが他は錆、フクレその他の欠陥は認められなかった。

(c) 塩水噴霧試験

W P・N P と I Z P・W B の耐食性が劣っている。I Z P・S T は最も優れた耐食性を示した。

(d) 促進耐候性試験

全塗料共優れた耐候性を示した。

3.1.5 ショッププライマ板の加工調査

表 3.1.1 に示す塗料について塗装鋼板の加工性を調査する。

(1) 試験板

試験板は次に示す普通鋼をショット・ブラスト処理したものを使用する。

- (a) E P M 性試験 $300 \times 300 \times 3.2 \text{ mm}$
- (b) 溶接性試験 $500 \times 150 \times 10 \text{ mm}$
 $500 \times 100 \times 10 \text{ mm}$
- (c) 溶断性試験 $2000 \times 500 \times 20 \text{ mm}$

(2) 試験片作製方法

試験板の両面に各供試塗料をエア・スプレーで乾燥膜厚 $15 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m}$ に塗装し、1週間室内乾燥したものを試験片とする。

(3) 試験項目および試験方法

(2)の方法で作製した試験片を使用する。ただし、乾燥膜厚は $15 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m}$ とする。

(a) 溶接性試験

(i) 溶接順序

図 3.1.7 に示すように試験片を T型に仮付け後、1次側、2次側の両側を溶接する。

(ii) 溶接ビード外観検査

溶接終了後溶接ビードを肉眼観察し発生したピットを数える。

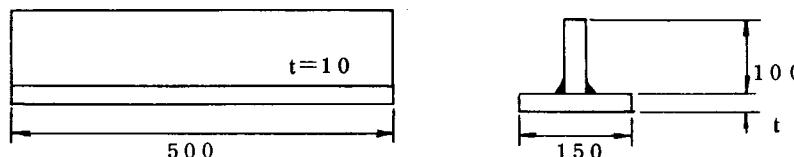


図 3.1.7 溶接性試験片形状

(iii) 破面試験

溶接ビード外観検査終了後、1次側ビードをはつりとり図 3.1.8 に示す要領で破面試験を行ない破面に発生したプローホールを数える。なお、溶接条件を表 3.1.8 に示す。

(iv) 焼損巾の測定

溶接終了後溶接の熱による試験片の裏側塗膜の焼損を調べる為、試験片を 2ヶ月間屋外暴露し発

錆させて塗膜の焼損巾を測定する。

(c) 溶断性試験

試験片を表 3.1.9 に示す溶断条件で図 3.1.9 に示す要領で切断する。溶断面の状態を肉眼観察により表 3.1.10 の項目について評価する。なお評価の基準は図 3.1.10 に示す日本溶接協会のガス切断標準片による。

表 3.1.10 溶断性試験評価項目および評価点

項目	良 ←	評価	→ 不良
あらさ	1 級	2 級	3 級
平面度	1 級	2 級	—
スラグの付着状態	1 級	2 級	3 級 級外
上縁の溶け	1 級	2 級	3 級

表 3.1.8 溶接条件

溶接方法	グラビティ
姿勢	下向き水平すみ肉
使用溶接棒	日鉄溶接棒 F I - 120 G
棒径	5 mm
電流	220 ~ 230 A
電圧	22 ~ 23 V
速度	29 cm/min
脚長	5 mm

表 3.1.9 溶断条件

溶断方法	垂直切断
火口番号	102 NO 2
火口高さ	10 mm
アセチレン圧力	0.4 kg/cm ²
酸素圧力	4 kg/cm ²
使用切断機	1K-12型
溶断速度	20 ~ 70 cm/min

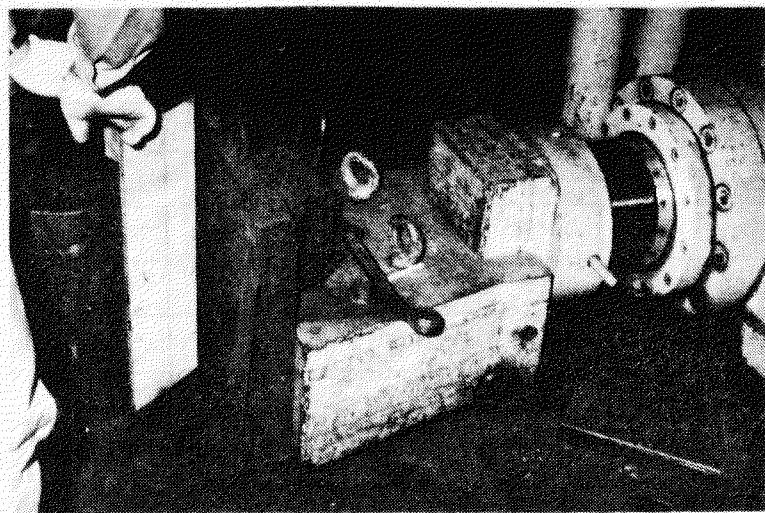


図 3.1.8 破面試験要領

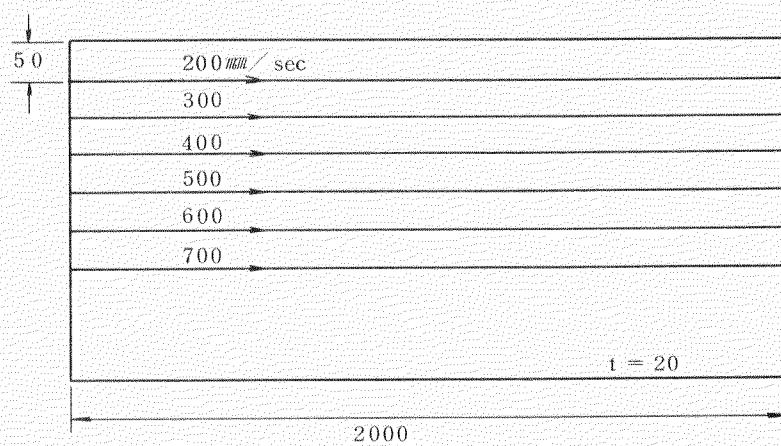


図 3.1.9 溶断性試験要領

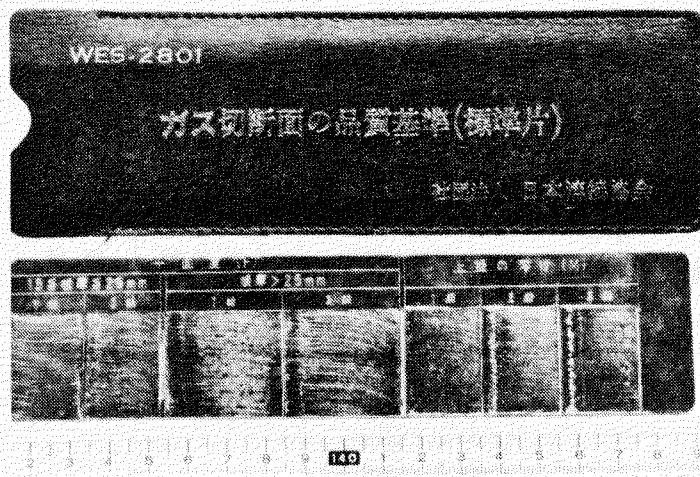


図 3.1.10 ガス切断標準片

(4) 試験結果

(a) EPM性試験

EPM性試験の結果を表3.1.1.1に示し試験後の試験片を図3.1.1.1に示す。

(b) 溶接性試験

溶接性試験結果を表3.1.1.2に示し、溶接後の試験片および試験片裏側塗膜の焼け巾の状態を図3.1.1.2と図3.1.1.3に示す。

(c) 溶断性試験

溶断性試験結果を表3.1.1.3に示し、溶断面の状態を図3.1.1.4に示す。

表3.1.1.1 EPM性試験結果

塗料の種類	色	膜厚	画像の良否		
			コントラスト	かぶり	総合
WP・NP	ライト グリーン	1.5 μm	○	△	○
		2.5 μm	○	△	○
IZP・ST	グレー	1.5 μm	○	○	○
		2.5 μm	○	○	○
IZP・WB	グレー	1.5 μm	○	○	○
		2.5 μm	○	○	○
EZP・EM	グレー	1.5 μm	○	○	○
		2.5 μm	○	○	○
ST	ダーク グリーン	1.5 μm	○	○	○
		2.5 μm	○	○	○

○：良好 △：やや不良 ×：不良

表3.1.1.2 溶接性試験結果

塗料の種類	膜厚	ビード外観 ピット	破面試験 プローホール	焼損巾 mm
WP・NP	1.5 μm	0	2.5	3.3
	2.5 μm	0	1.8	3.2
IZP・ST	1.5 μm	0	4	0
	2.5 μm	0	4	0
IZP・WB	1.5 μm	0	8	0
	2.5 μm	0	1.5	0
EZP・EM	1.5 μm	0	4	0
	2.5 μm	0	7	0
ST	1.5 μm	0	1.8	3.0
	2.5 μm	0	7	3.5
Blank	—	0	1	—

備考 ピット、プローホールについては溶接ビード500mmのうち400mmを観察した。

表 3.1.13 溶断性試験結果

R : あらさ
 S : スラグ^{*}
 F : 平面度
 M : 上様の溶け

: 1 級
 : 2 級
 : 3 級

塗料の種類	膜厚	検査項目	切 断 速 度 mm/min					
			200	300	400	500	600	700
WP・NP	15 μm	R						
		S						
		F						
		M	■■■					
	25 μm	R						
		S						
		F						
		M	■■■					
IZP・ST	15 μm	R						
		S						
		F						
		M						
	25 μm	R						
		S						
		F						
		M						
IZP・WB	15 μm	R						
		S						
		F						
		M						
	25 μm	R						
		S						
		F						
		M	■■■					
EZP・EM	15 μm	R						
		S	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■
		F						
		M						
	25 μm	R						
		S	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■■■
		F						
		M	■■■					
ST	15 μm	R						
		S						
		F						
		M	■■■					
	25 μm	R						
		S						
		F						
		M	■■■					
Blank	-	R						
		S						
		F						
		M						

