

第 9 6 研 究 部 会

防 食 ・ 防 汚 に 関 す る 研 究
報 告 書

昭 和 4 4 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

は し が き

本報告書は日本船舶振興会の昭和43年度補助事業「船舶の経済性向上に関する調査研究」の1部として日本造船研究協会が第96研究部会においてとりまとめたものである。

第96研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	土井 由之（昭和海运）	
幹事	伊丹 慶輔（大日本塗料）	入江 公三（東亜ペイント）
	大串 順（日本ペイント）	賀田 秀夫（東京商船大学）
	菅野 照造（石川島播磨重工業）	加藤 寛（船舶技術研究所）
	榮 幸雄（三菱重工業）	佐藤 信夫（日本油脂）
	佐野 隆一（関西ペイント）	重松 満（カナエ塗料）
	諏訪部 伝司（神東塗料）	瀬尾 正雄（船舶技術研究所）
	能勢 義男（中国塗料）	花田 政明（日本防食工業）
	福谷 英二（中川防食工業）	藤井 政夫（三井造船）
	馬渡 静夫（資源化学研究所）	南 義夫（横浜国立大学）
	森 稔（川崎重工業）	吉井 徹（三菱重工業）
委員	井村 隆（三菱重工業）	大井 浩（日本原子力船開発事業団）
	小川 一比古（石川島播磨重工業）	大西 正次（井上商会）
	大野 章（富士製鉄）	笠原 宏（日本作業船協会）
	金井 一十三（昭和海运）	木村 弘（三保造船所）
	久津間 裕良（運輸省）	小島 喜七郎（浦賀重工業）
	佐武 二郎（住友金属工業）	真田 良（日本船主協会）
	芝田 功（大阪造船所）	鈴木 裕（東京水産大学）
	田中 忠（八幡製鉄）	塚本 周吉（函館 Dock）
	中井 恒男（日立造船）	長尾 実三（名村造船所）
	野村 純一（日本製鋼所）	浜田 外次郎（日本鋼管）
	福井 三郎（三菱重工業）	原田 信作（大阪商船三井船舶）
	山下 重之（東京計器製造所）	山田 悦三（三井造船）
	山中 康市（佐世保重工業）	
討議 参加者	足立 録司（東亜ペイント）	石本 信夫（保土谷化学工業）
	稲葉 次男（東京フラインケミカル）	梅野 忠雄（保土谷化学工業）
	上山 道夫（日本曹達）	今泉 弘吉（東亜農薬）
	太田 健郎（タミアイ化学工業）	神例 照一（浦賀重工業）

北 村 晴 男 (資源化学研究所)

小 寺 秀 男 (北興化学工業)

斉 木 昇 (大日本塗料)

嶋 谷 四 郎 (三井造船)

田 島 収 (吉富製薬)

高 木 利 雄 (吉富製薬)

富 岡 昭二郎 (彌富商会)

西 川 孝 寛 (東亜ペイント)

平 井 靖 男 (日立造船)

村 田 道 雄 (三 共)

桑 山 則 男 (住友金属工業)

後 藤 昌 弘 (関西ペイント)

斉 藤 弘 (中川防食工業)

下 山 進 (イハラケミカル工業)

高 木 勇 (神東塗料)

高 橋 正 和 (イハラケミカル工業)

豊 部 正 義 (日本防食工業)

平 井 誠 (彌富商会)

村 上 正 三 (日本油脂)

若 松 勝 義 (関西ペイント)

目 次

1. ま え が き	1
2. 塗料の性能改善の研究	2
2. 1 各種生物に対する防汚毒物の所要濃度に関する研究	2
2. 2 防汚塗料の溶出性能に関する研究	1 8
2. 3 防汚塗料開発の研究	2 7
2. 4 高張力鋼の溶接におよぼす塗料配合の研究	3 7
3. 電気防食の研究	6 6
3. 1 外部電源法による自動制御の研究	6 6
4. 参 考 資 料	8 0
4. 1 船底塗料浸漬試験	8 0
4. 2 アメリカ製船底塗料の臨海試験結果	8 7
5. む す び	9 1

1. ま え が き

昨年につづいて船舶の防食防汚に関する3年目の研究を行なった。

塗料性能改善の研究においては、塗料の性能向上を計り、長期間の使用に耐えうるようにするためには防食性能の向上が必要である。そのためには有効な毒物の開発と毒物の溶出性能の向上が必要であるから、多数の各種毒物について生物実験を行なうとともに毒物の溶出に影響の大きい流速との関係を調査した。

また、試作した毒物を塗料化したもの、および現用各種高性能塗料の浸漬試験を続行するとともに成績の良好であつた7種類の塗料について実船実験を行なった。この外高張力鋼の溶接部におよぼすショットブライマーの種類配合の影響等を調査した。

一方、電気防食の研究においても、昨年度機装中の船舶によつて陸上実験を行なった方式によつて試作した外部電源法の自動制御装置を実船に装備し、1年間の実船実験を行なった。

2. 塗料の性能改善の研究

2.1 各種生物に対する防汚毒物の所要濃度に関する研究

2.1.1 毒物の生物試験

- (a) 過去2年間の研究結果により、予備的段階を終了し、試験成績を一定にするための条件として
- (イ) 水温を20°～25℃に保つこと。
 - (ロ) 海水としてはPH8.0前後であつて餌料等を含みぬ自浄海水を用いること。
 - (ハ) 供試生物としてはアルテミア（ブライン・シュリンプ）の孵化後3～4日の安定したものを用いること。
- などが明らかとなつたので、上記条件において実験を行ないうるように装置を改良し、それによつて年間を通じ、実験が可能となつた。
- (b) 各農薬メーカーの好意により、有機毒物86種、無機毒物20種、合計106種の試料を得たので、その全体について海水溶解度100PPmおよび50PPmによる24時間試験を数回づつ行ない、1、3、6、24時間の4段階における死亡個体、遊泳停止個体を双眼顕微鏡下に計測し、これに一定係数を乗じ、それを致死率とし、グラフ上にプロットして時間の経過に伴う毒物効力の判定とした。おもな結果を図2.1.1～図2.1.27に示す。
- (c) 各試料について、より低濃度における毒物効果を明らかにするために25、12、6、3、1PPmの5段階の濃度における同様な試験を行ない、一方、供試毒物の成分と照合して、防汚毒物の系統的資料とした。

2.1.2 実験の成果

- (a) 実験の結果、次のような諸事実が明らかとなつた。
- (イ) 24時間後における致死効果が同じである場合でも、その途中経過は決して一様でなく、6時間以内に急速に効力を発揮する型のもの、当初6時間の間は効力極めて低く後にいたつて効力を発揮する型のもの、時間の経過とともに徐々に効果を表わす型のものの3型がある。
 - (ロ) 濃度をうすめて試験する場合、濃度の低下に伴つて順次効力の低下するものと、ある段階までは全く低下せず、その限界を越え、後順次低下するものとの2つの型がある。
- (b) 上記結果より今後塗料毒物の探索について、次のような示唆を興えることが可能である。
- (イ) ビヒクルの組成によつて大きく左右される塗料化浸漬試験結果に比べて上記のごときバイオアッセー試験は毒物毒性の認定に対し、より合理的な結果を期待することができる。
 - (ロ) 現在塗料化されて有効と判定されている毒物はバイオアッセーによつてもその有効度が確認される。
 - (ハ) 塗料化において効力不十分と見られている毒物の中にバイオアッセーの結果有効と判定しうるものが含まれることは将来ビヒクルの改良によつてこれを実用化しうる見込みを興える点で興味深い、とくに悪臭、刺戟の強いものに代つて無刺戟性有効毒物の探索に可能性を見出すことができる。
 - (ニ) 毒物を塗料化する場合、その時間的特性曲線に合致したビヒクル組成をとることによりその毒物の防汚効果を最大限に発揮し維持することが可能である。

2.1.3 塗料の生物試験

(a) 有機毒物塗料試験結果

ブラインシュリンプ *Artemia salina* を用いての実験によつて4時間以内に50～100PPmの濃度で致死率100%を示したもののうち有機毒系の毒物7種をえらび塗料化したものを用いて、アルミ試験板塗料浸漬試験を行なつた結果を次に記す。浸漬場所は沼津市古宇、6ヶ月後の結果であり、汚損段階を1(0～5%)、

2 (5~20%)、3 (20~40)、4 (40~60)、5 (60%以上) として表示してある。また生物別効果は○△×を以て示す。

	全 体	フジツボ	コケムシ	海 藻
Tributyl tin resinate	1	○	○	△
" pentachlorophenate	2	△	△	×
" laurate	2	△	△	×
" chloride	2	○	△	×
" acetate	1	○	○	○
" fluoride	2	○	△	△
" oxide	1	○	○	○

以上の結果は必ずしも厳密にアルテミアの結果と平行してはいないが、それは溶出量の問題を考慮に入れて考える必要がある。ただし、全体の傾向としてはバイオアッセイによる成績良好なものがほぼ防汚性能を示すことができる。今後ビビクルの改良によつてバイオアッセイと浸海試験の成績が一致しうるべきことは予想し得ることである。

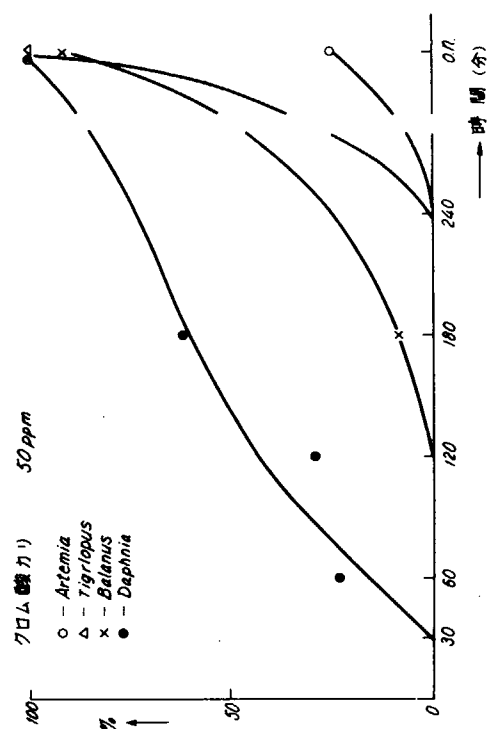


図 2.1.1 (a)

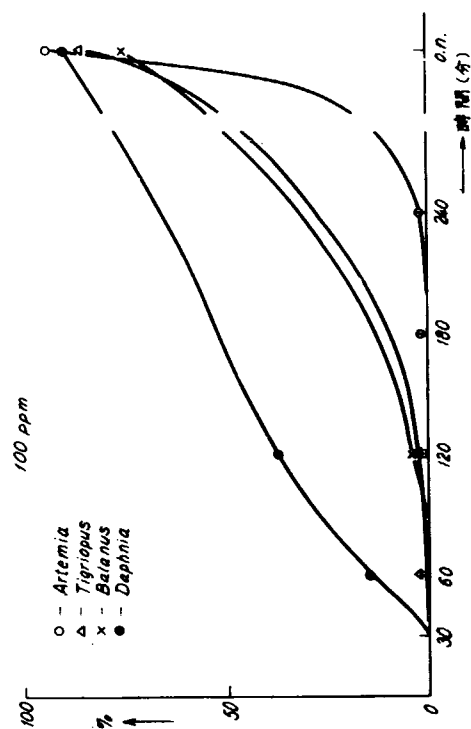


図 2.1.1 (b)

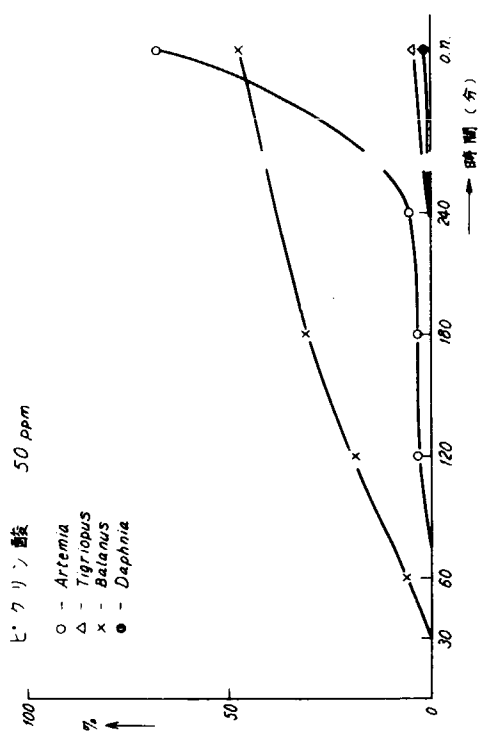


図 2.1.2 (a)

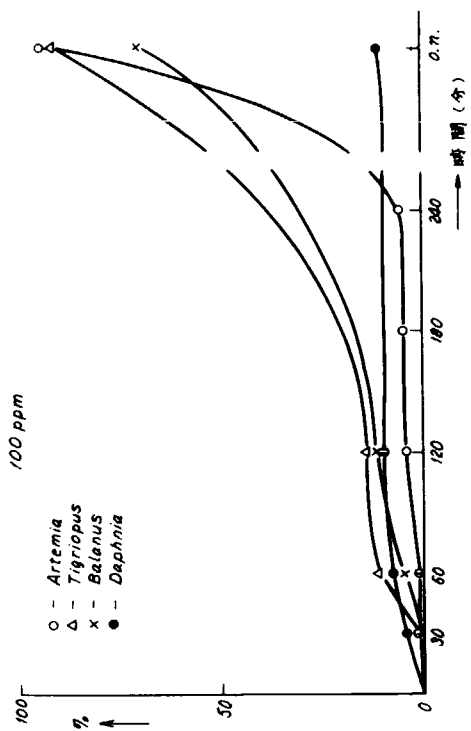


図 2.1.2 (b)

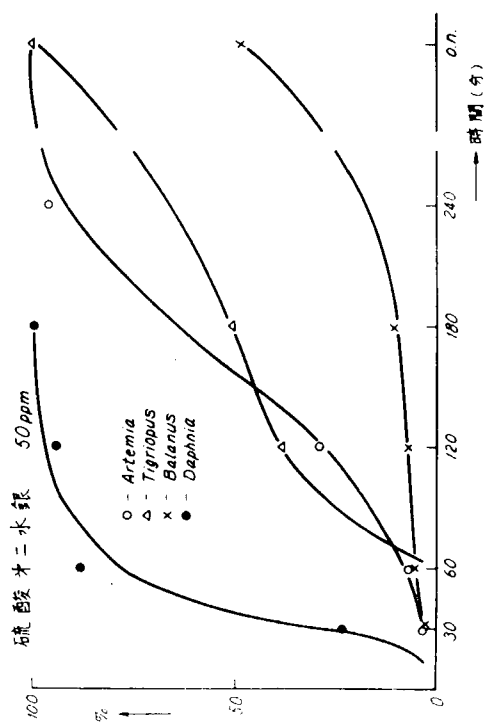


図 2.1.3 (a)

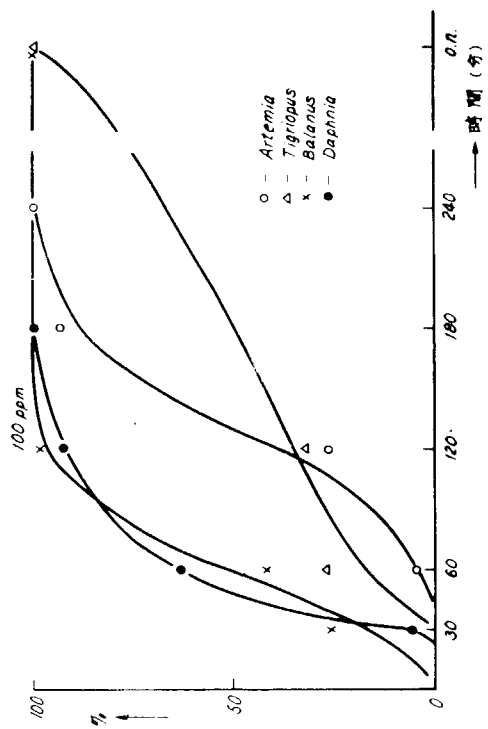


図 2.1.3 (b)

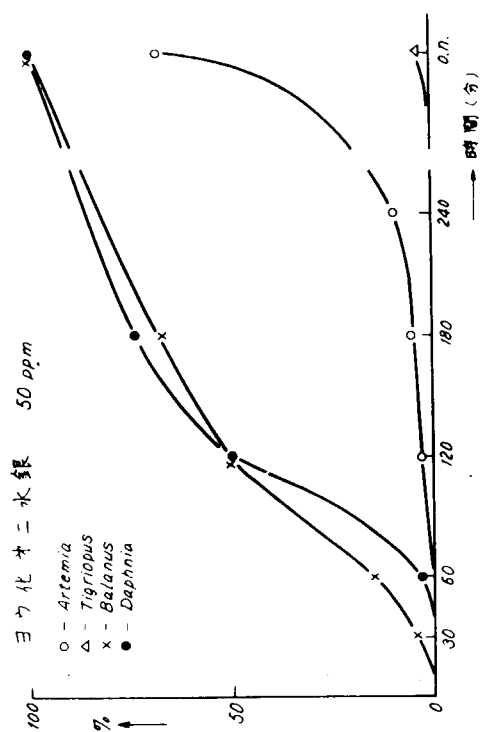


図 2.1.4 (a)

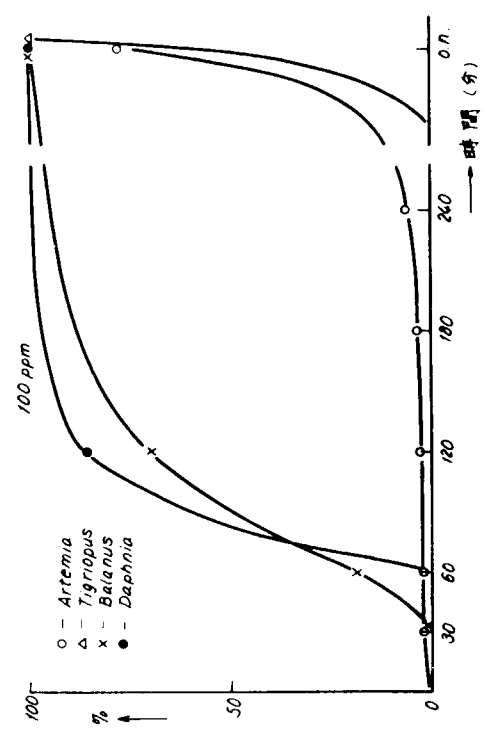


図 2.1.4 (b)

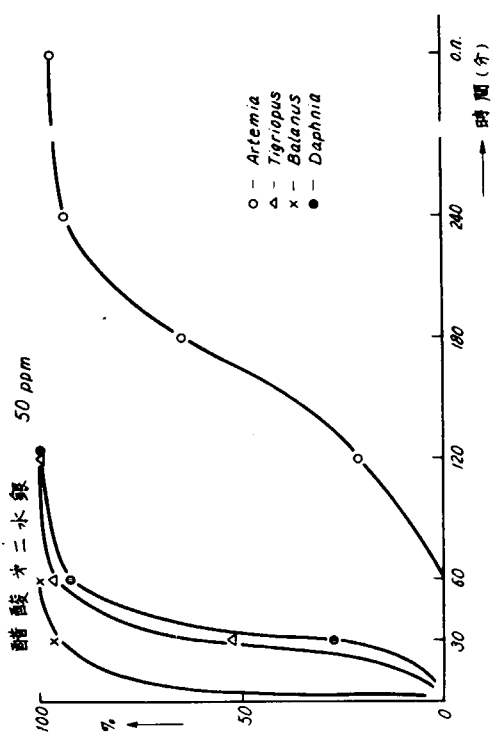


図 2.1.5 (a)

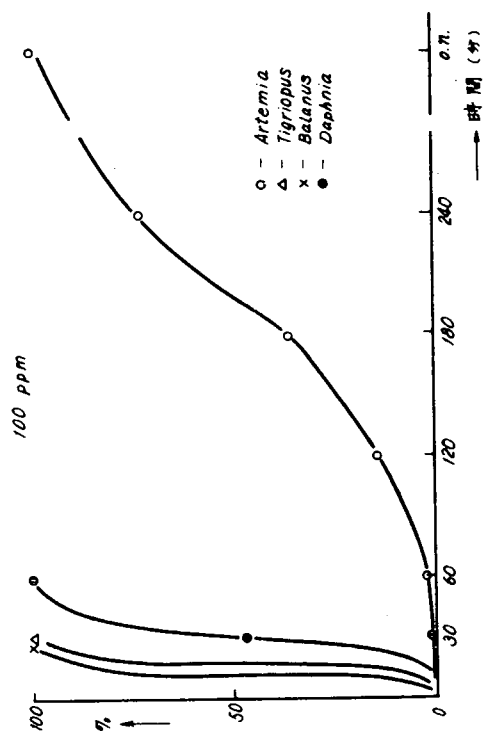


図 2.1.5 (b)

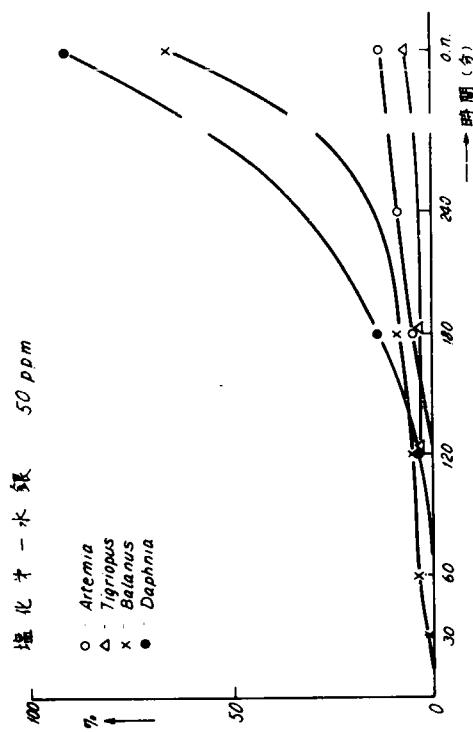


図 2.1.6 (a)

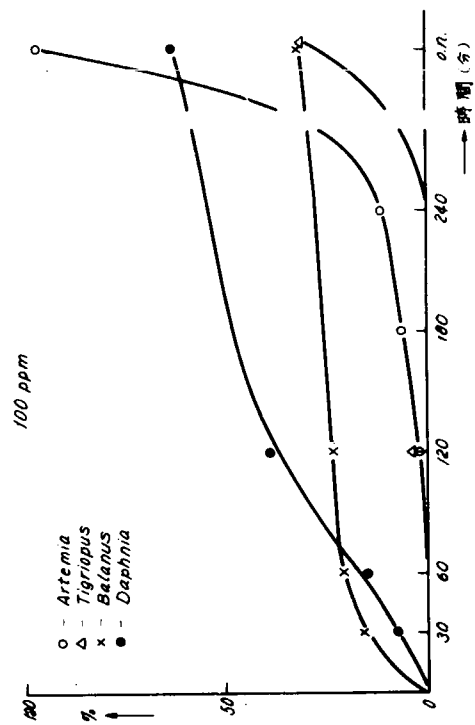


図 2.1.6 (b)

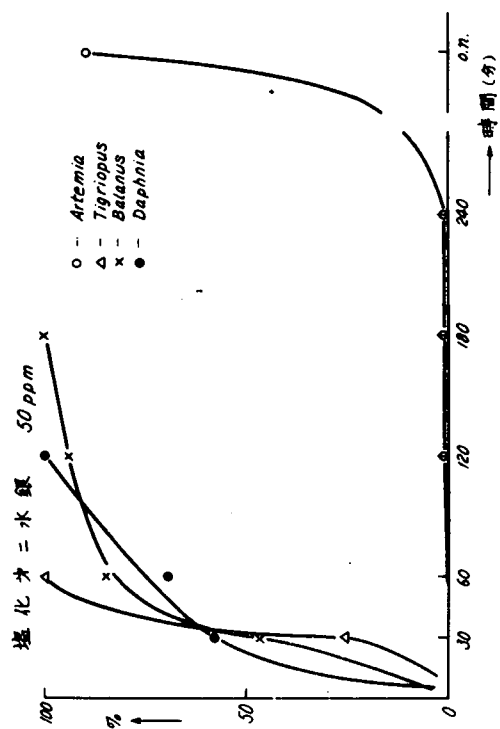


图 2.1.7 (a)

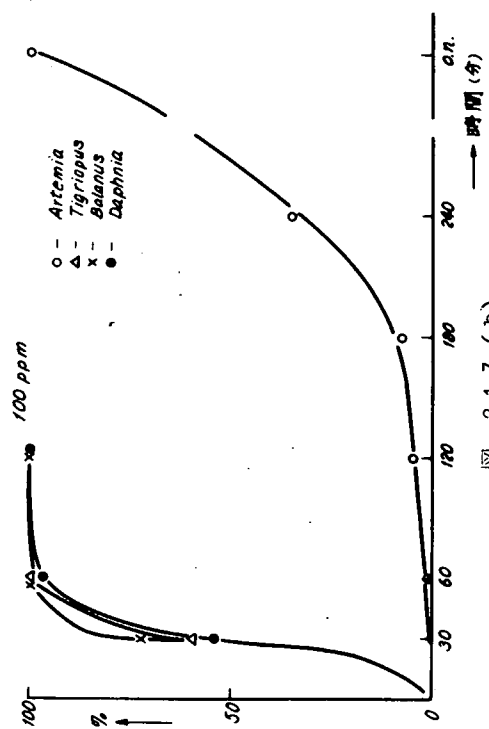


图 2.1.7 (b)

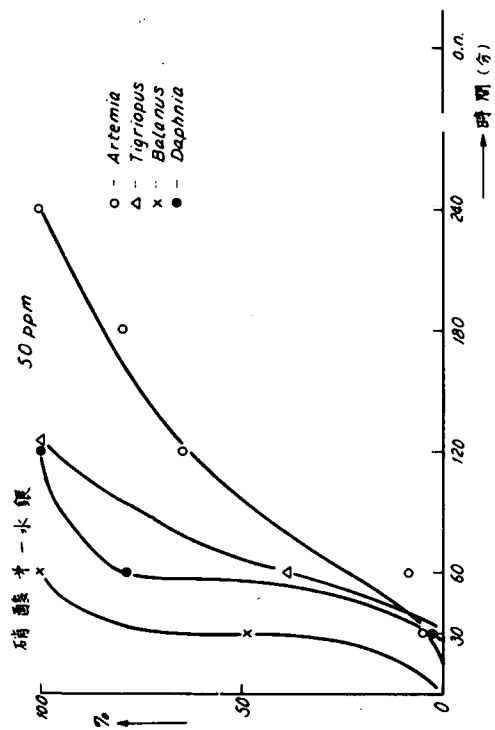


图 2.1.8 (a)

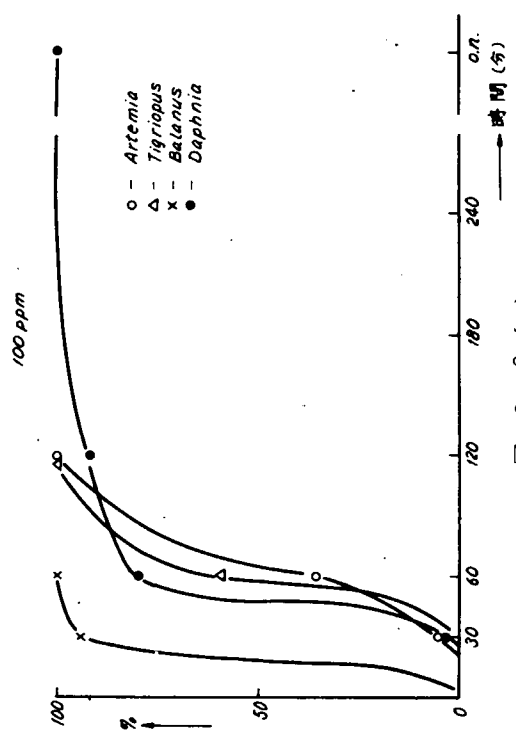


图 2.1.8 (b)

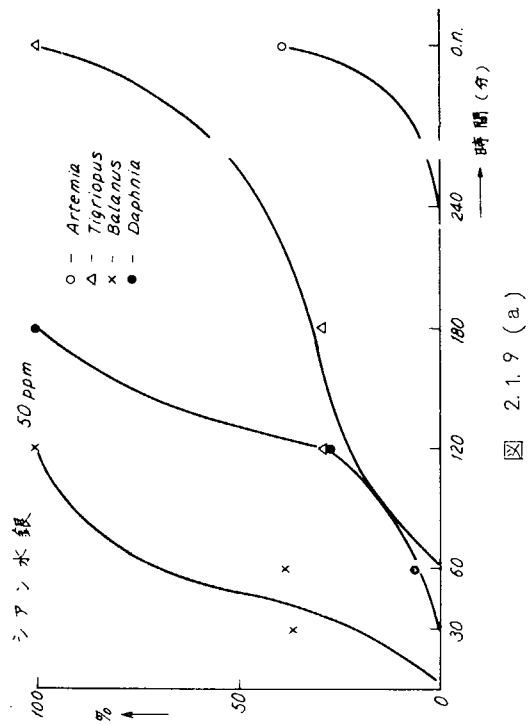


図 2.1.9 (a)

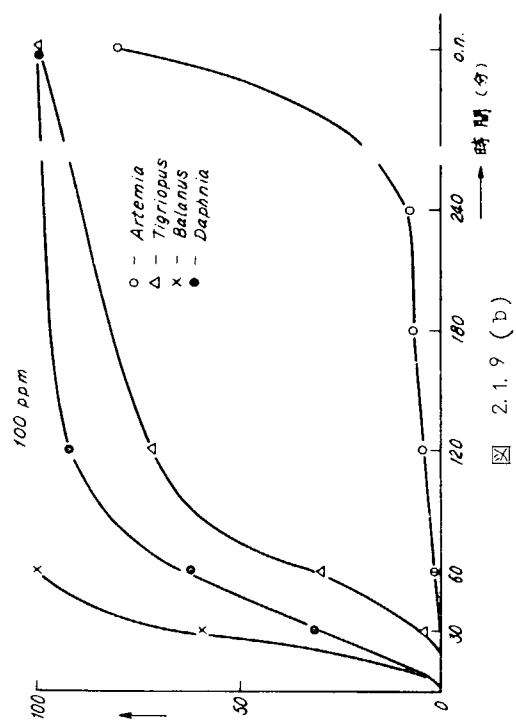


図 2.1.9 (b)

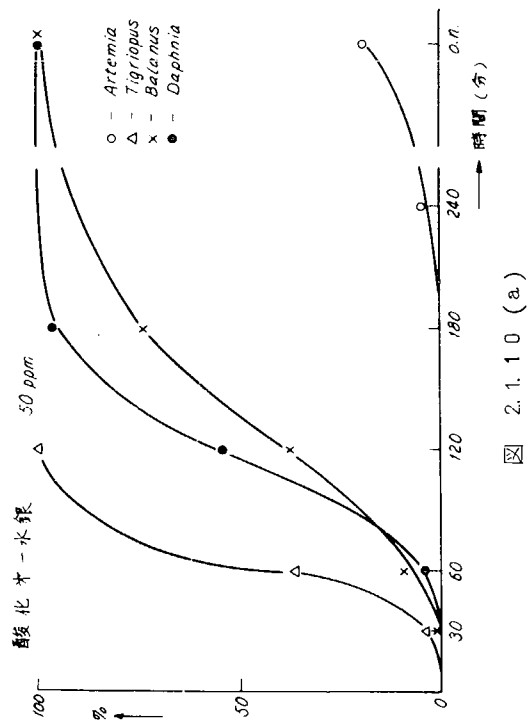


図 2.1.10 (a)

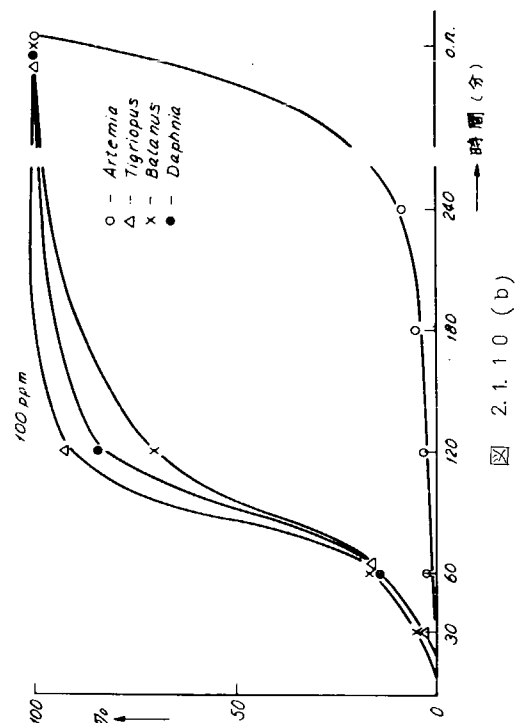


図 2.1.10 (b)

