

第 182 研究部会

海洋構造物の重防食に関する研究

報 告 書

昭和 57 年 3 月

社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会

海洋構造物は船舶と異なり、定期的に入渠することもなく、かつ、超長期の耐用年数を要求される場合が多いため、従来船舶で行われてきた防食対策とは異なった方法が必要である。

本研究は、海洋構造物に適したメインテナシスフリー指向の超重防食法及び維持補修法を調査研究するため、本年度は重防食材料の調査、海洋環境下での構造物の防食性試験・調査、寿命推定法の検討メインテナシス方法の調査検討及び防食施工法の調査検討を行った。

は　し　が　き

本報告書は、日本船舶振興会昭和56年度補助事業「海洋構造物の基礎的研究」の一部として、日本造船研究協会第182研究部会において実施した「海洋構造物の重防食に関する研究」の成果をとりまとめたものである。

第182研究部会委員名簿（敬称略・五十音順）

部会長	南 義夫（大分工業大学）	
幹事	石井 紘二（石川島播磨重工業） 太田 元久（日本防蝕工業） 大野 鮎一（中川防蝕工業） 川田 修（日本ペイント） 佐野 俊一（日本油脂） 嶋谷 四郎（三井造船） 平井 靖男（日立造船） 外村 貞一（大日本塗料） 三好 貢	太田 昭三（三菱重工業） 翁長 一彦（船舶技術研究所） 金山 尚逸（日本钢管） 神例 昭一（住友重機械工業） 佐野 隆一（関西ペイント） 瀬尾 正雄 広田 信義（中国塗料） 峰久 節治（日立造船） 安田 健二（日本海事協会）
委員	柳瀬 元昭（川崎重工業） 青木 真一（川崎製鉄） 大西 正次（日本アマコート） 小川 和彦（カナエ塗料） 久野 忠一（川崎製鉄） 小山 一彦（沖電気工業） 佐武 二郎（住友金属工業） 里政 富（三井造船） 鈴木 茂（関西ペイント） 高橋 堅太郎（日本ピストンリング） 武津 邦雄（神戸ペイント） 山崎 進吾（日本電気）	石田 富之輔（日本ペイント） 岡本 忠亮（新日本製鉄） 鐘ヶ江 官朗（日立造船） 小島 喜七郎（住友重機械工業） 堺 由輝（川崎重工業） 佐藤 瑞祐（神東塗料） 実藤 公一（三井金属鉱業） 鈴木 昭雄（兎田化学工業） 堤 弘（船舶機器研究所） 諸江 昭洋（東亜ペイント）
討議参加者	飯田 義夫（東亜ペイント） 岡本 一（三井造船） 神浦 真帆（日本钢管） 小柴 次雄（関西ペイント） 柴田 昭雄（三菱重工業） 徳永 啓三（三菱重工業） 長瀬 亨（石川島播磨重工業） 二宮 守之（中国塗料） 広野 一郎（三井金属鉱業） 村山 明（日本油脂）	技村 堅一（神戸ペイント） 織田 凌司（三井造船） 清田 正明（中川防蝕工業） 斎藤 順一（中川防蝕工業） 高橋 弘孝（日本アマコート） 内藤 正一（船舶技術研究所） 長浜 修（川崎重工業） 林内 久夫（東亜ペイント） 藤原 和寛（三井造船）

目 次

ま　え　が　き	1
1. 重防食材料の調査（防食材料の機械的強度や劣化と防食性）	3
1.1 調査の目的	3
1.2 供試防食材料と防食仕様	3
1.3 試験項目と試験方法	3
1.4 試験結果と防食皮膜の経時変化に関する考察	4
1.5 ま　と　め	6
2. 海洋環境下での構造物の防食性試験	19
2.1 防食性試験の目的	19
2.2 設置場所	19
2.3 浮体式試験体	19
2.3.1 試験体の構造	19
2.3.2 製作	19
2.4 防食方法	19
2.4.1 防食仕様	19
2.4.2 施工、適用条件及び結果	20
2.5 防食皮膜の測定	20
2.5.1 膜厚測定結果	20
2.5.2 インピーダンスの測定	20
2.6 応力測定の準備	20
2.7 ま　と　め	21
3. 防食材料の寿命推定法に関する検討	33
3.1 目　的	33
3.2 促進試験法と塗膜劣化判定法	33
3.2.1 促進試験法	33
3.2.2 塗膜劣化判定法	36
3.3 試験結果と考察	40
3.4 ま　と　め	87
4. メインテナンス方法の調査検討	88
4.1 目　的	88
4.2 浮体構造物及び没水試験板のメインテナンス	88
4.2.1 浮体構造物の調査	89
4.2.2 水中メインテナンス	92
4.3 上部構造物及び洋上暴露試験板の設置	99
4.3.1 浮体構造物の改良（上部構造物の増設）	99
4.3.2 洋上大気暴露試験板の設置	101
4.4 ま　と　め	104

5. 防食施工法の調査検討	106
5.1 調査検討の目的	106
5.2 ライニング施工におけるショップライニング方式の適用性	106
5.2.1 供試材料とその仕様	106
5.2.2 試験内容	106
5.2.3 試験結果と考察	107
5.3 ライニング材料の付着性に及ぼす素地調整法の影響	108
5.3.1 供試ライニング材料とその仕様	108
5.3.2 試験内容	108
5.3.3 試験結果と考察	108
5.4 まとめ	109
あとがき	122

まえがき

わが国における海洋構造物の建造量は年とともに増大し、しかも大型化、多様化する傾向がある。それに伴って防食対策上においても長期耐久性が要求されるようになった。従って、多種多様にわたる海洋構造物に対して、最適な防食仕様を選択し、適用してゆくためには、防食材料面及びその施工面において十分に調査検討して、技術的に確立しておくことが重要である。

そこで、本研究は海洋構造物に適したメインテナンスフリー指向の重防食法及び維持補修法などについて調査研究を行うことを目的として、55年度から5箇年計画で開始したものである。本研究の2年目である56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とおりである。

(1) 重防食材料の調査

長期耐久性が期待される代表的な塗装系及びライニング系の防食仕様について、海水浸漬6箇月及び1箇年経過時におけるそれらの仕様皮膜に対し機械的強度試験を行った。また、これらの防食仕様に対し、屋外暴露、天然海水浸漬及び加温人工海水浸漬などを行って、その防食性を調査した。

(2) 海洋環境下での構造物の防食性試験

大型の浮体式試験体を作成し、この試験体に数種の防食仕様を適用して実際の海洋環境の中に係留設置した。また、適用した防食仕様の中から、代表的な数種の仕様皮膜に対して、初期のインピーダンス測定を行った。なお、試験体には波浪などによって歪が生じ、その歪によって応力がかかる。そこで、応力変化と防食皮膜の耐久性を追跡調査する目的で、試験体には応力測定のためのストレインゲージを取り付けた。

(3) 防食材料の寿命推定法に関する検討

防食皮膜の寿命を早期に推定するための促進試験法及びその性能評価法を見い出すことを目的として、材料の劣化要因やその水準を変動させた試験を行い、物理的機械的試験あるいは電気的測定によって皮膜の劣化状態を調査した。

(4) メインテナンス方法の調査検討

補修施工法を検討するための実験用試験体(浮体構造物)に対し、適用した防食皮膜の外観調査や生物付着状況を調査した。また、補修施工法については、試験板により、水中清掃を行って、水中硬化型塗料の施工性と初期付着性を検討した。さらに、洋上暴露部における補修施工法を検討するため、浮体構造物に上部構造物を増設するとともに、大気暴露試験板を設置して、初期付着力試験及びインピーダンス測定を行った。

(5) 防食施工法の調査検討

厚膜被覆材であるライニング材料の施工性について調査検討するものであり、特に施工条件と皮膜性能の関係を明らかにすることを目的として、56年度から開始し、本年度においてはショップライニング方式の適用性及び付着性に及ぼす素地調整法の影響の2項目について調査検討を開始した。

なお、参考のため、本研究における各調査検討項目について、5箇年計画の概略スケジュールを下表に示す。

「海洋構造物の腐食防食に関する研究」5箇年計画の概略スケジュール

調査検討項目		研究実施年度	55年度	56年度 (本年度)	57年度	58年度	59年度	(備考)
1. 重力食材料の調査	1.1 非金属防食材 料の調査	(1)防食材料の調査 (2)機械強度と防食性	アンケート調査 実験開始	追跡試験	(追跡試験)			
	1.2 金属防食材料の調査		アンケート調査					
	1.3 数種防食法の併用効果の調査		アンケート調査 設置場所設定	試験体製作設備 試験体の設計				系統調査の予定
2. 海洋環境下での構造物の防食性試験								
3. 防食材料の寿命推定法に関する検討	3.1 促進試験と塗膜劣化判定法		実験計画、実験開始	実験	(実験)			
	3.2 評価法の調査		資料調査					
4. メインテナンス方法の調査検討								
5. 施工方法の調査検討	5.1 施工前処理の検討		浮体構造物認可 資料	試験体増設 水中塗装法実験		(実験)		
	5.2 施工環境の検討							
	5.3 施工性と機器の検討							
	5.4 施工マニュアルの作成							
6. 海洋構造物の腐食防食状況の調査			沖縄「アクアポリス」の調査	「海中展望塔」調査予定				
(備考)			完了 研究資料 第341号	実了				

1. 重防食材料の調査 (防食材料の機械的強度や劣化と防食性)

1.1 調査の目的

非金属系の被覆防食材料の中から代表的な塗料及びライニング材料を数種類選択し、それらの材料により長期耐久性が期待される防食仕様8種を設定した。これらの仕様に基づいて試験板に被覆施工し、その試験板を海岸暴露及び海水浸漬して各種仕様皮膜の機械的な強度特性や劣化度ならびに防食性能などについて定期的に調査し、その経時変化を知る。

1.2 供試防食材料と防食仕様

本研究において供試した防食材料は各種塗料の中の代表的な11種類、各種ライニング材料の中の代表的な3種類である。これらの各種供試防食材料の性状については、本研究の昭和55年度報告書(研究資料第341号)に示すとおりである。また、これらの防食材料により、塗装系仕様5種類とライニング系仕様3種類、合計8種類の防食仕様を設定した。これらの防食仕様を表1-1に示す。

なお、これら8種の防食仕様は本研究の初期(昭和55年度)において設定したものであり、本研究部会の基本的な標準防食仕様とし、各研究項目においても検討の対象として採用している。

1.3 試験項目と試験方法

防食仕様皮膜に対する機械的強度試験及び防食性試験は以下のとおりである。なお、これらの各種試験項目やその試験方法は本研究を開始した初期(昭和55年度)に決定したものであり、それらの詳細内容については研究資料第341号に示すとおりである。従って、ここでは試験項目とその概要を説明する。

(1) 曲げ試験

本試験は皮膜の耐屈曲性をはじめ鋼材面との付着性などを評価するために実施するものあり、

JIS G 3492に準拠した曲げ試験である。

(2) 衝撃試験

本試験は皮膜の耐衝撃性とともに鋼材面との付着性などを評価することを目的に実施するものあり、JIS G 3492に準拠した衝撃試験である。なお、本試験は皮膜面に衝撃を与える直接衝撃試験と皮膜裏面から衝撃を与える間接衝撃試験がある。

(3) 付着力試験

本試験は皮膜の鋼板素地への付着性あるいは塗り重ね皮膜の層間付着性を評価する目的で実施するものあり、JIS A 6909に準拠した引張付着力試験である。

(4) 硬さ試験

本試験は皮膜の硬さを評価する目的で実施するものあるが、本研究では皮膜の厚さによって試験方法を区別した。膜厚1.5mm以下の皮膜(塗装系仕様の皮膜)に対してはJIS K 5400に準拠した鉛硬度で、膜厚1.5mm以上の皮膜(ライニング系仕様の皮膜)に対してはASTM D 2583に準拠したバーコル硬さで評価することにした。

(5) 引張試験

本試験は皮膜の引張強さや伸びを評価するものあり、単離膜(フリーフィルム)を作製して実施する。塗装系仕様の皮膜についてはJIS K 6734を、ライニング系仕様の皮膜についてはJIS K 7113を準用した試験である。

(6) 繰り返し応力付加試験

本試験は海洋における波浪などにより、被覆鋼材に対して繰り返し曲げひずみが付加された場合を想定し、皮膜の耐久性を評価することを目的に実施するものである。従って、海水中において被覆鋼板に

対して一定速度で、一定の繰り返し曲げひずみ（一定荷重）が付与できる「繰り返し応力付加試験装置」を作製して試験を実施している。

なお、この試験装置を用いて行っている試験条件は以下のとおりである。

- | | |
|--------------|-----------------------|
| ① 繰り返し応力付加速度 | ； 7回/min |
| ② 曲げひずみ量 | ； 0.05% (10.5 kgf/mm) |
| ③ 試験板浸漬液条件 | ； 常温人工海水 |

(7) 防食性試験

防食性試験としては以下の3種の試験を実施している。

- (a) 屋外暴露試験
- (b) 天然海水浸漬試験
- (c) 加温人工海水浸漬試験(40°C)

1.4 試験結果と防食皮膜の経時変化に関する考察

天然海水浸漬1箇年経過後までの各種防食仕様の皮膜に対して機械的強度試験を実施するとともに、浸漬1年3箇月後における防食性能を調査した。これらの各種試験結果及び防食皮膜の経時変化に関する考察は以下のとおりである。なお、各種機械的強度試験については6箇月経過ごとに実施し、防食性能の評価については3箇月経過ごとに行うこととしている。

(1) 曲げ試験

曲げ試験の結果を図1.1(1)～(2)に示す。

無機シンク塗料(IZ)を下塗りし、エポキシ系塗料を上塗りした防食仕様M6.1及びM6.2の皮膜については、きれつ発生までのたわみ量や3.8mmたわみ時にはくり面積は初期と1箇年経過後では大きな差はないといえる。しかし、最終上塗りとしてビニル系塗料を塗装した防食仕様M6.5の皮膜では、初期のきれつ発生までのたわみ量は3.8mm以上であったが、これが経時とともに低下し、1箇年経過後では2.5mm程度できれつが発生し、さらに3.8mmたわみ時には若干のはくりが見られるようになった。これはビニル系塗膜の硬度変化により伸展性が低下したことによるものと思われる。

無機シンク塗膜がなくエポキシ系塗料のみの防食仕様M6.3及びM6.4の各皮膜では、経時とともにきれつ発生までのたわみ量が少し低下する傾向にあり、3.8mmたわみ時にはくり面積もわずかに増加する傾向がある。

ライニング系防食仕様M6.6、M6.7及びM6.8の各皮膜ではきれつ発生までのたわみ量としては各仕様皮膜とも経時的には大きな差異はないといえるが、3.8mmたわみ時にはくり面積については仕様間の差が大きく、ガラスフレーク入りの防食仕様M6.7及びM6.8の皮膜でははくり面積も大きく、しかも経時とともに増加する傾向が見られる。一方、レジンモルタル系の防食仕様M6.6の皮膜でははくり面積が小さく、しかも経時とともにさらに減少している。

(2) 衝撃試験

衝撃試験の結果を図1.2に示す。

衝撃試験としては直接衝撃及び間接衝撃の両試験を実施しているが、直接衝撃試験では各防食仕様皮膜ともに割れやはくりは見られず良好であった。

間接衝撃試験では塗装系仕様の各皮膜において、その撃心部裏面にわずかにはくりが見られたが、初期試験結果に比べて大きな変化は見られない。

一方、ライニング系仕様の各皮膜では、初期試験結果と同様にはくりは全く見られなかった。

(3) 付着力試験

引張付着力試験の結果を図1.3(1)～(2)に示す。

無機ジンク塗料（IZ）を下塗塗装した防食仕様M1、M2及びM5の各皮膜はいずれもIZ塗膜の凝集破断であり、その破断値も比較的低い値であった。特に防食仕様M1の皮膜については経時とともに破断値が低下する傾向にある。また、IZ塗膜のない防食仕様M3及びM4の皮膜では、初期の破断値に比べ、経時的には多少の変動や低下は見られるが、その破断値はいずれも 30 kgf/cm^2 以上であり、それらの破断はすべて塗膜の凝集破断であった。

ライニング系仕様の皮膜の中では、エポキシガラスフレーク系の防食仕様M7の皮膜の破断値は 50 kgf/cm^2 前後で、しかも経時的に大きな変化は見られなかった。しかし、他の2つの防食仕様M6及びM8の皮膜では経時とともに、破断値が低下する傾向にある。なお、ライニング仕様の各皮膜とも引張付着力試験における破断はいずれも皮膜の凝集破断であった。

(4) 硬さ試験

硬さ試験の結果を図1.4に示す。

タルエポキシ塗料が上塗りとなっている防食仕様M2及びM4の皮膜については、硬さの経時変化は見られないが、他の塗装系仕様3種の皮膜では経時とともに硬さがわずかに増加している。

一方、ライニング系仕様の皮膜では、防食仕様M6及びM8の皮膜の硬さが経時とともに若干低下する傾向にあるが、防食仕様M7の皮膜では初期の硬さに回復している。

(5) 引張試験

引張試験の結果を図1.5(1)～(2)に示す。

塗装系仕様の皮膜では防食仕様M3及びM4の2種類の皮膜であるが、いずれも初期の引張り強さに比べ浸漬することによって一時的に強さが低下しているが、経時とともに引張り強さが大きくなっている。

一方、ライニング系仕様の皮膜については、樹脂系や骨材の種類によってそれぞれ初期の引張り強さや経時後における引張り強さの傾向が異なっている。すなわち、防食仕様M6の皮膜では初期の引張り強さが小さいが、経時後においてはさらに若干減少する傾向がある。防食仕様M7の皮膜では経時的な変化はほとんど見られない。しかし、防食仕様M8の皮膜では初期の引張り強さは非常に大きいが経時とともにかなり低下する傾向がある。

(6) 繰り返し応力付加試験

「繰り返し応力付加試験装置」を用い、試験板が常温人工海水中に浸漬された状態で連続試験中である。調査時における繰り返し数は 3.96×10^6 回であったが、この時点においてはいずれの防食仕様皮膜とも割れやはくりなどの欠陥は見られず、良好であった。

(7) 防食性試験

防食性試験として、屋外暴露試験、天然海水浸漬試験及び 40°C 加温人工海水浸漬試験を実施している。これらの各種試験において1年3箇月間経過後における試験板の観察結果を表1.2に示す。いずれの試験においても各防食仕様の皮膜とも割れ、はくりあるいはさびなどの欠陥は見られず良好な防食性能を保持している。ただし、屋外暴露試験において、防食仕様M3及びM6の皮膜表面に著しいチヨーキングが見られた。これはエポキシ樹脂の耐候性低下によるものと思われる。また、 40°C 加温人工海水浸漬試験において、防食仕様M6の皮膜表面がわずかに変色し、防食仕様M8の皮膜表面がかなり溶解してガラスフレークが露出してきた。これらは皮膜のごく表面層が温度によって影響を受けたものと思われる。

なお、防食性試験における天然海水浸漬試験は造船所岸壁近傍に係留した浸漬試験用筏を利用し、試験板を半乾半浸漬状態で吊り下げて実施している。従って、試験板の没水部には海棲生物が多く付着するが、観察時には皮膜に傷を付けないように注意してこれらの付着生物を除去し、皮膜面を露出して調査した。また、付着生物による皮膜の損傷度合（生物のくい込みなど）も調査したが、いずれの防食仕

様皮膜とも付着生物による損傷は見られなかった。

1.5 ま と め

海水浸漬 1 筒年経過後までの各防食仕様皮膜に対する機械的強度試験の結果、及び防食性能を要約すると以下のとおりである。なお、機械的特性とその傾向をまとめて表 1.3 に示す。

(1) 防食仕様 No. 1

曲げ試験において、きれつ発生までのたわみ量はほとんど変化しないが、38mmたわみ時にはくり面積はやや減少する傾向がある。しかし、間接衝撃試験によるはくり面積はわずかに増加している。また、付着力試験の結果では、破断位置はIZ塗膜の凝集破断であるが、その破断値はかなり低下する傾向がある。一方、上塗塗料のウレタン塗膜は初期硬さに比べ、わずかに硬度が増加している。なお、防食性能は1年3箇月経過時において良好であった。

(2) 防食仕様 No. 2

曲げ試験によるきれつ発生までのたわみ量は変化しないが、38mmたわみ時にはくり面積は少し減少する。さらに、間接衝撃試験においてもはくり面積はわずかに減少する傾向がある。また、付着力試験においても破断値は初期と比べて大きな変化もなく、その破断位置はIZの凝集破断であった。さらに、硬さ試験においても初期の硬さとほとんど変化していない。防食性能も良好であった。

(3) 防食仕様 No. 3

曲げ試験によるきれつ発生までのたわみ量が少し低下し、しかも38mmたわみ時にはくり面積もわずかに増加する傾向がある。間接衝撃試験ではほとんど変化しない。付着力試験による破断値は経時とともにわずかに低下するが、その破断値はいずれも皮膜の凝集破断であった。なお、皮膜の硬さや引張り強さは少し増加する傾向がある。また、防食性試験である屋外暴露試験において、上塗塗料であるエポキシ塗膜に著しいチョーキングが見られたが、ふくれ、はくり、割れなどの欠陥は見られていない。

(4) 防食仕様 No. 4

曲げ試験におけるきれつ発生までのたわみ量はわずかに低下し、38mmたわみ時にはくり面積は微少ではあるが見られるようになった。間接衝撃でのはくり面積はわずかに減少している。また、付着力試験では破断位置はいずれも皮膜の凝集破断であるが、その破断値は浸漬6箇月後では低下していたが、1箇年後にまた増加している。皮膜の硬さは初期と変わっていないが、引張り強さは少し増加する傾向がある。防食性能は良好であった。

(5) 防食仕様 No. 5

曲げ試験において、初期には上塗りビニル塗膜の特性によりきれつ発生までのたわみ量は38mm以上であったが、経時とともにかなり低下し、しかも38mmたわみ時にはくり面積は増加する傾向がある。間接衝撃におけるはくり面積は浸漬6箇月時にわずかに増加していくが、1箇年後にはまた減少している。付着力試験での破断値は初期と大きな変化ではなく、その破断位置はいずれもIZの凝集破断であった。また、ビニル塗膜の硬さはわずかに大きくなる傾向がある。防食性能については、いずれの試験においても良好であった。

(6) 防食仕様 No. 6

曲げ試験において、きれつ発生までのたわみ量は浸漬6箇月後ではわずかに増加していたが、1箇年後では減少しており、38mmたわみ時にはくり面積は初期には少し見られたが、浸漬後には全く見られず、皮膜のひび割れのみであった。間接衝撃によるはくり面積は初期と同様全く見られない。一方、付着力試験では破断位置はいずれも皮膜の凝集破断であるが、その破断値は経時とともにわずかに低下している。防食性能は良好であるが、屋外暴露試験において皮膜表面にかなりのチョーキングが見られ、40℃加温人工海水浸漬試験におい

ても皮膜表面が少し変色していた。

(7) 防食仕様№7

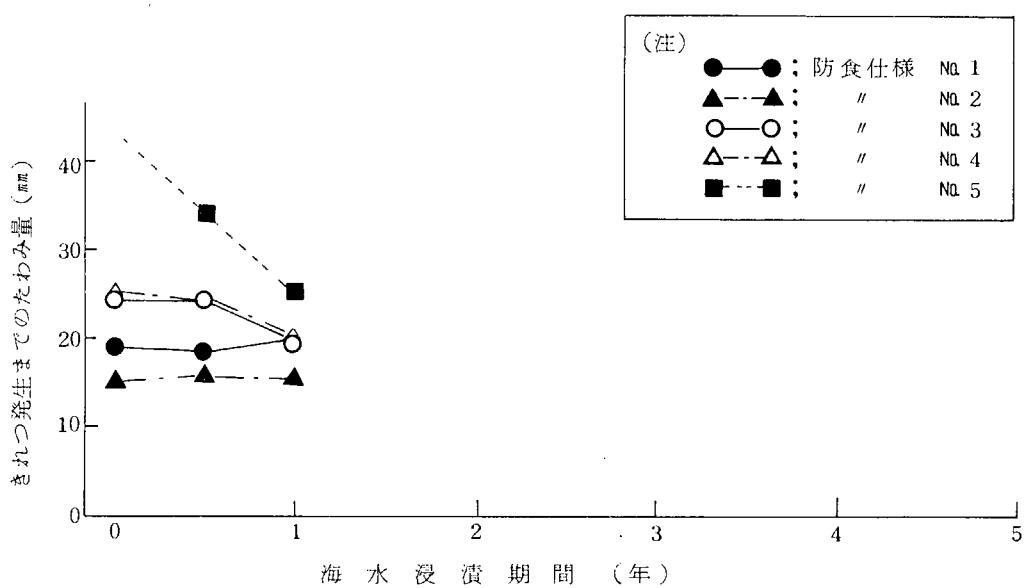
曲げ試験において、きれつ発生までのたわみ量はわずかに低下し、38mmたわみ時はくり面積は少し増加する傾向がある。間接衝撃時はくり面積は全く見られない。付着力試験でもその破断値は大きな変化がなく、破断位置は皮膜の凝集破断であった。皮膜の硬さは浸漬後一時低下するが、1箇年後には初期の硬さに回復しており、大きな変化はないといえる。また、引張り強さも初期とほとんど変化していない。防食性能も良好であった。

(8) 防食仕様№8

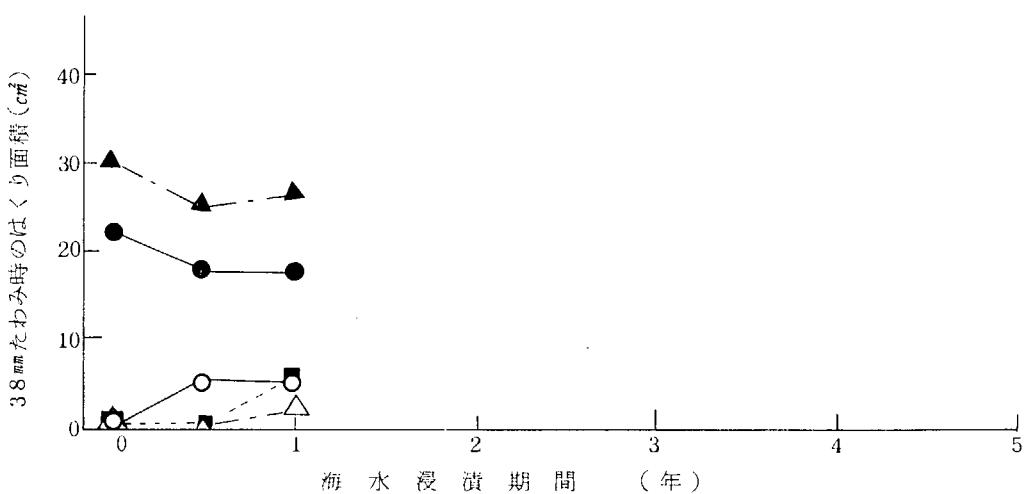
曲げ試験によるきれつ発生までのたわみ量は初期とほとんど変化していないが、38mmたわみ時はくり面積はわずかに増加する傾向がある。間接衝撃ではくり面積は他のライニング材仕様と同様に全く見られなかった。しかし、付着力試験では破断位置はいずれも皮膜の凝集破断であるが、その破断値は経時とともに低下している。また、皮膜の硬さは1箇年後に低下し、引張り強さも経時とともにかなり低下する傾向がある。防食性能については自然環境下では良好といえるが、特に加温海水浸漬条件下では皮膜の表面が溶解し、皮膜中のガラスフレークが露出し、膜厚の減耗が懸念される。

表 1.1 防食仕様

系統	防食仕様 No.	素地調整	S/p	材 料 と 塗 回 数				() 内膜厚 : μ_m	合計膜厚 [μ_m]	備 考 図中 の 表示マーク
				1回目	2回目	3回目	4回目			
塗装系	1	Sh	IZP (75)	ミストコート	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・T/S (40)	PU・T/S (35)	350	● - ●
	2	Sh	IZP (75)	ミストコート	TE (250)	-	-	-	325	▲ - ▲
	3	Sh	IZP (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (40)	PE・T/S (40)	PE・T/S (40)	380	○ - ○
	4	Sh	IZP (200)	TE (200)	-	-	-	-	400	△ - △
	5	Sh	IZP (75)	ミストコート	PE・A/C (100)	V・T/S (60)	V・T/S (40)	-	275	■ - ■
	6	Sd	- (5000)	PEM	-	-	-	-	5000	□ - □
	7	Sd	- (650)	PEF	(650)	-	-	-	1300	◇ - ◇
	8	Sd	- (750)	ESF	(750)	-	-	-	1500	▽ - ▽
注 1. 素地調整の種類と略号 : ショットブラスト (Sh), サンドブラスト (Sd) 2. 材料と塗回数欄の()はその材料の膜厚 μ_m を示す。 3. 塗り重ね間隔はいずれも 1 日間 (1 day 1 coat) である。 4. ミストコートは、いずれも 3 回目上塗料を専用シンナーで希釈したものを利用した。										



① 浸漬期間ときれつ発生までのたわみ量の関係



② 浸漬期間とはくり面積の関係

図 1.1(1) 曲げ特性の経時変化(塗装系仕様)

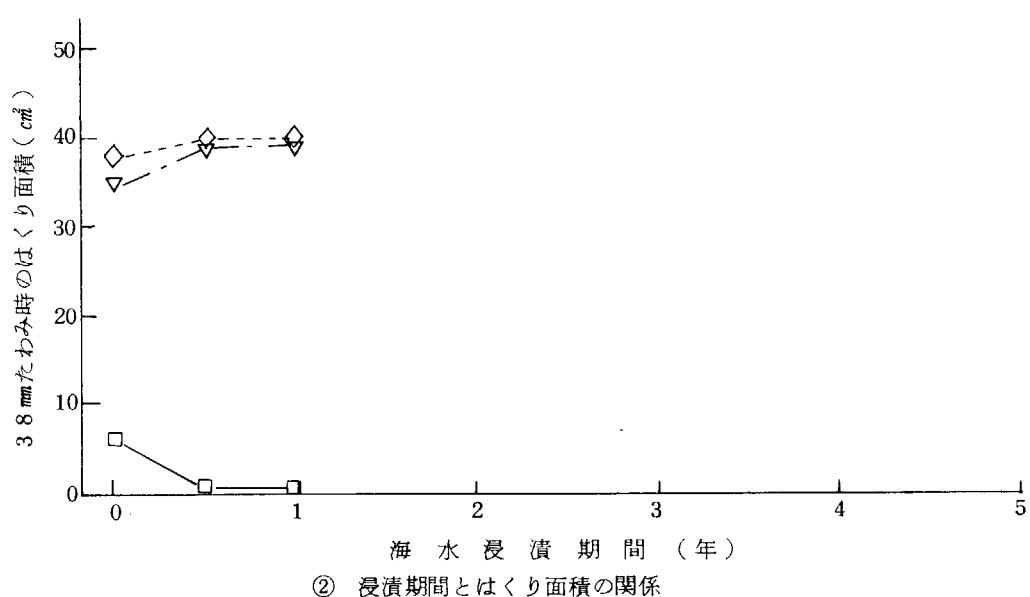
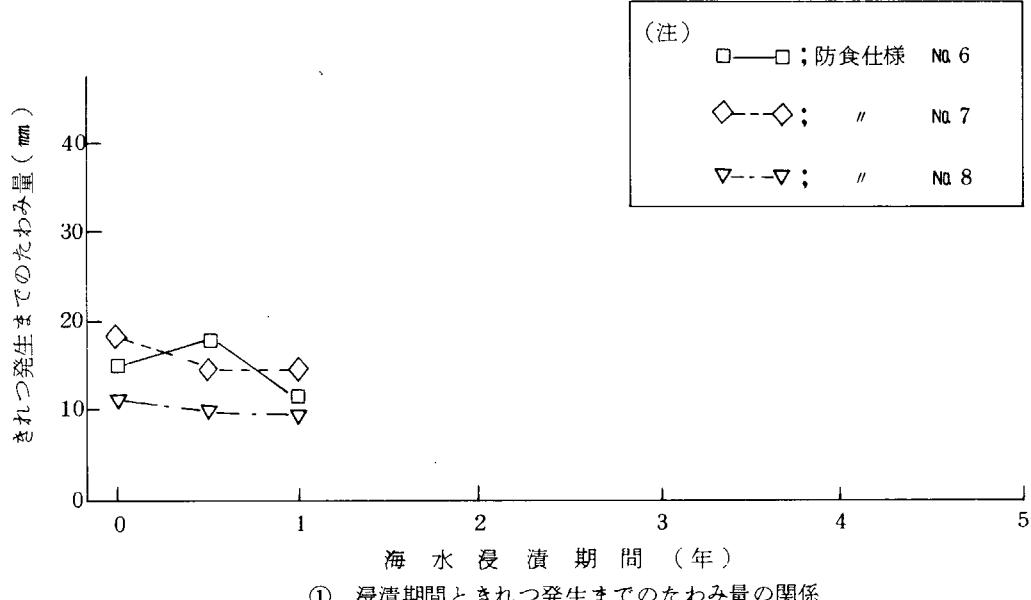
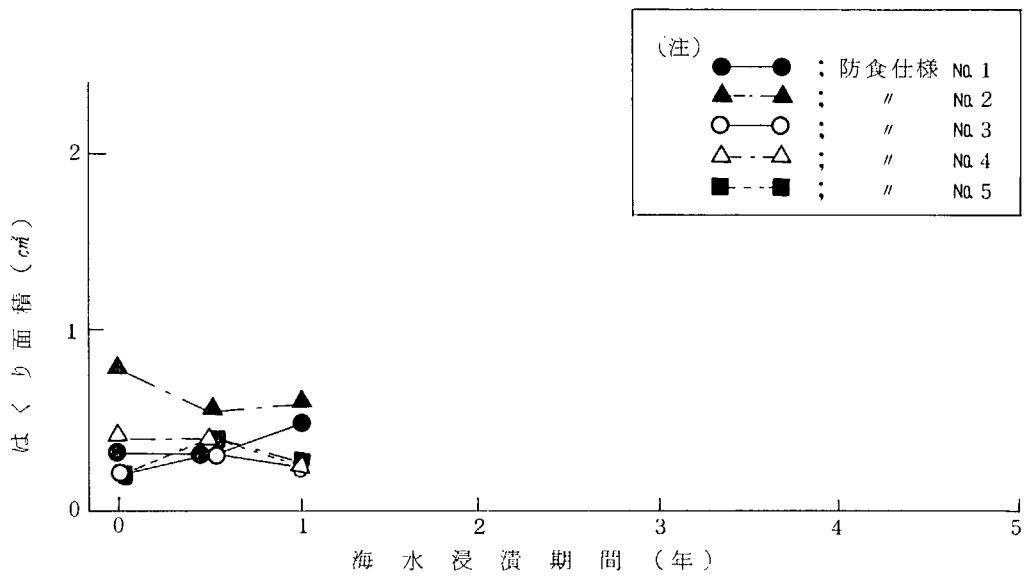
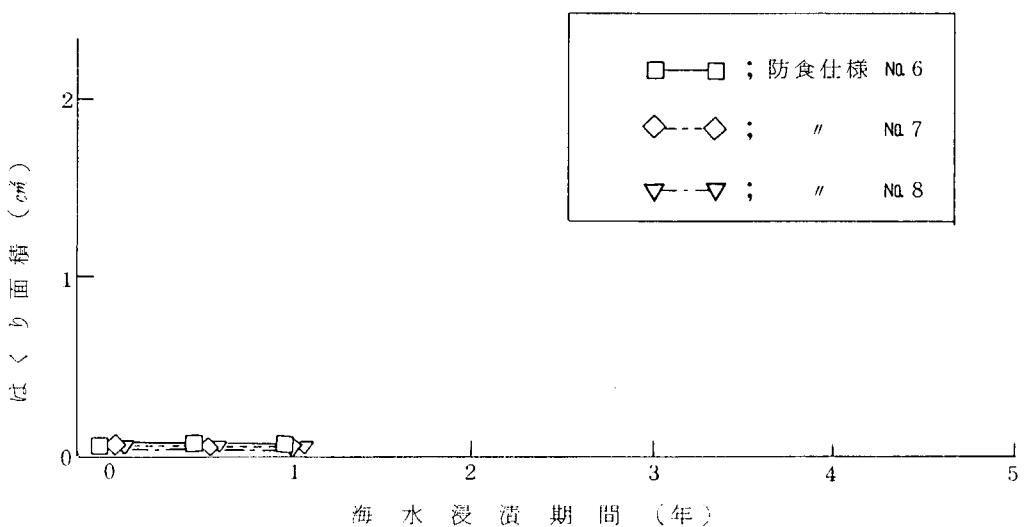


図 1.1 (2) 曲げ特性の経時変化(ライニング系仕様)