試験
せず

供試 塗料	膜厚 $1.5 \mu\text{m}$	膜厚 $2.5 \mu\text{m}$
WP・NP		
I Z P・S T		
I Z P・WB		

図 3. 1. 11 (a) EPM 性試験後の試験片

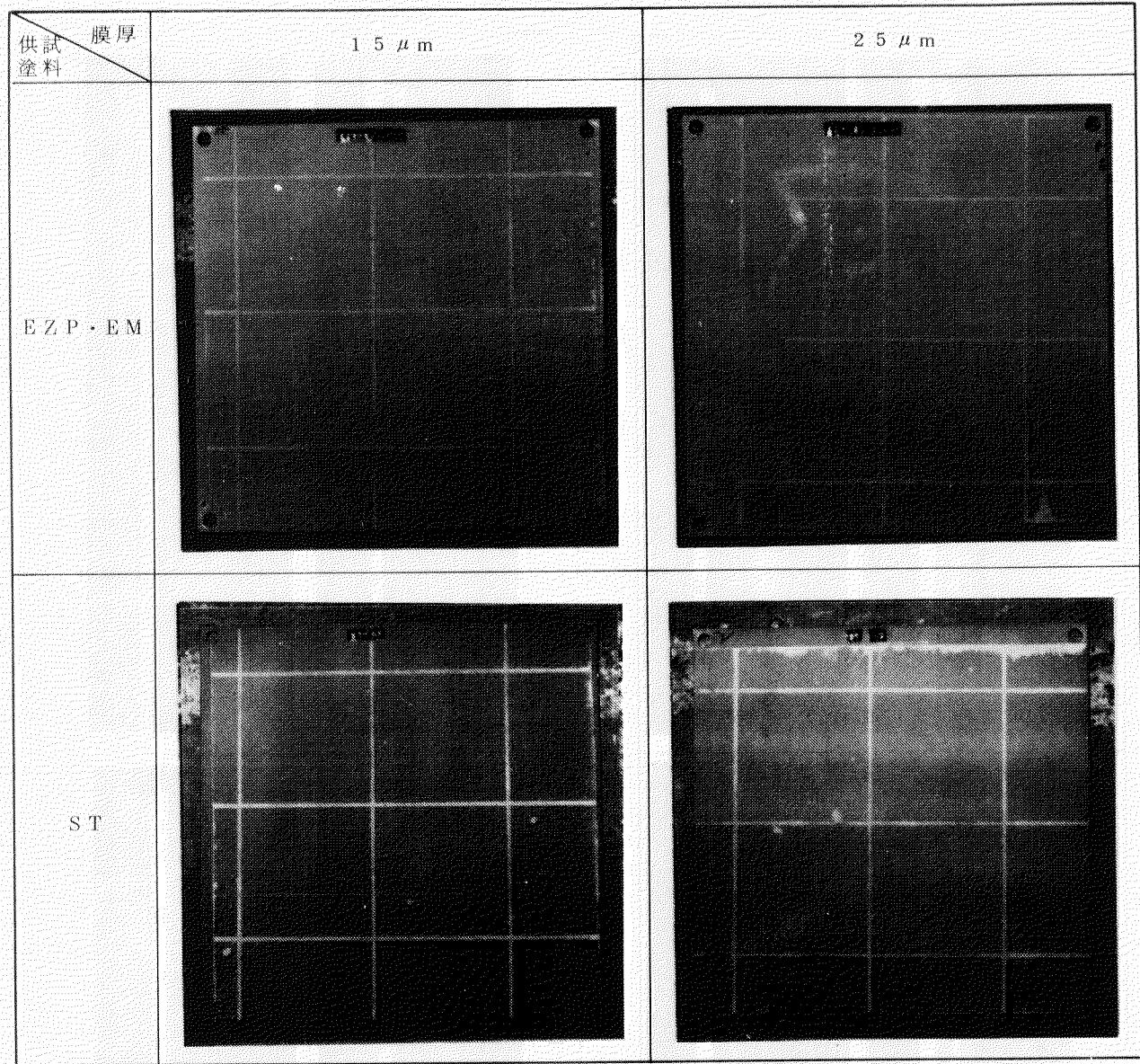


図 3. 1. 1 1 (b) E P M 性試験後の試験片

W P · N P	1 次 側	2 次 側
1.5 μ m		
2.5 μ m		

I Z P · S T	1 次 側	2 次 側
1.5 μ m		
2.5 μ m		

図 3.1.12 (a) 溶接後の試験片



図 3.1.12 (b) 溶接後の試験方



図 3.1.1 2 (c) 溶接後の試験片

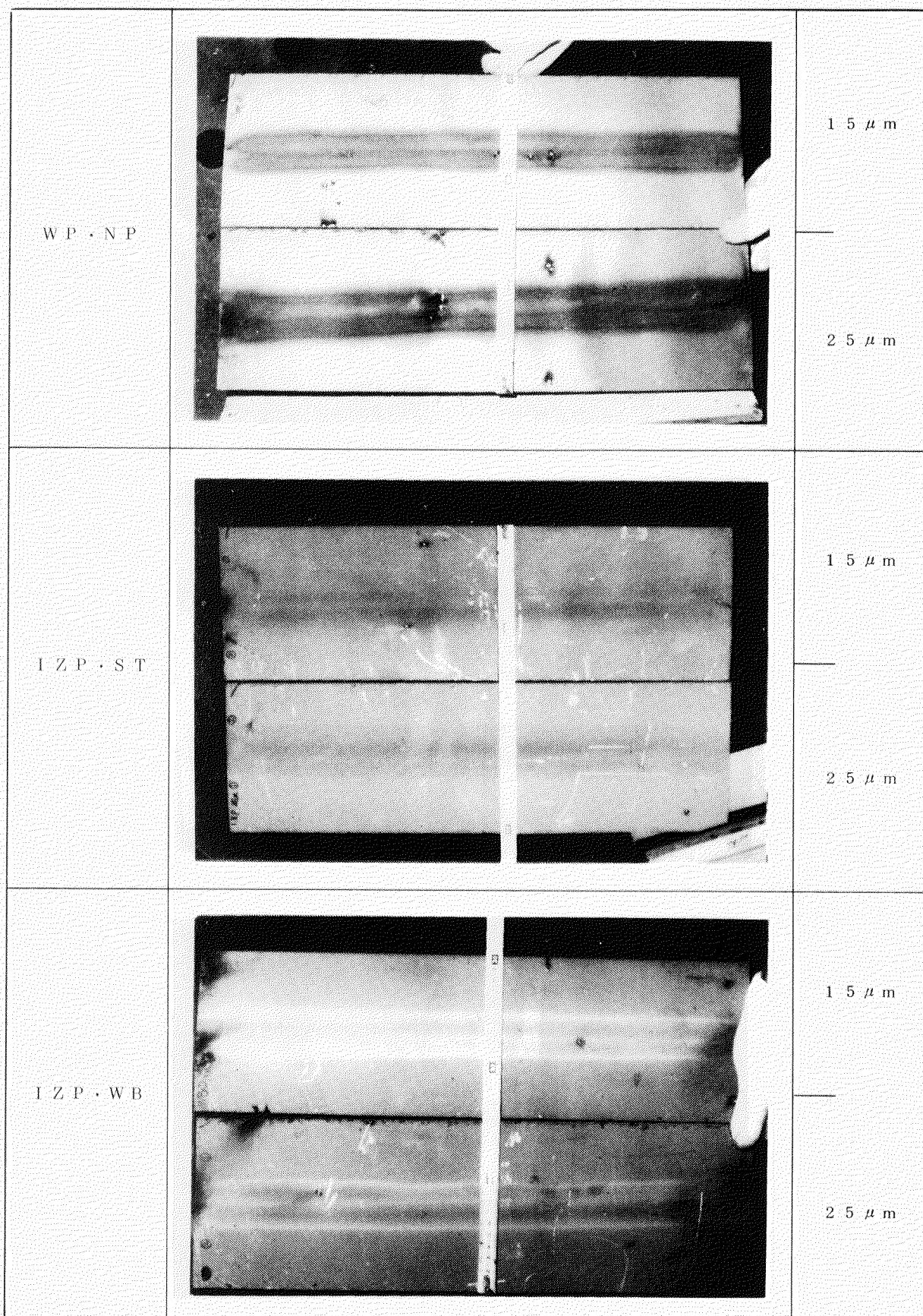


図 3. 1. 1 3 (a) 試験片裏側塗膜の焼け巾

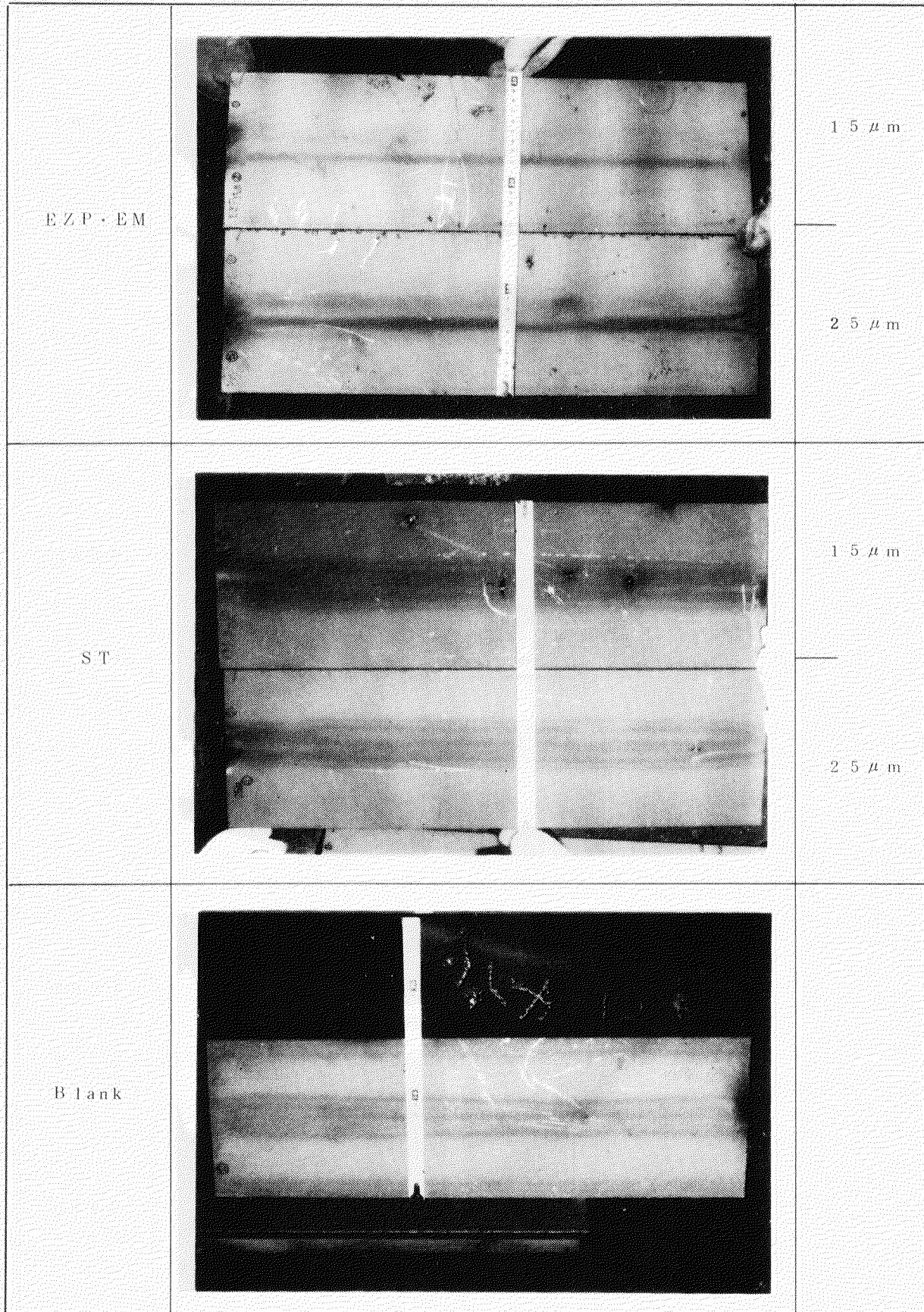


図 3. 1. 1. 3 (b) 試験片裏側塗膜の焼け巾

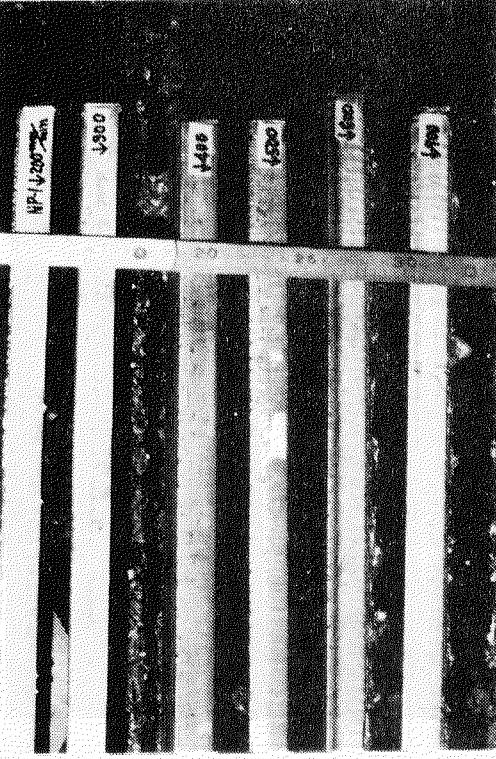
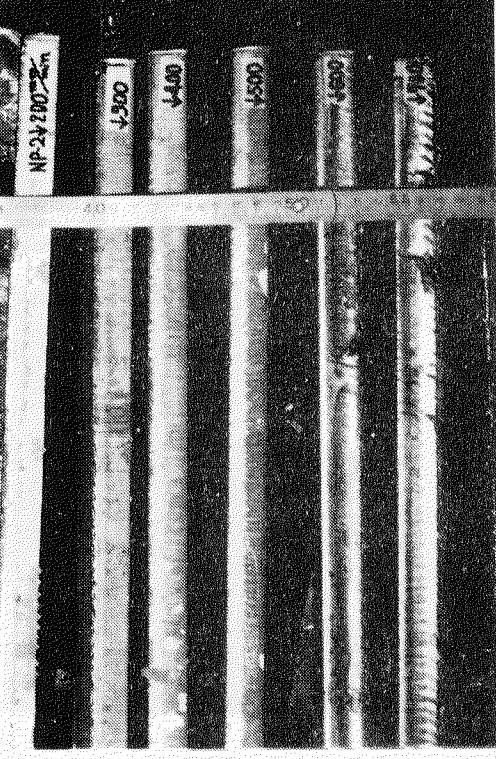
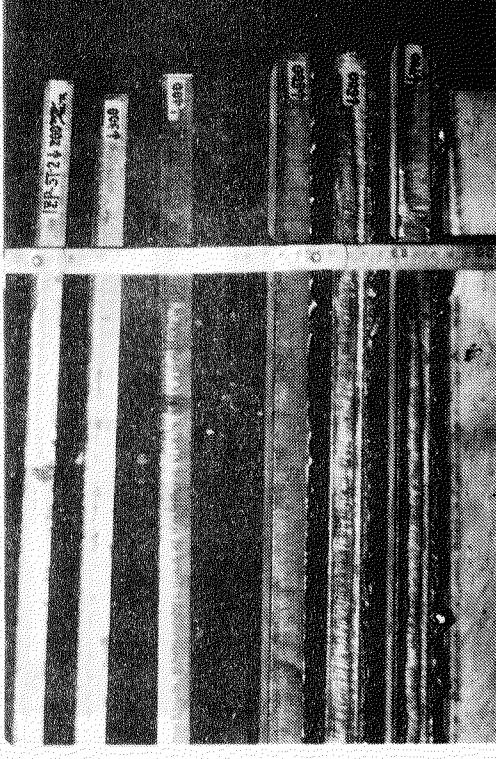
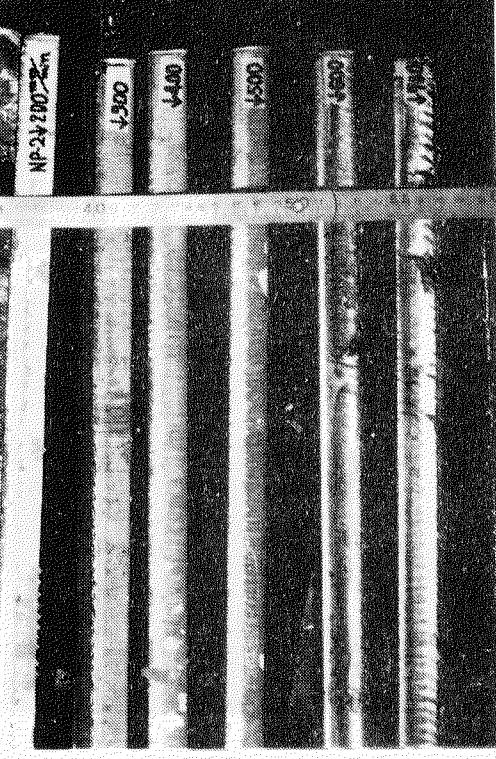
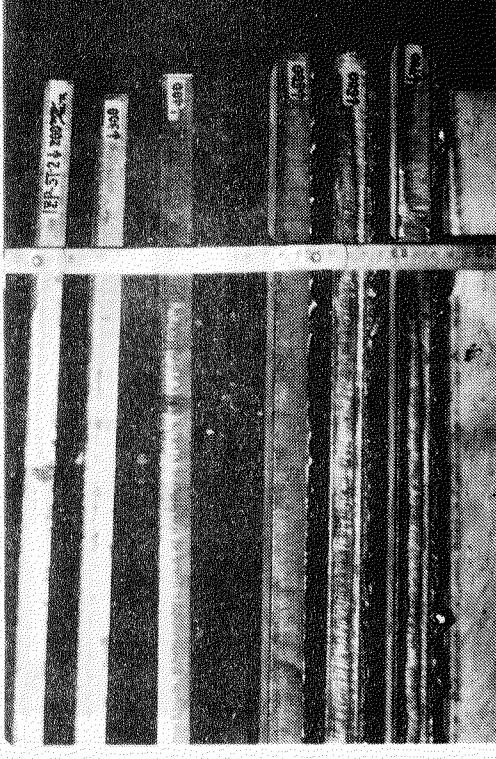
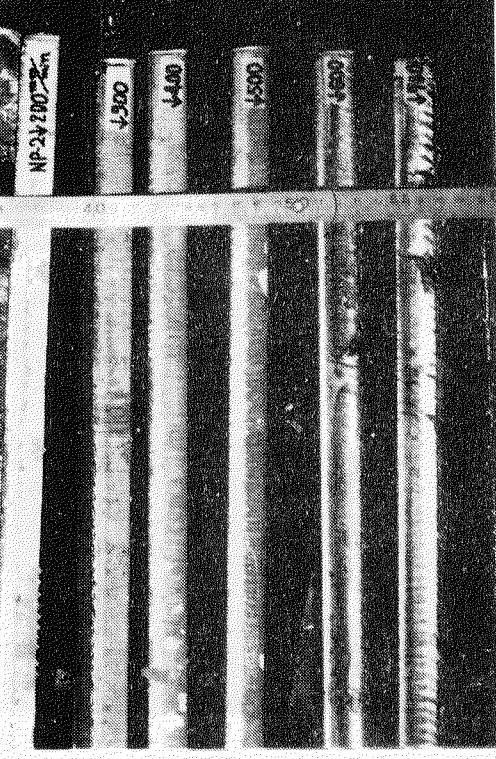
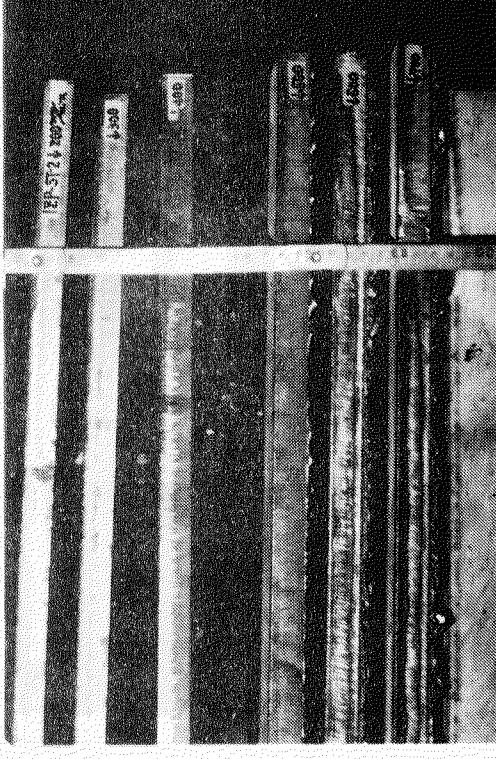
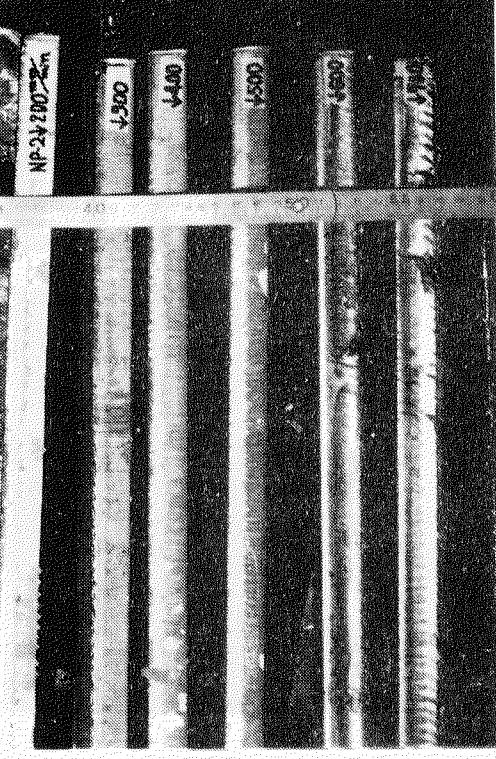
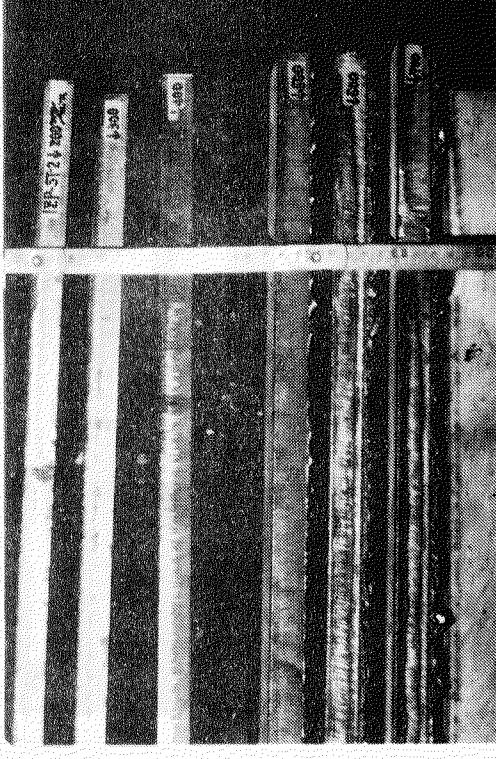
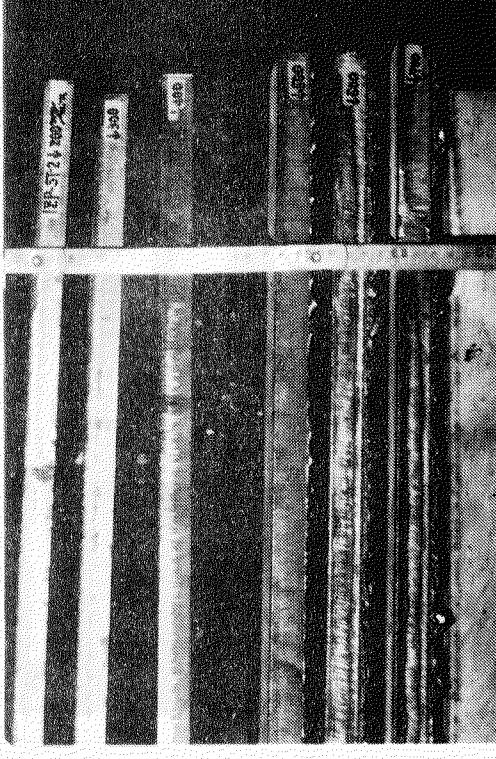
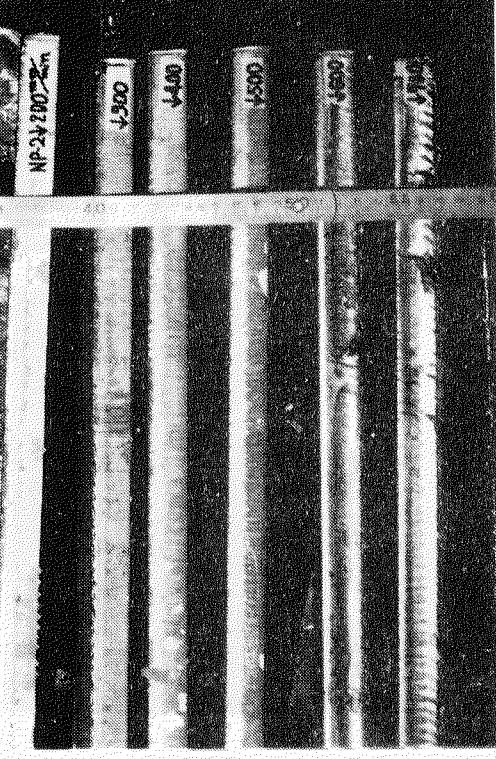
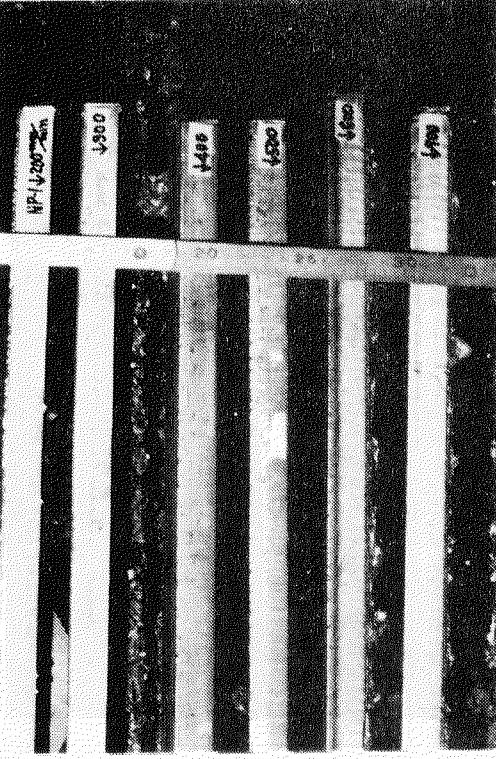
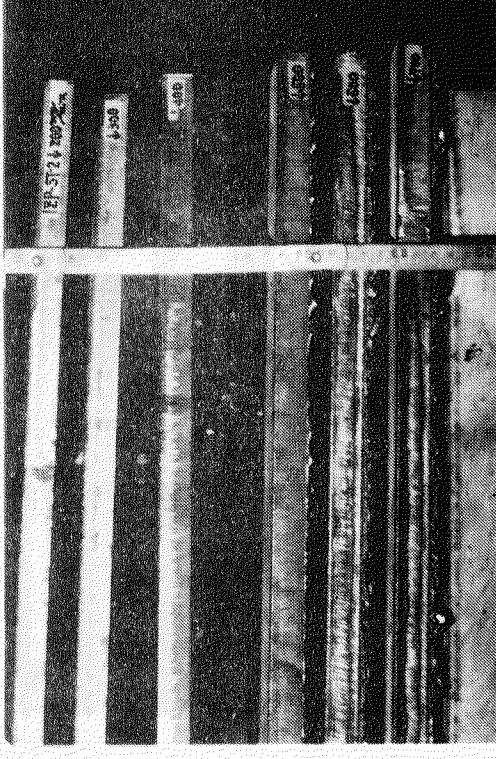
	1.5 μ m	2.5 μ m	5 μ m	7.0 μ m	溶断速度 mm/min
					200
W.P. + N.P.					300
I.Z.P. + S.T.					400
					500
					600
					700