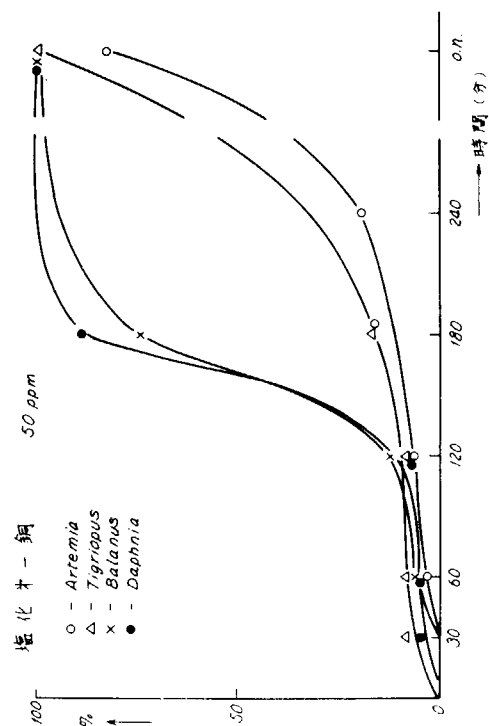


図 2.1.1.1 (a)

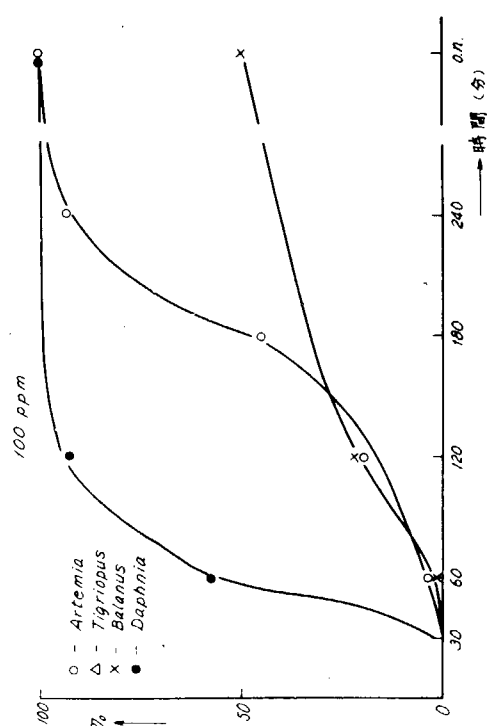


図 2.1.1.1 (b)

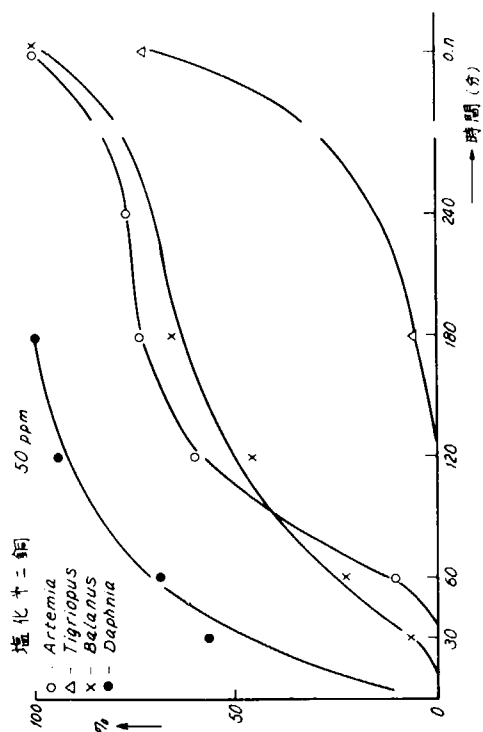


図 2.1.1.2 (a)

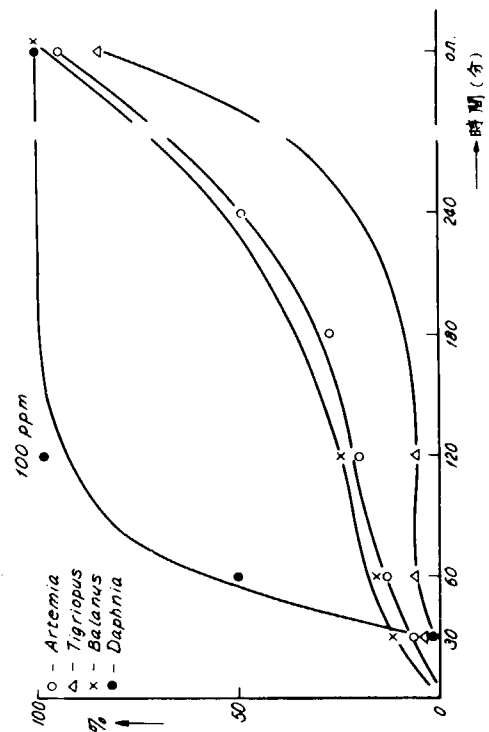


図 2.1.1.2 (b)

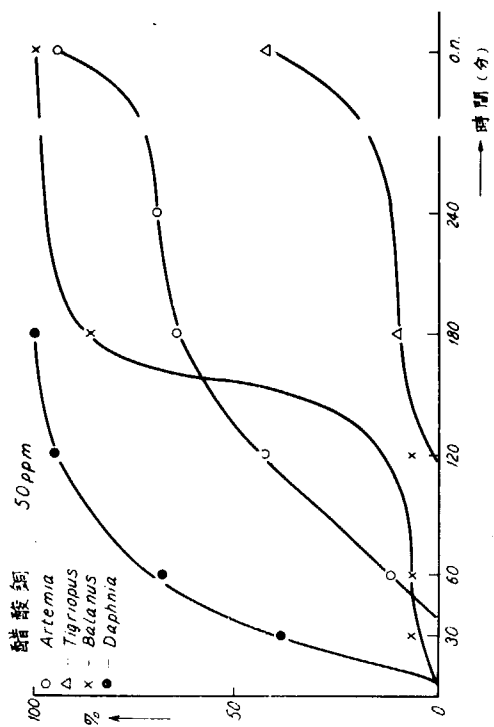


图 2.1.1.3 (a)

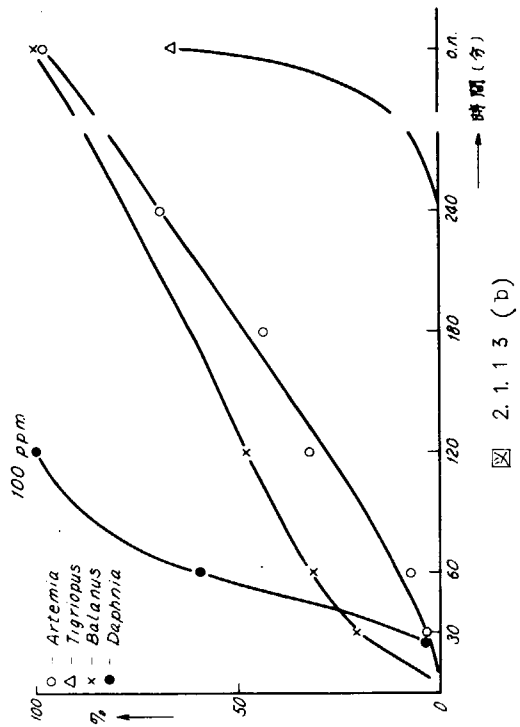


图 2.1.1.3 (b)

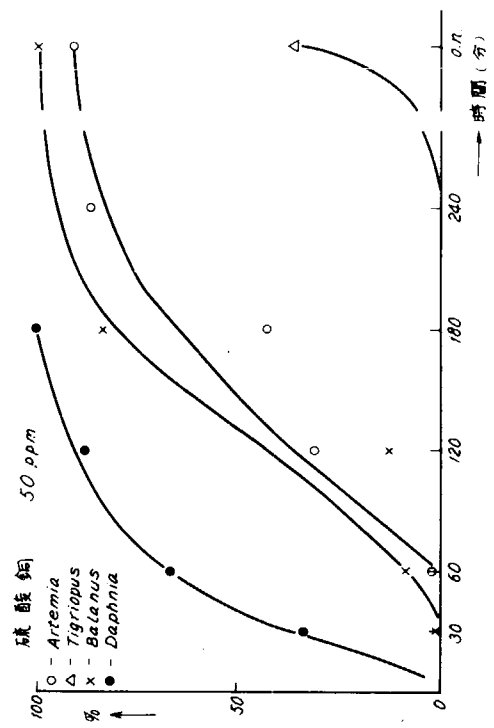


图 2.1.1.4 (a)

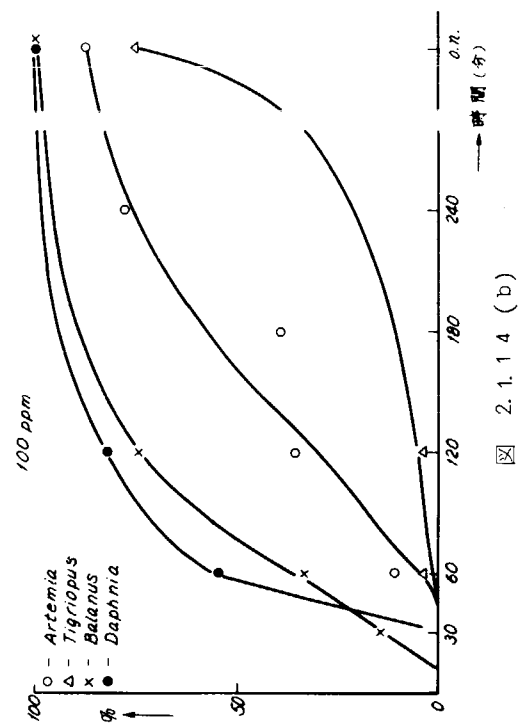


图 2.1.1.4 (b)

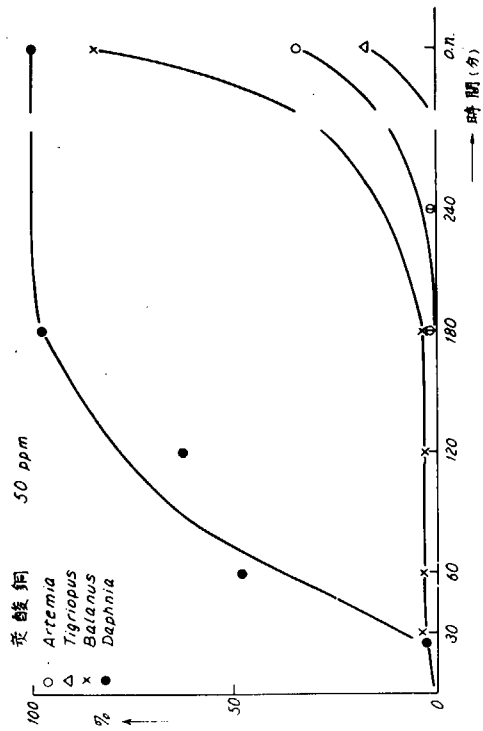


図 2.1.15 (a)

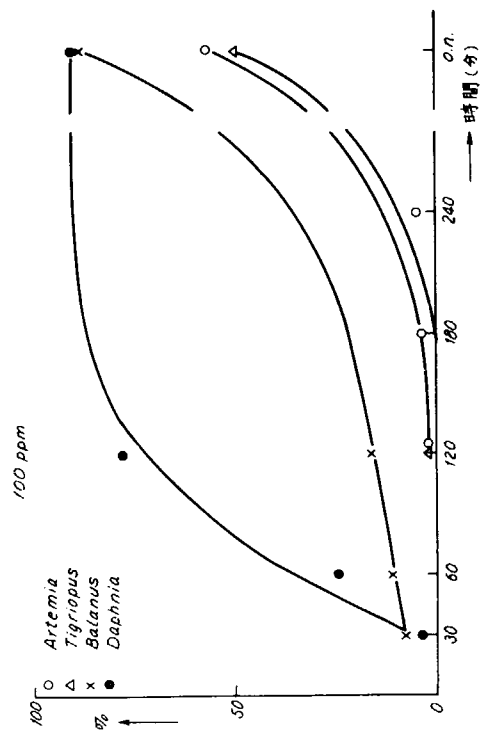


図 2.1.15 (b)

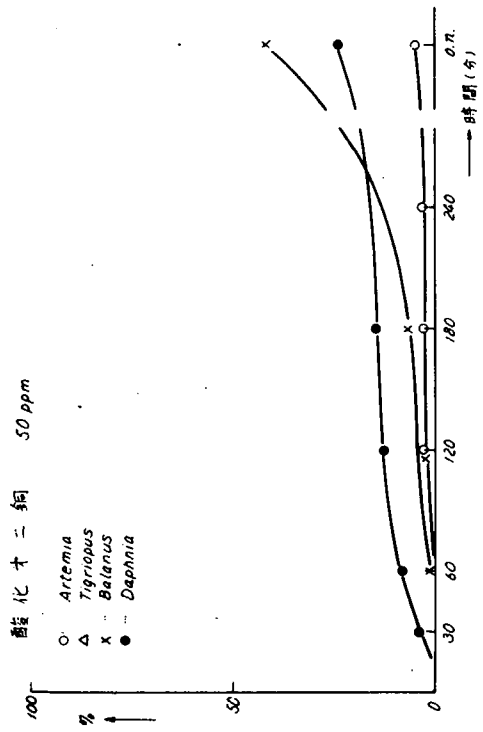


図 2.1.16 (a)

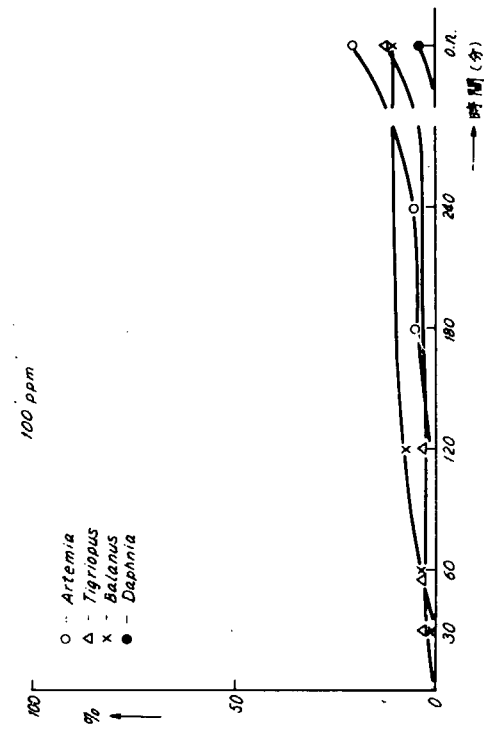


図 2.1.16 (b)

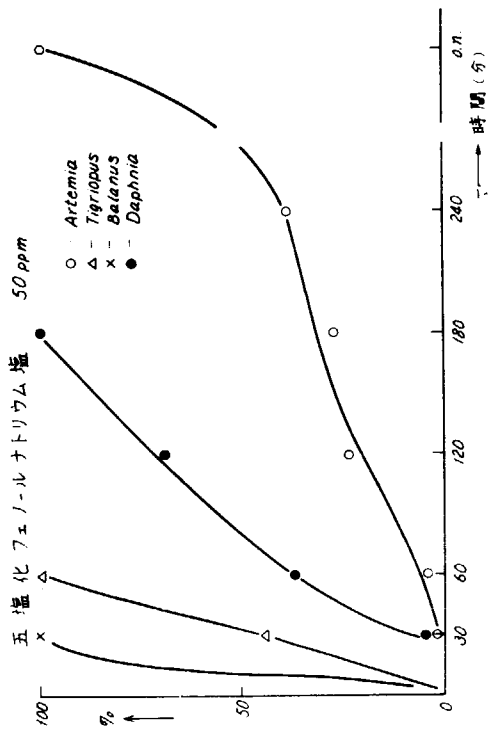


図 2.1.17 (a)

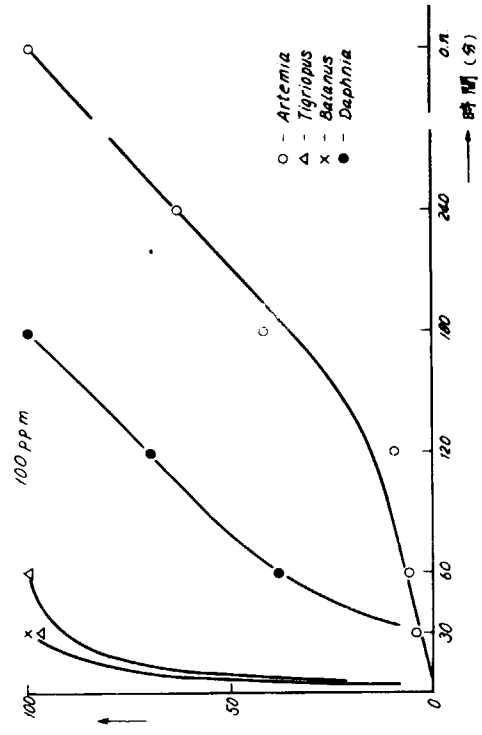


図 2.1.17 (b)

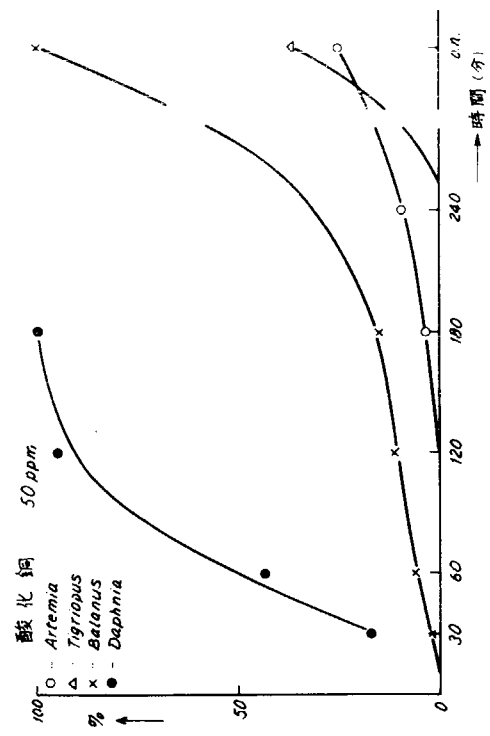


図 2.1.18 (a)

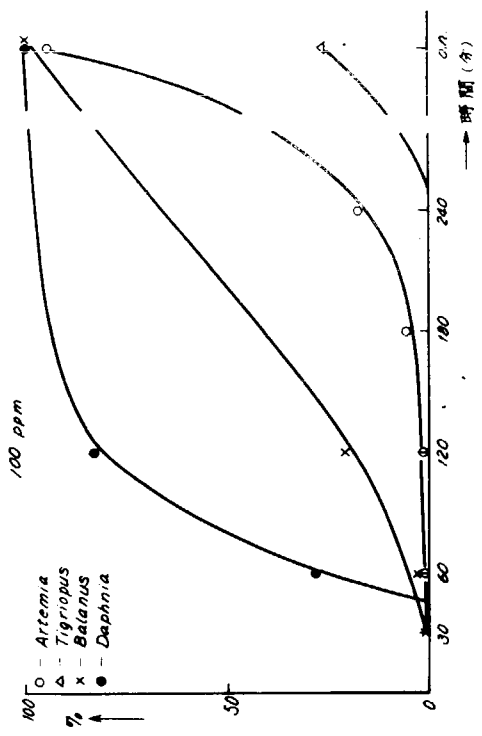
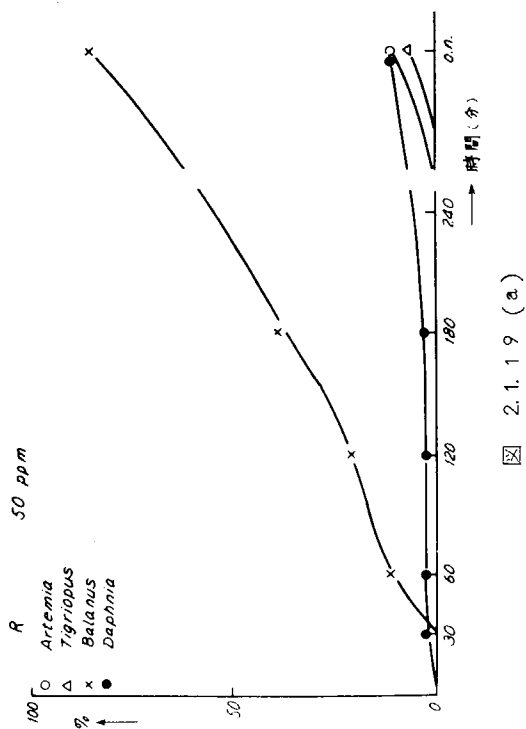
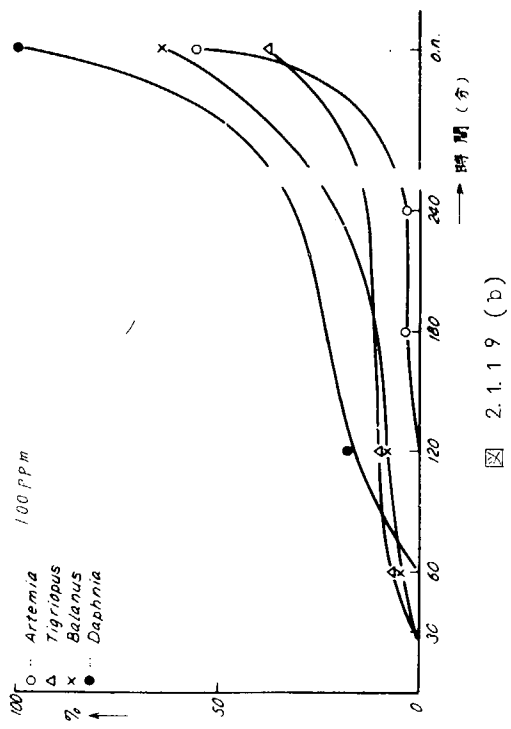


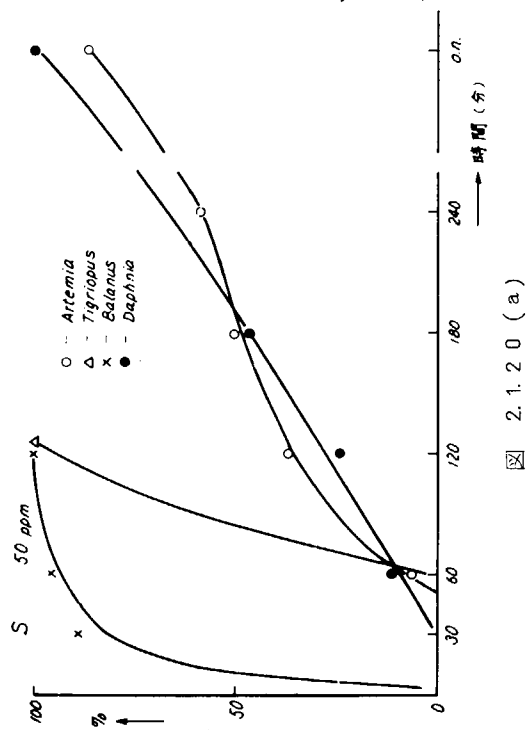
図 2.1.18 (b)



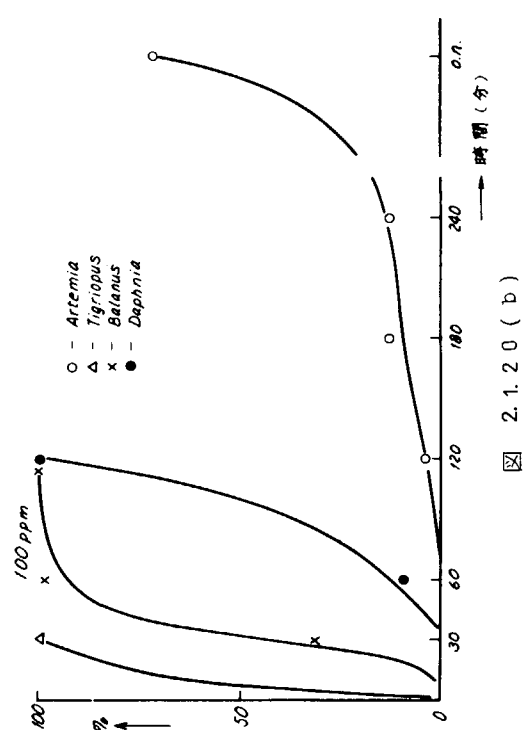
2.1.19 (a)



2.1.19 (b)



2.1.20 (a)



2.1.20 (b)

Artemia による100 PPMの毒物効果

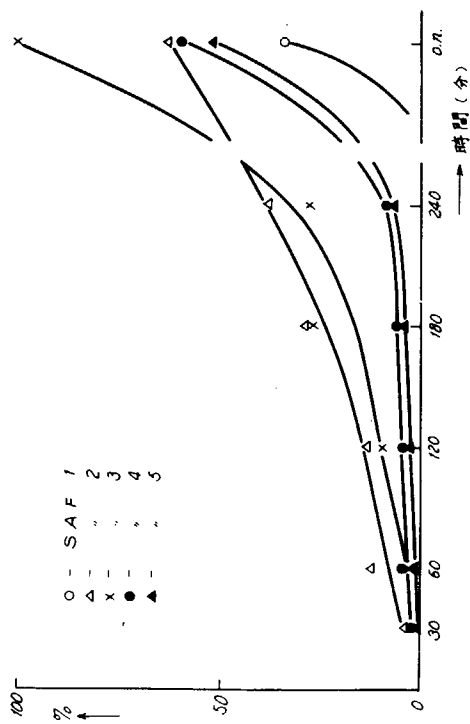


図 2.1.2.1 (a)

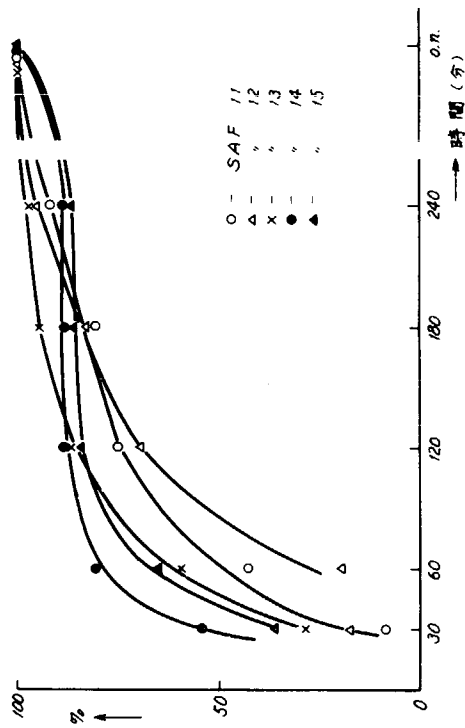


図 2.1.2.1 (c)

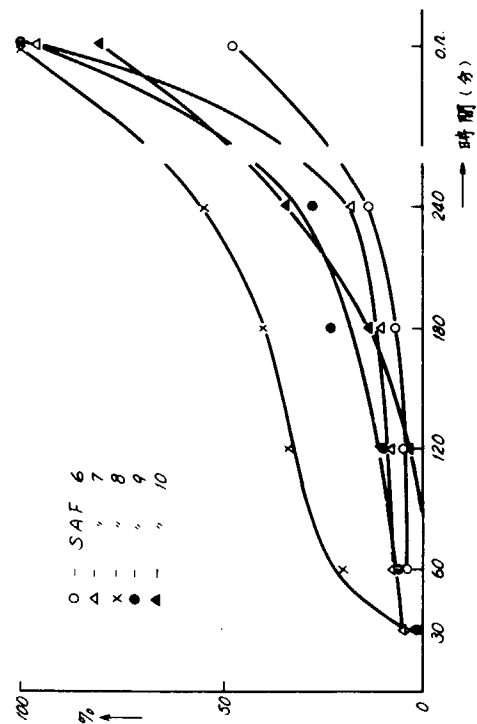


図 2.1.2.1 (b)

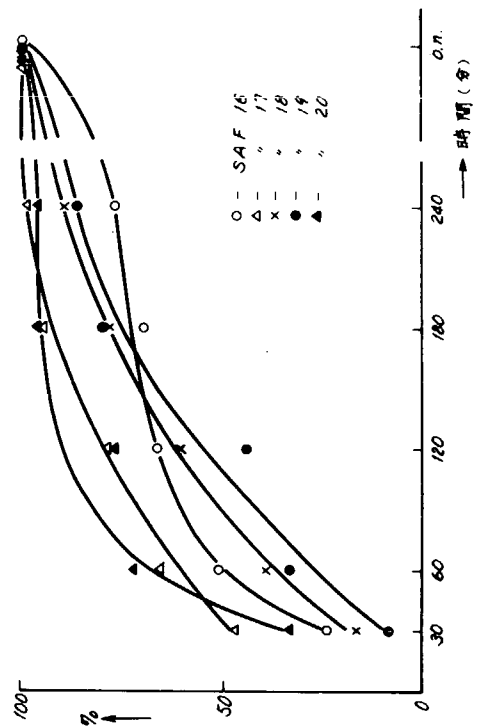


図 2.1.2.1 (d)

Artemia 100 ppm の毒物効果

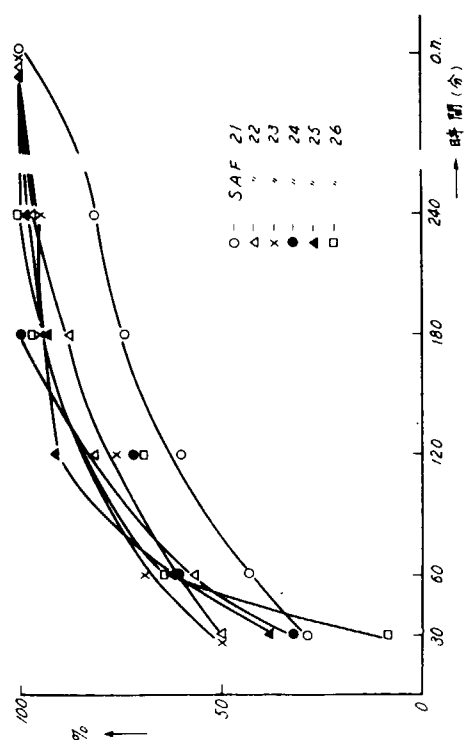


図 2.1.2.1 (e)

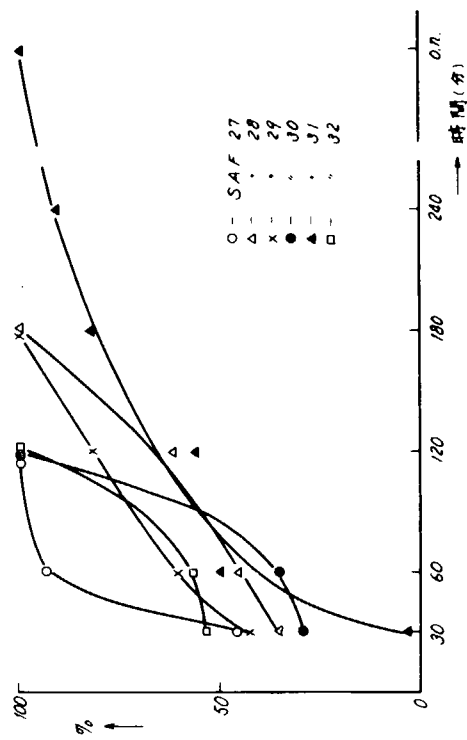


図 2.1.2.1 (f)

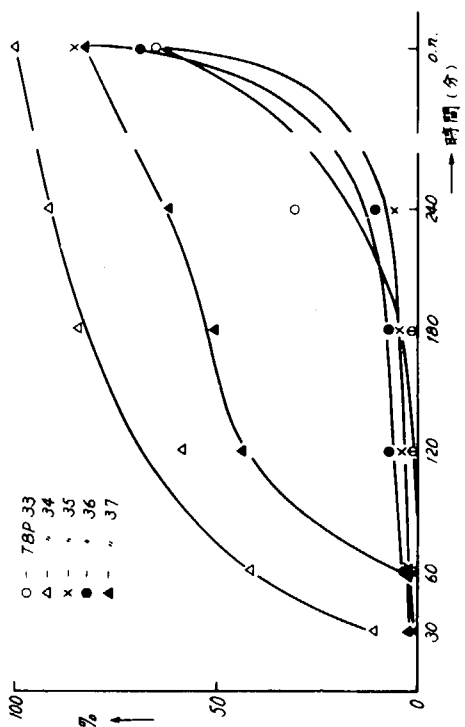


図 2.1.2.2 (a)