① 浸漬期間とはくり面積の関係（塗装系仕様）



② 浸漬期間とはくり面積の関係（ライニング系仕様）

図 1.2 衝撃特性（間接衝撃）の経時変化

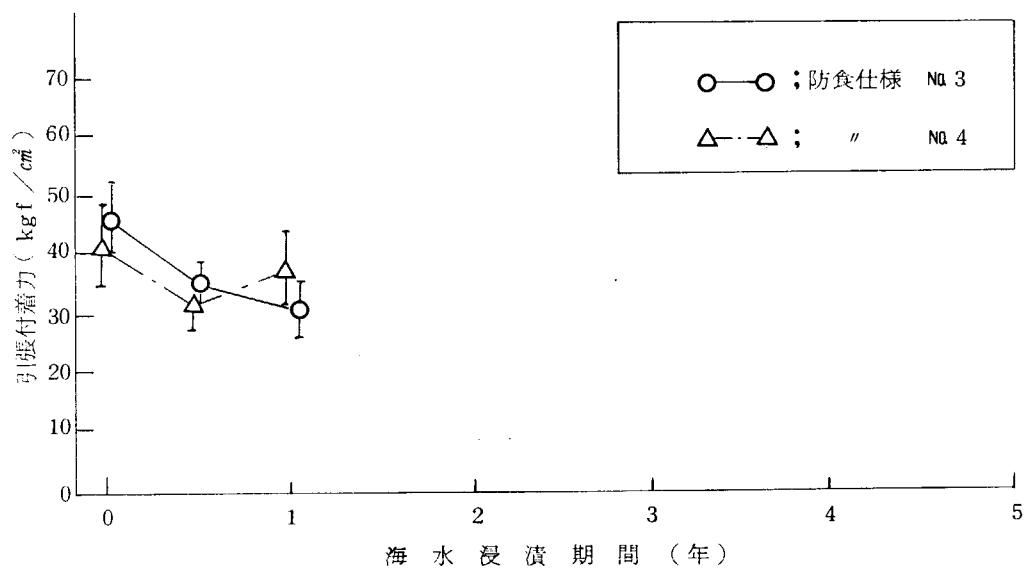
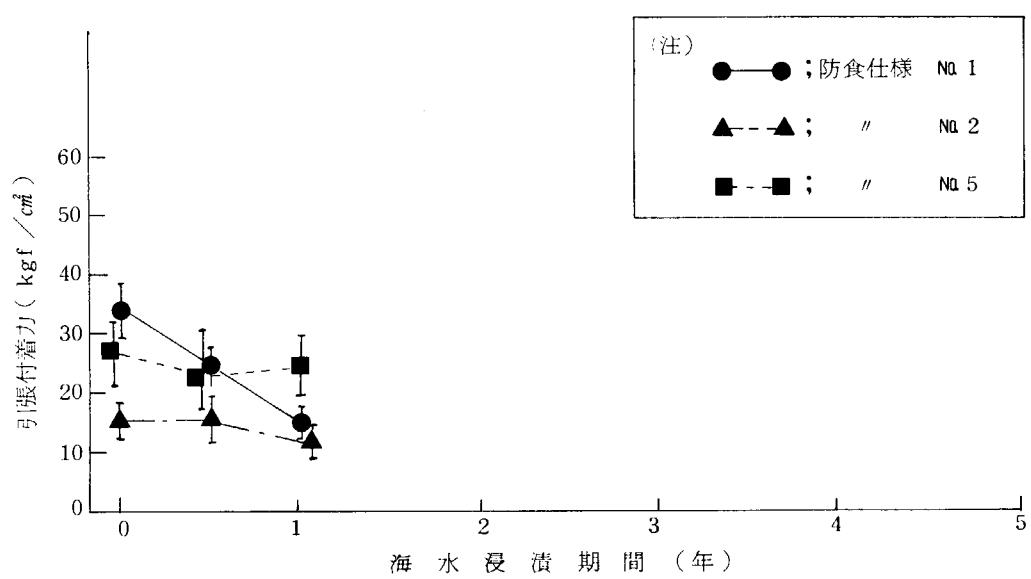


図 1.3 (1) 引張付着力の経時変化(塗装系仕様)

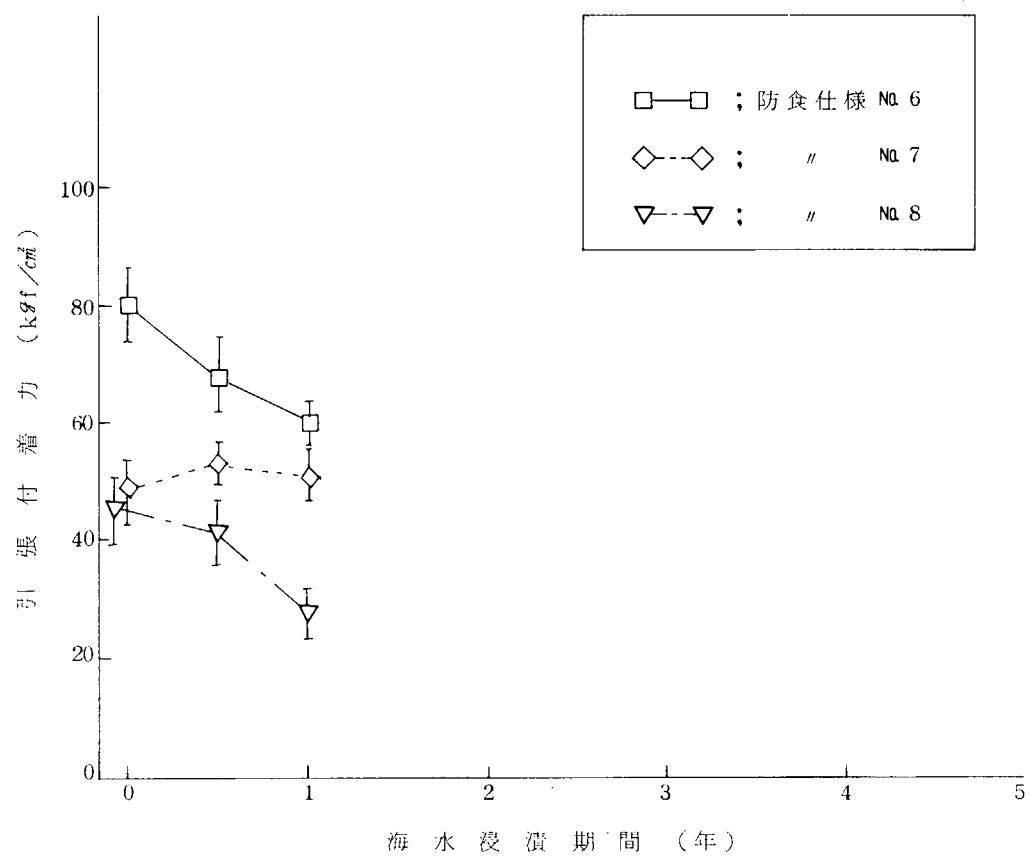
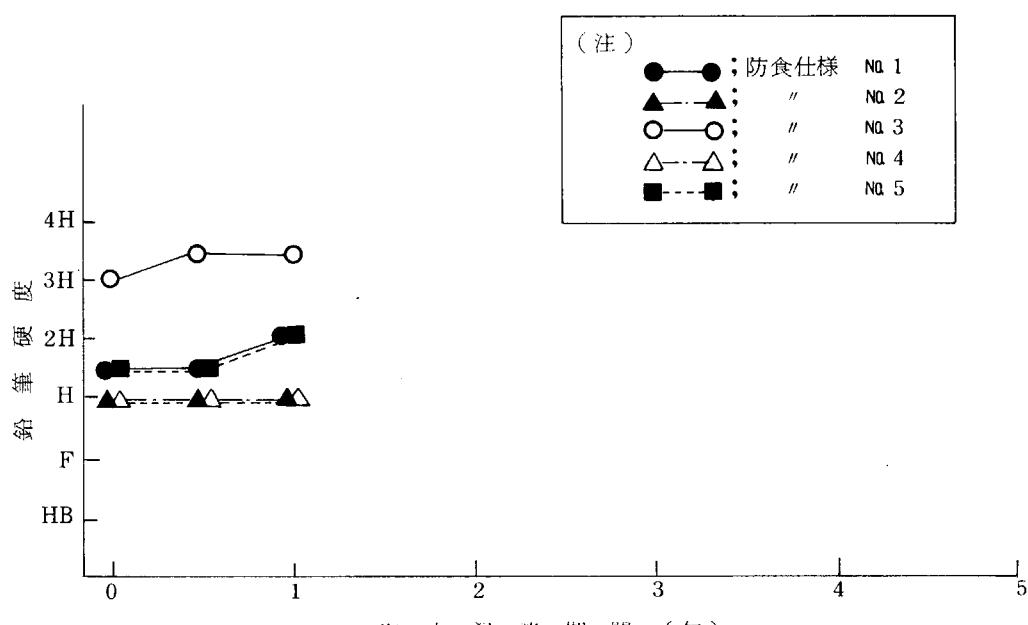
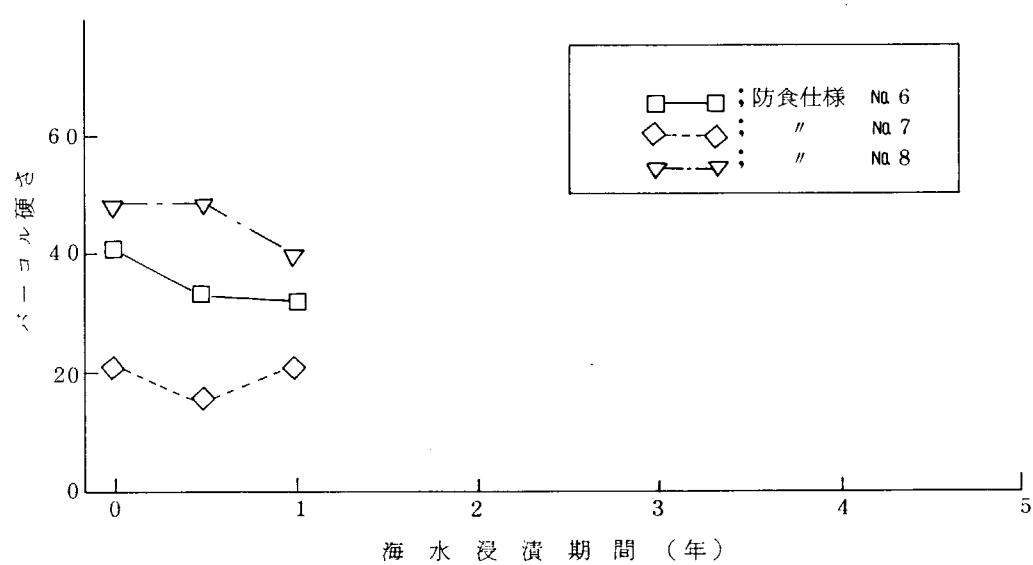


図 1.3 (2) 引張付着力の経時変化(ライニング系仕様)



① 浸漬期間と鉛筆硬度の関係（塗装系仕様）



② 浸漬期間とヤコル硬度の関係（ライニング系仕様）

図 1.4 皮膜硬さの経時変化

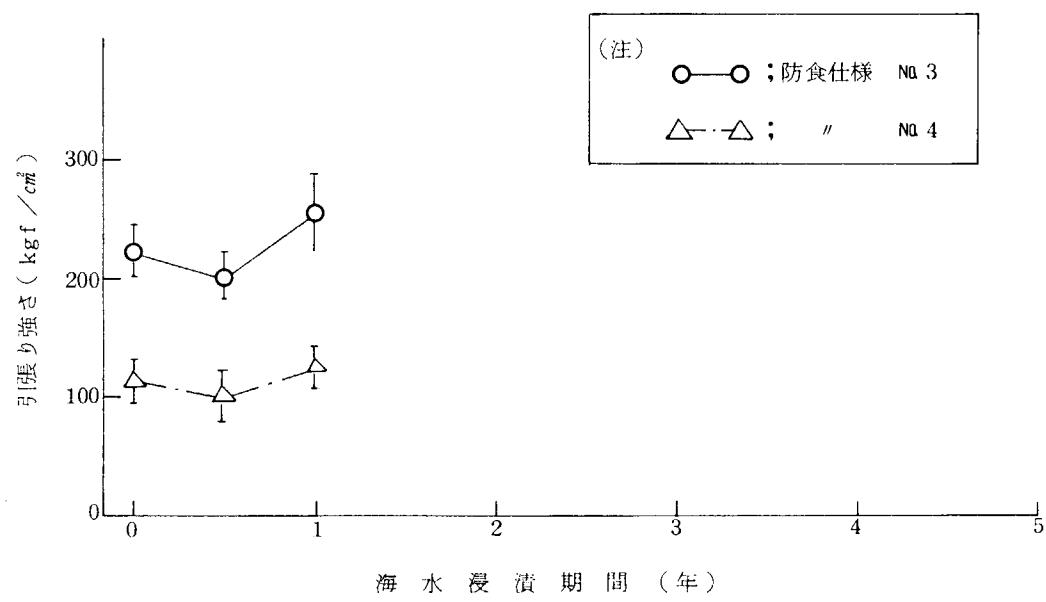


図 1.5 (1) 単離膜引張り強さの経時変化(塗装系仕様)

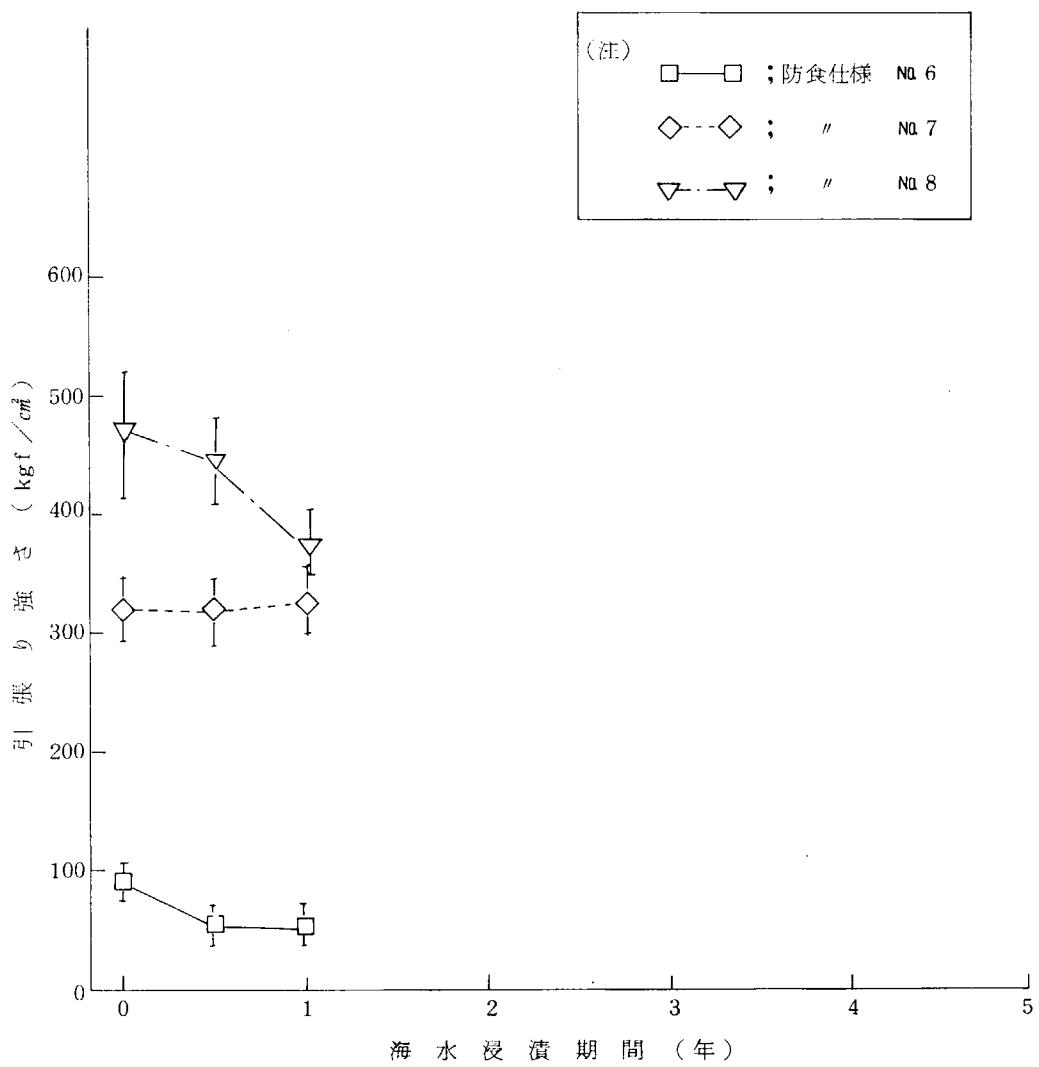


図 1.5(2) 単離膜引張り強さの経時変化(ライニング系仕様)

表 1. 2 防食性試験 1年3箇月経過後の皮膜状態

防食仕様 №	試験方法	屋外暴露試験 (造船所岸壁)	天然海水浸漬試験 (造船所沿岸筏)	加温海水浸漬試験 (40℃人工海水)
塗装系	1	チョーキング(少)	良 好	良 好
	2	チョーキング(少)	良 好	良 好
	3	チョーキング(多)	良 好	良 好
	4	チョーキング(少)	良 好	良 好
	5	良 好	良 好	良 好
ライニング系	6	チョーキング(多)	良 好	変色(少)
	7	チョーキング(少)	良 好	良 好
	8	チョーキング(少)	良 好	皮膜表面層溶解

表 1.3 防食仕様皮膜の機械的特性とその傾向（1箇年経過後の状況）

試験項目と 調査内容 防食 仕様 No.	曲げ試験			衝撃試験			付着力試験			硬さ試験			引張試験			防食性試験					
	きれいなままでの たわみ量(mm)	38mmたわみ時の はくり面積(cm ²)	間接衝撃による はくり面積(cm ²)	破断応力 (Kgf/cm ²)	破断位置	鉛筆硬度又は バーコル硬度	(Kgf/cm ²)	引張り強さ (Kgf/cm ²)	屋外暴露	天然海水浸漬	加湿人工海水 浸漬	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験					
塗装系	1 19 →	2.2 →	0.4 →	3.5 ↗	IZ 凝集破断	H~2H ↗	(実施不可)	チョーキング	良好	好	良好	2.4 →	0 →	1.5 →	IZ 凝集破断	H →	(実施不可)	チョーキング	良好	好	
	2 15 →	3.0 →	0.8 →	5.5 →	膜 凝集破断	3H →	(実施不可)	チョーキング	良好	好	良好	2.5 →	0 →	0.2 →	膜 凝集破断	H →	214 ↗	チョーキング	良好	好	
	3 24 →	0 →	0.3 →	4.2 →	膜 凝集破断	H →	104 ↗	チョーキング	良好	好	良好	3.8 →	0 →	0.2 →	2.7 →	IZ 凝集破断	H~2H ↗	(実施不可)	良好	好	
	4 25 →	0 →	0.3 →	4.2 →	膜 凝集破断	H →	80 ↗	チョーキング	良好	好	良好	1.5 →	6 →	0 →	8.0 →	膜 凝集破断	4.1 →	80 ↗	チョーキング	良好	好
	5 38 →	0 →	0.2 →	2.7 →	IZ 凝集破断	H~2H ↗	(実施不可)	良好	好	良好	良好	1.8 →	3.8 →	0 →	5.9 →	膜 凝集破断	2.2 →	326 →	チョーキング	良好	好
	6 1.5 →	6 →	0 →	8.0 →	膜 凝集破断	4.1 →	(実施不可)	良好	好	良好	良好	1.1 →	3.5 →	0 →	4.6 →	膜 凝集破断	4.9 →	470 →	チョーキング	良好	好
	7 1.8 →	3.8 →	0 →	5.9 →	膜 凝集破断	2.2 →	(実施不可)	良好	好	良好	良好	皮膜表面溶解									
ライニング系	8 1.1 →	3.5 →	0 →	4.6 →	膜 凝集破断	4.9 →	(実施不可)	良好	好	良好	良好										

注 (1) 表中の各数値は初期値を示す。

(2) 表中の矢印は初期値に対して：増加，↑：低下（減少）などの傾向を示す。

(3) 防食性試験については1年3箇月経過時ににおける皮膜の外観状況を示す。

2. 海水環境下での構造物の防食性試験

2.1 防食性試験の目的

設置場所及び環境上からメインテナンスフリー指向の重防食法について、実験室で行う耐久性試験、防食材料の寿命推定法及びメインテナンス方法に対応させて、同防食材料の同仕様における実環境での耐久性と寿命予測を行いため、浮体式試験体を製作して、海洋環境下に設置し、長期間にわたって防食性を試験する。

2.2 設置場所

長崎県西彼杵郡香焼町（北緯 $32^{\circ}42'10.5''$ 東経 $129^{\circ}49'10''$ ）（図2.1参照）

三菱重工業㈱ 長崎造船所

香焼工場西側海域 水深 約20m

2.3 浮体式試験体

2.3.1 試験体の構造

構造物の寸法を図2.2に、完成後の外観を図2.3にまた環境に設置後の状況を図2.4に示す。

- (1) 寸 法 横幅1500×縦幅5000×高さ4000mmの浮体2基からなる双胴形試験体
- (2) 胴 間 外径318.5mm φ ×長さ6000mm 鋼管5本で接続
- (3) 双胴の上面デッキ部を摺動可能なエキスパンションメタルで接続し、波高・波長によって鋼管に応力が発生する。
- (4) 胴内の海水バラストによって浮体の水位が調整できる。
- (5) 重 量 試験体 17.5トン
 - チエーン 1"もの 100m × 2本 2.4トン
 - 1"もの 50m × 2本 1.2トン
 - シンカー 8 m³ × 4個 7.4トン

2.3.2 製 作

- (1) 浮体2基を工場で製作し、設置場所付近の陸上で、各鋼管を溶接し接続した。
- (2) 製作後に浮体の気圧テスト（気圧漏洩検知剤使用、空気圧 0.25 kgf/cm^2 ）を行って、リークの無いことを確認した。
- (3) エッジ部は1R以上の角落しを行い、溶接後のスラグ及びスパッターはサンドブラストや機械工具によって除去した。

2.4 防食方法

2.4.1 防食仕様

試験体に適用した防食仕様を表2.1に示す。

- (1) 試験体は内外全面ブラスト後にIZPを塗装した。
- (2) 洋上・大気部のIZを含む塗装系仕様の場所については、スイープサンドブラストを行い、海中部・飛沫部のIZを含む塗装系仕様、ライニング系仕様の適用場所についてはヘビーサンドブラストを行った。
- (3) 各供試材は表2.1及び図2.5が対応する塗り分とした。
- (4) 浮体内部の海水張水部は電気防食、空槽部は瀝青質系塗料を塗装した。浮体のマンホールは完全に密閉した。
- (5) デッキの手摺は亜鉛めっき後にガルバナイトの塗装系とした。

2.4.2 施工・適用条件及び結果

- (1) 塗り分けの施工結果を図2.5(1)～(3)に示す。皮膜劣化の傾向を詳細に調査するため、海中部・飛沫部を対象とした抜取り用試験片(100mmL鋼×6t×3000)を作製し、浮体に取り付けた。
- (2) 各防食材料専用の塗装機を使用した。それらの詳細を表2.2に示す。
- (3) 2次表面処理(サンドブラスト)及び塗装時には隣接する他の防食仕様皮膜を保護するため、ペニヤ板やビニールシートで覆って養生した。
- (4) 海中部・飛沫部のフレークライニング系の中には、塗装作業性にやや難点があり、その結果、塗膜状態が若干劣るものもあった。
- (5) 海中部・飛沫部及び洋上・大気部の塗装後、ピンホール検査を行い、ごく一部のピンホール発生部については補修塗りを行った。
- (6) これらの施工作業は供試材料メーカーの協力を得て実施した。

2.5 防食皮膜の測定

2.5.1 膜厚測定結果

浮体式試験各部位の膜厚測定結果を図2.5に併記して示す。

- (1) 海中・飛沫部では、防食仕様No.2.4及び8が目標値に近いものとなったが、防食仕様No.6及び7は膜厚のバラツキが大きく、この原因はエアレス塗装時の作業性が影響したものと推定される。
- (2) 洋上・大気部では、実測値の最低が目標値とほぼ同じで、しかも防食仕様No.1及び3では実測値の最高値が目標膜厚の約2倍に達するなど、厚膜ぎみとなった。
- (3) 抜取り用試験片では、防食仕様No.6(P.E.M.)のバラツキがかなり大きかった。

2.5.2 インピーダンスの測定

抜取り用試験片について、初期のインピーダンスを測定した。

(1) 測定要領

約17cm²の押当てセルを用い、YHP社のユニバーサル・プリッジにより1KHzで、交流抵抗、電気容量を測定し、次式でtanδを算出した。

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

ここでf:周波数(Hz), C:静電容量(F), R:抵抗(V)

(2) 測定結果

- (a) 試験片の初期塗膜測定結果を表2.3に示す。
- (b) ガラスフレークライニング系皮膜のtanδがいずれも低い。
- (c) 浮体本体の初期値を陸上において測定するように試みたが、雑音の影響が大きく、測定できなかつた。

海上での測定は可能と推定されるので、試験片の初期値を参考にして今後、追跡調査する予定である。

2.6 応力測定の準備

浮体式試験体には、次年度計画の応力測定のための準備を行った。

- (1) 計測位置を図2.6に、ストレインゲージの仕様を表2.4に、応力測定系統図を図2.7に示す。
- (2) ストレインゲージは、取付部の塗膜を除去して研磨し、次にスポット溶接によって取付けた。ゲージ貼付後、同系塗料で数回刷毛塗りし、さらにその上から石油系防食テープ(巾75×厚み2mm)

を巻いて防食した。リード線には耐水性の可撓性エポキシ樹脂をライニングして浮体側壁に固定した。

- (3) ストレインゲージ取付後の状況を図2.8に示した。

2.7 まとめ

海洋環境下での構造物の防食性試験として、浮体式双胴形試験体を製作し、実環境に設置した。

- (1) この試験体は横幅1500×縦幅500×高さ4000mmの浮体2基を、外径318.5mm ϕ ×長さ6000mmの鋼管5本で接続したセミサブ形である。
- (2) 海中部・飛沫部及び洋上大気部には、共通防食仕様を含む10種の防食仕様を適用した。
- (3) 鋼管5本の外面には、波浪によって生ずる応力測定用のストレイゲージを取り付け、次年度測定の準備を行った。
- (4) 設置場所の海象はかなり過酷なため、試験体の係留法に関しては専門家に検討を依頼して、保守に万全を期した。

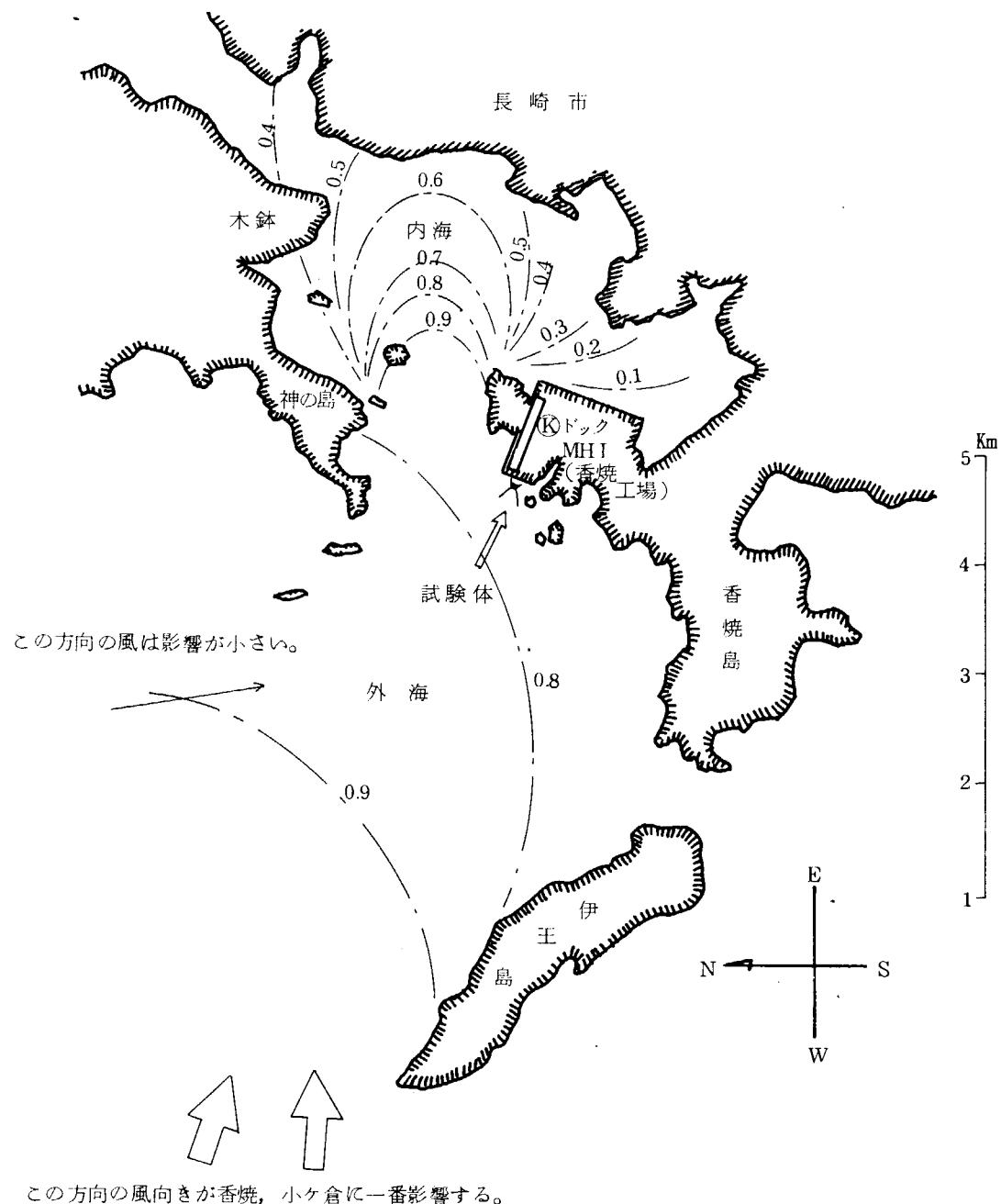


図 2.1 長崎港周辺の波高減衰比率表（長崎海洋気象台データによる）

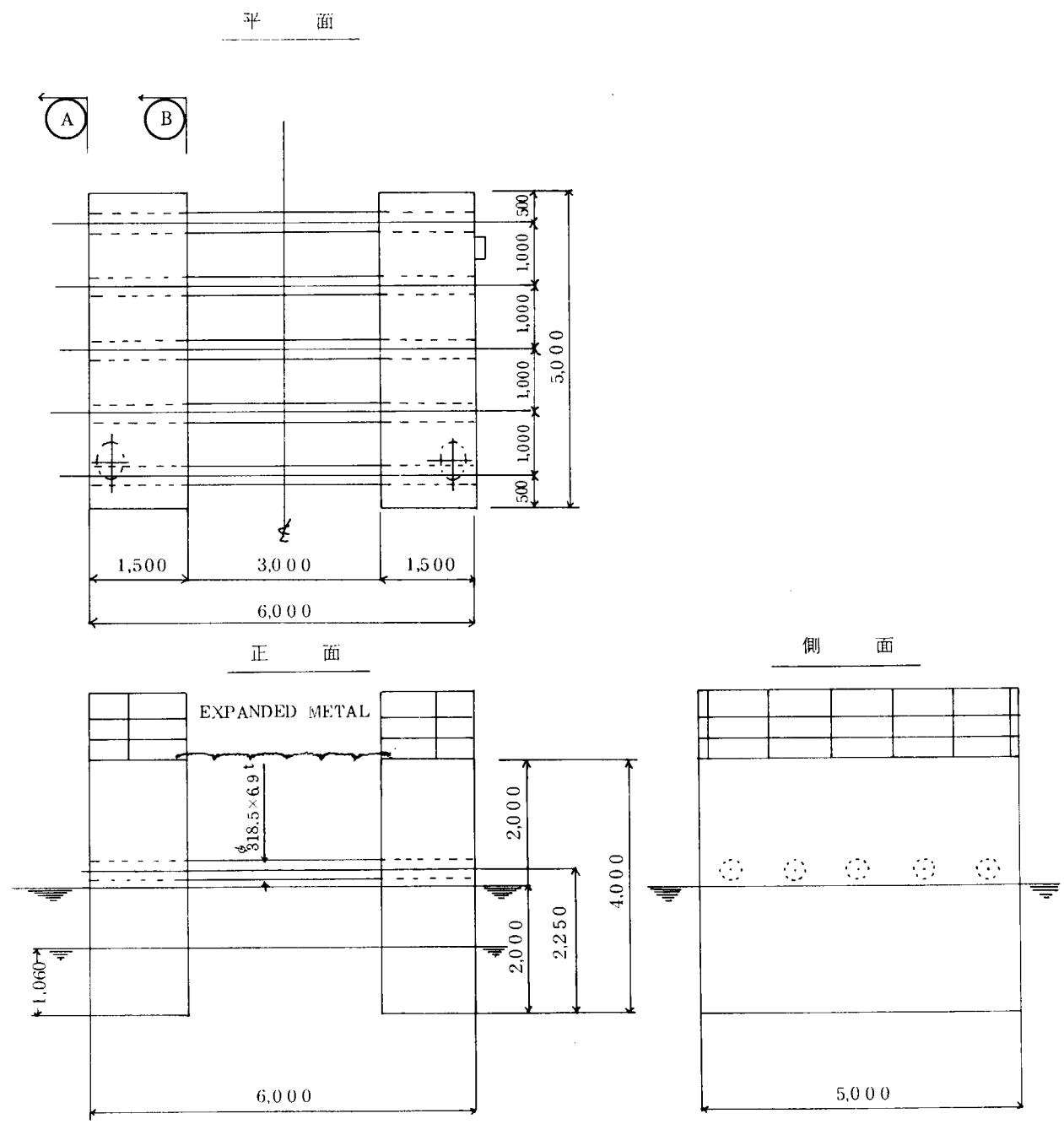


図 2.2 浮体式試験体の外観寸法

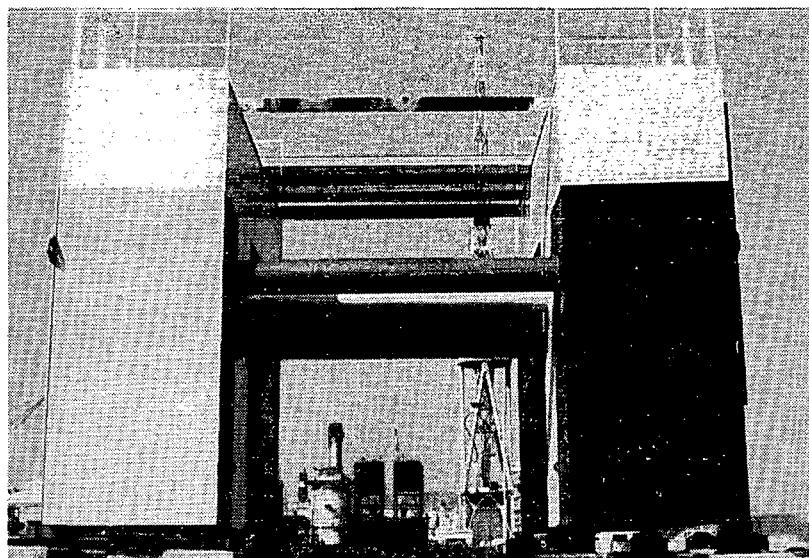


図 2.3 完成後の浮体式試験体

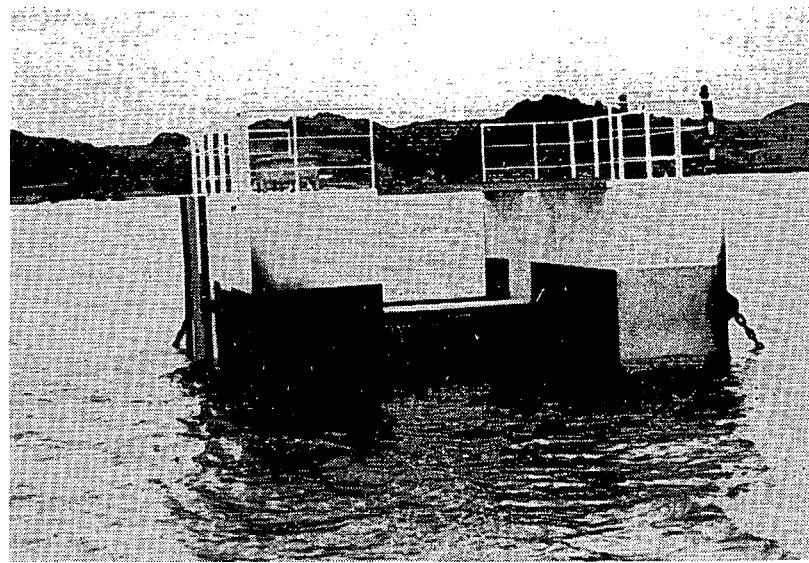


図 2.4 実環境設置後の試験体

表 2.1 浮体式試験体の防食仕様

部位	場所	仕防 様 No.	S/P	2次表面 処理	材 料 と 膜 厚 (μm)	合計膜厚 (μm)
海 中 部 ・ 飛 沫 部	(1)	2	IZP	Ss	IZ(75) + ミストコート + TE(250)	325
	(2)	4	"	-	TE(200) + TE(200)	400
	(3)	6	"	Sd	PEM(5000)	5000
	(4)	7	"	"	PEF(650) + PET(650)	1300
	(5)	8	"	"	ESF(750) + ESF(750)	1500
	(6)	M1	"	"	ESF(") + ESF("	1500
	(7)	M2	"	"	TEF(") + TEF("	1500
洋 上 大 気 部	(8)	1	"	Ss	IZ+ミストコート+PE ^A / _C (75)+PE ^A / _C (100)+PE ^T / _S (40)+PU ^T / _S (35)	350
	(9)	"	"	"	"+"+"+"+"+"+"	350
	(10)	3	"	-	PE ^A / _C (100)+PE ^A / _C (100)+PE ^A / _C (100)+PE ^T / _S (40)+PE ^T / _S (40)	380
	(11)	"	"	-	"+"+"+"+"+"+"	380
	(12)	"	"	-	"+"+"+"+"+"+"	380
	(13)	5	"	Ss	IZ+ミストコート+PE ^A / _C (75)+V ^T (60)+V ^T / _S (40)	275
	(14)	"	"	"	"+"+"+"+"+"+"	275
浮 体 内 部	(15)	M3	"	-	(空槽部)ケレン軽減型 TE	250
	(16)	M4	"	-	(")ソルベントレス型 TE	250
	(18)	M6	"	-	(海水バラスト部) 電防 (アノード)	--
その他	(17)	M5	-	-	(手摺部) ガルバナイト塗装系	700

