

本研究は、モーターボート競争公益資金  
による（財）日本船舶振興会の補助金を  
受けて実施したものである。

## 第 2 0 1 研究部会

### 塗膜の耐久性評価法に関する調査研究

## 報 告 書

控

昭 和 62 年 3 月

社 団 法 人  
日本造船研究協会

## はしがき

本報告書は、日本船舶振興会昭和61年度補助事業として、日本造船研究協会第201研究部会において実施した「塗膜の耐久性評価法に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。

### 第201研究部会委員名簿

(敬称略、五十音順)

部会長 宮嶋 時三（東京商船大学名誉教授）

幹事 在田 正義（船舶技術研究所）

板垣 浩（横浜国立大学）

岡田 正三

小田川智代司（石川島播磨重工業）

神例 昭一（住友重機械工業）

久保 淳（三井造船）

末武 幸男（日本油脂）

竹本 黙（日本ペイント）

日比 輝美（三菱重工業）

平間 敏郎（関西ペイント）

南 義夫（横浜国立大学名誉教授）

森 稔（川崎重工業）

委員 朝倉 祝治（横浜国立大学）

大島 阜雄（日本郵船）

金田 譲（山下新日本汽船）

谷口 誠（大阪商船三井船舶）

佐々木 忠平（来島どっく）

鈴木 昭雄（鬼田化学工業）

林 邦久（尾道造船）

長浜 修（川崎重工業）

丸山 裕規（三井金属塗料化学）

石塚 鉄夫（横浜国立大学）

翁長 一彦（船舶技術研究所）

植田 健二（三菱重工業）

神浦 真帆（日本鋼管）

楠野 秀晃（日本ペイント）

佐野 俊一（日本油脂）

鈴木 成男（日本船主協会）

永井 欣一（広島大学）

平井 靖男（日立造船）

広田 信義（中国塗料）

三好 貢

石川 浩（カナ工塗料）

大八木 正広（日本海事協会）

北村 幹夫（大阪造船所）

楠原 孝二（川崎汽船）

仙波 亨（東亜ペイント）

田嶋 弘（神東塗料）

永野 侃（昭和海運）

武津 邦雄（神戸ペイント）

横地 忠五（大日本塗料）

### 討議参加者

植木 辰二（横浜国立大学）

上船 裕弘（日本ペイント）

岡本 一（三井造船）

加藤 晴三（神戸ペイント）

黒沢 賢二（大日本塗料）

正山 良三（川崎汽船）

寺嶋 弘和（関西ペイント）

植田 新一（東亜ペイント）

大橋 治（日本鋼管）

蒂屋 繼昭（鬼田化学工業）

門田 理（日本油脂）

柴田 昭男（三菱重工業）

高島 顯（川崎重工業）

徳永 勝幸（来島どっく）

中村 倭章（鬼田化学工業）  
東田 健司（大阪造船所）  
光定 末次（日本ペイント）  
若林 英樹（日本ペイント）

林 邦久（尾道造船）  
保坂 均（日本船主協会）  
湯本 正博（神戸ペイント）

まえがき	1
1. 防錆塗膜の耐久性に関する試験及び評価法	5
1.1 塗膜劣化度合の化学的判定法の検討	5
(1) 調査の目的	5
(2) 供試材	5
(3) 評価手法	6
(4) 試験結果と考察	9
(5) まとめ	11
1.2 劣化促進試験法の検討	12
(1) 調査の目的	12
(2) 塗装試験板	12
(3) 評価手法	12
(4) 促進試験法	12
(5) 試験結果	13
(6) まとめ	14
2. 塗膜の耐久性に与える要因の検討	38
2.1 表面処理グレードと塗膜の耐久性	38
(1) 目的	38
(2) 実施内容	38
(3) 評価方法	39
(4) 飛沫部を対象とした試験	40
(5) 浸水部を対象とした試験	77
(6) まとめ	127
2.2 変動荷重と塗膜の耐久性	128
(1) 目的	128
(2) 試験方法	128
(3) 試験結果と経過状況	128
(4) まとめ	134
2.3 変動及び衝撃荷重下の塗装材の腐食疲労への影響	153
(1) 研究の目的と概要	153
(2) 試験方法	153
(3) 試験結果及び試験実施状況	154
(4) むすび	157
3. 耐久性データの総合的判定法の検討	172

3.1 データベース	172
3.1.1 データベース その1	172
劣化データの解析	
(1) 試験機関によるデータの差違	172
(2) 付着力試験の経年変化の推定	173
(3) 今後の方針	173
3.1.2 データベース その2	178
塗装系の耐用年数の予想方法	
(1) 概要	178
(2) 取り扱う環境因子、構造/施工因子	178
(3) 塗装系耐用年数の推定式	179
(4) 塗装系耐用年数の推定法	180
(5) 結論	180
(6) まとめ	181
3.2 塗膜厚分布	187
(1) 実験方法	187
(2) 実験結果及び考察	187
(3) まとめ	188
3.3 暴露試験結果	209
(1) 概要	209
(2) 大気中暴露試験結果	209
(3) 海洋暴露試験結果	209
(4) まとめ	210
 4. 防汚塗膜の耐生物汚損性	243
4.1 塗膜表面に付着したスライムの定量化方法の研究	243
(1) 研究目的	243
(2) 研究内容	243
(3) 実験	243
(4) 結果	245
(5) 結論	256
4.2 回流水槽による溶解度因子の定量化と耐生物汚損性	258
(1) まえがき	258
(2) 実施内容	258
(3) 試験結果	260
(4) まとめ	261
 5. 文献調査	275
(1) 防汚剤の溶出機構、防汚剤関連	277

(2) 船底塗料試験方法	278
(3) 表面粗度、汚損と摩擦係数、燃費節減	280
(4) 船底塗料の配合および性能	281
(5) 安全衛生	290
(6) 生物関連	293
(7) その他	297
あとがき	299

## まえがき

就航後の船体損傷例の大部分は構造材の腐食衰耗によることが明らかにされて来ている。これは従来の塗装設計が経験ベースによるものであり、防錆塗膜の性能が十分理論的に把握された上で、設計及び就航後の管理がなされていないことに起因している。

そこで、近年、飛躍的に進歩した分析機器及び評価手法を適用して、劣化度の実用的評価を行うと共にさらに促進法の開発により早期評価法の作成及び実環境における塗膜の劣化と促進試験による劣化の相関を考えたデータベースの作成が必要である。

また、表面処理グレード、変動及び衝撃重複荷重（構造材の繰り返し応力等）と塗膜性能の関係も把握する必要がある。

さらに、船舶・海洋の塗装系でもう一つの重要な性能は、船舶運航の燃料経済における耐生物汚損性であり、このため、生物汚損の定量的把握と長期性能評価法の確立が必要である。本研究は表1の研究計画フローチャートに示すように、昭和60年度から5ヶ年計画で実施されるが、夫々の試験項目の相関性は表注に矢印で示した。

本研究の2年目である昭和61年度において実施した調査検討項目とその内容の概要は以下の通りである。

### (1) 防錆塗膜の耐久性に関する

#### 試験及び評価法

- ① 塗膜劣化度合の判定方法の検討
- 供試材として初年度に自然海水浸せきを実施した2種の防食仕様の塗装試験板と就航船3隻から採取したものについて、外観、付着力、CI浸透深さ、交流インピーダンス法、カレントインタラプタ法等により調査・検討した。
- ② 劣化促進試験法検討
- 塩水を用いた温度勾配試験、初年度から継続中のMHI法を用いた促進浸せきテストと塩濃度の異なる温海水浸せきテストを調査・検討した。

### (2) 防錆塗膜の耐久性に与える要因の検討

- ① 表面処理グレードと塗膜の耐久性
- 表面処理グレード10種と防食塗料3種を組み合せた塗装試験板を用い、初年度に天然試験（海浜飛沫帶暴露と海水浸漬）、本年度は促進試験（タールエポキシ塗料のみ）を開始した。これらについて、定期的な塗膜外観観察や付着力及び電気的特性を測定し、表面処理グレードと塗膜耐久性の関連を検討した。

- ② 変動荷重と塗膜の耐久性
- ・塗膜の耐久性に及ぼす変動荷重の影響については、防食仕様5種の塗膜に対し、常温人工海水中において、曲げ荷重 $20\text{kgf/mm}^2$ 、速度 $10\text{cpm}$ で繰り返し変動荷重試験を継続実施した。また、紫外線照射下において繰り返し変動荷重試験を行うべく試験装置を改造設置した。
- ③ 変動及び衝撃荷重下の塗膜の腐食疲労への影響
- ・5種類の防食仕様の塗膜に及ぼす変動及び衝撃重疊荷重の影響を調べるため、初年度製作したパルスモータ制御による変動荷重試験装置を用いて人工海水中下の疲労試験を行い、交流インピーダンス法による塗膜の抵抗と容量を測定し塗膜の耐久性について検討した。
- (3) 防錆塗膜の耐久データの総合的判定法の検討
- ・SR182研究等の塗膜劣化データに関するデータベースの作製を行った。また、塗膜の耐用年数の推定に関するデータベースの作成を行い、従来のデータから耐用年数を推定する方法を検討した。さらに、すみ肉溶接部について塗膜厚の分布を調査した。
- (4) 防汚塗膜の耐生物汚染性
- ① 塗膜表面に付着したスライムの定量化方法の研究
- ・浸海防汚塗料表面に生成したスライムの乾重量の測定、スライム中のヘキノース残基量、クロロフィル、カロチノイドの定量を行った。
  - ・また、スライムに対するそれらの因子の寄与の度合をみるため、乾重量とそれぞれの因子との相関を検討した。
- ② 回流水槽による溶解度因子の定量化と耐生物汚損性
- ・SR189研究にて既設の回流水槽試験装置を、自然海水環境下で試験可能とするため海岸に移設し、無人運転化装置に改造した。
  - 本装置により、自己研磨型A Fを対象としてスライムの付着性、脱落限界流速などの試験及び塗膜劣化度と耐生物汚損性に関する試験を実施した。
- (5) 文献調査
- ・スライムの定量法・耐生物汚損及び船底塗料に関する文献153編と5冊を収集し、その抄録を作成した。

なお、表2は各研究項目に適用される塗装試験板の塗装仕様を示し、表3は各研究項目に共通な表面処理グレード、塗料及び浸せき試験条件を示した。

表 1 塗膜の耐久性評価に関する調査研究 (SR201)

## 研究計画フロー チャート

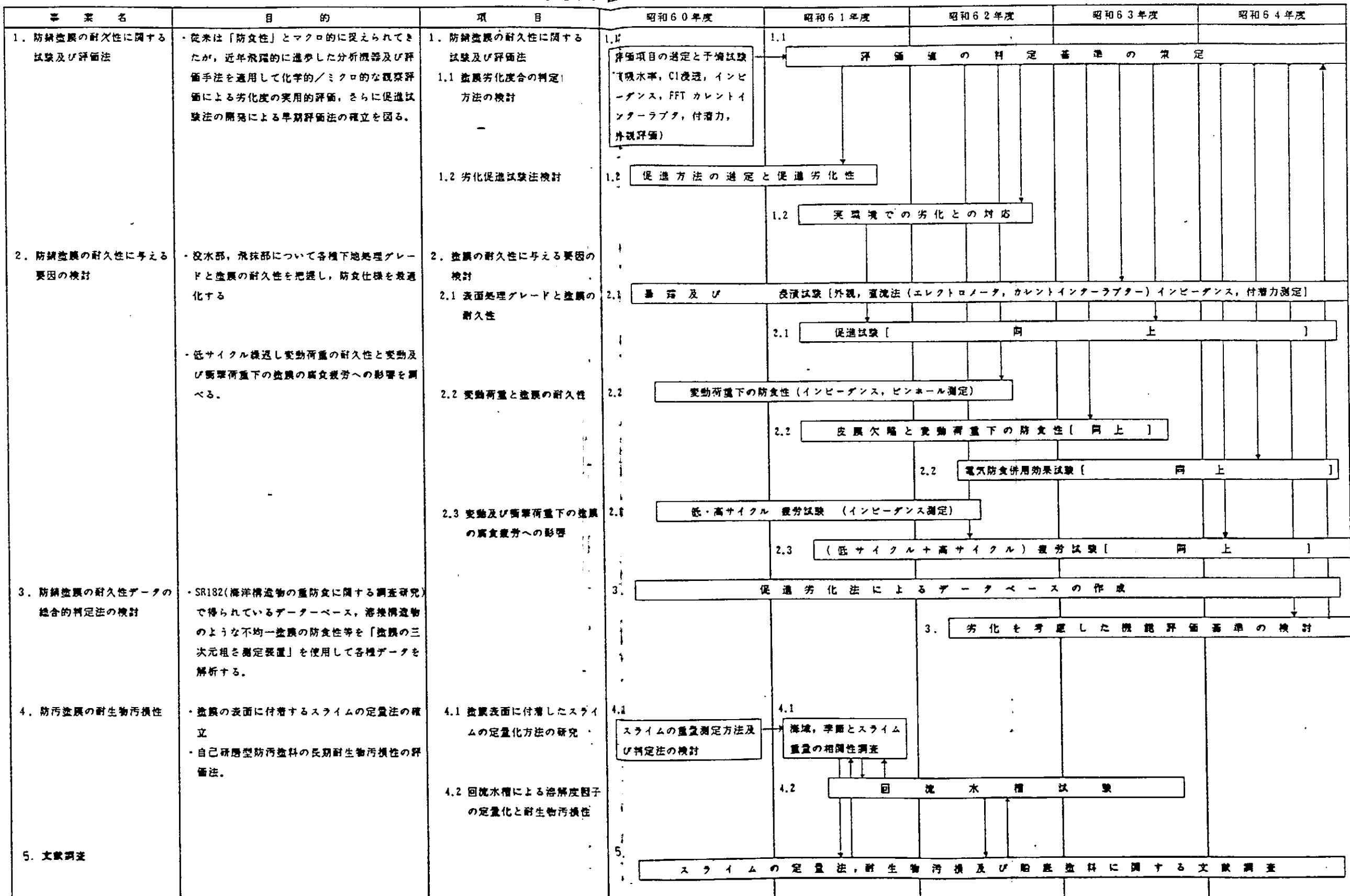


表2 漆装試験板の塗装仕様

防食仕様地調整	S/P	材 料 と 塗 回 数 ( ) 内膜厚: $\mu\text{m}$					合計膜厚 [ $\mu\text{m}$ ]	備 考
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目		
1	Sh + Sd	I2P	TE (220)	—	—	—	220	各研究項目共通塗料
2	Sh + Sd	I2P	CR-A/C-HB (60)	CR-A/C-HB (60)	—	—	120	
3	Sh + Sd	I2P	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	—	—	200	2.1 試験塗料
4	Sh	I2P	I2 (75)	ミストコート	TE (250)	—	—	325
5	Sh	I2P	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	PE-T/S (40)	380	2.2 試験塗料 2.3
6	Sh	I2P	PEF (650)	PEF (650)	—	—	1300	

Sh: ショットブラスト Sd: サンドブラスト

I2P: 無機ジンク・プライマー CR-A/C-HB: 増化ゴム外板錆止塗料厚塗型

TE: タール・エポキシ塗料 IZ: 無機ジンク塗料

PE-A/C: エポキシ外板錆止塗料 PE-T/S: エポキシ外板錆止塗料

PEF: 防食ライニング材料

塗り重ね間隔はいずれも1日間(1 day 1 coat)である。

ミストコートはいずれも3回目上塗塗料を専用シンナーで希釈したもの用いた。

備考: 研究項目 2.1 では、二次表面処理を種々、検討するがその詳細は2.1 で述べる。

表3 各研究項目に共通な表面処理グレード、塗料及び浸せき試験条件

項 目	共 通 仕 様
試験板の表面・処理グレード	プラスト SIS-Sa 2 1/2 ショット……Sh 2-3 サンド } ……Sd 2-3 粗度を記載のこと グリッド
(1) 一次表面処理	
(2) ショッププライマー塗装	無機ジンク系ショッププライマー 15 $\mu\text{m} \times 1$ 回
(3) ショッププライマーの屋外暴露期間	なし (養生、屋内48hr以上)
(4) 二次表面処理 (造研 JSRA)	無加工 (lo)
供試塗料	
(1) タールエポキシ塗料 (タンク用)	220 $\mu\text{m} \times 1$ 回塗 (本研究での標準塗料)
(2) 増化ゴム系塗料 (外板用)	60 $\mu\text{m} \times 2$ 回塗 (本研究での標準塗料)
(3) 塗膜の乾燥条件	常温 (20°C以上) × 7 日間以上 濡度85 RH % 以下
浸漬試験	
(1) 浸漬液組成	自然海水又は人工海水 (アクアマリン)
(2) エアーレヨン	室内試験ではエアーレヨン実施 (エアーレヨンの程度は要報告)

注: 研究項目 1.2 ではショッププライマーの  
屋外暴露期間及び二次表面処理を種々、  
検討するが、その詳細は2.1 で述べる。

## 1. 防錆塗膜の耐久性に関する試験及び評価法

### 1.1 塗膜の劣化度合の判定方法の検討

#### (1) 調査の目的

塗膜性能を適格に把握し、製品にマッチした最適塗装仕様を決定するのには、塗膜耐久性を定量的に判定する評価法が必要である。

本年度は前年度に海水浸せきした塗装試験板及び実船試片について、外観(さび、ふくれ)、付着力、CI浸透深さ、交流インピーダンス法及びカレントインターラプタ法の評価手法により調査する。

また交流インピーダンス測定上の問題点についても検討する。

\* TE と CR-A/C-BB の2種

#### (2) 供試材

初年度に作製した塗装試験板と実船より採取したものを使用した。その概要を次に示す。

##### (a) 塗装試験板

- ・表2、表3に示す塗装仕様に従って、TE（防食仕様No 1）及びCR-A/C-BB（防食仕様No 2）の2種の試験板をエアレススプレー塗装で作製した。  
なお、試験板サイズ及び一次表面処理グレードを次に示す。

150×200×3.2<sup>t</sup>鋼板、グリッドblast処理 (JSRA, Sd 2~3)

##### ・試験板の表面粗度

使用したグリットblast鋼板の表面粗度は、 $R_{\max} 76 \mu\text{m}$  ( $n=5$ の平均)、 $R_a 40 \mu\text{m}$  ( $n=3$ の平均) であった。

- ・塗膜厚はTEが目標膜厚より若干厚目であるが、CR-A/C-BBはほぼ目標値となった。

実験条件：長崎港内の天然海水浸せき試験

##### (b) 実船塗膜

就航中の実船から下記に示す部位の塗装鋼板を切り出す。

タルエポキシ塗料が塗装されている船（バラストタンク内塗膜）

及び

塩化ゴム塗料が塗装されている船（船底部塗膜）

### (3) 評価手法

評価手法として次のものについて、検討する。

それらの詳細内容については、本研究の昭和60年度報告書に示す通りであり、ここではその概要を説明する。

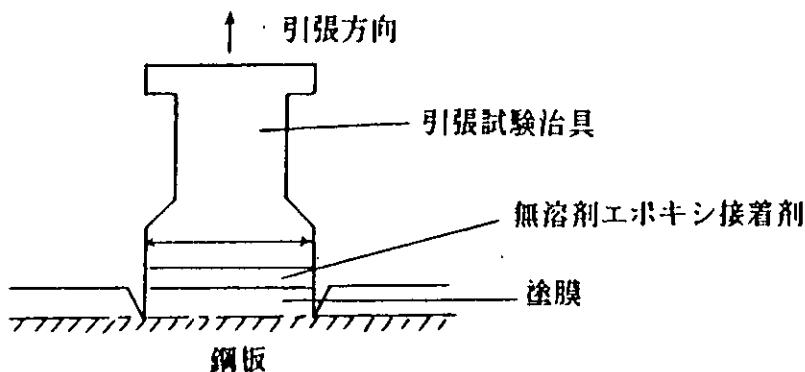
#### (i) 外観（さび、ふくれ）及び付着力

・ふくれは ASTM D714-56, さびは ASTM D610-68 によって評価した。

##### ・付着力

参考図1に示すように、塗膜の上に無溶剤エポキシ接着剤を使用して引張治具（20φの鋼製）を接着させる。1晩放置後、NTカッター等により引張治具のまわりに下地に達する傷を付けた後、引張試験機（島津製作所オートグラフS-500, 引張速度5mm/min）を使用して鋼板との付着力（kgf/cm<sup>2</sup>）を測定した。

なお、実船塗膜については、アドヒージョンテスターを併用した。



参考図 1. 付着力試験要領

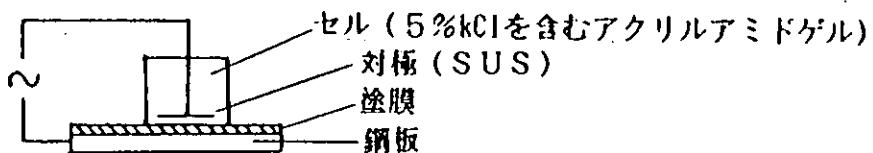
#### (i) CI<sup>-</sup>浸透深さ

塗装試験板より小片を切り出し、樹脂に埋め込み、硬化後、乾燥法により表面を研磨・仕上げる。次に、塗膜断面方向のCI分布をX線マイクロアナライザーにより測定する。

## (ii) 交流インピーダンス法

(a) 1 KHzでの交流インピーダンス測定による R, C, tan δ 及び吸水率の計測

参考図2に示すように、約30cm<sup>2</sup>の押当てセルを用い、LCRメータにより、1 KHzでの電気容量、tan δを測定し、次の式で交流抵抗及び吸水率を算出する。



参考図2。

$$R_p = \frac{1}{2\pi f C_p \tan \delta}$$

ここに R<sub>p</sub> : 交流抵抗

C<sub>p</sub> : 電気容量

tan δ : タンデルタ

f : 周波数

$$X_V = 100 \log \left( C_m / C_{m_0} \right) / \log 80$$

ここに, X<sub>V</sub> : 吸水率 (Vol%)

C<sub>m</sub> : ある時間浸せき後の塗膜の静電容量

C<sub>m0</sub> : 浸せき開始時の塗膜の静電容量

## (b) 広周波数域での交流インピーダンス測定

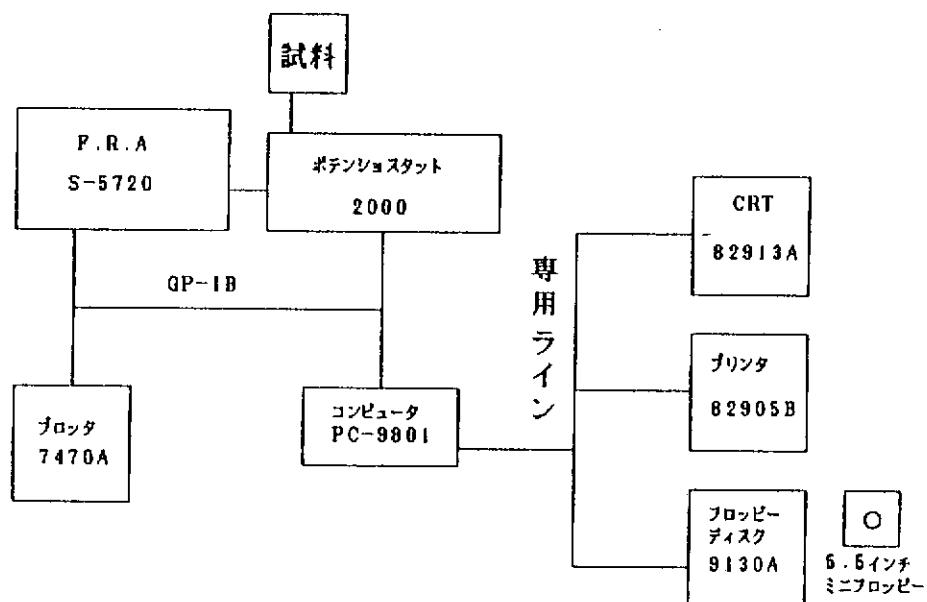
参考図3に示すようにFRA（周波数応答解析装置）を使用したインピーダンス測定装置により塗装鋼板の広周波数域でのインピーダンスを測定する。

測定条件（押当セル、塗膜の乾燥時間）は上記の1 KHz測定時と同じとした。

測定装置：ケミカルインピーダンス測定システム8502

（エヌエフ回路設計ブロック社）

発振周波数：0.001Hz～100KHz



参考図3 ケミカルインピーダンス測定装置のブロック図

#### (iv) カレントインタラプタ法

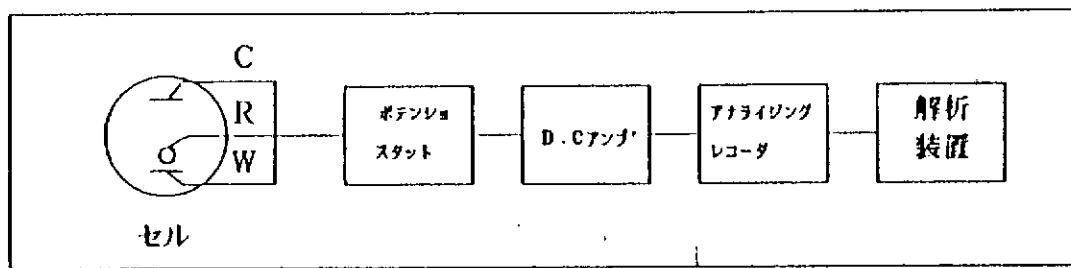
参考図4に示すように塗装鋼板に微小の定電流を単時間通電時の分極過渡現象を観測することにより、塗膜と金属表面の分極抵抗とを分離して塗膜下腐食電流を求める。

機 器 名 : ボテンションスタット

測 定 面 積 :  $31\text{cm}^2(63^\circ)$

測 定 範 囲 :  $10 \sim 10^7 \Omega\text{cm}^2$

印加電流範囲 :  $10^{-8}\text{A} \sim 1\text{A}$



参考図4 測定装置のブロック図

#### (4) 試験結果と考察

##### (a) インピーダンス計測法についての検討（参考図2）

二端子法による交流インピーダンス測定にあたって、問題と考えられる(i) 対極の電位の影響、(ii) 海水浸せき引上げ後の乾燥時間と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係、(iii) 乾燥塗装鋼板の湿润時間と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係、(iv) Alはく法におけるセル接着時間と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係を検討した。

###### (i) 対極の電位の影響

- ・図1.1(1)は参考図2に示したような塗装鋼板を想定した疑似回路に、対極材と鋼板に生じる電位を想定して0～±1.5Vの直流電圧を入れ、LCRメータ(1KHz)で測定した結果である。
- ・この結果から、LCRメータを使用した  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の測定では現在、対極としてSUS又はアルミを使用しているが、電位差Eは1V以内であることから特に支障はない。

###### (ii) 海水浸せき引上げ後の乾燥時間とインピーダンスの関係

- ・図1.1(2)は新品のTEを海水に4日間浸せきし、引上げ後の乾燥時間と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係を示した。これから、乾燥時間1hrまでは  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の変化が小さい。
- ・図1.1(3)はTE及びCR·A/CHBの2種を海水に11か月間浸せきし、引上げ後の乾燥時間と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係を示した。これから、乾燥時間から1hrまでは  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の変化が小さい。

###### (iii) 乾燥塗装鋼板の湿润時間とインピーダンスの関係

- ・図1.1(4)はTEを海水に66hr浸せきし、引上げて室温乾燥(88hr)させたものに、セルを連続して乗せ、湿润と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係を調べた結果である。
- ・これから、湿润24hr時点で元の  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  (浸せき中)に戻っている。

###### (iv) アルミはく法におけるセル接着時間と $R_p$ , $C_p$ , $\tan\delta$ の関係

- ・図1.1(5)はTE及びCR(さび止)の2種についてアルミはく法におけるCMCのりはり付け時間と  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  の関係を検討したものである。はり付け後、計測までの時間によって、 $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$  がかなり変動する。

※1：計測中はセルによる湿润がある点で厳密には問題があるが、短時間の計測のため、この影響を無視した。

(v) インピーダンス計測法についてのまとめ

- L C R メータ使用において、対極としてS U S又はアルミを使用しても1KHzでの $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ 測定上、特に問題はない。
- 本実験結果から、乾燥した塗膜についての $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ の測定は24hr湿潤させてから行った方がよい。また、海水から引上げたものについては5hr以内に測定すれば良いとの結果を得たが、この時間は温度、湿度によって変わるとと思われる所以出来るだけ早く、又は計測まで乾燥しない手段（例えば、ラップをする）をとることが好ましい。

(b) 塗装試験板

- 防食仕様No. 1 T E の自然海水浸せき 1年間の $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ , 吸水率, Cl浸透深さ及び付着力の経時変化を図1.1(6)に示す。
- 防食仕様No. 2 CR·A/C·HB の自然海水浸せき 1年間の $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ , 吸水率、付着力の経時変化を図1.1(7)に示す。
- 防食仕様No. 2 CR·A/C·HB の自然海水浸せき 1か年後の塗膜下状況（カレントインタラプタ法）を表1.1(I)に示した。

① T E の $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ の変化

- 図1.1(6)にみられるように、浸せき後半年までは $C_p$ ,  $\tan\delta$ に増加傾向が、又、 $R_p$ の減少傾向が見られたが、半年後からの変化は小さく一定値に收れんする傾向を示した。

② CR·A/C·HB の $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ の変化

$R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ の絶対値は異なるものの、半年後以降は一定値に収まった。

(c) 実船塗膜

- 関係先の御協力を得て、NT船1隻、TE船2隻、CR·A/C·HB 船1隻（写真が主体）の実船塗膜を採取した。その実船塗膜（TE）の経歴を表1.1(2)に示し、写真を図1.1(8)～(9)に示した。

① NT, TEについて下記のことが判った。

- 実船塗膜は乾燥していることが考えられたため、セルを連続して乗せ、L C R メータによって湿潤時間とインピーダンスの経時変化を調べた。図1.1(10)はTE 6年もの、図1.1(11)はTE 2年もの、図1.1(12)はTE 13年もの（W. B<sup>TK</sup>），図1.1(13)はTE 13年（S L O P<sup>TK</sup>）の結果を示した。

- ・セルを乗せて直ぐに測定すると、塗膜劣化部も健全部と同じような  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$  を示し、ある時間湿潤させて測定すると、塗膜劣化部は  $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$  が大きく変化するため、これによって塗膜の良否の判定が可能である。
  - ・表1.1(4)は図1.1(14)と表1.1(3)の「実船塗膜の外観、付着力、交流インピーダンス法、カレントインターラプタ法による測定値」から、外観、1 KHzでのインピーダンス( $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$ )及び付着力の関係を見るために、夫々のデータを移しかえたものである。
- この表1.1(4)から、次のことが判った。
- ・今回入手の実船塗膜の中で、 $\tan \delta$  が 2 以上 ( $R_p$  が  $0.2 M\Omega \cdot cm^2$  以下,  $C_p$  が  $1 \sim 2 nF/cm^2$ ) のものでも付着力は良好であり、従って外観上、塗膜表面のさび、ふくれのない実船塗膜について付着力のみで判断するのは危険と思われる。
  - ・また塗膜劣化の  $\tan \delta$  の目安値は一般的に 0.2 以上とされているが、ここでは  $\tan \delta$  2 以上のもののみ、塗膜表面に微小さびが見られた。
- 今後、この種のデータの蓄積が必要と考えられる。
- ・広周波数域でのインピーダンス法及びカレントインターラプタ法により測定した結果を表1.1(3)に示すが、今後、更にデータを蓄積して行きたい。
  - ・図1.1(14)はCI浸透深さの測定結果であるが、就航年数とCI浸透深さが比例していないのはバラスト率や水質差（バラストタンクは海水、スロップタンクは汚水が主）によると考えられる。今後、更にデータの蓄積を計りたい。

## ② CR-A/C-HB について、下記のことが判った。

- ・実船の経歴及び新造時の健全塗膜下の鋼板表面状況を表1.1(5), 図1.1(15)に示した。
- これから、健全部塗膜下の発錆は見られなかった。
- ・今回の調査では船体外板の一部採取ができなかったが、今後、TE と同様な調査を行い、データの蓄積を行いたい。

## (5) まとめ

- 天然海水浸せき試験において、2種の塗料とも浸せき後、半年までは容量  $C_p$ ,  $\tan \delta$  に増加傾向が、又、抵抗  $R_p$  の減少傾向が見られたが、半年後以降は一定値に収まった。
- インピーダンス法による塗膜の良否の判定は塗膜の乾燥によって左右されるため、ある時間湿潤させて測定することが必要である。塗膜劣化部は抵抗  $R_p$ , 容量  $C_p$ ,  $\tan \delta$  が大きく変化するため、これによって良否の判定が可能である。また、 $\tan \delta$  が 2 以上のものでも付着力は良好であることから付着力のみの判定は危険と思われる。
- 自然海水浸せきの塗装試験板については今後、更に追跡調査し解析して行きたい。  
実船のデータを参考にして、今後、促進試験でのデータの蓄積を計ると共に解析して行きたい。

## 1.2 劣化促進試験法の検討

### (1) 調査の目的

海水対象の塗装鋼について、その塗膜の耐久性を短い試験期間内で評価できる促進試験法の開発を目的とする。

(i) 初年度は防食仕様No.1のTE及びNo.2のCR・A/C・HBについて、促進法のMHI法と塩水を使用した温度勾配法を用いて、促進劣化と評価手法の相関を検討した結果、温度勾配法では1KHzでの交流インピーダンス法、カレントインターラブタ法及び広周波数域での交流インピーダンス法を更に検討した方がよいとされていた。そこで、本年度は温度勾配法で試験し、上記の評価手法で検討することとした。また、計測は塗装鋼板を温度勾配試験機に取付けたままで計測できるよう、計測方法の検討を先に行うこととした。

(ii) TEについてはMHI法が継続テスト中で、初年度の測定結果からインピーダンスの抵抗( $R_p$ )、容量( $C_p$ )の値が今後急変することが予想されたため、本年度は引きつき計測した。

また、基礎データを収集するための温海水浸せき法についても、初年度から試験継続中であり、あわせて計測した。

### (2) 塗装試験板

- ・温度勾配試験用として、表2、表3、に示す塗装仕様に従って、TE（防食仕様No.1）の試験板をエアレススプレー塗装で作製。

なお、試験板サイズ及び一次表面処理グレードを次に示す。

200×200×3.2 鋼板、グリッドプラスチック鋼板 (JSRA, Sd2~3)

- ・使用したグリッドプラスチック鋼板の表面粗度は前項1.1(2)と同じである。

- ・塗膜厚は標準のもの(220μm)と標準より大(330μm)の2種を作製した。

### (3) 評価手法

1.1(3)により行う。(外観、交流インピーダンス法、カレントインターラブタ法等)

### (4) 促進試験法

試験法の詳細は本研究の初年度研究報告書に記載されているため、その概要のみを次に示す。

(a) 塩水中での温度勾配法

・試験装置：山崎式ライニングテスタ L A - 15形（図1.2(1)参照）

試験水：天然海水

温度勾配：高温側 (T) 50°C

温度勾配 ( $\Delta T$ ) 20°C

(b) M H I 法 初年度 (40°C 浸せき) の継続。

(c) 溫海水浸せき法 初年度テスト(液温40°C, 塩分濃度5%, 3%, 0.3%)の継続。

(5) 試験結果

(a) 海水中での温度勾配法

(i) 塗装鋼板を試験装置に取付けた状態での計測法の検討

- ・L C R メータ (1 KHzのインピーダンス計) による計測は、温度勾配試験装置の試験機本体、塗装試験板、対極等の電気的シールドを種々、検討した結果、計測できるようになった。
- ・F R A を用いるインピーダンス計による計測はノイズの影響の対策がまだ残っているが、本研究を通じて解消して行きたい。

(ii) T E についての検討結果は次の通りである。

- ・塩水中の温度勾配(50°C/20°C)下での500hrまでの1 KHzでの $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$  及び吸水率の経時変化を図1.2(2)に示すが、約400hr時点で、ふくれの発生（全体の約1/3に6Fのふくれ）が認められたが、特に急変はみられない。もう少し、つづけると $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$ の急変が予想されるため、更に追跡調査を行う。
- ・F R A を用いた交流インピーダンスの値はノイズの影響が大きく、また、カレントインターラプタ法については、現在、塗膜の劣化が少ないためか、測定器の能力をオーバし、データ取得はできなかった。今後、更に検討して行きたい。

(iii) M H I 法についての検討結果は次の通りである。

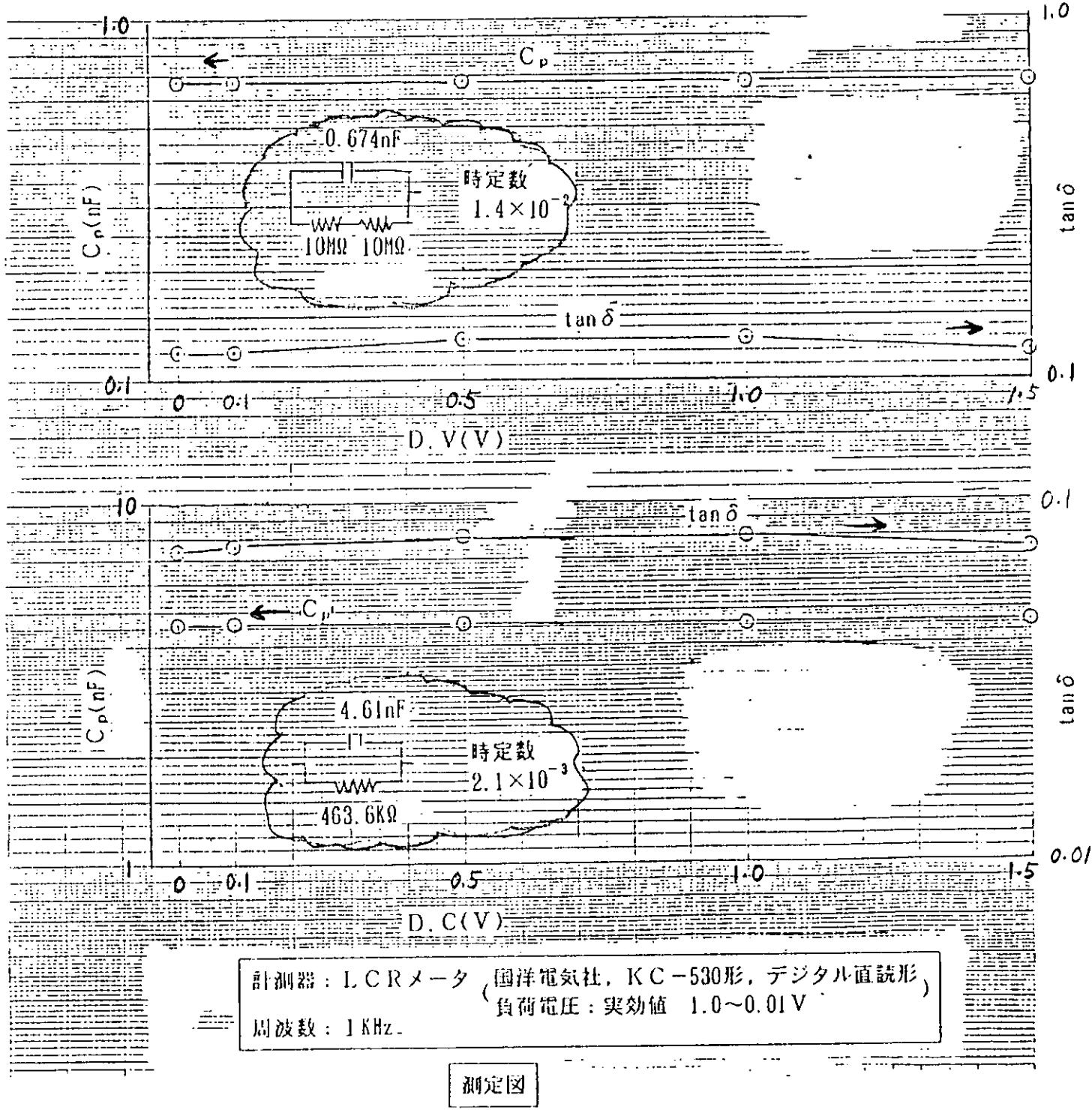
T E について40°C 浸せき試験の1 KHzでの $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$ の経時変化を図1.2(3)に示すが、初年度に予想した通り、浸せき70日目からインピーダンス ( $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan \delta$ ) が急激に変化し、次いで100日頃にふくれが発生した。

(iv) 湿海水浸せきの検討結果は次の通りである。

- ・TEについて塩濃度とインピーダンス ( $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ ) の関係を図1.2(4)に示すが、浸せき200日までは塩濃度がインピーダンスに与える影響度合は小さいと見られる。  
塩濃度と付着力の関係（表1.2(1)参照）もインピーダンスと同様に小さい。
- ・CR-A/C-IIBについて、塩濃度とインピーダンス ( $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ ) 及び塩濃度と付着力（表1.2(1)参照）の関係が一部、出始めているが、今後、更に追跡し検討していきたい。

## (5) まとめ

- (i) 塗装鋼板を温度勾配試験装置に取付けたまでの計測法は種々の問題があつたが、TEについてのデータは取得されつつある。今後、さらに追跡調査を行いたい。
- (ii) 初年度の継続テストであるTEの40℃浸せきMH-I法試験において、予想通りのインピーダンス ( $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ ) 急変とその次のふくれの発生が見られた。
- (iii) 促進試験において、カレントインタラプタ法及びFRAを用いた交流インピーダンス法によるデータの蓄積と解析が今後必要と考えられる。



測定図

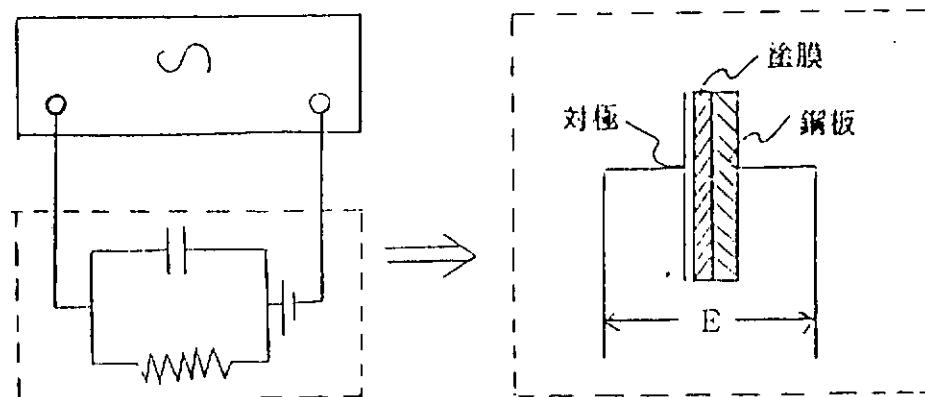


図1.1(1) 対極の電位がインピーダンスに与える影響

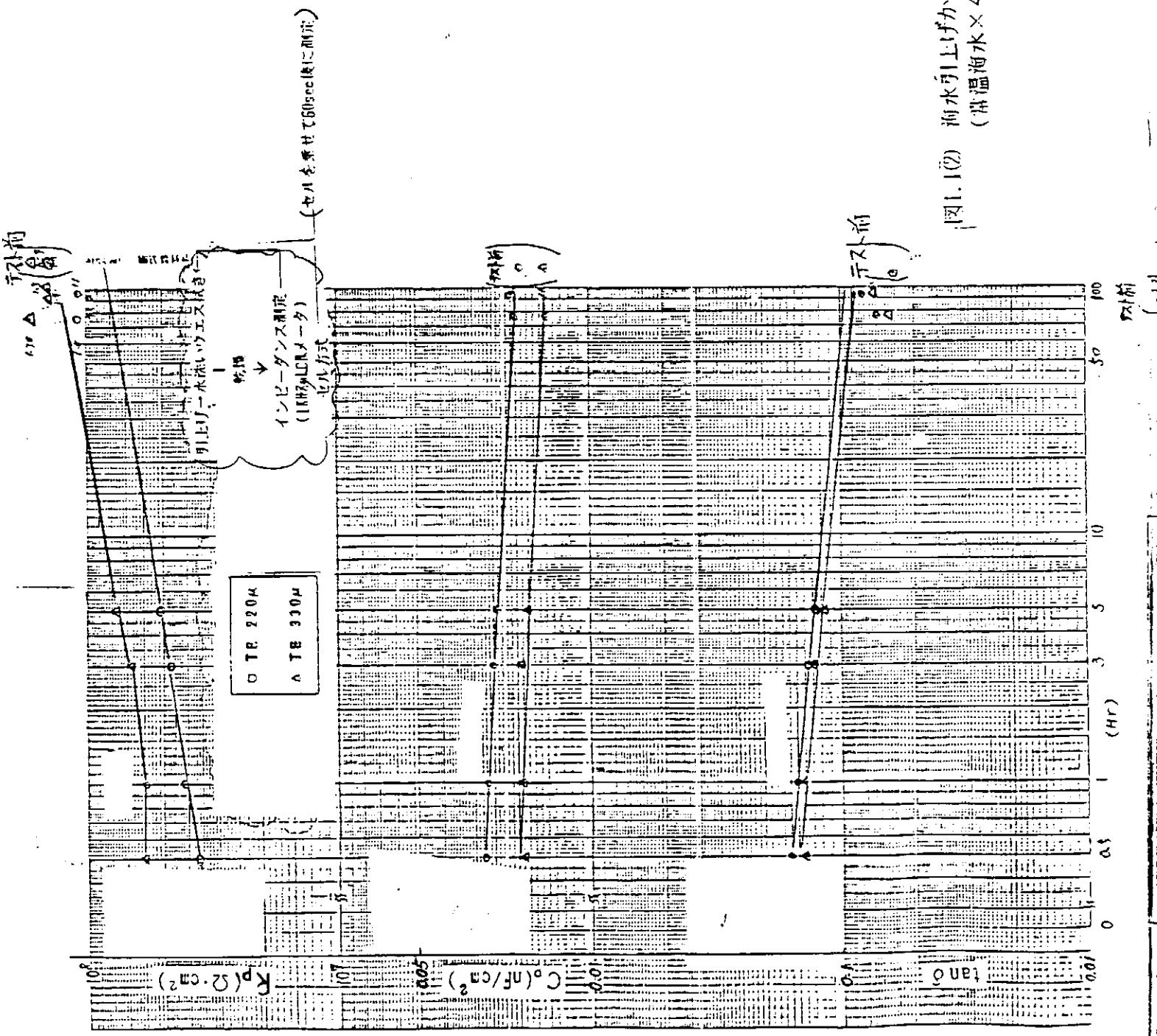


図1.1(2) 海水引上げからの乾燥時間(HR)とイノシシの  
(常温海水×4日間)  
(湿度50~70RH%)

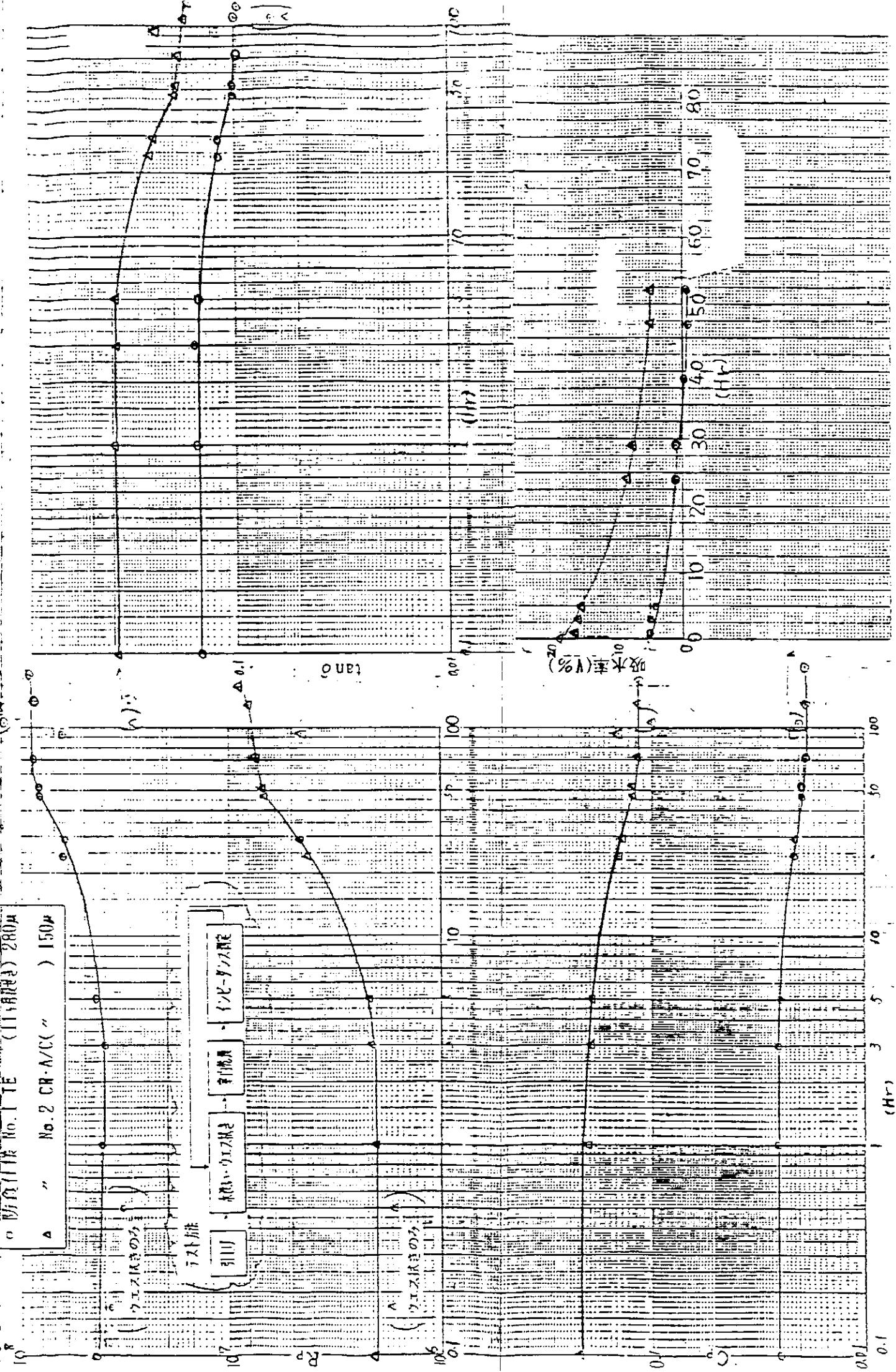
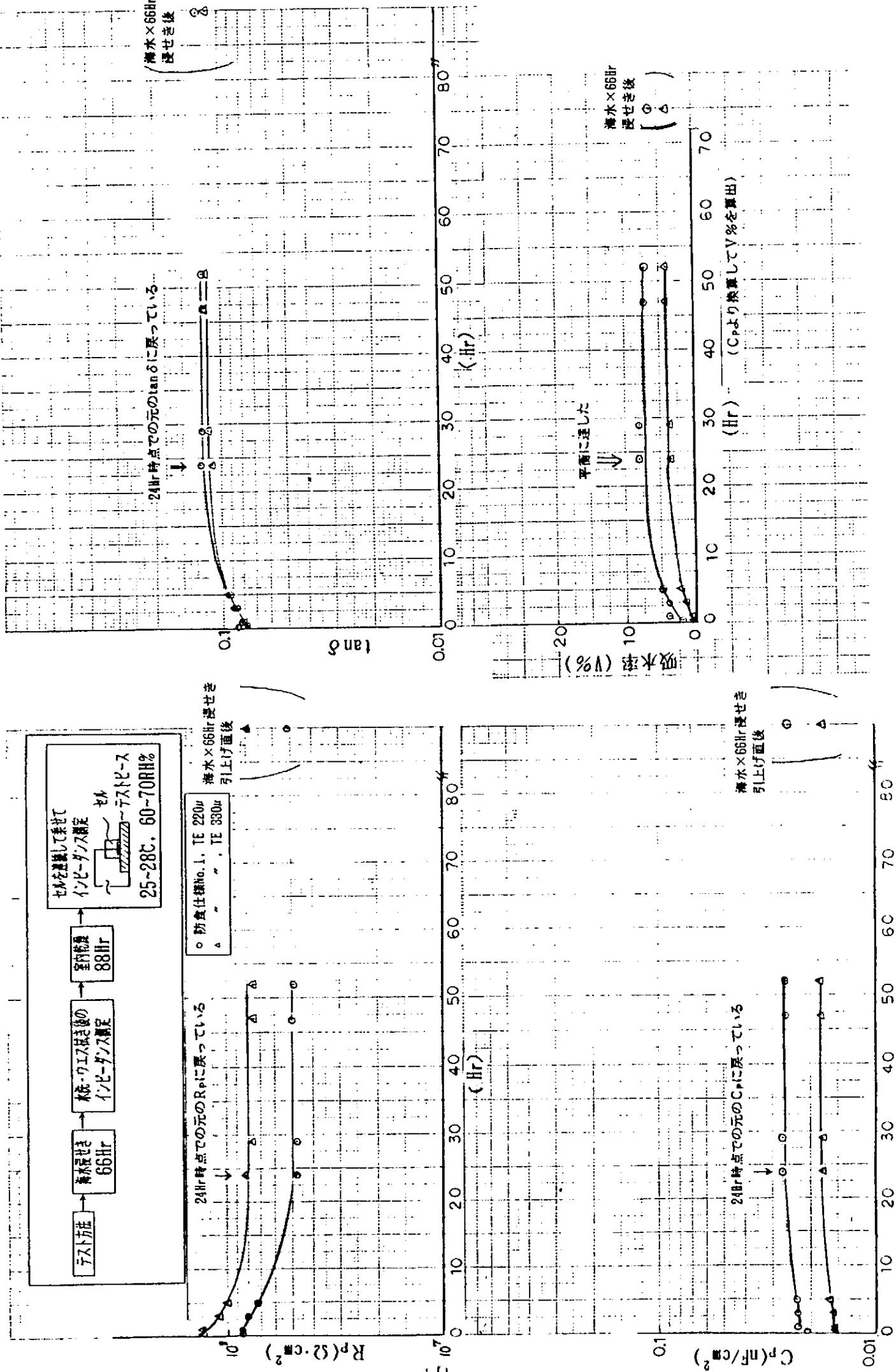
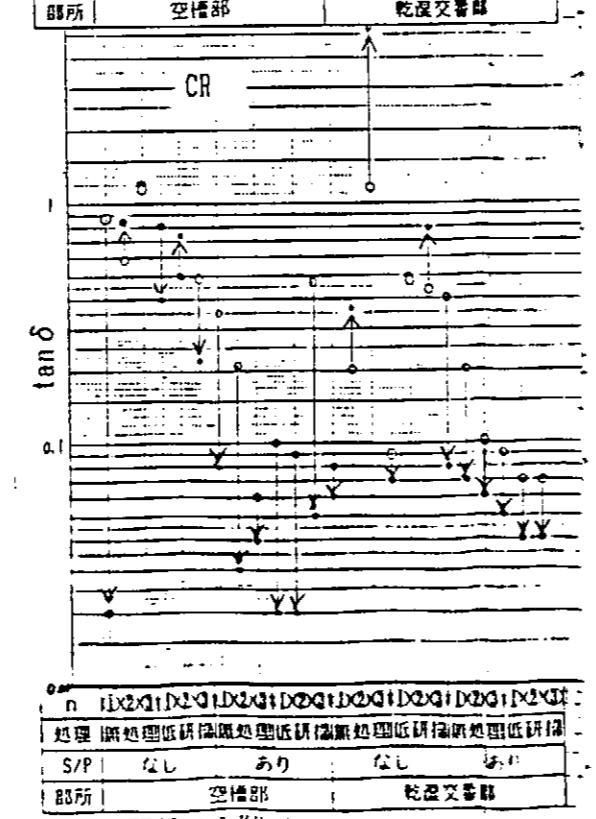
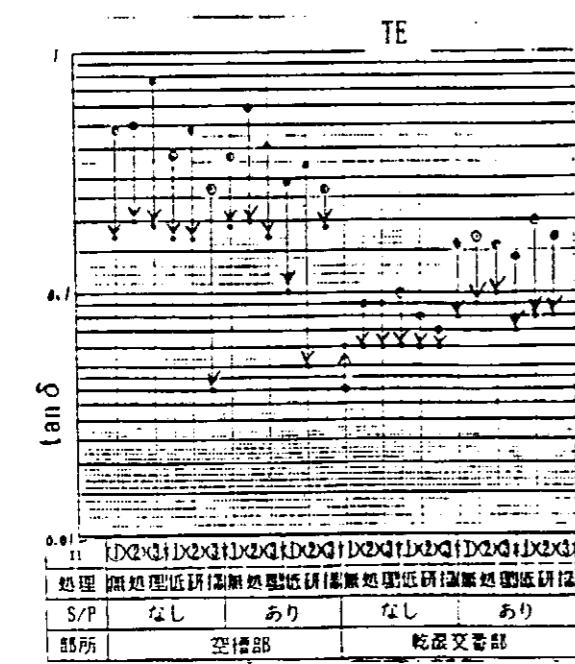
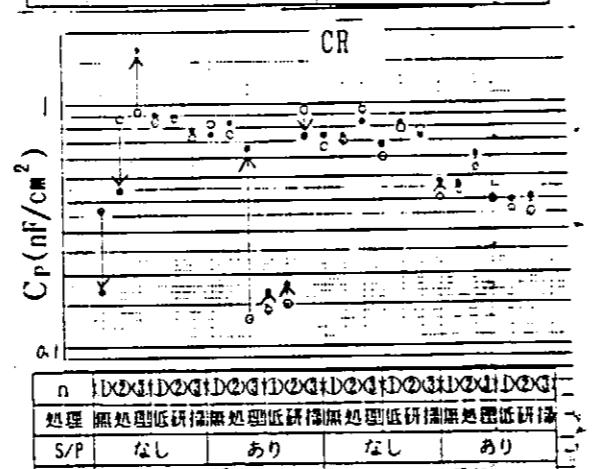
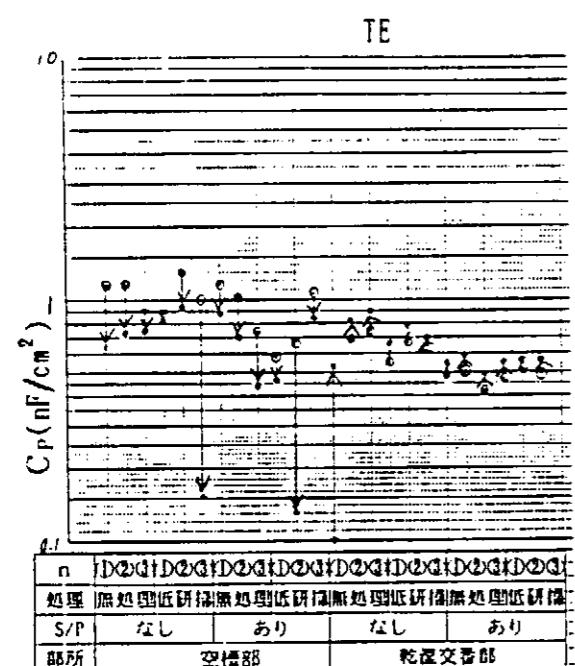
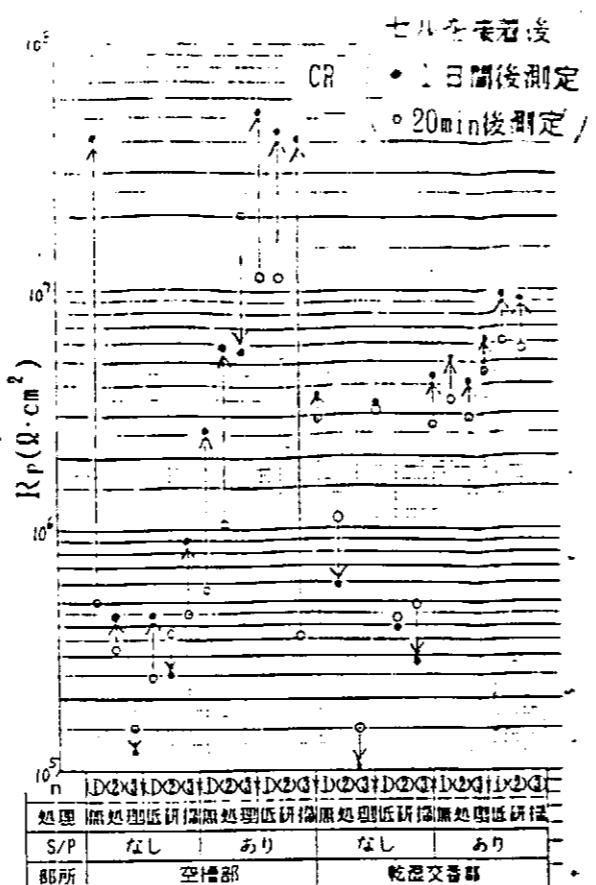
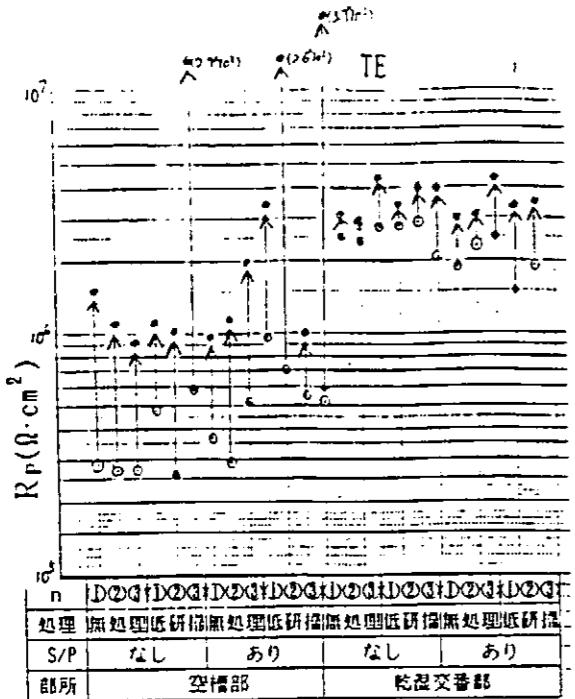


図1.13 海水引上げからの乾燥時間とインビーダンスの関係 (1kHz, LClメータ) (気温 23~28°C)  
 (テストベース: 11ヶ月浸せきのTE及UHR-A/C)  
 (湿度 50~72RH%)

図1.14 車両遮音板の浸漬時間とインピーダンスの関係 (1KHz, LCRメータ)





### 実験方法

#### (1) 塗装系

鋼板をプラスチック後S/P塗装有無のTE及びCR塗装

#### (2) 塗膜テスト

乾潤交替13サイクルテスト(1サイクル: バラスト20日間+空槽20日間)

#### (3) インピーダンス測定(CMCベースト/Aεはく法)

のり: CMCのり(3%CMC, 3NaCl)

セル面積:  $25\text{cm}^2 \Rightarrow 20\text{min}$ , 1日間に測定

計器: キャパシタンスマータ ACM-03D(アイコウ電機)

測定場所: 外観上, 異状なし部

図1.15 アルミはくのはり付け時間とインピーダンスの関係(1KHz)

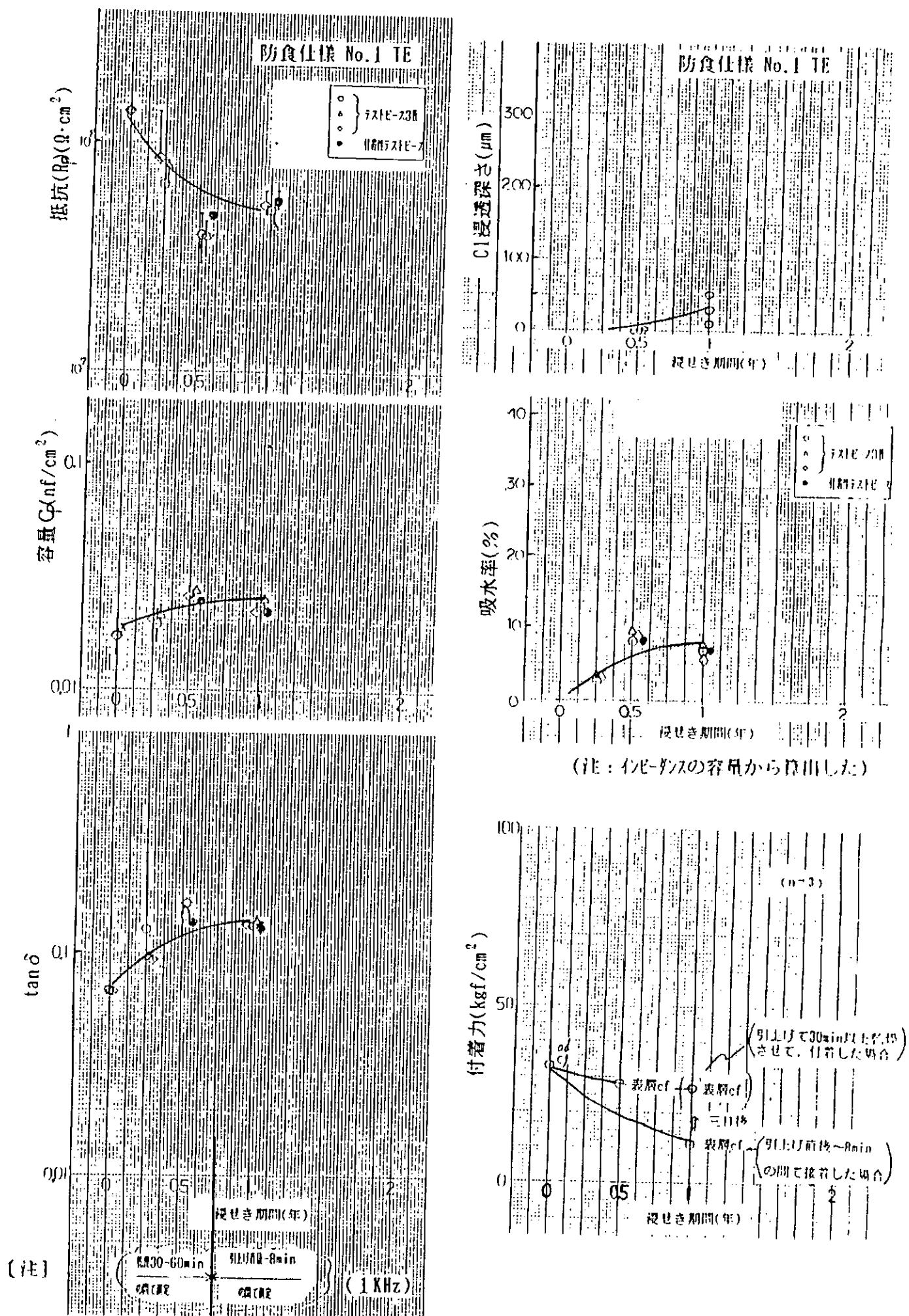


図1.1(6) 防食仕様No.1 TE の自然海水でのインピーダンス、吸水率、CI浸透深さ、付着力の経時変化

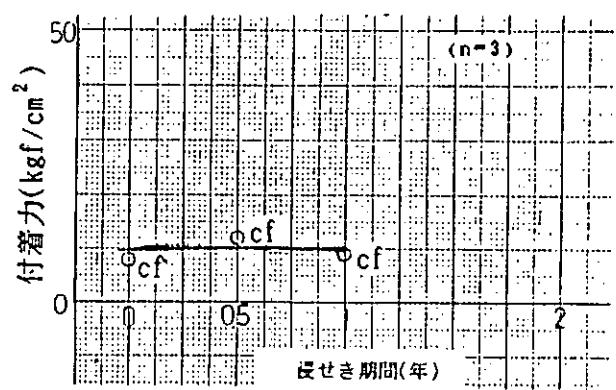
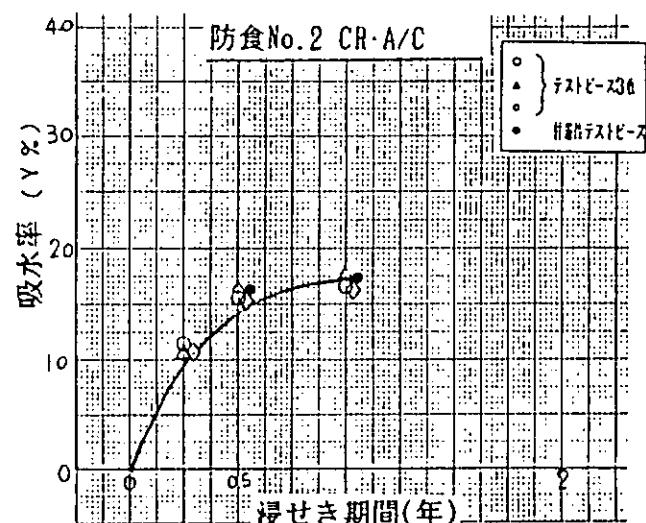
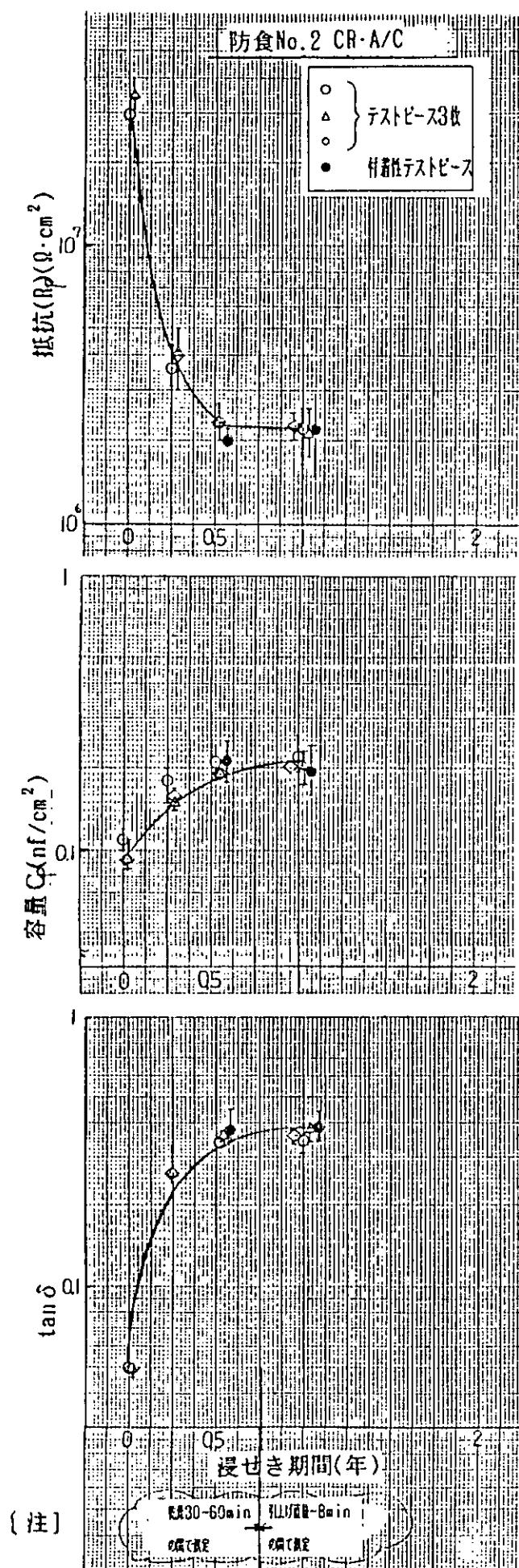


図1.1(7) 防食No.2CR-A/C-HBの自然海水でのインピーダンス、吸水率、付着力の経時変化

表1.1(1) カレントインタラク法によるCR-A/C-HB 1か年浸せき後の測定結果

塗膜	$R_f(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$11 \times 10^6$
	$C_f(\text{F}/\text{cm}^2)$	$6.2 \times 10^{-8}$
塗膜下	$R_d(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$11 \times 10^6$
	$C_d(\text{F}/\text{cm}^2)$	$1.5 \times 10^{-6}$

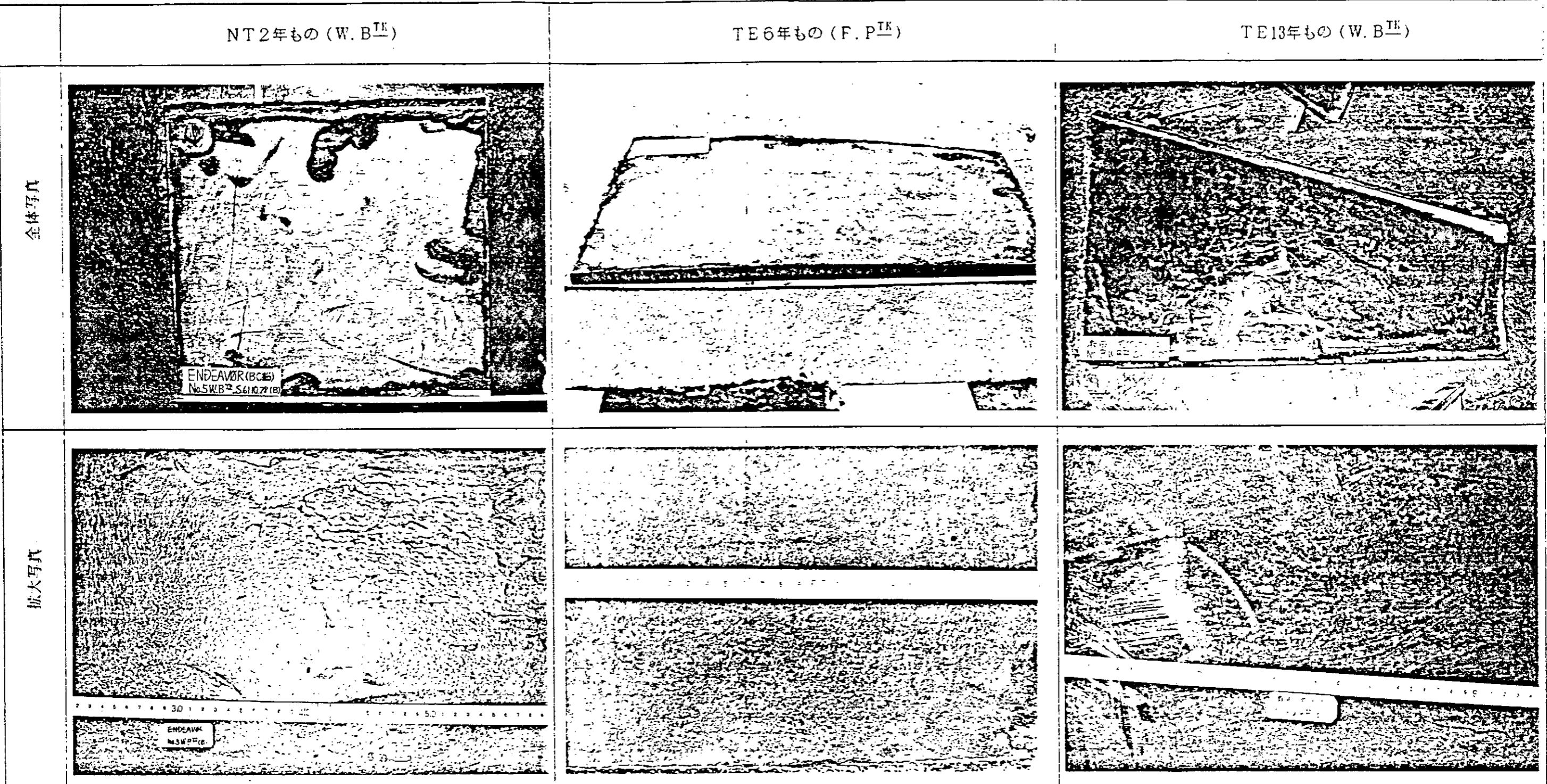
(注) (1) TEについては測定装置の能力を越えているため、測定できなかった。

(2) LCRメータ (1KHz)での測定値

$R_p(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$2 \times 10^6$
$C_p(\text{F}/\text{cm}^2)$	$2 \times 10^{-11}$
$\tan \delta$	0.35

表1.1(2) 実船塗装鋼板の経歴と膜厚測定結果

船名 船種 トントン 引渡日	NT(変形エボキシ) 2年もの		TE 6年もの		TE 13年もの	
	A船 バラ積船 37,000 S.59.11	B船 バラ積船 37,000 S.55.12	C船 タンカー 274,000 S.48			
採取場所 採取日時	三菱・下船 S.61.10.29	三菱・長船 S.61.10.2	川重・坂出 S.61.10.29			
採取した塗装鋼板 の部位 ・塗装仕様	No. 5 W. B <sup>TK</sup> NT×1回 (250μ)	F. P <sup>TK</sup> TE×1回 (250μ)	No. 3 W. B <sup>TK</sup> TE	No. 5 Stop <sup>TK</sup> TE		
その他	海難を受け、補修工事に切り 出された塗装鋼板	同 左	解体船			
採取鋼板	1m <sup>2</sup> ×2枚	1m <sup>2</sup> ×1枚, 小片×3枚	約1m <sup>2</sup> ×3枚	約2m <sup>2</sup> ×3枚	約2m <sup>2</sup> ×1枚	
塗膜測定結果	BLOCK RESULT (A) N = 107~148 B = 007 1m <sup>2</sup> Av = 288 μm S = 64.9 μm Max = 450 μm Min = 186 μm		BLOCK RESULT (A) N = 070~121 B = 004 1m <sup>2</sup> Av = 221 μm S = 48.5 μm Max = 344 μm Min = 125 μm		BLOCK RESULT (A) N = 001~077 B = 001 1m <sup>2</sup> Av = 201 μm S = 39.5 μm Max = 298 μm Min = 145 μm	
	BLOCK RESULT (B) N = 162~203 B = 003 1m <sup>2</sup> Av = 321 μm S = 59.7 μm Max = 411 μm Min = 118 μm		BLOCK RESULT (B) N = 122~176 B = 005 1m <sup>2</sup> Av = 253 μm S = 41.2 μm Max = 345 μm Min = 165 μm		BLOCK RESULT (B) N = 078~161 B = 002 1m <sup>2</sup> Av = 228 μm S = 91.1 μm Max = 496 μm Min = 40.2 μm	



(注、上部の中央部から、400×400 又は 300×300 を切出し、  
ビニールス、付着力、及び浸透深さの測定に使用)

図1.18 実船塗膜の外観及び表面状態

	TE13年もの(SLOP <sup>TK</sup> )
全体写真	
拡大写真	

図1.1(9) 実船塗膜の外観及び表面状態

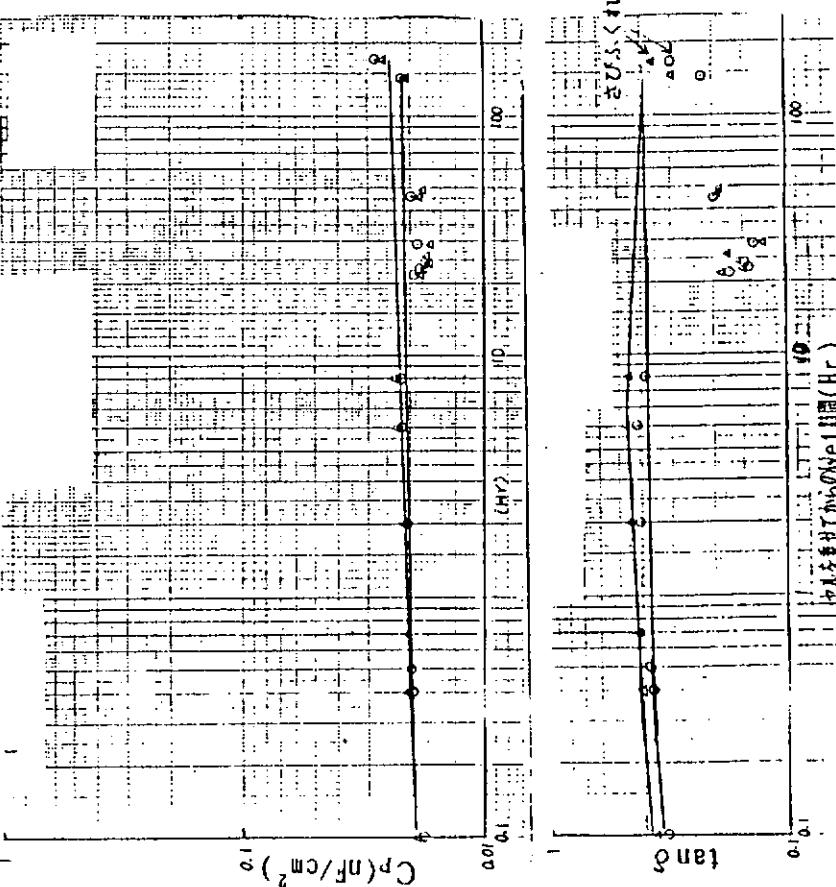
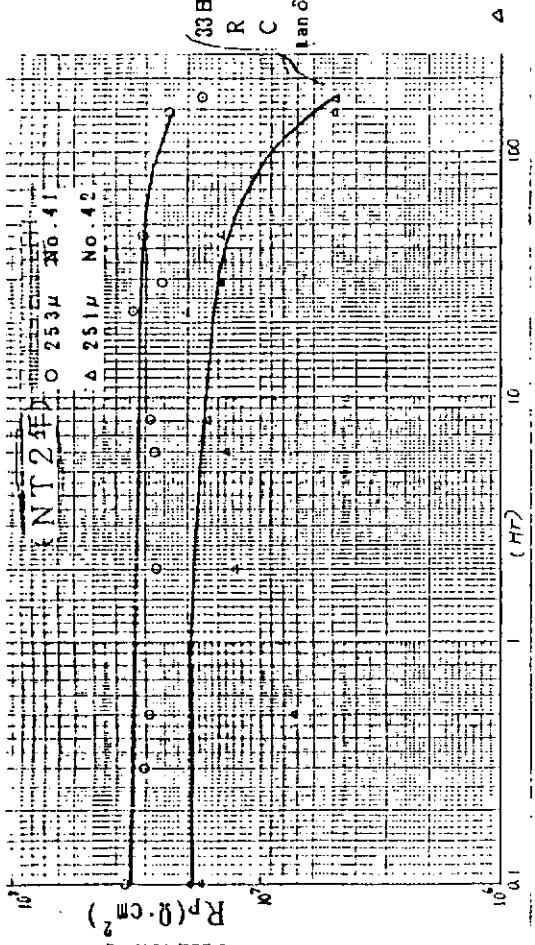
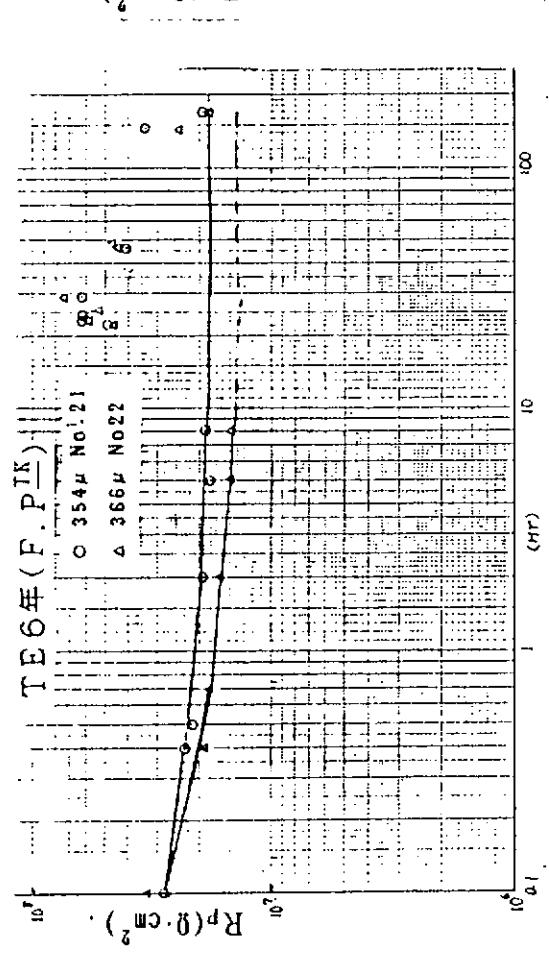


図1.100 実船塗装鋼板の浸潤時間とインピーダンスの関係 (TE 6年, 1KHz)

図1.111 同上 (NT 2年, 1KHz)

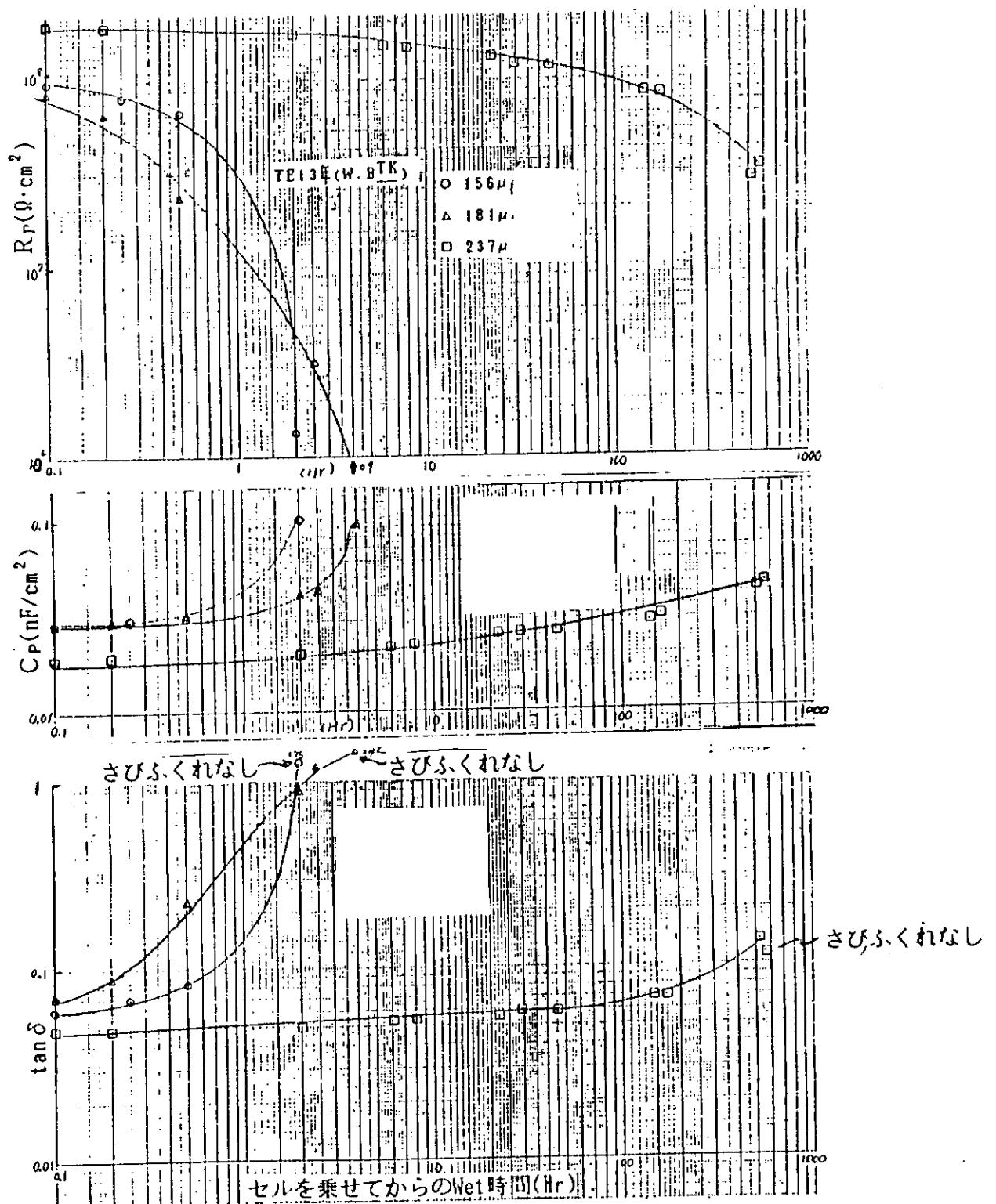


図1.1(12) 実船塗装鋼板の湿潤時間とインピーダンスの関係 (TE13年, 1KHz, LCRメータによる)

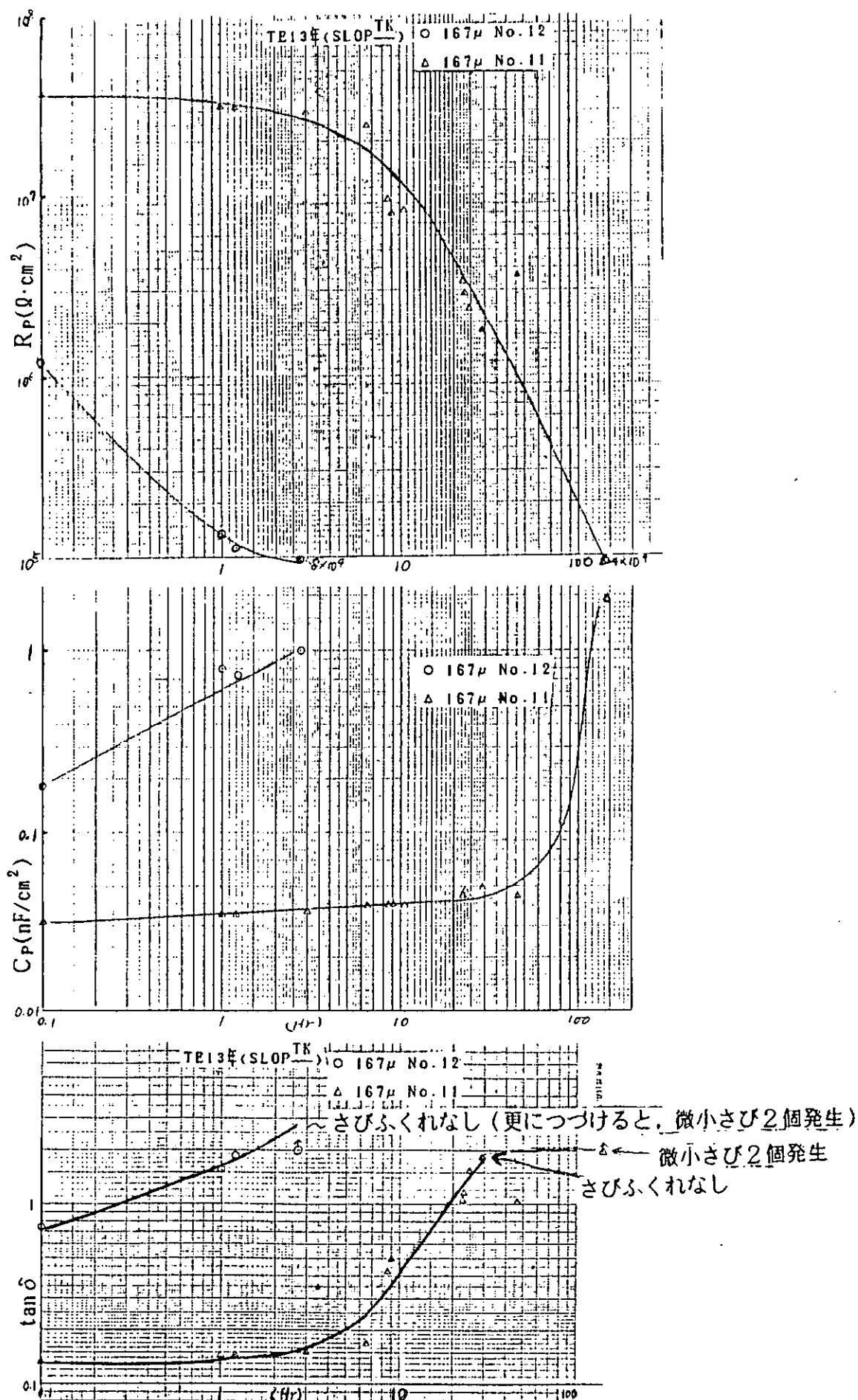


図1.1(13) 実船塗装鋼板の湿潤時間とインピーダンスの関係 (TE13年, 1KHz, LCRメータによる)

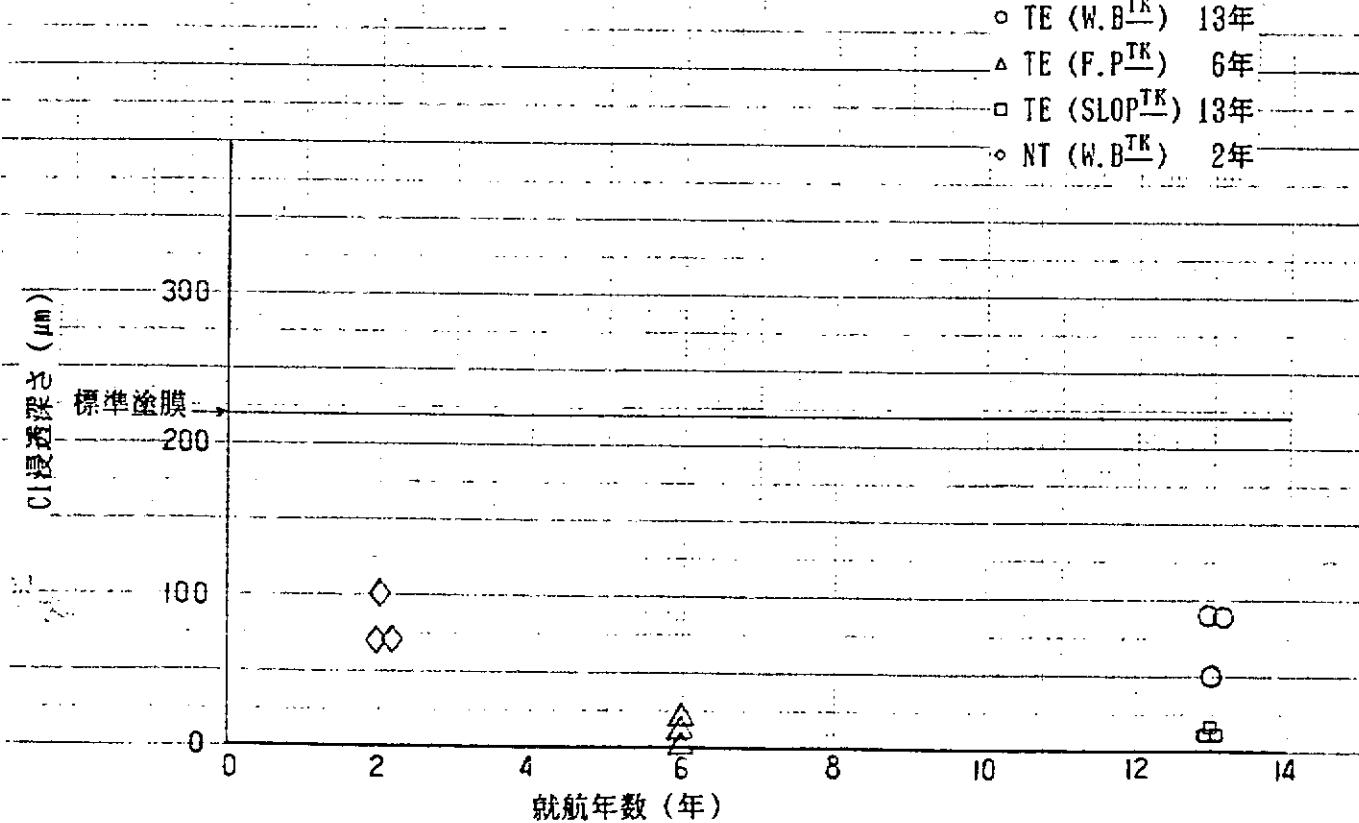
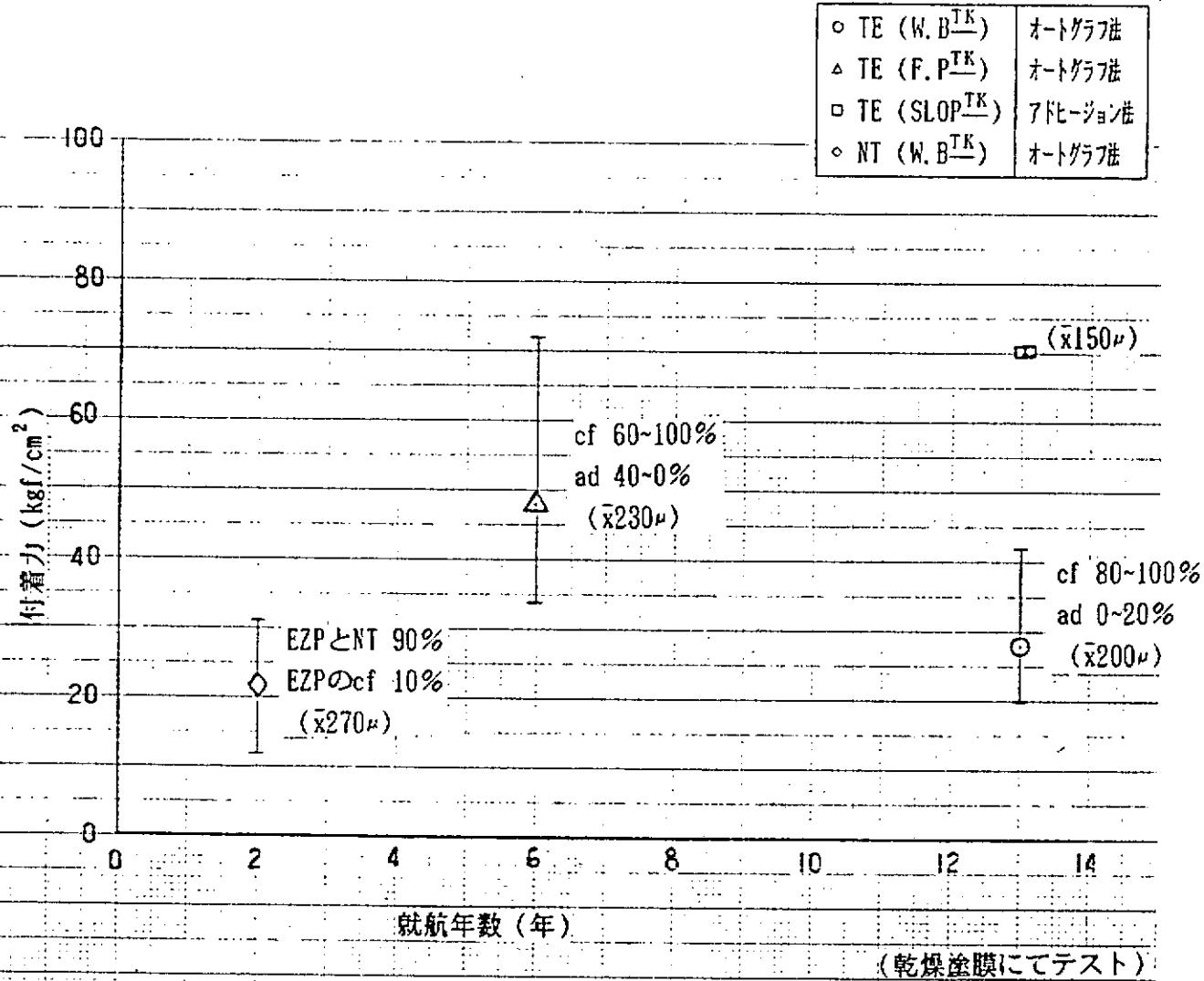


図1.1(14) 実船塗膜鋼板の就航年数と付着力及びCI浸透深さの経時変化 28

表1.1(3) 実船塗膜の外観、付着力、交流インピーダンス、カレントインタラブタ法による測定値

供試場所	NT 2年			TE 6年			TE 13年			TE 13年		
	W. B. <sup>TR</sup>	F. P. <sup>TR</sup>	W. B. <sup>TK</sup>	F. P. <sup>TK</sup>	W. B. <sup>TK</sup>	F. P. <sup>TK</sup>	W. B. <sup>TK</sup>	F. P. <sup>TK</sup>	W. B. <sup>TK</sup>	F. P. <sup>TK</sup>	W. B. <sup>TK</sup>	F. P. <sup>TK</sup>
膜厚(μm)	253	251	354	366	156	181	237	167	167	167	167	167
外観	さび、ふくれの有無 Wet後のさび、ふくれ	なし なし	なし 微少さび発生	なし なし	なし なし	なし なし	なし なし	なし なし	なし なし	なし なし	なし なし	なし なし
付着力	健全部塗膜下の発錆 はくり箇所	— NTS/P5%	— NTの調査で95% NTS/P5%	— 70%TEのcf 25%ad	— 90%TEのcf 10%ad	— TEのcf 100% TEのcf 100%	— TEのcf 100% TEのcf 100%	— TEのcf 100% TEのcf 100%	— TEのcf 95% EPZのcf 5%	— TEのcf 95% EPZのcf 5%	— TEのcf 95% EPZのcf 5%	— TEのcf 95% EPZのcf 5%
付着力(kgf/cm <sup>2</sup> )	38	38	59	69	43	41	70	70	70	70	70	70
抵抗R <sub>P</sub> (MΩ·cm <sup>2</sup> )	18	5	20	20	1.3	0.9	30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
インピーダンス (1kHz)	容量C <sub>P</sub> (nF/cm <sup>2</sup> )	0.045	0.048	0.026	0.028	0.1	0.09	0.04	1.0	1.0	2.0	2.0
時定数(sec)	0.81×10 <sup>-3</sup>	0.24×10 <sup>-3</sup>	0.52×10 <sup>-3</sup>	0.56×10 <sup>-3</sup>	0.13×10 <sup>-3</sup>	0.081×10 <sup>-3</sup>	1.2×10 <sup>-3</sup>	0.1×10 <sup>-3</sup>	0.1×10 <sup>-3</sup>	0.1×10 <sup>-3</sup>	0.2×10 <sup>-3</sup>	0.2×10 <sup>-3</sup>
tan δ	0.20	0.68	0.30	0.37	1.25	2以上	0.13	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
塗膜	R <sub>f</sub> (cm <sup>2</sup> )	—	0.99×10 <sup>6</sup>	—	5.6×10 <sup>7</sup>	—	4.7×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>11</sup>	3.4×10 <sup>6</sup>	—	—	—
インピーダンス (10mHz~10KHz)	C <sub>f</sub> (cm <sup>2</sup> )	—	0.12nF	—	0.15nF	—	0.13nF	0.068nF	0.12nF	—	—	—
塗膜下	R <sub>d</sub> (cm <sup>2</sup> )	—	2.4×10 <sup>6</sup>	—	—	—	1.47×10 <sup>7</sup>	—	4.3×10 <sup>6</sup>	—	—	—
カレントインタラブタ法	C <sub>d</sub> (cm <sup>2</sup> )	—	0.52×10 <sup>-7</sup>	—	—	—	6.0×10 <sup>-7</sup>	—	1.8×10 <sup>-4</sup>	—	—	—
塗膜	R <sub>f</sub> (MΩ·cm <sup>2</sup> )	—	—	—	—	0.27	0.26	—	0.56	—	—	—
カレントインタラブタ法	C <sub>f</sub> (F/cm <sup>2</sup> )	計器の能力オーバーのため	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
塗膜下	R <sub>d</sub> (MΩ·cm <sup>2</sup> )	データは取れなかった	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	C <sub>d</sub> (F/cm <sup>2</sup> )	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

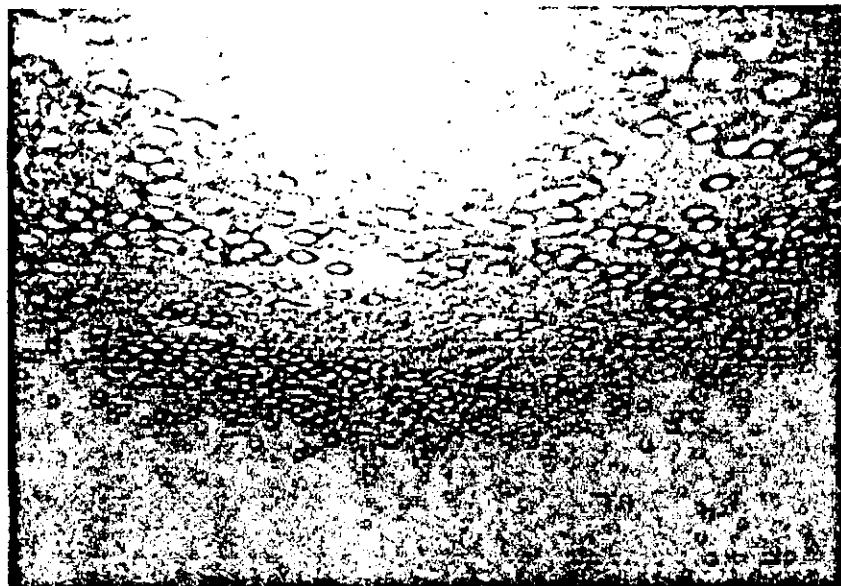
(注) 広周波数域でのインピーダンス及びカレントインタラブタ法による測定は1KHzでのインピーダンス測定後、約1週間から3週間後に実行った。

表1.1(4) 実船塗膜のさび, ふくれとインピーダンス, 付着力の関係  
(R, C,  $\tan \delta$ )

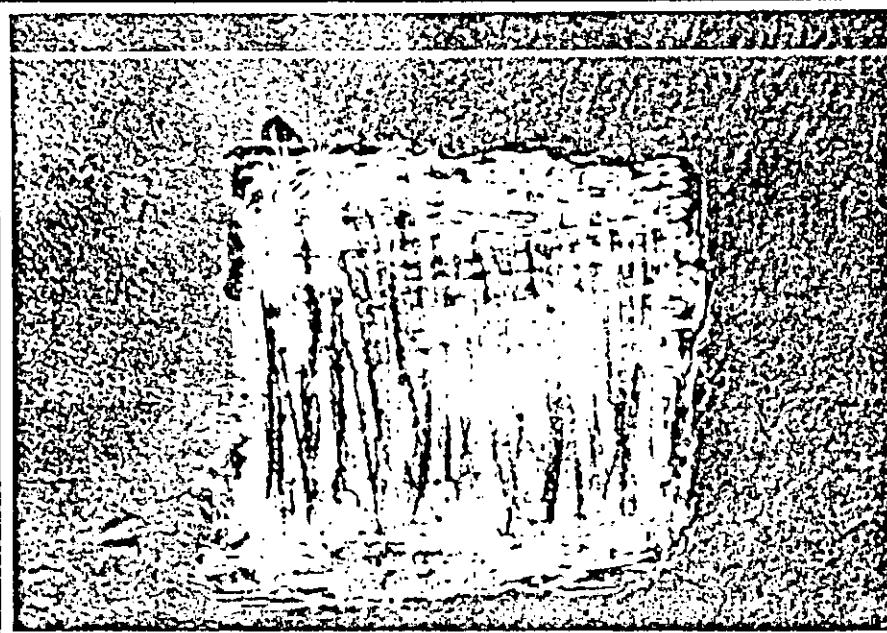
湿润後の塗膜表面の さび, ふくれの有無	$\tan \delta$	R (MΩ·cm <sup>2</sup> )	C (nF/cm <sup>2</sup> )	付着力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	付着力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
				湿潤後	
なし	0.1	10~30	0.02 ~0.045	70	12~30 (x21) 32~71 (x49) 70 20~41 (x28)
なし	0.2			38	
なし	0.3			59	
なし	0.4			69	
微小さび	0.7	5	0.05	38	
なし	1	1	0.1	43	
なし, 微小さび	2以上	0.1~0.9	0.09~2.0	41, 70, 70	

表1.1(5) 塩化ゴム塗装船の経歴及び新造時の健全塗膜下の鋼板表面状況調査結果

経歴	船名	D船
	船種	タンカー
	トン数	270,000
	引渡日	昭和49年6月
	調査場所	住重・追浜
	調査日時	昭和61年9月16日~10月10日
	調査部位	船底平坦部及び船底立上り部
	建造時塗装仕様	塩化ゴムA/C 40μ×3回 + 塩化ゴムA/F4Sμ×2回
新造時の 健全塗膜下 の鋼板表面 状況	10cm×10cmの範囲をスクレーバーを使用して塗膜を剥して鋼板表面状態を観察した結果、新造時の塗膜（塩化ゴム系）により鋼板は完全に保護防食されていた。 塗膜の経年劣化はなく付着力も良好で塗膜除去作業が大変であった。 周囲の塗膜厚は 500~600μ であった。	



船底平坦部（左舷）



船底平坦部

塗膜除去範囲  
(100×100mm)