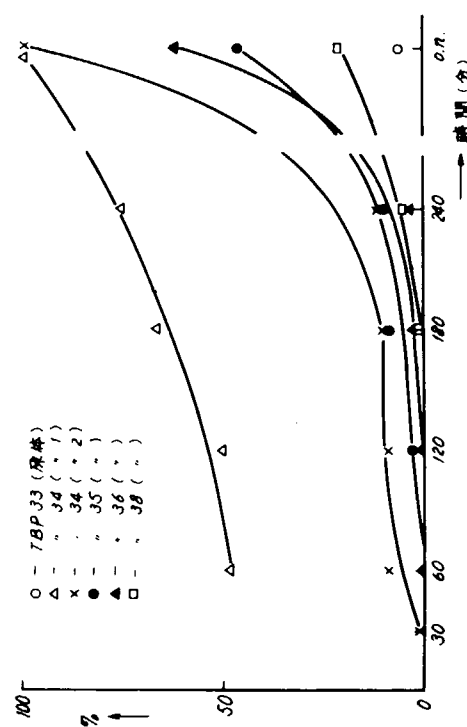
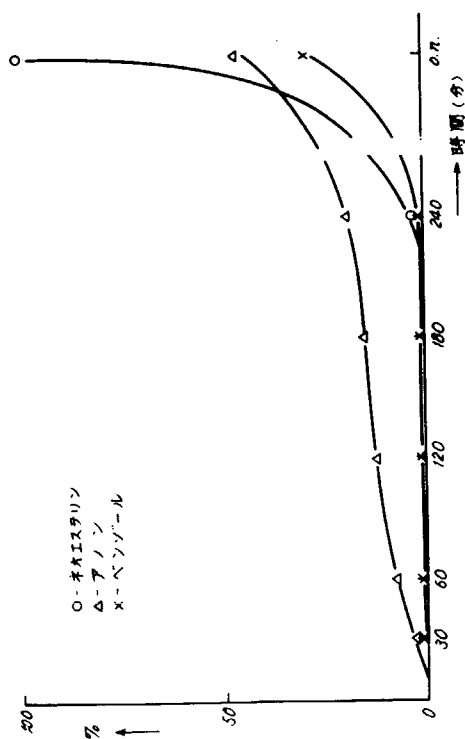
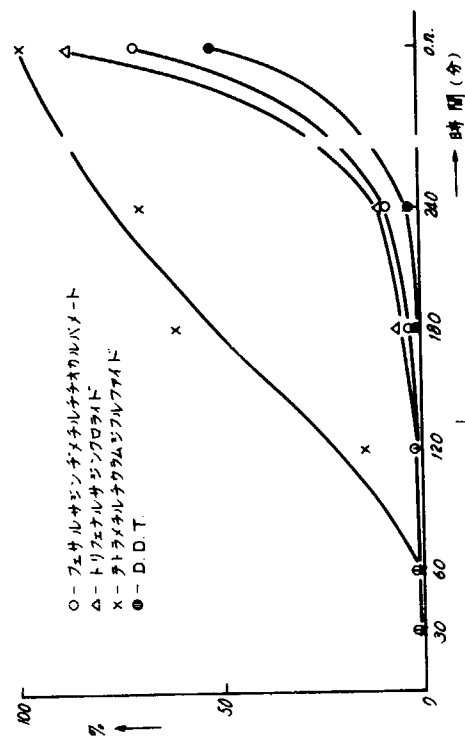


図 2.1.2.2 (b)

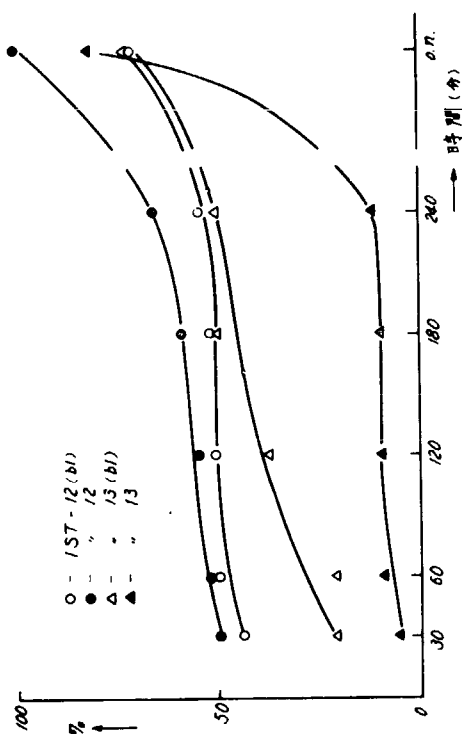
Artemia による100 PPMの毒物効果



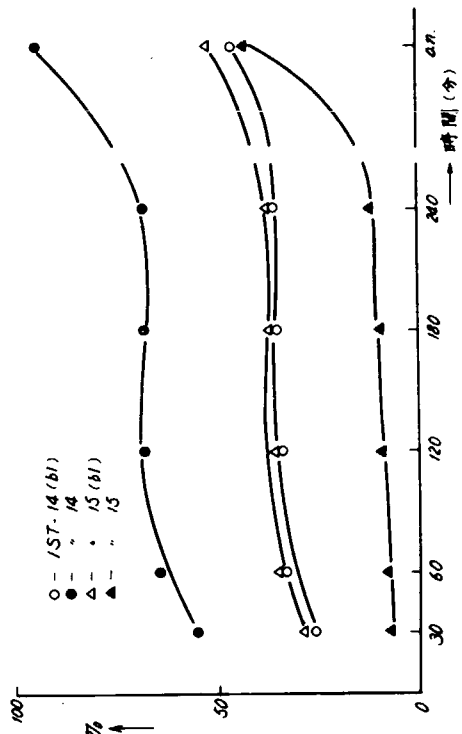
2.1.2.3



2.1.2.4



2.1.2.5 (a)



2.1.2.5 (b)

Artemia 100 ppm の毒物効果

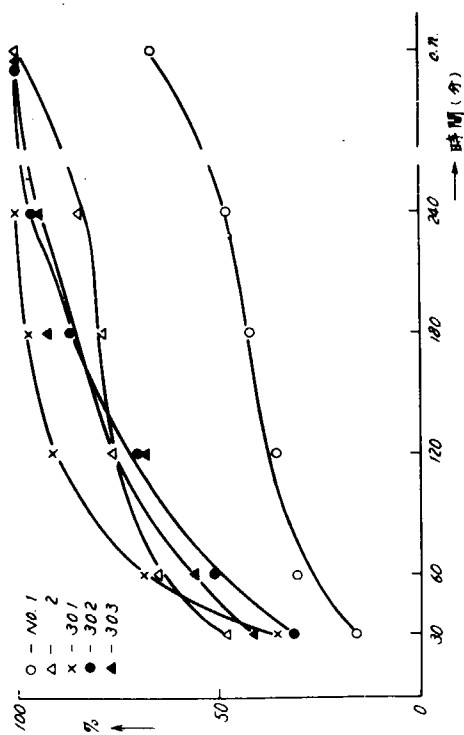


図 2.1.2.6 (a)

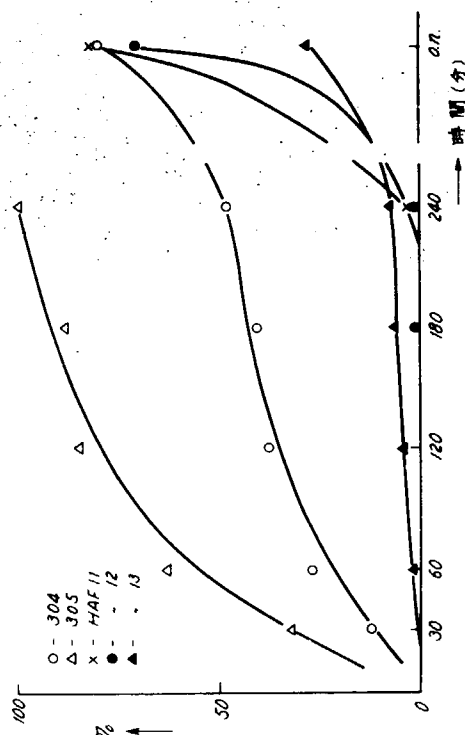


図 2.1.2.6 (b)

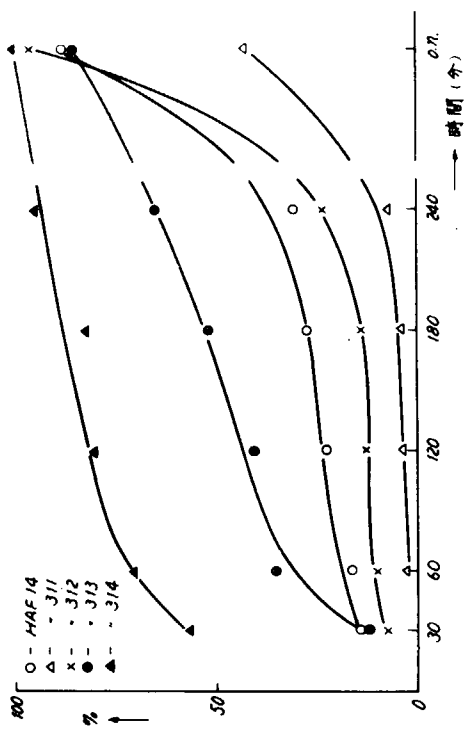


図 2.1.2.6 (c)

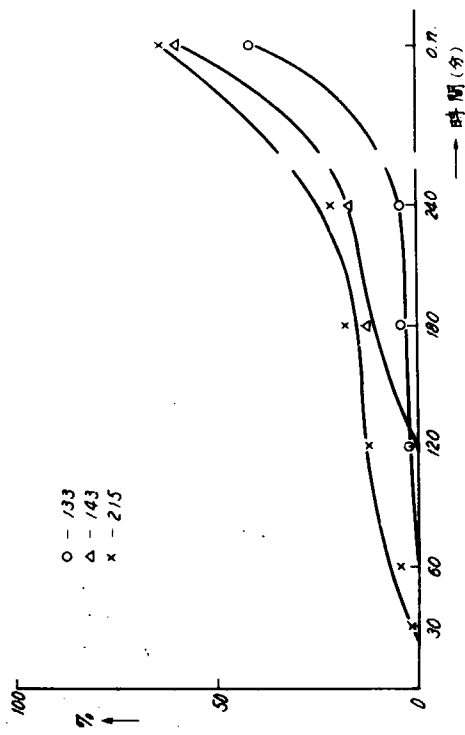


図 2.1.2.7

2.2 防汚塗料の溶出性能に関する研究

2.2.1 航走条件下でのCu 溶出速度

(a) 回転円筒によるCu 溶出の促進法

航走条件下での2号塗膜からのCuの溶出状態を推測するために、図2.2.1に示すような回転円筒を利用したCu溶出促進装置を用いて実験を試みた。

回転円筒の形状は図2.2.2に示すとおりで、その寸法は $h=50\text{ mm}$ 、 $d=30$ 、 50 、 70 、 100 、 150 、 200 mm 、モータの回転数は $250\sim 1700\text{ rpm}$ である。2号塗料は円筒の外側に塗装し、海水中で回転させて各種航走速度に相当する周速を付与した。

その範囲は d とモータの回転数から計算すると $2\sim 20\text{ ノット}$ である。

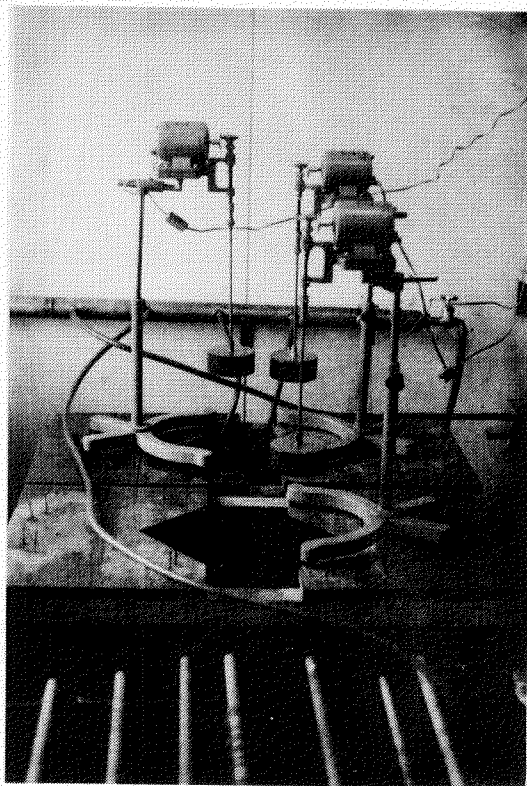


図2.2.1 回転円筒によるCu 溶出促進装置

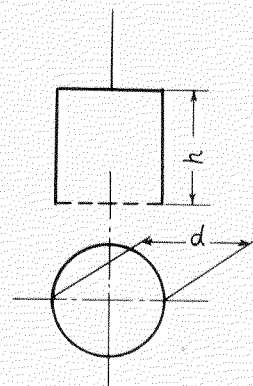


図2.2.2 回転円筒の形状

(b) Cuの溶出速度の測定法

2号塗料を塗装した円筒は 60 l/min で常にオーバ・フローしている海水水槽²⁾中で継続して周速を付与し、Cu溶出速度測定の際には高さ 50 cm 、直径 $30\text{ cm}\phi$ の円筒容器(プラスチック製)中に移し、海水 15 l を入れて、その中で所定の周速を付与し($15\sim 30\text{ 分}$)、海水中に溶出したCuの濃度をJIS-K-0101にもとずき分析した。Cuの溶出速度は次式により計算を行なった。

$$\begin{aligned} L, R &= \text{分析値 (j/c)} \times \text{使用海水量 (cm)} \times 2.4 / \text{塗膜面積 (cm)} \times \text{測定時間 (hr)} \\ &= \mu\text{g/cm/day} = r / \text{cm/day} \end{aligned}$$

オーバ・フロー海水水槽での継続した周速付与時間は実験の目的によって多少差があるが、通常1週間とし、次

の1週は静止の状態で浸漬し（航走後の停泊を相定）、このサイクルを繰返す方法を採用した。なお、周速付与後静止の状態で保持した期間のCu溶出速度の測定条件は表2.2.1のとおりである。

表 2. 2. 1

項 目	条 件
海 水 温 度	25 ± 0.2℃
海 水 PH	8.0
空 気 攪 拌	500cc/min
サンプリング時間	2時間（原則）
使用海水量	2ℓ
A/F露出面積/海水量	1/10

(c) 2号塗膜中に残存するCu₂O量の測定

(i) 実船船底塗膜に残存するCu₂O量

SR-75研究部会で実施したデンマーク丸、昭星丸の実船試験³⁾の継続実験として、就航2年後の2号塗膜100cm²を船底部からサンプリングし、2号塗膜中の残存Cu₂O量を化学分析により定量した。その結果を表2.2.2に示す。この表をもとにして、各船が10航海/年し、1航海の航走期間を30日、停泊期間を7日とし、各船の船底部には2年間の就航期間中の海洋生物が付着しなかつたことから、停泊時のCu溶出速度は一律に10μg/cm²/dayと仮定して、航走および停泊時の2号塗膜中のCu₂O重量減およびCu溶出速度（Leaching Rate）を推定すると表2.2.3のようになる。この表から航走時に溶出する2号塗膜中のCu₂O量は停泊時の10～20倍、これを溶出速度で比較すると、航走時は停泊時の約3倍になっていると推定される。

表2.2.2 2号塗膜中のCu₂Oの重量減実船試験結果

塗 料 名	塗 付 重 量		塗装回数	総塗付量 mg/cm ²	Cu ₂ O重量 mg/cm ²		Cu ₂ O 減量 mg/cm ² /2years
	g/cm ²	mg/cm ²			塗装直後	就航2年後	
ビ ニ ル (A)	18.2	18.2	3	54.6	30.0	2.4	27.6
ビ ニ ル (B)	17.2	17.2	3	51.6	26.3	4.6	21.7
ビ ニ ル (C)	17.8	17.8	3	51.9	30.0	2.4	27.6
ビ ニ ル (D)	18.2	18.2	3	54.6	28.9	1.9	27.0
特殊れき肯 (E)	17.4	17.4	3	52.2	24.4	1.1	23.3
特殊油性 (F)	17.0	17.0	3	51.0	21.4	1.2	20.2
エポキシタール (G)	24.8	24.8	2	49.6	24.8	4.0	20.8
油性標準	18.0	18.0	2	36.0	9.6	1.7*	7.9*

(* 就航1年後)

表 2. 2. 3 停泊および航走時の Cu_2O 重量減、Leachig Rate の推測

塗 料 名	Cu_2O 減量 $\text{mg}/\text{cm}^2/2\text{ years}$		Cu の L.R. $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$		備 考
	停 泊 状 態	航 走 状 態	停 泊 状 態	航 走 状 態	
ビ ニ ル (A)	1.5	26.1	10	38.7	
ビ ニ ル (B)	1.5	20.2	10	31.4	
ビ ニ ル (C)	1.5	26.1	10	38.7	
ビ ニ ル (D)	1.5	25.5	10	37.8	
特殊れき膏(B)	1.5	21.8	10	32.3	
特殊油性(D)	1.5	18.7	10	27.7	
エポキシタール (E)	1.5	19.3	10	28.6	
油性標準	0.8	7.1	10	21.1	

(ii) 各種条件での 2 号塗膜残存 Cu_2O 量の比較

実船船底部、回転円筒試験板（周速 20 ノット）およびフロート（川崎重工・神戸工場東浜）から浸漬した試験板の試験終了後の残存 Cu_2O 量 $[\text{mg}/\text{cm}^2]$ を表 2. 2. 5 に示す。これらの実験に使用した船底塗装系は、いずれも同一製品であり、塗装回数・塗付量・塗装膜厚も同じにしてある。このなかから特殊れき膏 1 号、同 2 号塗装系、ビニル 1 号、同 2 号塗装系、油性標準 1 号、同 2 号塗装系について、その経時変化を図 2. 2. 3(a) および (b) に示す。この図から、24 ヶ月後の残存 Cu_2O 量は実船の場合当初の約 $1/10$ 、フロートでの浸漬試験では当初の約 $1/2$ になり、回転円筒試験 24 週間後の残存 Cu_2O 量は、実船試験 24 ヶ月後の結果とほぼ一致した。なお、供試塗料および塗装回数は表 2. 2. 4 のとおりである。

表 2. 2. 4 供試塗料および塗装回数

A / C (1 号 塗 料)		A / F (2 号 塗 料)	
塗 料 の 系 統	塗 装 回 数	塗 料 の 系 統	塗 装 回 数
(1) 油 性 標 準	3	油 性 標 準	同 左 各
(2) 特 殊 油 性	3	特 殊 油 性	〃
(3) 特 殊 れ き 膏	3	特 殊 れ き 膏	1
(4) ビ ニ ル (A)	4	ビ ニ ル (A)	2
(5) ビ ニ ル (D)	4	ビ ニ ル (D)	3
(6) エ ポ キ シ	3	ビ ニ ル (C)	
(7) エポキシタール (E)	3	ビ ニ ル (B)	
(8) エポキシタール (E)	3	エポキシタール	

表 2. 2. 5 2 号塗膜中に残存する Cu₂O 量

船底塗装系	実 験 期 間 (実船およびフロート実験：月数 回転円筒：週数)	2号塗膜中に残存する Cu ₂ O 重量〔mg/cm ² 〕		
		実 船 船 底 部	回 転 円 筒 試 験 板	フ ロ ー ト 浸 漬 試 験 板
ビ ニ ル 1 号	0	3 0	3 0	3 0
	4	—	2 2	—
ビ ニ ル 2 号	1 6	—	1 0	—
	2 4	3	2	1 4
特殊れき青 1 号	0	2 4	2 4	2 4
	4	—	1 8	—
特殊れき青 2 号	1 6	—	1 0	—
	2 4	1	5	1 2
油性標準 1 号	0	1 0	1 0	—
	8	—	5	—
油性標準 2 号	1 2	2	—	—
ビ ニ ル 1 号	0	2 9	—	2 9
ビ ニ ル 2 号	2 4	2	—	1 3
エポキシ 1 号	0	3 0	—	3 0
ビ ニ ル 2 号	2 4	2	—	2 2
エポキシ・タール 1 号	0	2 6	2 6	2 6
ビ ニ ル 2 号	2 4	5	2	1 3
エポキシ・タール 1 号	0	2 5	2 5	2 5
エポキシ・タール 2 号	2 4	4	0	2 0
特殊油性 1 号	0	2 1	2 1	2 1
特殊油性 2 号	2 4	1	5	1 1

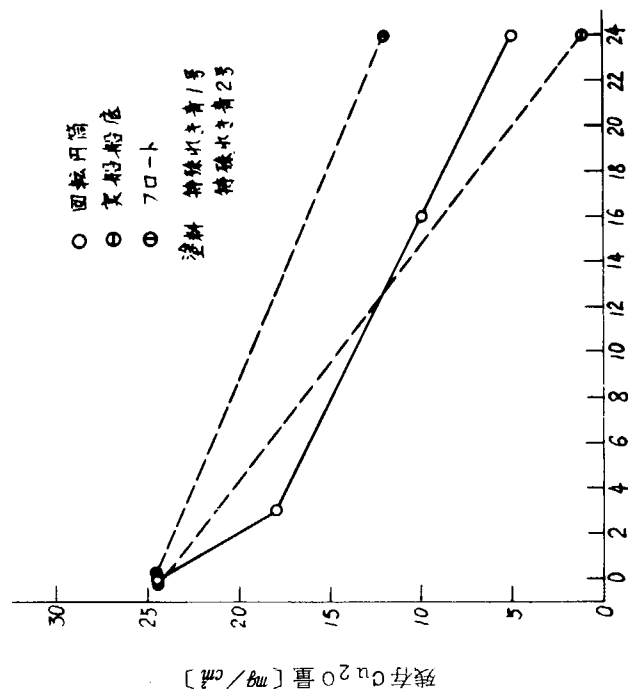


図2.2.3 (a) 各種条件での2号塗膜中の残存Cu₂₀量の経時変化

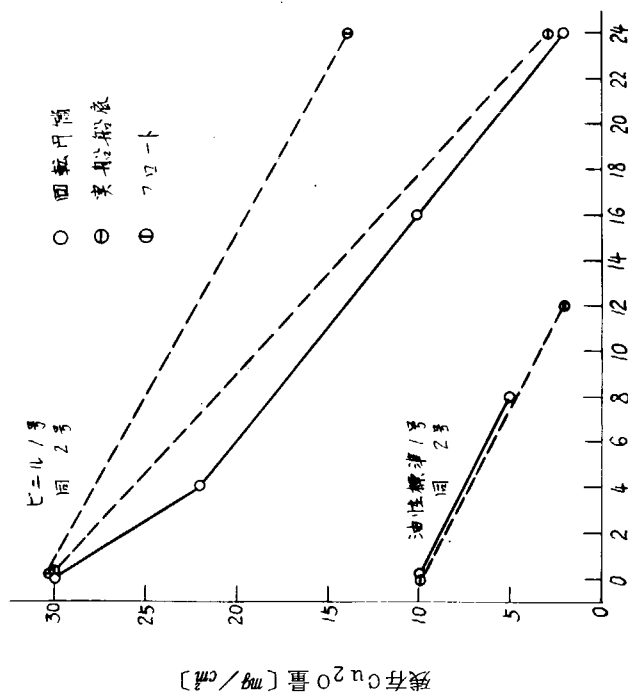


図2.2.3 (b) 各種条件での2号塗膜中の残存Cu₂₀量の経時変化

(d) 周速をかえた場合の Cu 溶出速度

Cu 溶出速度と付与した周速の関係を表 2.2.6 に示す。

表 2.2.6 付与した周速に対する Cu 溶出速度

付与した 周 速 (ノット)	$Re(\pi \cdot N \cdot D \cdot C / 2r)$	Cu 溶出速度 [$\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$]			
		第 1 週	第 2 週	第 3 週	第 4 週
2	9×10^4	361	109	61	48
5	2×10^5	538	108	64	43
7	3×10^5	401	98	65	45
20	1.2×10^6	381	98	61	43
		428	101	65	45
		452	100	70	46

この関係を図 2.2.4 に示す。実験に用いた塗料はビニル 2 号塗料で、塗装回数 3 回である。この図から、回転円筒方式では付与する周速が 2～20 ノットの場合、Cu の溶出速度は付与時間が同じであれば周速の影響を受けないことが判明した。Re の計算には表 2.2.6 の式 3) を用いたが、この式で N は回転数 r.p.s、D は円筒直径、C はクリアランス (1/2 c)、r は動粘性係数である。2 号塗膜が海水と接触する界面の流れの状況を、Re 数によつてのみ比較するならば、本実験の場合いずれも乱流域であり (実船の場合 $Re \approx 10^9$)、その意味では実船の場合も 2 号塗膜がはがれないかぎり Cu 溶出速度は航行速度の影響を受けないように思われる。

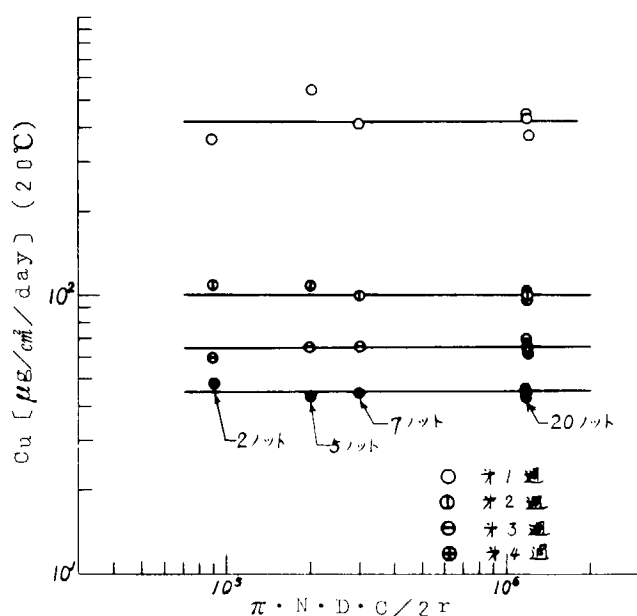


図 2.2.4 レイノズル数とリーチングレートの関係 (塗料：ビニル 2 号)

(e) 周速付与中および付与後の Cu 溶出速度

周速付与中および付与後の Cu 溶出速度を表 2.2.7 および表 2.2.8 に示す。

周速は 20 ノットであるが、付与方法はビニル 2 号(A)、特殊れき青 2 号の場合、付与期間 1 週間、休止期間（静止の状態に浸漬）1 週間のサイクルであるが、ビニル 2 号(D)、特殊油性 2 号、エポキシ・タール 2 号、油性標準 2 号の場合、付与期間 1 週間、休止期間 1 週間である。その状態をグラフにしたのが図 2.2.5 である。この図から、Cu の溶出速度は、周速付与中が多く、付与後は少ないといえる。表 2.2.3 から、実船の場合航走状態では、Cu の溶出速度は停泊時の約 3 倍強と推定されるが、本実験の結果では、ばらつきが多いので周速付与時／付与後の正確な比率は求めることができない。

連続して周速を付与する場合は、Cu 溶出速度は次第に減少する傾向が認められる。

また、休止期間中の Cu 溶出速度は、付与と休止のサイクルが 1 週間／1 週間の場合、時間の経過と共に減少の傾向が認められるが、16 週連続周速付与後の休止期間中は、時間の経過と共に増加の傾向が認められた。

(f) む す び

(i) 海水中に溶出する 2 号塗膜中の Cu₂O 消費量は、試験方法によつて差があり、24 ヶ月後の残存 Cu₂O 量は実船の場合、当初の約 1/10、フロートでの浸漬試験では当初の約 1/2 である。

(ii) 回転円筒による周速付与実験では、付与時間が 24 週間で実船 24 ヶ月での残存 Cu₂O 量とほぼ一致した。したがって、本実験の Cu 溶出の促進率は実船の約 4 倍と推定される。

表 2.2.7 周速（20 ノット）付与中の Cu 溶出速度 [$\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$]

周速の付与を開始した週 [Week]	周速付与後の時間 [hr]	ビニル 2 号 (A)			特殊れき青 2 号			ビニル 2 号 (D)	特殊油性 2 号	エポキシ・タール 2 号	油性標準 2 号
		1Coat	2Coat	3Coat	1Coat	2Coat	3Coat				
1	1	1229	1530	1224	832	560	764	1195	89	133	486
	24	993	1224	651	624	460	560				
	168	534	306	420	254	357	357				
3	1	204	153	229	102	51	102		133		177
	24	204	153	204	51	51	102	220	133	167	88
	198	127	51	178	51	41	74				
5	1	228	127	204	77	77	90	220	88	114	134
	24	154	127	128	38	38	38				
	168	77	77	154	21	20	30				
9	1							264	220	88	88
12	1							209	167	44	86
14	1							(56)	(49)	(14)	(14)
16	1							136	60	24	83

表 2.2.8 周速 (20 ノット) 付与後の Cu 溶出速度 [$\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$]

周速の付与を 休止した週 [Week]	休止後の 時 間 [hr]	ビニル 2 号 (A)			特殊れき青 2 号			ビニル 2 号 (D)	特殊油 性 2 号	エポキシ タール 2 号	油性標 準 2 号
		1Coat	2Coat	3Coat	1Coat	2Coat	3Coat				
1	1	127	117	112	31	26	36				
	3	71	71	76	46	31	26				
	8	76	91	51	26	21	31				
	24	87	118	66	26	51	21				
	168	41	41	71	10	10	21				
3	1	36	36	36	5	16	5				
	3	36	36	51	10	16	16				
	8				10	16	16				
	24	36	5	16	5	66	31				
	168	32	25	13	20	20	16				
5	1	31	10	15	12	8	14				
	3	16	10	20							
	8										
	24	13	10	10							
	168	32	25	13	10	18	21				
16	0							19	12	10	11
	24							22	22	11	22
	168							22	22	22	34

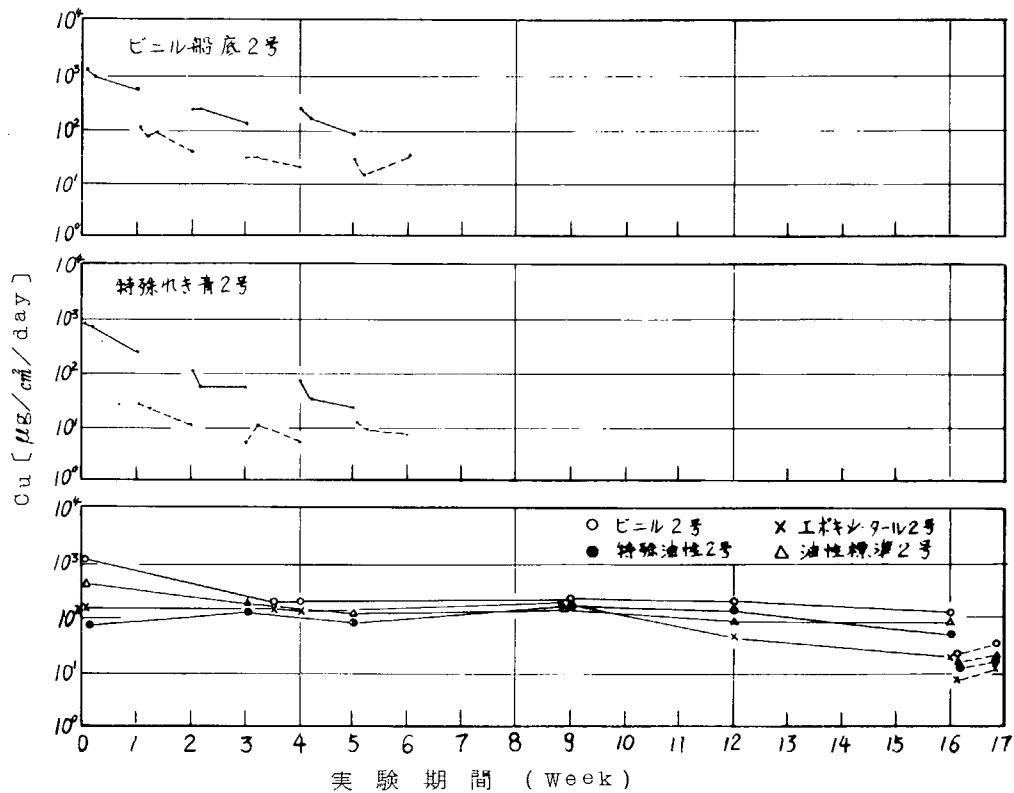


図 2.2.5 周速付与中 (—)、付与後 (-----) の Cu 溶出速度

[参 考 文 献]