(脚) Ss : スイープサンドblast処理

Sd : サンドblast処理

〔海中・飛沫部〕

防食仕様№4 理論 実測	
IZP	15μ 350 ~ 450
TE	200
TE	200 (平均400)
合計	400

〔海中・飛沫部〕

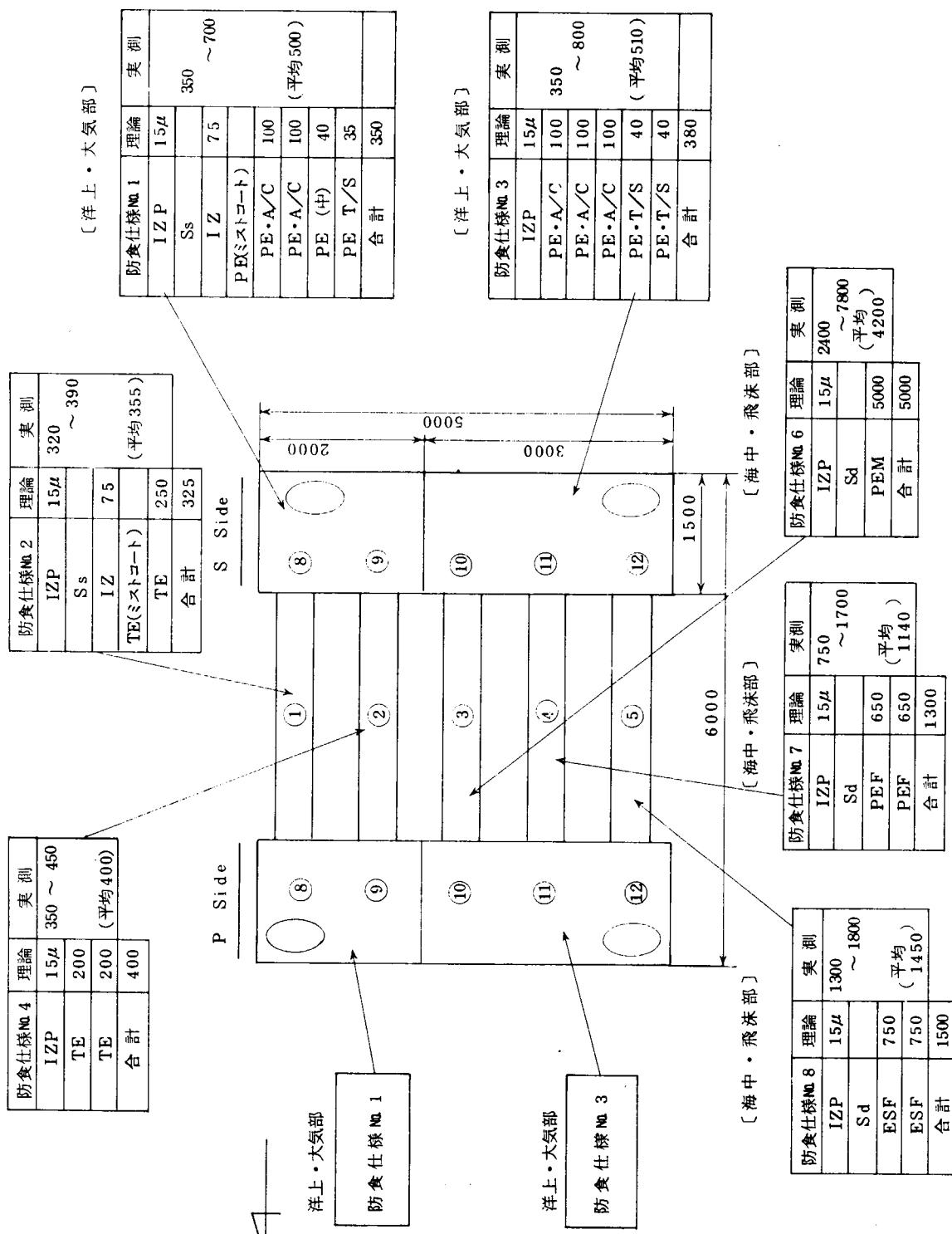


図 2.5 (1) 試験体ヒ防食仕様(上面)

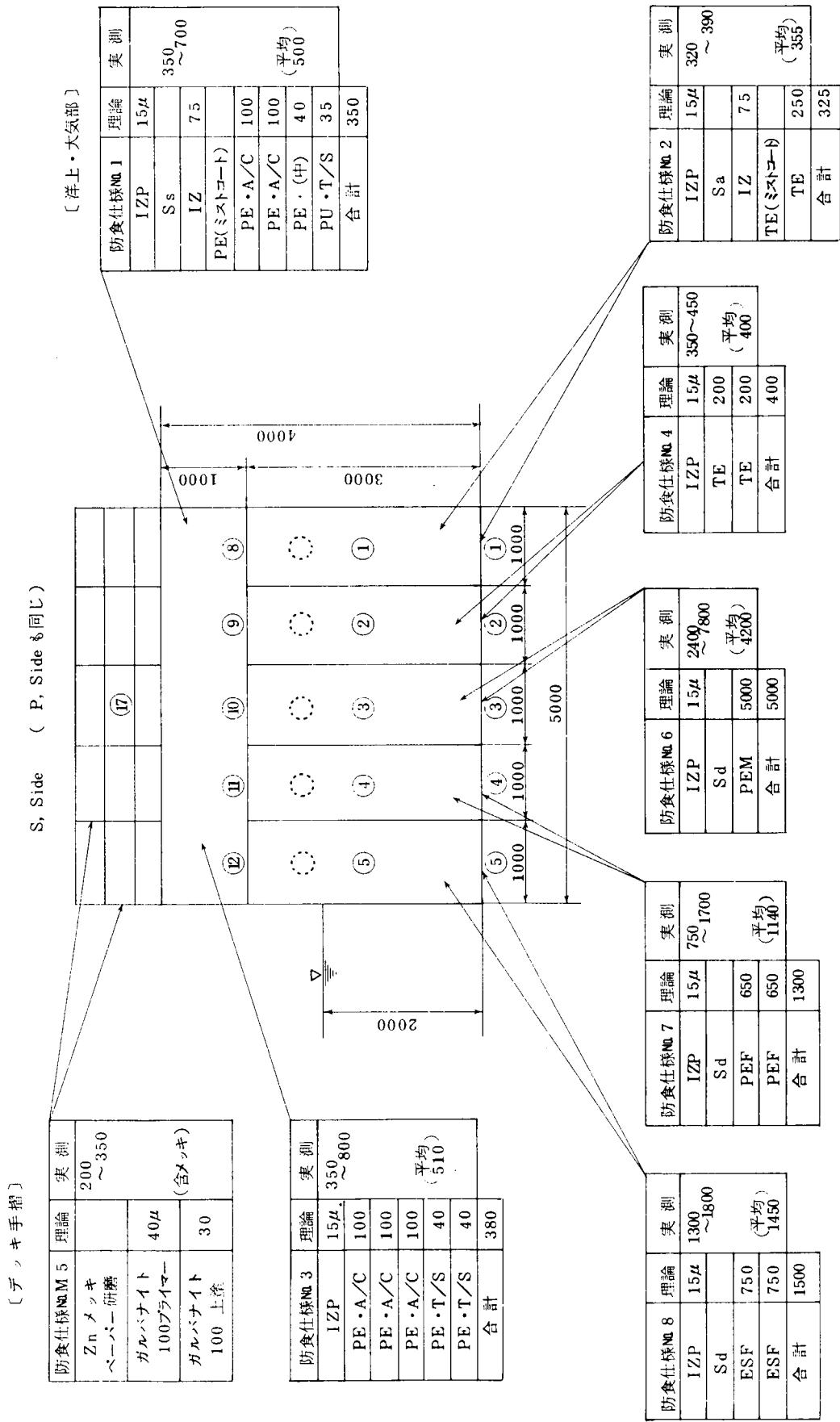
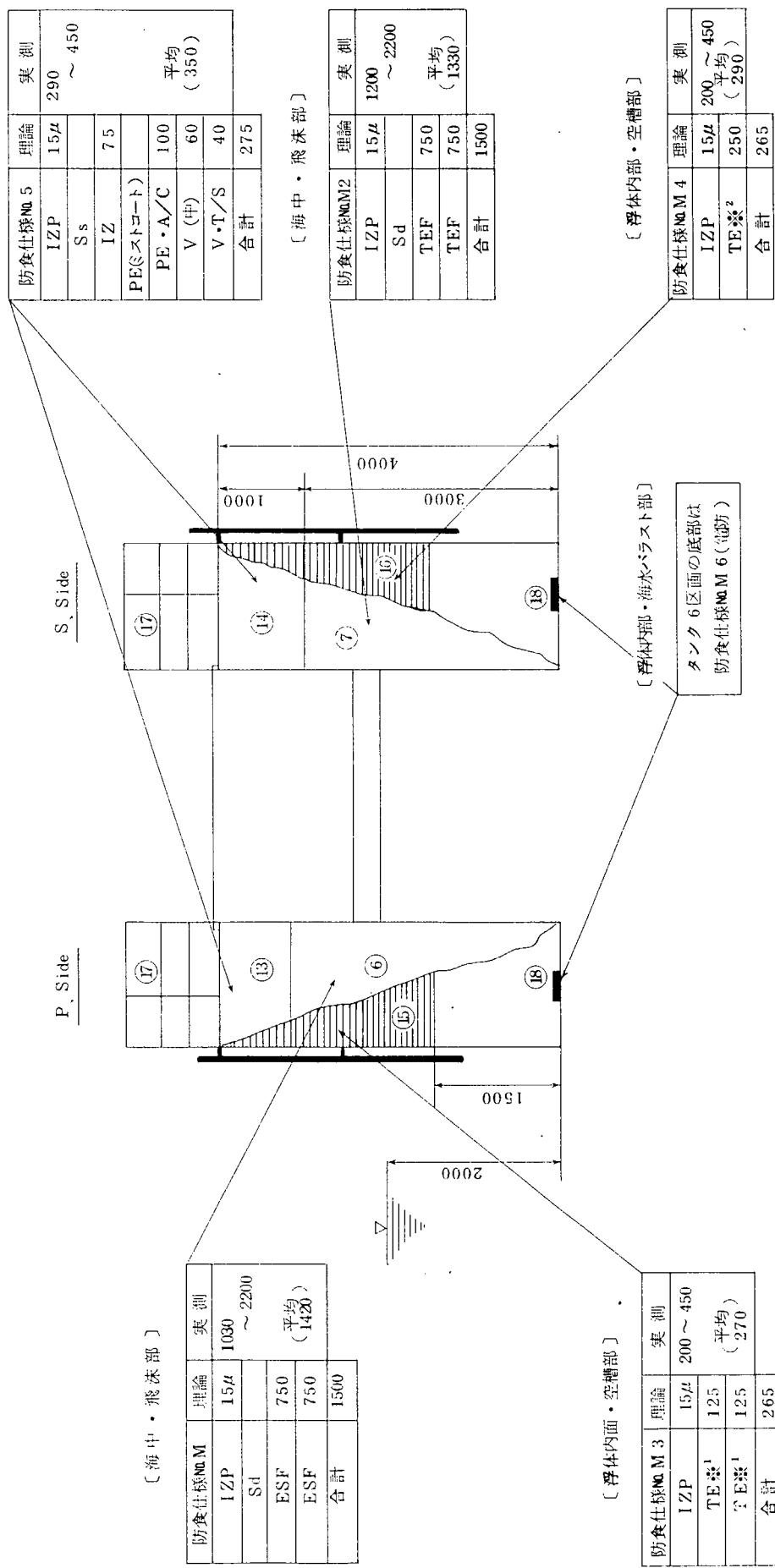


図 2.5 (2) 試験体と防食仕様（側面）

〔洋上・大気部〕



※2 : ソルベントレス型・ラストタンク用TE

図 2.5 (3) 試験体と防食仕様(正面)

※1 : ケレン鋸成型パラスト用TE

表 2.2 塗装実施結果

部 位	防食仕様 №	塗装機と塗装条件		ビンホール検査※	塗膜状態	外観
		塗装機(エアレススプレー)	一次圧(Kgf/cm ²)			
洋上・大気部	1. (IZ+PE)	グラコ・プレジデント型 28 : 1	3 ~ 5	9.0 ~ 11.0	—	特に問題なく、良好 (白仕上げで光沢あり)
	3. (PE)	同 上	5	9.0 ~ 11.0	—	特に問題なく、良好 (白仕上げで半艶有り)
	5 (IZ+PE+V)	旭大隅 AP-1854Z 20 : 1	5	10.0	5 KVテスト・OK	刷毛塗り 良好
	2 (IZ+TE)	グラコ・キングカート型 45 : 1	IZ : 3 TE : 3 ~ 4	IZ : 135 TE : 135 ~ 180	—	T/Uなし 良好
	4 (TE)	同 上	3 ~ 4	135 ~ 180	—	T/Uなし 良好
海水部・飛沫部	6 (PEM)	ハイビスコーグ (特殊エアレス圧送と 特殊エースフレーザー)	3	塗料圧: 70 ~ 80 吹付エア-圧: 3	1.5 KVテスト・OK (ビンホール検出部はT/C) (済み)	リシン状仕上げ (塗膜凹凸あり) (ダーニング色)
	7 (PEF)	旭大隅 マンモス型 35 : 1	4	14.0	10 KVテスト・OK	刷毛塗り 良好
	8 (ESF)	グラコ・キングカート型 45 : 1	6	27.0	—	T/Uなし ・一般部、良好 ・パイプ下面のみ塗 り肌が剥落している
	M1 (ESF)	グラコ・ブルドック型 30 : 1	5 ~ 6	14.5	1 KVテスト・OK ビンホール検出部は T/U済み	刷毛塗り 良好、刷毛目及び (ダーニング色)
	M2 (TEF)	グラコ・キングカート型 45 : 1	5 ~ 6	22.5 ~ 27.0	7 KVテスト・OK	刷毛塗り 良好 片方は途中でエアレス スプレーで塗装した為、ダレがあった
タンク内・空槽部	M3 (TE)※1	エアレススプレー グラコ・ブルドック型 30 : 1	4 ~ 5	13.0	膜厚 (μm) 200 ~ 450 (平均270)	
	M4 (TE)※2	同 上	4 ~ 5	13.0	206 ~ 450 (平均290)	刷毛塗り 良好
デッキ手摺	M5 (ガルバナイト塗装系)	刷毛塗り	—	250 ~ 350 (亜鉛めっきを含む)	刷毛塗り	良好

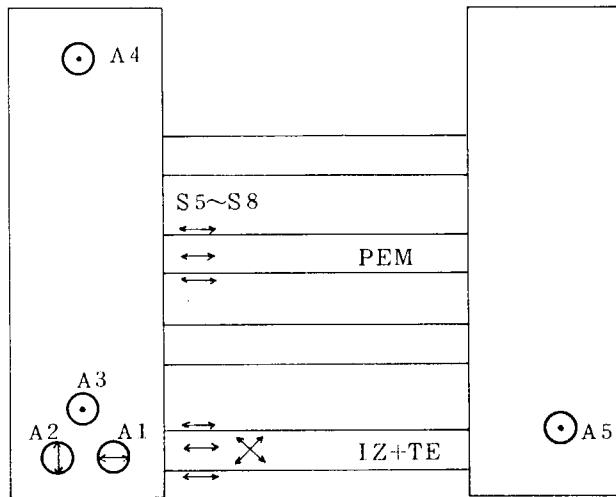
※1: ケレン軽減型バラストタンク用 TE

※2: ソルベントレス型

※ 测定器: ビンホールテスター, TRC-I型(サンコー電子)

表 2.3 試験片の初期塗膜測定結果 [() は平均値を示す。]

部 位	妨食仕様No	膜 厚 (μm)	1 KHZ		
			電気容量($\times 10^{-9}\text{F}$)	界面 抵抗(R)	$\tan \delta$
海水部飛沫部	2 [IZ+TE]	320~390 (355)	0.35~0.49 (0.42)	$2.1\sim3.4\times10^6$ (2.5×10^6)	0.13~0.18 (0.15)
	4 [TE]	350~450 (400)	0.34~0.44 (0.39)	$2.4\sim3.6\times10^6$ (3.0×10^6)	0.12~0.16 (0.14)
	6 [PEM]	1500~5000	0.06~0.12 (0.09)	$8.3\sim18.7\times10^6$ (1.3×10^7)	0.13~0.20 (0.15)
	7 [PEF]	600~1180 (740)	0.16~0.31 (0.23)	$0.7\sim1.2\times10^7$ (1.0×10^7)	0.061~0.088 (0.070)
	8 [ESF]	1250~1700 (1450)	0.08~0.17 (0.13)	$0.6\sim3.2\times10^8$ (1.4×10^8)	0.006~0.017 (0.010)
	M1 [ESF]	1150~2100 (1450)	0.06~0.09 (0.07)	$1.8\sim3.5\times10^8$ (2.7×10^8)	0.007~0.011 (0.009)
	M2 [TEF]	900~1800 (1550)	0.12~0.21 (0.15)	$0.8\sim2.2\times10^7$ (1.6×10^7)	0.061~0.085 (0.074)



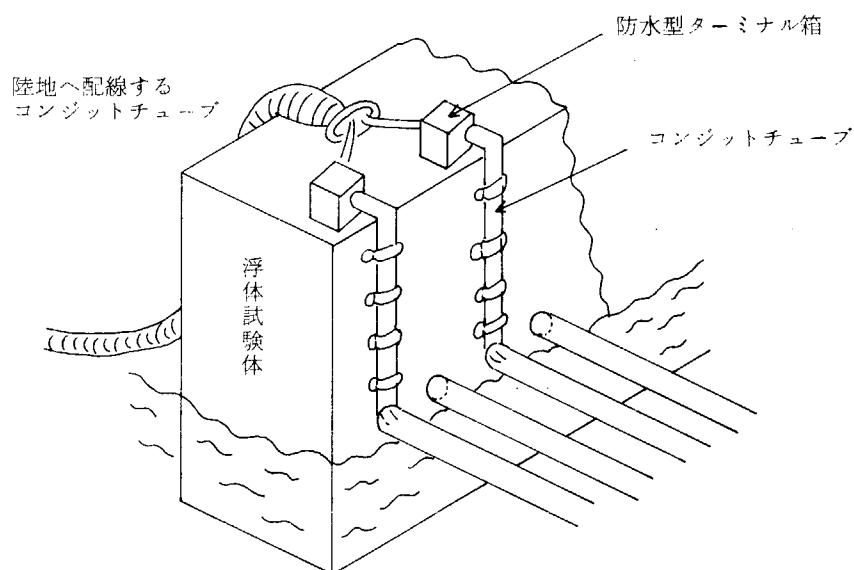
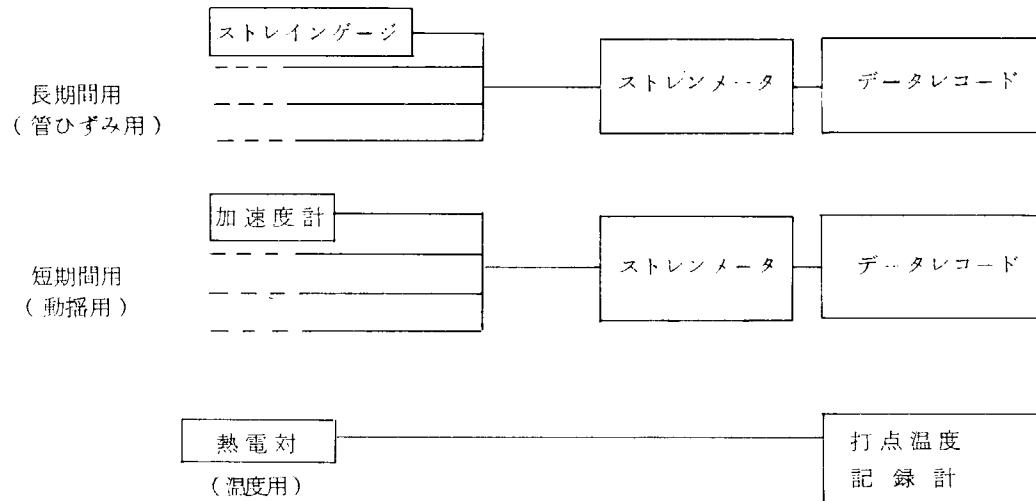
$S_1 \sim S_4$: 管軸方向のひずみ (管端)
 $S_5 \sim S_8$: " " " (")
 $T_1 \sim T_4$: 管の剪断ひずみ (") } 長時間, 計測用, 合計 12 枚
 (管ひずみ用)

A_1 : 浮体の横方向 加速度
 A_2 : 浮体の前方向の加速度
 $A_3 \sim A_5$: 浮体の上下方向の加速度 } 短時間, 計測用
 (動揺用)

図 2.6 効力計測位置

表 2.4 ストレインゲージの仕様

形 式	SG-125 (アイルティック社)
寸 法	ケージ長さ $1\frac{3}{32}$ "
	ケージ巾 $\frac{1}{8}$ "
	リード線 0.063"シース, 長さ 5 m
測定温度	-45.2°F ~ +65.0°F



3. 防食材料の寿命推定法に関する検討

3.1 目的

非金属材料による防食被覆を対象として実環境において長期耐久性を有する防食材料の寿命推定のための促進試験法及びその性能評価法を見い出すことを目的として各種の促進試験を行い防食材料の物理的機械的性能及び電気的性能を追跡調査する。

3.2 促進試験法と塗膜劣化判定法

3.2.1 促進試験法

(1) 供試塗料及び防食仕様

供試塗料及び防食仕様は表 1.1 に示す。

(2) 試験片の作製

(i) 単離膜

引張強度、ガス透過率の測定には、はく離紙に塗装して作製した単離膜を各試験に適する形状に切り試験片とした。

(ii) 塗装鋼板

付着力試験、電気抵抗の測定、インピーダンスの測定には $150 \times 75 \times 3.2\text{ mm}$ のグリットブラスト処理鋼板に各供試塗料を塗装したものを試験片とした。

なお、塗装系はエアスプレーにより、またライニング系はナイフコーテーにより塗装し、単離膜については防食仕様 No.3、No.4、No.6 の 3 仕様の試験片を、また塗装鋼板については防食仕様 No.1 ~ No.8 の 8 仕様の試験片を作製した。

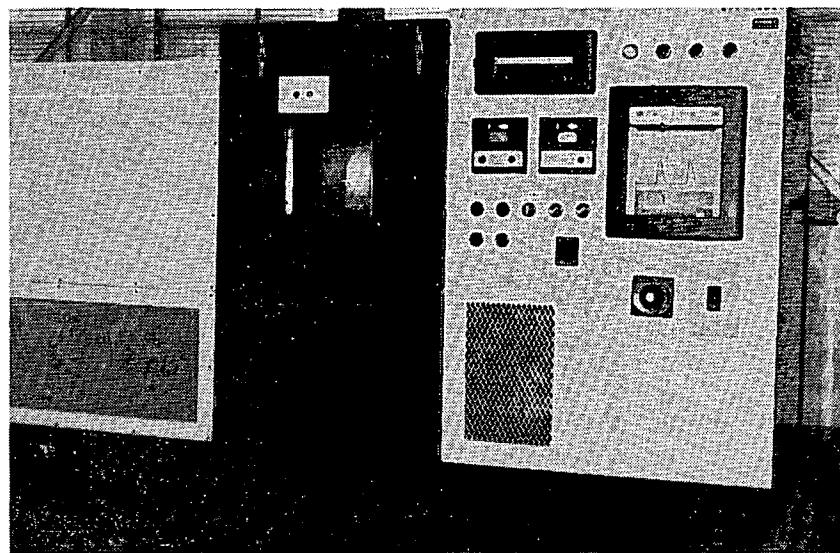
(3) 試験項目及び試験条件

促進試験法の試験項目及び試験条件を表 3.1 に示す。また熱サイクル試験装置を図 3.1 に示す。

図 3.1 試験項目及び試験条件

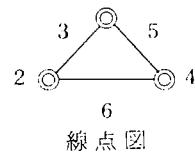
促進試験法	試験条件
塩水浸漬試験	NaCl 濃度 0.3%， 3%， 10%， 浸漬温度 常温， 40℃， 60℃ 浸漬時間 1週間， 1か月， 3か月 溶存酸素 空気吹込み， O ₂ 吹き込み
促進耐候性試験	室内温度 40℃， 60℃ 試験時間 168 時間， 400 時間， 600 時間
熱サイクル試験 ※	最高及び最低温度での保持時間 1時間， 3時間 昇温及び降温速度 110℃/h， 80℃/h 最高温度 90℃， 80℃ サイクル数 10 サイクル

※ 热サイクル試験は表 3.2 に示す直交表 L₈ にわりつけ試験を実施した。



冷却装置	上部 試験槽	制御装置
	下部 热交換部 (但しヒーター内蔵)	

図 3.1 热サイクル試験装置



◎ 左図の番号は直交表 L₈ の列番を示す

線点図

表 3.2 热サイクル試験条件 (L₈)

列 熱 サイ クル 番 Na	1. (最高) 温度での 最底 保持時間 1. 1 時間 2. 3 時間	2. 升温速度 降溫速度 1. 110°C/h 2. 80°C/h	4. 最高温度 1. 90 °C 2. 80 °C	サイクル図
1	1. 1 時間	1. 110°C/h	1. 90 °C	
2	1. 1 時間	1. 110°C/h	2. 80 °C	
3	1. 1 時間	2. 80°C/h	1. 90 °C	
4	1. 1 時間	2. 80°C/h	2. 80 °C	
5	2. 3 時間	1. 110°C/h	1. 90 °C	
6	2. 3 時間	1. 110°C/h	2. 80 °C	
7	2. 3 時間	2. 80°C/h	1. 90 °C	
8	2. 3 時間	2. 80°C/h	2. 80 °C	

3.2.2 塗膜劣化判定法

試験項目と試験方法を以下に示す。

(1) 鋼板との付着力

図3.2に示すように塗膜の無溶剤エポキシ接着剤で引張試験治具を貼りつけ1日室温で放置する。

試験面と他の箇所との縁を絶つために治具に沿って素地に達する傷を入れアドヒージョンテスター(エルコメーター社製)を用い付着力(kg f/cm^2)を測定した。試験は1試験片につき3回行い平均値を求めた。

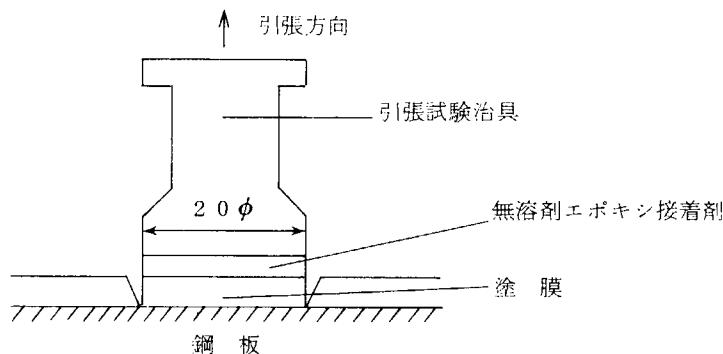


図 3.2 付 着 力 試 験

(2) 体積抵抗率

3%食塩水にカルボキシメチルセルロース(CMC)を溶解して作った糊で塗膜面上にアルミニウム箔を貼りつけ図3.3に示す測定回路により印加電圧2.5Vにおける電流値を測定し体積抵抗 R_v を体積抵抗($R_v = 2.5V / \text{電流値(A)}$)から求め(3.1式)により体積抵抗率を求めた。

$$\rho_v = \frac{\pi d^2}{4t} \times R_v \quad (3.1 \text{ 式})$$

ρ_v : 体積抵抗率 (Ωcm)

d : 表面電極の内周の外径 (cm)

t : 防食材の膜厚 (cm)

π : 円周率

R_v : 体積抵抗 (Ω)

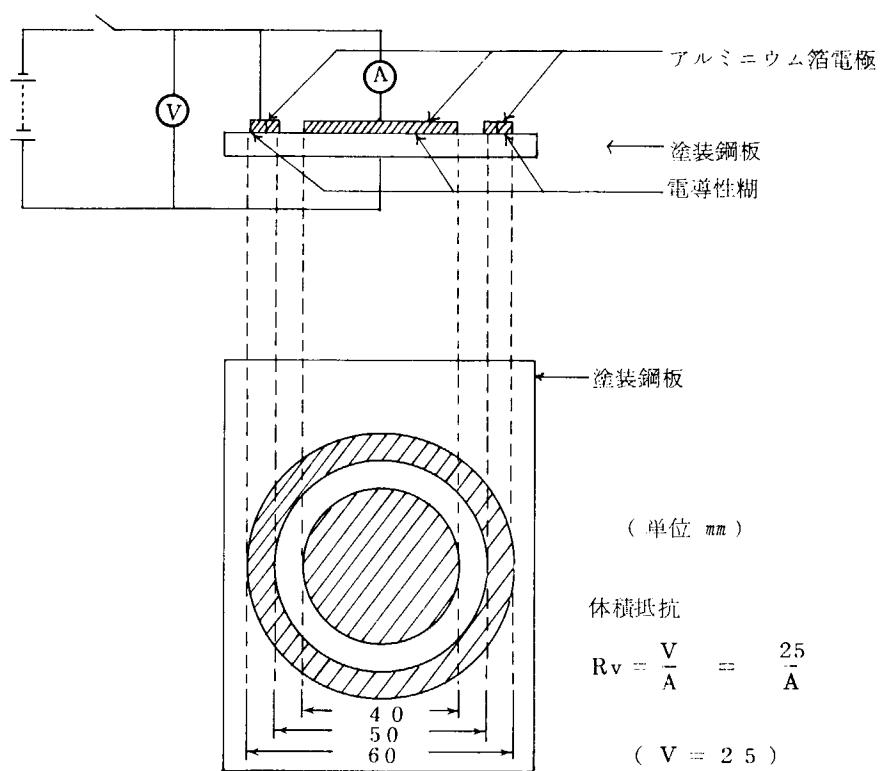


図 3.3 体積抵抗の測定回路

(3) インピーダンス測定

3%食塩水にカルボキシメチルセルロース(CMC)を溶解して作った糊で塗膜面に $50 \times 50\text{ mm}$ のアルミニウム箔を貼りつけ対極として $\tan\delta$ 測定器(新電子工業㈱製 CJA-3D型)により抵抗及び容量を測定し(3.2)式により $\tan\delta$ を算定した。 $\tan\delta$ 測定用ブリッジ回路を図3.4に示す。

$$\tan\delta = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_s \cdot R_s} \quad \text{--- (3.2 式)}$$

π : 円周率

f : 周波数 (Hz)

C : 容量 (F)

R : 抵抗 (Ω)

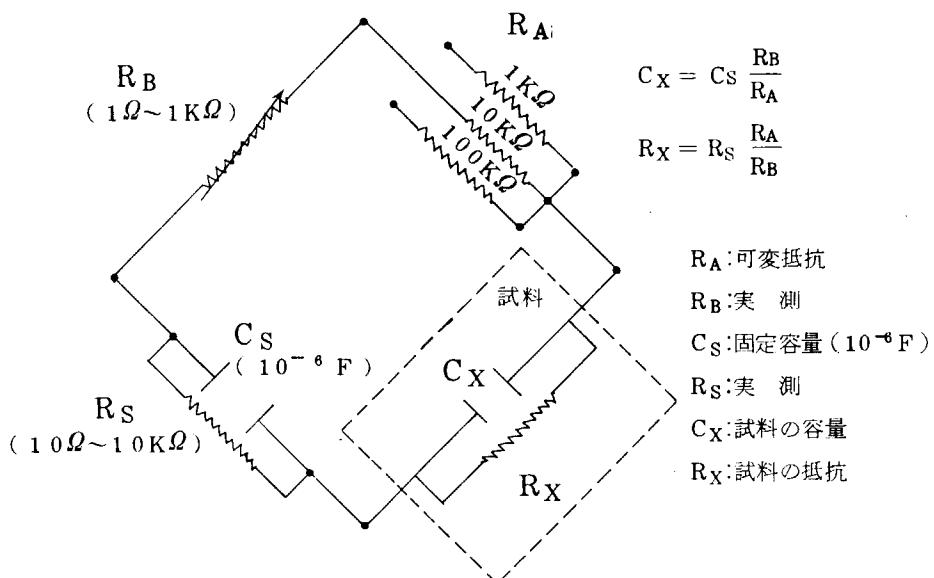


図 3.4 $\tan \delta$ 測定用ブリッジ回路

(4) 引張強度の測定

図 3.5 に示す形状に作製した単離膜をインストロン引張試験機により引張速度 1 mm/min で引張り試験片が破断したときの強度及び伸びを測定した。引張強度は破断したときの荷重 (kg f) を試験片の断面積 (cm^2) で割り求めた。また伸びは実測により求めた。

(5) ガス透過率の測定

図 3.6 に示すガス透過率測定装置に単離膜を取り付け図 3.7 の(4)より酸素を流し透過酸素量をガスクロマトグラフにより定量分析する。なお、測定温度は 30°C 、塗膜表裏の圧力差は 228 cmHg 、調査面積は 15.2 cm^2 としガス透過率は(3.3)式により求めた。

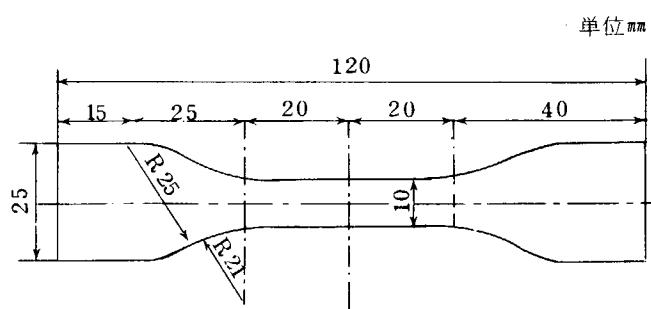


図 3.5 引張強度試験片の形状

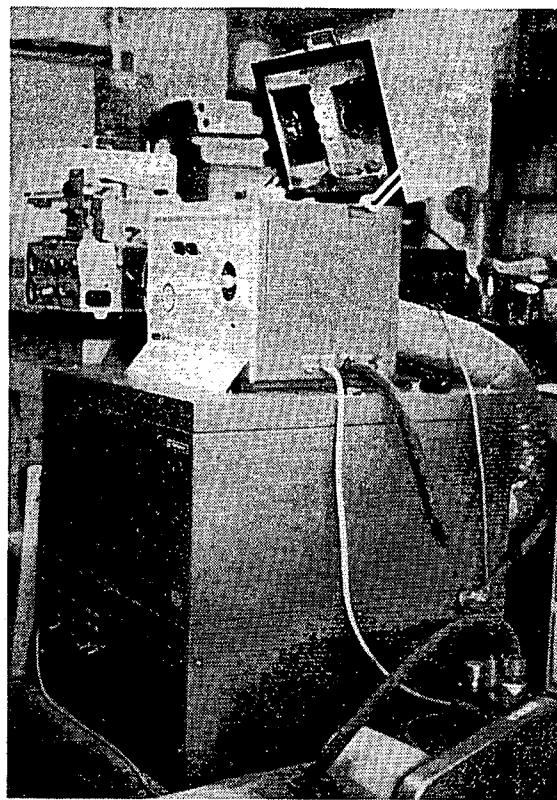


図3.6 ガス透過率測定装置

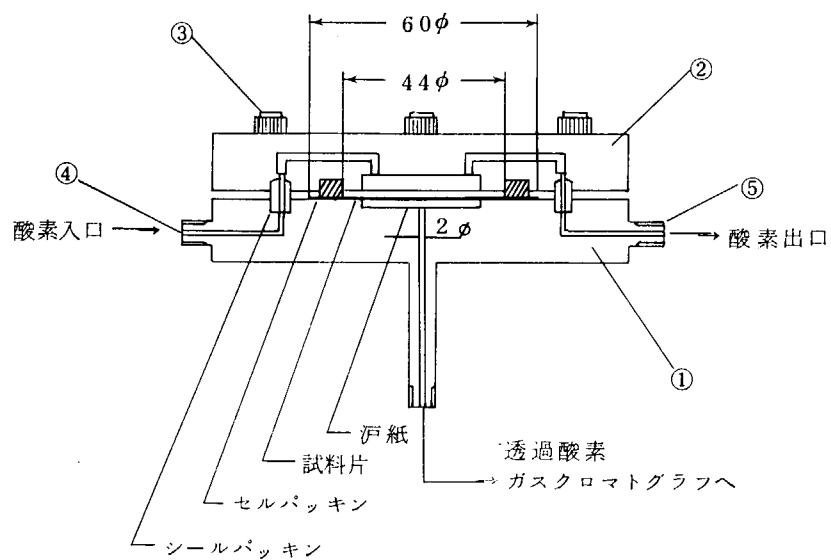


図3.7 ガス透過試験片取付部

$$P = \frac{q \cdot 1}{(P_1 - P_2) \cdot a \cdot t} \quad (3.3 \text{式})$$

$$p ; \text{ 透過率 } \left(\frac{\text{cc} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}} \right)$$

$$q ; \text{ ガス透過率 } (\text{cc})$$

$$\begin{aligned}
 l &; \quad \text{塗膜厚さ} \quad (\text{cm}) \\
 P_1 - P_2 &; \quad \text{塗膜表裏の圧力差} \quad (228 \text{ cmHg}) \\
 a &; \quad \text{調査面積} \quad (15.2 \text{ cm}^2) \\
 t &; \quad \text{試験時間} \quad (\text{sec})
 \end{aligned}$$

3.3 試験結果と考案

(1) 鋼板との付着力

初期付着力を表3.3に促進試験後の付着力を表3.4～表3.10に示す。

(i) 促進耐候性試験

促進耐候性試験では付着力が大きく減少した防食仕様は認められず、かえって付着力が増加したものもある(特に仕様No.1)、室温の影響は600時間の範囲では劣化の方向より硬化反応を進めた結果付着力を上げており防食材料を劣化させるには至っていない。

(ii) 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験では防食仕様No.8の付着力の減少が大きいが全防食仕様とも破壊はほとんどが凝集破壊あるいは接着剤面の破壊であり、わずかに防食仕様No.3とNo.7に素地からのはく離が見られた。付着力を著しく減少させている要因はないが、溶存酸素量とNaCl濃度の影響による付着力の減少が認められる。その傾向は溶存酸素量ではO₂吹き込みの方がまたNaCl濃度が大きな程わずかに付着力の減少が大きい。

(2) 体積抵抗率

初期及び促進試験後の体積抵抗率を表3.1.1～表3.1.4に示す。

(i) 促進耐候性試験

促進耐候性試験では体積抵抗率は600時間後でも全防食仕様とも∞であり、促進耐候性試験による劣化は認められない。

(ii) 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験においては浸漬時間が長くなるにつれ体積抵抗率は減少しているが、溶存酸素量、NaCl濃度、浸漬温度の影響は明らかではない。

(3) インピーダンス

$\tan \delta$ 及び抵抗の経時変化を図3.8～3.1.4に示す。

(i) 促進耐候性試験

促進耐候性試験では容量の変化はきわめて少なく、一般に抵抗の減少と $\tan \delta$ の増加の傾向が見られるがその割合は少ない。

(ii) 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験では浸漬時間が長くなるにつれ容量の増加、抵抗の減少、 $\tan \delta$ の増加が認められる。容量、抵抗、 $\tan \delta$ の変化を見ると中でも抵抗の減少する傾向が大きい。NaCl濃度及び溶存酸素量の効果は小さいが、浸漬温度では一般に温度が高い程抵抗の減少が大きい傾向を示している。塗装系仕様では初期の減少は小さく3か月後に著しい減少を示したのに対しライニング系仕様では初期における減少が著しい。

(4) 引張強度

初期及び促進試験後の引張強度を表3.1.5～表3.2.1に示す。

(i) 促進耐候性試験

促進耐候性試験では室温60°Cの試験片の多くがもろくなつて測定できなかった。40°Cでは引張強度は3仕様とも増加し、逆に伸びは減少している。

(ii) 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験においても同様に促進試験後の引張強度は増加し伸びが減少する傾向にある。