塗膜下の発錆はなかった。

図1.1(15) 塩化ゴム塗装船の塗膜状態及び塗膜下の状態

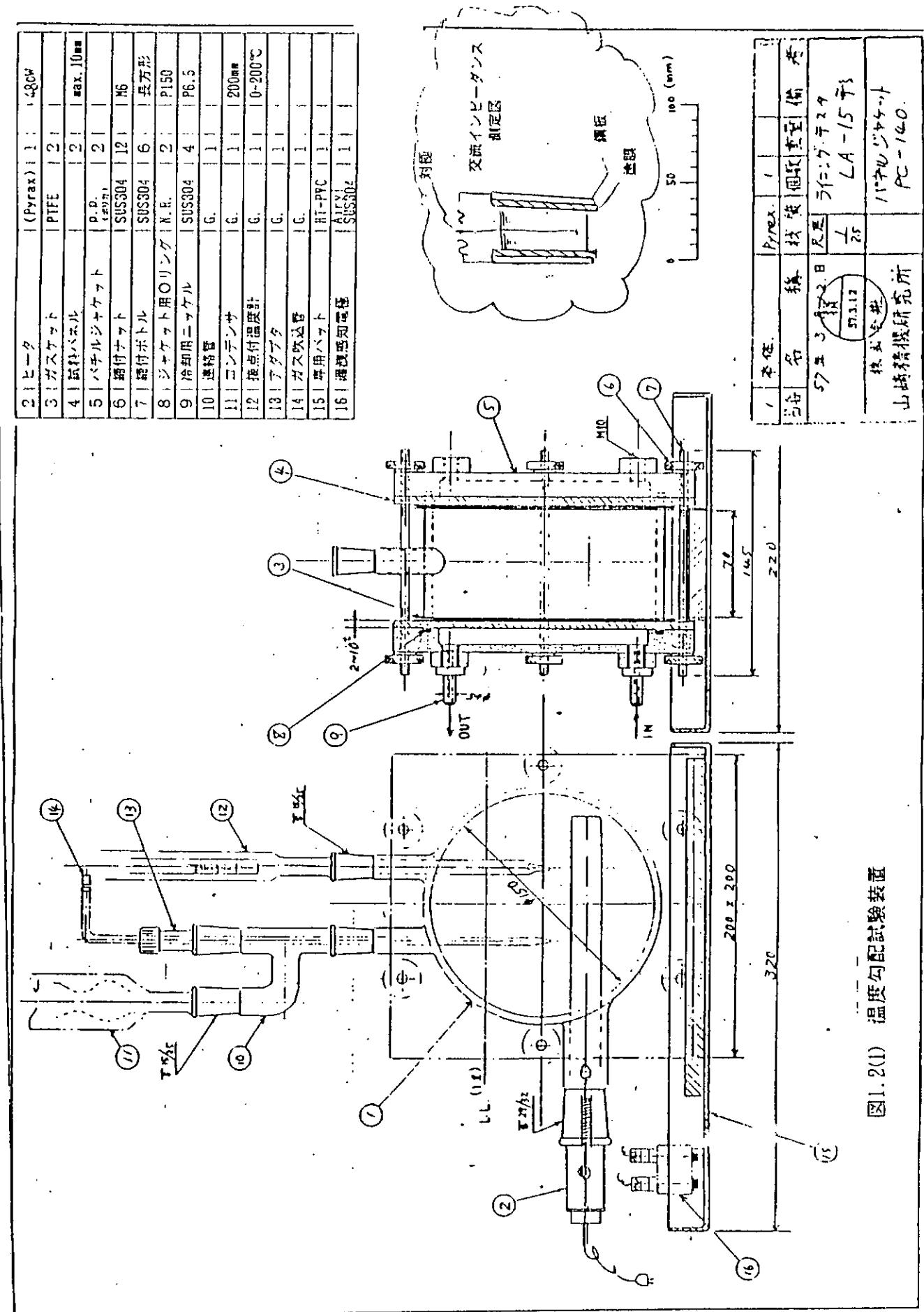
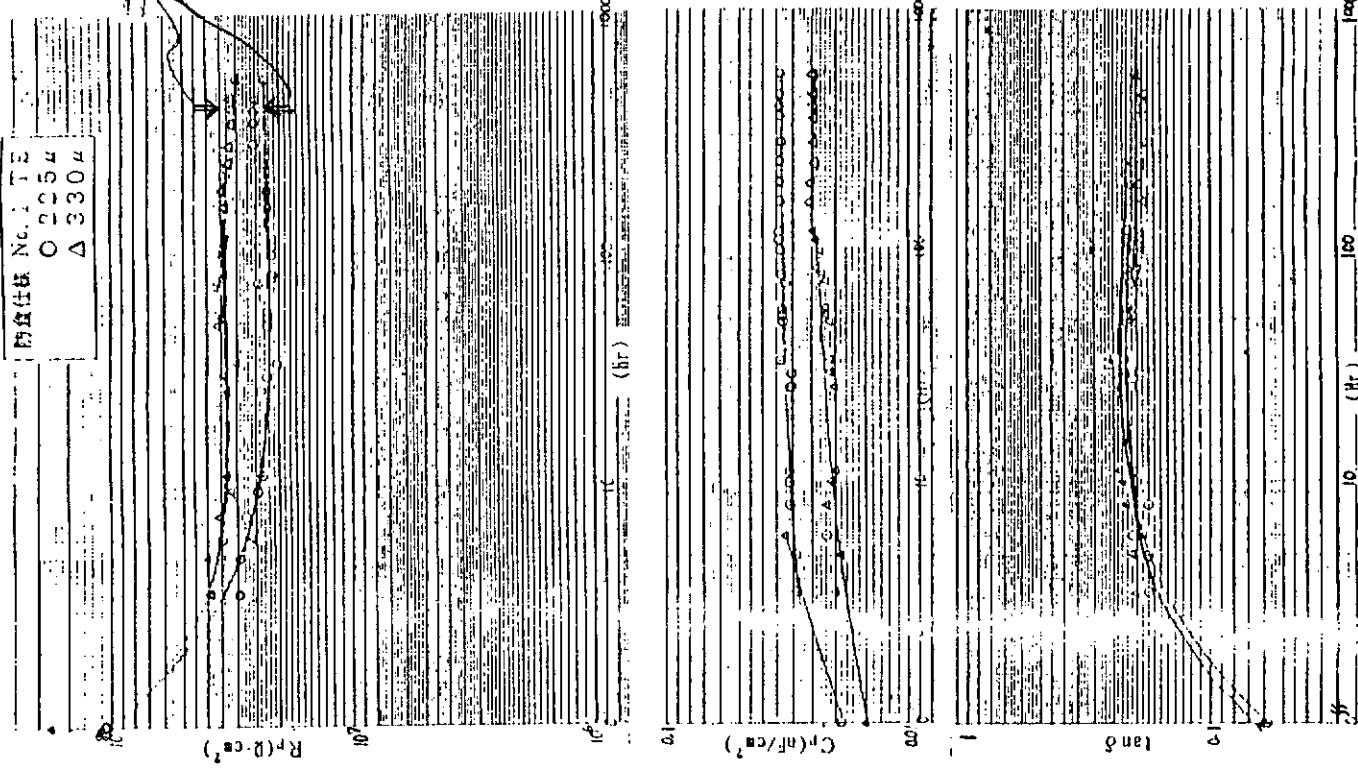
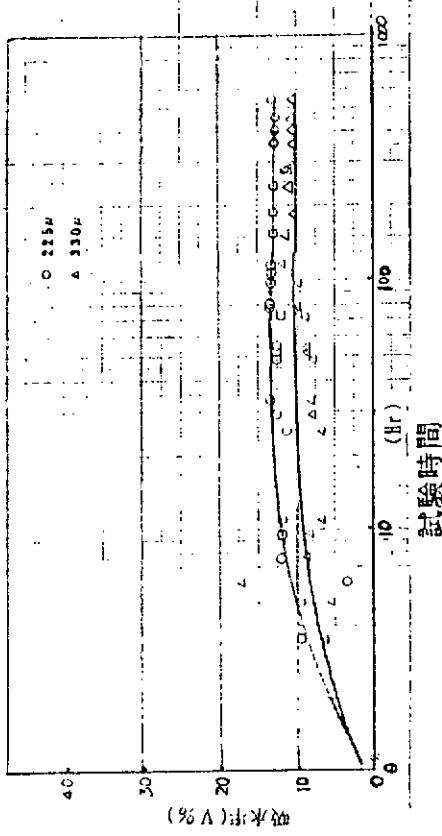


図1.2(1) 溫度勾配試験装置

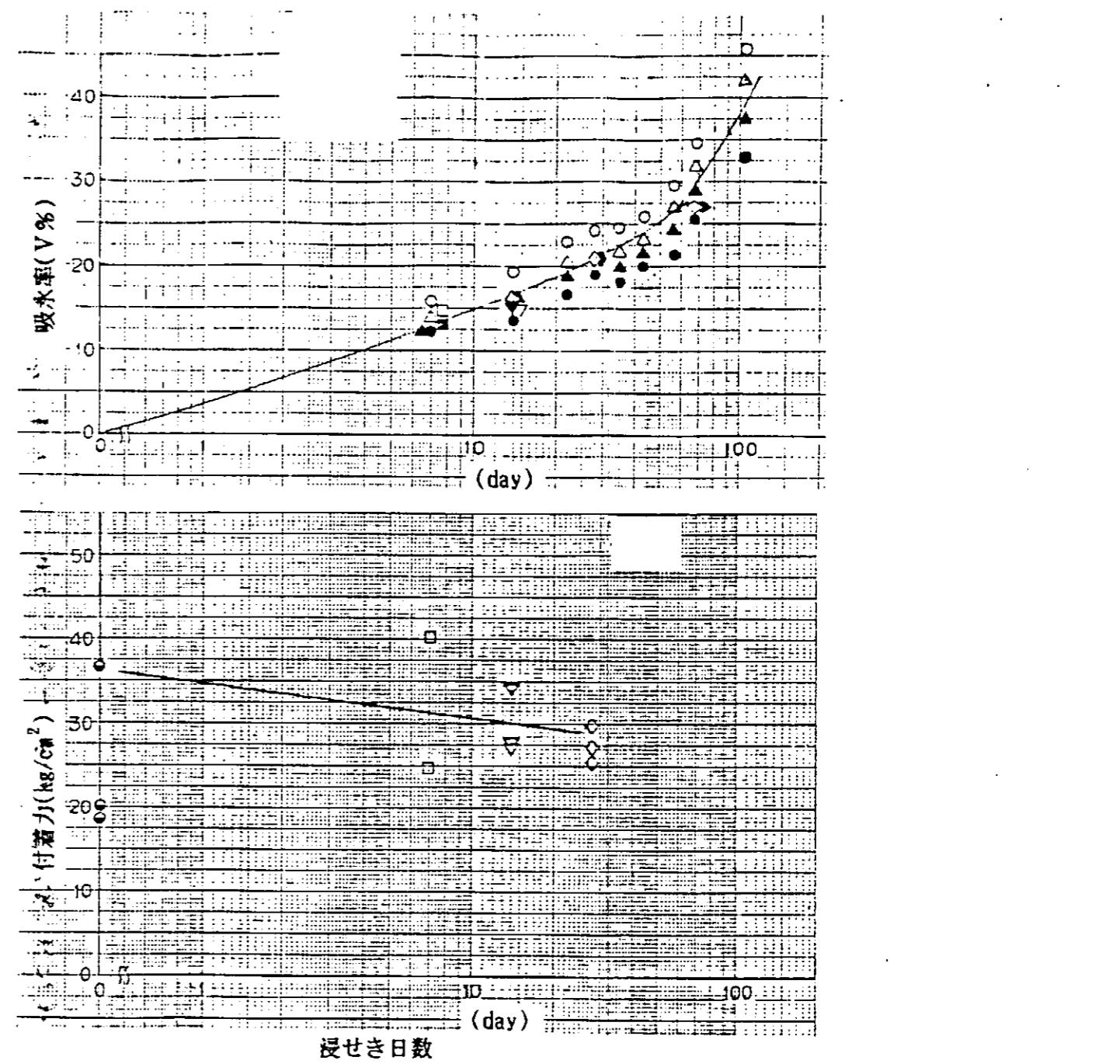
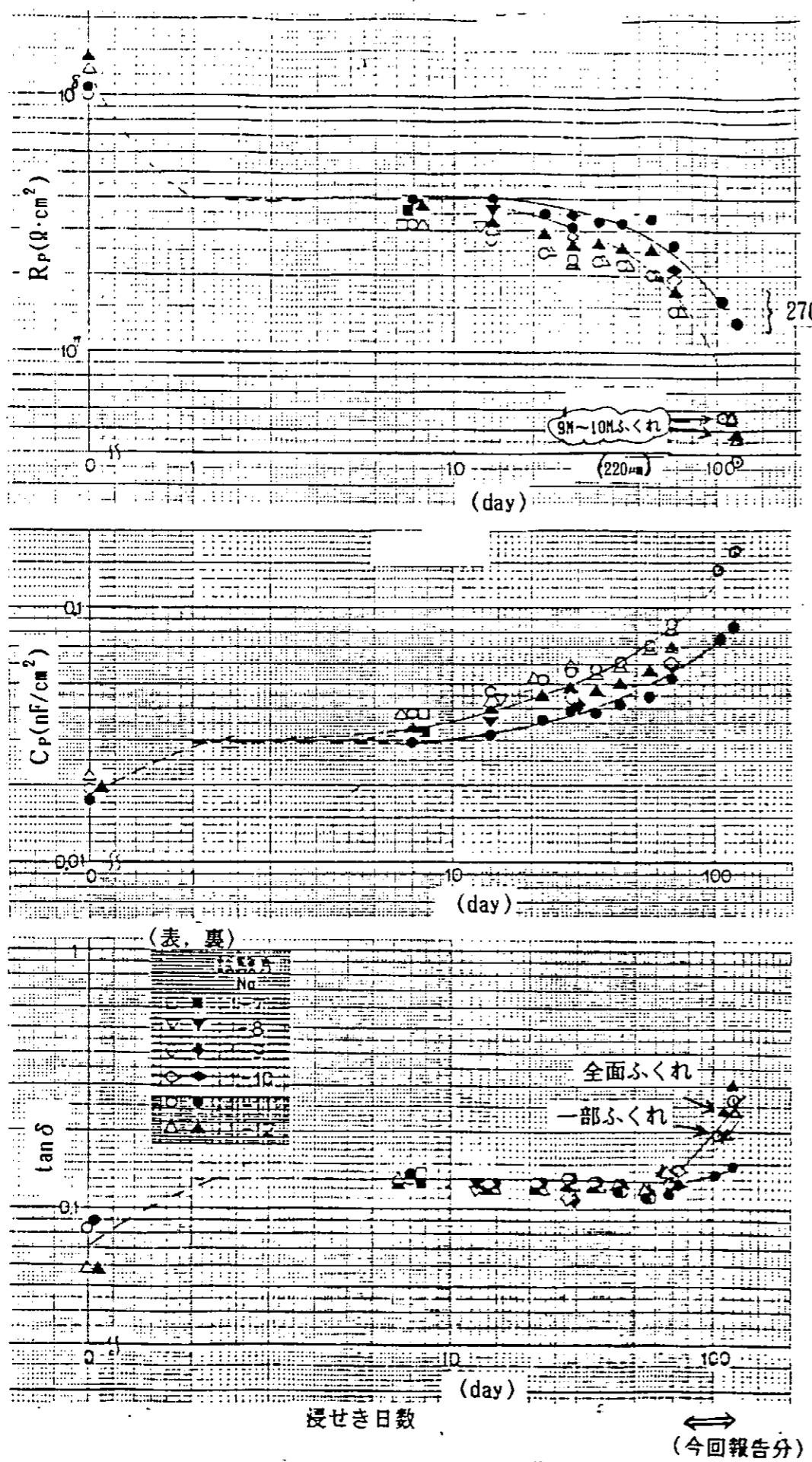


(注：インピーダンスの容量から算出)



一部に6Fあくれ

図1.2(2) 溫度勾配下でのインピーダンス及び吸水率の経時変化 (50°C/4120°C, TE)



試験日数	7	14	28	68	104	119
ふくれ	なし	なし	なし	なし	9~10Mふくれ (220μm) なし(270μm)	9~10Mふくれ (220μm) なし(270μm)
下地の発錆	なし	なし	なし	—	—	ふくれの下は発錆あり 鍍金層の下も発錆あり

図1.2(3) インピーダンスに及ぼす促進液(A)の影響 (40°C, TE)  
(MHI法)

(T/E)

(n=2)

- ◆ ; 3%, 鋼
- △ ▲ ; 0.3%~40℃
- ● ; 3%, 40℃
- ■ ; 5%, 40℃

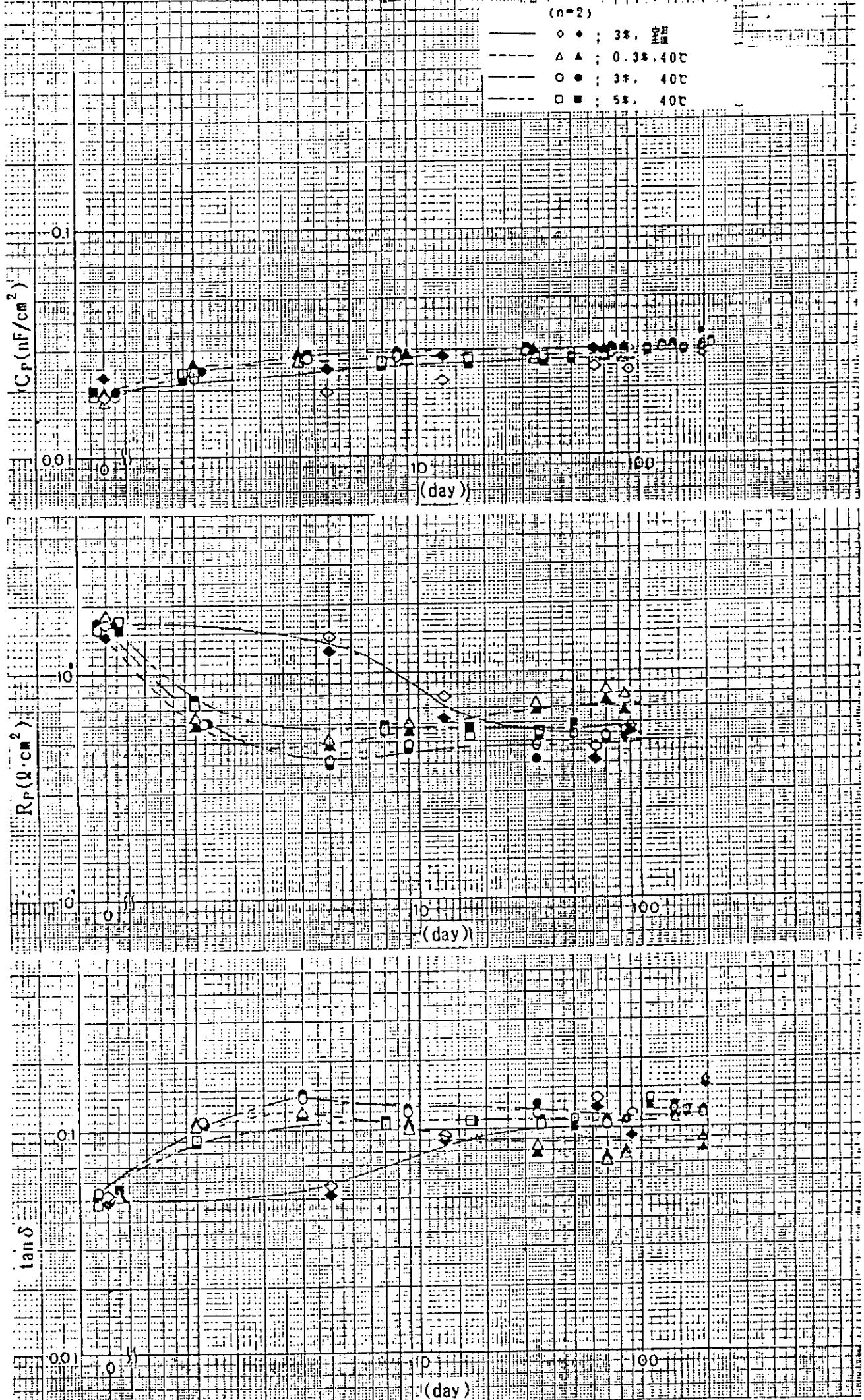


図1.2(4) 塩濃度とインピーダンスの関係（防食仕様 No.1 TE, 40℃×0.3%, 3%, 5%） 35

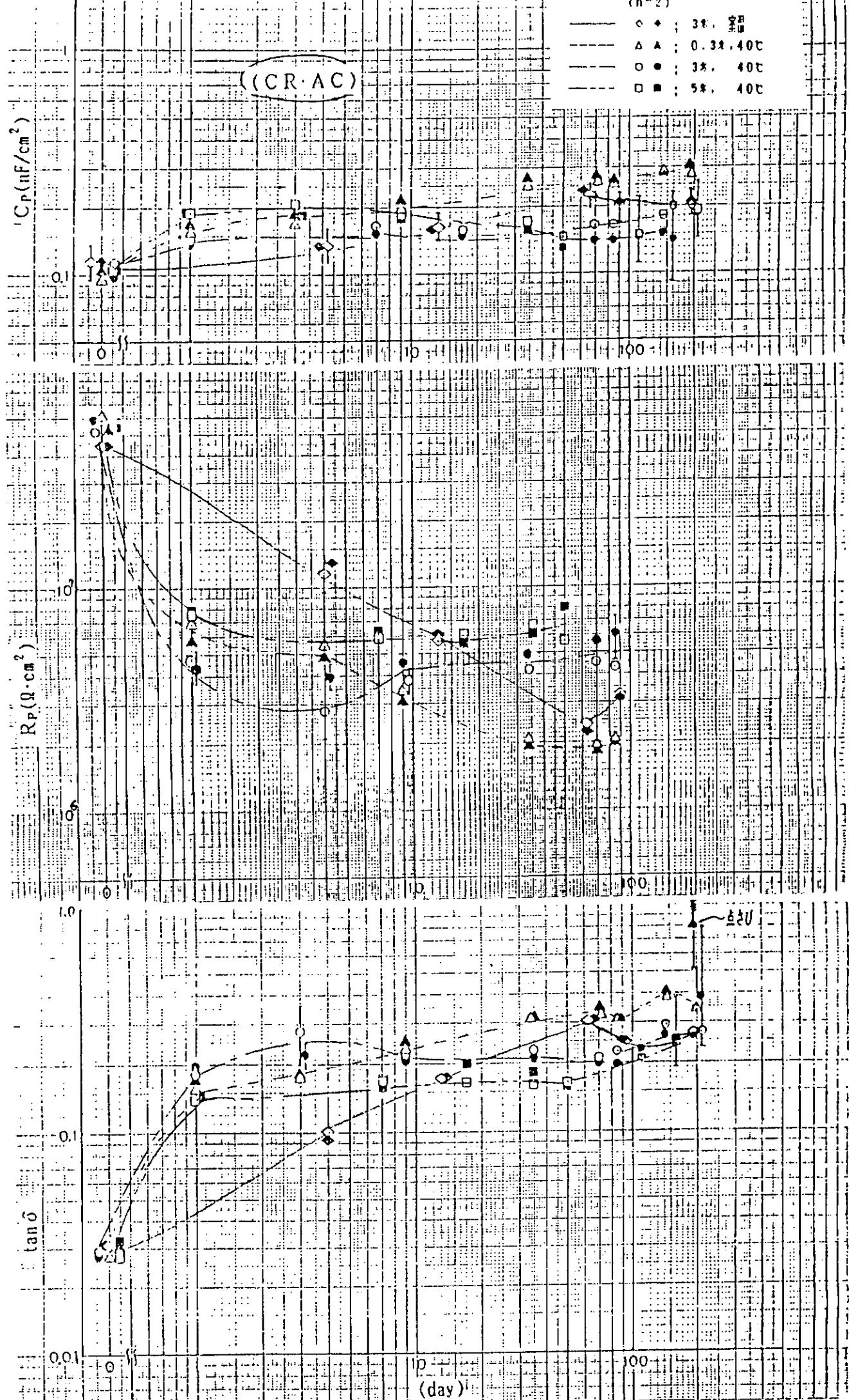


図1.2(5) 塩濃度とインピーダンスの関係 (防食仕様NO.2 CR.A/C,HB, 40°C × 0.3%, 3%, 5%) 36

表1.2(1) 塩濃度と付着力の関係（約200日、浸せき後、オートグラフによる）

供試塗料	液温及び 塩濃度	付着力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	はがれ箇所
TE	40℃, 0.3%	25 24 (5)	ad 100% ad 100% ad 100%
		25 29 27	ad 100% ad 100% ad 100%
		26 23 22	ad 100% ad 100% ad 100%
	40℃, 3 %	15 13 14	cf 100% cf 100% cf 100%
		5 6 5	s/p+CR· A/Cの間から, 離100%
		4 5 (はがれ)	s/p+CR· A/Cの間から, 離100%
	40℃, 5 %	15 13 14	(銹)スコッチテープによるテスト 約1~2%はくり
		5 6 5	約20%はくり
		4 5 (はがれ)	約50%はくり

## 2. 塗膜の耐久性に与える要因の検討

### 2.1 表面処理グレードと塗膜の耐久性

#### (1) 目的

船舶、海洋構造物に用いられる各種防食仕様は、対象となる部位、並びに耐用年数などを考慮して施工されるべきである。

しかし、最適防食仕様が未確立のため、安全策として過防食の方向に進んでいるのが実情である。

従って、塗料、表面処理グレード、及び用途別による塗膜耐久性を把握し、防食仕様の最適化を図る。

#### (2) 実施内容

##### (a) 表面処理グレード

J S R A · S P S S - 1 9 8 4 に記載されている表面処理グレードのうち、次の10種を試験の対象とする。

###### (i) 一次表面処理

J A S d 2 (グリットブラスト処理)

###### (ii) 二次表面処理

ショップライマは、無機ジンクリッヂとする。

###### (イ) 無加工

I O

###### (ロ) パワーツール処理

I H P t 1, I H P t 3 (手溶接部)

I F P t 1, I F P t 3 (歪取部)

###### (ハ) サンドブラスト処理

I H S d 2, I H S d 3 (手溶接部)

I F S d 2, I F S d 3 (歪取部)

##### (b) 塗料

(i) 厚膜型タルエポキシ塗料 (膜厚 D r y 220 μm, 1回塗り) 暗号: T E

(ii) エポキシ塗料 (膜厚 D r y 200 μm, 2回塗り) 暗号: P E · A / C

(iii) 厚膜型塩化ゴム塗料 (膜厚 D r y 120 μm, 2回塗り) 暗号: C R · A / C · H · B

##### (c) 試験方法

試験対象部位は飛沫部と没水部とし、下記の方法で試験する。

###### (i) 飛沫部

天然試験：乾湿交替を伴う海浜飛沫部天然暴露試験（昭和60年度開始）

海浜飛沫部での暴露条件は、大略次の様である。

- ・懸架方法 ..... 東向、垂直懸架
- ・没水時間 ..... 約2hr／1日
- ・乾燥交番（飛沫含む）時間 ..... 約6hr／1日
- ・大気暴露時間 ..... 約16hr／1日

促進試験：「紫外線（波長：253.7nm）照射7日」+「40°C天然海水浸漬7日」

上記を1サイクルとした交番試験（昭和61年度、TE塗料のみ開始）

## (ii) 没水部

天然試験：天然海水浸漬試験（昭和60年度開始）

促進試験：40°C天然海水浸漬試験（昭和61年度、TE塗料のみ開始）

## (3) 評価方法

下記による評価を定期的に実施する。

### (a) 外観

ふくれ、さび等の観察（ASTM, D714-56, D610-68等による）

### (b) 直流法

#### (i) エレクトロメータによる測定（飛沫部試験のみ）

直流電圧印加方式により、塗装鋼板の塗膜体積抵抗の経時変化を求める。

（図2.1.1参照）

機器名：エレクトロメータTR8652（タケダ理研）

電極寸法：主電極25cm<sup>2</sup>（5×5cm）ガード電極90φ

測定範囲：10<sup>-2</sup>Ωcm<sup>2</sup>～5×10<sup>-5</sup>Ωcm<sup>2</sup>

印加電圧範囲：0～20V（10mVステップ）

#### (ii) カレントインタラプタ法（没水部試験のみ）

塗装鋼板に微小の定電流を短時間通電し、電流切断時の分極過渡現象を観測することにより、塗膜と金属表面の分極抵抗とを分離して塗膜下腐食電流を求める。

（図2.1.2参照）

機器名：カレントパルスジェネレータ（北斗電工）

測定面積：12.56cm<sup>2</sup>（40φ）

測定範囲：10<sup>-4</sup>Ωcm<sup>2</sup>～10<sup>-12</sup>Ωcm<sup>2</sup>

印加電流範囲：10<sup>-3</sup>A～10<sup>-12</sup>A

### (c) 交流法

防食塗膜試験器により塗装鋼板の塗膜インピーダンスおよび  $\tan \delta$  の経時変化を求める。

(図2.1.3参照)

機 器 名 : 防食塗膜試験器 CJA-3 (新電子工業)

発 振 周 波 数 : 0.2, 0.5, 1.0 KHz

測 定 範 囲 :  $10^{-5} < C_x \cdot R_x < 10^{-2}$ ,  $\tan \delta > 1/60$

測 定 面 積 : 25 cm<sup>2</sup> (5 cm × 5 cm)

### (d) 付着力測定

付着力試験器により、塗膜の付着力の経時変化を求める。

(図2.1.4参照)

#### (i) アドヒージョンテスタによる測定 (飛沫部試験のみ)

機 器 名 : アドヒージョンテスタ (エルコメータ)

能 力 : 0 ~ 70 kgf/cm<sup>2</sup>, 0 ~ 150 kgf/cm<sup>2</sup>

測定時の温度 : 25 ° ± 3 °C

測定時の湿度 : 60 ~ 65 %

#### (ii) 引張り試験機による測定 (没水部試験のみ)

機 器 名 : 引張り試験機 (ミネベア, TCM-500)

引 張 り 速 度 : 5 mm/min

能 力 : 最大荷重 500kg

測定時の温度 : 20 °C

測定時の湿度 : 60 %

## (4) 飛沫部を対象とした試験

### (a) 塗装前処理試験片の作成

試験片寸法 : 150 × 150 × 4.5 mm (SS 41)

#### (i) 一次処理 (JSRA, JASd2)

黒皮銅をグリットブリスル処理にて、JSRA, JASd2とした。

図2.1.5(1), (2)に天然及び促進試験に供した試験片の表面アラサ測定結果を示す。

天然試験用 :  $R_{max} \times 7.8 \mu m$ ,  $JIS R z 6.5 \mu m$  ( $n = 5$ )

促進試験用 :  $R_{max} \times 7.8 \mu m$ ,  $JIS R z 6.8 \mu m$  ( $n = 5$ )

#### (ii) 二次表面処理

(イ) JSRA, JASd2銅板に無機ジンクリッヂプライマを塗布 (10)。

本塗装までに室内48Hr以上放置した。

#### (ロ) 溶接ビード肉盛

S/P塗装鋼板(1O)に溶接棒B-17, 4φによる手溶接ビードを試験片中央部に70mm長で肉盛加工後、2箇月間天然暴露し発錆させグリットブラスト処理(IHSd2, 3), パワーツール処理(IFPt1, 3)を実施した。

#### (ハ) 歪取

歪取加工を想定し、S/P塗装鋼板(1O)を800°Cで5分間熱加工(電気炉)後、2箇月間天然暴露し発錆させグリットブラスト処理(IFSd2, 3, IFPt1, 3)を実施した。

#### (b) 塗装

塗装は全試験片、エアレス塗装機にて実施したが、手溶接試験片のビードは刷毛にて先行塗りを行った。

表2.1.1(1), (2)に天然及び促進試験での膜厚測定結果を示す。

#### (c) 評価試験(劣化判定法)結果

##### (i) 外観

天然試験: TE, PE・A/Cの全試験片で12箇月経過まで異常はない。

CR・A/C・HBはIFPt1処理のみ9箇月経過後、ビード上フクレNo.6Fが発生し、12箇月時点でフクレNo.6M程度となっている。

促進試験: 4サイクル経過時点では異常はない。

##### (ii) 直流法

3%食塩水にカルボキシルメチルセルロースを3%溶解して作った電解質の糊で塗膜表面にアルミ箔(5×5cm)を貼付し、1時間放置後エレクトロメータ(タケダ理研製、TR8652)を用い、印加電圧20Vにおける1分後の直流抵抗を求めた。

天然試験での測定結果を表2.1.2(1)~(9)に示し、経時変化を図2.1.6(1)~(3)に示す。

促進試験での測定結果を表2.1.3(1)~(2)に示し、経時変化を図2.1.7に示す。

##### (iii) 交流法

3%食塩水にカルボキシルメチルセルロースを3%溶解して作った電解質の糊で塗膜表面にアルミ箔(5×5cm)を貼付し、1時間放置後防錆塗膜試験器(新電子工業製、CJA-3)を用い、各発振周波数における抵抗及び容量を測定すると共に次式によりtanδを求めた。

$$\tan \delta = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot R}$$

$\pi$  : 円周率

$f$  : 周波数 (Hz)

C : 容量 (F)

R : 抵抗 ( $\Omega$ )

天然試験での測定結果を表2.1.2(1)~(9), 1 KHzにおけるインピーダンス及び  
 $\tan \delta$ の経時変化を図2.1.8(1)~(4)に示す。

促進試験での測定結果を表2.1.3(1)~(2), 1 KHzにおけるインピーダンス及び  
 $\tan \delta$ の経時変化を図2.1.9(1)~(2)に示す。

※ 天然試験での初期値測定で0.2 KHzにおける測定は、3塗料共にブリッジ回路でのバランスがとれず測定できなかった。

#### (iv) 付着力測定

塗膜に無溶剤エポキシ接着剤で引張試験治具 (20φ, アルミ製) を貼付し、  
 24時間室温で放置する。

接着剤硬化後、治具円周に沿って塗膜に素地まで達する切り傷をつけ、アドヒージョンテスター (エルコメータ社製) を用い、付着強度並びに破断箇所を求めた。測定は1試験片につき3回実施した。

天然試験での測定結果を表2.1.4(1)~(3)に示し、経時変化を図2.1.10に示す。

促進試験での測定結果を表2.1.5に示し、経時変化を図2.1.11に示す。

#### (d) 測定結果について

##### (i) 電気的特性の測定

電気的特性の対象は、供試した表面処理グレード10種について実施した。

尚、手溶接ビード付試験片については、ビードがアルミ箔電極の中央に位置する形で測定した。

##### (イ) 直流抵抗

###### ・TE塗料(天然試験)

:図2.1.6(1)に示した経時変化から明らかな様に、初期は表面処理グレードに拘らず $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台であった。6, 12箇月と経過するに従って、いずれも $10^{10}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台に減少したが表面処理グレード差は顕著でない。

###### ・PE・A/C塗料(天然試験)

:図2.1.6(2)に示した経時変化から明らかな様に、初期は表面処理グレードに拘らず $10^{12}\sim10^{13}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台であった。6, 12箇月と経過するに従って、抵抗は減少し $10^8\sim10^{10}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台に分散した。

平板と溶接ビード板で減少傾向に若干差異があるものの、両者共に表面処理グレードの低いものが抵抗値も低くなっている、表面処理グレード差の影響が認められる。

###### ・CR・A/C・HB塗料(天然試験)

:図2.1.6(3)に示した経時変化から明らかな様に、初期は表面処理グレードに拘らず $10^{12}\sim10^{13}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台であった。経時と共に抵抗は減少し12箇月経過後では $10^5\sim10^{11}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台に減少したが、必ずしも低級表面処理グレードのものが低抵抗値とはなっていない。IHP t1処理は他に比べ急激な減少を示し、9箇月時点でフクレが観察されており最も抵抗値が低い。

###### ・TE塗料(促進試験)

:図2.1.7に示した経時変化から明らかな様に、初期は表面処理グレードに拘らず $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台であった。4サイクル経過後では $10^{10}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台に減少しつつあるが、表面処理グレード差は顕著でない。

#### (ロ) 交流インピーダンス, $\tan\delta$

###### ・TE塗料(天然試験)

:図2.1.8(1), (4)に示した発振周波数1KHZにおける、インピーダンス,  $\tan\delta$ の経時変化から明らかな様に、初期~12箇月経過において抵抗値は $10^7\Omega\cdot\text{cm}^2$ 台で稍減少、容量値は $10^{-11}\text{F}/\text{cm}^2$ 台で稍増加傾向であるが、その値に大きな変化はなく、表面処理グレード差も認められない。

$\tan\delta$ 値も初期~12箇月経過において0.09~0.14の範囲内で大

きな変化はない。

発振周波数毎の抵抗値で周波数特性がそこなわれている塗装系も認められない。

#### ・ P E · A / C 塗料 (天然試験)

: 図2.1.8(2), (4)に示した1KHzにおける、インピーダンス,  $\tan \delta$  の経時変化から明らかな様に、初期の抵抗値  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$  台, 容量値  $10^{-11} \text{F}/\text{cm}^2$  台は12箇月経過後、それぞれ  $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $10^{-10} \text{F}/\text{cm}^2$  台に変化しつつある。初期に差異のなかった抵抗値は経時により表面処理グレードの低級なものが低くなってしまい、表面処理グレード差が認められる。

$\tan \delta$  値は初期0.06~0.1であったが、12箇月経過後では0.1~0.18の範囲に変化し、低級表面処理のものが大きな値を示している。発振周波数毎の抵抗値で周波数特性がそこなわれている塗装系は認められない。

#### ・ C R · A / C · H B 塗料 (天然試験)

: 図2.1.8(3), (4)に示した1KHzにおける、インピーダンス,  $\tan \delta$  の経時変化から明らかな様に、初期~12箇月経過においてIHPt1処理を除去し、抵抗値は  $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$  台で稍減少、容量値は  $10^{-11} \text{F}/\text{cm}^2$  台で稍増加傾向であるが大きな変化はなく、表面処理グレード差も認められない。IHPt1処理は試験開始後から急激な抵抗減少があり、抵抗値が  $10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$  以下になったと思われる9箇月後にフクレを発生した。

$\tan \delta$  値は初期0.08~0.11であったが、12箇月経過後では0.09~0.16の範囲に増加している。しかし、表面処理グレード差による順列はない。IHPt1処理のみ6箇月経過後（この時点では塗膜欠陥なし）から急激に増加した。

発振周波数毎の抵抗値でIHPt1処理のみ6箇月後で周波数特性を失っており、欠陥発生の前兆が認められた。

他の系では12箇月後においても問題はない。

#### ・ T E 塗料 (促進試験)

: 図2.1.9(1), (2)に示した1KHzにおける、インピーダンス,  $\tan \delta$  の経時変化から明らかな様に初期、4サイクル後において抵抗値は  $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$  台で稍減少、容量値は  $10^{-11} \text{F}/\text{cm}^2$  台で稍増加傾向であるがその値に大きな変化はなく、表面処理グレード差も認められない。

$\tan \delta$  値は初期0.09~0.15が4サイクル後0.12~0.18の範囲に変化したもの、表面処理グレード差による順列はない。

発振周波数毎の周波数特性がそこなわれている塗装系は認められない。

## (ii) 付着力測定

付着力測定の対象は、塗装前処理種； J A S d 2, I O, I F P t 1, I F P t 3, I F S d 2, I F S d 3 の 6 種とし、手溶接試験片は除外した。

### ・ T E 塗料（天然試験）

：図2.1.10に示した経時変化から明らかな様に、I OやS d 処理は接着剤からの破断が多く、真の付着強度は得られておらず比較し難い。

しかし、本塗料の破断形態は塗膜が健全であればこの形態を示すのが常であることからすれば、殆ど劣化していないと推定できその破断値も 4 0 kg f / cm 以上でありうなずける。P t 処理ではさびからの破断を伴う現象が認められ、経時と共に付着強度も低下傾向にあることが認められる。

### ・ P E · A / C 塗料（天然試験）

：図2.1.10に示した経時変化から明らかな様に、P t 処理はさびを伴った破断、I OやS d 処理はすべて塗膜凝集破断を初期～12箇月後まで示した。I OやS d 処理の塗膜凝集破断値は 2 0 ～ 5 0 kg f / cm にバラついており、P t 処理では P t 1 に比べ P t 3 処理の方が 1 0 ～ 2 0 kg f / cm 程度、破断値が高く強度的には P t 3 と S d 処理で大差ない。

現時点では付着強度の明確な減少傾向は認め難い。

### ・ C R · A / C · H B 塗料（天然試験）

：図2.1.10に示した経時変化から明らかな様に、I OやS d 処理は塗膜凝集破断、P t 処理はさびを伴った破断を初期～12箇月後まで示した。I OやS d 処理の塗膜凝集破断値は 1 0 ～ 3 0 kg f / cm 、P t 処理のさびを伴った破断値は 1 0 ～ 2 0 kg f / cm 付近であるが、個々の経時変化は殆どない。

但し、P t 3 処理は初期の塗膜凝集破断が 6 節月経過以降はさびを伴った破断形態に変化している。

### ・ T E 塗料（促進試験）

：図2.1.11に示した経時変化から明らかな様に、P t 1 処理でさびからの破断（初期のみ）他は接着剤からの破断が認められた。破断値は初期 5 0 ～ 9 0 kg f / cm 、4 サイクル後 7 0 ～ 1 2 0 kg f / cm と数値的には増加傾向を示したが、いずれも接着剤破断であるため真の付着強度の比較はできない。従って、経時変化としてはとらえ難いが強度的には現時点で表面処理グレード差はないと判断できる。

表2.1.1(1) 天然試験 膜厚測定結果 ( $\mu\text{m}$ )

塗 料 項 目	タールエポキシ塗料 D r y 220 $\mu\text{m}$ $\times 1$ 回塗り	エポキシ塗料 D r y 100 $\mu\text{m}$ $\times 2$ 回塗り	塩化ゴム塗料 D r y 60 $\mu\text{m}$ $\times 2$ 回塗り
範 囲	195~290	190~275	125~170
平 均	244	240	150
標準偏差	23.7	19.1	13.0

(n = 40)

表2.1.1(2) 促進試験 膜厚測定結果 ( $\mu\text{m}$ )

塗 料 項 目	タールエポキシ塗料 D r y 220 $\mu\text{m}$ $\times 1$ 回塗り	エポキシ塗料 D r y 100 $\mu\text{m}$ $\times 2$ 回塗り	塩化ゴム塗料 D r y 60 $\mu\text{m}$ $\times 2$ 回塗り
範 围	200~250	—	—
平 均	244.9	—	—
標準偏差	13.1	—	—

(n = 45)

表2.1.2(1) TE塗料の電気的特性(天然試験前)

表面処理	直 径 抵 抗 (Ω・cm)	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R x (Ω・cm)	C x (F/cm)	t a n δ
JASd2	$3.5 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.21 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.132
		1.0	$8.44 \times 10^7$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.118
IO	$3.9 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.17 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.136
		1.0	$7.63 \times 10^7$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.130
IFPt1	$2.4 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$9.33 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.142
		1.0	$7.9 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.101
IFPt3	$2.4 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.42 \times 10^8$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.140
		1.0	$1.11 \times 10^8$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.101
IFSd2	$2.4 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$8.8 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.181
		1.0	$7.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.110
IFSd3	$2.2 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.0 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.159
		1.0	$6.0 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.133
IHPt1	$2.8 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.41 \times 10^8$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.141
		1.0	$6.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.127
IHPt3	$3.0 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.13 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.141
		1.0	$7.4 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.108
IHSc2	$2.8 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.03 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.155
		1.0	$7.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.110
IHSc3	$2.4 \times 10^{11}$	0.2			
		0.5	$1.50 \times 10^8$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.132
		1.0	$8.31 \times 10^7$	$1.16 \times 10^{-11}$	0.120

表2.1.2(2) TE塗料の電気的特性（天然試験：6箇月後）

項 表面処理	直 流 抵 抗 (Ω · cm)	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R <sub>x</sub> (Ω · cm)	C <sub>x</sub> (F/cm)	tan δ
JASd2	$3.8 \times 10^{10}$	0.2	$2.35 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.169
		0.5	$1.22 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.130
		1.0	$9.06 \times 10^7$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.110
IO	$4.3 \times 10^{10}$	0.2	$2.05 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.194
		0.5	$1.25 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.127
		1.0	$8.75 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.091
IFPt1	$3.3 \times 10^{10}$	0.2	$2.00 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.199
		0.5	$1.08 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.147
		1.0	$6.10 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.130
IFPt3	$4.0 \times 10^{10}$	0.2	$2.50 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.159
		0.5	$1.27 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.155
		1.0	$7.50 \times 10^7$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.133
IFSd2	$4.5 \times 10^{10}$	0.2	$2.34 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.141
		0.5	$1.15 \times 10^8$	$2.3 \times 10^{-11}$	0.121
		1.0	$7.00 \times 10^7$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.103
IFSd3	$4.2 \times 10^{10}$	0.2	$2.25 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.177
		0.5	$1.38 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.116
		1.0	$7.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.110
IHPt1	$3.5 \times 10^{10}$	0.2	$2.40 \times 10^8$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.166
		0.5	$1.33 \times 10^8$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.133
		1.0	$9.50 \times 10^7$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.093
IHPt3	$3.8 \times 10^{10}$	0.2	$2.45 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.162
		0.5	$1.38 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.144
		1.0	$9.30 \times 10^7$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.107
IHSD2	$3.7 \times 10^{10}$	0.2	$2.25 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.177
		0.5	$1.44 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.138
		1.0	$8.25 \times 10^7$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.121
IHSD3	$4.4 \times 10^{10}$	0.2	$2.75 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.181
		0.5	$1.78 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.122
		1.0	$8.66 \times 10^7$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.118

表2.1.2(3) TE塗料の電気的特性（天然試験：12箇月後）

項 表面処理	直 流 抵 抗 (Ω・cm)	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R <sub>x</sub> (Ω・cm)	C <sub>x</sub> (F/cm <sup>2</sup> )	tan δ
JASd2	$4.2 \times 10^{10}$	0.2	$1.50 \times 10^8$	$2.8 \times 10^{-11}$	0.189
		0.5	$9.53 \times 10^7$	$2.52 \times 10^{-11}$	0.133
		1.0	$6.46 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.103
IO	$4.9 \times 10^{10}$	0.2	$1.49 \times 10^8$	$2.8 \times 10^{-11}$	0.190
		0.5	$7.22 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.142
		1.0	$6.54 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.094
IFPt1	$3.9 \times 10^{10}$	0.2	$1.38 \times 10^8$	$3.2 \times 10^{-11}$	0.180
		0.5	$7.69 \times 10^7$	$2.72 \times 10^{-11}$	0.152
		1.0	$5.22 \times 10^7$	$2.72 \times 10^{-11}$	0.112
IFPt3	$3.7 \times 10^{10}$	0.2	$2.01 \times 10^8$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.221
		0.5	$1.06 \times 10^8$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.168
		1.0	$6.39 \times 10^7$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.138
IFSd2	$3.9 \times 10^{10}$	0.2	$2.32 \times 10^8$	$1.8 \times 10^{-11}$	0.190
		0.5	$8.54 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.155
		1.0	$5.00 \times 10^7$	$2.32 \times 10^{-11}$	0.137
IFSd3	$3.5 \times 10^{10}$	0.2	$1.58 \times 10^8$	$2.64 \times 10^{-11}$	0.190
		0.5	$8.83 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.150
		1.0	$5.42 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.122
IHPt1	$1.1 \times 10^{10}$	0.2	$1.60 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.207
		0.5	$9.91 \times 10^7$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.146
		1.0	$5.29 \times 10^7$	$2.08 \times 10^{-11}$	0.145
IHPt3	$3.1 \times 10^{10}$	0.2	$1.80 \times 10^8$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.202
		0.5	$9.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.172
		1.0	$6.35 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.125
IHSD2	$2.4 \times 10^{10}$	0.2	$1.69 \times 10^8$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.214
		0.5	$9.70 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.164
		1.0	$6.35 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.125
IHSD3	$3.5 \times 10^{10}$	0.2	$1.88 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.212
		0.5	$1.03 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.155
		1.0	$6.00 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.133

表2.1.2(4) PE・A/C塗料の電気的特性(天然試験前)

項 表面処理	直 流 抵 抗 (Ω · cm)	交流インピーダンス			
		周波数 KHz	R x (Ω · cm)	C x (F / cm)	tan δ
JASd2	$8.8 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$5.23 \times 10^7$	$8.4 \times 10^{-11}$	0.073
		1.0	$3.28 \times 10^7$	$8.0 \times 10^{-11}$	0.061
IO	$5.9 \times 10^{13}$	0.2			
		0.5	$5.85 \times 10^7$	$7.2 \times 10^{-11}$	0.075
		1.0	$2.69 \times 10^7$	$6.8 \times 10^{-11}$	0.087
IFPt1	$1.1 \times 10^{13}$	0.2			
		0.5	$5.75 \times 10^7$	$7.6 \times 10^{-11}$	0.073
		1.0	$2.89 \times 10^7$	$7.2 \times 10^{-11}$	0.076
IFPt3	$8.2 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$6.84 \times 10^7$	$6.8 \times 10^{-11}$	0.068
		1.0	$2.57 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.103
IFSd2	$3.9 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$6.0 \times 10^7$	$6.8 \times 10^{-11}$	0.078
		1.0	$2.83 \times 10^7$	$6.4 \times 10^{-11}$	0.088
IFSd3	$1.2 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$5.69 \times 10^7$	$7.6 \times 10^{-11}$	0.074
		1.0	$3.34 \times 10^7$	$7.6 \times 10^{-11}$	0.063
IHPt1	$1.4 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$8.5 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.062
		1.0	$3.5 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.076
IHPt3	$6.8 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.63 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.070
		1.0	$4.17 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.064
IHSc2	$2.8 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.28 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.073
		1.0	$4.1 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.065
IHSc3	$5.3 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.11 \times 10^7$	$6.4 \times 10^{-11}$	0.070
		1.0	$4.63 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.057

表2.1.2(5) PE・A/C塗料の電気的特性（天然試験：6箇月後）

表面処理 項	直流抵抗 (Ω・cm)	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R x (Ω・cm)	C x (F/cm)	tan δ
JASd2	$4.4 \times 10^{10}$	0.2	$4.72 \times 10^7$	$1.3 \times 10^{-10}$	0.134
		0.5	$1.83 \times 10^7$	$1.2 \times 10^{-10}$	0.144
		1.0	$1.12 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.127
IO	$6.5 \times 10^{10}$	0.2	$5.32 \times 10^7$	$1.0 \times 10^{-10}$	0.144
		0.5	$2.57 \times 10^7$	$9.6 \times 10^{-11}$	0.129
		1.0	$1.48 \times 10^7$	$8.8 \times 10^{-11}$	0.122
IFPt1	$4.3 \times 10^{10}$	0.2	$3.16 \times 10^7$	$1.3 \times 10^{-10}$	0.200
		0.5	$1.80 \times 10^7$	$1.2 \times 10^{-10}$	0.152
		1.0	$1.04 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.142
IFPt3	$1.2 \times 10^{11}$	0.2	$4.73 \times 10^7$	$1.0 \times 10^{-10}$	0.167
		0.5	$2.11 \times 10^7$	$9.6 \times 10^{-11}$	0.158
		1.0	$1.31 \times 10^7$	$8.8 \times 10^{-11}$	0.138
IFSd2	$4.5 \times 10^{10}$	0.2	$6.32 \times 10^7$	$8.8 \times 10^{-11}$	0.143
		0.5	$3.23 \times 10^7$	$8.6 \times 10^{-11}$	0.114
		1.0	$2.04 \times 10^7$	$8.2 \times 10^{-11}$	0.095
IFSd3	$6.0 \times 10^{10}$	0.2	$5.37 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.132
		0.5	$2.77 \times 10^7$	$1.0 \times 10^{-10}$	0.115
		1.0	$1.65 \times 10^7$	$1.0 \times 10^{-10}$	0.096
IHPt1	$3.3 \times 10^{10}$	0.2	$6.60 \times 10^7$	$8.2 \times 10^{-11}$	0.147
		0.5	$3.60 \times 10^7$	$7.6 \times 10^{-11}$	0.116
		1.0	$1.82 \times 10^7$	$7.0 \times 10^{-11}$	0.125
IHPt3	$4.8 \times 10^{10}$	0.2	$9.05 \times 10^7$	$7.7 \times 10^{-11}$	0.114
		0.5	$3.81 \times 10^7$	$7.2 \times 10^{-11}$	0.116
		1.0	$2.29 \times 10^7$	$7.1 \times 10^{-11}$	0.096
IHSc2	$4.0 \times 10^{10}$	0.2	$7.27 \times 10^7$	$8.4 \times 10^{-11}$	0.130
		0.5	$2.67 \times 10^7$	$7.8 \times 10^{-11}$	0.153
		1.0	$1.68 \times 10^7$	$7.2 \times 10^{-11}$	0.132
IHSc3	$4.3 \times 10^{10}$	0.2	$6.54 \times 10^7$	$8.8 \times 10^{-11}$	0.138
		0.5	$4.58 \times 10^7$	$7.4 \times 10^{-11}$	0.094
		1.0	$2.86 \times 10^7$	$7.0 \times 10^{-11}$	0.080

表2.1.2(6) PE・A/C塗料の電気的特性（天然試験：12箇月後）

項 表面処理	直 流 抵 抗 (Ω · cm)	交流インピーダンス			
		周波数 KHz	R <sub>x</sub> (Ω · cm)	C <sub>x</sub> (F · cm)	tan δ
JASd2	$3.6 \times 10^9$	0.2	$3.30 \times 10^7$	$1.3 \times 10^{-10}$	0.182
		0.5	$1.72 \times 10^7$	$1.3 \times 10^{-10}$	0.147
		1.0	$1.34 \times 10^7$	$1.2 \times 10^{-10}$	0.099
IO	$5.3 \times 10^9$	0.2	$3.87 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.184
		0.5	$2.05 \times 10^7$	$9.9 \times 10^{-11}$	0.157
		1.0	$1.27 \times 10^7$	$9.2 \times 10^{-11}$	0.136
IFPt1	$1.3 \times 10^8$	0.2	$2.46 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.250
		0.5	$1.25 \times 10^7$	$1.3 \times 10^{-10}$	0.201
		1.0	$7.58 \times 10^6$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.183
IFPt3	$8.9 \times 10^8$	0.2	$2.67 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.264
		0.5	$1.37 \times 10^7$	$1.0 \times 10^{-10}$	0.224
		1.0	$1.04 \times 10^7$	$9.5 \times 10^{-11}$	0.160
IFSd2	$6.1 \times 10^9$	0.2	$3.93 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.188
		0.5	$2.06 \times 10^7$	$1.0 \times 10^{-10}$	0.150
		1.0	$1.10 \times 10^7$	$9.7 \times 10^{-11}$	0.149
IFSd3	$6.6 \times 10^9$	0.2	$3.84 \times 10^7$	$1.3 \times 10^{-10}$	0.164
		0.5	$1.92 \times 10^7$	$1.2 \times 10^{-10}$	0.144
		1.0	$1.04 \times 10^7$	$1.1 \times 10^{-10}$	0.138
IHPt1	$9.5 \times 10^9$	0.2	$4.69 \times 10^7$	$9.4 \times 10^{-11}$	0.180
		0.5	$3.10 \times 10^7$	$8.4 \times 10^{-11}$	0.122
		1.0	$1.37 \times 10^7$	$8.1 \times 10^{-11}$	0.143
IHPt3	$1.4 \times 10^{10}$	0.2	$5.51 \times 10^7$	$8.6 \times 10^{-11}$	0.167
		0.5	$2.55 \times 10^7$	$8.3 \times 10^{-11}$	0.150
		1.0	$1.66 \times 10^7$	$7.7 \times 10^{-11}$	0.124
IHSc2	$2.0 \times 10^{10}$	0.2	$6.64 \times 10^7$	$7.7 \times 10^{-11}$	0.155
		0.5	$4.58 \times 10^7$	$7.0 \times 10^{-11}$	0.100
		1.0	$1.96 \times 10^7$	$7.0 \times 10^{-11}$	0.116
IHSc3	$1.7 \times 10^{10}$	0.2	$5.73 \times 10^7$	$9.2 \times 10^{-11}$	0.150
		0.5	$3.21 \times 10^7$	$8.5 \times 10^{-11}$	0.117
		1.0	$1.94 \times 10^7$	$8.0 \times 10^{-11}$	0.103

表2.1.2(7) CR・A/C・HBの電気的特性 (天然試験前)

項 表面処理	直 流 抵 抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R <sub>x</sub> ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	C <sub>x</sub> ( $F \cdot \text{cm}^2$ )	tan δ
JASd2	$5.9 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.96 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.091
		1.0	$4.6 \times 10^7$	$4.0 \times 10^{-11}$	0.086
IO	$6.1 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$5.73 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.126
		1.0	$4.07 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.089
IFPt1	$6.3 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$8.25 \times 10^7$	$4.0 \times 10^{-11}$	0.096
		1.0	$4.93 \times 10^7$	$4.0 \times 10^{-11}$	0.081
IFPt3	$7.1 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.84 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.092
		1.0	$4.3 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.084
IFSd2	$9.8 \times 10^{13}$	0.2			
		0.5	$7.0 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.081
		1.0	$3.22 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.088
IFSd3	$6.5 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$6.08 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.087
		1.0	$3.22 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.088
IHPt1	$1.6 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.92 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.084
		1.0	$3.44 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.096
IHPt3	$2.2 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.33 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.090
		1.0	$3.18 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.114
IHSD2	$1.7 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$7.52 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.088
		1.0	$3.88 \times 10^7$	$4.0 \times 10^{-11}$	0.103
IHSD3	$1.3 \times 10^{12}$	0.2			
		0.5	$9.9 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.067
		1.0	$4.14 \times 10^7$	$4.0 \times 10^{-11}$	0.087

表2.1.2(8) CR・A/C・HBの電気的特性（天然試験：6箇月後）

項 表面処理	直流抵抗 (Ω・cm)	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R <sub>x</sub> (Ω・cm)	C <sub>x</sub> (F/cm)	tan δ
JASd2	$5.3 \times 10^{10}$	0.2	$8.48 \times 10^7$	$4.6 \times 10^{-11}$	0.204
		0.5	$5.53 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.131
		1.0	$2.72 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.127
IO	$5.4 \times 10^{10}$	0.2	$6.37 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.260
		0.5	$5.08 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.130
		1.0	$3.02 \times 10^7$	$4.6 \times 10^{-11}$	0.114
IFPt1	$5.5 \times 10^{10}$	0.2	$7.05 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.257
		0.5	$5.32 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.136
		1.0	$2.89 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.125
IFPt3	$5.8 \times 10^{10}$	0.2	$6.16 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.249
		0.5	$4.42 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.138
		1.0	$2.60 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.118
IFSd2	$5.1 \times 10^{10}$	0.2	$6.33 \times 10^7$	$6.4 \times 10^{-11}$	0.202
		0.5	$4.08 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.130
		1.0	$2.08 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.127
IFSd3	$5.7 \times 10^{10}$	0.2	$8.14 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.175
		0.5	$5.33 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.100
		1.0	$2.30 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.115
IH Pt1	$2.5 \times 10^9$	0.2	$1.63 \times 10^6$	$8.0 \times 10^{-11}$	6.100
		0.5	$1.53 \times 10^6$	$7.2 \times 10^{-11}$	2.900
		1.0	$1.61 \times 10^6$	$6.2 \times 10^{-11}$	1.600
IH Pt3	$4.2 \times 10^{10}$	0.2	$8.13 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.204
		0.5	$5.04 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.132
		1.0	$3.50 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.087
IHSd2	$4.5 \times 10^{10}$	0.2	$7.96 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.227
		0.5	$4.18 \times 10^7$	$4.6 \times 10^{-11}$	0.166
		1.0	$2.77 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.130
IHSd3	$5.0 \times 10^{10}$	0.2	$8.18 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.221
		0.5	$6.82 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.106
		1.0	$4.55 \times 10^7$	$4.4 \times 10^{-11}$	0.080

表2.1.2(9) CR・A/C・HBの電気的特性（天然試験：12箇月後）

項 表面処理	直 流 抵 抗 (Ω · cm)	交流インピーダンス			
		周波数KHz	R x (Ω · cm)	C x (F · cm)	tan δ
JASd2	$2.0 \times 10^{10}$	0.2	$6.86 \times 10^7$	$6.2 \times 10^{-11}$	0.187
		0.5	$4.22 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.135
		1.0	$2.80 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.101
IO	$1.9 \times 10^{10}$	0.2	$7.78 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.170
		0.5	$5.67 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.108
		1.0	$3.42 \times 10^7$	$4.9 \times 10^{-11}$	0.095
IFPt1	$1.6 \times 10^{10}$	0.2	$8.08 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.190
		0.5	$4.84 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.126
		1.0	$3.42 \times 10^7$	$4.8 \times 10^{-11}$	0.121
IFPt3	$9.0 \times 10^7$	0.2	$3.88 \times 10^7$	$8.0 \times 10^{-11}$	0.257
		0.5	$2.12 \times 10^7$	$7.6 \times 10^{-11}$	0.198
		1.0	$1.58 \times 10^7$	$7.2 \times 10^{-11}$	0.140
IFSd2	$3.0 \times 10^8$	0.2	$5.44 \times 10^7$	$8.0 \times 10^{-11}$	0.183
		0.5	$2.66 \times 10^7$	$6.9 \times 10^{-11}$	0.174
		1.0	$1.44 \times 10^7$	$6.8 \times 10^{-11}$	0.162
IFSd3	$1.7 \times 10^{10}$	0.2	$6.87 \times 10^7$	$7.3 \times 10^{-11}$	0.158
		0.5	$4.30 \times 10^7$	$6.5 \times 10^{-11}$	0.113
		1.0	$2.17 \times 10^7$	$6.4 \times 10^{-11}$	0.114
IHPt1	$3.5 \times 10^5$	0.2	$3.80 \times 10^3$	$3.7 \times 10^{-8}$	5.690
		0.5	$3.15 \times 10^3$	$2.9 \times 10^{-8}$	3.540
		1.0	$2.90 \times 10^3$	$2.8 \times 10^{-8}$	1.990
IHPt3	$2.2 \times 10^{10}$	0.2	$8.04 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.177
		0.5	$5.58 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.110
		1.0	$3.56 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.086
IHSc2	$1.7 \times 10^{10}$	0.2	$7.55 \times 10^7$	$6.6 \times 10^{-11}$	0.176
		0.5	$4.73 \times 10^7$	$6.0 \times 10^{-11}$	0.110
		1.0	$3.37 \times 10^7$	$5.2 \times 10^{-11}$	0.091
IHSc3	$2.4 \times 10^8$	0.2	$7.10 \times 10^7$	$6.4 \times 10^{-11}$	0.175
		0.5	$4.10 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.139
		1.0	$3.05 \times 10^7$	$5.6 \times 10^{-11}$	0.093

表2.1.3(1) TE塗料の電気的特性（促進試験前）

項 表面処理	直 径 抵 抗 (Ω · cm)	交流インピーダンス			
		周波数 KHz	R <sub>x</sub> (Ω · cm)	C <sub>x</sub> (F / cm <sup>2</sup> )	tan δ
JASd2	$3.9 \times 10^{11}$	0.2	$1.97 \times 10^8$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.155
		0.5	$9.47 \times 10^7$	$2.8 \times 10^{-11}$	0.120
		1.0	$5.19 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.118
IO	$3.5 \times 10^{11}$	0.2	$2.00 \times 10^8$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.175
		0.5	$7.58 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.162
		1.0	$5.00 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.133
IFPt1	$3.3 \times 10^{11}$	0.2	$2.07 \times 10^8$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.175
		0.5	$9.80 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.162
		1.0	$5.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.152
IFPt3	$3.7 \times 10^{11}$	0.2	$2.34 \times 10^8$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.155
		0.5	$9.91 \times 10^7$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.146
		1.0	$5.91 \times 10^7$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.122
IFSd2	$3.3 \times 10^{11}$	0.2	$2.04 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.162
		0.5	$1.00 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.133
		1.0	$5.50 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.145
IFSd3	$3.0 \times 10^{11}$	0.2	$2.06 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.194
		0.5	$1.15 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.138
		1.0	$5.63 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.118
IHPt1	$2.2 \times 10^{11}$	0.2	$1.95 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.204
		0.5	$1.15 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.138
		1.0	$5.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.152
IHPt3	$4.3 \times 10^{11}$	0.2	$1.74 \times 10^8$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.176
		0.5	$1.08 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.122
		1.0	$7.29 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.091
IHSD2	$2.6 \times 10^{11}$	0.2	$2.84 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.175
		0.5	$1.38 \times 10^8$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.145
		1.0	$8.75 \times 10^7$	$1.6 \times 10^{-11}$	0.114
IHSD3	$3.7 \times 10^{11}$	0.2	$2.20 \times 10^8$	$2.2 \times 10^{-11}$	0.164
		0.5	$1.23 \times 10^8$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.129
		1.0	$7.25 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.110

表2.1.3(2) TE塗料の電気的特性（促進試験：4サイクル後）

項 表面処理	直　流　抵　抗 (Ω・cm)	交　流　イ　ン　ピ　ー　ダ　ン　ス			
		周波数 KHz	R x (Ω・cm)	C x (F/cm)	tan δ
JASd2	$5.2 \times 10^{10}$	0.2	$1.34 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.247
		0.5	$7.50 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.163
		1.0	$3.57 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-11}$	0.177
IO	$1.7 \times 10^{11}$	0.2	$1.05 \times 10^8$	$3.2 \times 10^{-11}$	0.238
		0.5	$5.40 \times 10^7$	$3.0 \times 10^{-11}$	0.196
		1.0	$4.11 \times 10^7$	$2.8 \times 10^{-11}$	0.138
IFPt1	$1.7 \times 10^{11}$	0.2	$1.46 \times 10^8$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.263
		0.5	$1.08 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.123
		1.0	$3.66 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.168
IFPt3	$1.5 \times 10^{11}$	0.2	$1.53 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.217
		0.5	$1.00 \times 10^8$	$2.5 \times 10^{-11}$	0.128
		1.0	$5.54 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.120
IFSd2	$8.0 \times 10^{10}$	0.2	$1.06 \times 10^8$	$2.9 \times 10^{-11}$	0.327
		0.5	$7.89 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.155
		1.0	$4.38 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.152
IFSd3	$1.7 \times 10^{11}$	0.2	$1.51 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.216
		0.5	$7.67 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.173
		1.0	$4.33 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.153
IHPt1	$1.2 \times 10^{11}$	0.2	$1.48 \times 10^8$	$2.1 \times 10^{-11}$	0.258
		0.5	$8.40 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.189
		1.0	$5.99 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.138
IHPt3	$1.8 \times 10^{11}$	0.2	$1.21 \times 10^8$	$2.9 \times 10^{-11}$	0.287
		0.5	$7.62 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.161
		1.0	$4.08 \times 10^7$	$2.6 \times 10^{-11}$	0.150
IHSc2	$1.5 \times 10^{11}$	0.2	$1.30 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.256
		0.5	$7.75 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.205
		1.0	$4.75 \times 10^7$	$2.0 \times 10^{-11}$	0.168
IHSc3	$6.9 \times 10^{10}$	0.2	$1.42 \times 10^8$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.234
		0.5	$8.13 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.163
		1.0	$5.44 \times 10^7$	$2.4 \times 10^{-11}$	0.146

表2.1.4(1) 各塗料の付着強度 (天然試験前)

塗 料 表面処理 グレード	T E	P E · A / C	C R · A / C · H B
J A S d 2	7 0 (cf40 ad60)	2 1 (cf100)	2 3 (cf100)
	7 0 (cf50 ad50)	2 5 (cf100)	1 8 (cf100)
	8 0 (cf40 ad60)	4 6 (cf100)	3 0 (cf100)
I O	7 0 (cf40 ad60)	4 0 (cf100)	2 3 (cf100)
	6 0 (cf25 ad75)	2 8 (cf100)	2 6 (cf100)
	6 0 (cf15 ad85)	2 8 (cf100)	3 2 (cf100)
I F P t 1	6 0 (pf15 cf35 ad50)	1 8 (pf20 cf80)	1 2 (pf10 cf90)
	4 5 (cf50 ad50)	2 1 (pf20 cf80)	1 2 (pf15 cf85)
	7 5 (pf15 cf20 ad65)	2 9 (pf15 cf85)	1 1 (pf10 cf90)
I F P t 3	3 2 (cf80 ad20)	2 5 (pf10 cf90)	1 8 (cf100)
	4 0 (cf50 ad50)	2 6 (pf10 cf90)	2 1 (cf100)
	5 8 (cf25 ad75)	4 6 (pf10 cf90)	2 0 (cf100)
I F S d 2	6 8 (cf25 ad75)	4 0 (cf100)	1 8 (cf100)
	5 5 (cf15 ad85)	3 0 (cf100)	2 3 (cf100)
	6 6 (cf70 ad30)	2 2 (cf100)	1 8 (cf100)
I F S d 3	5 0 (cf35 ad65)	4 3 (cf100)	1 6 (cf100)
	6 0 (cf60 ad40)	4 8 (cf100)	1 6 (cf100)
	6 0 (cf40 ad60)	2 6 (cf100)	1 6 (cf100)

( )内 : 破断形態 %

cf : 塗膜の凝集破断

pf : 素地からのはがれ

ad : 接着剤のはがれ

単位 : kg f / cm

表2.1.4(2) 各塗料の付着強度 (天然試験: 6箇月後)

塗 料 表面処理 グレード	T E	P E · A / C	C R · A / C · H B
J A S d 2	8 0 (ad100)	3 0 (cf100)	1 0 (cf100)
	7 0 (ad100)	3 4 (cf100)	7 (cf100)
	8 0 (ad100)	4 7 (cf100)	2 3 (cf100)
I O	6 0 (ad100)	3 0 (cf100)	1 8 (cf100)
	5 0 (ad100)	3 2 (cf100)	2 0 (cf100)
	7 0 (ad100)	4 2 (cf100)	2 2 (cf100)
I F P t 1	4 3 (ad95 pf 5)	3 1 (cf85 pf15)	1 5 (cf80 pf20)
	3 8 (ad95 pf 5)	2 6 (cf75 pf25)	2 0 (cf80 pf20)
	6 5 (ad90 pf10)	2 5 (cf90 pf10)	1 9 (cf90 pf10)
I F P t 3	5 6 (ad85 cf10 pf 5)	3 4 (cf90 pf10)	2 5 (cf30 pf70)
	4 8 (ad95 pf 5)	4 0 (cf95 pf 5)	1 3 (cf75 pf25)
	4 8 (ad95 pf 5)	5 6 (cf95 pf 5)	2 1 (cf60 pf40)
I F S d 2	7 0 (ad100)	4 2 (cf100)	2 0 (cf100)
	8 5 (ad100)	4 9 (cf100)	2 0 (cf100)
	8 5 (ad100)	5 2 (cf100)	2 5 (cf100)
I F S d 3	7 5 (ad95 cf 5)	2 5 (cf100)	1 5 (cf100)
	7 5 (ad100)	3 0 (cf100)	2 0 (cf100)
	7 5 (ad95 cf 5)	3 1 (cf100)	2 2 (cf100)

( )内: 破断形態 %

ad : 接着剤のはがれ

cf : 塗膜の凝集破断

単位 : kg f / cm<sup>2</sup>

pf : 素地からのはがれ

表2.1.4(3) 各塗料の付着強度 (天然試験: 12箇月後)

塗 料 表面処理 グレード	T E	P E · A / C	C R · A / C · H B
J A S d 2	4 9 (ad100)	2 6 (cf100)	1 9 (cf100)
	5 0 (ad100)	4 2 (cf100)	2 0 (cf100)
	4 5 (ad100)	3 0 (cf100)	2 1 (cf100)
I O	4 7 (ad100)	4 8 (cf100)	1 7 (cf100)
	4 2 (ad100)	4 0 (cf100)	2 0 (cf100)
	8 0 (ad100)	3 8 (cf100)	1 9 (cf100)
I F P t 1	3 5 (ad100)	2 8 (cf85 pf15)	1 7 (cf70 pf30)
	3 7 (ad100)	2 2 (cf75 pf25)	1 8 (cf65 pf35)
	4 5 (ad100)	2 2 (cf75 pf25)	1 7 (cf65 pf35)
I F P t 3	4 0 (ad100)	3 1 (cf70 pf30)	1 8 (cf75 pf25)
	5 5 (ad100)	3 8 (cf60 pf40)	1 6 (cf70 pf30)
	5 3 (ad90 cf10)	4 8 (cf75 pf25)	1 9 (cf70 pf30)
I F S d 2	8 0 (ad100)	3 0 (cf100)	2 0 (cf100)
	6 0 (ad100)	3 0 (cf100)	1 9 (cf100)
	9 0 (ad100)	3 4 (cf100)	2 3 (cf100)
I F S d 3	9 5 (ad100)	2 8 (cf100)	2 0 (cf100)
	8 5 (ad100)	3 0 (cf100)	1 8 (cf100)
	6 0 (ad100)	3 0 (cf100)	2 0 (cf100)

( )内: 破断形態 %  
 cf : 塗膜の凝集破断  
 pf : 素地からのはがれ

ad : 接着剤のはがれ  
 単位 : kg f / cm<sup>2</sup>

表2.1.5 TE塗料の付着強度（促進試験）

促進サイクル 表面処理 グレード	試験前	4	8
J A S d 2	5 3 (ad100)	1 1 0 (ad100)	
	9 0 (ad100)	8 0 (ad100)	
	5 5 (ad100)	1 0 5 (ad100)	
I O	5 0 (ad100)	1 0 0 (ad100)	
	9 0 (ad100)	9 0 (ad100)	
	6 2 (ad100)	7 0 (ad100)	
I F P t 1	6 2 (ad100)	7 0 (ad100)	
	6 2 (ad90, pf10)	8 0 (ad100)	
	9 0 (ad50, pf50)	8 0 (ad100)	
I F P t 3	6 0 (ad100)	1 1 5 (ad100)	
	8 0 (ad100)	9 0 (ad100)	
	8 5 (ad100)	8 5 (ad100)	
I F S d 2	6 0 (ad100)	1 2 0 (ad100)	
	5 5 (ad100)	1 0 0 (ad100)	
	6 0 (ad100)	9 0 (ad100)	
I F S d 3	6 0 (ad100)	1 0 0 (ad100)	
	9 0 (ad100)	1 0 0 (ad100)	
	5 5 (ad100)	1 0 0 (ad100)	

( )内：破断形態 %

cf : 塗膜の凝集破断

pf：素地からのはがれ

ad : 接着剤のはがれ

单位: kg f /cm<sup>2</sup>

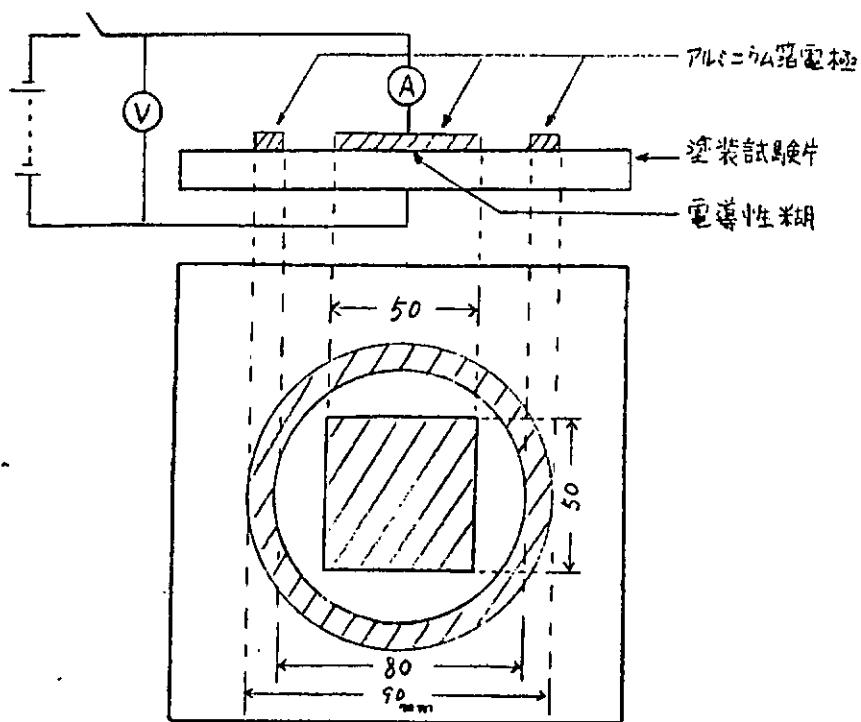


図2.1.1 体積抵抗の測定回路

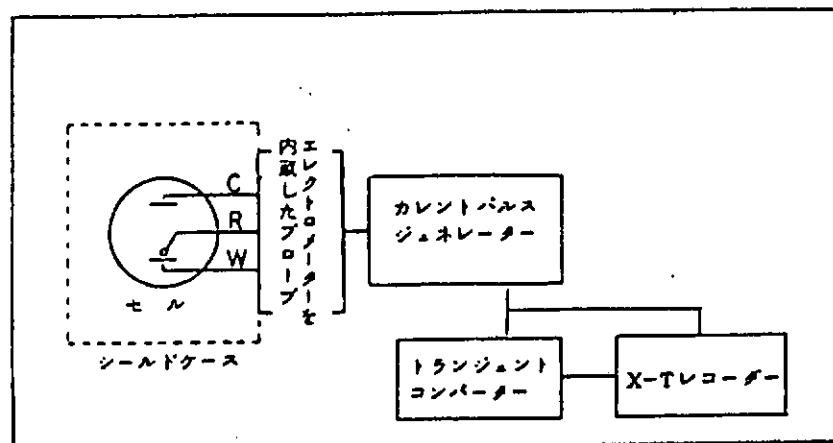


図2.1.2(1) 測定装置のブロック

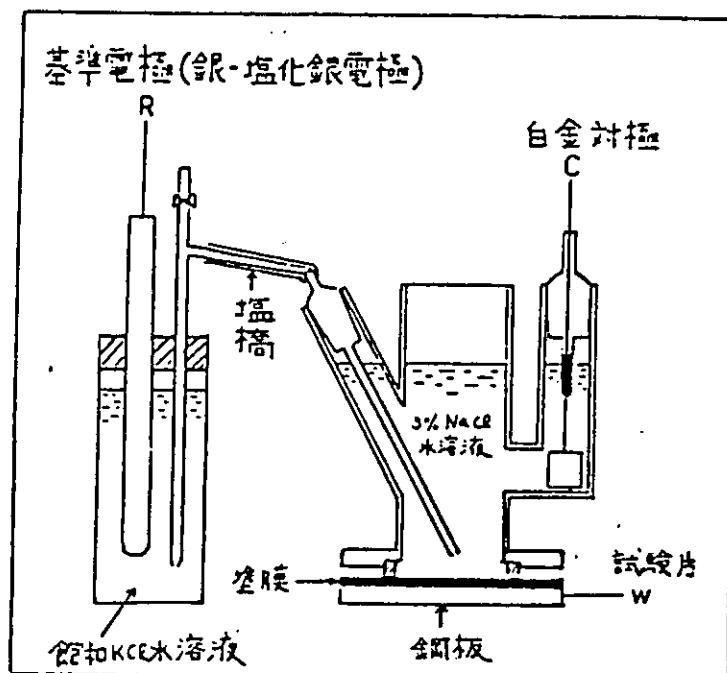


図2.1.2(2) 測定セルの概要

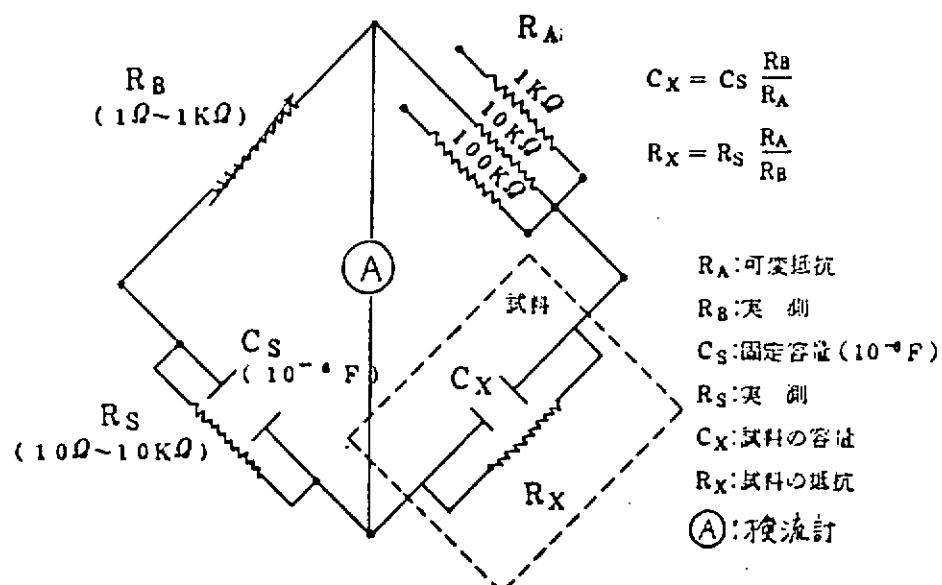


図2.1.3  $\tan \delta$  測定用ブリッジ回路

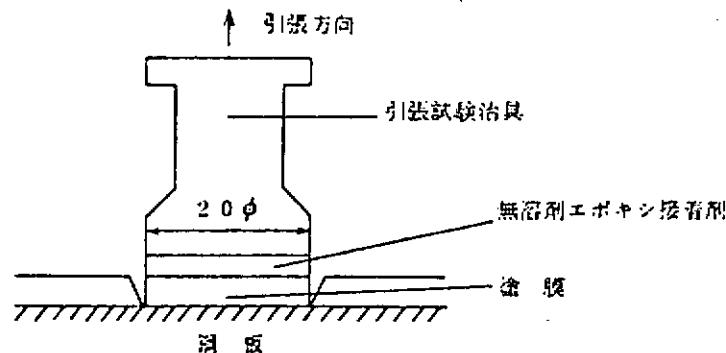


図2.1.4 付着力試験

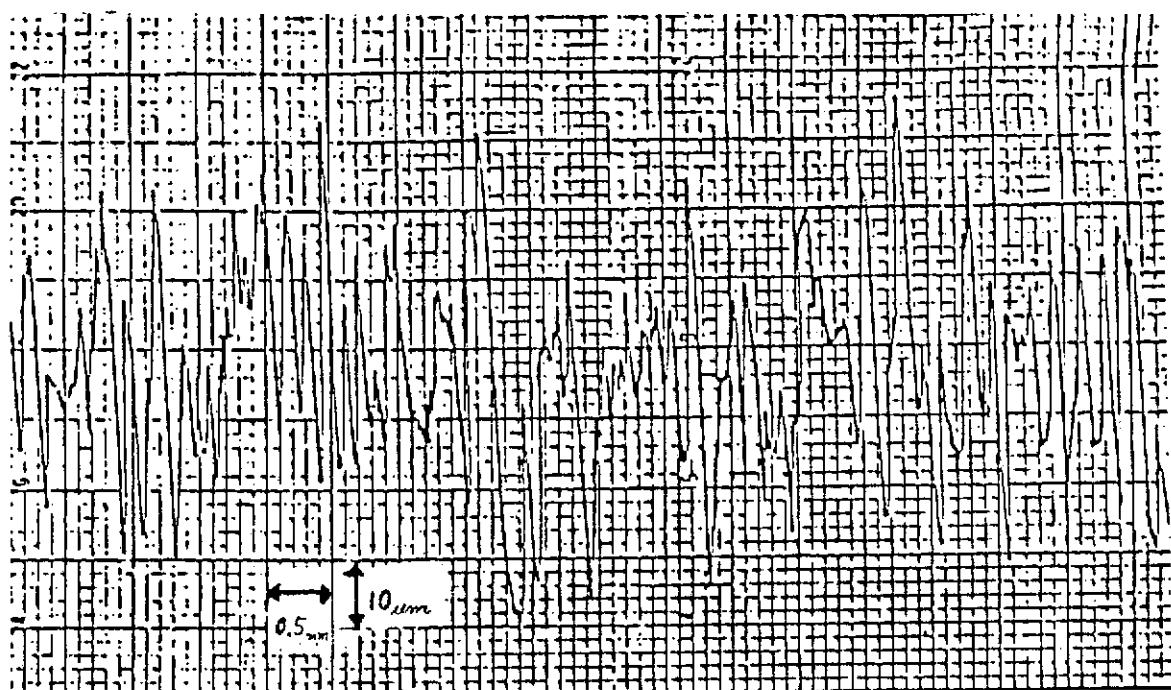


図2.1.5(1) グリットblast鋼板の表面アラサ (天然試験用)

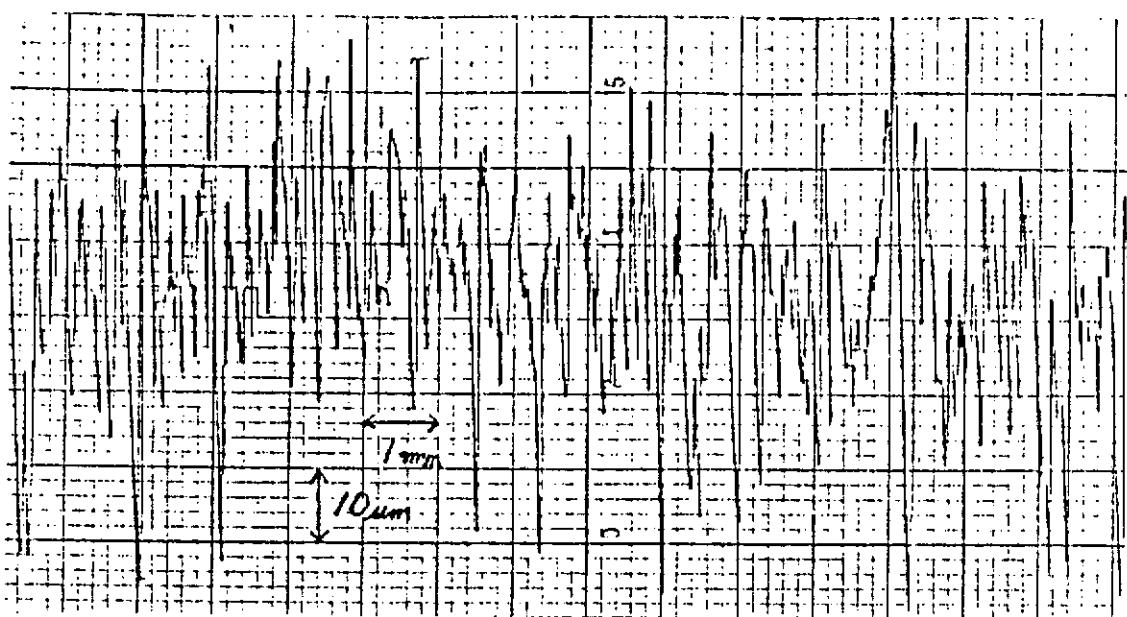


図2.1.5(2) グリットblast鋼板の表面アラサ (促進試験用)

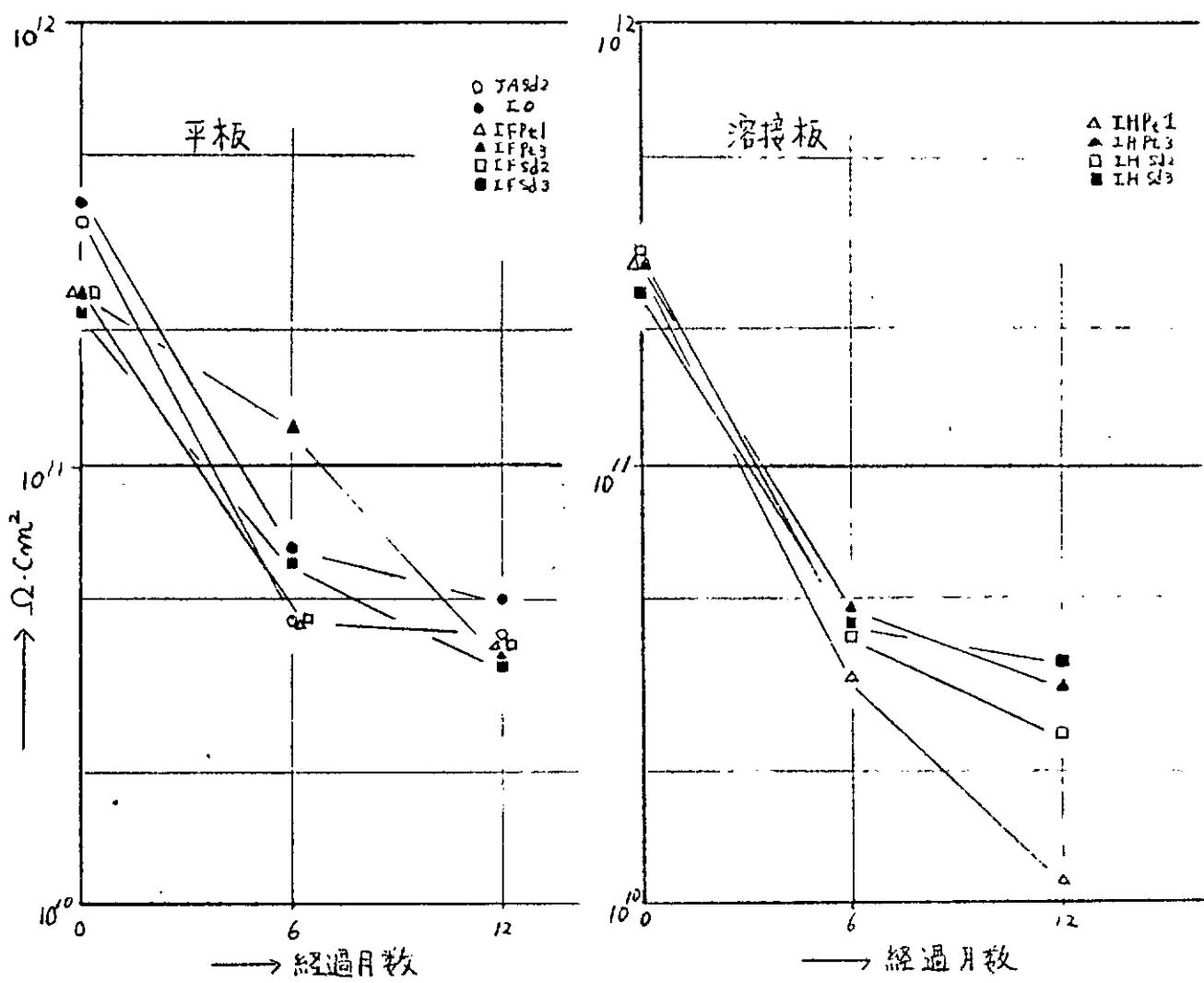


図2.1.6(1) TE塗料の直流抵抗の経時変化（天然試験）

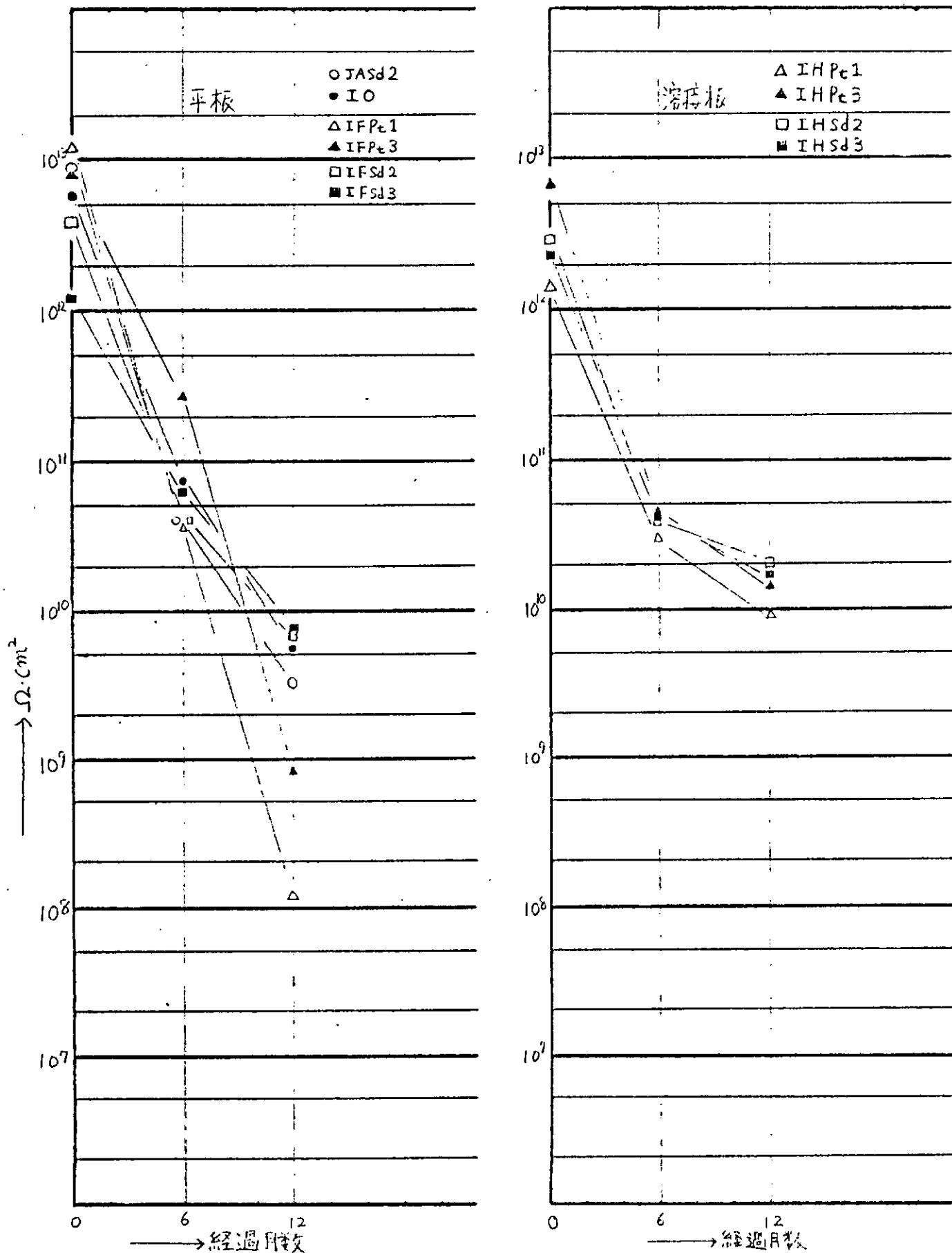


図2.1.6(2) PE・A/C塗料の直流抵抗の経時変化（天然試験）

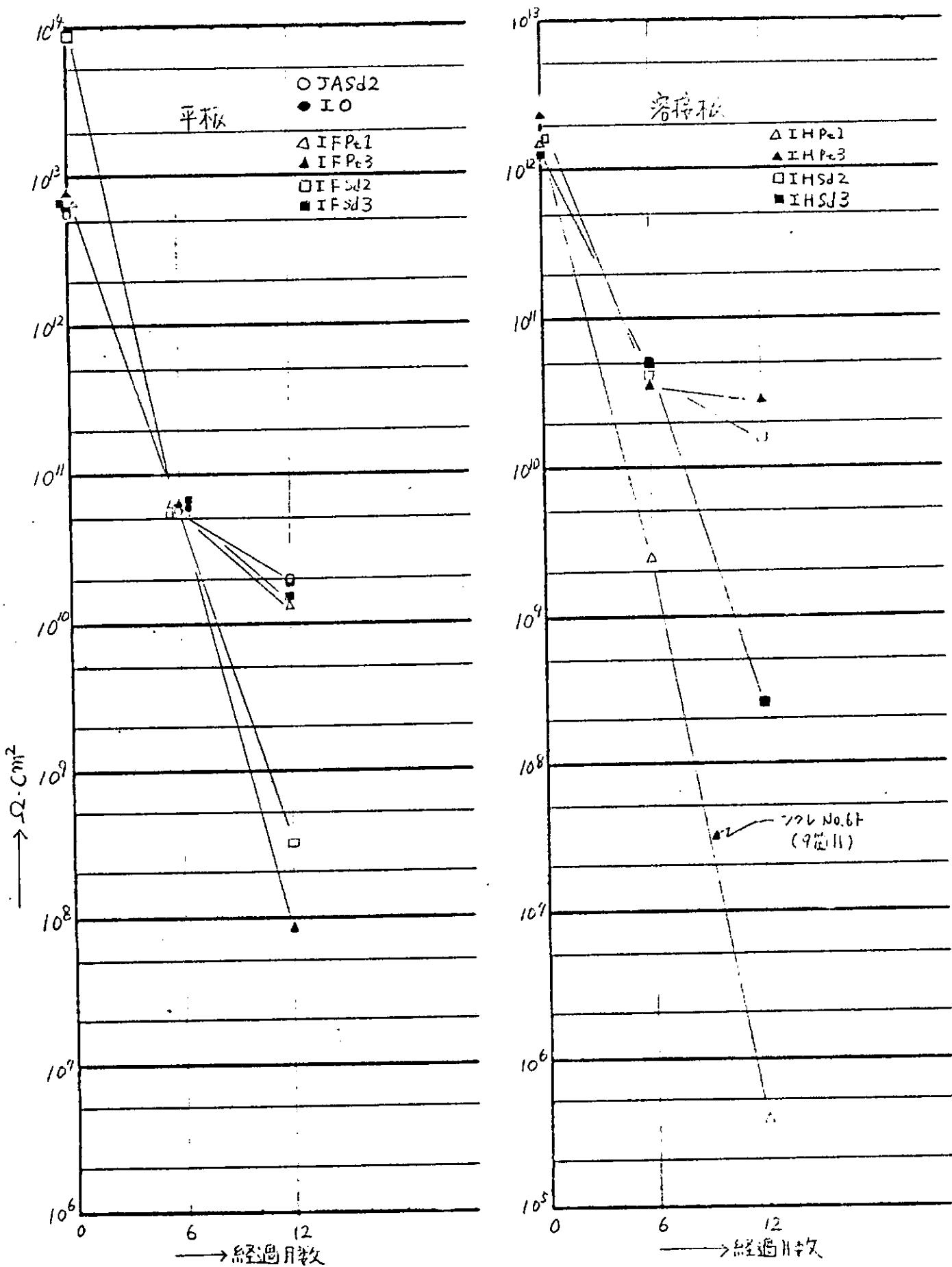


図2.1.6(3) CR・A/C・HB塗料の直流抵抗の経時変化（天然試験）

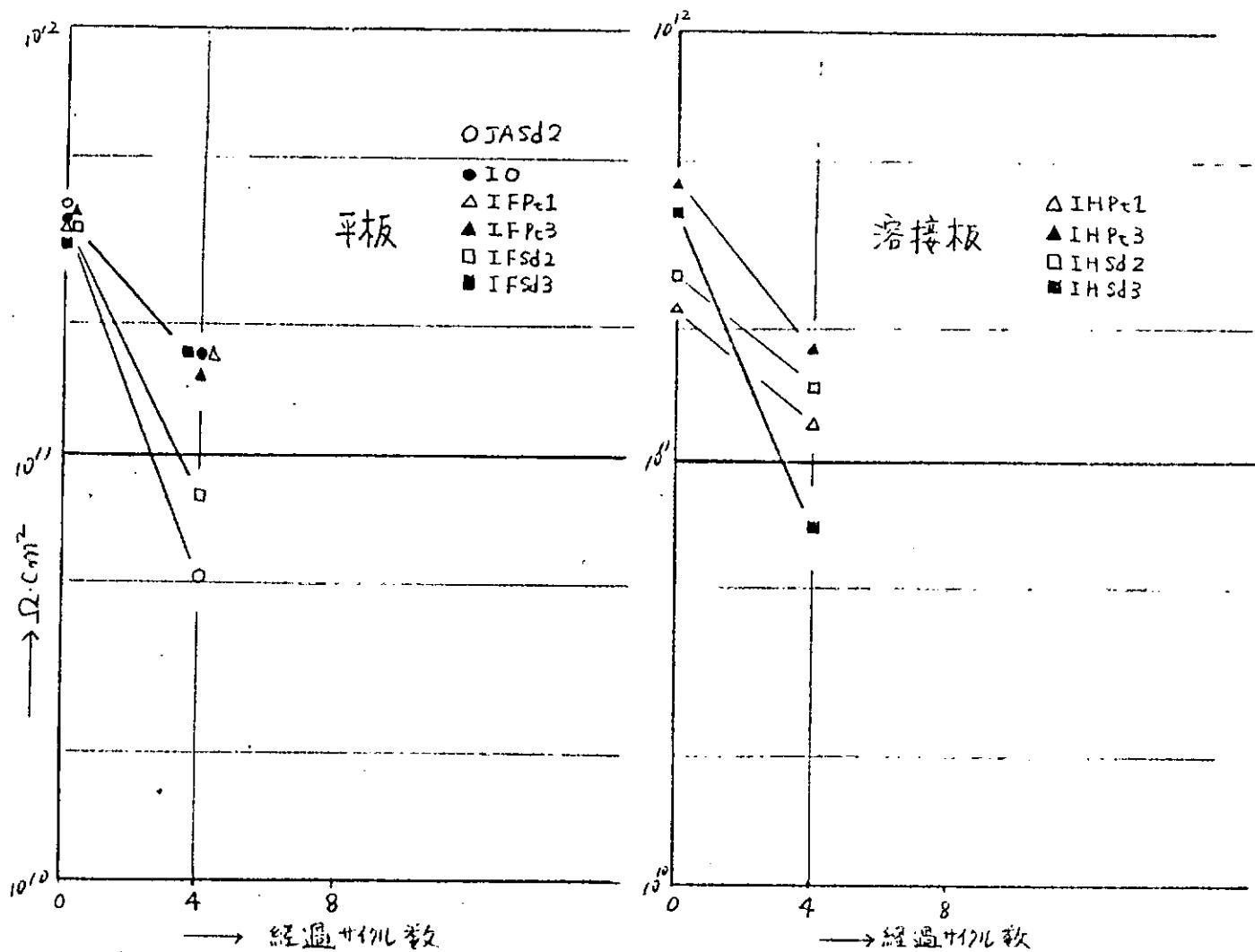


図2.1.7 TE塗料の直流抵抗の経時変化（促進試験）

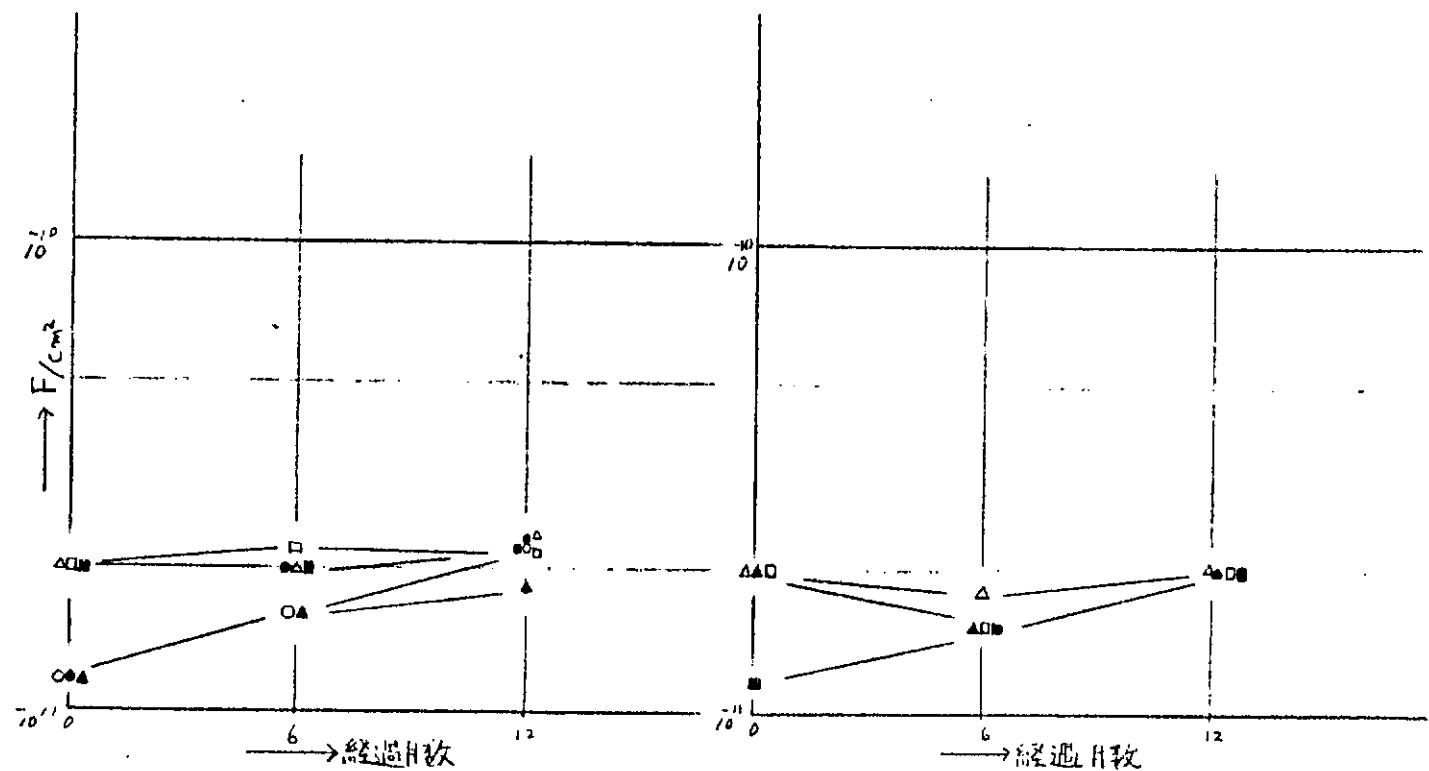
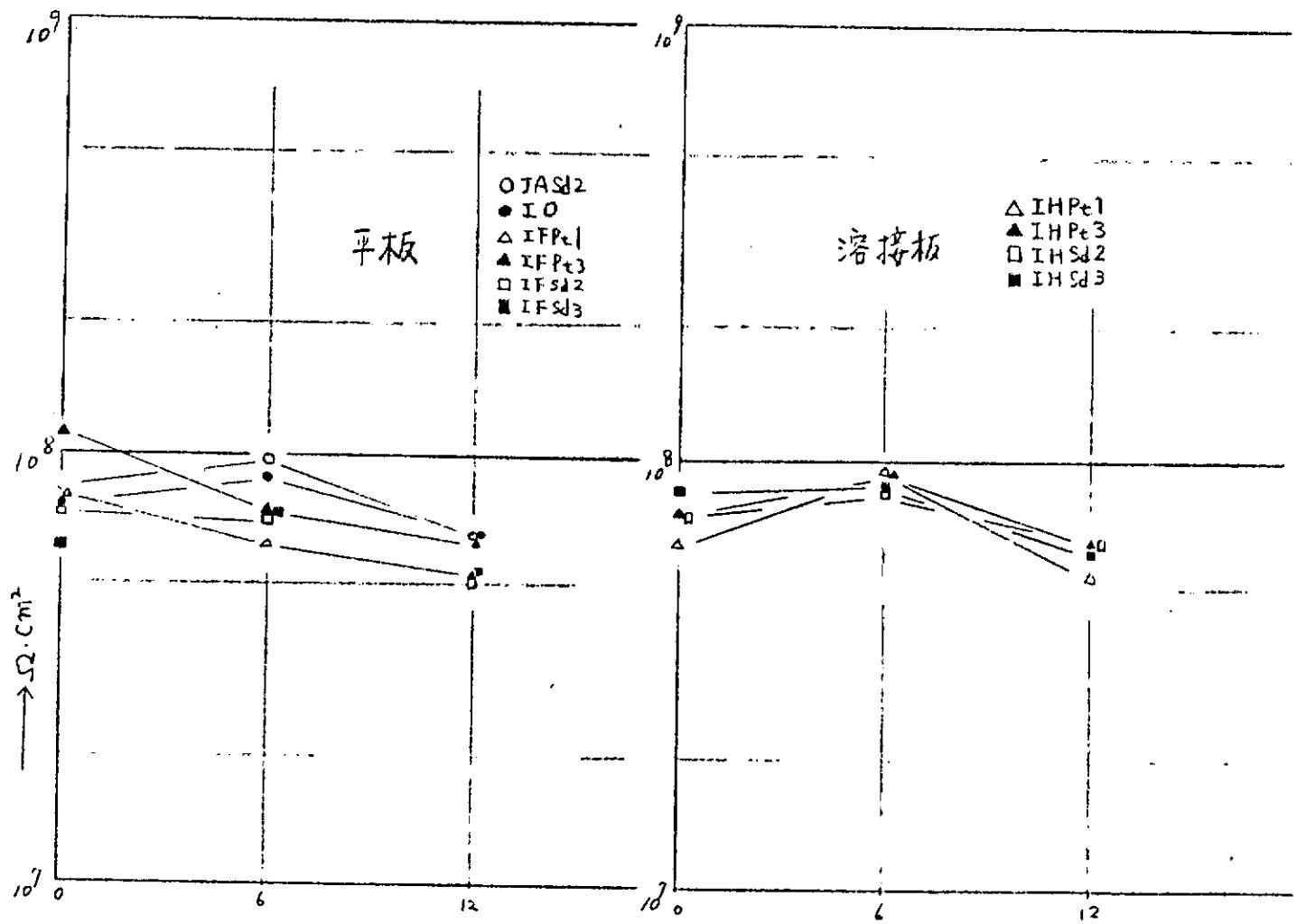


図2.1.8(1) TE塗料のインピーダンスの経時変化 (天然試験, 1 kHz)