- 1) B.H. Kelchum, J.D. Ferry A.C.Redfield Ind. Eng. Chem 37.456 (1945)
- 2) 第96研究部会「防食防汚に関する研究」昭和41年度成果中間報告、造船研究 Vol 9 No.2 (1968)
- 3) 日本造船研究協会報告 No.66 (1968)
- 4) 渡辺四郎、永松宣雄、横尾幸一、川上善郎、関西造船協会 論文梗概(昭和43年度秋期講演会) 28 (1968)

2.3 防汚塗料開発の研究

2.3.1 目的

現在使用されている各種塗料の中で塗料メーカーが推奨する高性能塗料について、また、これと併行して農薬メーカーの協力を得て、農薬を主体とした新しい毒物による防汚塗料を試作し、浸漬試験を行ない、長期防汚性能の高い塗料の開発を目的として、昭和41、42年度に引き続いて試験を実施した。

2.3.2 高性能塗料の浸漬試験

昭和41年度において浸漬を行なった24種類のうち性能良好なものについて継続観察を実施してきた。試験塗料の種類、仕様等については昭和41年度報告（造船研究Vol.9 No.2）を行ない、その後15ヶ月の経過は昭和42年度報告（第96研究部会「防食防汚に関する研究」研究資料No.73）を行なっているので昭和43年度の最終結果を表2.3.1に示す。また、結果の概要は以下に述べる通りである。

28ヶ月の浸漬試験の結果、ほとんど生物の付着もなく良好な防汚効果を保持した試験板は4種類で、さらに比較的良好なもの、すなわち生物付着が10%以下であったものを含めると計12種類となり、供試塗料の約半数が長期浸漬試験において良好な結果を示したこととなり、現用塗料中にも防汚性能の高い塗料を認めることができた。しかし、浸漬試験と実船では種種条件の差異もあり、今後実船試験によりその性能を確認することが望ましい。なお、昭和42年度の結果良好と思われる塗料5種類については昭和43年3月より川崎汽船所属の八州丸に実船塗装し、調査を行なっている。

2.3.3 農薬を主体とした防汚塗料の浸漬試験

昭和41年度において第1、2次、昭和42年度において第3、4次、昭和43年度において第5次とそれぞれ浸漬試験を実施してきたが、第1次試験は昭和42年10月に終了したので昭和43年度は第2～5次試験について継続観察を行なった。試験板の種類、毒物の記号等は表2.3.2に示す。また塗装仕様については昭和42年度報告（第96研究部会「防食防汚に関する研究」研究資料No.73）の通りであり、各試験回次の経過および最終観察結果は以下に述べる通りである。

(a) 第2次試験

(イ) 館山 昭和43年11月観察の結果、全試験板とも全面に生物の付着が見られるに到り、試験を終了した。

その結果約20ヶ月でやや良好と思われるものは次の2種類であった。

T-19、 T-20

(ロ) 宇野 昭和44年1月約21ヶ月の結果、やや良好と思われるものは次の2種類であった。

T-20、 T-21

(b) 第3次試験

(イ) 館山 12～15ヶ月経過でほとんどの試験板は不良となつた。昭和44年2月約18ヶ月の結果やや良好と思われるものは次の5種類であった。

C-1、 C-6、 T-10、 T-12、 T-16

(ロ) 宇野 昭和44年1月約17ヶ月の結果、良好と思われるもの4種類、やや良好と思われるもの2種類であった。

T-18、 T-21、 T-30、 T-33・・・・・・良好

T-16、 T-32・・・・・・やや良好

(注) 第3次試験の結果は上記の通りで、海域、塗料メーカーそれぞれにより差異が認められた。

(c) 第4次試験

(イ) 館 山 昭和44年2月約13ヶ月の結果良好と思われるもの1種類、やや良好と思われるもの8種類であつた。

T-26 良好
T-8、T-9、T-25、T-29、T-32 } やや良好
D-10、D-22、D-33

(ロ) 宇 野 昭和44年1月約13ヶ月の結果、良好と思われるもの4種類、やや良好と思われるもの6種類であつた。

T-25、T-26、T-32、D-10 良好
T-8、T-9、T-16、T-23、D-11、D-33 やや良好

(注) 第4次試験の結果は塗料メーカーによる差はあつたが海域による差は認められなかつた。

(d) 第5次試験

(イ) 館 山 昭和44年2月約7ヶ月の結果、良好と思われるもの11種類、やや良好と思われるもの6種類であつた。

T-19、T-21、T-26、T-27 } 良好
S-1、S-2、S-3、S-4、S-12、S-19、S-17
T-1、T-2、T-3、T-4、T-11、T-12 } やや良好
S-26

(ロ) 宇 野 昭和44年1月約7ヶ月の結果、良好と思われるもの11種類、やや良好と思われるもの3種類であつた。

T-10、T-11、T-12、T-18、T-21、T-26、T-27 } 良好
S-12、S-19、S-21、S-27
S-10、S-11、S-16 やや良好

表 2. 3. 1 高性能塗料試験結果

浸漬場所 館山港内

浸漬年月日 41. 9. 18

調査年月日 44. 2. 7

No. SR 96 No.	汚損状況 (%)			得点 (50点満点)	備考
	生物付着	はがれ、フクレ	さび		
1 A-1	90			5	フジツボ、褐草
2 " 2	80			10	褐草
3 " 3	20			40	黒色スライム
4 B-1	0			50	スライムのみ
5 " 2	0			50	"
6 " 3	10			45	黒色スライム
7 C-1	10			45	"
8 " 2	10			45	"
9 " 3	60			20	セルブラ、フサコケムシ、フジツボ
10 D-1	0			50	スライムのみ
11 " 2	0			50	"
12 " 3	5			47.5	フサコケムシ
13 E-1					
14 " 2	5			47.5	黒色スライム
15 " 3					
16 F-1	5			47.5	黒色スライム
17 " 2					
18 " 3					
19 G-1	50			25	セルブラ
20 " 2	5			47.5	黒色スライム
21 " 3					
22 H-1					
23 " 2					
24 " 3					
25 その他					
26 ブランク					

表 2.3.2 S R 9 6 農薬を主成毒物とした塗料の一覧表

記 号 メ-カ	第 1 次 浸 漬 試 験		第 2 次 浸 漬 試 験		第 3 次 浸 漬 試 験		第 4 次 浸 漬 試 験		第 5 次 浸 漬 試 験	
	S R 記 号	メ-カ記号	S R 記 号	メ-カ記号	S R 記 号	メ-カ記号	S R 記 号	メ-カ記号	S R 記 号	メ-カ記号
Y					SR96-S- 1(1)	AFY- 1	SR96-S- 6(32)	AFY- 6	SR96-S- 8(1)	AFY- 8
					" 2(2)	" 2	" 7(33)	" 7	" 9(2)	" 9
					" 3(3)	" 3			" 10(3)	" 10
					" 4(4)	" 4			" 11(4)	" 11
					" 5(5)	" 5				
N	SR96-T- 1(1)	F - 500	SR96-T- 2(1)	F - 500						
	SR96-H- 1(2)	SF - 6610			SR96-U- 6(6)	SF - 6751	SR96-U- 11(27)	SF - 6756		
	" 2(3)	" 6620			" 7(7)	" 6752	" 12(28)	" 6757		
	" 3(4)	" 6630			" 8(8)	" 6753	" 13(29)	" 6758		
	" 4(5)	" 6640			" 9(9)	" 6754	" 14(30)	" 6759		
S	" 5(6)	" 6650			" 10(10)	" 6755	" 15(31)	" 6760		
	SR96-V- 1(7)	HAF- 101	SR96-V- 6(2)	HAF- 201	SR96-V- 11(11)	HAF- 301	SF - 6-V- 16(1)	HAF- 321	SR96-V- 21(5)	HAF- 341
	" 2(8)	" 102	" 7(3)	" 202	" 12(12)	" 302	" 17(2)	" 322	" 22(6)	" 342
	" 3(9)	" 103	" 8(4)	" 203	" 13(13)	" 303	" 18(3)	" 323	" 23(7)	" 343
	" 4(10)	" 104	" 9(5)	" 204	" 14(14)	" 304	" 19(4)	" 324	" 24(8)	" 344
F	" 5(11)	" 105	" 10(6)	" 205	" 15(15)	" 305	" 20(5)	" 325	" 25(9)	" 345
	SR96-W- 1(12)	H - 8171	SR96-W- 6(7)	H - 8175	SR96-W- 11(16)	H - 83171	SR96-W- 20(6)	" H - 5171	SR96-W- 26(10)	H - 8251
	" 2(13)	" 8172	" 7(8)	" 8176	" 12(17)	" 83172	" 21(7)	" 5172	" 27(11)	" 8252
	" 3(14)	" 8173	" 8(9)	" 8177	" 13(18)	" 83173	" 22(8)	" 5173	" 28(12)	" 8351
	" 4(15)	" 8174	" 9(10)	" 8178	" 14(19)	" 83174	" 23(9)	" 5174	" 29(13)	" 8352
FK	" 5(16)	" 5171	" 10(11)	" 8179	" 15(20)	" 83175	" 24(10)	" 5175		
					" 16(21)	" 83176	" 25(11)	" 5176		

2.3.4 実船適用試験

S41、42年度において浸漬試験を行なってきた高性能塗料および農薬を主体とした試作 A/F 塗料の中から性能の良好なものを選び実船試験を実施した。実施要領について簡単に述べると下記の通りである。なお、本試験の結果は実船入渠の関係で観察は昭和44年3月末となった。

(a) 供 試 験

八州川丸（川崎汽船） 52,000 D/Wトン 鉱石船
日本←→チリ航路
1964年完工

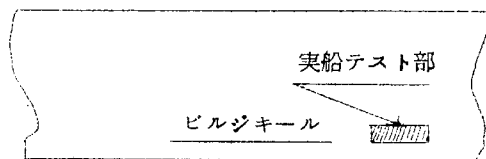
(b) 実施場所および年月日

場 所 日本鋼管㈱ 浅野ドック
年月日 S43. 3. 13 ~ 43. 3. 16

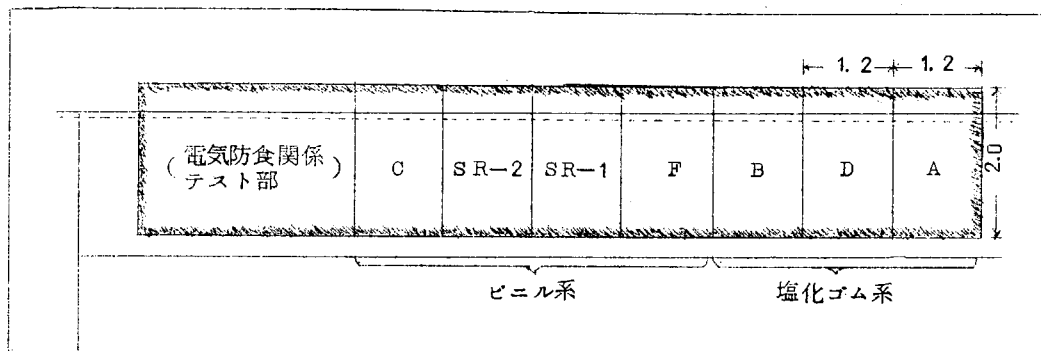
(c) 塗装仕様

表2.3.3に示す通りである。

(d) 試験箇所



塗装面積 1区割 ≐ 2.4 m²



(e) 塗装工程 表2.3.4に示す通りである。

(f) 塗装記録 表2.3.5に示す通りである。

表 2.3.3 塗 装 仕 様

仕 様 メーカ	下地処理	ブ ラ イ マ ー		A / C		A / F	
		品 名	回数	品 名	回数	品 名	回数
A	サ ン ド ブ ラ ス ト	ビニレックス #110 アクチブプライマー	1	ハイビルト R シーラー プライマー	1 2	SR-96 A/F A-2	3
D		メタラクト H-15	1	ラバマリンシルバートン D L D	1 1 1	" D-2	2
B		W/P 2 液 型	1	高田 シーラバン 1 号	3	" B-2	2
F		"	1	船底用ビナール 1 号	5	" F-1	4
SR-1		"	1	"	5	" Y-1	3
SR-2		"	1	"	5	" Y-9	3
C							

表 2.3.4 塗 装 工 程

日 程 メーカ	3 / 14			3 / 15			3 / 16		
A	—	==	(1)	==	==	----	----	----	----
D	(早朝	—	==	==	==	----	----	----	----
B	サ	—	==	==	==	----	----	----	----
F	ン	—	==	==	==	----	----	----	----
SR-1	ド	—	==	==	==	----	----	----	----
SR-1	ブ	—	==	==	==	----	----	----	----
C	ラ	—	==	==	==	----	----	----	----
	ス	—	==	==	==	----	----	----	----
	ト	—	==	==	==	----	----	----	----
	(	—	==	==	==	----	----	----	----
	)	—	==	==	==	----	----	----	----

— プライマー = A/C ---- A/F

表 2.3.5 塗 装 記 録

記 録 メーカ	ブ ラ イ マ ー		A / C		A / F		天 気、温 度	備 考
	塗付量 (g/m ²)	膜厚 (μ)	塗付量 (g/m ²)	膜厚 (μ)	塗付量 (g/m ²)	膜厚 (μ)		
A	108		252		150	200~250	3/14 晴	A/C A/F と も塗付量は平 均値
D	121		340		366	A/F 1回 目まで	11~12℃	
B				140	280		3/15 晴	
F			167	W/Dを含 めた値	207		9~12℃	
SR-1			167		180		3/16 曇小雨	
SR-2			167		195		11~12℃	
C								

(g) 試験結果

試験塗装後1年を経過した昭和44年3月20日川崎重工業㈱神戸造船所に入渠したので、その状況を調査したところ次のとおりであった。

- (i) 防食性については全区割とも良好でフクレ、ハクリ、発錆等は認められず、塗膜性能は十分と思われた。
- (ii) 試験塗装部は、一般塗装部に比べてはるかに良好で、生物等の付着は少なかった。付着生物はフジツボ、セルブラ等は認められず、緑草、褐草の類であった。
- (iii) 特に、C、SR-2の両区割はスライムが薄く付着している程度で非常に良好な防汚性能を示していた。
- (iv) 以上の結果から防食性、防汚性（草類の付着程度）についての評価を行なうと下表の通りである。

試験区割	防食性	防汚性
A	◎	×
D	◎	×
B	◎	× ×
F	◎	△
SR-1	◎	○
SR-2	◎	◎
C	◎	◎

なお、本試験は船主の協力により、試験区割はそのまま残し、引き続いて長期の結果を観察する予定である。

2.3.5 塗膜性能におよぼす電気防食の影響

(a) 目的

電気防食を併用した場合の塗膜の劣化および塗料の性能におよぼす影響について調査するため、ビニル、タールエポキシ、特殊油性、塩化ゴムの4種類の塗装系（A/C）について、それぞれ電気防食を併用した浸漬試験を実施した。

(b) 試験要領

試験板は同一塗装系について3枚作り、1組をA陽極に、他の1組をZn陽極にそれぞれ接続し、残りの1組は電気防食を併用しないものとした。なお、電気防食を併用した試験板の裏面にはスクラッチを入れた。各塗装系の塗付量および塗装回数を次表に、その他仕様等は下記の通りである。

No	塗装系（A/C）	SR記号	S/P	A/C	A/F
1	ビニル	SR96-F-1	16g×1	17g×5	25g×4
2	タールエポキシ	〃 D-3	23×1	36×3	37×3
3	特殊油性	〃 D-1	23×1	17×4	26×3
4	塩化ゴム	〃 G-1	51×1	19×3	22×3

試験板 300×300×3mm 軟鋼板

処理 サンドペーパー 脱脂

浸漬場所 館山港内SR筏

浸漬年月日 昭和41年10月17日

(c) 試験結果

試験開始後3～4ヶ月ごとに約20ヶ月間観察を行なった。試験結果は次の通りである。

(i) 生物付着状況

防汚性については各塗装系ともほとんど電気防食による差異は認められなかった。塩化ゴム系は20ヶ月近くにはセルブラ、フサコケムシ等の付着が他に比べやや多かった。

(ii) 塗膜状況

フクレの発生等については電気防食の有無にかかわらず表面はいずれの塗装系もほとんど変化はなかったが裏面のスクラッチ部(電気防食併用試験板のみ)は塗装系により次のような相異が認められた。

(イ) ビニル系

浸漬後約7ヶ月でスクラッチの両側に2～3mmφのフクレを生じ、10ヶ月で5～6mmφ、14ヶ月で10～20mmφ、20ヶ月終了時にはスクラッチを中心に約50mm巾にフクレが進行していた。

また、その他の部分にも30mmφ位のフクレが数ヶ所に発生していた。

(ロ) 特殊油性系

浸漬後10ヶ月で1mmφ以下のフクレがスクラッチにそつて発生し、14ヶ月で5mmφ、20ヶ月では10mm巾に進行していた。

(ハ) 塩化ゴム系

浸漬後7ヶ月でわずかにフクレが見られたが、その後10ヶ月で2～3mmφ、14ヶ月で5mmφ、20ヶ月でも5mmφ程度でフクレの進行は前2者に比べおそかった。

(ニ) タールエポキシ系

浸漬後20ヶ月経過後もほとんどフクレの発生は見られず良好な塗膜を保持していた。

(iii) 試験板の電位

途中断線等で短期間電気防食が中断されたこともあったが、試験板の電位はAℓの場合1,020～1,060、Znの場合980～1,020(-mV、SCE)に保持された。

(iv) 陽極の種類

Aℓ、Znの差は少なかったが、Aℓの場合ややフクレが多かった。

以上のようにスクラッチ部には塗装系によりそれぞれ相異があった。なお、本試験における塗装系の良否を比較評価すれば

タールエポキシ>塩化ゴム>特殊油性>ビニル

の順となり、防汚効果についてはほとんど差が認められなかったものと考えられる。

(d) 結果の検討

電気防食と塗料の関係についてはいままでも2,3の報告がある。しかし、SR96研究部会および三菱重工の栄氏の研究は主として油性系塗料とビニル系塗料の性能を比較したものであつて油性系塗料では塗膜の許容電位は-900mV程度でこれ以下では電気防食によつて発生するアルカリ性により漸次劣化の傾向がある。また、ビニ

ル系でも -1100 mV 以下では少量のフクレを生じているから、ビニル系の使用は -1000 mV までがよいとしている。

商船大学の賀田氏らも銅板およびアルミ合金板に油性、ビニルおよびエポキシ系塗料を使用し、膜膜欠陥部の影響を含め、 -1400 mV 付近までの試験を行なっている。電位が低いと各塗料とも欠陥部の剥離は甚だしい。

また、引張試験をも行なつて油性系は -900 mV 、ビニル系では -1000 mV までは電気防食の影響は少ないと報告している。また、同氏は長期間の実船実験を行ない、電位、電流をさらにきびしく制限するとともに初期電流密度、A/Fの種類等にもふれている。

三井造船の藤井氏は、プライマーの種類、A/C、A/Fの種類、塗膜の厚さ、防食法（流電陽極法、外部電源法）を変えた広範囲な試験を行なっている。12ヶ月の試験の結果、亜鉛陽極を使用して電位を -1000 mV に下げた場合は油性系はかなり劣化していた。その他ウレタン系塗料で膜厚が薄い（ 150μ ）場合は不良である外は劣化は微少であつた。しかし、電位をマグネシウム陽極により -1500 mV にした場合はかなり劣化したものもあり、次表のような結果を出している。

塗膜性状	油性	ビニル	塩化ゴム	エポキシ	タール エポキシ	ウレタン
塗膜自体の耐アルカリ性	×	◎	◎	◎	◎	◎
電気絶縁性*1)	△	◎	◎	○	◎	△
密着性	○	△	○	○	◎	◎
実用性の判定	D	C	A~B	A~B	A	C

*1) 電気化学反応に対する抵抗性（イオン透過性）

*2) ◎非常に良好 A } 銅板と併用しても問題なし
 ○良好 B
 △普通 C 条件付にて実用性可
 ×不良 D 実用上不向き

これらの試験に対し、今回の試験では

- (i) 現在主として使用または使用されつつある現用の最良塗料を使用したこと。
- (ii) 流電陽極を使用した場合に下がる可能性のある最低電位において試験したこと。
- (iii) 2ヶ年間の長期間（都合で20ヶ月までにした）の試験をしたこと。
- (iv) 現用塗料での欠陥部におよぼす電気防食の影響を調査したこと。
- (v) 電気防食が防汚性能におよぼす影響を調査したこと。

等の特徴とするものであつて、その結果は前記諸試験の結果を確認した外、次の通りと結論された。

- (i) 欠陥部のない場合は長期間の亜鉛またはアルミによる電気防食を行なつてもほとんど影響はない。
- (ii) 欠陥部は防食電流が集中し、 -1000 mV 付近になると欠陥部を起点としてフクレが広がる傾向がある。

この場合の塗料の種類の影響は前述の通りである。なお、実船の場合はこれほど電位が下がることはないが、欠陥部は生ずることがある。

- (iii) 電気防食がA/Fの使用に影響はなかつた。
- (iv) アルミ陽極と亜鉛陽極ではほとんど差はなかつた。

2.4 高張力鋼の溶接におよぼす塗料配合の研究

造船工場においては最近船舶の大型化に伴って高張力の使用量が増加し、近い将来は全面的に採用される傾向にあるが、船舶および鉄鋼構造物ではその組立完了までの鉄鋼一時防錆のため、あるいは経済的能率的な見地から加工前の原材料に従来のエポキシ・ポリアミド樹脂を基剤とし防錆顔料として亜鉛末を加えたもの、あるいはビニルブチラール樹脂-リン酸を基剤としこれにジクロロメート、黄鉛等を加えたもの、その他種々の防錆剤がショットプライマーと称され、一時防錆塗料として使用される。これら一時防錆塗料は各塗料メーカーが曝露防錆性および上塗り塗料との密着性に主眼点を置き開発したものを各造船所に持ち込み溶接性、溶断性、その他の性能実験を行ない、その結果採用されてきたものであり、塗料配合と溶接性との関係は一応経験的にしか判断されていなかったため、理論的には不明な点が多く、また、従来は塗料配合が判つていても一応実験を行なわなければその塗料の溶接性能について判断ができなかった。それゆえ、塗料メーカーでショットプライマーの種類が変わる度にまた性能の改良による配合の変更のある度ごとに実験を行なわなければならない、造船所においては時間的、人的、経済的にかかなりの犠牲をはらっているのが現状である。そこでわれわれはその塗料の配合比を知るだけで一応の溶接性能が判断され取捨選択が自由に行ない得ることができれば非常に便利であると考え、溶接性に主眼点を置いた塗料選択のための実験を行なったものである。

2.4.1 実験要領

乾燥塗膜中で溶接性、溶断性に影響があると考えられる要因は展色剤と顔料の組合わせおよびその濃度である。そこで展色剤単独の場合の溶接性を調査すると共に一般防錆顔料との組合わせによる溶接性、溶接棒被覆剤芯線の中に加えられ、溶接時に脱酸効果を発揮するといわれている。脱酸剤を塗料顔料成分とした塗料系による溶接性および対曝露防食性の実験を行なったものである。

2.4.2 溶接性実験

(a) 実験に使用した鋼材

富士鉄 50kg/mm² HI-TEN 鋼 t 1.4mm

(b) 試作塗料

試作した Shop primer の展色剤は塗料メーカーで一般に市販されているウオツシユプライマーあるいは有機 Zinc Rich Primer 等に使用されている展色剤を中心に新たにウレタン樹脂、フェノキシ樹脂を用い顔料は一般防錆顔料および溶接冶金的な観点から燃焼生成物に対する脱酸効果を有するフェローアロイ数種類を選択し、これを顔料成分とする塗料を試作した。塗料中の P.V.C は顔料の比重にもよるが、P.V.C 35~45% の範囲のものを使用した。実験に供した展色剤および顔料は下記のようなもので、その組合わせを表 2.4.1 に示す。

展 色 剤	顔 料
① ポリビニルブチラール樹脂	Fe_3O_4
② エポキシポリアミド樹脂	アルミ粉末
③ エポキシイソシアネート樹脂	マンガン粉末
④ ウレタン樹脂	ZrO_2
⑤ フェノキシ樹脂	BaSO_4
	MgFeO_4
	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
	$\text{Fe}-\text{Cr}$ (外国品)

Sr - Cr

Fe - Ti

Fe - V (V 33、16%)

Fe - Cr (L) (Cr 1.04%、Cr 34、87%) 国産

Fe - Cr (H) (Cr 6.40%、Cr 67、23%) //

Fe - Mn (Mn 78、26%)

Metallic - Si (Si 97、78%)

Fe - Si (Si 76、35%)

Ca - Si (Si 59、92%)

表 2. 4. 1 展色剤および顔料の組合わせ

展色剤と顔料の組合わせによる溶接性実験は樹脂単独で塗膜を形成した場合の溶接性およびフェノキシ樹脂については顔料総当りとし、他のポリビニルブチラール樹脂は Fe_3O_4 、 $\alpha - Fe_2O_3$ 、Fe - Cr (外国品) ストロロンチウムクロメートと組合わせ、エポキシ・ポリアミド樹脂、ウレタン樹脂はアルミ粉末とエポキシ、イソシアネートは Fe_3O_4 アルミ粉末、ストロンチウムクロメート等の顔料と組合わせした。

表 2. 4. 1

Digment \ Vehicle	ポリビニルブチラール	エポキシポリアミド	フェノキシ樹脂	ウレタン樹脂	エポキシイソシアネート樹脂
Fe_3O_4	○	-	○	-	○
アルミ粉末	-	-	○	○	○
マンガン粉末	-	-	○	-	○
$ZnCrO_4$	-	-	○	-	-
$BaSO_4$	-	-	○	-	-
$MgSiO_2$	-	-	○	-	-
$\alpha - Fe_2O_3$	○	-	○	-	-
Fe - Cr (外国)	○	-	○	-	-
ストロンチウムクロメート	○	-	○	-	○
Fe - Si	-	-	○	-	-
Fe - V	-	-	○	-	-
国産 Fe - Cr (L)	-	-	○	-	-
" (H)	-	-	○	-	-
Fe - Mn	-	-	○	-	-
Fe - Ti	-	-	○	-	-
Ca - Si	-	-	○	-	-
なし	○	○	○	○	○

(c) 塗装方法

試作Shop primerの塗装は鋼材を所定の寸法に切断し、これをSand Blast法によりWhite Metal程度に清浄となしたのちAir Sprayにより約 20μ 程度になるように塗装を行なった。顔料の粒度、その他により多少膜厚に差はあるが、ほぼ $15\sim 25\mu$ の範囲内であつた。塗装された銅板は大気中に20日間放置後溶接性実験に供した。

(i) 塗装前処理 : Sand Blast

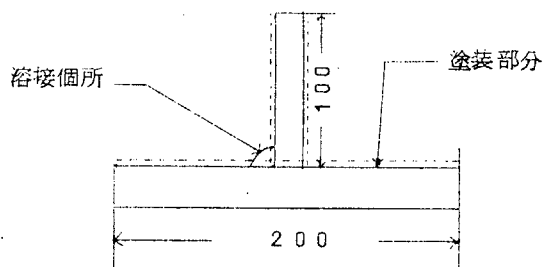
(ii) 塗装方法 : Air Spray

(iii) 膜 厚 : 20μ

(d) 溶接方法

(i) T型隅肉溶接試験片 : $200 \times 800 \times \overset{v}{\sim} 14\%$

$100 \times 800 \times \overset{v}{\sim} 14\%$



(e) 溶接条件

(i) 溶 接 機 : サンヨーグラビティー溶接機

(ii) 溶 接 棒 : A社低水素溶接棒
B社低水素溶接棒 } $7.0\phi \times 700\%$

(iii) 電流および極性 : $300\sim 350\text{A}$ 、AC

溶接棒はTest 当日棒受け渡し所よりビニル皮膜をして箱に入っているものを持ち帰り 200°C にて3h乾燥後のものを使用した。

(f) 溶 接 性

A社、B社製の溶接棒に対する溶接条件は予備実験で予め、溶接適性条件を求め、本実験を行なった。溶接は $7\phi \times 700\%$ 溶接棒1本でStartからEndまで隅肉溶接を行なったものであるが、電流値による影響をさけるために棒種の電流電圧値はなるべく一定になるようにした。

仮付けは試験片両端に約 $30\sim 50\%$ (実験結果には含まない)施したのちGravity法により溶接を行なった。

各塗装系の溶接時の電流(A)、電圧(V)値、スパッター発生率、溶接所要時間、Slagの剝離性、溶接ビード長さ、運棒比等を表2.4.2および表2.4.3に示す。

(i) 電流電圧値の測定

電流電圧値の測定は携帯用電流計の一種であるトンクテスト（英国クロンプトン会社製）を用い二次側回路のリード線1本を挟むことにより電流値が測定できるような器具により測定を行なった。

(ii) スパッター発生率（判定：やや多い、普通、やや少ない）

樹脂、顔料による差は認められなかったが、棒メーカーによる差はあり、A社溶接棒はB社に比べ比較的スパッター発生率が少なかった。3段階に別けて評価している。

(iii) 溶接所要時間

溶接棒芯線の化学成分によつて差があるのか、被覆剤の成分によつて差があるのか明らかでないがA社とB社溶接棒による溶接所要時間を比較すると大きな差があり、B社はA社の70～80%の範囲内である。

(iv) スラグの剝離性（易——難）
5 4 3 2 1

スラグの剝離性はこれを易←→難5段階に分けて評価したが、樹脂、顔料による差は認められなかったが、溶接棒メーカー別では若干差がある。

スラグの剝離性⑤はGravity 溶接終了後ビードが冷えるにしたがつて自然にスラグが割れ剥がれてくるもので、剝離性①は溶接ビード部が冷却されてもやや強くハンマーその他の工具でスラグ面を打たなければ剝離しなかったもの。

(v) 運棒比

A社、B社ほとんど同じで、1.22～1.26の範囲内である。

表 2. 4. 2 A 社溶接棒による溶接条件

試験片 No.	S/P の種類	電流値(A) 電圧値(V)	スパンター 発生率	溶接所要 時間 min	Slag 剥離性	溶接ビ ード長 さ mm	溶接棒 消費量 mm	運棒比	備 考
1	ポリビニル H_3PO_4 プチラール Fe_3O_4	255A 30V		3' 41"		820	650		
2	" $\alpha-Fe_2O_3$	260~265A 30V	普 通	3' 18"	4	785	626	1.25	
3	" Fe-Cr (外国)	265A 30V	"	3' 40"	5	807	646	1.25	
4	" Si-Cr	265A 30V	"	3' 21"	3	786	740	1.26	切れが悪い 溶接棒が逃 げる
5	"	270A 30V	"	3' 27"	4	795	633	1.26	
6	エポキシポリアマイドアルミ粉末	250A 30V	"	3' 44"	4	807	642	1.26	
7	"	265A 30V	やや少い	3' 39"	5	815	652	1.25	
8	フェノキシ樹脂 Fe_3O_4	260~270A 30V	普 通	3' 25"	5	794	632	1.26	
9	" アルミ粉末	260~270A 30V	"	3' 29"	5	802	644	1.25	
10	" マンガン粉末	265A 30V	"	3' 28"	5	808	646	1.25	
11	" $ZnCrO_4$	260A 30V	"	3' 40"	4	805	640	1.26	
12	" $BaSO_4$	250~260A 30V	やや少い	3' 23"	4	795	634	1.25	
13	" $MgSiO_3$	265~270A 30V	"	3' 25"	5	799	638	1.25	
14	" $\alpha-Fe_2O_3$	260A 30V	普 通	3' 22"	5	790	633	1.25	
15	" Fe-Cr (外国)	260~270A 30V	"	3' 23"	5	807	645	1.25	
16	" Si-Cr	265A 30V	やや多い	3' 38"	3	814	648	1.26	
17	" Fe-Si	260~270A 30V	やや少い	3' 25"	4	790	628	1.26	
18	"	260~270A 30V	"	3' 25"	4	809	641	1.26	
19	エポキシインシアネート Fe_3O_4	260~270A 30V	"	3' 25"	4	807	642	1.26	
20	" アルミ粉末	250~255A		3' 30"		795	636	1.25	
21	" マンガン粉末	250~260A 30V	普 通	3' 41"	3	801	642	1.25	切れが悪い
22	" Si-Cr	260~270A 30V	"	3' 29"	3	800	637	1.26	"