伸びは浸漬初期に著しく減少しそれ以後の変化は少ない。浸漬温度、NaCl濃度、溶存酸素量の効果による引張強度の減少は認められない。

(5) ガス透過率の測定

防食仕様No.3の初期及び3%塩水浸漬後(常温および60°CでO₂吹き込み)の透過率測定結果を表3.2.2に示す。常温60°CともO₂透過率は初期値よりわずかに減少しており常温では1か月迄減少し3か月では増加しているが60°Cでは漸次減少している。

(6) 热サイクル試験

热サイクル試験による促進試験後の付着力、インピーダンス測定結果を表3.2.3(a)～表3.2.3(h)と表3.2.4(a)～表3.2.4(h)に示す。また热サイクル試験で割れが起った単離膜を表3.2.5に示す。

付着力では試験後の付着力を初期付着力で割った値でインピーダンスではtan δ値で、また単離膜の割れの場合には割れたものを0割れなかったものを1としてそれぞれ分散分析を行った。

分散分析表を表3.2.6～表3.2.8に示し、それぞれの要因効果図を図3.1.6(a)～図3.1.8(b)に示す。

分散分析表及び要因効果図から付着力、tan δでは特に劣化要因は認められない。割れの場合には昇温・降温速度の効果が大である。

表 3.3 初期付着力

防食仕様 No.	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
1	9	A/C 凝集破壊
2	15	I Z 凝集破壊
3	30	A/C 凝集破壊
4	29	凝集破壊
5	23	I Z 凝集破壊
6	41	凝集破壊
7	31	接着剤面
8	25	接着剤面

表 3.4 促進耐候性試験後の付着力

室内温度	防食仕様 No.	168 hrs		400 hrs		600 hrs	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
40°C	1	18	A/C凝集破壊	20	A/C凝集破壊	29	A/C凝集破壊
	2	20	接着剤面	16	I Z 凝集破壊	23	接着剤面
	3	37	A/C凝集破壊	38	接着剤面	38	接着剤面
	4	28	接着剤面	33	接着剤面	32	接着剤面
	5	26	I Z 凝集破壊	19	I Z 凝集破壊	21	I Z 凝集破壊
	6	38	接着剤面	27	接着剤面	27	接着剤面
	7	45	接着剤面	38	接着剤面	32	接着剤面
	8	24	接着剤面	19	凝集破壊	29	凝集破壊
60°C	1	33	接着剤面	22	接着剤面	27	接着剤面
	2	21	接着剤面	18	接着剤面	18	接着剤面
	3	35	接着剤面	35	接着剤面	35	接着剤面
	4	20	接着剤面	29	接着剤面	28	接着剤面
	5	28	接着剤面	21	I Z 凝集破壊	35	I Z 凝集破壊
	6	29	接着剤面	29	接着剤面	29	接着剤面
	7	25	接着剤面	32	接着剤面	28	接着剤面
	8	19	凝集破壊	17	凝集破壊	18	凝集破壊

表 3.5 0.3% 塩水浸漬後の付着力 (空気吹込み)

浸漬温度	防食仕様 No	1週間		1箇月		3箇月	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
常温	1	1.5	A/C凝集破壊	2.5	A/C凝集破壊	1.9	A/C凝集破壊
	2	2.4	IZ凝集破壊	1.8	IZ凝集破壊	1.7	IZ凝集破壊
	3	3.1	A/C IZ凝集破壊	3.4	A/C凝集破壊	2.8	A/C凝集破壊
	4	3.4	凝集破壊	3.1	接着剤面	2.7	凝集破壊
	5	2.8	IZ凝集破壊	2.2	凝集破壊	2.1	凝集破壊
	6	4.2	凝集破壊	4.2	接着剤面	3.3	接着剤面
	7	3.0	接着剤面	4.0	接着剤面	4.3	接着剤面
	8	8	凝集破壊	1.3	凝集破壊	9	凝集破壊
40°C	1	2.7	接着剤面	3.1	IZ凝集破壊	2.2	A/C凝集破壊
	2	2.1	IZ凝集破壊	2.0	IZ凝集破壊	1.7	IZ凝集破壊
	3	3.3	A/C凝集破壊	5.8	A/C凝集破壊	3.1	素地
	4	3.3	凝集破壊	3.3	凝集破壊	2.8	凝集破壊
	5	1.6	IZ凝集破壊	2.7	IZ凝集破壊	1.8	IZ凝集破壊
	6	3.5	凝集破壊	5.0	凝集破壊	2.9	接着剤面
	7	3.1	凝集破壊	5.0	接着剤面	3.0	接着剤面
	8	1.3	凝集破壊	1.8	凝集破壊	7	凝集破壊
60°C	1	3.0	A/C凝集破壊	3.1	A/C凝集破壊	2.8	A/C凝集破壊
	2	2.0	IZ凝集破壊	2.7	IZ凝集破壊	1.3	IZ凝集破壊
	3	4.5	A/C凝集破壊	3.5	素地	3.3	素地
	4	3.2	凝集破壊	3.3	凝集破壊	2.5	凝集破壊
	5	2.3	A/C~V(中塗) 層間はく離	2.5	A/C~V(中塗) 層間はく離	2.2	A/C~V(中塗) 層間はく離
	6	3.2	接着剤面	6.7	接着剤面	2.4	接着剤面
	7	3.2	接着剤面	2.6	素地	3.2	素地
	8	1.1	凝集破壊	2.5	凝集破壊	9	凝集破壊

表 3.6 3% 塩水浸漬後の付着力(空気吹込み)

浸漬温度	防食仕様 No.	1週間		1箇月		3箇月	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
常温	1	13	A/C凝集破壊	21	A/C凝集破壊	15	A/C凝集破壊
	2	20	I Z凝集破壊	17	I Z凝集破壊	22	I Z凝集破壊
	3	26	A/C凝集破壊	34	接着剤面	35	A/C凝集破壊
	4	30	凝集破壊	35	凝集破壊	24	凝集破壊
	5	28	I Z凝集破壊	26	I Z凝集破壊	21	I Z凝集破壊
	6	42	凝集破壊	45	接着剤面	26	接着剤面
	7	45	接着剤面	19	接着剤面	35	接着剤面
	8	25	接着剤面	10	凝集破壊	11	凝集破壊
40°C	1	32	A/C凝集破壊	23	I Z凝集破壊	29	A/C凝集破壊
	2	16	I Z凝集破壊	25	I Z凝集破壊	22	I Z凝集破壊
	3	35	A/C凝集破壊	50	A/C凝集破壊	33	A/C凝集破壊
	4	34	接着剤面	35	凝集破壊	33	凝集破壊
	5	17	I Z凝集破壊	24	A/C凝集破壊	25	V(中塗) 凝集破壊
	6	32	凝集破壊	50	凝集破壊	33	接着剤面
	7	36	接着剤面	65	接着剤面	27	接着剤面
	8	17	凝集破壊	25	凝集破壊	16	凝集破壊
60°C	1	33	I Z凝集破壊	34	A/C凝集破壊	31	A/C凝集破壊
	2	27	I Z凝集破壊	19	I Z凝集破壊	17	I Z凝集破壊
	3	45	T/S凝集破壊	35	接着剤面	23	素地
	4	34	凝集破壊	34	凝集破壊	33	凝集破壊
	5	28	I Z凝集破壊	28	I Z凝集破壊	23	I Z凝集破壊
	6	33	凝集破壊	50	接着剤面	47	凝集破壊
	7	33	接着剤面	31	素地	27	接着剤面
	8	21	凝集破壊	15	凝集破壊	15	凝集破壊

表 3.7 10% 塩水浸漬後の付着力(空気吹込み)

浸漬温度	防食仕様 No.	1週間		1箇月		3箇月	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
常温	1	19	A/C凝集破壊	30	A/C凝集破壊	24	A/C凝集破壊
	2	29	I Z 凝集破壊	19	I Z 凝集破壊	23	I Z 凝集破壊
	3	33	A/C凝集破壊	35	A/C凝集破壊	29	接着剤面
	4	33	凝集破壊	34	接着剤面	30	接着剤面
	5	22	I Z 凝集破壊	27	I Z 凝集破壊	17	I Z 凝集破壊
	6	47	凝集破壊	48	凝集破壊	30	接着剤面
	7	42	接着剤面	35	接着剤面	35	接着剤面
	8	11	凝集破壊	17	凝集破壊	9	凝集破壊
40°C	1	25	A/C凝集破壊	20	A/C凝集破壊	28	A/C凝集破壊
	2	21	I Z 凝集破壊	14	I Z 凝集破壊	16	I Z 凝集破壊
	3	38	A/C凝集破壊	24	接着剤面	35	A/C凝集破壊
	4	34	凝集破壊	27	接着剤面	32	凝集破壊
	5	21	I Z 凝集破壊	16	I Z 凝集破壊	28	I Z 凝集破壊
	6	40	凝集破壊	18	接着剤面	30	接着剤面
	7	33	接着剤面	25	接着剤面	37	接着剤面
	8	14	凝集破壊	16	凝集破壊	8	凝集破壊
60°C	1	30	A/C凝集破壊	26	接着剤面	29	A/C凝集破壊
	2	17	I Z 凝集破壊	12	I Z 凝集破壊	14	I Z 凝集破壊
	3	42	A/C凝集破壊	29	接着剤面	27	素地
	4	35	凝集破壊	22	接着剤面	30	凝集破壊
	5	22	I Z 凝集破壊	22	A/C凝集破壊	16	I Z 凝集破壊
	6	35	凝集破壊	22	接着剤面	35	凝集破壊
	7	35	接着剤面	27	接着剤面	37	接着剤面
	8	20	凝集破壊	23	凝集破壊	9	凝集破壊

表 3.8 0.3% 塩水浸漬後の付着力 (O₂吹き込み)

浸漬温度	防食仕様 No.	1週間		1箇月		3箇月	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
常温	1	20	A/C凝集破壊	12	A/C凝集破壊	15	A/C凝集破壊
	2	20	I Z 凝集破壊	24	I Z 凝集破壊	20	I Z 凝集破壊
	3	34	A/C凝集破壊	25	A/C凝集破壊	38	A/C凝集破壊
	4	31	凝集破壊	25	接着剤面	22	接着剤面
	5	29	I Z 凝集破壊	16	I Z 凝集破壊	15	V(中塗) 凝集破壊
	6	48	凝集破壊	30	接着剤面	23	接着剤面
	7	40	接着剤面	28	接着剤面	25	接着剤面
	8	12	凝集破壊	11	凝集破壊	10	凝集破壊
40°C	1	26	A/C凝集破壊	26	A/C凝集破壊	30	A/C凝集破壊
	2	21	I Z 凝集破壊	20	I Z 凝集破壊	18	I Z 凝集破壊
	3	43	A/C凝集破壊	43	接着剤面	40	接着剤面
	4	32	接着剤面	38	凝集破壊	28	凝集破壊
	5	20	I Z 凝集破壊	22	A/C~V(中塗) 層間はく離	25	I Z 凝集破壊
	6	38	接着剤面	27	接着剤面	30	接着剤面
	7	38	接着剤面	17	接着剤面	22	接着剤面
	8	18	凝集破壊	12	凝集破壊	8	凝集破壊
60°C	1	33	接着剤面	27	A/C凝集破壊	28	A/C凝集破壊
	2	19	I Z 凝集破壊	17	I Z 凝集破壊	17	TE 凝集破壊
	3	35	T/S凝集破壊	29	素地	26	接着剤面
	4	35	凝集破壊	35	凝集破壊	16	凝集破壊
	5	13	A/C~V(中塗) 層間はく離	25	A/C~V(中塗) 層間はく離	25	A/C~V(中塗) 層間はく離
	6	33	凝集破壊	30	接着剤面	22	接着剤面
	7	42	接着剤面	22	接着剤面	14	接着剤面
	8	11	凝集破壊	8	凝集破壊	11	凝集破壊

表 3.9 3% 塩水浸漬後の付着力 (O₂吹き込み)

浸漬温度	防食仕様 No.	1週間		1箇月		3箇月	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
常温	1	18	A/C凝集破壊	10	A/C凝集破壊	25	A/C凝集破壊
	2	20	I Z 凝集破壊	23	I Z 凝集破壊	23	I Z 凝集破壊
	3	32	A/C凝集破壊	31	A/C凝集破壊	33	A/C凝集破壊
	4	30	凝集破壊	27	凝集破壊	21	接着剤面
	5	30	I Z 凝集破壊	22	I Z 凝集破壊	18	I Z 凝集破壊
	6	42	凝集破壊	33	接着剤面	24	接着剤面
	7	38	接着剤面	33	接着剤面	24	接着剤面
	8	12	凝集破壊	8	凝集破壊	7	凝集破壊
40°C	1	28	接着剤面	25	A/C凝集破壊	25	A/C凝集破壊
	2	13	I Z 凝集破壊	23	I Z 凝集破壊	14	I Z 凝集破壊
	3	29	A/C凝集破壊	47	接着剤面	43	T/S凝集破壊
	4	33	凝集破壊	29	凝集破壊	27	接着剤面
	5	19	I Z 凝集破壊	18	I Z 凝集破壊	23	I Z 凝集破壊
	6	32	凝集破壊	18	接着剤面	27	接着剤面
	7	37	接着剤面	24	接着剤面	28	接着剤面
	8	18	凝集破壊	15	凝集破壊	13	凝集破壊
60°C	1	26	A/C凝集破壊	31	A/C凝集破壊	30	A/C凝集破壊
	2	16	I Z 凝集破壊	23	I Z 凝集破壊	12	I Z 凝集破壊
	3	52	A/C凝集破壊	48	T/S凝集破壊	43	T/S凝集破壊
	4	34	凝集破壊	33	凝集破壊	30	凝集破壊
	5	30	I Z 凝集破壊	27	A/C凝集破壊	22	I Z 凝集破壊
	6	34	凝集破壊	25	接着剤面	28	接着剤面
	7	32	接着剤面	27	接着剤面	31	接着剤面
	8	19	凝集破壊	14	凝集破壊	18	凝集破壊

表 3.10 10% 塩水浸漬後の付着力 (O₂吹き込み)

浸漬温度	防食仕様 No.	1週間		1箇月		3箇月	
		付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所	付着力 kgf/cm ²	破壊箇所
常温	1	2.5	A/C凝集破壊	1.4	A/C凝集破壊	1.7	A/C凝集破壊
	2	2.1	I Z 凝集破壊	2.0	I Z 凝集破壊	1.5	I Z 凝集破壊
	3	2.8	A/C凝集破壊	3.2	A/C凝集破壊	3.2	A/C凝集破壊
	4	3.0	凝集破壊	3.2	凝集破壊	2.7	凝集破壊
	5	3.3	I Z 凝集破壊	2.9	I Z 凝集破壊	2.6	I Z 凝集破壊
	6	4.3	凝集破壊	2.4	接着剤面	1.9	接着剤面
	7	5.7	接着剤面	3.4	接着剤面	2.6	接着剤面
	8	1.0	凝集破壊	8	凝集破壊	8	凝集破壊
40°C	1	2.8	A/C凝集破壊	3.5	A/C凝集破壊	3.1	A/C凝集破壊
	2	2.0	I Z 凝集破壊	2.1	I Z 凝集破壊	1.4	I Z 凝集破壊
	3	3.4	A/C凝集破壊	4.7	A/C凝集破壊	4.8	A/C凝集破壊
	4	3.2	接着剤面	3.8	凝集破壊	2.2	接着剤面
	5	1.8	I Z 凝集破壊	2.7	I Z 凝集破壊	2.4	I Z 凝集破壊
	6	3.3	凝集破壊	2.2	接着剤面	2.6	接着剤面
	7	3.5	接着剤面	2.2	接着剤面	3.3	接着剤面
	8	1.3	凝集破壊	1.5	凝集破壊	1.1	凝集破壊
60°C	1	3.3	A/C凝集破壊	3.1	A/C凝集破壊	3.2	A/C凝集破壊
	2	2.2	I Z 凝集破壊	1.7	I Z 凝集破壊	1.6	I Z 凝集破壊
	3	5.8	A/C凝集破壊	3.4	素地	4.2	上塗凝集破壊
	4	3.7	接着剤面	3.7	接着剤面	3.3	接着剤面
	5	3.2	I Z 凝集破壊	2.3	A/C凝集破壊	1.9	I Z 凝集破壊
	6	3.5	凝集破壊	3.0	接着剤面	3.3	接着剤面
	7	4.0	接着剤面	3.4	接着剤面	2.7	接着剤面
	8	1.4	凝集破壊	1.8	凝集破壊	8	凝集破壊

表 3.11 初期及び促進耐候性試験後の体積抵抗率

室内温度	防食仕様 No	初期	168 hrs	400 hrs	600 hrs
40°C	1	∞	∞	∞	∞
	2	∞	∞	∞	∞
	3	∞	∞	∞	∞
	4	∞	∞	∞	∞
	5	∞	∞	∞	∞
	6	∞	∞	∞	∞
	7	∞	∞	∞	∞
	8	∞	∞	∞	∞
60°C	1	∞	∞	∞	∞
	2	∞	∞	∞	∞
	3	∞	∞	∞	∞
	4	∞	∞	∞	∞
	5	∞	∞	∞	∞
	6	∞	∞	∞	∞
	7	∞	∞	∞	∞
	8	∞	∞	∞	∞

表 3.12 初期及び 0.3% 塩水浸漬後の体積抵抗率

(×10 $\Omega \cdot \text{cm}$)

浸漬温度	防食仕様 No	空気吹き込み				O ₂ 吹き込み			
		初期	1週間	1箇月	3箇月	初期	1週間	1箇月	3箇月
常温	1	∞	∞	∞	82.6	∞	∞	∞	10
	2	∞	541.4	216.6	32.8	∞	108.3	216.6	5.4
	3	∞	196.3	78.5	39.3	∞	82.6	137.7	41.3
	4	∞	280.4	93.5	3.5	∞	58.2	40.3	3.1
	5	∞	35.3	35.3	1.2	∞	17.5	16.6	0.95
	6	∞	∞	∞	0.27	∞	56.1	∞	0.15
	7	∞	∞	∞	0.87	∞	285.5	∞	0.44
	8	∞	130.8	14	0.52	∞	130.8	21.8	0.4
40°C	1	∞	∞	∞	196.3	∞	∞	∞	134.2
	2	∞	506.5	∞	40.5	∞	290.7	∞	232.6
	3	∞	∞	∞	137.7	∞	413.2	∞	275.4
	4	∞	133.1	177.4	5.9	∞	85.8	128.7	17.2
	5	∞	10.6	145.4	2.1	∞	6.5	166.1	58.1
	6	∞	20.9	9.5	0.065	∞	7	7	0.13
	7	∞	71	6.3	0.26	∞	15.4	6.5	0.49
	8	∞	3.4	0.28	0.016	∞	1.3	0.22	0.024
60°C	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3.1
	2	∞	∞	∞	72.2	∞	∞	112.1	224.3
	3	∞	∞	∞	130.8	∞	∞	∞	29.9
	4	∞	∞	∞	27.1	∞	523.3	523.3	26.2
	5	∞	6.6	224.3	86.3	∞	120.3	77.4	25.8
	6	∞	2.8	1.2	0.31	∞	1.1	8.3	0.72
	7	∞	7	12.5	1.1	∞	3.6	7	1.1
	8	∞	0.013	0.0074	0.0055	∞	0.0062	0.0043	0.0032

表 3.13 初期及び3% 塩水浸漬後の体積抵抗率

(×10¹⁰ Ω・cm)

浸漬温度	防食仕様 No.	空気吹込み				O ₂ 吹き込み			
		初期	1週間	1箇月	3箇月	初期	1週間	1箇月	3箇月
常温	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	436.1
	2	∞	∞	216.6	154.7	∞	224.3	20	24.9
	3	∞	∞	206.6	413.2	∞	106.8	149.5	16.6
	4	∞	∞	128.7	39.6	∞	84.4	16.9	3.2
	5	∞	∞	186.9	5.9	∞	27.1	906.8	2.6
	6	∞	∞	∞	8.7	∞	108.3	108.3	0.39
	7	∞	∞	∞	5.9	∞	285.5	57.1	0.41
	8	∞	∞	10.5	0.35	∞	47.6	22	0.95
40°C	1	∞	∞	∞	21.8	∞	∞	224.3	1.5
	2	∞	981.3	245.3	32.7	∞	1012.9	1012.9	67.5
	3	∞	∞	∞	12.8	∞	∞	∞	46.2
	4	∞	168.8	84.4	9.2	∞	177.4	266.1	13.3
	5	∞	19.7	93.4	7	∞	10.6	41.5	11.6
	6	∞	112.1	1.1	0.11	∞	1.5	1.2	0.052
	7	∞	104.7	1.1	0.63	∞	12.6	5.2	0.48
	8	∞	0.27	0.38	0.022	∞	0.16	0.17	0.012
60°C	1	∞	∞	∞	87.7	∞	∞	∞	26.8
	2	∞	∞	∞	224.3	∞	∞	∞	21.7
	3	∞	∞	3.4	6.7	∞	∞	∞	16.1
	4	∞	∞	∞	29.6	∞	∞	805.1	3.6
	5	∞	19	15.2	8.3	∞	26.2	7.5	1.7
	6	∞	4.5	12.5	5.8	∞	2.7	4.1	0.3
	7	∞	14	24.9	3.3	∞	11.4	23.8	0.48
	8	∞	0.011	0.0036	0.0012	∞	0.049	0.003	0.0015

表 3.14 初期及び 10% 塩水浸漬後の体積抵抗率
($10^{10} Q \cdot cm$)

浸漬温度	防食仕様 No.	空気吹込み				O_2 吹き込み			
		初期	1週間	1箇月	3箇月	初期	1週間	1箇月	3箇月
常温	1	∞	∞	∞	242.2	∞	∞	∞	169.7
	2	∞	174.5	174.5	7.2	∞	209.3	209.3	26.2
	3	∞	392.5	392.5	10.3	∞	82.6	413.2	33.1
	4	∞	177.4	66.5	1.9	∞	130.8	47.6	5.2
	5	∞	261.7	261.7	0.37	∞	154.7	360.9	0.83
	6	∞	101.3	∞	0.36	∞	∞	20.9	0.42
	7	∞	130.8	∞	1.1	∞	∞	314	1.4
	8	∞	130.8	17.4	0.37	∞	∞	23.3	0.65
40°C	1	∞	∞	826.3	41.3	∞	∞	∞	174.4
	2	∞	1046.7	523.3	19	∞	1082.8	∞	72.2
	3	∞	∞	∞	157	∞	∞	∞	5.9
	4	∞	257.4	514.8	8.6	∞	183.6	68.9	3.9
	5	∞	154.7	72.2	5.4	∞	216.6	54.1	3.2
	6	∞	∞	22.4	0.22	∞	∞	4.8	0.35
	7	∞	261.7	37.4	1.1	∞	39.3	0.42	4.2
	8	∞	3.5	0.013	0.024	∞	4.4	0.49	0.064
60°C	1	∞	∞	∞	∞	∞	78.5	∞	21.2
	2	∞	∞	∞	1046.7	∞	897.1	∞	112.1
	3	∞	∞	∞	∞	∞	765.9	765.9	191.5
	4	∞	270.7	∞	49.2	∞	168.8	∞	3.6
	5	∞	44.9	29.5	3	∞	25.2	9.8	4.7
	6	∞	7.5	22.4	0.8	∞	6.8	15.4	0.31
	7	∞	78.5	104.7	3.7	∞	1.7	4.4	2.6
	8	∞	0.65	0.1	0.0057	∞	0.18	0.085	0.0032

結果説明

	500 Hz	1000 Hz
初期	△-△	▲-▲
600	□-□	■-■

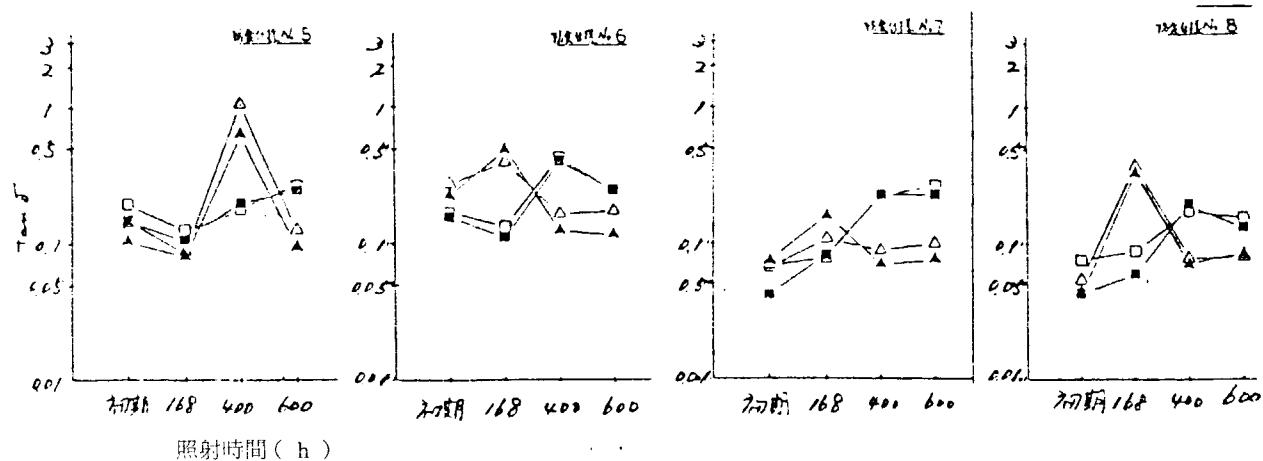
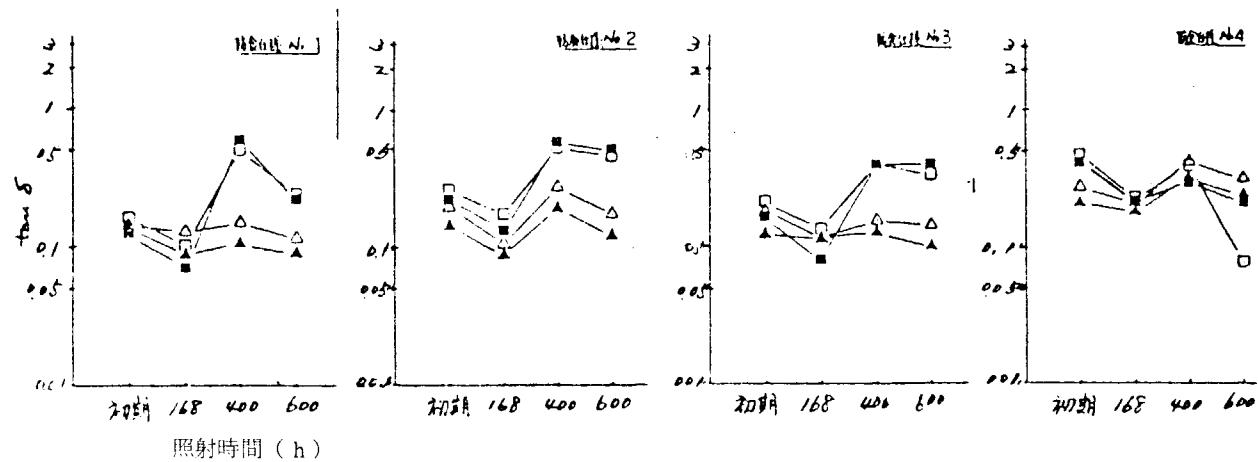


図 3.8 促進耐候性試験における $\tan \delta$ の経時変化

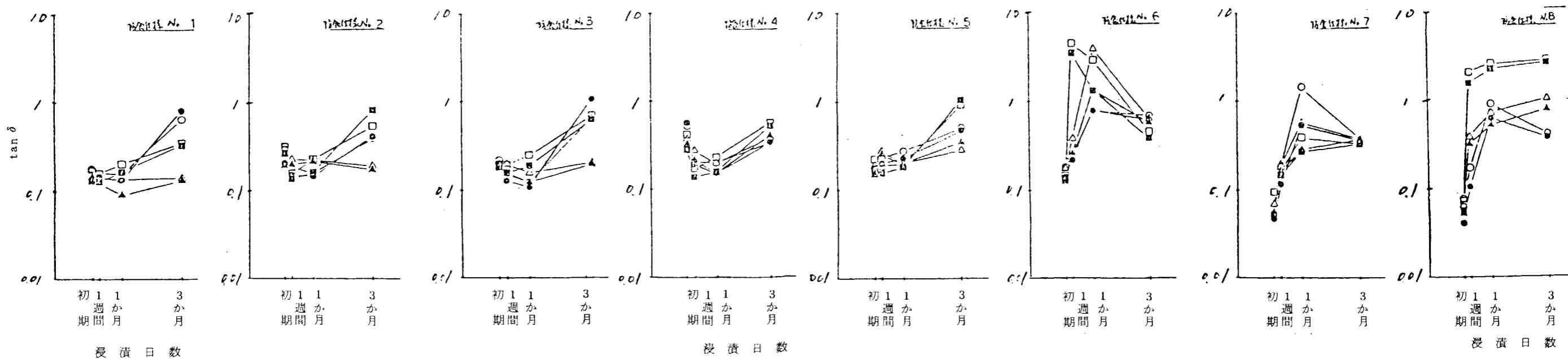
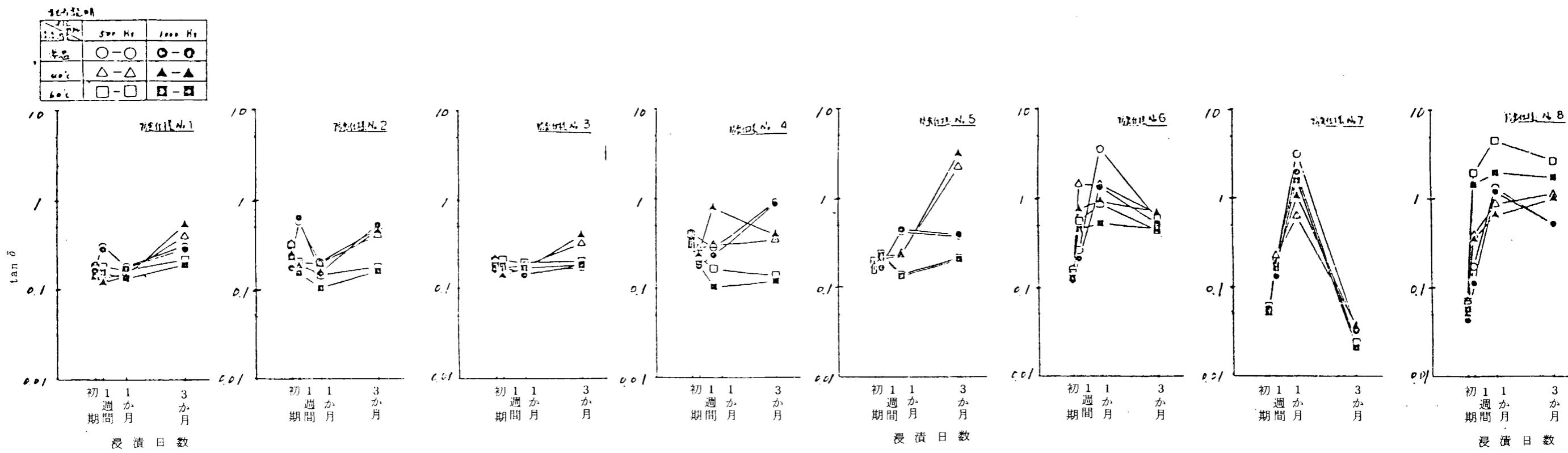


図 3.9 0.3 % 塩水浸漬における $\tan \delta$ の経時変化

上段空気
下段O₂

吹き込み

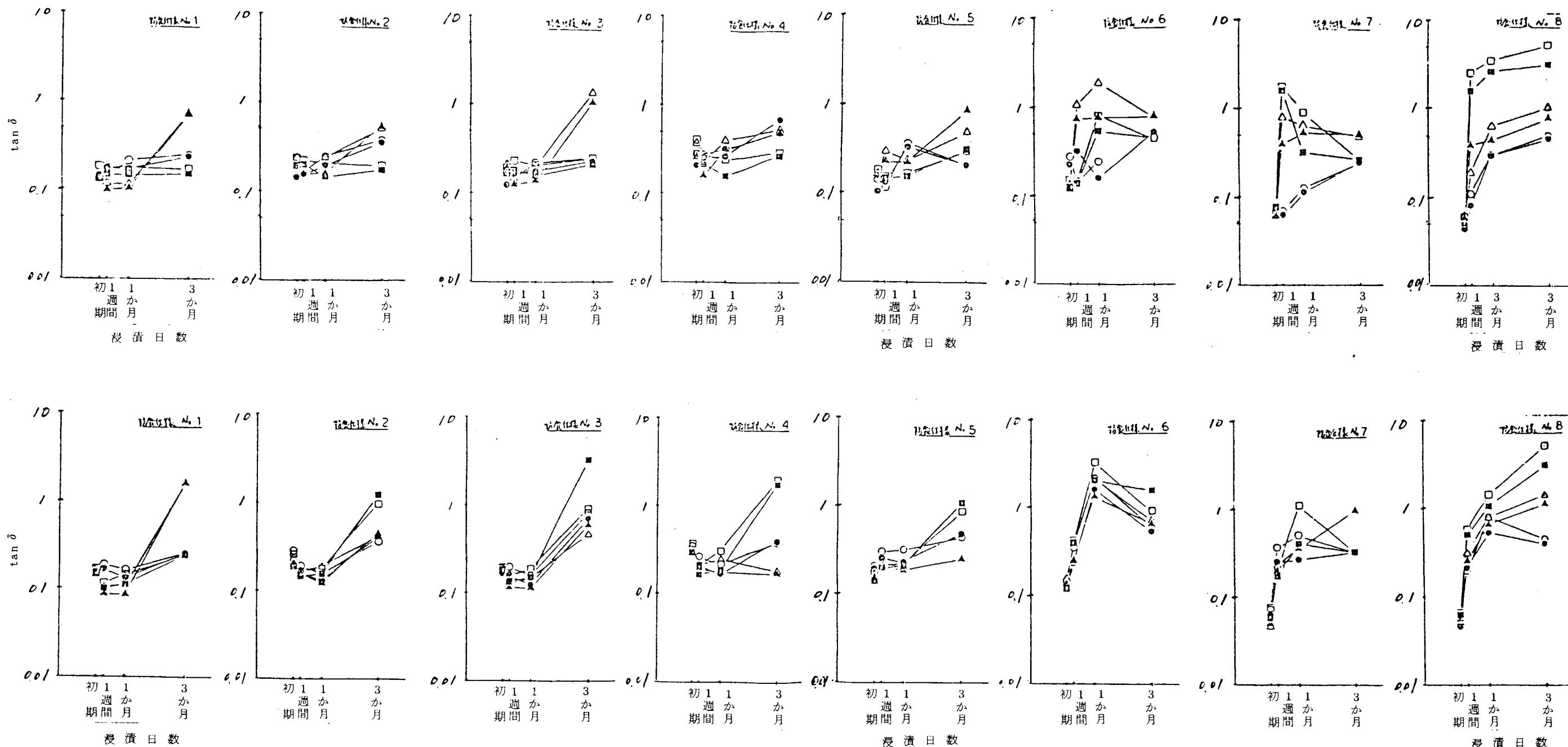


図 3.10 3 % 塩水 浸漬における $\tan \delta$ の経時変化
上段 空気 吹き込み
下段 O_2

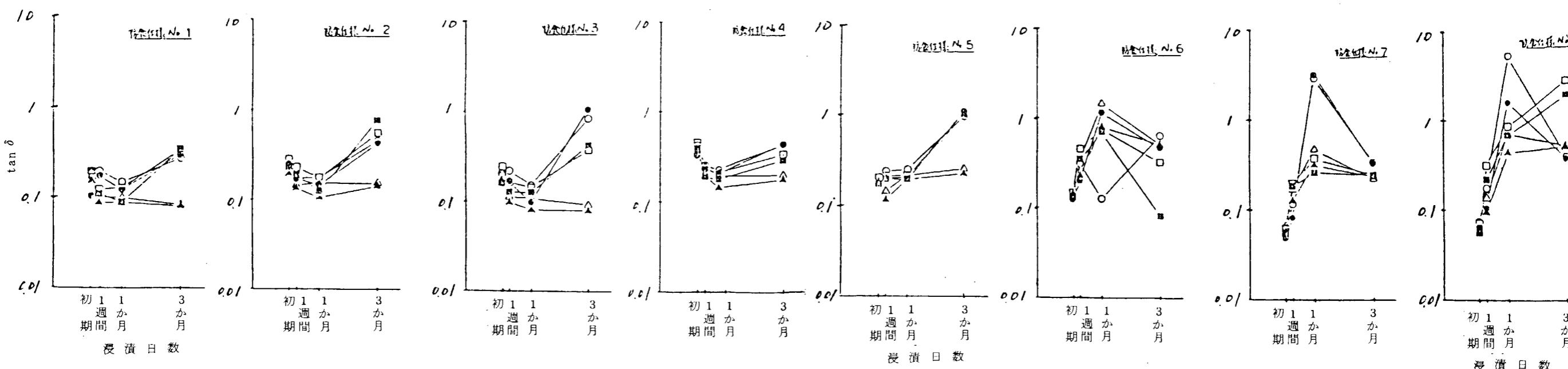
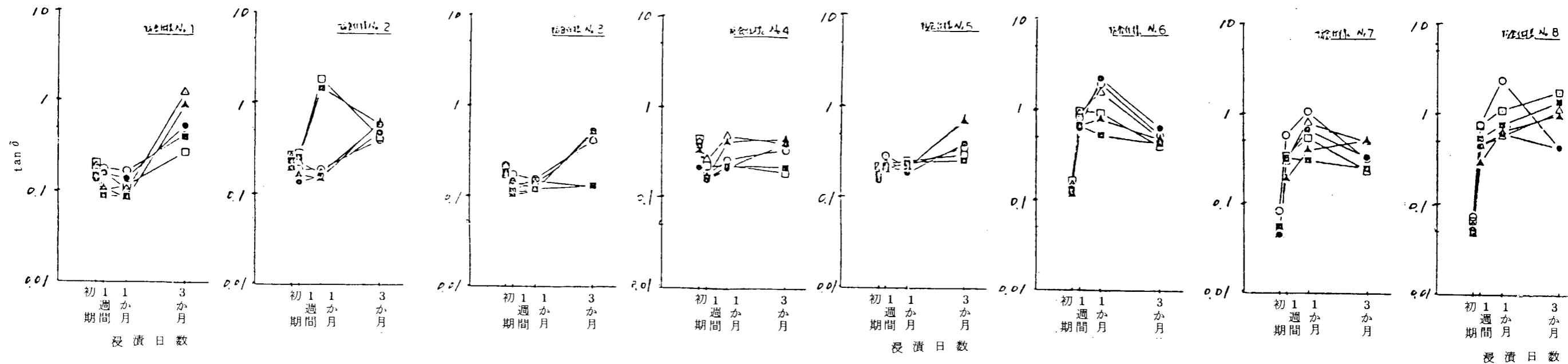