図 3.1.14 (a) 溶断面の状態

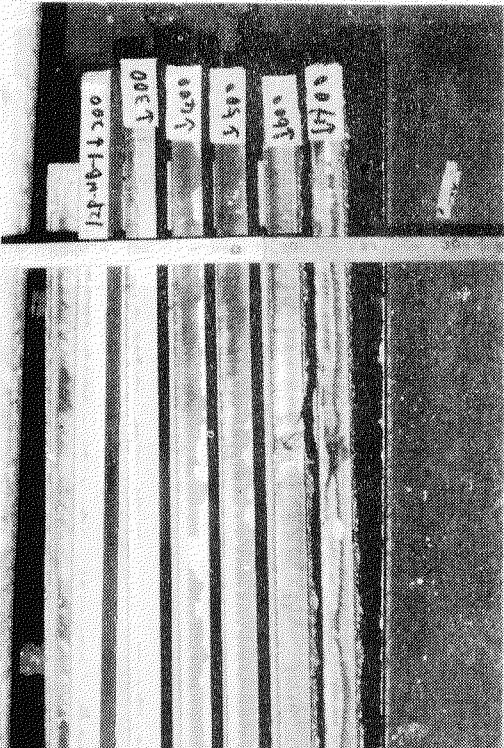
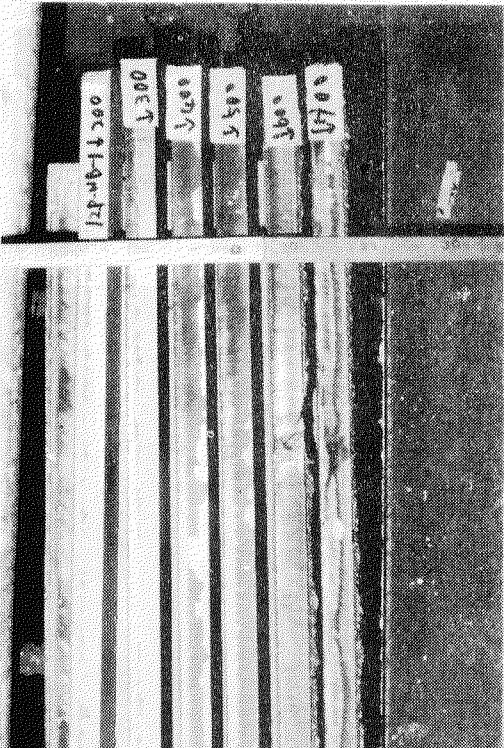
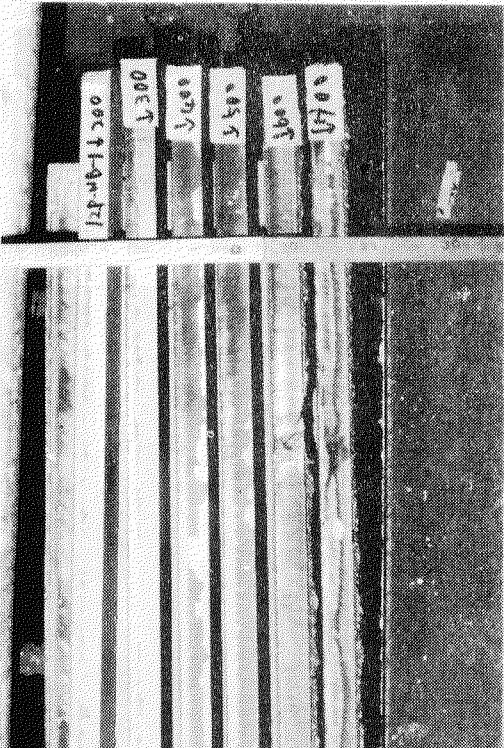
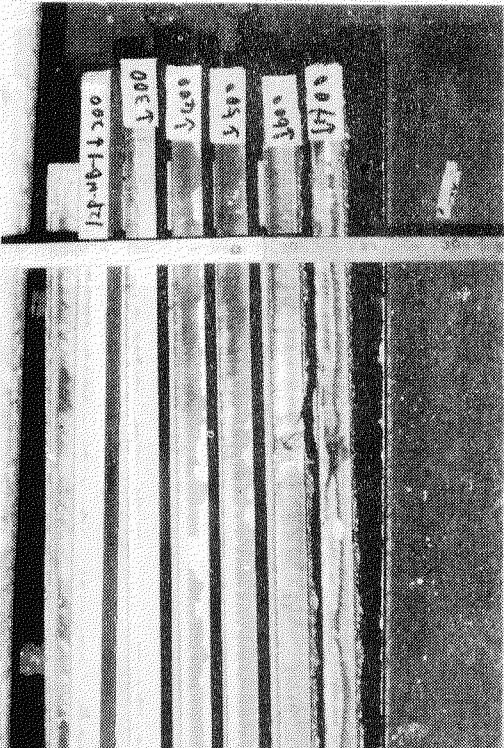
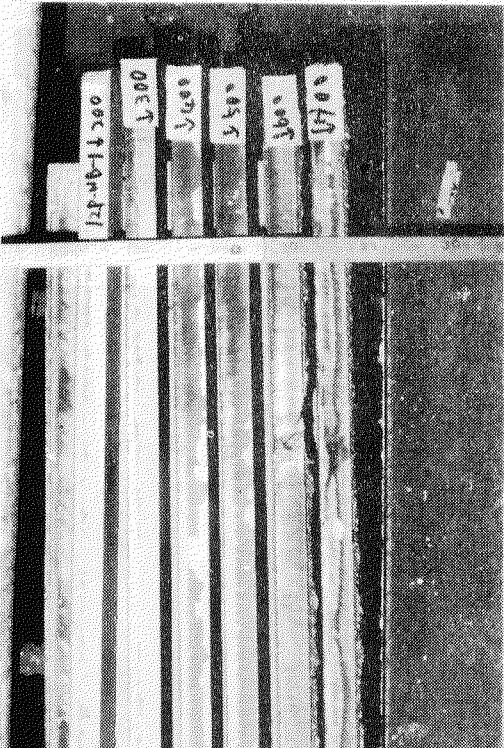
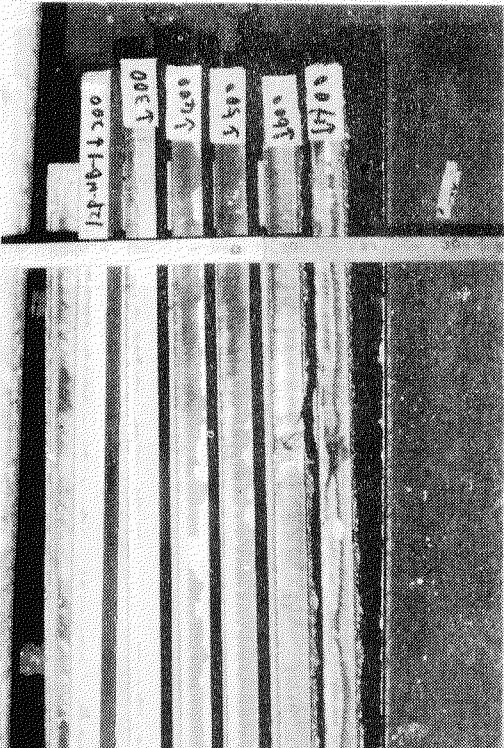
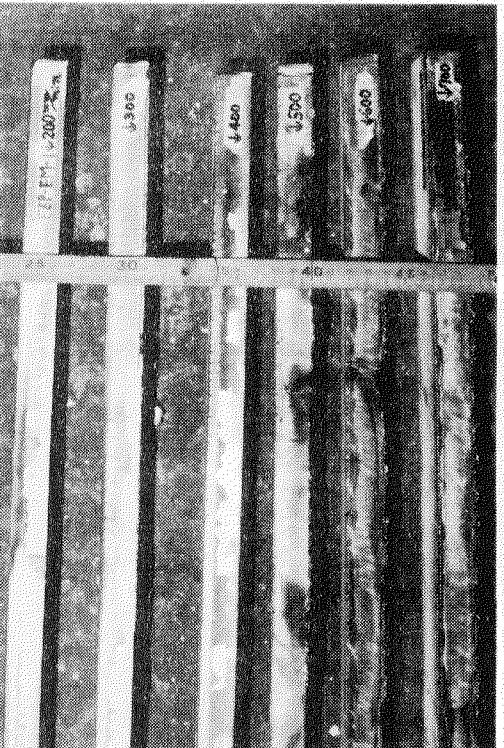
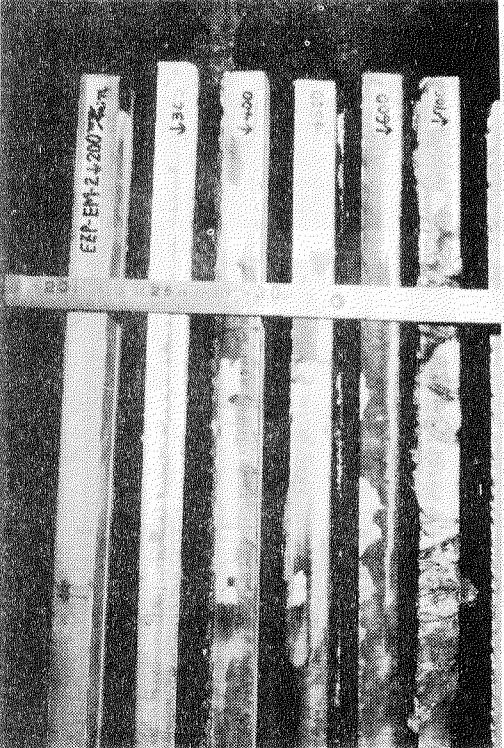
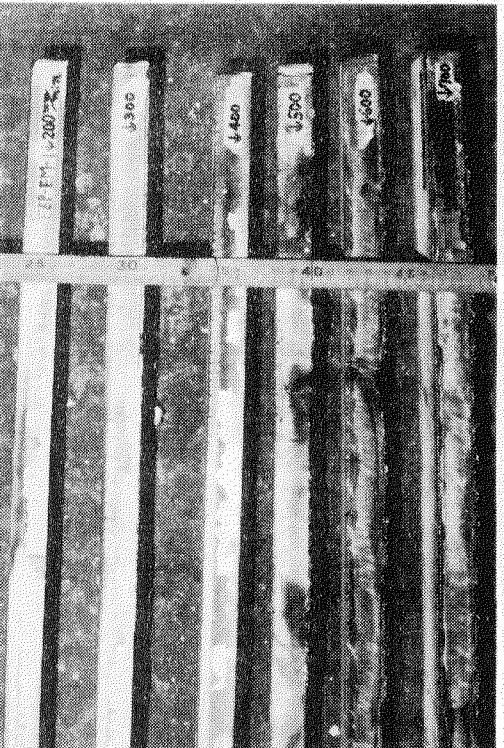
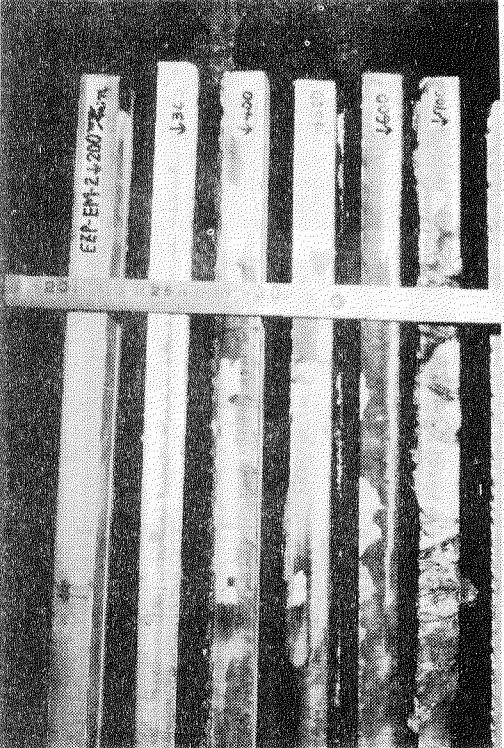
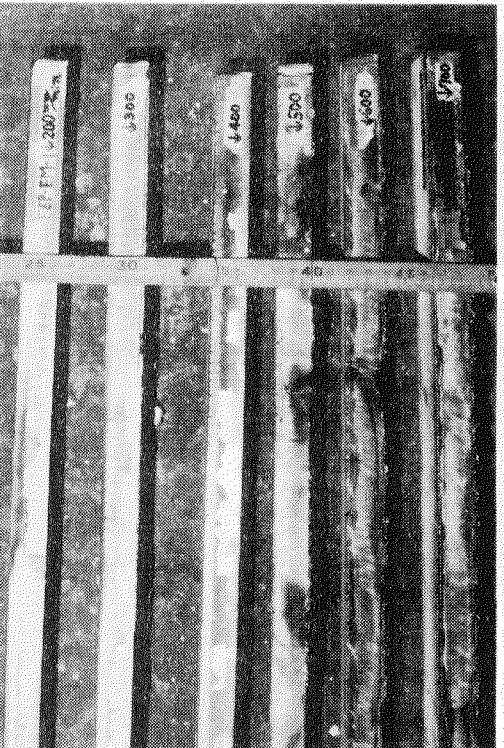
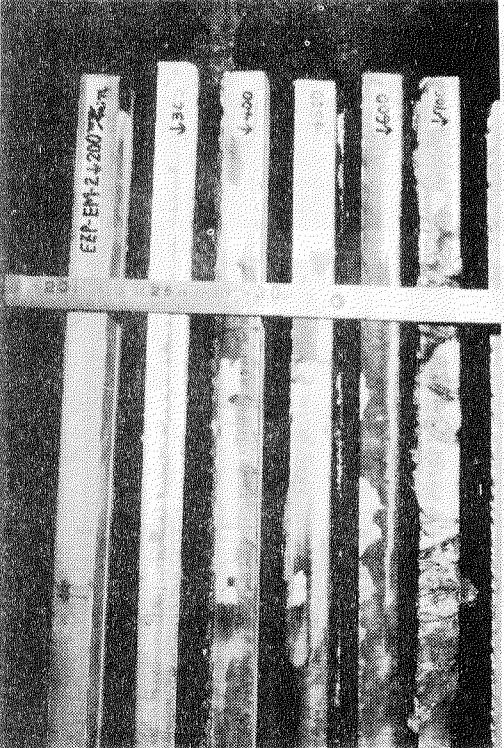
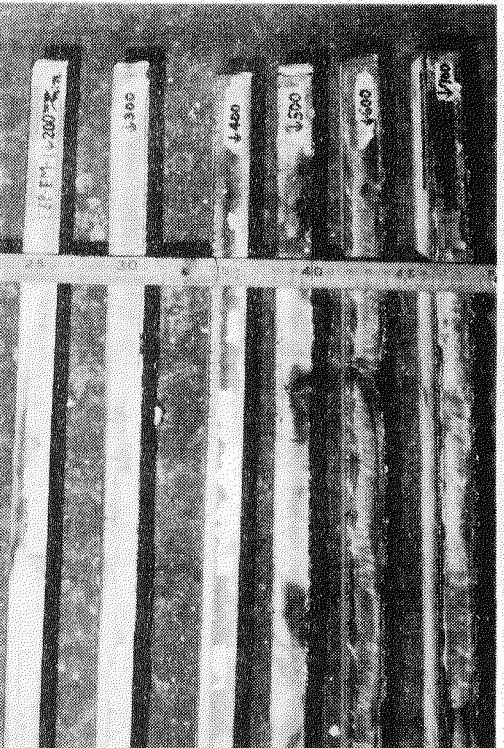
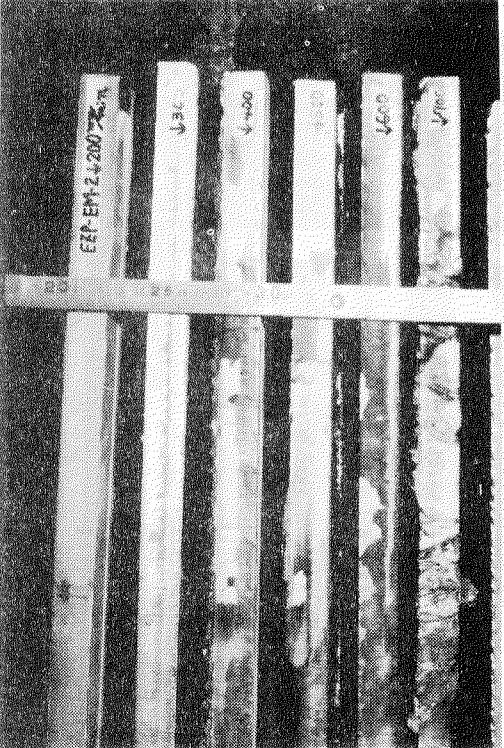
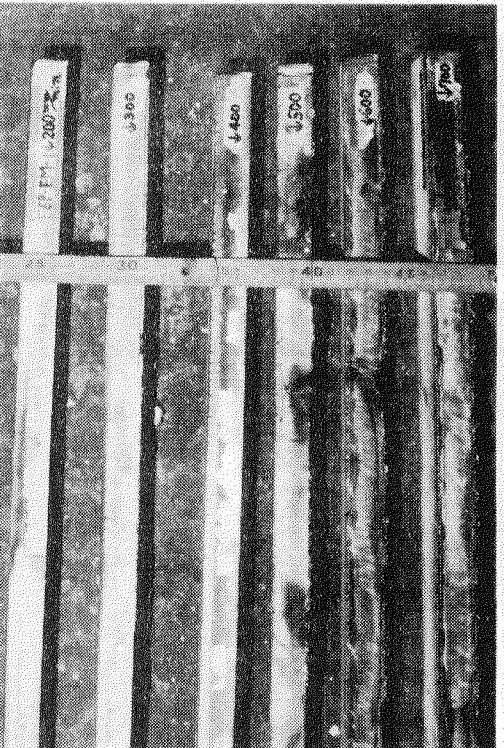
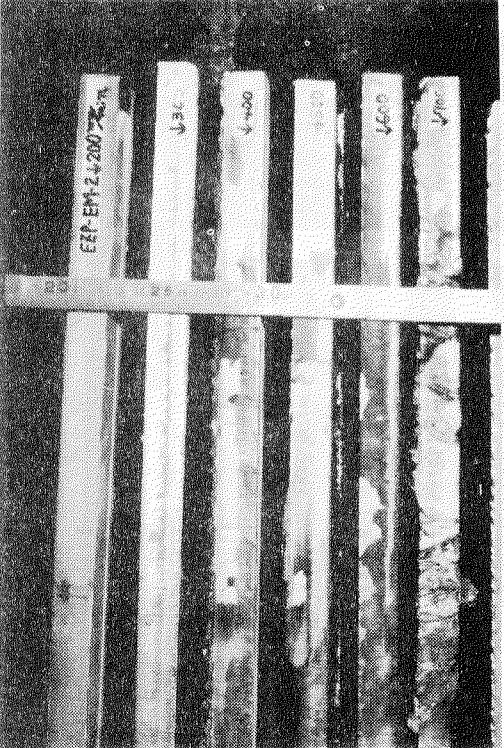
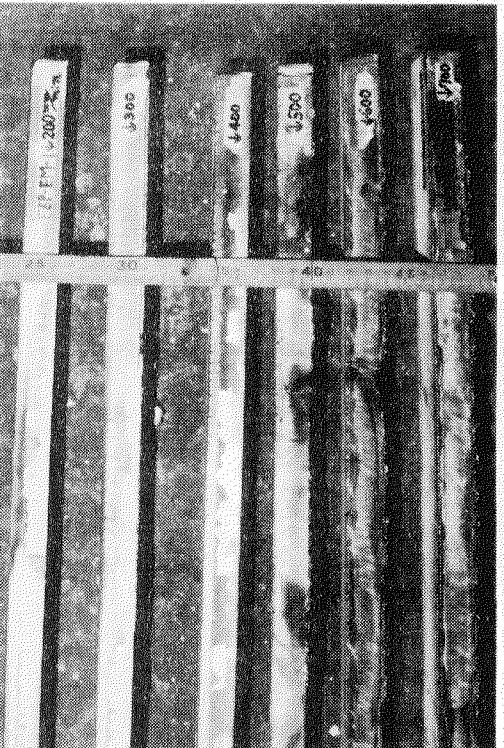
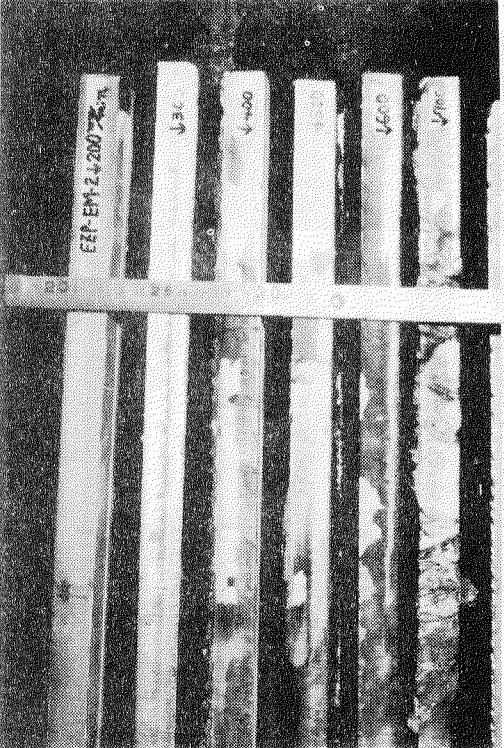
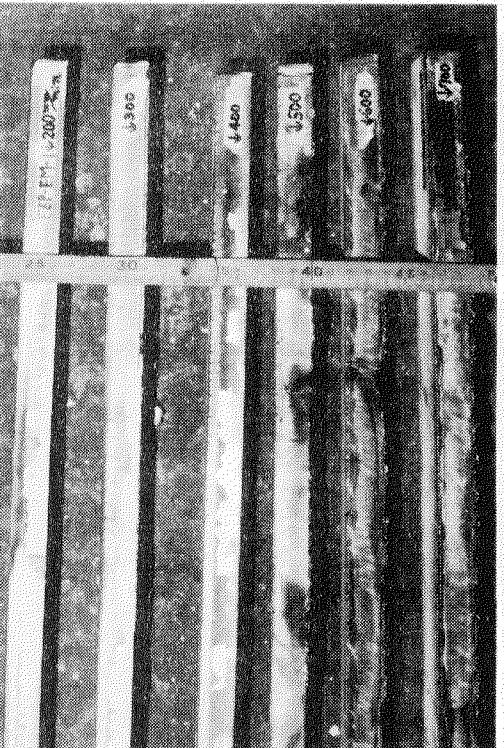
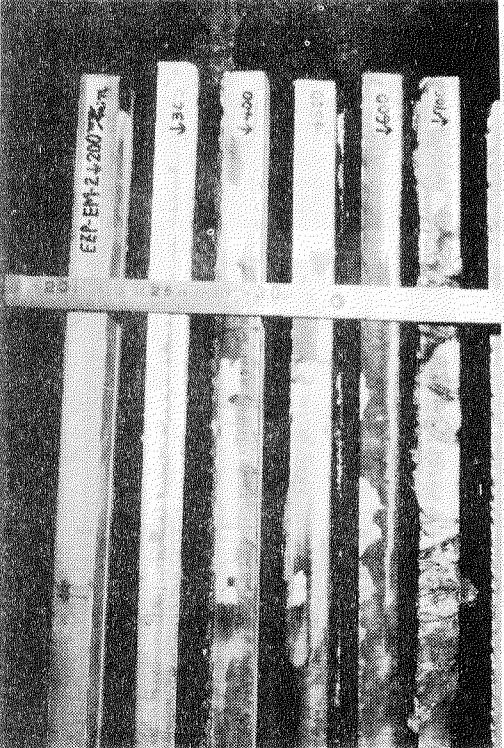
	1.5 μ m	2.5 μ m	容断速度
			200 nm/min
IZP+WB			300 nm/min
			400 nm/min
			500 nm/min
			600 nm/min
			700 nm/min
EZP+EM			100 nm/min
			200 nm/min
			300 nm/min
			400 nm/min
			500 nm/min
			600 nm/min
			700 nm/min

図 3.1.14 (b) 容断面の状態

	溶断速度
ST	2.00 mm/min 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00
Blank	2.00 mm/min 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00

図 3.1.14 (c) 溶断面の状態

(5) 考 察

(a) EPM性試験

WP・NPにわずかにかぶりが認められるが全塗料共膜厚に関係なく良好である。

(b) 溶接性試験

(i) ピット

全塗料共ピットの発生は0でショップ・プライマ塗装による影響は認められない。

(ii) ブローホール

ブローホールの発生はIZP・STが最も少なく以下EZP・EM, IZP・WB, ST, WP・NPの順に多くなっているが実用上問題となるものはない。

(iii) 塗膜の焼損巾

IZP・ST, IZP・WB, EZP・EMは溶接による焼損は認められない。WP・NP, STは耐熱性が悪い。

(c) 溶断性試験

実用切断速度は400~500mm/minであり、この範囲では全塗料共切断面の状態は良好である。しかし、600mm/min以上になると全塗料共切断面の状態が悪くなる傾向がある。膜厚は25μ以内では溶断性に支障はない。

3.1.6 まとめ

(1) 塗料物性

WP・NP, IZP・ST, STは問題となる点はない。IZP・WB, EZP・EMは高温での可使時間、低温での乾燥時間に注意を要する。

(2) 塗膜物性

IZP・STが最も優れた耐食性を示した。WP・NPは耐食性の向上が望まれる。IZP・WBの耐食性が悪いのは薄膜にうまく塗装するのが難しいためである。EZP・EMにもIZP・WBと同じ傾向がある。

(3) 加工性

EPM性、溶接性、溶断性、いずれも実用上の問題はない。

(4) 最後に各供試塗料の総合評価を表3.1.14に示す。

表3.1.4 各供試塗料の総合評価

項目 供試塗料	塗料物性		塗膜物性		加工性		
	粘度	乾燥時間	初期付着力	耐食性	EPM性	溶接性	溶断性
WP・NP	○	△	○	○	○	○	○
IZP・ST	○	○	○	○	○	○	○
IZP・WB	△	△	○	△	○	○	○
EZP・EM	△	△	○	○	○	○	○
ST	○	○	○	○	○	○	○

○：良、△：可、×：不可

3.2 クロム対策ショップ・プライマーとデッキ及び 上構内外部用塗料の適合性の検討

3.2.1 概 要

造船塗装工程等における公害防止及び塗装環境改善を目標に、塗料メーカーにおいて最近新たに開発された各種ショッププライマー（以下S/P）を用いて、それらS/Pとデッキ及び上構内部用を対象とした上塗り塗料の相容性について調査したものである。

3.2.2 供試塗料

(1) S/P

供試S/P種を表3.2.1に示す。

表 3.2.1 S / P 種

塗料名	項目	略号	備考
非光化学反応性溶剤型ウォッシュプライマー	WP・NP	クロム化合物対策	
現用溶剤型無機シンクリッヂプライマー	I Z P・ST	"	
水性無機シンクリッヂプライマー	I Z P・WB	"	
水性エポキシシンクリッヂプライマー	E Z P・EM	"	
ウォッシュプライマー（現用）	ST	クロム化合物含有	

(2) 上塗り

供試上塗り塗料種を表3.2.2に示す。

表 3.2.2 上塗り塗料種 (A/Cのみ)

塗料	溶剤種	項目	略号
油 性 系	現用溶剤型	O L・ST	
"	水 溶 性	O L・EM	
塩化ゴム系	現用溶剤型	C R・ST	
"	非光化学反応性溶剤型	C R・NP	
ピュアエポキシ系	現用溶剤型	P E・ST	
"	非光化学反応性溶剤型	P E・NP	
ノンタールエポキシ系	現用溶剤型	TE(NT)・ST	

3.2.3 試験板

試験板の詳細を表3.2.3に示す。

表3.2.3 試験板の詳細

寸法及び下地処理	平板A: 70×150×23mm SPSS・Sd3 (SS41) 平板B: 150×250×4.5mm SPSS・Sd3 (SS41)
S/P塗装膜厚	エアスプレーにて標準厚を目標とする。
S/P 塗装後の2次処理	S/P塗装後屋外14日バクロし、塵埃等を刷毛ぶきする程度
上塗り	エアスプレーにて標準圧を目標とする塗装後屋内10日乾燥とする。

3.2.4 塗膜性能試験要領

(1) 付着性試験

初期付着性及び耐食性試験終了後室内1日放置の塗膜について次の方法により付着性を調べる。(試験板A, B)

(a) 付着力試験

初期及び試験終了後の付着力の測定は、塗膜に瞬間接着剤を用いてドリーを接着させ、約10分経過後、ドリー円周に沿って素地に達する切り傷を入れ、アドヒージョンテスターの引張り強度と破壊面の状態から表3.2.4の評価基準により判定する。

表3.2.4 付着力試験評価基準(10点満点)

破壊値 kg/cm ²	Ad 占有面積		
	70~100%	20~60%	10%以下
4.5以下	10	10	10
4.4~3.5	9	10	10
3.4~3.0	8	9	10
2.9~2.5	7	8	10
2.4~2.0	6	7	10
1.9~1.5	4	5	8
1.4~1.0	2	3	6
1.0以下	1	2	4

*ドリー接着面剝離箇所記号

詳細

Ad: S/Pからの剥離

CO: 内部破壊(凝集破壊)

S: 接着剤破壊

表 3.2.6 塗膜のふくれ評価基準(10点満点)

頻度 サイズ	No.2 以上	No.4	No.6	No.8
O K	1 0	1 0	1 0	1 0
F	5	6	7	8
M	4	5	6	7
M D	3	4	5	6
D	2	3	4	5
D以上	1	2	3	4

*エッジより 10m/m 幅は判定の対象としない。

F : Few

M : Medium

MD : Medium Dense

D : Dense

(ii) さび

さびの判定方法は、S. S. P. C.によるExamples of Area Percentages基準に従い、その評価は表 3.2.7 の方法に準ずる。

表 3.2.7 さびの評価基準(10点満点)

さび(%)	評価点
0.1 以内	1 0
0.1 以上～1 以内	8
1 " ~ 5 "	6
5 " ~ 10 "	4
10 " ~ 25 "	2
25 以上	1

*エッジより 10m/m 幅は判定の対象としない。

(iii) 欠陥進捗巾

スクラッチ付試験板を用いてスクラッチ部の欠陥(さび、ふくれ等)進捗巾により耐食性を評価する。その評価基準を表 3.2.8 に示す。

表 3.2.8 スクラッチの欠陥進歩評価基準(10点満点)

欠陥進歩巾(m/m)	評価
0	10
1.0	8
2.0	7
3.0	6
4.0	5
5.0	4
6.0	3

3.2.5 塗装

(1) S/Pの塗装

S/Pはエアスプレイにて塗装を実施した。その塗装膜厚を表3.2.9に示す。

表 3.2.9 各種S/P塗装膜厚

S/P種	調査項目	膜厚(μm)
WP・NP		12~15
I Z P・ST		20~22
I Z P・WB		25~30
E Z P・EM		25~30
ST		12~15

(2) S/P塗装後の2次表面処理

S/P塗装後、試験板を屋外14日バクロし、上塗り施行前に刷毛にて強く払拭する2次表面処理を行なった。S/P塗膜の屋外14日バクロ後の外観を表3.2.10に示す。

表 3.2.10 屋外14日バクロ後の状態

S/P種	調査項目	外観
WP・NP		異常なし
I Z P・ST		#
I Z P・WB		白鏽33%
E Z P・EM		異常なし
ST		#

* 2次処理にて白鏽は除去可能

(3) 上塗りの塗装

上塗りはエアスプレイにて塗装を実施した。その塗装膜厚を表3.2.1-1に示す。

表3.2.1-1 上塗り塗装膜厚(μm)

調査項目 上塗り 溶 剤		膜 厚
O L	S T	75~85
	E M	100~110
C R	S T	110~130
	N P	100~110
P E	S T	150~170
	N P	160~170
T E (N T)	S T	220~250

3.2.6 試験結果

(1) 付着性

(a) 初期付着性

試験前の付着力及びゴバン目試験結果を表3.2.1-2, 1-3に示す。

表3.2.1-2 初期付着性(付着力)