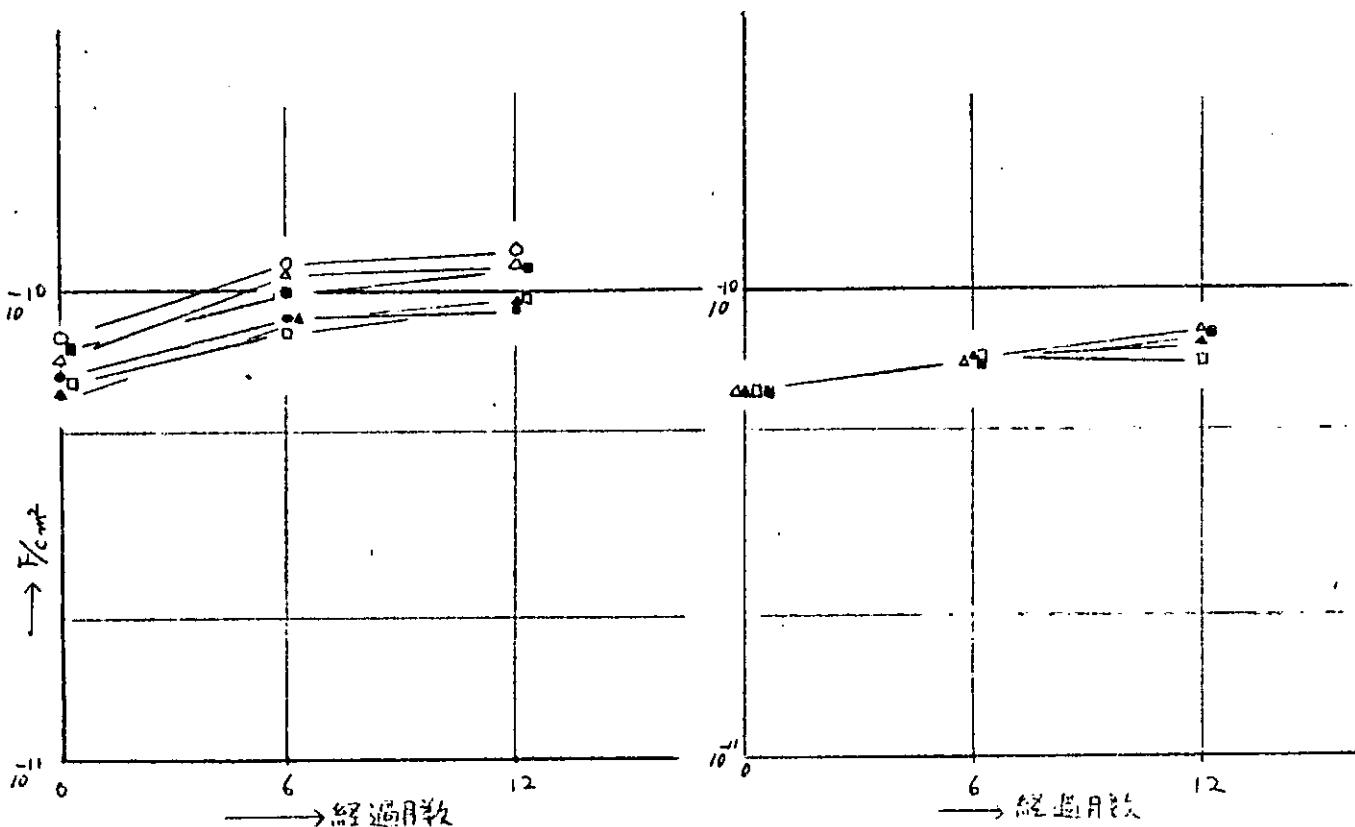
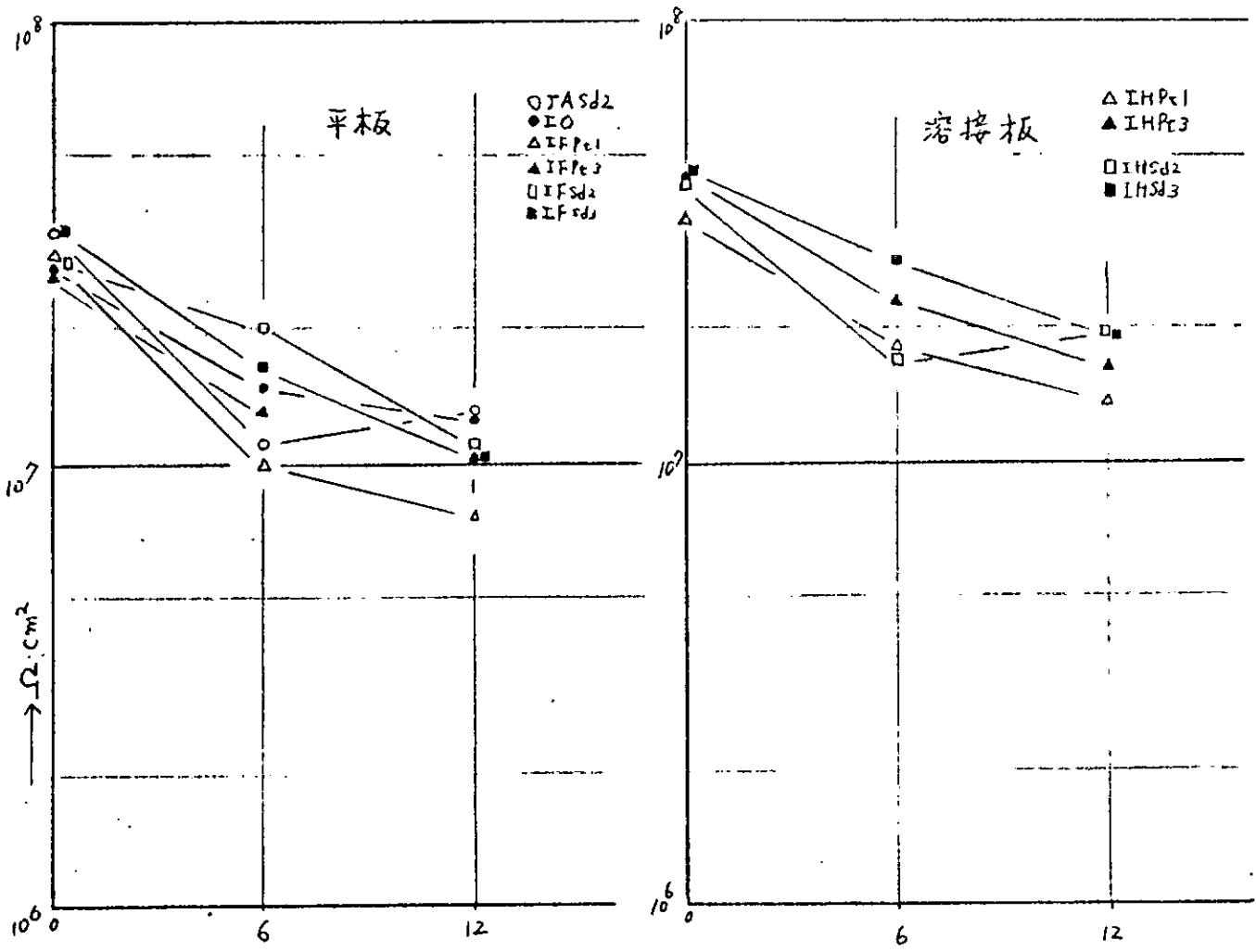


図2.1.8(2) PE・A/C塗料のインピーダンスの経時変化 (天然試験, 1 KHz)

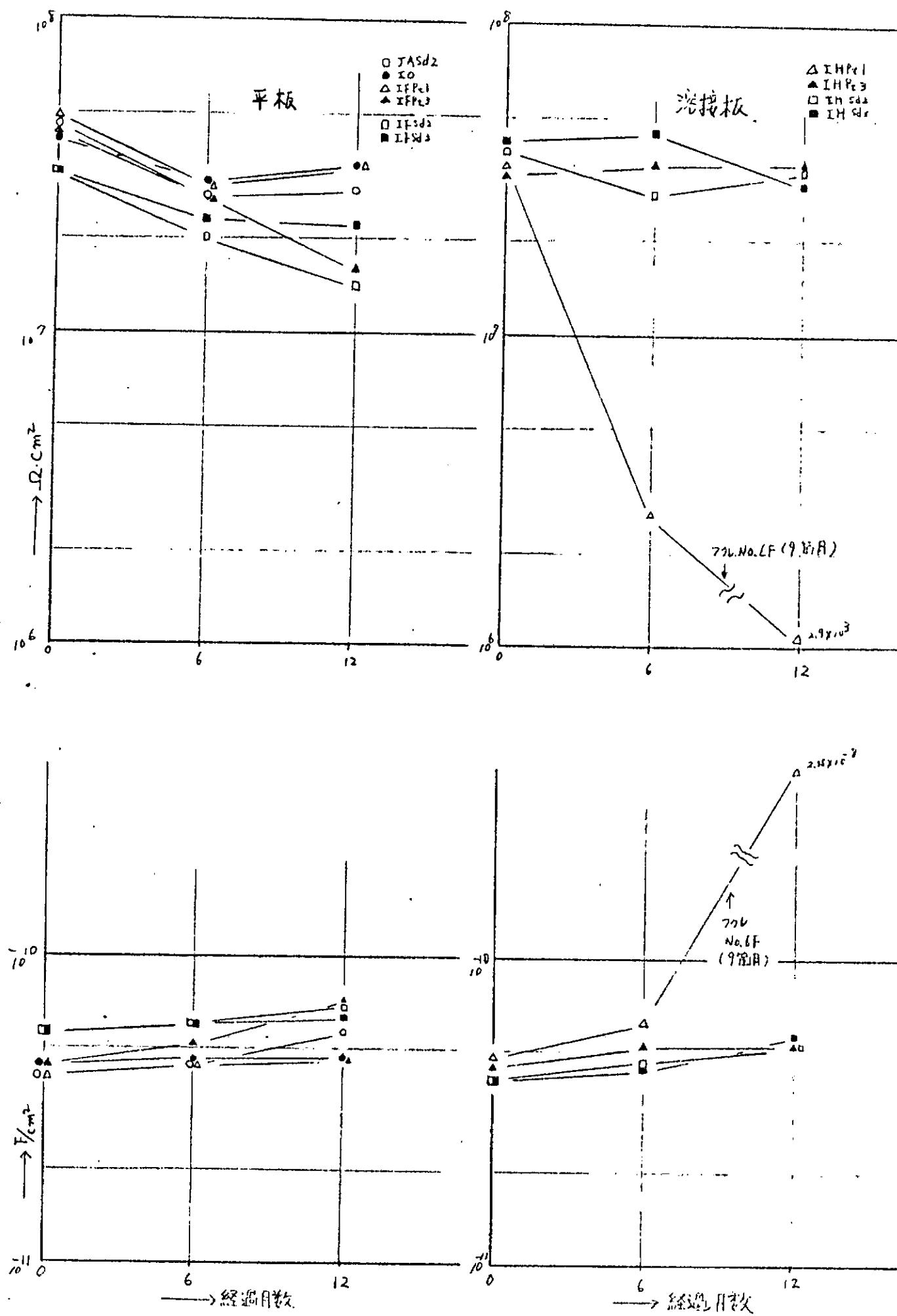


図2.1.8(3) CR・A/C・HBのインピーダンスの経時変化 (天然試験, 1 kHz)

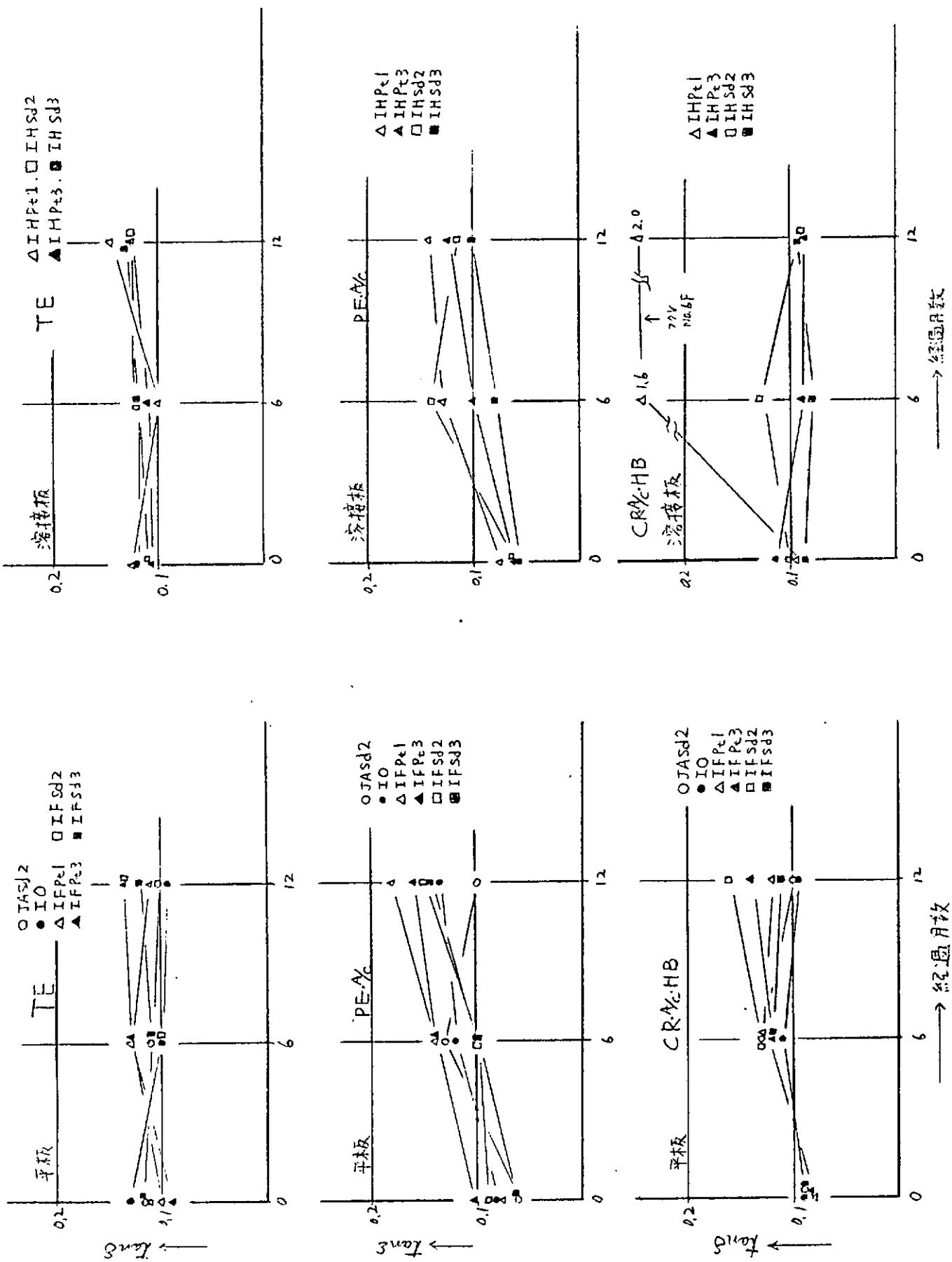


図2.1.8(4) 各塗料の  $\tan \delta$  の経時変化 (天然試験, 1 KHz)

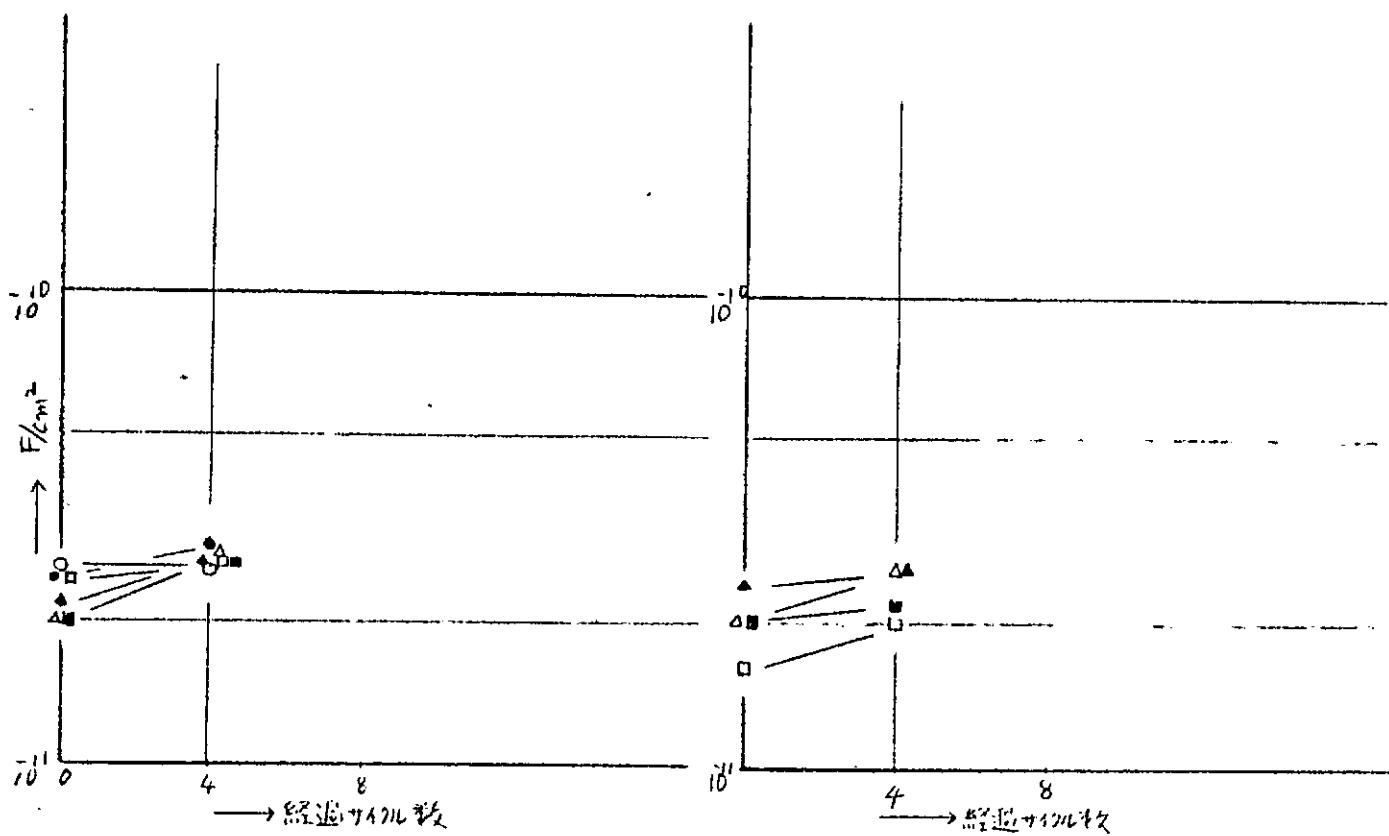
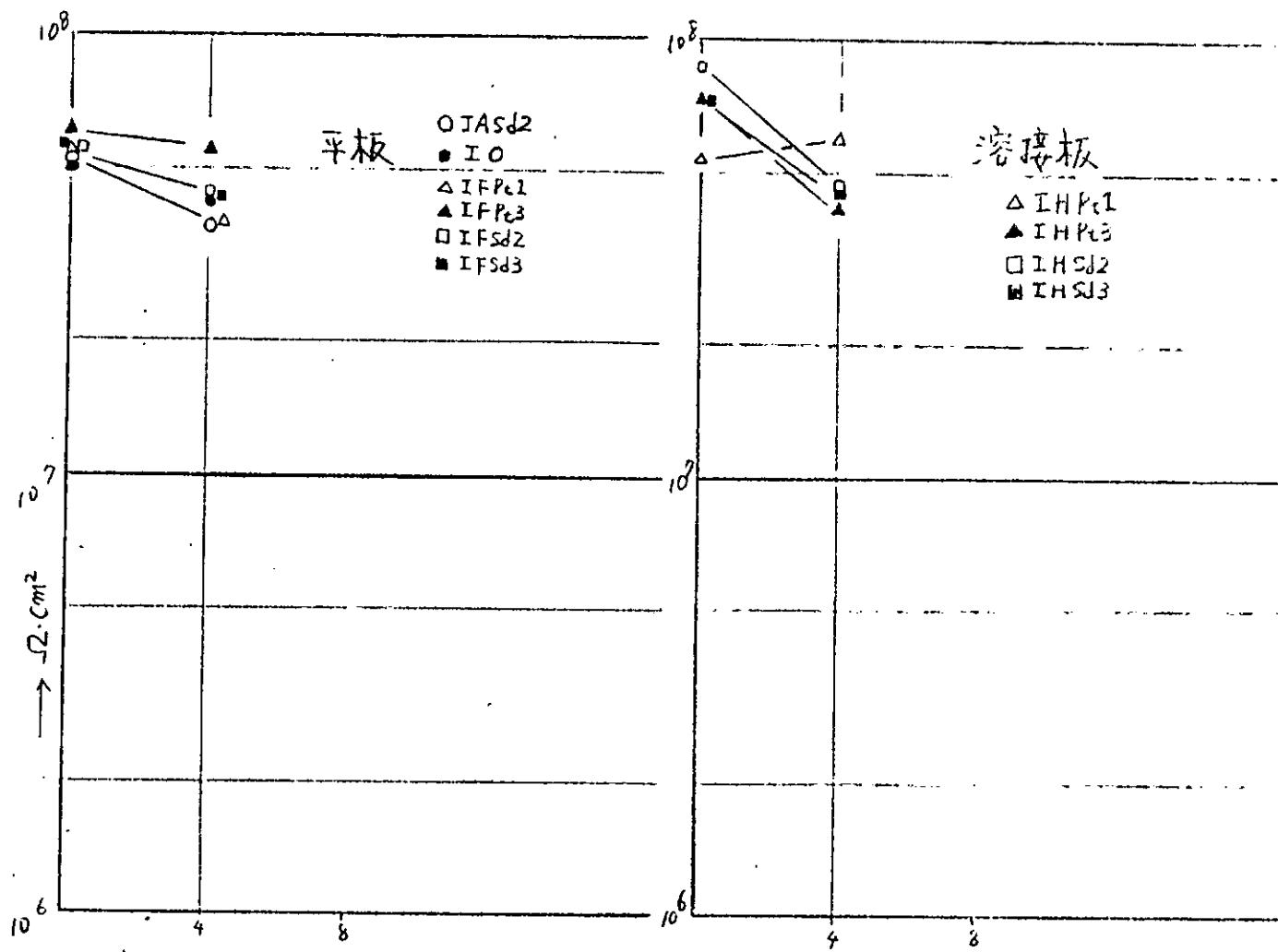


図2.1.9(1) TE塗料のインピーダンスの経時変化(促進試験, 1 KHz)

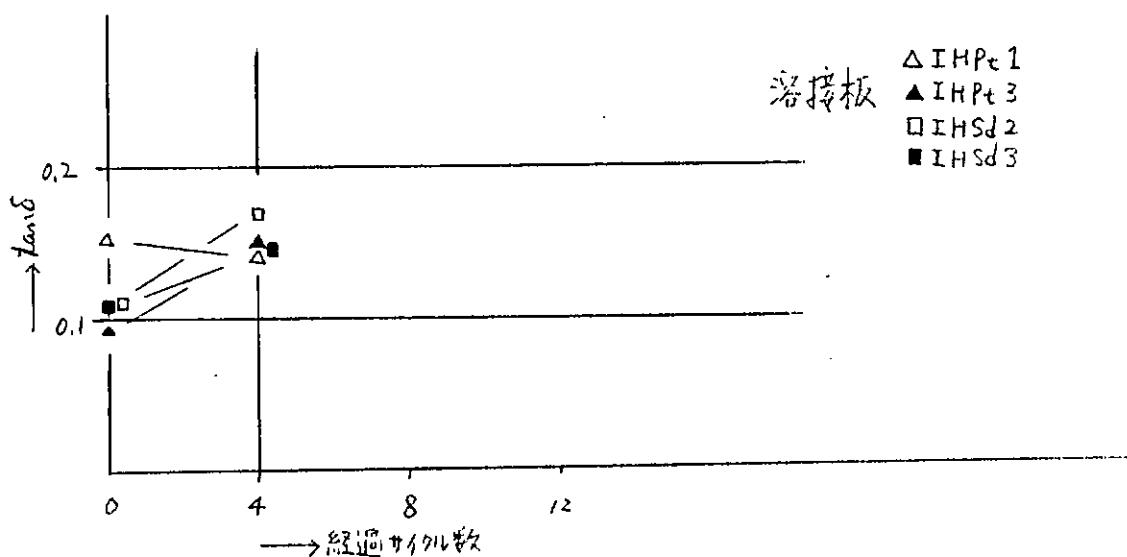
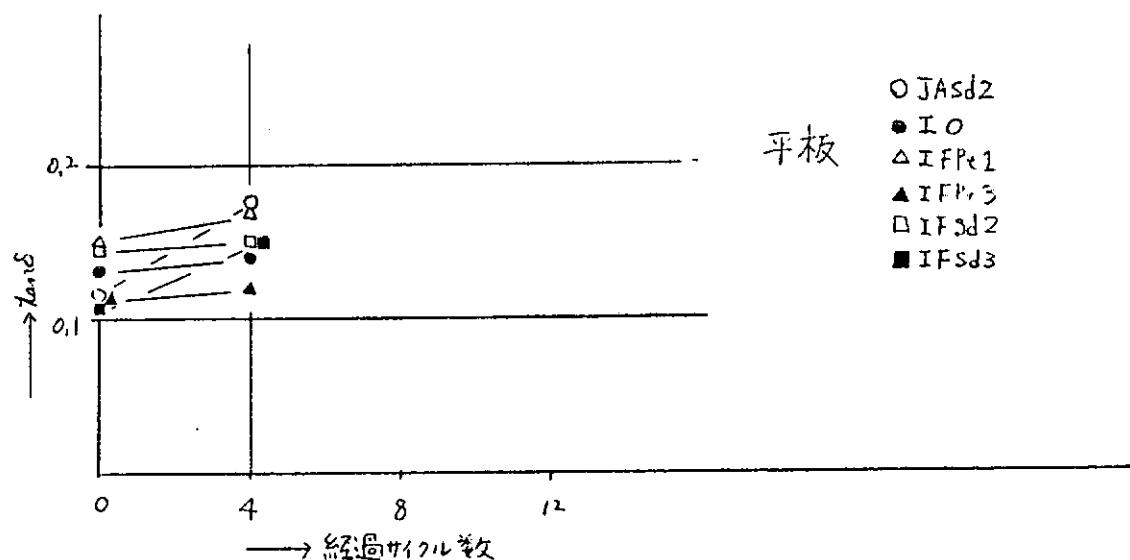


図2.1.9(2) TE塗料の  $\tan \delta$  の経時変化 (促進試験, 1 KHz)

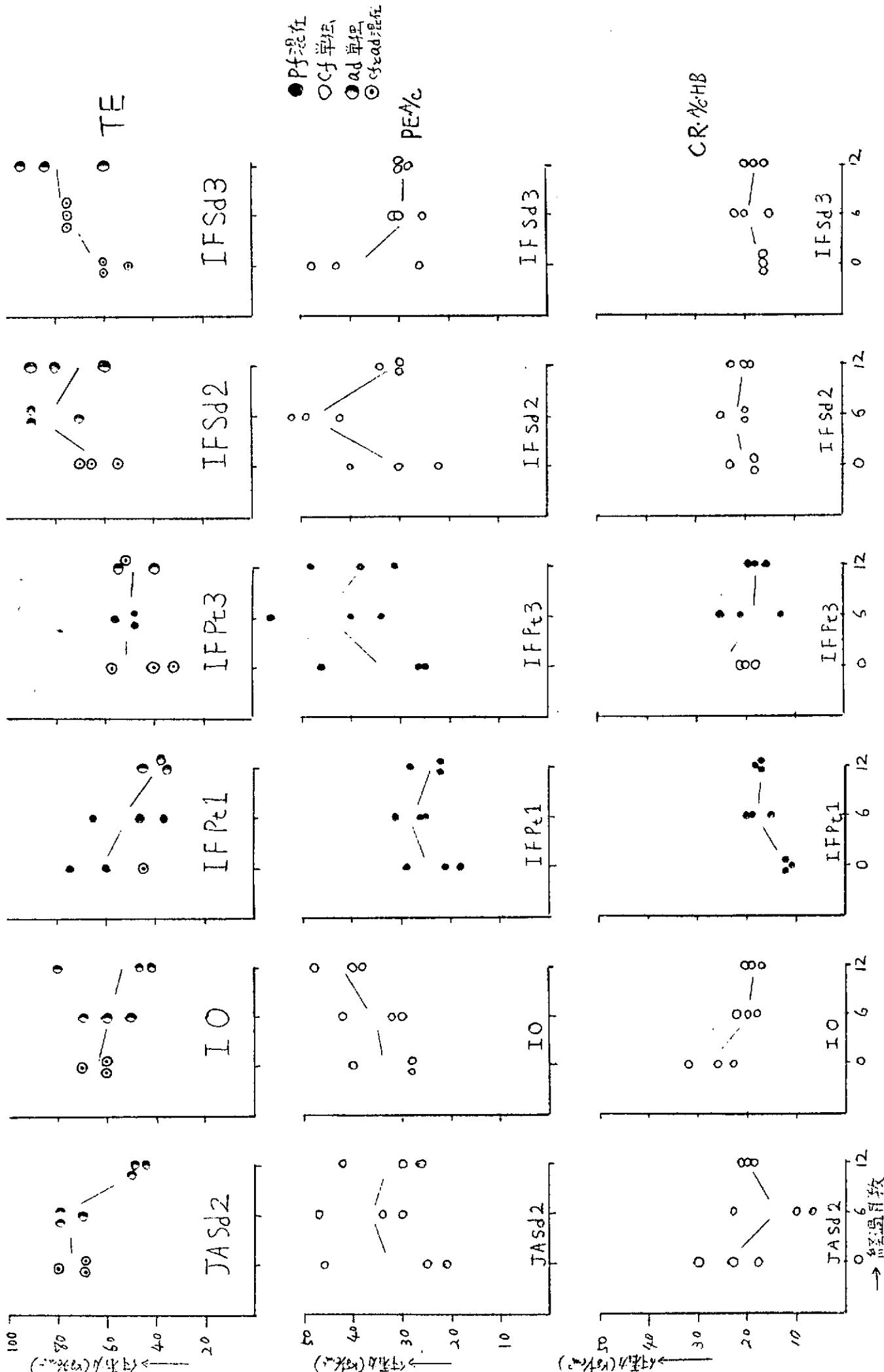


図2.1.10 各塗料の付着力の経時変化(天然試験)

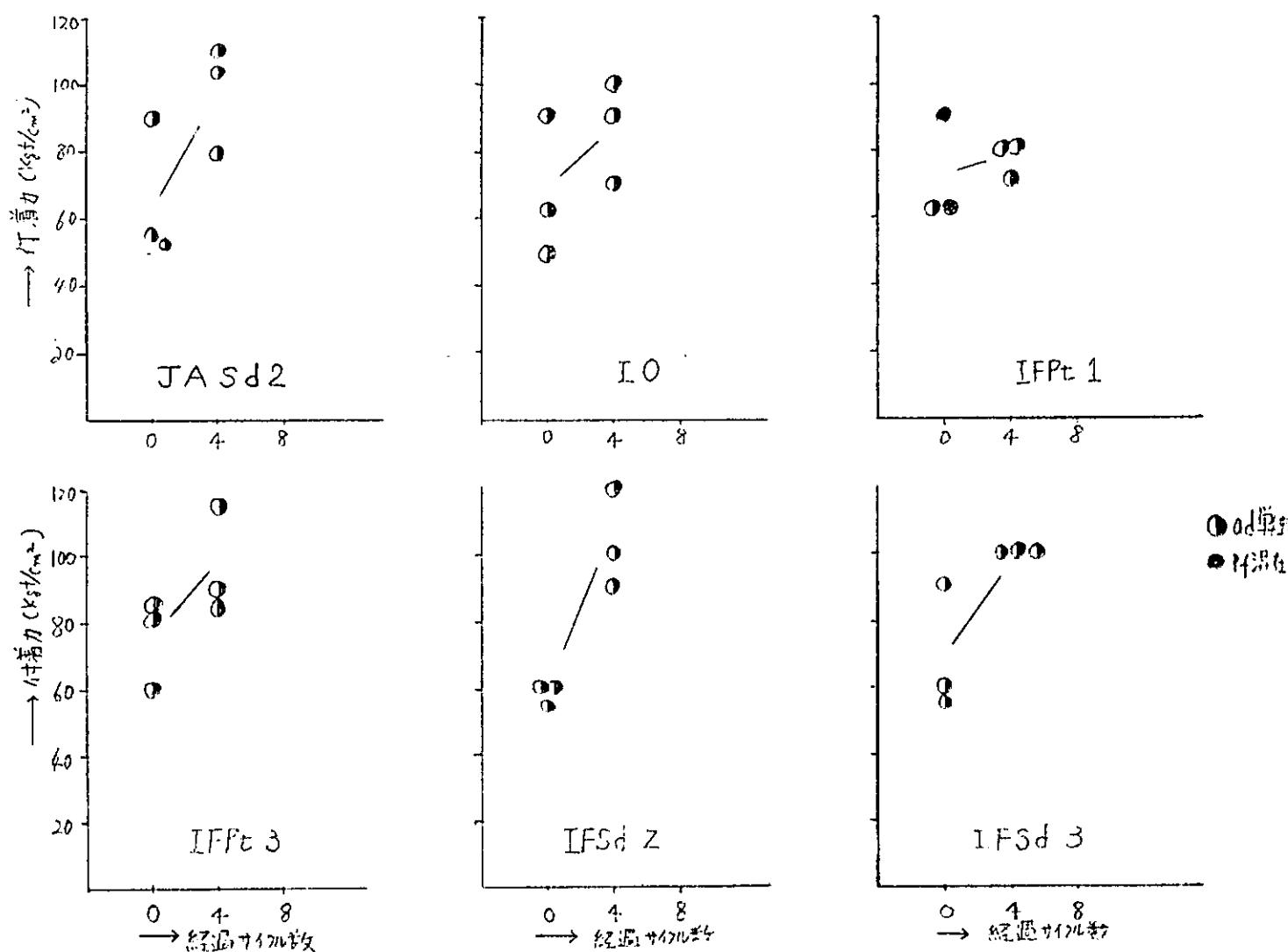


図2.1.11 TE塗料の付着力の経時変化（促進試験）

## 表面処理グレードと塗膜の耐久性

### 昭和 61 年度 報告書（案）

#### （5）没水部を対象とした試験

##### （a）試験片寸法

150 x 70 x 3.2mm (SS 41)

###### （i）一次処理

ショットブラスト処理にて S I S Sa 2.5 とした。

図 2.1.12 に表面アラサ測定結果を示す。

表面アラサは  $R_{max} 78 \mu m, R_z 62 \mu m$  (天然浸漬),  $R_{max} 62 \mu m, R_z 48 \mu m$  (促進浸漬) であった。

###### （ii）二次処理

###### （イ）ショッププライマ塗装

（4）.（ii）.（イ）による。

###### （ロ）溶接ビード肉盛

（4）.（ii）.（ロ）による。

###### （ハ）歪取

（4）.（ii）.（ハ）による。

##### （b）塗装

塗装は全試験片、エアレス塗装機にて実施した。表 2.1.6 に供試 3 塗料の膜厚測定結果を示す。

塩化ゴム塗料とタールエポキシ塗料はほぼ目標膜厚値に近い値が得られたが、エポキシ塗料は目標を若干オーバーした値であった。

#### （C）評価試験（劣化判定法）結果

##### （i）外観

天然試験：1年間浸漬後の外観観察結果を表 2.1.7 に示す。

T E 塗料では、塗膜欠陥は認められなかった。

P E・A/C 塗料では、I F P t 1 処理で点さび発生が認められたが、他の処理材では異常は認められなかった。

C R · A / C · H B 塗料では、溶接部でふくれ発生が認められた。

標準材、歪取材では異常は認められなかった。

促進試験：6ヶ月経過時点では、異常は認められなかった。

#### (ii) 直流法

3%食塩水を満たした電解セルを試験片に密着させ、12時間放置後カレントバルスジェネレータ（北斗電工製）を用い、塗膜抵抗と塗膜-金属界面の分極抵抗を測定した。

天然試験での測定結果（初期、1ヶ月、6ヶ月、1年）を表 2.1.8 (1) ~ (12) に、経時変化を図 2.1.13 (1) ~ (4) に示す。

促進試験での測定結果（初期、6ヶ月）を表 2.1.9 (1), (2) に、経時変化を図 2.1.14 に示す。

#### (iii) 交流法

(3). (C) の試験器を用い、(4). (C). (iii) に示す方法により測定した。

天然試験での測定結果（初期、1ヶ月、6ヶ月、1年後）を表 2.1.8 (1) ~ (12) に、1kHz における経時変化を図 2.1.15 (1) ~ (9) に示す。

促進試験での測定結果（初期、6ヶ月後）を表 2.1.9 (1), (2) に、1kHz における経時変化を図 2.1.16 (1) ~ (3) に示す。

#### (iv) 付着力測定

(4). (C). (iv) に示す方法で引張り試験治具を貼り付け、(3). (d). (ii) に示す引張り試験器を用い、付着強度ならびに破断箇所を測定した。

天然試験での測定結果を表 2.1.10 (1), (2) に示し、経時変化を図 2.1.17 (1) ~ (3) に示す。

促進試験での測定結果を表 2.1.11 に示し、経時変化を図 2.1.18 に示す。

### (d) 測定結果について

#### (i) 電気的特性の測定

電気的特性の対象は、供試した表面処理グレード9種類について実施した。なお、直流法の測定は歪取部についてのみ実施した。

##### (イ) 直流抵抗、容量

###### ① 直流抵抗

###### ・ T E 塗料（天然試験）

塗膜抵抗、界面抵抗とも、下地処理グレードによる差はほとんど認められなかった。

・ P E · A / C 塗料（天然試験）

塗膜抵抗、界面抵抗とも、パワーツール処理よりもサンドブラスト処理の方が高い傾向が認められた。

・ C R · A / C · H B 塗料（天然試験）

塗膜抵抗、界面抵抗とも、1年経過後では I F P t 1 処理の低下が著しかった。

・ T E 塗料（促進試験）

I F P t 3 処理材で抵抗の増加が認められたが、他の処理材ではほとんど初期値とかわらない値であった。

② 界面の容量

・ T E 塗料（天然浸漬）

1年浸漬後には、標準材の容量値に比べ I F P t 2 , I F S d 2 I F S d 3 の容量値の若干高くなつたが、処理グレードによる傾向はほとんど認められなかつた。

・ P E · A / C 塗料（天然試験）

標準材に比べ、他の処理材の容量値は高くなる傾向が認められた。また処理方法で比較すると、パワーツール処理の方がサンドブラスト処理よりも高くなる傾向が認められた。

・ C R · A / C · H B 塗料（天然試験）

1年浸漬後には、標準材の容量値に比べ、他の処理材の容量値の若干高くなるのが認められた。特に I F P t 1 処理材は非常に高い値となつた。

・ T E 塗料（促進試験）

標準材と I F S d 3 処理材で容量の増加する傾向が認められたが、他の処理材では減少する傾向が認められた。

(口) 交流インピーダンス,  $\tan \delta$

・ T E 塗料（天然試験）

歪取部では、浸漬1ヶ月後に抵抗の低下が認められたが、その後はほとんど変化がなく、処理グレードによる差もほとんど認められなかつた。

溶接部では、浸漬6ヶ月後まで抵抗値の低下が認められたが、その後はほとんど変化がなく、処理グレードによる差もほとんど認められなかつた。

容量値は、歪取部、溶接部とも1ヶ月浸漬後に少し増加し、その後はほとんど変化のない傾向が認められた。

$\tan \delta$  値は、IFP t 1材で1ヶ月浸漬後に約0.6と他の処理材よりも高くなったのを除けば、歪取部、溶接部とも1年経過後においても0.2程度の低い値となった。

発振周波数ごとの周波数特性がそこなわれている塗装系は認められなかった。

#### ・ P E · A / C 塗料（天然試験）

抵抗値については、歪取部、溶接部とも1ヶ月浸漬後に低下し、その後はほとんど変化のない傾向が認められた。また、IFS d 3 処理材の抵抗値が標準材とほぼ同程度の値であったのに対し、IFP t 1, IFP t 3, IFS d 2 処理材では標準材より低い値になる傾向が認められた。溶接部では、処理グレードの高い程、抵抗値の高くなる傾向が認められた。

容量値については、歪取部でサンドブラスト処理材よりもパワーツール処理材の方が高くなる傾向が認められ、また処理グレードの低い方が容量値の高くなる傾向が認められた。溶接部では、1年浸漬後 IHP t 1 処理材の容量値が他の処理材よりも高くなるのが認められた。

$\tan \delta$  値については、歪取部、溶接部ともサンドブラスト処理よりもパワーツール処理の方の高くなる傾向が認められた。特に、1年浸漬後のIFP t 1, IFP t 3 処理材の値が高くなつた。発振周波数ごとの抵抗値で、周波数特性のそこなわれている塗装系は認められなかった。

#### ・ C R · A / C · H B 塗料（天然試験）

抵抗値については、歪取部、溶接部とも1ヶ月浸漬後に低下し、その後はほとんど変化が認められなかった。ただし、溶接材の低下の程度は、標準材に比べ非常に大きかった。これは溶接部で点さび、ふくれ等の欠陥の発生によるものである。

容量値については、歪取部では1年浸漬後においても初期値ほとんど変わらない値であったが、溶接材では非常に大きな値となつた。

$\tan \delta$  値については、歪取部で I F P t 1 処理材のみ標準材より高い値（約 0.7）となったが、溶接材ではすべて 1.5~2.0 と非常に高い値となった。

溶接部で塗膜欠陥の発生した理由としては、溶接部の凸部の膜厚が薄かったためと推定される。

発振周波数毎の抵抗値で、I F P t 1 の 6 ヶ月後に周波数特性を失いつつあるのが認められ、溶接材においてはすべての処理で 6 ヶ月後に周波数特性を失っているのが認められた。

#### ・ T E 塗料（促進試験）

抵抗値は、すべての処理材で初期の  $10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$  のオーダーから  $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$  のオーダーに低下するのが認められた。

容量値、 $\tan \delta$  値とも 6 ヶ月後にはわずかに増加する傾向が認められた。

発振周波数毎の周波数特性のそこなわれている塗装系は認められなかった。

### (ii)付着力測定

#### ・ T E 塗料（天然試験）

歪取部においては、標準材、I F S d 3 処理材が  $60 \text{ Kg/cm}^2$  程度と高い付着力であったが、他の処理材では  $40 \text{ Kg/cm}^2$  程度であった。

溶接部周辺では、処理方法、グレードによる差が認められ、パワーツール処理よりもサンドブラスト処理の方が高くグレードも高くなるほど付着力も高くなる傾向が認められた。

#### ・ P E · A / C 塗料（天然試験）

I F S d 3 処理材のみ 1 年浸漬においても初期値とほとんど変わらない値 ( $50 \text{ Kg/cm}^2$ ) であったが、他の処理材は全て付着力の低下する傾向が認められた（1 年後の付着力は  $20 \sim 30 \text{ Kg/cm}^2$  程度である）。

#### ・ C R · A / C · H B 塗料（天然試験）

歪取部では、付着力の低下する傾向が認められた。また処理グレードの影響も認められ、パワーツール処理よりもサンドブラスト処理の方が、そして処理グレードの高くなるほど付着力の高くなる傾向が認められた（1 年後の付着力は  $6 \sim 10 \text{ Kg/cm}^2$  程度である）。

溶接部周辺では、付着力の変化の少ないものがほとんどであり、付着力の値は  $10 \sim 12 \text{ Kg/cm}^2$  程度であった。

・ T E 塗料（促進試験）

標準材、IFSd2, IHSD2, IHSD3処理材で付着力の低下する傾向が明らかに認められた。パワーツール処理材では歪取部、溶接部とも初期値とほとんど変化のない傾向が認められた。

(e) その他

(i)付着力測定の比較

引張り試験機とアドヒージョンテスターによる測定値の比較を図 2.1.19に示す。付着力が低いときにはほぼ等しい値となったが、付着力の高いときには引張り試験機による測定値の方が高くなる傾向が認められた。

(ii)交流電気抵抗の比較

同一型式の計測器にて三井造船（株）、川崎重工業（株）のそれぞれで同一の試験片（共通試験片）の交流インピーダンス測定を行なった。測定条件は、試験片引き上げ後30分放置、アルミ箔貼り付けて1時間経過後とした。測定値の比較したものを図 2.1.20 に示す。  
ばらつきはあるものの、ほぼ等しい値となった。

(iii)直流抵抗の比較

共通試験片の直流抵抗をエレクトロメーターで測定した場合と、カレントバルスジェネレーターにて測定した塗膜抵抗値との比較を試みた。比較した結果を図 2.1.21 に示す。カレントバルスジェネレーターにて測定した抵抗値の方が低くなる傾向が認められた。

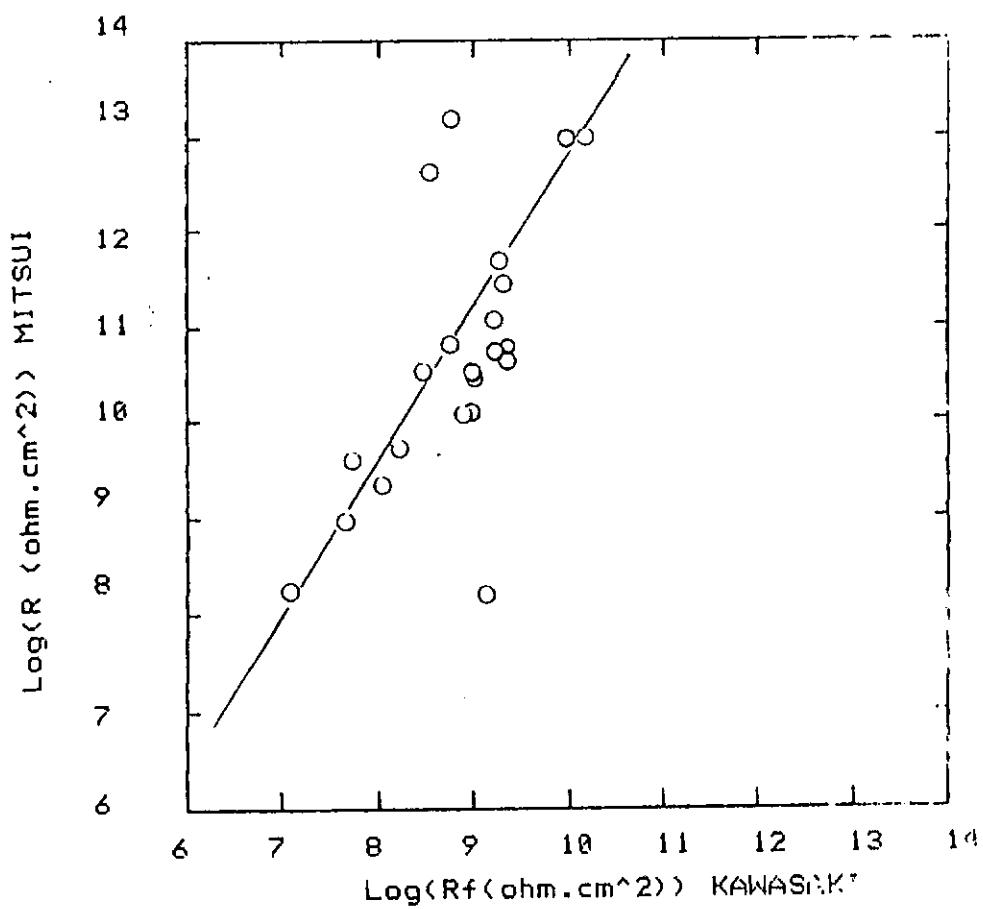


図2.1.21 直流抵抗の測定法による比較

表 2.1.6 膜厚測定結果

(単位:  $\mu$ )

項目		T E 目標膜厚 220 $\mu$ (1回塗り)	P E 目標膜厚 200 $\mu$ (2回塗り)	C R 目標膜厚 120 $\mu$ (2回塗り)
常温試験	範囲	204～265	199～288	109～134
	平均	229	236	120
	標準偏差	6.9	25.7	15.9
促進試験	範囲	204～291		
	平均	234		
	標準偏差	23.4		

表 2.1.7 1年浸漬後の外観評価結果

塗 料	損 傷	処理グレード	評価点	塗膜状態
タールエポキシ	歪取部	標準材	10	
		Pt1	10	
		Pt3	10	
		Sd2	10	
		Sd3	10	
	溶接部	Pt1	10	
		Pt3	10	
		Sd2	10	
		Sd3	10	
		標準材	10	
エポキシ	歪取部	Pt1	9	点さび発生
		Pt3	10	
		Sd2	10	
		Sd3	10	
	溶接部	Pt1	10	
		Pt3	10	
		Sd2	10	
		Sd3	10	
		標準材	10	
塩化ゴム	歪取部	Pt1	10	
		Pt3	10	
		Sd2	10	
		Sd3	10	
	溶接部	Pt1	8M	ふくれ発生
		Pt3	9M	ふくれ発生
		Sd2	8M	ふくれ発生
		Sd3	8M	ふくれ発生

評価点はASTMのD716-56(ふくれ), D610-68(さび)の基準にもとづく。

表2.1.8(1) TE塗料の電気的特性(初期値)

項目 下地処理	直流抵抗・容量		交流インピーダンス			
	(Ω·cm²)(F/cm²)		周波数kHz	R <sub>x</sub> Ω·cm²	C <sub>x</sub> F/cm²	tan δ
I O	塗膜抵抗		1.6×10 <sup>9</sup>	0.2	4.55×10 <sup>8</sup>	1.64×10 <sup>-11</sup>
	界面	抵抗	1.1×10 <sup>8</sup>	0.5	2.44×10 <sup>8</sup>	1.56×10 <sup>-11</sup>
		容量	5.1×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.51×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>-11</sup>
I F P t 1	塗膜抵抗		2.5×10 <sup>8</sup>	0.2	4.03×10 <sup>8</sup>	2.04×10 <sup>-11</sup>
	界面	抵抗	1.8×10 <sup>7</sup>	0.5	1.94×10 <sup>8</sup>	2.00×10 <sup>-11</sup>
		容量	1.4×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.10×10 <sup>8</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>
I F P t 3	塗膜抵抗		1.1×10 <sup>10</sup>	0.2	3.73×10 <sup>8</sup>	2.20×10 <sup>-11</sup>
	界面	抵抗	3.0×10 <sup>9</sup>	0.5	1.87×10 <sup>8</sup>	2.08×10 <sup>-11</sup>
		容量	1.4×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.03×10 <sup>8</sup>	2.00×10 <sup>-11</sup>
I F S d 2	塗膜抵抗		1.4×10 <sup>9</sup>	0.2	3.60×10 <sup>8</sup>	2.04×10 <sup>-11</sup>
	界面	抵抗	9.2×10 <sup>7</sup>	0.5	1.91×10 <sup>8</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>
		容量	3.7×10 <sup>-9</sup>	1.0	1.18×10 <sup>8</sup>	1.88×10 <sup>-11</sup>
I F S d 3	塗膜抵抗		2.9×10 <sup>9</sup>	0.2	3.98×10 <sup>8</sup>	2.20×10 <sup>-11</sup>
	界面	抵抗	1.6×10 <sup>8</sup>	0.5	1.91×10 <sup>8</sup>	2.12×10 <sup>-11</sup>
		容量	3.9×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.06×10 <sup>8</sup>	2.04×10 <sup>-11</sup>
I H P t 1			0.2	4.46×10 <sup>8</sup>	1.68×10 <sup>-11</sup>	0.106
			0.5	2.08×10 <sup>8</sup>	1.56×10 <sup>-11</sup>	0.098
			1.0	1.39×10 <sup>8</sup>	1.52×10 <sup>-11</sup>	0.075
I H P t 3			0.2	3.97×10 <sup>8</sup>	1.96×10 <sup>-11</sup>	0.102
			0.5	1.76×10 <sup>8</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>	0.094
			1.0	1.59×10 <sup>8</sup>	1.84×10 <sup>-11</sup>	0.054
I H S d 2			0.2	4.21×10 <sup>8</sup>	1.88×10 <sup>-11</sup>	0.101
			0.5	1.97×10 <sup>8</sup>	1.76×10 <sup>-11</sup>	0.092
			1.0	1.25×10 <sup>8</sup>	1.72×10 <sup>-11</sup>	0.074
I H S d 3			0.2	4.66×10 <sup>8</sup>	1.76×10 <sup>-11</sup>	0.097
			0.5	2.26×10 <sup>8</sup>	1.68×10 <sup>-11</sup>	0.084
			1.0	1.26×10 <sup>8</sup>	1.64×10 <sup>-11</sup>	0.097

表2.1.8(2) TE塗料の電気的特性(1ヶ月後)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス				
			周波数 kHz	R <sub>x</sub> Ω・cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ	
I O	塗膜抵抗		7.3×10 <sup>7</sup>	0.2	9.43×10 <sup>7</sup>	3.32×10 <sup>-11</sup>	0.254
	界面	抵抗	4.4×10 <sup>7</sup>	0.5	5.35×10 <sup>7</sup>	2.88×10 <sup>-11</sup>	0.207
		容量	1.3×10 <sup>-6</sup>	1.0	3.43×10 <sup>7</sup>	2.68×10 <sup>-11</sup>	0.173
I F P t 1	塗膜抵抗		6.0×10 <sup>8</sup>	0.2	1.04×10 <sup>7</sup>	5.60×10 <sup>-11</sup>	1.373
	界面	抵抗	3.4×10 <sup>7</sup>	0.5	7.75×10 <sup>6</sup>	4.00×10 <sup>-11</sup>	1.027
		容量	2.2×10 <sup>-6</sup>	1.0	6.94×10 <sup>6</sup>	3.60×10 <sup>-11</sup>	0.637
I F P t 3	塗膜抵抗		1.0×10 <sup>9</sup>	0.2	8.89×10 <sup>7</sup>	3.60×10 <sup>-11</sup>	0.249
	界面	抵抗	6.4×10 <sup>7</sup>	0.5	4.97×10 <sup>7</sup>	3.28×10 <sup>-11</sup>	0.195
		容量	8.9×10 <sup>-7</sup>	1.0	3.03×10 <sup>7</sup>	3.00×10 <sup>-11</sup>	0.175
I F S d 2	塗膜抵抗		3.7×10 <sup>8</sup>	0.2	1.01×10 <sup>8</sup>	3.36×10 <sup>-11</sup>	0.236
	界面	抵抗	2.0×10 <sup>8</sup>	0.5	5.36×10 <sup>7</sup>	3.04×10 <sup>-11</sup>	0.195
		容量	3.8×10 <sup>-7</sup>	1.0	3.39×10 <sup>7</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.168
I F S d 3	塗膜抵抗		3.9×10 <sup>8</sup>	0.2	1.00×10 <sup>8</sup>	3.32×10 <sup>-11</sup>	0.239
	界面	抵抗	2.5×10 <sup>8</sup>	0.5	6.30×10 <sup>7</sup>	3.00×10 <sup>-11</sup>	0.169
		容量	2.3×10 <sup>-7</sup>	1.0	3.62×10 <sup>7</sup>	2.76×10 <sup>-11</sup>	0.159
I H P t 1			0.2	2.03×10 <sup>8</sup>	2.44×10 <sup>-11</sup>	0.161	
			0.5	1.15×10 <sup>8</sup>	2.12×10 <sup>-11</sup>	0.131	
			1.0	6.49×10 <sup>7</sup>	2.08×10 <sup>-11</sup>	0.118	
I H P t 3			0.2	1.84×10 <sup>8</sup>	2.60×10 <sup>-11</sup>	0.167	
			0.5	9.51×10 <sup>7</sup>	2.44×10 <sup>-11</sup>	0.137	
			1.0	6.18×10 <sup>7</sup>	2.28×10 <sup>-11</sup>	0.113	
I H S d 2			0.2	2.32×10 <sup>8</sup>	2.40×10 <sup>-11</sup>	0.143	
			0.5	1.21×10 <sup>8</sup>	2.24×10 <sup>-11</sup>	0.117	
			1.0	7.08×10 <sup>7</sup>	2.16×10 <sup>-11</sup>	0.104	
I H S d 3			0.2	2.58×10 <sup>8</sup>	2.28×10 <sup>-11</sup>	0.135	
			0.5	1.26×10 <sup>8</sup>	2.08×10 <sup>-11</sup>	0.121	
			1.0	8.06×10 <sup>7</sup>	1.96×10 <sup>-11</sup>	0.101	

表2.1.8(3) TE塗料の電気的特性(6ヶ月後)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
	周波数 KHz	R <sub>x</sub> Ω・cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ		
I O	塗膜抵抗	2.3×10 <sup>8</sup>	0.2	6.18×10 <sup>7</sup>	3.72×10 <sup>-11</sup>	0.346
	界面 抵抗	9.1×10 <sup>6</sup>	0.5	5.13×10 <sup>7</sup>	3.08×10 <sup>-11</sup>	0.202
	界面 容量	5.0×10 <sup>-6</sup>	1.0	2.61×10 <sup>7</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.218
I F P t 1	塗膜抵抗	1.4×10 <sup>8</sup>	0.2	5.29×10 <sup>7</sup>	4.12×10 <sup>-11</sup>	0.365
	界面 抵抗	4.6×10 <sup>6</sup>	0.5	3.31×10 <sup>7</sup>	3.60×10 <sup>-11</sup>	0.268
	界面 容量	1.0×10 <sup>-5</sup>	1.0	2.26×10 <sup>7</sup>	3.32×10 <sup>-11</sup>	0.212
I F P t 3	塗膜抵抗	9.2×10 <sup>7</sup>	0.2	6.36×10 <sup>7</sup>	4.40×10 <sup>-11</sup>	0.284
	界面 抵抗	3.5×10 <sup>6</sup>	0.5	3.65×10 <sup>7</sup>	3.92×10 <sup>-11</sup>	0.223
	界面 容量	1.6×10 <sup>-5</sup>	1.0	2.36×10 <sup>7</sup>	3.64×10 <sup>-11</sup>	0.185
I F S d 2	塗膜抵抗	8.7×10 <sup>7</sup>	0.2	7.69×10 <sup>7</sup>	3.72×10 <sup>-11</sup>	0.278
	界面 抵抗	3.7×10 <sup>6</sup>	0.5	4.21×10 <sup>7</sup>	3.28×10 <sup>-11</sup>	0.231
	界面 容量	1.2×10 <sup>-6</sup>	1.0	2.70×10 <sup>7</sup>	3.04×10 <sup>-11</sup>	0.194
I F S d 3	塗膜抵抗	1.8×10 <sup>8</sup>	0.2	6.49×10 <sup>7</sup>	4.24×10 <sup>-11</sup>	0.290
	界面 抵抗	6.8×10 <sup>6</sup>	0.5	3.58×10 <sup>7</sup>	3.72×10 <sup>-11</sup>	0.240
	界面 容量	5.9×10 <sup>-6</sup>	1.0	2.33×10 <sup>7</sup>	3.44×10 <sup>-11</sup>	0.199
I H P t 1		0.2	6.93×10 <sup>7</sup>	3.36×10 <sup>-11</sup>	0.342	
		0.5	4.14×10 <sup>7</sup>	2.92×10 <sup>-11</sup>	0.263	
		1.0	2.84×10 <sup>7</sup>	2.64×10 <sup>-11</sup>	0.212	
I H P t 3		0.2	7.00×10 <sup>7</sup>	3.80×10 <sup>-11</sup>	0.299	
		0.5	4.04×10 <sup>7</sup>	3.24×10 <sup>-11</sup>	0.243	
		1.0	2.67×10 <sup>7</sup>	3.00×10 <sup>-11</sup>	0.199	
I H S d 2		0.2	7.16×10 <sup>7</sup>	3.56×10 <sup>-11</sup>	0.312	
		0.5	4.20×10 <sup>7</sup>	3.12×10 <sup>-11</sup>	0.243	
		1.0	2.71×10 <sup>7</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	0.207	
I H S d 3		0.2	7.22×10 <sup>7</sup>	3.60×10 <sup>-11</sup>	0.306	
		0.5	4.08×10 <sup>7</sup>	3.04×10 <sup>-11</sup>	0.257	
		1.0	2.68×10 <sup>7</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.212	

表2.1.8(4) TE塗料の電気的特性(1年後)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω·cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
			周波数kHz	R <sub>x</sub> Ω·cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ
I O	塗膜抵抗	1.7×10 <sup>10</sup>	0.2	1.54×10 <sup>8</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.185
	界面 抵抗	4.1×10 <sup>9</sup>	0.5	8.11×10 <sup>7</sup>	2.56×10 <sup>-11</sup>	0.154
	界面 容量	1.5×10 <sup>-8</sup>	1.0	4.87×10 <sup>7</sup>	2.38×10 <sup>-11</sup>	0.137
I F P t 1	塗膜抵抗	1.4×10 <sup>10</sup>	0.2	1.42×10 <sup>8</sup>	3.44×10 <sup>-11</sup>	0.163
	界面 抵抗	1.6×10 <sup>9</sup>	0.5	7.19×10 <sup>7</sup>	3.20×10 <sup>-11</sup>	0.139
	界面 容量	1.0×10 <sup>-8</sup>	1.0	4.37×10 <sup>7</sup>	3.00×10 <sup>-11</sup>	0.122
I F P t 3	塗膜抵抗	1.1×10 <sup>10</sup>	0.2	1.14×10 <sup>8</sup>	3.78×10 <sup>-11</sup>	0.185
	界面 抵抗	1.5×10 <sup>9</sup>	0.5	6.10×10 <sup>7</sup>	3.44×10 <sup>-11</sup>	0.152
	界面 容量	5.6×10 <sup>-8</sup>	1.0	3.84×10 <sup>7</sup>	3.28×10 <sup>-11</sup>	0.126
I F S d 2	塗膜抵抗	1.3×10 <sup>10</sup>	0.2	1.35×10 <sup>8</sup>	3.24×10 <sup>-11</sup>	0.182
	界面 抵抗	2.8×10 <sup>9</sup>	0.5	7.17×10 <sup>7</sup>	3.04×10 <sup>-11</sup>	0.146
	界面 容量	3.0×10 <sup>-8</sup>	1.0	4.39×10 <sup>7</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.130
I F S d 3	塗膜抵抗	2.3×10 <sup>10</sup>	0.2	1.28×10 <sup>8</sup>	3.60×10 <sup>-11</sup>	0.134
	界面 抵抗	1.2×10 <sup>9</sup>	0.5	6.34×10 <sup>7</sup>	3.36×10 <sup>-11</sup>	0.150
	界面 容量	8.1×10 <sup>-8</sup>	1.0	3.89×10 <sup>7</sup>	3.16×10 <sup>-11</sup>	0.130
I H P t 1			0.2	1.33×10 <sup>8</sup>	2.76×10 <sup>-11</sup>	0.216
			0.5	7.36×10 <sup>7</sup>	2.48×10 <sup>-11</sup>	0.175
			1.0	4.70×10 <sup>7</sup>	2.36×10 <sup>-11</sup>	0.144
I H P t 3			0.2	1.07×10 <sup>8</sup>	3.36×10 <sup>-11</sup>	0.222
			0.5	9.09×10 <sup>7</sup>	3.08×10 <sup>-11</sup>	0.114
			1.0	3.63×10 <sup>7</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	0.155
I H S d 2			0.2	1.25×10 <sup>8</sup>	3.16×10 <sup>-11</sup>	0.202
			0.5	6.83×10 <sup>7</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	0.164
			1.0	4.12×10 <sup>7</sup>	2.72×10 <sup>-11</sup>	0.142
I H S d 3			0.2	1.34×10 <sup>8</sup>	3.08×10 <sup>-11</sup>	0.193
			0.5	7.04×10 <sup>7</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	0.159
			1.0	4.39×10 <sup>7</sup>	2.64×10 <sup>-11</sup>	0.137

表2.1.8(5) PE・A/C塗料の電気的特性(初期値)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
	周波数 kHz	R <sub>x</sub> Ω・cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ		
I O	塗膜抵抗	1.9×10 <sup>9</sup>	0.2	1.36×10 <sup>8</sup>	4.64×10 <sup>-11</sup>	0.127
	界面 抵抗	2.2×10 <sup>9</sup>	0.5	6.82×10 <sup>7</sup>	4.40×10 <sup>-11</sup>	0.106
	界面 容量	3.4×10 <sup>-9</sup>	1.0	4.22×10 <sup>7</sup>	4.24×10 <sup>-11</sup>	0.089
I F P t 1	塗膜抵抗	3.8×10 <sup>8</sup>	0.2	9.01×10 <sup>7</sup>	9.68×10 <sup>-11</sup>	0.091
	界面 抵抗	2.9×10 <sup>8</sup>	0.5	3.71×10 <sup>7</sup>	9.24×10 <sup>-11</sup>	0.093
	界面 容量	2.5×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.97×10 <sup>7</sup>	8.88×10 <sup>-11</sup>	0.091
I F P t 3	塗膜抵抗	4.8×10 <sup>7</sup>	0.2	1.10×10 <sup>8</sup>	8.36×10 <sup>-11</sup>	0.087
	界面 抵抗	7.0×10 <sup>6</sup>	0.5	5.29×10 <sup>7</sup>	8.04×10 <sup>-11</sup>	0.075
	界面 容量	7.7×10 <sup>-6</sup>	1.0	3.15×10 <sup>7</sup>	7.84×10 <sup>-11</sup>	0.065
I F S d 2	塗膜抵抗	4.2×10 <sup>8</sup>	0.2	1.27×10 <sup>8</sup>	6.28×10 <sup>-11</sup>	0.099
	界面 抵抗	6.0×10 <sup>8</sup>	0.5	6.39×10 <sup>7</sup>	5.96×10 <sup>-11</sup>	0.084
	界面 容量	1.2×10 <sup>-7</sup>	1.0	3.66×10 <sup>7</sup>	5.80×10 <sup>-11</sup>	0.075
I F S d 3	塗膜抵抗	1.3×10 <sup>8</sup>	0.2	1.35×10 <sup>8</sup>	6.24×10 <sup>-11</sup>	0.094
	界面 抵抗	2.7×10 <sup>7</sup>	0.5	6.73×10 <sup>7</sup>	5.96×10 <sup>-11</sup>	0.079
	界面 容量	1.6×10 <sup>-6</sup>	1.0	3.92×10 <sup>7</sup>	5.76×10 <sup>-11</sup>	0.071
I H P t 1		0.2	9.18×10 <sup>7</sup>	7.20×10 <sup>-11</sup>	0.121	
		0.5	4.57×10 <sup>7</sup>	6.80×10 <sup>-11</sup>	0.102	
		1.0	2.73×10 <sup>7</sup>	6.52×10 <sup>-11</sup>	0.090	
I H P t 3		0.2	1.13×10 <sup>8</sup>	6.28×10 <sup>-11</sup>	0.112	
		0.5	5.52×10 <sup>7</sup>	6.00×10 <sup>-11</sup>	0.096	
		1.0	4.93×10 <sup>7</sup>	5.80×10 <sup>-11</sup>	0.056	
I H S d 2		0.2	1.35×10 <sup>8</sup>	5.72×10 <sup>-11</sup>	0.103	
		0.5	6.27×10 <sup>7</sup>	5.44×10 <sup>-11</sup>	0.093	
		1.0	3.87×10 <sup>7</sup>	5.24×10 <sup>-11</sup>	0.078	
I H S d 3		0.2	1.18×10 <sup>8</sup>	5.96×10 <sup>-11</sup>	0.113	
		0.5	5.67×10 <sup>7</sup>	5.68×10 <sup>-11</sup>	0.099	
		1.0	3.32×10 <sup>7</sup>	5.48×10 <sup>-11</sup>	0.088	

表2.1.8(6) PE・A/C塗料の電気的特性(1ヶ月後)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
	周波数 KHz	R <sub>x</sub> Ω・cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ		
I O	塗膜抵抗	2.9×10 <sup>0</sup>	0.2	5.28×10 <sup>7</sup>	9.88×10 <sup>-11</sup>	0.153
	界面 抵抗	1.8×10 <sup>0</sup>	0.5	2.44×10 <sup>7</sup>	9.24×10 <sup>-11</sup>	0.142
	界面 容量	3.4×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.32×10 <sup>7</sup>	8.64×10 <sup>-11</sup>	0.140
I F P t 1	塗膜抵抗	9.1×10 <sup>6</sup>	0.2	1.11×10 <sup>7</sup>	2.15×10 <sup>-10</sup>	0.335
	界面 抵抗	1.5×10 <sup>6</sup>	0.5	5.99×10 <sup>6</sup>	1.84×10 <sup>-10</sup>	0.290
	界面 容量	4.8×10 <sup>-5</sup>	1.0	3.68×10 <sup>6</sup>	1.66×10 <sup>-10</sup>	0.261
I F P t 3	塗膜抵抗	1.1×10 <sup>7</sup>	0.2	8.41×10 <sup>6</sup>	2.24×10 <sup>-10</sup>	0.424
	界面 抵抗	7.9×10 <sup>5</sup>	0.5	4.83×10 <sup>6</sup>	1.88×10 <sup>-10</sup>	0.350
	界面 容量	8.1×10 <sup>-5</sup>	1.0	3.10×10 <sup>6</sup>	1.68×10 <sup>-10</sup>	0.306
I F S d 2	塗膜抵抗	3.2×10 <sup>0</sup>	0.2	4.11×10 <sup>7</sup>	1.03×10 <sup>-10</sup>	0.188
	界面 抵抗	2.0×10 <sup>0</sup>	0.5	2.03×10 <sup>7</sup>	9.36×10 <sup>-11</sup>	0.168
	界面 容量	3.8×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.17×10 <sup>7</sup>	8.80×10 <sup>-11</sup>	0.155
I F S d 3	塗膜抵抗	2.8×10 <sup>0</sup>	0.2	4.94×10 <sup>7</sup>	9.88×10 <sup>-11</sup>	0.163
	界面 抵抗	1.6×10 <sup>0</sup>	0.5	2.36×10 <sup>7</sup>	9.12×10 <sup>-11</sup>	0.148
	界面 容量	4.3×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.29×10 <sup>7</sup>	8.68×10 <sup>-11</sup>	0.142
I H P t 1		0.2	4.10×10 <sup>7</sup>	8.80×10 <sup>-11</sup>	0.221	
		0.5	2.11×10 <sup>7</sup>	8.00×10 <sup>-11</sup>	0.188	
		1.0	1.26×10 <sup>7</sup>	7.48×10 <sup>-11</sup>	0.169	
I H P t 3		0.2	3.99×10 <sup>7</sup>	1.01×10 <sup>-10</sup>	0.198	
		0.5	2.05×10 <sup>7</sup>	9.24×10 <sup>-11</sup>	0.169	
		1.0	1.14×10 <sup>7</sup>	8.60×10 <sup>-11</sup>	0.163	
I H S d 2		0.2	4.11×10 <sup>7</sup>	1.06×10 <sup>-10</sup>	0.184	
		0.5	1.98×10 <sup>7</sup>	9.68×10 <sup>-11</sup>	0.166	
		1.0	1.10×10 <sup>7</sup>	9.03×10 <sup>-11</sup>	0.159	
I H S d 3		0.2	4.63×10 <sup>7</sup>	8.92×10 <sup>-11</sup>	0.193	
		0.5	2.39×10 <sup>7</sup>	8.12×10 <sup>-11</sup>	0.164	
		1.0	1.33×10 <sup>7</sup>	7.68×10 <sup>-11</sup>	0.156	

表2. 1. 8 (7) PE・A/C塗料の電気的特性（6ヶ月後）

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm²)(F/cm²)		交流インピーダンス			
			周波数 kHz	R <sub>x</sub> Ω・cm²	C <sub>x</sub> F/cm²	tan δ
I O	塗膜抵抗	7.9×10 <sup>7</sup>	0.2	3.15×10 <sup>7</sup>	7.68×10 <sup>-11</sup>	0.329
	界面 抵抗	2.1×10 <sup>7</sup>	0.5	1.81×10 <sup>7</sup>	6.64×10 <sup>-11</sup>	0.265
		2.4×10 <sup>-6</sup>	1.0	1.13×10 <sup>7</sup>	6.20×10 <sup>-11</sup>	0.228
I F P t 1	塗膜抵抗	1.2×10 <sup>6</sup>	0.2	1.60×10 <sup>6</sup>	4.80×10 <sup>-10</sup>	1.034
	界面 抵抗	4.9×10 <sup>4</sup>	0.5	1.17×10 <sup>6</sup>	3.00×10 <sup>-10</sup>	0.910
		1.0×10 <sup>-3</sup>	1.0	8.57×10 <sup>5</sup>	2.80×10 <sup>-10</sup>	0.664
I F P t 3	塗膜抵抗	4.2×10 <sup>6</sup>	0.2	3.07×10 <sup>6</sup>	3.00×10 <sup>-10</sup>	0.865
	界面 抵抗	5.1×10 <sup>5</sup>	0.5	2.12×10 <sup>6</sup>	2.26×10 <sup>-10</sup>	0.664
		5.6×10 <sup>-5</sup>	1.0	1.60×10 <sup>6</sup>	1.88×10 <sup>-10</sup>	0.531
I F S d 2	塗膜抵抗	5.0×10 <sup>7</sup>	0.2	1.43×10 <sup>7</sup>	1.32×10 <sup>-10</sup>	0.421
	界面 抵抗	8.2×10 <sup>6</sup>	0.5	8.48×10 <sup>6</sup>	1.12×10 <sup>-10</sup>	0.335
		6.1×10 <sup>-6</sup>	1.0	5.80×10 <sup>6</sup>	1.00×10 <sup>-10</sup>	0.275
I F S d 3	塗膜抵抗	6.5×10 <sup>7</sup>	0.2	1.88×10 <sup>7</sup>	1.28×10 <sup>-10</sup>	0.332
	界面 抵抗	1.6×10 <sup>7</sup>	0.5	9.80×10 <sup>6</sup>	1.00×10 <sup>-10</sup>	0.325
		3.1×10 <sup>-6</sup>	1.0	6.56×10 <sup>6</sup>	9.60×10 <sup>-11</sup>	0.253
I H P t 1			0.2	1.33×10 <sup>7</sup>	1.60×10 <sup>-10</sup>	0.376
			0.5	6.09×10 <sup>6</sup>	1.28×10 <sup>-10</sup>	0.408
			1.0	4.20×10 <sup>6</sup>	1.12×10 <sup>-10</sup>	0.339
I H P t 3			0.2	1.48×10 <sup>7</sup>	1.36×10 <sup>-10</sup>	0.396
			0.5	1.02×10 <sup>7</sup>	1.00×10 <sup>-10</sup>	0.312
			1.0	6.59×10 <sup>6</sup>	8.80×10 <sup>-11</sup>	0.275
I H S d 2			0.2	1.65×10 <sup>7</sup>	1.16×10 <sup>-10</sup>	0.417
			0.5	9.42×10 <sup>6</sup>	1.04×10 <sup>-10</sup>	0.325
			1.0	6.96×10 <sup>6</sup>	9.20×10 <sup>-11</sup>	0.249
I H S d 3			0.2	1.85×10 <sup>7</sup>	1.08×10 <sup>-10</sup>	0.398
			0.5	1.16×10 <sup>7</sup>	8.80×10 <sup>-11</sup>	0.312
			1.0	7.63×10 <sup>6</sup>	8.00×10 <sup>-11</sup>	0.261

表2. 1. 8 (8) PE・A/C塗料の電気的特性(1年後)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
	周波数 kHz	R <sub>x</sub> Ω・cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ		
I O	塗膜抵抗	1.5×10 <sup>9</sup>	0.2	2.95×10 <sup>7</sup>	7.76×10 <sup>-11</sup>	0.348
	界面 抵抗	4.2×10 <sup>8</sup>	0.5	1.69×10 <sup>7</sup>	6.64×10 <sup>-11</sup>	0.284
		2.1×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.13×10 <sup>7</sup>	6.04×10 <sup>-11</sup>	0.234
I FPt 1	塗膜抵抗	6.3×10 <sup>6</sup>	0.2	1.74×10 <sup>6</sup>	3.80×10 <sup>-10</sup>	1.206
	界面 抵抗	2.9×10 <sup>5</sup>	0.5	1.37×10 <sup>6</sup>	7.50×10 <sup>-10</sup>	0.777
		4.8×10 <sup>-5</sup>	1.0	7.92×10 <sup>5</sup>	2.40×10 <sup>-10</sup>	0.838
I FPt 3	塗膜抵抗	3.5×10 <sup>7</sup>	0.2	4.30×10 <sup>6</sup>	2.54×10 <sup>-10</sup>	0.734
	界面 抵抗	1.9×10 <sup>6</sup>	0.5	2.82×10 <sup>6</sup>	1.95×10 <sup>-10</sup>	0.579
		2.8×10 <sup>-5</sup>	1.0	2.00×10 <sup>6</sup>	1.65×10 <sup>-10</sup>	0.483
I FSd 2	塗膜抵抗	5.6×10 <sup>8</sup>	0.2	1.64×10 <sup>7</sup>	1.24×10 <sup>-10</sup>	0.390
	界面 抵抗	7.1×10 <sup>7</sup>	0.5	9.67×10 <sup>6</sup>	1.04×10 <sup>-10</sup>	0.315
		6.3×10 <sup>-7</sup>	1.0	6.46×10 <sup>6</sup>	9.36×10 <sup>-11</sup>	0.263
I FSd 3	塗膜抵抗	6.6×10 <sup>8</sup>	0.2	1.72×10 <sup>7</sup>	1.21×10 <sup>-10</sup>	0.383
	界面 抵抗	7.1×10 <sup>7</sup>	0.5	1.01×10 <sup>7</sup>	1.01×10 <sup>-10</sup>	0.312
		7.9×10 <sup>-7</sup>	1.0	6.72×10 <sup>6</sup>	9.08×10 <sup>-11</sup>	0.261
I HPt 1		0.2	1.06×10 <sup>7</sup>	1.47×10 <sup>-10</sup>	0.510	
		0.5	6.48×10 <sup>6</sup>	1.20×10 <sup>-10</sup>	0.408	
		1.0	4.43×10 <sup>6</sup>	1.06×10 <sup>-9</sup>	0.339	
I HPt 3		0.2	1.46×10 <sup>7</sup>	1.26×10 <sup>-10</sup>	0.430	
		0.5	8.46×10 <sup>6</sup>	1.08×10 <sup>-10</sup>	0.350	
		1.0	5.61×10 <sup>6</sup>	9.36×10 <sup>-11</sup>	0.303	
I HSd 2		0.2	1.62×10 <sup>7</sup>	1.21×10 <sup>-10</sup>	0.406	
		0.5	9.52×10 <sup>6</sup>	1.01×10 <sup>-10</sup>	0.332	
		1.0	6.11×10 <sup>6</sup>	9.00×10 <sup>-11</sup>	0.290	
I HSd 3		0.2	1.75×10 <sup>7</sup>	1.09×10 <sup>-10</sup>	0.419	
		0.5	1.02×10 <sup>7</sup>	9.12×10 <sup>-11</sup>	0.342	
		1.0	6.93×10 <sup>6</sup>	8.08×10 <sup>-11</sup>	0.284	

表2.1.8(9) PE・A/C・HB塗料の電気的特性(初期値)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm²)(F/cm²)		交流インピーダンス			
			周波数 KHz	R <sub>x</sub> Ω・cm²	C <sub>x</sub> F/cm²	tan δ
I O	塗膜抵抗	$1.8 \times 10^8$	0.2	$2.17 \times 10^8$	$4.08 \times 10^{-11}$	0.090
	界面 抵抗	$7.4 \times 10^7$	0.5	$1.16 \times 10^8$	$4.00 \times 10^{-11}$	0.069
		$8.7 \times 10^{-9}$	1.0	$7.01 \times 10^7$	$3.88 \times 10^{-11}$	0.059
I F P t 1	塗膜抵抗	$6.0 \times 10^8$	0.2	$8.80 \times 10^7$	$5.76 \times 10^{-11}$	0.157
	界面 抵抗	$1.7 \times 10^8$	0.5	$5.61 \times 10^7$	$5.60 \times 10^{-11}$	0.101
		$3.5 \times 10^{-7}$	1.0	$3.63 \times 10^7$	$5.48 \times 10^{-11}$	0.080
I F P t 3	塗膜抵抗	$1.5 \times 10^{10}$	0.2	$6.81 \times 10^7$	$6.20 \times 10^{-11}$	0.189
	界面 抵抗	$1.2 \times 10^{10}$	0.5	$4.01 \times 10^7$	$5.68 \times 10^{-11}$	0.140
		$5.3 \times 10^{-9}$	1.0	$2.76 \times 10^7$	$5.44 \times 10^{-11}$	0.106
I F S d 2	塗膜抵抗	$7.8 \times 10^9$	0.2	$1.83 \times 10^8$	$4.52 \times 10^{-11}$	0.096
	界面 抵抗	$2.8 \times 10^9$	0.5	$1.05 \times 10^8$	$4.28 \times 10^{-11}$	0.071
		$2.2 \times 10^{-6}$	1.0	$6.07 \times 10^7$	$4.20 \times 10^{-11}$	0.062
I F S d 3	塗膜抵抗	$8.6 \times 10^9$	0.2	$8.20 \times 10^7$	$5.32 \times 10^{-11}$	0.183
	界面 抵抗	$3.6 \times 10^9$	0.5	$4.80 \times 10^7$	$4.92 \times 10^{-11}$	0.135
		$1.9 \times 10^{-6}$	1.0	$3.54 \times 10^7$	$4.72 \times 10^{-11}$	0.095
I H P t 1			0.2	$1.61 \times 10^8$	$4.52 \times 10^{-11}$	0.109
			0.5	$8.82 \times 10^7$	$4.32 \times 10^{-11}$	0.084
			1.0	$5.55 \times 10^7$	$4.20 \times 10^{-11}$	0.068
I H P t 3			0.2	$9.92 \times 10^7$	$4.80 \times 10^{-11}$	0.167
			0.5	$6.00 \times 10^7$	$4.48 \times 10^{-11}$	0.118
			1.0	$3.92 \times 10^7$	$4.36 \times 10^{-11}$	0.093
I H S d 2			0.2	$1.33 \times 10^8$	$4.84 \times 10^{-11}$	0.123
			0.5	$7.20 \times 10^7$	$4.60 \times 10^{-11}$	0.096
			1.0	$4.59 \times 10^7$	$4.44 \times 10^{-11}$	0.078
I H S d 3			0.2	$2.04 \times 10^8$	$4.24 \times 10^{-11}$	0.092
			0.5	$8.36 \times 10^7$	$4.08 \times 10^{-11}$	0.093
			1.0	$6.49 \times 10^7$	$3.96 \times 10^{-11}$	0.062

表2.1.8(10) PE・A/C・HB塗料の電気的特性(1ヶ月)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm²)(F/cm²)		交流インピーダンス			
			周波数 kHz	R <sub>x</sub> Ω・cm²	C <sub>x</sub> F/cm²	tan δ
I O	塗膜抵抗	8.0×10 <sup>9</sup>	0.2	5.65×10 <sup>7</sup>	6.44×10 <sup>-11</sup>	0.219
	界面 抵抗	4.4×10 <sup>9</sup>	0.5	3.20×10 <sup>7</sup>	5.88×10 <sup>-11</sup>	0.169
	界面 容量	1.4×10 <sup>-6</sup>	1.0	1.94×10 <sup>7</sup>	5.52×10 <sup>-11</sup>	0.149
I F P t 1	塗膜抵抗	5.2×10 <sup>7</sup>	0.2	3.07×10 <sup>7</sup>	7.84×10 <sup>-11</sup>	0.330
	界面 抵抗	3.5×10 <sup>6</sup>	0.5	2.07×10 <sup>7</sup>	7.00×10 <sup>-11</sup>	0.220
	界面 容量	1.9×10 <sup>-6</sup>	1.0	1.44×10 <sup>7</sup>	6.72×10 <sup>-11</sup>	0.164
I F P t 3	塗膜抵抗	4.2×10 <sup>9</sup>	0.2	1.41×10 <sup>7</sup>	7.04×10 <sup>-11</sup>	0.804
	界面 抵抗	1.6×10 <sup>9</sup>	0.5	1.13×10 <sup>7</sup>	6.04×10 <sup>-11</sup>	0.468
	界面 容量	4.0×10 <sup>-6</sup>	1.0	8.87×10 <sup>6</sup>	5.64×10 <sup>-11</sup>	0.319
I F S d 2	塗膜抵抗	4.0×10 <sup>9</sup>	0.2	6.00×10 <sup>7</sup>	6.40×10 <sup>-11</sup>	0.207
	界面 抵抗	6.6×10 <sup>9</sup>	0.5	3.24×10 <sup>7</sup>	5.84×10 <sup>-11</sup>	0.169
	界面 容量	3.3×10 <sup>-6</sup>	1.0	2.08×10 <sup>7</sup>	5.52×10 <sup>-11</sup>	0.139
I F S d 3	塗膜抵抗	8.8×10 <sup>9</sup>	0.2	6.09×10 <sup>7</sup>	6.32×10 <sup>-11</sup>	0.207
	界面 抵抗	4.5×10 <sup>9</sup>	0.5	3.16×10 <sup>7</sup>	5.76×10 <sup>-11</sup>	0.175
	界面 容量	1.3×10 <sup>-6</sup>	1.0	1.99×10 <sup>7</sup>	5.44×10 <sup>-11</sup>	0.147
I H P t 1			0.2	9.75×10 <sup>7</sup>	5.24×10 <sup>-11</sup>	0.156
			0.5	5.53×10 <sup>7</sup>	4.92×10 <sup>-11</sup>	0.117
			1.0	3.47×10 <sup>7</sup>	4.72×10 <sup>-11</sup>	0.097
I H P t 3			0.2	1.42×10 <sup>5</sup>	2.40×10 <sup>-9</sup>	2.342
			0.5	1.17×10 <sup>5</sup>	1.20×10 <sup>-9</sup>	2.275
			1.0	1.09×10 <sup>5</sup>	6.40×10 <sup>-10</sup>	2.275
I H S d 2			0.2	6.14×10 <sup>5</sup>	4.40×10 <sup>-10</sup>	2.949
			0.5	5.28×10 <sup>5</sup>	3.60×10 <sup>-10</sup>	1.676
			1.0	4.29×10 <sup>5</sup>	2.80×10 <sup>-10</sup>	1.372
I H S d 3			0.2	4.19×10 <sup>5</sup>	1.36×10 <sup>-9</sup>	1.397
			0.5	3.33×10 <sup>5</sup>	8.40×10 <sup>-10</sup>	1.137
			1.0	2.50×10 <sup>5</sup>	6.40×10 <sup>-10</sup>	0.995

表2.1.8(11) PE・A/C・HB塗料の電気的特性(6ヶ月)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω・cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
	周波数 kHz	R <sub>x</sub> Ω・cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ		
I O	塗膜抵抗	9.9×10 <sup>7</sup>	0.2	5.41×10 <sup>7</sup>	6.08×10 <sup>-11</sup>	0.242
	界面 抵抗	6.7×10 <sup>7</sup>	0.5	2.99×10 <sup>7</sup>	5.48×10 <sup>-11</sup>	0.194
		9.7×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.95×10 <sup>7</sup>	5.12×10 <sup>-11</sup>	0.159
I F P t 1	塗膜抵抗	5.8×10 <sup>6</sup>	0.2	1.32×10 <sup>7</sup>	8.80×10 <sup>-11</sup>	0.686
	界面 抵抗	2.6×10 <sup>6</sup>	0.5	1.19×10 <sup>7</sup>	8.40×10 <sup>-11</sup>	0.319
		1.8×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.03×10 <sup>7</sup>	7.20×10 <sup>-11</sup>	0.214
I F P t 3	塗膜抵抗	4.1×10 <sup>6</sup>	0.2	4.46×10 <sup>7</sup>	7.76×10 <sup>-11</sup>	0.230
	界面 抵抗	1.2×10 <sup>6</sup>	0.5	2.53×10 <sup>7</sup>	6.96×10 <sup>-11</sup>	0.181
		4.6×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.67×10 <sup>7</sup>	6.60×10 <sup>-11</sup>	0.145
I F S d 2	塗膜抵抗	6.5×10 <sup>6</sup>	0.2	3.90×10 <sup>7</sup>	8.24×10 <sup>-11</sup>	0.248
	界面 抵抗	2.8×10 <sup>6</sup>	0.5	2.23×10 <sup>7</sup>	7.40×10 <sup>-11</sup>	0.193
		1.6×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.38×10 <sup>7</sup>	6.88×10 <sup>-11</sup>	0.168
I F S d 3	塗膜抵抗	8.5×10 <sup>6</sup>	0.2	4.64×10 <sup>7</sup>	7.20×10 <sup>-11</sup>	0.238
	界面 抵抗	3.5×10 <sup>6</sup>	0.5	2.50×10 <sup>7</sup>	6.40×10 <sup>-11</sup>	0.199
		1.7×10 <sup>-7</sup>	1.0	1.60×10 <sup>7</sup>	5.88×10 <sup>-11</sup>	0.169
I H P t 1		0.2	1.52×10 <sup>5</sup>	1.77×10 <sup>-11</sup>	2.949	
		0.5	1.28×10 <sup>5</sup>	7.80×10 <sup>-11</sup>	3.185	
		1.0	1.28×10 <sup>5</sup>	4.68×10 <sup>-11</sup>	2.654	
I H P t 3		0.2	1.72×10 <sup>6</sup>	1.60×10 <sup>-9</sup>	2.895	
		0.5	1.31×10 <sup>6</sup>	1.60×10 <sup>-9</sup>	1.517	
		1.0	4.38×10 <sup>6</sup>	4.00×10 <sup>-10</sup>	0.910	
I H S d 2		0.2	6.67×10 <sup>5</sup>	2.40×10 <sup>-10</sup>	4.976	
		0.5	7.00×10 <sup>5</sup>	2.00×10 <sup>-10</sup>	2.275	
		1.0	4.50×10 <sup>5</sup>	2.00×10 <sup>-10</sup>	1.769	
I H S d 3		0.2	4.38×10 <sup>4</sup>	1.35×10 <sup>-9</sup>	1.350	
		0.5	3.59×10 <sup>4</sup>	6.12×10 <sup>-10</sup>	1.448	
		1.0	2.66×10 <sup>4</sup>	3.76×10 <sup>-10</sup>	1.592	

表2.1.8(12) CR・A/C・HB塗料の電気的特性(1年後)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω·cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
			周波数kHz	R <sub>x</sub> Ω·cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ
I O	塗膜抵抗	9.3×10 <sup>9</sup>	0.2	1.97×10 <sup>7</sup>	6.64×10 <sup>-11</sup>	0.608
	界面 抵抗	5.6×10 <sup>9</sup>	0.5	1.41×10 <sup>7</sup>	5.88×10 <sup>-11</sup>	0.384
		2.2×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.06×10 <sup>7</sup>	5.40×10 <sup>-11</sup>	0.277
I F P t 1	塗膜抵抗	6.1×10 <sup>6</sup>	0.2	3.68×10 <sup>6</sup>	9.64×10 <sup>-11</sup>	2.243
	界面 抵抗	2.3×10 <sup>6</sup>	0.5	3.35×10 <sup>6</sup>	8.86×10 <sup>-11</sup>	1.137
		2.4×10 <sup>-4</sup>	1.0	3.02×10 <sup>6</sup>	7.78×10 <sup>-11</sup>	0.678
I F P t 3	塗膜抵抗	3.5×10 <sup>10</sup>	0.2	4.78×10 <sup>7</sup>	7.16×10 <sup>-11</sup>	0.233
	界面 抵抗	8.1×10 <sup>9</sup>	0.5	2.76×10 <sup>7</sup>	6.48×10 <sup>-11</sup>	0.178
		2.5×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.73×10 <sup>7</sup>	6.12×10 <sup>-11</sup>	0.150
I F S d 2	塗膜抵抗	6.7×10 <sup>9</sup>	0.2	5.50×10 <sup>7</sup>	6.64×10 <sup>-11</sup>	0.218
	界面 抵抗	3.7×10 <sup>9</sup>	0.5	3.09×10 <sup>7</sup>	6.06×10 <sup>-11</sup>	0.170
		2.7×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.81×10 <sup>7</sup>	5.68×10 <sup>-11</sup>	0.155
I F S d 3	塗膜抵抗	7.6×10 <sup>9</sup>	0.2	4.89×10 <sup>7</sup>	7.84×10 <sup>-11</sup>	0.208
	界面 抵抗	4.4×10 <sup>9</sup>	0.5	2.66×10 <sup>7</sup>	7.08×10 <sup>-11</sup>	0.169
		3.2×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.66×10 <sup>7</sup>	6.64×10 <sup>-11</sup>	0.145
I H P t 1			0.2	7.08×10 <sup>4</sup>	6.36×10 <sup>-11</sup>	1.769
			0.5	4.83×10 <sup>4</sup>	3.52×10 <sup>-9</sup>	1.873
			1.0	4.50×10 <sup>4</sup>	2.00×10 <sup>-9</sup>	1.769
I H P t 3			0.2	6.94×10 <sup>4</sup>	4.32×10 <sup>-9</sup>	2.654
			0.5	6.25×10 <sup>4</sup>	2.56×10 <sup>-9</sup>	1.990
			1.0	4.89×10 <sup>4</sup>	1.74×10 <sup>-9</sup>	1.873
I H S d 2			0.2	4.48×10 <sup>4</sup>	8.92×10 <sup>-9</sup>	1.990
			0.5	3.66×10 <sup>4</sup>	4.92×10 <sup>-9</sup>	1.769
			1.0	2.90×10 <sup>4</sup>	3.28×10 <sup>-9</sup>	1.676
I H S d 3			0.2	8.85×10 <sup>4</sup>	2.60×10 <sup>-9</sup>	3.462
			0.5	6.70×10 <sup>4</sup>	2.24×10 <sup>-9</sup>	2.123
			1.0	6.67×10 <sup>4</sup>	1.20×10 <sup>-9</sup>	1.930

表2.1.9(1) TE塗料の電気的特性(初期値)  
(保進試験)

項目 下地処理	直流抵抗・容量 (Ω·cm <sup>2</sup> )(F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
			周波数kHz	R <sub>x</sub> Ω·cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ
I O	塗膜抵抗	1.5×10 <sup>10</sup>	0.2	4.44×10 <sup>8</sup>	1.80×10 <sup>-11</sup>	0.0995
	界面 抵抗	2.1×10 <sup>9</sup>	0.5	2.06×10 <sup>8</sup>	1.68×10 <sup>-11</sup>	0.0920
		2.6×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.27×10 <sup>8</sup>	1.60×10 <sup>-11</sup>	0.0784
I F P t 1	塗膜抵抗	1.8×10 <sup>10</sup>	0.2	4.04×10 <sup>8</sup>	1.96×10 <sup>-11</sup>	0.1005
	界面 抵抗	3.1×10 <sup>9</sup>	0.5	1.84×10 <sup>8</sup>	1.88×10 <sup>-11</sup>	0.0923
		1.4×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.04×10 <sup>8</sup>	1.80×10 <sup>-11</sup>	0.0852
I F P t 3	塗膜抵抗	1.7×10 <sup>9</sup>	0.2	3.81×10 <sup>8</sup>	2.20×10 <sup>-11</sup>	0.0950
	界面 抵抗	9.6×10 <sup>7</sup>	0.5	1.74×10 <sup>8</sup>	2.16×10 <sup>-11</sup>	0.0849
		5.6×10 <sup>-7</sup>	1.0	9.56×10 <sup>8</sup>	2.04×10 <sup>-11</sup>	0.0817
I F S d 2	塗膜抵抗	1.2×10 <sup>10</sup>	0.2	4.24×10 <sup>8</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>	0.0977
	界面 抵抗	1.8×10 <sup>9</sup>	0.5	2.08×10 <sup>8</sup>	1.80×10 <sup>-11</sup>	0.0849
		1.8×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.14×10 <sup>8</sup>	1.76×10 <sup>-11</sup>	0.0796
I F S d 3	塗膜抵抗	7.5×10 <sup>9</sup>	0.2	4.32×10 <sup>8</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>	0.0960
	界面 抵抗	1.5×10 <sup>9</sup>	0.5	2.06×10 <sup>8</sup>	1.80×10 <sup>-11</sup>	0.0861
		1.7×10 <sup>-8</sup>	1.0	1.26×10 <sup>8</sup>	1.76×10 <sup>-11</sup>	0.0717
I H P t 1			0.2	4.44×10 <sup>8</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>	0.0934
			0.5	2.23×10 <sup>8</sup>	1.84×10 <sup>-11</sup>	0.0775
			1.0	1.28×10 <sup>8</sup>	1.80×10 <sup>-11</sup>	0.0689
I H P t 3			0.2	4.46×10 <sup>8</sup>	1.84×10 <sup>-11</sup>	0.0791
			0.5	2.28×10 <sup>8</sup>	1.76×10 <sup>-11</sup>	0.0794
			1.0	1.32×10 <sup>8</sup>	1.72×10 <sup>-11</sup>	0.0701
I H S d 2			0.2	4.41×10 <sup>8</sup>	1.80×10 <sup>-11</sup>	0.1003
			0.5	2.10×10 <sup>8</sup>	1.68×10 <sup>-11</sup>	0.0902
			1.0	1.21×10 <sup>8</sup>	1.64×10 <sup>-11</sup>	0.0800
I H S d 3			0.2	5.66×10 <sup>8</sup>	1.52×10 <sup>-11</sup>	0.0925
			0.5	2.51×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>-11</sup>	0.0858
			1.0	1.52×10 <sup>8</sup>	1.40×10 <sup>-11</sup>	0.0748

表2.1.9(2) TE塗料の電気的特性(6カ月後)  
(保進試験)

項目 下地処理	直圧抵抗・容量 (Ω·cm <sup>2</sup> ) (F/cm <sup>2</sup> )		交流インピーダンス			
			周波数kHz	R <sub>x</sub> Ω·cm <sup>2</sup>	C <sub>x</sub> F/cm <sup>2</sup>	tan δ
I O	塗膜抵抗	4.7×10 <sup>9</sup>	0.2	1.81×10 <sup>8</sup>	2.96×10 <sup>-11</sup>	0.15
	界面 抵抗	4.3×10 <sup>8</sup>	0.5	9.06×10 <sup>7</sup>	2.76×10 <sup>-11</sup>	0.13
	容量	6.8×10 <sup>-8</sup>	1.0	5.50×10 <sup>7</sup>	2.60×10 <sup>-11</sup>	0.11
I FPt 1	塗膜抵抗	1.1×10 <sup>10</sup>	0.2	1.46×10 <sup>8</sup>	3.52×10 <sup>-11</sup>	0.15
	界面 抵抗	5.3×10 <sup>9</sup>	0.5	7.53×10 <sup>7</sup>	3.24×10 <sup>-11</sup>	0.13
	容量	4.5×10 <sup>-9</sup>	1.0	4.18×10 <sup>7</sup>	3.16×10 <sup>-11</sup>	0.12
I FPt 3	塗膜抵抗	7.9×10 <sup>9</sup>	0.2	1.39×10 <sup>8</sup>	3.68×10 <sup>-11</sup>	0.16
	界面 抵抗	1.3×10 <sup>9</sup>	0.5	6.82×10 <sup>7</sup>	3.40×10 <sup>-11</sup>	0.14
	容量	2.2×10 <sup>-8</sup>	1.0	3.96×10 <sup>7</sup>	3.28×10 <sup>-11</sup>	0.12
I FSd 2	塗膜抵抗	1.1×10 <sup>10</sup>	0.2	1.89×10 <sup>8</sup>	3.12×10 <sup>-11</sup>	0.13
	界面 抵抗	4.5×10 <sup>9</sup>	0.5	9.06×10 <sup>7</sup>	2.88×10 <sup>-11</sup>	0.12
	容量	5.5×10 <sup>-9</sup>	1.0	4.79×10 <sup>7</sup>	2.88×10 <sup>-11</sup>	0.12
I FSd 3	塗膜抵抗	7.3×10 <sup>9</sup>	0.2	1.81×10 <sup>8</sup>	3.16×10 <sup>-11</sup>	0.14
	界面 抵抗	9.5×10 <sup>8</sup>	0.5	8.56×10 <sup>7</sup>	2.92×10 <sup>-11</sup>	0.13
	容量	4.0×10 <sup>-8</sup>	1.0	5.43×10 <sup>7</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.11
I HPt 1			0.2	1.45×10 <sup>8</sup>	3.44×10 <sup>-11</sup>	0.16
			0.5	6.94×10 <sup>7</sup>	3.20×10 <sup>-11</sup>	0.14
			1.0	4.17×10 <sup>7</sup>	3.00×10 <sup>-11</sup>	0.13
I HPt 3			0.2	1.56×10 <sup>8</sup>	3.16×10 <sup>-11</sup>	0.16
			0.5	8.36×10 <sup>7</sup>	2.92×10 <sup>-11</sup>	0.13
			1.0	4.54×10 <sup>7</sup>	2.80×10 <sup>-11</sup>	0.13
I HSd 2			0.2	1.99×10 <sup>8</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	0.14
			0.5	9.42×10 <sup>7</sup>	2.60×10 <sup>-11</sup>	0.13
			1.0	5.44×10 <sup>7</sup>	2.48×10 <sup>-11</sup>	0.12
I HSd 3			0.2	1.76×10 <sup>8</sup>	2.48×10 <sup>-11</sup>	0.18
			0.5	1.05×10 <sup>8</sup>	2.00×10 <sup>-11</sup>	0.15
			1.0	6.09×10 <sup>7</sup>	1.92×10 <sup>-11</sup>	0.14

表 2.1.10(1) 各塗料の付着強度

塗 料	下地処理 グレード	初 期		1 ケ 月	
		付着強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	破断状態 ( % )	付着強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	破断状態 ( % )
T E	I O	71.7	Cf100	53.3	Cf20 , ad80
	I F P t 1	29.5	Cf50 , Pf50	44.6	Cf80 , ad20
	I F P t 3	54.1	Cf70 , Pf30	33.8	Cf70 , Pf30
	I F S d 2	58.9	Cf100	55.3	Cf60 , ad40
	I F S d 3	51.4	Cf60 , Pf40	46.2	Cf20 , ad80
	I H P t 1	56.5	Cf100	25.5	Cf40 , ad60
	I H P t 3	50.6	Cf100	27.1	Cf50 , ad50
	I H S d 2	52.5	Cf100	34.6	Cf70 , ad30
	I H S d 3	58.9	Cf100	29.9	Cf30 , ad70
E P	I O	42.2	Cf100	37.6	Cf70 , ad30
	I F P t 1	44.2	Cf70 , Pf30	21.1	Cf30 , ad70
	I F P t 3	50.2	Cf100	27.9	Cf50 , ad50
	I F S d 2	48.6	Cf100	21.9	Cf40 , ad60
	I F S d 3	51.8	Cf100	38.2	Cf90 , ad10
	I H P t 1	39.0	Cf100	26.7	Cf90 , ad10
	I H P t 3	55.7	Cf100	27.1	Cf70 , ad30
	I H S d 2	45.0	Cf100	31.4	Cf100
	I H S d 3	47.8	Cf100	23.9	Cf90 , ad10
C R	I O	12.7	Cf100	9.6	Cf50 , ad50
	I F P t 1	9.6	Cf70 , Pf30	11.1	Cf50 , Pf10 , ad40
	I F P t 3	17.5	Cf100	14.3	Cf70 , ad30
	I F S d 2	14.3	Cf100	8.4	Cf40 , ad60
	I F S d 3	11.9	Cf100	9.6	Cf30 , ad70
	I H P t 1	11.9	Cf100	9.2	Cf100
	I H P t 3	15.9	Cf100	10.4	Cf90 , ad10
	I H S d 2	13.1	Cf100	7.6	Cf30 , ad70
	I H S d 3	11.9	Cf100	10.0	Cf50 , ad50

破断状態 ( Cf: 塗膜の凝聚破断 , Pf: 素地からのはがれ , ad: 接着剤のはがれ )

表 2.1.10(2) 各塗料の付着強度

塗 料	下地処理 グレード	6 ケ 月		1 年 後	
		付着強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	破断状態 (%)	付着強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	破断状態 (%)
T E	I O	78.0	Cf100	55.3	Cf100
	I F P t 1	21.7	Cf100	38.2	Cf100
	I F P t 3	28.7	Cf 5 , Pf95	38.6	Cf100
	I F S d 2	53.3	Cf100	36.6	Cf100
	I F S d 3	66.1	Cf100	63.3	Cf100
	I H P t 1	57.3	Cf100	27.3	Cf30 , Pd70
	I H P t 3	51.8	Cf100	27.9	Cf60 , ad40
	I H S d 2	57.3	Cf100	39.4	Cf100
	I H S d 3	59.7	Cf100	42.2	Cf50 , ad50
E P	I O	44.7	Cf100	30.7	Cf100
	I F P t 1	21.5	Cf20 , Pf80	23.9	Cf100
	I F P t 3	35.8	Cf40 , Pf60	23.1	Cf100
	I F S d 2	35.8	Cf95 , Pf5	26.3	Cf100
	I F S d 3	42.6	Cf100	49.8	Cf100
	I H P t 1	40.6	Cf60 , ad40	25.5	Cf90 , Pf10
	I H P t 3	37.4	Cf50 , Pf25 , ad25	31.8	Cf100
	I H S d 2	37.0	Cf100	28.3	Cf100
	I H S d 3	24.7	Cf100	20.3	Cf100
C R	I O	10.4	Cf100	9.2	Cf100
	I F P t 1	15.9	Cf90 , Pf10	6.4	Cf100
	I F P t 3	10.7	Cf95 , Pf5	7.2	Cf80 , Pf20
	I F S d 2	13.5	Cf100	8.0	Cf100
	I F S d 3	13.9	Cf100	9.2	Cf100
	I H P t 1	12.7	Cf100	9.6	Cf80 , Pf20
	I H P t 3	11.9	Cf100	9.6	Cf100
	I H S d 2	18.7	Cf100	11.5	Cf100
	I H S d 3	11.9	Cf100	11.5	Cf100

破断状態 ( Cf: 塗膜の凝聚破断 , Pf: 素地からのはがれ , ad: 接着剤のはがれ )

表 2.1.11 TE 塗料の付着強度（促進試験）

下地処理 グレード	初　期		6 ケ月	
	付着強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	破断状態 (%)	付着強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	破断状態 (%)
I O	7 2	Cf100	3 6	Cf100
I F P t 1	2 4	Pf100	1 3	Pf100
I F P t 3	3 1	Cf90 , Pf10	2 6	Cf100
I F S d 2	7 1	Cf100	4 5	Cf100
I F S d 3	4 9	Cf70 , ad30	4 6	Cf100
I H P t 1	4 2	Cf70 , Pf30	4 3	Cf100
I H P t 3	5 0	Cf90 , Pf10	5 1	Cf100
I H S d 2	5 9	Cf100	2 0	Pf60 , ad40
I H S d 3	5 4	Cf100	3 3	Cf100