図 3.11 10% 塩水浸漬における $\tan \delta$ の経時変化
上段空気 吹き込み
下段 O_2

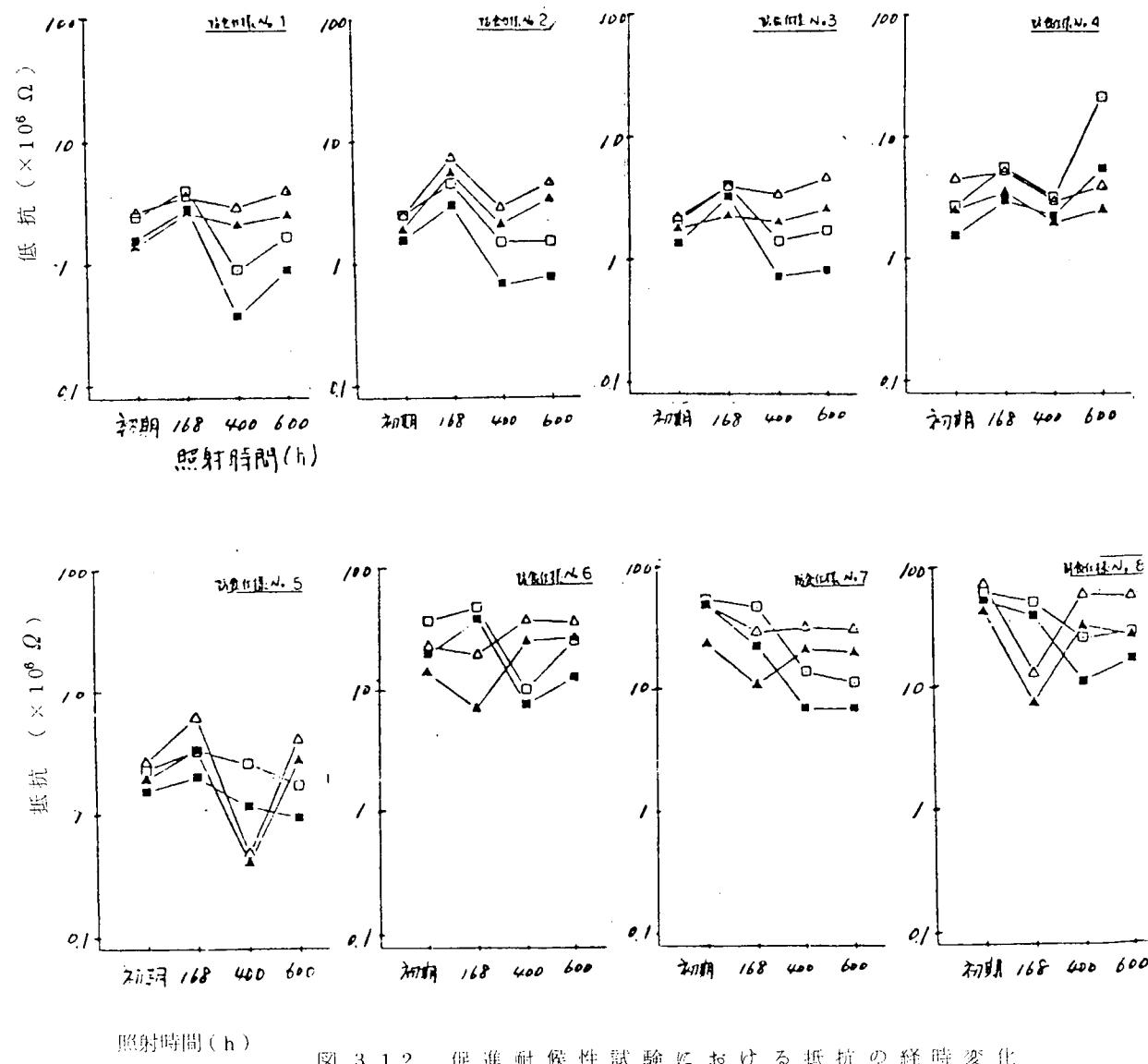


図 3.1.2 促進耐候性試験における抵抗の経時変化

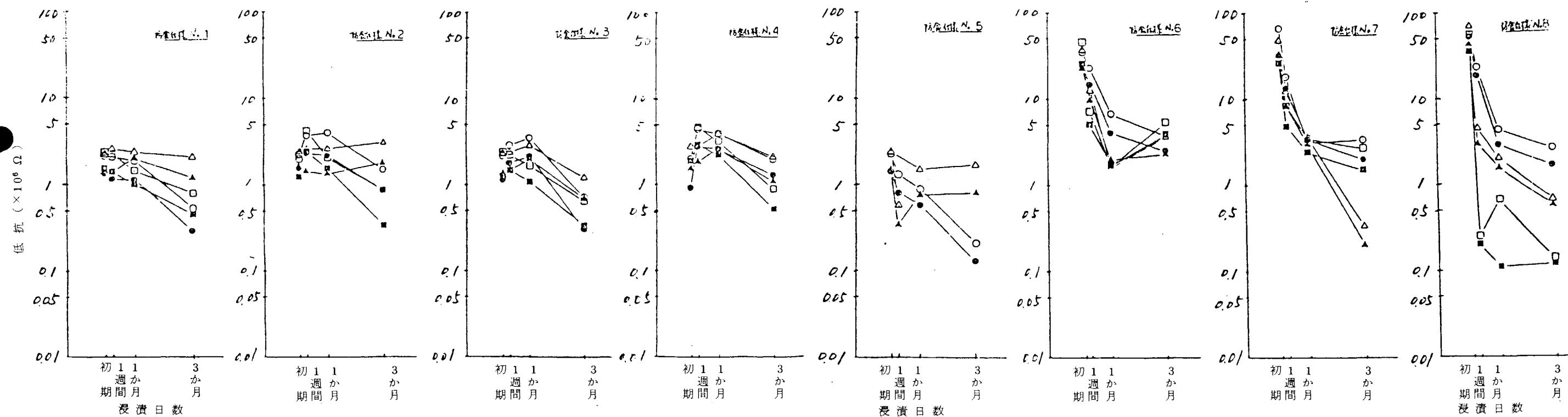
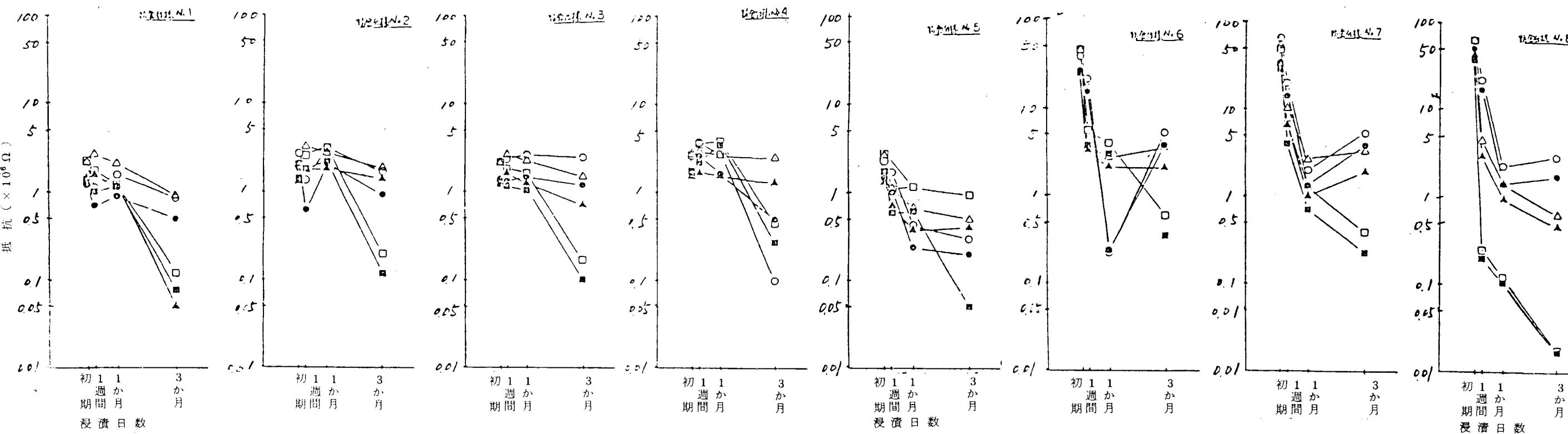


図 3.13 0.3 % 塩水浸漬における抵抗の経時変化
上段 空気 下段 O_2 吹き込み

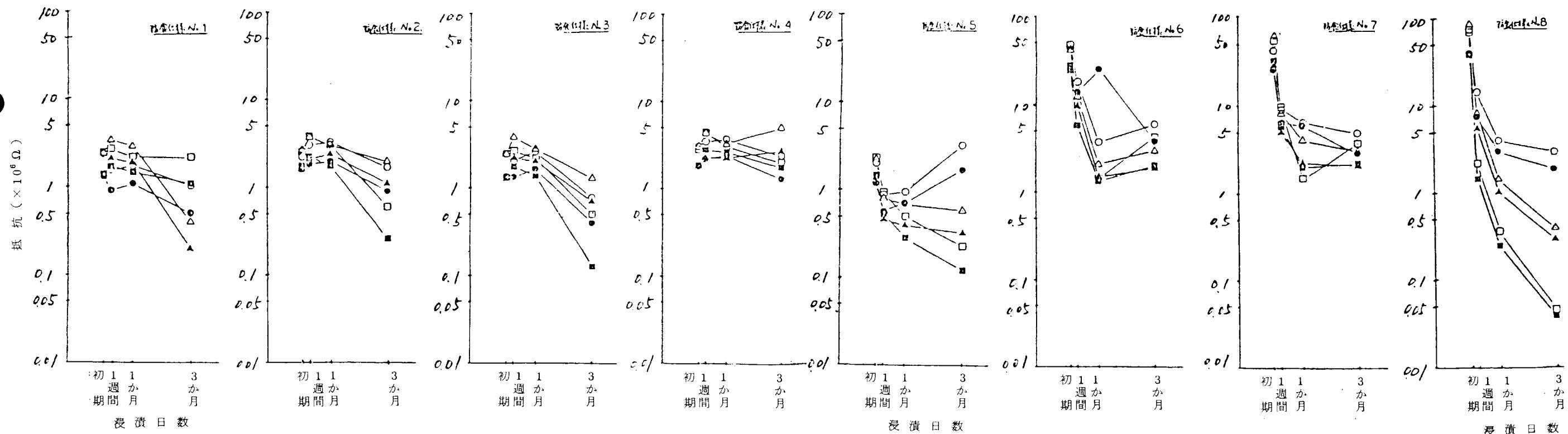
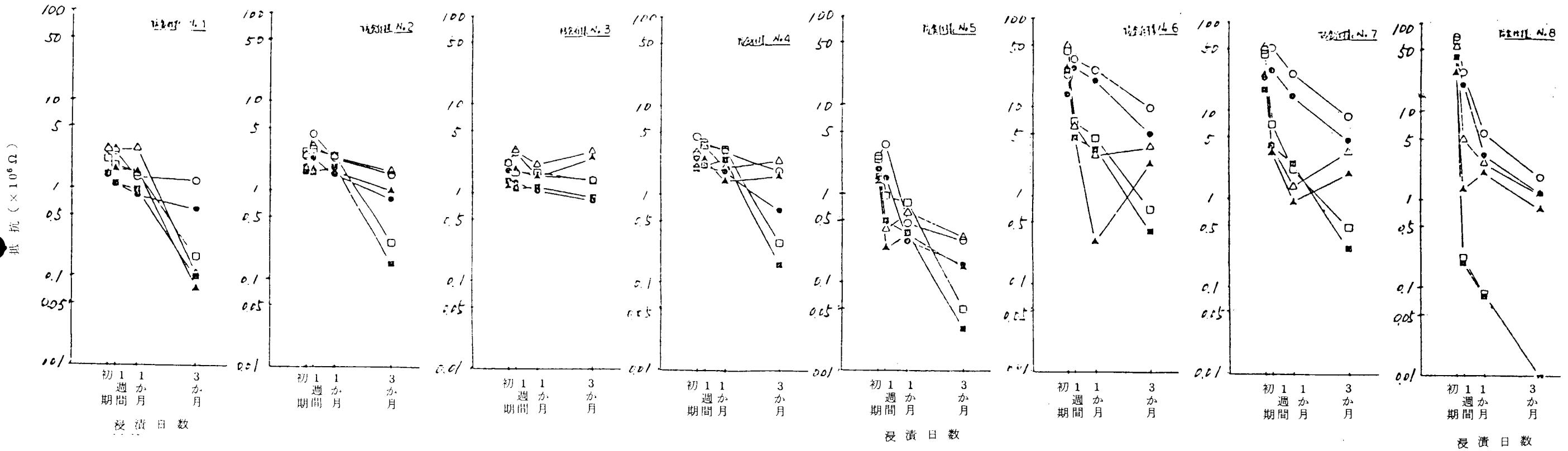


図 3.1.4 3 % 塩水浸漬における抵抗の経時変化
上段空気 下段O₂ 吹き込み

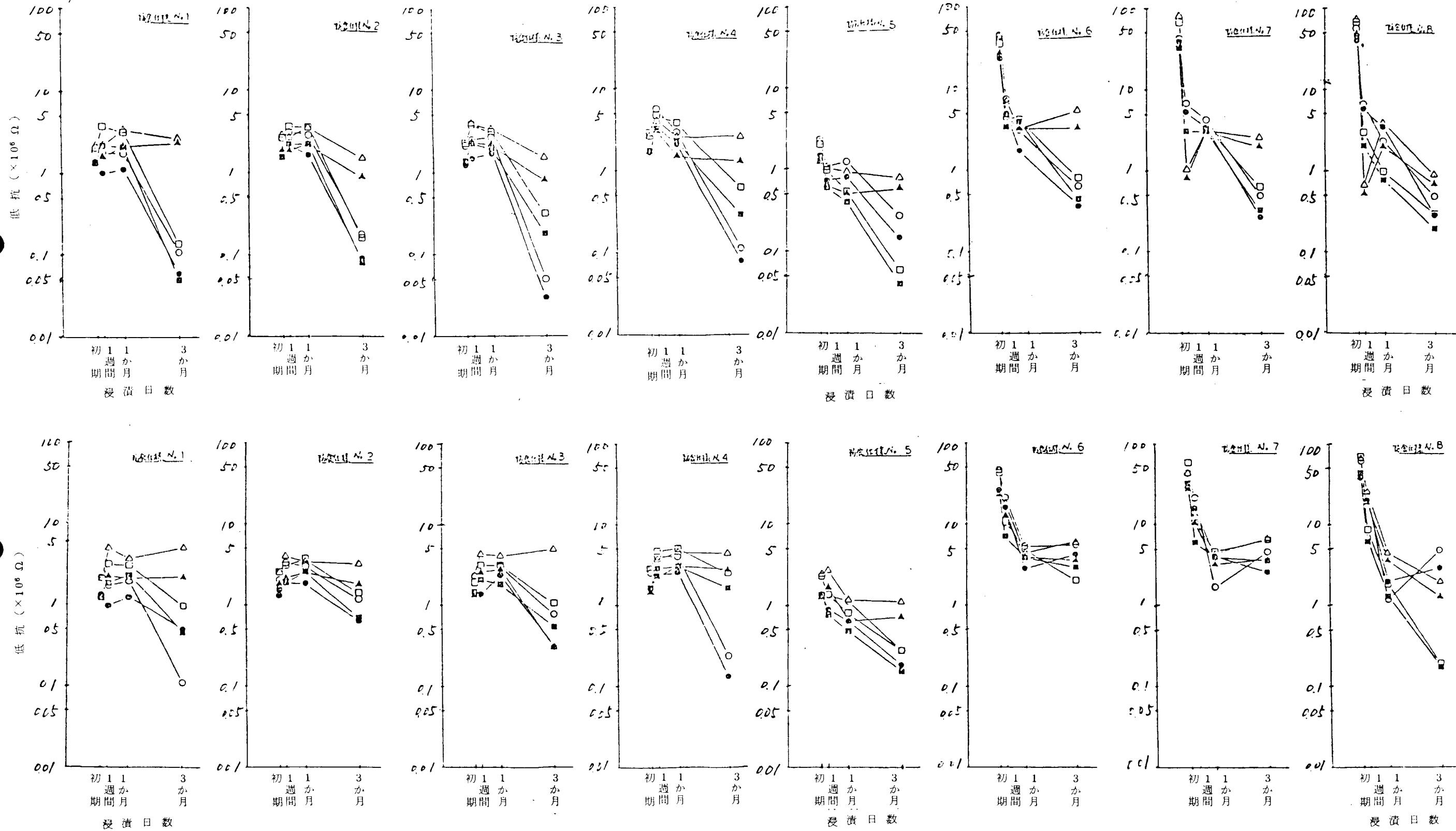


図 3.15 10 % 塩水浸漬における抵抗の経時変化 $\frac{\text{上段空気}}{\text{下段} \text{O}_2}$ 吹き込み

表 3.1.5 初期及び促進耐候性試験後の引張強度

No.	防食仕様	室 内 温 度	引 張 強 度 (kgf/cm ²)			伸 び (mm/標点距離40mm)		
			初 期	168時間	400時間	600時間	初 期	168時間
3	40°C	209	285	331	267	2.4	0.6	0.6
			—	—	—		—	—
4	40°C	115	141	165	136	1.5	0.55	0.8
			—	132	—		—	0.3
6	40°C	155	162	160	160	1.7	0.35	0.5
			160	156	—		0.5	0.35
								—

表 3.1.6 初期及び塩水浸漬後の引張強度 (常温, 空気吹込み)

No.	NaCl 濃度(%)	引 張 強 度 (kgf/cm ²)				伸 び (mm/標点距離40mm)			
		初 期	1週間	1か月	3か月	初 期	1週間	1か月	3か月
3	0.3	209	215	287	233	2.4	0.45	0.5	0.35
	3		267	272	302		0.6	0.55	0.6
	10		277	266	260		0.6	0.5	0.4
4	0.3	115	112	120	118	1.5	1.05	1.2	0.7
	3		105	116	211		0.8	1.0	0.9
	10		121	126	122		0.7	0.7	0.55
6	0.3	155	156	157	144	1.7	0.6	0.55	0.4
	3		143	127	165		0.65	0.6	0.5
	10		162	156	166		0.7	0.5	0.5

表 3.1.7 初期及び塩水浸漬後の引張強度 (40°C 空気吹込み)

防食仕様 No.	NaCl 濃度(%)	引張強度 (kg_f/cm^2)				伸び (mm/標点距離 40mm)			
		初期	1週間	1か月	3か月	初期	1週間	1か月	3か月
3	0.3	209	274	332	304	2.4	0.55	0.6	0.6
	3		245	298	246		0.45	0.5	0.4
	10		278	254	274		0.55	0.45	0.45
4	0.3	115	132	139	122	1.5	0.7	0.65	0.3
	3		124	144	161		0.8	0.6	0.6
	10		119	145	163		0.75	0.65	0.8
6	0.3	155	161	179	159	1.7	0.6	0.55	0.3
	3		141	183	167		0.6	0.6	0.3
	10		158	138	—		0.5	0.45	—

表 3.1.8 初期及び塩水浸漬後の引張強度 (60°C, 空気吹込み)

防食仕様 No.	NaCl 濃度(%)	引張強度 (kg_f/cm^2)				伸び (mm/標点距離 40mm)			
		初期	1週間	1か月	3か月	初期	1週間	1か月	3か月
3	0.3	209	277	244	258	2.4	0.45	0.5	0.5
	3		299	209	305		0.55	0.4	0.5
	10		270	314	326		0.45	0.55	0.5
4	0.3	115	104	148	180	1.5	0.2	0.45	0.4
	3		156	150	—		0.7	0.3	—
	10		145	196	162		0.55	0.5	0.3
6	0.3	155	184	184	176	1.7	0.6	0.6	0.4
	3		159	171	148		0.55	0.6	0.3
	10		175	142	132		0.5	0.35	0.3

表 3.19 初期及び塩水浸漬後の引張強度 (常温, O₂ 吹込み)

No.	NaCl 濃度(%)	引張強度 (kgf/cm ²)				伸び (mm/標点距離40mm)			
		初期	1週間	1か月	3か月	初期	1週間	1か月	3か月
3	0.3	209	276	260	285	2.4	0.6	0.45	0.5
	3		292	255	227		0.6	0.55	0.4
	10		253	260	243		0.4	0.4	0.4
4	0.3	115	118	124	118	1.5	1.0	1.35	0.4
	3		130	123	113		0.95	0.6	0.95
	10		132	106	110		0.8	0.65	0.45
6	0.3	155	147	145	161	1.7	0.55	0.65	0.45
	3		166	160	—		0.5	0.5	—
	10		157	162	138		0.45	0.6	0.4

表 3.20 初期及び塩水浸漬後の引張強度 (40℃, O₂ 吹込み)

No.	NaCl 濃度(%)	引張強度 (kgf/cm ²)				伸び (mm/標点距離40mm)			
		初期	1週間	1か月	3か月	初期	1週間	1か月	3か月
3	0.3	209	240	271	257	2.4	0.45	0.7	0.3
	3		295	294	307		0.55	0.6	0.4
	10		290	231	233		0.55	0.35	0.35
4	0.3	115	128	158	152	1.5	0.7	0.95	0.35
	3		121	152	125		1.05	0.7	0.2
	10		124	130	119		1.0	0.65	0.35
6	0.3	155	164	163	160	1.7	0.6	0.45	0.35
	3		136	151	130		0.5	0.4	0.2
	10		159	156	121		0.6	0.5	0.28

表 3.2.1 初期及び塩水浸漬後の引張強度 (60°C, O₂吹込み)

防食仕様 No.	NaCl 濃度(%)	引張強度 (kgf/cm ²)				伸び (mm/標点距離40mm)			
		初期	1週間	1か月	3か月	初期	1週間	1か月	3か月
3	0.3	209	221	179	253	2.4	0.35	0.2	0.3
	3		276	209	267		0.5	0.3	0.35
	10		286	254	254		0.6	0.35	0.35
4	0.3	115	161	231	135	1.5	0.65	1.5	0.2
	3		183	200	134		0.8	0.35	0.3
	10		143	143	132		0.7	0.25	0.2
6	0.3	155	171	168	155	1.7	0.55	0.45	0.33
	3		169	172	125		0.45	0.5	0.2
	10		163	140	135		0.45	0.4	0.35

表 3.2.2 ガス透過率測定結果 (防食仕様No.3)

(単位: $\frac{\text{cc} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}}$)

浸漬温度	初期	1週間	1か月	3か月
常温	4.05×10^{-11}	1.97×10^{-11}	1.51×10^{-11}	1.63×10^{-11}
60°C		2.90×10^{-11}	1.54×10^{-11}	1.45×10^{-11}

表 3.2.3 (a) 初期及び熱サイクル試験後の付着力 (防食仕様No.1)

熱サイクル No.	初期		試験後	
	付着力 kg_f/cm^2	破壊箇所	付着力 kg_f/cm^2	破壊箇所
1	9	A/C凝集破壊	11	A/C凝集破壊
2			12	A/C凝集破壊
3			11	A/C凝集破壊
4			11	A/C凝集破壊
5			10	A/C凝集破壊
6			9	A/C凝集破壊
7			14	A/C凝集破壊
8			11	A/C凝集破壊

表 3.2.3 (b) 初期及び熱サイクル試験後の付着力 (防食仕様No.2)

熱サイクル No.	初期		試験後	
	付着力 kg_f/cm^2	破壊箇所	付着力 kg_f/cm^2	破壊箇所
1	15	IZ凝集破壊	18	接着剤面
2			23	接着剤面
3			27	A/C凝集破壊
4			25	A/C凝集破壊
5			34	A/C凝集破壊
6			30	TE IZ }凝集破壊
7			19	TE IZ }凝集破壊
8			22	TE 凝集破壊

表 3.2.3 (c) 初期及び熱サイクル試験後の付着力 (防食仕様 No.3)

熱サイクル No.	初 期		試 驗 後	
	付 着 力 kg_f/cm^2	破 壊 箇 所	付 着 力 kg_f/cm^2	破 壊 箇 所
1	3.0	A/C 凝集破壊	3.2	A/C 凝集破壊
2			3.2	A/C 凝集破壊
3			3.4	A/C 凝集破壊
4			3.0	A/C 凝集破壊
5			3.4	A/C 凝集破壊
6			3.3	A/C 凝集破壊
7			3.1	A/C 凝集破壊
8			3.0	A/C 凝集破壊

表 3.2.3 (d) 初期及び熱サイクル試験後の付着力 (防食仕様 No.4)

熱サイクル No.	初 期		試 驗 後	
	付 着 力 kg_f/cm^2	破 壊 箇 所	付 着 力 kg_f/cm^2	破 壊 箇 所
1	2.9	凝集破壊	3.1	凝集破壊
2			3.0	接着剤面
3			5.8	凝集破壊
4			4.0	凝集破壊
5			5.3	凝集破壊
6			5.3	凝集破壊
7			3.5	凝集破壊
8			3.3	凝集破壊

表 3.2.3 (e) 初期及び熱サイクル試験後の付着力(防食仕様No.5)

熱サイクル No.	初期		試験後	
	付着力 kgf/cm^2	破壊箇所	付着力 kgf/cm^2	破壊箇所
1	2.3	IZ 凝集破壊	1.7	HB 凝集破壊
2			1.8	HB 凝集破壊
3			1.9	HB 凝集破壊
4			7	HB 凝集破壊
5			2.0	HB 凝集破壊
6			2.1	HB 凝集破壊
7			1.5	HB 凝集破壊
8			1.8	HB 凝集破壊

表 3.2.3 (f) 初期及び熱サイクル試験後の付着力(防食仕様No.6)

熱サイクル No.	初期		試験後	
	付着力 kgf/cm^2	破壊箇所	付着力 kgf/cm^2	破壊箇所
1	4.1	凝集破壊	3.5	凝集破壊
2			3.3	凝集破壊
3			5.0	凝集破壊
4			3.3	接着剤面
5			5.2	凝集破壊
6			3.0	接着剤面
7			6.0	凝集破壊
8			3.5	凝集破壊

表 3.2.3 (g) 初期及び熱サイクル試験後の付着力（防食仕様No.7）

熱サイクル No.	初 期		試 驗 後	
	付 着 力 kgf/cm^2	破 壊 箇 所	付 着 力 kgf/cm^2	破 壊 箇 所
1	31	接 着 剂 面	27	接 着 剂 面
2			30	接 着 剂 面
3			48	接 着 剂 面
4			45	接 着 剂 面
5			35	接 着 剂 面
6			47	接 着 剂 面
7			53	接 着 剂 面
8			50	接 着 剂 面

表 3.2.3 (h) 初期及び熱サイクル試験後の付着力（防食仕様No.8）

熱サイクル No.	初 期		試 驗 後	
	付 着 力 kgf/cm^2	破 壊 箇 所	付 着 力 kgf/cm^2	破 壊 箇 所
1	25	接 着 剂 面	11	接 着 剂 面
2			10	接 着 剂 面
3			12	接 着 剂 面
4			17	接 着 剂 面
5			14	接 着 剂 面
6			16	接 着 剂 面
7			18	接 着 剂 面
8			14	接 着 剂 面

表 3.2.4 (a) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス(防食仕様No.1)

熱サイクル No.	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$
1	8	1.56	0.255	8	0.69	0.29	8	2.5	0.159	8	1.06	0.187
2	8	1.5	0.265	8	0.75	0.265	8	2.25	0.177	8	1.0	0.199
3	8	1.5	0.265	8	0.75	0.265	7	1.79	0.255	7	0.86	0.265
4	8	1.56	0.255	8	0.75	0.265	7	1.92	0.236	7	0.93	0.245
5	8	1.5	0.265	8	0.75	0.265	8	2.13	0.187	8	1.0	0.199
6	8	1.56	0.255	8	0.75	0.265	8	2.06	0.193	8	1.0	0.199
7	8	1.5	0.265	8	0.75	0.265	8	2.1	0.187	8	1.13	0.177
8	8	1.5	0.265	8	0.75	0.265	7	1.86	0.245	7	0.86	0.265

表 3.2.4 (b) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス(防食仕様No.2)

熱サイクル No.	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$
1	5.5	1.55	0.375	5.5	0.73	0.398	5	22	0.29	5	1.2	0.265
2	5.5	1.64	0.354	5.5	0.76	0.379	5	2.2	0.29	5	1.1	0.29
3	5.5	1.45	0.398	5.5	0.73	0.398	5	2.0	0.318	5	0.9	0.354
4	5.5	1.55	0.375	5.5	0.82	0.354	4	2.13	0.375	4	0.875	0.455
5	5.5	1.55	0.375	5.5	0.73	0.398	5	2.0	0.318	5	0.9	0.354
6	5.5	1.36	0.425	5.5	0.65	0.44	5	2.1	0.303	5	1.0	0.318
7	5.5	1.55	0.375	5.5	0.73	0.398	5	1.5	0.335	5	0.9	0.354
8	5.5	1.64	0.354	5.5	0.73	0.398	5	2.2	0.29	5	0.8	0.398

表 3.2.4 (c) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス (防食仕様 No.3)

熱サイクル No.	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$
1	8.5	1.53	0.245	8.5	0.71	0.265	8	2.38	0.168	8	1.19	0.168
2	8	1.5	0.265	8	0.69	0.29	7.5	2.33	0.182	7.5	12	0.177
3	8	1.75	0.227	8	0.84	0.238	7	2.0	0.227	7	0.93	0.245
4	8	1.56	0.255	8	0.71	0.279	7	2.0	0.227	7	1.0	0.227
5	8	1.69	0.236	8	0.75	0.265	7	2.43	0.187	7	1.14	0.199
6	8	1.56	0.255	8	0.81	0.245	7	2.5	0.182	7	1.14	0.199
7	8	1.53	0.245	8	0.71	0.279	7.5	2.3	0.187	7.5	1.07	0.199
8	8	1.53	0.245	8	0.75	0.265	8	2.25	0.177	8	1.0	0.199

表 3.2.4 (d) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス (防食仕様 No.4)

熱サイクル No.	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{ F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$
1	3.5	1.43	0.637	3.5	0.57	0.796	3	2.0	0.531	3	0.833	0.637
2	3.5	1.57	0.579	3.5	0.71	0.637	3	1.67	0.637	3	0.833	0.637
3	3.5	1.57	0.579	3.5	0.71	0.637	3	1.5	0.708	3	1.0	0.531
4	3.5	1.43	0.637	3.5	0.71	0.637	3	1.67	0.637	3	0.833	0.637
5	3.5	1.57	0.579	3.5	0.71	0.637	3	1.5	0.708	3	0.83	0.637
6	3.5	1.57	0.579	3.5	0.71	0.637	3	1.3	0.796	3	0.73	0.724
7	3.5	1.43	0.637	3.5	0.71	0.637	3	2	0.531	3	0.67	0.796
8	3.5	1.57	0.579	3.5	0.71	0.637	3	1.3	0.796	3	0.67	0.796

表 3.2.4 (e) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス(防食仕様 No.5)

熱サイクル No	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$
1	7	1.5	0.303	7	0.79	0.29	7.5	20.7	0.205	7.5	1.07	0.199
2	7	1.57	0.29	7	0.74	0.306	7	2.07	0.22	7	1.07	0.212
3	7	1.57	0.29	7	0.79	0.29	7	1.71	0.265	7	0.93	0.245
4	7	1.64	0.277	7	0.79	0.29	7	1.86	0.245	7	1.04	0.218
5	7	1.57	0.29	7	0.76	0.3	7	2.36	0.193	7	1.14	0.199
6	7	1.29	0.354	7	0.64	0.354	7	2.4	0.187	7	1.07	0.212
7	7	1.64	0.277	7	0.79	0.29	7	2.3	0.199	7	1.14	0.199
8	7	1.57	0.29	7	0.74	0.306	7	2.0	0.227	7	0.93	0.245

表 3.2.4 (f) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス(防食仕様 No.6)

熱サイクル No	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} (\text{F})$	抵抗 $\times 10^6 (\Omega)$	$\tan \delta$
1	0.7	1.5	0.303	0.7	7.14	0.318	0.6	2.5	0.212	0.6	11.67	0.227
2	0.7	1.64	0.277	0.7	8.57	0.265	0.6	2.5	0.212	0.6	12.5	0.212
3	0.65	1.62	0.303	0.65	7.69	0.318	0.5	2.0	0.318	0.5	10	0.318
4	0.7	1.57	0.29	0.7	7.86	0.29	0.6	2.08	0.255	0.6	11.67	0.227
5	0.7	1.57	0.29	0.7	8.75	0.265	0.5	2.6	0.245	0.5	13	0.245
6	0.7	1.5	0.303	0.7	8.57	0.265	0.5	2.1	0.303	0.5	10	0.318
7	0.7	1.71	0.265	0.7	8.57	0.265	0.5	3.2	0.199	0.5	14	0.227
8	0.7	1.71	0.265	0.7	10	0.227	0.6	18.3	0.29	0.6	9.2	0.29

表 3.2.4 (g) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス(防食仕様 No.7)

熱サイクル No.	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$
1	1	19.5	0.163	1	10	0.151	0.8	2.5	0.159	0.8	13.13	0.152
2	1.05	21.9	0.138	1.05	9.52	0.151	0.9	21.1	0.168	0.9	12.22	0.145
3	0.9	18.9	0.187	0.9	9.4	0.187	0.8	22.5	0.177	0.8	10.6	0.187
4	1.05	21.9	0.138	1.05	10	0.152	0.95	25.3	0.133	0.95	11.05	0.152
5	10.5	18.6	0.163	1.05	8.57	0.177	0.95	21	0.159	0.95	9.5	0.177
6	1.05	19	0.159	1.05	8.1	0.187	0.85	23.5	0.159	0.85	10.6	0.177
7	0.9	20	0.177	0.9	10	0.177	0.8	33.8	0.118	0.8	18.8	0.106
8	0.9	18.9	0.187	0.9	8.9	0.199	0.8	21.3	0.187	0.8	9.4	0.212

表 3.2.4 (h) 初期及び熱サイクル試験後のインピーダンス(防食仕様 No.8)

熱サイクル No.	初期						試験後					
	0.5 KHz			1 KHz			0.5 KHz			1 KHz		
	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$	容量 $\times 10^{-10} \text{F}$	抵抗 $\times 10^6 \Omega$	$\tan \delta$
1	0.95	24.2	0.138	0.95	11.6	0.145	0.9	27.78	0.127	0.9	13.33	0.133
2	0.95	21.05	0.159	0.95	10.5	0.159	0.9	26.67	0.133	0.9	14.4	0.122
3	0.75	25.3	0.168	0.75	12	0.177	0.7	24.29	0.187	0.7	12.14	0.187
4	0.85	23.5	0.159	0.85	11.2	0.168	0.8	26.3	0.152	0.8	12.5	0.159
5	0.95	24.2	0.138	0.95	10.5	0.159	0.9	47.2	0.075	0.9	23.9	0.074
6	0.85	22.4	0.168	0.85	10.6	0.177	0.75	24.7	0.172	0.75	13.3	0.159
7	0.85	23.5	0.159	0.85	11.2	0.168	0.8	38.8	0.103	0.8	17.5	0.114
8	0.9	24.4	0.145	0.9	12.2	0.145	0.85	23.5	0.159	0.85	11.8	0.159

表 3.2.4 热サイクル試験における单離膜の割れ

防食仕様 No.	3	4	6
熱サイクル No.			
1		×	
2	×	×	×
3			
4			
5	×	×	×
6	×	×	
7			
8			

注) ×は割れを示す。

表 3.2.6 分散分析表 (付着力)

要 因	自由度	S S	m s	F
最高 () 温度での保持時間 最低 () 温度	1	0.308	0.308	0.0316
昇温 () 温度 降温 () 温度	1	0.026	0.026	—
最 高 温 度	1	0.15	0.15	0.0154
保持時間 × 昇温 () 速度 保持時間 × 降温 () 速度	1	0.459	0.459	0.0471
保持時間 × 最高温度 昇温 () 速度 × 最高温度 降温 () 速度 × 最高温度	1	0.0046	0.0046	—
e	57			
	63	585.9		
プールした誤差	60	584.98		

表 3.2.7 分 散 分 析 表 (tan δ)

要 因	自 由 度	S S	m s	F
最高 最低) 温度での保持時間	1	0.0 1 8 2	0.0 1 8 2	0.0 0 3
昇温 降温) 速 度	1	0.0 9 9 2	0.0 9 9 2	0.0 1 6 3
最 高 温 度	1	0.0 9 7 7	0.0 9 7 7	0.0 1 6
保持時間 × 昇温 降温) 速度	1	0.0 8 7	0.0 8 7	0.0 1 4 3
保持時間 × 最高温度	1	0.0 1 7 6	0.0 7 1 6	0.0 1 1 8
昇温 降温) 速度 × 最高温度	1	0.0 0 0 3	0.0 0 0 3	0.0 0 0 0 5
e	5 7	3 4 6.8 8 6	6.0 9	
	6 3	3 4 7.2 6		

表 3.2.8 分 散 分 析 表 (割 れ)

要 因	自 由 度	S S	m s	F
最高 最低) 温度での保持時間	1	0.0 4 2	0.0 4 2	0.0 3 2 4
昇温 降温) 速 度	1	2.0 4 2	2.0 4 2	1.5 7 4 4
最 高 温 度	1	0.3 7 5	0.3 7 5	0.2 8 9 1
保持時間 × 昇温 降温) 速度	1	0.3 7 5	1.0 4 2	0.2 8 9 1
保持時間 × 最高温度	1	1.0 4 2	0.0 4 2	0.8 0 3 4
昇温 降温) 速度 × 最高温度	1	0.0 4 2	1.2 9 7	0.0 3 2 4
e	1 7	2 2.0 4 2		
	2 3	2 5.9 6		