S/P種 溶剤種		WP-NP	I Z P · S T	I Z P · W B	E Z P · E M	S T
O L	S T	25K S 80 CO 20 (10)	25K CO 100 (10)	25K S/PCO 60 CO 40 (10)	25K S 100 (10)	25K S 100 (10)
	E M	30K S 100 (10)	35K S 60 S/PCO 40 (10)	30K S/PCO 70 CO 30 (10)	30K S 50 S/PCO 50 (10)	35K S 100 (10)
C R	S T	20K S 60 S/P-A/C 間40 (7)	20K CO 80 S/PCO 20 (10)	20K CO 20 S 80 (10)	20K CO 100 (10)	20K CO 100 (10)
	N P	22K CO 100 (10)	25K CO 100 (10)	20K CO 100 (10)	20K CO 100 (10)	22K CO 100 (10)
P E	S T	30K CO 100 (10)	33K CO 100 (10)	30K CO 60 S/PCO 40 (10)	30K CO 100 (10)	38K CO 100 (10)
	N P	55K CO 100 (10)	45K CO 100 (10)	30K CO 70 S/PCO 30 (10)	30K CO 100 (10)	35K CO 100 (10)
T E (N T)	S T	30K S 100 (10)	30K S 100 (10)	20K S/PCO 70 S 30 (10)	30K S 100 (10)	30K S 100 (10)

()内:評価点

K: K_p/cm² の略

表3.2.13 初期付着性(2m/m巾ゴバン目)

S/P種 塗料種 溶剤種	WP・NP	I ZP・ST	I ZP・WB	E ZP・EM	ST
O L	S T	1 0	8	4	1 0
	E M	1 0	1 0	6	8
C R	S T	8	8	8	8
	N P	8	9	8	1 0
P E	S T	1 0	1 0	1	1 0
	N P	1 0	1 0	1	1 0
T E (N T)	S T	1 0	1 0	2	1 0

(b) 耐食性試験後の付着性

(i) 5% 塩水噴霧試験

1000時間後の付着力及びゴバン目試験結果を表3.2.14, 15に示す。

表3.2.14 5% 塩水噴霧1000時間後の付着力試験

S/P種 塗料種 溶剤種	WP・NP	I ZP・ST	I ZP・WB	E ZP・EM	ST
O L	S T	26K CO70 S 30 (10)	30K CO60 S 4 (10)	20K S 90 S/PCO10 (10)	18K CO25 S/POO15 S/P-A/C 間60 (4) S 100 (10)
	E M	20K S/PCO60 S/P-A/C 間40 (7)	45K S 100 (10)	32K S 90 S/PCO10 (10)	40K CO10 S 90 (10) 40K S/P Ad100 (9)
C R	S T	20K CO50 S/P-A/C 間50 (7)	20K S 10 S 080 S/P-A/C 間10 (10)	20K CO 60 S 40 (10)	20K CO100 (10) 20K S 70 S/P-A/C 間10 (10)
	N P	20K CO80 S/P-A/C 間20 (7)	20K CO 90 S 10 (10)	20K CO100 (10)	20K CO90 S/P-A/C 間10 (10)
P E	S T	32K CO100 (10)	38K CO100 (10)	20K S/PCO90 S 10 (10)	33K CO100 (10) 39K CO100 (10)
	N P	38K CO100 (10)	40K CO 90 S 10 (10)	35K CO 90 S/PCO10 (10)	35K CO100 (10) 32K CO100 (10)
T E (N T)	S T	35K CO20 S 80 (10)	40K S 100 (10)	35K S 100 (10)	33K CO60 S 40 (10) 30K S 100 (10)

()内:評価点 K:Kg/cm²の略

表 3.2.15 5% 塩水噴霧 100時間のゴバン自試験

S/P種		WP・NP	I ZP・ST	I ZP・WB	E ZP・EM	ST
塗料種	溶剤種					
OL	ST	10	8	4	1	10
	EM	4	10	6	10	10
CR	ST	8	8	4	8	8
	NP	8	10	4	10	8
PE	ST	10	10	1	10	10
	NP	10	10	1	10	10
TE (NT)	ST	10	10	1	10	10

(ii) 海浜飛沫帶バクロ試験

6カ月後の付着及びびゴパン目試験結果を表3.2.1.6, 1.7に示す。

表3.2.1.6 海浜飛沫帶バクロ6カ月後の付着力試験

S/P種 塗料種 溶剤種		WP・NP	I ZP・ST	I ZP・WB	EZP・EM	ST
OL	ST	35K S100 (10)	50K CO70 S30 (10)	32K S100 (10)	42K CO30 S70 (10)	40K CO10 S90 (10)
		52K S100 (10)	48K S/PCO10 S90 (10)	41K S90 (10)	45K S95 S/PCO5 (10)	100K CO15 S85
		25K CO90 S/P-A/C 間10 (10)	32K CO100 (10)	25K CO100 (10)	28K CO100 (10)	33K CO90 S/P-A/C 間10 (10)
	NP	30K CO90 S/P-A/C 間10 (10)	37K CO100 (10)	28K CO100 (10)	29K CO100 (10)	30K CO90 S/P-A/C 間10 (10)
		56K CO100 (10)	52K CO70 S30 (10)	48K CO80 S/PCO20 (10)	49K CO100 (10)	64K CO95 S5 (10)
		52K CO100 (10)	50K CO100 (10)	50K CO80 S/PCO20 (10)	48K CO100 (10)	56K CO100 (10)
TE (NT)	ST	53K S100 (10)	40K S100 (10)	45K S100 (10)	60K S100 (10)	50K S100 (10)

()内:評価点 K: kg/cm² の略

(c) 付着経時変化

初期及び耐食性試験後の付着性経時変化を図3.2.4, 5に示す。

表 3.2.17 海浜飛沫帶バクロ 6 カ月後のゴバン目試験

塗料 種		S/P種 溶剤 種	WP・NP	I ZP・ST	I ZP・WB	E ZP・EM	ST
OL	ST	10	6	2	8	10	
	EM	10	6	1	8	10	
OR	ST	4	6	4	2	8	
	NP	8	6	6	6	6	
PE	ST	10	10	2	10	10	
	NP	10	10	2	10	10	
TE (NT)	ST	10	8	2	8	10	

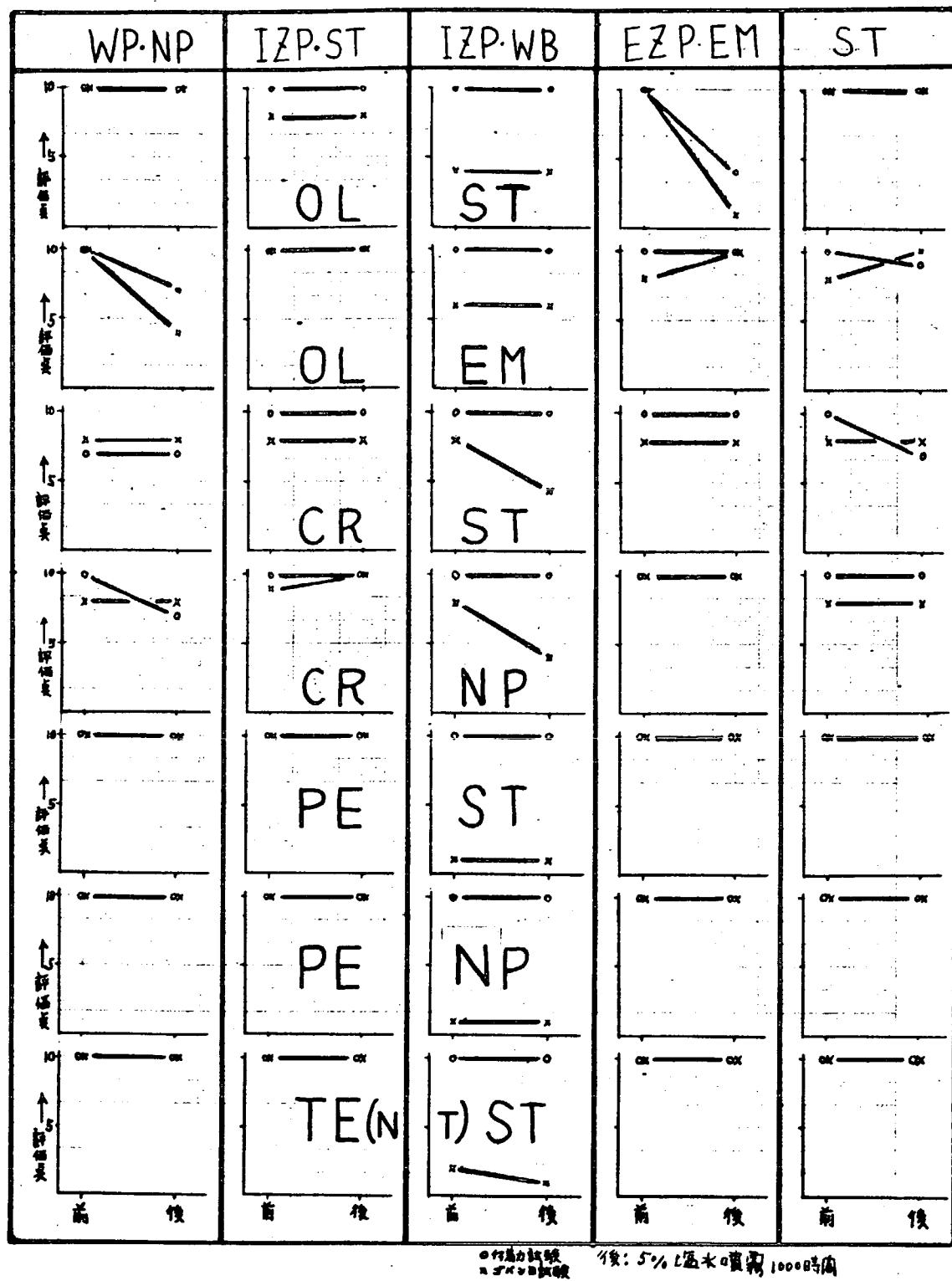
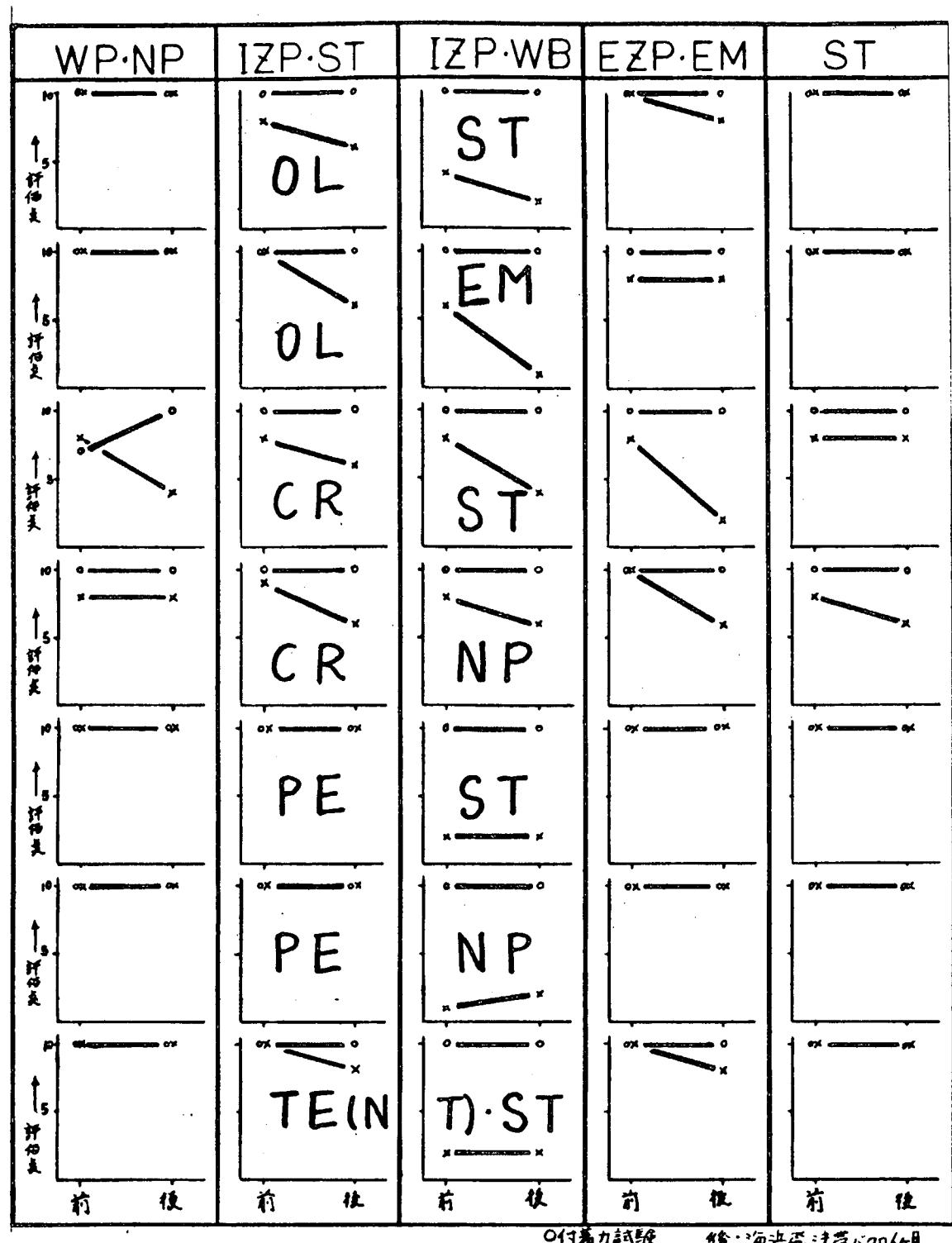


図 3.2.4 付着性経時変化 (5 % 塩水噴霧)



(2) 耐食性

(a) 5% 塩水噴霧試験 1,000 時間後の耐食性試験結果を表 3.2.18 及び図 3.2.6 に示し、経時の耐食性を同 3.2.7 に示す。

表 3.2.19 海浜飛沫帶バクロ 6ヶ月後の耐食性

		S/P種	WP-NP	IWP-ST	IWP-WB	EWP-EM	ST
塗 料 種	S T	OK / 30	OK / 1	OK / 4	K フル / F / 40	K フル / F / 20	
		(10/1)	(10/8)	(10/5)	(5/1)	(8/1)	
OL	E M	OK / 20 5	OK / OK	OK / OK	OK / OK	OK / 15 2	
		(3/4)	(10/10)	(10/10)	(10/10)	(3/7)	
CR	S T	OK / 10	OK / 2	OK / 2	OK / 3	OK / 6	
		(10/1)	(10/7)	(10/7)	(10/6)	(10/3)	
NP	N P	OK / 7	OK / 1	OK / 1	OK / 2	OK / 4	
		(10/2)	(10/8)	(10/8)	(10/7)	(10/5)	
PE	S T	OK / 3	OK / 1	OK / OK	OK / 2	OK / 3~2	
		(10/6)	(10/8)	(10/10)	(10/7)	(10/6)	
TE	S T (NT)	OK / 3	OK / OK	OK / OK	OK / OK	OK / 1	
		(10/6)	(10/10)	(10/10)	(10/10)	(10/8)	
TE	S T	OK / 4	OK / OK	OK / OK	OK / OK	OK / 4	
		(10/5)	(10/10)	(10/10)	(10/10)	(10/5)	

OK: 異常なし () 内: 評価実

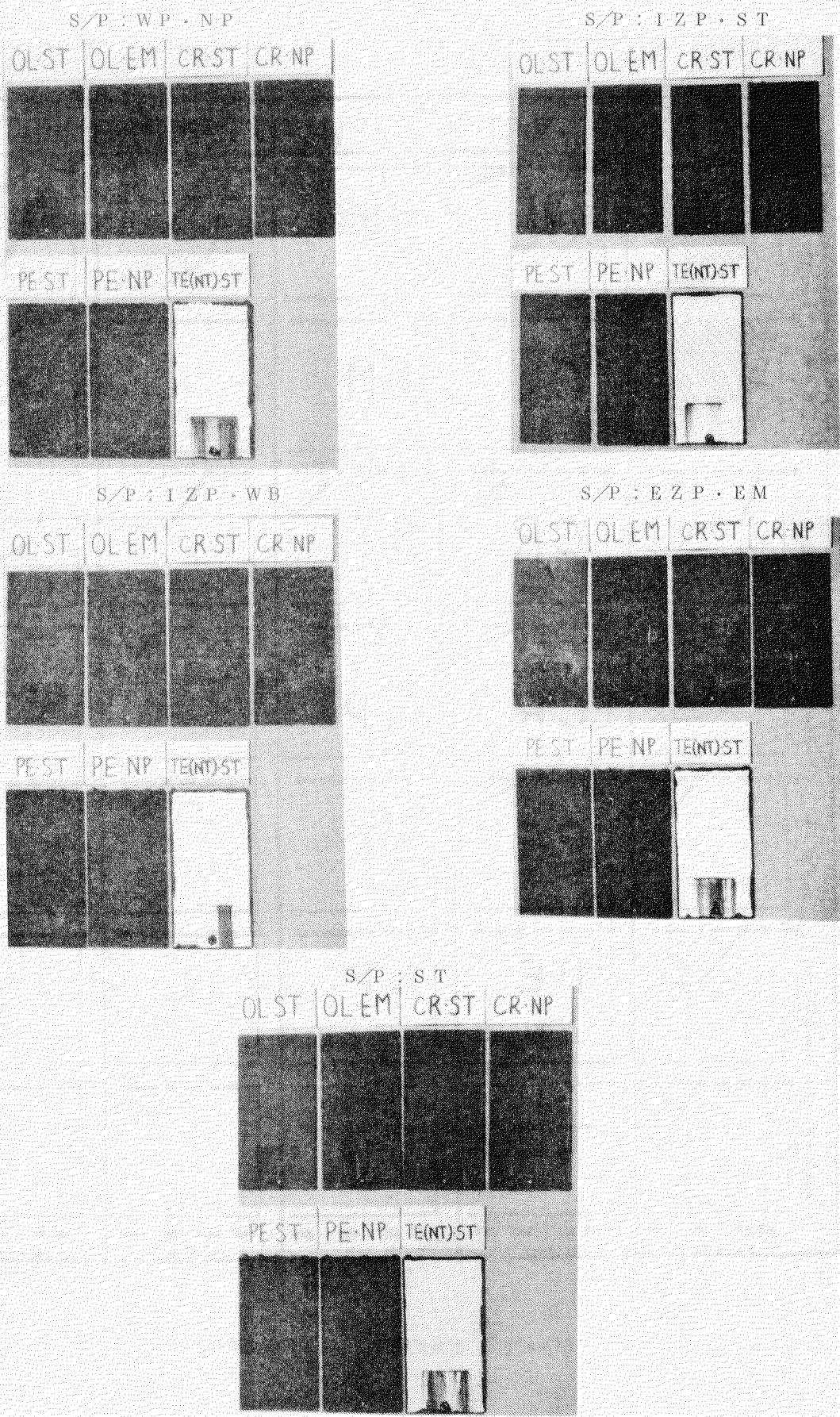


図 3-2-6 5% 塩水噴霧試験 1000 時間後の外観

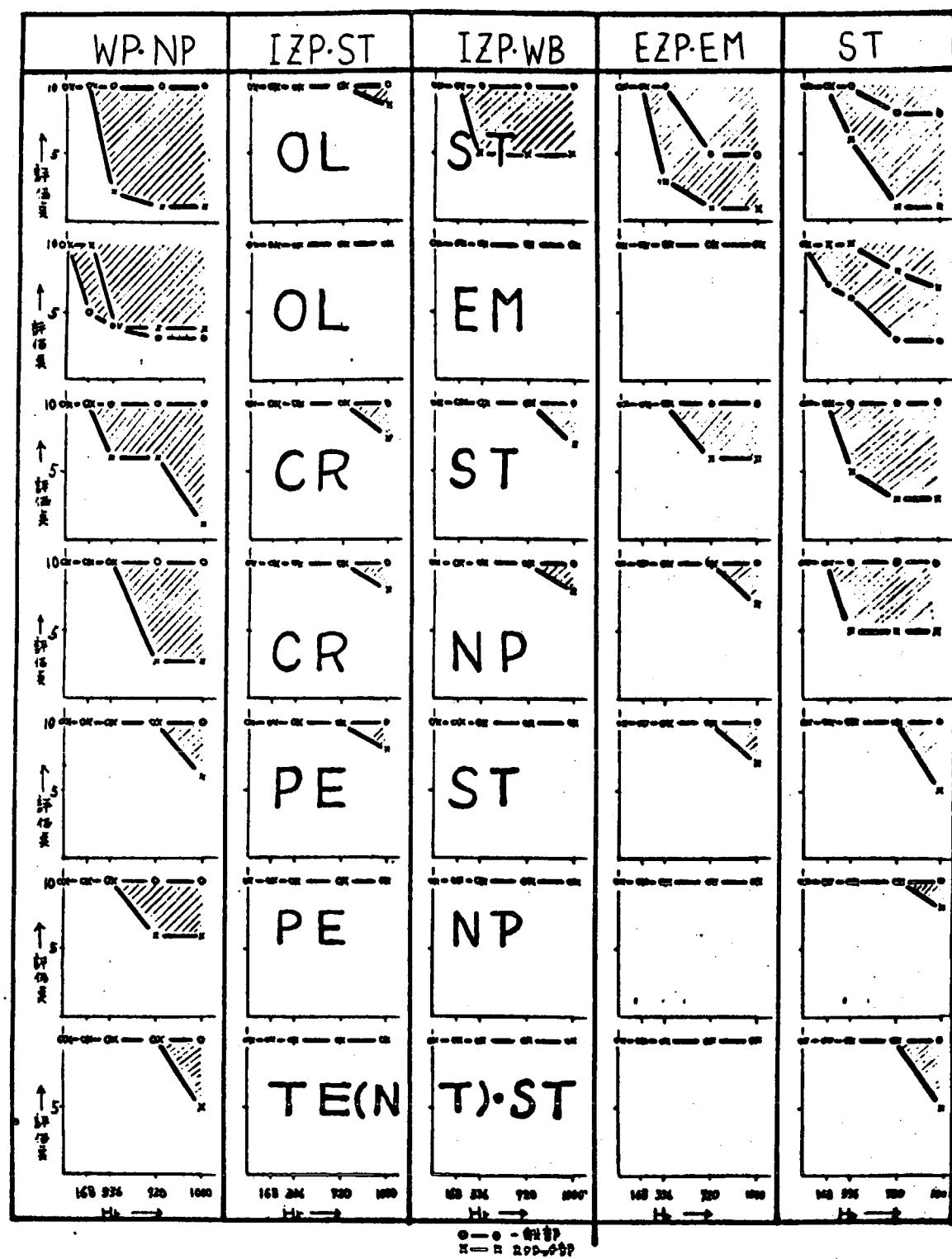


図 3.2.7 耐食性経時変化（5% 塩水噴霧試験）

(b) 海浜飛沫帯パクロ試験

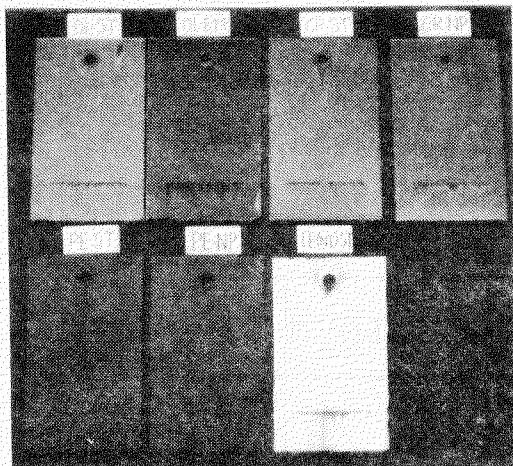
海浜飛沫帯パクロ試験 6ヶ月後の耐食性試験結果を表 3.2.1.9 及び図 3.2.8 に示し、経時の耐食性を図 3.2.9 に示す。