破断状態

Cf: 塗膜の凝聚破断  
 Pf: 素地からのはがれ  
 ad: 接着剤のはがれ

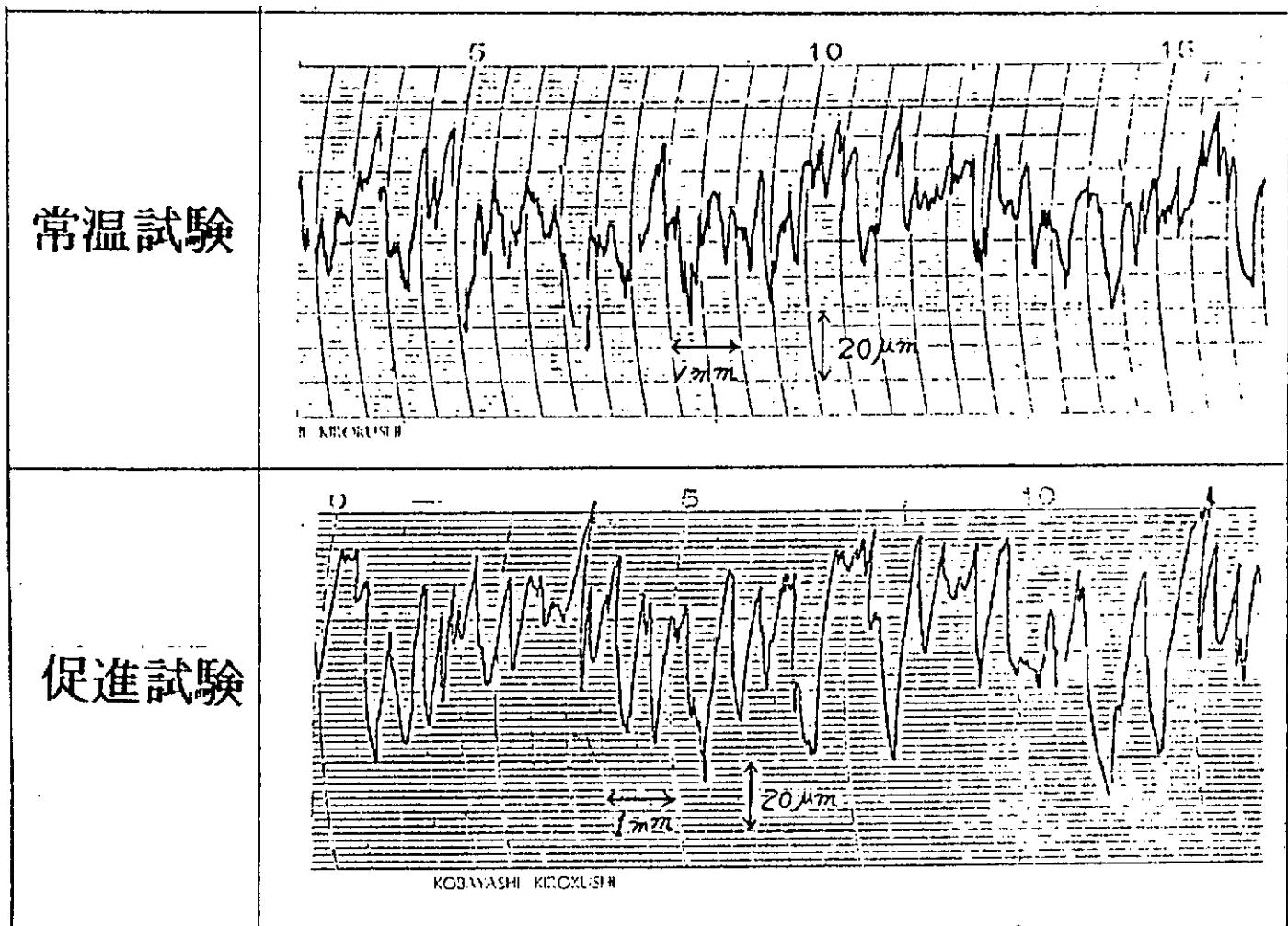


図2.1.12 1次処理の表面粗さ測定結果

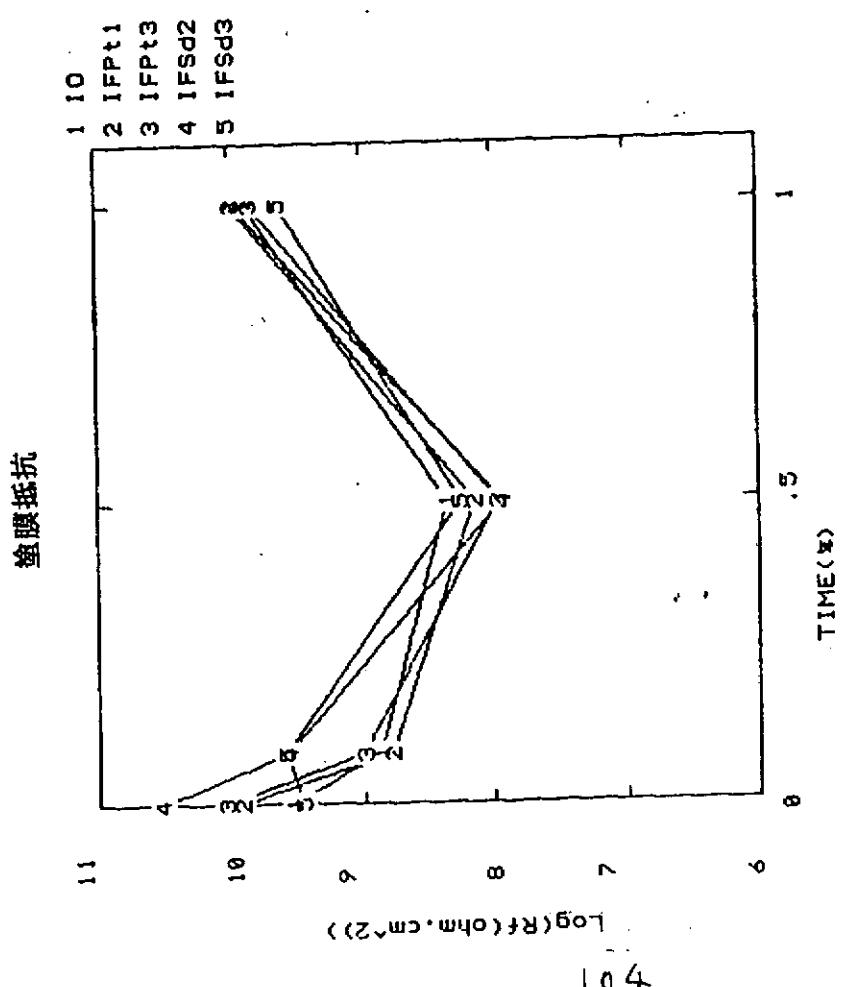
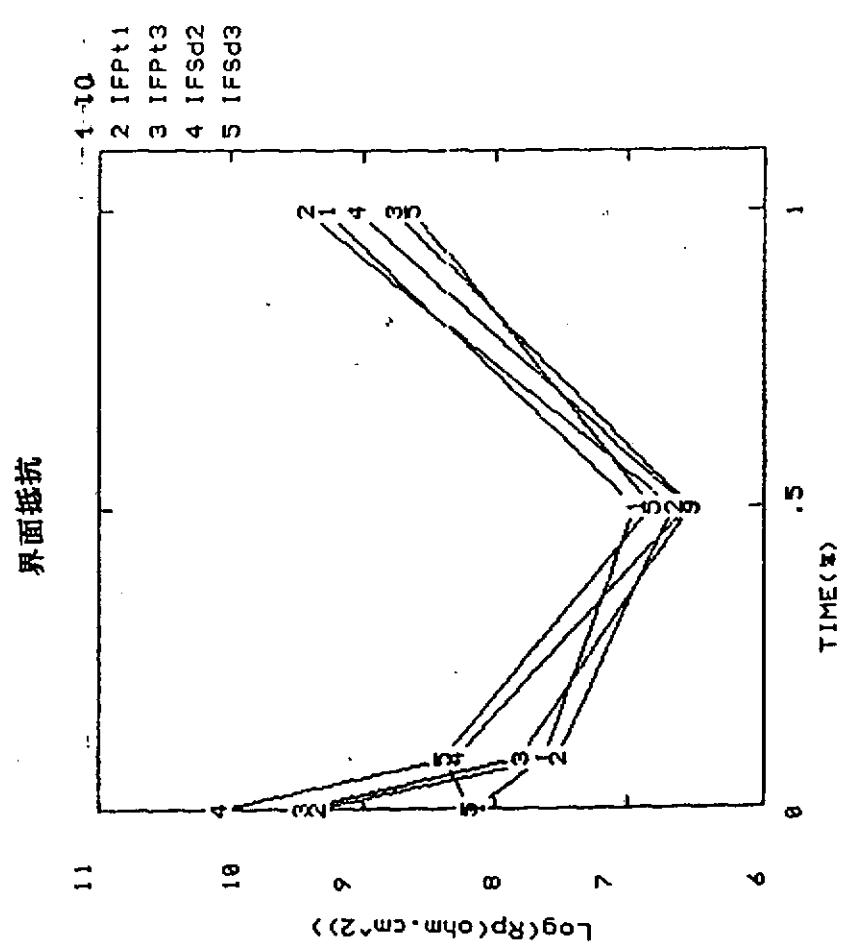
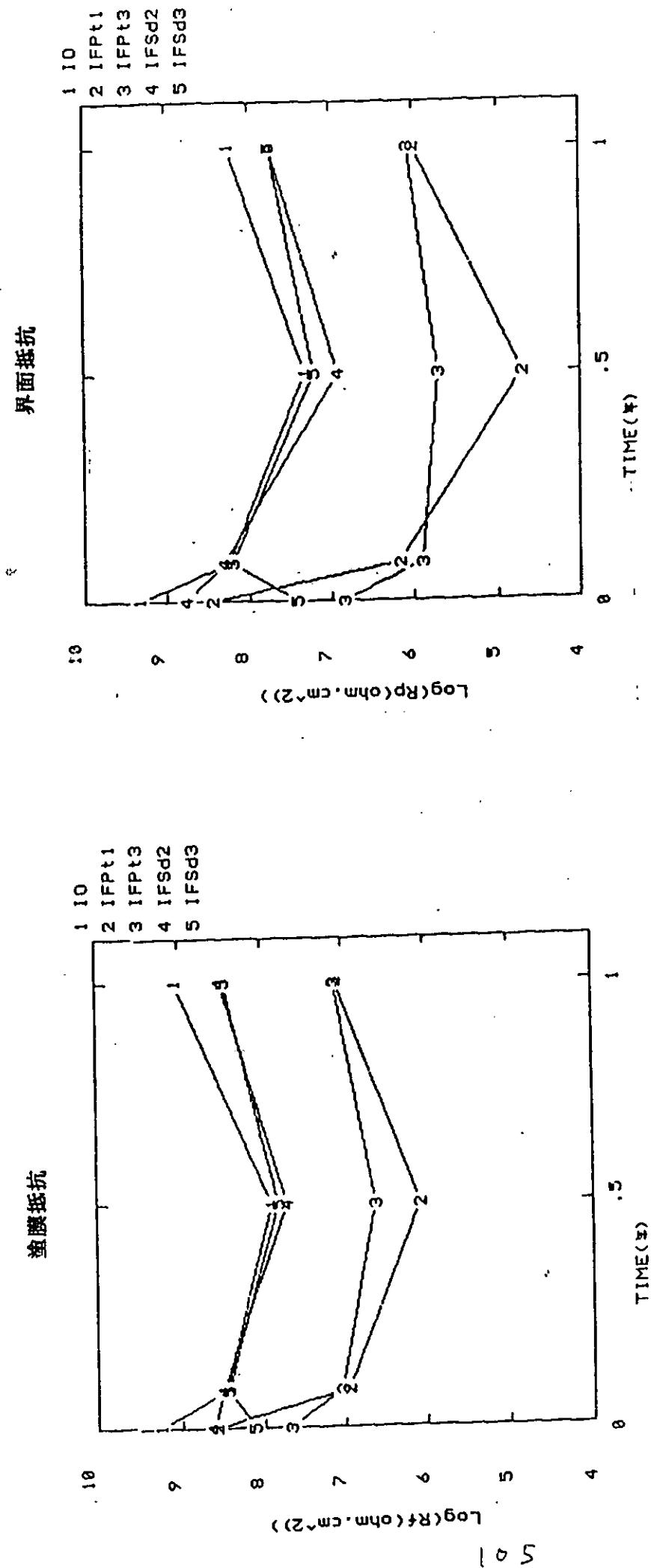


図2.1.13(1) TE塗料の直流抵抗の経時変化（神戸港海水、常温）

図2.1.13(2) PE-A/C塗料の直流抵抗の経時変化（神戸港海水、常温）



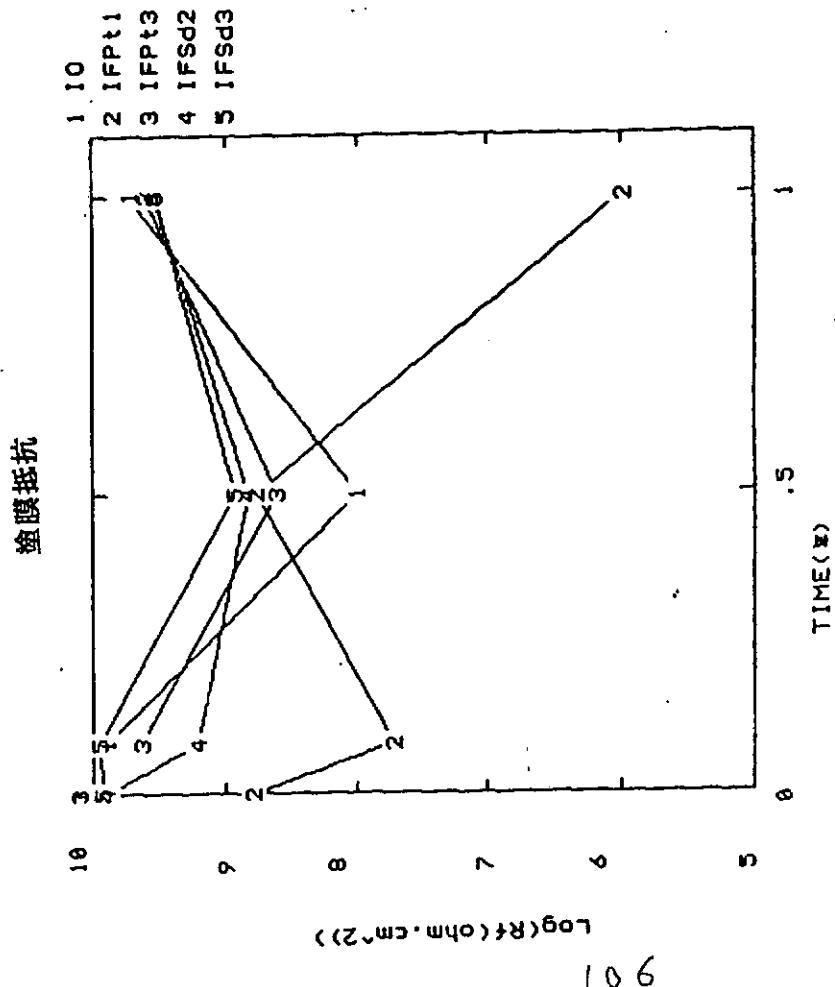
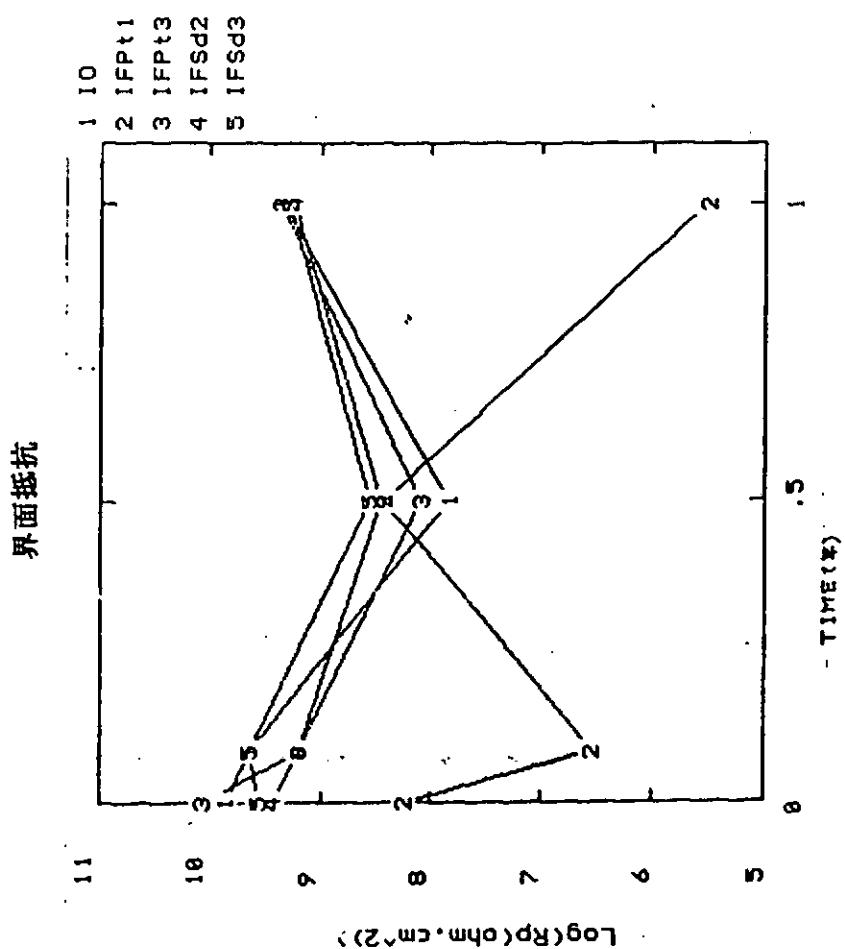
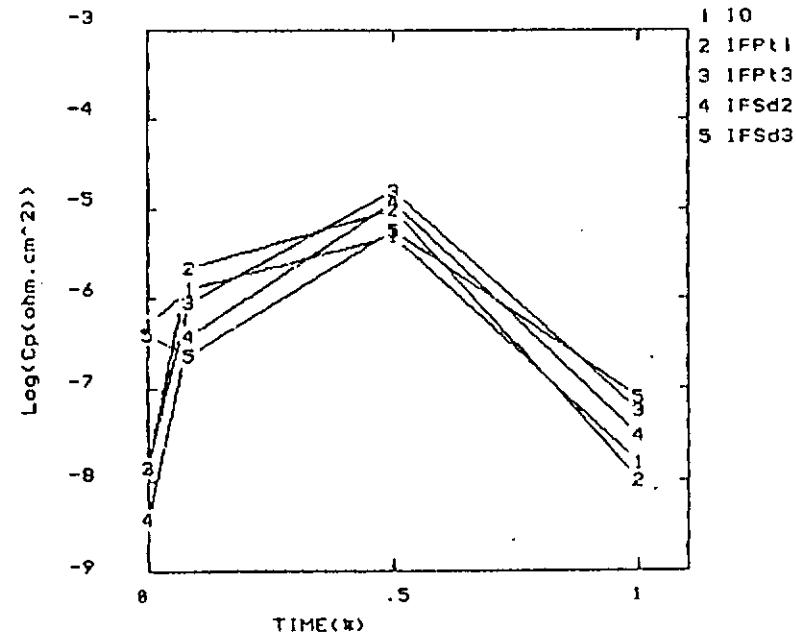
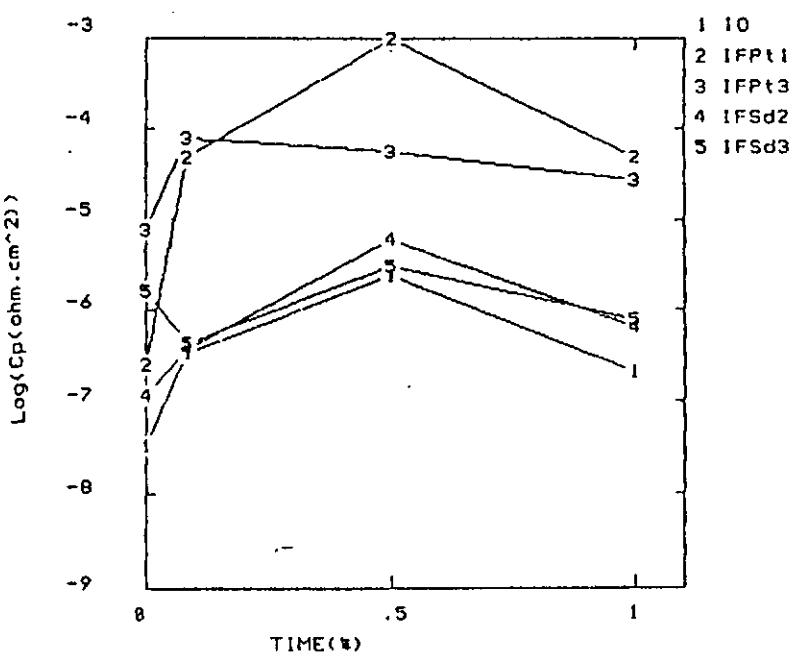


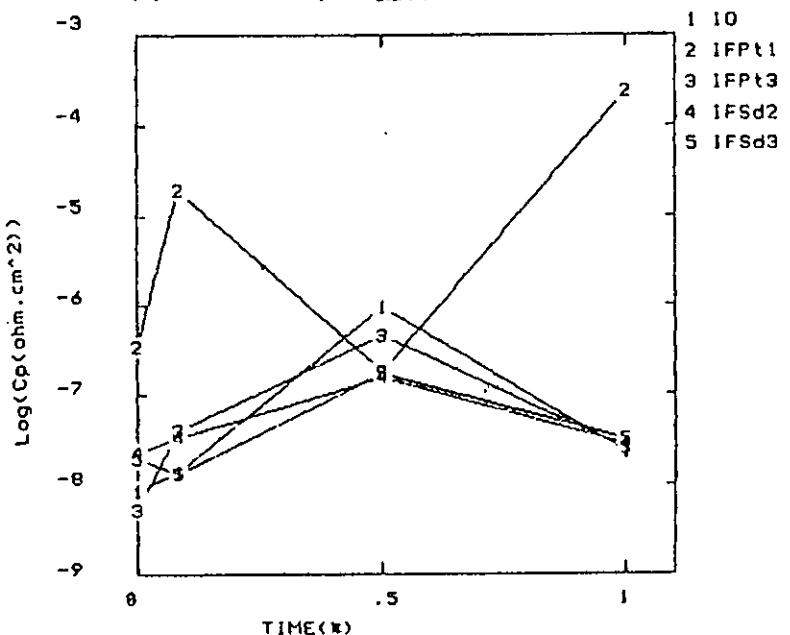
図2.1.13(3) C.R., A/C, H/B塗料の直流抵抗の経時変化（神戸港海水、常温）



(1) TE塗料

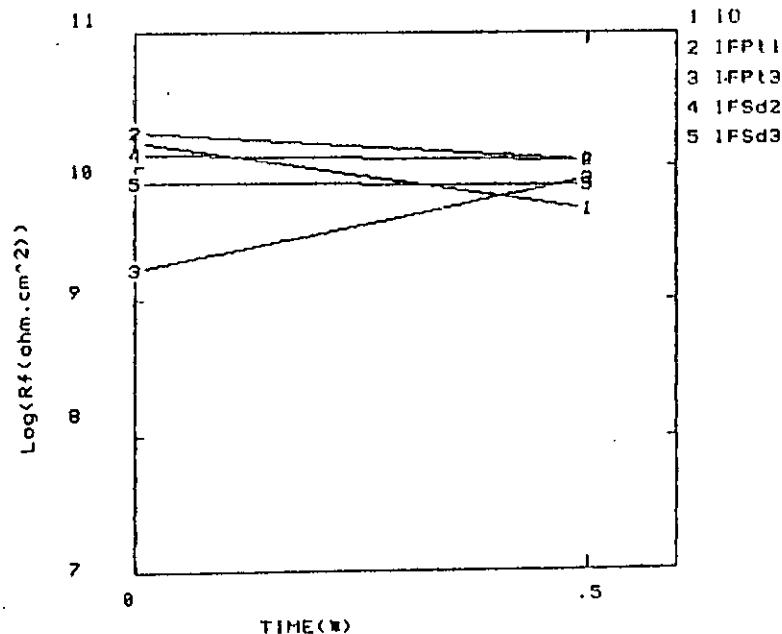


(2) PE, A/C塗料

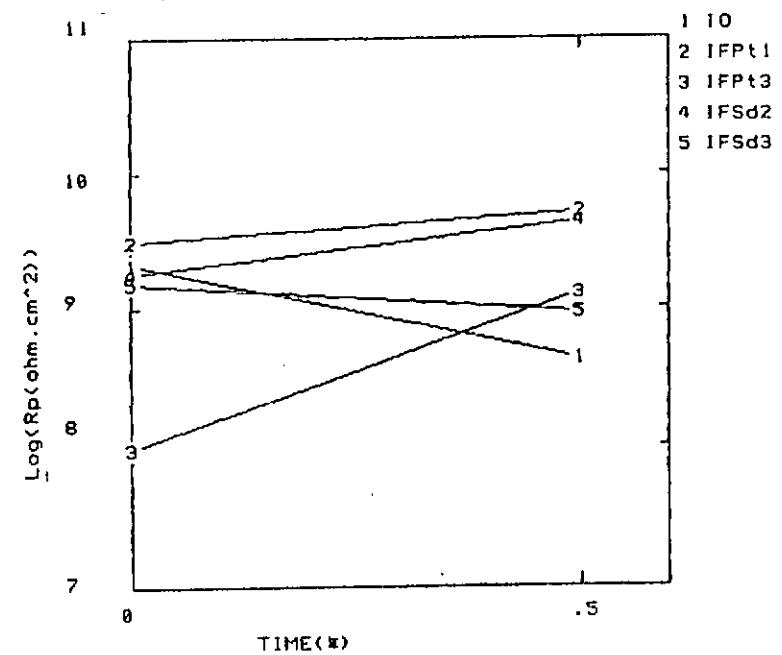


(3) CR, A/C, HB塗料

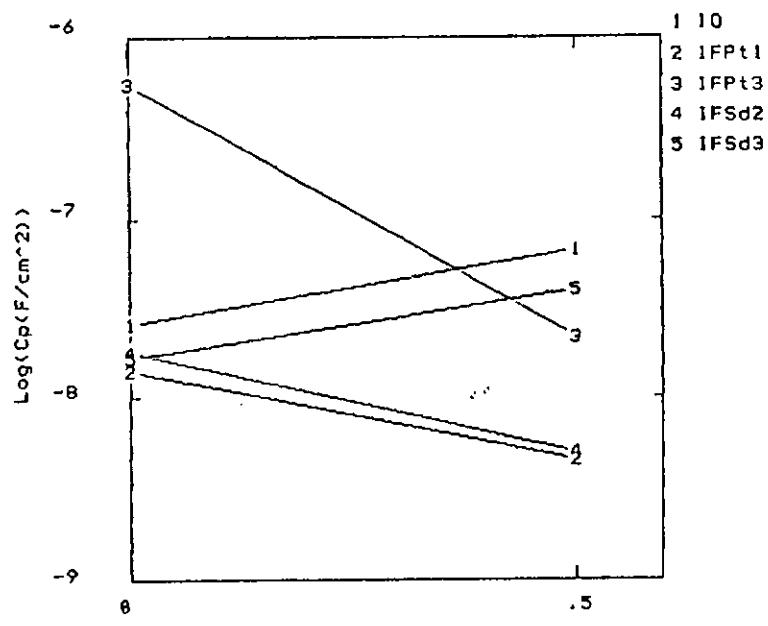
図2.1.13(4) 各塗料の界面容量の経時変化（神戸港海水、常温）



(1) 塗膜抵抗



(2) 界面抵抗



(3) 界面容量

図2.1.14 TE塗料の直流抵抗、容量の経時変化（促進試験）

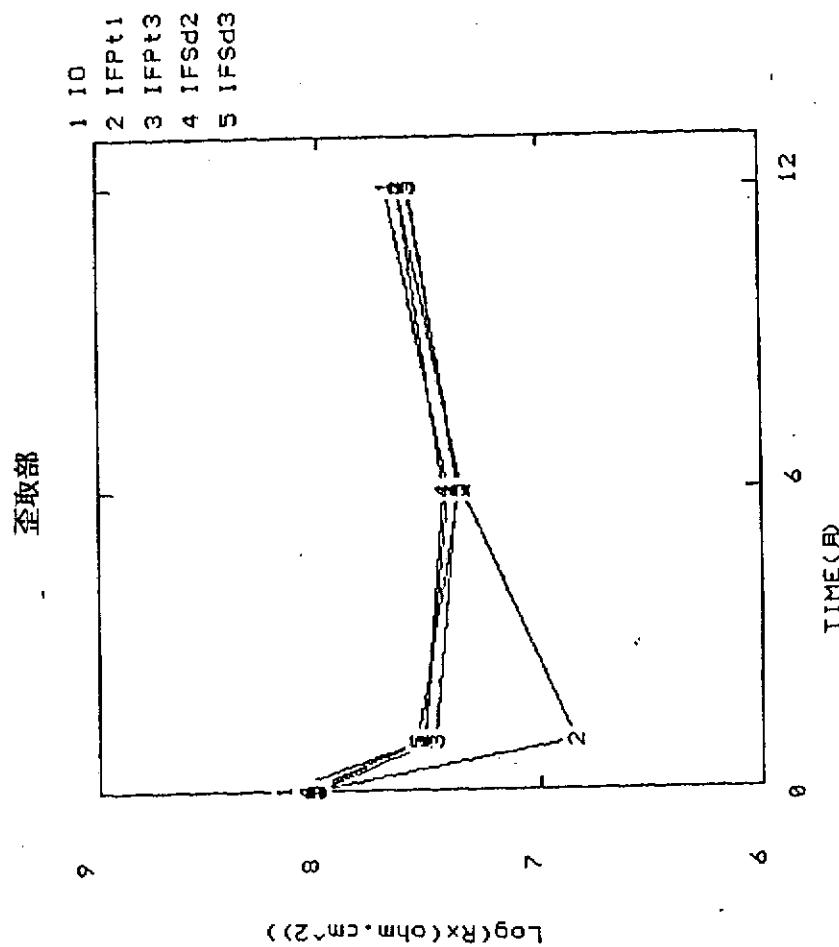
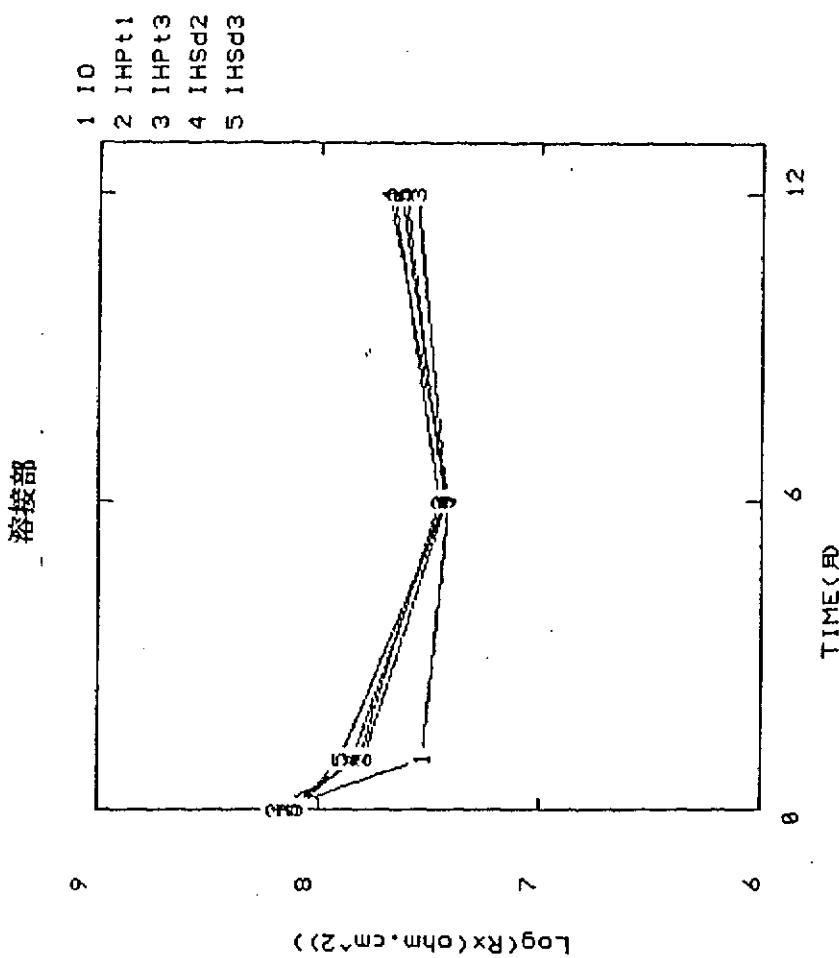


図2.1.15(1) TE塗料の電気抵抗の経時変化（神戸港海水、常温）

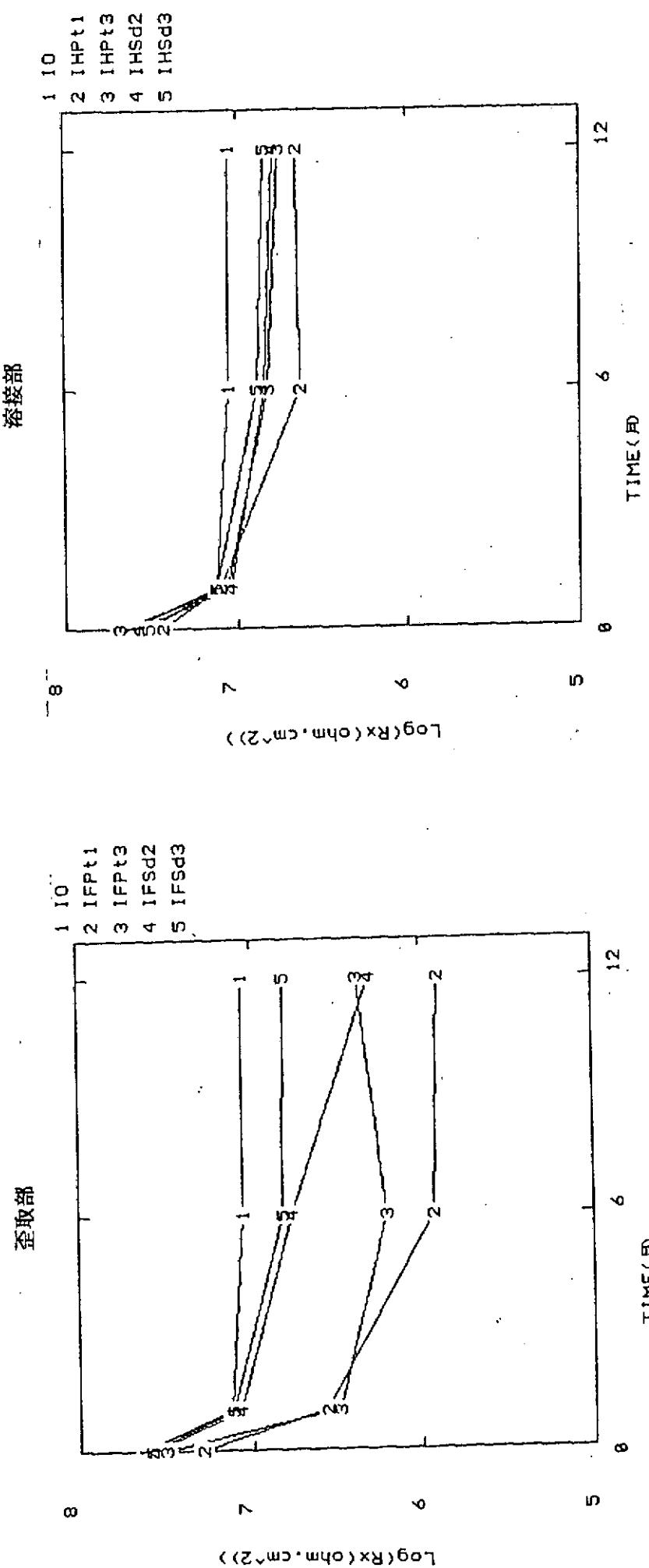


図2.1.15(2) PE-A/C塗料の電気抵抗の経時変化(神戸港海水、常温)

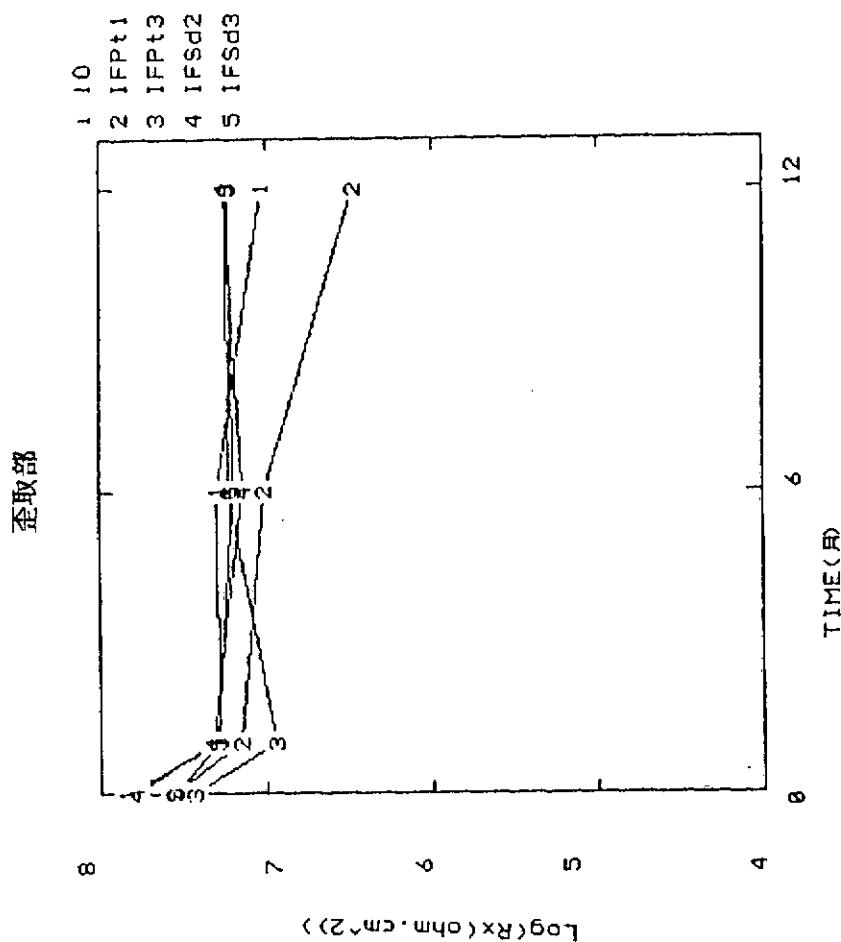
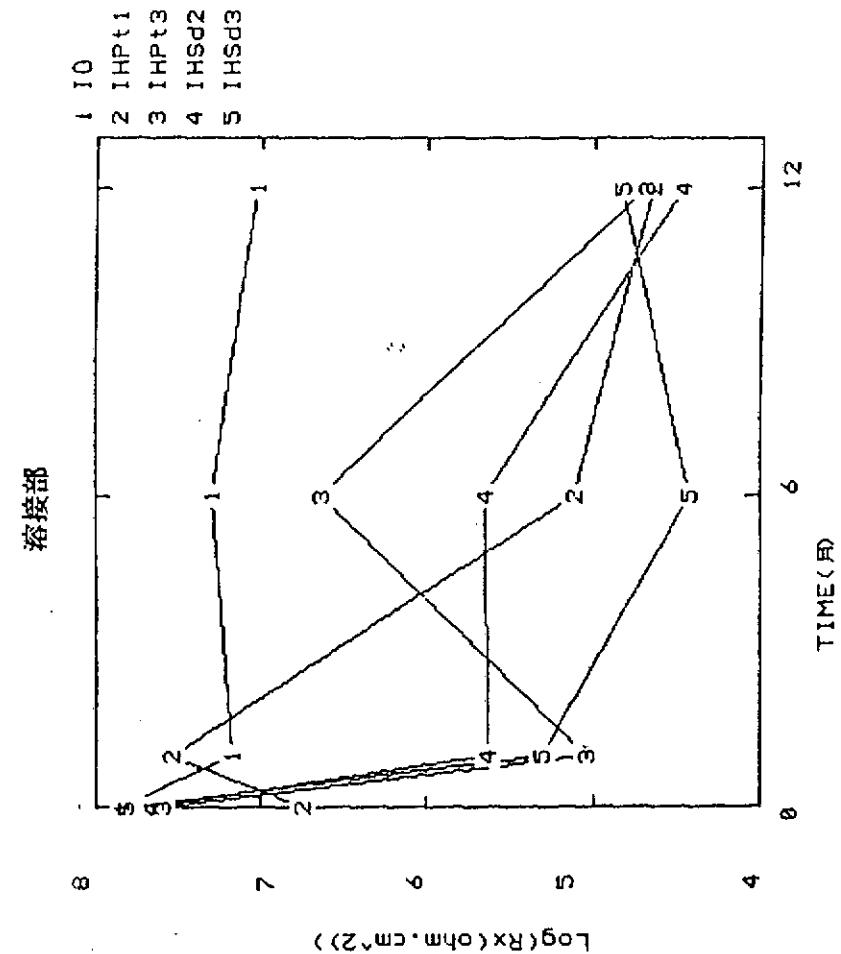


図2.1.15(3) C.R. A/C. HB塗料の電気抵抗の経時変化（神戸港海水、常温）

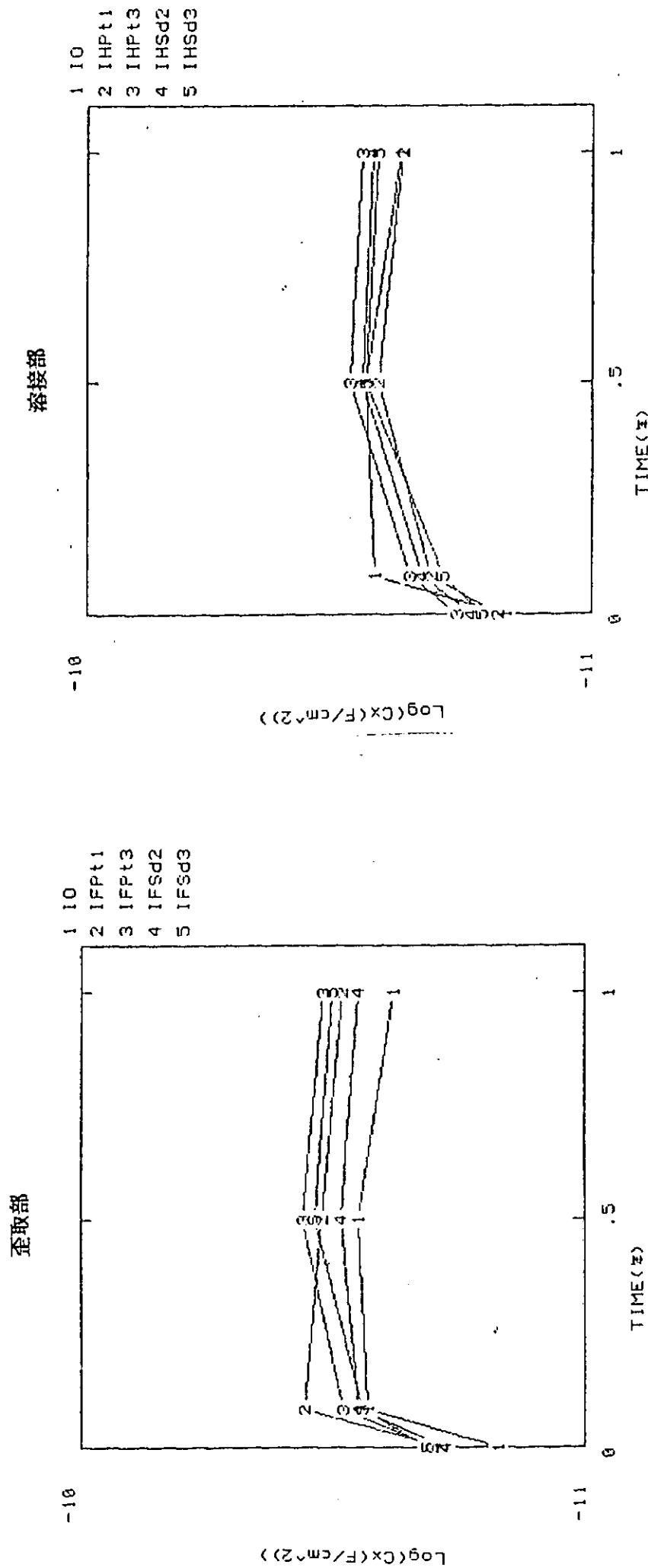


図2.1.15(4) TE塗料の電気容量の経時変化（神戸港海水、常温）

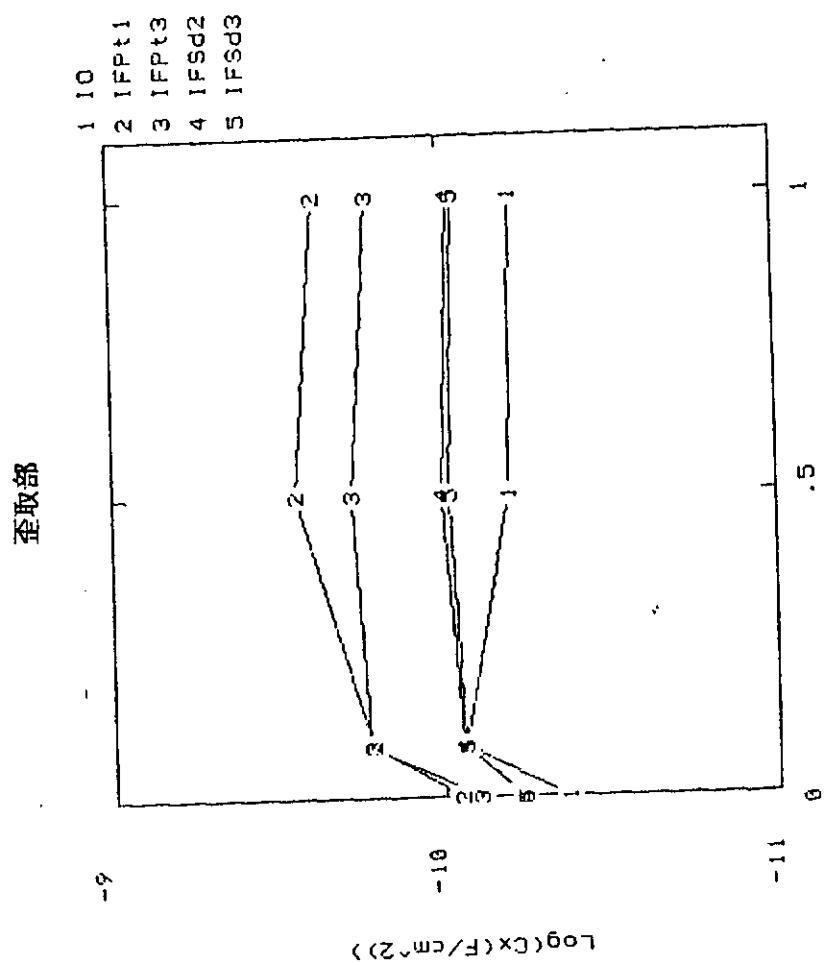
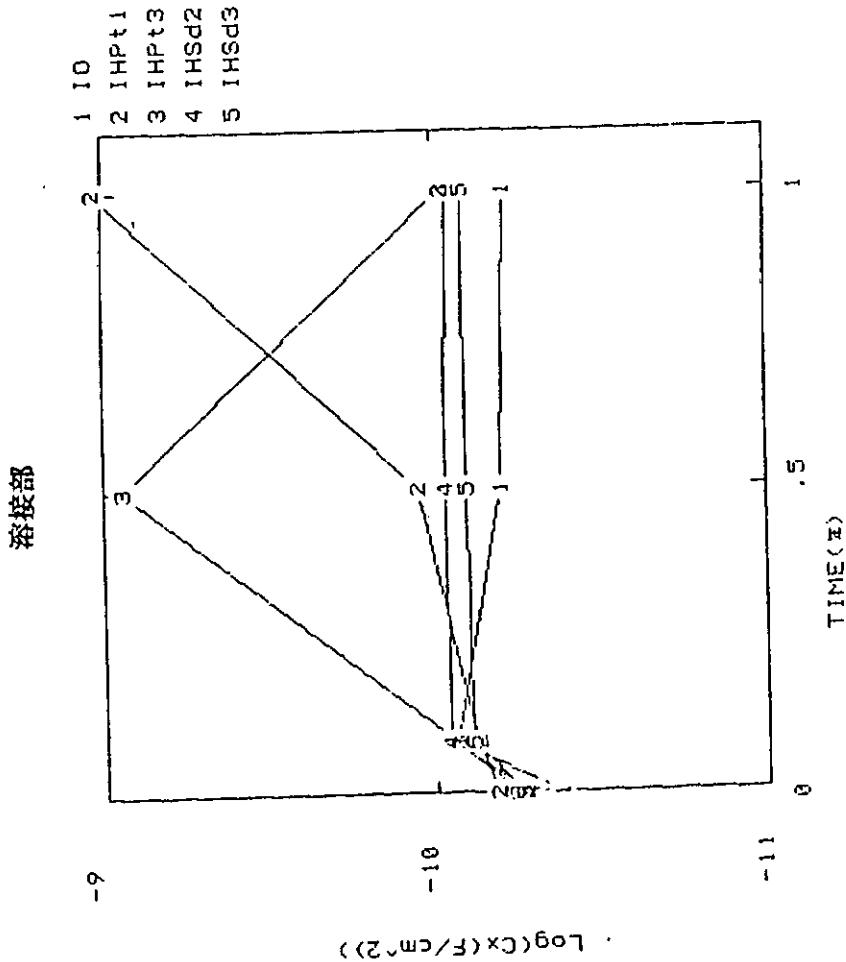


図2.1.15(5) PE-A/C塗料の電気容量の経時変化（神戸港海水、常温）

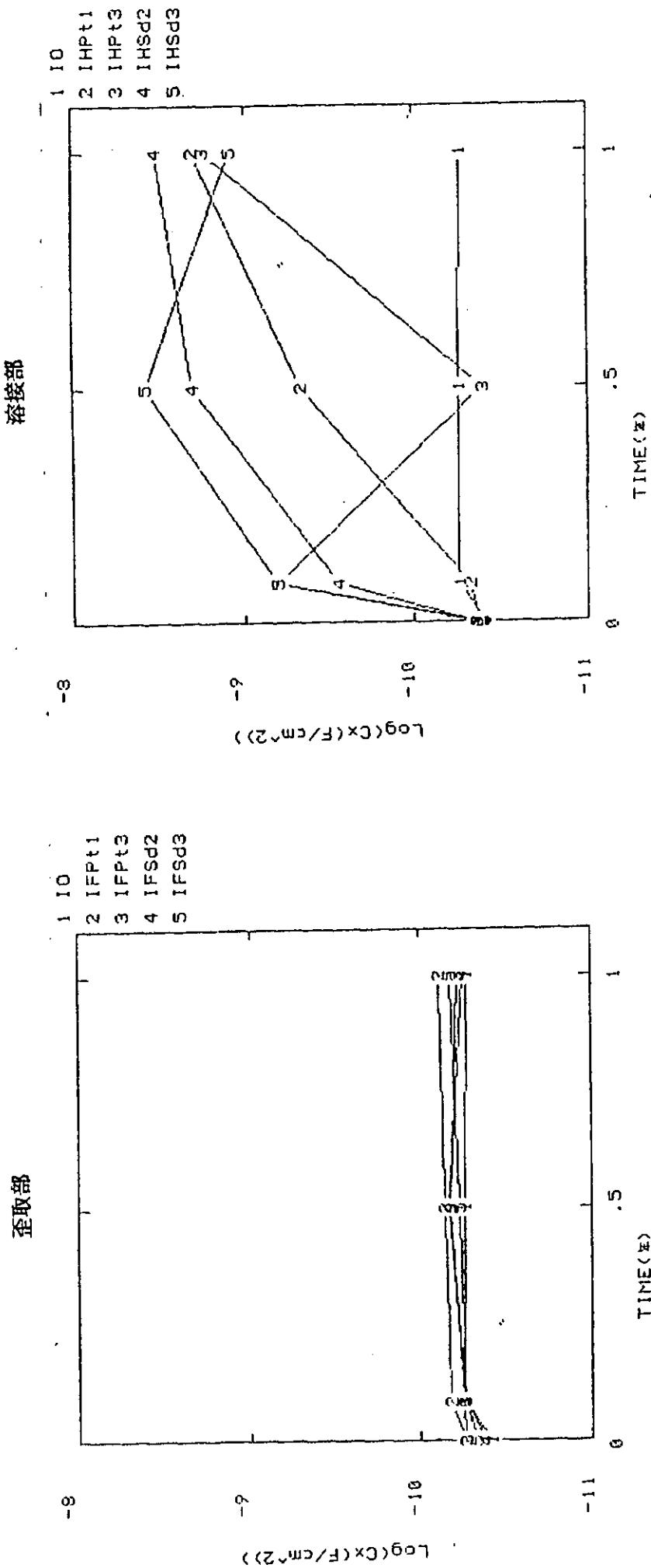


図2.1.15(6) C.R., A/C, H.B.塗料の電気容量の経時変化（神戸港海水、常温）

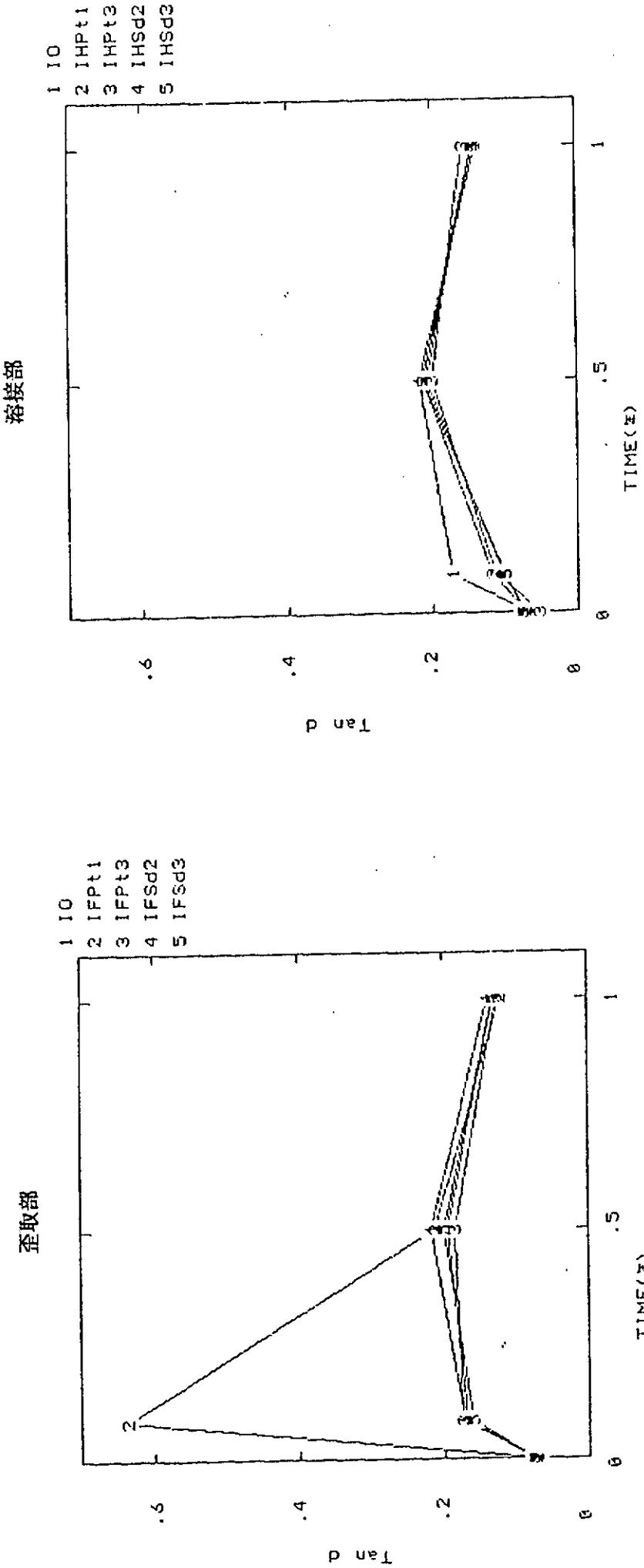


図2.1.15(7) TE塗料の  $\tan \delta$  の経時変化 (神戸港海水、常温)

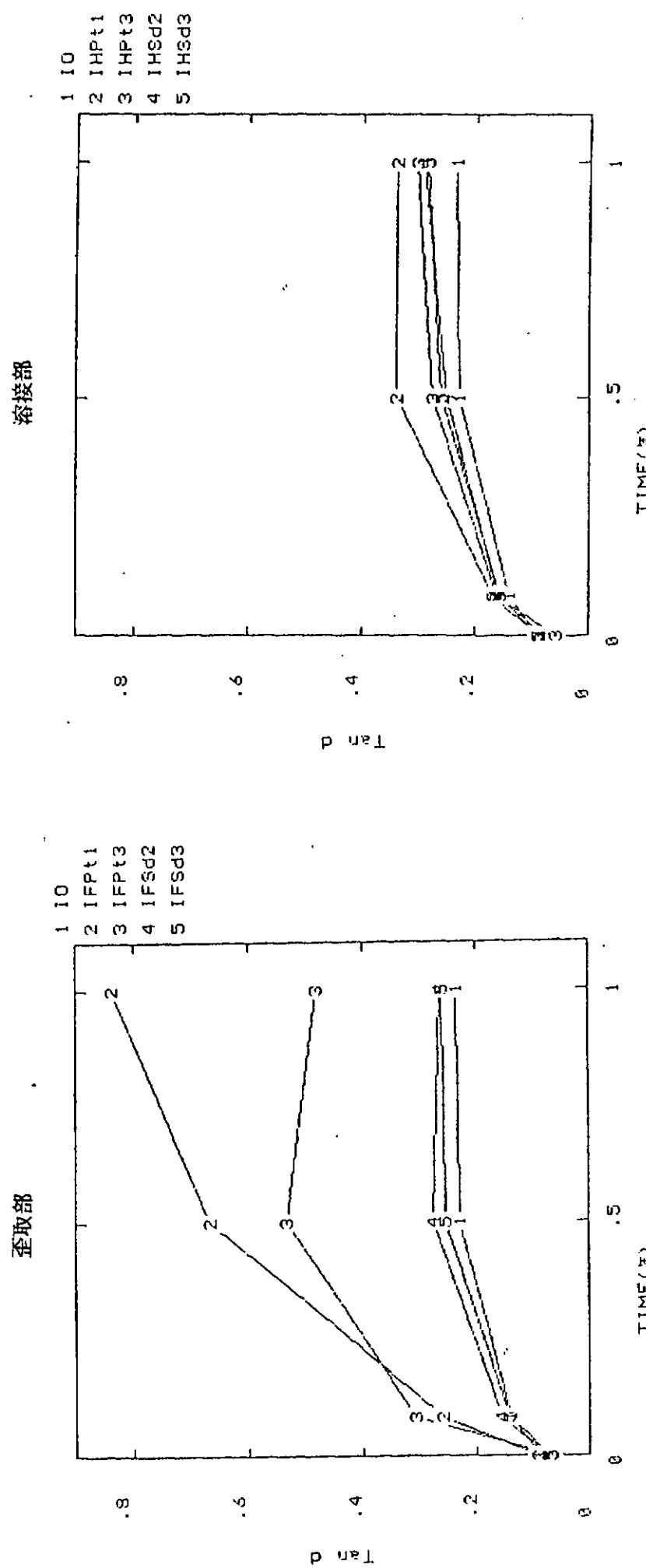
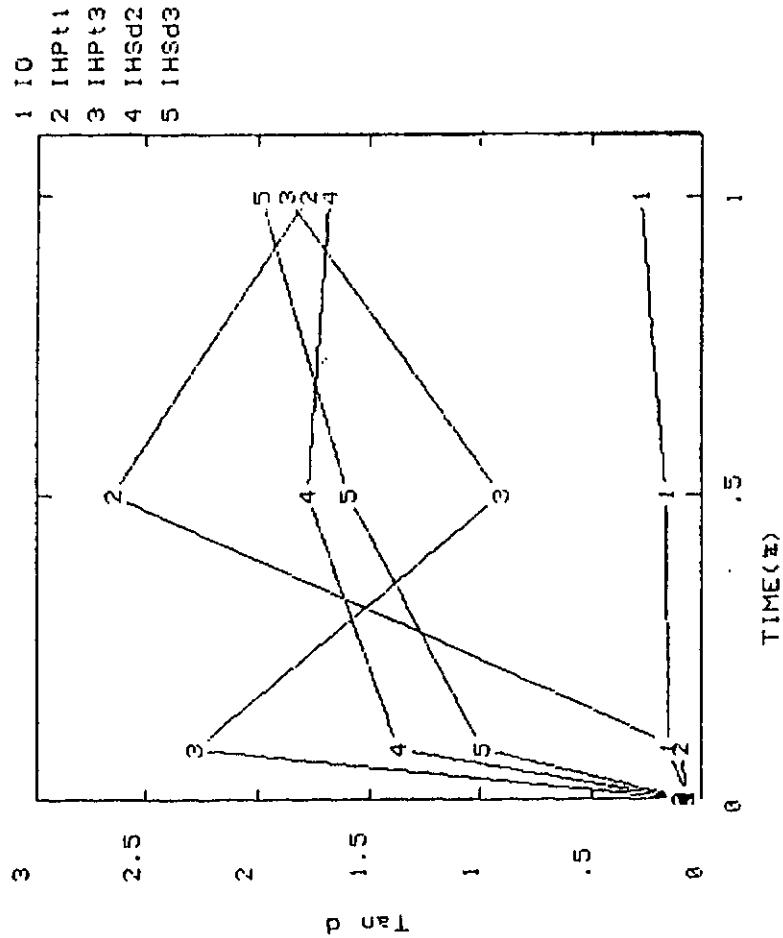


図2.1.15(8) PE-A/C塗料の Tan δ の経時変化 (神戸港海水、常温)

溶接部



歪取部

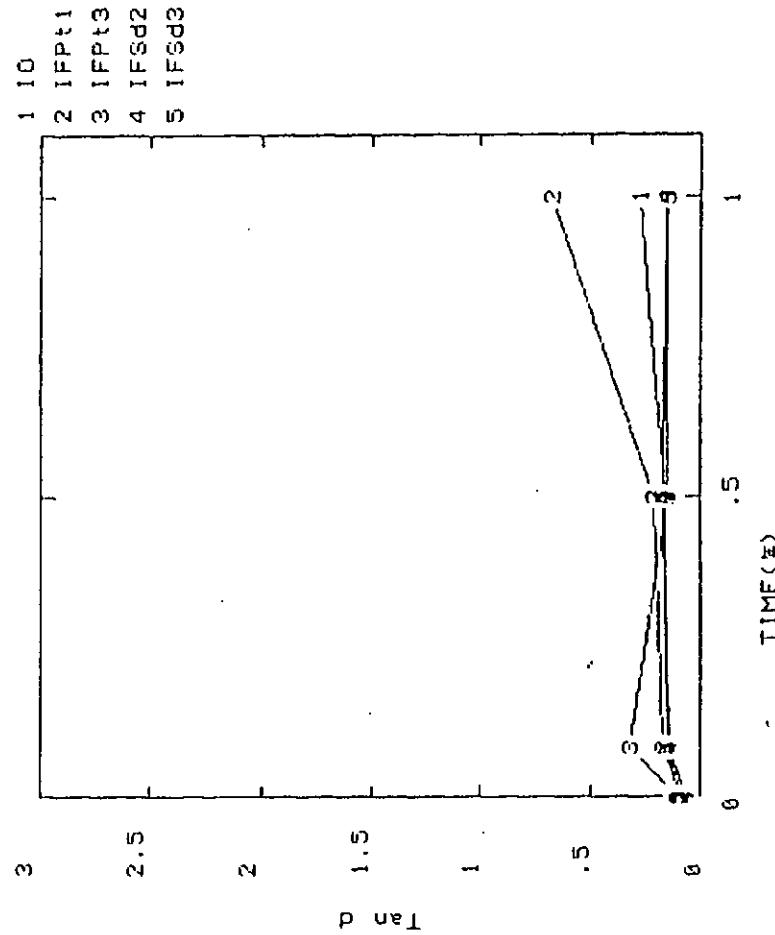


図2.1.15(9) CR-A/C-HB塗料の Tan δ の経時変化 (神戸港海水、常温)

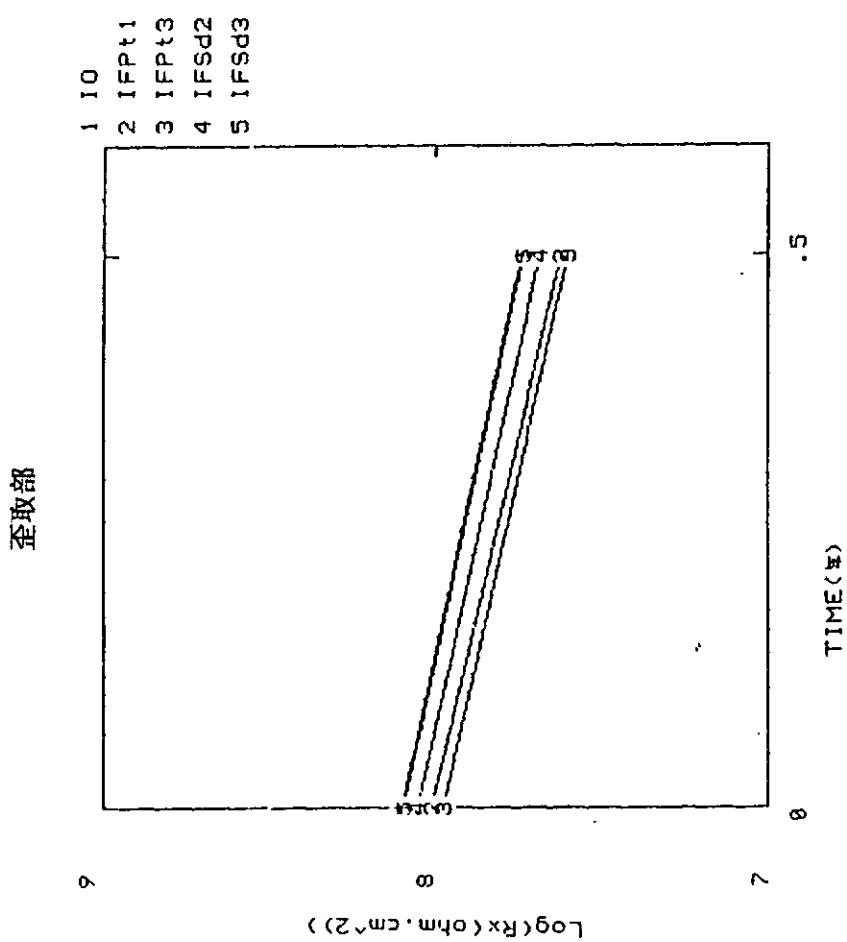
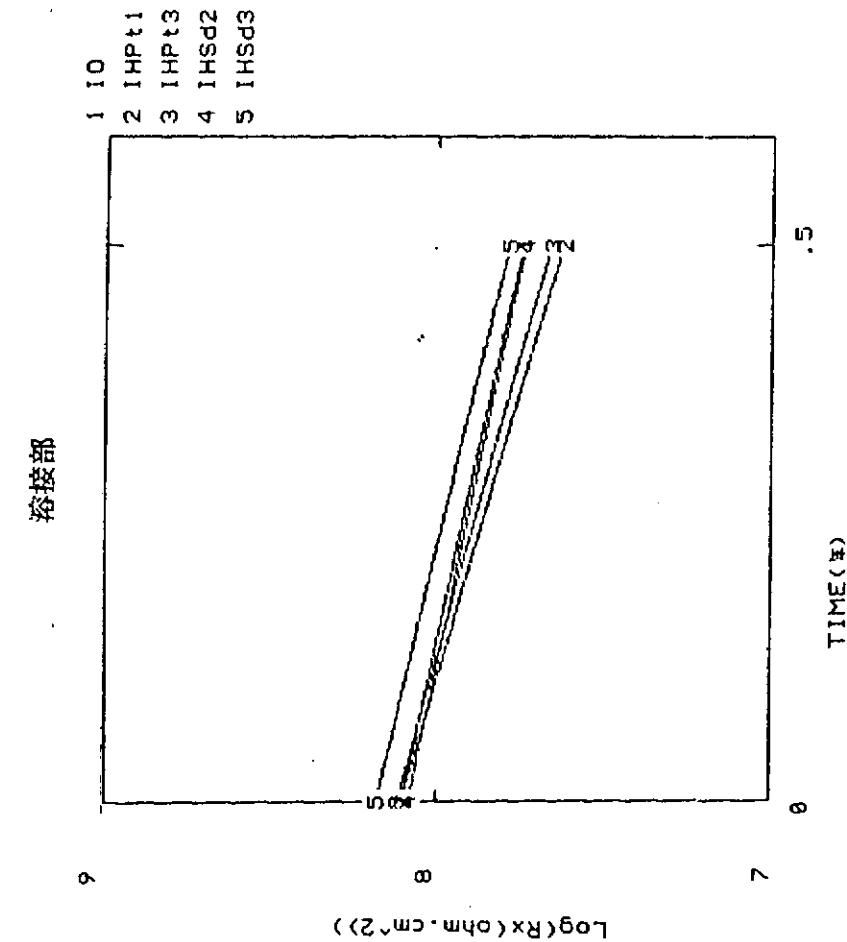


図2.1.16(1) TE塗料の電気抵抗の経時変化（促進試験）

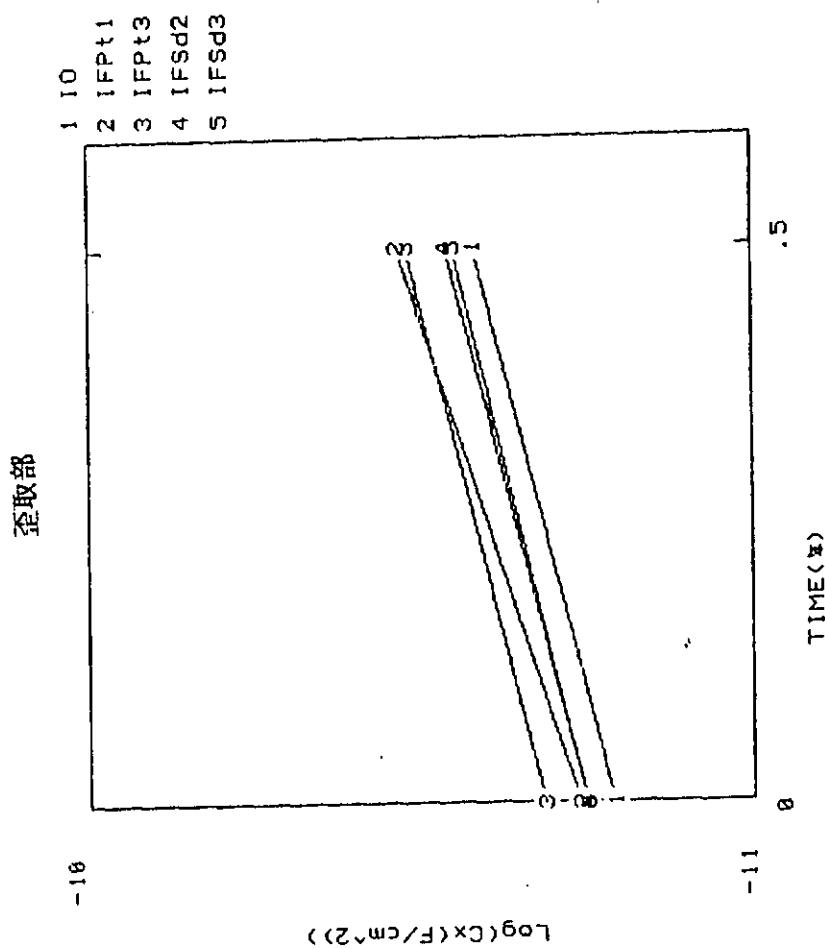
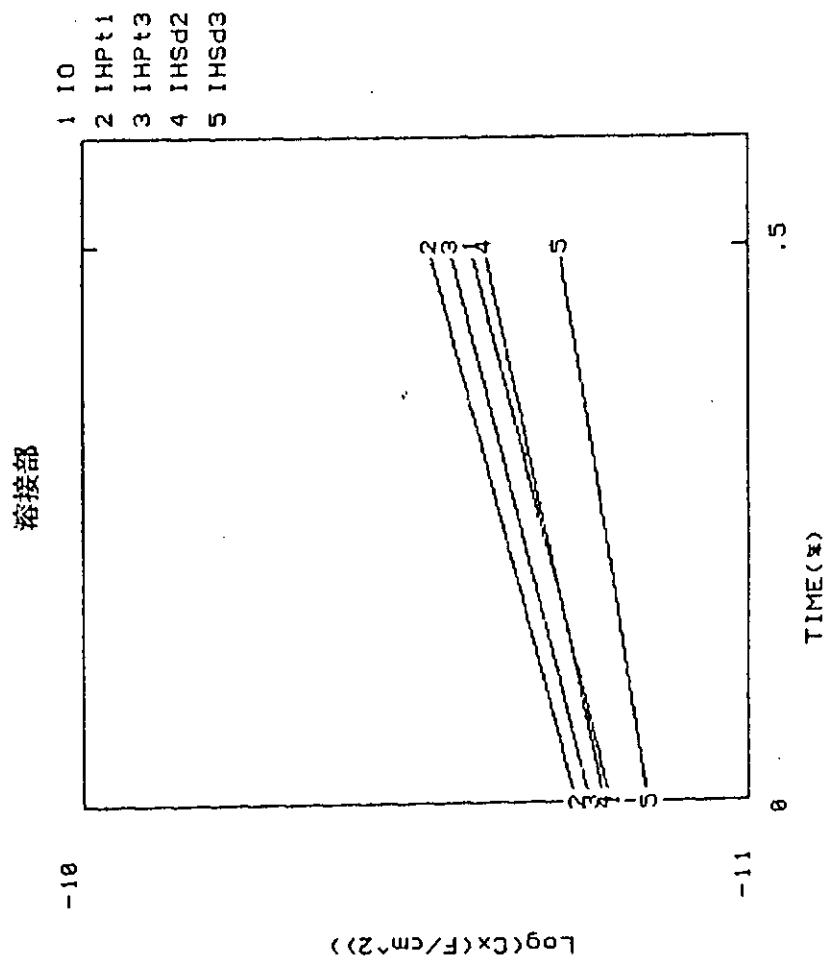


図2.1.16(2) TE塗料の電気容量の経時変化（促進試験）

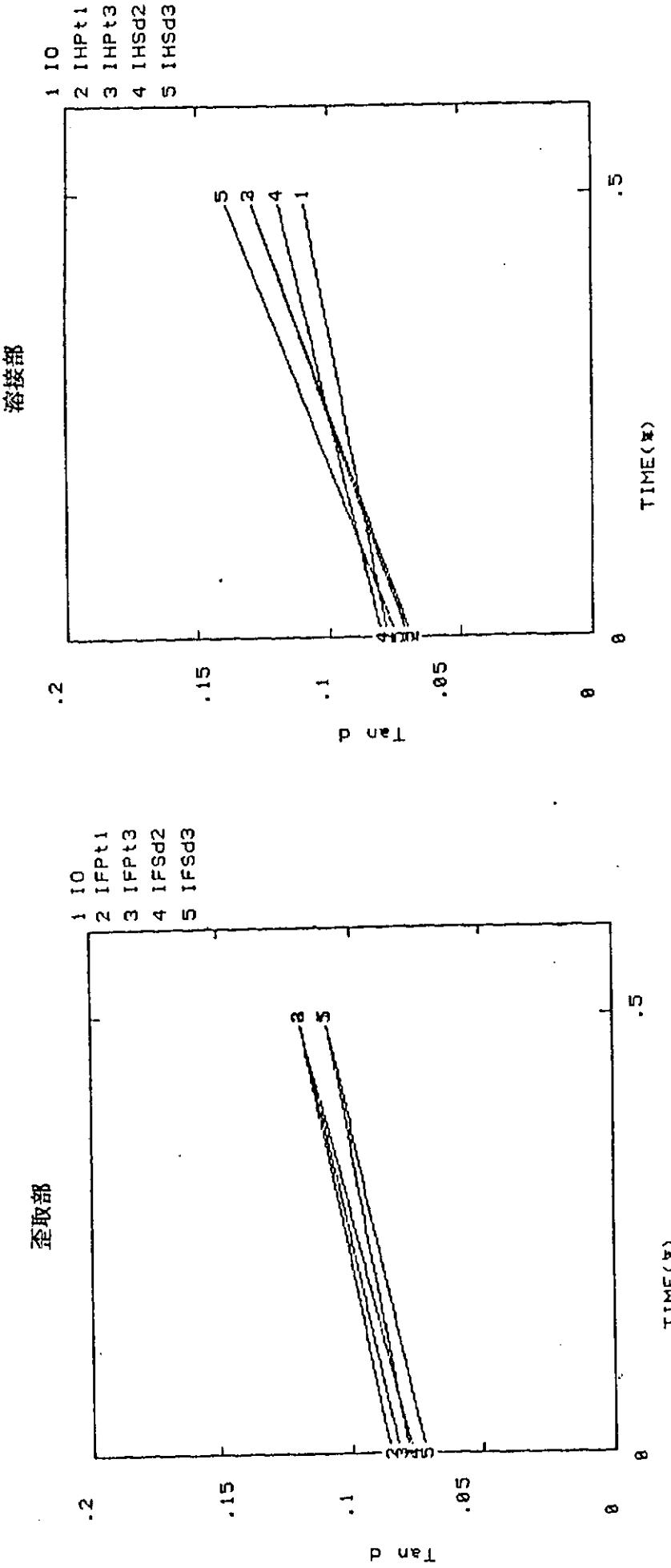
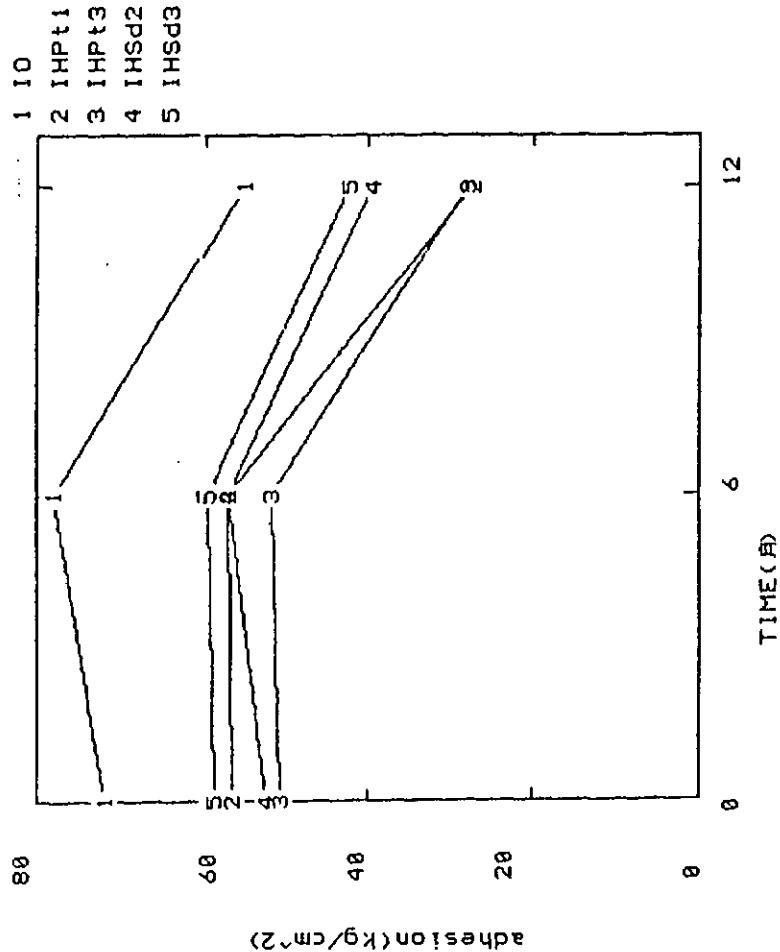


図2.1.16(3) TE塗料の  $\tan \delta$  の経時変化（促進試験）

溶接部周辺



歪取部

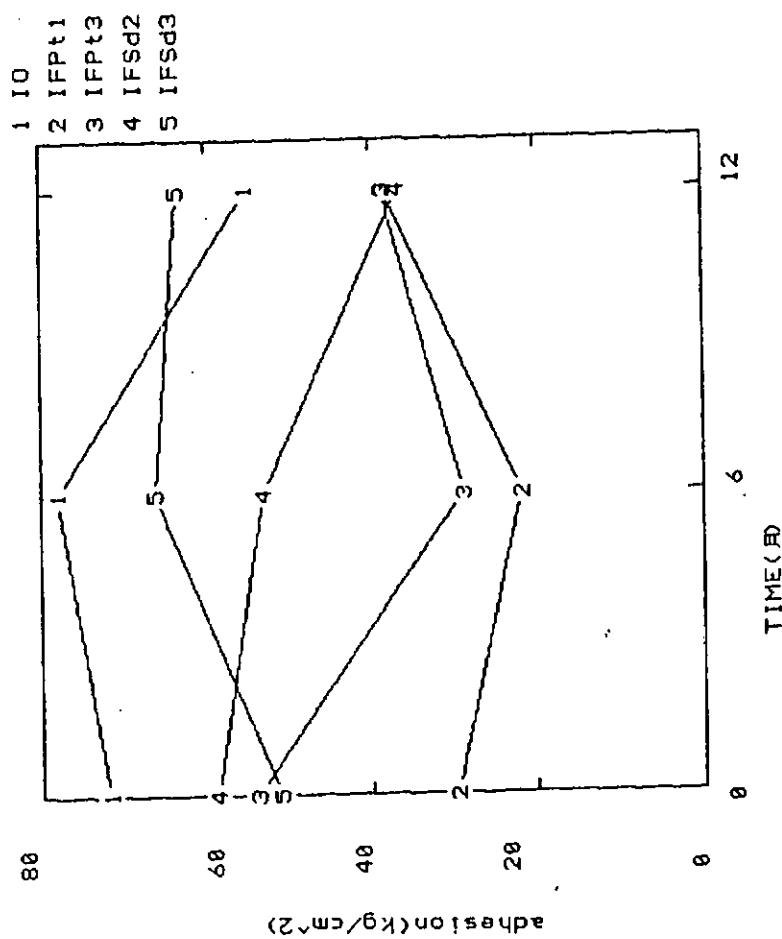
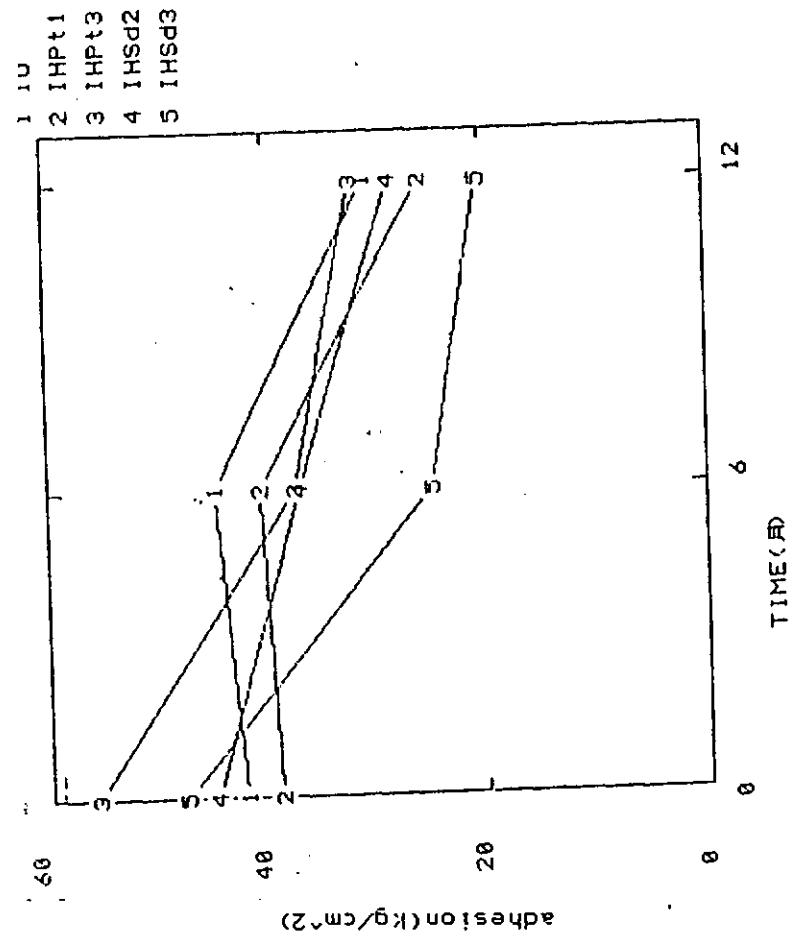


図2.1.17(1) TE塗料の付着力の経時変化（神戸港海水 常温）

溶接部周辺



歪取部

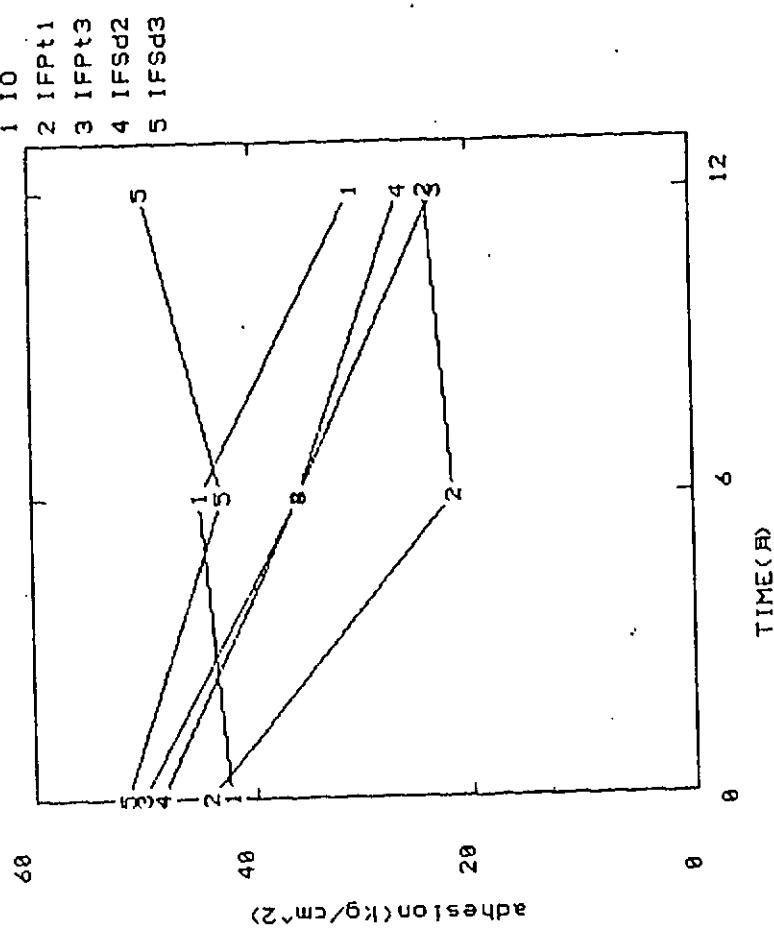


図2.1.17(2) PE-A/C塗料の付着力の経時変化(神戸港海水 常温)

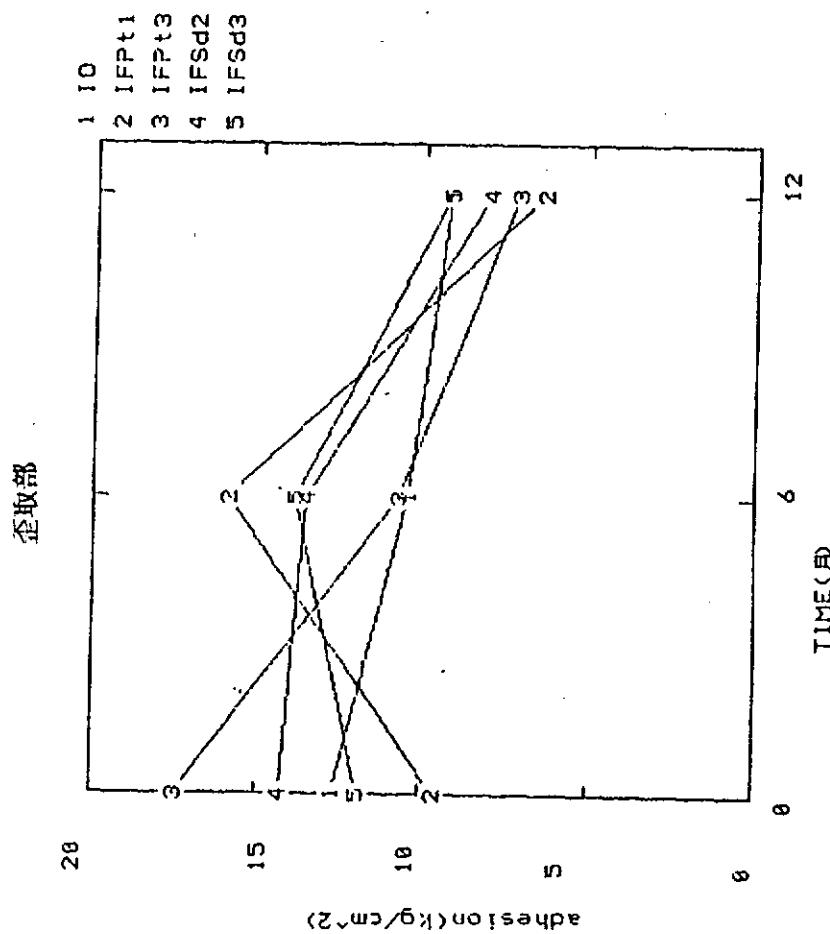
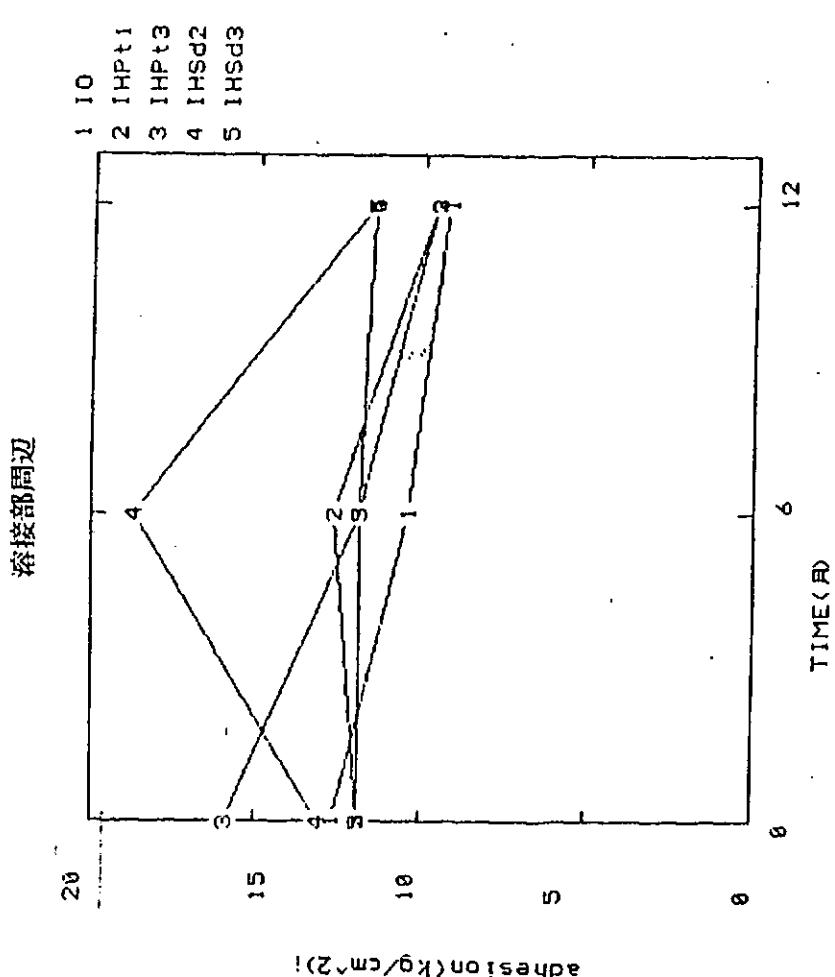


図2.1.17(3) CR-A/C-HB塗料の付着力の経時変化（神戸港海水 常温）

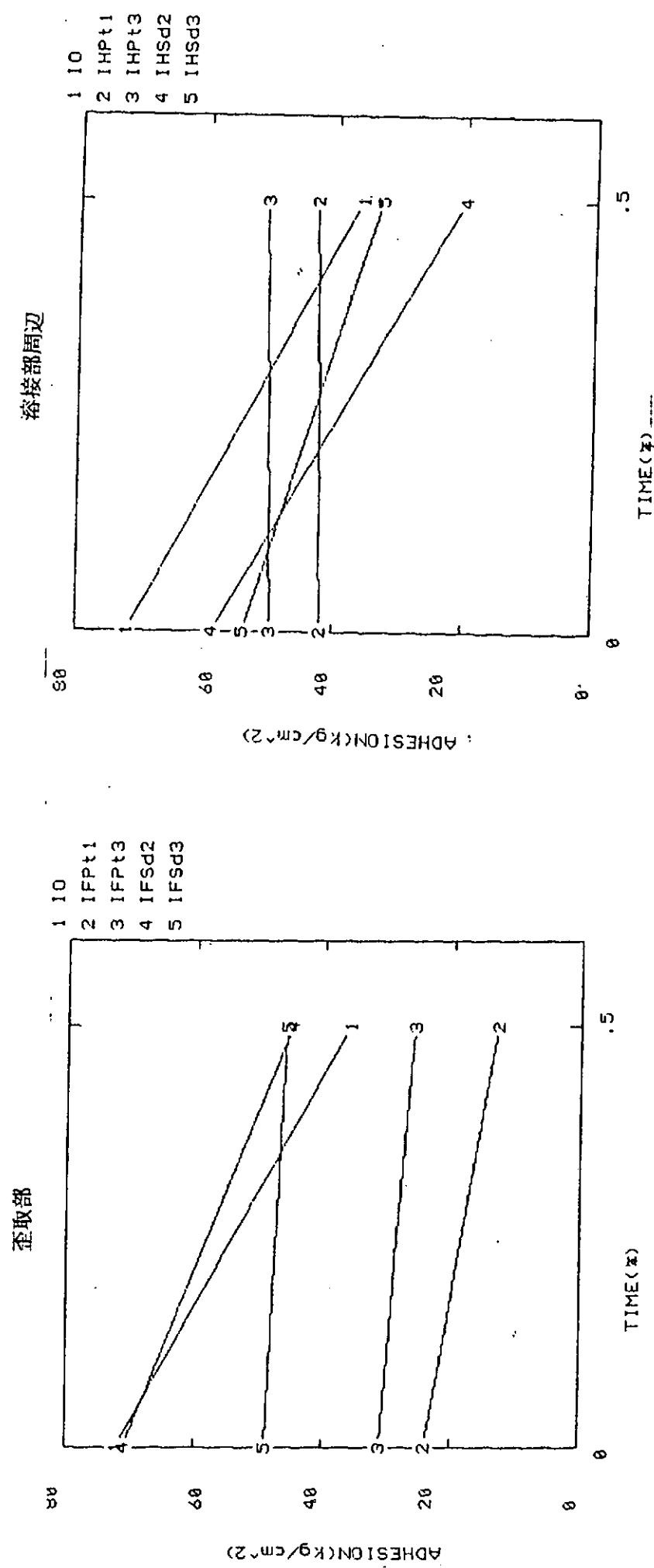


図2.1.18 TE塗料の付着力の経時変化（促進試験）

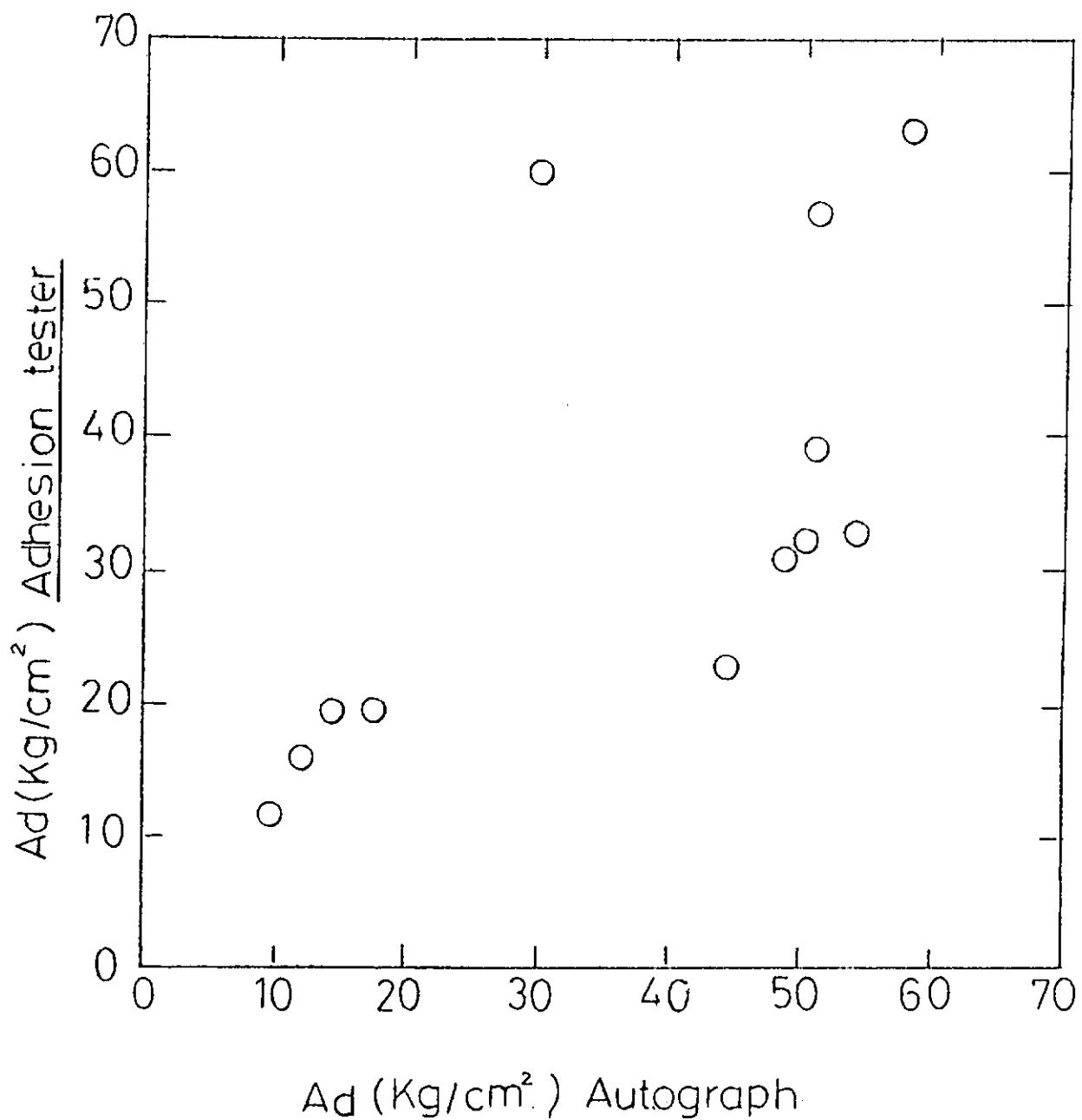


図2.1.19 付着力測定法の違いによる比較

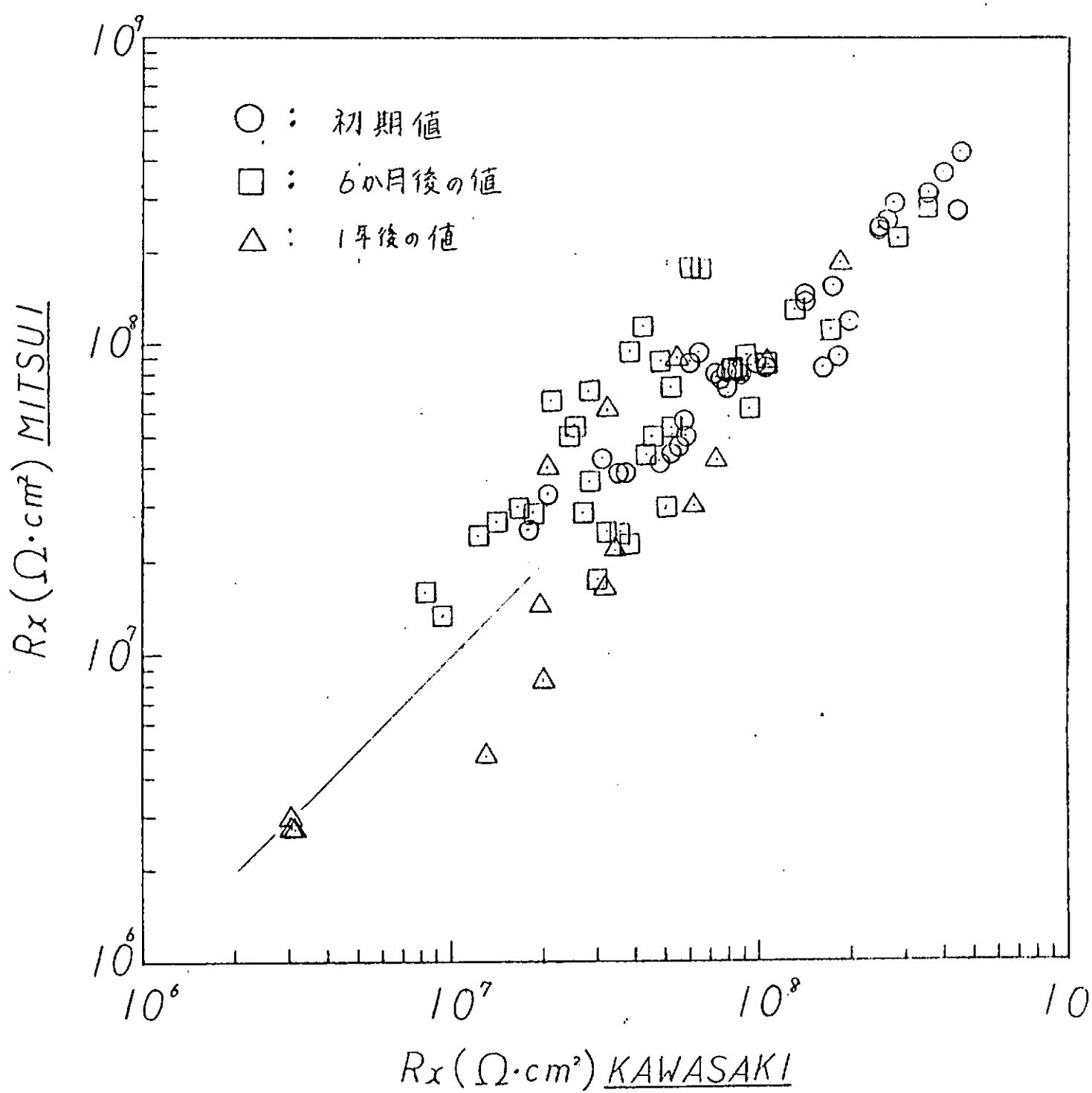


図2.1.20 交流抵抗の比較

## (6)まとめ

### (a) 漆膜部を対象とした試験

本年度は、3種類の天然暴露試験と、12箇月後とT11塗料の促進試験前と4サイクル後における各塗料試験片のデータを得た。

天然暴露試験において測定したデータを経時変化としてとらえると、初期値は塗料個々の特性のみがあらわっていたが、経時と共に塗料種の差異が得られつつあり、TE塗料やCR・A/C・HB塗料に比べ、PE・A/C塗料は表面処理グレードの影響を受け易い傾向が認められ、更にCR・A/C・HB塗料のT11P+I処理で確認された様に、直、交流抵抗の変化や周波数特性から塗膜欠陥発生が予測可能と思われる。

促進試験は本年度、TE塗料のみを開始したがPE・A/C塗料、CR・A/C・HB塗料も逐次開始する予定であり、天然暴露試験との対比を行いその効果等を明確化したい。

本年度取得データに関しては、促進初期段階であり対比するまでには至っていない。

### (b) 没水部を対象とした試験

本年度は、3種類の塗料について、天然試験6ヶ月、1年後の塗膜物性データを得た。また本年度から開始したタールエボキシ塗料を対象とした促進試験 初期、6ヶ月後の塗膜物性データも得た。

天然試験においては、塗膜の劣化傾向が認められ、タールエボキシ塗料を除いた2種類の塗料について下地処理方法による差が認められた。

促進試験は初期段階であり、現在のところ交流インピーダンスの結果より劣化傾向が認められる。今後さらに長期浸漬試験を実施して、天然試験との対比、下地処理グレードによる差を明らかにする必要がある。

## 2. 2 変動荷重と塗膜の耐久性

### (1) 目的

船舶や海洋構造物は波浪や潮流などの外力の繰返し作用により、絶えず変動荷重を受ける。海洋環境の中でも、腐食性の厳しい飛沫帶におかれる構造部位に対しては、塗料やライニングなどの被覆防食材料によって防食対策が施されているが、これらの被覆材塗膜の耐久性に及ぼす繰返し変動荷重の影響については、未だに十分な解明が行われていないといえる。

そこで、本研究項目では、数種の被覆防食塗膜に及ぼす低サイクル繰返し変動荷重の影響について、各被覆材の種類や塗膜条件、並びに環境条件などの観点から検討し、変動荷重下における防食塗膜の耐久性について究明・評価する。

なお、本年度における具体的な検討項目は以下の3つである。

#### (i) 変動荷重下における各種防食塗膜の耐久性

変動荷重（低サイクル繰返し曲げ応力付加）下において、各種防食塗膜がどの程度の耐久性を有するかを検討する。

#### (ii) 塗膜欠陥と変動荷重下における耐久性の関係

防食塗膜に大きさと方向の異なるきれい欠陥がある場合、変動荷重下において、その塗膜や鋼材の耐久性にどの程度の影響を及ぼすかについて検討する。

#### (iii) 環境条件と変動荷重下における防食塗膜の耐久性。

紫外線照射条件下における変動荷重と防食塗膜の耐久性について検討する。

### (2) 試験方法

#### (a) 供試材と防食仕様

本研究部会において採用した防食材料とその仕様や膜厚については、各検討項目共通のものとして、研究の初年度（昭和60年度）に設定されたもので、表2に示されている。これらの防食材料やその仕様の中から、本検討項目において選択し、供試した防食材料は船体外板やバラストタンク内面に適用される塗装材料及び海洋構造物の海水飛沫帶を対象とした防食ライニング材などであり、合計5種類の防食仕様である。それらを改めて表 2.2(1) に示す。

#### (b) 試験装置

試験板に繰返し変動荷重を与える試験装置として、「繰返し曲げ荷重試験装置」（60年度に設計・製作）及び「繰返し応力付加試験装置（I）」（SR182部会で設

計・製作)を使用している。また、本年度には、保有の他の「繰返し応力付加試験装置(II)」に紫外線照射装置を取り付け暴露環境を模擬した条件下で繰返し変動荷重試験が可能なように改造を行った。これらの各試験装置の概略仕様をまとめて表2.2(2)に示す。なお、本年度において改造した試験装置の概略図を図2.2(1)に示し、装置の外観を図2.2(2)に示す。

#### (c) 試験板の製作

繰返し変動荷重を与える試験板の形状及び寸法は図2.2(3)に示すとおりである。この試験板に対して、表2.2(1)に示した防食仕様に基づいて各供試防食材料を塗装した。

#### (d) 試験条件

本検討項目の各試験に対し、予め設定した試験条件は以下のとおりである。

##### (i) 変動荷重下における各種防食塗膜の耐久性。

防食仕様5種類の塗膜において、2段階で膜厚条件を変えた試験板を作製し、下記の試験条件で繰返し変動荷重試験を継続実施中である。

- ① 変動荷重の形式：曲げ荷重(変位制御)
- ② 繰返し荷重： $\pm 20 \text{ kgf/mm}^2$
- ③ 繰返し速度：10 cpm
- ④ 試験環境：常温(室温)人工海水中
- ⑤ 現在までの繰返し数： $5.25 \times 10^6$ 回
- ⑥ 経過期間：約12箇月

なお、繰返し変動荷重試験と比較するため、同様に作製した塗装試験板を常温人工海水中に浸漬するいわゆる静浸漬試験も並行して実施している。

##### (ii) 塗膜欠陥と変動荷重下における耐久性の関係

防食仕様5種類の塗装試験板に対し、試験板の長さ方向を縦として、横方向または縦方向に長さ10mmの素地に達する傷(欠陥)を付与した試験板(図2.2(4)参照)を作製し、下記の条件で繰返し変動荷重試験を継続実施中である。

- ① 変動荷重の形式：曲げ荷重(変位制御)
- ② 繰返し荷重： $\pm 20 \text{ kgf/mm}^2$
- ③ 繰返し速度：10 cpm
- ④ 試験環境：常温(室温)人工海水中

⑤ 現在までの繰返し数 :  $4.21 \times 10^6$  回

⑥ 経過期間 : 約10箇月

なお、前項と同様に、繰返し変動荷重試験と比較するため、塗膜面に10mm素地に達する傷（欠陥）を人工的に付与した試験板を作製し、常温人工海水中に静浸漬した試験も実施している。

### (iii) 環境条件と変動荷重下における防食塗膜の耐久性

防食仕様5種類の塗装試験板に対し、本年度に改造、設置した「繰返し応力付加試験装置（II）」を用いて、紫外線殺菌灯照射条件下における繰返し変動荷重試験を開始した。試験条件は下記の通りである。

① 変動荷重の形式 : 曲げ荷重（変位制御）

② 繰返し荷重 :  $\pm 20 \text{ kgf/mm}^2$

③ 繰返し速度 : 10 cpm

④ 試験環境 : 殺菌灯による紫外線照射下

なお、繰返し変動荷重試験と比較するため、同様に作製した塗装試験板を、同条件下に静置して調査することにしている。

### (e) 塗膜の性能評価方法

繰返し変動荷重下におかれた各防食仕様の塗膜に対する性能評価方法としては、肉眼観察による外観評価が主であり、塗膜のわれ、ふくれ及びさび発生を調査した。

また、塗膜の電気的特性を評価する方法として、交流インピーダンス法を採用了。すなわち、3%食塩水にカルボキシルメチルセルロース(CMC)を3%溶解して調整した電解質の糊を用いてアルミ箔(50×50mm)を塗膜表面に貼付し、約2時間放置した後、塗膜試験機(新電子工業製：CJA-3D型)を用いて、各発振周波数(0.2, 0.5 及び1.0 kHz)における抵抗及び容量を測定した。さらに、これらの数値を用いて、次式により  $\tan \delta$  を求めた。

$$\tan \delta = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot R}$$

ここに

$\pi$  : 円周率      C : 容量 (F)

f : 周波数 (Hz)      R : 抵抗 ( $\Omega$ )