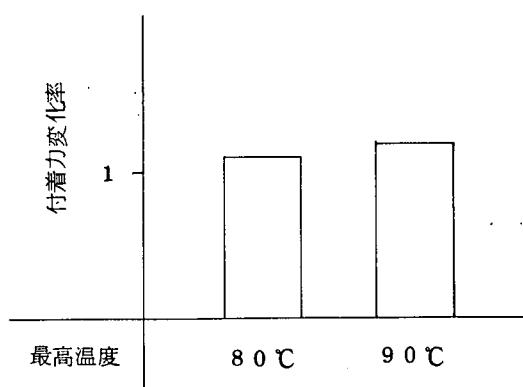
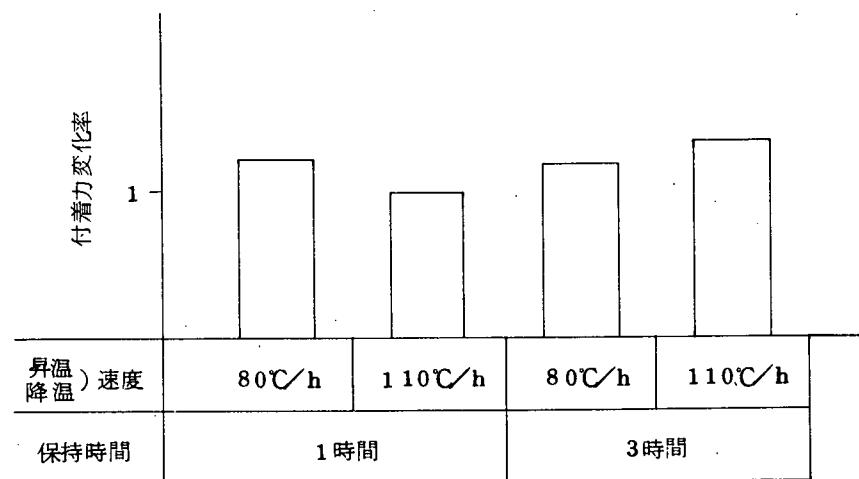
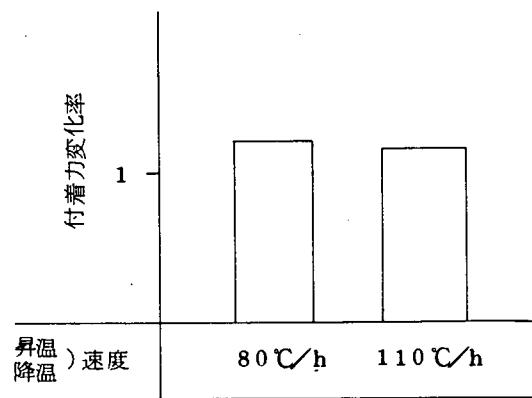
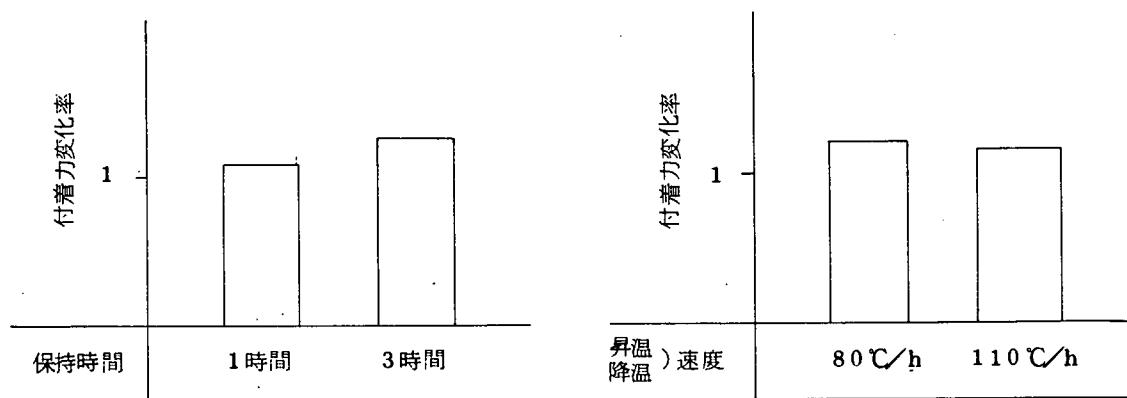


図 3.1.6 (a) 要因効果図 (付着力)

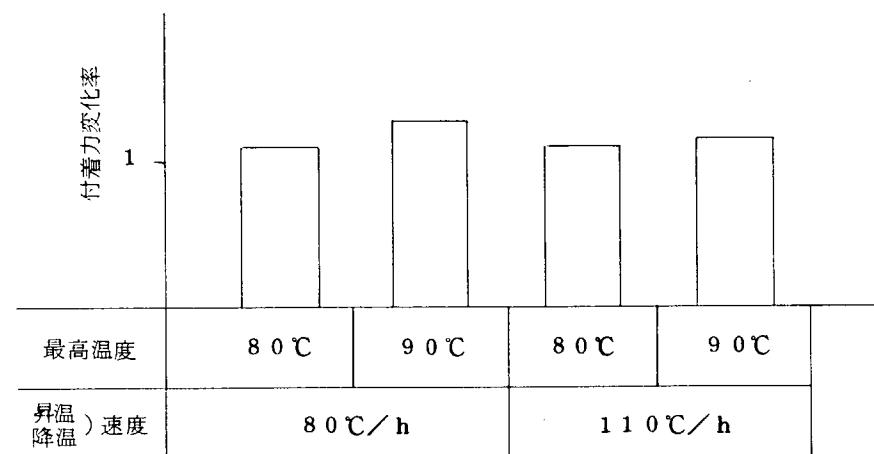
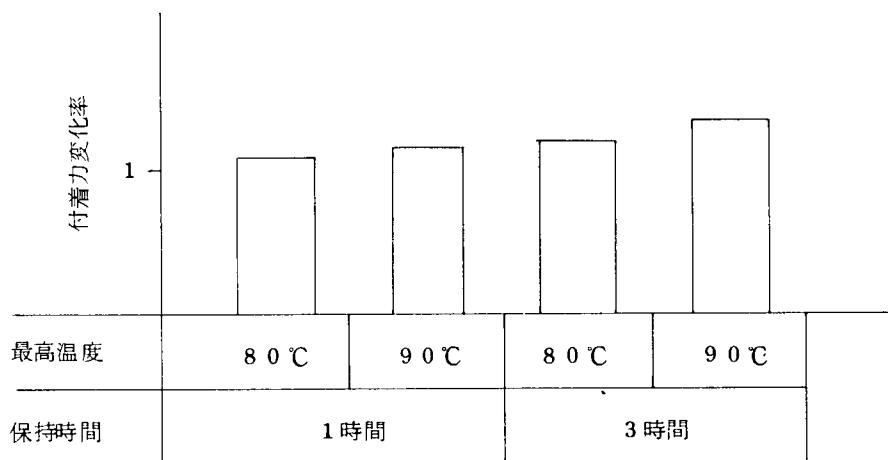


図 3.1.6 (b) 要因効果図 (付着力)

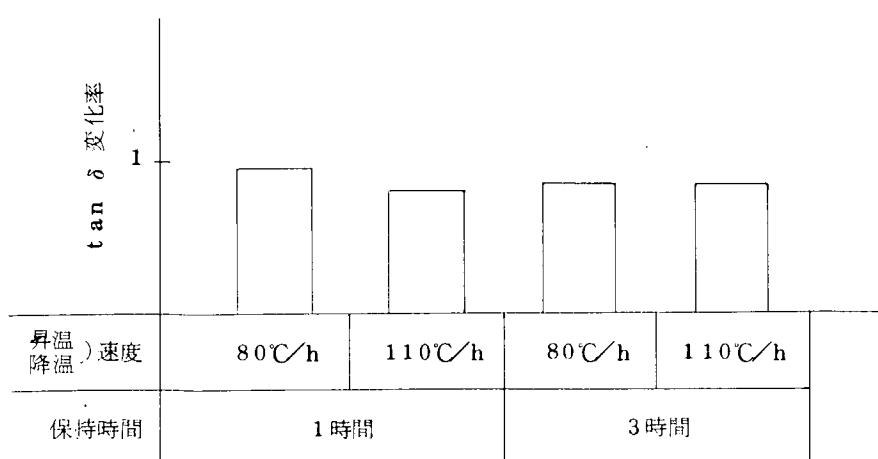
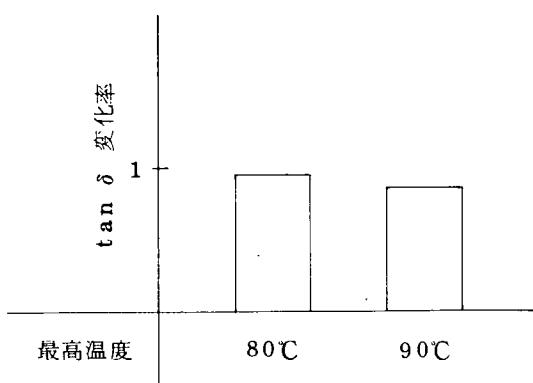
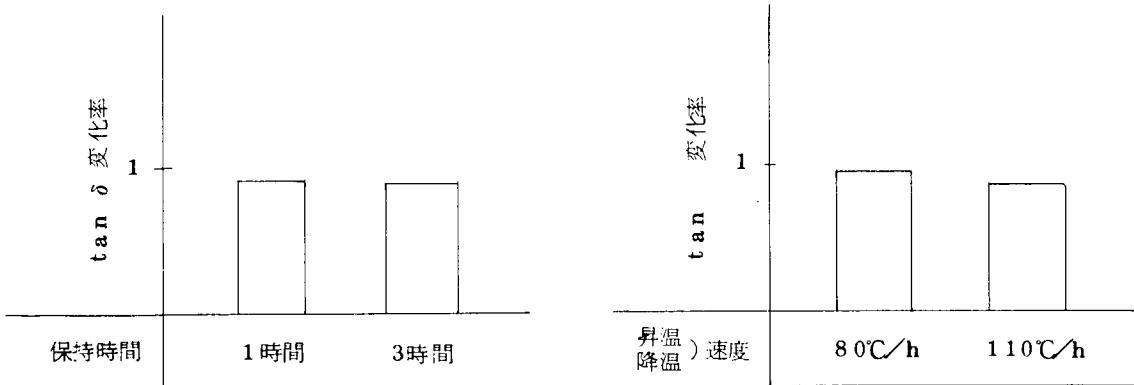


図 3.1.7 (a) 要因効果図 ($\tan \delta$)

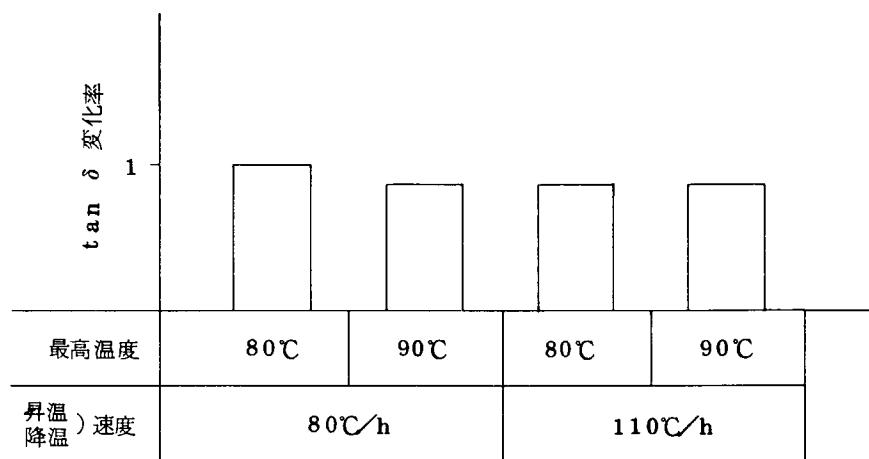
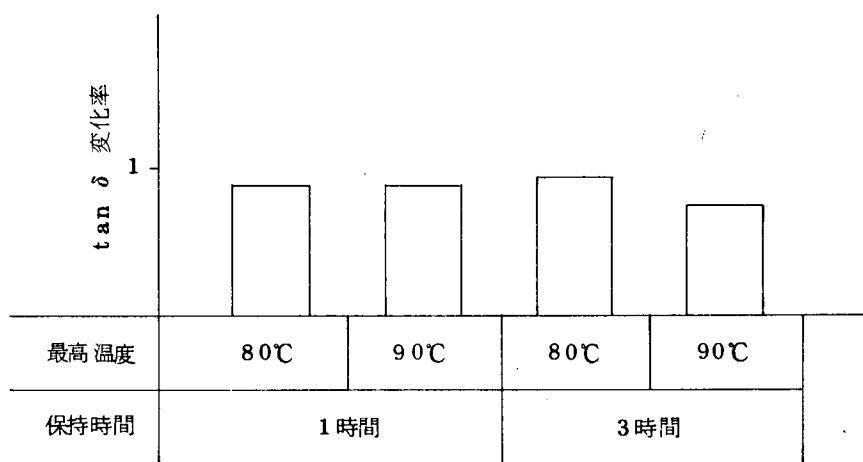


図 3.17 (b) 要因効果図 ($\tan \delta$)

割れなし 割れ

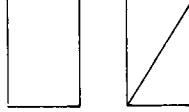
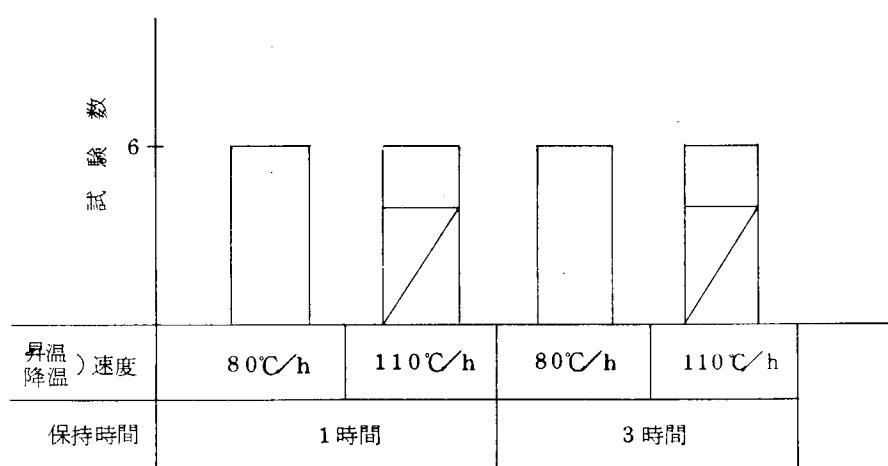
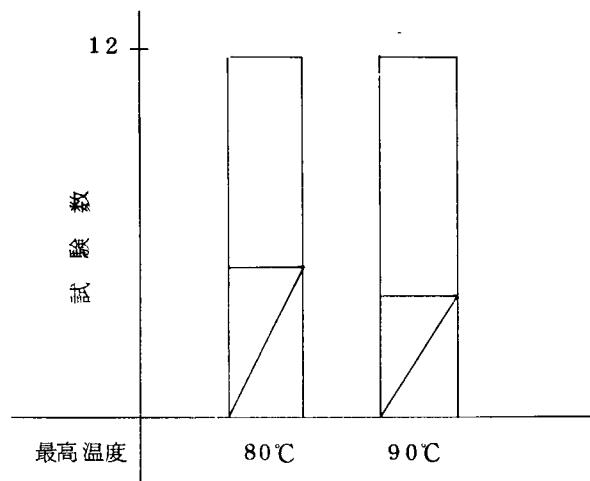
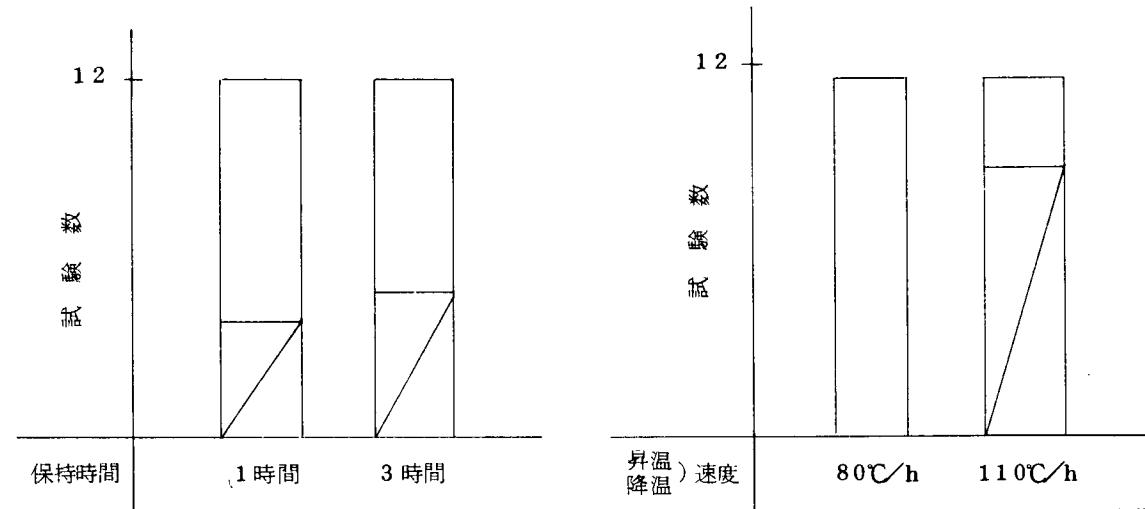



図 3.1.8 (a) 要因効果図 (割れ)

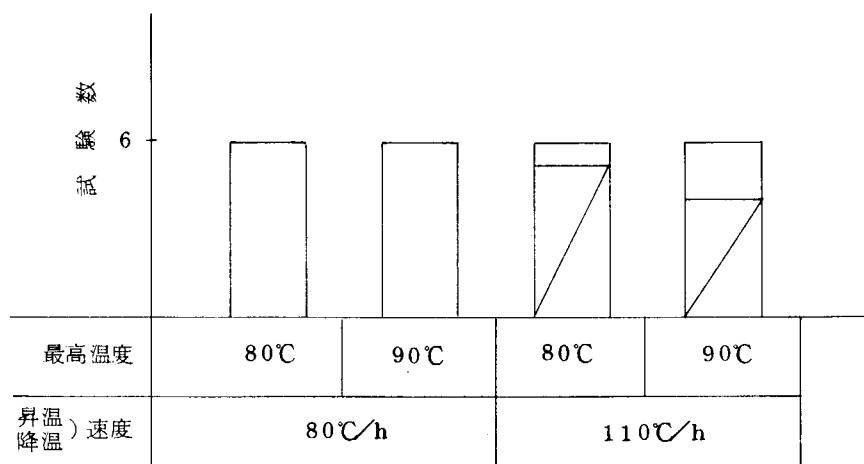
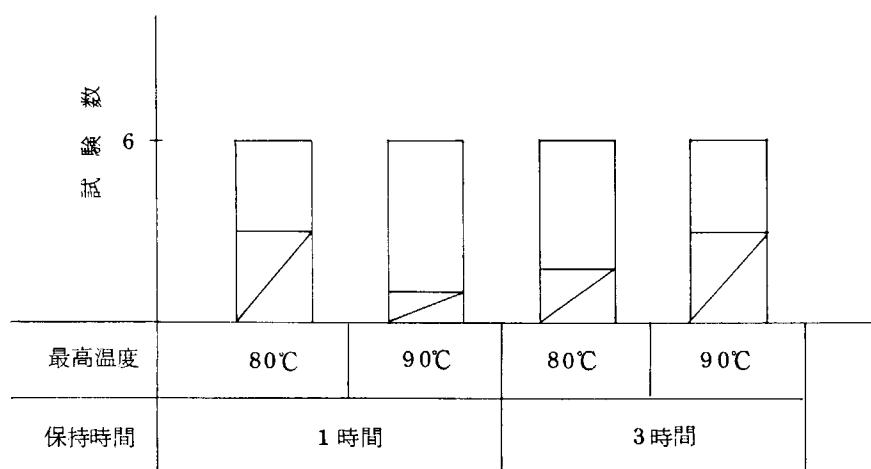


図 3.1.8 (b) 要因効果図 (割れ)

3.4 まとめ

促進試験として、促進耐候性試験、塩水浸漬試験及び熱サイクル試験を行い、塗膜劣化判定法として鋼板との付着力体積抵抗率、インピーダンス、引張強度及びガス透過率の測定を行った。その結果、促進試験としては塩水浸漬試験による浸漬温度の効果が大きく、塗膜劣化判定法としては、インピーダンス測定による抵抗及び $\tan\delta$ の変化量をとらえることが有効である。一例として図3.19に示すように浸漬温度と $\tan\delta$ の関係は、 $\tan\delta = k \cdot e^{-\left(\frac{1}{T}\right)}$ となり、かなり短期間で物性変化を把握することが可能であることがわかった。今後実環境との対比によりその促進効果及び促進率を調査していく予定である。

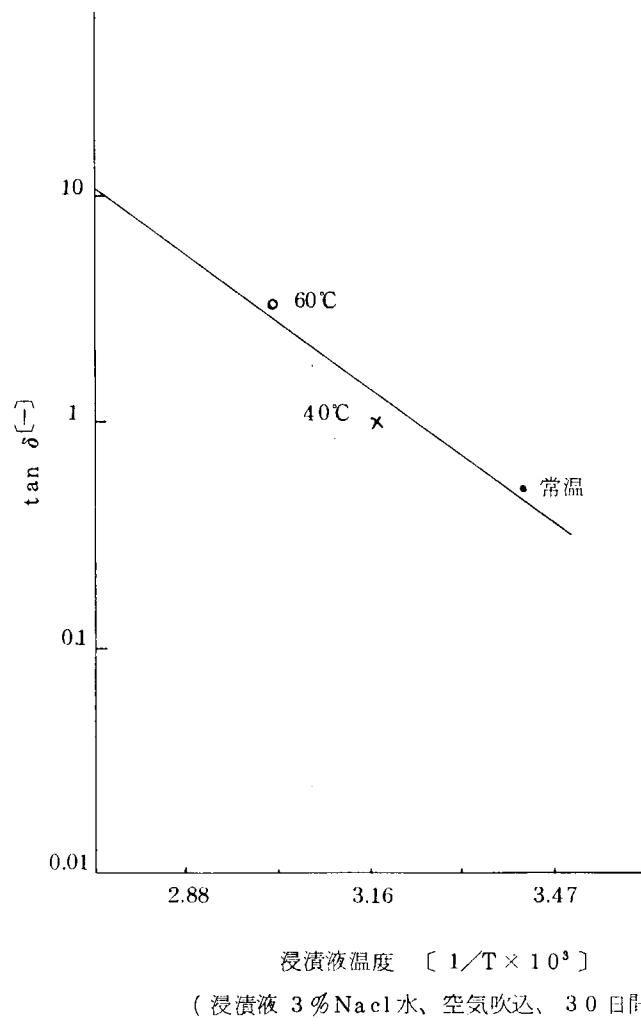


図3.19 $\tan\delta$ と浸漬温度との関係

4. メインテナンス方法の調査検討

4.1 目的

海洋構造物は、一応メインテナンスフリーとして、耐用期間数10年を目標に設計されているが、構造物の部位、設置場所によっては、防食塗装上、様々な劣化因子例えば太陽熱、紫外線、風雨、波浪、流水、流木、船舶の接岸、生物付着等があり、腐食環境として苛酷な条件下にある。しかも海洋構造物では定期的な入渠補修が困難なものもあり、これらに用いられる防食塗装系の洋上におけるメインテナンス方法として、試験体及び試験板の海上設置によって、部位別に調査検討しようとするものである。

4.2 浮体構造物及び没水試験板のメインテナンス

昭和55年度にメインテナンス方法の調査、検討を目的として製作した浮体構造物、及び試験板に用いた防食仕様の詳細を表4.1に示す。

表4.1.(1) 浮体構造物防食仕様の詳細

防食仕様No.	下地処理	塗り回数 膜厚	S/P	1回目	2回目	目標膜厚 μm	実測膜厚 μm		
							飛沫帶	水線部	没水部
6		ポリウレタン ホールディング グプライマ	PEM	—	—	5000 5500	4300 7000	3600 6200	3200
7	サンドブラ スト	—	PEF	PEF	—	1300	650 1000	750 1050	650 1600
8	SPSSJA Sd 2~3	—	ESF	ESF	—	1500	650 1000	700 1050	700 1200
—	ポリエスチル ホールディング グプライマ	(FRP)	ES T/S	—	1550	1500 2000	1300 2200	1400 3500	—

表4.1.(2) 試験板の防食仕様

防食仕様No.	下地処理	S/P	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	目標膜厚 (μm)	実測膜厚 (μm)
1	サンド プラス ト SPSS JASh3	IZP	IZ	*PE-A/C	PE-A/C	PE-T/S	V.T/S	350	450
2			IZ	TE	—	—	—	325	450
3			PE-A/C	PE-A/C	PE-A/C	PE-T/S	PE.T/S	380	420
4			TE	TE	—	—	—	400	480
5			IZ	*PE-A/C	V(中塗)	V.T/S	—	275	280
6	サンド プラス ト SPSS JASd3	なし	PEM	—	—	—	—	5000	2000
7			PEF	PEF	—	—	—	1300	1310
8			ESF	ESF	—	—	—	1500	1200

* ミスコード有

4.2.1 浮体構造物の調査

昭和 55 年度に製作し、実海水中で 10 カ月経過した浮体構造物に対し、本年度の改良工事に伴う陸上引上げ時に外観観察と生物付着状況調査を行った。

(1) 外観観察結果

いずれの防食仕様ともにさび、ふくれ、われ等の欠陥は認められない。ただし、飛沫帶から上（飛沫帶～暴露部）の塗膜において退色が認められ、その度合は PEM > PEF > ESF ≒ ES (FRP) の順であった。

(2) 生物付着状況調査結果

供試塗装系（試験体）毎の生物付着状況を表 4.2 に示し、その状態を図 4.1 及び 2 に示す。

表 4.2 浮体構造物の生物付着状況（10ヶ月後）

付着生物 仕様	緑草	褐草	フジツボ	チゴケ虫	単ボヤ	複合ボヤ	ナギサコケ虫	ミル	その他	付着重量
PEM	卅	+	卅	+	+	+	卅	卅	+	80g
PEF	卅	+	卅	+	+	卅	卅	+	+	50g
ESF	卅	+	卅	卅	+	+	卅	卅	+	60g
(ES (FRP))	卅	+	卅	+	+	卅	卅	+	+	65g

付着量：卅 大

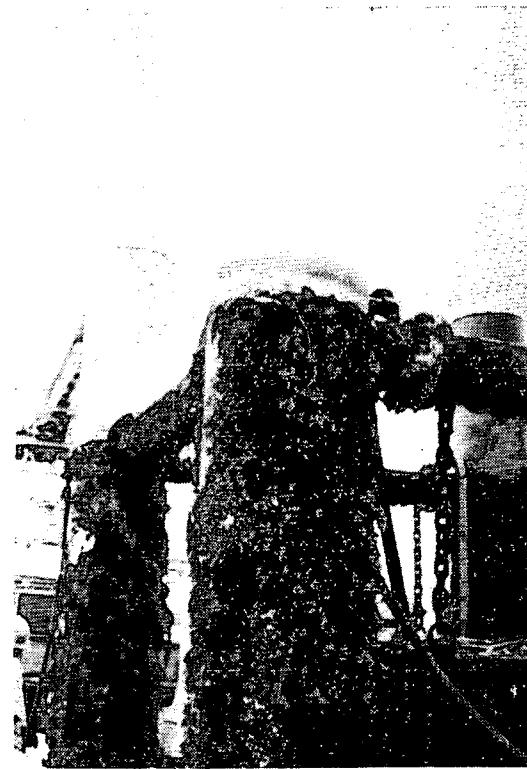
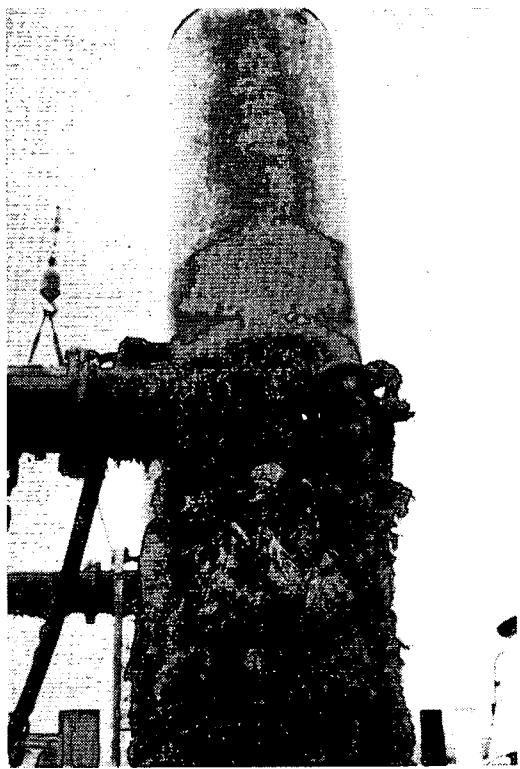
廿 中

十 小

付着重量：水深 1m

南口 15cm

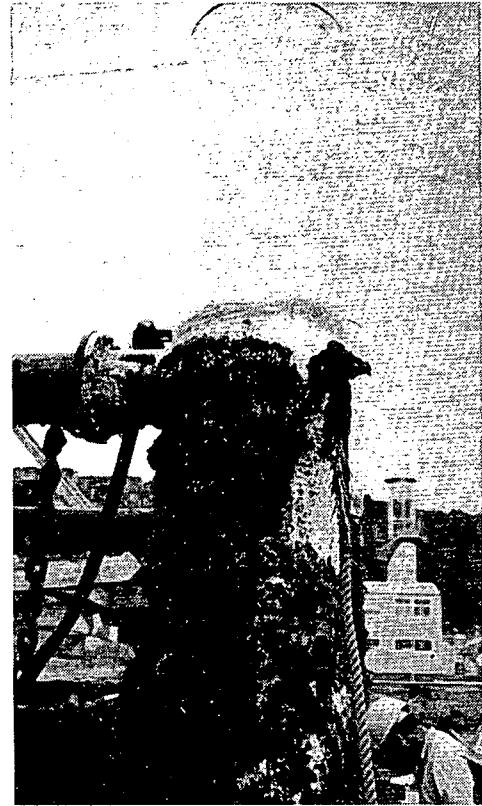
ウェット重量



防食仕様№6 PEM

防食仕様№7 PEF

図4.1 浮体構造物への生物付着状況（10カ月後）



防食仕様№ 8 ESF

ES (FRP)

図 4.2 浮体構造物への生物付着状況（10ヶ月後）

4.2.2 水中メインテナンス

実海水中に設置した浮体構造物及び試験板は前項の調査結果に示す様に生物付着が著しい。従って、没水13カ月経過後において、水中清掃を実施するとともに、図4.3に示す無塗装ゾーン設定試験板（防食仕様No.1～8）については、水中清掃及び水中補修塗装を実施した。

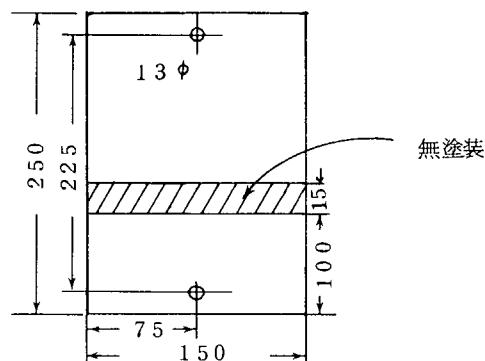


図4.3 無塗装ゾーン設定試験板

(1) 水中清掃機の選定

現在実用化されている水中清掃機の大部分は回転ブラシによるものであり、その操作方法を大別すると、

- ① ダイバーが直接操作するもの
- ② 水面上から直接操作するもの
- ③ 遠隔操作ができるもの

に分けられる。しかし、これら回転ブラシを利用した清掃機は、スライムや藻類等が薄く付着した場合の除去には適当であるが、甲殻類、触手、原索動物など強固に且つ厚く付着した生物の除去には不適である。そこで、浮体構造物及び試験板の生物除去には、SR180部会「錨泊又は漂泊中の生物付着による船舶機能の低下防止に関する調査研究」で試作したコーン型カッター方式の水中清掃機を用いた。

(2) 清掃機周辺機器

コーン型カッター方式の水中清掃機は、図4.4に示す様に3～24枚の断刃を持つコーン型のカッ

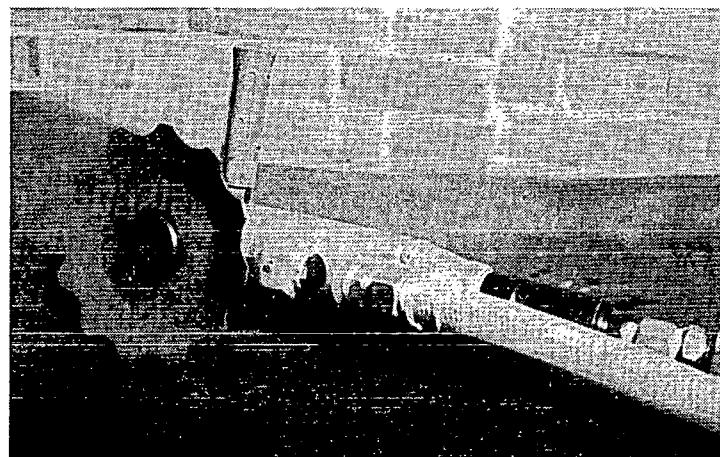


図4.4 水中清掃機

ターと、それを回転させる 0.5HP エアモータで構成され、動力源として圧縮空気（工場配管または可搬式コンプレッサで可）をテトロンブレードホースにより供給し、さらに排気は他のホースにより陸上に環流する方法である。清掃用ディスクは生物付着度に応じてコーン型ディスク、コーン型ワイヤホイルを使い別けることが可能である。

(3) 水中塗装方法の選定

水中塗装方法は、

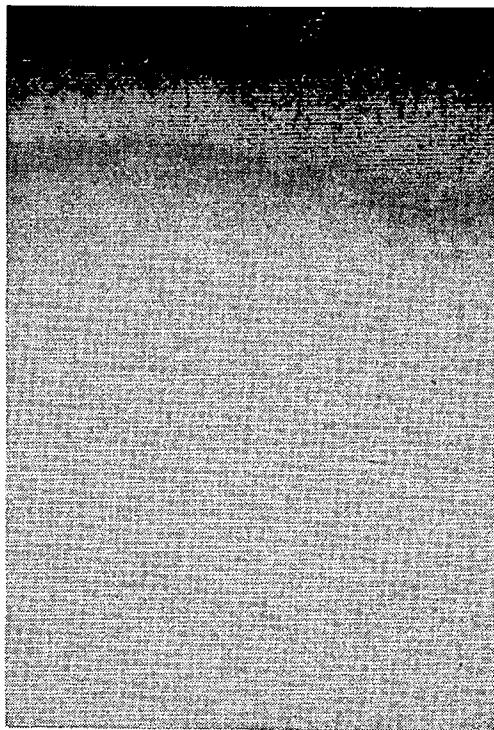
- ① 水中空間方式
- ② 水中直接塗装方式

に大別されるが、今回は被塗装物が小さい寸法の試験板であるため、水中直接塗装方法のうちウェットハンド法及びへら塗り法により実施した。

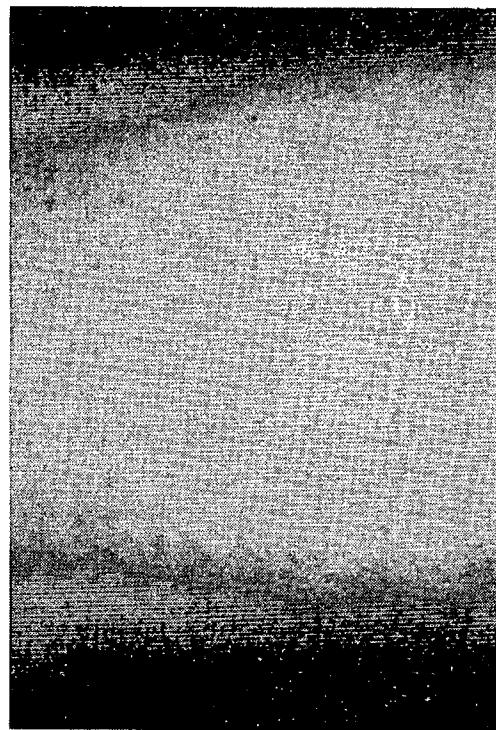
(4) 実験結果

a 水中清掃

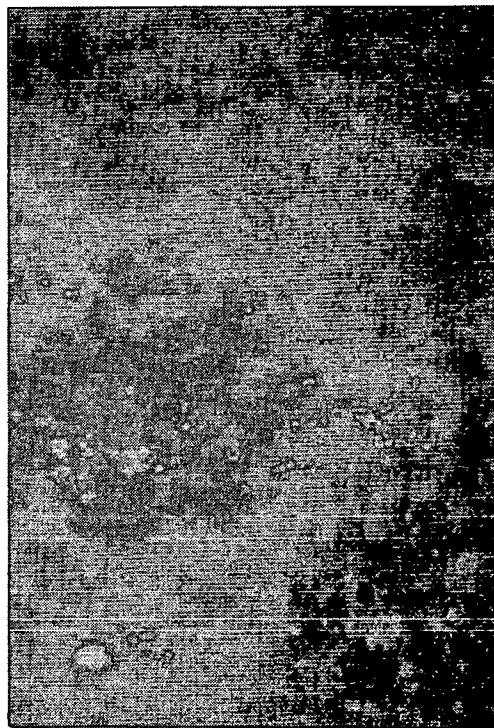
浮体構造物の水中清掃後の塗膜状態を図 4.5 に無塗装ゾーン設定試験板の水中清掃前後の塗膜状態を図 4.6 に示す。清掃は、厚層で強固に付着している生物を、コーン型ディスクで荒落しし、仕上げを、コーン型ワイヤホイルにて行った。浮体構造物及び無塗装ゾーン設定試験板の清掃性をそれぞれ表 4.3.(1) 及び(2)に示す。



防食仕様№ 6 (PEM)



ES (FRP)



防食仕様№ 8 (ESF)