表 3.2.18 5% 塩水噴霧 1000 時間後の耐食性

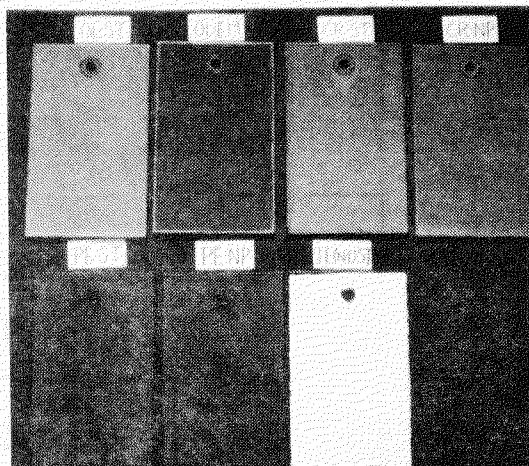
塗装 料理		S/P種	WP-NP	IZP-ST	IZP-WB	EZP-EM	ST
OL	ST	OK 4 (10/5)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/5)	OK 4 (10/5)
	EM	OK 1/4 (6/5)	OK 2 (10/7)	OK 1 (10/8)	OK 2 (10/7)	OK 3 (8/6)	OK 1/3 (8/6)
CR	ST	OK 2 (10/7)	OK (10)	OK (10)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)
	NP	OK 2 (10/7)	OK (10)	OK (10)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)
PE	ST	OK 3 (10/6)	OK (10)	OK 1 (10/8)	OK (10)	OK 3 (10/6)	OK 3 (10/6)
	NP	OK 2 (10/7)	OK (10)	OK (10)	OK (10)	OK 2 (10/7)	OK 2 (10/7)
TE (NT)	ST	OK 7 (10/2)	OK (10)	OK (10)	OK 2 (10/7)	OK 5 (10/4)	OK 5 (10/4)

OK: 異常なしの略 () 内: 評価英

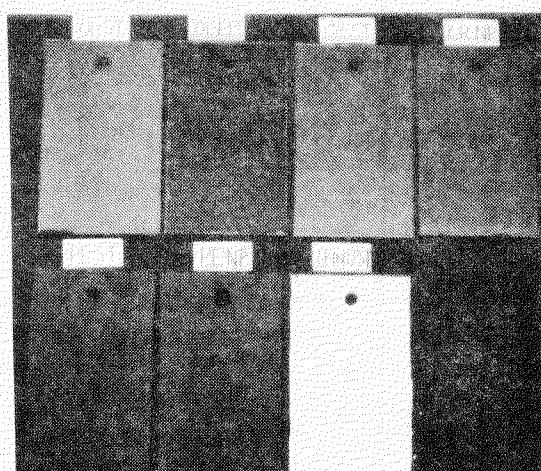
S/P : W P + N P



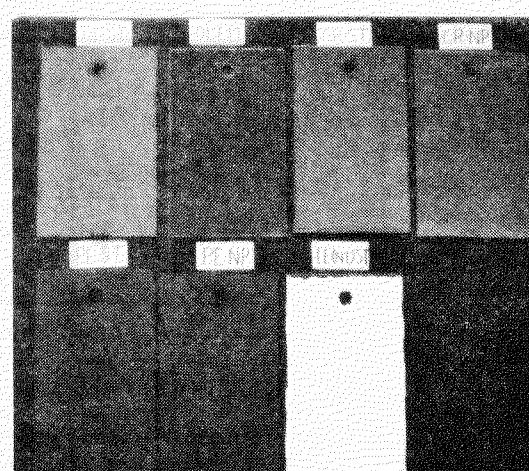
S/P : I Z P + S T



S/P : I Z P + W B



S/P : E Z P + E P T



S/P : S T

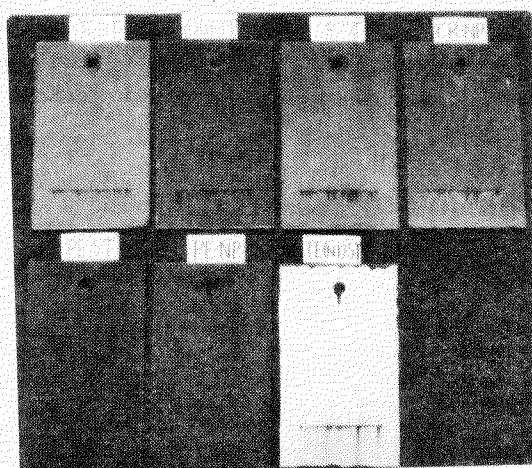


図 3.2.8 海浜飛沫帶バクロ試験 6ヶ月後の外観

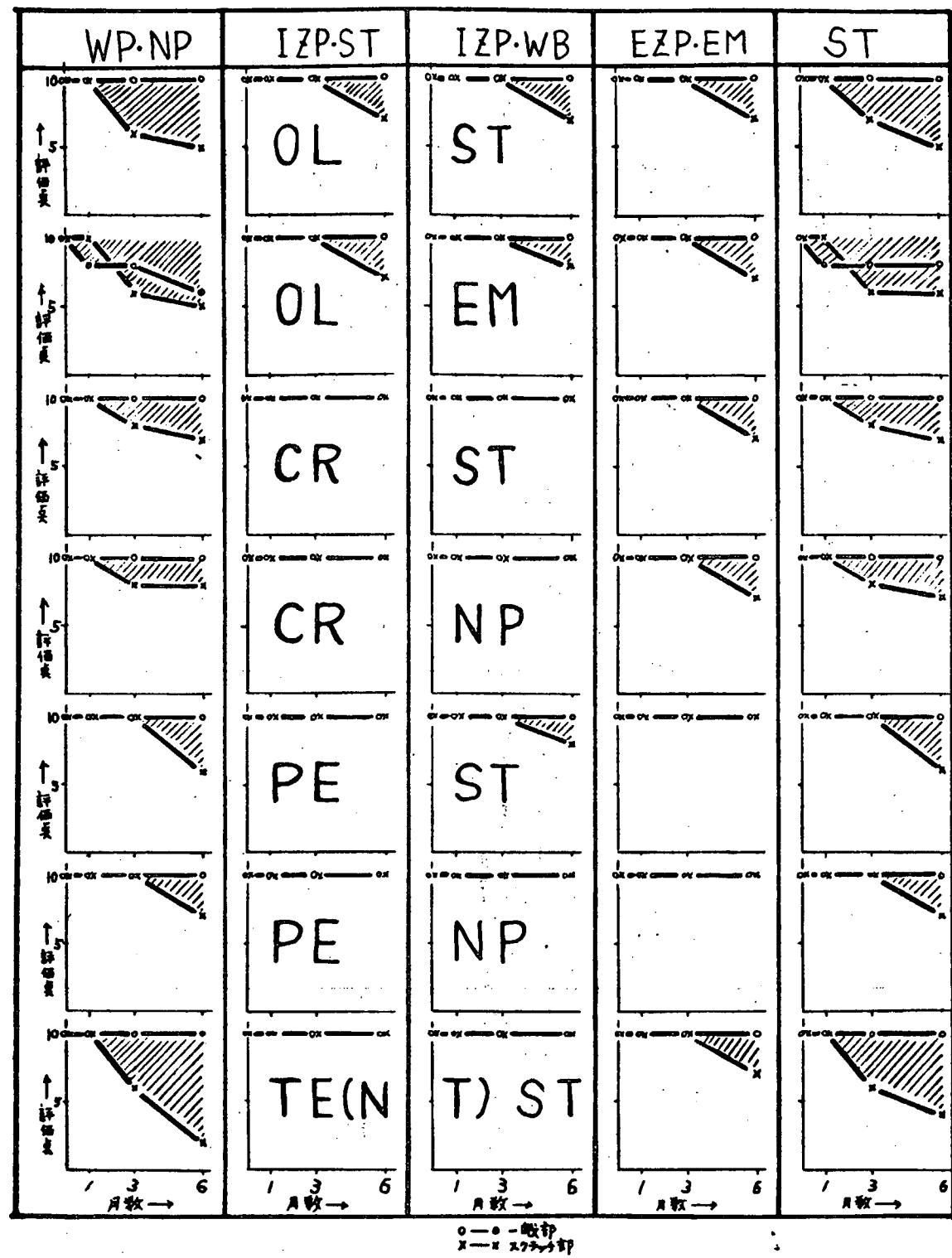


図 3.2.9 耐食性経時変化（海浜飛沫帶バクロ試験）

3.2.7 考 察

(1) 初期付着性

(a) 付着力試験

各塗装系共に良好である。

(b) ゴバン目試験

WP・NP、IZP・ST、EZP・EM、ST：上塗り7塗料共に良好である。

IZP、WB：7塗料中5塗料は不良である。

この原因は、S/Pの凝集力が弱いためであり、特に上塗の凝集力が強いPE・ST、PE・NP、TE(NT)・STではその傾向が著しくカット中に全面剝離する。上塗りの凝集力が比較的弱いOL・ST、OL・EMに稍剝離が多く、S/Pの凝集力と同程度のCR・ST、CR・NPは、剝離がなく良好である。

(2) 5%塩水噴霧試験(1000時間)後の付着性

(a) 付着力試験

WP・NP：7塗料共に良好である。

しかし、OL・EM、CR・NPは稍不良になる傾向がある。

IZP・ST：7塗料共に良好である。
IZP・WB

EZP、EM：7塗料中、6塗料は良好である。

OL・STは、S/Pの劣化による塗膜剝離のため不良である。

ST：7塗料共に良好である。

しかし、OL・EM、CR・STは稍不良になる傾向がある。

(b) ゴバン目試験

WP・NP：7塗料中、6塗料は良好である。

OL・EMはS/Pの消耗で塗膜が崩壊したため不良である。

IZP・ST：7塗料共に良好である。

IZP・WB：7塗料共に不良である。

5塗料は、初期とほぼ同傾向であり、PE・ST、PE・NP、TE(NT)・STはカット中に全面剝離する。OL・ST、OL・EMは剝離が稍多く、CR・ST、CR・NPは塗膜凝集力が向上し、S/Pの凝集力を上回ったため剝離が多い。

ST：7塗料共に良好である。

(3) 海浜飛沫帶パクロ試験(6ヶ月)後の付着性

(a) 付着力試験

各塗料系共に良好である。

(b) ゴバン目試験

WP・NP：7塗料中、6塗料は良好である。CR・STは塗膜劣化によるS/P-A/C間での剝離が多く不良である。

IZP・ST：7塗料中、2塗料は良好である。TE(NT)・STは稍不良になる傾向があり、OL・ST、OL・EM、SR・NPは耐水性が低いためか、S/Pの脆化によるS/P内部からの剝離が多く不良である。

IZP・WB：7塗料共に不良である。

塗膜凝集が強いPE・ST、PE・NP、TE(NT)・STは初期と同様にカット中の剝離が多くOL・ST、OL・EM、CR・ST、CR・NPは塗膜凝集力が向

上し S/P の凝集力を上廻ったため剥離が多い。

EZP・EM : 7 塗料中、3 塗料は良好である。

OL・ST、TE(NT)・ST は稍不良となる傾向がある。CR・ST、CR・NP は塗膜劣化による S/P-A/C 間の剥離が多く不良である。

ST : 7 塗料中、6 塗料は良好である。

CR・NP は塗膜劣化による S/P-A/C 間の剥離が多く不良である。

以上(1)~(3)項から明らかな様に S/P が IZP・WB の場合、各塗装系で、付着力試験評価とゴバン目評価が著るしく異っている。この原因は、付着力試験が直径 2cm の接着端子円周に沿って塗膜に切り傷をつけ、塗膜付着強度及び剥離形態から評価を行うため、塗膜凝集力の大きなものでも、試験区分全体に塗膜凝集破壊が及ばないのに比べ、ゴバン目試験は、塗膜に 2mm 間隔で切り傷をつけ、剥離形態に拘らずゴバン目残存数で、評価を行うため、凝集力の大きい塗膜では試験区分全体が、塗膜凝集破壊で完全に剥離を起し、S/P の付着力の大小に関係なく、評価が低下したためである。

(4) 耐食性

(a) 5% 塩水噴霧試験 (1000 時間後)

(i) 一般部

WP・NP : 7 塗料中、6 塗料は良好である。

OL・EM はピンホールが多く、それに S/P の耐食性不足が加わったため、さび発生が著るしく不良である。

IZP・ST : 7 塗料共に良好である。
IZP・WB

EZP・EM : 7 塗料中、6 塗料は良好である。

OL・ST は、耐水、耐アルカリ不足により S/P の Zn の腐食生成物の影響を受け、ふくれ発生が著るしく、不良である。

ST : 7 塗料中、6 塗料は良好である。

OL・EM はピンホールが多く、それに S/P の耐食性不足が加わったため、さび発生が著るしく不良である。

しかし、発錆量は WP・NP の系より少なく、耐食性は稍、優れている。

(ii) スクラッチ部

WP・NP : 7 塗料共に不良である。上塗り種による欠陥の進歩に、時間的な差は認められるが、常時、水の存在する条件下では、耐食性が乏しい。

IZP・ST : 7 塗料共に良好である。

IZP・WB : 7 塗料中、6 塗料は良好である。

OL・ST は、耐アルカリ不足のため Zn 腐食生成物による剥離の進歩が著るしい。

EZP・EM : 7 塗料中、3 塗料は良好である。

CR・ST、CR・NP、PE・ST は S/P が僅かに消耗し、稍不良となる傾向がある。

OL・ST は耐アルカリ性不足に加え、S/P の活性が強いため相剥作用により、塗膜の溶解剥離が著るしい。

ST : 7 塗料共に不良である。上塗り種による欠陥進歩に、時間的な差は認められるが、常時、水の存在する条件下では耐食性が乏しい。

(b) 海浜飛沫帶パクロ試験（6ヶ月後）

(i) 一般部

WP・NP : 7塗料中、6塗料は良好である。

OL・EMは、ピンホールに起因する、点さび発生があり、不良である。

IZP・ST

IZP・WB : 7塗料共に良好である。

EZP・EM

ST : 7塗料中、6塗料は良好である。

OL・EMは、ピンホールに起因する、点さび発生があり稍不良となる傾向がある。

しかし、WP・NPに比べ、S/Pの耐食性が稍優れるため、点さび量は少ない。

(ii) スクラッチ部

WP・NP : 7塗料中、CR・ST、CR・NP、PE・NPはS/Pが消耗し、稍不良となる傾向がある。

OL・ST、OL・EM、PE・ST、TE(NT)・STは塗料種による欠陥の進歩に、差は認められるが、乾湿交播の条件下では、耐食性が乏しい。

IZP・ST : 7塗料中、5塗料は良好である。

OL・ST、OL・EMはS/Pが消耗し、稍不良となる傾向がある。

IZP・WB : 7塗料中、4塗料は良好である。

OL・ST、OL・EM、PE・STはS/Pが消耗し、稍不良となる傾向がある。

EZP・EM : 7塗料中、2塗料は良好である。

OL・ST、OL・EM、CR・ST、CR・NP、PE・NPはS/Pが消耗し、稍不良となる傾向がある。

ST : 7塗料中、CR・ST、CR・NP、PE・NPはS/Pが消耗し、稍不良となる傾向がある。

OL・ST、OL・EM、PE・ST、TE(NT)・STは塗料種による欠陥の進歩に差は認められるが、乾湿交播の条件下では、耐食性が乏しい。

以上(a)(b)項から明らかな様に、一般部塗膜においては「WP・NP、ST+OL・EM」、「EZP・EM+OL・ST」の塗装系に問題があり、スクラッチ部では、上塗り塗料種に拘らずWP系はZ/R系に比べ、耐食性が低い傾向に示しており、S/Pの防錆機構の相違による影響が著るしいといえる。主題であるクロム系顔料の有無による上塗り塗膜への影響は、同種のWP・NPとSTの比較から、STが稍良好であり、WP系S/Pのノンクロム化は、一層の改良が必要と思われる。

3.2.8 まとめ

クロム対策S/Pとデッキ及び上構内外部用塗料との適合性について、付着性と耐食性の両面から検討を加えた。

(1) 付着性

IZP・WB : 塗膜凝集力の改良が必要である。

WP・NP

IZP・ST : 特に問題はない。

EZP・EM

(2) 耐食性

WP・NP : STに比べ劣るため一層の改良が必要である。

EZP・EM : ほぼ良好であるが、OL・STに適用するためには、活性を低くする必要がある。

IZP・ST : 特に問題はない。
IZP・WB

(3) 適合性

クロム対策 S/P と各種上塗りの適合性の総合評価を表 3.2.2.0 に示す。

表 3.2.2.0 適合性の総合評価

塗料溶		S/P	WP・NP	IZP・ST	IZP・WB	EZP・EM	ST (現用)
OL	ST	○~△	○~△	△	×	○~△	
	EM	×	○	○~△	○	△	
CR	ST	△	○~△	○~△	△	△	
	NP	△	○	○~△	○~△	○~△	
PE	ST	○	○	△	○	○	
	NP	○	○	△	○	○	
TE(NT)	ST	○~△	○	△	○	○~△	

良○…………△…………× 不良

3.3 クロム対策ショップライマと外板用塗料の適合性の検討

3.3.1 概要

クロム対策として開発された各種のショップライマ (S/P) に対し、船体外板用の各種塗料（さび止め塗料：A/C）の層間付着性及びこれらの A/C を塗り重ねた場合の耐食性を調査し、新ショップライマの船舶への適合性を検討・評価した。

3.3.2 供試塗料

(1) 供試ショップライマ (S/P)

クロム化合物を含有しない新ショップライマ 4 種、比較用としてクロム化合物を含有した現用のショップライマ（ウォッシュブライマ）1 種、合計 5 種類のショップライマを供試塗料として選択した。これらの供試ショップライマは表 3.1.1 に示すものと全く同じである。

(2) 供試上塗塗料（船体外板用さび止め塗料：A/C）

S/P 塗膜面に上塗塗装される塗料は各種のさび止め塗料である。従って、本項目では S/P との適合性を検討することから、供試上塗塗料として、表 3.3.1 に示す 7 種の船体外板用さび止め塗料を選択した。

表 3.3.1 供試上塗塗料（外板用さび止め塗料）

No.	種類	記号	膜厚と塗回数（合計膜厚） μm
1	溶剤型塩化ゴム系塗料	CR・ST	60 μm × 3 (180)
2	溶剤型エポキシ塗料	PE・ST	100 μm × 2 (200)
3	低溶剤型エポキシ塗料	PE・SL	250 μm × 1 (250)
4	溶剤型タールエポキシ塗料	TE・ST	125 μm × 2 (250)
5	低溶剤型タールエポキシ塗料	TE・SL	250 μm × 1 (250)
6	溶剤型瀝青質タールエポキシ塗料	TE(BT)・ST	250 μm × 1 (250)
7	溶剤型ノンタールエポキシ塗料	TE(NT)・ST	125 μm × 2 (250)

備考：記号の説明

- CR : 塩化ゴム系塗料
- PE : エポキシ塗料
- TE : タールエポキシ塗料
- TE(BT) : 瀝青質タールエポキシ塗料
- TE(NT) : ノンタールエポキシ塗料
- ST : 溶剤型
- SL : 低溶剤型

3.3.3 試験内容とその方式

(1) 塗装試験板の作製

3.2 t × 100 × 300 mm のショットブロスト処理鋼板に対し、5種の供試 S/P をエアレス塗装により、それぞれ規定膜厚 (15~20 μm) に塗装した。

S/P 塗膜乾燥後、各試験板を2週間屋外に暴露したのと、塗膜表面をダスター刷毛により、ほこりを除去する程度の簡単な2次表面処理を行なって各種上塗塗料 (A/C) の塗装に供した。

上塗塗装はいずれもエアレス塗装によって行ない、2回塗装以上を必要とする試料に対しては1日1回の塗装工程で塗り重ね、各試料ごとに規定膜厚になるように塗装した。

(2) 塗膜性能試験

(a) 付着性試験（引張付着力試験）

5種のS/P と7種の上塗塗料 (A/C) の層間付着性を調査することを目的に、塗装初期（塗膜が十分に硬化乾燥した状態で浸漬に供しない塗膜）と耐食性試験の1、3及び5ヶ月の塗膜に対して、引張付着力試験によって付着性試験を行なった。

引張付着力試験では、塗膜面に直径 25 mm の円筒形の試験ジグを接着剤（シアノアクリレート系）を用いて接着させ、接着剤が十分に硬化したのち試験ジグ周辺部の塗膜はカッターナイフにより素地に達するまで切り込む。試験ジグを接着させた試験片は引張ジグに接着し、インストロン引張試験機により、塗膜面に対し垂直方向に毎分 3 mm の一定速度で引張った。その際、破断面が塗り重ね塗膜の層間であれば、その破断応力を層間付着力とし、破断面が塗膜の凝集破断であればその破断応力は塗膜の凝集力であり、層間付着力はその凝集力よりも大きいと評価した。

(b) 耐食性試験（40°C 加温人工海水浸漬試験）

供試 S/P と各種 A/C を塗り重ねた塗膜に対し、外板船底部を対象とした塗膜劣化促進試験とし

て、40°Cに加温した人工海水中に塗装試験板を浸漬して耐食性試験を実施した。なお、試験液（人工海水）にはエアーポンプにより常時空気を吹き込み、酸素を供給するとともに、液を攪拌して欠陥発生を促進させた。また、塗膜欠陥としては、ふくれやさびの発生度合を肉眼観察し、その評価はASTMの評価基準に準拠して行なった。

3.3.4 試験結果とその考察

5種の供試S/Pに対し、7種の外板用さび止め塗料（A/C）の適合性を検討するため、付着性及び耐食性を調査した。それらの試験結果を説明する。

(1) 付着性試験結果

塗装初期（耐食性試験前）と耐食性試験1、3及び5カ月間経過後における付着性試験の結果を図3.3.1-(1)～(3)に示す。これらの図の中に★で示したように、クロム対策S/Pの試料1ZP・WBにおいてPE・SLとTE・SLの2試料のみ塗装初期においてS/P塗膜とさび止め塗膜の層間はくりが見られ、これらは浸漬後においてもやはり層間はくりであり、付着性に問題のある組み合せであることが判明した。他の各試料の組み合せではいずれも塗膜の凝集破断が、あるいは本試験に用いた接着剤面の破断であり、S/Pと上塗りさび止め塗料の付着性には問題はないものと思われる。