### (3) 試験結果と経過状況

#### (a) 変動荷重下における各種防食塗膜の耐久性

##### (i) 繰返し返答荷重試験における塗膜観察結果

無傷塗膜に対する繰返し変動荷重試験約12箇月経過後の調査結果を表 2.2(3) に示す。また、各試験において、比較の目的で実施している静浸漬試験の結果をまとめて表 2.2(4) に示す。

繰返し変動荷重試験においては、各防食仕様とともに2段階の膜厚について検討しているが、防食仕様No 1, 4, 5及び6の4種はいずれも塗膜にわれやふくれなどの異常は見られず、まだ十分に耐久性を有するといえる。一方、防食仕様No 2のC R系塗膜では、約2箇月間の繰返し変動荷重で膜厚に関係なく塗膜にわれが発生した。また、厚膜の場合には約7箇月経過（繰返し数  $N = 3.15 \times 10^6$ ）時に試験板が破断した。薄膜の試験板では約2箇月経過時において、塗膜全面にわれが発生し、約12箇月経過後においては部分的に塗膜のはく離が見られるが、まだ試験板破断にはいたっていない。しかし、表 2.2(4) にも示すように防食仕様 No 2 でも塗膜が無傷で、静浸漬した場合には約10箇月経過後でも塗膜に異常は見られず良好である。これらのことから判断すると、防食仕様No 2 の塗膜はかなり脆く、繰返し変動荷重が  $\pm 20 \text{kgf/mm}^2$  もかかる部分には適用できないといえる。

なお、無塗装の裸塗装の場合には、変動荷重  $\pm 20 \text{kgf/mm}^2$  では繰返し数  $N = 3.6 \times 10^6$  で破断している。

破断した試験板の外観を図 2.2(5) に示す。

##### (ii) 繰返し変動荷重試験における塗膜の電気的特性の変化

###### (1) 塗膜抵抗の経時変化

図 2.2(6) に繰返し変動荷重試験における塗膜抵抗の経時変化を防食仕様5種についてまとめて示す。また、図 2.2(7) には比較のために実施している静浸漬試験板の塗膜抵抗の経時変化を示す。

図 2.2(6) にも示すように、防食仕様No 2 の C R系塗膜には繰返し変動荷重下において早期にわれが発生したため、塗膜抵抗も急激に低下している。また、防食仕様No 6 の P E F系塗膜では試験期間約10箇月で塗膜抵抗が  $10^9 \Omega \cdot \text{cm}^2$  から  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$  まで低下しており、他の防食仕様塗膜に比べて低下の程度が大きい。しかし、この傾向は図 2.2(7) に示す静浸漬の経時変化も同様であり、12

箇月経過後の測定結果では10箇月後の値とほとんど変化していない。その他の防食仕様No.1、4及び5の3種の塗膜では試験開始直後すなわち、人工海水に浸漬直後に塗膜抵抗の低下は見られるが、その後の経時変化はほとんど見られず、この傾向は静漫漬試験の塗膜においても同じである。

#### (a) 変動荷重試験と静漫漬試験における塗膜抵抗

図2.2(8)には各防食仕様ごとに変動荷重試験と静漫漬試験における塗膜抵抗の経時変化を示す。

防食仕様No.1のTE系とNo.4のIZ+TE系では変動荷重試験と静漫漬試験による塗膜抵抗の経時変化に大きな差は見られず、ほぼ同じ値で変化している。

防食仕様No.2のCR系では変動荷重試験で塗膜にわれが発生したため抵抗が急激に低下しているが、われのない静漫漬では塗膜抵抗の経時変化は小さい。一方、防食仕様No.5のPE系とNo.6のPEF系の塗膜では変動荷重試験と静漫漬試験における塗膜抵抗の経時変化の傾向はよく似ており、両仕様塗膜とも変動荷重試験下での塗膜抵抗は静漫漬試験における塗膜抵抗より弱若干くなっている。これは塗膜構成材料である樹脂、顔料（アルミ粉末やガラスフレークなど）などに起因し、塗膜の曲げ荷重による透水性が影響しているものと思われる。

#### (b) 膜厚の違いによる塗膜抵抗の経時変化

図2.2(8)の各図には変動荷重試験における塗膜抵抗の経時変化として、各防食仕様の膜厚の違いによる差についても示した。これらの図からみると、各防食仕様塗膜とも、厚膜になると薄膜に比べわずかに塗膜抵抗は大きいが、経時変化はほぼ同じ傾向を示している。この傾向は静漫漬試験についても同様である。

#### (c) $\tan \delta$ の経時変化

経時的に測定した塗膜の抵抗及び容量から、計算によって求めた  $\tan \delta$  値について、その経時変化を各防食仕様ごとにまとめ、図2.2(9)に示す。

これらの図から判断できるように、試験開始直後すなわち、人工海水浸漬直後に塗膜抵抗が急激に低下するため、各防食仕様塗膜とも  $\tan \delta$  値が急増するが、その後はあまり大きな変化はなく、しかも各防食仕様塗膜とも膜厚や、さらに変動荷重の有無にかかわらず大きな差はないといえる。ただし、防食仕様

No.6のP E F系の塗膜では試験後4箇月までは大きな変化もなく初期値とほぼ同じであったが、その後  $\tan \delta$  値が高くなり、9箇月経時まで上昇している。さらにそれ以後12箇月までは同じ値になっている。また、防食仕様No.2のC R系塗膜の場合、変動荷重試験によって早期に塗膜にわかれが発生したため  $\tan \delta$  値が急激に高くなっているが、静漫漬試験では12箇月経過後も  $\tan \delta$  値は0.15以下であり、他の防食仕様塗膜と大差はないといえる。

#### (b) 塗膜欠陥と変動荷重下における耐久性の関係

塗膜に傷（人工欠陥）を付与した試験板に対して行った繰返し変動荷重試験約10箇月経過後の観察結果を表 2.2(5) に示す。また、比較のために実施している静漫漬試験の結果については、表 2.2(4) に併記した。

表 2.2(5) にも示すように、試験開始後約10箇月経過時において、繰返し数  $N = 4.21 \times 10^6$  であるが、塗膜に付与した横傷、縦傷の試験板いずれにも、傷の進展や破断が見られず良好なものは防食仕様No.4 (I Z + T E系) とNo.5 (P E系) の2種である。

防食仕様No.1 (T E系) の横傷の試験板では傷の進展は見受けられなかつたが、繰返し数  $N = 3.42 \times 10^6$  の時点で傷部からの破断が見られた。（図 2.2(5) 参照）一方、縦傷の場合、傷部にさびの発生は見られるが、傷の進展や試験板の破断は起こっていない。また、この仕様の静漫漬試験板においても、傷部周辺にふくれの発生や傷部にはさびの発生が比較的早期に見られている。これらのことから判断して、T E系塗膜において、素地に達する傷が生じた場合、長期にわたる防食効果は期待できず、しかも $20\text{kgf/mm}^2$  もの曲げ荷重が負荷された場合、傷の方向によっては比較的早く破損にいたることが推察される。なお、傷部からの孔食の度合や破断部の顕微鏡観察については検討する予定である。

防食仕様No.2 (C R系) では横傷や縦傷に関係なく比較的早く塗膜にわかれが発生し、横傷の試験板は傷部に全く関係のないわれの部分から破断した。この破断の位置は無傷の変動荷重の場合とよく似た場所である。したがって、C R系仕様の塗膜は繰返し変動荷重 ( $\pm 20\text{kgf/mm}^2$ ) に対して耐久性に欠ける塗膜であるといえる。

さらに防食仕様No.6 (P E F系) の場合、横傷を付与した試験板において、繰

返し数 $N = 2.56 \times 10^6$  の時点で横傷部からわれが進展しているのが見られ、繰返し数 $N = 4.1 \times 10^6$  の時点でこの横傷部から試験板が破断した。しかし、縦傷の塗膜では傷部の進展やわれの発生は見られていない。のことより、P E F 系塗膜は、T E 系塗膜と同様、素地に達する傷が生じた場合、 $20\text{kgf/mm}^2$  の曲げ荷重が繰返し負荷された場合、傷の方向によっては比較的早く破損することが予想される。

なお、防食仕様No.4 (I Z + T E 系) 以外の他の仕様塗膜では傷部からさび発生が見られているが防食仕様No.4の塗膜は変動荷重の有無にかかわらず、傷部にもさびの発生がない。これは I Z の防食効果によるものと思われ、今後どの程度の期間耐久性を有するか注目したいところである。

#### (c) 環境条件と変動荷重下における防食塗膜の耐久性

本項目においては、本年度に改造・設置した「繰返し応力付加試験装置(II)」を用いて、殺菌灯による紫外線照射条件下における各防食仕様塗膜の耐久性の評価・検討を開始した。

現在、殺菌灯による紫外線量を定量的に把握するため、既存の「光量時間積算調節計」と紫外線部のみのエネルギーを積算する「積算照度記録装置」とにより、紫外線照射量を一定時間測定し、積算カウント数と光エネルギー単位である光照射量  $\text{cal/cm}^2$  の関係を求めつつある。

#### (4) ま と め

5箇年計画の2年度に当る61年度においては、初年度に引き続き、5つの防食仕様塗膜に対し、無傷のもの及び人工的に塗膜傷を付与した試験板に対し、常温人工海水中において、曲げ荷重  $20\text{ kgf/mm}^2$  、繰返し速度10 cpmで繰返し変動荷重試験を継続実施してきた。

これらの結果を各防食仕様ごとに要約すると以下のとおりである。

- (i) 防食仕様No.1 (T E 系) では、塗膜が無傷の場合には、繰返し数 $N = 5.25 \times 10^6$  (約12箇月経過)においても塗膜に異常は見られず好良である。  
しかし、塗膜に横傷がある場合には横傷部から試験板が破断した。
- (ii) 防食仕様No.2 (C R 系) の塗膜は、塗膜の傷の有無や、傷の方向に関係なく、比較的早い時期に塗膜にわれが発生し、大きな塗膜われの部分から試験板の破断にい

たることが判明した。このことから、CR系塗膜は $20\text{ kgf/mm}^2$ の変動荷重には耐え得ないことがわかった。

(iii) 防食仕様No.4 (IZ+TE系)の塗膜は、膜厚や傷の有無にかかわらず、 $20\text{kgf/mm}^2$ の変動荷重に対して十分耐え、しかも、人工的に付与した傷部においても、下塗りIZ塗膜の防食作用によりさびの発生は見られない。

(iv) 防食仕様No.5 (PE系)の塗膜も、膜厚や傷の有無にかかわらず、 $20\text{kgf/mm}^2$ の変動荷重に耐えることが判明した。しかし、素地に達する傷部にはさびの発生が見られる。

(v) 防食仕様No.6 (PEF系)の塗膜では無傷の場合には膜厚に関係なく、 $20\text{kgf/mm}^2$ の変動荷重に耐えるが、塗膜傷がある場合にはその傷の方向によってはさらに傷部からわれが進展し、やがて試験板破断にいたることが判明した。

なお、本年度は上記以外に、紫外線照射条件下での繰返し変動荷重による塗膜の耐久性について検討すべく、試験装置を改造設置し、前述と同様、5種の防食仕様塗膜に対して実験を開始した。

表2.2(1) 繰返し変動荷重試験に供した防食仕様

防食仕様	基地 調整	S/P	塗回数と塗装材料					合計膜厚 [μm]	備考
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目		
No 1	Sh	I Z P	TE (220)	-	-	-	-	220	
No 2	Sh	I Z P	CR・A/C・HB (60)	CR・A/C・HB (60)	-	-	-	120	
No 4	Sh	I Z P	1Z (75)	ミスコート	TE (250)	-	-	325	
No 5	Sh	I Z P	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・T/S (40)	PE・T/S (40)	380	
No 6	Sd	-	PEF (650)	PEF (650)	-	-	-	1300	

(注) 1) 基地調整の種類と略号; SH:ショットブラスト、 Sd:サンドブラスト

2) ミスコートは3回目塗料を専用シンナーで希釈したものを使いた。

表2.2(2) 繰返し疲労荷重試験装置とその概略仕様

試験装置の名稱 仕様項目	「繰返し曲げ荷重試験装置」	「繰返し応力付加試験装置(Ⅰ)」	「繰返し応力付加試験装置(Ⅱ)」
(1) 電 源	220V×60Hz	220V×60Hz	220V×60Hz
(2) 試験片取付可能枚数	6枚×2列=12枚	6枚×2列=12枚	3枚×2列=6枚
(3) ストローク寸法	±30mm	±30mm	±30mm
(4) ストローク回数	1~10cpm	1~10cpm	1~10cpm
(5) 繰返し数 積算カウンター	7桁(10 <sup>7</sup> )	7桁(10 <sup>7</sup> )	7桁(10 <sup>7</sup> )
(6) 試験槽の材質	SUS 304	SUS 304	SUS 304
(7) 調整可能な試験環境	◆ 試験液の温度条件 (0~30°C) の調整が可	◆ 試験液の温度は 常温(室温)のみ	◆ 紫外線灯(殺菌灯)による 照射が可 ◆ 紫外線灯架台を除去すれば 常温試験液が可
(8) 備 考 (製造・改造年など)	昭和60年 新設	昭和55年 SR182部会で新設	昭和61年 改造設置

表2.2(3) 変動荷重下における各種防食塗膜の耐久性(無傷塗膜)

試験板の種類	試験板繰返し (膜厚: $\mu\text{m}$ )	塗膜状態と 異常観察時の繰返し数 N		試験板破断の有無と 破断時の繰返し数 N
No 1 (TE系)	1 (224)	◎		◎
	2 (430)	◎		◎
No 2 (CR系)	1 (150)	$N = 8.36 \times 10^5$ 全面にわれ発生(約2箇月)		破断なし
	2 (235)	$N = 8.62 \times 10^5$ 大きなわれ数本(約2箇月)		破断 $N = 3.15 \times 10^6$ (約7箇月)
No 4 (IZ + TE系)	1 (400)	◎		◎
	2 (570)	◎		◎
No 5 (PE系)	1 (510)	◎		◎
	2 (735)	◎		◎
No 6 (PEF系)	1 (1050)	◎		◎
	2 (1750)	◎		◎
無塗装板 (裸軟鋼板)	1	————		破断 $N = 1.42 \times 10^6$
	2	————		破断 $N = 3.59 \times 10^6$

(注) (1) 繰返し数  $N = 5.25 \times 10^6$  (約12箇月経過) の時点で調査

(2) ◎印は塗膜に異常が認められないことを示す。

表2.2(4) 静浸漬試験における塗膜外観調査結果

防食仕様	塗膜に付与した傷の有無	常温人工海水への浸漬期間		
		3箇月	6箇月	10箇月
No.1 (TE系)	無傷	◎	◎	◎
	有傷	傷周辺にふくれ数個 傷部からさび発生	同 左	同 左
No.2 (CR系)	無傷	◎	◎	◎
	有傷	傷周辺にふくれ 8mm 巾 傷部さび発生	傷周辺にふくれ 10mm 巾 傷部さび発生	同 左
No.4 (IZ+TE系)	無傷	◎	◎	◎
	有傷	傷部にもさびなし	同 左	同 左
No.5 (PE系)	無傷	◎	◎	◎
	有傷	傷部にさび発生	同 左	同 左
No.6 (PEF系)	無傷	◎	◎	◎
	有傷	傷部にさび発生	同 左	同 左

(備考) (1) 各防食仕様の試験板には、いずれも、薄膜と厚膜の塗装を行っているが、本調査結果ではその差が見られないため、まとめて示してある。

(2) 表中◎印はわれ、ふくれ及びさび発生が見られず、良好であることを示す。

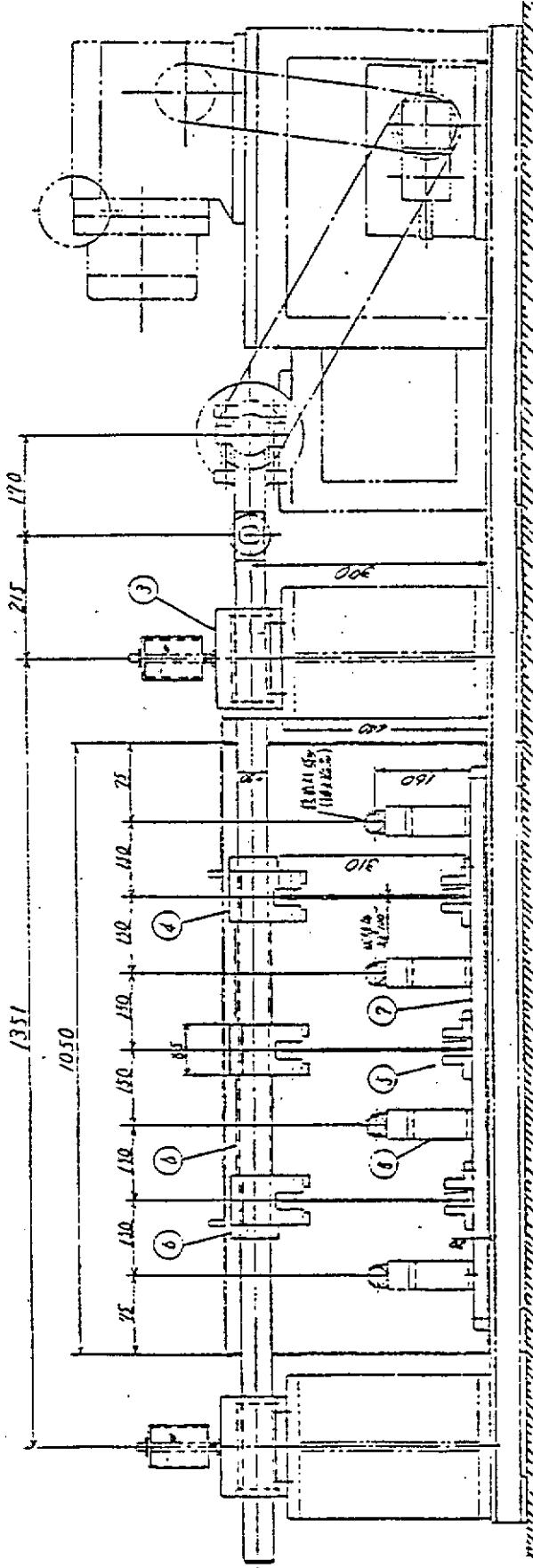
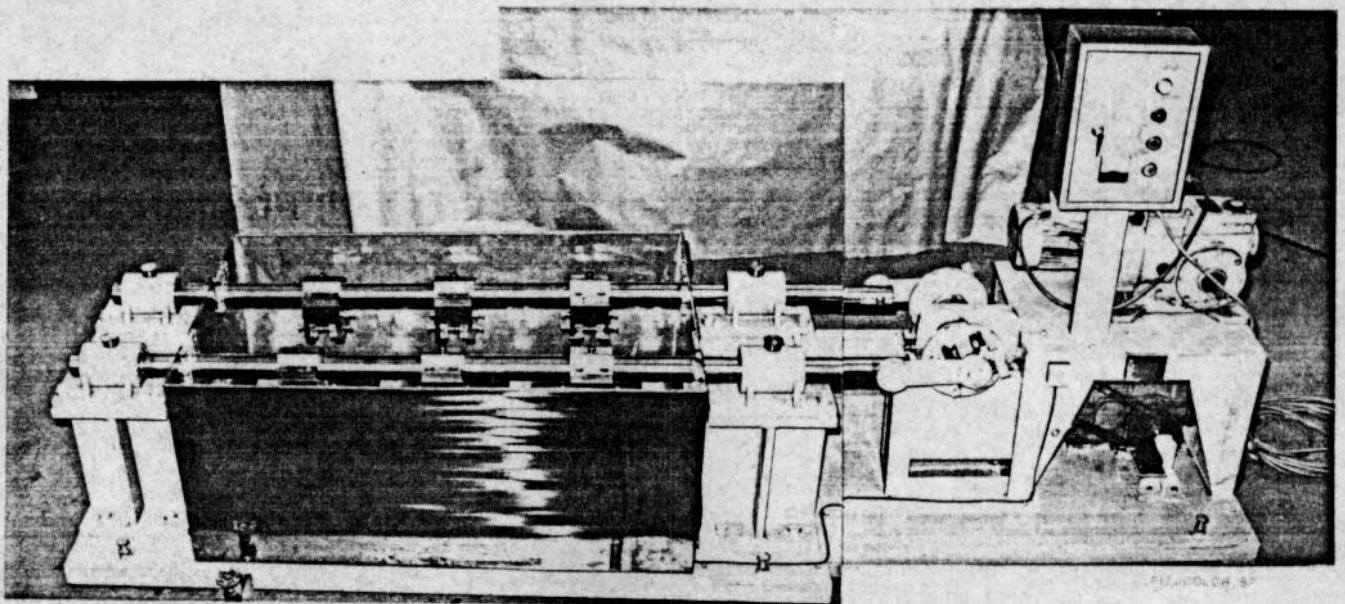
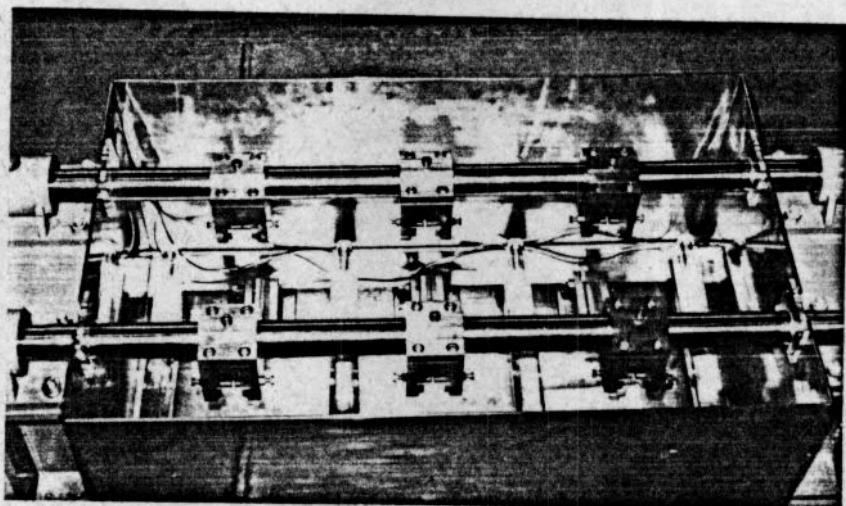


図 2.2(1) 「繰返し応力付加試験装置（II）」（紫外線照射装置追加改造）

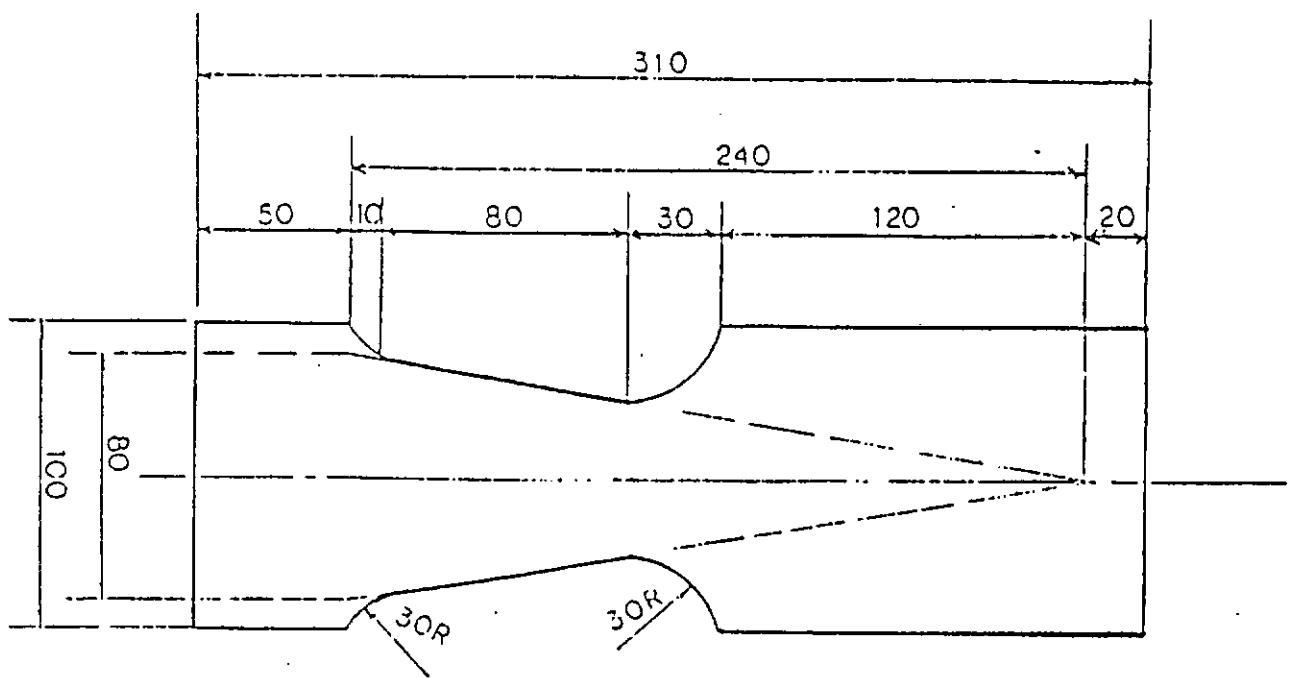


(A) 試験装置外観



(B) 紫外線殺菌灯取付状況

図 2.2(2) 繰返し応力付加試験装置 (II)



(注) 板厚 3.2mm

図 2.2(3) 繰返し曲げ荷重試験用試験板の形状

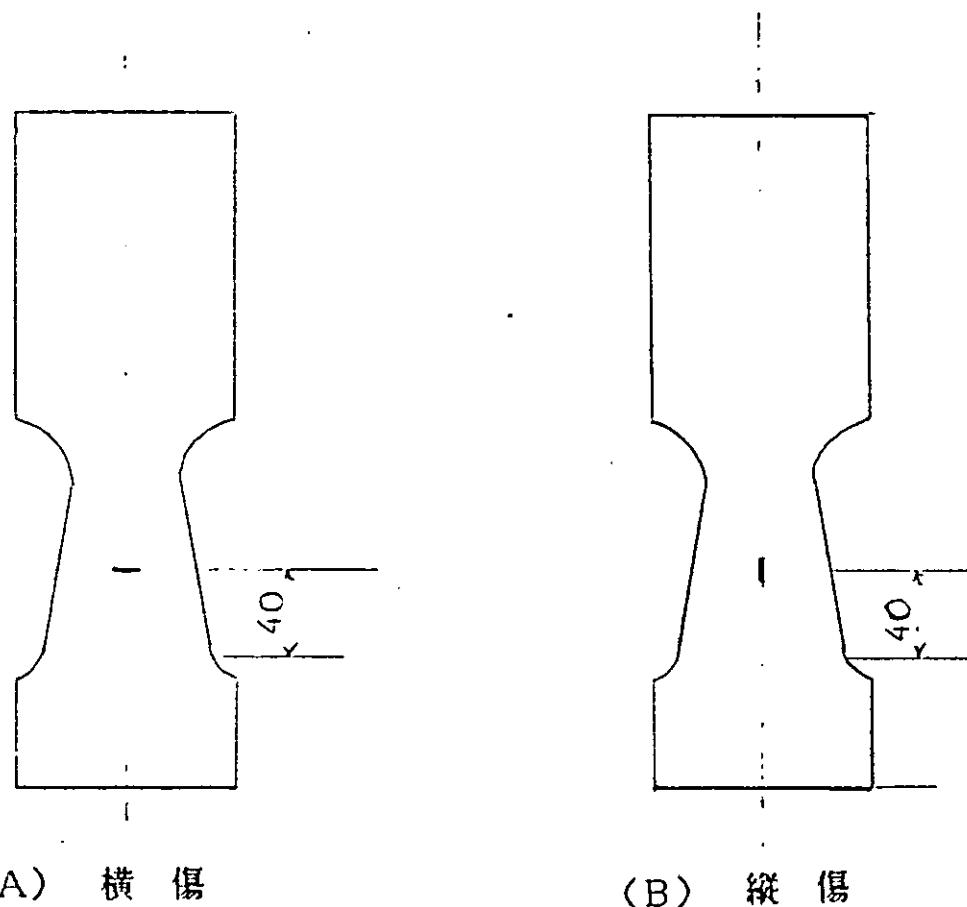
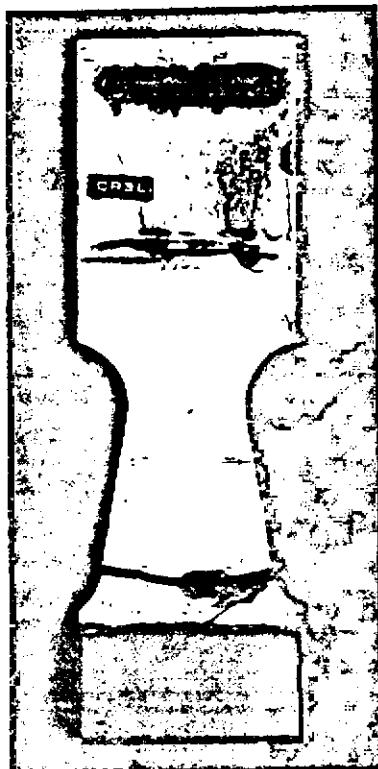


図 2.2(4) 塗膜に傷を付与した試験板

(上段・無傷試験板)



防食仕様 №2 (C R系)

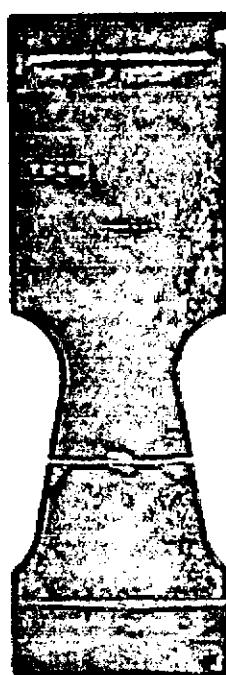
$3.15 \times 10^6$



無塗装板

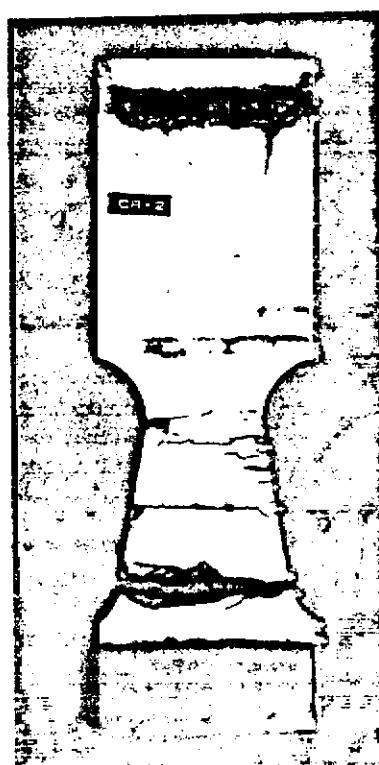
$3.59 \times 10^6$  破断した繰返し数

(下段・有傷試験板)

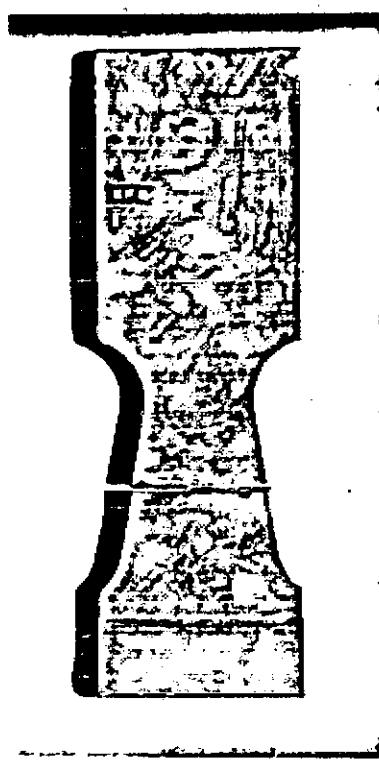


防食仕様 №1 (T E系) 防食仕様 №2 (C R系) 防食仕様 №6 (P E F系)

$3.42 \times 10^6$



$3.06 \times 10^6$



$4.10 \times 10^6$  破断した繰返し数

図 2.2(5) 繰返し変動荷重試験により破断した試験板の外観

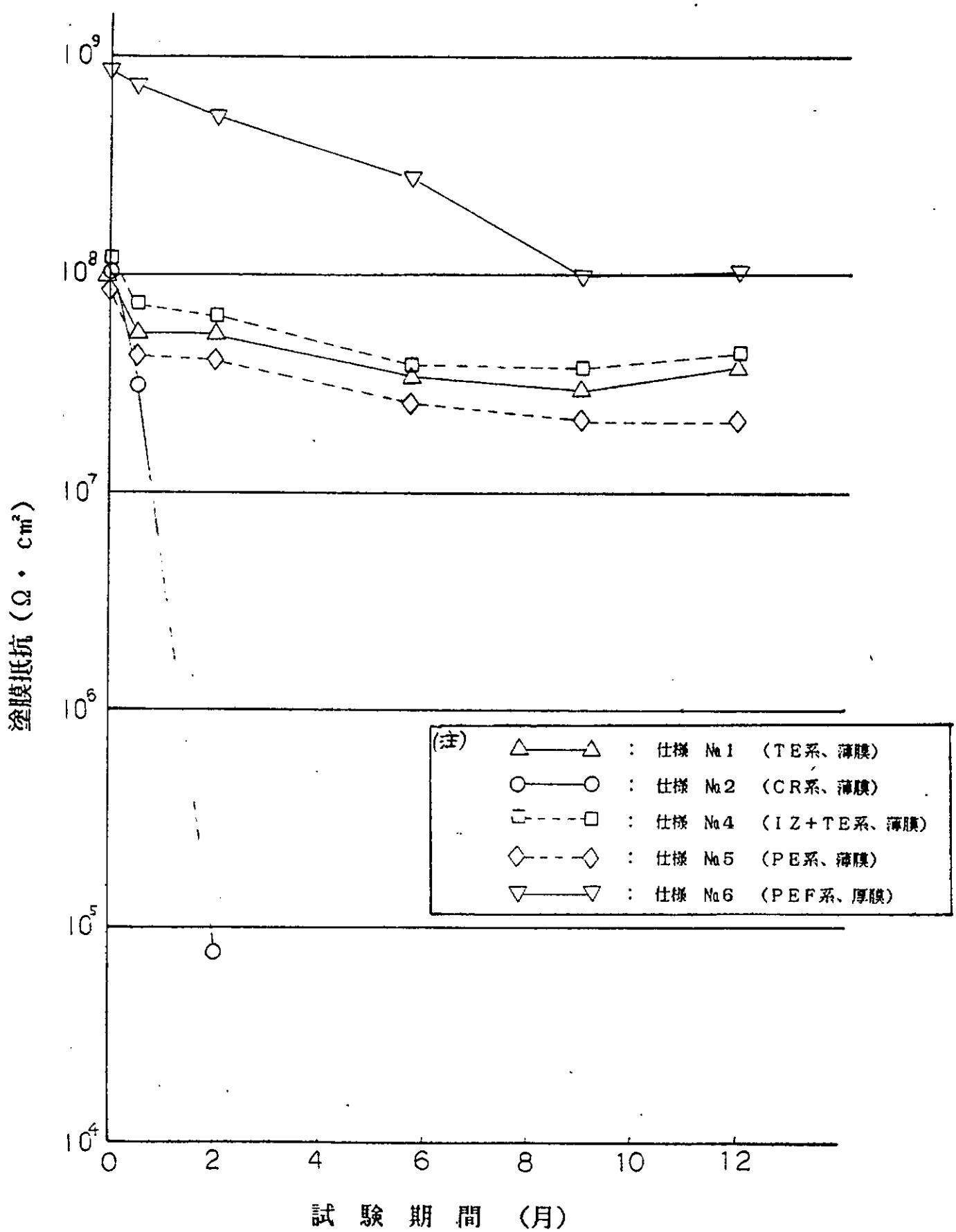
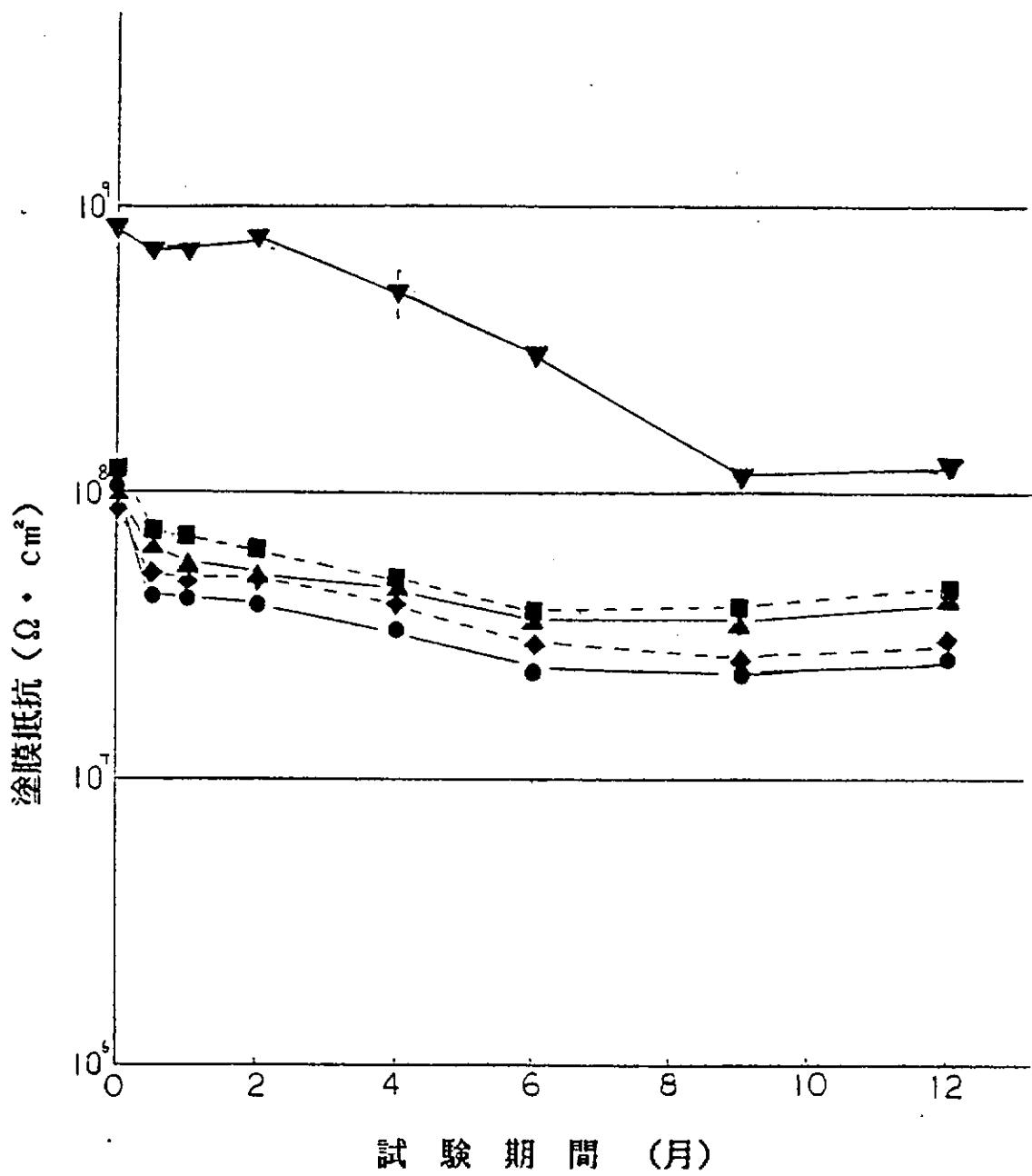


図 2.2(6) 繰返し変動荷重試験における塗膜抵抗の経時変化



(注)

▲—▲	: 防食仕様 №1 (TE系、薄膜)
●—●	: 防食仕様 №2 (CR系、薄膜)
■—■	: 防食仕様 №4 (IZ+TE系、薄膜)
◆—◆	: 防食仕様 №5 (PE系、薄膜)
▼—▼	: 防食仕様 №6 (PEF系、厚膜)

図 2.2(7) 静浸漬試験における塗膜抵抗の経時変化

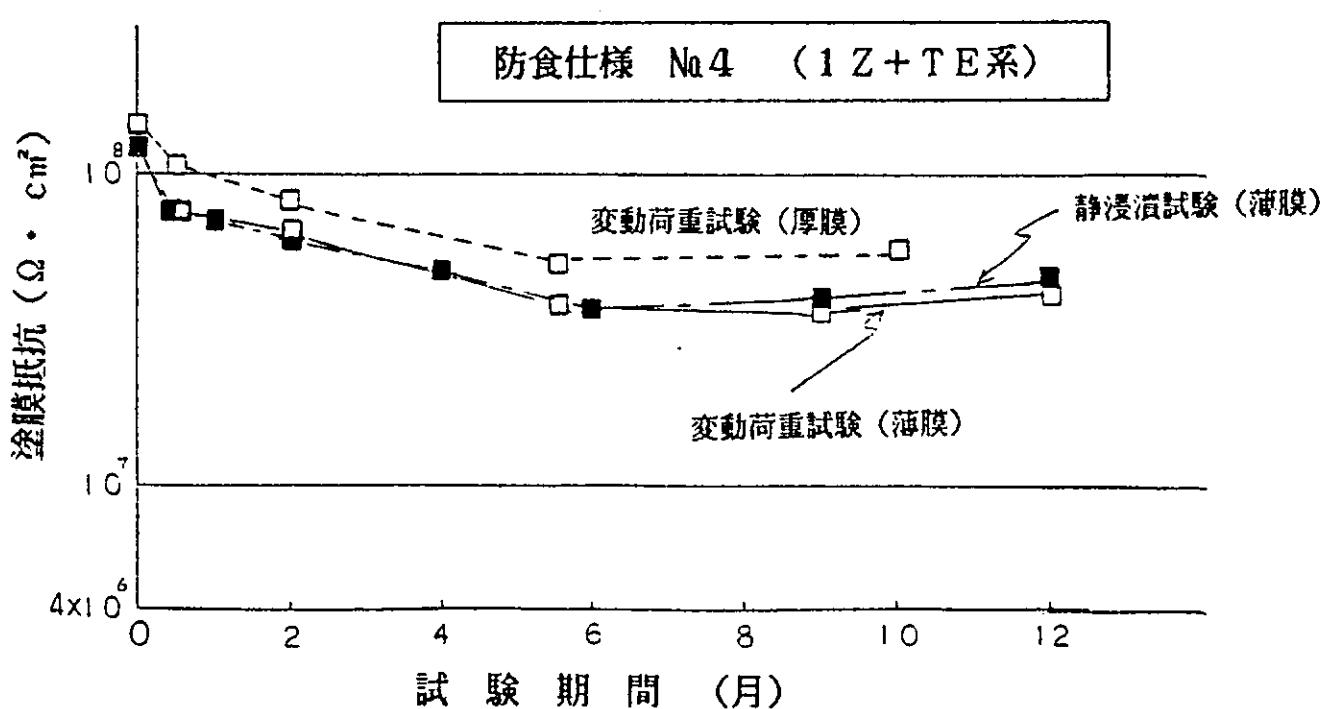
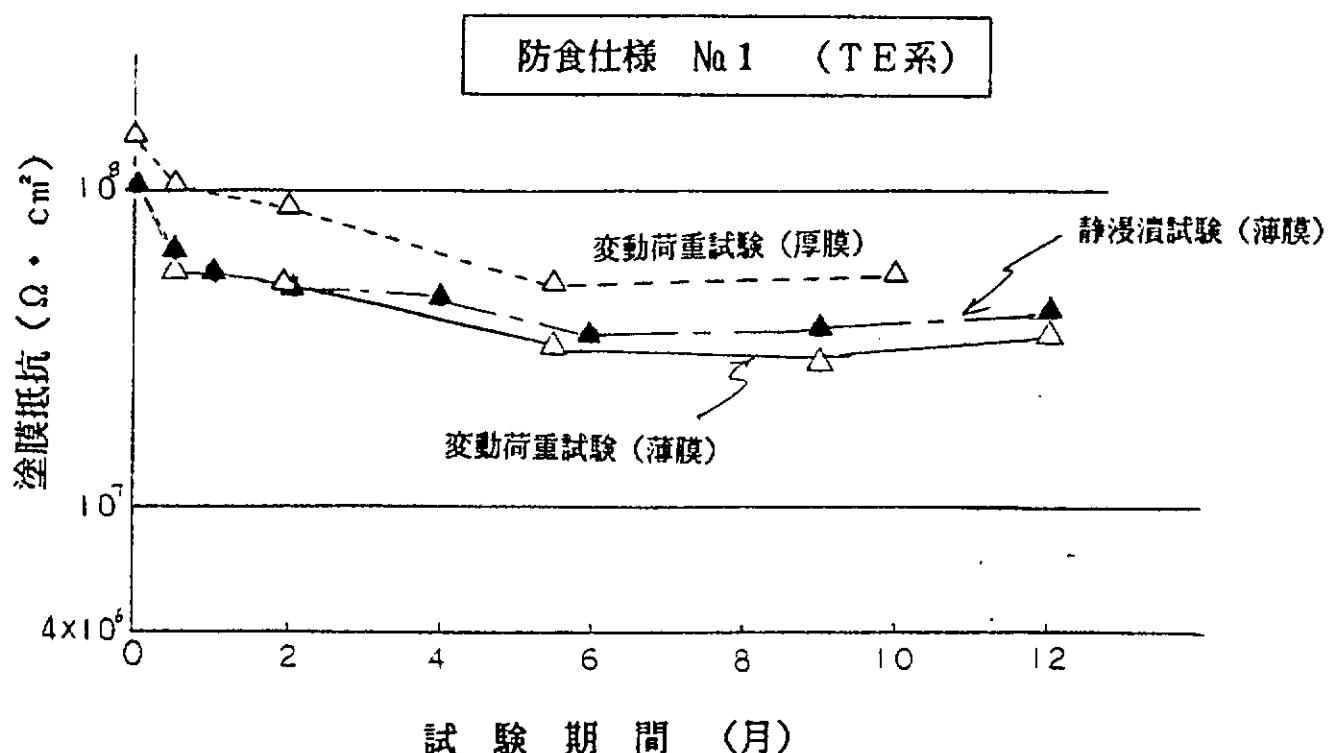


図 2.2(8) 塗膜抵抗の経時変化 (1)

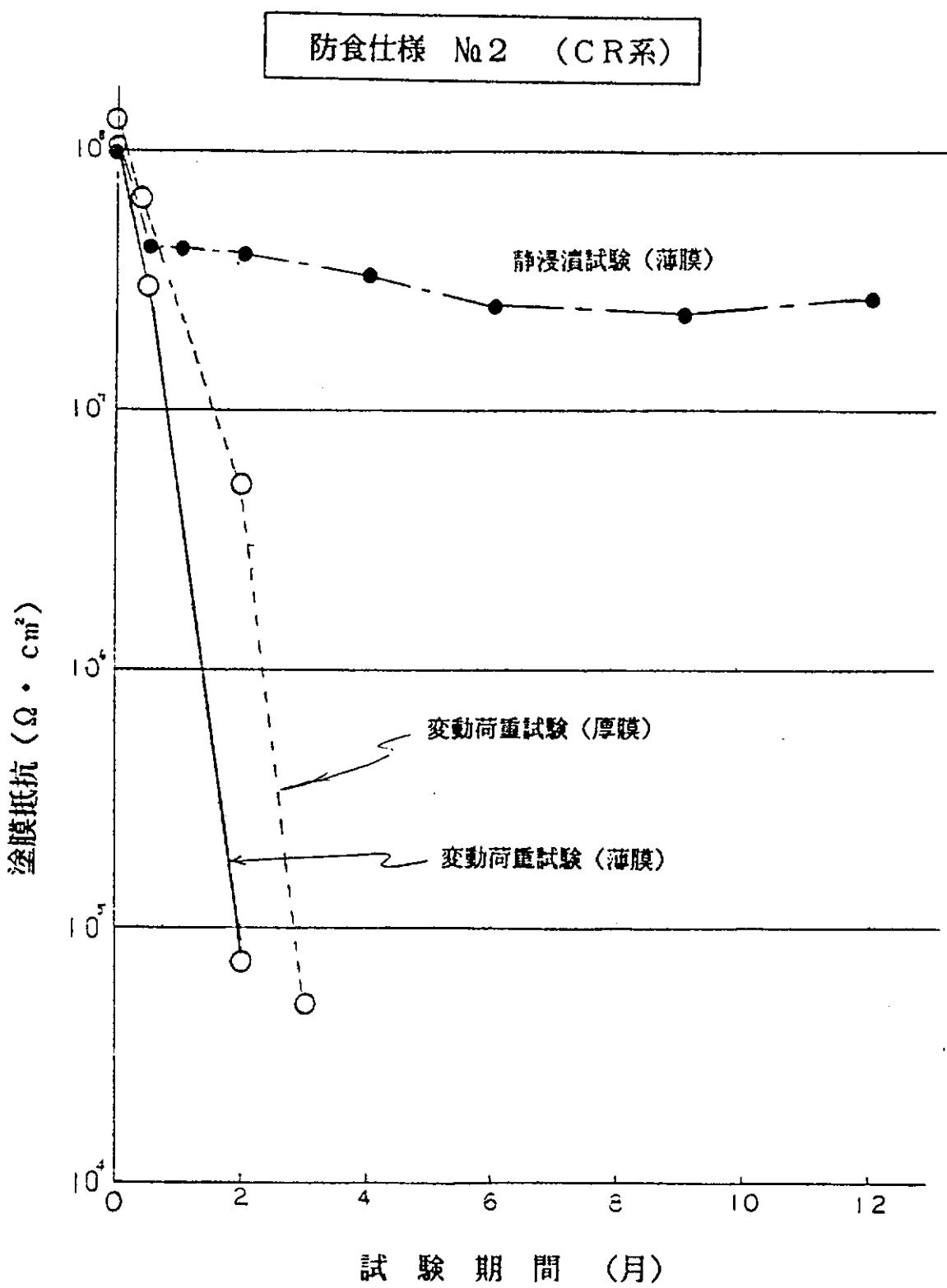


図 2.2(8) 塗膜抵抗の経時変化 (2)

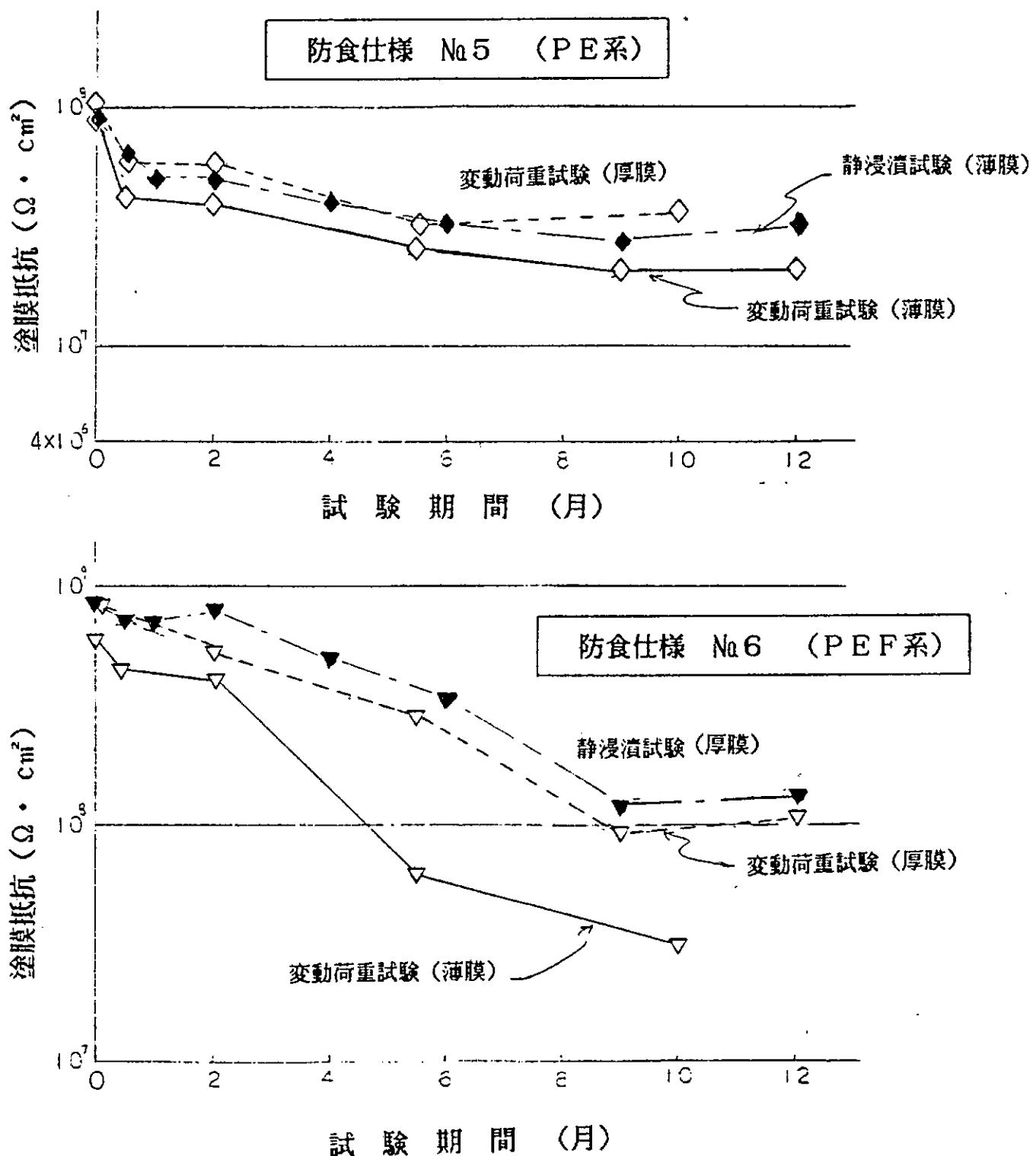


図 2.2(8) 塗膜抵抗の経時変化 (3)

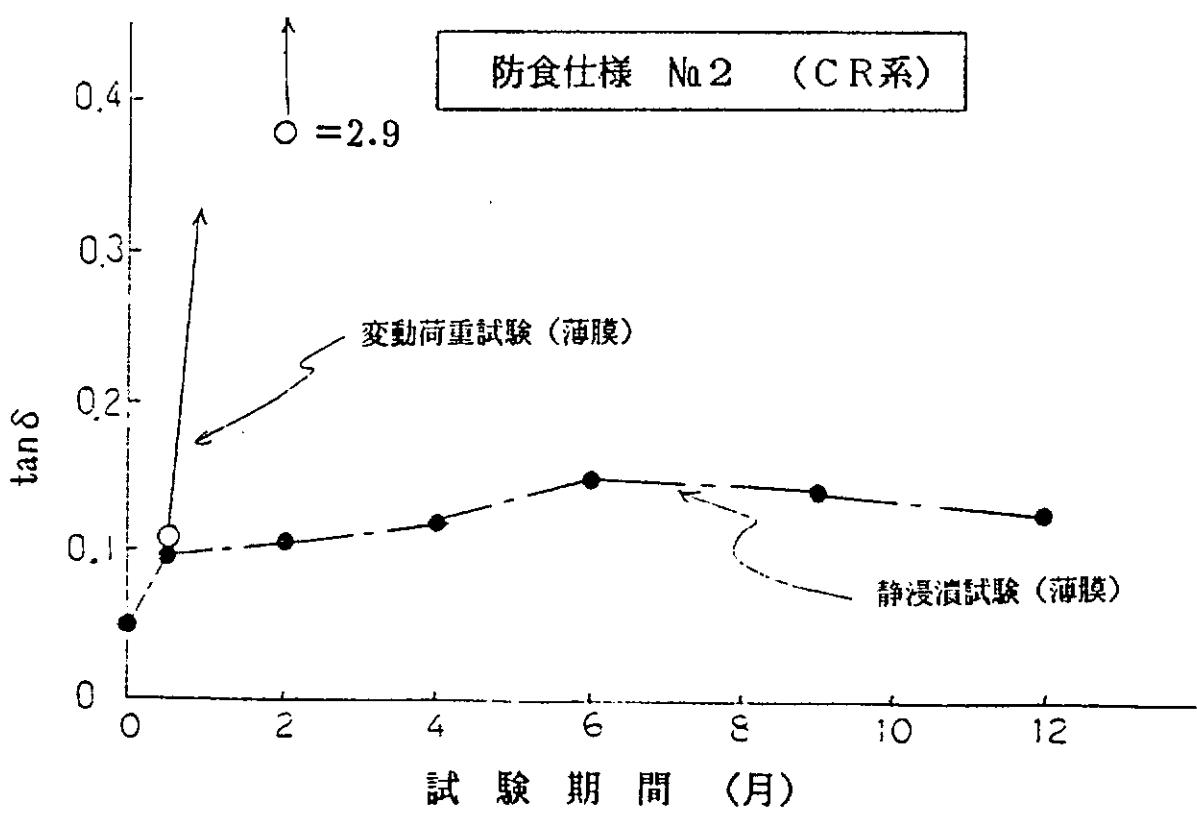
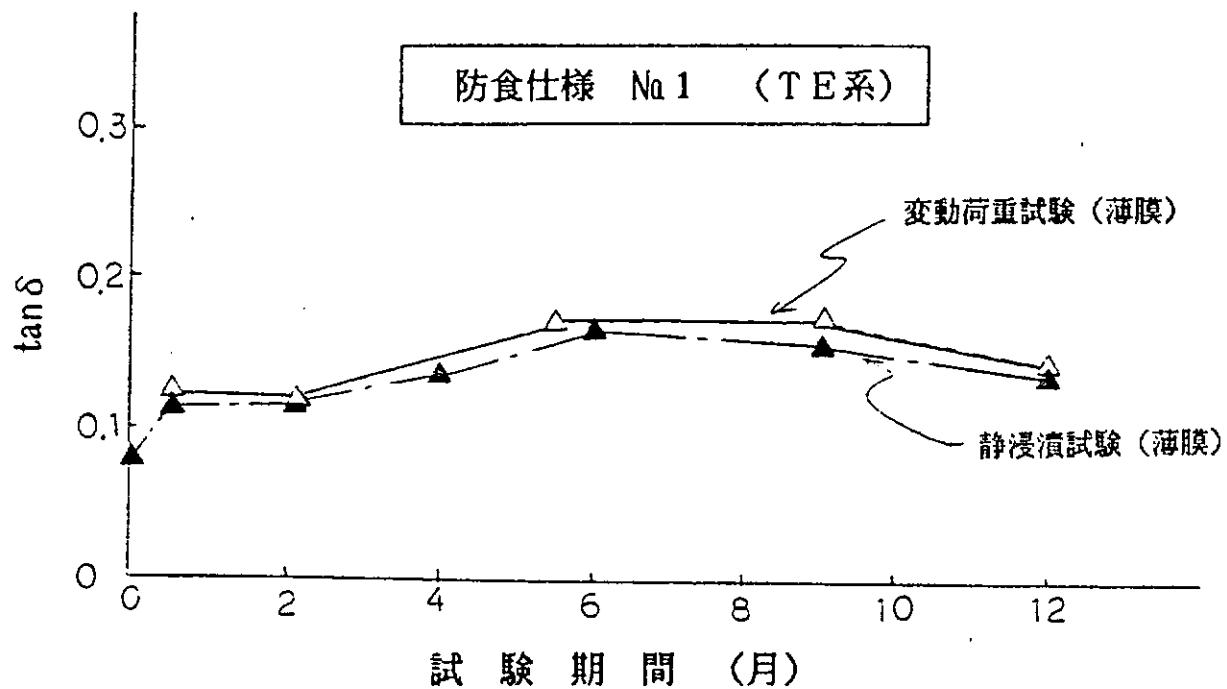


図 2.2(9)  $\tan \delta$  の経時変化 (1)

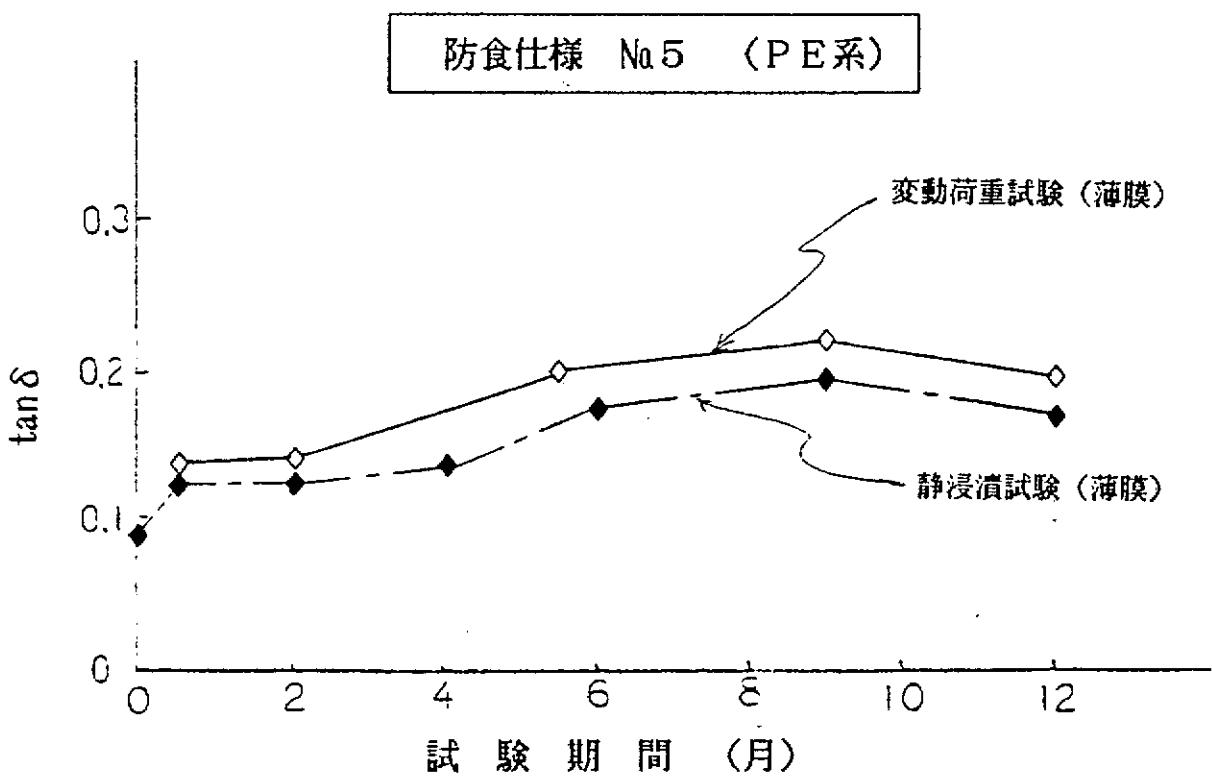
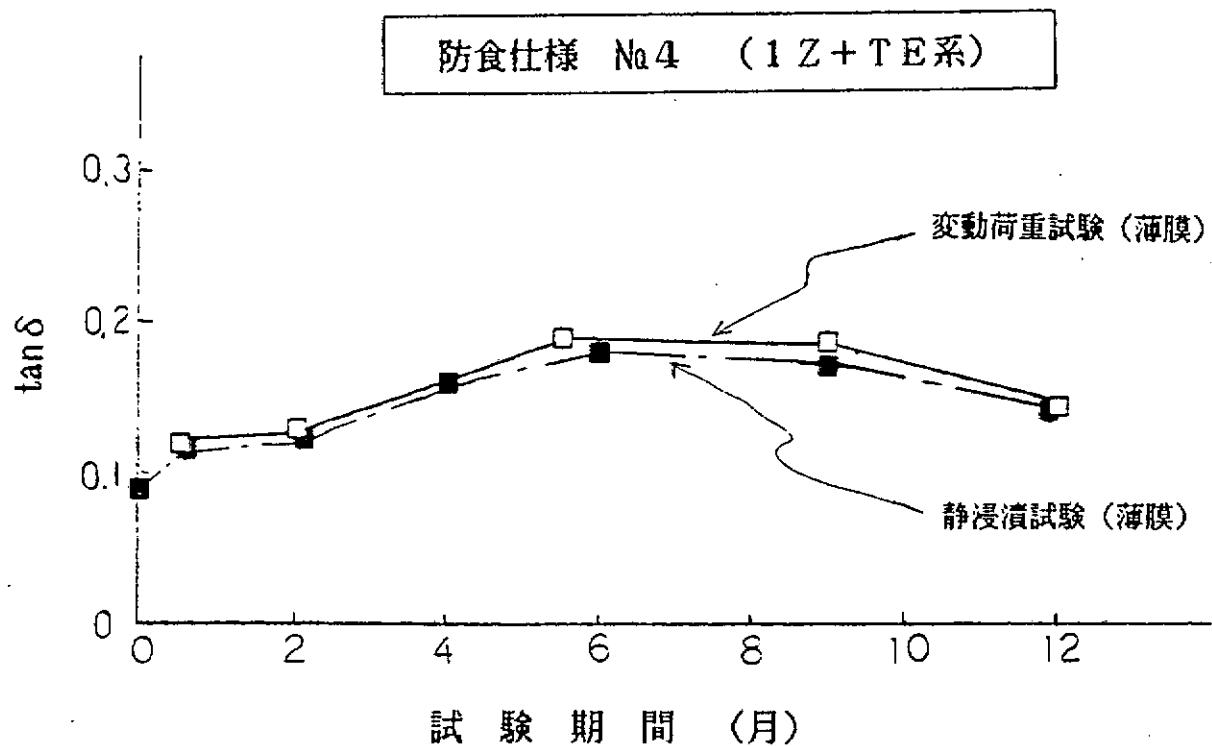


図 2.2(9)

$\tan \delta$  の経時変化 (2)

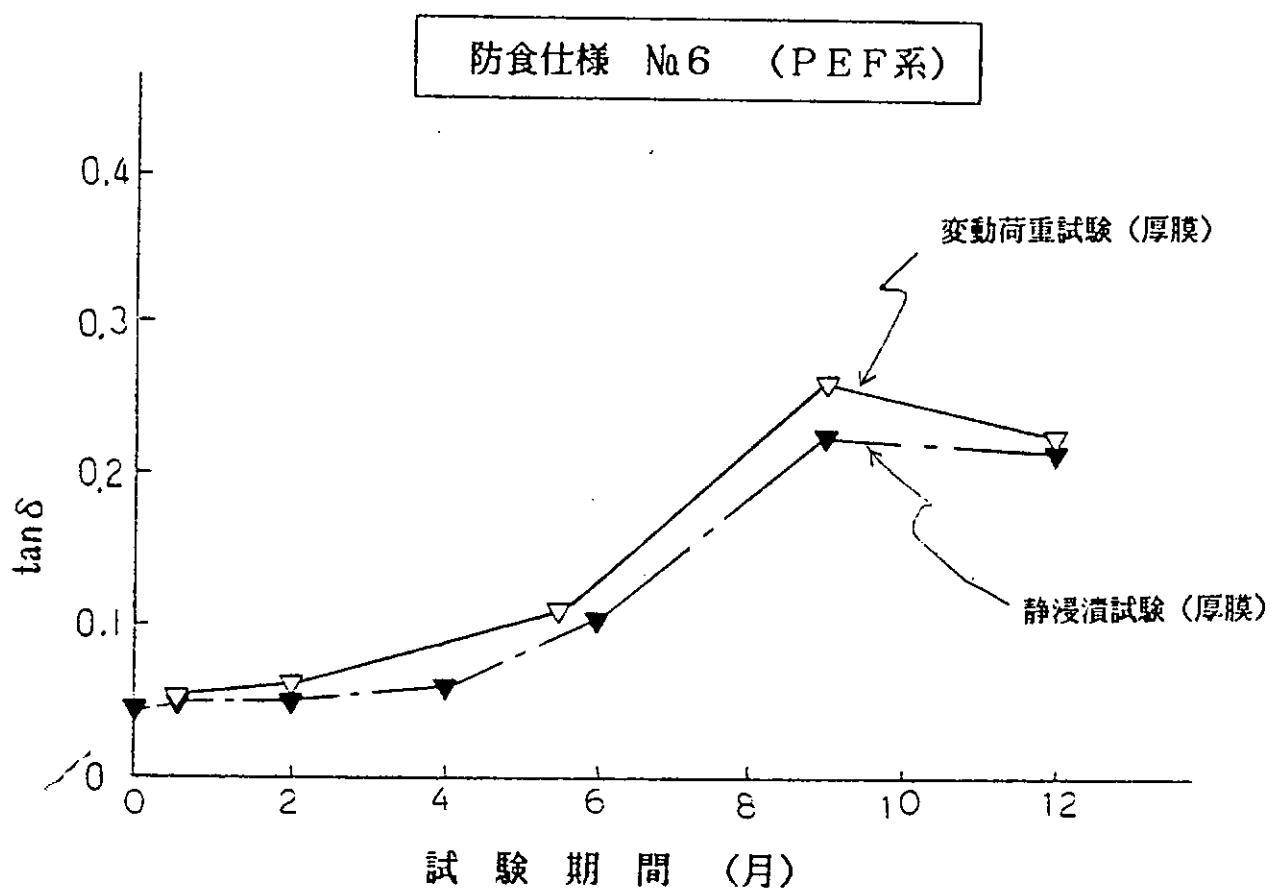


図 2.2(9)  $\tan \delta$  の経時変化 (3)

表2. 2 (5) 塗膜欠陥と変動荷重下における耐久性の関係

防食仕様	付与傷の種類	塗膜状態と異常観察時の繰返し数N	試験板破断の有無と破断時の繰返し数N	備考
No 1 (TE系)	横傷	傷部周辺に微妙ふくれ 傷部からさび発生	傷部から破断 $N = 3.42 \times 10^6$	写真参照
	縦傷	◎	◎	傷部にさび 発生
No 2 (CR系)	横傷	傷部周辺にふくれわれ 発生 $N = 7.92 \times 10^5$	傷部以外から破断 $N = 3.06 \times 10^6$	傷部及びわれ 部にさび発生
	縦傷	傷部周辺にふくれわれ 発生 $N = 1.96 \times 10^6$	(横方向全面にわれ 発生)	傷部及びわれ 部にさび発生
No 4 (IZ + TE系)	横傷	◎	◎	傷部にもさび なし
	縦傷	◎	◎	傷部にもさび なし
No 5 (PE系)	横傷	◎	◎	傷部にさび 発生
	縦傷	◎	◎	傷部にさび 発生
No 6 (PEF系)	横傷	傷に沿ってわれ発生 $N = 2.56 \times 10^6$	傷部から破断 $N = 4.10 \times 10^6$	傷部にさび 発生
	縦傷	◎	◎	傷部にさび 発生

(注) (1) 繰返し数  $N = 4.21 \times 10^6$  (約10箇月経過) の時点で調査。

(2) ◎印は塗膜に異常が認められないことを示す。

## 2. 3 変動及び衝撃荷重下の塗装材の腐食疲労への影響

### (1) 研究目的と概要

船舶や海洋構造物はしばしば波浪による繰り返し変動荷重と波濤による衝撃的な荷重を受け、これが塗膜の劣化を早めるとともに、腐食疲労寿命にも著しく影響すると考えられる。このような現象における塗膜の効果を使用条件とかけ離れた条件の下での実験結果から推論することは甚だ困難である。従って、本分担研究計画では比較的小さな確率で生じる大荷重の影響、あるいは衝撃的荷重の影響で塗膜が比較的早く破損すると思われる実働荷重を模した荷重下の塗膜の性能及び破損による腐食疲労寿命に及ぼす影響を検討する目的で昭和60年度より実施された。本年度はその2年目に当たり、昨年試作したパルスモーター制御による複数試験片腐食疲労試験機<sup>1)</sup>を用い各種塗装材の塗膜の耐久性ならびに疲労に及ぼす影響について検討した。

### (2) 試験方法

#### (a) 供試材と防食仕様

本研究項目での供試材及び防食仕様は昨年度と同様であり、供試母材としてJISG3101規格軟鋼板SS41（板厚3.2mm）を用いその化学成分と機械的性質を表2.3.(1)に示すが、一部前節2.2で用いた同種の軟鋼板も使用した。また、防食仕様は表2.3.(2)に示す。

#### (b) 試験片形状及び試験条件

試験片形状及び寸法も昨年と同様なもので、図2.3.(1)に示されるものをAタイプ、その1/2スケールのものをBタイプと呼ぶことにする。試験条件は下記のように設定し複数試験片腐食疲労試験機（Aタイプ試験片用）、繰り返し衝撃重畠試験機（Bタイプ試験片用）を使用し試験を継続した。また、塗装材の腐食疲労強度と裸材の疲労強度を比較するため、Aタイプの試験片を用い大気中と人工海水中で裸材の疲労試験を行った。

- 1)荷重形式：両振り板曲げ【変位制御】
- 2)一次波 :  $\sigma_N = \pm 20 \text{kgf/mm}^2 (\pm 20.15 \text{kgf/mm}^2)$  [10cpm]
- 3)二次波 :  $\sigma_1 = \pm 5 \text{kgf/mm}^2 (\pm 4.2 \text{kgf/mm}^2)$  [60Hz]
- 4)腐食環境：人工海水中
- 5)腐食温度：30°C (室温) ( ) 内は繰り返し衝撃重畠試験機

### (c) 塗膜の交流インピーダンス測定

塗膜の耐久性を電気化学的に検討するため、試験片母材／塗膜／腐食液／電極からなる電池の内部抵抗を測定する方法として、F.Wormell<sup>2)</sup>等は直流法の分極による障害をさけた交流法の適用を提案している。そこで本研究でも変動及び衝撃荷重下における各種防食仕様の塗膜の交流インピーダンスを測定した。塗膜の等価回路はその劣化と共に複雑になると考えられるがここでは単純に塗膜の電気抵抗  $R_x$  と容量  $C_x$  の並列回路としている。測定器は塗装実環境の現場で測定可能な携帯用の防食塗膜試験器(新電子工業KK,CJA-3型)を用いた。3%食塩水にカルボメチルセルロース(CMC)を3%溶解して調整した伝導糊を用い、アルミ箔(0.015t\*50\*50mm)を塗膜表面に貼付し約2時間放置した後、測定周波数、0.2, 0.5, 1.0kHzについての塗膜の抵抗と容量を測定した。また、これらの結果から  $\tan \delta$  を次式より求めた。

$$\tan \delta = 1 / (2\pi f C_x R_x) \quad (1)$$

$\pi$  = 円周率

$f$  = 測定発振周波数

$C_x$  = 電気容量 (F)

$R_x$  = 電気抵抗 ( $\Omega$ )

### (3) 試験結果及び試験経過状況

#### (a) 試験実施状況と塗膜の表面観察

防食仕様No.1,2,4,5,6でAタイプ試験片を用い、図2.3.(2)に示す応力波形で  $\sigma_N = 20 \text{kgf/mm}^2$ ,  $\sigma_1 = 5 \text{kgf/mm}^2$  で試験中であり約9.5ヶ月( $N=4.1 \times 10^5$ )を経過している。防食仕様No.1と6の試験片はそれぞれ  $N=6.83 \times 10^5$  (1.58ヶ月),  $N=1.41 \times 10^5$  (3.27ヶ月)で破損した。破損箇所周辺部の塗膜はいずれも良好に見えた

が膜厚の大きいNo.6の試験片は破損箇所から塗膜と母材の剥離が観測された。即ち塗膜の破損部分から海水が膜下に進入し、繰り返し荷重等で塗膜が剥離し疲労寿命を低下させたものと考えられる。

また、破損していない塗装材では、防食仕様No.2の塩化ゴム系の試験片については塗膜に無数の割れが観測出来るがそのほかの塗膜面は良好に見える。

同様にBタイプの試験片における衝撃重畠試験でも塩化ゴム系塗膜に比較的早い時期に割れが生じている。

### (b) 各種防食仕様での塗膜の耐久性

#### (i) 塗膜の交流インピーダンス変化

#### (ii) 衝撃重畠荷重下における塗膜抵抗の経時変化

衝撃重畠荷重試験時 ( $\sigma_N = 20\text{Kgf/mm}^2$ ,  $\sigma_I = 5\text{Kgf/mm}^2$ ) の試験片取り付け部を図 2.3.(3)に示すが衝撃時の最大応力が引張り側をA面、圧縮側をB面とし、それぞれの塗膜抵抗の経時変化を5種類の防食仕様の試験片について図 2.3.(5), (6)に示す。また、同図に裸材(無塗装)の $\sigma_N = 20\text{Kgf/mm}^2$ における大気中の疲労寿命 $N_f$ を比較のために示す。まず、A面、B面の違いによる塗膜抵抗の経時変化に差はないことが判る。

膜厚の大きいP E F (No.6)の試験片は初期抵抗値、 $10^9 \Omega \text{cm}^2$ と大きいが約2カ月後 $10^8 \Omega \text{cm}^2$ となり塗膜面に割れを生じて $N_f$ よりも早く破損した。

また、全体的に大気中の疲労寿命に近づくにつれて塗膜抵抗はわずかであるが下がる傾向にある。5種類の防食仕様の塗膜の抵抗を比較すると塩化ゴム系塗膜 (No.2) が最も抵抗値が小さいことが判る。

次に、無負荷時、正弦波形 ( $\sigma_N$ ) 時及び衝撃重畠波形時の5塗膜抵抗の経時変化を比較して図 2.3.(7),(8)に示す。これらを見ると現在までの試験期間では各塗装試験片に $\sigma_N = 20\text{Kgf/mm}^2$ の繰り返し応力が負荷し、または、それに1/10の回数で $\sigma_I = 5\text{Kgf/mm}^2$ の衝撃応力が重畠しても塗膜抵抗はそれほど変化していない。

T E (No.1), P E F (No.6)の試験片はすでに破損しているにもかかわらず急激な抵抗変化が現れないのはインピーダンスの連続計測が出来ないことと測定位置と破損箇所が必ずしも一致していないためと思われる。

Bタイプ試験片については図 2.3.(4)の衝撃重畠波形で試験を行いその塗膜抵抗と容量の経時変化を図 2.3.(9)に示すが前述した結果と類似している。

(d)  $\tan \delta$  の経時変化

各種防食塗膜の衝撃重疊荷重下における  $\tan \delta$  の変化を測定周波数に対してプロットしたものを図 2.3.(10)~(14)に示す。この結果を見ると各防食塗料とともに  $\tan \delta$  は測定周波数が低くなると高くなり容量成分の依存性が考えられる。また、測定周波数 1 KHz で求めた各塗膜の  $\tan \delta$  の経時（応力繰り返し数）変化を図 2.3.(15)に示すが母材の破損寿命、 $N_a$  の近くより増加し、それを過ぎると減少する傾向である。これは塗膜抵抗の減少より容量の増加が大きいことを示しているがさらに詳細な検討が必要であると思われる。

同様に B タイプ試験片の  $\tan \delta$  の経時変化を図 2.3.(16),(17)に示すが A タイプ試験片と類似した結果を示している。

## (e) 周波数特性に関する塗膜抵抗の経時変化

塗膜の交流インピーダンス測定には測定周波数による塗膜抵抗の変化から容量成分の挙動もある程度の予測が出来る。即ち、塗膜の等価回路として単純に考えれば抵抗と容量の並列回路となり、塗膜の劣化面積が増加すると容量成分が増え測定周波数に対して抵抗がそれほど変化しない傾向を示す。

各塗膜の抵抗及び容量を測定周波数に対して示すと図 2.3.(18),(19)のようになる。健全な塗膜については、例えば TE (No.1) のように測定周波数が小さいと  $R_x$  は大きくなり、 $C_x$  はそれほど変化しない場合である。ここで、図 2.3.(18),(19)の結果より  $R_x (\Omega \text{cm}^2)$  は測定周波数  $f (\text{kHz})$  に対して次式が成立する。

$$R_x = A f^{-m} \quad (2)$$

A.  $m$  は環境、塗膜の劣化状態等による定数

測定周波数 1 kHz 時の  $R_x$  を  $R_{x1}$  として、測定周波数を考慮した抵抗、 $R_f$  を

$$R_f = R_{x1} (1 + m) \quad (3)$$

と定義し、それぞれの経過時間毎の  $R_f$  と  $R_{x1}$  の関係を示すと図 2.3.(20)のようになる。

各防食仕様塗膜とも試験開始直後に求めた  $m = 0.4$  にはほぼ一致している。塗膜の劣化とともに  $m = 0$  の線に近づくと予想されるが現在までの結果では塗膜の急激な異常はないと云える。

### (ii) 塗装材の腐食疲労寿命

#### (イ) 裸材(無塗装)のS～N線図

疲労強度の基礎的な資料を得るために裸材の試験片(Aタイプ)を用い、応力繰り返し速度を300cpmとして常温大気中と人工海水中 30,60°Cという条件下で疲労試験を行った実験結果を図 2.3.(21)に示す。また、温度一定(30°C)で、応力繰り返し速度 30,300cpmという条件下での結果を図 2.3.(22)に示す。腐食疲労寿命に及ぼす応力繰り返し速度と海水温度の影響が顕著であることを示している。

#### (ロ) 塗装材のS-N線図

現在までに得られた結果を図 2.3.(21)に示したが、まだ試験データ数が少ないので全体的な評価はできない。

#### (c) 塗膜のインピーダンス計測用プログラムの開発

塗膜の等価回路はその劣化とともに複雑になることが予測され単純な抵抗と容量の並列回路としてだけで考えると無理があると考えられる。そこで、交流インピーダンス法を用いて測定回路(塗膜)の各測定周波数の時の電位と電流の位相差から抵抗及び容量成分を検出するプログラムを開発中であり、現在予備的な試験を行っている。

### (4) むすび

昨年度製作した複数試験片疲労試験機を用い、海水中の塗装材の変動及び衝撃重畠試験により塗膜面の観察及び交流インピーダンス等の基礎的データの収集とそれらの結果について検討した。現在、試験開始後10ヶ月を経過しているが、各種防食仕様における塗膜の劣化は塩化ゴム系塗料を除いて明確に現れていない。また、破損箇所とインピーダンス計測位置の相違など今後に問題を残した。

### 参考文献

- 1) 日本造船研究協会資料, 第201研究部会,'塗膜の耐久性評価法に関する調査研究', 昭和60年度報告書(1986)
- 2) F.Wormwell,D.M.Brasher;Electrochemical Studies of Protective Coatings on Metals,Journal of The Iron & Steel Institute,1950

	Chemical Composition (%)					Mechanical Properties		
	C	Si	Mn	P	S	$\sigma_B$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_Y$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	E1. (%)
JIS G3101 SS-41	0.18	0.16	0.45	0.023	0.019	47	29	38

表 2.3.(1) 化学成分と機械的性質

防食仕様	S/P	材料と塗回数					合計膜厚 ( $\mu m$ )
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
1	S h	I2P	T E				240
2	S h	I2P	CR-A/C-HB	CR-A/C-HB			170
4	S h	I2P	I Z	ミクロン	T E		410
5	S h	I2P	PE-A/C	PE-A/C	PE-A/C	PE-T/S	535
6	S d	I2P	PEF	PEF			1780

S h : ショットブラスト

S d : サンドブラスト

I2P : 無機ジンクアライマー

CR-A/C-HB : 塩化ゴム外板錆止塗料厚塗型

T E : タールエポキシ塗料

I Z : 無機ジンク塗料

PE-A/C : エポキシ外板錆止塗料

PE-T/S : エポキシ外板塗料

PEF : 防食ライニング材料

表 2.3.(2) 試験片の防食仕様

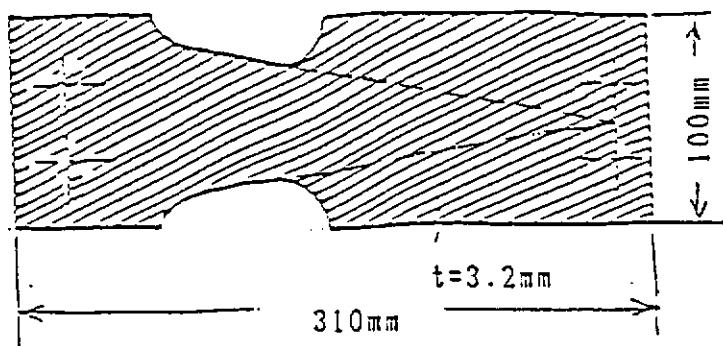


図 2.3.(1) 試験片形状及び寸法

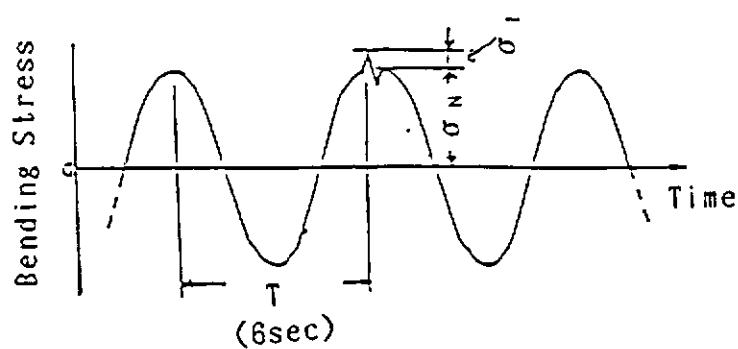


図 2.3.(2) 応力波形

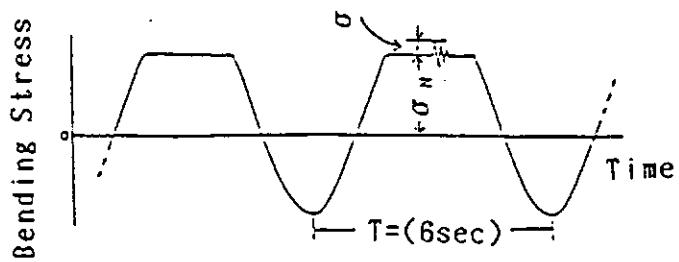
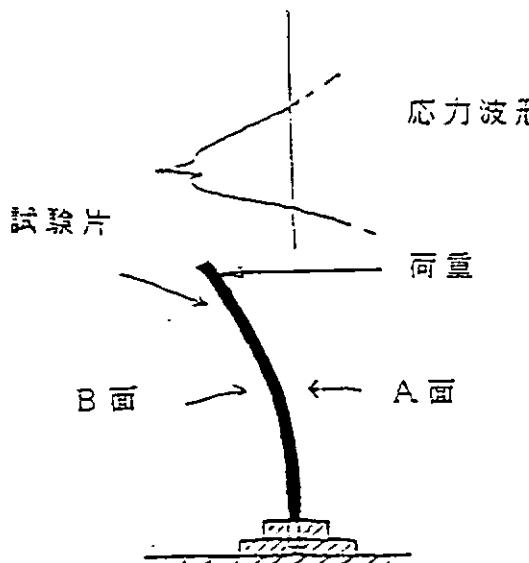


図 2.3.(4) 衝撃重畠波形

図 2.3.(3) 試験片取り付け部

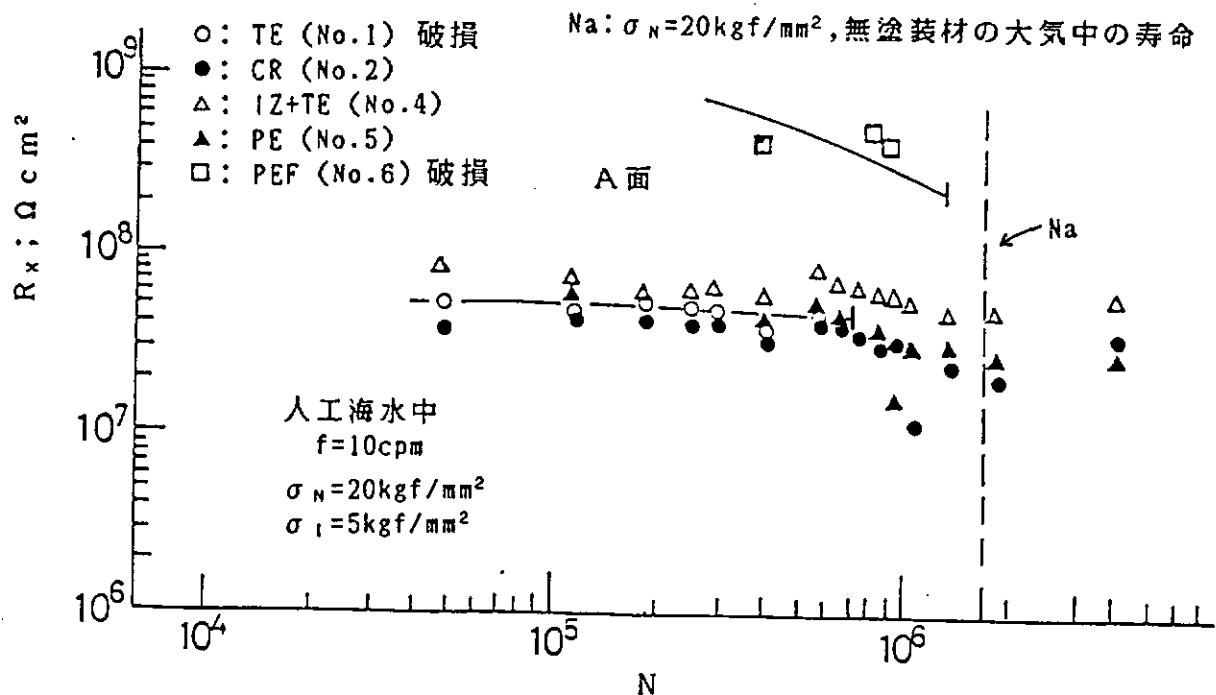


図 2.3.(5) 各種防食仕様の塗膜抵抗の変化 (A面)

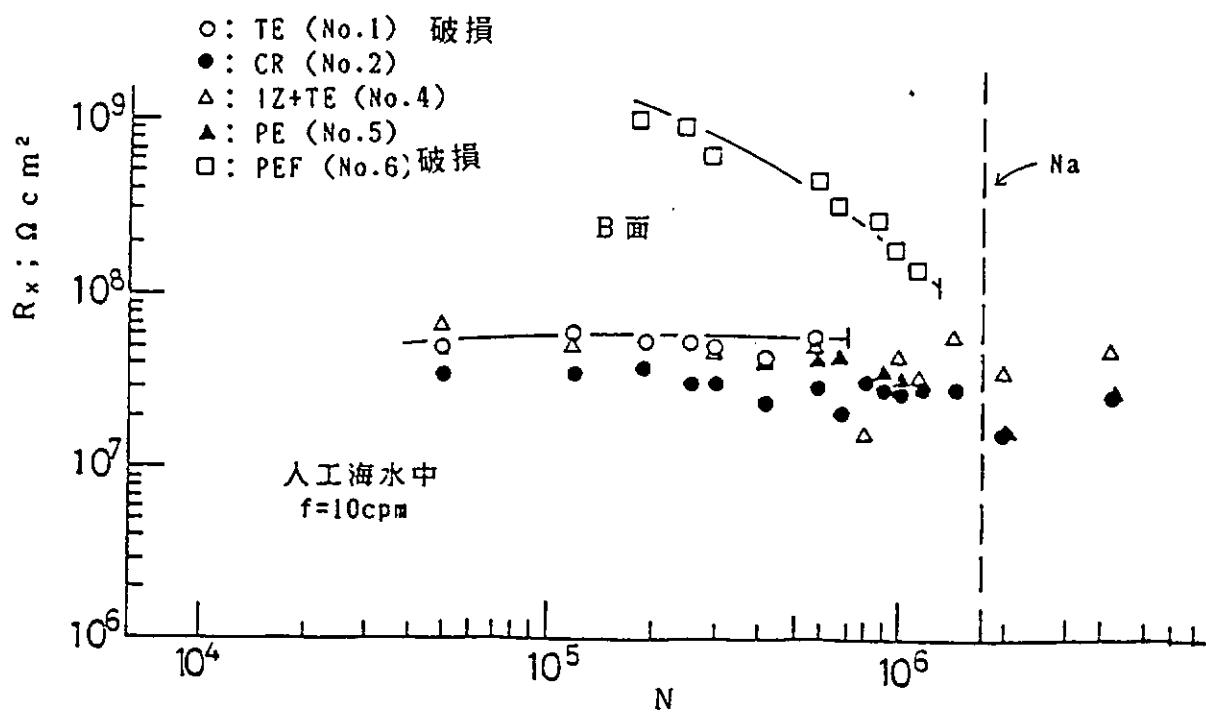


図 2.3.(6) 各種防食仕様の塗膜抵抗の変化 (B面)

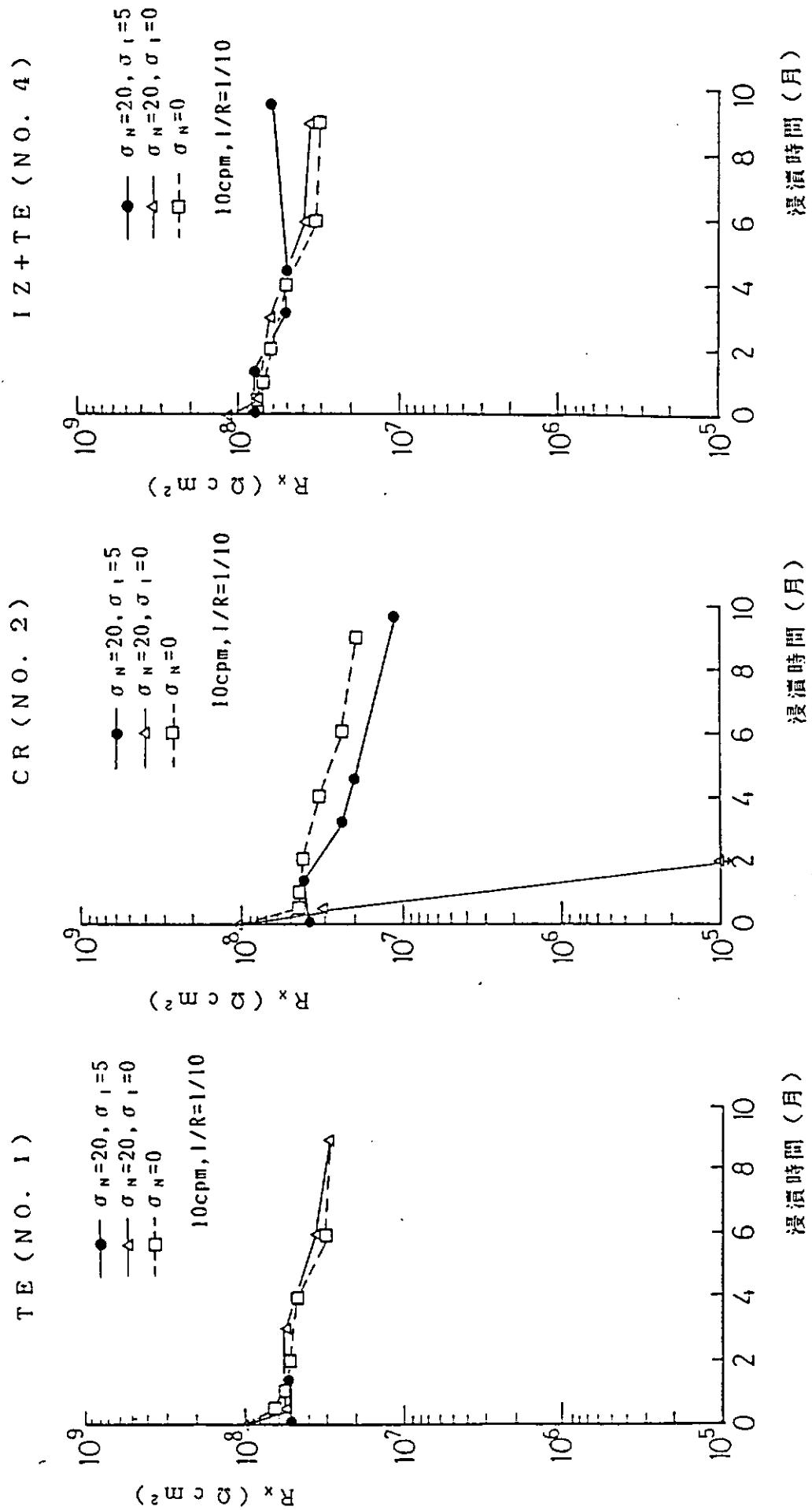


図 2.3.(7) 運動及び衝撃荷重下の塗膜の抵抗変化(防食 No.1,2,4)

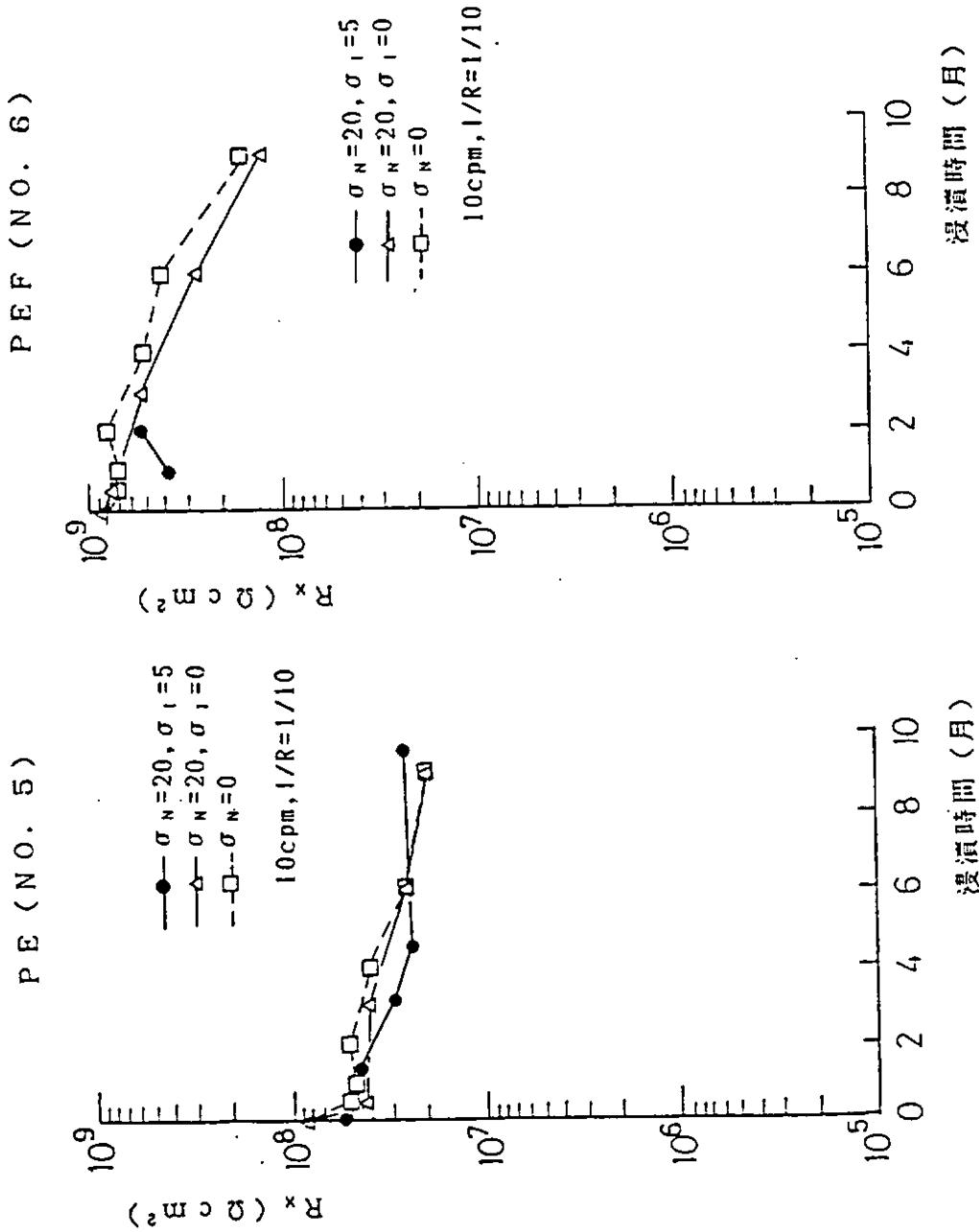


図 2.3.(8) 変動及び衝撃荷重下の塗膜の抵抗変化（防食 No.5, 6）

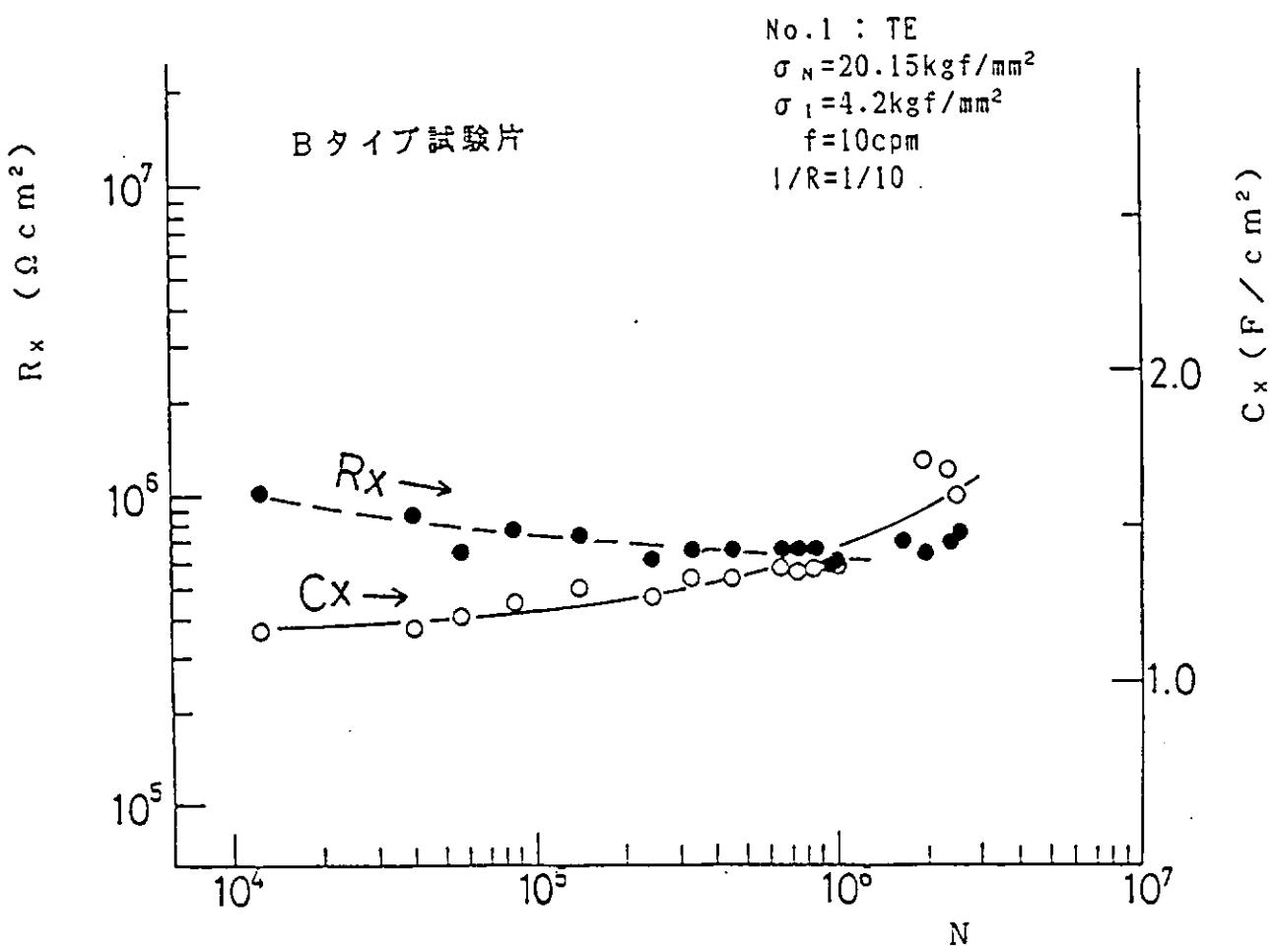
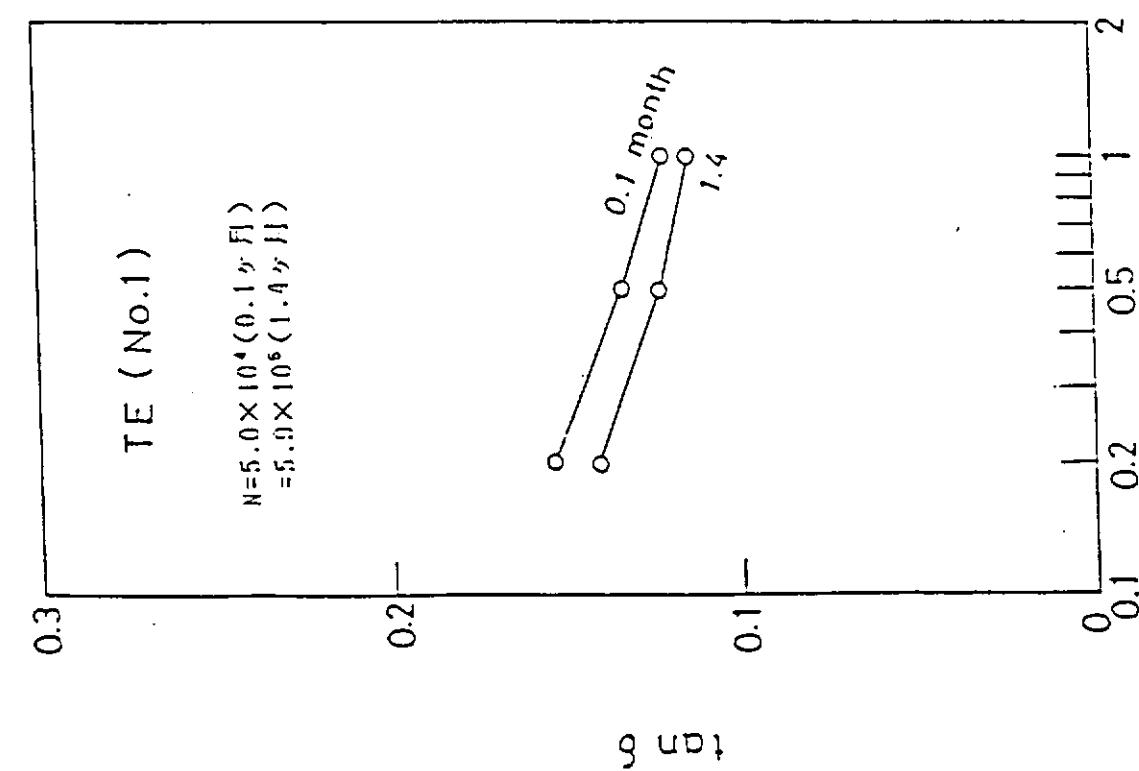
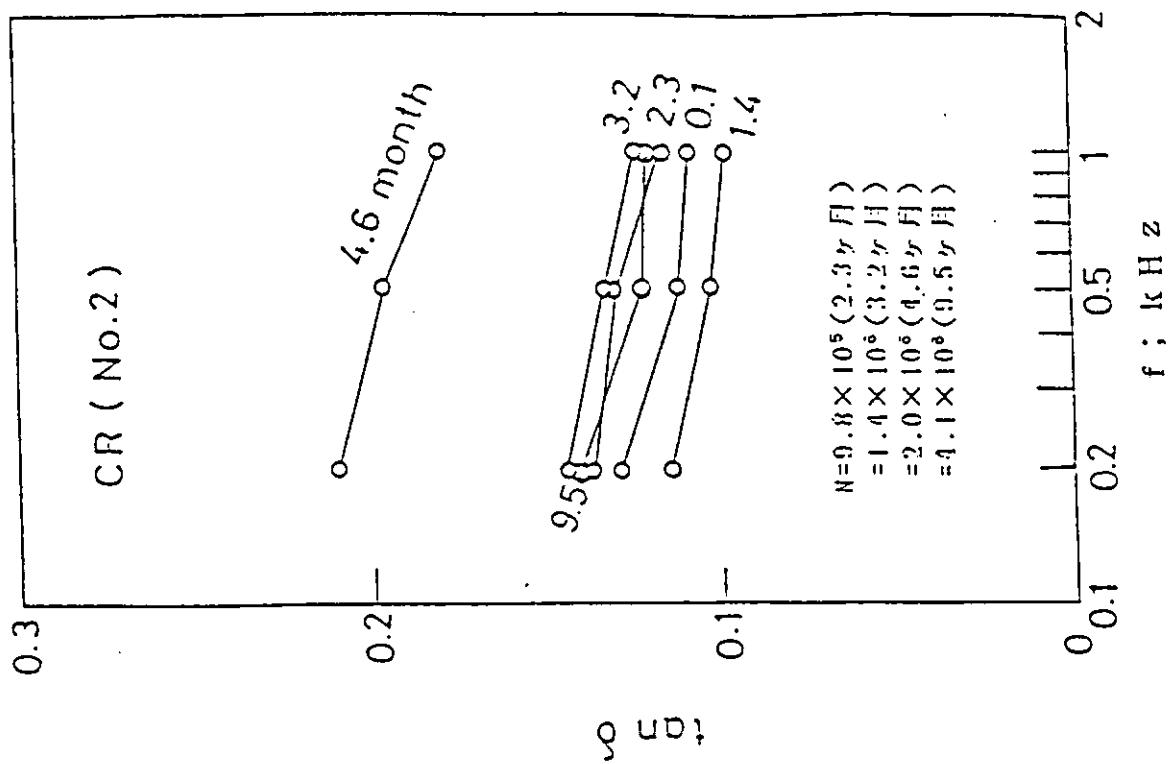