試験片 No.	S/P の 種 類	電流値(A) 電圧値(V)	スパッター 発 生 率	溶接所要 時 間 min	Slag 剥離性	溶接ビ ード長 さ mm	溶接棒 消費量 mm	連棒比	備 考
23	エポキシイソシアネート	260~270A 30V	普 通	3' 27"	4	799	640	1.25	
24	—	—	—	—	—	—	—	—	
25	ウレタン樹脂アルミ粉末	250~270A	普 通	3' 25"	3	802	640	1.25	ヤヤ臭多し
26	"	260A	ヤヤ少い	3' 13"	5	806	647	1.25	臭 多
27	フェノキシ樹脂 Fe-V	250~260A 25~30V	ヤヤ多い	3' 40"	4	803	635	1.26	
28	" Fe-Cr (L)	250A 29~36V	"	3' 23"	4	803	644	1.25	
29	" " (H)	250A 27~32V	"	3' 43"	4	800	646	1.24	
30	" Fe-Mn	250~260A 28~35V	"	3' 18"	3	801	637	1.26	
31	" Metallic-Si	260A		3' 24"		800	632		
32	" Fe-Ti	255~265A 26~33V	"	3' 28"	4	800	633	1.26	
33	" Ca-Si	260A 27~34V	"	3' 33"	4	801	641	1.25	
34	W/P	250~280A	普 通	3' 36"	5	809	647	1.25	
35	無機 Zinc Rich	260~270A 27~33V	ヤヤ少い	3' 32"	3	789	630	1.25	多少の臭あり
36	有機 Zinc Rich	260~270A 26~34V	"	3' 33"	4	786	630	1.25	"
37	Blank	260~275A	ヤヤ多い	2' 53"	1	785	647	1.21	

表 2. 4. 3 B 社溶接棒による溶接条件

試験片 No.	S/P の 種 類	電流値(A) 電圧値(V)	スパッター 発 生 率	溶接所要 時 間 min	Slag 剥離性	溶接ビ ード長 さ %	溶接棒 消費量 % /mm	運棒比	備 考
1	ポリビニル H_3PO_4 ブチラール Fe_3O_4	260~270A 30V	やや多い	2'50"	3	800	643	1.24	
2	" $\alpha-Fe_2O_3$	260~270A 30V	"	2'49"	2	800	647	1.24	
3	" Fe-Cr(外国)	260~270A 30V	"	2'48"	3	776	637	1.22	
4	" Sr-Cr	265~280A 30V	"	2'54"	4	806	649	1.24	追隅性悪し 臭 大
5	"	255~265A 30V	"	2'55"	2	801	637	1.26	臭 中
6	エポキシポリアマイド アルミ粉末	250~260A 30V	"	3'00"	3	800	643	1.24	
7	"	260~270A 30V	"	2'51"	2	796	647	1.23	臭 中
8	フエノキシ樹脂 Fe_3O_4	260~270A	"	2'48"	2	806	640	1.26	
9	" アルミ粉末	250~260A	"	2'58"	4	786	648	1.21	
10	" マンガン粉末	260~270A	"	2'57"	3	793	641	1.24	
11	" $Zn-Cr-O_4$	260~270A	"	3'01"	3	795	644	1.23	
12	" $BaSO_4$	260~270A 30V	"	3'02"	3	798	645	1.24	
13	" $Mg-Si-O_3$	250~260A 30V	"	3'04"	3	813	649	1.25	
14	" $\alpha-Fe_2O_3$	270~280A 30V	"	2'53"	3	795	639	1.24	
15	" Fe-Cr(外国)	255~265A 30V	"	2'55"	3	801	644	1.24	
16	" Sr-Cr	255~265A 30V	"	3'02"	4	808	644	1.25	
17	" Fe-Si	260~270A 30V	"	2'50"	5	802	652	1.23	
18	フエノキシ樹脂	260~270A	"	3'00"	3	795	647	1.23	
19	エポキシイソシアネート Fe_3O_4	250~260A	"	3'03"	4	804	647	1.24	
20	" アルミ粉末	250~260A	"	2'58"	4	805	646	1.25	
21	" マンガン粉末	260~270A	"	2'51"	5	802	650	1.23	
22	" Sr-Cr	255~265A	"	2'56"	4	801	643	1.25	

試験片 No.	S/P の種類	電流値(A) 電圧値(V)	スパッター 発生率	溶接所要 時間/min	Slag 剝離性	溶接ビ ード長 さ %	溶接棒 消費量 %	運棒比	備考
23	エポキシイソシアネート	255~265A	ヤヤ多い	2' 57"	2	796	640	1.24	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	ウレタン樹脂 アルミ粉末	265~275A	ヤヤ多い	2' 55"	5	800	650	1.23	
26	"	255~265A	"	2' 56"	3	802	643	1.25	
27	フエノキン樹脂 Fe-V	250~260A	"	2' 50"	5	795	645	1.23	
28	" Fe-Cr (L)	260~270A	"	2' 59"	4	807	651	1.24	
29	" " (H)	255~265A	"	2' 39"	3	800	638	1.25	
30	" Fe-Mn	260~270A	"	2' 53"	5	794	637	1.25	
31	" Metallic-Si	265~275A	"	2' 45"	4	784	626	1.25	
32	" Fe-Ti	260~270A	"	2' 54"	3	796	647	1.23	
33	" Ca-Si	260~270A	"	2' 45"	5	798	640	1.25	
34	W/P	265~275A	"	2' 50"	4	800	657	1.22	
35	無機 Zinc Rich	260~270A	"	2' 53"	4	795	640	1.24	
36	有機 Zinc Rich	260~270A	"	2' 55"	3	793	641	1.24	
37	Blank	265~275A	"	2' 50"	3	798	648	1.23	

2.4.3 溶接破断面観察結果

溶接部の健全性を調べるのにはいろいろな方法があり、文献、その他にはその詳細が記載されているが、今回は塗料皮膜中に含まれている展色剤が溶接時に燃焼して生ずる。燃焼生成物、あるいは Primer 塗装後の放置期間中に塗装表面に付着した油、よごれ等の燃焼によって生じた H_2 O_2 CO CO_2 Gas による気孔 (表面ビット、プロホール) に重点を置いて観察を行なった。

A 社、B 社溶接棒による溶接破断面観察結果を表 2.4.4 に樹脂単独の場合と樹脂、顔料を組合わせた場合の両社溶接棒の溶接性判定比較結果を表 2.4.5 に示す。

また、溶接破断面の写真撮影結果を A 社溶接棒写真試験番号 1~37、B 社溶接棒写真試験番号 1~37 に示す。表面ビットおよび破断面のプロホール数は JIS Z 2341 に規定された鋼の溶接部の欠陥等級 (金属材料の放射線透過検査規格) に準じて等級付、判定は Start 側、End 側の 100% を除き、他の溶接部分のプロホール数の最も密に存在する個所の 10×50 mm 以内にある欠陥の数で示した。なお、欠陥の大きさは JIS (Z 2341) でき

められている次の係数を乗じた点数を用いて評価している。

欠 陥 の 大 き さ の 係 数

欠陥の大きさ (mm)	2.0 以下	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	8.1~10.0
係 数	1	4	6	10	15

溶接部の欠陥は展色剤、顔料等による影響よりも溶接棒による影響が非常に大きく、棒メーカーにより大きな差が生じた。すなわち、A社溶接棒はブローホール数はそれ程多くはないが、表面ビット発生が著しく、また、B社溶接棒は表面ビットはほとんど生じなかったが、1φ以下の微細なPinholeが多数見受けられた。この現象は溶接棒自身にあり、溶接所要時間の両者の違いが溶接時のビード部の冷却速度に影響し、燃焼生成物の逃散、顔料のSlag中への移行状態の相違によりこのような差をもたらしたものでなかろうか。

展色剤単独：展色剤、顔料との組み合わせによる溶接性は大略下記のようにあつた。

(i) 展色剤単独

フェノキシ樹脂はA、B両社溶接棒を通じ良好である。

ポリビニルブチラール燐酸、エポキシポリアミドは棒メーカーにより差が大きく、今回の実験では樹脂自体の溶接性は確められなかった。ウレタンは上記のものに比べやや不良と考えてよい。

(ii) 展色剤と顔料の組み合わせ

Fe_3O_4 、Al粉末、マンガン粉末、 Fe-Si 等の造滓剤、脱酸剤と組合わせたフェノキシ樹脂は非常に良好な溶接性を示している。

ポリブチラール燐酸も棒メーカーにより差はあるが、 Fe_3O_4 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 Fe-Cr （外国）、ストロンチウム、クロメート等と組合わせたものは実用性があると思われる。

ウレタン樹脂およびエポキシポリアミドはAl粉末との組合わせのみであるが、やや不良である。

エポキシイソシアネートはアルミ粉末、マンガン粉末と組合わせたものが良好な溶接性を示した。

(iii) 比 較 品

溶接性の比較のためW/P、無機、有機 Zinc Rich Primerおよび裸鉄を加えて実験を行なった。W/Pおよび裸鉄、無機 Zinc Richはほとんど問題はなかったが、有機 Zinc Richはやや不良で、実用性には若干問題があると考えられる。

表 2. 4. 4 隅 肉 破 断 面 観 察 結 果

樹 脂 、 顔 料	A 社 溶 接 棒				B 社 溶 接 棒				総 合
	ブ ロ ホ ー ル (ビード 全長 600%)	表 面 ビツト (全 長) 600%	判 定 10× 50% 等 級	評 価	ブ ロ ホ ー ル (ビード 全長 600%)	表 面 ビツト (全 長) 600%	判 定 10× 50% 等 級	評 価	
ポリブチル プチラール Fe ₃ O ₄ 1	0	0	1 級	◎	1%φ 7ケ 1%以下 5?	0	3~4 級	○	◎
" α-Fe ₂ O ₃ 2	殆んどなし	0	2 "	◎	1以下 20ケ	0	3 "	○	◎
" Fe-Cr(外国) 3	0.5%φ以下 45ケ		銀点多数 3 "	○	1φ 25ケ	0	3 "	○	○
" Sr-Cr 4	0	0	1 "	◎	1~1.5%φ 32ケ	0	3 "	○	◎
ポリビニール プチラール 燐酸のみ 5	0	3ケ	5 "	×	1φ 3ケ	0	2 "	◎	
エポキシポリアマイド アルミ粉末 6	1~2φ 18ケ	26ケ	6 級以上	×	1φ以下 24ケ	0	3 "	○	
エポキシポリアマイドのみ 7	1φ以下 17ケ 2~2.5φ 3ケ	22ケ	6 級	×	0.5φ以下 20ケ	0	2 "	◎	
フェノキシ樹脂 Fe ₃ O ₄ 8	1φ 7ケ	1ケ	3 "	○	0.5~1φ 10ケ	0	2 "	◎	◎
" アルミ粉末 9	0.5以下 2ケ	0	2 "	◎	0.5~1φ 9ケ	0	2 "	◎	◎
" マンガン粉末 10	0	0	1 "	◎	1φ 45ケ	0	3 "	○	◎
" ZnCrO ₄ 11	1~2φ 2ケ 1φ以下 10ケ	9ケ	6 級以上	×	1φ以下 61ケ	0	3 "	○	
" BaSO ₄ 12	1φ以下 1ケ	0	2 級	◎	1φ 41ケ	0	3 "	○	◎
" MgSiO ₃ 13	0	20ケ	6 級以上	×	1φ以下 43ケ	0	3 "	○	
" α-Fe ₂ O ₃ 14	0	13ケ	6 " "	×	1φ以下 40ケ	0	3 "	○	
" Fe-Cr(外国) 15	0	3ケ	5 級	×	1φ以下 7ケ	0	2 "	◎	
" Sr-Cr 16	1~1.5φ 16ケ	1ケ	4 "	△	1φ以下 40ケ	0	3 "	○	
" Fe-Si 17	0	0	1 "	◎	0.5φ以下 12ケ	0	2 "	◎	◎
フェノキシ樹脂のみ 18	0	0	1 "	◎	0.5φ以下 60ケ	0	3 "	○	◎
エポキシイソシアネート Fe ₃ O ₄ 19	0	3ケ	5 "	×	0.5~1φ 42ケ	0	3 "	○	
" アルミ粉末 20	0	1ケ	3 "	○	0.5~1φ 12ケ	0	2 "	◎	◎

樹脂、顔料	A 社 溶 接 棒				B 社 溶 接 棒				総 合
	プロホール (ビード 全長 600%)	表面 ビット (全長) 600%	判定 10× 50% 等級	評価	プロホール (ビード 全長 600%)	表面 ビット (全長) 600%	判定 10× 50% 等級	評価	
エポキシソシアネート マンガン粉末 21	0	0	1 級	◎	1~1.5φ 12ケ 1φ以下 110ケ	0	3 級	○	◎
" Sr-Cr 22	0	20ケ	6 級以上	×	0.5~1φ 55ケ	0	3 "	○	
エポキシソシアネートのみ 23	1~1.5φ 84ケ	2ケ	4 級	△	1φ以下 40ケ	0	3 "	○	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	
ウレタン樹脂アルミ粉末 25	1~1.5φ 24ケ	6ケ	6 級以上	×	1.5φ 2ケ 1φ以下 39ケ	0	3 級	○	
ウレタンのみ 26	1~2φ 45ケ	0	3 級	○	0	2ケ	4 "	△	
フェノキシ樹脂 Fe-V 27	0	8ケ	6 級以上	×	1φ以下 16ケ	0	2 "	○	
" Fe-Cr (L) 28	0	8ケ	6 級	×	0.5以下 25ケ	0	2 "	◎	
" Fe-Cr (H) 29	0	8ケ	6 "	×	0.5~1.0φ 82ケ	0	3 "	○	
" Fe-Mn 30	0	50ケ	6 "	×	0	0	1 "	◎	
" Metallic-Si 31	0	0	1 "	◎	1φ以下 11ケ	0	2 "	◎	
" Fe-Ti 32	1~2φ 18ケ	20ケ	6 級以上	×	1φ 3ケ	0	2 "	◎	
" Ca-Si 33	0	2ケ	4 級	△	1~1.5φ 24ケ	0	3 "	○	
W/P 34	1φ以下 2ケ	0	1 "	◎	1φ以下 6ケ	0	2 "	◎	◎
#1000 35	1~1.5φ 15ケ	0	3 "	○	1φ以下 10ケ	0	2 "	◎	◎
#8000 36	1~1.5φ 14ケ	2ケ	4 "	△	1~1.5φ 32ケ	0	3 "	○	
Blank 37	1φ 7ケ	0	2 "	◎	0.5φ 3ケ	0	2 "	◎	◎

表 2. 4. 5 溶 接 性 の 比 較

樹脂単独		A 社	B 社
ポリビニルブチラール H_3PO_4		×	◎
エポキシポリアマ이드		×	◎
フェノキシ樹脂		◎	◎
エポキシイソシアネート		△	○
ウレタン樹脂		○	△
顔料	樹脂		
Fe_3O_4	ポリビニルブチラール	◎	◎
	フェノキシ樹脂	○	◎
	エポキシイソシアネート	×	○
アルミ粉末	エポキシポリアマイド	×	○
	フェノキシ樹脂	◎	◎
	エポキシイソシアネート	○	◎
	ウレタン樹脂	×	○
マンガン粉末	フェノキシ樹脂	◎	◎
	エポキシイソシアネート	◎	○
$\alpha-Fe_2O_3$	ポリビニルブチラール H_3PO_4	◎	◎
	フェノキシ樹脂	×	○
$Fe-Cr$ (外国)	ポリビニルブチラール H_3PO_4	○	○
	フェノキシ樹脂	×	◎
$Sr-Cr$	ポリビニルブチラール	◎	◎
	フェノキシ樹脂	△	○
	エポキシイソシアネート	×	○

注) 溶接性評価 ◎ 1~2 級、○ 3 級、△ 4 級、× 4 級以上

2. 4. 4 曝 露 性

フェノキシ樹脂を中心にエポキシイソシアネート、ウレタン樹脂に溶接性実験に供した顔料を P . V . C 4 5 % になるように混合したものによる曝露性の実験を行なった。フェノキシ樹脂 $Fe-Mn$ 、ストロンチウムクロメートを加えた試験板の曝露性は 3 ヶ月経過後も良好な防錆性を示し、W / P よりはるかに良好である。しかし、 $Fe-Cr$ 、 $Fe-Si$ 、 $Ca-Si$ 等の脱酸剤と組合わせたものは不良であつた。エポキシイソシアネート、ウレタン樹脂にアルミ粉末、マンガン粉末等の防錆顔料を加えたものも W / P 以上の防錆性を示している。

表 2. 4. 6 溶接性実験に供した塗料の曝露性実験結果 (1 ~ 3 ケ月)

試験片 №	樹 脂 名	顔 料 名 (P. V. C 45%)	曝 露 性	
			1 ケ 月	3 ケ 月
1	フェノキシ樹脂	$Fe-Cr$ (外国)	点錆 - 8	- 10
2	"	$Sr-Cr$	- 1	- 4
3	"	$Fe-Si$	- 10	-
4	エポキシイソシアネート	Fe_3O_4	- 8	- 10
5	"	アルミ粉末	- 2	- 5
6	"	マンガン粉末	- 2	- 4
7	ウ レ タ ン	アルミ粉末	- 1	- 3
8	フェノキシ樹脂	$Fe-Cr(H)$	- 2	- 4
9	"	$Fe-Mn$	- 1	- 2
10	"	Metallic-Si	- 6	- 10
11	"	$Fe-Ti$	- 5	- 8
12	"	$Ca-Si$	- 7	- 10
W / P	-	-	- 4	- 10
有機 Zinc Rich	-	-	◎	◎

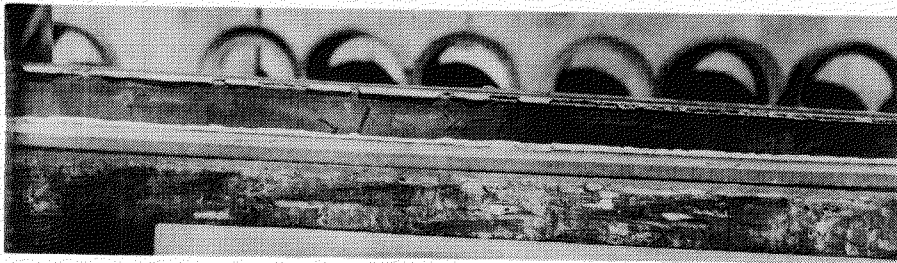
防錆性 完全 全面錆
0 → -10

2. 4. 5 考 察

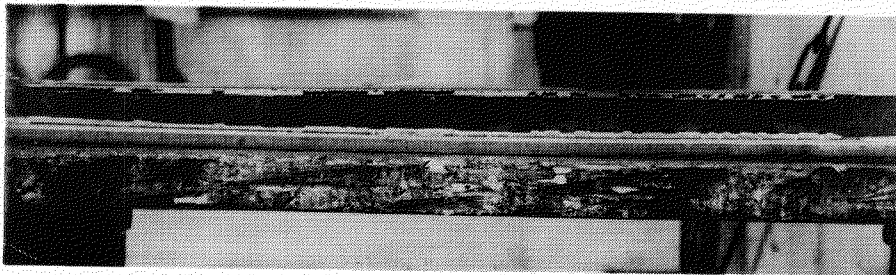
H I - T E N 鋼板に対する溶接性良好なショツププライマーを得るために各種の展色剤、顔料の組合わせによる溶接実験を行なつたが、展色剤、顔料による影響よりも溶接棒自体が溶接性に与える影響の方がこの実験では非常に大きかつた。しかし、展色剤単独の場合および顔料と展色剤の組合わせによる溶接性の比較において一応の傾向は確められたものと思われる。すなわち、展色剤ではフェノキシ樹脂の溶接性は現在ショツププライマーとして市販されている。塗料用の樹脂に比べ良好な溶接性を示し、また、展色剤と顔料成分との組合わせにおいては、マンガン粉末、アルミ粉末、シリコン粉末等の脱酸剤を添加したものが良好であつた。これは溶接棒被覆剤中にも若干加えられているこの種の脱酸剤を塗料成分中に加えた場合も溶接時の熔融鋼中の気孔発生を抑制する反応を生ずるのか良好な溶接性を示していた。曝露防錆性についても実験を行なっているがマンガン粉末、アルミ粉末 $Fe-Mn$ 等電気化学的に鉄より卑な金属粉末を用いたものはウオツシユプライマーに比較してはるかに良好な防錆性を示した。

しかし、 $Ca-Si$ 、 Si 粉末、 $Fe-Cr$ 等を加えたものの防錆性は不良であつた。今後はさらにこの種ショツププライマーの曝露性の改良、耐上塗り塗料との密着性の問題、塗膜条件を変えた溶接性の実験を実施し、効果を確める必要があろう。