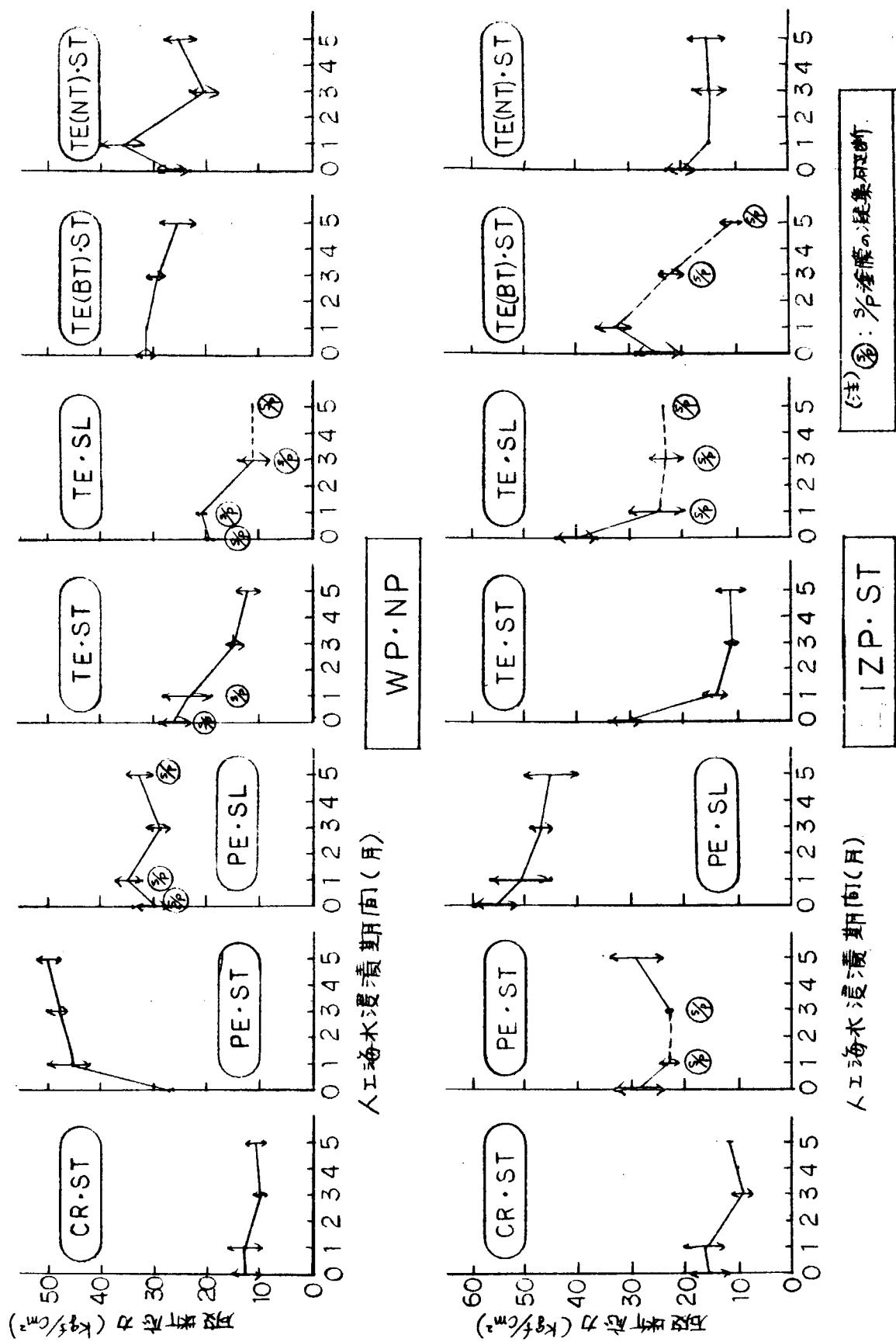


図 3.3.1(1) 引張付着力試験結果（浸漬期間と破壊応力の関係）

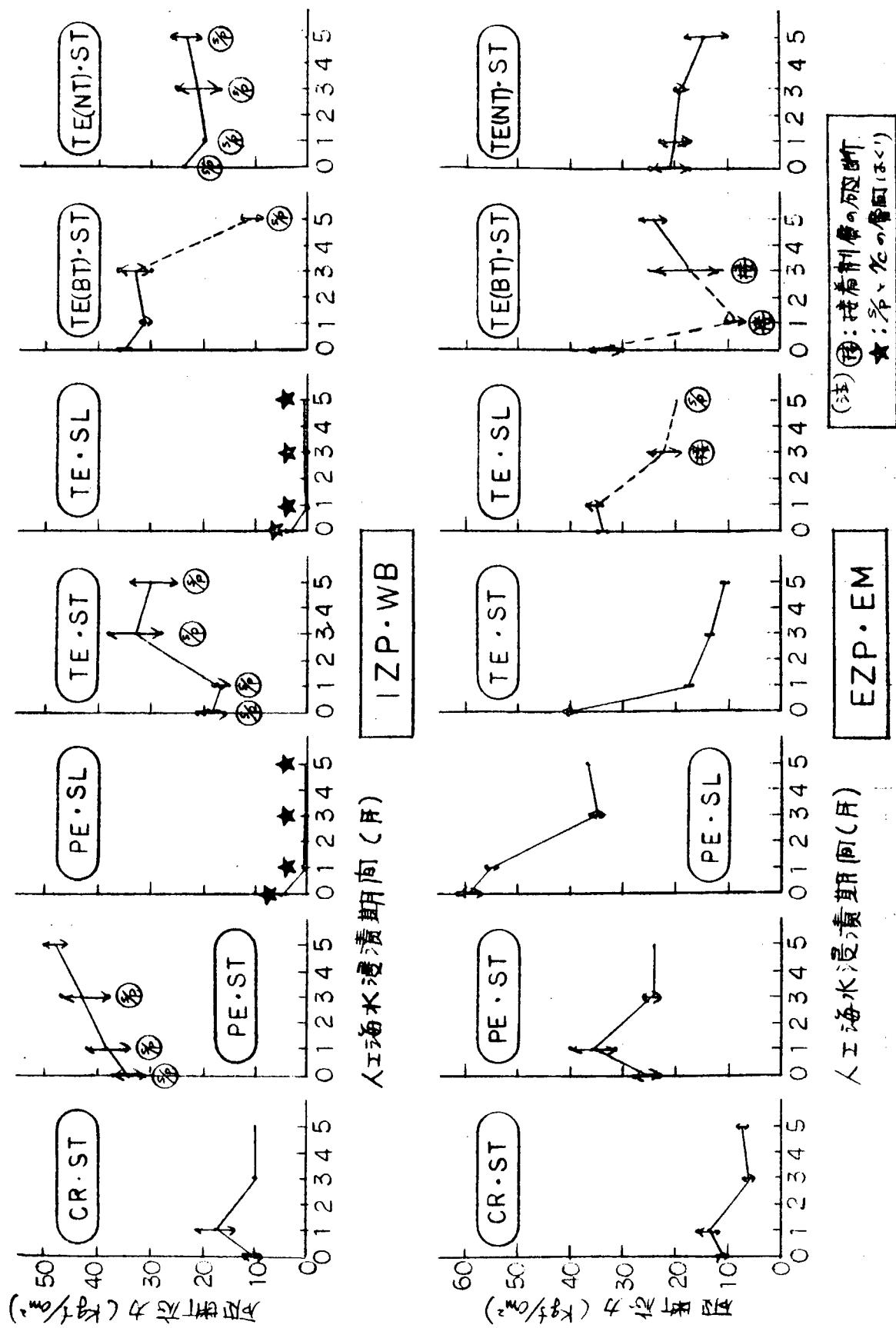


図 3.3.1(2) 引張付着力試験結果（長漬期間と破断応力の関係）

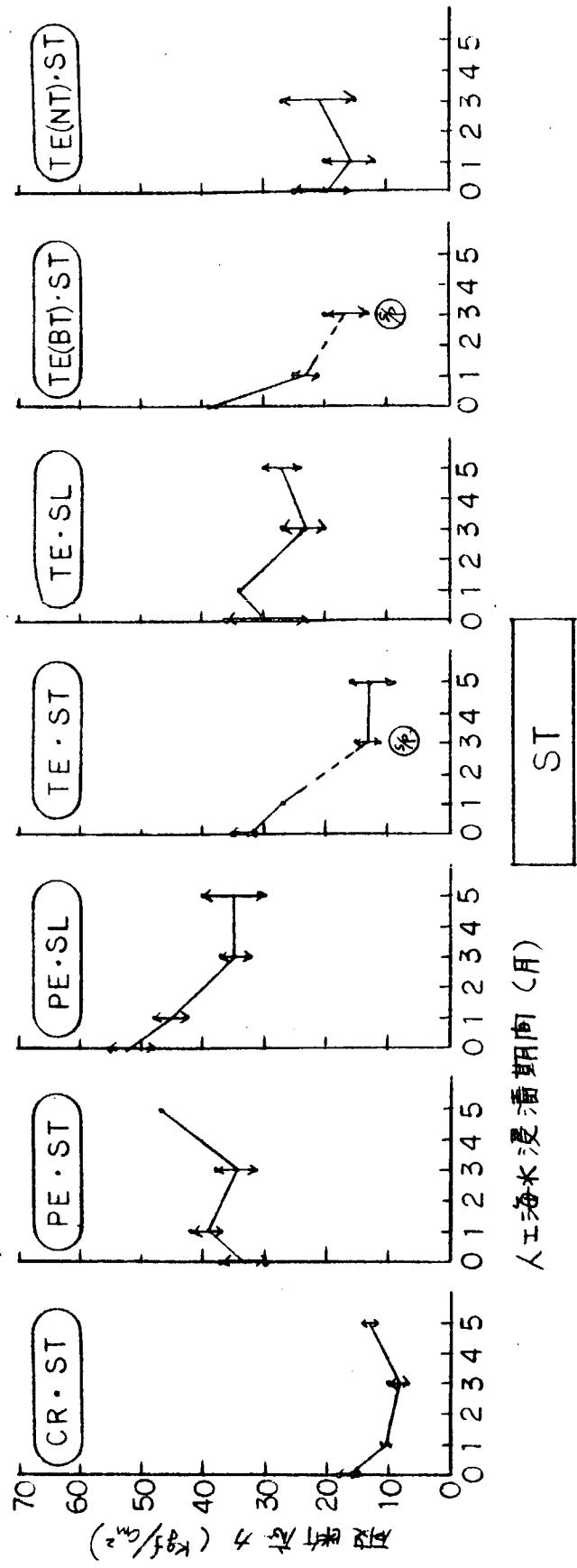


図 3.3.1(3) 引張付着力試験結果（浸漬期間と破断応力の関係）

(2) 耐食性試験結果

40°Cに加温した人工海水中に浸漬して行なった耐食性試験 5カ月間経過後までの塗膜観察結果を表3.3.2に示す。この表に示すようにS/Pの試料STとTE・SLの組み合せにおいて、5か月間経過後にふくれが見られたが、他のいずれの組み合せにおいてもふくれなどの欠陥は全く見られず良好であった。

表3.3.2 耐食性試験(40°C加温人工海水浸漬)結果

試料S/P 浸漬期間	上塗塗料 A/C	1	2	3	4	5	6	7
		CR・ST	PE・ST	PE・SL	TE・ST	TE・SL	TE(BT)・ST	TE(NT)・ST
1 WP・NP	2か月間	○	○	○	○	○	○	○
	5か月間	○	○	○	○	○	○	○
2 1ZP・ST	2か月間	○	○	○	○	○	○	○
	5か月間	○	○	○	○	○	○	○
3 1ZP・WB	2か月間	○	○	○	○	○	○	○
	5か月間	○	○	○	○	○	○	○
4 EZP・EM	2か月間	○	○	○	○	○	○	○
	5か月間	○	○	○	○	○	○	○
5 ST	2か月間	○	○	○	○	○	○	○
	5か月間	○	○	○	○	4F	○	○

備考 : (1) ○印は塗膜にふくれやさびの発生なく良好であることを示す。
 (2) ふくれの評価はASTMの評価基準による。

3.3.5 むすび

クロム対策として開発されたS/Pの中から代表的な4種のS/Pに対し、船体外板用の各種さび止め塗料(A/C)7種を上塗りし、それぞれの組み合せにおける層間付着性と耐食性を調査して、その適合性を検討した。それらの評価を表3.3.3に示す。また、試験結果の概要は以下のとおりである。

- (1) 供試S/P 1ZP・WBに対し、低溶剤型エポキシ塗料(PE・SL)及び低溶剤型タールエポキシ塗料(TE・SL)はいずれも層間付着性に難点があり、適合性がない。
- (2) 現用のS/P ST(ウォッシュプライマ)に対して、低溶剤型タールエポキシ塗料(TE・SL)の組み合わせにおいて、40°C加温人工海水浸漬5カ月間で若干のふくれ発生が見られた。
- (3) その他の各種S/Pと各種A/Cの組み合せにおいては、人工海水浸漬5カ月間経過後においても層間付着性や耐食性に問題なく良好であった。

表3.3.3 クロム対策S/Pと外板用塗料の適合性の評価

供試S/P	性 能	上塗塗料 A/C		1	2	3	4	5	6	7
		CR・ST	PE・ST	PE・SL	TE・ST	TE・SL	TE(BT)・ST	TE(NT)・ST		
1 WP・NP	層間付着性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐食性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2 IZP・ST	層間付着性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐食性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3 IZP・WB	層間付着性	○	○	×	○	×	○	○	○	○
	耐食性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4 EZP・EM	層間付着性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐食性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 ST	層間付着性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐食性	○	○	○	○	×	○	○	○	○

備考 : (1) 適合性試験方法(a)層間付着性: 引張付着力試験 (b)耐食性: 40°C加温人工海水浸漬試験

(2) 評価基準 ○: 良好、 ×: 層間はくり又はふくれ発生

3.4 クロム対策ショッププライマーとタンク用塗料との適合性の検討

クロム対策ショッププライマー（以下S/Pと略）に対するタンク用塗料の塗装系について調査した。

3.4.1 供試塗料

S/Pの種類を表3.4.1に、タンク用塗料の種類を表3.4.2に示す。

表3.4.1 供試ショッププライマー

種類	記号
クロム対策ウォッシュプライマー（非光化学反応性溶剤）	WP・NP
無機ジンクショッププライマー	I Z P・ST
同 上（水性）	I Z P・WB
エポキシジンクショッププライマー（水性）	E Z P・EM
比較品ウォッシュプライマー（現行溶剤）	WP・ST

表3.4.2 供試タンク用塗料

種類	記号
ピュアエポキシ塗料（溶剤型）	P E・ST
同 上（低溶剤型）	P E・SL
タールエポキシ塗料（溶剤型）	T E・ST
同 上（低溶剤型）	T E・SL
ノンタールエポキシ塗料（溶剤型）	T E(NT)・ST
同 上（低溶剤型）	T E(NT)・SL
同 上（非光化学反応性溶剤）	T E(NT)・NP

3.4.2 試験要領

(1) 試験片作製

(a) 試験板: $150 \times 70 \times 3.2\text{mm}$ もショットブلاست鋼板

(日本テストパネル製)

(b) S/P塗装: $15 \sim 20\mu\text{m}$ 目標にエアレススプレイ塗装

(c) 上塗りとの塗装間隔: 屋外暴露2週間

(d) 2次表面下地処理

さび発生部については、造船研究協会制定下地処理基準SPSS・ZDpt-1及びSPSS・WDpt-1に準拠し、処理。

(e) 上塗り塗装

P E・S Tのみ2回塗り(1日間隔で塗装)、他の6種はいずれも1回塗りで最終膜厚250～300μmをエアレススプレイ塗装、10日間室内で乾燥後に供試した。

(2) 試験項目

(a) 付着性試験

初期付着性及び天然海水40℃×4カ月浸漬後の付着性を下記の方法で調べた。

(i) オートグラフ法(A法………素地とS/P間の付着性を主に評価)軟鋼テストピース(10×10×高さ20mm)を、接着面(1cm²)と塗膜の両面を研磨紙で荒し、瞬間接着剤(シアノアクリレート接着剤使用)又は速硬型エポキシ接着剤で接着し、30分間以上経過後に接着面の周囲の塗膜を金属素地面までカットした。

オートグラフS500(島津製)によって、引張り速度5mm/minでの付着力を測定した。

(ii) 60°クロスカットナイフ試験(B法……塗膜層間を主に評価)安全カミソリ片刃で図3.4.1のようなクロスカットを入れ、幅25mmのスコッチ印平面マスキングテープ#250を密着させた後、一気に引き剥したときの状態を調べた。

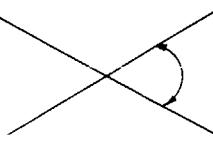


図3.4.1 60°クロスカットナイフ法テスト

(b) 耐食性試験

次に示す天然海水及び促進塩水40℃浸漬後の塗膜性能について調査した。試験片は下部1/3にスクラッチマーク有無の2種類を供試した。

(i) 天然海水浸漬試験

浸漬(40℃)2、3、4カ月目的一般部及びスクラッチについてさび、ふくれ、はがれ等を評価した。

(ii) 促進塩水浸漬試験

促進塩水(食塩50g/r、酢酸10ml、30%過酸化水素水5g/r、純水1000mlの溶液を、水酸化ナトリウムにてPH3±0.2に調整)による40℃経時変化を最高4カ月にわたって調査した。

(3) 判定基準

(a) 付着性

(i) A法、測定結果を表3.4.3(1)で評価した。

表 3.4.3(1) 付着力試験評価基準(10点満点)

ドリ一面 破壊値 (%)	Aa 占存面積		
	70~100%	20~60%	10%以下
45以上	10	10	10
44~35	9	10	10
34~30	8	9	10
29~25	7	8	10
24~20	6	7	10
19~15	4	5	8
14~10	2	3	6
10以下	1	2	4

(注) Ad 素地からの剥離

(ii) B法 測定結果を表 3.4.3(2)で評価した。

表 3.4.3(2) 60°クロスカット付着性評価基準(10点満点)

評価点 状態	10	8	6	4	2	1
外観	ほとんど はくりなし	カットの線が 点状に一部分 はくりする	カットの線が 一部分はくり する	カットの線が ほとんどはく りする	一部分の塗膜 が残留する	ほとんど はくりする

(注) 造研研究資料 No.295 参照

(b) 耐食性

規定期間浸漬後の試験片について、さび、ふくれを次の基準で外観判定し評価した。

(i) ふくれ

サイズ及び頻度はASTM-D714-56に従い、評価基準は表 3.4.4(1)の方法に準じた。

表 3.4.4(1) ふくれの評価基準(10点満点)

ふくれ サイズ 頻度	No.2 No.2以上	No.4	No.6	No.8
O K	10	10	10	10
F	5	6	7	8
M	4	5	6	7
M D	3	4	5	6
D	2	3	4	5
D以上	1	2	3	4

(ii) さ び

判定方法は S S P C 法に従い、その評価基準は表 3.4.4(2) の方法に準じた。

表 3.4.4(2) さびの評価基準
(10 点満点)

さ び (%)	評 価 点
0.1 以内	10
0.1 以上、1 以内	8
1 " 5 "	6
5 " 10 "	4
10 " 25 "	2
25 以上	1

3.4.3 試験結果

(1) 塗膜状態

(a) 塗装系初期状態を表 3.4.5 に示す。

表 3.4.5 塗装完了後の塗膜状態

S / P 塗装性 暴露性 上塗塗料	WP・NP	IZP・ST	IZP・WB	EZP・EM	WP・ST
		OK	OK	OK	OK
PE・ST	OK	OK	OK	OK	OK
PE・SL	△8 F	OK	OK	△8 F	OK
TE・ST	△8 F	OK	OK	△8 MD	OK
TE・SL	△8 MD	OK	OK	△8 D	OK
TE (NT)・ST	△8 F	OK	OK	△8 D	OK
TE (NT)・SL	△6 F	OK	OK	△6 F	OK
TE (NT)・NP	OK	OK	OK	△8 M	OK

(注) 表中の表示は上塗塗装後の塗膜に発生した気泡サイズと頻度を示す。

- (b) W P ・ N P 及び E Z P ・ E M の 2 種の S / P は、いずれの上塗塗料でも塗装後間もなく微小気泡が発生し、2回塗り塗料 (P E ・ S T) では気泡は消滅した。再度塗料入手して再現テストを行った結果、前回 (5 / M 塗装) よりは2回目 (7 / E 塗装) が気泡サイズ及び気泡の頻度は減少したが、気泡発生の傾向は同じであった。
- (c) 図 3.4.2 は、気泡発生塗膜の顕微鏡断層写真の一例を示す。写真(a)は S / P と上塗り塗膜との層間に生じた気泡を示し、写真(b)は上塗り塗膜約 $70 \mu m$ 付近の塗膜に発生した気泡が表層で破壊した現象であり、写真(b)の現象が大部分である。
- (d) 写真(a)、(b)いずれも S / P の種類が W P ・ N P と E Z P ・ E M の 2 種に発生しており、気温の高い方が気泡発生・頻度の傾向が少い。したがって、S / P 塗料混合溶剤中の蒸発速度が遅い残留溶剤と、

タンク用塗料など厚塗り形塗料との組合せによるものと推察されるが、通常 S/P の屋外暴露は長時間に及ぶため、実用上の影響は少ないものと判断できる。

(2) 付着性試験

各塗装系での初期及び天然海水 40°C × 4 カ月浸漬後の付着性を表 3.4.6(1)～(5)に示す。

- (a) 素地及び S/P と上塗り塗料との初期付着性は、いずれの塗装系も良好である。
- (b) 浸漬試験後の付着性は、1種の上塗り塗料以外はいずれもよい。付着性の低下がみられる上塗り塗料 [TE (NT)・SL] は、比較用として供試した S/P (WP・ST) ともよくないことから、上塗り塗料の品質によるもので、付着性については供試 S/P すべてが良好といえる。

(3) 耐食性試験

天然海水 40°C 浸漬結果を表 3.4.6(1)～(5)に、促進塩水浸漬結果を表 3.4.7-(1)～(5)に示す。これら的一般部塗膜の経時変化を図 3.4.3(1)～(5)に示した。

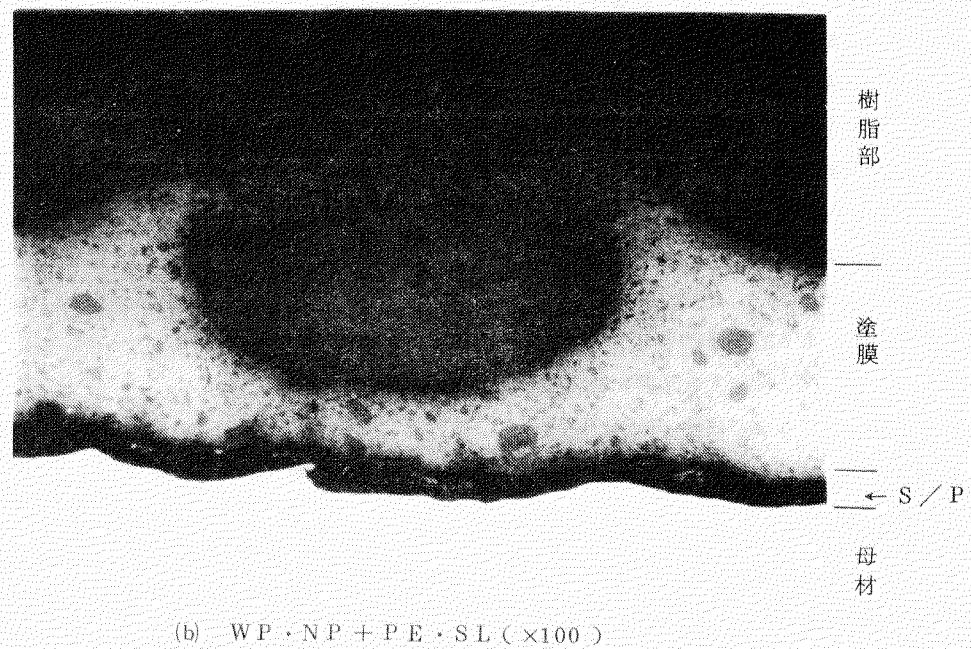
- (a) 塗装系完了後の塗膜に気泡が発生した 2種 S/P (WP・NP、EZP・EM) は浸漬時に気泡が進展し、一部は塗膜のふくれとなつたが、予想外に塗膜欠陥（ふくれ、さび）は少く、これは塗膜表層の気泡が多いためと推定される。
- (b) 天然海水 40°C 浸漬では、一般部塗膜はいずれも良い。スクラッチ試験片で上塗りが TE (NT)・NP にふくれがあるが、S/P の影響でなく上塗り塗料の品質によるものといえる。
- (c) 促進塩水 40°C 浸漬では、最高 4か月まで試験を継続した。従来の評価を適用すれば、最高 2か月程度でも防食上十分であり、この基準で評価すると、比較用 S/P (WP・ST) とクロム対策用 S/P は殆んど遜色がない。
- (d) 一般部塗膜の浸漬経時変化から、塗装系に及ぼす S/P の影響は極めて少い。概して上塗り塗料が TE・ST 及び TE (NT) NP の欠陥発生が他の上塗り塗料よりも早く、これは塗料中の溶剤量が多いための塗膜構成によるものであろう。