図 2.3.(9) TEのインピーダンス変化 (B タイプ試験片)

図 2.3.(10) TE塗膜の  $\tan \delta$  変化図 2.3.(11) CR塗膜の  $\tan \delta$  変化

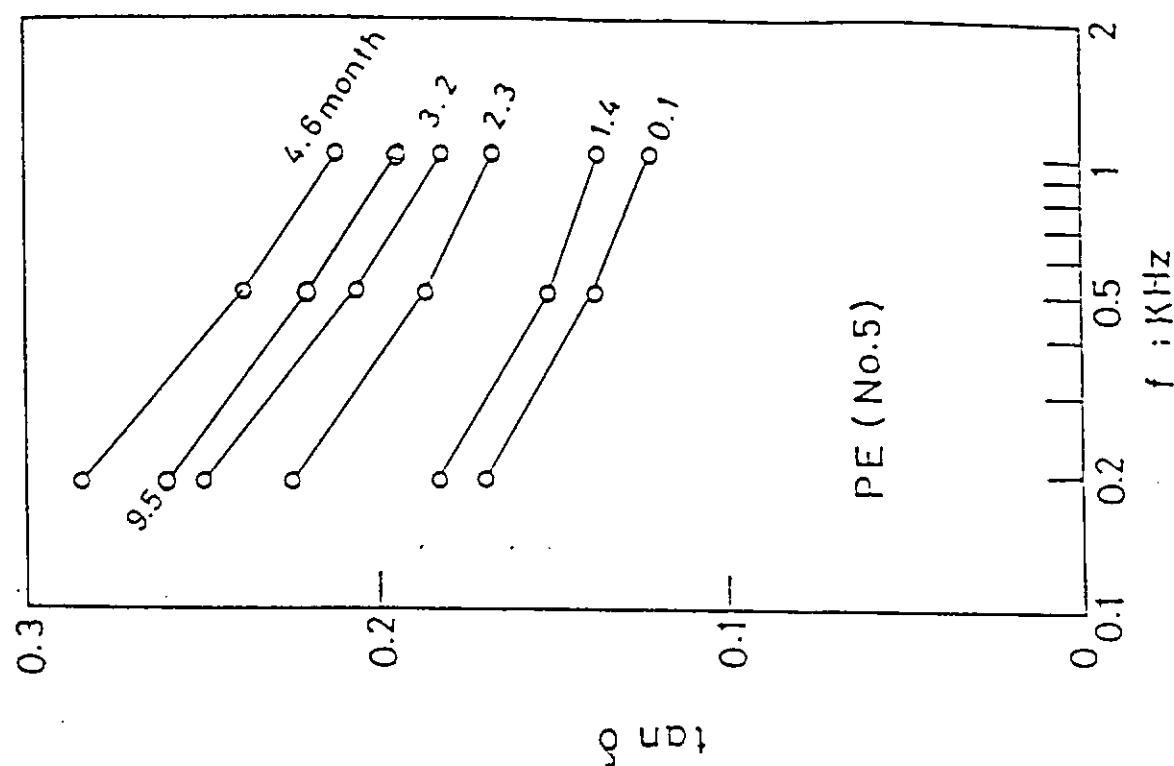


図 2.3.(13) PE膜の  $\tan \delta$  变化

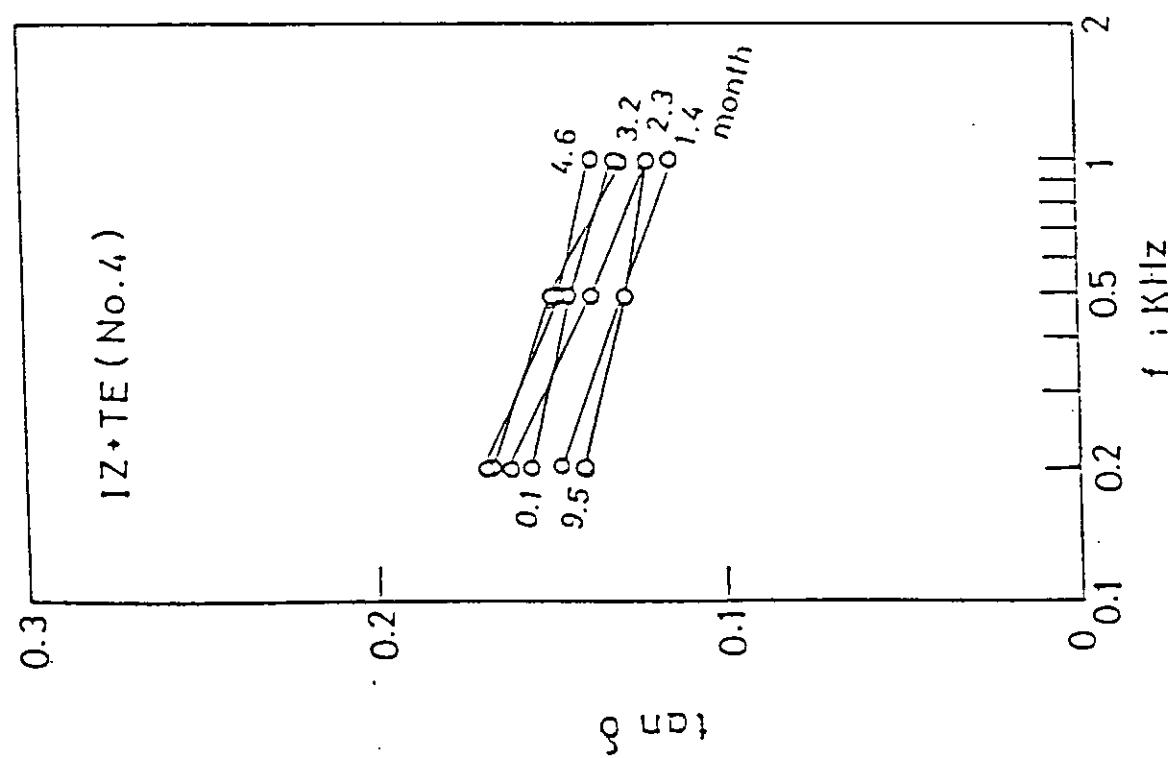
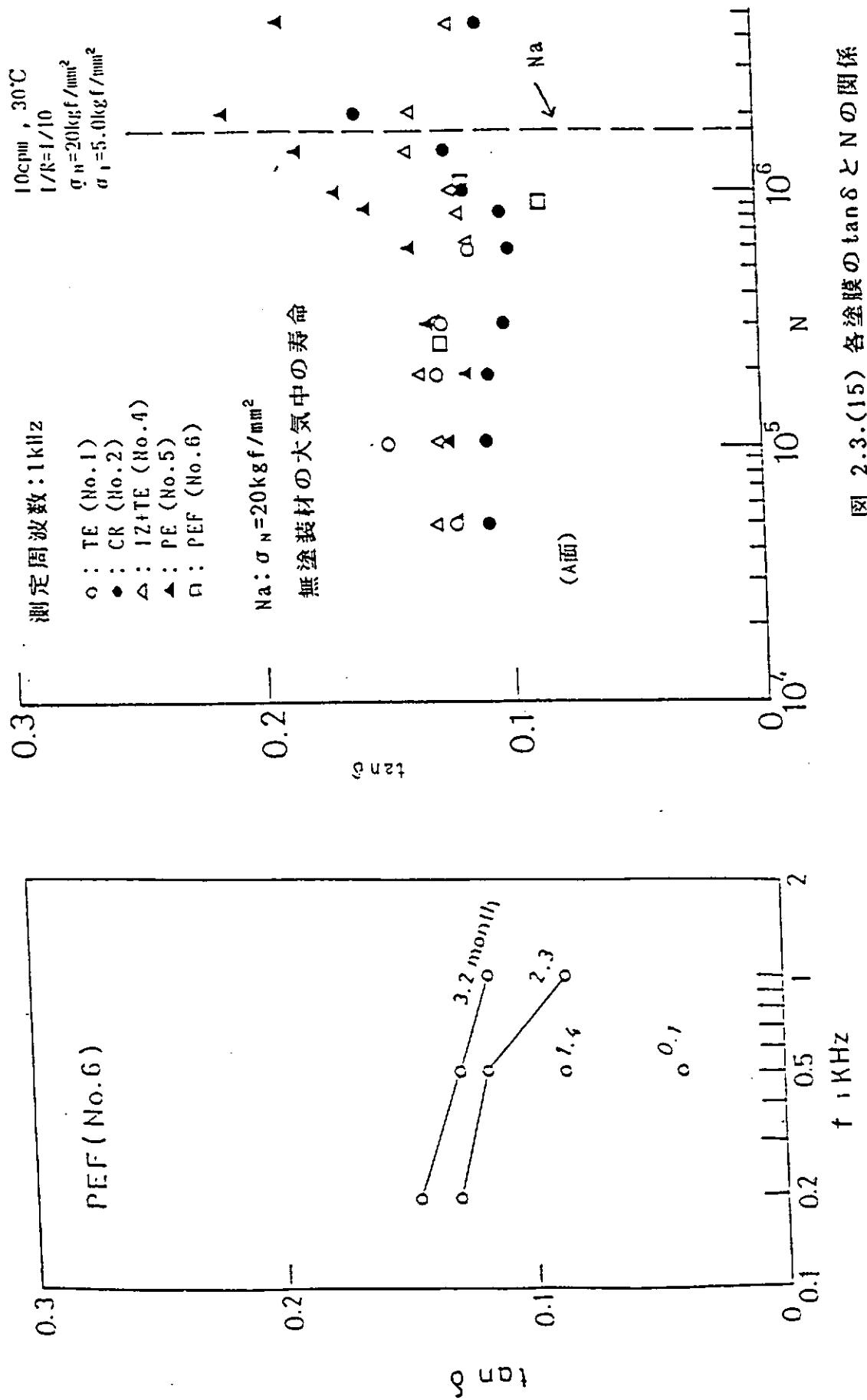
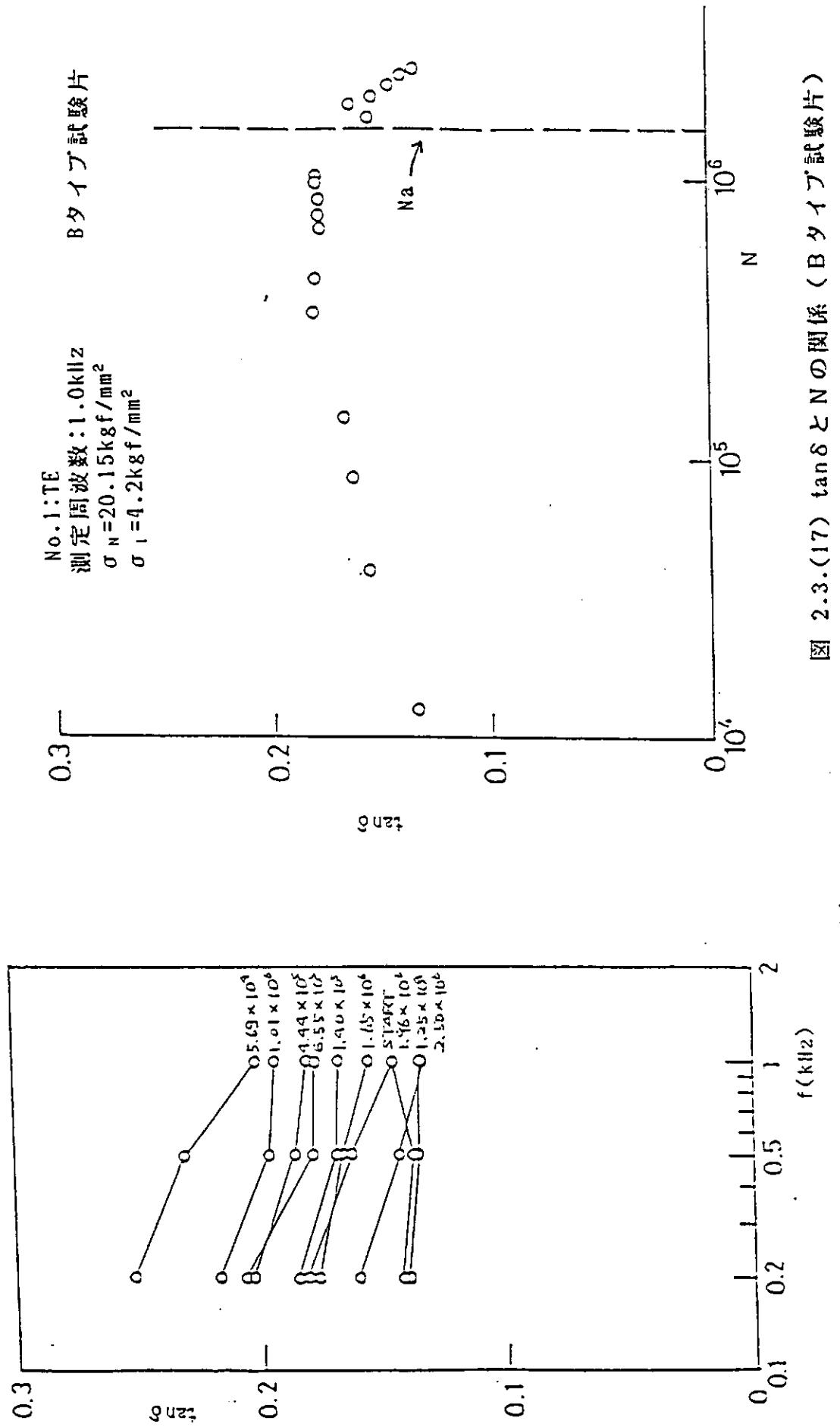


図 2.3.(12) IZ+TE膜の  $\tan \delta$  变化

図 2.3.(14) PEF塗膜の  $\tan \delta$  変化図 2.3.(15) 各塗膜の  $\tan \delta$  と  $N$  の関係

図 2.3.(16)  $\tan \delta$  の変化 (B タイプ試験片)図 2.3.(17)  $\tan \delta$  と  $N$  の関係 (B タイプ試験片)

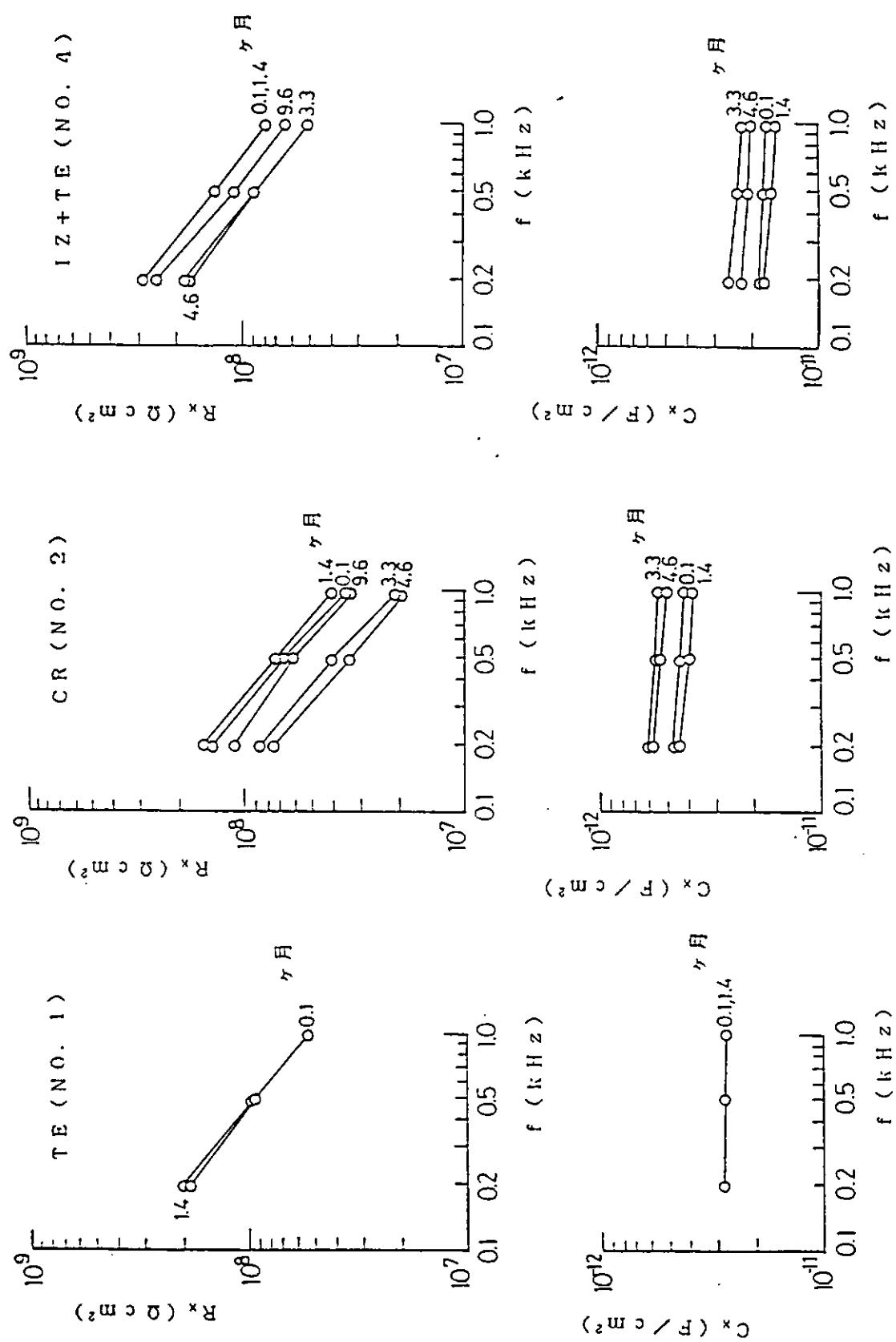


図 2.3.(18) 塗膜の電気抵抗と容量変化（防食仕様 No.1.2.4）

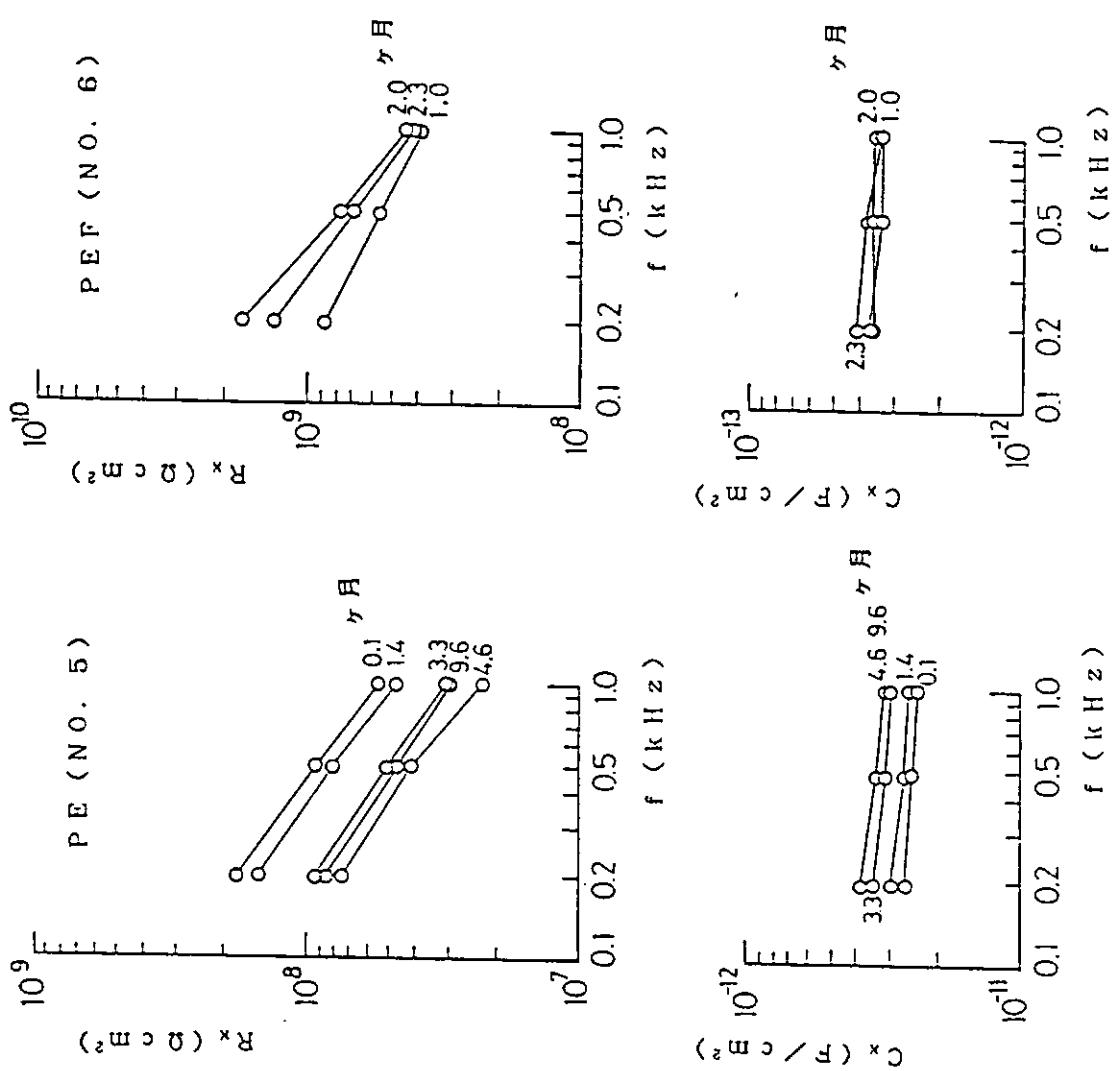


図 2.3.(19) 塗膜の電気抵抗と容量変化(防食仕様 No.5,6)

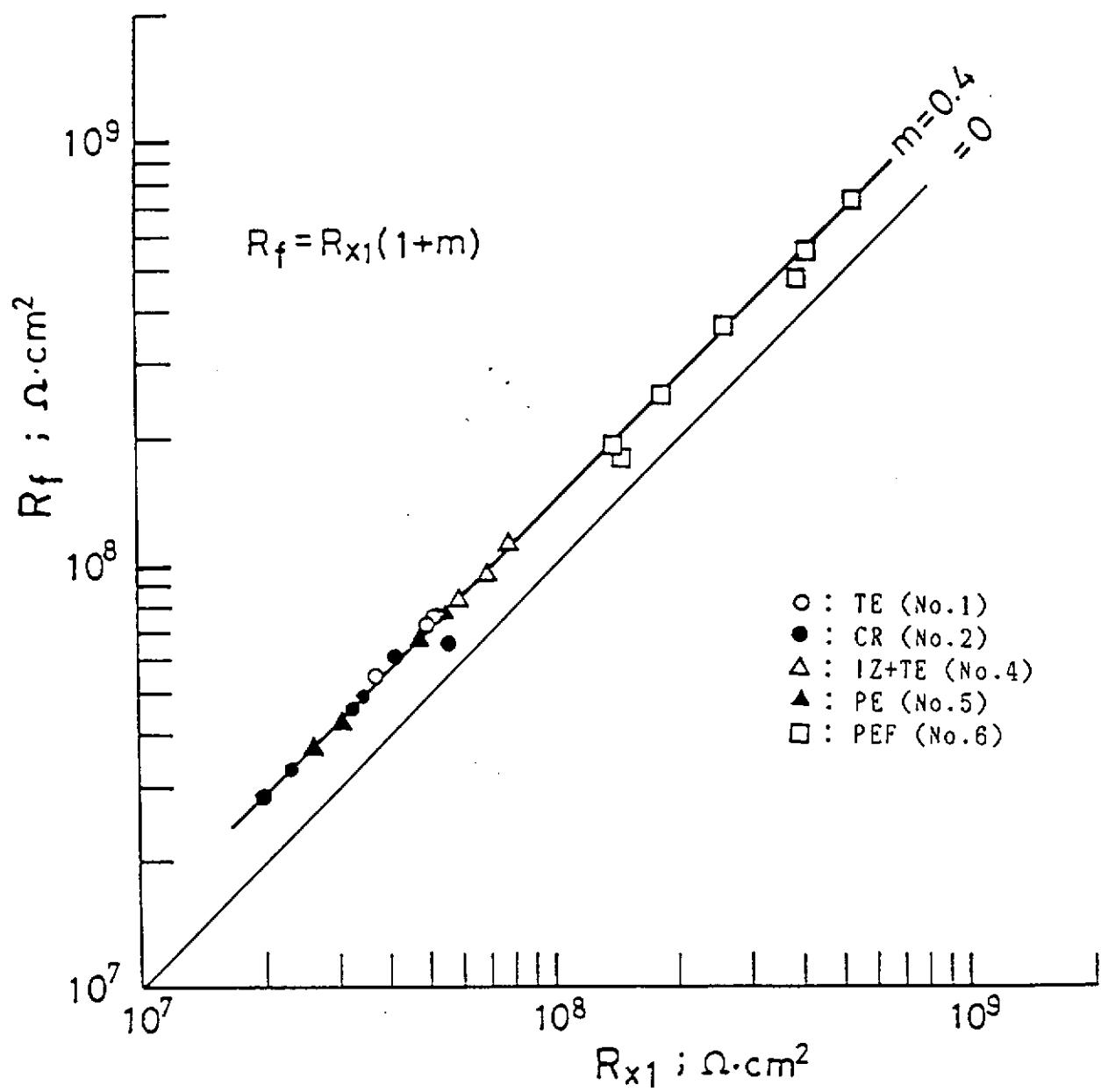


図 2.3.(20)  $R_f$  と  $R_{x1}$  の関係

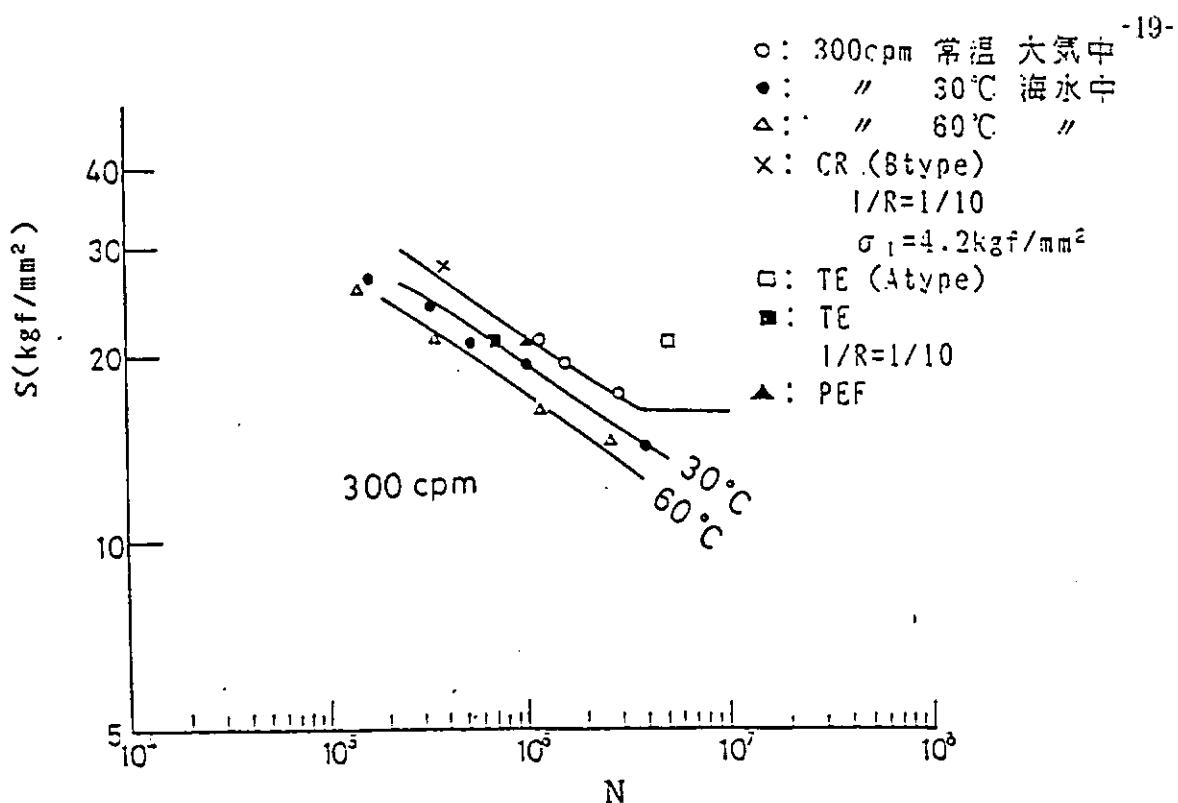


図 2.3.(21) 温度のS-N線図への影響 (Aタイプ試験片)

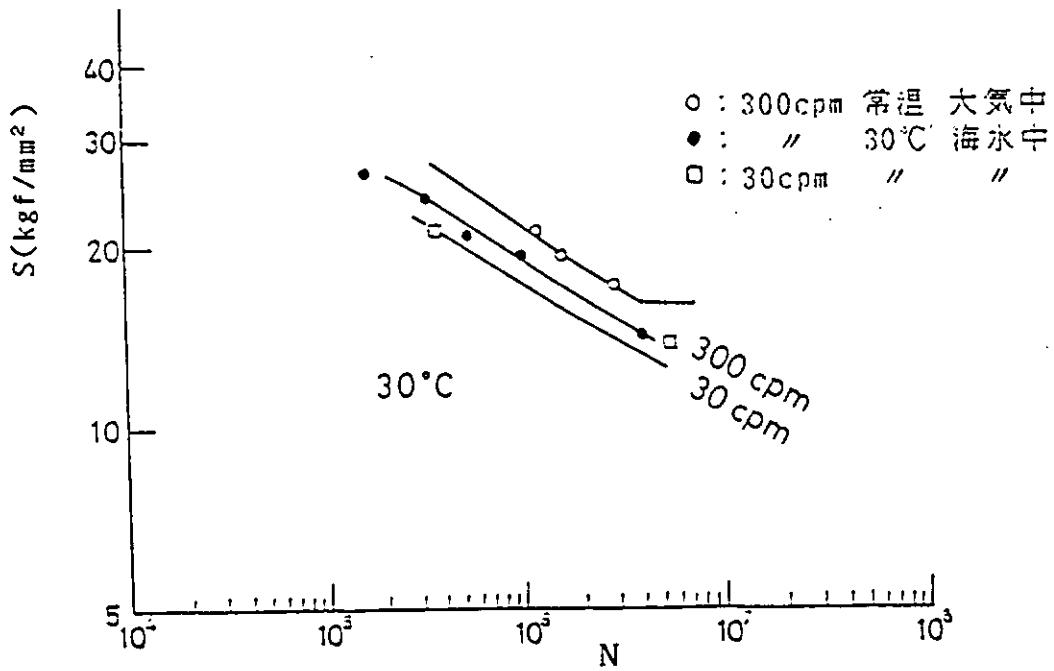


図 2.3.(22) 繰り返し速度のS-N線図への影響

### 3. 耐久性データの総合的判定法の検討

#### 3. 1 データベース

##### 3. 1. 1 データベース その1

###### 劣化データの解析

###### (1) 試験機関によるデータの差違

表3.1.1-1に現在統計的に扱っている試験項目と試験機関との関係を示した。取り扱っているデータはSR182を中心である。“○”は、ほぼ全て結果があるもの“△”は、一部結果が示されているもの、無印は結果が全く示されていない項目である。

表3.1.1-1 試験項目と試験期間

試験機関	曲げ試験		付着力 試験	硬度 試験	引張試験		体積 抵抗 率	交流抵抗		容 量		衝撃 剥離
	割れ長さ	表面面積			強度	伸び		0.5kHz	1kHz	0.5kHz	1kHz	
日立造船	○	○	○	○	△							○
川崎重工			△	△	△	△	△	△	△	△	△	
三菱重工			△					○	○	○	○	
三井造船			○				○	○	○	○	△	
船研	△	△	△				△	○	△	△	○	

表3.1.1-1を見ると、付着力試験は、全試験機関で、行なっており、これを、基準として、データ解析ができる可能性がある。しかし、付着力試験の値は試験機関により相当異なる。

図3.1.1.-2はSR182仕様6について、付着力試験と引張強度との関係を、日立造船、川崎重工について示したものである。これらを見ると、まず、2社の結果で引張強度が3倍程度異なること、さらに、付着力試験も2倍程度異なることがわかる。

図3.1.1.-3～-5は、同じくSR182仕様6について付着力試験と、交流抵抗(1kHz)とを、川崎重工、三菱重工、三井造船ごとに比較して示したものである。

これらの図を見ると、交流抵抗、付着力試験共に3社で大きな違いがある。

以上のように、データ解析の基準とすべき付着力試験の試験機器による差異は、全データを対象とする解析をさまたげている。

## (2) 付着力試験の経年変化の推定

1). に述べたように単純なデータ解析で劣化挙動を把握することは、ほとんど不可能である。しかし、構築されたデータベースの現状からして、付着力試験を基準とした解析を行わざるを得ない。そこで、まず付着力試験の経年変化を調査した。結果を図3. 1-6に示す。図中、日立造船（埠、海水中）は、付着力試験を半分に、川崎重工（促進試験）は(1)式を用いている。

$$t^* = 14.82 \exp(-1884/T) \exp(0.09431 \log t) \quad (1)$$

(1)式は、エポキシ、タールエポキシについて成立するとして過去に報告したものであるが、SR182仕様6についてもある程度有効であると考えられる。

## (3) 今後の方針

今後、付着力試験を基準とした解析を行なってゆくつもりである。例えば、図3. 1-7に見られるように、伸びと付着力試験との関係のように有望なものがある反面、図3. 1-8のように、わけのわからないデータもある。現状ではデータ数が不足しているため、図3. 1-8のような組合せについては、データ数が増えるのをまって解析を進める予定である。

なお、付表1に、本データベースのデータ構造を、付表2に、SR182の防食仕様を示した。

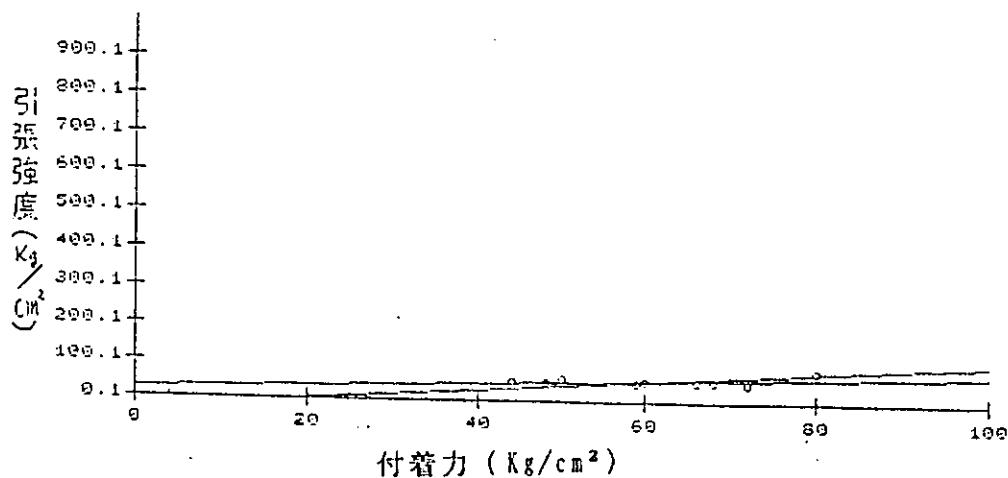


図3.1.1-1 付着力と引張強度の関係  
(仕様 S6 日立造船)

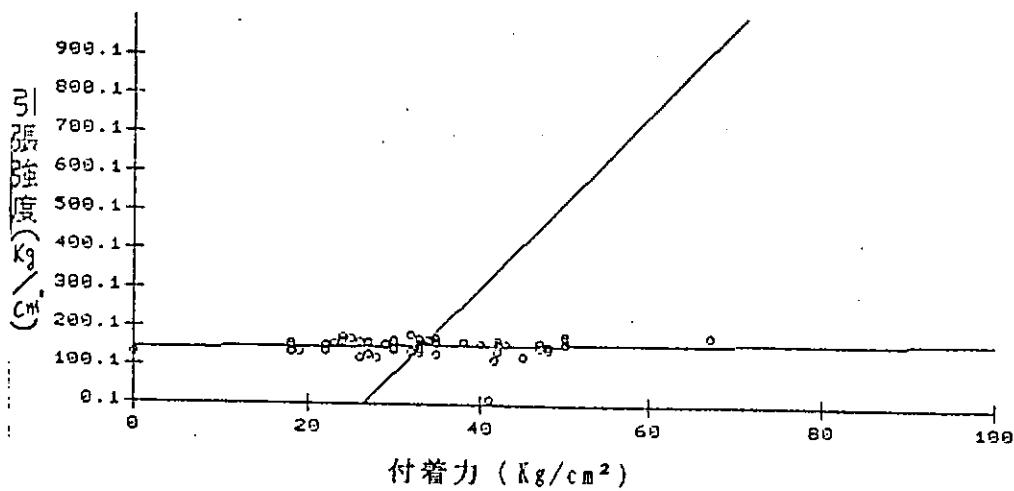


図3.1.1-2 付着力と引張強度の関係  
(仕様 S6 川崎重工)

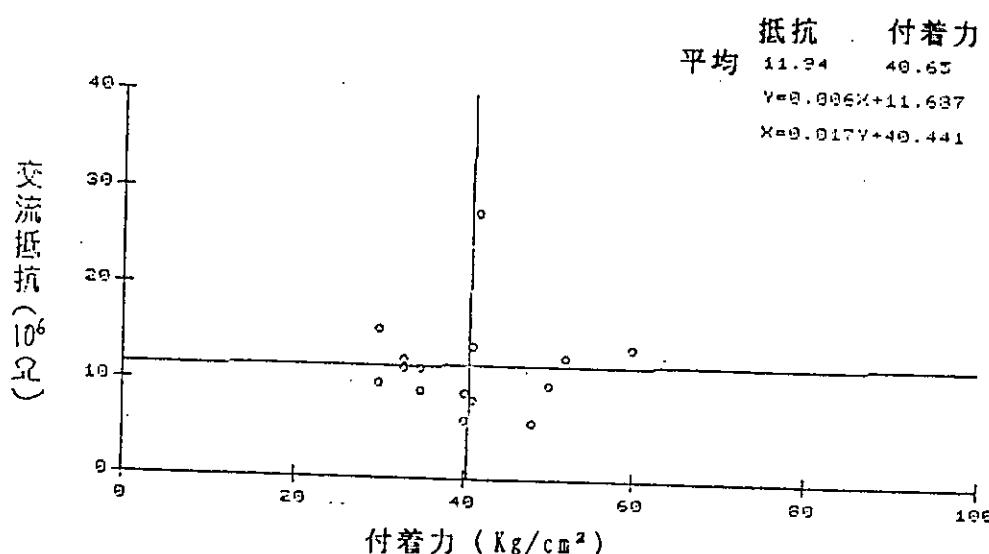


図3.1.1-3 付着力と交流抵抗の関係

(仕様 S6 川崎重工)

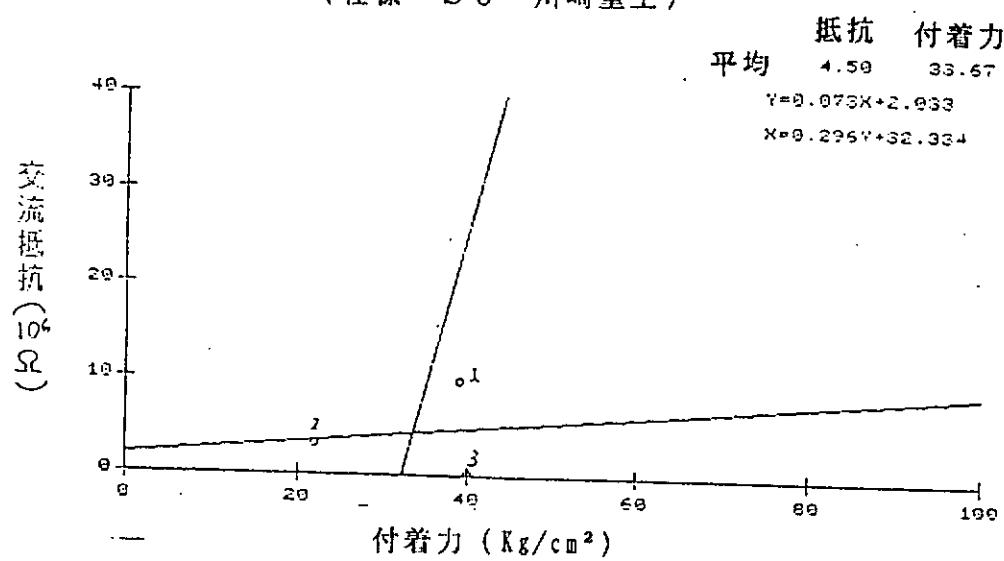


図3.1.1-4 付着力と交流抵抗の関係

(仕様 S6 三菱重工)

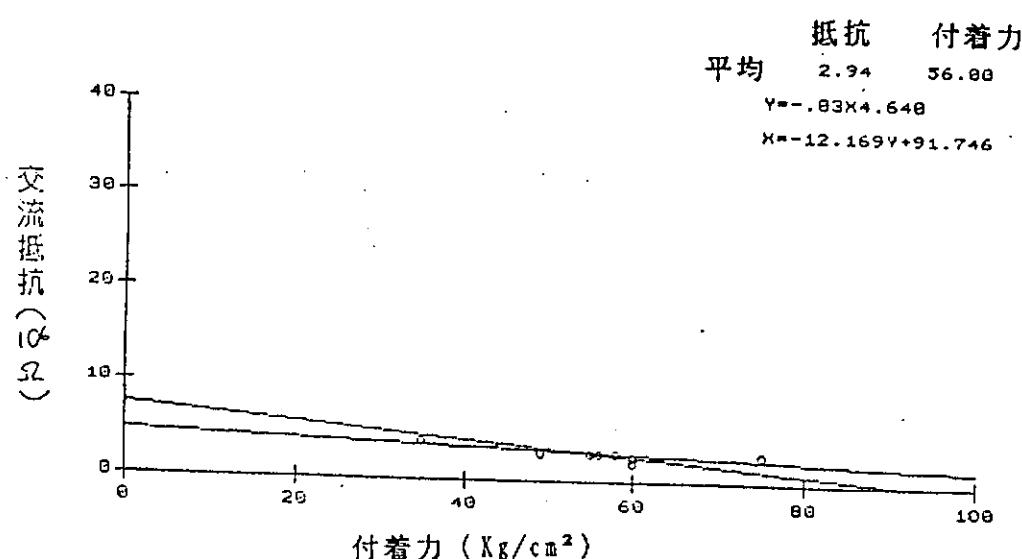


図3.1.1-5 付着力と交流抵抗の関係

(仕様 S6 三井造船)

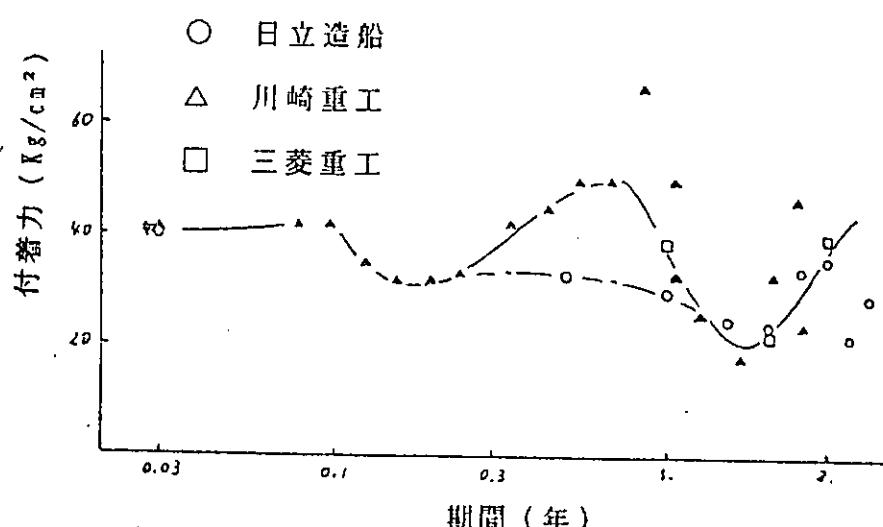


図3.1.1-6 暴露期間と付着力の関係  
(仕様 S6 )

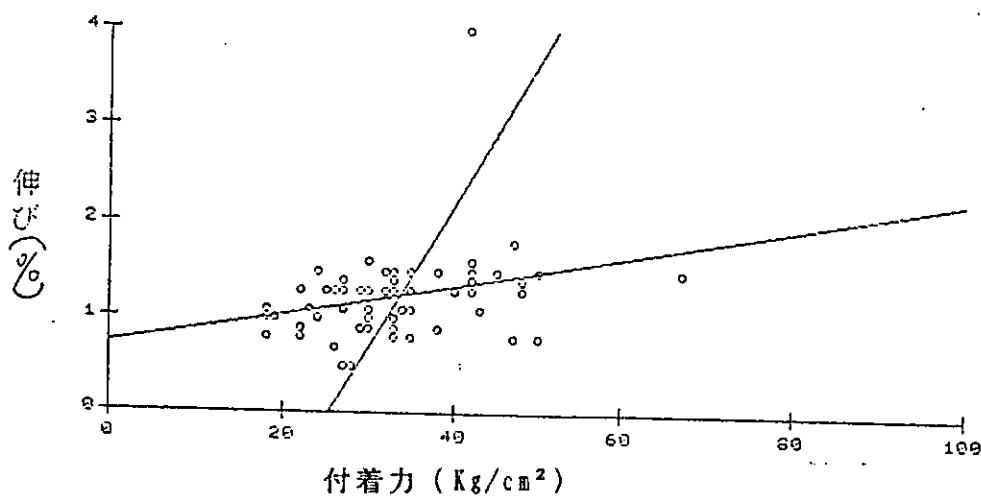


図3.1.1-7 付着力と伸びの関係  
(仕様 S6 )

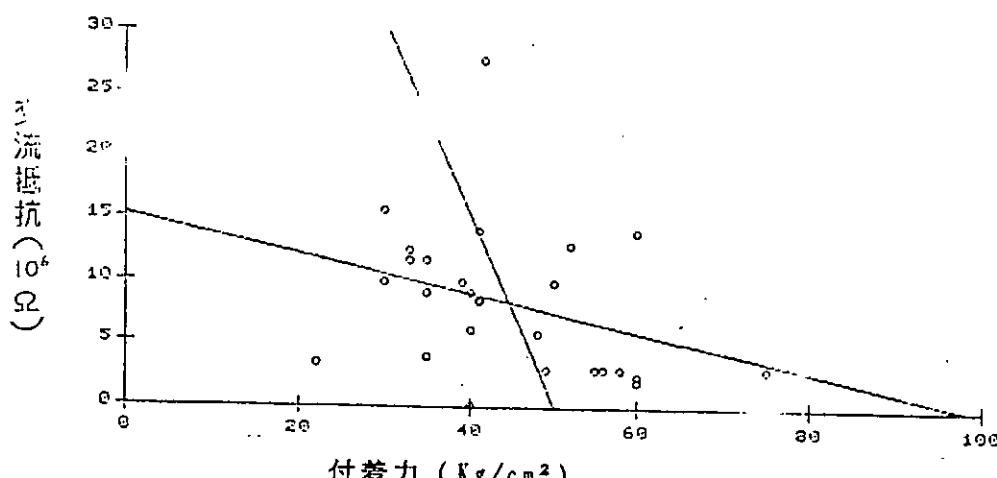


図3.1.1-8 付着力と交流抵抗の関係  
(仕様 S6 )

位置	内容	備考
0 - 3	塗膜仕様名	1 - 8 および M1、M2
4 - 7	実験主体	HSB:日立, MHI:三菱, KHI:川重, SRI:船研, MSB:三井
8 - 11	地名	先頭4文字, 暴露地又は試験地
12 - 17	試験条件	
12 - 13	(種類, 環境)	SW: 海水又は食塩水, AC: 耐候, TS: 热衝撃
14 - 15	(食塩濃度等)	03:0.3%NaCl, 30:3%, 10:10%, //:AND/OR, TS では回数
16 - 17	(その他)	"14-15" = "//" なら環境, 0:0溶解, U: 紫外線,
		その他
18 - 21	温度	℃, ブランク: 環境温度, TS では上設定温度
22 - 25	試験期間	年 TS では回数
26 - 29	割れ発生時たわみ	mm, 曲げ試験
30 - 33	38mmたわみ後の剥離面積	cm
34 - 40	硬さ	鉛筆硬度はH10など、バコール硬度は○など
41 - 44	単離膜引張強度	Kg/cm
45 - 48	伸び	%
49 - 52	体積抵抗率	Ω - cm
53 - 56	交流抵抗	Ω, 0.5 KHz
57 - 60	交流抵抗	Ω, 1 KHz
61 - 64	tan δ	0.5 KHz
65 - 68	tan δ	1 KHz
69 - 72	ガス透過率	ml · cm / cm · sec · cmHg
73 - 76	衝撃剥離面積	cm
(77 - 80)	参照DATA番号	特に同一試験片の場合に入力

付表 2 SR182塗装仕様<sup>\*</sup>

SPEC NO.	DESCRIPTION OF COATING (THICKNESS IN μm)						TOTAL THICKNESS (μm)
	1ST COAT	2ND COAT	3RD COAT	4TH COAT	5TH COAT	6TH COAT	
1	I Z (75) MIST COAT	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	PE-TIM (40)	PU-T/S (35)	350
2	I Z (75) MIST COAT	TE (250)	TE (250)	-	-	-	325
3	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	PE-T/S (40)	PE-T/S (40)	-	380
4	TE (200)	TE (200)	-	-	-	-	400
5	I Z (75) MIST COAT	PE-A/C (100)	PE-A/C (100)	V-IM (60)	V-T/S (40)	-	275
6	PEM (5000)	-	-	-	-	-	5000
7	PEF (650)	-	-	-	-	-	1300
8	ESF (750)	-	-	-	-	-	1500

SURFACE PREPARATION: SHOT BLAST + IZP(N0.7~5) SAND BLAST (N0.6~8)  
 IZP • INORGANIC ZINC RICH PRIMER      PU-T/S • POLYURETHANE TOPSIDE PAINT  
 IZ • HIGH-BUILT INORGANIC ZINC RICH PAINT      TE • TAR EPOXY PAINT  
 PE-A/C • PURE EPOXY ANTI-CORROSIVE PRIMER      V-IM • VINYL INTERMEDIATE PAINT  
 PE-TIM • PURE EPOXY INTERMEDIATE PAINT      V-T/S • VINYL TOPSIDE PAINT  
 PEM • PURE EPOXY MORTAR LINING  
 PEF • PURE EPOXY GLASS-FLAKE LINING  
 ESF • UNSATURATED POLYESTER GLASS-FLAKE LINING

\* ) 本報告中では、仕様番号にSを付して、R201の塗装仕様番号と区別する。

## 3. 1 - 2 データベース その2

## 塗装系の耐用年数の予想方法

## (1). 概要

塗装系の耐用年数は種々の因子の影響を受けると考えられる。ここでは、それらの因子を大きく2つに分ける。その1つは環境であり、もう1つは、塗装系の環境に対する抵抗である。この抵抗は塗装系の性能とも考えられる。塗装系の抵抗に影響を与える因子を3つに分ける。それらの内、最大の因子は膜厚と考えられる。他の因子はそれぞれ、塗装系の構造及び施工のグループに分ける。図3. 1. 2-1は以上を観念的に示したものである。

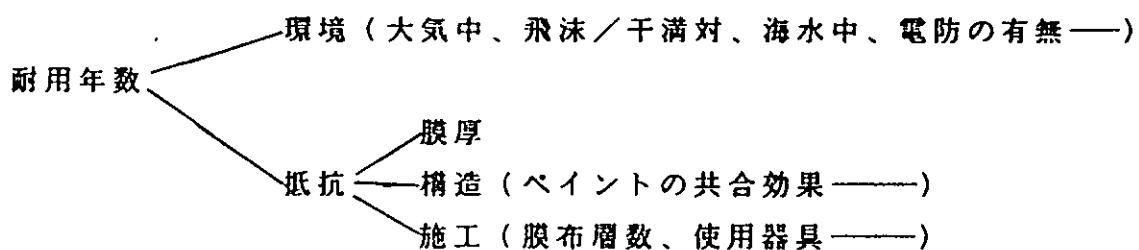


図3. 1. 2-1 耐用年数に対する影響因子

これらの因子は、はじめから数値として与えられるものと、数量化が困難なものとに分けられる。本報告は、環境、塗装系の構造、施工などについて、数量化解析を行ない、膜厚に対しては、各種ペイントの等価膜厚の観念を導入して耐用年数の予想方法を導くものである。

## (2) 取り扱う環境因子、構造／施工因子

環境因子 $X_s$ としては、次の5つを取り扱う。

- ① 洋上大気中 （このグループでの基準とする）
- ② 海水中、電気防食あり
- ③ 海水中、電気防食なし
- ④ 飛沫／干溝帶、電気防食あり
- ⑤ 飛沫／干溝帶、電気防食なし

構造因子として、塗装系を形成する材料の種類数 $X_p$ 、下地に溶射、メッキ等の有無 $X_u$ 、積層構造 $X_s$ を取り上げる。以下に、グループ分けを示す。

$X_p$  1 ~ 4 種

$X_u$  1 : メッキ、溶射、メタリコン等有

2 : メッキ、溶射、メタリコン等無

$X_s$  1 : 下塗と防食ペイント

2 : 中塗(一般)

3 : ランニング

4 : 下塗(防食を含む) + 中塗○ライニング

5 : 下塗 + 上塗

施工因子としては、使用器具 $X_T$ 、塗布層数 $X_c$ を取り上げる。以下のグループ分けを示す。

$X_T$  1 : 刷毛、ローラー等

2 : エアレスのみ

3 : 専用器具の使用

$X_c$  1 : 1 又は 2 回

2 : 3 回

3 : 4 回

4 : 5 回以上

### (3) 塗装系耐用年数の推定式

以上の要素を考慮して、耐用年数 $Y$ の推定式を次のように表す。

$$\ell \cdot Y = A_1 + A_2 \ell \cdot T + X_B + X_T + X_c + X_u + X_p + X_s \quad (1)$$

ここで

$A_1, A_2$  = 定数

$T$  = 有効膜厚

$$T = \sum_{i=1}^{20} d_i \cdot T_i \quad (2)$$

$d_i$  = 等価膜厚係数

解析対象とした材料は、表3.1.2-1に示す20種である。

実際の耐用年数としては、SR182で行なったアンケート結果、鉄道技術研究所で行なった暴露試験結果の合計80ケースを用いた。

この80ケースについては、(1)式及び(2)式の係数 $A_1, A_2, X_B (e_1 \sim e_5), X_T (t_1 \sim t_5) \dots X_s (S_1 \sim S_5)$ を、数量化理論第I類と一般的な最

小2乗法を組み合わせて決定した。実際の計算では、始めに  $d_1 = 1$  を仮定し、(2)式と(1)式を交互に用いて係数を変更してゆくイタレーションを行なった。

等価膜厚係数を、表3.1.2-1に、影響係数及び定数を表3.1.2-2に示す。また、解析結果と、対象としたデータの相関関係を図3.1.2-2に示す。

図3.1.2-2中で、推定精度の悪いA～Eの5点については、次の理由が考えられる。即ち、AとCは使用材料がP E F (エポキシガラスフレークランニング)、BとDはE S F (ポリエステルガラスフレークライニング)であり、膜厚及びその他の因子があまり異ならないにもかかわらず、耐用年数のアンケート値が、AとBが7年、CとDが20年と大きく異なる。メーカー間の製品品質の差があった場合でも、解析では、同一材料は同一性質として扱っている。Eは、TEを洋上大気中暴露したものであり、実際の使用では、あまり行なわれないものである。以上のことから推定精度が低いのであろう。これらの5点を除けば、推定精度は極めて高い。

#### (4) 塗装系耐用年数の推定法

表3.1.2-1、3.1.2-2及び(1)(2)式を用いると、塗装系の耐用期間を推定できる。この推定方法では、要因解析を行なったサンプルに共通している以下の点に留意し、その範疇に入らないものについては、この推定方法の使用は避けるべきである。

- i) 使用材料は表3.1.2-1の20種に限る。ただしE S F及びP E Fについては、ある程度の誤差がある。
- ii) 施工が比較的良好な状態で行なわれ、人的事故の影響は施工上も使用中もない。
- iii) 下地処理はS I S (Swedish Standard) Sa 2 1/2以上であり、鋼材の表面粗度は $40 \mu\text{m}$ 以上である。
- iv) 塗り重ね時の相溶性がよい材料を組み合わせており、また塗装間隔(インターバル)も適切に管理されている。

#### (5) 結論

海洋構造物用塗装系の耐用期間について要因解析を行ない、各要因について検討を加えた結果、以下の結論を得た。

##### (環境要因について)

塗装系にとって最も厳しい環境は、飛沫／干溝帶で構造物に電気防食が施されている場合である。これは、H.W.L.付近で塗装が乾燥／湿潤を繰り返し、その間湿潤時に電気的絶縁の破壊が生じやすいためと考えられる。

(施工要因について)

本報の解析では、サンプルがアンケート調査結果、及び、ていねいに施工されたと考えられる試験片の暴露実験結果であったため、施工要因の耐用年数に及ぼす影響は小さかった。

(構造要因について)

構造要因では、各用途別の塗装用材料をどの様に積層するかが最も大きな影響を与える。下塗用材料だけを用いた場合、及び、あまり複雑な積層構造は好ましくない。使用材料は、2、3種を組み合わせたものがよい。また、メッキ、溶接などの下地処理効果も認められる。

(膜厚について)

本報では、各種塗装用材料にその有効性を評価するための等価膜厚係数を与えて、塗装系の有効膜厚を解析対象とした。等価膜厚係数は塗装用材料に物質が浸透する深さの逆数に比例すると考えられる。

(6) まとめ

前年度に引き続き、塗膜の劣化データに関するデータベース（データベース その1）の作成を行ない、完成させた。そして、これまでの入力データから、付着力を基準に劣化諸データを解析することにより、塗膜の種類、暴露環境等による塗膜劣化機構の違いを明らかにする可能性を示した。尚、今後ともデータを積み重ねる必要があることもわかった。

ついで、塗膜の耐用年数の推定に関するデータベース（データベース その2）の作成を行ない、環境、塗装材料、塗装仕様、施工因子の影響を実際のデータから推測することを試みた。耐用年数を、有効膜厚（劣化に対する抵抗力に応じ、実際の膜厚に重みをつける）、環境因子（大気中、干溝帯、水中及び電気防食の有無）、構造因子（材料の種類1～4種、下地2種、積層構造1～5種）及び施工因子（使用器具1～3種、塗布層数1～5回以上）の関数として定義し、有効膜厚は、実際膜厚に等価膜厚係数を乗じた値の和として定義した。耐用年数推定式及び、有効膜厚定義式を行い、実際のデータに合うように、各因子の影響度合を決めた。こうして求めた耐用年数推定値は、実際のデータとよく一致した。その結果、各因子の耐用年数に与える影響が明らかになった

## APPENDIX

SR182の防食仕様No.1～No.8について、本提案の方法により、その耐用年数を計算した。結果を表3.1.2-3に示す。表中Tは、有効膜厚の計算式、 $X_r \sim X_s$ は、各因子の計算値、最後の4行が各暴露環境での当該塗装仕様塗膜の耐用年数である。

表3. 1. 2-1 等価膜厚係数

	番号 i	材料	等価膜厚係数 d <sub>i</sub>
下塗り防食	1	Pure Epoxy A/C	1. 0 (これを基準とする)
	2	Alkyd or Oil Base A/C	0とする
	3	Epoxy or Organic Zn Rich Primer	1. 82797
	4	Inorganic Zn Rich Primer	2. 33391
	5	Wash Primer	2. 61152
	6	Inorganic Zn Rich Paint	0. 599552
中塗り一般	7	Tar Epoxy Paint	0. 369401
	8	Pure Epoxy Paint	0. 307665
	9	Vinyl Paint	2. 29654
	10	Polyurethan Paint	3. 50615
	11	Bituminous Paint	1. 46373
ラインニング系	12	Polyester Glass Flake Lining	0. 218161
	13	Epoxy Glass Flake Lining	0. 247376
	14	Vinyl Ester Glass Flake Lining	0. 259919
	15	Tar Epoxy Glass Flake Lining	0. 289173
	16	Epoxy Mortar Lining	0. 0715976
トップコート	17	Pure Epoxy T/S	0. 135989
	18	Vinyl T/S	1. 06490
	19	Polyurethan T/S	0. 0316712
	20	Chlorinated Rubber T/S	1. 44381

表3. 1. 2-2 影響指數

定数項	$A_1 = -3.56758 \quad A_2 = 1.00584$				
環境 $X_E$	洋上大気中	海水中電防 (電防あり)	同無 (電防なし)	飛沫／干満電防 (電防あり)	同無 (電防なし)
	0	-0.177360	-0.360003	-0.952084	-0.262936
材料の種類 $X_P$	1種類	2種類	3種類	4種類	
	0	0.422265	0.506396	0.185203	
下地 $X_B$	溶剤、メタキ、 メタリコン	素地			
	0	-0.603840			
積層構造 $X_S$	下塗りと防食ペイント	中塗り(-層)	ランニング	下塗(防食を含む) + 中塗り or ランニング	下塗 + 上塗
	0	1.31910	1.44148	1.00323	0.378453
器具 $X_T$	刷毛、ローラー等	エアレスのみ	専用器具		
	0	0.0937316	0.144979		
塗布回数 $X_C$	1, 2回	3回	4回	5回以上	
	0	0.132907	-0.0670021	-0.000199105	

表 3. 1. 2-3 SR182の8仕様についての耐用年数計算

	N O . 1	N O . 2	N O . 3	N O . 4	N O . 5	N O . 6	N O . 7	N O . 8
防食仕様	$I_2(75) + PE \cdot A / C(100) + P_E \cdot A / C(100) + PE \cdot T / S(35)$	$I_2(75) + TE(2) + PE \cdot A / C(100) + PE \cdot A / C(100) + PE \cdot T / S(40)$	$TE(200) + TE(2) + PE \cdot A / C(100) + PE \cdot A / C(100) + PE \cdot T / S(40)$	$PEM(5000) / C(100) + V \cdot I / M(60) + V \cdot T / S(40)$	$PEF(650) + PE F(650)$	$PEF(750) + ESF(750)$		
T	$75 \times 0.59955$ $2 + 200 \times 1.0 + 250 \times 0.3694$ $40 \times 0.30766$ $5 + 35 \times 0.031$ $6712 = 258.3$ 81	$75 \times 0.599552$ $0.135989 = 31$ $1.191$	$300 \times 1.0 + 80 \times 0.135989 = 31$ $= 147.760$	$400 \times 0.369401$ $= 147.760$	$75 \times 0.599552$ $+ 100 \times 1.0 \times 2.$ $29654 + 40 \times 1.$ $06490 = 325.3$ 55	$500 \times 0.07159$ $= 357.988$	$1300 \times 0.2473$ $= 321.589$	$1500 \times 0.218161$ $= 321.589$
X <sub>T</sub>	0.0937316	0.0937316	0.0937316	0.0937316	0.0937316	0.144979	0.0937316	0.0937316
X <sub>c</sub>	-0.0019911	0.132907	-0.00019911	0.0	-0.00019911	0.0	0.0	0.0
X <sub>M</sub>	-0.603840	-0.603840	-0.603840	-0.603840	-0.603840	-0.603840	-0.603840	-0.603840
X <sub>P</sub>	0.185203	0.422265	0.422265	0.0	0.185203	0.0	0.0	0.0
X <sub>S</sub>	0.378453	1.00323	0.378453	1.00323	0.378453	1.44148	1.44148	1.44148
海上大気中 環境 (電断なし)	7.946年	11.714年	12.143年	7.031年	10.019年	27.935年	23.826年	24.248年
	3.067年	4.521年	4.686年	2.713年	3.867年	10.781年	9.195年	9.358年
海水 (電断あり) 境	6.109年	9.006年	9.336年	5.405年	7.702年	21.476年	18.317年	18.642年
	6.654年	9.811年	10.170年	5.888年	8.391年	23.395年	19.954年	20.307年
海水 (電断なし)	5.544年	8.173年	8.472年	4.905年	6.990年	19.490年	16.623年	16.917年

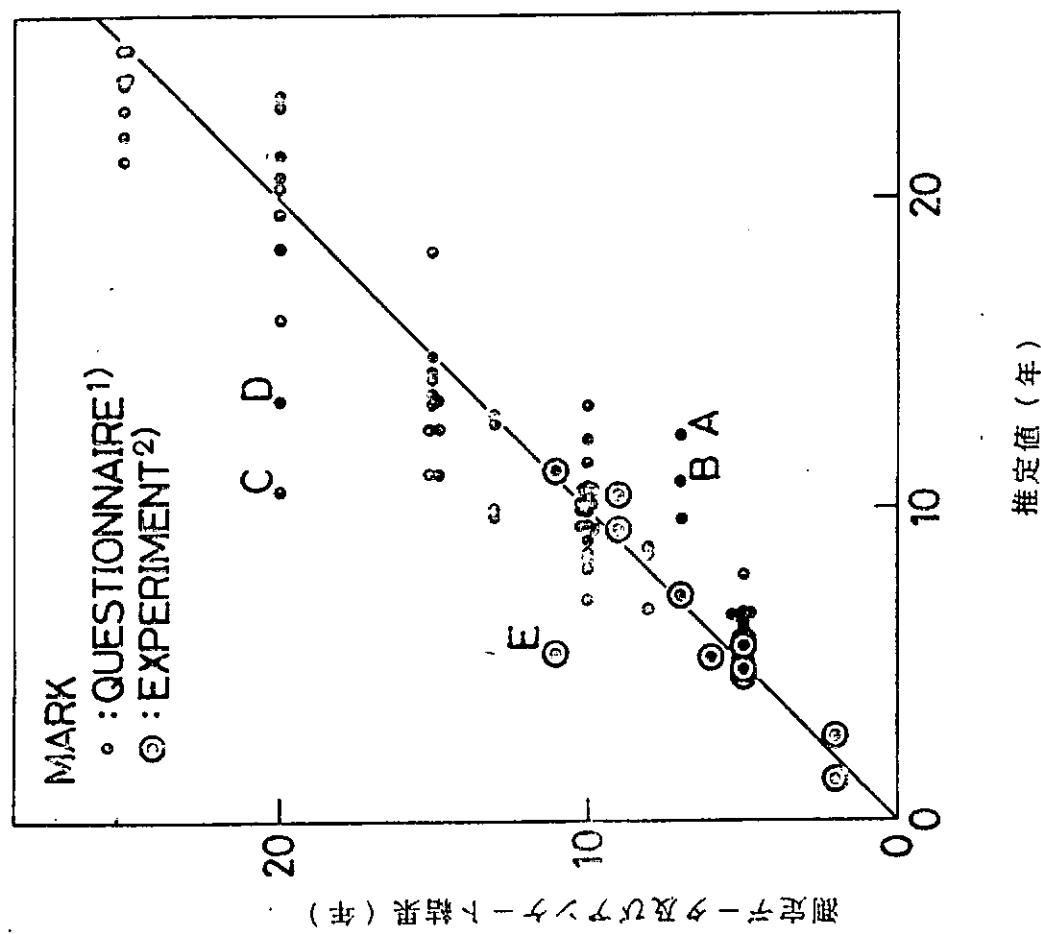


図3.1.2-2 推定値とデータとの相関

#### 参考文献

- 1) 日本造船研究協会、研究資料 No. 341 (1981)
- 2) 桐村、他：海洋環境における防食塗装、鉄道技術研究所報告 No. 1070 (1978)

### 3. 2 塗膜厚分布

#### (1) 実験方法

溶接すみ内部での塗膜厚分布を調べるために、図3. 2-1 及び 表3. 2-1に示す形状の試験片を、同一仕様について2枚ずつつくり、表3. 2-2の塗装を行なった。すみ肉部の膜厚を非破壊で測定するのは困難であるため、作製した試験片を、5mm間隔で溶接線方向及び溶接線直角方向に切断し、塗膜の断面を直接、読み取り顕微鏡により観察し、膜厚を1mmおきに測定した。この膜厚測定は、切断した断面のうち4断面について行なった。試験片毎に切断した断面の様子と、膜厚を測定した断面の位置を、図3. 2-3 ①～④に示す。平面部での膜厚を、電磁式膜厚計によって測定した結果を表3. 2-3に示す。この測定点は80点の平均値m、標準偏差σ、変動係数σ/mは次のようであった。

$$m = 976 \mu m$$

$$\sigma = 51.2 \mu m$$

$$\sigma/m = 0.053$$

#### (2) 実験結果及び考察

隅角部の膜厚分布のヒストグラムを図3. 2-3 ①～④に、この結果をまとめたものを 表3. 2-4に示す。

#### 隅角部（外側）

試験片に関係なく変動係数σ/mが一定値となった。これは、膜厚分布を決定する最大要因が溶接部（図3. 2-1、WELD 2）ではなく、R部の先端であり、この部分は、0.01"と一定にしたため、全部の試験片で、塗装表面形状に関し、ほぼ同一条件となつたためと考えられる。

#### 隅角部（内側）

試験片の主要パラメーターは次の2つであった。

(1) 脚長（スラグ除去のみと、Sh処理との比較、試験片1と2、5と6、7と8）

(2) 溶接脚長及び溶接表面の曲率半径（試験片1と5と7、2と3と6と8、9と10の比較等）

Sh処理の効果は、脚長が、長くなるに従い減少している。Sh処理は、付着力の改善に効果があるといわれているが、塗膜厚分布に関しては、隅角部の鈍化に伴い効果が少なくなると考えられる。

脚長の増加、曲率半径の増加は、共に膜厚の均一化に、効果があることがわかる。溶接部の形状をdressすることによる効果は著しい（試験片3と4の比較。試験片8と9、10の比較）。このことから、膜厚を均一化するためには溶接部の全体的形状をなめらかにすると共に、溶接による局部的凸凹を少なくする必要があることがわかった。

ここでの実験パラメーター範囲での $\sigma/m$ の最小値は、0.10程度である。一方平面部の $\sigma/m$ は、0.053であった。隅角部の $\sigma/m$ を平面部での値に近づけるには、さらに曲率半径の増大等の対策が必要となると思われる。

### (3) まとめ

塗装劣化に重大な影響をもつ塗膜厚の分布を、すみ肉溶接部について調べた。試験片は、すみ肉部の溶接形状、溶接後の処理方法（スラグ除去から、ショットブロスト、整形まで）等をパラメータとし、10種類製作し、ガラスフレーク入り塗料をmin. 850μm塗布した。これを機械的に薄く切削し、すみ肉部の内側及び外側で塗膜厚を測定した。その結果、すみ肉部の曲率半径の増大につれて塗膜厚の分布程度を示す膜厚測定値の変動係数 $\sigma/m$  ( $\sigma$ =標準偏差、 $m$ =平均値) が減少し、半径30~50mmで $\sigma/m = 0.1$ 程度に低下することを示した。これは、同一試験片の平面部での $\sigma/m = 0.053$ に比して可成り大きい。 $\sigma/m$ を平面部の値に近づけるには一層の工夫が必要であることがわかった。

表 3.2-1 試驗片一覽

TP NO.	t (mm)	r <sub>1</sub> (mm)	r <sub>2</sub> (mm)	WELD I	WELD 2
1	6	0.5	0.5	$\varnothing_1 = 4.0$ (A) WELD SLUG REMOVED	$\varnothing_2 = 6.0$ (H) WELD SLUG REMOVED
2	6	1.0	1.0	$\varnothing_1 = 4.0$ (A) Sh	$\varnothing_2 = 6.0$ (H) Sh
3	6	1.0	1.0	$\varnothing_1 = 6.0$ (A) Sh	$\varnothing_2 = 8.0$ (H) Sh
4	6	1.5	1.5	$\varnothing_1 = 6.0$ (B) WELD METAL DRESSED (8R) Sh	$\varnothing_2 = 8.0$ (I) Sh
5	10	0.5	1.0	$\varnothing_1 = 8.0$ WELD SLUG REMOVED	$\varnothing_2 = 10.0$ (H) WELD SLUG REMOVED
6	10	0.5	1.0	$\varnothing_1 = 8.0$ (A) Sh	$\varnothing_2 = 10.0$ (H) Sh
7	10	1.0	2.0	$\varnothing_1 = 10.0$ (A) WELD SLUG REMOVED	$\varnothing_2 = 10.0$ (I) NO POSTWELD TREATMENT
8	10	1.0	2.0	$\varnothing_1 = 10.0$ Sh	$\varnothing_2 = 10.0$ (I) Sh
9	10	2.0	3.0	$\varnothing_1 = 10.0$ (B) WELD METAL DRESSED (30R) Sh	$\varnothing_2 = 10.0$ (J) WELD METAL DRESSED (20R) Sh
10	10	2.0	3.0	$\varnothing_1 = 10.0$ (B) WELD METAL DRESSED (50R) Sh	$\varnothing_2 = 10.0$ (J) WELD METAL DRESSED (40R) Sh

Sh=SHOT BLAST A, B, H, I, J=SEE FIG. 3.2-1

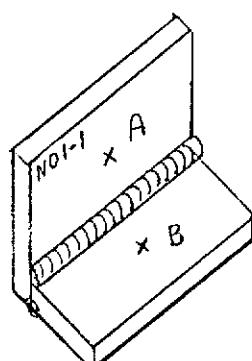
189

表 3 . 2 - 2 膜厚分布測定用塗装仕様

工程	材料名	塗布回数	膜厚
素地調整	ニアホワイト仕上げ サンドブラスト	SIS Sa2.5	
プライマー	ビニルエステル樹脂	1回刷毛塗布	30~40 μ
中塗り	ガラスフレーク	5回刷毛塗布	min
	ビニルエステル樹脂	2回刷毛塗布	800 μ
上塗り			
トップコート	ポリウレタン樹脂	1回刷毛塗布	20~30 μ

表3. 2-3 平面部での膜厚  
硬化膜厚(単位 $\mu\text{m}$ ) 膜厚計 SANKO SL-2C 使用

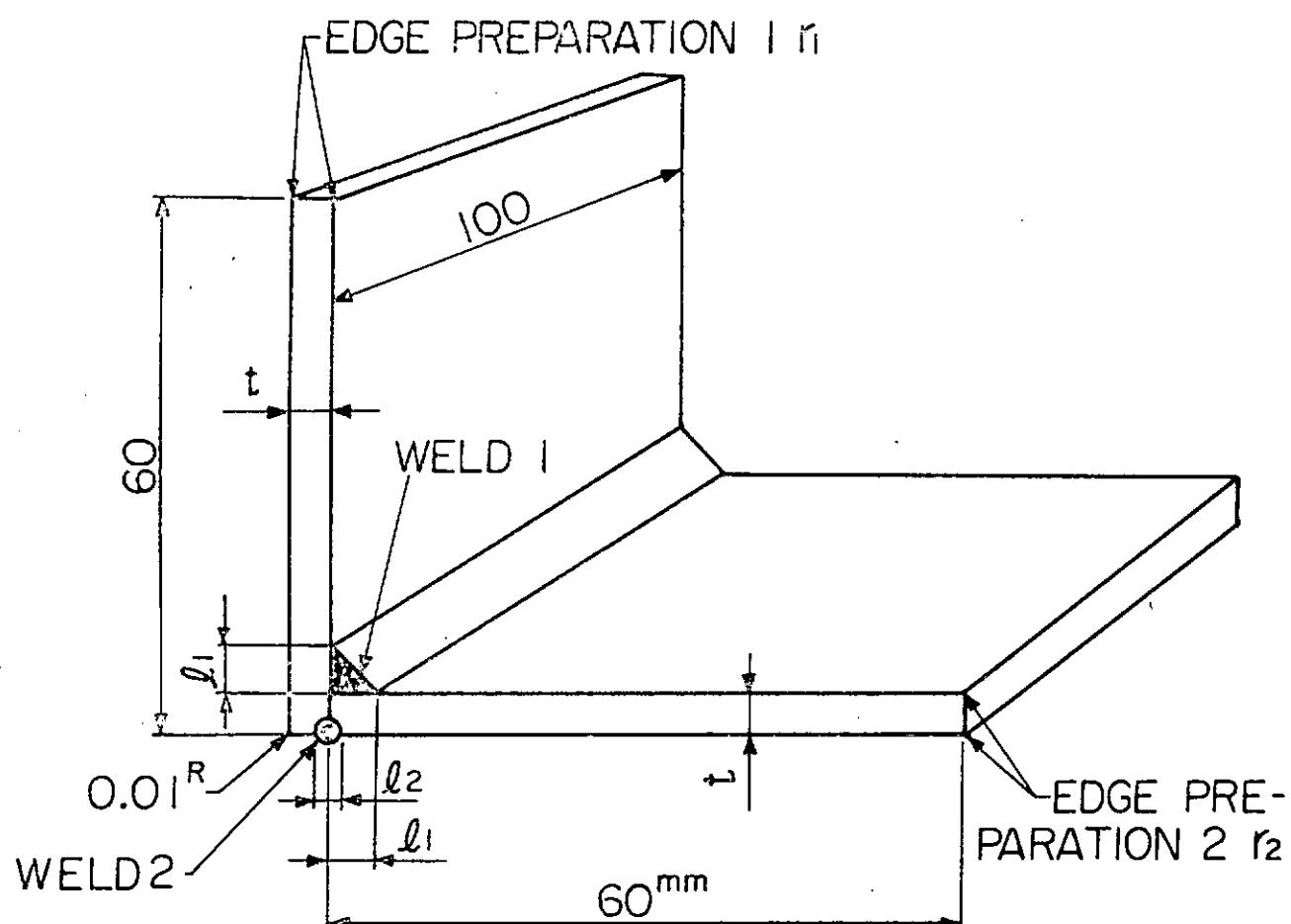
測定点 試験片 No.	A B面			A B裏面		
	A	B	平均	A'	B'	平均
1-1	1010	1020	1015	1010	1000	1005
1-2	1010	1030	1020	940	1000	970
2-1	1000	1000	1000	980	1000	990
2-2	1000	1000	1000	900	930	915
3-1	1020	950	985	900	1010	955
3-2	980	980	980	970	910	940
4-1	1020	1010	1015	1010	1030	1020
4-2	1020	920	970	900	1010	955
5-1	1010	900	955	980	1010	995
5-2	980	1020	1000	970	950	960
6-1	1020	1010	1015	900	930	915
6-2	1020	1000	1010	920	870	895
7-1	1010	1030	1020	950	950	950
7-2	850	950	900	1000	1050	1025
8-1	1040	1040	1040	930	970	950
8-2	1010	1010	1010	830	1010	920
9-1	1030	1030	1030	900	920	910
9-2	1010	1010	1010	920	900	910
10-1	1020	1030	1025	920	880	900
10-2	1030	1030	1030	910	980	945



X印：測定点

表 3. 2-4 隅角部の膜厚分布特性

試験片番号	隅角部内側			隅角部外側		
	$\sigma$ (mm)	m (mm)	$\sigma/m$	$\sigma$ (mm)	m (mm)	$\sigma/m$
1	0.37	1.23	0.30	0.14	0.96	0.15
2	0.18	1.05	0.17	0.16	0.85	0.19
3	0.23	1.13	0.20	0.18	0.87	0.21
4	0.11	1.15	0.10	0.20	0.95	0.21
5	0.23	1.09	0.21	0.15	0.93	0.16
6	0.21	1.17	0.18	0.16	0.79	0.20
7	0.14	1.12	0.13	0.14	0.82	0.17
8	0.17	1.22	0.14	0.12	0.85	0.14
9	0.11	1.16	0.10	0.14	0.89	0.16
10	0.13	1.14	0.11	0.13	0.85	0.15



WELD 1    A: WELD SHAPE NOT DRESSED  
 B: WELD SHAPE DRESSED BY GRINDER  
 WELD 2    H: WELD SHAPE NOT DRESSED  
 I: WELD SHAPE FLATTENED BY GRINDER  
 J: WELD SHAPE DRESSED BY GRINDER  
 TO BE 20R OR 40R

図 3.2-1 溶接隅肉継手試験片

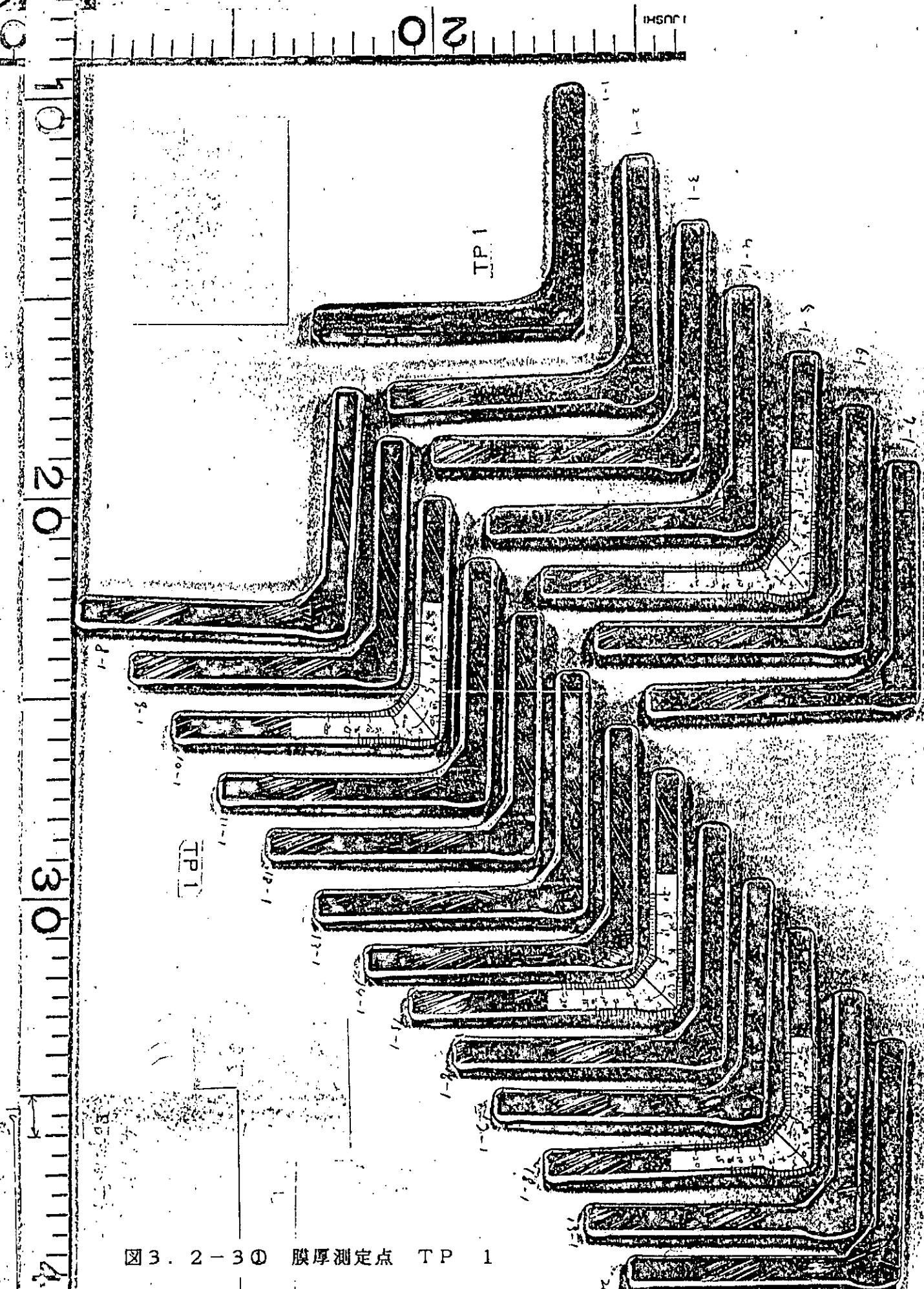


図3. 2-3① 膜厚測定点 TP 1

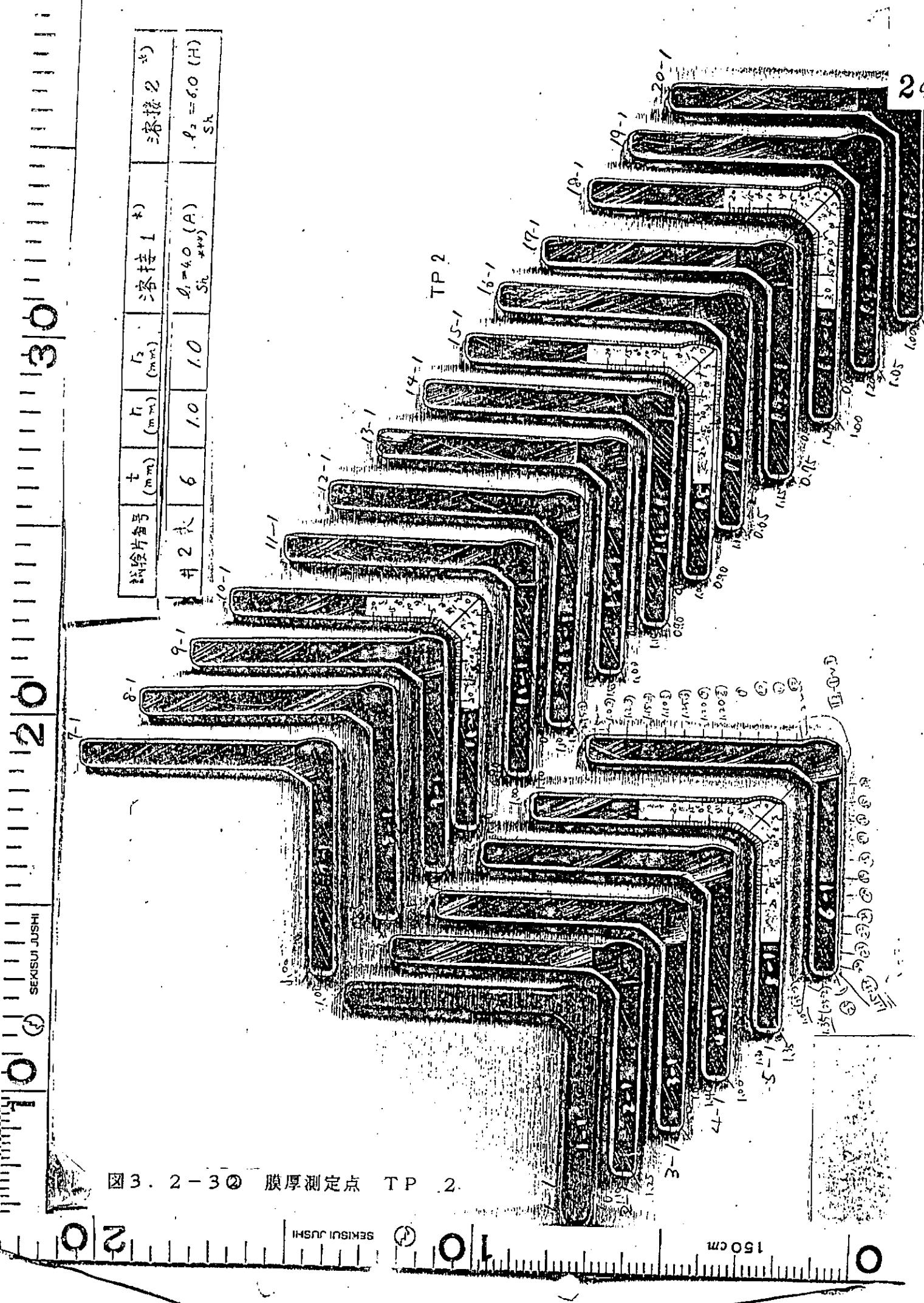


図3. 2-3② 膜厚測定点 TP-2

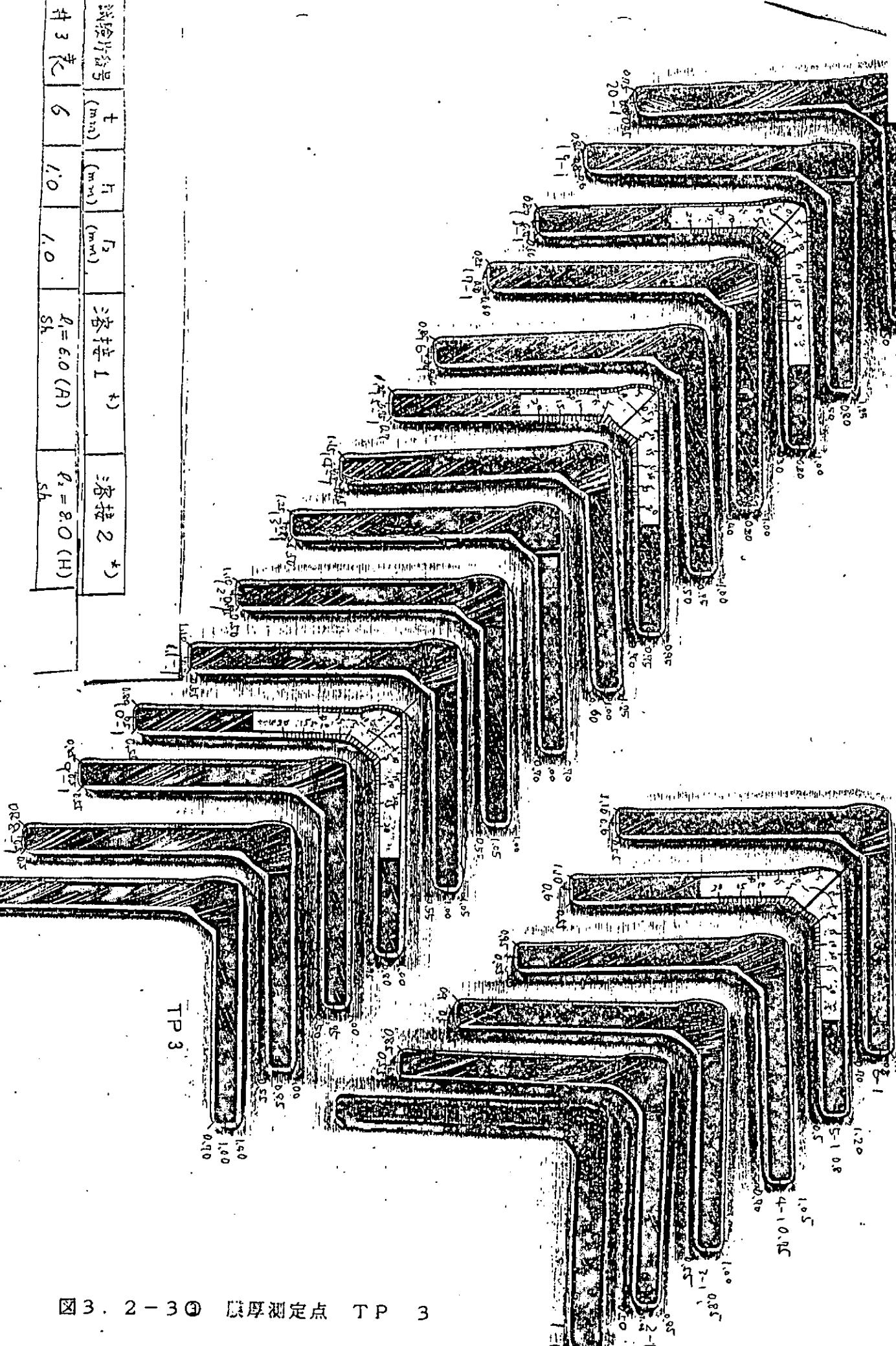
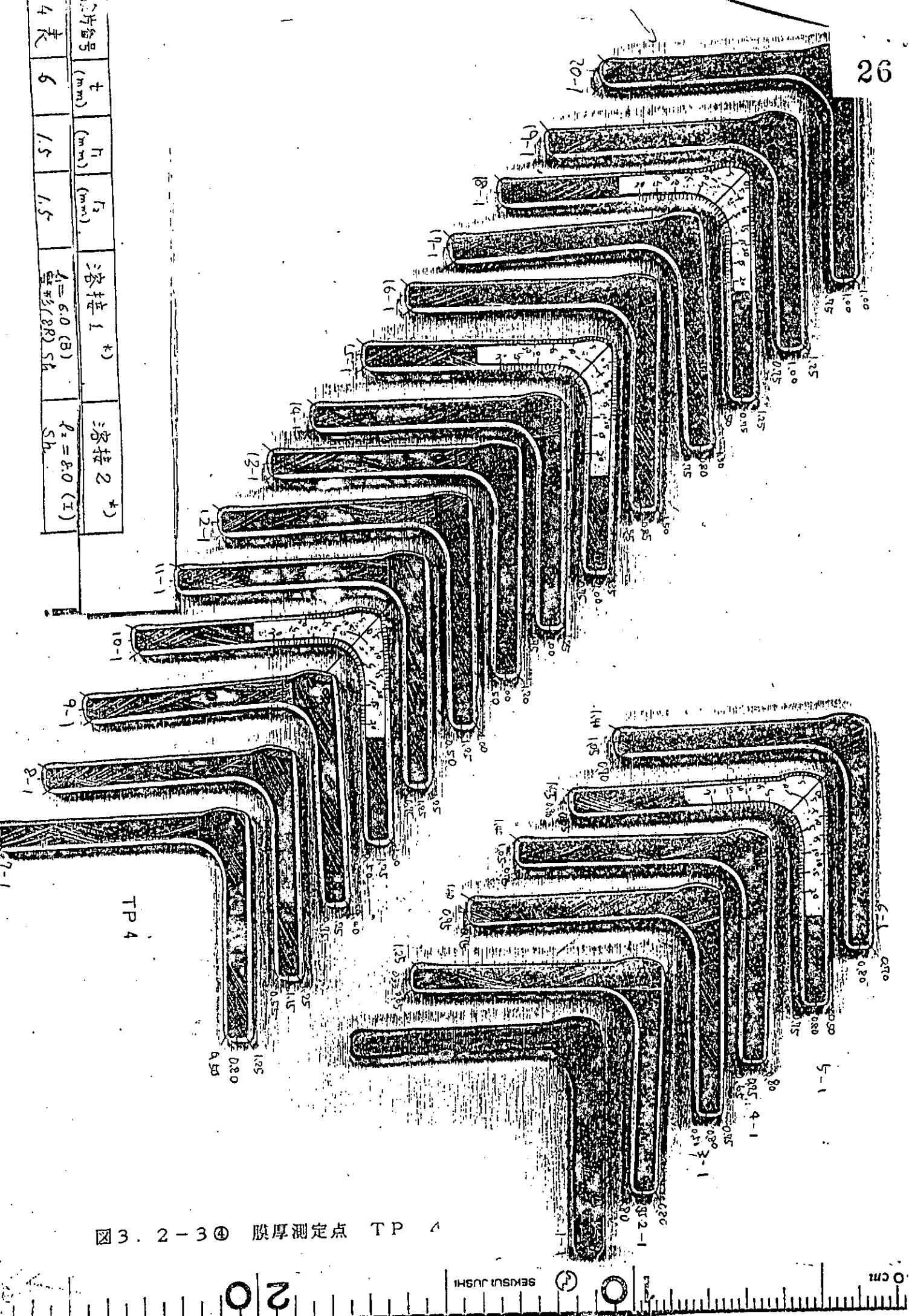


図3.2-3③ 膜厚測定点 TP 3



27

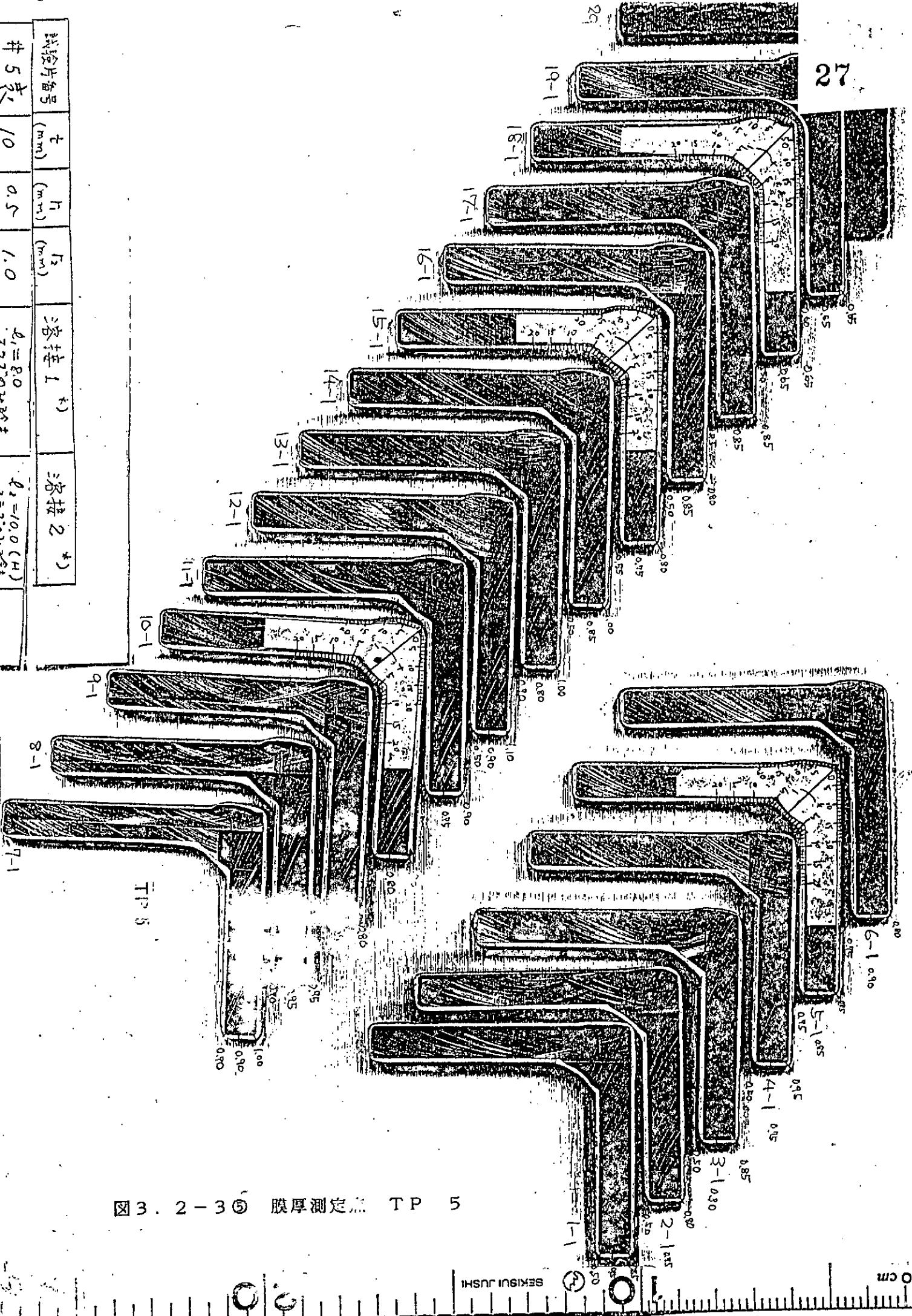
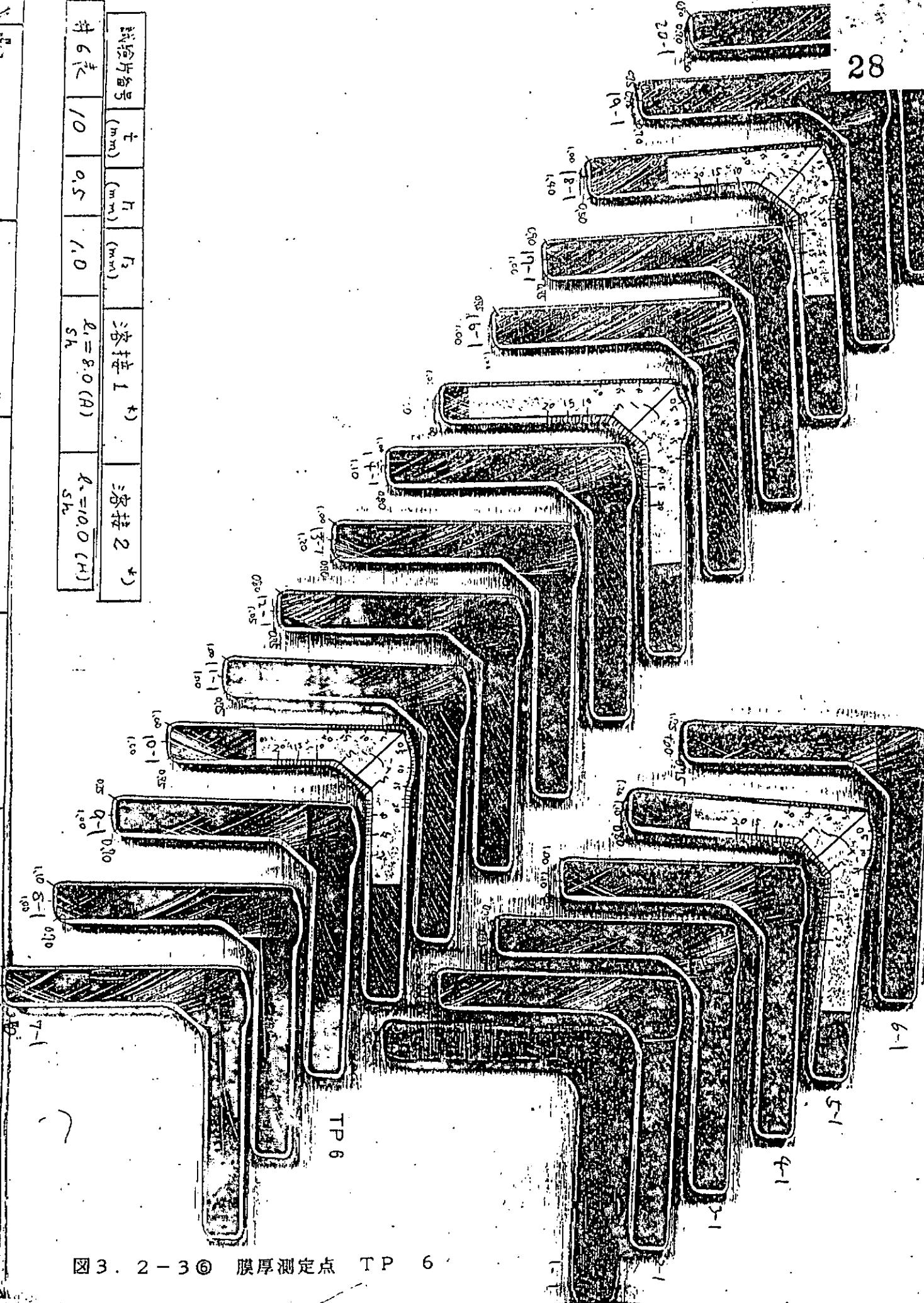


図3.2-3⑤ 膜厚測定点 T P 5

試験片番号	$t$ (mm)	$b$ (mm)	$r$ (mm)	$\rho_s = 8.0$ (A) $\rho_r = 10.0$ (H)	溶接 1 (#)	溶接 2 (#)
計 6 #	10	0.5	1.0			



試験片番号	$t$ (mm)	$T_1$ (mm)	$T_2$ (mm)	溶接 1 *)	溶接 2 *)
#7表	1.0	1.0	2.0	$I_1 = 10.0$ (A) $I_2 = 10.0$ (A) $\times 2.5 \times 2.0 \times 2.0$	$I_2 = 10.0$ (A) $\times 2.5 \times 2.0 \times 2.0$

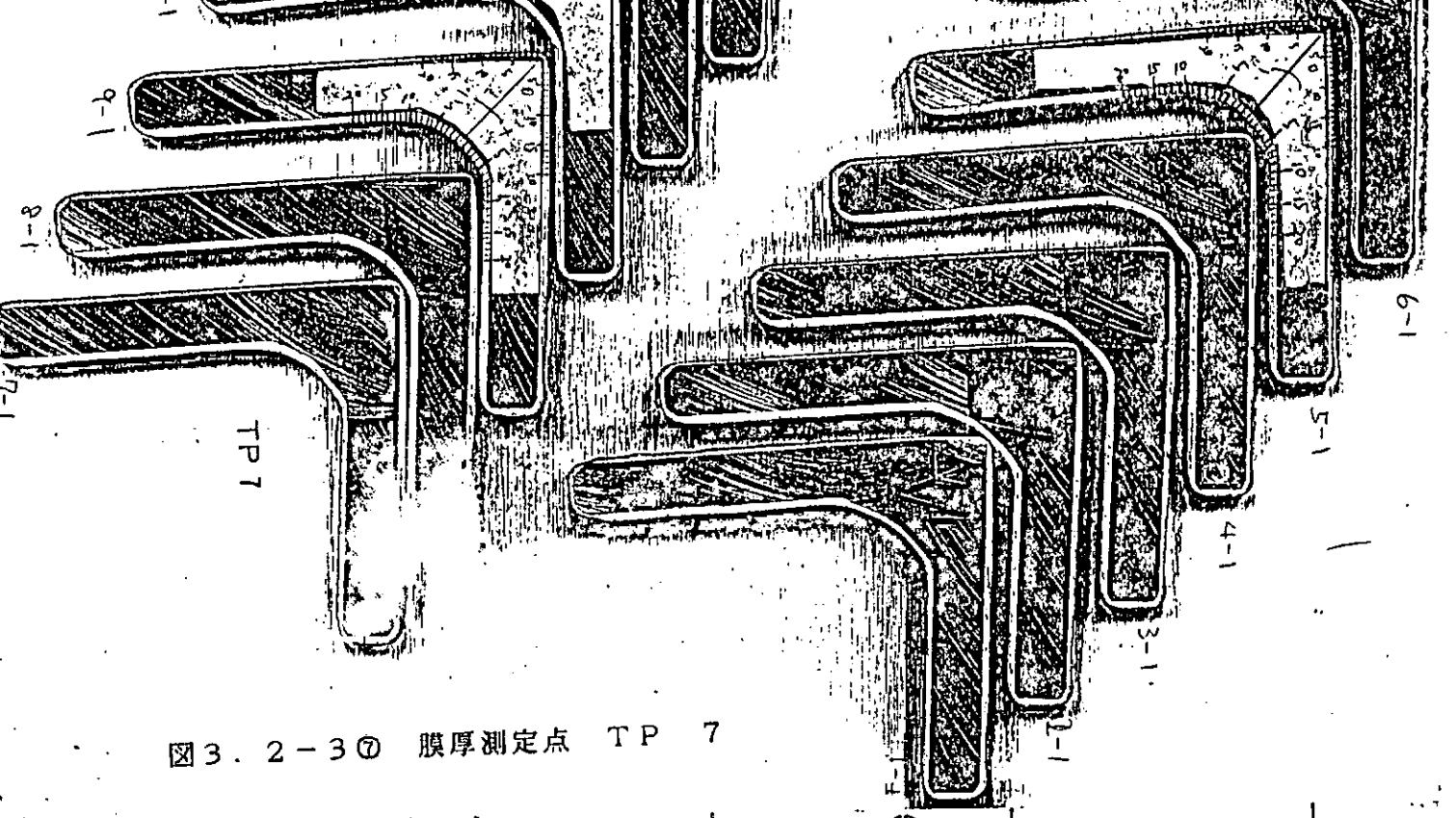


図3. 2-3⑦ 膜厚測定点 TP 7

試験片番号	$t$ (mm)	$H$ (mm)	$T_3$ (mm)	溶接 1 *	溶接 2 *
8表	1.0	1.0	2.0	$L = 10.0$	$L = 10.0$
				$S_h$	$S_h$