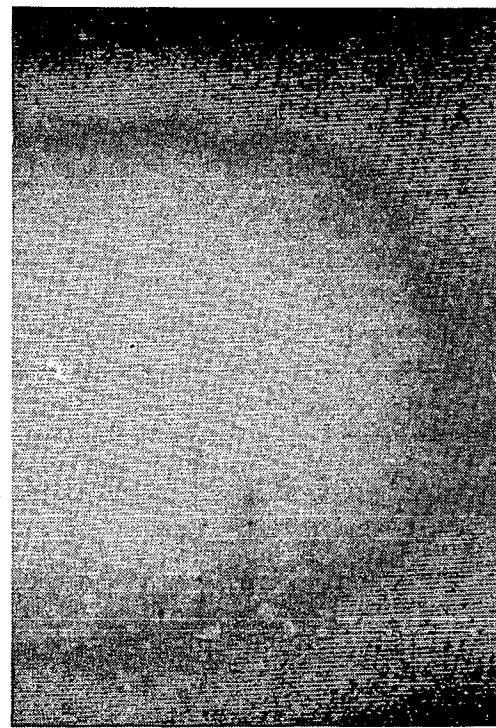


図 4.5 浮体構造物水中清掃後の状態（水中）

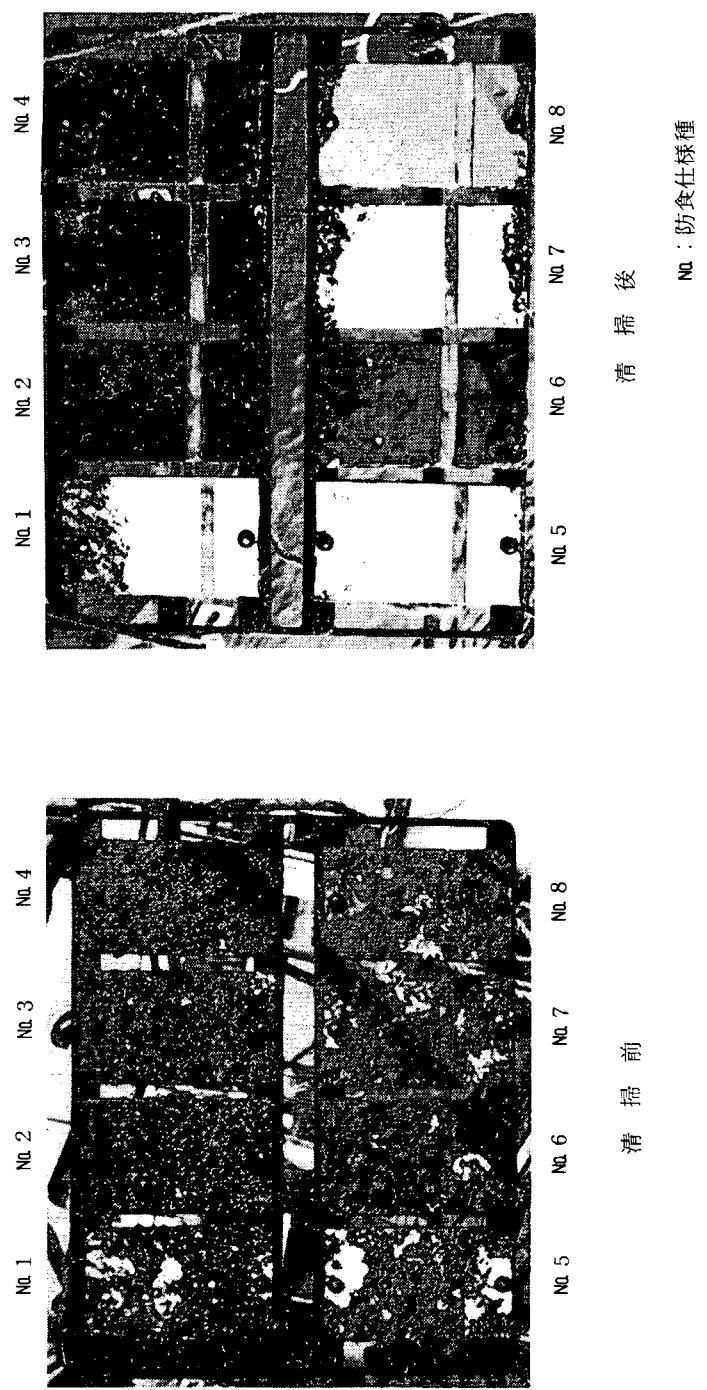


図 4.6 無塗装ゾーン設定試験板水中試験前、後の状態

No : 防食仕様種

表 4.3.(1) 浮体構造物の清掃性

防食 仕様 略 号	調査 項目	清掃前の付着量 水深 1 m、南面20cm口	清掃後の塗膜状態（ダイバー判定）		
			清掃の難易		
6	PEM	125g (フジツボ、ヒドロ虫) (単ボヤ、褐草)	△	欠陥なし	フジツボの台座とれない。 凹部多く清掃困難。
7	PEF	100g (ミル、フジツボ) (単ボヤ、チゴケ)	○	"	付着生物完全除去可能。
8	ESF	105g (フジツボ、単ボヤ) (褐草、緑草)	○～△	"	わずかにフジツボの台座が残る。
-	ES (FRP)	110g (フジツボ、単ボヤ) (カイメン、サンゴモドキ)	○	"	付着生物完全除去可能。 最も清掃し易い。

(評価基準) ○：良好 △：可 ×：不可

表 4.3.(2) 無塗装ゾーン設定試験板の清掃性

調査項目 防食 仕様No.	付着量 付着生物 ++:大 +:中 +:小	清掃の難易	清掃後の塗膜状態	
			無塗装ゾーン近傍塗膜にわずかにふくれあり。 フジツボ除去等による塗膜損傷なし。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
1	チゴケ(++)、フジツボ(++) 複合ボヤ、ナギサコケ虫(+) 緑草、褐草(+)	○	無塗装ゾーン近傍塗膜にわずかにふくれあり。 フジツボ除去等による塗膜損傷なし。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
2	チゴケ(++)、ヒドロ虫(++) セルプラ(++)、フジツボ(++)	○	無塗装ゾーン近傍塗膜にわずかにふくれあり。 フジツボ除去等による塗膜損傷なし。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
3	チゴケ(++)、ヒドロ虫、フジツボ(++)、複合ボヤ(++)、セルプラ、ナギサ、コケ虫(+)、緑草(+)	○	無塗装ゾーン近傍塗膜にわずかにふくれあり。 フジツボ除去等による塗膜損傷なし。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
4	チゴケ(++)、フジツボ(++)～(++) セルプラ(+)、ヒドロ虫 複合ボヤ(++)	○	無塗装ゾーン近傍部の塗膜1～2cm剥離 生物除去後の塗膜に損傷なし。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
5	チゴケ(++)、フジツボ(++)～(++) セルプラ(+)、ヒドロ虫 複合ボヤ(++)	○	無塗装ゾーン近傍部の塗膜1～2cm剥離 生物除去後の塗膜に損傷なし。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
6	チゴケ(++)、ヒドロ虫(++) フジツボ(++)、複合ボヤ 緑草、褐草(+)	○～△	凹部の黒色スライム除去できず。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
7	チゴケ(++)、複合ボヤ(++) フジツボ(++)、緑草(+)、 ヒドロ虫セルプラ(++)	○	凹部の黒色スライム除去できず。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。
8	チゴケ(++)、フジツボ(++) セルプラ(+)、複合ボヤ、 ヒドロ虫、緑草(+)	○	凹部の黒色スライム除去できず。	生物除去に伴う塗膜の損傷なし。

(評価基準) ○：良好 △：可 ×：不可

b 水中塗装

防食仕様No.1～8の無塗装ゾーン設定試験板を水中清掃し、その試験板の補修に用いた水中硬化型塗料は3種類である。いずれもエポキシ樹脂主体の高粘度塗料であり、そのうち2種がパテ状（ウェットハンド塗装用）、1種がやや流动性（へら塗り用）を有したタイプである。これら3種の性状は表4.4に示す。水中塗装は水面下0.5mにてウェットハンド法又は、ゴムへらを用いた。図4.7に示す要領の、ダイバー潜水式施工とした。（水温：19.5℃、気温：23℃）

表4.4 水中硬化型塗料の性状（気中データ）

塗料種 性 状	外 観	混合比 (重量)	初期硬化 時間(20℃)	可使時間 (20℃)	比 重 (混合後)
A (エポキシ系)	主 剤：白色パテ状 硬化剤：黒色パテ状 (高粘度)	主：硬 1 : 1	2Hr	45min	1.6
B (エポキシ系)	主 剤：黄色パテ状 硬化剤：黒色パテ状 (高粘度)	1 : 1	6Hr	10Hr	1.4
C (ポリエステル／ エポキシ系)	主 剤：白 硬化剤：半透明 (流动性、有り)	10: 1	8Hr 以内	40min	1.7

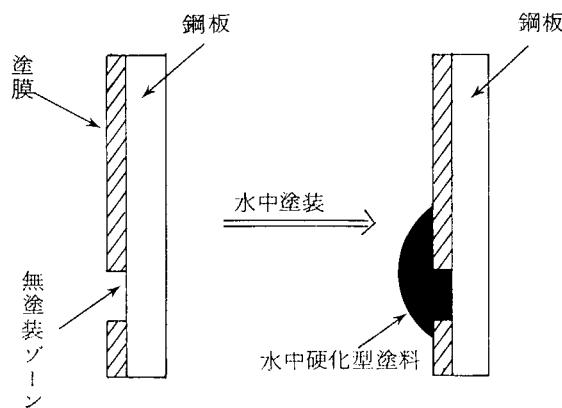
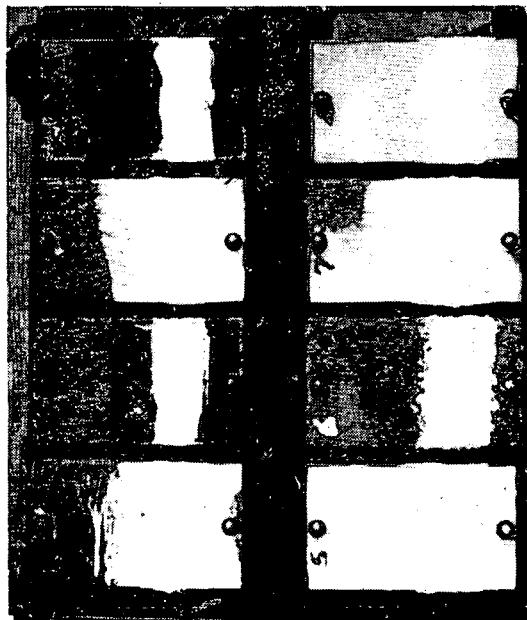


図4.7 塗装要領

実験に用いた3種の水中硬化型塗料の初期付着性は良好である。16時間（水中）経過後においては、いずれの塗膜もはく離やはく落は認められず、鉛筆硬度5B～6Bで硬化し、無塗装ゾーンを被覆防食している。ダイバーによる水中塗装及び水中補修塗装後の試験板を図4.8に示す。



水中硬化型塗料「A」による補修



水中硬化型塗料「C」による補修



水中塗装中（ウェットハンド法）



水中硬化型塗料「B」による補修

図4.8 水中塗装及び塗装後の状態

4.3 上部構造物及び洋上暴露試験板の設置

洋上暴露部における重防食塗装系は厚膜であり、太陽熱、紫外線、海塩粒子、風雨等の影響をうけ、塗膜表層劣化や内部応力の増大による付着力低下が起こり易く、その耐食性及び付着性について調査検討する必要があるため、上部構造物、及び洋上暴露試験板を新たに設置した。

4.3.1 浮体構造物の改良（上部構造物の増設）

上部構造物、増設後の浮体構造物を図4.9に示す。増設後の浮体構造物は、喫水変化、重量バランス不良もなく安定している。

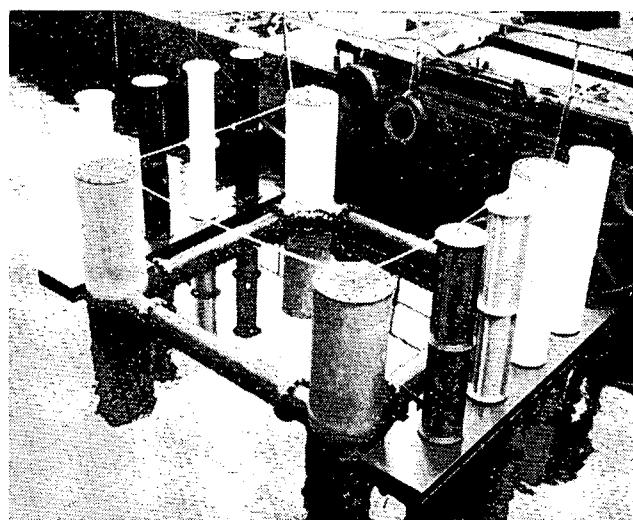


図4.9 増設後の浮体構造物

(1) 増設の詳細

上部構造物は、上下端部の2カ所と中央部の1カ所に補強構造を有するパイプ構造体であり、8体製作した。さらに防食仕様No.1～8をそれぞれ1体に1仕様ずつ適用した。

浮力タンクは、上部構造物暴露スペースの確保と、それに伴う重量増加に対処するため、1基当たり上部構造物を4体配置できる構造の500mm×3000mmの函体を2基製作した。

上部構造物を配置した浮力タンク2基は、同タンクに設けた特殊フランジと浮体構造物のフランジ部を接続した。これら増設部の詳細を図4.10に示す。

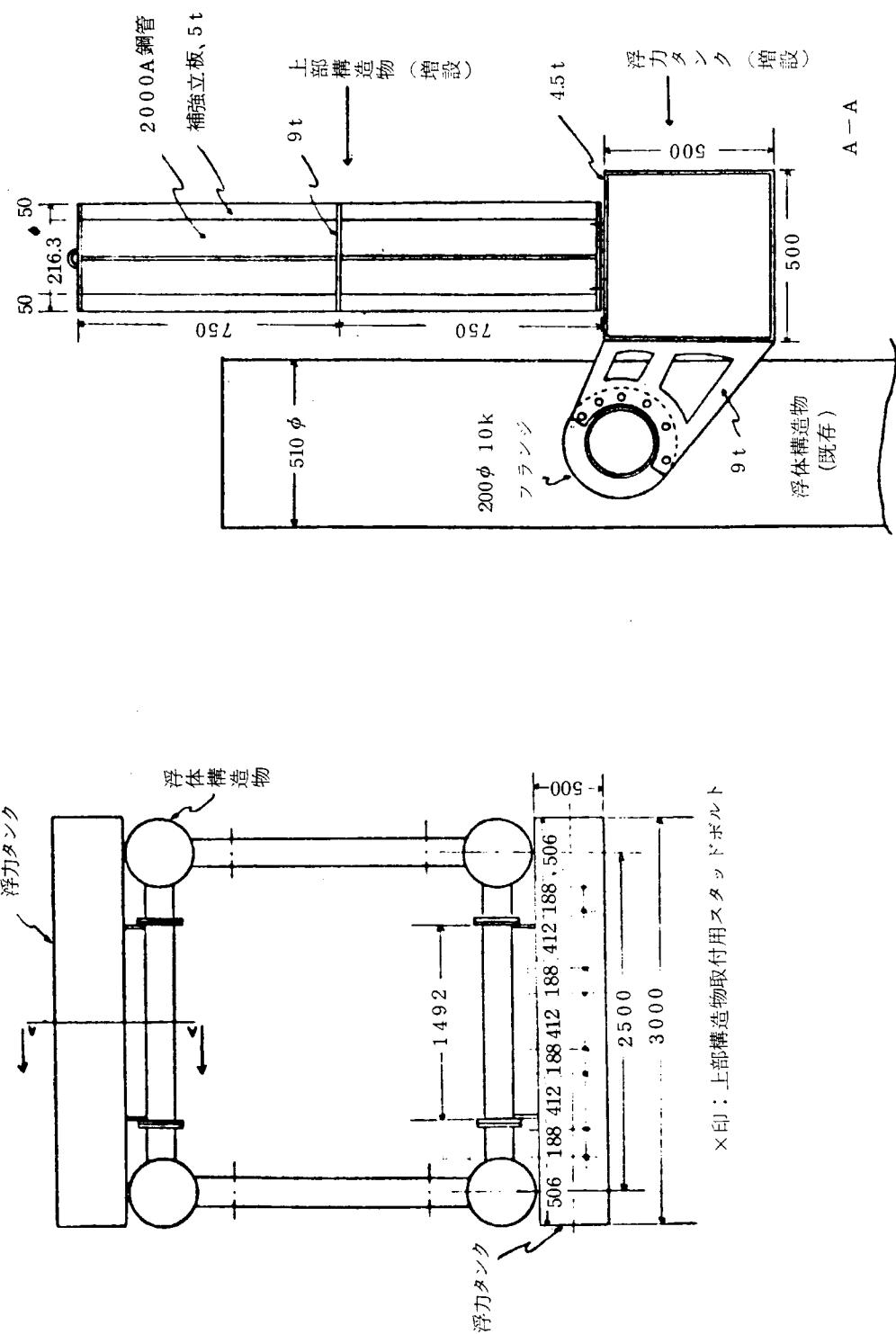


図 4.10 上部構造物増設の詳細

(2) 増設部の塗装仕様と実測膜厚

上部構造物及び浮力タンクの塗装仕様を表 4.5.(1)に示し、上部構造物の実測塗装膜厚を表 4.5.(2)に示す。

表 4.5.(1) 塗装仕様

防食仕様No	素地調整	S / P	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	目標膜厚
1	サンドプラス ト	IZP	I Z	*PE・A/C	PE・A/C	PE・T/S	U・T/S	350 μm
2			I Z	*TE	—	—	—	325 μm
3			PE・A/C	PE・A/C	PE・A/C	PE・T/S	PE・T/S	380 μm
4			TE	TE	—	—	—	400 μm
5			I Z	*PE・A/C	V・(中塗)	V・T/S	—	275 μm
6	(JSRA) (JASd ₃)	なし	PEM	—	—	—	—	5000 μm
7			PEF	PEF	—	—	—	1300 μm
8			ESF	ESF	—	—	—	1500 μm
浮力タンクA		IZP	TE	TE	—	—	—	300 μm
浮力タンクB			TE	TE	TE	—	—	300 μm

*: ミストコート有

表 4.5.(2) 上部構造物塗装膜厚 (μm)

防食仕様No	上段			下段			天板
	パイプ面	立板	フランジ	パイプ面	立板	フランジ	
1	480 ~550	390 ~590	350 ~500	500 ~560	300 ~560	300 ~500	460 ~500
2	320 ~380	280 ~380	250 ~320	290 ~320	300 ~360	200 ~420	450 ~500
3	460 ~500	360 ~500	360 ~550	420 ~480	280 ~420	280 ~500	400 ~440
4	350 ~420	270 ~360	250 ~420	330 ~400	270 ~340	250 ~430	380 ~420
5	300 ~350	240 ~380	250 ~400	270 ~320	180 ~330	190 ~400	280 ~310
6	3000 ~3500	1000 ~1900	1400 ~1800	3000 ~4000	1000 ~2000	1200 ~2000	3500 ~4000
7	1200 ~1300	800 ~1200	500 ~1200	1100 ~1300	700 ~1100	600 ~1300	900 ~1000
8	1000 ~1100	850 ~1000	800 ~1300	950 ~1100	750 ~1100	1000 ~1500	1000 ~1200

4.3.2 洋上大気暴露試験板の設置

(1) 暴露架台、試験板の設置

初期研究計画段階では暴露架台を浮体構造物に増設する予定であったが、重量配分、スペース等の関係から、浮体構造物への取付けは断念し、代替策としてその近傍の岸壁に暴露架台を設置した。暴露架台に設置した試験板は表 4.5 に示した 8 種の防食仕様を適用したものであり、それぞれの仕様について無塗装ゾーンのある試験板とない試験板を作成し、洋上での暴露を開始した。洋上暴露架台と浮体構造物の位置関係を図 4.11 に示す。試験板のうち無塗装ゾーン設定試験板は、経年後の補修実験に用いるが、ゾーンのない試験板は外観調査、付着力試験、インピーダンス測定の経年変化を調査する。

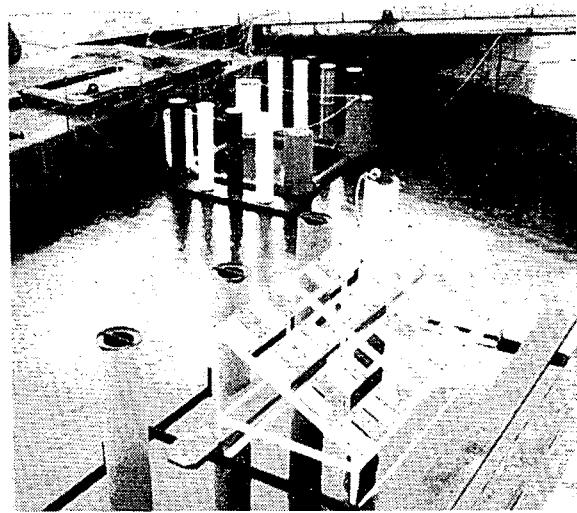


図 4.11 暴露架台と浮体構造物

(2) 外観及び付着力試験結果

外観変化は退色、われ、はがれ、さび、ふくれ等について肉眼にて調査を行った。

付着力の測定は、塗膜に瞬間接着剤を用いてドリーを接着させ、約 10 分後ドリー円周に沿って素地に達する切り傷をいれ、アドヒージョンテスター（エルコメ・タ社製）を用い付着力 (kgf/cm^2) を測定した。防食仕様№ 1 ~ 8 塗装系の暴露開始前、及び 6 カ月後の調査結果を表 4.6 に示す。

表 4.6 外観及び付着力調査結果

項目 防食仕様№	暴 露 前	暴 露 6 カ月後	
	付着力 kgf/cm^2	外 観 变 化	付着力 kgf/cm^2
1	34 (A/C C0)	異常なし	30 (A/C C0) 31 (A/C C0)
2	35 (S)	チョーキング(小)	32 (I/Z C0) 31 (I/Z C0)
3	40 (A/C C0)	異常なし	38 (A/C C0) 32 (A/C C0)
4	38 (S)	チョーキング(小)	48 (S) 55 (S)
5	33 (I/Z.C0)	異常なし	30 (A/C C0) 31 (A/C C0)
6	45 (S)	チョーキング(小)	45 (SとC0) 52 (SとC0)
7	40 (S)	チョーキング(小)	75 (S) 90 (S)
8	35 (S)	異常なし	30 (S) 35 (S)

()内：はく離力所

S : 接着剤からのはく離

C0 : 塗膜層内のはく離

Ad : 素地からのはく離

(3) インピーダンスの測定

3%食塩水にカルボキシルメチルセルロース(CMC)を溶解させた電解質の糊で塗膜面に5×20cmのアルミニウム箔を貼付し、電研式塗膜劣化検査器(東英工業製)により発振周波数毎の抵抗値、及び容量値を測定した。その結果を表4.7に示す。

表4.7 インピーダンスの測定結果

防食仕様NO	暴 露 前				※ 暴 露 6カ月後			
	f (kHz)	C (μF)	R (kΩ)	1kHzの tan δ	f (kHz)	C (μF)	R (kΩ)	1kHzの tan δ
1 500	0.2	0.0045	3000	0.019	0.2	0.0041	4000	0.019
	0.5	0.0043	2000		0.5	0.0040	3000	
	1.0	0.0043	2000		1.0	0.0041	2000	
	2.0	0.0041	1000		2.0	0.0040	1400	
2 200	0.2	0.0055	2000	0.044	0.2	0.0048	3000	0.023
	0.5	0.0052	1000		0.5	0.0046	2000	
	1.5	0.0052	700		1.0	0.0047	1500	
	2.0	0.0050	500		2.0	0.0045	1000	
3 430	0.2	0.0047	2000	0.035	0.2	0.0046	4000	0.018
	0.5	0.0045	1500		0.5	0.0045	3000	
	1.0	0.0045	1000		1.0	0.0045	2000	
	2.0	0.0043	700		2.0	0.0043	1000	
4 320	0.2	0.0037	3000	0.029	0.2	0.0035	5000	0.023
	0.5	0.0036	2000		0.5	0.0034	3000	
	1.0	0.0036	1500		1.0	0.0035	2000	
	2.0	0.0035	1000		2.0	0.0033	1000	
5 220	0.2	0.0046	2000	0.036	0.2	0.0044	4000	0.024
	0.5	0.0044	1500		0.5	0.0043	2000	
	1.0	0.0044	1000		1.0	0.0044	1500	
	2.0	0.0042	800		2.0	0.0042	1000	
6 1920	0.2	0.0026	5000	0.017	0.2	0.0026	6000	0.020
	0.5	0.0025	4000		0.5	0.0025	4000	
	1.0	0.0024	4000		1.0	0.0026	3000	
	2.0	0.0024	3000		2.0	0.0024	2000	
7 850	0.2	0.0031	5000	0.018	0.2	0.0031	4000	0.037
	0.5	0.0030	4000		0.5	0.0030	2000	
	1.0	0.0030	3000		1.0	0.0031	1400	
	2.0	0.0028	2000		2.0	0.0029	1000	
8 680	0.2	0.0031	5000	0.013	0.2	0.0029	6000	0.018
	0.5	0.0030	4000		0.5	0.0028	4000	
	1.0	0.0030	4000		1.0	0.0029	3000	
	2.0	0.0029	3000		2.0	0.0028	2000	

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

※ 試験板は水洗後、24Hr室内放置し測定。

[] 内: 膜厚 μm

4.4 まとめ

(1) 水中メンテナンス

(a) 生物付着(固着生物)

浮体構造物及び試験板を設置している海域は、比較的温暖な瀬戸内海の東経 $133^{\circ}57'$ 、北緯 $34^{\circ}30'$ に位置する(宇野港近傍)。

それらを没水し、13カ月経過(S 55.9～S 56.11)後に観察された固着生物種は、「スライム」、「緑草」、「褐草」、「コケ虫」、「ヒドロ虫」、「ホヤ」、「フジツボ」類が主体である。これら固着生物にあって最も有害な生物にあげられるフジツボは、基盤(塗膜)上に強固に着生し、成長に伴って軟弱な塗膜であれば塗膜内へくい込み、素地鋼板を腐食に至らせるおそれがある。しかし、供試防食仕様9種は浸漬年数の少ないものもあるが、強固かつ厚みも充分な塗膜であり、生物付着による塗膜ダメージはなかった。

(b) 水中清掃

海洋構造物は船舶と異なり、定期的な入渠をすることがないため、超長期の耐用年数を目標とした防食方法、すなわち重防食塗装システムに依存している。しかし、一般に海洋構造物の水中部分は、船舶に比べ生物付着による経済的影響が少ないため、防汚は考慮されない場合が多い。従って、生物付着は著しく、水中部分の錆、塗膜劣化による欠陥部や補修部分を確認する水中検査を実施するためには、防食塗膜を傷つけることなく汚損生物を除去できる水中清掃が必要である。

今回、水中清掃に用いた回転ディスク方式の水中清掃機は、ダイバー直接操作型に属するものであり、

- ① 大掛りな装置とならない。
- ② 清掃作業と併行して水中検査が可能。
- ③ 汚損度に応じてディスクの取替可能。
- ④ 機器重量がダイバーの負担にならない。
- ⑤ 水中補修塗装前の下地処理も可能。

等、様々な利点が確認できた。

汚損生物の除去性は付着している塗膜、すなわち供試防食仕様9種において大差はないが、仕様No.6のPEMは、表面の凹凸が著しいためか、フジツボの台座は完全に除去できなかった。供試防食仕様9種の塗膜上に付着した生物(特にフジツボ)を除去する場合、塗膜に対して一種のはく離作用である衝撃力が加わる。しかし各塗膜は除去生物と共にはく離することはなかった。

浸漬年数の経過に伴う、生物付着による耐食性に対する影響を引き続き調査する。

(c) 水中塗装

無塗装ゾーン設定試験板による3種の水中硬化型塗料の水中補修塗装実験は、ウェットハンド法、またはへら塗りにより実施した。無塗装部の素地鋼板は、全面軟質な赤錆に覆われているが、水中清掃機により金属光沢(ホワイトメタル)が見られる程度まで処理可能であった。塗膜部分は当然、生物付着が著しい。しかし、付着生物の完全除去は可能でかつ清掃に伴うダメージもなかった。3種の水中硬化型塗料は、ペアメタル部、旧塗膜部(防食仕様No.1～8)に対し、波浪等の影響によりはく離することなく硬化し被覆防食している。この実験の範囲では、海洋構造物等で小規模の塗装ダメージ部の補修は可能と思われる。

(2) 洋上大気暴露試験

防食仕様No.1～8の洋上大気部における耐久性や次年度以降の補修施工のための試験板及び、構造体(200φ×1500mm)を設計、製作した。

上部構造試験体は既存の浮体構造物に増設したが、試験板は浮体構造物近傍の岸壁を利用して洋上暴露架台(南面35°傾斜)に設置し、暴露試験を開始した。試験板のうち無塗装ゾーン設定のものは次年度に

補修施工を検討するが、無塗装ゾーンのないものについては、外観、付着力、インピーダンスの経時変化を調査する。

海上大気暴露における防食仕様№1～8の塗膜は、6カ月経過時点では仕様№2、4、6及び7にチヨーキングが認められる程度でいずれの仕様も付着力、インピーダンスとともに変化はない。

参考文献

- 1) 石油備蓄タンカーの貨油、船体及び設備の保全に関する調査研究
日本造船研究協会資料№334 昭和54年度
- 2) 海洋の付着生物
樋 原 武 OCEAN AGE JULY 1980
- 3) 海産付着生物の生活史
平野 礼次郎、加戸 隆介 OCEAN AGE JULY 1980
- 4) 海洋構造物のメインテナンスと水中塗装法
森 芳徳 塗装技術 1981 7月号
- 5) 最近の水中硬化型塗料について(Ⅰ)
大西 正次 塗装技術 1981 7月号
- 6) 最近の水中硬化型塗料について(Ⅱ)
竹本 敦 塗装技術 1981 7月号
- 7) 水中機械化塗装技術の動向
小保方 恒夫、嶋谷 四郎 塗装技術 1981 7月号

5. 防食施工法の調査検討

5.1 調査検討の目的

非金属防食材料の中で、厚膜被覆材であるライニング材料は一般に被覆前処理法として高グレードのプラスト処理が要求されている。しかし、実際には、現在の建造システムや海洋構造物の構造上の問題、さらに環境対策上の問題などから、必ずしもプラスト処理が可能であるとは限らない。従って、現在一般化しているショッププライミング方式や現用の素地調整法がライニング被覆施工に適合するか否かを技術的に明らかにしておく必要がある。

そこで、本調査検討項目は、ライニング材料を対象に、その施工上の各種条件とライニング皮膜の特性の関係を明らかにすることを目的として実施するものであり、56年度においては下記の2項目について検討した。

(1) ライニング施工におけるショッププライミング方式の適用性、現用の各種ショッププライマー(S/P)及び2次表面処理法とそのグレードに対するライニング材料の適用性について、特に層間付着性の観点から検討した。

(2) ライニング材料の付着性に及ぼす素地調整法の影響

ショッププライマー塗膜がなく、錆発生面に対する素地調整法とそのグレードがライニング材料の付着性に及ぼす影響について検討した。

5.2 ライニング施工におけるショッププライミング方式の適用性

5.2.1 供試材料とその仕様

(1) 供試ショッププライマー

本項目において検討したショッププライマーは下記の3種類である。なお、これらは現在、造船所などで使用されている代表的なショッププライマーである。

- Ⓐ 無機ジンクプライマー(IZP; 標準膜厚 17 μm)
- Ⓑ 有機ジンクプライマー(OZP; 標準膜厚 15 μm)
- Ⓒ ノンジンクプライマー(NZP; 標準膜厚 20 μm)

(2) 供試ライニング材料

本項目において供試したライニング材料は下記の4種類である。

- Ⓐ エポキシモルタルライニング (PEM)
- Ⓑ エポキシガラスフレークライニング (PEF)
- Ⓒ ポリエステルガラスフレークライニング (ESF)
- Ⓓ タールエポキシガラスフレークライニング (TEF)

なお、上記ライニング材料のうち、Ⓐ、Ⓑ及びⒸの3種は表1.1に示したものと全く同じ製品であり、Ⓓは表2.1に示す浮体式試験体に適用されたものと全く同じ製品である。

(3) 供試材料による防食仕様

前述したショッププライマー及びライニング材料による防食仕様は表5.1に示すとおりである。

5.2.2 試験内容

(1) 試験板の作製

試験板としては、寸法 3.2 t × 200 × 150 mm の熱間圧延鋼板を用い、これをショットプラスト処理(表面粗度 40 ~ 60 μm R_{max.})して各ショッププライマーをそれぞれ標準膜厚となるように塗装した。さらに、ショッププライマー塗装後、試験板を1箇月間屋外で暴露した。その後、これらの試験板に対

し、表5.2に示す2次表面処理を行って、各供試ライニング材料を所定の方法で表5.1に示す仕様に基いて被覆施工した。

(2) 防食性試験

防食性試験としては下記の2種類の試験を行った。

- (a) 屋外暴露試験 造船所内の岸壁近くに暴露した。
- (b) 3%食塩水浸漬試験 40°Cに加温した食塩水に浸漬した。

(3) 付着力試験

本試験はライニング皮膜の付着性を定量的に評価する目的で実施するものであり、JIS A 6909に準拠した引張付着力試験である。この引張付着力試験は1.3(3)項に述べた方法と全く同じであり、その詳細は本研究の55年度研究資料第341号の12頁に記載されている。

なお、この引張付着力試験における皮膜の破断形態は下記の5つに分類できる。

- ① 鋼板面からの破断
- ② S/Pの凝集破断
- ③ S/Pとライニング皮膜の界面（層間）破断
- ④ ライニング皮膜の凝集破断
- ⑤ ジグの接着に用いた接着剤層の破断

これらの破断形態の中で、特に付着性に問題があると思われるものは①及び③であり、その他はいずれも皮膜自体の強度などを示したもので皮膜の付着性は良好であると判断できる。しかし、実際の付着力試験の結果では、これらの破断形態が混在して現われる場合が多く、その場合には破断面の出現面積の最も多い破断形態で評価することとした。

5.2.3 試験結果と考察

屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月経過後までの付着力試験の結果をそれぞれ図5.1(1)～(4)及び図5.2(1)～(4)に示す。これらの図から、各防食仕様ごとの特性について考察すると以下のとおりである。

(1) 防食仕様16.6（エポキシモルタルライニング：P E M）

屋外暴露及び3%食塩水浸漬後の引張付着力は、いずれのS/Pにおいても初期値より高くなっている。その破断形態はライニング皮膜の凝集破断であった。また、各種2次表面処理面に対しても付着性は良好でいずれも皮膜の凝集破断となっており、現時点では処理グレードの影響は認められていない。これらのことから、エポキシモルタルライニング（P E M）はいずれのS/Pに対しても適合性を有していると評価できる。

(2) 防食仕様16.7（エポキシガラスフレークライニング：P E F）

試験板作製初期における付着力試験において、S/Pが全面にある無処理の試験板での破断形態はいずれのS/PにおいてもS/Pとライニング皮膜の界面（層間）破断であり、エポキシガラスフレークライニング（P E F）はいずれのS/Pに対しても付着性に問題があると判断できる。しかし、2次表面処理を行い、そのグレードを高くしたプラスト処理面（B₁及びB₂）に対しては付着力も向上し、その破断形態はS/Pの凝集破断あるいはライニング皮膜の凝集破断になっている。

(3) 防食仕様16.8（ポリエステルガラスフレークライニング：E S F）

屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月後の付着力試験において、S/PがIZP及びOZPの無処理の場合の破断形態はそれライニング皮膜の凝集破断とS/Pの凝集破断であった。

一方、S/PがNZPの無処理の場合にはS/Pとライニング皮膜の界面破断であり、付着性に難点があると思われる。この場合2次表面処理を行い、パワーソール処理でS/Pが60～70%除去された状態（T₂）あるいはプラスト処理（B₁及びB₂）面においては破断形態はライニング皮膜の凝集破断となっ

ており、付着性の向上が認められた。これらのことより、ポリエスチルガラスフレークライニングは、S/Pに対して選択性があり、不適合なS/Pに対してはそのS/Pを60～70%除去する必要がある。

(4) 防食仕様A6M2(タールエボキシガラスフレークライニング：TEF)

試験板作製初期及び3%食塩水浸漬6箇月後の付着力試験において、S/Pが1ZP及びOZPの無処理の場合の破断形態はS/Pとライニング皮膜の界面(層間)破断であった。また、これらのS/P面に対してパワーツール処理やブラスト処理など2次表面処理を行えば、破断形態はライニング皮膜の凝集破断となっているが、その引張破断力はS/Pとの界面破断の場合と大差がなかった。一方、S/PがNZPの無処理の場合にはその破断形態はS/Pの凝集破断であった。これらのことからタールエボキシガラスフレークライニング(TEF)もS/Pに対して選択性があり、不適合なS/Pの場合には2次表面処理を行ってS/Pを30～40%以上除去することが好ましい。

5.3 ライニング材料の付着性に及ぼす素地調整法の影響

5.3.1 供試ライニング材料とその仕様

(1) 供試ライニング材料

本項目において供試したライニング材料は下記の4種類であり、これらは前項(5.2)の供試ライニング材料と全く同じものである。

- A. エボキシモルタルライニング (PEM)
- B. エボキシガラスフレークライニング (PEF)
- C. ポリエスチルガラスフレークライニング (ESF)
- D. タールエボキシガラスフレークライニング (TEF)

(2) 供試ライニング材料による防食仕様

供試ライニング材料による防食仕様は表5.3に示すとおりである。

5.3.2 試験内容

(1) 試験板の作製

試験板としては寸法 $3.2\text{t} \times 200 \times 150\text{mm}$ の熱間圧延鋼板を用い、これをショットブラスト処理して1箇月間屋外で暴露して鋳鋼板とした。この鋳鋼板に対し、表5.4に示す素地調整を行い、各供試ライニング材料を所定の方法で表5.3に示す仕様に基いて被覆施工した。

(2) 防食性試験

防食性試験としては、前項と同様、屋外暴露試験と40°C加温の3%食塩水浸漬試験である。

(3) 付着力試験

付着力試験も前項と全く同様、JIS A 6909に準拠し引張付着力試験を行った。

5.3.3 試験結果と考察

屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月経過後までの付着力試験の結果をそれぞれ図5.3及び図5.4に示す。これらの結果から、各防食仕様ごとの特性を考察すると以下のとおりである。

(1) 防食仕様A6(エボキシモルタルライニング：PEM)

屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月後の付着力試験において、パワーツール処理とブラスト処理との相異が顕著に現われており、パワーツール処理の場合には破断形態は鋼板面からの破断であるが、ブラスト処理の場合における破断形態はいずれもライニング皮膜の凝集破断であった。従って、現時点で評価するならば、エボキシモルタルライニングに対しては素地調整としてSPSS Sd1以上のブラスト処理が必要である。

(2) 防食仕様167（エポキシガラスフレークライニング：P E F）

屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月後の付着力はパワーツール処理面よりもプラスト処理面の方がかなり高くなっている。しかし、いずれもその付着力は初期の値に比べると低下しており、塩水浸漬板の破断形態は鋼板面からの破断となっており、付着性が懸念される。

(3) 防食仕様168（ポリエステルガラスフレークライニング：E S F）

屋外暴露6箇月後の付着性としては素地調整の影響が認められず、いずれの処理グレードにおいても低い破断値であった。ただし、これらの破断形態はいずれもライニング皮膜の凝集破断であり、皮膜自身の凝集力の低下が懸念される。一方、3%食塩水浸漬6箇月後における付着力試験では素地調整の影響が認められ、パワーツール処理の場合にはその破断値は低く、しかも破断形態は鋼板面からの破断であった。しかし、プラスト処理の場合には、いずれも破断力の向上が認められ、しかもいずれも皮膜の凝集破断であった。これらのことより、ポリエステルガラスフレークライニングに対する素地調整法としてはSPSS Sd1以上のプラスト処理が好ましいと思われる。