3.4.4 む す び

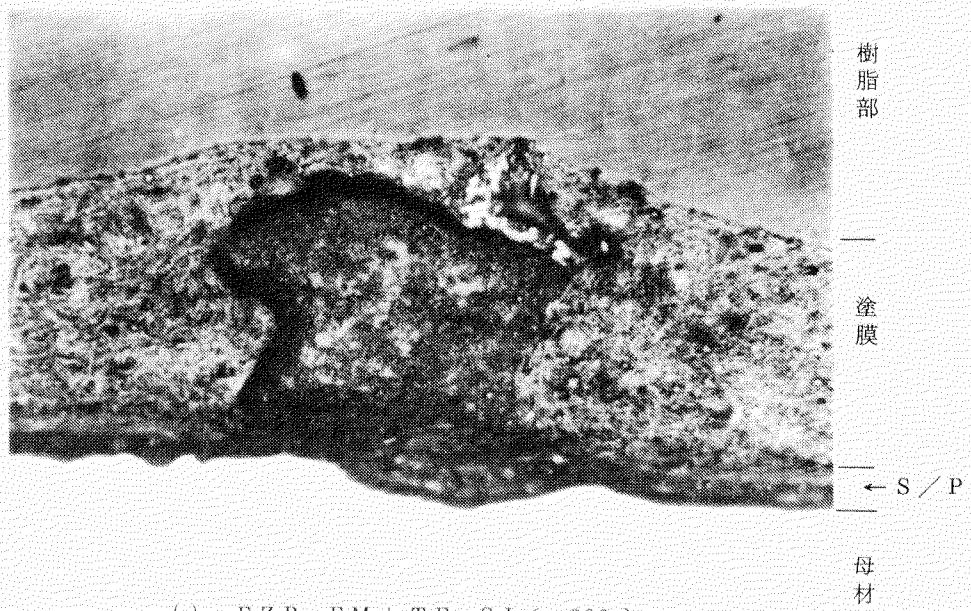
本研究における S/P と上塗り塗料組合せ塗装系の評価を表 3.4.8 に示す。

この評価によれば、下記のことがいえる。

- (1) 塗装完了後に気泡発生の傾向がある WP・NP 及び EZP・EM の S/P は、耐食性に顕著な影響は及ぼさないが、長期耐久性の面を考えると、いま、一歩の塗料組成の検討が必要である。
- (2) IZP・ST 及び IZP・WB のジンク系 S/P は現用 W/P と比較し、同等もしくは以上の性能がある。
- (3) 上塗り塗料が TE (NT)・NP は他の 6種の上塗り塗料と比較して、いずれの S/P でもやや遜色がある。



(b) WP・NP+PE・SL ($\times 100$)



(a) EZP・EM+TE・SL ($\times 300$)

図 3.4.2 気泡発生塗膜断面の顕微鏡写真

表 3.4.6(1) WP・NP (天然海水 40°C)

試験項目 上塗塗料	付着性						耐食性					
	初期			浸漬後			2か月		3か月		4か月	
	A法 (%)	A法 評価	B法 評価	A法 (%)	A法 評価	B法 評価	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片
PE-ST	44	9	9	41	9	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PE-SL	74	10	10	100	10	10	OK (気泡なしF)	OK	OK (気泡なしF)	OK	OK (気泡なしF)	OK
TE-ST	45	10	10	55	10	10	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)
TE-SL	64	10	10	61	10	10	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)	OK (気泡なし8M)
TE(NT)-ST	66	10	10	60	10	10	OK (気泡なし6F)	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし6F)	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし6F)	OK (気泡なし8F)
TE(NT)-SL	44	9	10	19	4	4	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし8F)	OK (気泡なし8F)
TE(NT)-NP	62	10	10	55	10	10	OK (気泡なし8M)	OK	OK (気泡なし8M)	OK	OK (気泡なし8M)	OK

表 3.4.6(2) IZP-ST (天然海水 40°C)

試験項目 上塗塗料	付着性						耐食性					
	初期			浸漬後			2か月		3か月		4か月	
	A法 (%)	A法 評価	B法 評価	A法 (%)	A法 評価	B法 評価	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片
PE-ST	56	10	10	50	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PE-SL	94	10	10	50	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE-ST	61	10	10	38	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE-SL	89	10	10	42	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE(NT)-ST	70	10	10	56	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE(NT)-SL	50	10	10	22	6	4	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE(NT)-NP	68	10	10	49	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK

表 3.4.6(3) I Z P・WB (天然海水 40°C)

試験項目 上塗塗料	付着性						耐食性						
	初期			浸漬後			一般試験片	2か月		3か月		4か月	
	A法 (%)	A法 (評価)	B法 (%)	A法 (%)	A法 (評価)	B法 (%)		スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	
PE-ST	13	2	10	26	7	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
PE-SL	50	10	10	55	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TE-ST	22	6	10	44	9	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TE-SL	33	8	10	29	7	9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TE(NT)-ST	29	7	10	38	9	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TE(NT)-SL	32	8	10	28	7	4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TE(NT)-NP	55	10	10	89	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	△4Fふくれ	

表 3.4.6(4) E Z P・EM (天然海水 40°C)

試験項目 上塗塗料	附着性						耐食性						
	初期			浸漬後			一般試験片	2か月		3か月		4か月	
	A法 (%)	A法 (評価)	B法 (%)	A法 (%)	A法 (評価)	B法 (%)		スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	一般試験片	スクラッチ 入り試験片	
PE-ST	59	10	9	46	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
PE-SL	100	10	10	36	10	6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TE-ST	70	10	10	42	10	10	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	
TE-SL	78	10	10	57	10	10	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	
TE(NT)-ST	73	10	10	30	8	8	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8MD)	
TE(NT)-SL	38	9	10	21	6	4	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	
TE(NT)-NP	73	10	10	57	10	6	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8MD)	

表 3.4.7(1) WP・NP 耐食試験結果 (促進塩水・40°C)

試験項目 上塗塗料	2か月		3か月		4か月	
	一般試験片	スクラッヂ 入り試験片	一般試験片	スクラッヂ 入り試験片	一般試験片	スクラッヂ 入り試験片
PE・ST	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PE・SL	OK (気泡 $\% 8F$)	OK (気泡 $\% 8F$)	OK (気泡 $\% 8F$)	OK (気泡 $\% 8F$)	OK (気泡 $\% 8F$)	OK (気泡 $\% 8F$)
TE・ST	OK (気泡 $\% 8M$)	OK (気泡 $\% 8F$)	M4F	M4F	M2M~MD	M4FM
TE・SL	OK (気泡 $\% 8M$)	OK (気泡 $\% 6F$)	OK (気泡 $\% 6M$)	OK (気泡 $\% 6F$)	M4M	M6M
TE (NT)・ST	OK (気泡 $\% 6F$)	OK (気泡 $\% 8F$)	CK (気泡 $\% 6F$)	OK (気泡 $\% 8F$)	OK (気泡 $\% 6F$)	OK (気泡 $\% 8F$)
TE (NT)・SL	OK (気泡 $\% 6F$)	M4M	OK (気泡 $\% 6F$)	M4MD	OK (気泡 $\% 6F$)	M4MD
TE (NT)・NP	OK (気泡 $\% 8E$)	M6M (気泡 $\% 8M$)	M4M	M4M	M2MD	M2MD

表 3.4.6(5) WP・ST (天然海水 40°C)

試験項目 上塗塗料	付着性						耐食性					
	初期			浸漬後			2か月		3か月		4か月	
	A法 (%)	A法 $\frac{mm}{mm}$	B法 $\frac{mm}{mm}$	A法 (%)	A法 $\frac{mm}{mm}$	B法 $\frac{mm}{mm}$	一般試験片	スクラッヂ 入り試験片	一般試験片	スクラッヂ 入り試験片	一般試験片	スクラッヂ 入り試験片
PE・ST	54	10	10	82	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PE・SL	>100	10	10	>100	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE・ST	49	10	10	52	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE・SL	67	10	10	51	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE (NT)・ST	57	10	10	55	10	10	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE (NT)・SL	39	9	10	11	2	4	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TE (NT)・NP	75	10	10	66	10	10	OK	OK	OK	スクラッヂ部 $\% 6M$ ふくれ	OK	スクラッヂ部 $\% 4M$ ふくれ

表 3.4.7(2) I Z P・S T 耐食試験結果 (促進塩水 40°C)

試験項目 上塗塗料	2か月		3か月		4か月	
	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片
P E・S T	OK	OK	OK	OK	OK	OK
P E・S L	OK	OK	OK	OK	OK	カット部剥離
T E・S T	OK	M6 F M	M6 M	M6 M	M6 D	M6 MB
T E・S L	OK	OK	OK	カット部浮き上り	OK	カット部浮き上り
T E (N T)・S L	OK	OK	OK	カット部浮き上り	OK	カット部浮き上り
T E (N T)・S L	OK	OK	OK	カット部浮き上り	OK	カット部浮き上り
T E (N T)・N P	M8 F	M4 MD	M4 F~M	カット部浮き上り	中止	中止

表 3.4.7(3) I Z P・W B 耐食試験結果 (促進塩水・40°C)

試験項目 上塗塗料	2か月		3か月		4か月	
	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片
P E・S T	OK	OK	OK	OK	OK	カット部剥離
P E・S L	OK	OK	OK	OK	OK	OK
T E・S T	OK	OK	M6 M	M6 M	M4 MD	M4 MD
T E・S L	OK	OK	OK	カット部M4 Mふくれ	OK	カット部M1 Mふくれ
T E (N T)・S T	OK	OK	OK	カット部浮き上り	OK	カット部浮き上り
T E (N T)・S L	OK	OK	OK	カット部M6 Fふくれ	OK	カット部M6 Fふくれ
T E (N T)・N P	OK	M4 MD	M6 M	M6 MD	中止	中止

表 3.4.7 (4) EZP・EM 耐食試験結果 (促進塩水・40°C)

試験項目 上塗塗料	2か月		3か月		4か月	
	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片
PE・ST	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PE・SL	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△6M)	OK (気泡△8M)
TE・ST	OK (気泡△6M)	OK (気泡△6M)	OK (気泡△6M)	OK (気泡△6M)	OK (気泡△6M)	カット部剥離 (気泡△6M)
TE・SL	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	カット部浮き上り (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	カット部浮き上り (気泡△8M)
TE(NT)・ST	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	カット部浮き上り (気泡△8M)
TE(NT)・SL	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8F)	OK (気泡△8M)	カット部浮き上り (気泡△8F)	OK (気泡△8M)	カット部浮き上り (気泡△8M)
TE(NT)・NP	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)	OK (気泡△8M)

表 3.4.7 (5) WP・ST 耐 試験結果 (促進塩水・40°C)

試験項目 上塗塗料	2か月		3か月		4か月	
	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片	一般試験片	スクラッチ入り試験片
PE・ST	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PE・SL	OK	OK	OK	カット部△3Fふくれ	OK	カット部△4Fふくれ
TE・ST	△4M	△4M	△2M	△2M	中止	中止
TE・SL	OK	OK	OK	カット部△6Fふくれ	OK	カット部△6Fふくれ
TE(NT)・ST	OK	OK	OK	カット部△6Fふくれ	OK	カット部一部剥離
TE(NT)・SL	△8M	△8MD	△8M	△8MD	△8M	△8MD
TE(NT)・NP	OK	△8M	△6M	△4M	中止	中止

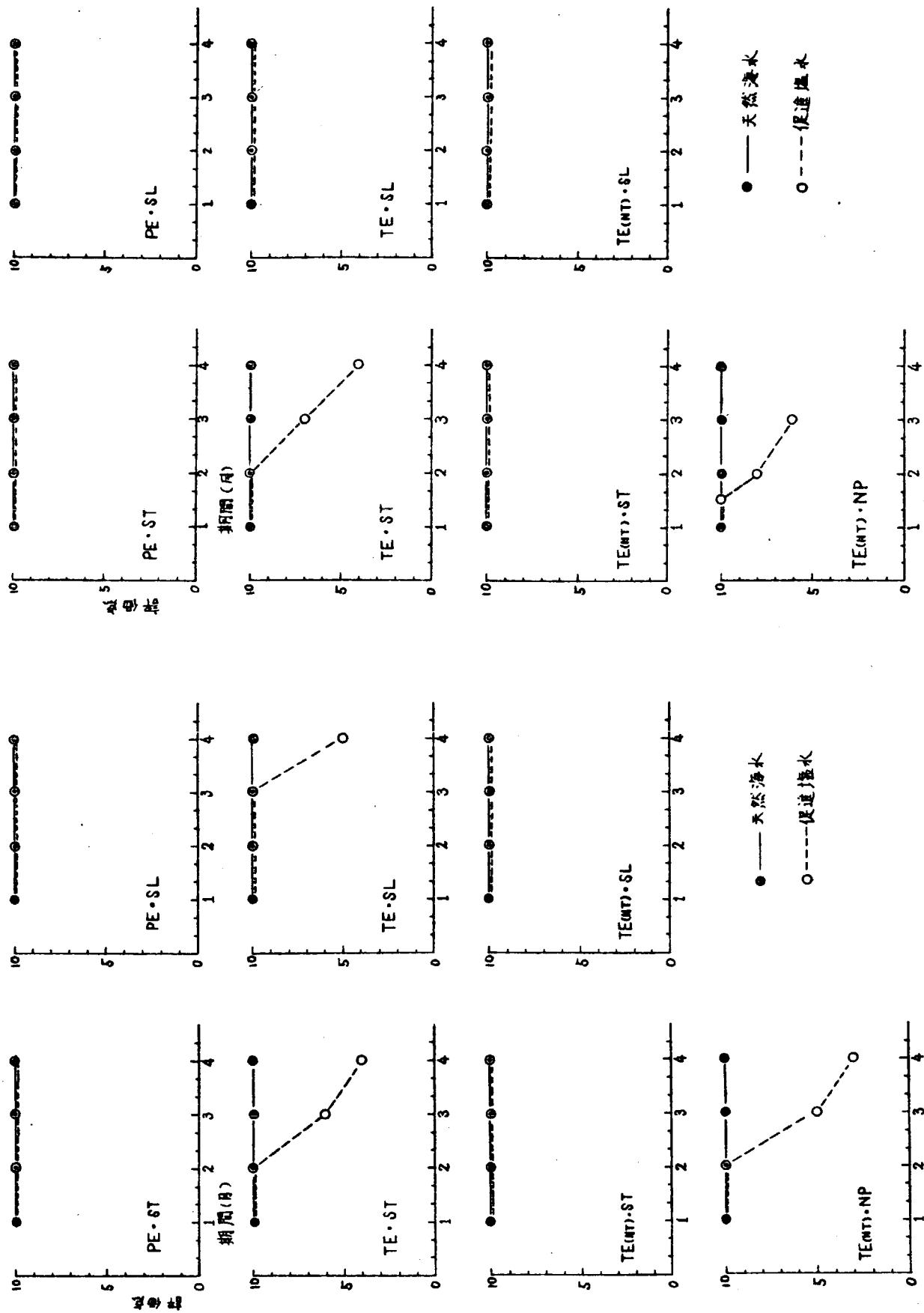


図 3.4.3(1)

WP·ST と上塗り塗料の耐食性経時変化 (40°C)

図 3.4.3(2) IZP·ST と上塗り塗料の耐食性経時変化 (40°C)

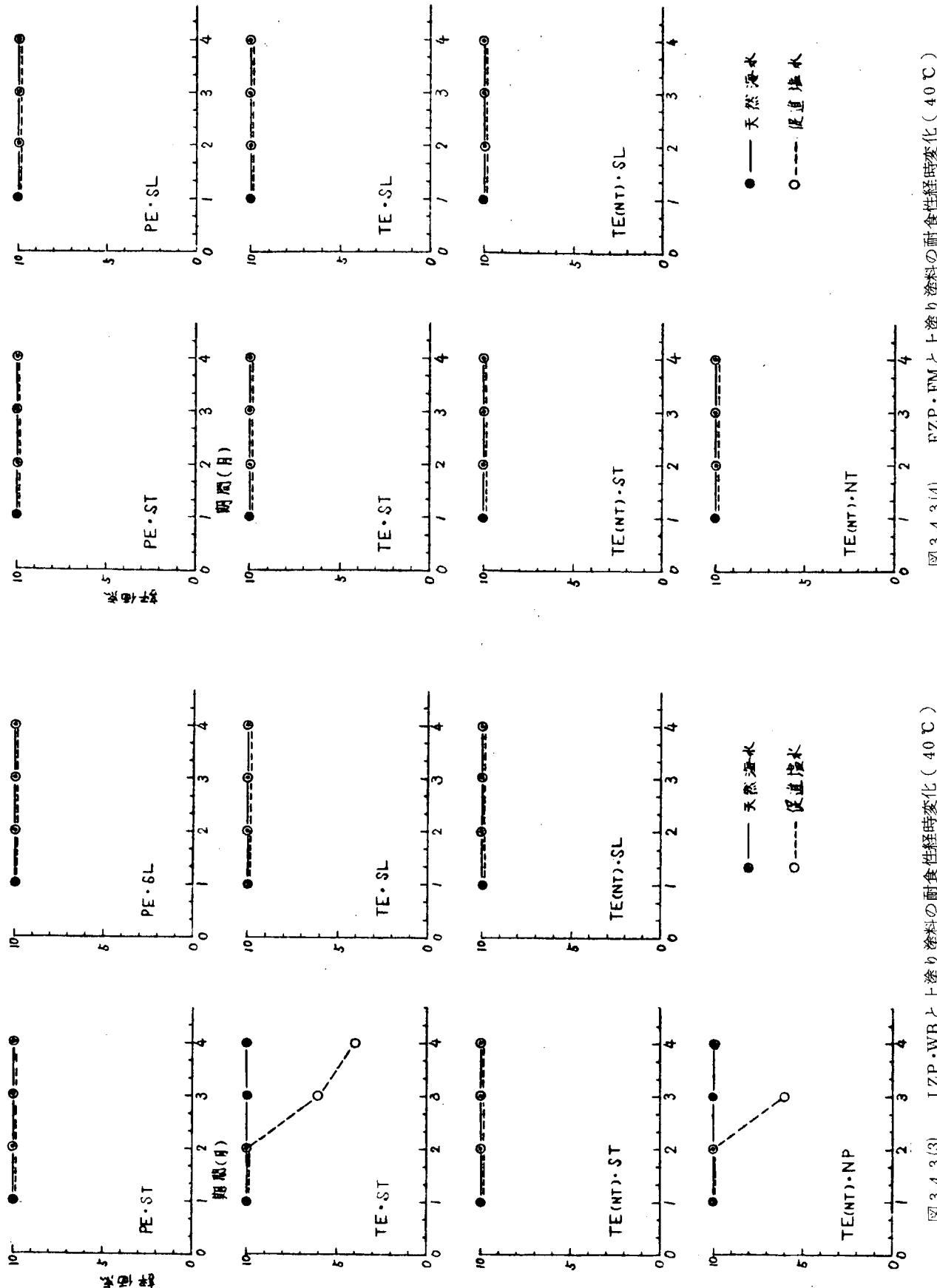


図 3.4.3(3) IZP・WB と上塗り塗料の耐食性経時変化 (40°C)

図 3.4.3(4) FZP・FM と上塗り塗料の耐食性経時変化 (40°C)

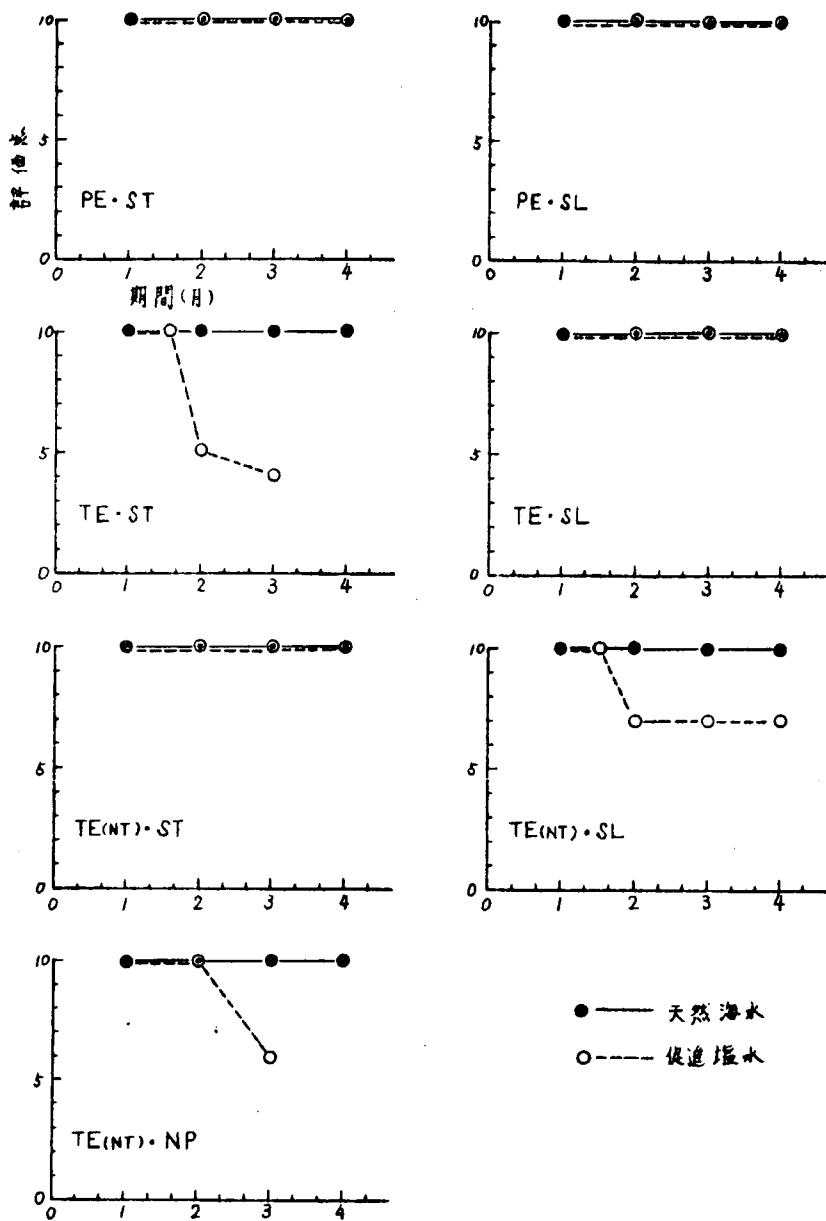


図 3.4.3(5) WP-ST と上塗り塗料の耐食性経時変化 (40 °C)

表 3.4.8 浸漬試験 2 カ月目の塗膜評価

S/P 上塗り	WP・NP	IZP・ST	IZP・WB	EZP・EM	WP・ST
PE・ST	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○
PE・SL	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○
TE・ST	○/△	○/△	○/○	○/○	△/△
TE・SL	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○
TE(NT)・ST	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○
TE(NT)・SL	○/△	○/○	○/○	○/○	△/△
TE(NT)・NP	○/△	○/△	○/△	○/○	○/△