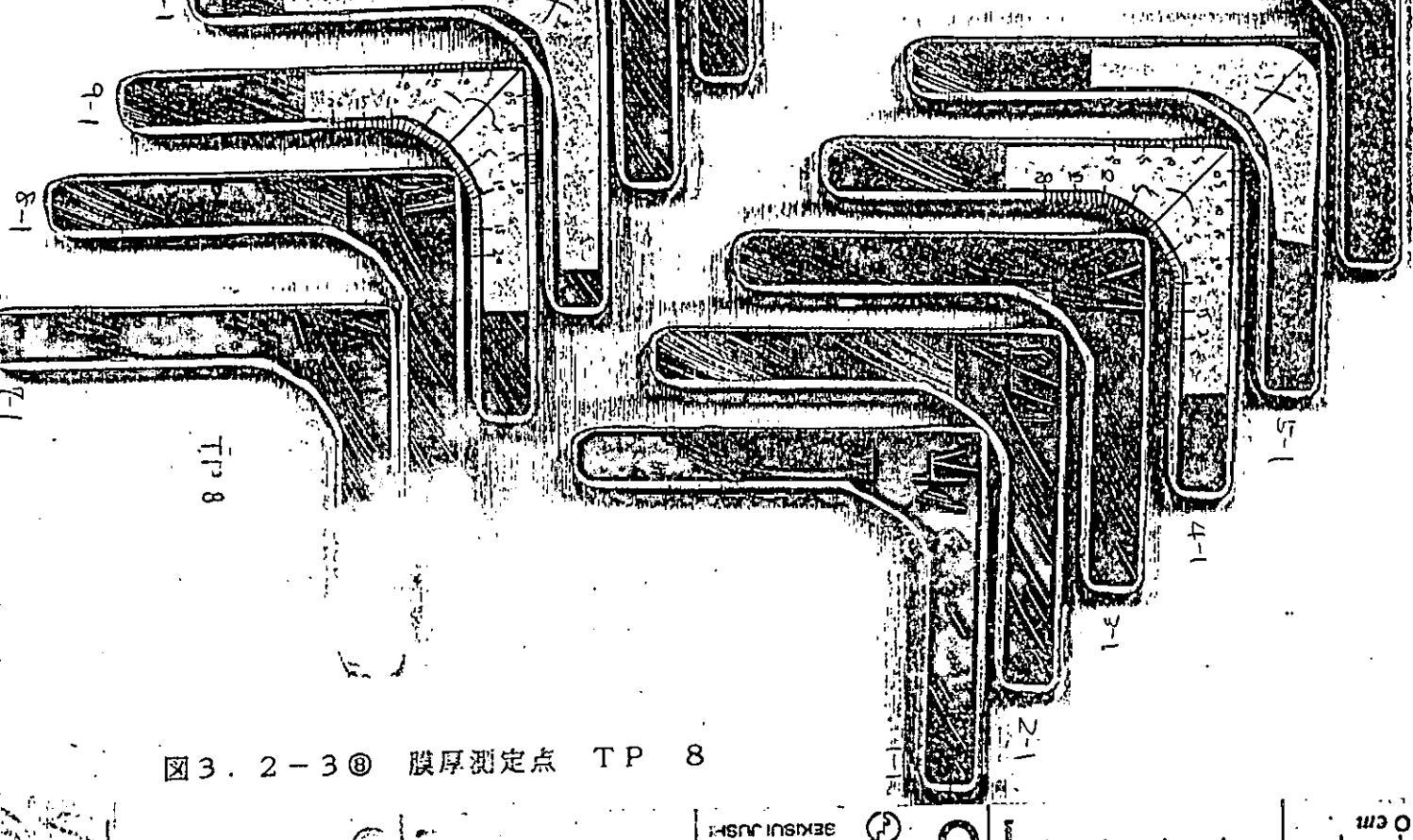


図3.2-3⑧ 膜厚測定点 TP 8

試験片番号	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	溶接 1 (*)	溶接 2 (*)
# 9 号	10	3.0	3.0	$\ell_{\text{溶接}} = 10.0 \text{ (B)}$ $\ell_{\text{溶接}} = 10.0 \text{ (J)}$ $\ell_{\text{溶接}} = 10.0 \text{ (S)}$

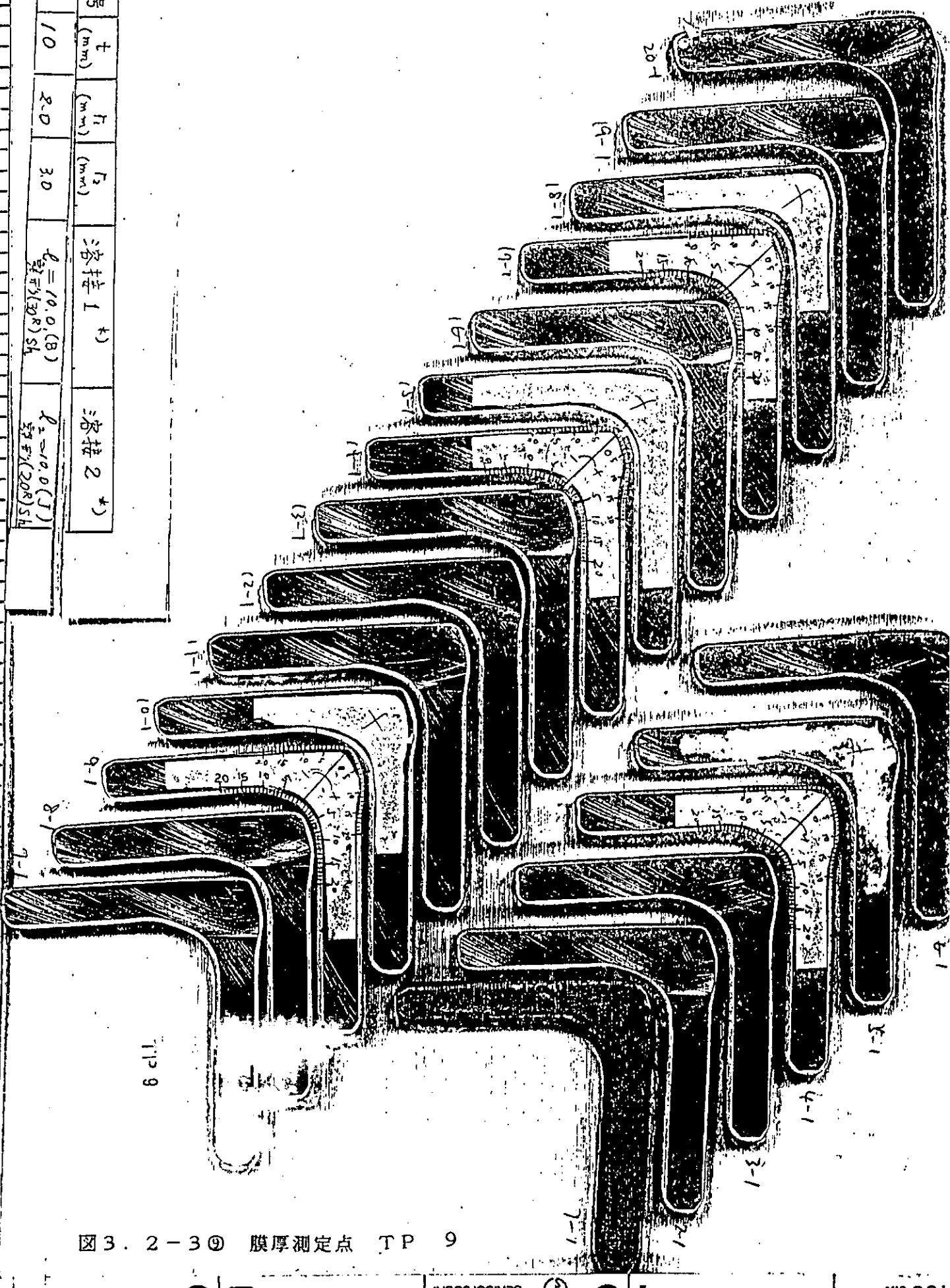


図 3. 2-3 ④ 膜厚測定点 TP 9

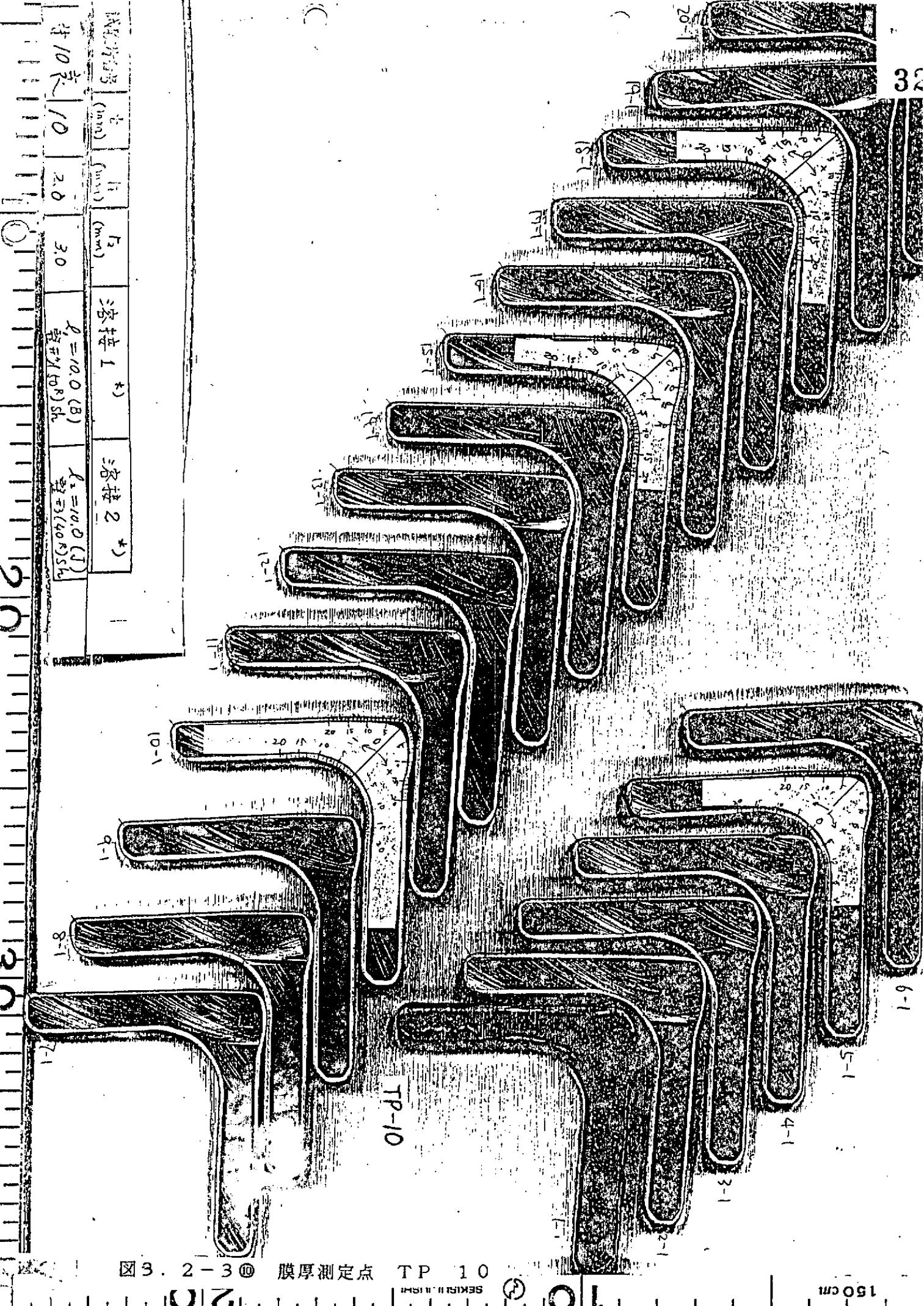


図3. 2-3<sup>⑩</sup> 膜厚測定点 TP 10

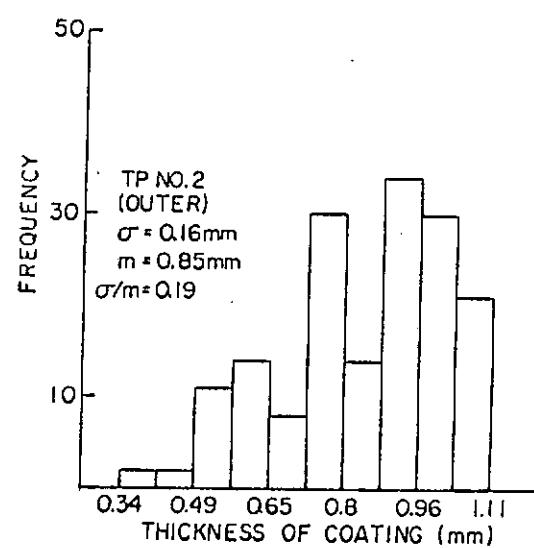
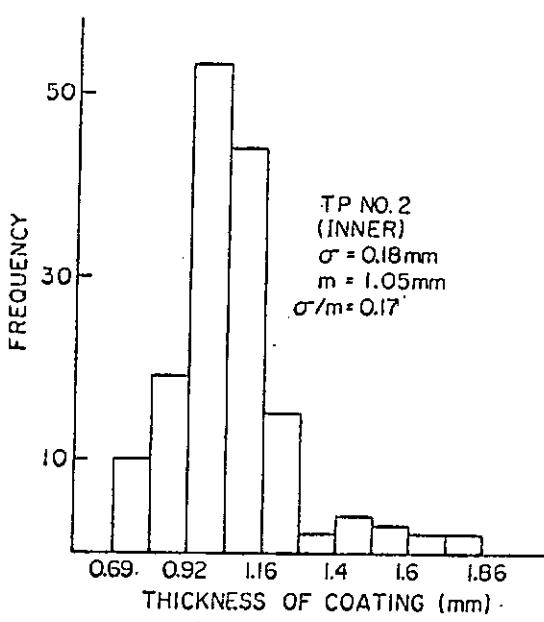
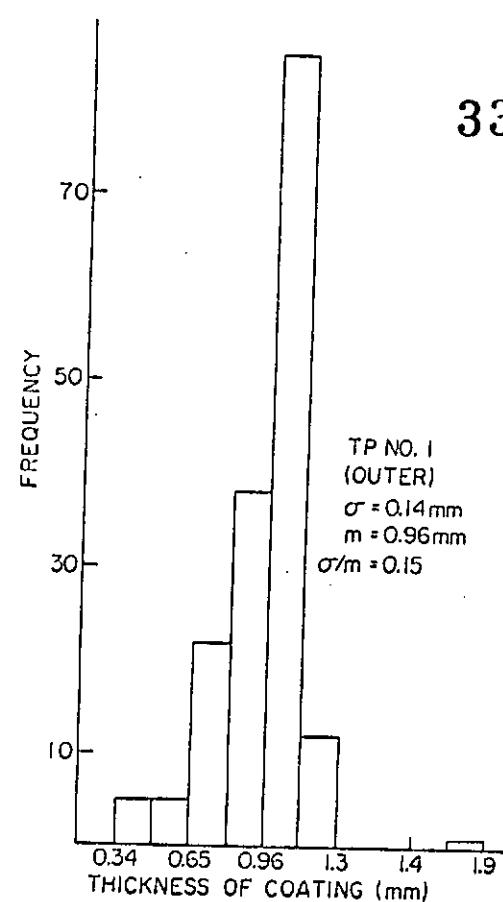
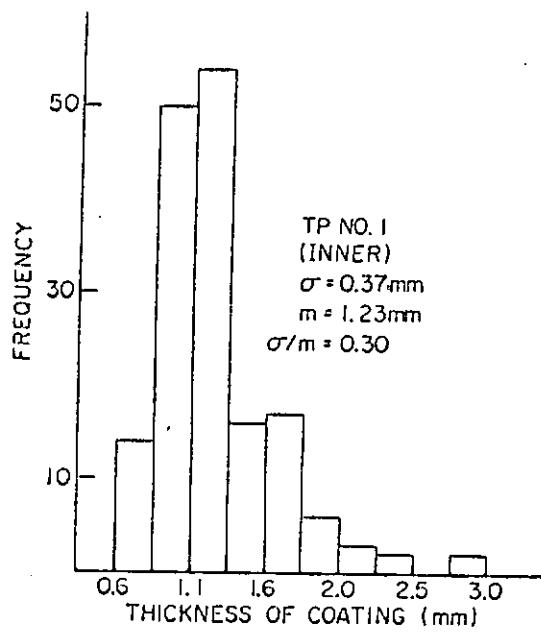


図3. 2-4① 膜厚分布 (TP 1, TP 2)

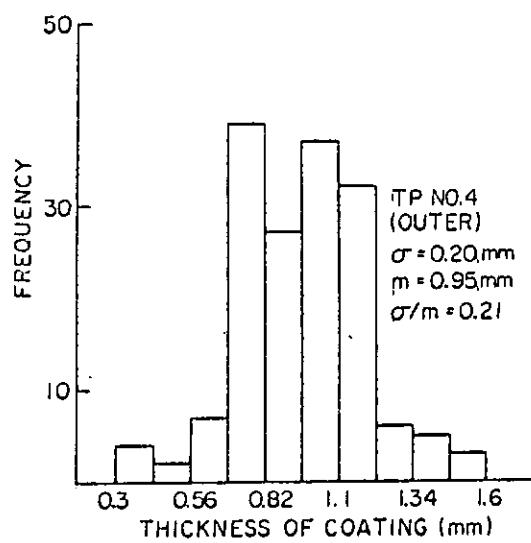
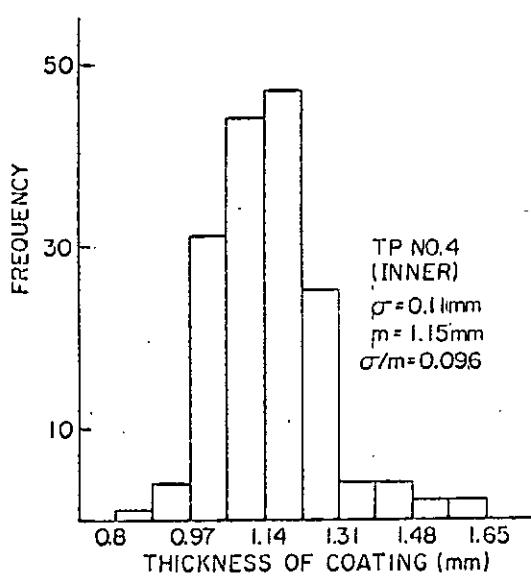
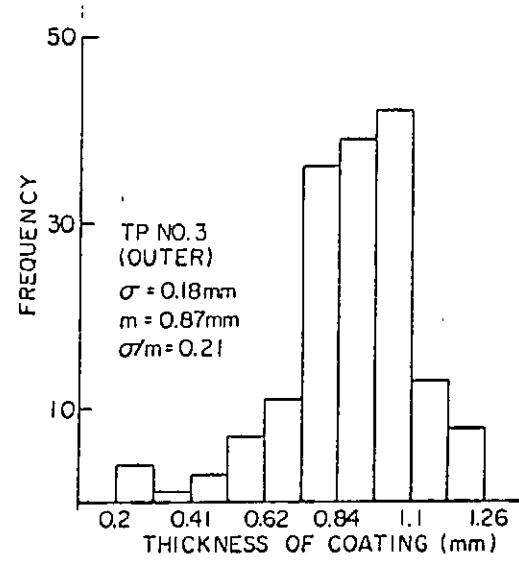
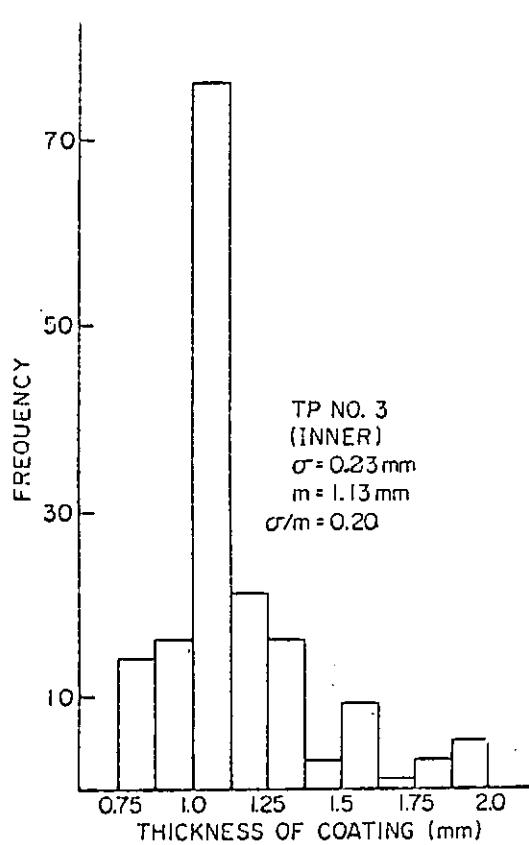


図3. 2-4 ② 膜厚分布 (TP 3, TP 4)

(2) 3.2-3 (2)

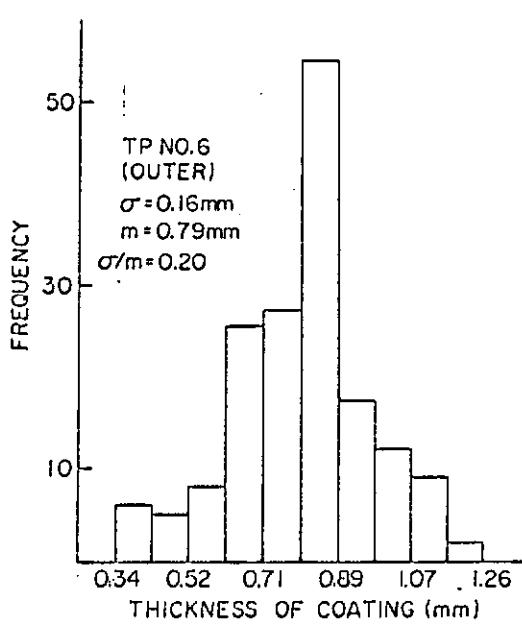
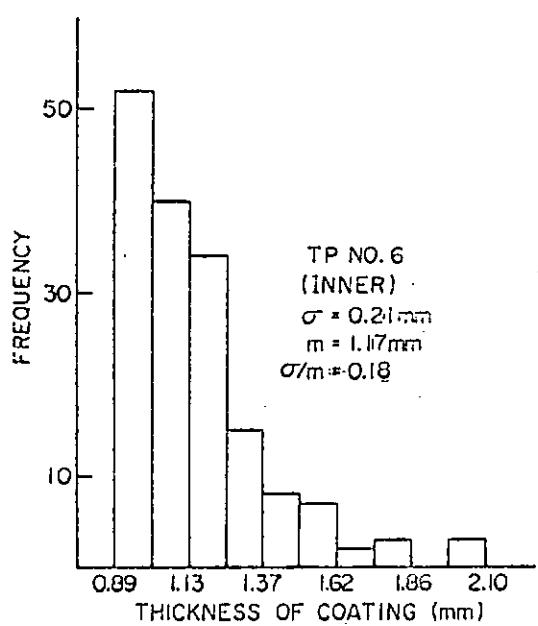
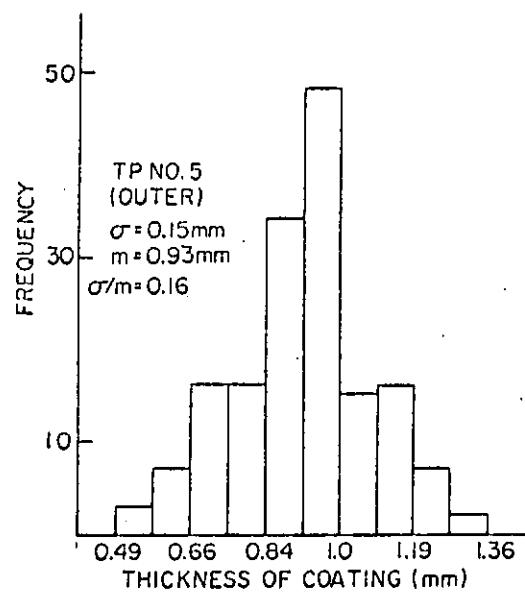
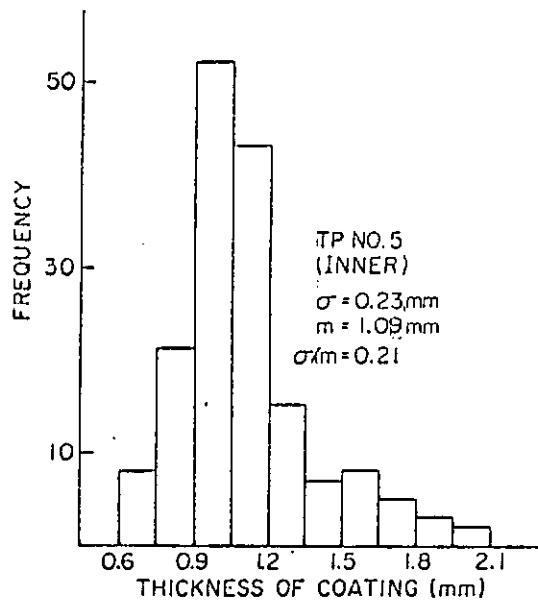


図3. 2-4③ 膜厚分布 (TP 5, TP 6)

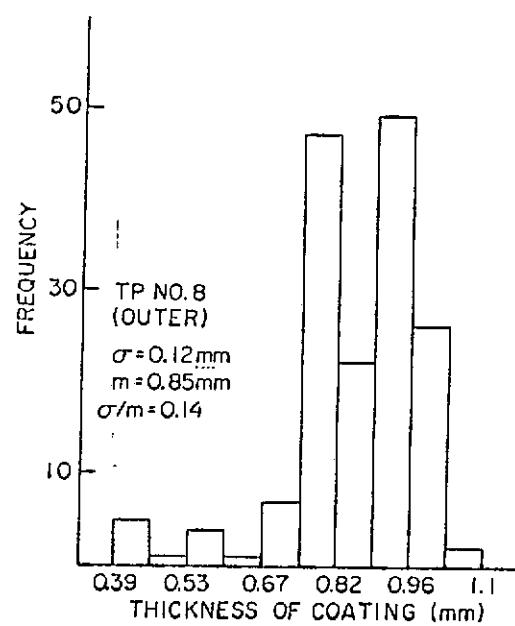
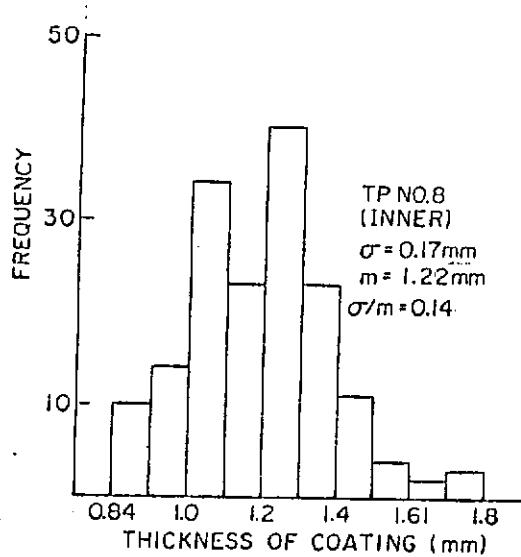
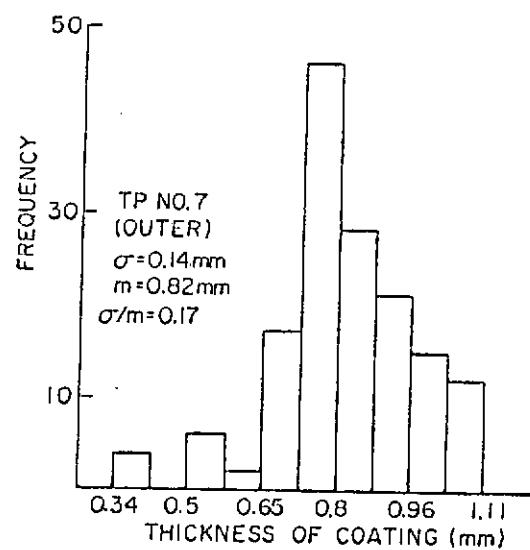
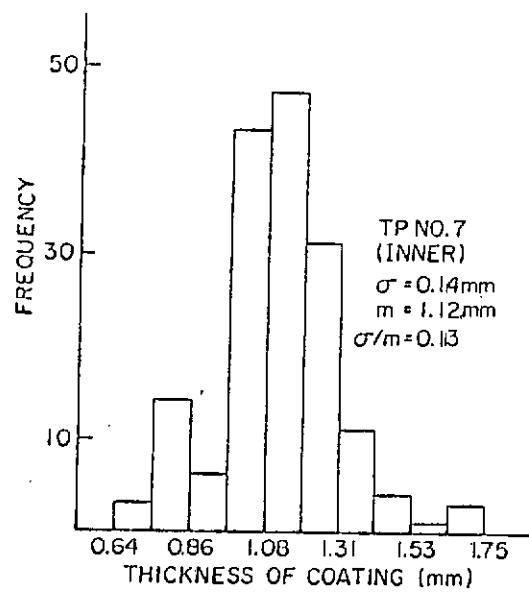


図3. 2-4④ 膜厚分布 (TP 7, TP 8)

(2) 2-3(4)

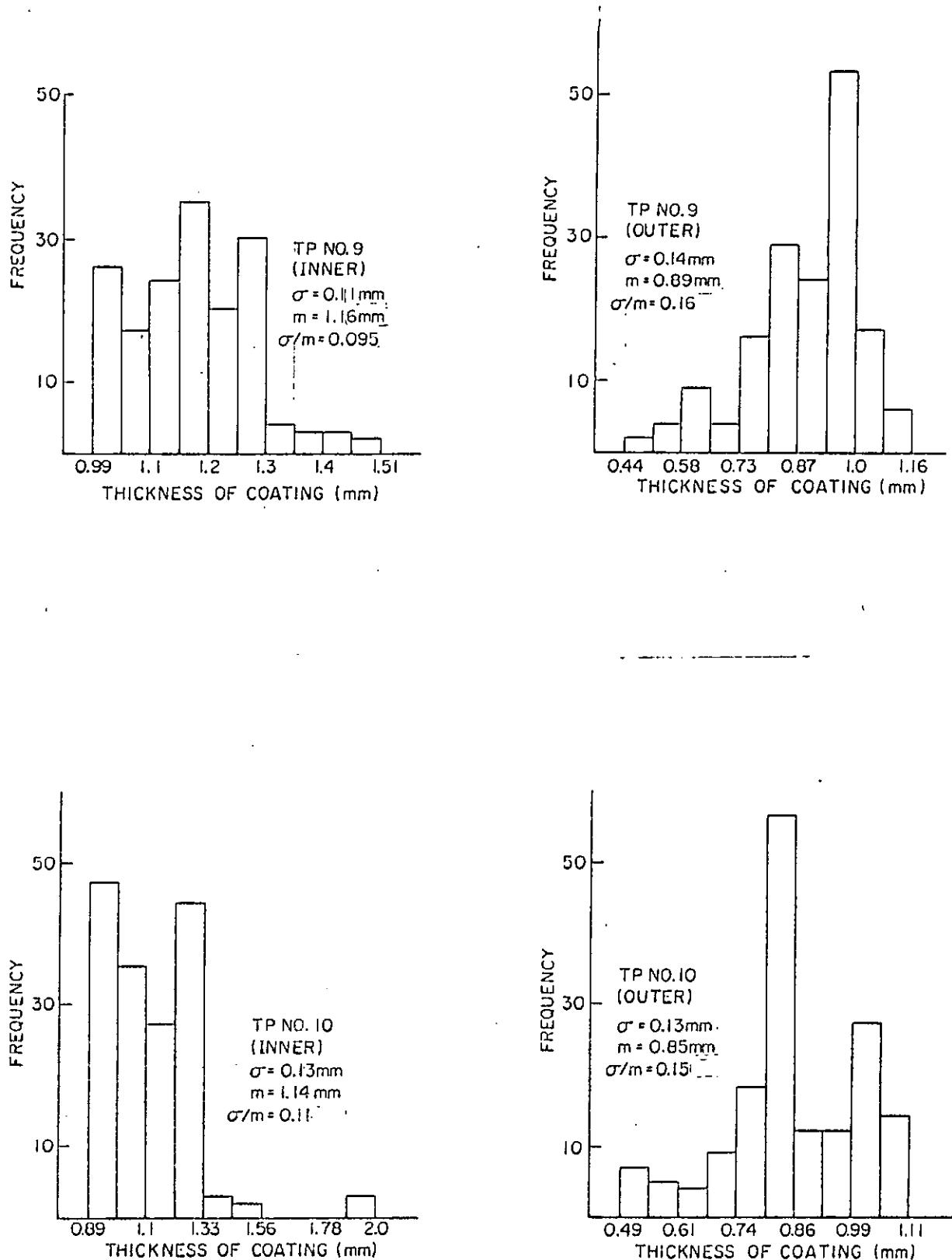


図3. 2-4⑤ 膜厚分布 (TP 9, TP 10)

(2) 3.2~3 (S)

### 3. 3 暴露試験結果

#### (1) 概要

実環境における劣化過程を把握し、促進試験の促進率判定の基準に資するため、大気中（船舶技術研究所建屋屋上）及び洋上（大井川港沖）で各々5年間を目途とした暴露試験を実施し、大気中3年、洋上2年の試験データを得た。

劣化の評価はインピーダンス、付着強度、3点曲げにおけるキレツ発生たわみによって行なった。

#### (2) 大気中暴露試験結果

インピーダンスの経年変化を表3. 3-1①～⑥、図3. 3-1①～②に示す。付着強度及びキレツ発生たわみの経年変化を表3. 3-2①～④、図3. 3-2に示す。

陸上と海洋暴露を並行して行なった仕様、No. S1, S2, S3, S7について变化の傾向は次のようであった。

交流抵抗は、経年変化が、顕著であった。仕様No. S1, S3は、3年暴露後初期値を維持しているが、S2, S7は初期値の1/2程度に低下した。

容量は、経年変化が少なく、各仕様とも3年暴露後初期値を保持した。

$\tan \delta$ は、3年暴露後仕様No. S1, S3が初期値をほぼ維持したが、S2, S7は増大した。

付着力は、3年暴露後仕様、4仕様の内No. S2だけが低下を示した。但し、S1, S3は凝集破壊であったがS2, S7は接着面破壊である。キレツ発生たわみは、仕様No. S7以外は低下を示した。

#### (3) 海洋暴露試験結果

インピーダンスの経年変化を図3. 3-3①～②に示す。付着力及びキレツ発生たわみの経年変化を、表3. 3-3①～④、図3. 3-4に示す。

仕様No. S1, S2, S3, S7の変化傾向は次のようであった。

交流抵抗は、洋上大気中では、仕様No. S7が顕著な低下を示したが、他の仕様は2年暴露後も初期値を保持した。水中ではNo. S1, S2, S7が低下した。但し、S1, S2は付着生物除去時の塗膜損傷の影響とも考えられる。

容量は、仕様S7の水中においていたものが、増加顕著であり、交流抵抗の現象と合わせ、含水によると推定される典型的劣化傾向を示した。他の3仕様は2年後もほぼ初期値に近い値であった。

$\tan \delta$ は、4仕様とも低下傾向を示した。大気中、水中による違いはS1を除くと大差はない。S1では水中の方が大きな値を示した。

キレツ発生たわみは2年後もほぼ初期値に近い値を示した。

## (4) まとめ

S R 1 8 2 の塗装仕様 8 種（塗装仕様 N o . S 1 ~ S 8 で表示）について、大気中に 3 年、干溝帯及び、水中に各 2 年暴露した試験片を回収し、劣化諸バラメータ（インピーダンス、付着力、曲げ試験での割れ発生たわみ等）の変化を求めた。防食仕様により、劣化バラメータの変化に特徴があること、インピーダンスの変化には、測定方法によるばらつきが大きいこと、付着力変化は、劣化バラメータとして安定していることがわかった。

## 3. 3節 図、表一覧

- 表3. 3-1 ①1/2 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S1  
 表3. 3-1 ①2/2 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S1  
 表3. 3-1 ② 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S2  
 表3. 3-1 ③ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S3  
 表3. 3-1 ④ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S4  
 表3. 3-1 ⑤ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S5  
 表3. 3-1 ⑥ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S6  
 表3. 3-1 ⑦ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S7  
 表3. 3-1 ⑧ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. S8  
 表3. 3-2 ① 大気中暴露（付着力、曲げ試験結果）防食仕様No. S1  
 表3. 3-2 ② 大気中暴露（付着力、曲げ試験結果）防食仕様No. S2  
 表3. 3-2 ③ 大気中暴露（付着力、曲げ試験結果）防食仕様No. S3  
 表3. 3-2 ④ 大気中暴露（付着力、曲げ試験結果）防食仕様No. S7  
 表3. 3-3 ① 大井川港沖2年暴露(1KHz, インピーダンス)防食仕様No. S1  
 表3. 3-3 ② 大井川港沖2年暴露(1KHz, インピーダンス)防食仕様No. S2  
 表3. 3-3 ③ 大井川港沖2年暴露(1KHz, インピーダンス)防食仕様No. S3  
 表3. 3-3 ④ 大井川港沖2年暴露(1KHz, インピーダンス)防食仕様No. S7  
 表3. 3-4 ①1/2 大井川港沖1年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S1  
 表3. 3-4 ①2/2 大井川港沖2年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S1  
 表3. 3-4 ②1/2 大井川港沖1年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S2  
 表3. 3-4 ②2/2 大井川港沖2年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S2  
 表3. 3-4 ③1/2 大井川港沖1年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S3  
 表3. 3-4 ③2/2 大井川港沖2年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S3  
 表3. 3-4 ④1/2 大井川港沖1年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S7  
 表3. 3-4 ④2/2 大井川港沖2年暴露（付着力、曲げ試験）防食仕様No. S7
- 図3. 3-1 ① 大気暴露(1KHz, インピーダンス)経年変化, 防食仕様No. S1, S2  
 図3. 3-1 ② 大気暴露(1KHz, インピーダンス)経年変化, 防食仕様No. S3, S7  
 図3. 3-2 大気暴露(付着力、曲げ試験) 経年変化 防食仕様No.S1, S2, S3, S7  
 図3. 3-3 ① 大井川港沖暴露(1KHz, インピーダンス)経年変化 防食仕様No.S1, S2  
 図3. 3-3 ② 大井川港沖暴露(1KHz, インピーダンス)経年変化 防食仕様No.S3, S7  
 図3. 3-4 大井川港沖暴露(付着力、曲げ試験) 経年変化 防食仕様No.S1, S2, S3, S7

3. 3-1①1/2 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様 N o. 1 (1 KHz)

試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 初期抵抗	初期容量 (pF)	暴露後容量 (pF)	暴露後容量 初期容量	初期 tan δ		暴露後 tan δ	
							暴 露 後 容 量 初 期 容 量	暴 露 後 容 量 暴 露 前 容 量	暴 露 後 tan δ 初期	暴 露 後 tan δ 暴 露 後
6 ヶ月	1-1	6.24	7.56	1.21	708	838	1.18	0.036	0.025	0.69
	1-2	6.24	5.25	0.84	757	861	1.14	0.034	0.035	1.03
	1-3	5.55	5.94	1.07	804	1016	1.26	0.036	0.026	0.72
	1-4	3.84	5.88	1.53	804	1042	1.30	0.040	0.026	0.65
	1-5	4.56	5.88	1.29	968	1002	0.12	0.036	0.027	0.75
月 平均値	5.28	6.09	1.15	808	952	1.20	0.036	0.028	0.77	
	1-6	4.17	3.24	0.77	859	773	0.90	0.045	0.064	1.42
	1-7	3.57	2.85	0.80	851	660	0.78	0.052	0.084	1.62
	1-8	4.56	3.33	0.73	861	628	0.73	0.041	0.072	1.76
	1-9	3.57	2.85	0.80	892	602	0.67	0.050	0.058	1.16
ヶ月 平均値	3.96	3.06	0.77	866	666	0.77	0.047	0.070	1.49	
	1-11	4.77	9.09	1.91	786	767	0.98	0.042	0.023	0.55
	24 ヶ月	4.77	11.01	2.33	706	689	0.98	0.049	0.021	0.43
	1-13	5.01	7.68	1.53	808	728	0.90	0.039	0.028	0.76
	1-14	7.14	99.90	14.0	574	19.1	0.03	0.039	0.083	2.13
ヶ月 平均値(1-14)	5.25	9.09	1.73	826	864	1.05	0.037	0.020	0.54	
	4.96	9.24	1.87	781	762	0.97	0.040	0.023	0.58	

## 3. 3-1①2/2 大氣中暴露 (インピーダンス) 防食仕様N o. 1 (1KHz)

試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	初期容量 (pF)	暴露後容量 (pF)	初期容積 暴露後容積 初期容積	初期tanδ	暴露後tanδ	初期tanδ	暴露後tanδ
								暴露後抵抗 初期抵抗	暴露後容量 初期容量
3ヶ月	1-16	5.88	5.83	0.99	7.44	7.08	0.95	0.036	0.039
	1-17	4.77	4.26	0.89	6.41	5.76	0.90	0.052	0.065
	1-18	4.77	4.83	1.01	7.92	6.56	0.83	0.042	0.050
	1-19	6.24	5.96	0.96	6.70	6.62	0.99	0.038	0.040
	1-20	6.66	5.96	0.89	6.28	5.72	0.91	0.038	0.047
	平均値	5.66	5.37	0.95	6.95	6.35	0.92	0.041	0.048

3. 3-1② 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様 N o. 2 (1 KHz)

期間	試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	初期抵抗 暴露後抵抗	初期容量 (pF)	暴露後容量 (pF)	初期容量 暴露後容量	初期 tan δ	暴露後 tan δ	初期 tan δ 暴露後 tan δ
6 ヶ月	2-1	14.3	19.3	1.43	390	350	0.90	0.029	0.024	0.83
	2-2	16.7	27.8	1.66	377	320	0.85	0.025	0.018	0.72
	2-3	11.1	20.4	1.84	418	383	0.92	0.034	0.020	0.59
	平均	14.0	22.4	1.60	395	351	0.89	0.029	0.021	0.72
	2-4	16.7	7.14	0.43	328	318	0.97	0.029	0.070	2.41
	2-5	16.7	4.56	0.27	347	344	0.99	0.027	0.102	3.78
15 ヶ月	2-6	16.7	3.33	0.20	328	417	1.27	0.029	0.115	3.97
	平均値	16.7	5.01	0.30	334	360	1.08	0.029	0.096	3.31
	2-7	14.3	16.7	1.17	415	390	0.94	0.027	0.025	0.93
	2-8	14.3	20.0	1.40	398	396	1.00	0.028	0.020	0.71
	平均値	14.3	17.8	1.25	411	396	0.97	0.027	0.024	0.89
	2-9	14.3	16.7	1.17	419	403	0.96	0.027	0.023	0.85
24 ヶ月	2-10	20.0	13.3	0.67	322	273	0.85	0.025	0.044	1.76
	2-11	20.0	12.5	0.63	313	292	0.93	0.025	0.044	1.76
	2-12	16.7	10.1	0.60	332	305	0.92	0.029	0.052	1.79
	平均値	18.9	12.0	0.63	322	290	0.90	0.026	0.047	1.77

3. 3-1③ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様No. 3 (1 KHz)

試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	暴漏後抵抗初期抵抗	初期容量 (pF)	暴露後容量(初期容量)	初期tanδ	暴露後tanδ	暴露後tanδ初期tanδ
6 ヶ月	3-1 7.14	6.12	0.86	731	706	0.97	0.031	0.037 1.19
	3-2 6.09	15.2	2.49	841	732	0.87	0.030	0.014 0.47
	3-3 7.80	14.3	1.83	752	645	0.86	0.028	0.017 0.61
	平均値	7.02	11.9	1.69	775	694	0.90	0.030 0.023 0.77
	3-4 6.66	5.55	0.83	752	643	0.86	0.032	0.045 1.41
	3-5 7.14	4.77	0.67	771	760	0.99	0.029	0.044 1.52
15 ヶ月	3-6 9.09	6.24	0.69	797	559	0.93	0.022	0.02 2.09
	平均値	7.62	5.52	0.72	773	654	0.93	0.028 0.042 1.50
	3-7 9.09	20.0	2.20	782	706	0.90	0.022	0.011 0.50
	3-8 7.14	20.0	2.80	746	643	0.86	0.030	0.012 0.40
	3-9 7.14	20.0	2.80	689	552	0.80	0.032	0.015 0.47
	平均値	7.80	20.0	2.57	739	634	0.86	0.028 0.013 0.46
24 ヶ月	3-10 7.68	17.5	2.28	704	624	0.89	0.029	0.015 0.52
	3-11 9.09	8.13	0.89	590	598	1.01	0.030	0.033 1.10
	3-12 8.34	9.52	1.14	679	650	0.96	0.028	0.026 0.93
	平均値	8.37	11.7	1.44	658	624	0.95	0.029 0.025 0.85

3. 3-1④. 大気中暴露(インピーダンス)防食仕様N○. 4 (1 KHz)

期間	試験片番号	初期抵抗(MΩ)	暴露後抵抗(MΩ)	初期容量(pF)	暴露後容量(pF)	初期容量 暴露後容量	初期tanδ	暴露後tanδ	暴露後tanδ 初期tanδ
6ヶ月	4-1	20.0	31.2	1.56	297	277	0.93	0.027	0.018 0.67
	4-2	25.0	32.1	1.28	293	275	0.94	0.022	0.018 0.82
	4-3	20.0	30.3	1.51	281	270	0.96	0.028	0.019 0.68
15ヶ月	平均値	21.7	31.2	1.44	290	274	0.94	0.026	0.019 0.73
	4-4	20.0	11.1	0.55	286	289	1.01	0.028	0.049 1.75
	4-5	20.0	9.99	0.50	258	270	1.05	0.031	0.059 1.90
24ヶ月	4-6	25.0	25.0	1.00	277	272	0.98	0.024	0.023 0.96
	4-7	25.0	15.4	0.71	274	277	1.02	0.028	0.044 1.57
	4-8	20.0	50.1	2.00	237	232	0.98	0.027	0.014 0.52
38ヶ月	4-9	25.0	33.3	1.67	285	266	0.93	0.028	0.018 0.64
	4-10	25.0	50.0	2.00	254	230	0.88	0.025	0.014 0.56
	平均値	23.3	44.6	1.90	259	243	0.93	0.027	0.015 0.56
45ヶ月	4-11	25.0	13.3	0.53	276	260	0.94	0.023	0.046 2.00
	4-12	25.0	13.9	0.56	251	221	0.88	0.025	0.052 2.08
	平均値	25.0	13.9	0.56	254	240	0.94	0.025	0.048 1.93

## 3. 3-1⑤ 大気中暴露（イシビーダンス）防食仕様N o. 5 (1 KHz)

期間	試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	初期抵抗 暴露後抵抗 初期抵抗	初期容量 (pF)	暴露後容量 (pF)	初期容量 暴露後容量 初期容量	暴露後tanδ	
								初期	暴露後
6ヶ月	5-1	7.14	6.24	0.87	655	756	1.15	0.034	0.034
	5-2	5.25	5.25	1.00	770	809	1.05	0.039	0.037
	5-13	8.34	3.84	0.46	665	974	1.46	0.029	0.043
平均値		6.90	5.10	0.74	697	846	1.22	0.034	0.038
15ヶ月	5-3	5.55	1.68	0.30	789	910	1.15	0.036	0.105
	5-4	5.55	2.43	0.44	880	786	0.89	0.033	0.083
	5-5	4.56	1.68	0.37	905	910	1.00	0.039	0.105
平均値		5.22	1.92	0.37	858	869	1.01	0.036	0.098
24ヶ月	5-6	5.25	1.74	0.33	813	630	0.78	0.037	0.144
	5-7	5.01	6.66	1.33	844	836	0.99	0.038	0.028
	5-8	9.09	5.88	0.65	565	695	1.23	0.031	0.039
平均値		6.45	4.77	0.74	570	720	1.00	0.035	0.070
38ヶ月	5-9	8.34	3.40	0.41	699	739	1.06	0.027	0.063
	5-10	5.25	3.16	0.60	925	877	0.95	0.033	0.057
	5-11	7.14	3.40	0.52	800	836	1.05	0.028	0.056
平均値		6.91	3.32	0.51	808	817	1.02	0.029	0.059

3. 3-1⑥ 大気中暴露（インピーダンス）防食仕様 N o. 6 (1 KHz)

期間	試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 初期抵抗	初期容量 (pF)	暴露後容量 (pF)	初期容量 暴露後容量	初期tanδ	暴露後tanδ	初期tanδ	暴露後tanδ
6ヶ月	6-6	58.8	82.5	1.40	56.5	49.4	0.87	0.048	0.059	1.23	
	6-7	30.3	90.9	3.00	66.3	45.3	0.68	0.079	0.039	0.49	
15ヶ月	平均値	44.7	86.7	1.94	61.4	47.4	0.78	0.064	0.049	0.77	
	6-1	83.1	41.7	0.50	46.6	37.3	0.80	0.041	0.103	2.51	
24ヶ月	6-2	76.8	21.3	0.28	49.2	45.6	0.93	0.039	0.105	2.69	
	平均値	80.1	31.5	0.39	49.4	41.7	0.87	0.040	0.104	2.60	
38ヶ月	6-3	71.4	143	2.00	47.7	36.0	0.76	0.047	0.031	0.66	
	平均値	71.4	125	1.75	49.7	37.3	0.75	0.043	0.034	0.79	
38ヶ月	6-5	99.9	66.6	0.67	47.8	34.7	0.73	0.033	0.069	2.09	
	平均値	71.7	57.1	0.88	59.7	41.9	0.71	0.042	0.069	1.71	

## 3. 3-1⑦ 大気中暴露(インピーダンス)防食仕様N o. 7 (1 KHz)

期間 月	試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	初期容量 (PF)	暴露後容量 (PF)	初期容量 初期容量	暴露後tanδ 初期tanδ	暴露後tanδ 初期tanδ
6 ヶ月	7-6	25.6	50.1	1.96	1.19	1.16	0.97	0.052
	7-7	55.5	52.5	0.95	1.06	1.10	1.04	0.027
平均値 ヶ月	40.6	51.3	1.26	1.13	1.13	1.01	0.040	0.027
	7-9	31.2	24.4	0.78	1.11	1.02	0.92	0.046
7 ヶ月	7-10	71.4	25.6	0.36	1.20	1.02	0.85	0.041
	平均値 ヶ月	51.3	25.0	0.49	1.16	1.02	0.88	0.044
24 ヶ月	7-1	33.3	99.9	3.00	1.17	1.10	0.94	0.041
	7-2	41.7	99.9	2.40	1.11	1.04	0.93	0.034
平均値 ヶ月	37.5	99.9	2.66	1.14	1.07	0.94	0.038	0.015
	38 ヶ月	39.9	27.7	0.70	1.03	0.98	0.94	0.039
7 ヶ月	7-4	33.3	15.1	0.45	1.17	1.17	1.0	0.041
	平均値 ヶ月	36.6	21.4	0.58	1.10	1.07	0.97	0.040

3. 3-1⑧ 大気中暴露(インピーダンス)防食仕様 N○. 8 (1 KHz)

期間	試験片番号	初期抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 (MΩ)	暴露後抵抗 初期抵抗	初期容量 (pF)	暴露後容量 (pF)	初期容量 初期容量	暴露後tanδ	初期tanδ	暴露後tanδ 初期tanδ
6ヶ月	8-6	90.9	99.9	1.10	81	80	0.98	0.022	0.020	0.91
	8-7	124.8	34.5	0.28	82	92	1.12	0.016	0.050	3.13
	平均値	108.0	67.2	0.62	82	86	1.05	0.019	0.035	1.94
15ヶ月	8-4	110.0	50.1	0.45	74	78	1.05	0.019	0.041	2.16
	8-5	76.8	55.5	0.72	86	81	0.83	0.024	0.040	1.67
	平均値	93.9	52.8	0.56	80	84	0.94	0.022	0.041	1.86
24ヶ月	8-1	199.8	--	--	77	71	0.93	0.004	--	--
	8-2	50.1	--	--	88	71	0.81	0.036	--	--
	平均値	125.1	--	--	82	71	0.87	0.020	--	--
38ヶ月	平均値									

## 3. 3-2① 大気中暴露(付着力、曲げ試験結果)防食仕様N○・1

期間	試験片番号	付着力			初期値 mm			暴露後 mm			キレツ発生たわみ	
		初期値 kgf/cm <sup>2</sup>	暴露後 kgf/cm <sup>2</sup>	暴露後/初期	初期値 mm	暴露後 mm	暴露後/初期	mm	mm	mm	暴 露 後 /初 期	
6ヶ月	1-2		1.7	1.21				1.1			0.32	
	-4		3.7	2.64								
	平均	1.4	2.2.3	1.59	1.07							
15ヶ月	1-7		1.5	1.07				1.0			0.29	
	-9		2.8	2.00								
	平均	1.4	1.6.5	1.18	3.4			1.0.5			0.31	
24ヶ月	1-12		1.3	0.93								
	-13		1.9	1.36								
	平均	1.4	2.2	1.57								
38ヶ月	1-16		1.3	0.93								
	-18		1.9	1.36								
	平均	1.4	1.6.8	1.20	3.4			1.2.9			0.38	
42ヶ月	-19		7	0.50								
	-20		1.0	0.71								
	平均	1.4	1.3	0.93								
48ヶ月	-17		3.0	2.14								
	-19		1.7	1.21								
	平均	1.4	1.5	1.07								
54ヶ月	-20		9	0.64								
	平均	1.4	1.9	1.36								
60ヶ月	平均	1.4	1.5.2	1.09	3.4			9.5			0.28	

3. 3-2② 大気中暴露（付着力、曲げ試験結果）防食仕様N○. 2

期間	試験片番号	付着力		キレツ発生たわみ		初期値 mm	暴 露 後 mm	暴 露 後 / 初期	初期値 mm	暴 露 後 mm	暴 露 後 / 初期
		初期値 Kgf/cm <sup>2</sup>	暴露後 Kgf/cm <sup>2</sup>	初期値 mm	暴 露 後 mm						
6ヶ月	2-2	2.5	0.71						27.5		0.72>
		4.8	1.37								
	-3	2.7	0.77								
平均		2.4	0.69						19		0.50>
	3.5	31.0	0.88	>3.8					23.2		0.61>
	2-4	2.6	0.74						18.2		0.48>
15ヶ月		2.1	0.60								
	-6	3.7	1.06								
	平均	2.5	0.71						19.0		0.50>
24ヶ月	3.5	27.3	0.78	>3.8							
	2-8	3.5	1.00						18		0.47>
		5.0	1.43								
38ヶ月	-9	2.3	0.65						15		0.39>
		2.0	0.57								
	平均	3.5	32.0	0.91	>3.8				16.5		0.43>
2-10ヶ月		2.9	0.83								
		2.3	0.66						14.3		0.38>
	-11	1.9	0.54								
-12ヶ月		1.9	0.54						15.8		0.42>
		2.0	0.57						14.9		0.39>
	平均	3.8	1.09								
平均	3.5	24.7	0.71	>3.8					15.0		0.39>

## 3. 3-2② 大気中曝露(付着力、曲げ試験結果)防食仕様N o. 3

期間	試験片番号	付着力		キレツ発生たわみ						
		初期値	Kgf/cm <sup>2</sup>	曝露後	Kgf/cm <sup>2</sup>	初期	初期値	m m	曝露後	m m
6ヶ月	3-1	32		1.14			13		0.34	>
	-2	28		1.00			13		0.34	>
15ヶ月	平均	28	35.8	1.28		>38	13.0		0.34	>
	3-5	30		1.07			13		0.34	>
15ヶ月	-6	31		1.11						
	平均	38		1.35			11		0.29	>
24ヶ月	3-8	38.5		1.38		>38	12.0		0.32	>
	-9	65		2.32			12		0.32	>
38ヶ月	平均	47		1.68						
	-10	40		1.43			12		0.32	>
38ヶ月	-11	57		2.04						
	平均	28	52.3	1.87		>38	12.0		0.32	>
38ヶ月	-12	20		0.71			9.9		0.35	>
	平均	28	33.5	1.20		>38	11.2		0.40	>

## 3. 3-2④ 大気中暴露(付着力、曲げ試験結果)防食仕様 N o. 7

期間	試験片番号	付着力			初期値			初期			キレツ発生たわみ		
		初期値	Kgf/cm <sup>2</sup>	暴露後	Kgf/cm <sup>2</sup>	初期	暴露後	初期値	m m	暴露後	m m	暴露後/初期	
6ヶ月	7-6		3 9		0 . 5 5				1 1			0 . 8 5	
			3 5		0 . 4 9								
	-7		3 7		0 . 5 2				1 2			0 . 9 2	
			4 9		0 . 6 9								
平均	7-1	4 0 . 0		0 . 5 6		1 3		1 1 . 5		0 . 8 8			
		4 7		0 . 6 6				1 3					
15ヶ月		5 9		0 . 8 3					1 1			1 . 0 0	
	-10	5 0		0 . 7 0									
		5 2		0 . 7 3									
	平均	7 1	5 2 . 0		0 . 7 3		1 3		1 2 . 0			0 . 8 5	
24ヶ月		4 5		0 . 6 3					1 2			0 . 9 2	
		5 8		0 . 8 1									
	-2	>7 0		>0 . 9 9					1 1				
		6 7		0 . 9 4									
平均	7 1	>6 0 . 0		>0 . 8 5		1 3		1 1 . 5		0 . 8 8			
		6 0		0 . 8 5				1 3 . 2		1 . 0 2			
38ヶ月		9 0		1 . 2 7									
	-4	4 0		0 . 5 6					1 3 . 2		1 . 0 2		
		6 0		0 . 8 5									
		6 2 . 5		0 . 8 8		1 3		1 3 . 2		1 . 0 2			
平均	7 1											51	
												53	

図3. 3-3① 大井川港沖2年暴露(1 kHz, インピーダンス)防食仕様N○. S 1

試験片番号	初期抵抗(MΩ)	2年後抵抗(MΩ)	2年後抵抗	初期容量(pF)	2年後容量(pF)	初期容量	2年後容量	初期tanδ	2年後tanδ	初期tanδ	2年後tanδ
大 氣	1-2005	5.01	3.17	0.63	911	1039	1.14	0.035	0.048	1.37	
	2006	3.99	2.62	0.66	1021	844	0.83	0.040	0.072	1.80	
	2007	3.84	4.50	1.17	933	753	0.81	0.044	0.047	1.07	
中 性	2008	3.03	3.17	1.05	1152	814	0.71	0.046	0.062	1.35	
	平均	3.97	3.37	0.88	1004	863	0.96	0.041	0.057	1.40	
	1-2033	3.99	0.92	0.23	999	1149	1.15	0.040	0.151	3.78	
水 中	2034	4.17	1.64	0.39	989	857	0.87	0.039	0.113	2.90	
	平均	4.08	1.28	0.31	994	1003	1.01	0.040	0.132	3.34	

図3.3-3② 大井川港沖2年暴露(1kHz, インピーダンス)防食仕様N○.S2

部位	試験片番号	初期抵抗(MΩ)	2年後抵抗(MΩ)	初期抵抗(MΩ)	2年後抵抗(MΩ)	初期容量(pF)	2年後容量(pF)	初期tanδ	2年後tanδ	初期tanδ	2年後tanδ
大氣	2-2005	6.24	7.40	1.19	5.42	4.39	0.81	0.047	0.049	1.04	
	2006	6.24	4.50	0.72	5.63	5.00	0.89	0.045	0.071	1.58	
	2007	5.01	7.93	1.58	5.46	4.09	0.75	0.058	0.049	0.84	
中水	2008	6.66	7.93	1.19	5.53	4.04	0.73	0.043	0.050	1.16	
	平均	6.04	6.94	1.17	5.51	4.38	0.80	0.048	0.055	1.16	
	2-2033	7.80	4.32	0.55	4.39	4.00	0.91	0.046	0.092	2.00	
水中	2034	7.92	0.13	0.02	4.70	6.82	1.45	0.043	1.800	41.86	
	平均	7.86	2.23	0.28	4.55	5.41	1.18	0.045	0.095	21.02	

図3. 3-3③ 大井川港沖2年暴露(1kHz, インピーダンス)防食仕様N○. S3

部位	試験片番号	初期抵抗(MΩ)	2年後抵抗(MΩ)	2年後抵抗	初期抵抗	初期容量(pF)	2年後容量(pF)	2年後容量	初期tanδ	2年後tanδ	初期tanδ	2年後tanδ
六	3-2005	4.17	0.70	0.17	1060	1126	1.06	0.036	0.202	5.61	—	—
	2006	5.01	3.33	0.66	900	786	0.87	0.035	0.061	1.74	—	—
八	2007	4.77	3.17	0.66	877	751	0.86	0.038	0.067	1.76	—	—
中	2008	4.17	1.26	0.30	981	968	0.99	0.039	0.130	3.33	—	—
	平均	4.53	2.12	0.47	955	908	0.95	0.037	0.115	3.13	—	—
水	3-2033	1.14	2.97	2.61	533	838	1.57	0.262	0.064	0.24	—	—
	2034	4.35	0.77	0.18	932	1141	1.22	0.039	0.181	4.64	—	—
中	平均	2.75	1.87	1.40	733	990	1.35	0.151	0.123	2.44	—	—

図3.3-3④ 大井川港沖2年暴露(1kHz, インピーダンス)仕様No. S7

部位	試験片番号	初期抵抗(MΩ)	2年後抵抗(MΩ)	初期抵抗	初期容量(pF)	2年後容量(pF)	初期容量	初期tanδ	2年後tanδ	初期tanδ
大氣	7-2005	50.1	14.5	0.29	1.23	1.29	1.05	0.026	0.085	3.27
	2006	47.7	13.3	0.28	1.17	1.16	0.99	0.029	0.103	3.55
	2007	38.4	11.5	0.30	1.13	1.36	1.20	0.037	0.102	2.76
中	2008	45.3	12.8	0.28	1.18	1.25	1.06	0.030	0.099	3.30
	平均	45.4	13.0	0.29	1.18	1.27	1.08	0.031	0.097	3.22
水中	7-2033	43.5	5.12	0.12	1.27	1.49	1.17	0.029	0.209	7.21
	2034	45.3	2.07	0.05	1.11	2.01	1.81	0.032	0.383	11.97
	平均	44.4	3.60	0.09	1.19	1.75	1.49	0.031	0.296	9.59

図3. 3-4①1/2 大井川港沖1年暴露(付着力、曲げ試験)防食仕様N○. S1

部位	試験片番号	付 着 力			キレツ発生たわみ		
		初期値 Kg/cm <sup>2</sup>	1年後 Kg/cm <sup>2</sup>	初期値 Kg/cm <sup>2</sup>	1年後 mm	初期値 mm	1年後 mm
大 気	1-2001		2.8	2.24		13	1.18
	2002		2.8	2.24			
	2003		1.2	0.96		15	1.36
中 飛	2004		1.9	1.52			
	2013		1.0	0.80			
	2014		9	0.72			
沫 帶	2015		1.8	1.44			
	2016		2.3	1.84			
	2025		1.2	1.47	11	14.0	1.27
水 中	2026		1.2	0.96		12	1.09
	平 均	1.25	1.84	1.47	11	14.0	1.27
	平 均	1.25	2.5	2.00			
中	平 均	1.25	1.5	1.20		13	1.18
	平 均	1.9	1.52				
	平 均	1.25	2.0	1.60			
水	1-2025		1.64	1.31	11	12.5	1.14
	2026		2.3	1.84		10	0.91
	中	平 均	1.25	1.7	1.36	12	1.09
中	平 均	1.25	2.43	1.94	11	11.0	1.00
	平 均	1.25	3.7	2.96			
	平 均	1.25	2.43	1.94	11	11.0	1.00

図3.3-4①2/2 大井川港沖2年暴露(付着力、曲げ試験)防食仕様N.O.S.1

部位	試験片番号	付着力			キレツ発生たわみ		
		初期値 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後／初期値	初期値 mm	2年後 mm	2年後／初期値
大気	1-2005	5	0.40			9.2	0.84
		9	0.72				
	2006	18	0.64			8.7	0.79
		10	0.80				
中	2007	10	0.80			9.8	0.89
		9	0.72				
	2008	12	0.96			9.9	0.90
		8	0.64				
水	平均	12.5	8.9	0.71	11	9.4	0.86
	1-2033	15	1.20			11.3	1.03
		15	1.20				
	2044	20	1.60			11.2	1.02
中	平均	12.5	16.3	1.30	11	11.3	1.03

図3. 3-4 ②1/2 大井川港沖1年暴露(付着力, 曲げ試験) 防食仕様No. S2

部位	試験片番号	付 着 力			キレツ発生たわみ		
		初期値 kgf/cm <sup>2</sup>	1年後 kgf/cm <sup>2</sup>	1年後／初期値	初期値 mm	1年後 mm	1年後／初期 mm
大 気 中	2-2001	1.8	0.80	0.80	3.1	3.1	2.30
	2002	1.1	0.48	0.48			
	2003	1.5	0.67	0.67	3.0	3.0	2.22
	2004	2.1	0.93	0.93			
平 均	22.5	19.5	0.87	13.5	30.5	30.5	2.26
	2-2013	2.7	1.20	1.20	3.0	3.0	2.22
	2014	2.1	0.93	0.93			
	2015	5.0	2.22	2.22	3.0	3.0	2.22
水 带	2016	2.4	1.07	1.07			
	2015	1.5	0.67	0.67			
	2016	2.0	0.89	0.89			
	平 均	1.5	0.67	0.67			
中	22.5	1.6	0.71	0.71			
	2-2025	23.5	1.04	13.5	3.0	3.0	2.22
	2026	2.5	1.11	1.11	10	10	0.74
	平 均	22.5	1.30	13.5	1.2	1.2	0.88

図3.3-4 ② 1/2 大井川港沖2年暴露(付着力、曲げ試験)防食仕様N.O.S2

部位	試験片番号	付着力			キレツ発生たわみ		
		初期値 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後／初期値	初期値 mm	2年後 mm	2年後／初期値
大氣	2-2005	10	0.44			16.1	1.19
		15	0.66				
	2006	10	0.44			20.4	1.51
		40	1.78				
中	2007	10	0.44			15.7	1.16
		20	0.89				
	2008	10	0.44			21.3	1.58
		38	1.69				
水	平均	22.5	19.1	0.85	13.5	18.4	1.36
	2-2033		15	0.67		11.9	0.88
			15	0.67			
	2034		9	0.27			
中			30	1.33			
	平均	22.5	17.3	0.74	13.5	15.1	1.12

図3. 3-4 ③1/2 大井川港沖1年暴露(付着力, 曲げ試験) 防食仕様N○. S3

部位	試験片番号	付 着 力			キレツ発生たわみ		
		初期値 Kgf/cm <sup>2</sup>	1年後 Kgf/cm <sup>2</sup>	1年後／初期値	初期値 mm	1年後 mm	1年後／初期 mm
大 氣	3-2001	2.2	0.42			1.4	1.12
	2002	>7.0	>1.33				
	2003	3.7	0.70			1.1	0.88
	2004	4.5	0.85				
中 間	3-2013	1.9	0.36				
	2014	>7.0	>1.33				
	2015	4.1	0.78				
	2016	2.8	0.53				
水 中	平均	5.2.8	>41.5	>0.79	1.2.5	1.2.5	1.00
	3-2025	6.9	1.30			1.1	1.00
	2026	3.2	0.60				
	平均	2.3	0.43			1.3	1.04
帶	2015	4.0	0.76				
	2016	3.2	0.61				
	平均	3.1	0.59				
	3-2026	4.9	0.93				
水	平均	5.2.8	37.6	0.71	1.2.5	1.2.0	0.96
	3-2025	5.2	0.98			1.1	0.88
	2026	6.4	1.21			1.3	1.04
	平均	4.0	0.76				
中	4.3	0.81					
	平均	5.2.8	49.8	0.94	1.2.5	1.2.0	0.96

図3.3-4③2/2 大井川港沖2年暴露(付着力、曲げ試験)防食仕様N○.S3

部 位	試験片 番号	付着力			キレツ発生たわみ		
		初期値 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後／初期値	初期値 mm	2年後 mm	2年後／初期値
大 氣	3-2005	4.2	0.80	0.80	13.2	13.2	1.06
	2006	4.2	0.80	0.80	12.3	12.3	0.98
	2007	4.0	0.76	0.76	0.57	0.57	10.7
	2008	3.0	0.57	0.57	6.6	6.6	12.9
中 水	3-2033	3.5	0.63	0.63	6.6	6.6	10.3
	2034	3.3	0.63	0.63	6.6	6.6	12.9
	平均	3.5	0.63	0.63	6.6	6.6	12.9
	平均	5.2.8	3.5.9	0.68	1.25	1.25	0.98
中 水	3-2033	3.2	0.61	0.61	3.8	3.8	1.15
	2034	4.0	0.76	0.76	4.4	4.4	0.81
	平均	5.2.8	3.1.3	0.60	1.2.5	1.2.5	0.98
	平均	5.2.8	3.1.3	0.60	1.2.1	1.2.1	0.98

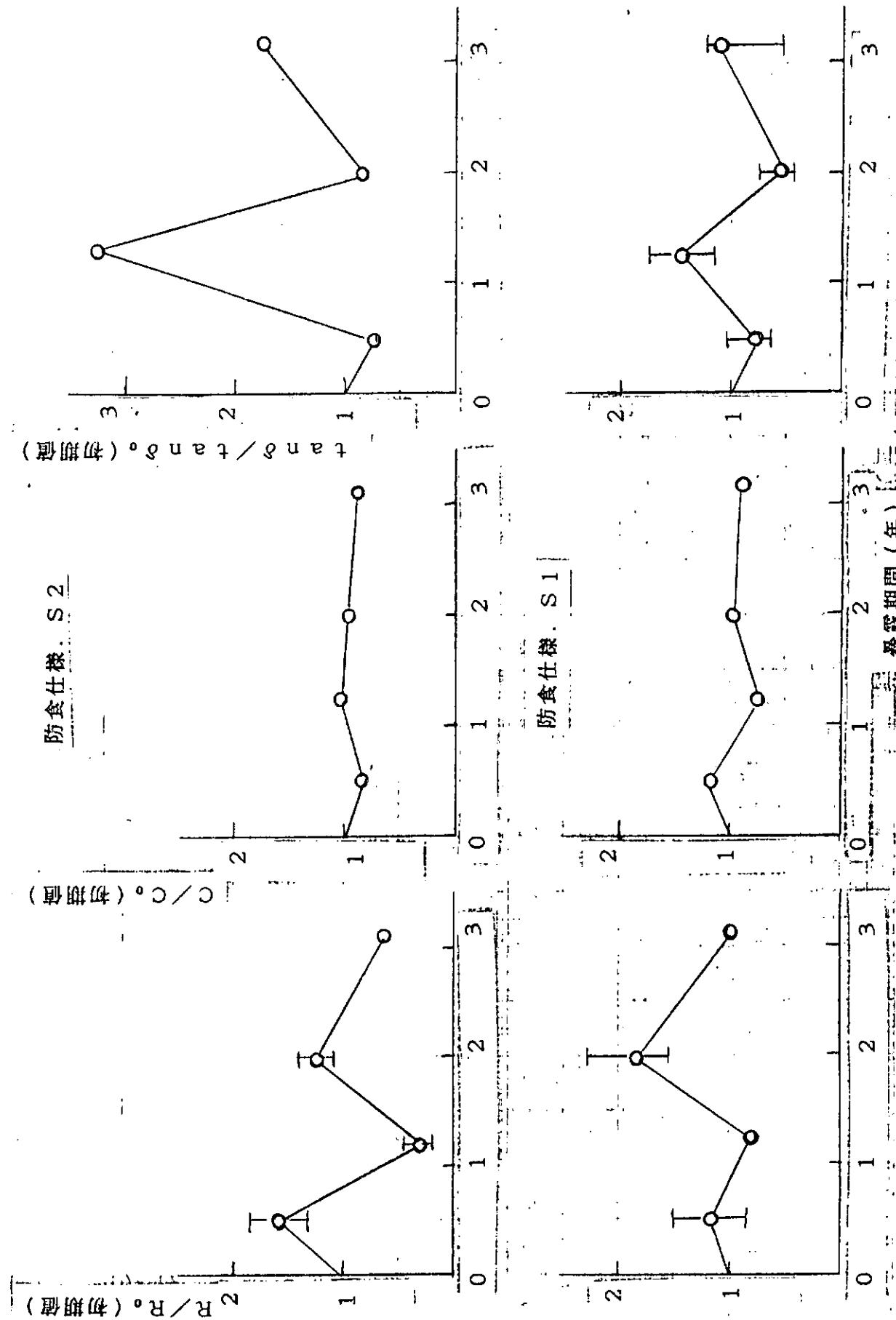
図3.3-4④1/2 大井川港沖1年暴露(付着力, 曲げ試験) 防食仕様No. S7

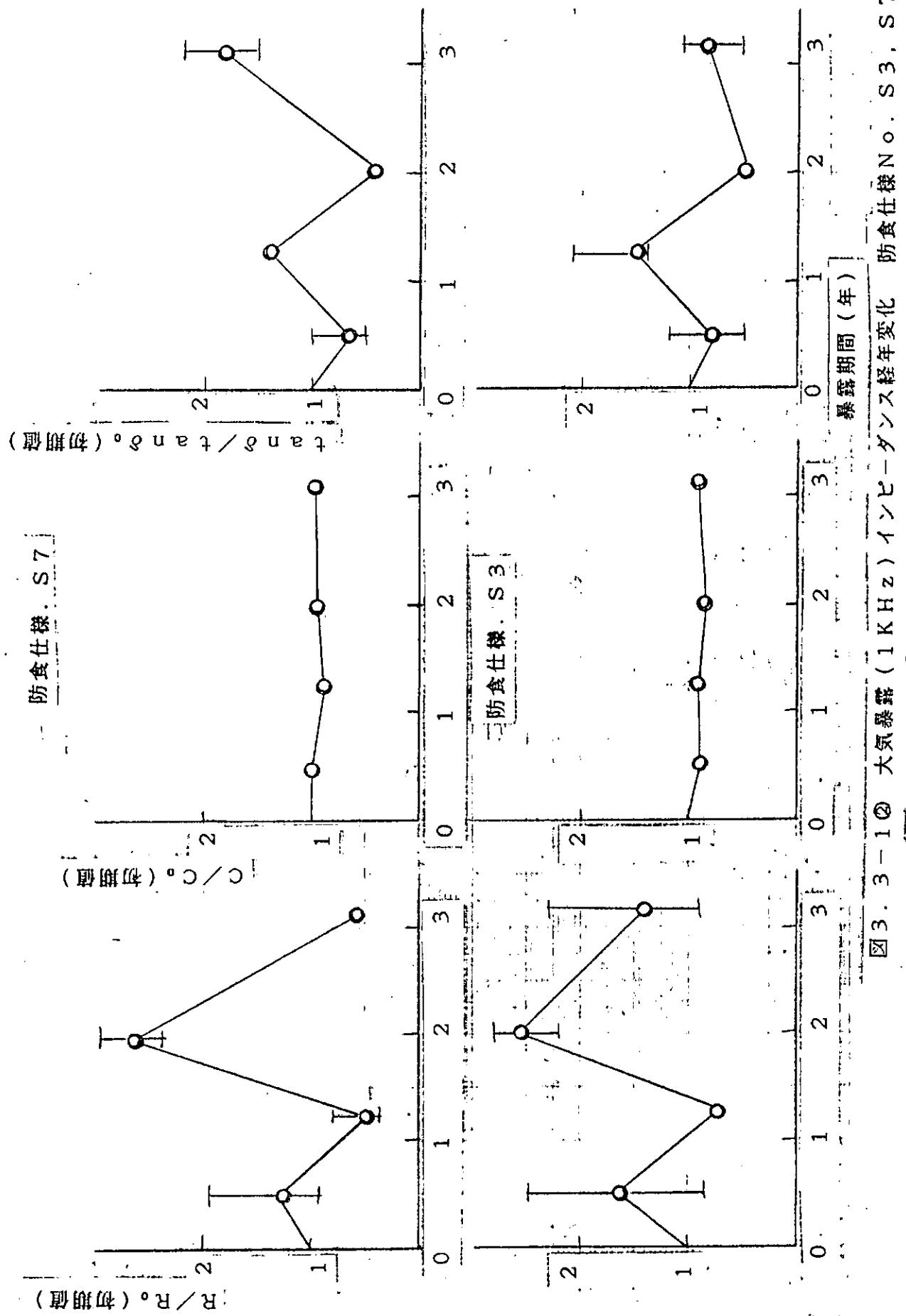
部位	試験片番号	付 着 力			キレツ発生たわみ		
		初期値	Rgt/cm <sup>2</sup>	1年後 Rgt/cm <sup>2</sup>	初期値	mm	1年後 / 初期
大 気 中	7-2001	31	0.34	>0.76		12	1.00
	2002	38	0.41	>0.76		15	1.25
	2003	47	0.51	>0.76			
	2004	59	0.64	>0.76			
平 均	92.5	>52.9	>0.57	12	13.5	1.13	
	7-2013	>70	>0.76		12	1.00	
	2014	>70	>0.76				
	2015	>70	>0.76		14	1.17	
冰 带	2016	41	0.44				
	55	0.59	>0.76				
	9.2.5	>64.5	>0.69	12	13.0	1.08	
	7-2025	67	0.72		12	1.00	
水 中	2026	57	0.62				
	平 均	66	0.71		13	1.08	6
	92.5	>65.0	0.70	12	12.5	1.04	4

図3.3-4④2/2 大井川港沖2年暴露(付着力、曲げ試験)防食仕様No. S7

部位	試験片番号	付着力			キレツ発生たわみ		
		初期値 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後 Kgf/cm <sup>2</sup>	2年後／初期値	初期値 mm	2年後 mm	2年後／初期値
大氣	7-2005	50	0.54			11.8	0.98
		40	0.43				
	2006	60	0.65			13.1	1.09
		35	0.38				
中水	2007	50	0.54			15.7	1.31
		40	0.43				
	2008	40	0.43			11.8	0.98
		40	0.43				
平均	92.5	44.4	0.48			13.1	1.09
	7-2033	40	0.43			9.8	0.82
		40	0.43				
	2034	30	0.32			10.0	0.83
中	平均	92.5	37.5	0.39	12	9.9	0.83

図3.3-1① 大気暴露(1KHz)インピーダンス経年変化 防食仕様N.O., S1, S2





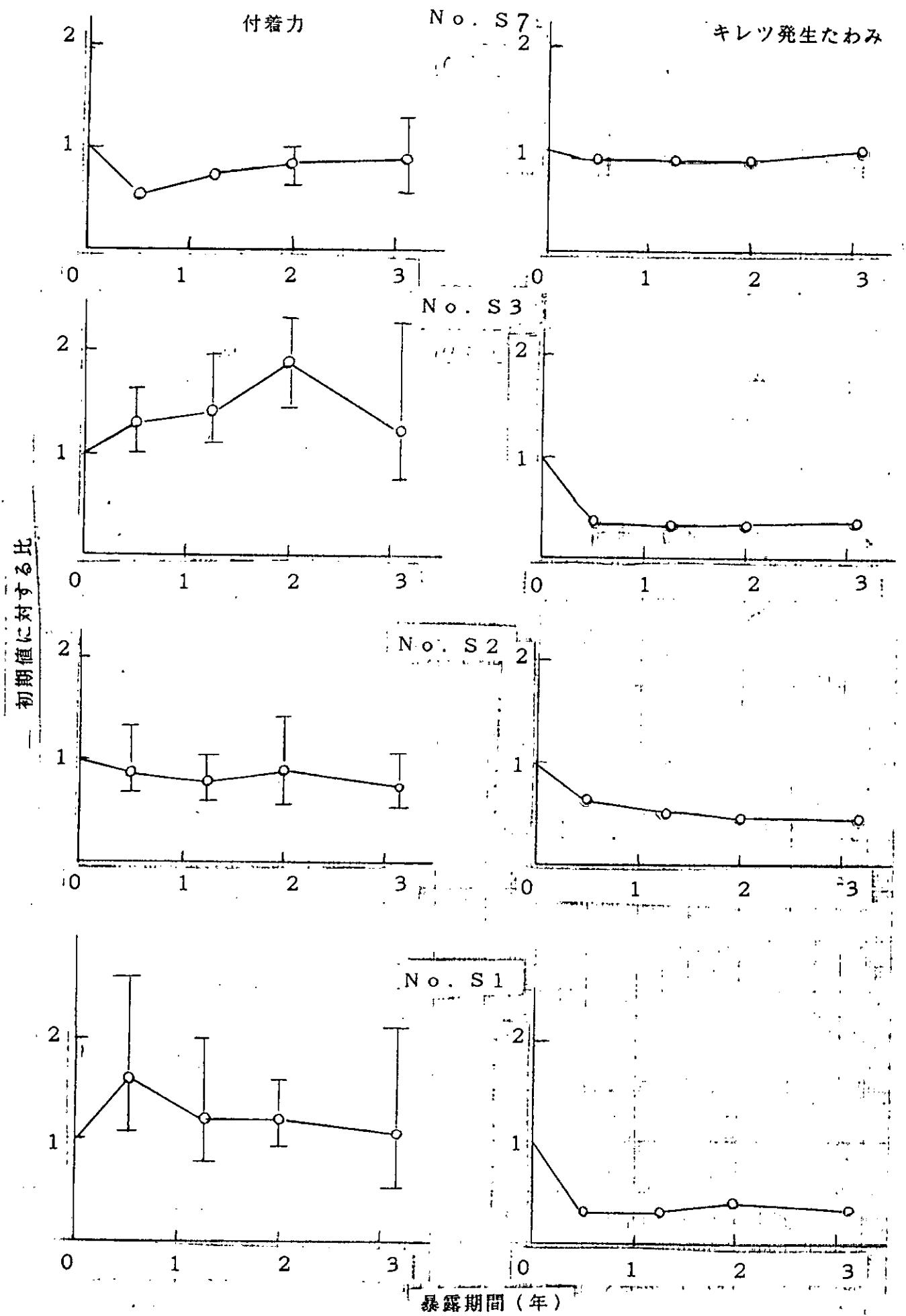


図3.3-2 大気暴露(付着力、曲げ試験)経年変化 防食仕様No.S1, S2, S3, S7

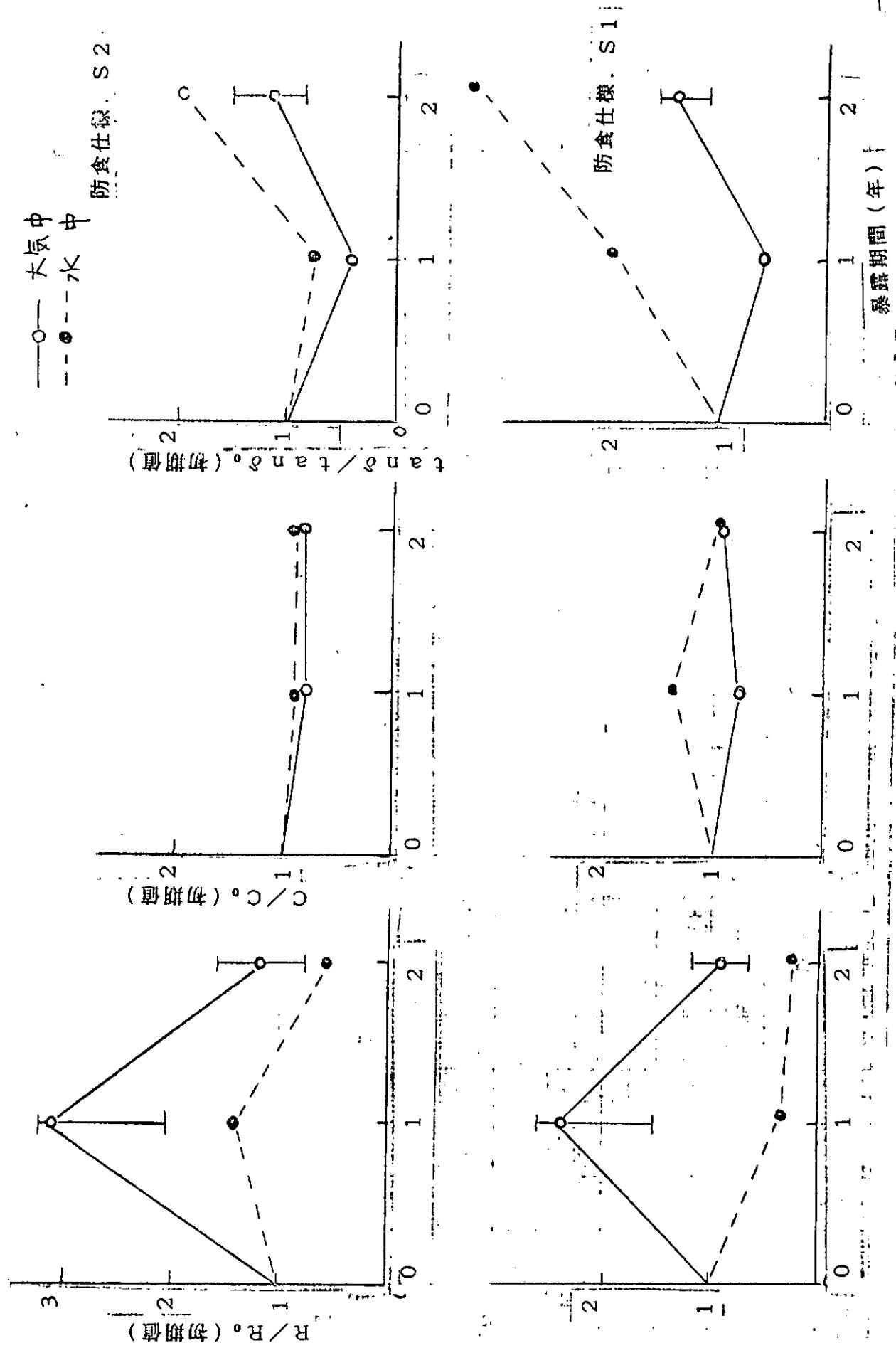


図3・3-3① 大井川港沖暴露(1KHzインピーダンス)経年変化 防食仕様NoS1, S2

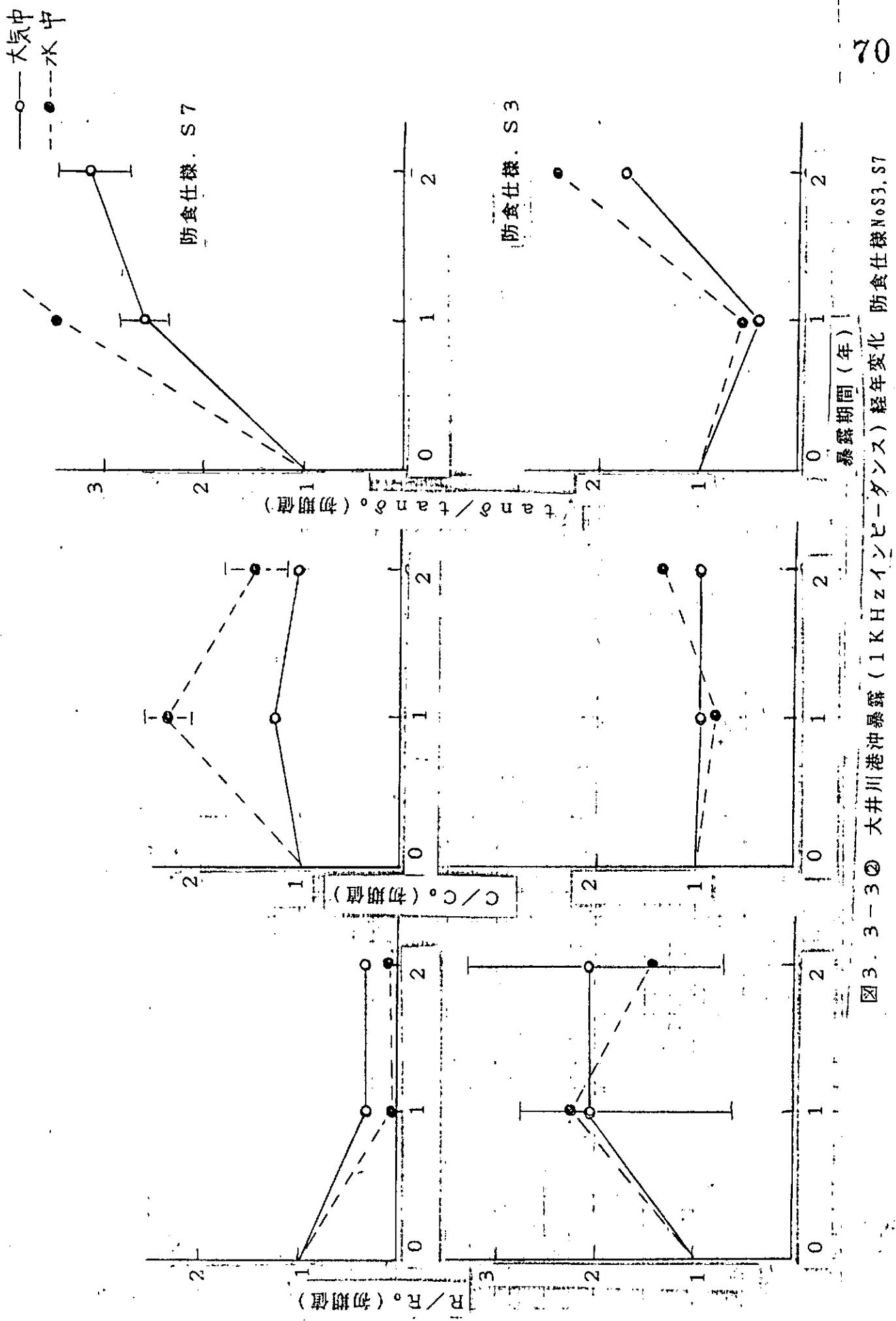


図3-3② 大井川港沖暴露 (1KHzインピーダンス) 経年変化 防食仕様NoS3, S7

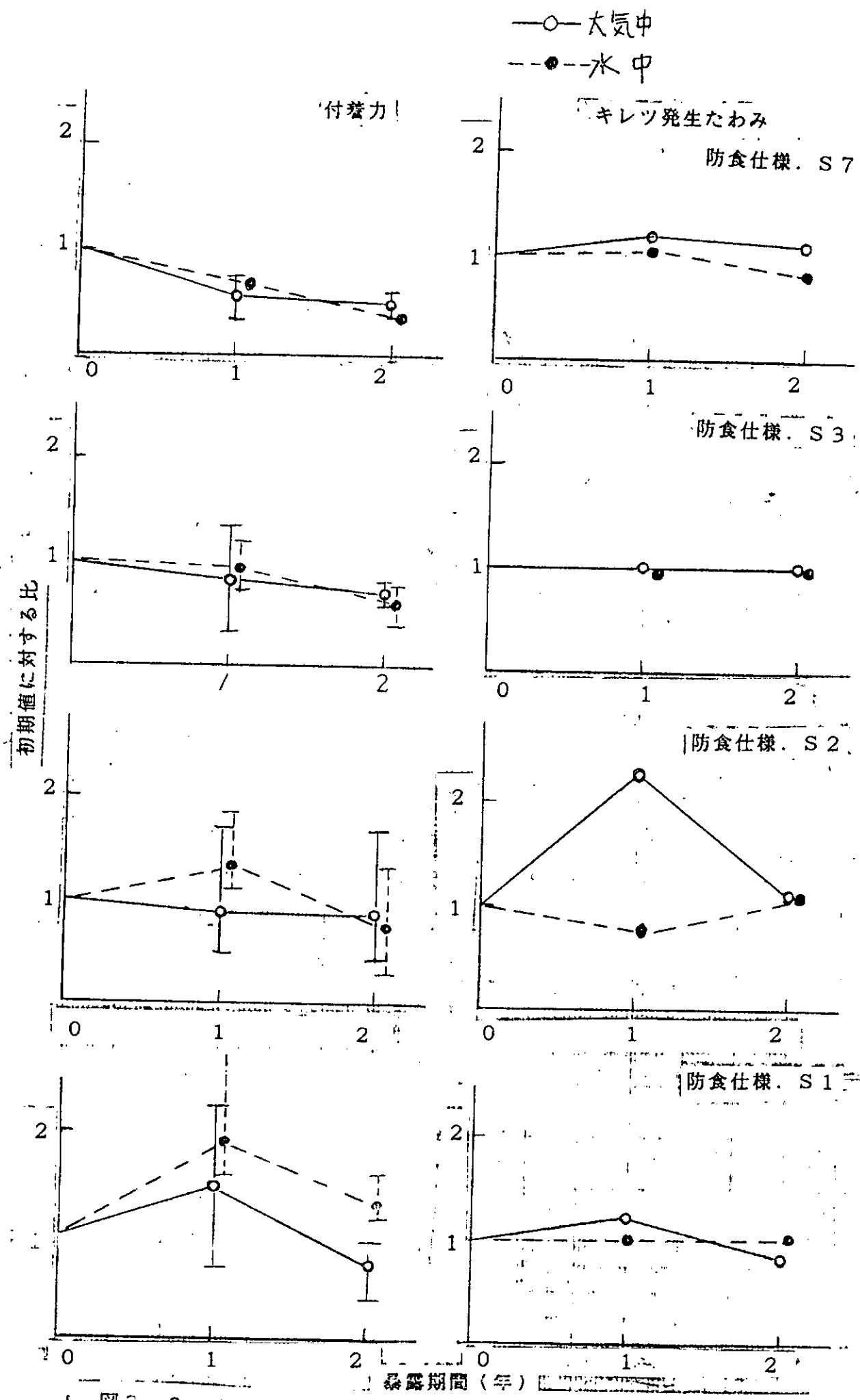


図3.3-4 大井川港沖暴露（付着力、曲げ試験）経年変化  
試験No S1, S2, S3, S7

## 4. 防汚塗膜の耐生物汚損性

### 4.1 塗膜表面に付着したスライムの定量化方法の研究

#### (1) 研究目的

スライムの定量化方法を研究し防汚塗料の長期的耐生物汚損性の評価方法を検討する。

#### (2) 研究内容

浸海防汚塗料塗装板植えのスライム定量法の調査と、定量方法確立のための基礎実験をおこなう。

#### (3) 実験

浸海防汚塗料表面に生成したスライムの乾重量の測定、スライム中のヘキサース残基量、クロロフィル、カロチノイドの定量を行った。また、スライムにたいするそれらの因子の寄与の割合をみるため、乾重量とそれぞれの因子との相関を検討した。

#### (3-1) 浸海地および浸海期間と表層水温

淡路由良（兵庫県洲本市由良町由良港：日本油脂株式会社役）

浸海期間と日数		浸海塗料板
I 期	1986.5.27.～7.4.	38日間 OMP1,OMP2,CR1,CR2
II 期	1986.9.26.～11.5.	40日間 OMP5,OMP6,CR5,CR6
I+II期	1986.5.27.～11.5	163日間 OMP3,OMP4,CR3,CR4

玉野（岡山県玉野市後閑：日本ペイント株式会社臨海研究所）

浸海期間と日数		浸海塗料板
I 期	1986.5.26.～7.3.	38日間 OMP1,OMP2,CR1,CR2
II 期	1986.9.26.～11.5.	40日間 OMP5,OMP6,CR5,CR6
I+II期	1986.5.26.～11.5	164日間 OMP3,OMP4,CR3,CR4

〔表層水温〕

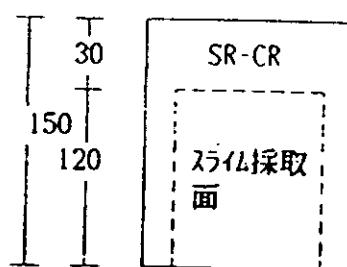
淡路由良	1986. 5.27.	17.4℃(気温19.6℃)
	7. 4.	22.5℃(気温29.5℃)
	9.26.	23.8℃(気温21.6℃)
	11. 5.	18.8℃(気温16.0℃)
玉野	1986. 5.26.	18.6℃(気温16.2℃)
	7. 3.	20.5℃(気温24.1℃)
	9.26.	25.5℃(気温23.0℃)
	11. 5.	19.6℃(気温11.0℃)

※表層水温に関しては、玉野が試験期間を通じて由良にくらべてやや高い。

### (3-2) 試験板

1.0ミリ幅×100ミリ幅×150ミリ長のセトーブラスト軟鋼板を用いた。

このような試験板を作成後、浸海し一定時間後にひきあげ、右図のスライム採取面から、テフロン加工されているシルバーテーでスライムを一定量の人工海水中に採取する。



60  
100

【図】 試験板の形状

### (3-3) 供試塗料配合 (数値は重量%をあらわす)

	C.R A/F (塩化コム系)	OMP	A/F (有機錫共重合体系)
塩化ゴム	8.4	-	
OMPワニス	-	44.0	
D.N.W.W.	8.4	-	
塩化パラフィン	2.0	-	
亜酸化錫	30.0	36.0	
T.P.T.H.	10.0	-	
酸化マグネシウム	2.2	-	
チオグリ-	5.4	-	
弁柄	4.2	6.5	
接着剤	0.6	1.2	
リバントナット	28.8	-	
シリカ	-	12.8	
	100.0	100.0	

### (3-4) 塗装仕様

塩化コム系、有機錫共重合体系共、以下の様な同一の仕様で塗装した。

塗装仕様		
A/C	ターピンモルタル塗料	約150μ×1回
ルインター-コート	ターピンモルタル塗料	約60μ×2回
A/F	<上記A/F>	約60μ×2回

### (3-5) スライムの定量

#### 1. スライム乾燥重量の定量

0.2μm<sup>2</sup>アセトニトリルセロースフィルターによりろ過し、脱塩、乾燥後、精秤する。

#### 2. スライム中の糖質量の測定

スライムを0.2%アントロン (Anthrone : C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>O) - 濃硫酸溶液で処理し、スライム中粘質物の主体である糖質中のヘキソース残基を吸光度を測定することにより定量する。

#### 3. スライム中のクロロフィル、カロチノイドの測定

スライム中の藻類（珪藻、緑藻、藍藻など）に由来するクロロフィル、カロチノイドを90%アセトンで定量的に抽出、吸光度からLambert-Beerの法則により計算する。参考としてスライム中にみられる代表的藻類のもつ光合成色素を示す。

#### 藻類の光合成色素

	珪藻	緑藻	褐藻	紅藻	藍藻	渦巻毛藻
20074Ma	++	++	++	++	++	++
20074Mb		+				
20074Mc	+		+			
β-加リ	+	+	+	+	++	+
カ フコキサン	++		++			
ロ ヘリシジン						++
チ ティアキサン		+		+	+	
ノ タ-アトキサン	+		±			+
イ ミツカリント						++
ト エキナ					+	
ルテイン	++		++			

### (4) 結果

結果は次頁以下に示す。

## 由良におけるC.R.A./Fに形成されたスライムのデータ

### (1)スライムの乾燥重量

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1	9.8
CR2	10.0
平均	9.9 gr/m <sup>2</sup>

CR5	13.8
CR6	13.2
平均	13.5 gr/m <sup>2</sup>

CR3	17.5
CR4	18.1
平均	17.8 gr/m <sup>2</sup>

### (2)スライム中の糖質の重量

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1	0.17
CR2	0.12
平均	0.15 gr/m <sup>2</sup>

CR5	0.39
CR6	0.46
平均	0.43 gr/m <sup>2</sup>

CR3	0.47
CR4	0.63
平均	0.55 gr/m <sup>2</sup>

### (3)スライム中の糖質の重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1	1.7
CR2	1.1
平均	1.4 %

CR5	2.8
CR6	3.5
平均	3.2 %

CR3	2.7
CR4	3.5
平均	3.1 %

### (4)スライム中のクロロフィルaの重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1	0.03
CR2	0.18
平均	0.11 %

CR5	0.15
CR6	0.20
平均	0.18 %

CR3	0.13
CR4	0.10
平均	0.12 %

### (5)スライム中のクロロフィルbの重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1	0.00
CR2	0.00
平均	0.00 %

CR5	0.05
CR6	0.05
平均	0.04 %

CR3	0.04
CR4	0.03
平均	0.04 %

### (6)スライム中のクロロフィルcの重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1	0.02
CR2	0.05
平均	0.04 %

CR5	0.11
CR6	0.10
平均	0.11 %

CR3	0.06
CR4	0.06
平均	0.06 %

### (7)スライム中のカロチノイドの重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間) I~II期(1986.5.27~11.5:163日間)

CR1 0.03  
CR2 0.16  
平均 0.10 %

CR5 0.10  
CR6 0.15  
平均 0.13 %

CR3 0.08  
CR4 0.06  
平均 0.07 %

[注釈] ①：主として褐藻や珪藻、鞭毛藻からなるとして換算した。

### 由良におけるOMP A/Fに形成されたスライムのデータ

#### (1)スライムの乾燥重量

I期(1986.5.27~7.4:38日間)  
間)

OMP1 11.3  
OMP2 9.4  
平均 10.4 gr/m<sup>2</sup>

II期(1986.9.26~11.5:40日間)

OMP5 6.8  
OMP6 10.6  
平均 8.7 gr/m<sup>2</sup>

I～II期(1986.5.27~11.5:163日)

OMP3 13.3  
OMP4 11.8  
平均 12.6 gr/m<sup>2</sup>

#### (2)スライム中の糖質の重量

I期(1986.5.27~7.4:38日間)  
間)

OMP1 0.10  
OMP2 0.14  
平均 0.12 gr/m<sup>2</sup>

II期(1986.9.26~11.5:40日間)

OMP5 0.09  
OMP6 0.38  
平均 0.24 gr/m<sup>2</sup>

I～II期(1986.5.27~11.5:163日)

OMP3 0.07  
OMP4 0.11  
平均 0.09 gr/m<sup>2</sup>

#### (3)スライム中の糖質の重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間)  
間)

OMP1 0.0  
OMP2 1.5  
平均 1.2 %

II期(1986.9.26~11.5:40日間)

OMP5 1.3  
OMP6 3.6  
平均 2.5 %

I～II期(1986.5.27~11.5:163日)

OMP3 0.5  
OMP4 1.0  
平均 0.8 %

#### (4)スライム中のクロロフィルaの重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間)  
間)

OMP1 0.17  
OMP2 0.16  
平均 0.17 %

II期(1986.9.26~11.5:40日間)

OMP5 0.14  
OMP6 0.29  
平均 0.22 %

I～II期(1986.5.27~11.5:163日)

OMP3 0.06  
OMP4 0.09  
平均 0.08 %

#### (5)スライム中のクロロフィルbの重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間)  
間)

OMP1 0.02  
OMP2 0.11  
平均 0.07 %

II期(1986.9.26~11.5:40日間)

OMP5 0.04  
OMP6 0.05  
平均 0.05 %

I～II期(1986.5.27~11.5:163日)

OMP3 0.02  
OMP4 0.06  
平均 0.04 %

#### (6)スライム中のクロロフィルcの重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間)  
間)

II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I～II期(1986.5.27~11.5:163日)

OMP1	0.07	OMP5	0.14	OMP3	0.05
OMP2	0.07	OMP6	0.12	OMP4	0.06
平均	0.07 %	平均	0.13 %	平均	0.06 %

(7)スライム中のカロチノイドの重量比率<sup>1)</sup> (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.27~7.4:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.27~11.5:163日間)

OMP1	0.18	OMP5	0.12	OMP3	0.04
OMP2	0.20	OMP6	0.24	OMP4	0.04
平均	0.19 %	平均	0.18 %	平均	0.04 %

[注釈] 1) : 主として褐藻や珪藻、鞭毛藻からなるとして換算した。

### 玉野におけるCR A/Fに形成されたスライムのデータ

#### (1)スライムの乾燥重量

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日間)

CR1	1.4	CR5	24.4	CR3	7.2
CR2	4.6	CR6	29.0	CR4	8.3
平均	3.1 gr/m <sup>2</sup>	平均	26.7 gr/m <sup>2</sup>	平均	7.8 gr/m <sup>2</sup>

#### (2)スライム中の糖質の重量

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日間)

CR1	0.10	CR5	0.45	CR3	0.33
CR2	0.25	CR6	0.57	CR4	0.45
平均	0.18 gr/m <sup>2</sup>	平均	0.51 gr/m <sup>2</sup>	平均	0.39 gr/m <sup>2</sup>

#### (3)スライム中の糖質の重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日間)

CR1	7.4	CR5	1.8	CR3	4.6
CR2	5.6	CR6	2.0	CR4	5.4
平均	6.5 %	平均	1.9 %	平均	5.0 %

#### (4)スライム中のクロロフィルaの重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日間)

CR1	0.12	CR5	0.07	CR3	0.03
CR2	0.22	CR6	0.07	CR4	0.04
平均	0.17 %	平均	0.07 %	平均	0.04 %

#### (5)スライム中のクロロフィルbの重量比率 (% : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日間)

CR1 0.04  
CR2 0.06  
平均 0.05 %

CR5 0.03  
CR6 0.03  
平均 0.03 %

CR3 0.10  
CR4 0.13  
平均 0.12 %

(6)スライム中のクロロフィルcの重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)  
間)

CR1 0.02  
CR2 0.03  
平均 0.03 %

CR5 0.01  
CR6 0.00  
平均 0.01 %

CR3 0.02  
CR4 0.03  
平均 0.03 %

(7)スライム中のカラチノイドの重量比率<sup>1)</sup>(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)  
間)

CR1 0.16  
CR2 0.27  
平均 0.22 %

CR5 0.05  
CR6 0.04  
平均 0.05 %

CR3 0.22  
CR4 0.29  
平均 0.26 %

[注釈] 1) : 主として褐藻や珪藻、鞭毛藻からなるとして換算した。

玉野におけるOMP A/Nに形成されたスライムのデータ

(1)スライムの乾燥重量

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)  
間)

OMP1 6.0  
OMP2 3.5  
平均 4.8 gr/m<sup>2</sup>

OMP5 18.1  
OMP6 20.8  
平均 19.5 gr/m<sup>2</sup>

OMP3 10.7  
OMP4 13.1  
平均 11.9 gr/m<sup>2</sup>

(2)スライム中の糖質の重量

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)  
間)

OMP1 0.29  
OMP2 0.15  
平均 0.22 gr/m<sup>2</sup>

OMP5 0.34  
OMP6 0.31  
平均 0.33 gr/m<sup>2</sup>

OMP3 0.42  
OMP4 0.41  
平均 0.42 gr/m<sup>2</sup>

(3)スライム中の糖質の重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)  
間)

OMP1 4.9  
OMP2 4.4  
平均 4.7 %

OMP5 1.9  
OMP6 1.5  
平均 1.7 %

OMP3 4.0  
OMP4 3.1  
平均 3.6 %

(4)スライム中のクロロフィルaの重量比率(%) : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)  
間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日)

OMP1 0.32  
OMP2 0.16  
平均 0.24 %

OMP5 0.08  
OMP6 0.07  
平均 0.08 %

OMP3 0.21  
OMP4 0.18  
平均 0.20 %

(5)スライム中のクロロフィルbの重量比率( % : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日)

OMP1 0.10  
OMP2 0.05  
平均 0.08 %

OMP5 0.03  
OMP6 0.02  
平均 0.03 %

OMP3 0.08  
OMP4 0.05  
平均 0.07 %

(6)スライム中のクロロフィルcの重量比率( % : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日)

OMP1 0.04  
OMP2 0.02  
平均 0.03 %

OMP5 0.01  
OMP6 0.01  
平均 0.01 %

OMP3 0.02  
OMP4 0.02  
平均 0.02 %

7)スライム中のカロチノイドの重量比率<sup>11)</sup>( % : based on slime-weight)

I期(1986.5.26~7.3:38日間) II期(1986.9.26~11.5:40日間)

I ~ II期(1986.5.26~11.5:164日)

OMP1 0.38  
OMP2 0.02  
平均 0.20 %

OMP5 0.07  
OMP6 0.05  
平均 0.06 %

OMP3 0.17  
OMP4 0.16  
平均 0.17 %

[注釈] <sup>11)</sup>: 主として褐藻や珪藻、鞭毛藻からなるとして換算した。

		由良：日本油脂（株）担当				玉野：日本ペイント（株）担当			
		1986.5.27～7.4				1986.5.26～7.3			
		OMP1	OMP2	CR1	CR2	OMP1	OMP2	CR1	CR2
重量 mg/cm <sup>2</sup>		1.125	0.938	0.979	1.042	0.597	0.347	0.139	0.458
糖量 μg/cm <sup>2</sup>		10.08	13.86	16.54	11.74	29.2	15.1	10.2	25.4
		8.96	14.78	16.89	11.27	48.8	43.6	74.0	55.5
クロロフィルa量 μg/cm <sup>2</sup>		1.953	1.471	0.268	1.859	1.896	0.569	0.168	1.020
		1.74	1.57	0.27	1.78	3.17	1.64	1.2	2.23
クロロフィルb量 μg/cm <sup>2</sup>		0.199	0.992	0.041	0.034	0.584	0.178	0.055	0.256
		0.18	1.06	0.04	0.03	0.98	0.51	0.4	0.56
クロロフィルc量 μg/cm <sup>2</sup>		0.729	0.614	0.202	0.472	0.244	0.077	0.027	0.121
		0.65	0.65	0.21	0.45	0.41	0.20	0.19	0.27
力口チノイド量	緑藻・藍藻換算 μg/cm <sup>2</sup>	0.786	0.738	0.096	0.646	0.905	0.278	0.090	0.494
		0.70	0.79	0.10	0.62	1.52	0.80	0.65	1.08
	黄金色藻・渦鞭毛藻換算 μg/cm <sup>2</sup>	1.966	1.847	0.243	1.613	2.264	0.694	0.224	1.236
		1.75	1.97	0.25	1.55	3.79	0.20	1.62	2.70