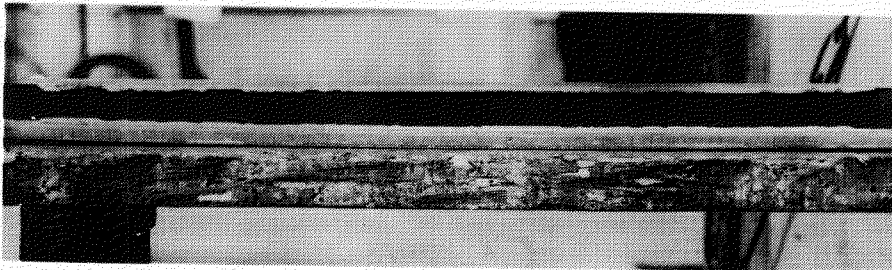
▲ 社 溶接棒によるグラビティ溶接破断面



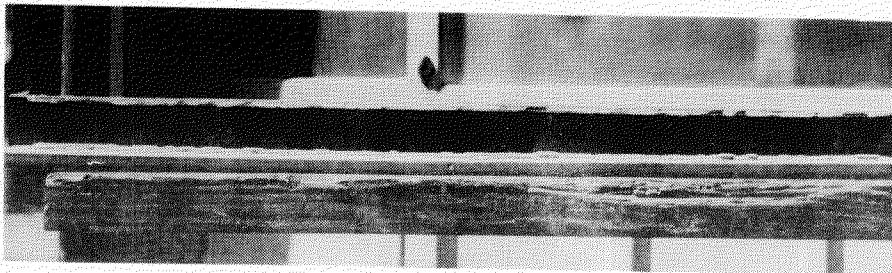
試験番号 1



試験番号 2



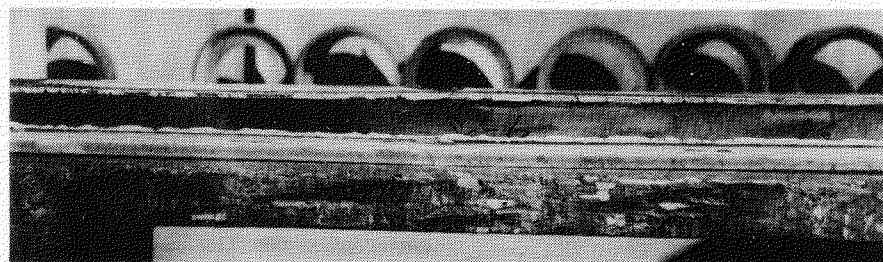
試験番号 3



試験番号 4



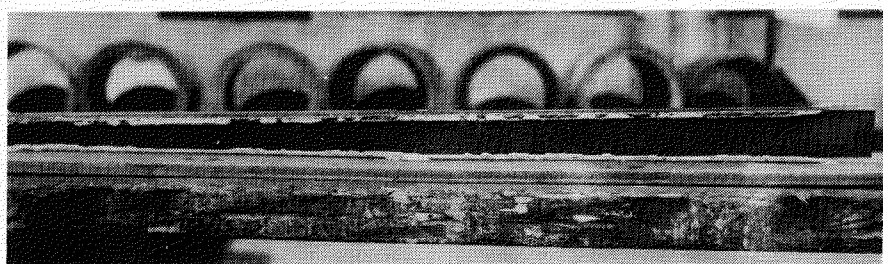
試験番号 5



試験番号 6



試験番号 7



試験番号 8



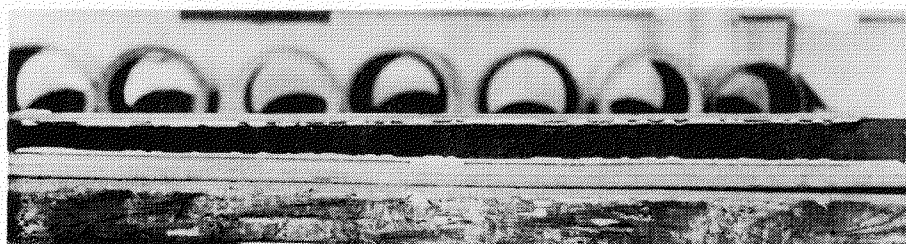
試験番号 9



試験番号 1 0



試験番号 1 1



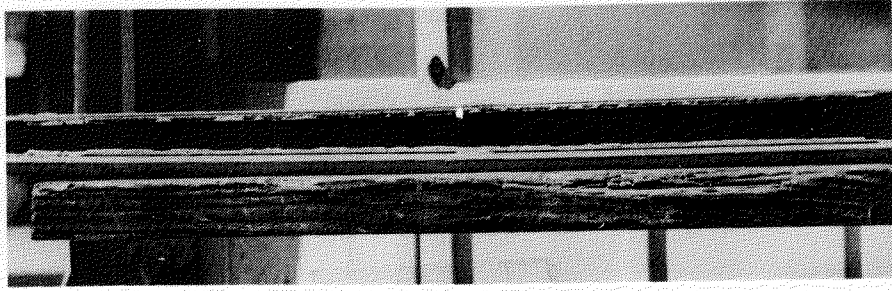
試験番号 1 2



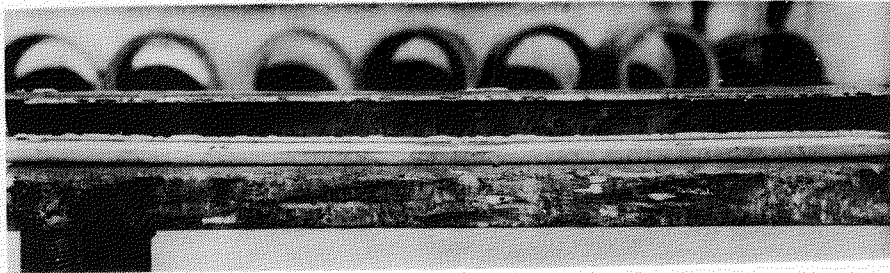
試験番号 1 3



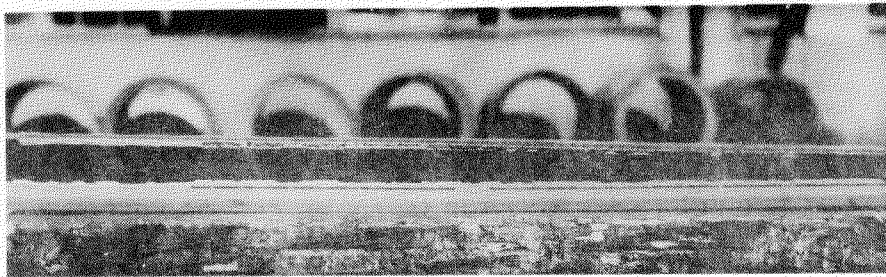
試験番号 1 4



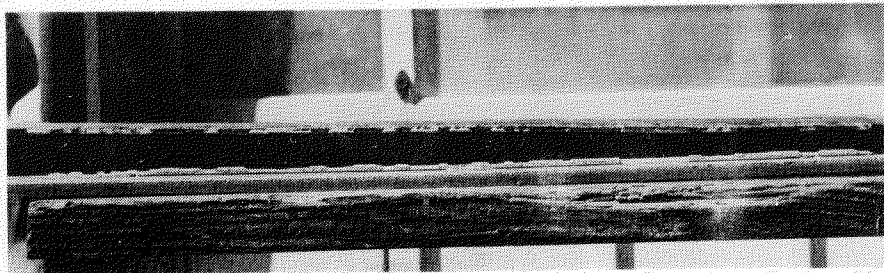
試験番号 15



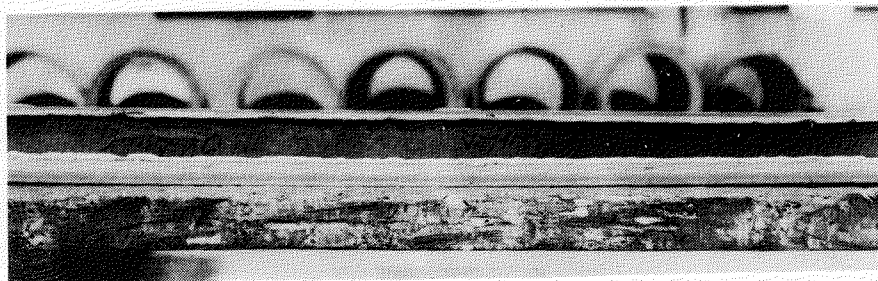
試験番号 16



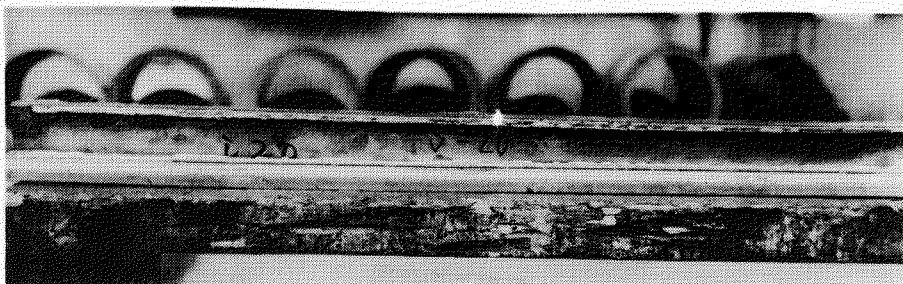
試験番号 17



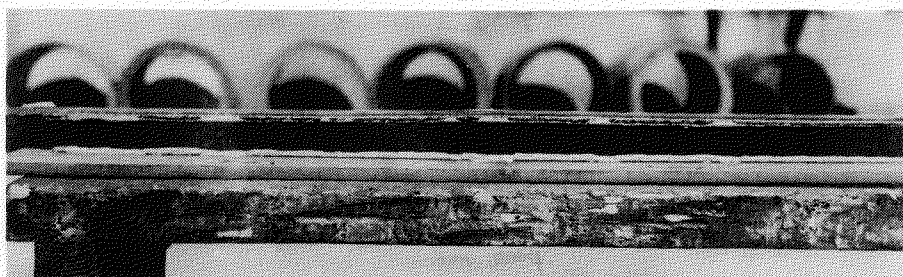
試験番号 18



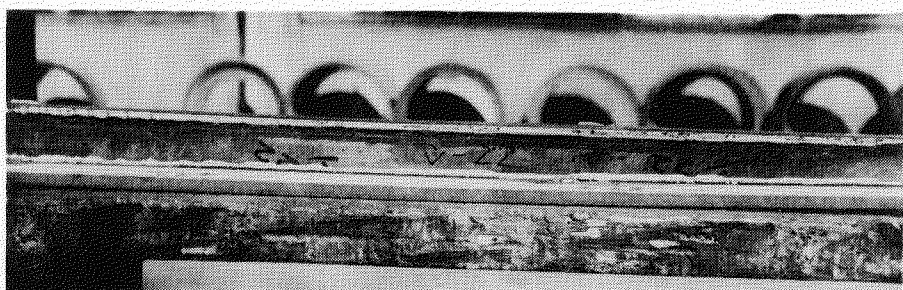
試験番号 19



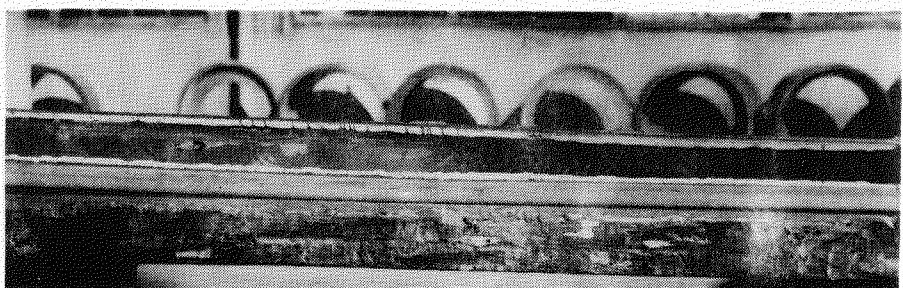
試験番号 20



試験番号 21



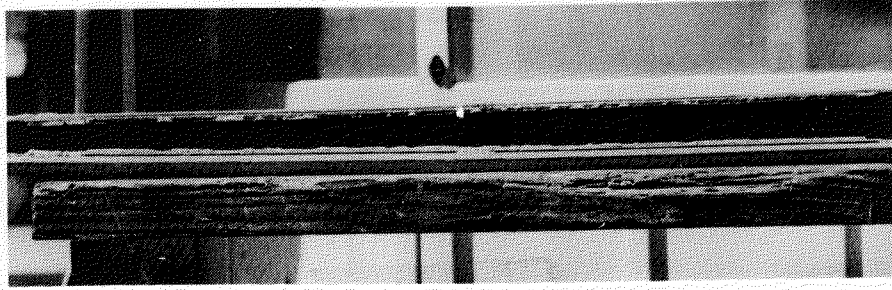
試験番号 22



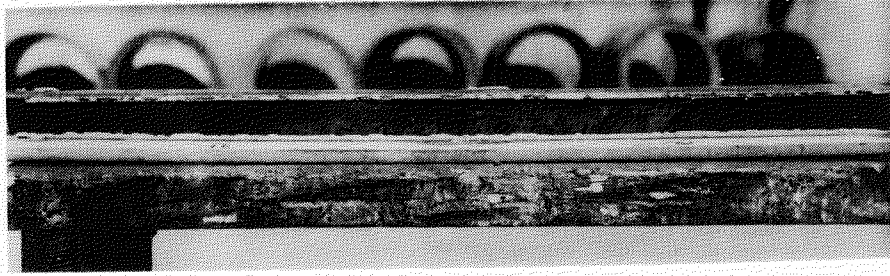
試験番号 23



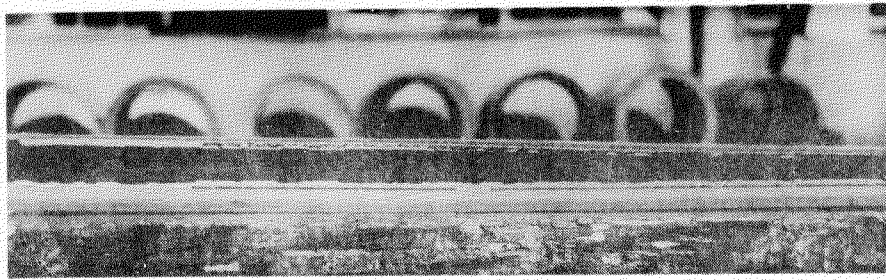
試験番号 25



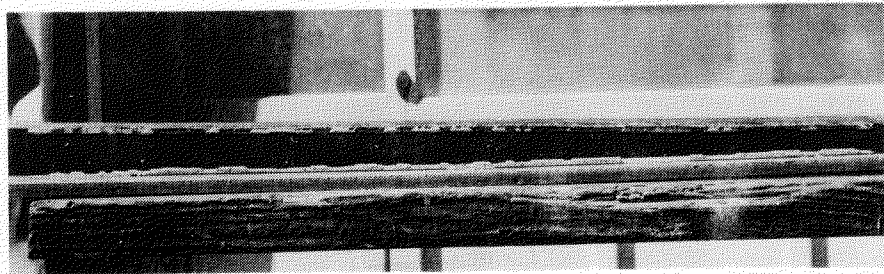
試験番号 15



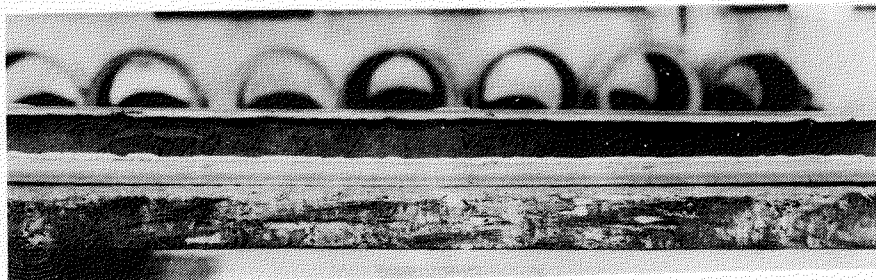
試験番号 16



試験番号 17



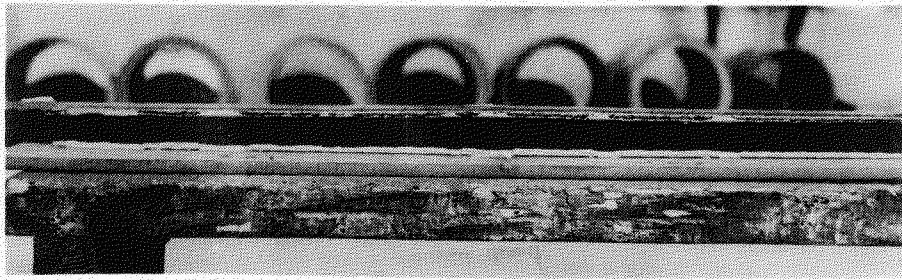
試験番号 18



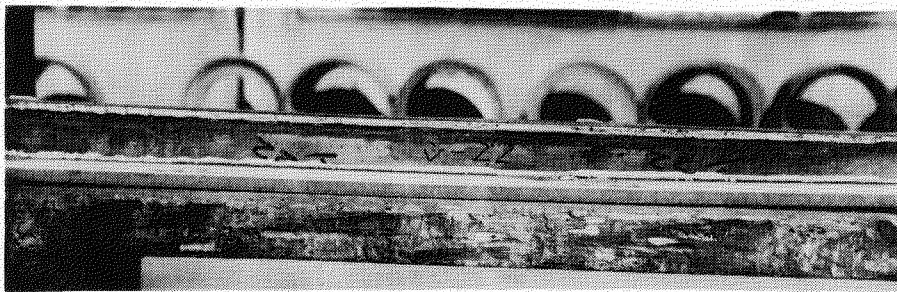
試験番号 19



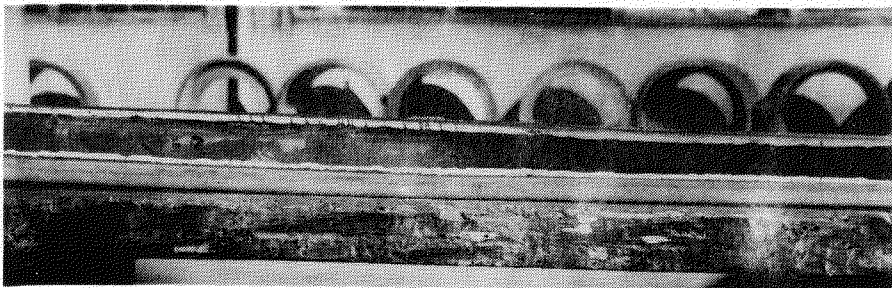
試験番号 20



試験番号 21



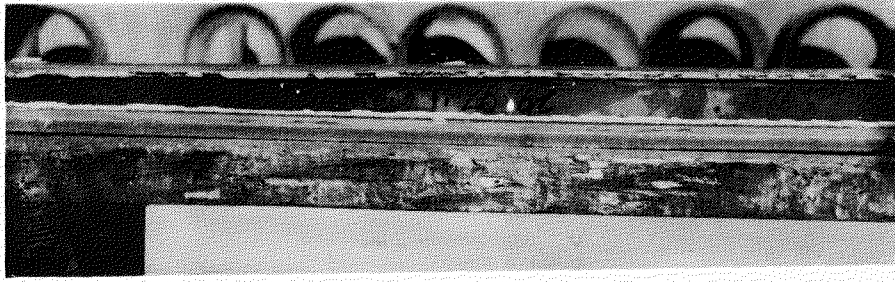
試験番号 22



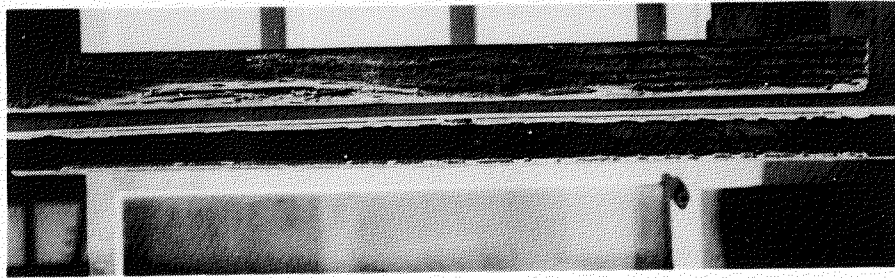
試験番号 23



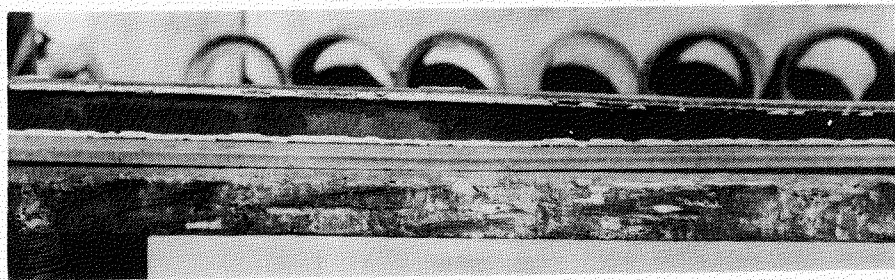
試験番号 25



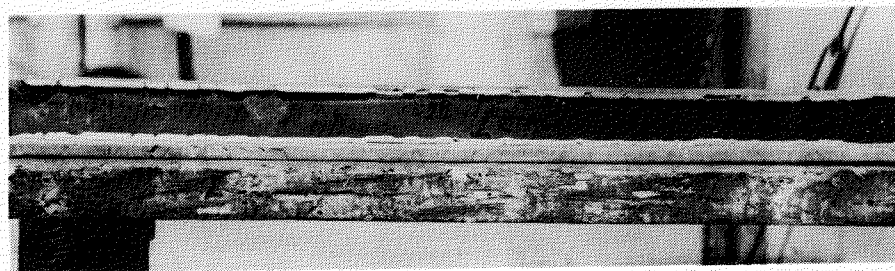
試験番号 26



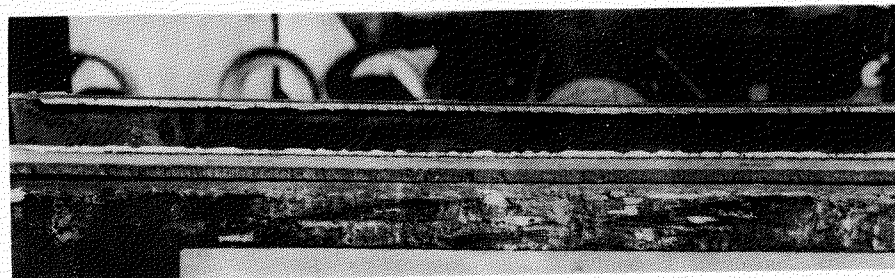
試験番号 27



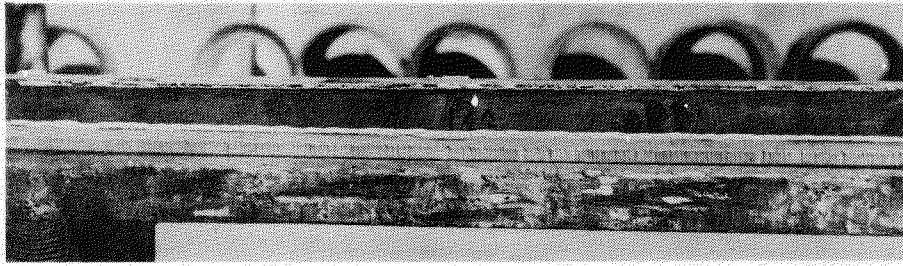
試験番号 28



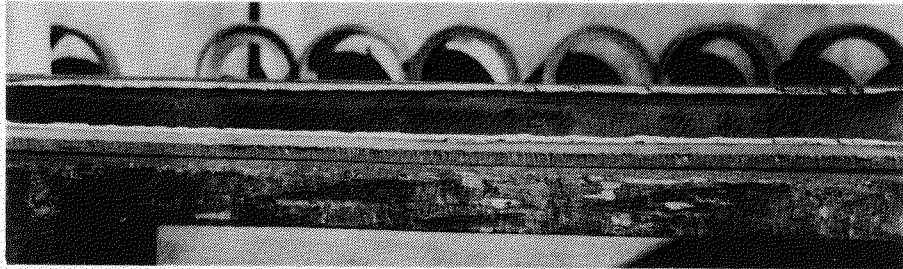
試験番号 29



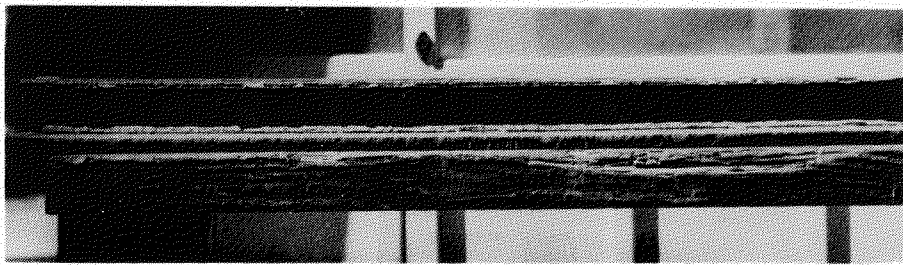
試験番号 30



試験番号 3 1



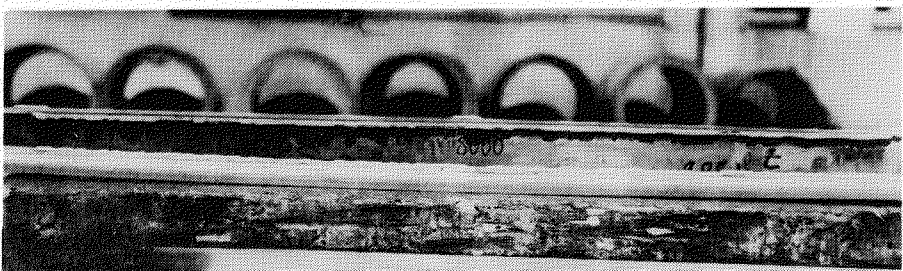
試験番号 3 2



試験番号 3 3



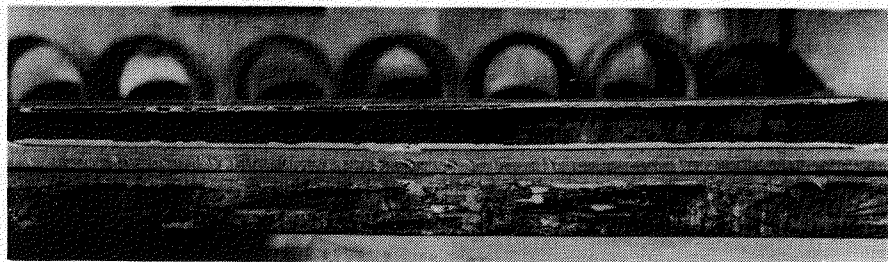
試験番号 3 4



試験番号 3 5

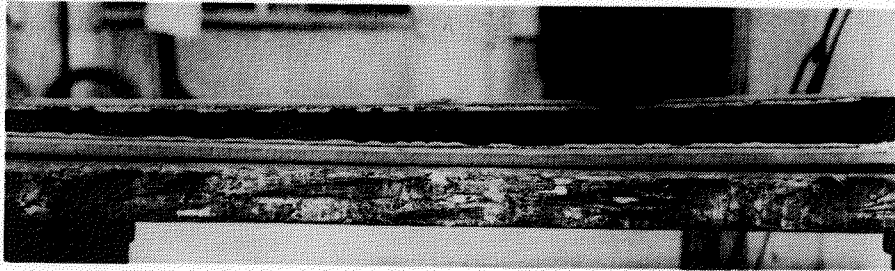


試験番号 36

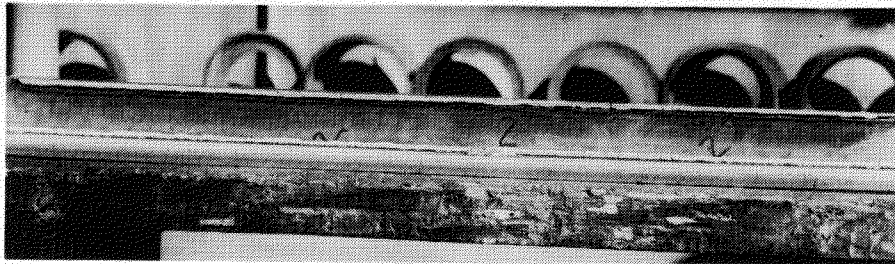


試験番号 37

B 社 溶接棒によるグラビティ溶接破断面



試験番号 1



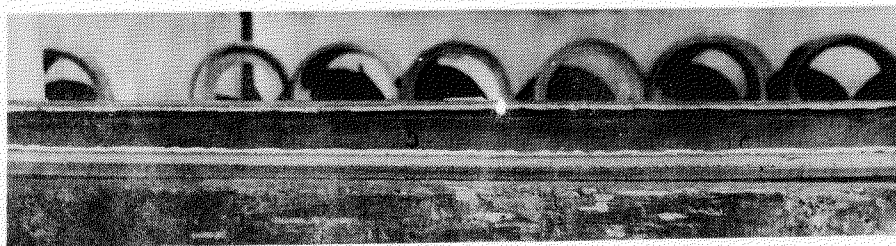
試験番号 2



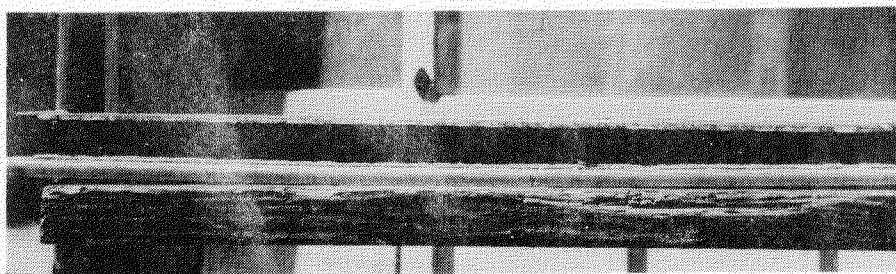
試験番号 3



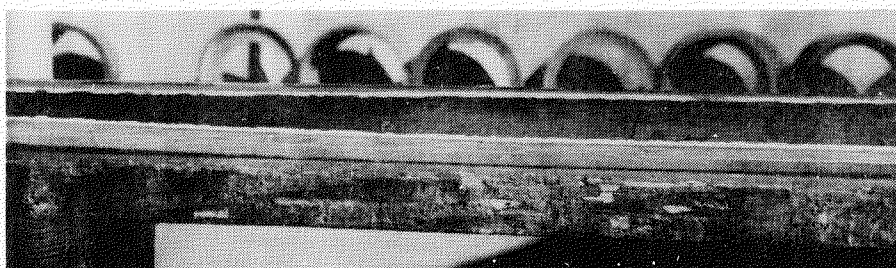
試験番号 4



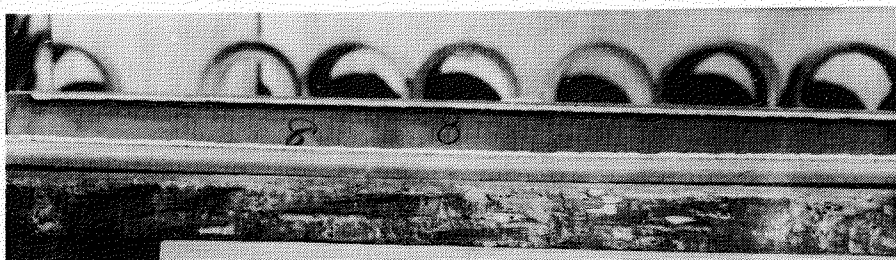
試験番号 5



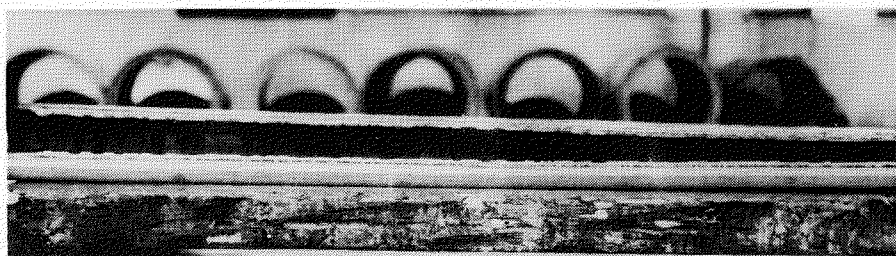
試験番号 6



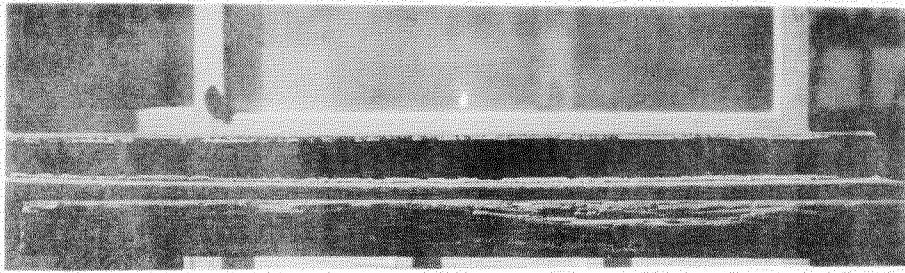
試験番号 7



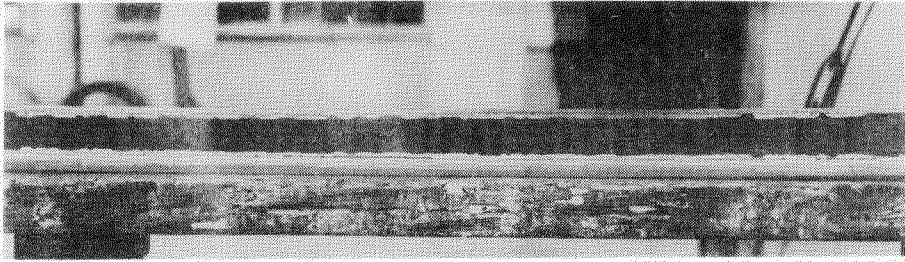
試験番号 8



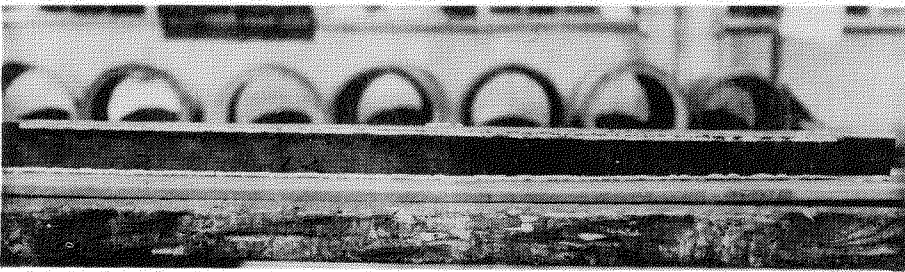
試験番号 9



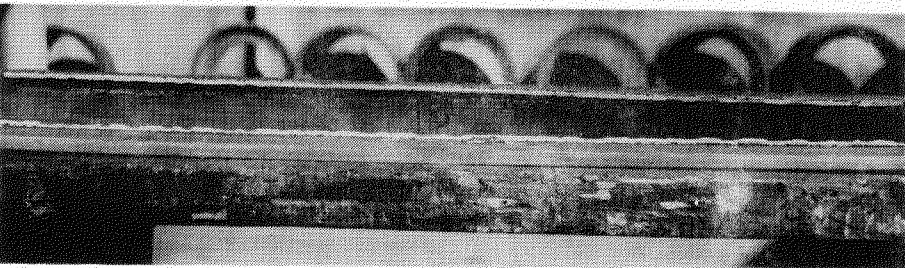
試験番号 1 0



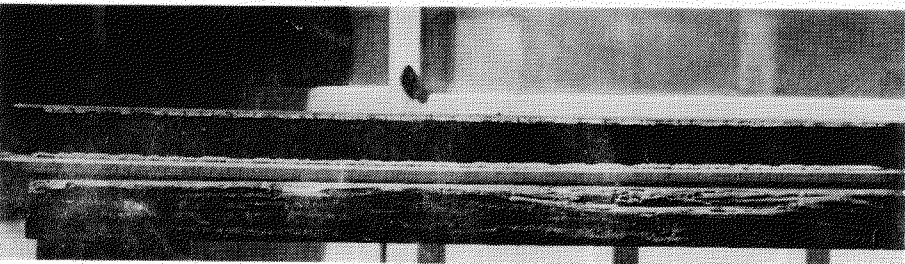
試験番号 1 1



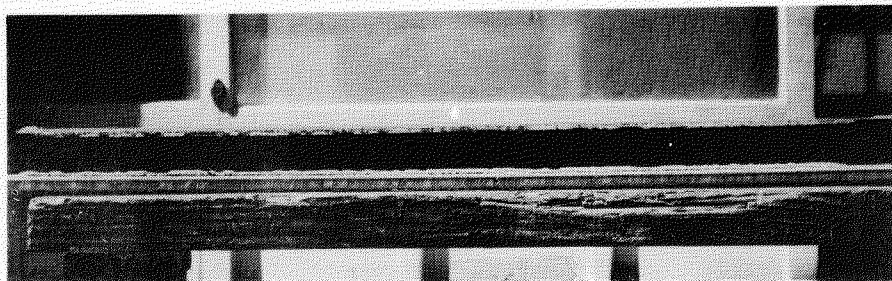
試験番号 1 2



試験番号 1 3



試験番号 1 4



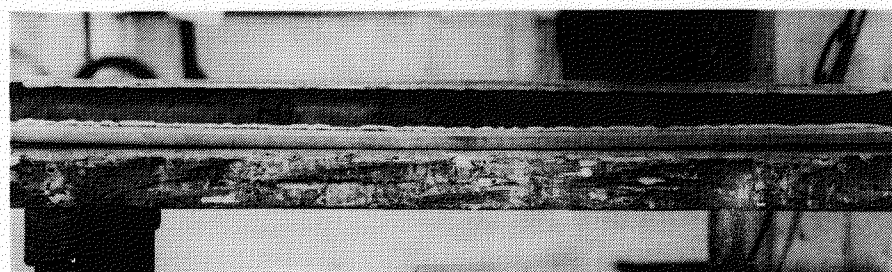
試験番号 15



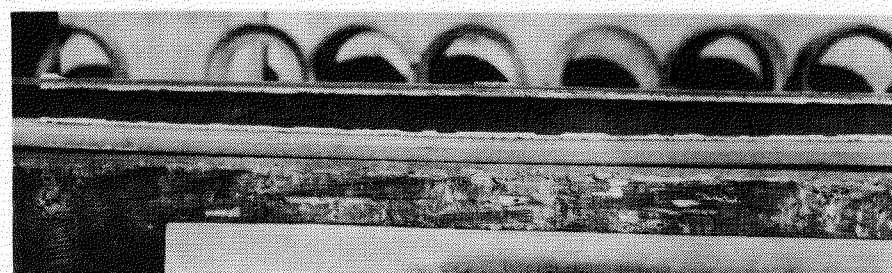
試験番号 16



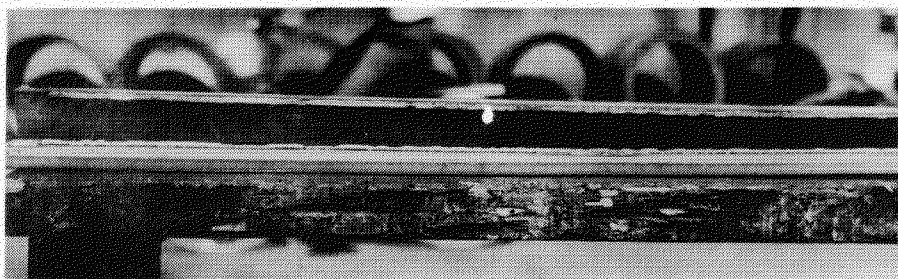
試験番号 17



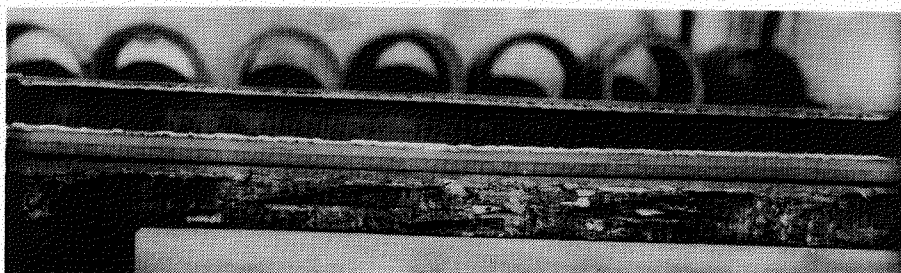
試験番号 18



試験番号 19



試験番号 2 0



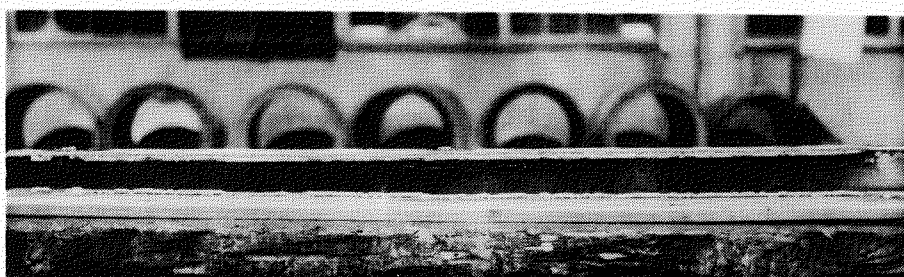
試験番号 2 1



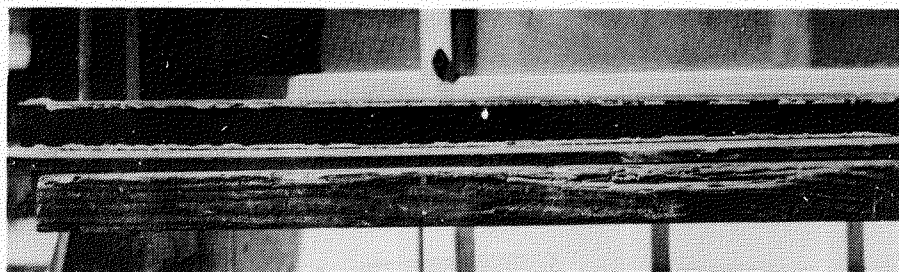
試験番号 2 2



試験番号 2 3



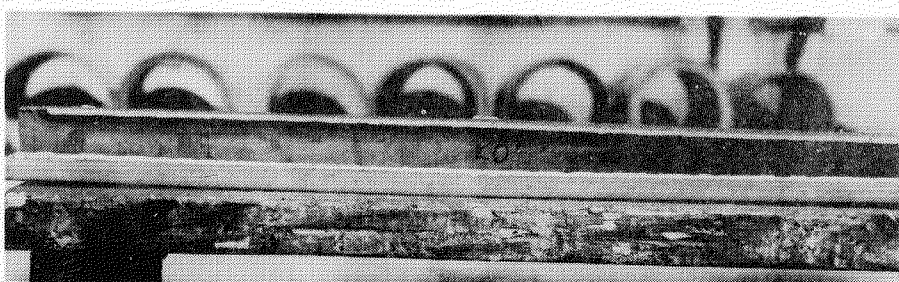
試験番号 2 5



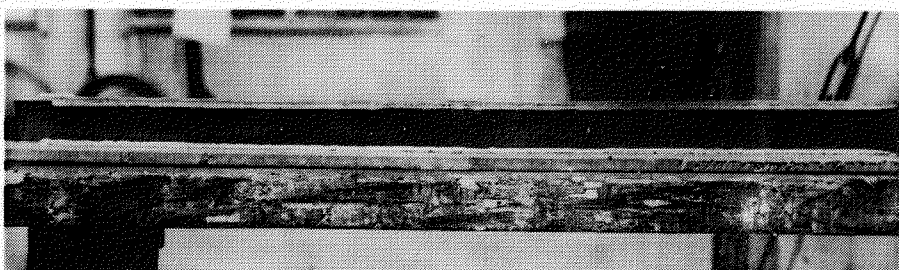
試験番号 26



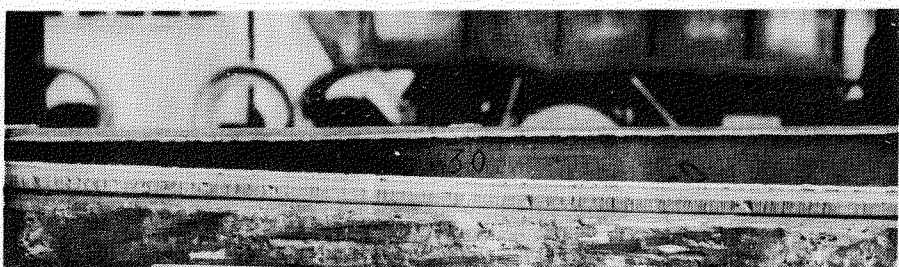
試験番号 27



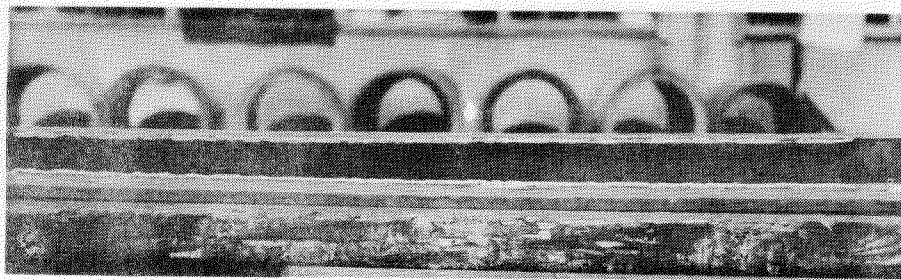
試験番号 28



試験番号 29



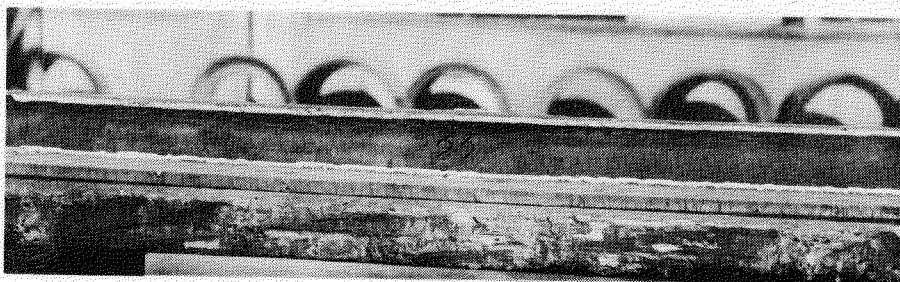
試験番号 30



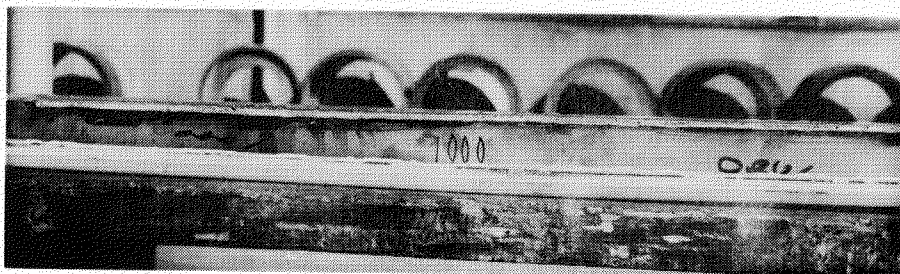
試験番号 3-1



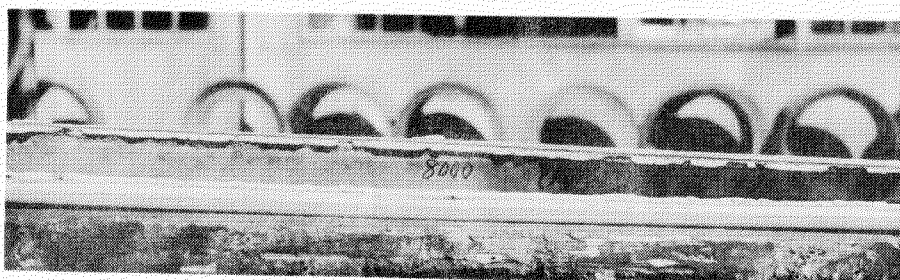
試験番号 3-2



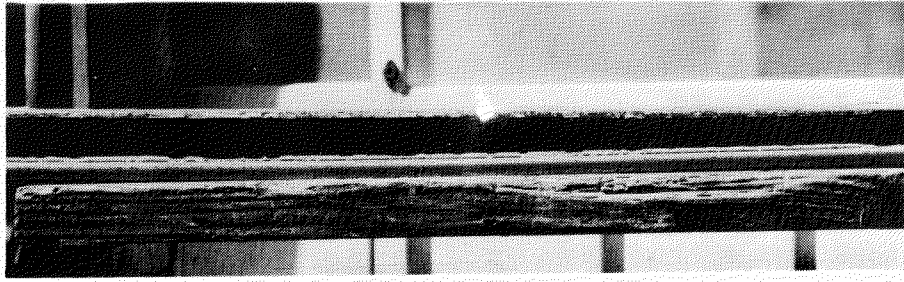
試験番号 3-3



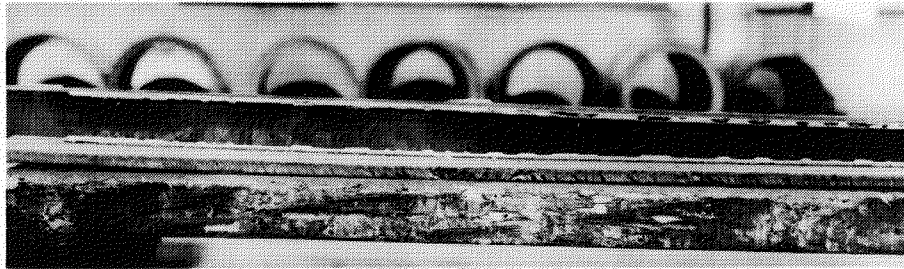
試験番号 3-4



試験番号 3-5



試験番号 36



試験番号 37

3. 電 気 防 食 の 研 究

3.1 外部電源法による自動制御の研究

3.1.1 実船試験

本報告は昭和41、42年度に行なつた試験を基礎として「外部電源による自動防食装置」を実船に適用し、装置の制御特性、船体電位分布、経時変化等の調査を行なつたものである。

研究対象船として、川崎汽船(株)所属の八洲川丸を提供して戴き、本船の入渠期間を利用し、上記装置をとりつけ、出渠後初期調整を行ない帰港の都度点検し、1ヶ年連続運転後の外板状況等を調査した。

3.1.2 防食対象

八 洲 川 丸 : 5 2,2 5 8 D W T 鉾石船

主 要 寸 法 : 全長220.6 m 型巾30.4 m 型深17.4 m 満載吃水11.3 m 推進器 直径6 m

船 体 塗 料 : 油性系 塗料

浸 水 面 積 : 船体 約8,500 m² 推進器 36 m²

防 食 対 象 : 船尾部を主防食対象とする

3.1.3 調査期日

装 置 取 付 : 昭和43年3月14日～16日 於 日本鋼管(株)浅野船渠

初期調整および試験 : 昭和43年3月20日～23日 横浜港内

中 間 点 検 : 昭和43年5月24日 於 川崎製鉄(株)千葉製鉄所

昭和43年9月30日

”

入 渠 後 調 査 : 昭和44年3月20～30日 於 川崎重工業(株)神戸工場

3.1.4 装 置

(a) 自動防食電源装置

交 流 入 力 : 440 V 60 ϕ

直 流 出 力 : 18 V 100 A 2回路 1台

上記装置をエンジンルームのボイラーフラット、右舷側に設置した。(写真3.1.1参照)

(b) 陽 極

FRP支持台にモールドされた5 m長さの鉛銀陽極4本を船尾部外板にとりつけた。船体貫通部は、貫通金具にとりつけられた電線用グラントにて漏水を防止し、エポキシ樹脂を充填して安全を期した。さらに、貫通部保護箱を使用し、陽極よりの電線と電源装置よりの電線を保護箱内にて接続し、接続部はエポキシ樹脂にて絶縁被覆を行なった。なお、保護箱の電線引出部は電線グラントを使用した。

(写真3.1.2および写真3.1.4参照)

(c) 照合電極

FRP支持台にモールドされた純亜鉛照合電極を使用した。取付位置は船尾部右舷2箇所、左舷1箇所、船首部右舷1箇所である。貫通部構造は陽極と同一構造のものをを使用した。(写真3.1.3参照)

(d) 配 線

電極より保護箱内までは、SRLC 8口の電線を使用し、保護箱より直流電源装置までの陽極配線は、SRYC 8口の電線、照合電極配線は1.25口の電線を使用した。

(e) 船体内の電気的接続

推進器軸は回転時に船体と電気的に絶縁される事があるので、カーボンブラシを船内軸受付近にとりつけ、船体と軸を接続した。(写真 3.1.5 参照)

(f) 測定記録装置

自動防食装置の稼働状況を調査するため、自記記録計を電源装置のとなりに設置し、出力電圧、出力電流、外板電位(3箇所)の記録を測定できるようにした。

(g) 特殊塗装区域

(i) 陽極近傍

陽極近傍の過剰防食電流流入による塗膜の劣化状況を調査するため、右舷側陽極の周囲 $2\text{ m} \times 7\text{ m}$ の範囲内をサンドブラストを行ない、特殊塗装をほどこした。後部陽極の周辺を A 社、前部陽極の周辺を B 社が塗装を行なった。

(ii) 防食塗装試験区域

防食電流が塗膜に与える影響を調査するため、比較的防食電流の多い部分、すなわち、船尾部陽極と陽極の間部(右舷)および防食電流の少ない部分、船首部ビルジキール前方約 3 m (右舷)の2箇所の区域を選定した。

おのおのサンドブラストを行なった後、C 社、D 社の塗料により、A C、1 回、2 回、3 回に塗り分け塗装を行なった。

(iii) 防汚塗装試験区域

本試験は、上記防食塗装試験とは関係なく、船首部ビルジキール前方約 5 m (右舷)の位置に、 $2\text{ m} \times 8.5\text{ m}$ の試験区域を設け、これを7等分し、5社7種類の防汚塗料を塗装した。(写真 3.1.6 参照)これらの概略位置は下図の通りである。

3.1.5 初期調査結果

(a) 停泊中電位測定

下図の各測定点につき、計測を行なった。

人工海水—塩化銀照合電極および真空管電位差計使用

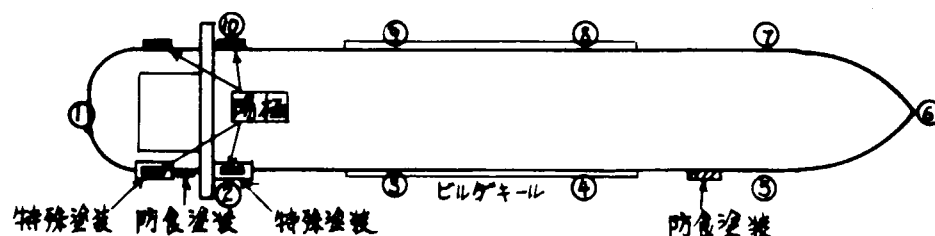


表 3. 1. 1

単位 mV

測 定 点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
* 1 自然電位	-635	-570	-540	-550	-560	-565	-540	-540	-545	-580
* 2 通電電位	-710	-855	-620	-610	-610	-610	-595	-595	-600	-760
電 位 変 化 量	75	285	80	60	50	45	55	55	55	180

* 1 出渠2日後

* 2 3. 1. 4(b)による 通電2日後

電 源 接 続 図

(b) 停泊時通電特性

右舷側陽極2本を1括して電源装置へ1回路に、左舷側を2回路に接続した。

また、照合電極は右舷後部の陽極に近い電極をNo.1、陽極と陽極の中間部をNo.2、左舷側をNo.3とした。

(i) 初期通電、その1

No.1 照合電極を自動制御の検出電極とし、
-900 mV (換算) に設定し、通電した。

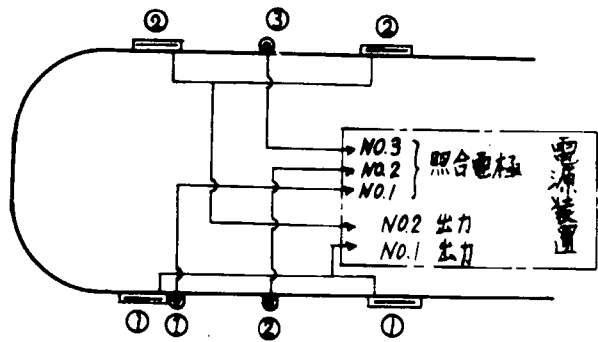


表 3. 1. 2

	V ₁	V ₂	A ₁	A ₂	No.1 mV ₁	No.2 mV ₂	No.3 mV ₃
通電 1時間後	5.8V	5.9V	25A	22A	-915mV	-710mV	-680mV
通電 20時間後	5.0	5.0	22	20	-900	-760	-720

(ii) 初期通電 その2

No.2 照合電極を自動制御の検出電極とし、-800 mVに設定して通電した。

表 3. 1. 3

	V ₁	V ₂	A ₁	A ₂	No.1 mV ₁	No.2 mV ₂	No.3 mV ₃
通 電 直 後	9.3V	9.5V	58A	56A	-1080mV	-810mV	-760mV