(注) 一般部／スクラッチ部の評価

○：良、 △：可、 ×：不可

あとがき

本研究では炭化水素類およびクロム対策を考慮した新しいショップ・プライマの実用化に際し、ショップ・プライマの単独塗膜性能および炭火水素類対策を考慮した上塗塗料との適合性を調査した。本研究に使用した供試塗料および試験条件の範囲で得られた結果を次に示す。

1) 新しいショップ・プライマの乾燥性について

造船工程上から要求されるショップ・プライマの硬化乾燥時間は5分以内が望まれる。これを満足する新しいショップ・プライマはIZP・STに過ぎない。他の新しいショップ・プライマはこれを満足するための改良が必要である。

2) 新しいショップ・プライマ塗装板の加工性について

新しいショップ・プライマ全てEPM(電子写真け書)性、溶接性、および溶断性はSTと同等で加工性には問題ない。

3) 新しいショップ・プライマ単独塗膜の耐食性について

IZP・WBを除く他の新しいショップ・プライマはSTと同等あるいはそれ以上の耐食性を示した。

IZP・WBは6カ月間の屋外ばく露によりわずか鉄さびの発生がみられた。

4) 新しいショップ・プライマと炭化水素類対策を考慮した上塗塗料との適合性

塗装対象箇所毎にショップ・プライマと上塗塗料の適合性について示す。

イ) デッキおよび上構内外部用塗料との適合性

ビニル・ブチラール系ショップ・プライマSTおよびWP・NPは亜鉛系ショップ・プライマに比べ耐食性の点で劣るために上塗り塗膜に欠陥が発生しやすい。亜鉛系ショップ・プライマのうちIZP・STおよびIZP・WBは各種上塗塗料との適合性は良い。一般的には亜鉛系ショップ・プライマと油性塗料との適合性は良くないといわれているが本研究ではEZP・EMと上塗塗料OL・STとの組合せにのみその傾向がみられたに過ぎない。

ロ) 外板用塗料との適合性

ショップ・プライマと上塗塗料との適合性は耐食性の点ではSTと同等で良好である。

一方、付着力の点では、IZP・WBとPE・SLおよびTE・SLとの組み合せに問題があり付着力試験ではショップ・プライマと上塗塗料の層間で破断し付着力も小である。しかし他の組合せでは良好な結果を示した。

ハ) タンク用塗料との適合性

STに比べIZP・STおよびIZP・WBは同等あるいはそれ以上の適合性を示した。WP・NPおよびEZP・EMは上塗塗料時上塗塗料膜内に気泡のまき込みがあるので塗装時は注意が必要である。

以上のことから各ショップ・プライマとも実用化に際しては、さらに研究改良は必要である。主な改良点はショップ・プライマの乾燥性と各上塗塗料との適合性である。

しかし、本研究の目的である炭化水素類およびクロム対策を考慮した新しいショップ・プライマのうちには実用化の方向にあるショップ・プライマのあることを確認した。

これらの結果のまとめを表3.5に示す。

表 3.5 本研究結果一覧表

		クロム対策新ショップ・プライマ					
		非光化学反応性 溶剤含有ウォッシュ ・プライマ WP・NP	現用使用溶剤含有 機ジンク・プライマ 1ZP・ST	水性無機ジンク プライマ 1ZP・WB	水性有機ジンク プライマ EZP・EM	現用のクロム含有 ウォッシュ ・プライマ ST	
ショップ・プライマ	塗料(可使時間) 物性(乾燥時間)	△	○	△	△	○	
	塗膜初期付着力	○	○	○	○	○	
	物性耐食性	○	○	△	○	○	
	加工性EPM性 溶接溶断性	○	○	○	○	○	
ショップ・プライマと 塗化水素類対策上塗塗料の適合性	デッキ及 上槽内外部用塗料	OL・ST OL・EM CR・NP CR・ST PE・ST PE・NP TE(NT)ST	× (○) × (△) △ (△) △ (○) ○ (○) ○ (○) × (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (×) ○ (×) ○ (△) ○ (△) ○ (×) ○ (×) ○ (×)	× (×) ○ (○) ○ (△) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	× (○) × (○) △ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) △ (○)
	外板用塗料	CR・ST PE・ST PE・SL TE・ST TE・SL TE(BT)ST TE(NT)ST	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)
	左耐 右付着性	PE・ST PE・SL TE・ST TE・SL TE(NT)ST TE(NT)ST TE(NT)NP	○ (○) ○ (○) △ (○) ○ (○) ○ (○) △ (×) △ (○)	○ (○) ○ (○) △ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) △ (○)	○ (△) ○ (○) ○ (○) ○ (△) ○ (○) ○ (×) △ (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (○) ○ (○) △ (○) ○ (○) ○ (○) ○ (○) △ (○)
	タンク用塗料	TE(NT)ST TE(NT)ST TE(NT)NP	○ (○) △ (×) △ (○)	○ (○) ○ (×) △ (○)	○ (○) ○ (×) △ (○)	○ (○) ○ (○) ○ (○)	○ (○) △ (×) △ (△)

注 記号説明

評価		上塗塗料の種類		溶剤の量および種類	
記号	説明	記号	説明	記号	
○	良	OL	油性塗料	ST*	現用溶剤型
△	可	CR	塩化ゴム塗料	SL	低溶剤型
×	不可	PE	エポキシ塗料	NP	非光学反応性溶剤型
		TE	タールエポキシ塗料	EM	水性
		TE(BT)	れき青質 タールエポキシ塗料	*上塗塗料記号の後に表示 単にST表示は比較品を示す。	
		TE(NT)	ノンタール エポキシ塗料		

4. 第17回防食防汚国際委員会年次総会 (17th COIPM PLENARY SESSION)出席報告

場所と期日 ホンダチオッネ、ペニス、イタリー、21～25、5月、1979

4.1 DR ROMANOVSKY(仏)開会を宣し、全員歓迎の意を表わす。新来の委員の紹介、欠席者に代わり陳謝した。会議事項と前回議事録を承認する。

4.2 各部の討議

4.2.1 海洋環境下の木材部会、部会長MR RELINI(伊)

- (1) 热帯産木材を各地に浸漬しMARINE BORERに対する自然抵抗力を調査研究中である。フロニカ(伊)とパナマ運河地区に於ける6ヶ年浸漬結果が出て、CONGOTALIが依然として、他の14種の木材に比し優れた抵抗力をTEREDOとLIMNORIAに対して持っていることが確認された。次に好結果のものはMAKOREとLAUREL NEGROで他種のものは、海水に強いとされているAZOBE, ANGELIQUEやCOCOBOLOでさえ3～5年で損傷甚しかった。ラロシェール(仏)は著名な試験地だがこの数年来TEREDINIDAE(MARINE BORERの一種)が発見されない海洋異変有りその為め協同試験を中止した。なおCONGOTALIの優れた抵抗性の要因についての議論は結論出てない。全世界各地に於ける木材の海洋被害は莫大であるのでこの種の研究が盛である。
- (2) 海洋菌の木材表面への附着は木材損傷の第一歩とされて居る。DR G JONES(ポートマス ポリテクニック 大学、英)は其の基礎研究をすることに成って居り、協力メンバーは各地の海洋菌を収集し之れを提供して助力して居るが研究発表に至っていない。船底塗料の初期汚損に通ずるもの有り、興味が持たれる。
- (3) 当部は下記の二つの文献の編集中である。
 - (a) 木材の穿孔性海洋生物(BORING MARINE ORGANISMS)とその保全、
 - (b) MARINE BORERS - 注釈付文献目録集、MOLLUSCAN BORER, LIMNORID BORERS、微生物、自然抵抗力、木材の保全の5部に分れている。
- (4) 日本は協力メンバーとしての分担項目はないが出来るだけ出席している。

4.2.2 生物学部会 部会長 MR RELINI(伊)

- (1) 1977年、海洋汚損生物の成長率調査依頼がCOIPMから出た、回答済み国は仏、米、伊と日本(造研、研究資料No 300 添付7.P. 115)のみ、他は目下調査中の報告有り。
- (2) メンバー研究所の研究項目の要約
 - (a) エジプトはスエズ運河の生物汚損調査をようやく初めかけたが、之れと平行してAFの銅公害を前号に引きづき強調している。これは生物学と公害との学術的関聯を追求せんとする意企の外に、運河を守るために、或はこれを用いて、国際的反響を求めてる嫌いあり。
即ち、米のクリスタルマトリックス理論で終焉したCu問題の再燃は充分考えられる。
 - (b) ギリシャは、国連の研究課題の、汚損生物をインディケーターとして使う海洋公害問題に、同国国防省研究所が協力中である。主な研究場所はペリュース港周辺並びにヒドラ島沖、水深122mに有るオフショア試験装置等で、前者は汚損劇しく、後者は過少栄養海水地域である。
 - (c) 仏は、LA PALLICE港で海洋生物実態を調査中だったが、近来港地区の公害劇しく、却って生物層が減少した。ブレスト港では微生物附着(MICRO FOULING)と生物汚損(MACRO

- FOULING) の関係を研究中、注目に値する課題である。 (M. LEMOINE, CNEXO BREST)
- (d) 伊は、ポー河々口の低塩水地区、中央イタリヤのORBETELLO LAGOONS 地区、発電所冷却水取入口、アドリア海(地区不明)、LIGURIAN海の深海(ジェノア近海)、人工礁等多岐に亘って、生物付着問題調査に努力中で、部会長国の積極性が伺える。
- (e) バブア、ニューギニアは研究中の大半を木材防汚にしぼり、WOOD BORERS 調査に貢献している。
- (f) 米は初期汚損生物(海洋附着微生物)をOPTICAL SURFACE(詳細不明)に附着させ、これを特殊法により、機械的分離し、汚損の基礎研究に役立たせんとし、又、スライム附着と船速低減問題を再燃、重視、研究中。
- (g) 日本は「日本列島各地港湾に於ける汚損生物の基礎的研究」(造研、報告第88号、生物の分類、分布、季節消長、P9~18)を提出。これはSR141研究資料の要約だがMARINE FOULING & ITS PREVENTION編集に取って大きい協力で造研の努力は高く賞賛された。今迄、ソビエットの日本海シベリヤ側のデータはあるが、西太平洋岸のものは、皆無であった。
- (h) デンマーク(ヘンペル社)では汚損研究にGOOSE BARNACLE(富士つぼの一種か)を用いている。
- (i) スライム形成生物について、各メンバーは、その研究、調査知識の回答をMR. RELINI(伊)、又はMR. PREISER(米)にされる様要請されている、日本も情報を集めたく、専門家の協力を得たい。
- (3) 日本は、現在の造研の枠内に於いては、協力メンバーとしての直接的な作業は不可能である。然し、出来るだけ、出席、議論参加、データ提出等で充分責任を果しており、評価されていることは喜ばしい。

4.2.3 電気防食部会 部会長 MR de La COURT (オランダ)

- (1) COIPM#11より6カ国研究所の協力により行われた結論はこの方法(造研、研究資料No.318、P140添1)は船舶塗料の性能ライフを判定すると云う所期の目的を達成するのに不充分であると云うことであった。この部会存続に疑点があったが、小国筋の要請有り。内容改善の上、新機構下で続行と決定した。
- (2) 初めて米国が参加、そのバックアップを得て今後の成果を挙げ様としている。
- (a) ブリスターの基礎理論追求の必要有り。米の主唱により、その専門家を煩わすことと成った。ブリスターによる判定がこの部会のテーマであるが、今迄はバラツキが多かった。
- (b) 供試塗料は米海軍現用品でその内容は公開される(今迄はヘンペル製品のAl-ビチューメン、塩化ゴム系、タールエポキシン系のもので、内容未詳)、サンプルは各研究所に直送され所定のテスト法でテストする。但し、塗膜カット方法はマスキング法をやめ、塗膜完成後、機械的カットである。
- (c) 従来は米と共に日本も直接的には共同作業してない。今後は米国がリードして内容改善が期待され、腐食テスト法の一つとして注目してよい。

4.2.4 AFペイント試験法部会 部会長 D.R. E. MOR(伊)

- (1) 当部会の主テーマであった有機錫系AFの室内、リーチングレート研究と海水浸漬テストが共に完了したことを契機に、部会長はその存続につきアンケート調査をした。21のメンバーの回答は一致して「続行」であった。
- (2) 続行決定に当り、各メンバーに希望の新研究課題の提案を要請した。今後の課題取決めに参考にする為めである。回答17の内6(a, b, e, l, m, Q)はAFの新試験制定、3(b, d, f)は新防汚剤に関するもの、委員長ロマノフスキイ氏も両テーマ重視の発言あり。アンケートの集約下記の如し。

8eme Question: Voulez-Vous fixer le Programme du groupe d'apres
les interets actuels de votre laboratoire ?

Reponses schematisees:

- a Bishop : Meilleures methodes de test des peintures antislissures.
(英) (AFのよりよいテスト法)
- b Callame: Etudes sur toxiques nouveaux.
(仏) (新防汚剤研究)
- c de la court: Developpement des nouveaux tests.
(オランダ) (新テスト法の開発)
- d De palma: Toxiques biodegradables a basse energie.
(米) (容易に生物による分解可能な(一過性)毒物)
- e Dowd: Choix de nouvelles Peintures.
(米) (新塗料の選挙)
- f Emery: Recherches sur les toxiques biodegradables.
(米) (生物による分解可能な毒物についての研究)
- g Ghanem: Nouveaux procedes antislissures.
(エジプト) (新防汚法)
- h Hansen : COmparaison de diverses methodes.
(デンマーク) (各試験法の比較)
- i Hargarter : Elaboration de normes pour peintures antislissures.
(西独) (AF規制の設定)
- j Lemoine: Enquete sur les procedes de lutte.
(仏) (議論方法の調査)
- k Mor-oliva : Enquete et choix, ensuite recherches.
(伊) (調査、選挙、次に研究)
- L Miyoshi: Methodes accelerées pour antislissures de longue duree.
(日本) (長期性AFの促進テスト法)
- m Preiser : Methodes accelerées.
(米) (促進テスト法)
- n Rascio : Controle des peintures.
(アルゼンチン) (塗料のコントロール)
- o Relini : Tous les systemes antislissures.
(伊) (全てのAFシステム)
- p Skoulikidis : Methodes convenables pour dosage de l' etain et emploi de l' eau artificielle.
(ギリシャ) (人工水を使っての錫定量の適当な方法)
- q Vamvakas : Tests rapides et pratiques.
(ギリシャ) (急速かつ実際的テスト)

当部のデータはMARINE FOULING & ITS PREVENTION 編集の際、主要部分と成るのでその成果につき賛同された。

- (3) リーチングレートデータ結果(資料-1)と筏による海水浸漬結果(資料-2)が配布された、共に1975~79年の協力の要約であるが、(資料-1)は今後のリーチングレート研究に、その中に含まれる試験法等参考にしていただき度く(資料-2)は造研141部会で正式に決った中国塗料(宮島)、神東塗料(追浜、住友重機械)の3ヶ年に亘る労作の一部のもので、日本の精密なテスト態度につき賞賛を極められ、日本に対するデータの信頼性を高め得たことは同様に堪えぬ次第である。井村技師(中国)、諫訪部技師(神東)等の制協力を深謝する。
- (a) リーチングレート テストにはヘンペル社品 OCEANIC 7640 AF (TBTO, TBTB) を使用。温度影響についてのものである。時間を要したのはバラツキ補正のため、各国の試験乃至試験能力の向上を目標とし、その成果を得たと思われる。この種のデータは自己研究と性能説明即ち対内、対外とを問、公認される信頼性を持つことが肝要だとしている。試験法の内ジェノア法(MR. MOR考察)のもの、最もバラツキなしとされている。
- (b) DR SKULIKIDIS、ギリシャはCASTAING の MICROPROBE法(内容報告未し)による測定をし、これがジェノア法と一致したことから、その短期間で結果が出る利点が一層評価され、確認の繰返しが要請されていた。尙ジェノアの装置にはPERSPEX(アクリル樹脂系)が使用され、これのORG、TIN 吸収力につき前回議論有り、テストの結果、ネグリジブルなる発表有り。
- (c) AF板(ヘンペル社品、(a)と同じ)、コントロール板を水平、垂直、45° 斜傾にセット出来るを使用して各ラボラトリでの3ヶ年 結果はAFについてはどの部位もすべて良好。TBTO使用がこの場合適切であったと見る。各国の報告は概して簡単であるに反し、日本のものは本部からの指示に忠実であった。
- 例えば、カラー写真の添付、データ作成日時の厳守、環境水域の水質データ、各シーズン別、汚損生物別の消長が判るため、より有効な解析ができる。標準的浸漬試験としての信頼性を増したことになり喜びに堪えない。

4.2.5 公害部会 部会長、MR. CALLAME(仏)、MR. GHANEM(エジプト)二人制

- (1) TBTO、TPTF、(有機錫系防汚剤のBHT(生物学的半減期)データ(造研研究資料300による)を提出した。BHT 3.7~6.6日並びに1.07日は共にメチル水銀の70日前後、蓄積性金属の年オーダーに比し、極めて短く、共に各臓器に入ったものは早く代謝されると見てよい。今後、日本ではTB系、TPT系防汚剤はこのデータに基きAF使用の対照たり得る旨報告した。新試験法出現とあってメンバーの注目を浴びた。
- (2) DR. MOR等は有機鉛系防汚剤、鉛顔料等の全廃乃至減少配合の研究中、
- (3) MR. GHANEMは前回に引き続き、スエズ運河の重金属公害を訴えた。但し銅公害の急速解決には、今後幾多の障壁があろう。
- (4) 1976年に、AF使用の有機防汚剤並びにその国の法規についての、アンケート調査があり、早速回答した(造研、研究資料300、添付4参照)が今回ようやく集約して発表の段階に成った、主なもの下記の如し。(但し1976年現在、日本を除く)

国名	使用防汚剤(含研究中)	防汚剤に関する法規
米	TBTO、TBTB	Toxic Substance Control ACT. Public Law 94-469
伊	TBTO、TBTB	ナシ(溶剤のみあり)

英	ORG, TIN COMPD (例TBT系、 TBT METACRYLARE COPOLYMER) (ORG LEAD系使用せず)	ナシ
仏	TBT系 (他のORG, METALICS, CHROMIUM SALT, CREDPOSITE-CHLOROPHONOL 等研究中)	12, 7, 1977 法規により 輸入者、メーカーは当局のアブループ必要。
エジプト	TBT-Cℓ TBTF	ナシ
オランダ	TBT-Cℓ, TBTF, TBTO, TPTF, Organic Metallic Compd Coupled To a Radical Polymer.	LAW CONCERNING SAFETY FOR WORK, CONTROL OF PESTICIDES, THE PROTECTION OF NATURAL RESOURCES.
香港	TBTF, TBT-ACE	ナシ

(5) A Fに影響を与える諸公害についてのアンケート

- (a) スペイン、エジプト外の要請によるもので我国、等先進国は既に25年前のテーマである。
- (b) 嫌気性硫酸還元バクテリヤにより発生するH₂S のための亜酸化銅系A Fの損傷の問題が各国（除英、米、日）の最大関心事に成っている日本はアンケート回答（1977年）に忠実であったため、質問が集中した。古いデータを基に回答した有機錫系A Fのリーチングレート影響は考慮すべきだが、現在の造研課題としては必要は無い、各社自ら既に解決のことと思う。
- (c) 油、炭火水素類、洗剤類の浮遊、高熱水環境、工場諸排水、過栄養海水に対するA F塗膜乃至防汚剤ノーチングレート関連データにつき論議があった。

4.2.6 オフショア一部会、部会長 MR , DE ALMA (米)

- (1) 協力メンバーのテスト箇所の状態
 - (a) 米 メキシコ湾 水深 1.265m, 160n.m, オフショア
 - (b) 仏 アンティブ沖、地中海 水深 100m
 - (c) ギリシャ ヒドラ島沖、エーゲ海 " 122m
 - (d) オランダ 北 海 " 50~100m
 - (e) 伊/英 リグリヤン海、ジェノア周辺 " 600m
 - (f) 日本即西太平洋地区に水深 150m 程度の試験箇所設置の場合、米は技術的協力をいたしたき所存の模様
 - (2) Aℓ, Cu, 鉄、ブロンズ、キュプロニッケル、スチール、ステンレススチール、ハステロイ (HASTELLOY)、インコネル (INCONEL)、Ti、Zn 等をセットし、深海と浅海との腐食レートを比較し、オフショア構造上の材質選択に資する、更にプラスティック、ゴム並びにペイントシステムの深海影響を調査する。
 - (3) マクロ並びにミクロの附着生物を調査してその関連を研究更に発錆要因を追求する。
- 以上が部会活動の内容だが、各国に経験差、能力差が目立つ米が最も進歩しており、指導的立場を持っている。未だリポート解析迄至ってない。米はこの問題の全世界性を強調し、日本の実力を信頼してその参加を願ってこと(1)(f)の如し、現在は出席して議論傾聴の域を脱しないが、オフショアの防食防汚がSR部会にて緊急に採決の際には、アクティブ、メンバーとしての責を果し得ることは容易のことと、各

国からの期待は大きい。日立造船の御好意により、「津軽海峡、水深150mに於ける、塗装鋼板の汚損と発錆に関する記録を発表し、いさか協力の意を表し、部会長等の謝辞を得た。

4.2.7 コンクリート部会 部会長 PROF SKULIKIDIS ギリシャ

海水浸漬による強力コンクリート影響を調査するもの、前回より引きつづき日本油脂が協力している。今回は指示された方法で、日本油脂が測定データを出して報告する。一層正確性が望まれる。

4.2.8 表面状態部会 部会長 MR, HANSEN デンマーク

- (1) 船体表面摩擦に関する文献収集の現状の説明あり。同リストの英文化を急ぐことになった。
- (2) STUDIES OF SKIN FRICTION IN TURBULENT BOUNDARY LAYERS ON SMOOTH & ROUGH WALLS, by ROLF I, KARLSSON, SWEDEN と COATINGS THE PROMISE & THE CHALLENGE FOR ENHANCED NAVAL SHIP PERFORMANCE by MR. PREISER, U. S. Aについて紹介あり、後者にはスライム影響が記載されている。
- (3) 将来のテーマとしては必要な設備が高価なためCOIPM枠内では困難であろう。又技術面でも、当部会内だけでなく部外のエキスパートの協力を得る方法を取るべきであるとの米の意見がリードした。さしあたり、ラフネスと摩擦抵抗をテーマにすることになろう。SR172が協力出来る段階である。

4.3 協力メンバーの活動に関する一覧表（資料-3）

かねてよりメンバー間に要望があったものでアンケード様式を取った日本のものは事前に提出したもののが収録された。各国の研究方向が伺われ、特に英、米、デンマーク、オランダのものは注目に値する。なお一般的に、アンケードの取纏め配布が遅く、且つ提出された協力データの評価発表が少なかった。今回は特にその改善が目立った。

4.4 その他の

- a LIAISON COMMITTEEとして予備会議に出席した。
- b 次回総会日時 18th PLENARY SESSION, BARCELONA, 14~17, 5月, 1980
- c 第5回防食防汚国際会議 5TH INTER NATIONAL CONGRESS
日 時 ON MARINE CORROSION & FOULING, 19~23, 5月,
1980 BARCELONA.
- d SCIENTIFIC COMMITTEE OF 5TH INTER NATIONAL CONGRESSに指命され、
26~27, 2月, 1980の運営会議出席を希望されている。