注：アンダーライン上の数値は千分率を表す。

	由良：日本油脂（株）担当				玉野：日本ペイント（株）担当			
	1986.5.27～11.5				1986.5.26～11.5			
	OMP3 ：	OMP4	CR3	CR4	OMP3	OMP4	CR3	CR4
重量 $\text{mg/cm}^2$	1.33	1.18	1.75	1.81	1.07	1.31	0.72	0.83
糖量 $\mu\text{g/cm}^2$	7.08 5.32	11.37 9.64	46.66 26.66	62.83 34.71	42.46 39.72	40.50 31.01	33.13 45.89	44.75 53.72
クロロフィルa量 $\mu\text{g/cm}^2$	0.820 0.62	1.063 0.90	2.288 1.31	1.835 1.01	2.258 2.11	2.314 1.77	1.960 2.71	3.192 3.83
クロロフィルb量 $\mu\text{g/cm}^2$	0.219 0.16	0.653 0.55	0.668 0.38	0.493 0.27	0.858 0.80	0.633 0.48	0.691 0.96	1.101 1.32
クロロフィルc量 $\mu\text{g/cm}^2$	0.672 0.51	0.722 0.61	1.032 0.59	1.106 0.61	0.171 0.16	0.224 0.17	0.167 0.23	0.222 0.27
カロリ換算 緑藻・藍藻 $\mu\text{g/cm}^2$	0.193 0.15	0.197 0.17	0.561 0.32	0.438 0.24	0.725 0.68	0.856 0.66	0.644 0.89	1.011 1.21
イドノイミノイド 黄金色藻・渦 鞭毛藻換算 量 $\mu\text{g/cm}^2$	0.483 0.36	0.493 0.42	1.404 0.80	1.094 0.60	1.813 1.70	2.139 1.64	1.611 2.23	2.431 2.92

注：アンダーライン上の数値は千分率を表す。

		由良：日本油脂（株）担当				玉野：日本ペイント（株）担当			
		1986.9.26～11.5				1986.9.26～11.5			
		OMP5	OMP6	CR5	CR6	OMP5	OMP6	CR5	CR6
重量 mg/cm <sup>2</sup>		0.68	1.06	1.38	1.32	1.81	2.08	2.44	2.90
糖量 μg/cm <sup>2</sup>		8.59	38.28	39.23	45.75	33.75	30.92	44.88	56.63
		12.63	36.11	28.43	34.66	18.69	14.84	18.36	19.51
クロロフィルa量 μg/cm <sup>2</sup>		0.917	3.029	2.047	2.596	1.392	1.403	1.819	2.074
		1.35	2.86	1.48	1.97	0.77	0.67	0.74	0.71
クロロフィルb量 μg/cm <sup>2</sup>		0.300	0.481	0.643	0.449	0.535	0.438	0.613	0.838
		0.44	0.45	0.47	0.34	0.30	0.21	0.25	0.29
クロロフィルc量 μg/cm <sup>2</sup>		0.921	1.260	1.510	1.351	0.119	0.125	0.149	0.085
		1.35	1.19	1.09	1.02	0.07	0.06	0.06	0.03
力口 チノイド量	緑藻・藍藻 換算 μg/cm <sup>2</sup>	0.325	1.015	0.528	0.779	0.470	0.450	0.531	0.503
		0.48	0.96	0.38	0.59	0.26	0.22	0.22	0.17
	黄金色藻・渦 鞭毛藻換算 量 μg/cm <sup>2</sup>	0.814	2.538	1.319	1.949	1.176	1.125	1.326	1.257
		1.20	2.39	0.96	1.48	0.65	0.54	0.54	0.43

注：アンダーライン上の数値は千分率を表す。

浸海地	浸海期間	スライム重量gr/m <sup>2</sup>	糖質量gr/m <sup>2</sup>	糖質%	クロフィラ%	クロフィルb%	クロフィルc%	加チノイド%
淡路由良	I期 (1986. 5.27～ 7.4) 38日間	10.4	0.12	1.2	0.17	0.07	0.07	0.19
	II期 (1986. 9.26～ 11.5) 40日間	8.7	0.24	2.5	0.22	0.05	0.13	0.18
	I～II期 (1986. 5.27～ 11.5) 163日間	12.6	0.09	0.8	0.08	0.04	0.06	0.04
玉野	I期 (1986. 5.26～ 7.3) 38日間	4.8	0.22	4.7	0.24	0.08	0.03	0.22
	II期 (1986. 9.26～ 11.5) 40日間	19.5	0.33	1.7	0.08	0.03	0.01	0.05
	I～II期 (1986. 5.26～ 11.5) 164日間	11.9	0.42	3.6	0.20	0.12	0.03	0.26

表層水温　由良　1986.5.27. 17.4℃ (気温19.6℃)  
 　　9.26. 23.8℃ ( 21.6℃)  
 　　11.5. 18.8℃ ( 16.0℃)　玉野　1986.5.26. 18.6℃ (気温16.2℃)  
 　　9.26. 25.5℃ ( 23.0℃)  
 　　11.5. 19.6℃ ( 11.0℃)

OMP A/Fに形成されたスライム

浸海地	浸海期間	スライム重量gr/m <sup>2</sup>	糖質量gr/m <sup>2</sup>	糖質%	クモフィラa%	クモフィルb%	クモフィルc%	加チノト%
淡路由良	I期 (1986. 5.27～ 7.4) 38日間	9.9	0.15	1.4	0.11	0.00	0.04	0.10
	II期 (1986. 9.26～ 11.5) 40日間	13.5	0.43	3.2	0.18	0.04	0.11	0.13
	I～II期 (1986. 5.27～ 11.5) 163日間	17.8	0.55	3.1	0.12	0.04	0.06	0.07
玉野	I期 (1986. 5.26～ 7.3) 38日間	3.1	0.18	6.5	0.17	0.05	0.03	0.22
	II期 (1986. 9.26～ 11.5) 40日間	26.7	0.51	1.9	0.07	0.03	0.01	0.05
	I～II期 (1986. 5.26～ 11.5) 164日間	7.8	0.39	5.0	0.04	0.12	0.03	0.26

表層水温 由良 1986.5.27. 17.4℃ (気温19.6℃)  
                 9.26. 23.8℃ ( 21.6℃)  
                 11. 5. 18.8℃ ( 16.0℃) 玉野 1986.5.26. 18.6℃ (気温16.2℃)  
                 9.26. 25.5℃ ( 23.0℃)  
                 11. 5. 19.6℃ ( 11.0℃)

CR

DMP A/Fに形成されたスライム

## (5) 結論

### ①由良について

重量については、スライムの多くなるⅡ期のデータが、塗料の耐スライム性を反映しているとするならば、CR, A/FがOMPA/Fよりやや劣っているように見える（すなはち、量がやや多い）。また、浸海時間が長くなるにつれ、スライム重量は増加する傾向にある。

スライム構成成分については、A/F間に次のような特徴が見いだされた。

- 1)糖質の量は、いずれの塗料でもⅠ期にくらべ、Ⅱ期のほうが圧倒的に多く、OMPA/FよりCRA/Fが多い。
- 2)クロロフィル量については、Ⅰ期よりⅡ期が多い。

### ②玉野について

重量については、A/F間に有意な差は認められない。また、浸海期間とスライム重量の間に相関はみられない。ここでは、Ⅱ期に形成されたスライムの量が由良に比べて2倍前後と、著しく多いが、糖質の量に大きな差はない。Ⅰ～Ⅱ期通期で浸海された試験板の表面には、Ⅱ期のそれより圧倒的に少ない量のスライムしか見いだされない。それは積層され増加したスライムが、自重に抗しきれずに脱落したものと考えられる。スライム中に占める糖質比率、クロロフィル等の比率が著しく少ないとから、スライム中にこれらの生物起源以外の構成成分、例えば海中に浮遊するシルト、砂粒などが9月末から11月の間に、風向の変化による波浪により増加し、それらがスライムに付着したものと考えられる。

スライム構成成分については、以下の様な特徴がある。

- 1)重量、糖質量共にⅠ期よりⅡ期のほうが多い。OMPA/Fに

については、スライム重量はⅡ期がⅠ期の約4倍、糖質量は約1.5倍である。CRA/FについてはⅡ期がⅠ期に約8倍、糖質量は約3倍である。

2)スライム量が増加し、一定量以上になると脱落すると仮定すれば、Ⅱ期及びⅠ～Ⅱ期通期のデータの比較から次の様な仮設が成り立つ。

- a) 比重の大きい付着砂粒が脱落した後、バクテリアが増加し、それらの産生する粘質由来の糖質は増加するが、増殖の遅い珪藻由来のクロロフィルcは増加せずに多くは検出されなかった。
- b) サンプリング直前に、スライムの表層が脱落したが、粘質の性質から、基盤に直接付着している部分の近傍は脱落せずに残った。

### ③由良、玉野のデータから

以上のことから、スライムの形成量とその構成要素には、かなりの地域差、季節差がみられる。しかし、スライムの構成を代表する値として、その重量と糖質の両者を用いれば、その質並びに量のいずれをも推定することができること、また、スライムは一定以上の量になるとその一部は自重あるいは外力により脱落すること、脱落後にもバクテリア粘質由来とおもわれる糖質が検出されることも明かとなった。

従って、スライムの定量にあたって、それを代表する値として、その糖質量、重量を併せてもちいることが適当であると考えられる。

以上

## (1) まえがき

回流水槽による防汚塗膜の溶解度因子の定量化と耐生物汚損性の研究に関し、昭和61年度は回流水槽装置の改造を行い、本装置によるスライムの付着性について検討するとともに、塗膜劣化度と耐生物汚損性に関する試験の一部を実施した。

## (2) 実施内容

## (a) 回流水槽試験装置の改造

本装置の原形はSR189部会57年度研究にて製作設置したものである。これを中国塗料（株）広島工場内から広島市元宇品町臨海試験場海岸に移設し、自然海水環境下で無人運転できるよう改造を行った。

図4.2.1に装置外観、図4.2.2に系統概略図を示す。

本装置の概要は、取水ポンプにより海水タンク（容量約1000L）に自然海水を汲上げた後、鋼管製ループ（300mmΦ×全長約12m）内に流入させ、海水を主ポンプにより、ループ中央部のテストセクション（100×100×1000mm、内側の両側面に塗装試験片を装着）を所定の流速（3~13m/sの範囲）にて通過させた後外部に排出する構造となっている。

無人運転機構として、タイムスイッチによる電源の開閉、取水ポンプ・主ポンプの運転時間積算計、漏電、取水ポンプ・主ポンプの異常自動警報装置等が装備されている。

装置要目はつきのとおりである。

(イ) ループ部	内面エポキシ樹脂ライニング钢管製、 300Φ×12, 220mm
(ロ) テストセクション部	内面エポキシ樹脂ライニング鋼板製、 上面アクリルガラス窓付長方形箱形、 100×100×1000mm
(ハ) 主ポンプ 1台	両吸込渦巻ポンプ、吐出量 9m <sup>3</sup> /分 電動機 37kW
(ニ) 差圧計 2個	0~2, 500mmAq
(ホ) 流量計 1個	フロート形、100~600m <sup>3</sup> /時
(ヘ) 流量調節弁 1個	バタフライ弁、300mmΦ
(ト) 溫度計 2個	バイメタル形、0~50℃
(チ) 操作盤 1基	屋外ボスト形、主ポンプ用 (漏電遮断機、電磁接触器、電圧計、電流計、回転計、押ボタン等収納)
(リ) 海水タンク 1基	FRP製、容量1,000L
(ヌ) 海水汲上ポンプ 1台	自吸ポンプ、自吸性能 -6m、電動機1.5kW
(ル) 異常警報装置 1台	電話回線接続システム（コルソスCS-4A形）
(オ) 自動温度記録計 1台	自動平衡形（SBR100シリーズ）、0~100℃
(ワ) タイムスイッチ 1個	クオーツタイムスイッチTSQ-1DKV形（長時間停電保証付）
(カ) 運転時間積算計 2個	取水ポンプ・主ポンプ用
(ヨ) 取水ポンプ海面センサー 1組	
(タ) 取水タンク液面センサー 1組	
(レ) 海水温度センサー 2組	
(ソ) 操作盤 1基	屋外ボスト形（タイムスイッチ、運転時間積算計、異常警報取出し接点等収納）

注] (ヌ)~(ソ)が改造時に新設したもの。

( b ) 供試塗料

本試験に使用した防汚塗料は、表4. 2. 1に示す塩化ゴム系、有機錫共重合樹脂系Ⓐおよび同Ⓑの3種とした。ⒷはⒶにスライム防止剤を5重量%添加したものである。

( c ) 試験片の塗装

表4. 2. 2に示す塗装系により試験片を作製した。

試験片材質・寸法 : 冷延鋼板

$100 \times 100 \times 1\text{ mm}$ ,  $100 \times 150 \times 1\text{ mm}$

塗装方法 : エアレススプレイ塗装, 塗装間隔1回/日

( d ) 試験方法

( i ) スライム付着性試験

回流水槽装置によるスライム付着性試験の可能性を検討するため、海水条件とスライム付着性の関係について下記のような試験を行った。

(イ) 取入れ海水による試験

取水ポンプにより装置の取水槽（容量約1, 000 L）に取入れた自然海水を容量約10 Lの水槽へビニルホースを介して流入させ、海水が常時溢流し更新される状態（流速約0. 5 m/s）で試験片（ $100 \times 100 \times 1\text{ mm}$ ）を南面向と北面向に各1枚ずつ浸漬した。（休止率5%）取水槽に取入れた海水は約1回/15分で全部交換される状態とした。図4. 2. 3に試験片の浸漬状況を示す。

(ロ) 流動海水による試験

装置のテストセクションに試験片（ $100 \times 100 \times 1\text{ mm}$ ）を取り付け、取水槽から装置内に流入させた自然海水を、テストセクションにおける流速8 m/sにて流動させながら1カ月間試験した。（休止率45%）装置内海水は常時外部に排出（（約60 L/分）し、約10分間で完全に交換される状態とした。テストセクションにおける試験片の取付け状況を図4. 2. 4に示す。

(ハ) 海中浸漬による試験

筏に試験片（ $100 \times 100 \times 1\text{ mm}$ ）を吊り下げ、水面下約1. 5 mの海水に1か月間浸漬した。

(ニ) 脱落限界流速試験

上記(ハ)と同様にして海中浸漬によりスライムを付着させた試験片（ $100 \times 100 \times 1\text{ mm}$ ）を装置のテストセクションに取付け、流速3, 6および8 m/sにて1, 10, 24時間試験した。

(ホ) スライム付着量定量法（重量法）

試験片表面のスライムをハケで採取ピンに洗い落し、人工海水で洗浄し洗液も採取ピンに合する。

スライム懸濁液を $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ミリポアフィルターで吸引ろ過し、フィルター上に残留した懸濁液を純水で洗浄し脱塩した後減圧乾燥器（60 mbar, 50°C）内で2時間乾燥し秤量しmg/cm<sup>2</sup>単位で算出した。

## (ヘ) スライム残存厚さ測定法

残存したスライムが付着したままの試験片を清水中に数分間浸漬して脱塩した後、上記の減圧乾燥器内で30分間乾燥する。バーマスコープ膜厚計により、塗膜+スライムの厚さを計測し、次いでスライム層を清水で湿したガーゼで除去し、再び乾燥させた後同様にして厚さを計測し前者と後者の計測値の差をもってスライム残存厚さとした。

## (ii) 塗膜劣化度と耐生物汚損性に関する試験

有機錫共重合樹脂系Ⓐおよび同Ⓑの試験片について、海中浸漬と回流水槽流動浸漬のサイクル試験を行い、塗膜の劣化と海中生物汚損との関係について試験中であるが、現在1サイクルが終了しさらに継続中である。

試験片寸法 : 150×100×1mm

サイクル試験条件 : 海中浸漬20日間一回流水槽浸漬

8m/s×20日間の繰返し(5回実施予定)、  
ただし、第1サイクルは30日—30日とした。

## (3) 試験結果

以上のとおり、回流水槽装置の移設・改造を行い、本装置によりスライムの付着性に関する試験および塗膜劣化度と耐生物汚損性に関する試験の一部を実施した。結果を以下に述べる。

## (a) 回流水槽取入れ海水による試験

図4.2.5に試験片表面のスライム付着状態を示す。スライムの付着程度はつぎの順序であり、南面向の試験片が北面向より多かった。

プランク	>	塩化ゴム	>	有機錫共重合樹脂系Ⓐ	>	同 Ⓑ
(多)						(少)

## (b) 回流水槽内流動海水による試験

図4.2.6に試験片の表面状態を示す。各試験片ともスライムの付着はほとんどみとめられなかった。

## (c) 海中浸漬による試験

図4.2.7に試験片表面のスライム付着状態を示す。スライムの付着程度の順序はつぎのとおりであった。

プランク	≥	塩化ゴム	>	有機錫共重合樹脂系Ⓐ	>	同 Ⓑ
(多)						(少)

図4.2.8は、上記(a)の回流水槽取入れ海水と海中浸漬における付着スライムの電子顕微鏡写真である。いずれも珪藻が主でクロロフィルが混在している。

また、表4.2.3は上記(a)、(b)および(c)の各試験における試験片付着スライムの重量を測定し比較した結果である。上述した外観状態における汚損順序とほとんど比例する。

取入れ海水と海中におけるスライム付着量を比較すると、取入れ海水の場合の付着量が多かった。いずれの場合もスライム防止の効果はみとめられた。

## (d) 脱落限界流速試験

流速3m/sにおいては、フロック状の表面スライムは短時間で脱落するが、それ以外のスライム層はほとんど脱落する傾向はみとめられなかつたので試験を中止した。

図4.2.9に6m/sおよび8m/sの流速で24時間試験後のスライム残存量と残存厚さの試験結果を示す。1時間と8時間目の状態は目視にて顕著な変化がなかつたので、測定は行わなかつた。

6m/sと8m/sとでは脱落量はほとんど同等であった。塗膜に付着したスライムの底層は8m/sで24時間の流速条件下でも僅少ではあるが残存する傾向があつた。その厚さは5~10μm程度であつた。

## (e) 塗膜劣化度と耐生物汚損性試験

本試験は、回流水槽装置の改造工事遅延、取水ポンプ故障などの影響により、当初計画よりも約3か月遅れて進行中であり、来年度に一部ずれ込む予定であるが、来年度研究を圧迫しないようサイクル期間を $\frac{2}{3}$ に短縮して続行し、結果は適時報告することとしたい。

1サイクル試験後の結果はつきのとおりである。

図4.2.10に有機錫共重合樹脂系A塗膜の海中浸漬前と回流水槽試験後のXMAによる塗膜解析写真を示す。塗膜表面層が僅かに加水分解を始めている。膜厚計による膜厚の現象はほとんどみとめられなかつた。

## (f) 海水性状

上記の各試験を実施中の海水温度を図4.2.11に、PH、C1イオン濃度、CODなどを図4.2.12に示す。

海水温度は15~23°Cの範囲であり、海中と回流水槽入口・出口における温度差はほとんどみとめられなかつた。

PHは7.6~8.0、C1イオン濃度は1.8~1.9%、CODは1.7~2.5PPMの範囲であった。海中と回流水槽取水層でCODの差はなかつた。

## (4) まとめ

以上の研究結果をまとめると下記のとおりである。

(a) 回流水槽の8m/s流動海水中においてはスライムはほとんど付着しない。

(b) 海中浸漬により防汚塗膜に付着したスライムは、回流水槽の流速3m/sでは大半が脱落しにくいけれども、6m/s、8m/sでは大部分が24時間で脱落するところから、脱落限界速は6m/s(約12ノット)付近であるとみなされるが、薄層(5~10μm)のスライムは脱落しにくく残存する傾向がある。これらの試験結果は、図4.2.13に示すところの回転円板による渡辺らの研究結果とほぼ一致している。

(c) スライムの付着性は、回流水槽と海中とにおいては海水の性状による影響はないが、日射量がかなりスライムの増殖に影響する傾向がある。スライム付着性の促進試験は、今回行った回流水槽取入れ海水による試験法のように、浅型の容器中でゆるやかに流動する海水に試験片を浸漬し屋外で試験する方法は有効と考えられる。

- (d) スライム防止剤の添加効果はみとめられたが、短期の試験であるためさらに長期持続性について調査する必要がある。
- (e) 回流水槽による塗膜劣化度と耐生物汚損性に関する本年度計画の試験は一部終了し、残余の試験は引き続き実施中であるが来年度初期に完了する予定である。

以 上



図4.2.1 回流水槽試験装置

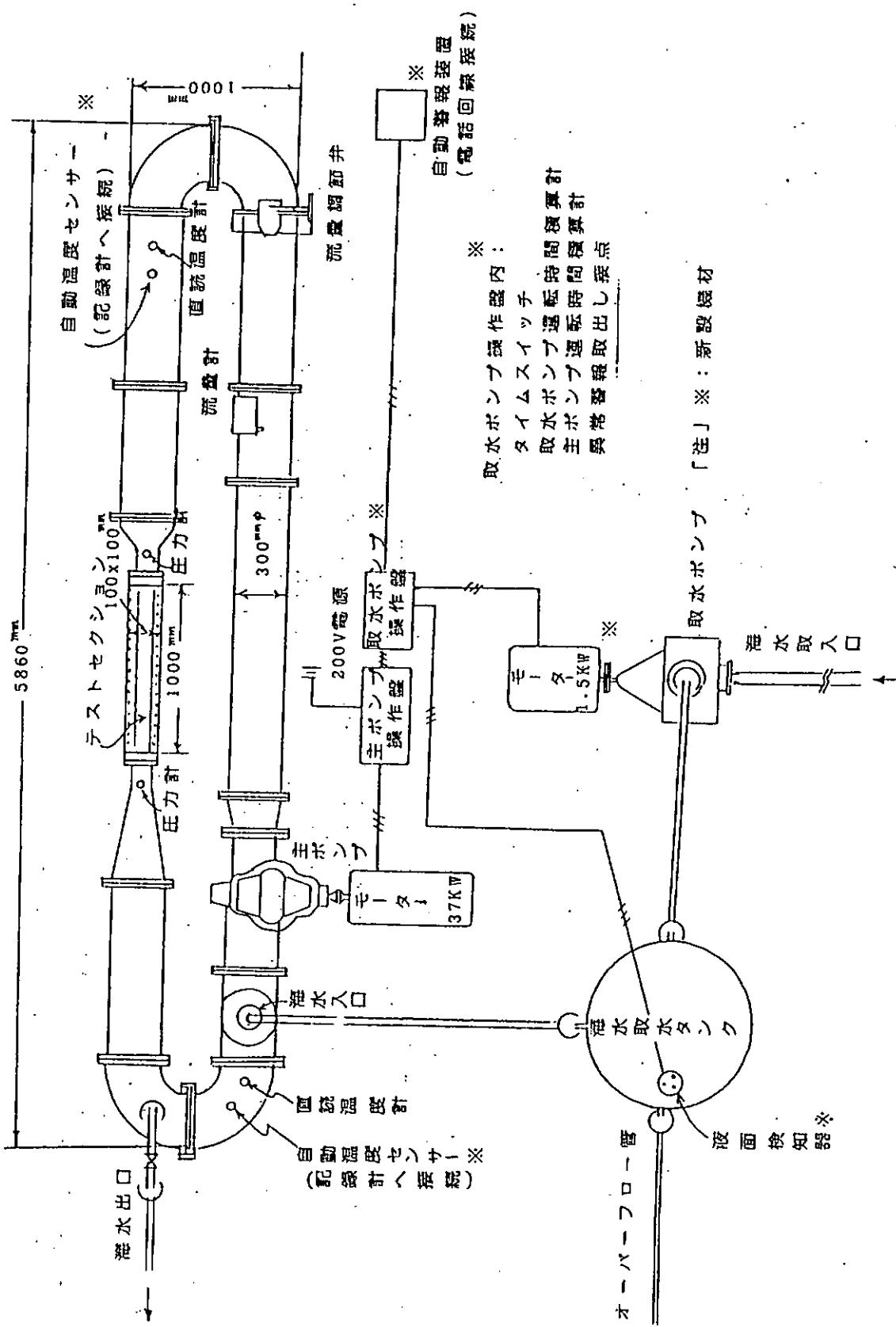


図 4. 2. 2 回流水槽試験装置系統概略図

表4.2.1 供試防汚塗料の組成

成 分 塗 料	(1) 塩化ゴム系	(2) 有機錫共重合 樹脂系 Ⓐ	(3) 有機錫共重合 樹脂系 Ⓑ
塩化ゴム	8.4	-	-
OMPワニス( N.V 49.5% )	-	44.0	44.0
WWロジン	8.4	-	-
塩化パラフィン	2.0	-	-
亜酸化銅	30.0	36.0	36.0
TPTH	10.0	-	-
スライム防止剤	-	-	5
シリカ粉	-	5.5	5.5
酸化マグネシウム	2.2	-	-
チャイナクレー	5.4	-	-
べんがら	4.2	1.0	1.0
搖変剤	0.6	1.2	1.2
MIBK	-	-	-
キシレン	28.8	12.3	7.3
計	100	100	100

表4.2.2 供試防汚塗料の塗装系

塗装系	素地 調整	ショップ プライマー	塗料と塗装回数 ( ) : 塗膜 $\mu_m$				
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
(1)	Pt-3	OZ (1.8)	CRAC (60)	CRAC (60)	CRAF (45)	CRAF (45)	-
(2)	Pt-3	OZ (1.8)	TE (100)	TE (100)	TV (50)	OMP AF Ⓐ (100)	OMP AF Ⓑ (100)
(3)	Pt-3	OZ (1.8)	TE (100)	TE (100)	TV (50)	OMP AF Ⓑ (100)	OMP AF Ⓑ (100)



図4.2.3 スライム付着試験水槽（流速0.5m/s）



図4.2.4 回流水槽テストセクションの試験片取付状況

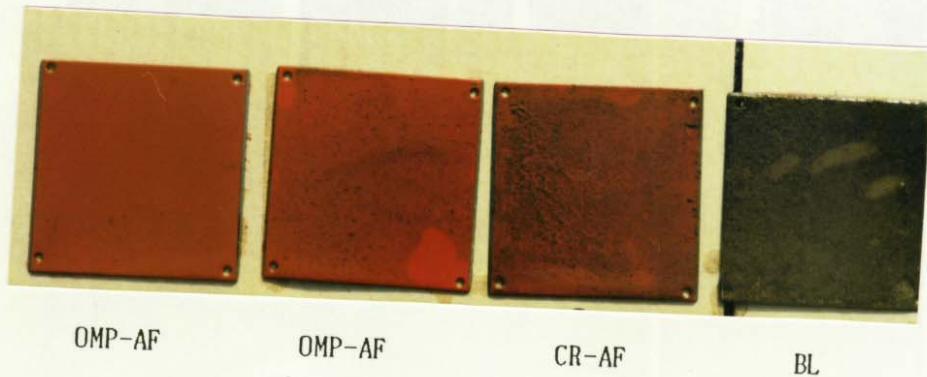


図4.2.5 回流水槽取り入れ海水による  
スライムの付着状態  
(0.5 m/s × 1か月間)

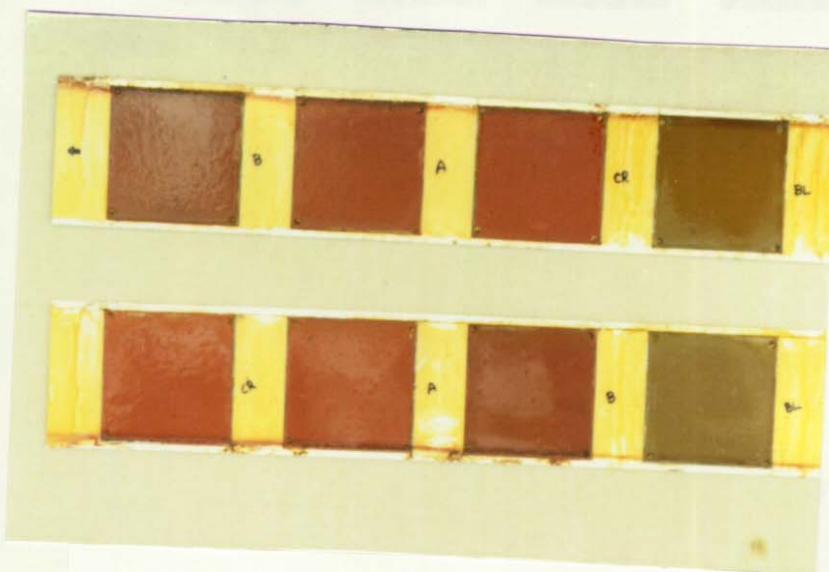
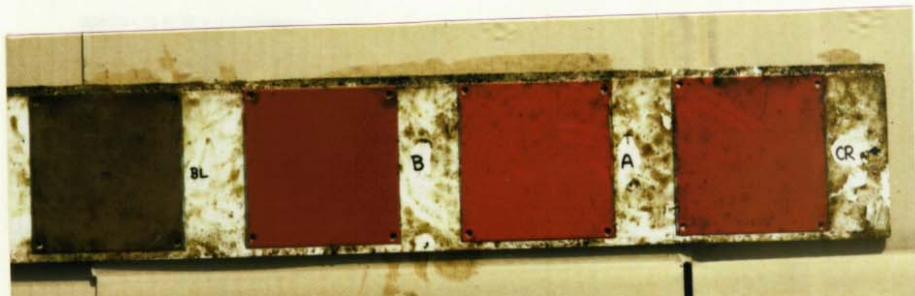
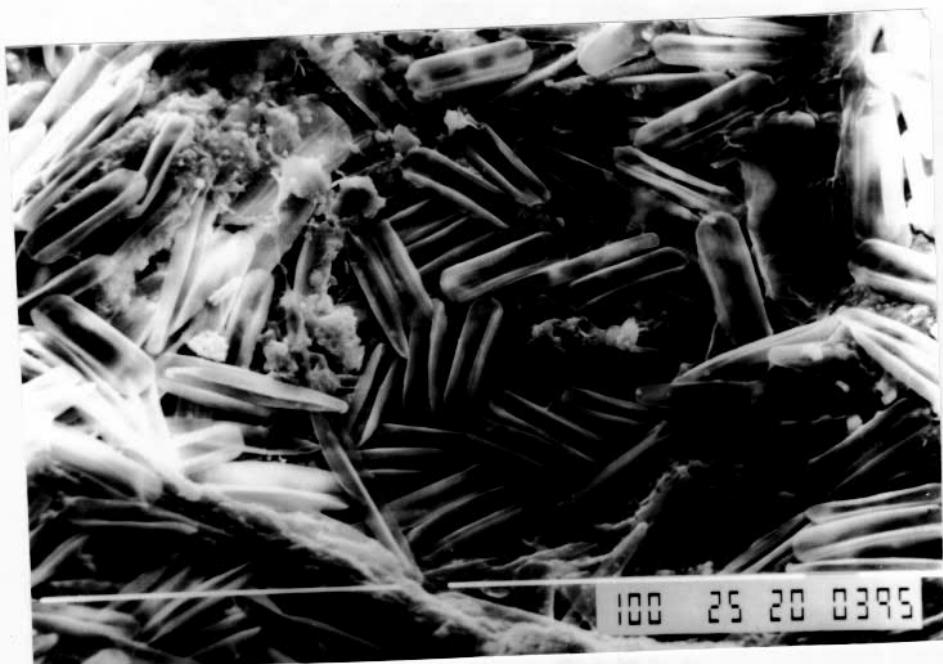


図4.2.6 回流水槽内流動海水による  
スライムの付着状態  
(8 m/s × 1か月間)  
A: OMP-AF A CR: 塩化コムAF  
B: OMP-AF B BL: ブラック



BL            OMP·AF            OMP·AF            CR·AF  
③            ④            ⑤

図4.2.7 海中浸漬によるスライム付着状態



取水槽海水



海中浸漬

図4.2.8 スライム電子顕微鏡写真 X450

表4.2.3 スライム付着量試験結果 (mg/cm<sup>2</sup>)

供試塗料 海水条件	塩化ゴム	OMP-A	OMP-B	ブランク
取水槽取入れ 海水 (0.5 m/s)	1.76	1.08	0.48	2.76 *1
	1.45	0.84	0.50	1.85 *2
	(1.61)	(0.96)	(0.49)	(2.31)
回流水槽流動 海水 (8 m/s)	$6 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$
	$4 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$
	(0.01以下)			
海中浸漬	0.43	0.36	0.22	0.40
	0.40	0.30	0.21	0.31
	(0.42)	(0.33)	(0.22)	(0.36)

(備考) : ( ) 内は平均値

\*1 : 南面向 \*2 : 北面向

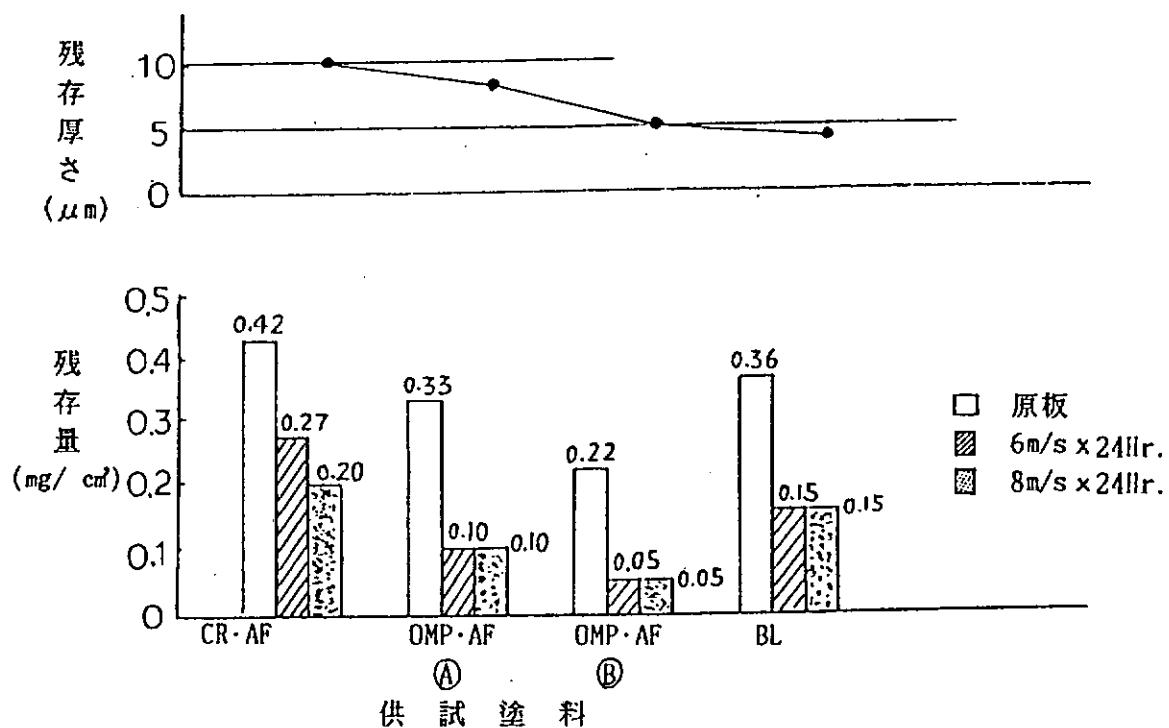
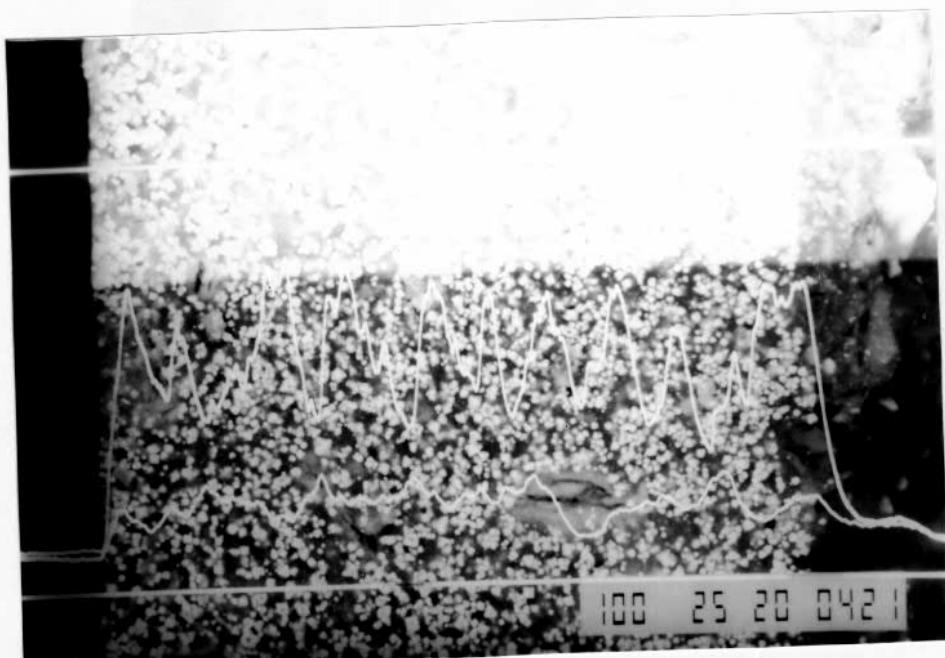
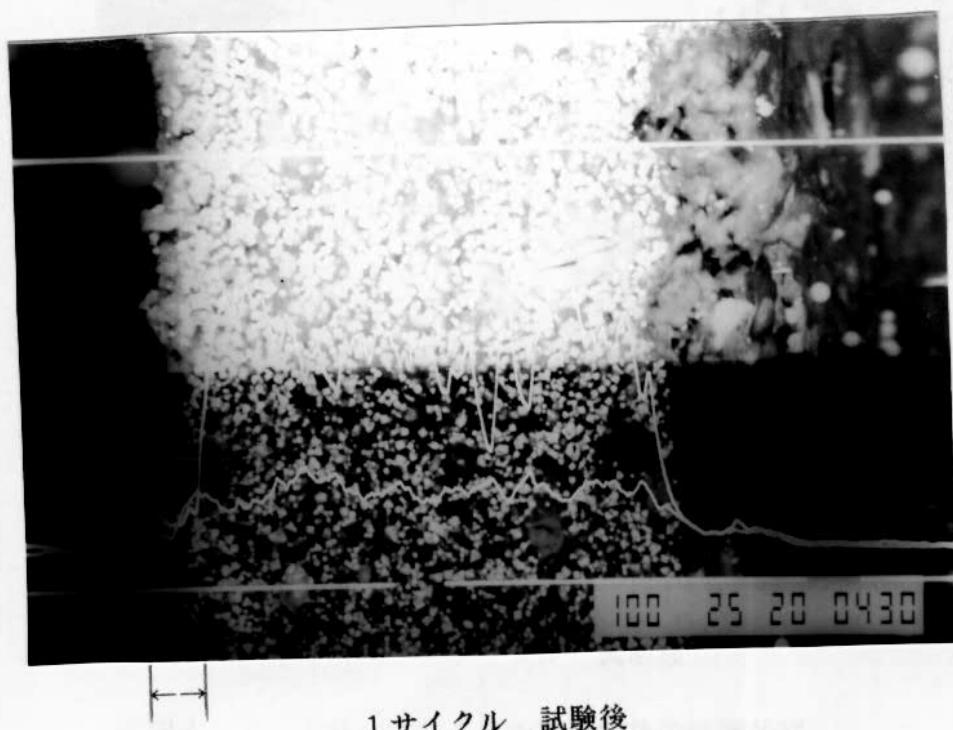


図4.2.9 流速とスライム残存量・厚さ



試験前



1サイクル 試験後

図4.2.10 サイクル試験前後の塗膜状態  
(電子顕微鏡写真, X500)  
←→: 加水分解層

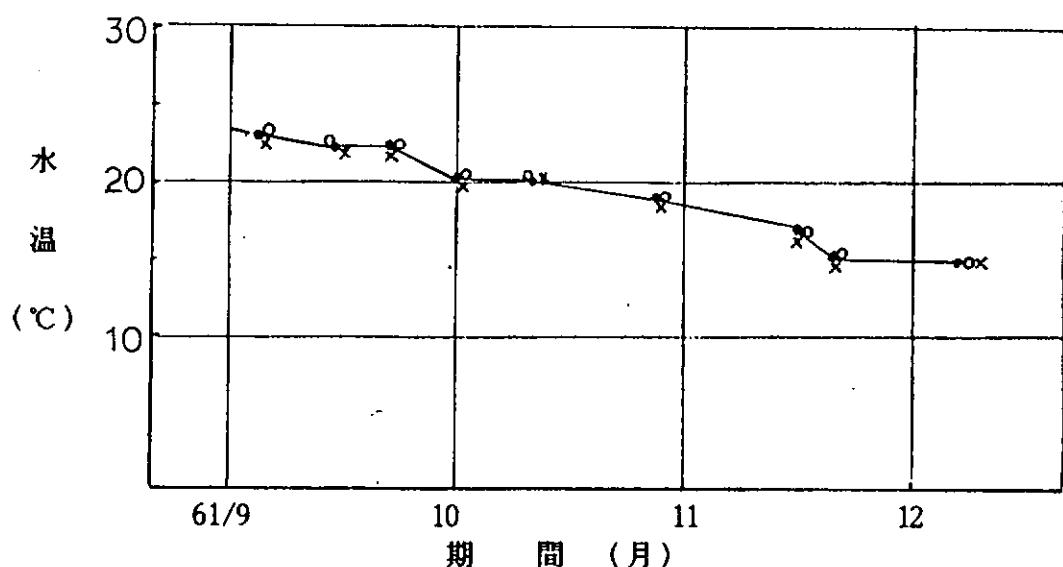


図4.2.11 海水温度

● : 海中  
○ : 回流水槽入口  
× : 回流水槽出口

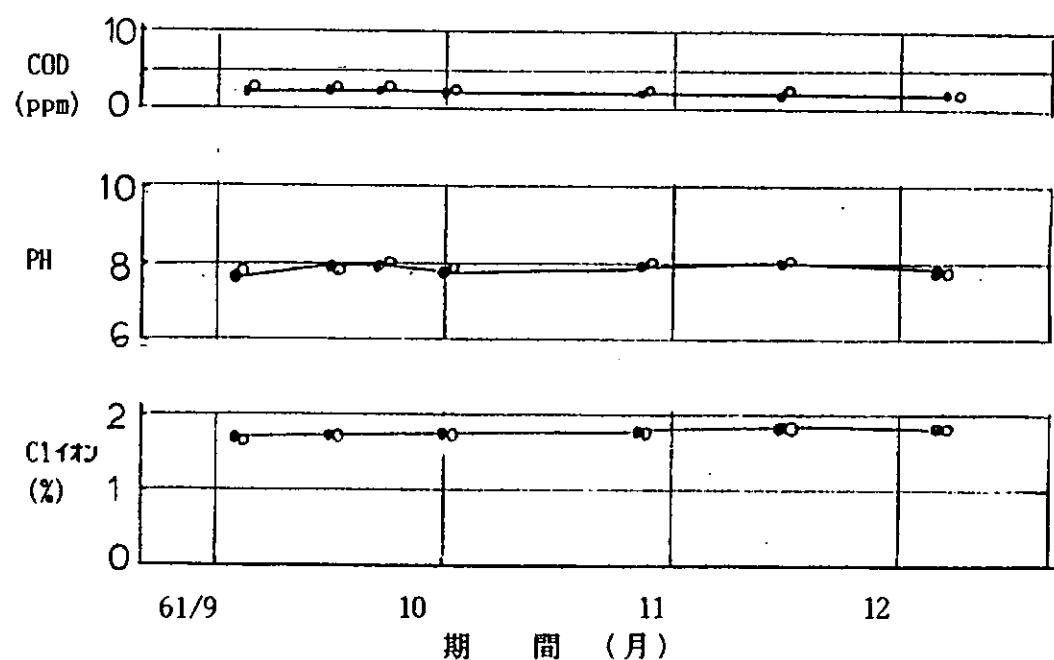


図4.2.12 海水性状

● : 海中  
○ : 回流水槽入口

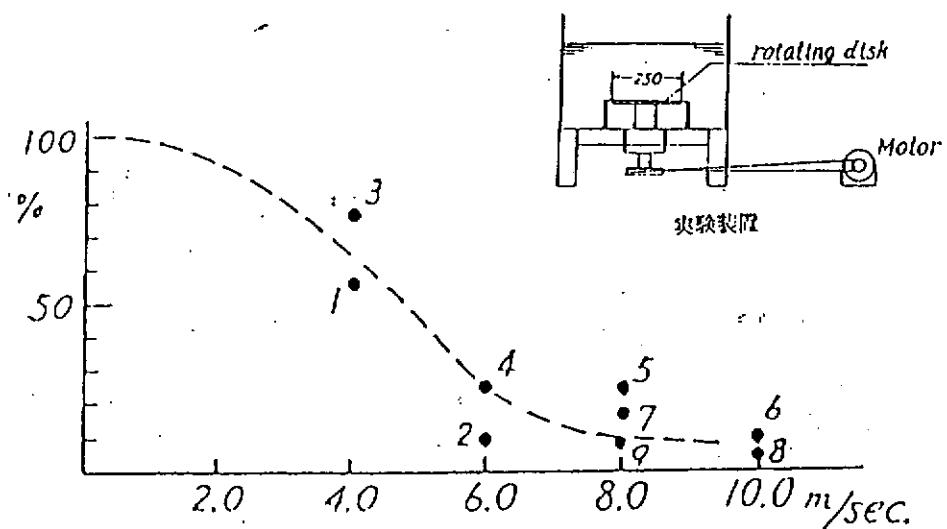


図4.2.13 回転円板によるスライム脱落試験結果  
(渡辺, 関西造船協会)

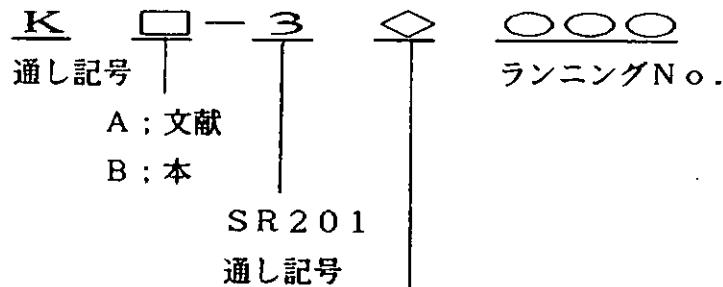
## 5. 文献調査

### スライムの定量法・耐生物汚損及び船底塗料に関する 文献調査 昭和61年度報告

昭和61年度収集した文献は、153編と5冊あり 内容別に分類すると下記のようになる。

1) 防汚剤の溶出機構	10編
2) 船底塗料の試験方法	9編
3) 表面粗度と摩擦抵抗、燃費節減	6編
4) 船底塗料関連(配合・性能)	
ア) 報文	27編
イ) 日本特許	45編
ウ) 外国特許	5編
5) 安全衛生	17編
6) 生物関連	24編 + 5冊
7) その他	10編
合計	153編 + 5冊

文献記号について



分類記号

- 1 ; 防汚剤の溶出機構
- 2 ; 船底塗料の試験方法
- 3 ; 表面粗度と摩擦抵抗、燃費節減
- 4 ; 船底塗料関連報文
- 5 ; 船底塗料関連日本特許
- 6 ; 船底塗料関連外国特許
- 7 ; 安全衛生
- 8 ; 生物関連
- 9 ; その他

ランニングN○. は、昭和60年度からの通し番号です。

## 1 ) 防汚剤の溶出機構、防汚剤関連

### KA-31008

C. A. Giudice, B. del Amo, et al.

"Composition and Dissolution Rate of Antifouling Paint Binders (Soluble Type) During Their Immersion in Artificial Sea Water."

Journal of Coatings Technology Vol.58, No.733, Feb. p45-50, (1986)

WWロジンと塩化ゴムの比率を変えた塗料を作成し、顔料分散前後及び人工海水浸漬時に於ける酸基の変化（金属塩の生成）及び人工海水中への塗膜成分の拡散を調査した。

### KA-31009

G. S. Bohlander and H. S. Preiser

"New Technology Antifouling Paints: U. S. Government Research and Assessment"

Naval Engineers Journal (USA) Vol.96, No.4, p125-131, (1984)

有機すず重合体の防汚船底塗料は毒性による防汚作用があり、その溶出作用により耐久性と共に表面を平滑にし、船体抵抗の減少により燃料の節減となる。パネル試験、実船試験により、その効果を立証し、入渠間隔を5~7年に延長できる。一方毒性による塗装者と環境の保護、塗装表面に発生・成長するスライム問題を研究中。

### KA-31010

T. Dawans

"Anti-fouling marine paints based on organo-tin polymers"

Double Liaison Chimi. Peint. No.343, May p176-196, pVI-XX, (1984)

錫を含む様々なモノマーを合成し、さらにそれを用いて高分子化した。高分子化は主鎖に錫を持つもの、側鎖に錫を持つもの及びグラフト化物の3種に大別されるが、徐溶性の点からみると有機錫カチオンを放出するもの、高分子鎖網を変性したもの、親水疎水性の主骨格を有するもの及び部分的に防汚剤をグラフト化したもののが好ましかった。

### KA-31011

C. Potin, A. P. Leurdeau, and C. M. Bruneau

"Biocidal polymers for paints"

Double Liaison Chimi. Peint. No.348, Oct. p425-441, pXX-X-XIV, (1984)

現在の防汚剤について主として持続性を改良する目的で加水分解可能な形態で高分子鎖に防汚剤を結合した。フェノール系防汚剤を中心としてモノマー及びそのポリマーを合成し、前報に引き続き共重合性とポリマーの造膜性、抗菌性について調査した。

### KA-31012

H. Ritter, H. Sommer, and W. Reineke

"Preparation and biological evaluation of monomeric and polymeric N-sulfenyl derivatives as fungicides"

Makromol. Chem. Rapid Commun. Vol.6, p241-245, (1985)

徐々に殺菌剤を放出するような高分子化合物を求めて、高い抗菌活性を持つN-ジクロロフルオロメチルースルホニル誘導体を含む加水分解型ポリマーの重合を行なった。その結果 生物活性を持つ高分子化合物を得た。

### KA-31013

C. Potin, A. Pleurdeau, and C. M. Bruneau

"Development of lattices and formulation of coatings based on macromolecular biocides"

Double Liaison Chimi. Peint. No.353, Mar. p71-86, pVII-XXII, (1985)

前3報で合成した加水分解型高分子防汚剤について、その物理的・化学的な特性、流動性、抗菌性について調査した。その結果、標準として用いた非結合性の防汚剤を含む塗料と同等の抗菌性を示した。

## KA-31014

A. Milne and M. E. Callow  
"Non-biocidal antifouling processes"

Trans. Inst. Mar. Eng. C. Conf., Vol.97, No.2, p229-233, (1985)

人体や環境に影響ある有毒重金属を基にした防汚塗装に代わるべき方法について研究した。材料としてはシリコーンゴムとフッ素系ポリマーを選択し、生物手法を用いて評価したところ、室温加硫(RTV)シリコーンゴムの改良が極めて有望であることを確認。

## KA-31015

G. Eng, O. Bathersfield, and L. May  
"Mossbauer studies of the speciation of tributyltin compounds in seawater and sediment samples."

Water Air Soil Pollut., Vol.27, No.1/2, p191-197, (1986)

3種の船底防汚剤、トリプチル錫オキサイド(Ⅰ)、酢酸トリプチル錫(Ⅱ)、塩化トリプチル錫(Ⅲ)を蒸留水(Ⅳ)、海水(Ⅴ)、好気性(A)および嫌気性(An)堆積物で処理し、Mossbauerスペクトルで検索したところ、Anを除くすべての媒質中でⅠは同定不可能な化合物にかわった。ⅡとⅢはVとAn中で水酸化物に変わることが認められた。

## KA-31016

B. J. Spalding  
"Antifouling compounds from coral."

Chem. Week, Vol.139, No.2, p62,65, (1986)

トリプチル錫化合物の各国での使用制限と、Duke大学の研究者がさんご虫類から無害の防汚剤を発見したことが述べられている。

## KA-31017

D. Schuler

"Konservierung von schiffssfarben und holzimpragnierungen."

Farbe Lack, Vol.92, No.3, p195-197, (1986)

船底塗料用防汚剤、有機金属化合物系殺生物剤、高分子殺生物剤、木材含浸防腐剤などの文献紹介。

## 2) 船底塗料試験方法

## KA-32005

P. de Voogt

"Comparison of Methods for the Extraction and Determination of Polychlorinated Biphenyls in Ship Hull Antifoulings"

Chemosphere Vol.14, No.8, p1013-1022, (1985)

10銘柄の船体防汚塗料につき標題分析法を種々検討した結果、簡単迅速な手法として、塗料薄膜をn-ヘキサンにより4時間ソックスレー抽出した液をわずかに不活性化したシリカ充填カラムを通してPCBを吸着させ、これを適当な方法で抽出して得られた液を毛管GC-ECD法により定量するのが最適であるとの結論を得た。首記10銘柄についてこの方法によりPCBを定量したところいずれも0.5mg/kg以下に止まった。

## KA-32006

M. G. Robinson, B. D. Hall, and D. Voltolina  
"Slime Films on Antifouling Paints. Short-term Indicators of Long-term Effectiveness"

Journal of Coatings Technology Vol.57, No.725, June p35-41 (1985)

A/F塗料の防汚性をスクリーニングする方法について述べている。スライムの量ではなく種類に着目することで、その後のマクロ付着生物に対する防汚性を推定することができる。

## KA-32007

宮内 徹夫

“防汚塗料と防汚剤の生物検定法（1）”

生態化学 Vol.8, No.2, p21-29, (1985)

防汚塗料と防汚剤をとりあげ防汚効力検定法の現状と問題点について述べるとともにその生物検定法の標準試験法とそれを活用した防汚塗料の開発法についての提言をしている。

## KA-32008

M. Camail, B. Loiseau, and A. Margaillan

“Method of accelerating tin leaching from an anti-fouling paint”

Double Liaison Chimi. Peint. No.353, Mar. p43-45, pXXIII-XXV, (1985)

9.15 PHに調整したEDTA溶液中で小型ローターを1400 rpm(周速6.4ノット)および2800 rpm(周速12.8ノット)で回転させ、錫を溶出させる促進試験方法を確立した。

## KA-32009

David W. Allen, Stephen Bailey et al

“The fate of organotin toxicants in neoprene-based elastomeric marine anti-fouling coatings: Sn Mossbauer and Sn N.M.R. spectral studies.”

Chem. Ind. (London), No.24, p826-827, (1985)

ネオプレーンゴム中のトリプチル錫オキサイドがトリプチル錫クロライドになって海水中に溶出することを、SnのメスバウアNMRスペクトルによる分析で確認した。

## KA-32010

E. J. Parks, W. R. Blair, and F. E. Brinckman  
“GFAAS determination of ultratrace quantities of organotins in sea-water by using enhancement methods.”

Talanta, Vol.32, No.8A, p633-639, (1985)

船底塗料中のトリプチル錫類による海水汚染を把握するために、GFAASによる定量を検討した。検出限界0.1 ng/mlであり海水の分析に適用できることがわかりその方法が述べられている。

## KA-32011

M. S. French and L. V. Evans

“Raft trial experiment on leaching from antifouling paints.”

Trans. Inst. Mar. Eng. C. Conf., Vol.97, No.2, p127-130, (1985)

自己研磨型防汚塗料に用いている酸化亜鉛や酸化銅の溶出特性を調べた。酸化亜鉛単独の場合は防汚性が低く、防汚性低下は浸漬期間により季節的な影響が大きい。

## KA-32012

M. A. Unger, G. W. Macintyre, et al

“GC determination of butyltins in natural waters by flame photometric detection of hexyl derivatives with mass spectrometric confirmation.”

Chemosphere, Vol.15, No.4, p461-470, (1986)

ハログン化トリプチル錫をグリニヤール試薬によりガスクロマトグラフィーで分析可能なテトラアルキル錫に変換し、炎光光度計(FPD)で検出後、マススペクトルで同定する方法を開発した。チェサピーク湾に注ぐ河口での実測値を紹介。

## KA-32013

高橋 一のぶ、小笠原 一郎、西川 利男、大八木 義彦

“逆転フレーム分光法によるすずの定量”

分析化学、Vol.34, No.12, p757-760, (1985)

SnH分子は609.5 nmに強い分子発光を示す。この測定波長における、酸濃度の影響、共存イオンの影響、検量線の直線性について検討した結果、0~10 ppm範囲において、感度良く測定できた。

### 3) 表面粗度、汚損と摩擦係数、燃費節減

#### KA-33011

渡辺四郎、永松宣雄、横尾幸一、川上善郎  
"Slimeによる摩擦抵抗増加について"

関西造船学会誌、131号 3月 (1969)

最近、防汚塗料の著しい向上がなされ、貝類、フジツボ、アオノリなどに対する防汚効果はほぼ完全であるが、スライムは付着する。そこで、スライムが摩擦抵抗に与える効果や流れによるスライムの離脱について、二重円筒管、模型船及び回転円板による試験を行ない、その結果からスライムに由来する約9~10%の全抵抗増加を推定した。

#### KA-33012

C. P. Cologer, W. David  
"Six year interaction of underwater cleaning with copper based antifouling paints on navy surface ships"

Nav. Eng. J. (USA) Vol.96, No.3, p200-208, (1984)

水線下の船体の汚損、塗膜の損傷状況を水中写真で、等級づけして水中清掃の効果を6年間調査した。この方法は非常に有効であるが、清掃間隔を固定することは種々の因子があるので難しい。使用した防汚塗料は銅ベースのビニル系であったが、表面に固い不溶解な第2銅の層ができて、防汚効果を減じ、3回目以降の清掃では除去が困難。

#### KA-33013

M. Perry (Cunard Shipping Serv. Ltd.)  
"Underwater hull surface painting strategy."

Trans. Inst. Mar. Eng. (TM) (GBR) Vol.97, No.12, p1-15 (1985)

燃料費の高騰に関連して標題戦略は船の運航上ますます重要な問題になっているとして、船体粗さの計測による対応の有効性をCunard社の実例を紹介して解説。BSRAの表面粗さ計測装置を使用してドックごとに計測し、コンピューターに入力して結果を追跡し、燃費との関係も調査を継続中である。船底、船側、船首尾などに区分してデータ収集した。新造では $100\mu m$ 、8年程度の船で $300\sim 600\mu m$ 程度の粗さがある。計測制度を $15\mu m$ に保つには新造以外では計測点を増加する必要がある。再塗装による燃費節減は粗さ $400\sim 600\mu m$ の船で8~15%に達する。自己研磨型塗膜の最小膜厚保持が極めて重要であるなどを結論。

#### KA-33014

G R Hagen, E N Comstock, and J Slanger  
"Investigation of Design Power Margin and Correlation Allowance for Surface Ships"

Marine Technology, Vol.23, No.1, Jan. p35-54, (1986)

本報は、パワーマージン(余裕出力)の設計とそれに必要な係数C<sub>a</sub>(Correlation Allowance coefficient; 相関粗度影響係数)についての技術のレビューを紹介するものである。主として、模型実験と実船公試試験から得られるデータベースの紹介、調査、解説を行ない、より正確にC<sub>a</sub>を推定し、必要なパワーマージンを決定する新しい設計法を提案している。

#### KA-33015

著者記載なし

"A shipowners conclusions on underwater hull painting."

Shipcare Marit Manage, Vol.17, No.4, p21-23, (1985)

1979年Cunard海運会社は英造船研究協会の計測器を利用し、船体の表面粗さを計測した。新造船では粗さ $100\mu m$ も8年後には $300\sim 600\mu m$ となる。自己研磨塗料の1~6年間の実績は良好で、研磨傾向なども紹介。

#### KA-33016

S. C. Dickinson

"Design of compliant coatings for reduction of turbulent drag."

Proc. 8th. Symp. Turbul. 1983, p339-348, (1984)

乱流境界層は物質表面の摂動圧として作用し、追従表面は変形することによりこれらの圧力に応答しその表面速度は流れを抑制して局所せん断と壁面摩擦を減少するとの仮定に基く標記理論モデルを提案。

## 4) 船底塗料の配合および性能

## 4-1) 幸報文

KA-34019

中尾 学

“船舶の塗装と鋼材表面処理（その1）”

船の科学 Vol. 38, No. 9, p 64-69, (1985)

鉄の腐食の発生機構と防食法について述べ、次いで船舶塗装の概要を解説。船体主要部位の塗装の要点及び船舶用塗料の特徴について概説。

KA-34020

中尾 学

“船舶の塗装と鋼材表面処理（その2）”

船の科学 Vol. 38, No. 10, p 59-63, (1985)

防食塗装に於ける塗装前の鋼材の表面処理の重要性及び表面処理法の比較。

KA-34021

中尾 学

“船舶の塗装と鋼材表面処理（その3）”

船の科学 Vol. 38, No. 11, p 65-70, (1985)

塗料の種類と鋼材表面グレードの関係とショッププライマーの歴史と必要性能について述べている。

KA-34022

中尾 学

“船舶の塗装と鋼材表面処理（その4）”

船の科学 Vol. 38, No. 12, p 55-59, (1985)

ショッププライマーと熱加工性の関係について述べている。

KA-34023

中尾 学

“船舶の塗装と鋼材表面処理（その5）”

船の科学 Vol. 39, No. 1, p 77-80, (1986)

現在のショッププライマーの種類と性能概論。

KA-34024

中尾 学

“船舶の塗装と鋼材表面処理（その6）”

船の科学 Vol. 39, No. 2, p 54-59, (1986)

粉末型電子写真書き（PEM）のメカニズムとショッププライマーのPEM性について述べている。

KA-34025

末武 幸男

“船舶用塗料の変遷と今後”

塗装と塗料 No. 401, p 33-42, (1985)

ショッププライマーとして、ウォッシュプライマー、エポキシジンクプライマー、変性無機じんくぶらいまーの変遷を述べ、タンク用塗料をエポキシ系、タールエポキシ系、無機ジンク系及び無溶剤系に分けて、その変遷を述べ、船底用防食塗料と防汚塗料について、油性系から、現在のタールエポキシ系-セルフポリッシュ形までの移り変わりを解説。

KA-34026

石川島播磨重工業株式会社 船舶海洋事業本部技術室 船舶技術部

“船舶用自己研磨型船底塗料の選択と技術的考察”

造船技術 Vol. 18, No. 10, p 37-41, (1985)

トリプチル錫メタクリレート共重合体に亜酸化銅を配合した標題塗料は、表面を均一に

溶解除去し、常に活性な防汚塗膜を保持するため、船体摩擦抵抗の増加を抑制し、省エネに寄与する。塗膜は船速、海水温度、塗装部位によって消耗度が異なるので、計画防汚期間を考えて仕様を選択すれば、ドック間隔の延長、燃料消費の節減が可能。

## KA-34027

著者記載なし

"Finding a way through the marine coatings maze"

Shipcare & maritime management Vol.16, No.4, p18-20, (1984)

Berger Tovpedo Marine Paintsの2つのKPA/F塗料の紹介記事。

## KA-34028

著者記載なし

"Any old paint - not likely!"

Nav. Archit. July/August, E329-331, (1985)

長期防汚と表面平滑性を有する自己研磨塗料は、各社ともその性能をハイソリッド、ハイビルトあるいは通常A/Fのうえにも塗装できるように変遷させてきている。

## KA-34029

Richard Seltzer, Washington

"Self-adhesive Polymeric Coatings Have Nonstick Surfaces."

Coat. & Eng. No.14, October, p44-45, (1985)

シリコン樹脂を主体とした新しい防汚塗料は毒性もなく、粘着性がなく、海水との摩耗抵抗を低減する。この塗料はプライマーや前処理なく用いることができる。

## KA-34030

Stephen A. Knox,

"Antifouling Bottom Paints for Yachts"

Proc. Ship Technol. Res. Symp. 9th, p315-322, (1984)

排水量型ヨットの船底汚損の型と汚損度に影響する諸要素と、船底の生物成長を予防する各種の方法を検討した。主な汚損有機物につき述べ、防汚塗料を構成する主要成分について述べ、ヨット用防汚塗料の長所、短所を詳しく説明したが、特に共重合体塗装に重点を置いて記述。

## KA-34031

著者記載なし

"Paint. On the way: Self-polishing paints at price that won't take the shine off"

Shipp News (NOR), Vol.42, No.2, p48-49, (1986)

錫含有量が少ない有機錫共重合体を開発しているので自己研磨型防汚塗料は安価になろう。ロングライフ塗装での平均船体粗さは年間10~40μm、平均30μmの増加である。船体粗さが250μm以上では、10μmあたりの燃料消費量は1%の増加になる。

## KA-34032

C M Sghibartz

"Antifouling - The state of the art"

Trans. Inst. Mar. Eng. C. Conf., Vol.97, NO.1, p365-370, (1986)

船底塗料の役目は、汚損を防止し表面粗度の増加を押さえることであるが、長期の防汚の点からみても自己研磨塗料が有利である。最近ではこのタイプで第2世代(ハイソリッド、ハイビルト)、第3世代(低錫型)塗料が出現している。

## KA-34033

著者記載なし

"Leigh's Marine Paints - quietly making a name for themselves"

Shipcare Maritime Management, Oct. p16-17, (1985)

英国社Leigh社のマリンペイントの紹介。自己研磨塗料、通常タイプの防汚塗料、耐ダメージ塗料。

## KA-34034

FilmTeck Corp. (Minneapolis)

"Nonfouling coatings for thin film composite membranes"

PB 85-247971, Mar. p1-96, (1985)

スルフォネート基を含むポリマーが合成され、可逆浸透膜の汚損防止塗料として評価され、その結果ステレンスルホン酸ナトリウムとクロロメチルスチレン共重合体が、良い結果を示した。

#### KA-34035

宮内 徹夫

“ゼイロク防汚考 (1) ”

塗装と塗料、Vol.4, No.407, p65-67, (1986)

汚損対策として付着生物とその害敵生物の関係からとらえ害敵生物を活用する方法について述べている。

#### KA-34036

宮内 徹夫

“ゼイロク防汚考 (4) ”

塗装と塗料、Vol.7, No.410, p80-82, (1986)

生物検定結果から亜酸化銅に対する抵抗力はアオノリよりもフジツボの方が強いとのべている。

#### KA-34037

宮内 徹夫

“ゼイロク防汚考 (5) ”

塗装と塗料、Vol.8, No.411, p67-70, (1986)

従来より行なわれている浸海試験は 防汚効力の検定には適切でなく、むしろ生物検定の方が適している。

#### KA-34038

宮内 徹夫

“ゼイロク防汚考 (6) ”

塗装と塗料、Vol.9, No.413, p65-70, (1986)

藻類の胞子の着生挙動と船底汚損に関して述べている。

#### KA-34039

村上 明

“舟艇・船舶”

強化プラスチック、Vol.32, No.5, p207-210, (1986)

自己研磨塗料の長所について述べた後、FRP船への適用時のプライマーの重要性を述べている。

#### KA-34040

J. R. Griffith

“The fouling release concept: A viable alternative to toxic antifouling coatings”  
Trans. Inst. Mar. Eng. C. Conf., Vol.97, No.2, p235-236, (1985)

粉末状のポリテトラフルオロエチレンを含有した塗料の実船での実験例を紹介。約6か月毎に状況を調査した。付着物は、簡単な手作業や水洗で除去できた。7年目に若干の補修塗装を必要とした。

#### KA-34041

中尾 学

“船底塗料 〈その7〉 ”

塗装と塗料、Vol.39, No.3, p58-64, (1986)

船底塗料の機能・種類と船底を汚損する付着生物についての概論。

#### KA-34042

中尾 学

“船底塗料 〈その8〉 ”

塗装と塗料、Vol.39, No.4, p53-58, (1986)

防汚塗料と防汚機構について概説。

KA-34043

中尾 学

“船底塗料 &lt;その9&gt;”

塗装と塗料、 Vol.39, No.5, p60-66, (1986)

防汚剤の溶出機構と作用について概説。

KA-34044

C. M. Sghibarts

“Organotin polymers: The state of the art.”

Trans. Inst. Mar. Eng. C. Conf., Vol.97, No.2, p217-219, (1986)

自己研磨型防汚塗料の有機錫コポリマーの作用と今後の発展について解説。

KA-34045

B. del Amo, C. A. Giudice, et al

“Antifouling paints based on WW rosin and chlorinated rubber; influence of binder composition and content.”

JOCCA, Vol.7, p178-185, (1986)

WWロジン、塩化ゴム、亜酸化銅からなる防汚塗料の防汚性に寄与する因子について考察を行なった。

## 4-2) 日本特許

KA-35033

特許公開 昭和60-170673

神原 周、日本油脂㈱、財団法人化学品検査協会

“水と接触する材料用被覆剤”

重合性不飽和カルボン酸またはその塩及び疏水性の重合性不飽和单量体の共重合体を含むことを特徴とする水と接触する材料の被覆剤。

KA-35034

特許公開 昭和60-197488

土井 浩、菊池 治、日本油脂㈱

“船舶外板部の防汚施工方法”

船底平坦部に塗布される自己研磨型防汚塗料の乾燥塗膜厚を船底立ち上がり部の塗膜厚の10~85%の範囲に塗装することを特徴とする。

KA-35035

特許公開 昭和60-215076

篠原 稔雄、大日本塗料㈱、三菱金属㈱

“防汚塗料組成物”

展色剤とニッケル及びマンガンから選ばれた金属の少なくとも1種類を3~25重量%と鉄0.1~1.5重量%とを含有する鋼合金粉末からなる防汚塗料組成物。

KA-35036

特許公開 昭和60-240775

中村 光宏、中野 好夫、日輪ゴム工業㈱、住友化学㈱

“防汚塗料”

クロロスルホン化ポリエチレン又はクロロブレインゴム100部に対して高吸水性樹脂30~100部を含有する重金属フリーの防汚塗料。

KA-35037

特許公開 昭和60-231771

メルビン・エッチ・ギトリツ M&amp;T Ltd.

“防汚塗料”

2.5~25モル%のトリプチル錫アクリレート又はメタアクリレート飽和残基を持つトリプチル錫共重合物。

KA-35038

特許公開 昭和60-248780

梅野 正行、若林 昭友、北興化学工業㈱、三井造船㈱、日本ペイント㈱  
 “水中防汚塗料”  
 テトラアリルボロン-アンモニウム錯体を有効成分とする船底防汚塗料。

KA-35039

特許公開 昭和60-250076

若林 英樹、横井 準治、日本ペイント㈱  
 “水中摩擦抵抗低減型船底防汚塗料”

トリブチル錫共重合体をビヒクルとしてPVC 20%以下を特徴とする船底塗料。

KA-35040

特許公開 昭和60-258271

原田 昭夫、横井 準治、日本ペイント㈱  
 “海洋生物付着防止塗料”

被膜形成性シリコン樹脂に発水剤としてシリコンオイル、ワセリン、パラフィン、流動パラフィン、ワックス、油脂類の少なくとも1種類を含有する海洋生物付着防止塗料。

KA-35041

特許公開 昭和60-258272

横地 忠五、大日本塗料㈱  
 “防汚塗料組成物”

有機錫含有共重合体と銅または銅化合物を主成分とする防汚塗料に鉛又は鉛化合物を添加することを特徴とする防汚塗料。

KA-35042

特許公開 昭和60-67580

谷口 易之、石野 敏昭、新日本製鐵㈱、日東電気工業㈱  
 “防汚シートの接着方法”

高分子フィルムの片面に防汚層を形成させ、もう片面にビニル単量体およびそのオリゴマーを塗布してフィルムを圧着し前記液状物質を重合させる方法。

KA-35043

特許公開 昭和61-4776

梅野 正行、早川 良樹、北興化学工業㈱、三井造船㈱、日本ペイント㈱  
 “水中防汚塗料”

テトラフェニルボロン誘導体を有効成分として含有することを特徴とする防汚塗料。

KA-35044

特許公開 昭和61-34099

中井 国治、大矢 隆一、天野製薬㈱、コスモ技研㈱  
 “付着藻類の洗浄除去方法”

酵素による水産用具に付着した藻類の除去方法。

KA-35045

特許公開 昭和60-217274

渡辺 利雄、三菱重工業㈱  
 “藻類防除、防食処理法”

水と接触する器材表面に塩素系酸化剤又はジチオカルバメート系殺菌剤又は芳香族系殺菌剤をフェノール樹脂又はアルキド樹脂に混合した液を塗装する。

## KA-35046

特許公告 昭和61-2704

佐藤 文也、 協和ガス化学工業㈱、 三菱重工業㈱  
“親水性共重合体被覆組成物”

カルボキシル基、アミノ基を分子内に持つ水中摩擦抵抗低減型アクリル樹脂を含むことを特徴とする。

## KA-35047

特許公開 昭和61-43667

遠藤 誠、 青木 昭二、 昭和電工㈱  
“発水発油塗料”

長鎖の側鎖を持つアクリルに0.01~50%のパーフルオロアクリレートをグラフトさせた重合体とポリウレタンからなる発水発油性塗料。

## KA-35048

特許公開 昭和61-43668

遠藤 誠、 青木 昭二、 昭和電工㈱  
“発水発油塗料”

長鎖の側鎖を持つアクリルに0.01~50%のパーフルオロアクリレートをグラフトさせた重合体とアルキル樹脂からなる発水発油性塗料。

## KA-35049

特許公開 昭和61-44971

清水 日出男、 杉浦 文俊、 竹本油脂㈱  
“表面改質用コーティング組成物”

水分散性シリカゾルと有機シラン誘導体とを予め接触反応させたものにアンモニウム化合物加えたことを特徴とする。

## KA-35050

特許公開 昭和61-43670

吉田 國一、 福井 裕幸、 神東塗料㈱  
“海中生物防汚塗料”

炭素数1~3のポリチオシアノ酸アルカンを含む防汚塗料。

## KA-35051

特許公開 昭和61-43671

吉田 國一、 福井 裕幸、 神東塗料㈱  
“海中生物防汚塗料”

R (R') NCONHPhX (X') で表される尿素系化合物を防汚成分として含む。

## KA-35052

特許公開 昭和61-42392

加藤 俊作、 堀田 平、 海洋科学技術センター、 三菱化成工業㈱  
“海水中の有用成分の吸着ユニット”

海水中のウランをはじめとした種々の有効成分を波力を効率良く利用した吸着ユニットに関する。

## KA-35053

特許公開 昭和61-51068

遠藤 誠、 青木 昭二、 昭和電工㈱  
“発水発油性塗料”

パーフルオロアルキル基を有するアクリレート又はメタアクリレートをグラフト重合させたアクリル樹脂の発水発油性を利用した船底塗料。

## KA-35054

特許公開 昭和61-57661

小野 良彦、 落合 俊彦、 神戸ペイント㈱

“船底塗料用シーリング組成物”

ガラス転移点10℃以下のアクリル樹脂を用いた各種2号塗料塗装前のシーリング剤。

## KA-35055

特許公開 昭和60-217277

冬木 亨、 長尾 正義、 野村 実、 日本油脂㈱

“水溶出性塗料組成物”

 $H_2C=CRCOO(C_6H_4mO)_nR'$ で示される単量体を5~75%、重合性不飽和カルボン酸又はその塩3~55%，疏水性の重合性不飽和単量体15~80%の共重合体の水溶性樹脂にリンペン状顔料を配合することを特徴とする水溶出性塗料組成物。

## KA-35056

特許公開 昭和61-174273

中村 光宏、 中野 好夫、 日輪ゴム工業㈱、 住友化学工業㈱

“防汚塗料”

吸水性樹脂を含有することで表面にヌメリを生じさせることにより防汚性を発揮するウレタン樹脂塗料。

## KA-35057

特許公開 昭和61-4777

アンドリュー ピーター メイクピース、 インター ナショナル ペイント

“海洋用防汚ペイント”

ジ有機錫カルボキシル基を含有する重合体を特徴とする自己研磨型防汚塗料。

## KA-35058

特許公開 昭和61-12764

渡部 崇、 関西ペイント㈱

“防汚塗料組成物”

N-(フルオロジクロロメチルチオ)-フタルイミド、 N,N'-ジメチル-N'-フェニル-(N'-ジクロロメチルチオ)-スルファミド、 ベンズイミダゾリルメチルチオカーボネートから選ばれたものを防汚剤として含有する防汚塗料。

## KA-35059

特許公開 昭和61-14267

遠藤 誠、 青木 昭二、 昭和電工㈱

“発水発油性塗料”

アクリル重合体に パーフルオロアルキル基を有するアクリルモノマーを0.005~80重量%グラフトさせることにより得られる発水発油性のある防汚塗料。

## KA-35060

特許公開 昭和61-34078

末武 幸男、 門田 理、 渡辺 道雄、 日本油脂㈱、 ㈱バーマケム・アジア

“防汚皮膜形成剤”

トリプチル錫ポリマー、チオシアノ基を含有する化合物、及びトリアジン化合物を主成分とする防汚塗料。

## KA-35061

特許公開 昭和61-51040

稻沢 伸太郎、 昭和電工㈱

“有機錫含有組成物及び防汚剤”

エチレント $\alpha$ 、 $\beta$ -不飽和酸又はその誘導体を高圧ポリエチレン法等で重合した共重合体に錫化合物を反応させて得られるポリマーを主成分とした組成物。

KA-35062

特許公開 昭和61-64763

井村 博之、 奥田 孝彦、 森 充玄、 中国塗料㈱、 日本化学工業㈱  
 “亜酸化銅組成物”  
 亜酸化銅を樹脂、油類、及び可塑剤で表面被覆することを特徴とする亜酸化銅組成物。

KA-35063

特許公開 昭和61-64764

梅野 正行、早川 良樹、横井 準治、 北興化学工業㈱、日本ペイント、三井造船  
 “水中防汚塗料”  
 2-( $\beta$ -ニトロビニル)-フランを用いた防汚塗料。

KA-35064

特許公開 昭和61-64768

梅野 正行、早川 良樹、横井 準治、 北興化学工業㈱、日本ペイント、三井造船  
 “水中防汚塗料”  
 $\beta$ -ニトロスチレン誘導体を有効成分とする水中防汚塗料。

KA-35065

特許公開 昭和61-101567

倉重 友三、 安吉 松則、 田中 逸啓、 出光石油化学㈱  
 “海洋生物付着防止塗料”  
 水酸基を有するジエン化合物に歴青物質を配合したウレタン樹脂系防汚塗料。

KA-35066

特許公開 昭和61-106678

富川 直彦、 三菱重工業㈱  
 “船底塗料”  
 防錆防汚塗料に中空のガラス玉等を用いて気泡を持った塗膜を形成せしめて制振効果を持たせようとするもの。

KA-35067

特許公開 昭和61-118429

奥野 敏光、 砂川 誠、 石野 敏昭、 日東電気工業㈱  
 “海洋生物付着防止剤”  
 成形可能な材料及び該材料と本質的に非相溶性で臨界表面張力を低下させる（水との接觸角が98度以上）物質との混合物よりなるシート又はフィルム。

KA-35068

特許公開 昭和61-120687

横田 邦彦、 若林 中、 千代田化工建設㈱  
 “海水配管への海棲生物付着防止方法”  
 海水配管へ通電し海水を電解して次亜塩素酸ナトリウムを発生させることによる生物付着防止法。

KA-35069

特許公開 昭和61-120871

竹内 邦彦、 山盛 直樹、 江口 芳雄、 小西、 日本ペイント㈱  
 “自己研磨性防汚被覆組成物”  
 溶解性パラメーターの異なる樹脂と有機錫含有高分子化合物の混合物をビヒクルとした自己研磨性防汚被覆組成物。

KA-35070

特許公開 昭和61-138647

野原 三郎、萩原 善次、鐘紗樹  
“防藻高分子体”

ゼオライト系固体粒子防汚剤と有機高分子を用いた防藻性高分子体。

全24枚の15

KA-35071

特許公開 昭和61-218611

富橋 信行、寺田 勉、犬飼 宏、中井 和弘、ダイキン工業㈱  
“海洋外装材”

官能基有するフッ化ビニリデン共重合体又はその架橋物を主成分とした保護層による防汚材。

KA-35072

特許出願公表 昭和60-500452

ラッセル・デービット・ビイ、M & T ケミカル  
“船舶汚染を抑制するための、浸蝕性船底塗料”

有機錫を含まない自己研磨型アクリル樹脂でモノマーとしてアミノ基、ニトロベンジル基、シリル基、トリクロロメチル基等をエステル基として持っている。

KA-35073

特許公告 昭和61-2439

内藤 彰、早川 徹、中西 政勝ら、三菱瓦斯化学㈱  
“海水動物の付着抑制方法”

復水器、熱交換器の水路の過酸化水素又は過酸化水素発生剤を主として使用し、海水動物の付着を防止する方法。

KA-35074

特許公告 昭和61-20594

末延 之和、明石 博之、日高 靖浩、古原 正則、吉富製薬㈱  
“水中防汚剤”

$R - R - N H R$        $N$        $R - R - N H R$   
 $R - C = N - N - C - N - N = C - R$  又は  $R - C = N - N - C - N - N - H$  で表される  
化合物及びそれらの酸付加塩のうちの1種以上を有効成分とする水中防汚剤。

KA-35075

特許公告 昭和61-21496

伊藤 道康、卷口 浩、山本 忠雄、三井東圧化学㈱、日本農薬㈱  
“防汚塗料”

ポリブテンにロジンを配合した綱用防汚塗料。

KA-35076

特許公告 昭和61-36794

林 善久、三浦 高麿、木本 実、協和ガス化学工業㈱、三菱重工業㈱  
“防汚塗料用組成物”

親水性アクリル共重合体に銅・錫化合物を分散させたものとエポキシ化合物に銅・錫化合物を分散させたものを使用直前に混合させることを特徴とする防汚塗料組成物。

KA-35077

特許公告 昭和61-39992

本橋 昭、平山 征男、増田 和男、三共有機合成㈱  
“防汚塗料”

有機錫ポリマー型防汚剤と亜酸化銅とを併用した防汚塗料にオキシアルキルアミンを添加することを特徴とする。

## 4 - 3 ) 外国特許

KA - 36016

US - 3016369

"Organotin Acrylic Polymer"

US the secretary of the Army

エラストマー、プラスチックス、特にゴム材料としての実用性を持つアクリル酸の有機錫誘導体に関する。

KA - 36017

US - 3817759

"Coating for preventive the fouling of ships' parts by maritime organisms"

Dow Corning Corporation

脂肪族アルコールのポリメリックチタニウム酸エステル、硫化モリブデン、溶剤、及びグラファイトからなる防汚塗料。

KA - 36018

DT - 2514574 A1

"Deckanstrichmittel fur Schiffstrumpfe"

International Paint Company Ltd.

三有機錫塩50~80%を含む高分子重合体に対して、25°Cにおける海水の溶解度が5ppm以下の物質を三有機錫イオンの5重量%以上添加することによって、海水による摩耗を調節し表面を平滑にすることが可能とした特許。

KA - 36019

US - 4524190

"Process for preparation of cross-linked poly(tri-N-butyltin)methacrylate with simultaneous particle size reduction"

The Secretary of the Navy

塗料中で顔料として使用可能な小さい粒径を持つポリートリブチル錫メタアクリレートの機械的粉碎を必要としない製造方法。

KA - 36020

GB - 2159827 A

"Marine Antifouling Paint"

International Paint Company Ltd.

ジブチル錫ポリマーを含有することを特徴とする。

## 5 ) 安全衛生

KA - 37007

M. J. Waldock, J. E. Thain

"Shell thickening in Crassostrea gigas: Organotin Antifouling or Sediment Induced?"

Marine Pollution Bulletin Vol.14, No.11, p411-415, (1983)

かきの稚貝を各種のTBT濃度で8週間飼育した。TBTが0.15μg/lでは無添加に比べ成長が遅れ、上殻の厚みがあきらかに増し、1.6μg/lでは成長に影響があった。生体濃縮度は、各々10000倍以上と3000倍以上であった。

KA - 37008

M. J. Waldock, J. Thain and D. Miller

"The accumulation and depuration of bis (tributyl tin) oxide in Oysters:

A comparison between the Pacific Oyster (Crassostrea gigas) and the European Flat Oyster (Ostrea edulis)"

International Council for the Exploration of the Sea E:52, pl-9, (1983)

Burnhamの天然海水を用いて2種類のかきを1.25μg/l, 0.15μg/lのTBT濃度で21日間飼育し、その後23日間元に戻した。高濃度、低濃度飼育のかきのTBT濃縮度は各々 C.gigasの場合2000倍以上と6000倍以上であり、E.edulisでは1000倍と1500倍であった。

KA-37009

J. E. Thain

"The acute toxicity of bis (tributyl tin) oxide to the adults and larvae of some marine organisms"

International Council for the Exploration of the Sea E:13, p1-5, (1983)

6種類の動物と2種類の藻類に対するTBTの急性毒性を調べ、英國東海岸の環境に警告を示した。

KA-37010

M. J. Waldock and D. Miller

"The determination of total and tributyl tin in seawater and Oysters in areas of high pleasure craft activity"

International Council for the Exploration of the Sea E:12, p1-17, (1983)

1982年に英國の数箇所の海水とカキの中に存在する錫とTBT化合物をガスマス法無炎原子吸光法で定量した。0.43 μg/lのTBTは5月のプレジャーボートの係留シーズと一致し、あるところでは2.0 μg/lの海水濃度であった。カキの種類ではC.gigasがO.edulisよりTBTをより含むが、全錫量では差がなかった。

KA-37011

C. M. Adema and P. Schatzberg

"Organotin antifouling paints and the environment - drydock phase"

Naval Engineers Journal (USA) Vol.96, No.3, p209-217, (1984)

有機錫系は従来の銅系よりドック間隔を延長できるが、毒性が強い。ドック時の清掃及び塗料の処理方法を検討している。

KA-37012

著者記載なし

"Regulation News: Organotin antifouling coatings banned for use on navy ships"

Journal of Protective Coatings & Linings Vol.3, No.4, April, p19, (1986)

EPAはTBTが淡水の微生物の生存に害があるとの判断より有機錫防汚剤の安全性を見直すことになったのに応じて、米海軍はTBTを用いたA/Fの使用をEPAの判断がでるまで中止することにした。

KA-37013

著者記載なし

"EPA reviewing tributyltins in paints"

American Paint & Coatings Journal Vol.70, No.38, March p7-12, (1986)

EPAがTBTの安全性について再検討するに至った背景。

KA-37014

"Tributyltin support document"

U.S. Environmental Protection Agency Dec., p1-39, (1985)

NPCA(米塗料工業会)でのEPAからの報告。水棲生物に対して極低濃度でもTBT系防汚剤が害を及ぼしているとの判断より使用の見直しに着手した。

KA-37015

森 勝義、黒田 久仁男

"漁網防汚剤がホタテガイに与える致死状況"

水処理技術 Vol.25, No.5, p349-353, (1984)

漁網防汚剤から溶出した防汚剤が、ホタテ貝の成長に悪影響することを確認した。

KA-37016

S. C. Srivastava et al

"The development and in-vivo behavior of tin containing radiopharmaceuticals - I. Chemistry, preparation, and biodistribution in small animals"

Int. J. Nucl. Biol. Vol.12, No.3, p167-174, (1985)

ラベルしたSn化合物をもちいてネズミで蓄積性の試験を行なった。Sn化合物の骨への高集積、異なる血液クリアランス等を認め、2価と4価のSnの差も認めた。

KA-37017

L S Birnbaum

"Are the organotins used in antifouling paints truly a significant hazard to marine environment? If so, what can be used instead?"

*Journal of Protective Coatings & Linings, Vol.3, No.7, p8-20, (1986)*

TBTを用いたA/F塗料の安全性と経済性の調和について述べている。TBTを含むA/Fに代わるべきものとしてテフロンコーティングの検討を行なってきたが、成績は満足いくものであった。

KA-37018

A. R. D. Stebbing

"Organotins and water quality - Some lessons to be learned."

*Mar. Pollut Bull., Vol.16, No.10, p383-390, (1985)*

防汚塗料に含まれるTBT等の有機錫化合物が、カキに与える影響について解説し、小型船舶への使用を禁止する必要性を強調している。

KA-37019

J. P. John, W. M. Leo, and A. W. Sheldon

"Impact assessment of organotin chemicals in harbor environment."

*Oceans, Vol.2, p818-823, (1985)*

米国のHydroQual社が開発した、化成品移動解析プログラム(CTAP)を用いて、今後に予想される有機錫含有塗料の増加が、ニューヨーク港とチェサピーク湾の海中生物に影響を及ぼす可能性を評価した。

KA-37020

T. E. Thomas and M. G. Robinson

"The physiological effects of the leachates from a selfpolishing organotin antifouling paint on marine diatoms."

*Mar. Environ. Res., Vol.18, No.3, p215-229, (1986)*

自己研磨防汚塗料から溶出する有機錫と銅の毒性の影響を、ケイソウ類の光合量、成長、ケイ酸塩、硝酸塩の取り込み量の測定から明らかにした。

KA-37021

里見 至弘

"有機スズ化合物の水性生物に対する毒性"

水産の研究、Vol.4, No.6, p54-66, (1985)

有機錫化合物の安全性に関する問題の経緯について述べ、TBTの環境水中の挙動、及び生体系を構成する各種の水棲生物に対する毒性を紹介。

KA-37022

Church Reitter

"EPA's look at tributyltins featured at marine confab."

*Am. Paint Coatings Journal, Vol.70, No.45, p37-44, (1986)*

1986年船舶海上メンテナンス塗料会議での船舶用塗料やその他の塗料に関する報告要旨を紹介。

KA-37023

B. B. Moreton

"Copper alloys in marine environments today and tomorrow - part II."

*Corros. Prev. Control, Vol.33, No.1, p17-20, 24-25, (1986)*

キュプロニッケルの各種の適用について解説。1) 船舶への適用 2) 海上構造物への適用  
3) 化学プラントや発電所の冷却用海水系統への適用

## 6) 生物関連

KA-38024

J. E. Duddridge and A. M. Pritchard

"Factors affecting the adhesion of bacteria to surfaces"

Microb. Corros. p28-35, (1983)

微生物腐食の第1段階は、基質への生物付着である。そこで 細菌の基質への付着機構の概略とそれに影響する要因の吟味を行なっている。

KA-38025

M. Fletcher and J. H. Pringle

"The effect of surface free energy and medium surface tension on bacterial attachment to solid surfaces"

Journal of Colloid and Interface Science Vol.104, No.1, March, p5-14, (1985)

細菌の固体表面への付着過程は、3要素 すなわち 細菌の表面・基質・媒体からなり、そしてそれらすべてが付着の熱力学に影響を与えている。

KA-38026

M. G. Trulear and W. G. Characklis

"Dynamics of biofilm processes"

Journal WPCF, Vol.54, No.9, p1288-1301, (1982)

生物被膜の蓄積に関する基質付着と流体速度の効果と、流体摩擦抵抗に対する生物被膜蓄積の影響を調査している。

KA-38027

W. A. Hamilton

"The sulphate reducing bacteria: their physiology and consequent ecology"

Microb. Corros. p1-5, (1983)

硫酸還元細菌の詳細な生物学的検討結果が述べてある。

KA-38028

P. F. Sanders and S. Maxwell

"Microfouling, macrofouling and corrosion of metal test specimens in seawater"

Microb. Corros. p74-83, (1983)

天然海水に浸漬した各種の金属の錆の発生と硫酸還元細菌との関係について述べている。

KA-38029

I. Brown, G. Blunn and E. B. G. Jones

"Attachment of marine fouling protozoa"

6th I.C.M.C.F. p113-127, (1984)

河口に浸漬したチタニウム板の連続的な微生物の群生化が、走査型及び透過型電子顕微鏡を使用して調査している。

KA-38030

S. Pyne, R. L. Fletcher and E. B. G. Jones

"Attachment studies on three fouling diatoms"

6th I.C.M.C.F. p99-112, (1984)

ラジアル フロー グロウス チェンバー (RFGC) を使用して3種のケイ藻の付着を除去するのに必要なせん断力をケイ藻の培養時間を変化しながら求めている。付着強度は、培養時間の増加につれて増加し、120時間培養のものは、約4.0 N/mという高いせん断力を示した。

## KA-38031

A. A. Karande and R. B. Srivastava

"Pollution of coastal sea water and sulfate reducing bacteria"

6th I.C.M.C.F. p347-354, (1984)

海水浸漬下での金属の錆やすさは、海水中の有機物濃度と相関がある。このことは 硫酸還元細菌の硫化水素発生に帰因するためである。

## KA-38032

A. Hall and A. J. M. Baker

"Settlement and growth of copper-tolerant Ectocarpus siliculosus (Dillw.)"

Lyngbye on different copper-based antifouling surfaces under laboratory conditions"

Journal of Material Science Vol.20, p1111-1118, (1985)

種々の実験室的な環境条件下での銅合金のEctocarpus siliculosusの着生や成長を測定することにより、その合金の耐生物汚染性を調べている。

## KA-38033

T. Rasmussen

"Notes on the biology of the shipfouling gooseneck barnacle, Conchoderma auritum, Linnaeus, 1776 (Cirripedia:Lepadomorpha)"

5th I.C.M.C.F. p37-44, (1980)

船を汚損するエボシ貝の "Conchoderma Auritum" 分布と付着基盤の選択・成長と繁殖力について調査した。

## KA-38034

D. Klemm, P. Schumann and M. Hartmann

"Biocide polymer"

Acta Polymerica Vol.36, No.8, p446-451, (1985)

殺菌剤の3-メチルビラゾールをセルロース等の高分子に結合させ、膨潤及び加水分解によって殺菌剤の放出を制御する。

## KA-38035

著者記載なし

"Microbial adhesion is a sticky problem"

Science Vol.224, No.27, April, p375-377, (1984)

海水中での微生物層の付着機構のこれまでの理論の概説を述べている。

## KA-38036

E. Lindner

"Experiments in synthesis of barnacle adhesive"

5th I.C.M.C.F. p189-212, (1980)

フジツボの分泌する接着剤は、蛋白質のキノンクロスリング反応によって硬化することを UVスペクトロメーターを用いて確認した。

## KA-38037

D. W. Goupi ll, V. A. Depalma and R. E. Baier

"Physical/chemical characteristics of macromolecular conditioning film in biological fouling"

5th I.C.M.C.F. p401-410, (1980)

微生物膜の物理的性質や化学的性質を各種の分析法により求めている。

## KA-38038

L. V. Evans and A. O. Christie

"Studies on ship-fouling alga Enteromorpha"

Ann. Botany Vol.34, p451-466, (1970)

船体に付着する藻類の Enteromorpha に対してその胞子の遊泳や付着に対して詳細な研究を報告している。

KA-38039

M. Fletcher

"The effects of culture concentration and age, time, and temperature on bacterial attachment to polystyrene"

Canadian Journal of Microbiology Vol.23, No.1, January, p1-6, (1977)

海水中の Pseudomonad のスチレンに対する付着が 培地の濃度、付着に必要とする時間、培地の種類や温度に依存することを示している。

KA-38040

D. K. Brannan and D. E. Caldwell

"Evaluation of a proposed surface colonization equation using Thermothrix thiopara as a model organism"

Micrb. Encol. Vol.8, p15-21, (1982)

Thermothrix thiopara を用いて 細菌の付着と成長の影響を同時に考えた理論的なコロニー化式を評価した。

KA-38041

M. H. Turakhia, K. E. Cooksey, et al.

"Influence of a calcium-specific chlant on biofilm removal"

Applied and Environmental Microbiology Vol.46, No.5, p1236-1238, (1983)

エチレングリコール、ビス(β-アミノエチルエーテル)-N, N-テトラ酢酸(EGTA)の微生物膜除去効果について試験を行なった。EGTAは膜中のカルシウムと反応し生物体より取り除くことで生物膜を剥離させている。

KA-38042

M. S. Powell and N. K. H. Slater

"Removal rates of bacterial cells from glass surfaces by fluid shear"

Biotechnology and Bioengineering, Vol. XXIV, p2527-2537, (1982)

ガラスの毛細管に細菌を付着させ、どの程度のセン断力があれば細菌が脱落するかを調査している。実験は細菌の種類及び成長度について評価され、同時に簡単な力学的モデルに基づく式とも対比された。

KA-38043

M. S. Powell and N. K. H. Slater

"The deposition of bacterial cells from laminar flows onto solid surfaces"

Biotechnology and Bioengineering, Vol. XXV, p891-900, (1983)

KA-38042の続報で、前報のモデルを流れから細菌が析出するという現象を解析できるように拡張して、固体をシリコン化した疏水表面とした場合及び流れに消泡剤を添加した場合の影響について検討している。

KA-38044

J. D. Bryers

"Processes governing primary biofilm formation"

Biotechnology and Bioengineering, Vol. XXIV, p2451-2476, (1982)

細菌の付着する各段階に於ける速度をCODの測定等から算出している。

KA-38045

Y P Rao, V U Devi, and G V P Rao

"Copper toxicity in tropical barnacles, *Balanus Amphitrite*, *Amphitrite* and *Balanus tintinnabulum* tintinnabulum"

Water Air Soil Pollut. Vol.27, No.1/2, p109-115, (1986)

標題フジツボ類2種に対する銅の毒性を検討した。両種ともすべての銅濃度で銅をある限度まで蓄積し、その限度を越えると死亡した。

KA-38046

K. Pedersen, C. Holmstrom, et al  
 "Static evaluation of the influence of species variation, culture conditions, surface wettability and fluid shear on attachment and biofilm development of marine bacteria"

Arch Microbiol., Vol.145, No.1, p1-8, (1986)

海洋性の発芽球菌のガラス表面への付着を支配する因子を統計的に評価している。付着は、細胞密度、培養時間、栄養濃度などに影響される。また親水性表面は一般に疏水表面より付着が大であった。

KA-38047

T. R. Testeson, R. Revuelta, et al  
 "Aggregation-adhesion enhancing macromolecules and the specificity of marine microbial surface interactions."

Journal Colloid Intersurface Sci., Vol.104, No.1, p60-71, (1985)

海水及び海水の微生物から免疫親和クロマトグラフィーにより採取したある種の巨大分子が、*Chlorella vulgaris* のガラスへの付着を促進した。この技術を用いて付着現象を調べることができるようになる。

KB-30004

"藻類研究法" 共立出版編

西沢 一俊、千原 光雄

藻類の分類と培養、藻類の形態と細胞の観察法、藻類生理生態研究法、藻類の化学的研究法、以上の詳細な説明が載っている。

KB-30005

"界面と微生物" 学会出版センター

森崎 久雄、服部 れい子

界面と微生物の問題に関し微生物学及び界面科学の両分野から書かれている。

KB-30006

"微生物の分類と同定〈上〉" 改訂版 学会出版センター

長谷川 武治

かび、きのこ、酵母の分類と同定。

KB-30007

"微生物の分類と同定〈下〉" 改訂版 学会出版センター

長谷川 武治

放射線菌、好気性細菌、嫌気性細菌の分類と同定。

KB-30008

"海洋微生物研究法" 学会出版センター

門田 元、多賀 信夫

サブリング方法、微生物の計数法及び計量法、計数值の統計的性格、特定微生物の培養計数分離法、現場活性の測定法、海洋微生物の分類と同定法について書かれている。

## ア) その他

KA-39013

A. Kawave, K. Yasui, et al.

"Effect of flow dynamics on attachment of marine organisms for copper and copper alloy seawater pipes"

Denki Kagaku Vol.53, No.6, p422-423, (1985)

銅や銅合金の海水パイプに対するフジツボやムラサキイガイの付着による流体力学への影響に関して述べている。

KA-39014

江幡 敏夫

"機能性高分子塗料"

ポリファイル, Vol.22, No.9, p28-35, (1985)

多数の機能性高分子塗料に関する概説が載っており、そのなかで殺菌塗料や防汚塗料にもふれられている。

KA-39015

清水 義明、藤田 栄、松島 巍

"塗膜下腐食における下地の影響"

腐食防食討論会予稿集、32nd, p186-189, (1985)

塗膜下の腐食に及ぼす下地鋼板の化成処理の影響を、塗装鋼板と下地鋼板の間のガルバニー電流、塗膜の密着力及び交流インピーダンス測定により検討している。

KA-39016

浅利 満頼、水流 徹、春山 志郎

"塗装鋼板における劣化部の交流インピーダンス特性"

腐食防食討論会予稿集、32nd, p198-201, (1985)

エポキシ系塗料による塗装鋼板にアノード又はカソードふくれをつくり、3%NaCl溶液において、塗膜劣化部の交流インピーダンスを測定することにより、劣化部のインピーダンス特性が全体の特性にどのように影響するか調べた。

KA-39017

鈴木 正二、川崎 博信

"超音波共振法による塗膜/鋼材接着強度の非破壊測定法の検討"

鉄と鋼、Vol.71, No.5, S454, (1985)

塗膜/鋼材界面の接着強度を非破壊で測定する方法として超音波共振法が有効であることを認めたが、接着強度の充分大きくなった塗膜では精度が低下する。

KA-39018

加治木 俊行、川崎 博信

"交流インピーダンス特性と塗膜下腐食状況の対応"

鉄と鋼、Vol.71, No.13, S1233, (1985)

ポリビニルブチラール樹脂による塗装鋼材の耐久性寿命予測を目的に交流インピーダンス法による特性対応を検討した。

KA-39019

在田 正義、松岡 一祥、内藤 正一、柴田 俊明

"防食塗膜に及ぼす生物付着の影響 その1"

第45回船研研究発表会、p209-212, (1986)

各種の長期防食塗装仕様の実海域環境で水中を含む3種の条件下での暴露試験の約1年間の結果を報告。

KA-39020

F. Mansfield and M. W. Kendig  
"Electrochemical impedance spectroscopy of protective coatings"

Werkstoffe und Korrosion, Vol.36, No.11, p473-483, (1985)

100000~100分の1 Hz の範囲の交流インピーダンスを測定すると被膜による防食についての機構的情報が得られることを鋼やアルミ材の例を挙げて紹介。

KA-39021

永田 公二、須藤 久治、水野 稔、川辺 允志

"耐食防汚型キュプロニッケルーチタン二重管の開発"

住友軽金属技報、Vol.26, No.2, p113-119, (1985)

海生生物が付着しにくいキュプロニッケルを内面に、防汚性は劣るが防食性に優れるチタンを外面に配した復水器用2重管の特徴と性能を紹介。

KA-39022

平野 昭英、大矢 揚一、川村 高

"微生物付着による冷凍機銅チューブの腐食とその対策"

腐食防食討論会予稿集、Vol.32nd, p505-508, (1985)

題記に関し、実機調査と室内試験を行なった。スライム付着が銅チューブの腐食促進要因の1つであり、その除去方法として、非塩素系スライムコントロール剤の有効性が確認された。

## あとがき

本研究の2年目である61年度において実施した調査検討項目とその内容を要約すると以下のとおりである。

### 1. 防錆塗膜の耐久性に関する試験及び評価法

#### 1.1 塗膜劣化度合の判定法の検討

- ・本年度は2種の塗料の天然浸せき試験半年、1か年後と実船試片の2年、6年、13年ものについて各種のデータを得た。
- ・天然海水浸せき試験において、2種の塗料とも浸せき半年までは容量 $C_p$ ,  $\tan\delta$ に増加傾向が、又、抵抗 $R_p$ の減少傾向が見られたが、半年後以降は一定値に収まった。
- ・インピーダンス法による塗膜の良否の判定は塗膜の乾燥によって左右されるため、ある時間湿潤させて測定することが必要である。塗膜劣化部は抵抗 $R_p$ , 容量 $C_p$ ,  $\tan\delta$ が大きく変化するためこれによって良否の判定が可能である。また、 $\tan\delta$ が2以上のものでも付着力は良好であることから、付着力のみ判定は危険と思われる。

#### 1.2 劣化促進試験方法の検討

- ・TEについて、塩水中の温度勾配試験を行い、データ取得中であり、今後、引きつき追跡する。
- ・TEについて初年度にスタートした40℃, MH I法の浸せき試験を追跡した結果、初年度に予想した通り、浸せき70日目からインピーダンス( $R_p$ ,  $C_p$ ,  $\tan\delta$ )が急激に変化し、次いでふくれが発生した。

### 2. 塗膜の耐久性に与える要因の検討

#### 2.1 表面処理グレードと塗膜の耐久性

##### (a) 飛沫部を対象とした試験

本年度は、3塗料の天然暴露試験6, 12箇月後とTE塗料の促進試験前と4サイクル後における各塗料試験片のデータを得た。

天然暴露試験において測定したデータを経時変化としてとらえると、初期値は塗料個々の特性のみがあらわされていたが、経時と共に塗料種の差異が得られつつあり、TE塗料やCR-A/C-HB塗料に比べ、PE-A/C塗料は表面処理グレードの影響を受け易い傾向が認められ、更にCR-A/C-HB塗料のIHP t 1処理で確認された様に、

直・交流抵抗の変化や周波数特性から塗膜欠陥発生が予測可能と思われる。

促進試験は本年度、T E 塗料のみを開始したがP E・A/C 塗料、C R・A/C・M I I 塗料も逐次開始する予定であり、天然暴露試験との対比を行いその効果等を明確化したい。

本年度取得データに関しては、促進初期段階であり、対比するまでには至っていない。

#### (b) 浸水部を対象とした試験

本年度は、3種類の塗料について、天然試験6ヶ月、1年後の塗膜物性データを得た。また本年度から開始したタールエポキシ塗料を対象とした促進試験初期、6ヶ月後の塗膜物性データも得た。

天然試験においては、塗膜の劣化傾向が認められ、タールエポキシ塗料を除いた2種類の塗料について下地処理方法による差が認められた。

促進試験は、初期段階であり、現在のところ交流インピーダンスの結果より劣化傾向が認められる。今後さらに長期浸漬試験を実施して、天然試験との対比、下地処理グレードによる差を明らかにする必要がある。

### 2.2 変動荷重と塗膜の耐久性

繰返し変動荷重試験において、5種の防食仕様のうち、C R系は塗膜の傷の有無にかかわらず、早期にわれが発生し、試験板母材が破断した。また、T E系及びP E F系は、塗膜は無傷の場合、長期の耐久性が期待できるが、傷が生じるとその傷の方向によっては試験板母材の破断が見られた。なお、I Z + T E系及びP E系はかなり長期にわたる耐久性が期待できる。

### 2.3 変動及び衝撃荷重下の塗装材の腐食疲労への影響

昨年度製作した複数試験片疲労試験機を用い、海水中の塗装材の疲労試験により塗膜面の観察及び交流インピーダンス等の基礎的データを得た。現在、試験開始後10ヶ月を経過しているが、各種防食仕様における塗膜の劣化は塩化ゴム系塗料を除いて明確に現れていない。また、破損箇所とインピーダンス計測位置の相違など今後に問題を残した。

## 3. 耐久性データの総合的判定法の検討

前年度に引き続き、塗膜の劣化データに関するデータベースの作製を行い完成させた。そして、これまでの入力データから、付着力を基準に劣化諸データを解析する可能性を示した。さらに、塗膜の耐用年数の推定に関するデータベースの作成を行い、環

境、塗装材料、塗装仕様因子の影響を従来のデータから推測する方法を確立した。

塗膜劣化に重大な影響をもつ塗膜厚の分布を、すみ内溶接部について調べた。曲率半径の増大によって分布程度を示す膜厚測定値の変動係数 $\sigma/m$  ( $\sigma$ =標準偏差,  $m$ =平均値) が、減少し、半径30~50で $\sigma/m=0.1$ 程度 (平面に塗布した塗膜での高目の値) に低下することを示した。

SR182の塗装仕様8種について大気中、干満帯、水中暴露を続け、劣化諸データ (インピーダンス、付着力、曲げ試験での割れ発生、たわみ等) を求めた。

#### 4. 防汚塗膜の耐生物汚損性

##### 4.1 塗膜表面に付着したスライムの定量化方法の研究

由良、玉野における臨海浸せきデータからスライムの形成量とその形成要素には、かなりの地域差、季節差がみられる。しかし、スライムの形成を代表する値として、その重量と糖質の両者を用いれば、その質並びに量のいずれをも推定することができる。また、スライムは一定以上の量になるとその一部は自重あるいは外力により脱落すること、脱落後にもバクテリア粘質由来とおもわれる糖質が検出されることも明らかとなった。

従って、スライムの定量にあたって、それを代表する値として、その糖質量、重量を併せてもちいることが適当であると考えられる。

##### 4.2 回流水槽による溶解度因子の定量化と耐生物汚損性

- ・本年度から研究をスタートし、本年度は回流水槽装置を海岸へ移設、無人化運転可能な構造に改造した。
- ・本装置によるCR-AF、OMP-AFのスライム付着性について基礎的検討を行った結果、(1)スライムは流動海水8m/sでは付着しにくい、(2)付着スライムは流速6m/s付近で殆ど脱落するが、スライム底層は薄層で残存する、(3)スライムの増殖には日射量の影響が大きいことなどが明らかになった。
- ・本装置により上記塗料の塗膜劣化度と耐生物汚損性に関するサイクル試験を実施中であるが、まだ顕著な劣化は生じていないので引き続き試験中である。

## 5. 文献調査

昭和61年度収集した文献は153編と5冊あり、内容別に分類すると下記のようになる。

1) 防汚剤の溶出機構	10編
2) 船底塗料の試験方法	9編
3) 表面粗度と摩擦抵抗、燃費節減	6編
4) 船底塗料関連（配合・性能）	
ア) 報文	27編
イ) 日本特許	45編
ウ) 外国特許	5編
5) 安全衛生	17編
6) 生物関連	24編+5冊
7) その他	10編
合 計	153編+5冊