" 2.4 H	7.5	7.5	39	38	-980	-825	-770
" 3.0 H	5.3	5.5	25	23	-920	-800	-730
" 4.7 H	4.8	4.5	18	18	-880	-790	-740

(iii) 陽極浴電圧-電流特性

右舷後部陽極

表 3. 1. 4

電 流	0 A	1 0 A	2 0 A	3 0 A	4 0 A	5 6 A
浴 電 圧	2. 2 V	4 V	6. 2 V	8. 1 V	1 0 V	1 1. 8 V

(c) 試運転時 通電特性

試 験 期 日 昭和 4 3 年 3 月 2 3 日

試 験 場 所 東京湾内

自動制御検出電極 No. 2

設 定 電 位 - 8 0 0 mV

表 3. 1. 5

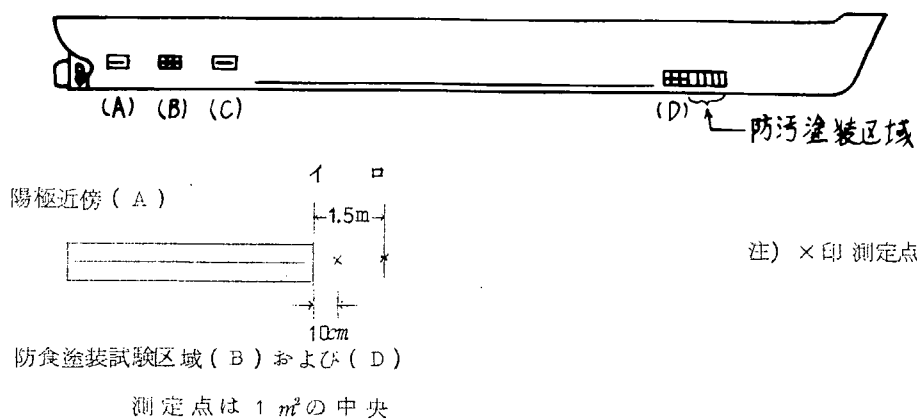
時間	V ₁	V ₂	A ₁	A ₂	No. 1 mV	No. 2 mV	No. 3 mV	備 考
2-00	5.0 V	5.0 V	2 0 A	2 0 A	- 9 2 0 mV	- 8 0 0	- 7 6 0	離 岸 曳 航 * (-610) (-610) (-620)
2-05	5.4	5.4	2 7	2 6	- 9 4 0	- 7 9 0	- 7 6 0	
2-10	5.8	5.5	2 8	2 7	- 9 4 0	- 7 9 0	- 7 7 0	
2-15	5.8	5.6	2 7	2 7	- 9 4 0	- 7 9 0	- 7 7 0	4 0 RPM (-620)
2-20	6.0	5.8	2 8	2 7	- 9 3 0	- 7 9 0	- 7 7 0	" (-620)
2-25	6.0	5.8	2 8	2 7. 5	- 9 4 0	- 7 9 0	- 7 7 0	" (-620)
2-30	6.0	6.0	3 2	3 0	- 9 5 0	- 7 9 0	- 7 7 0	7 2 RPM (-630)
2-35	6.7	6.5	3 6	3 3. 5	- 9 7 0	- 7 8 5	- 7 7 0	" (-630)
2-40	6.8	6.8	3 7	3 5	- 9 7 0	- 7 8 5	- 7 6 0	" (-630)
2-45	7.1	7.1	4 0	3 8	- 9 8 0	- 7 8 0	- 7 5 0	" (-640)
2-50	7.8	7.7	4 7	4 3	- 1 0 0 0	- 7 7 5	- 7 5 0	" (-640)
2-55	8.0	7.8	4 9	4 7	- 1 0 0 0	- 7 7 5	- 7 5 0	5 5 RPM (-640)
3-00	8.2	8.0	5 0	4 8	- 1 0 0 0	- 7 7 5	- 7 5 0	停 止 (-640)
3-05	8.0	7.8	4 7	4 5	- 1 0 0 0	- 7 8 0	- 7 6 0	" (-640)
3-10	8.0	8.0	4 8	4 6	- 1 0 1 0	- 7 8 0	- 7 6 0	" (-640)
3-15	7.8	7.6	4 6	4 4	- 1 0 0 0	- 7 8 0	- 7 6 0	5 5 RPM (-640)
3-20	8.0	7.8	4 7	4 5	- 1 0 1 0	- 7 8 0	- 7 5 0	" (-640)
3-25	8.0	7.8	4 7	4 5	- 1 0 0 0	- 7 8 0	- 7 5 0	8 0 RPM (-640)
3-30	8.2	8.0	4 9	4 7	- 1 0 1 0	- 7 8 0	- 7 5 0	" (-640)
3-35	8.4	8.3	5 2	5 0	- 1 0 2 0	- 7 8 0	- 7 5 0	" (-640)
3-40	8.7	8.6	5 3	5 1	- 1 0 2 0	- 7 8 0	- 7 5 0	" (-640)
3-45	8.7	8.5	5 4	5 1	- 1 0 2 0	- 7 8 0	- 7 5 0	" (-640)

時間	V ₁	V ₂	A ₁	A ₂	電位1 mV	電位2 mV	電位3 mV	備考
3-50	8.5 V	8.5 V	5.2 A	4.9 A	-1010 mV	-780	-760	80RPM (-640)
3-55	8.7	8.6	5.4	5.2	-1020	-780	-750	" (-640)
4-00	9.0	8.8	5.5	5.3	-1020	-780	-750	" (-640)
4-05	9.0	9.0	5.6	5.3	-1025	-780	-760	" (-640)
4-10	9.3	9.0	5.8	5.6	-1020	-780	-750	" (-640)
4-15	9.0	8.8	5.5	5.2	-1020	-785	-760	" (-640)
4-20	9.0	8.8	5.6	5.3	-1020	-780	-760	" (-640)
4-25	9.2	9.2	5.7	5.3	-1020	-780	-750	" (-640)
4-30	9.3	9.2	5.8	5.6	-1025	-780	-760	" (-640)

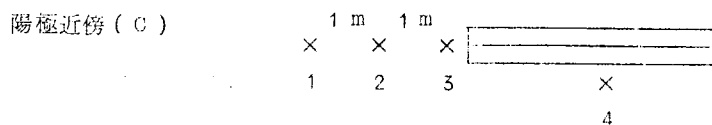
* (注) 備考中の () 内の数値は船首部、照合電極による測定値

(a) 塗膜抵抗初期測定

(i) 測定位置



	1回塗	2回塗	3回塗
上	1	2	3
下	×	×	×
	1	2	3



(ii) 測定値

表 3. 1. 6

項 目	測 定 点	R	C	$\tan \delta$
陽極近傍 (A)	(イ)	1600K Ω	$1.0 \times 10^{-3} \mu F$	0.10
	(ロ)	1200K Ω	$8.0 \times 10^{-4} \mu F$	0.17
陽極近傍 (C)	1 (一般塗装)	1000K Ω	—	
	2 (")	1000K Ω	$3.0 \times 10^{-3} \mu F$	0.05
	3	1000K Ω	$3.9 \times 10^{-3} \mu F$	0.04
	4	1000K Ω	$4.1 \times 10^{-3} \mu F$	0.04
防食塗装試験 区域 (B)	上 1	200K Ω	$6.0 \times 10^{-3} \mu F$	0.13
	" 2	1100K Ω	$2.0 \times 10^{-3} \mu F$	0.07
	" 3	1000K Ω	$3.0 \times 10^{-3} \mu F$	0.05
	下 1	—	—	
	" 2	1200K Ω	$4.0 \times 10^{-3} \mu F$	0.03
	" 3	1000K Ω	—	
防食塗装試験 区域 (D)	上 1	—	—	
	" 2	1200K Ω	$5.1 \times 10^{-3} \mu F$	0.03
	" 3	1000K Ω	$7.1 \times 10^{-3} \mu F$	0.02
	下 1	—	—	
	" 2	1500K Ω	$4.5 \times 10^{-3} \mu F$	0.02
	" 3	—	—	
	1 般	100K Ω	—	

注) 1) 1Kcycle/sec

2) dm^2 アルミ箔をNaCl (3%) + CMC (2%) で測定面に貼る

3) アルミ箔取付後20分で測定

3. 1. 6 中間点検状況

昭和43年3月に自動防食電源装置をとりつけ、その後5月24日および9月30日に本船が川崎製鉄(千葉)に寄港の際装置の点検を行なった。

電源装置は初期の計画の如く順調に動作している。

装置とりつけ直後より、1航海の間は陽極より10m離れた位置にある照合電極を入力信号とし、-800mVに設定して稼働させたが、初期の計画より陽極とりつけ数の少ないことや、外板の塗膜抵抗が意外に低いこと等のために、電位分布の減衰が大きく、陽極周辺の一般塗装の劣化が心配されたので、5月24日(2航海目)より陽極から1m離れた位置にある照合電極を装置の入力信号とし、-850mVに設定して稼働させている。

表3. 1. 7に示した9月30日の外板電位測定結果では船首部で-630mVで防食電位にはほど遠い値であるが、

装置とりつけ前の自然電位 -560 mV に比しわずかつづではあるが、分極は進行している模様である。この程度の防食状態では塗膜の劣化防止による燃料費の軽減は明確には把握することは困難であるが、9月30日の外板状況ではアオサが1面に付着し、貝類もかなりついており（一般塗装部）これが船の速度減の主要因によっているものと考えられる。

また、航行中の外板電位および出力電流の自記記録計による記録を図3.1.1に示す。

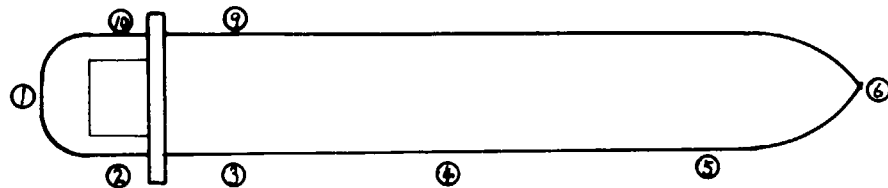


表 3.1.7

昭和43年9月30日 測定

測定点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
外板電位	-730	-735	-835	-635	-630	-630	-820	-705

海水塩化銀電極基準

単位 mV

3.1.7 入渠後の調査結果

(a) 防食状況

前年度の入渠時には船体外板部の流電陽極は消費したままの状態、とり替えを行わずに出渠したが、推進器、近傍、舵部には激しい腐食は見受けられず、船尾部はおおむね良好な防食状況にあった。

推進器は暗褐色を呈しており、腐食が進行している部分は全くなかった。鋳鉄製の推進器ボスは先端部付近にかなり深い孔食部分のあるのが、発見されたが、他の面にも孔をセメントにて充填した跡があり、従来よりあつた孔と推定される。

船の中央部より前の外板は、場所により軽微ではあるが局部腐食を生じているところもあり、防食電流は主に船尾部のみにとどまり、防食電流の到達が不十分であつたためと考えられる。（写真3.1.7参照）

(b) 不溶性陽極

3.1.4項のごとく、本船にとりつけた陽極は、巾1cm、長さ5mの細長い鉛銀合金陽極を使用したものであるが、電線取り出し口は端部1個所であるため、発生電流に不均一を生ずることが心配された。今回の入渠時の視察検査の結果、過酸化鉛の被膜もほとんど均一に形成されており、また、陽極近傍の塗膜の剥れ具合等より見て（写真3.1.8参照）全長にわたり均一に電流が流出している事が判明した。

また、1年度目の静止海水中の調査では、溶出した酸化鉛の1部が近くの絶縁板上に付着し、これが外板と陽極とを短絡する傾向が見られたが、今回の調査ではFRP板上には鉛銀合金による生成物は何ら見あたらなかった。

陽極を保持しているFRP材は、陽極より発生する塩素ガス等にもおかされず、また、機械的損傷や変形もうけておらず、生物の付着もなく、適材であると考えられる。

陽極と電線の接続部はFRP材内部で行なっているが、FRPはピンホールが多く、また、金属に対して接着性にも乏しく、銅線等の溶性金属の絶縁には不向である。したがって、電線取付部はエポキシ樹脂等で完全絶縁シールドし、これをFRP中にモールドすべきである。

前年とりつけた陽極の中に上記措置の不十分なものがあり、4本中3本は完全な状況にあつたが、1本だけとはりつけ不良により断線したので、今回の入渠時に修理を行なつた。取り出し電線には船用の単心ゴム絶縁ビニルシース総代ガイ装ケーブルSRCを用いたが、鉛皮に割れが生じ易く、さらに鉛皮は船体に接地されることとなるので陽極の接続線としては不向であると考えられる。

(c) 照合電極

入渠直後の視察状況では、~~1~~1 照合電極（右舷陽極近傍・・・自動装置検出用に使用）は光つて見え、他はアオサが多小付着していた。

不通電時の3個所の照合電極電位は一致しているので、とくに問題はないが、常時ごくわずかの電流を流していた方が、照合電極面に生物の付着等を防ぎ、好結果と考えられる。その他今回の純亜鉛を用いた照合電極で、性能上、構造上の欠陥はなかつた。

(d) 塗 装

前回の入渠時に施工された右舷船尾側の陽極近傍、A社特殊塗装部は、写真3.1.8に示すごとく、1部を除き施工した当時のままの状態であつたが、陽極より30cm以内の塗装はほぼAFが剝離し、1部ACが露出しており粗雑で5mm程度厚さのエレクトロコーティング、右舷、船首側の陽極近傍はB社で特殊塗装を施工したが、写真3.1.9に示すごとく、AFがほぼ一面に剝離し、AC面が露出していた。

塗膜抵抗測定の結果は下表のとおりである。

		R	C	$\tan \delta$
右舷船尾側陽極近傍	1	0.3 K Ω	0.06 μ F	8.9
"	2	2.3 K Ω	0.03 μ F	0.423
右舷船首側陽極近傍	1	0.1 K Ω	1.31 μ F	1220
"	2	0.2 K Ω	0.15 μ F	532

上表を表3.1.6の初期塗膜抵抗測定値と比較すると、桁違いに劣化している。この特殊塗装区域のAC塗料は、いずれも金属粉末が含有されており、初期の測定値はAF塗料が完全乾燥してない状態で、余儀なく測定したため、かなり高い値が測定されたとも考えられる。いづれにしても陽極周辺の塗装はさらに検討し、高電位に耐え得るものを開発する必要がある。

防食塗装区域の塗装は、外板一般部の塗膜と比較し、塗膜厚さが薄いためアオサが大量に付着しており、塗膜抵抗測定結果も2個所ともほとんど0 ohmに近い値で、電気防食併用による効果判定までに到らなかつた。

（写真3.1.10参照）

3.1.8 結 論

初年度に行なつた自動防食装置を構成する各部品の調査にもとづき、照合電極には亜鉛照合電極を用い、不溶性陽極にはFRPにモールドされた鉛銀合金陽極を使用して、2年度に行なつた自動防食電源装置を実船にのせて約1年間の実船試験を行なつたが、自動防食装置を構成する各部分とも初期の計画通り動作した。

船体外板の防食効果は、船尾付近はほぼ防食状態に達したが、電源装置容量変更等のために船首部までは防食状態に達しなかった。

本研究は今年度で一応終了したが、実船にとりつけた自動防食装置は引き続き稼働させ、調整を行ないつつ、長期防食の効果を調査することとしている。

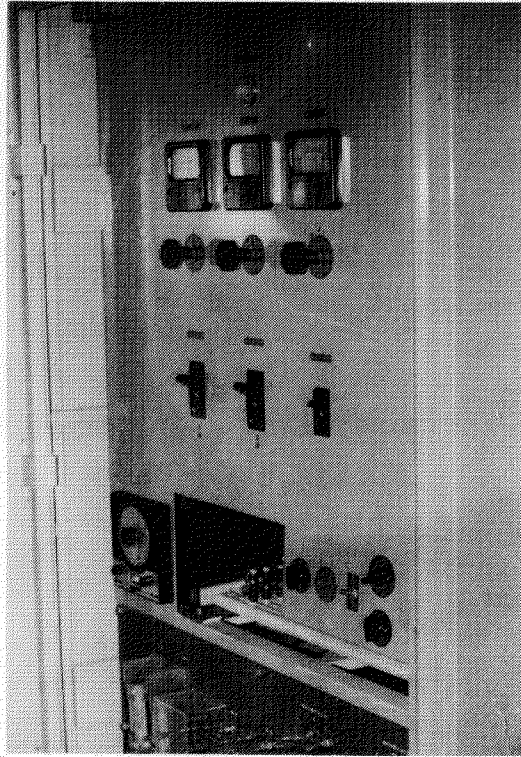
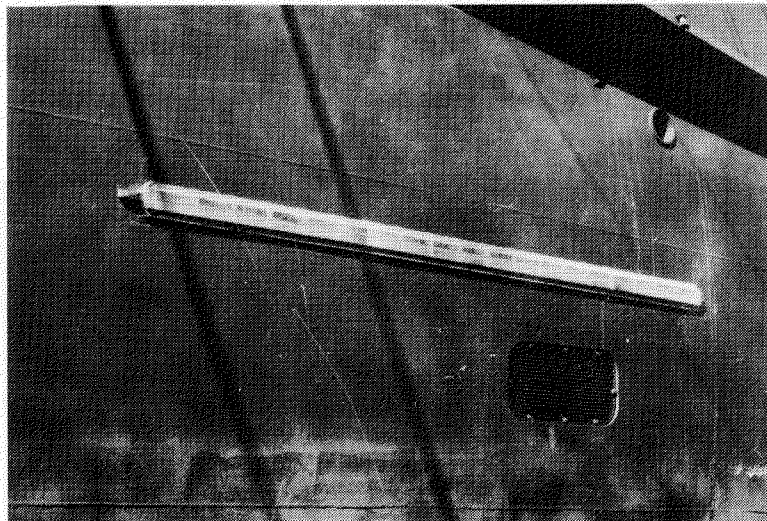


写真 3. 1. 1 自動防食電源装置



3. 1. 2 陽 極

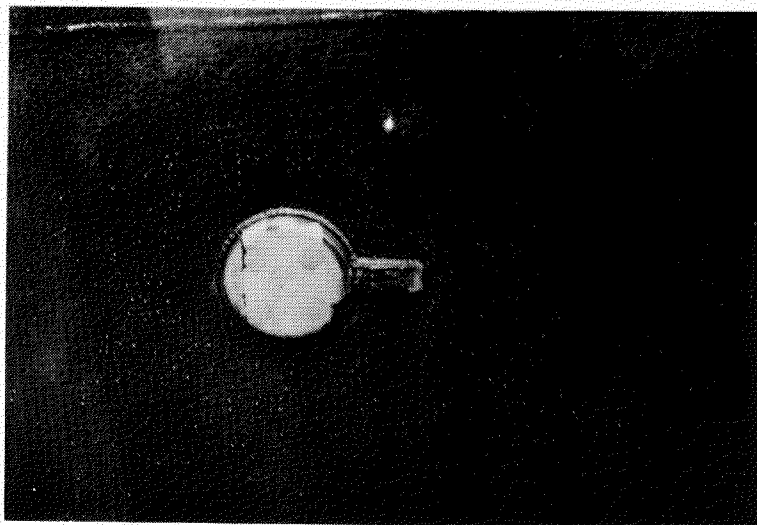


写真3.1.3 照合電極

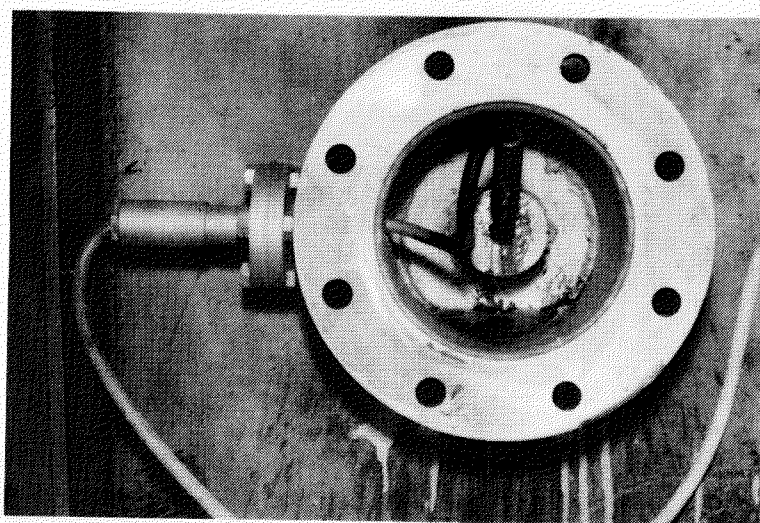


写真3.1.4 貫通部保護箱

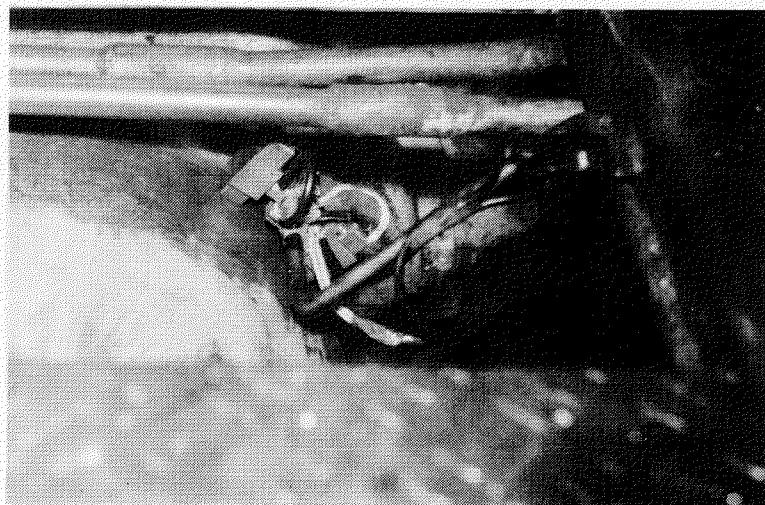


写真3.1.5 推進器軸接地

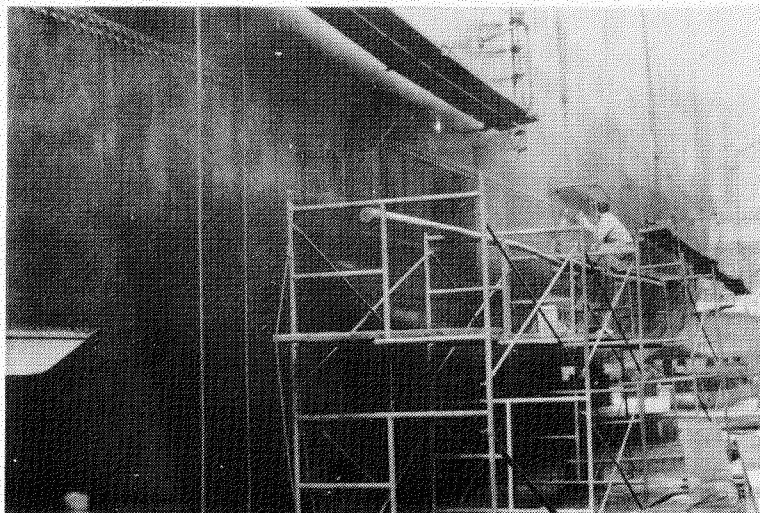


写真 3. 1. 6 防汚塗装試験区域

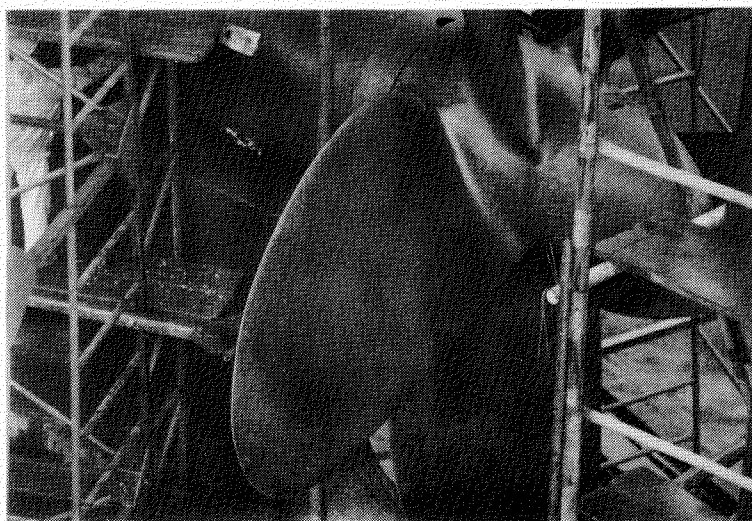


写真 3. 1. 7 船 尾 部



写真 3. 1. 8 ▲社特殊塗装部



写真 3. 1. 9 B 社特殊塗装部

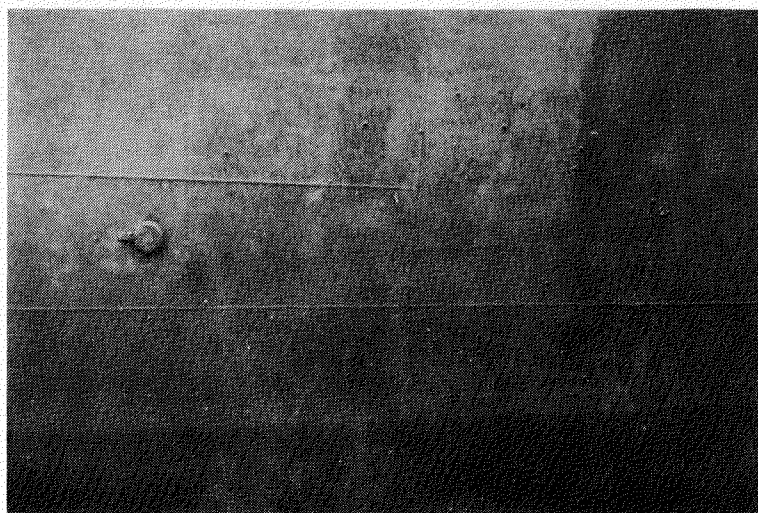


写真 3. 1. 1 0 防食塗装区域

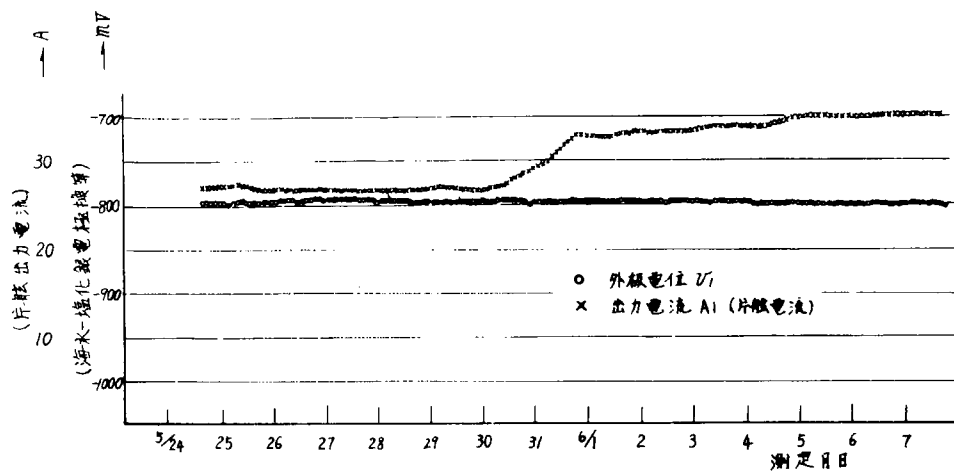


図 3. 1. 1 航行中の外板電位および出力電流

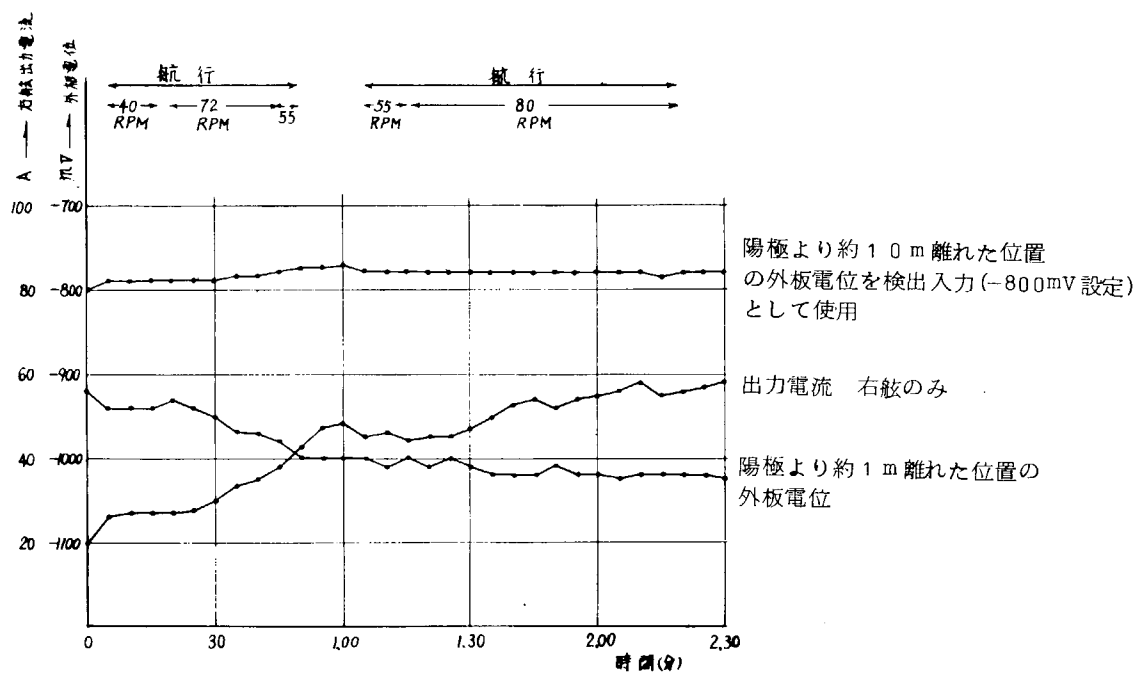


図 3. 1. 2 試運転時通電特性

4. 参 考 資 料

4.1 船底塗料浸漬試験

4.1.1 緒 言

株式会社彌富商会の依頼により、同社で調製した浸漬試験片を千葉県館山市水産大学にある日本造船研究協会の浸漬試験場に吊して試験した。昭和41年11月19日に浸漬し、43年11月1日で2ケ年を経過したので、試験片を揚げて観察するとともにImpact Test およびKnife Cut による塗膜接着の観察を行なった。その概要は大体次の通りである。

4.1.2 試験場所および期日

自 昭和41年11月19日
至 昭和43年11月 1日 } 館山市水産大学、日本造船研究協会浸漬場に浸漬観察

自 昭和43年11月 8日
至 昭和43年11月 9日 } 彌富商会工場にてImpact TestおよびKnife Cutによる塗膜接着の観察

4.1.3 試験方法

試験片は300×300mm、厚さ2.2mmの鋼板を使用し、表4.1.1に示す要領で塗装した。塗料の種類および膜厚等も表中に示す。

浸漬試験の観察は表面状態、発錆、フクレ、剝離等の現象について肉眼にて判定記録した。中間調査を4回行ない、最終調査は2年後の昭和43年11月1日試験片を引き上げ、付着生物を剝離した後、行なった。

その後工場にてA/F塗膜を剝離し、Impact Test およびKnife Cutによる観察を行なった。

Impact Test はとくに層間密着状態をしらべるために実施したもので試験片を木製ブロック($t=11.5\text{cm}$)の上に置いて2m上から530g (53mm ϕ)の鋼球を落下させて塗膜の状態を観察した。

4.1.4 試験結果

浸漬試験の結果は昭和42年3月(4ケ月)の観察では全試験片とも良好で、発錆、フクレ、剝離等いずれも認められなかった。その後、昭和42年8月(9ケ月)の観察では、5、13の試験片において一部フクレ、剝離が見られた。昭和43年11月(24ケ月)最終結果は表4.1.2に示す通りであり、9種類の試験片において発錆、フクレ、剝離の現象が見られたが、他の19種類はほとんど変化なく良好であった。

また、Impact Test、Knife Cut による観察結果は表4.1.3および表4.1.4に示す通りであり、Impact Test における判定では可とするもの24種類、不可とするもの4種類であった。

Knife Cut による観察では、プライマーと中塗りの層間剝離4、中塗りと上塗りの層間剝離2、その他層間密着性は良好であったが、Steel面から剝離するものもあり、層間密着性も良く、その他変化もなく良好であったものは17種類であった。

4.1.5 考 察

本試験に使用した各塗料を同じ観点から数種の項目について評価すると概略次に示す通りである。

(a) タールエポキシ塗料

(i) 1次プライマーとの層間密着は良好である。

- (ii) 塗膜を強制的剝離させると鋼板とプライマーの間から剝離し、剝離した塗膜はフレーク状である。
 - (iii) 長期間浸漬に対し、塗膜の Knife Cut による形状はフレーク状である。
 - (iv) Impact Test に対する塗膜の状態は良好である。
 - (v) クロスカット性は悪い。
- (b) タール塩化ゴム塗料
- (i) 1次プライマーとの層間密着は悪い。
 - (ii) 塗膜を強制的に剝離させると、プライマーとタール塩化ゴム塗膜の間から剝離し、塗膜は塊状になつて碎ける。
 - (iii) 長期間浸漬に対し、塗膜の Knife Cut による形状は塊状である。
 - (iv) Impact Test に対する塗膜の状態は脆い。
 - (v) クロスカット性は悪い。
- (c) 塩化ゴム塗料
- (i) 1次プライマーとの層間密着は全般的に良好である。
 - (ii) 塗膜を強制的に剝離させると鋼板とプライマーの間から剝離する。なお、A₂系はA₂系/A₂系の層間から剝離する。
 - (iii) 長期間浸漬に対し、塗膜の Knife Cut による形状はフレーク状である。
 - (iv) Impact Test に対する塗膜の状態は良好である。
 - (v) クロスカット性は悪いが、この group の中でプライマー+ベンガラ光明丹入+アルミ粉入の方式のものは比較的良好である。

(注) (i) (i)項について 各塗料とも長曝ウオツシユプライマー(エポボンド)とエポキシジンクプライマー(ジンキ200R)との差は認められなかつた。

(ii) (v)項について クロスカットセロテープ法により観察を行なつたが、本試験のみで塗膜の良否を検討することは困難であつた。

次に本試験に使用した塗装系の耐海水性について評価すると次の組合わせのようになる。

(a) 耐海水性の良好なもの

(プライマー) → (タールエポキシ) → (タールエポキシ)

(プライマー) → (タール塩化ゴム) → (タール塩化ゴム)

(プライマー) → (光明丹ベンガラ入塩化ゴム) → (A₂入塩化ゴム)

(b) 耐海水性の劣るもの

(プライマー) → (A₂入塩化ゴム) → (A₂入塩化ゴム)

(プライマー) → (A₂入塩化ゴム) → (無溶剤エポキシ)

(プライマー) → (色彩塩化ゴム) → (無溶剤エポキシ)

(注) (i) 無溶剤エポキシ塗料は上塗りとしては硬くなるので好ましくなかつた。

(ii) 本試験の組合わせにおいて、タールエポキシ塗膜用のA/Fとしては塩化ゴム系に比べ、ビニル系が良好であつた。

表 4. 1. 1 供 試 塗 料 の

試 験 番 号	1次ショットプライマー			A/C 1 回 目 塗 装		
	種 類	膜厚(μ)	塗 装 日	種 類	膜厚(μ)	塗 装 日
1	ジンキー200R	27.0	10月14日	タールエポキシ	168	11月 8日
2	"	21.7	"	"	144	"
3	"	20.5	"	塩化ゴム錆止め	55	11月 9日
4	"	23.0	"	"	67	"
5	"	22.2	"	タール塩化ゴム	77	11月 7日
6	"	21.5	"	"	84	"
7	"	26.8	"	塩化ゴム錆止め	67	11月 9日
8	"	29.2	"	塩化ゴムアルミ	72	11月 7日
9	"	34.0	"	塩化ゴム錆止め	76	11月 9日
10	"	26.0	"	塩化ゴムアルミ	58	11月 7日
11	"	23.2	"	タールエポキシ	89	11月 8日
12	"	20.5	"	"	119	"
13	"	21.5	"	塩化ゴム錆止め	61	11月 9日
14	"	31.3	"	"	72	"
15	長曝用ウオツシユ プライマー	15.3	"	タールエポキシ	83	11月 8日
16	"	14.8	"	"	68	"
17	"	19.0	"	塩化ゴム錆止め	64	11月 9日
18	"	13.5	"	"	85	"
19	"	16.3	"	タール塩化ゴム	81	11月 7日
20	"	16.0	"	"	89	"
21	"	10.8	"	塩化ゴム錆止め	59	11月 9日
22	"	16.7	"	塩化ゴムアルミ	63	11月 7日
23	"	14.7	"	塩化ゴム錆止め	63	11月 9日
24	"	12.7	"	塩化ゴムアルミ	63	11月 7日
25	"	11.0	"	タールエポキシ	74	11月 8日
26	"	9.3	"	"	136	"
27	"	10.7	"	塩化ゴム錆止め	60	11月 9日
28	"	11.0	"	"	65	"

(注) (1) A/C 3回目の膜厚は海中浸漬まで十分硬化または乾燥しないため測定せず。

同様A/Fも測定せず。

(2) A/C 2回目塗装日が2日あるものは表裏別別に塗装したもの。

種 類 と 塗 装 仕 様

A/C 2 回 目 塗 装			A/C 3 回 目 塗 装			A/F 塗 装		
種 類	膜厚(μ)	塗 装 日	種 類	膜厚(μ)	塗 装 日	種 類	膜厚(μ)	塗 装 日
タールエポキシ	365	11月16日				塩化ゴム系		
"	313	"				"		
塩化ゴムアルミ	102	11月 ¹¹ ₁₅ 日				"		
"	109	11月15日				"		
タール塩化ゴム	170	11月17日				"		
"	193	"				"		
塩化ゴム錆止め	115	11月15日	無溶剤エポキシ			塩化ビニル系		
塩化ゴムアルミ	144	11月 ¹¹ ₁₅ 日	"			"		
塩化ゴム錆止め	113	11月15日	"			"		
塩化ゴムアルミ	135	11月 ¹¹ ₁₅ 日	"			"		
タール塩化ゴム	250	11月16日				"		
"	270	"				"		
塩化ゴム錆止め	112	11月15日	塩化ゴム白			"		
"	130	"	塩化ゴムアルミ			"		
タールエポキシ	222	11月16日				塩化ゴム系		
"	219	"				"		
塩化ゴムアルミ	114	11月 ¹⁵ ₁₆ 日				"		
"	118	"				"		
タール塩化ゴム	187	11月17日				"		
"	200	"				"		
塩化ゴム錆止め	114	11月15日	無溶剤エポキシ			塩化ビニル系		
塩化ゴムアルミ	140	11月 ¹⁴ ₁₅ 日	"			"		
塩化ゴム錆止め	111	11月15日	"			"		
塩化ゴムアルミ	142	11月 ¹⁴ ₁₅ 日	"			"		
タールエポキシ	195	11月16日				"		
"	250	"				"		
塩化ゴム錆止め	102	11月15日	塩化ゴム白			"		
"	118	"	塩化ゴムアルミ			"		

表 4. 1. 2 最 終 観 察 結 果

試験番号	サ ビ		フ ク レ		A/Cハクリ		エ ッ ジ ハ ク リ	
	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	"	"	"	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	"	"	"	"
4	"	"	"	"	"	"	"	"
5	"	"	"	"	"	"	"	"
6	"	"	"	"	"	"	"	"
7					5 0	1 0		
8					4 0	2 0		
9	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0					6 0	5 0		
1 1	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2	"	"	"	"	"	"	"	"
1 3	7 0	7 0	8 0	8 0				
1 4	0	0	0	0	0	0	0	0
1 5	"	"	"	"	"	"	"	"
1 6	"	"	"	"	"	"	"	"
1 7	"	"	"	"	"	"	"	"
1 8	"	"	"	"	"	"	"	"
1 9	"	"	"	"	"	"	"	"
2 0	"	"	"	"	"	"	"	"
2 1					2 0	1 0		
2 2					2 0	1 0		
2 3					3 0	1 0		
2 4					1 0	1 0		
2 5	0	0	0	0	0	0	0	0
2 6	"	"	"	"	"	"	"	"
2 7			8 0	8 0				
2 8	0	0	0	0	0	0	0	0

(注) 表中の数字はそれぞれの因子による塗膜の劣化を% (面積) で示し、0は異常なものとした。

表 4. 1. 3 Impact Test の 結 果

試験番号	判 定	Impact Test 後の塗膜の状態
1	○	塗膜にワレ、ハクリなし
2	〃	〃
3	〃	〃
4	〃	〃
5	×	塗膜にワレ、ハクリ発生、ただし 1 次プライマーは異状なし
6	×	〃 〃
7	○	塗膜にワレ、ハクリなし
8	〃	〃
9	〃	〃
10	〃	〃
11	〃	〃
12	〃	〃
13	〃	〃
14	〃	〃
15	〃	〃
16	〃	〃
17	〃	〃
18	〃	〃
19	×	塗膜にワレ、ハクリ発生、ただし 1 次プライマーは異状なし
20	×	〃 〃
21	○	塗膜にワレ、ハクリなし
22	〃	〃
23	〃	〃
24	〃	〃
25	〃	〃
26	〃	〃
27	〃	〃
28	〃	〃

(注) №5、6、19、20は1次プライマーとタール塩化ゴムとの層間で剥離とワレの発生が見られた。

表 4. 1. 4 Knife Cut による観察結果

試験番号	Knife Cut による塗膜の層間密着性状態
1	層間密着性は良好
2	〃
3	〃
4	〃
5	ジンキー 200R とタール塩化ゴム塗料から剝離する
6	〃
7	層間密着性は良好
8	層間密着性は良好であるが、Steel 面からバナナの皮をむくように取れる。
9	層間密着性は良好
10	No. 8 に同じ
11	層間密着性は良好
12	〃
13	〃
14	〃
15	〃
16	〃
17	〃
18	ウオツシユプライマーと塩化ゴム錆止めから半半にとれる
19	ウオツシユプライマーとタール塩化ゴム塗料から剝離する
20	〃
21	層間密着性は良好
22	塩化ゴムアルミと塩化ゴムアルミから剝離 塗膜はバナナの皮をむくようにとれる
23	層間密着性は良好
24	No. 22 に同じ
25	層間密着性は良好
26	〃
27	ウオツシユプライマーと塩化ゴム錆止めから半半にとれる
28	〃

4.2 アメリカ製船底塗料の臨海試験結果

4.2.1 は し が き

アメリカ製船底塗料について、さる昭和43年2月8日日本造船研究協会第4回幹事会の席上紹介したが、その後、千葉県館山市水産大学構内で臨海試験を行なう機会を得たので、今回その結果を報告する。

4.2.2 試験の対象とした塗料

(a) アマコート社 67 A/F

特殊な金属銅を毒物とする油性防汚塗料で、通常の油性A/C塗料の上に2回塗りが標準である。

従来の防汚塗料と異なつて、顔料も溶媒も大気中で安定性が良く、塗膜が数週間大気中に曝露されてもその性能は変わらないとされている。

その性質大要は次に示される。

塗装の対象	本船および鋼船、一般の油性船底塗料A/Cの上に塗装する。
塗 装	刷毛塗りまたはスプレー
塗 装 回 数	2回塗り
乾 燥 時 間	1時間後に2回塗りをする。 2回塗り塗膜が1時間以上乾燥してから、水中に浸漬する。
塗 布 量	28 ml/Gal以下、なるべく厚塗りをした方が有効である。
乾 燥 膜 厚	50~75 μ /1回塗り
シンナー	作業性で必要のある場合にのみ、アマコート社 65 シンナーを用いる。 この場合も塗料の15% vol以上用いてはならない

わが国における実績

NBCグループのBantry Transportation Co. 注文により、石川島播磨重工業株式会社横浜工場ならびに三菱重工業株式会社長崎造船所で建造した312000DWTのタンカ6隻はいずれもこの67 A/Fが船底ならびにB/Tに使用されている。

(b) アマコート社 1780 無機A/F

無機珪酸亜鉛塗料の上に、直接塗装できる船底塗料として最近開発されたものであつて、特殊な毒物をもちいた完全な無機質防汚塗料である。

塗装系は、無機珪酸亜鉛塗料1回塗りの上に67 A/Fを1回塗りするだけでよく、下塗りの電気防食作用と上塗りの防汚効果との併用で船底を保護するもので、塗膜強度は他の有機系船底塗料に比べて非常に強く、塗装期間が短くて済むので新造船ならびに修繕船のいずれの場合でも、工期を短縮できる利点がある。

塗料の一般性状を次に示す。

素 地	無機珪酸亜鉛塗料を塗つた鋼材
塗 装	スプレー、ただし塗装法については特別な注意が規定されている。
塗 装 回 数	1回塗り
塗 布 量	約23 ml/100 μ /Gal (260 Sqr ft/4 mil/Gal) ただし、表面が平滑でないときこれより少なくなる。
乾 燥 膜 厚	100 μ

乾燥時間 下塗りがダイメットコート No.3 または No.6 の場合、4 時間以上

下塗りがダイメットコート No.5 の場合、24 時間

シンナー 作業性が不良な場合にのみ、アマコート No.6 5 シンナーを加える。

添加量は 7.5% vol 以下のこと。

わが国における実績

昭和 43 年 3 月川崎汽船株式会社八洲丸の船底の一部（外部電源方式電気防食装置の陽極周辺）に施行したが、まだ入渠していないので結果は判明しない。

4.2.3 試験板

軟鋼板 300×100×2.4mm サンドブラスト

4.2.4 試験塗装系

No.1 ダイメットコート No.3 キュア後 24 h 放置、水洗い、No.1780 1 回塗、翌日浸漬

No.2 ダイメットコート No.5 24 h 放置、No.1780 1 回塗、翌日浸漬

（セルフキュア型）

No.3 ダイメットコート No.6 24 h 放置、No.1780 1 回塗、翌日浸漬

（セルフキュア型）

No.4 アマコート No.29 A1 A/C 2 回塗 No.67 A/F 2 回塗、翌日浸漬

（A1 顔料入油性塗料）

No.5 アマコート No.29 A1 A/C、No.67 A/F 2 回塗 1 ヶ月大気曝露後浸漬

No.6 アマコート No.29 A1 A/C、No.67 A/F 2 回塗 2 ヶ月大気曝露後浸漬

以上の予定で計画したが、実際には No.5 は昭和 43 年 3 月 23 日に A/F 塗装。No.6 は 3 月 1 日塗装し、浸漬は 5 月 17 日になったので、曝露期間はそれぞれ 55 日および 77 日となった。

4.2.5 浸漬方法

千葉県館山市水産大学構内の海上に浮べた筏から、銅製の枠にビニロン紐で固定した上記 6 枚の試験板をつるし、海面下約 1.5 m に昭和 43 年 5 月 17 日浸漬した。

昭和 43 年 11 月 1 日浸漬開始後 167 日目に引揚げて検査した。

4.2.6 浸漬試験結果

添附の写真 4.1.1 に No.1780 無機 A/F 塗装系を、写真 4.1.2 に No.67 A/F 系の海中浸漬 167 日（約 5 ヶ月半）後の試験片の状況を示す。

No.1 ダイメットコート No.3 および No.1780 無機 A/F 系

生物の附着は皆無で塗膜の剥れや、発錆もなく成績極めて優秀である。

No.2 ダイメットコート No.5（セルフキュア型）および No.1780 A/F 系

生物附着皆無、発錆もないが試験片下半に径 1~8 mm 程度のフクレが発生した。

No.3 ダイメットコート No.6 および No.1780 A/F 系

生物附着皆無、フクレその他の塗膜欠陥、発錆も認められない。

No.4 油性 A/C および No.67 A/F 系

セルブラ 10 数個附着、塗膜欠陥や発錆は認められない。

№5 油性 A/C および №6 7 A/F 系 55 日大気曝露後、海中浸漬

セルブラ 20 ケ以上附着、塗膜欠陥や発錆は認められない。

№6 油性 A/C および №6 7 A/F 系 77 日間大気曝露後、海中浸漬

セルブラ 数個附着のみ、塗膜欠陥や発錆は認められない。

(注) №4、5、6 の 3 枚の試験片は何れも上部および下部にセルブラ群の附着が認められるが、これは試験片をつるしたビニロン紐に附着発育したホヤ、フサコケ虫等が繁茂して試験片にかぶさり、その蔭でセルブラが附着成長したもので、今回の成績からは除外して考えるのが至当と思われる。

4. 2. 7 - 結 言

今回夏季 5 ヶ月半の臨海試験結果では、№1 7 8 0 無機 A/F 塗料は無機硅酸亜鉛塗料と組合わせて 2 回塗りという簡単な塗装系で、良好な成績が得られ、今後経済的見地から注目に値すると考えられる。

また、油性系 A/F 塗料として №6 7 A/F は、従来の船底塗料の常識では到底考えられない長期間大気曝露をしてもほとんどその防汚性能に影響がなく、これまた注目に値する。たとえば大型タンカの B/T は往航の空荷の場合、熱帯海域の大気中に曝露されるので通常の亜酸化銅系の防汚塗料では、防汚力の低下が心配される。また、海洋構造物等において、海水中で使用する期間が比較的短く、平常は大気中にある場合等に適用すれば耐候性ならびに防汚性を兼ね備えた特殊防汚塗料として有用と考えられる。

なお、本臨海試験はその後も継続中で完了の上は、実船試験結果と併せて今後報告したいと考えている。

No. 1

No. 2

No. 3

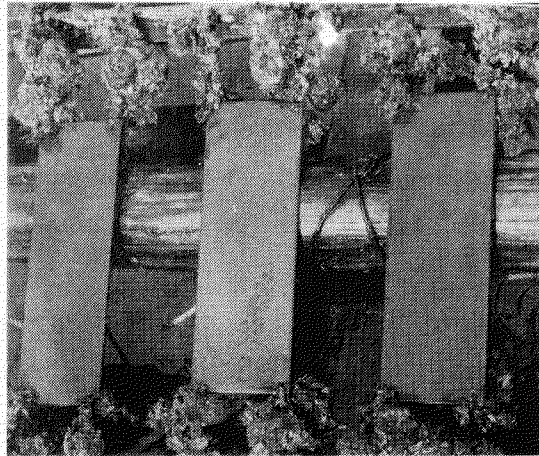


写真 4. 1. 1

No. 4

No. 5

No. 6

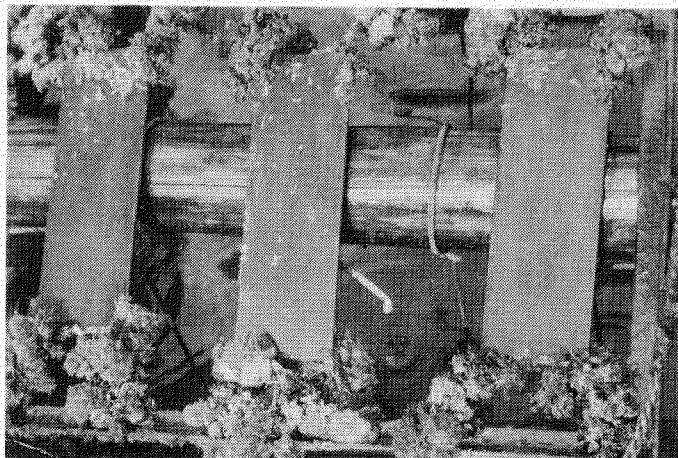


写真 4. 1. 2

試 験 場 所 館 山 湾

昭和43年 5月17日浸漬

昭和43年11月 1日(観察記録)

浸 漬 期 間 167日(約5ヶ月半)

No. 1 硅酸亜鉛塗料 No. 3 1回塗 膜厚 80 μ 無機A/F 塗料 1回塗 膜厚 100 μ No. 2 硅酸亜鉛塗料 No. 5 1回塗 膜厚 80 μ

(セルフキュア型)

無機A/F 塗料 1回塗 膜厚 120 μ No. 3 硅酸亜鉛塗料 No. 6 1回塗 膜厚 150 μ

(アルキル シリケート系)

無機A/F 塗料 1回塗 膜厚 100 μ

No. 4 油性A/C 2回塗

No. 6 7 A/F 2回塗 全膜厚 200 μ

翌日浸漬

No. 5 油性A/C 2回塗

No. 6 7 A/F 2回塗 全膜厚 100 μ

55日間大気曝露後浸漬

No. 6 油性A/C 2回塗

No. 6 7 A/F 2回塗 全膜厚 100 μ

77日間大気曝露後浸漬

5. む す び

過去、3ヶ年間本研究部会は船体の防食防汚についての研究を行ない、多くの成果をあげてきた。しかし、この種研究は範囲が広い上、長期間の実験を必要とするものが多いため、ほぼ結論を得たような研究のある反面、今後の方向を明らかにしたに止まるようなものもあつた。これらについては今後何等かの形で研究を続行し、十分な成果をあげられることを望んで止まない。

本研究は関連する分野が広いため、造船所、海運会社の方方の他に生物の研究に造詣の深い資源化学研究所をはじめ、多数の塗料メーカー、毒物を製造している農薬メーカーの多大な協力を得たことを深く感謝いたします。