(4) 防食仕様16M2（タールエポキシガラスフレークライニング：T E F）

屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月後の付着力試験において、パワーツール処理の場合には比較的低い破断値で、しかも破断形態は鋼板面からの破断であるが、プラスト処理の場合には破断値は向上し、さらに破断形態も皮膜の凝集破断であった。これらのことより、タールエポキシガラスフレークライニングに対しても、パワーツール処理による適用には問題があり、SPSS Sd1以上のプラスト処理が必要である。

5.4 まとめ

代表的な4種のライニング材料に対し、各種S/Pとの適合性及び付着性に及ぼす素地調整法の影響について、屋外暴露及び3%食塩水浸漬6箇月経過後における引張付着力試験やその引張破断形態など、主として付着性の観点から評価すると以下のとおりである。

- (1) エポキシモルタルライニング（P E M）は無機ジンクプライマー（I Z P）、有機ジンクプライマー（O Z P）及びノンジンクプライマー（N Z P）など、いずれのS/Pに対しても適合性を有すると思われる。しかし、S/Pがない鋳鋼板の場合にはSPSS Sd1以上のプラスト処理が必要である。
- (2) エポキシガラスフレークライニング（P E F）はいずれのS/Pに対しても適合性に乏しく、ショッププライミング方式を適用するにはさらにS/Pを30～40%除去するプラスト処理が必要である。また、鋳鋼板に対してはかなり高グレードのプラスト処理が必要である。
- (3) ポリエステルガラスフレークライニング（E S F）はS/Pに対して選択性を有しており、適合性のないS/Pに対してはパワーツール処理でS/Pを60～70%除去するか、あるいはプラスト処理を行ってS/Pを30～40%以上除去する必要がある。また、鋳鋼板に適用するには素地調整としてSPSS Sd1以上のプラスト処理が好ましい。
- (4) タールエポキシガラスフレークライニング（T E F）はS/Pに対してやはり選択性があり、S/Pによっては高グレードの2次表面処理を行ってS/Pを30～40%以上除去する必要がある。また、鋳鋼板の場合にはSPSS Sd1以上のプラスト処理が必要である。

なお、屋外暴露や3%食塩水浸漬試験は断続して実施中であり、さらに長期間にわたる追跡試験によって、ショッププライミング方式の適用性や素地調整法について評価する予定である。

表 5.1 供試材料による防食仕様 (S/Pの適合性検討)

防食仕様 No	素地調整	S/P	ライニング材料と塗回数		合計膜厚 (μm)	備考
			1回目	2回目		
6	Sh	I Z P	P E M (5.000)	—	5,000	
		O Z P				
		N Z P				
7	Sh	I Z P	P E F (650)	P E F (650)	1,300	
		O Z P				
		N Z P				
8	Sh	I Z P	E S F (750)	E S F (750)	1,500	
		O Z P				
		N Z P				
M2	Sh	I Z P	T E F (750)	T E F (750)	1,500	
		O Z P				
		N Z P				

- (注) 1. 素地調整の種類: ショットブラスト: Sh
 2. () 内はそのライニング材料の膜厚 μm を示す

表 5.2 ショットブライミング方式の適用性、検討における 2 次表面処理

処理方法	処理状態(グレード)	記号
無処理	S/P が全面に塗布されている状態	N
パワーソール処理	S/P が 30 ~ 40 % 除去された状態	T ₁
	S/P が 60 ~ 70 % 除去された状態	T ₂
プラスト処理	S/P が 30 ~ 40 % 除去された状態	B ₁
	S/P が 60 ~ 70 % 除去された状態	B ₂

表 5.3 供試ライニング材料による防食仕様(素地調整の影響調査)

防食仕様 No.	素地調整	ライニング材料と塗回数		合計膜厚 (μm)
		1回目	2回目	
6	(5種類)	P E M (5,000)	—	5,000
7	(5種類)	P E F (650)	P E F (650)	1,300
8	(5種類)	E S F (750)	E S F (750)	1,500
M2	(5種類)	T E F (750)	T E F (750)	1,500

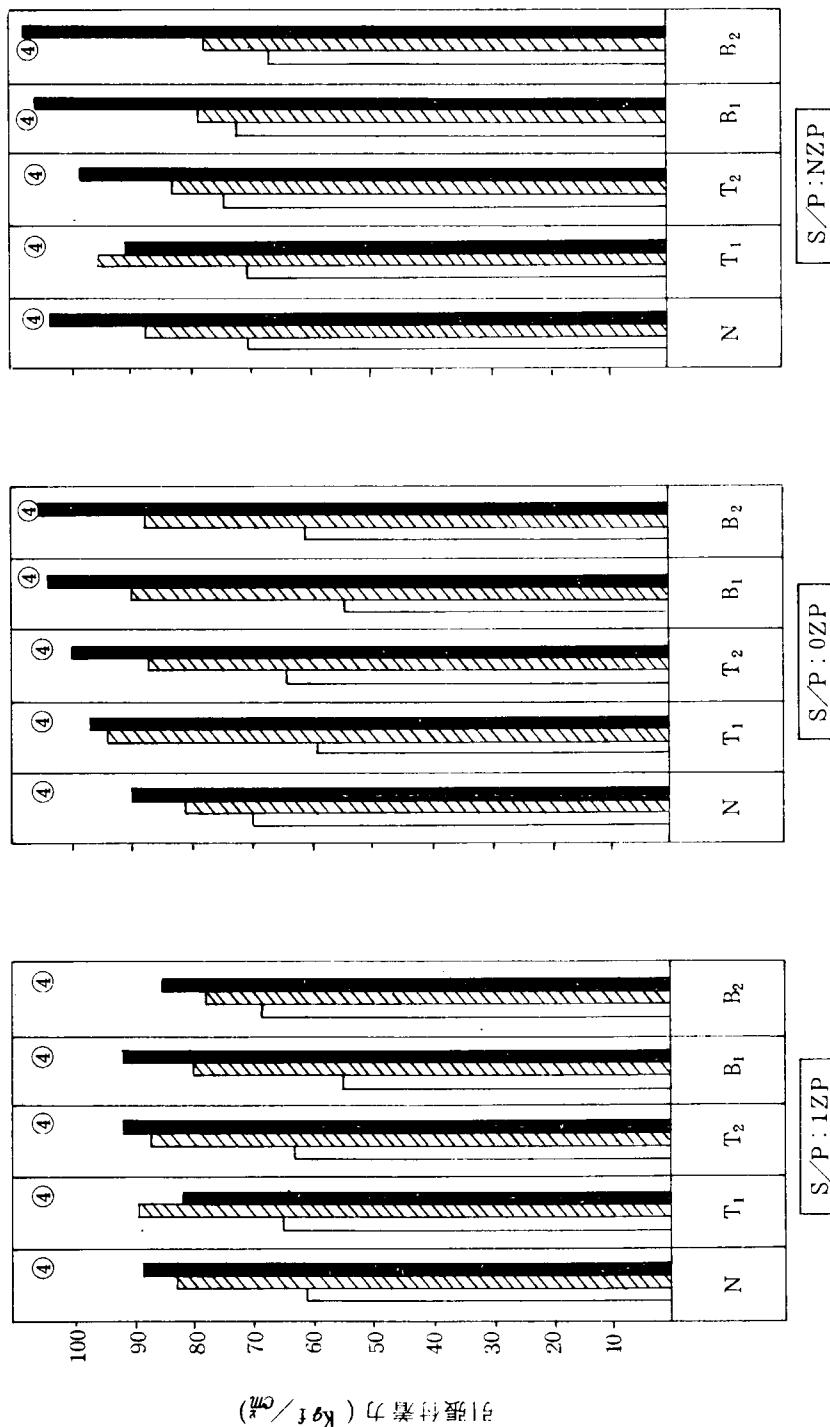
(注) 1. 素地調整の5種類は表5.4に示す。

表 5.4 素地調整の方法と処理状態

素地調整の方法	処理状態	記号
パワーツール処理	S I S S t 2 相当	S t 2
	S I S S t 3 相当	S t 3
プラスチック処理	S P S S S d 1 相当	S d 1
	S P S S S d 2 相当	S d 2
	S P S S S d 3 相当	S d 3

6箇月暴露後の破断形態 ④

初期 3箇月
経過後



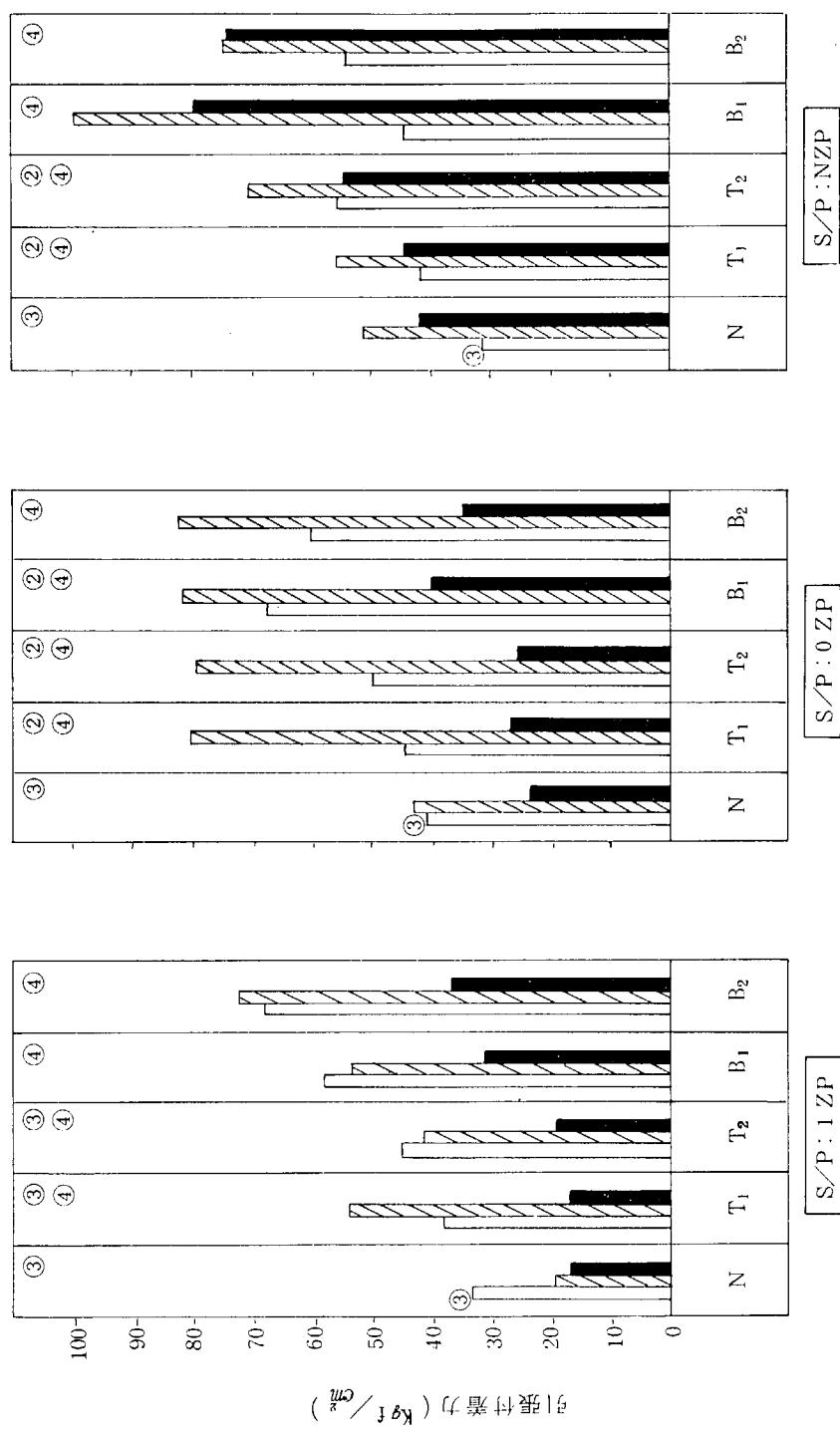


図 5.1 (2) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様 16.7, 屋外暴露板）

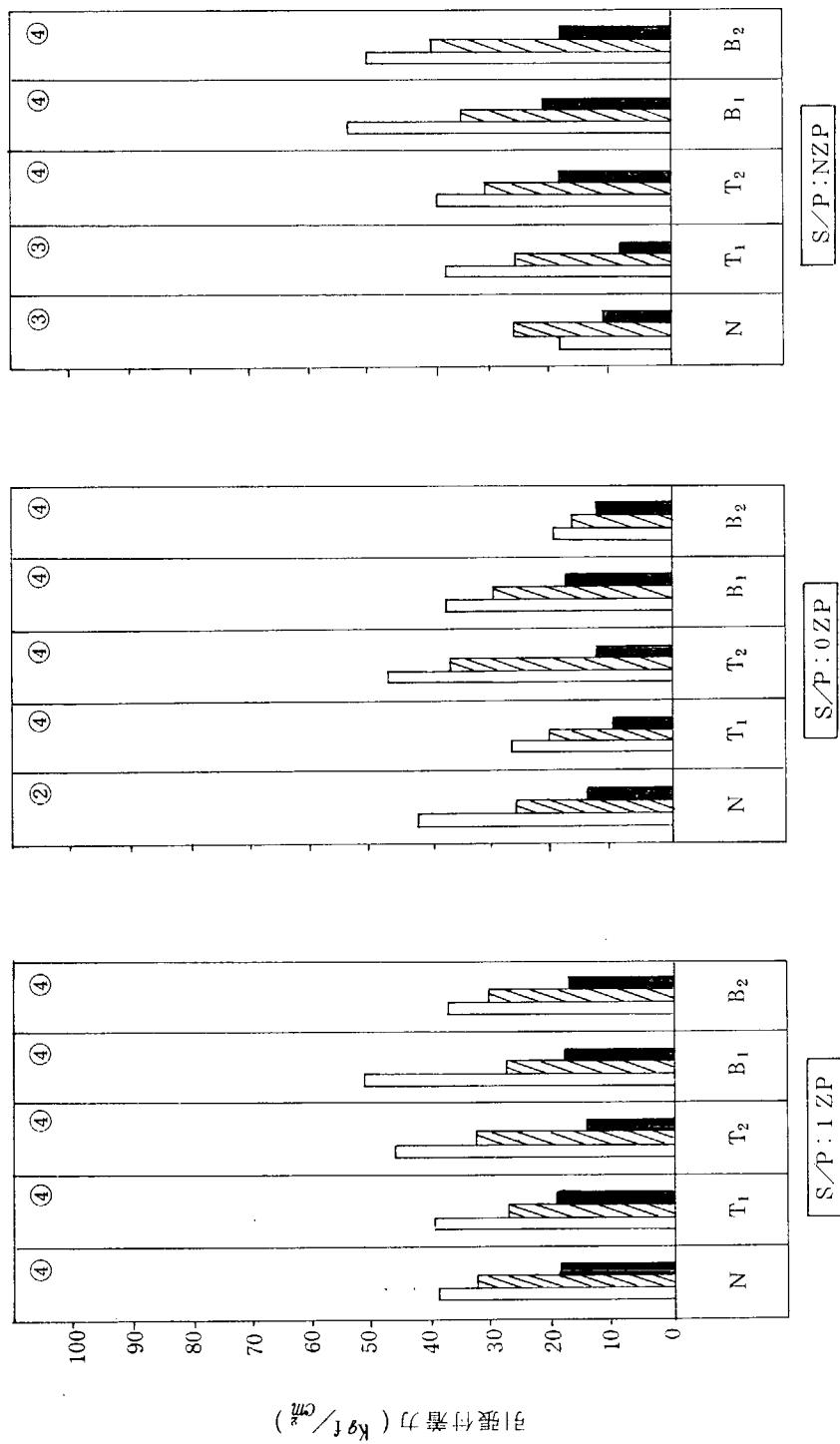


図 5.1 (3) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様 No.8, 屋外暴露板）

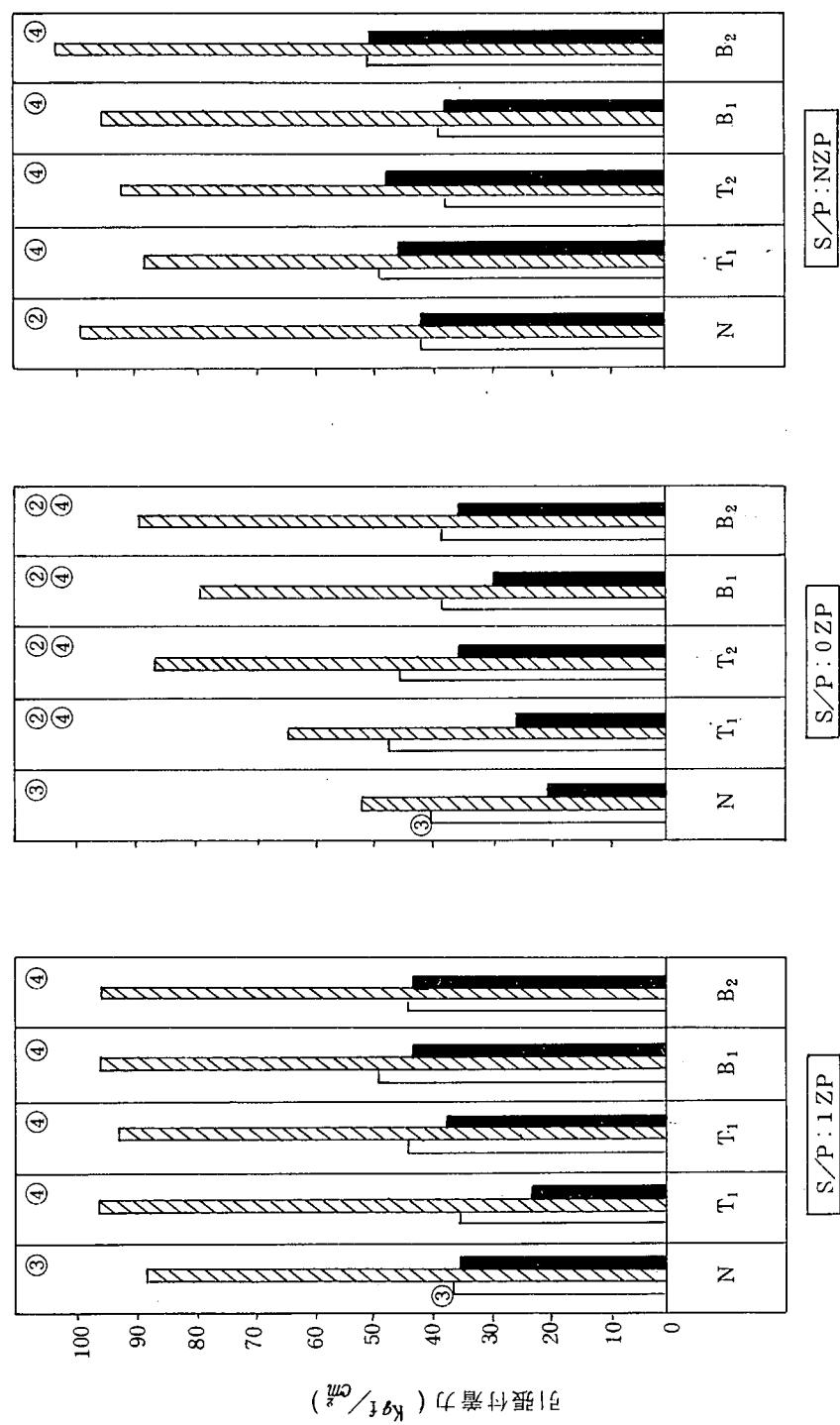


図 5.1(4) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様 GM2，屋外暴露板）

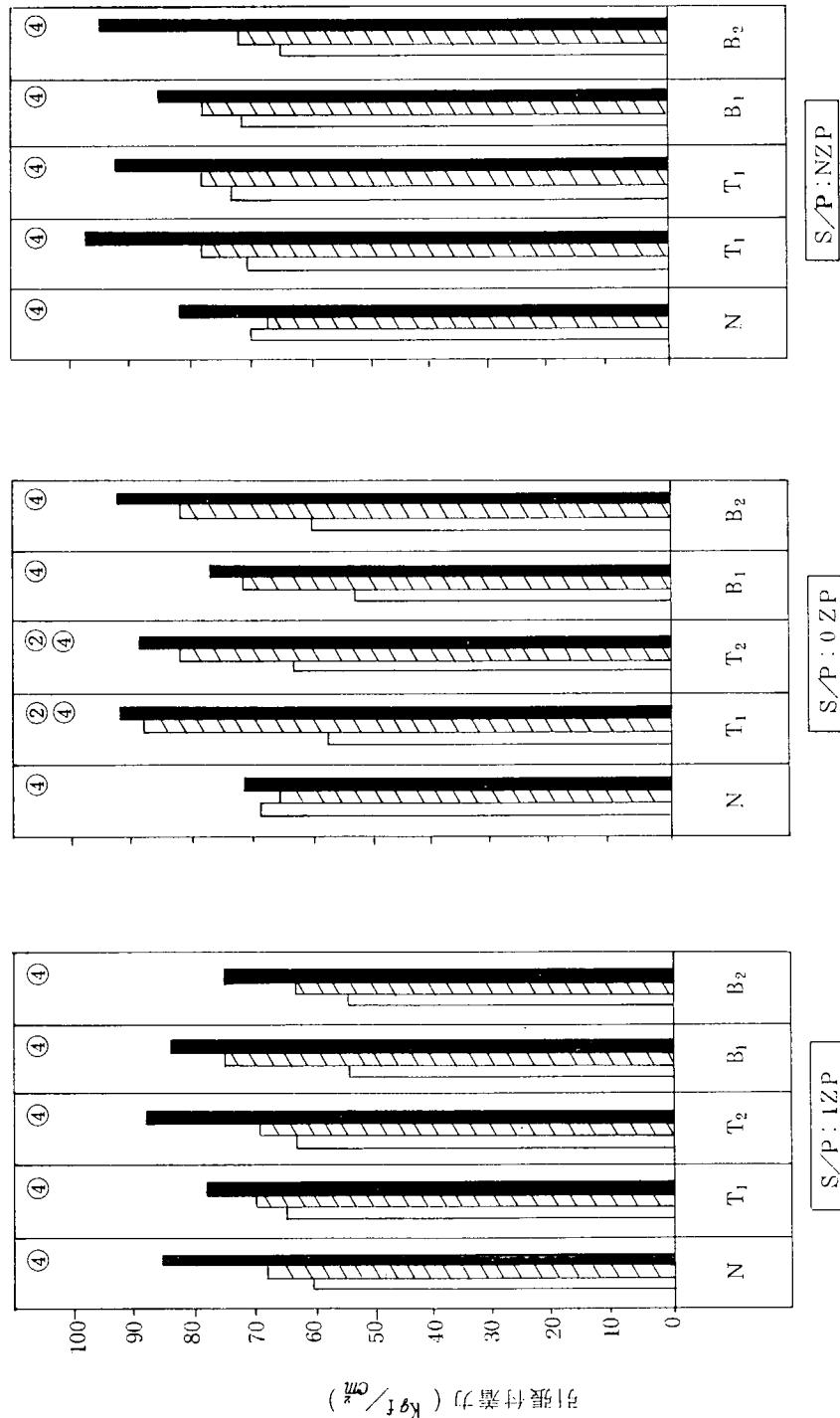


図 5.2 (1) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様 No.6, 塩水浸漬板）

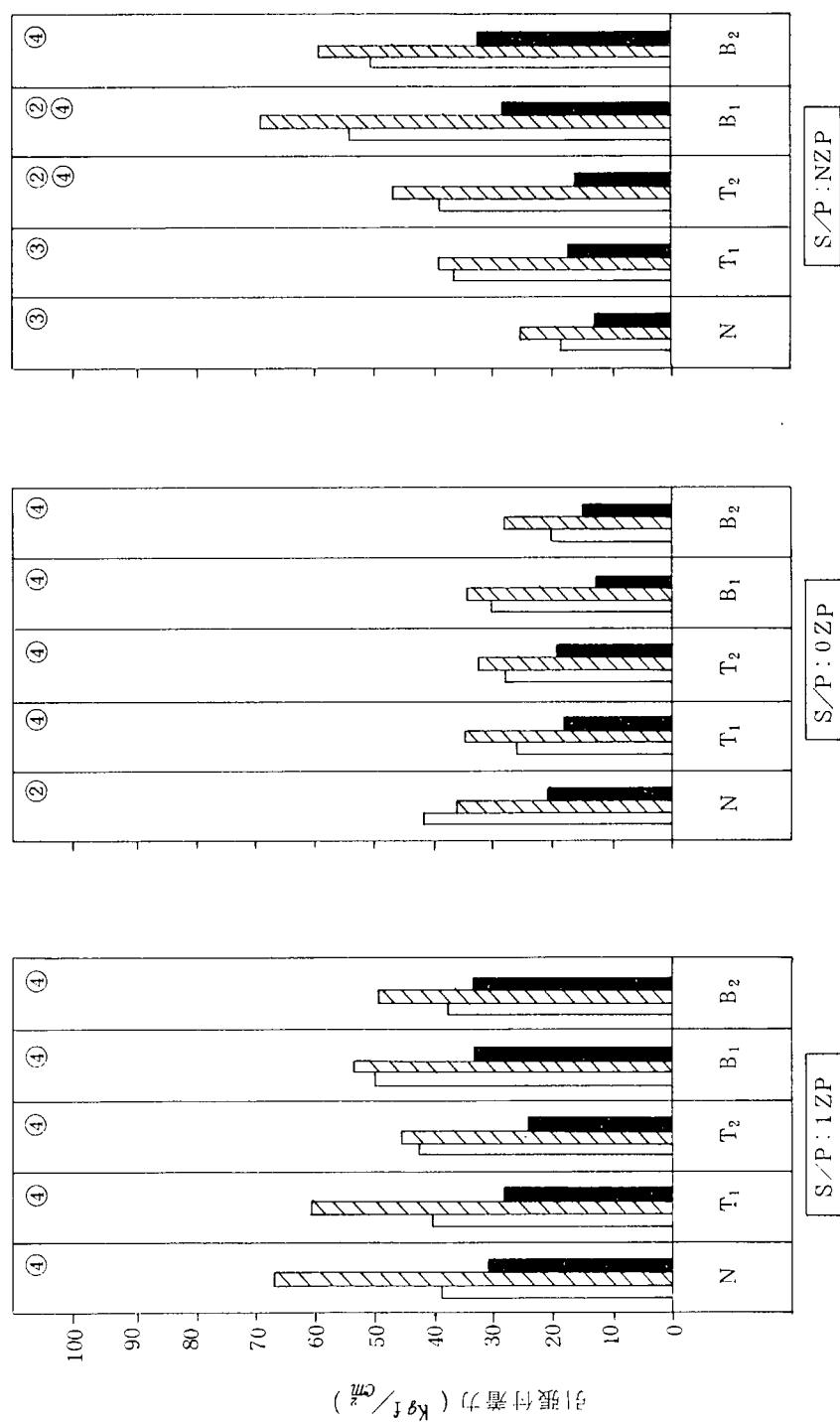


図 5.2 (3) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係(防食仕様 16.8, 塩水浸漬板)

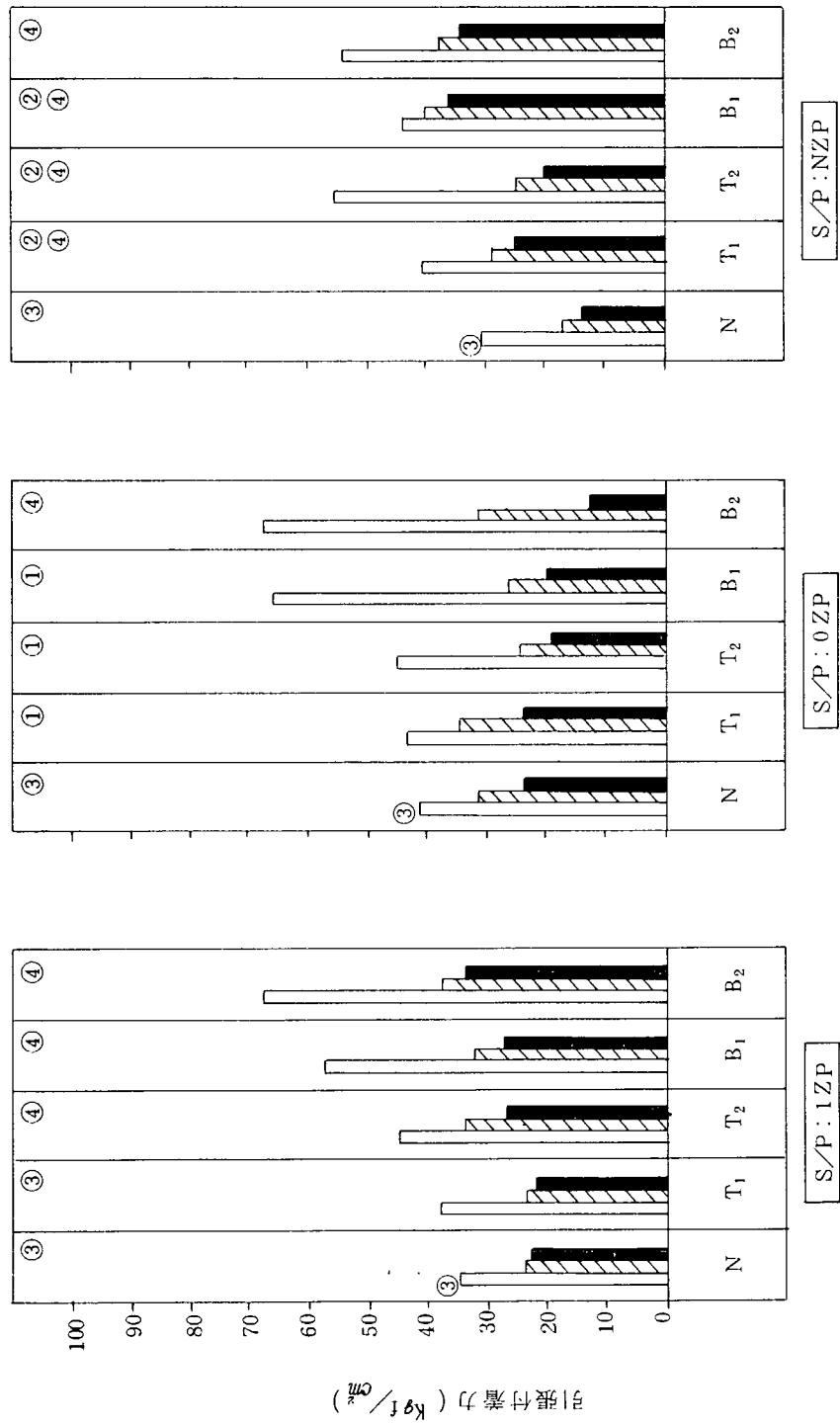
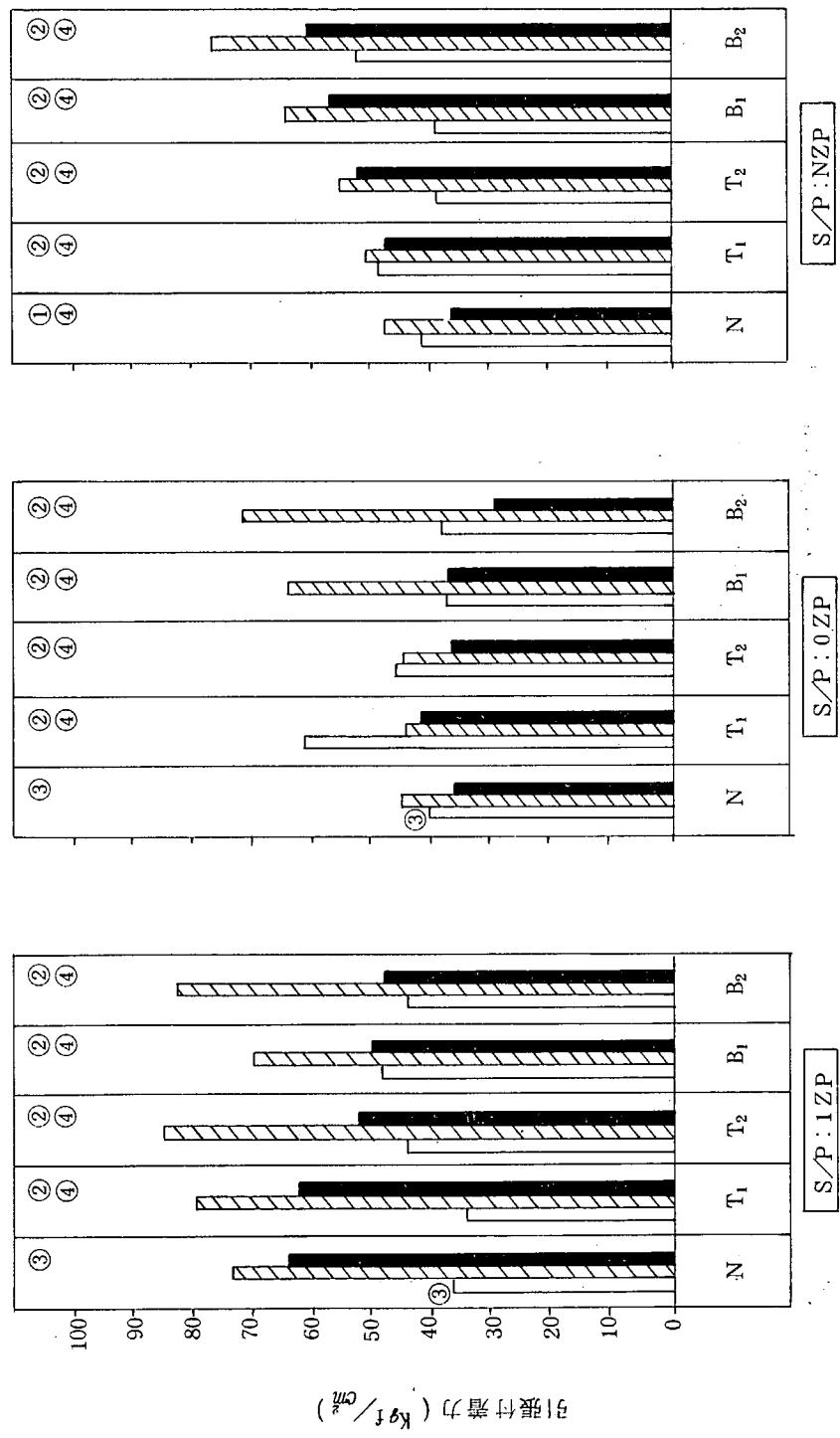


図 5.2(2) S/P面の2次表面処理と引張付着力との関係(防食仕様M6.7, 塩水浸漬板)



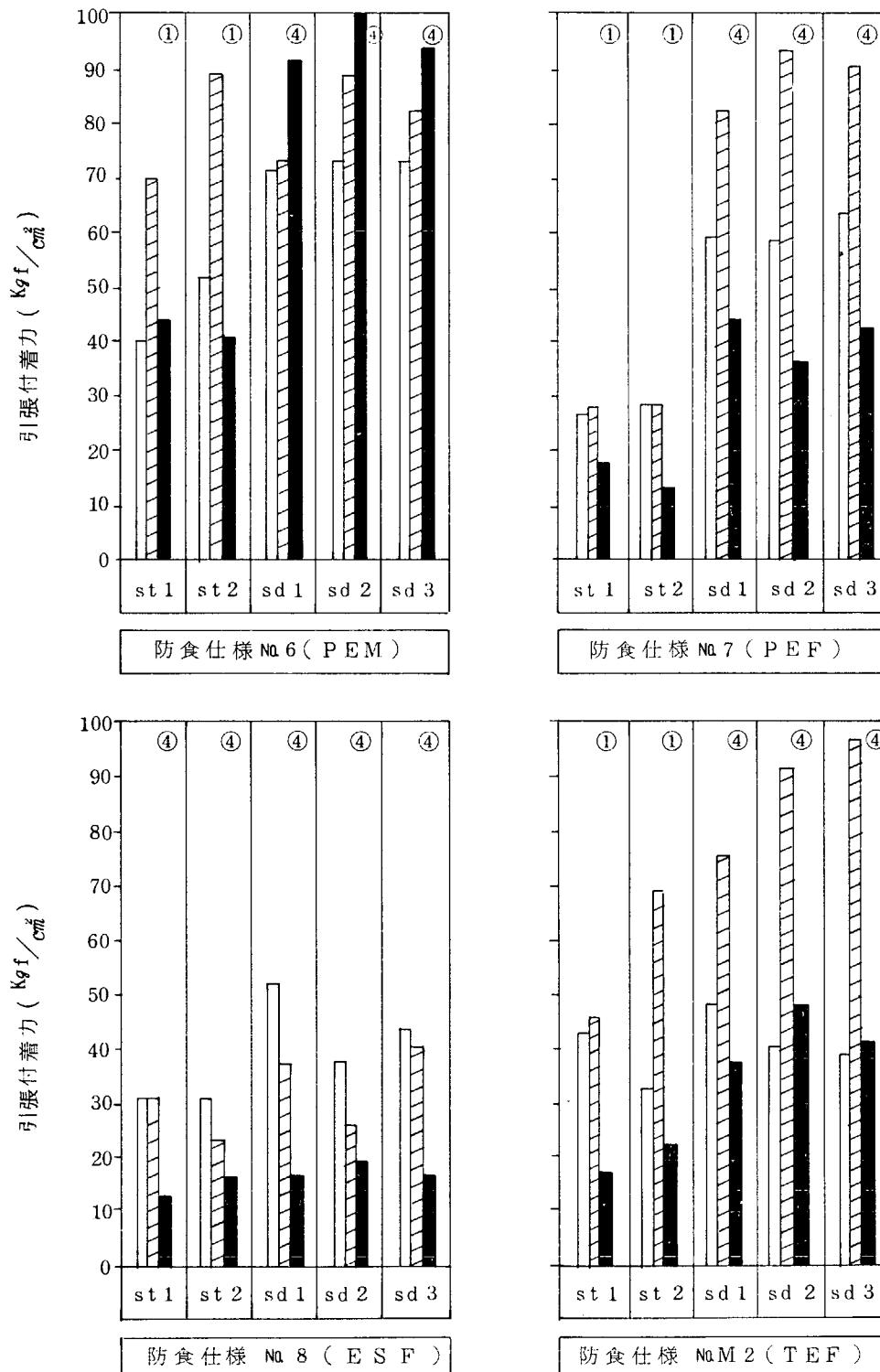


図 5.3 素地調整グレードと引張付着力との関係(屋外暴露板)

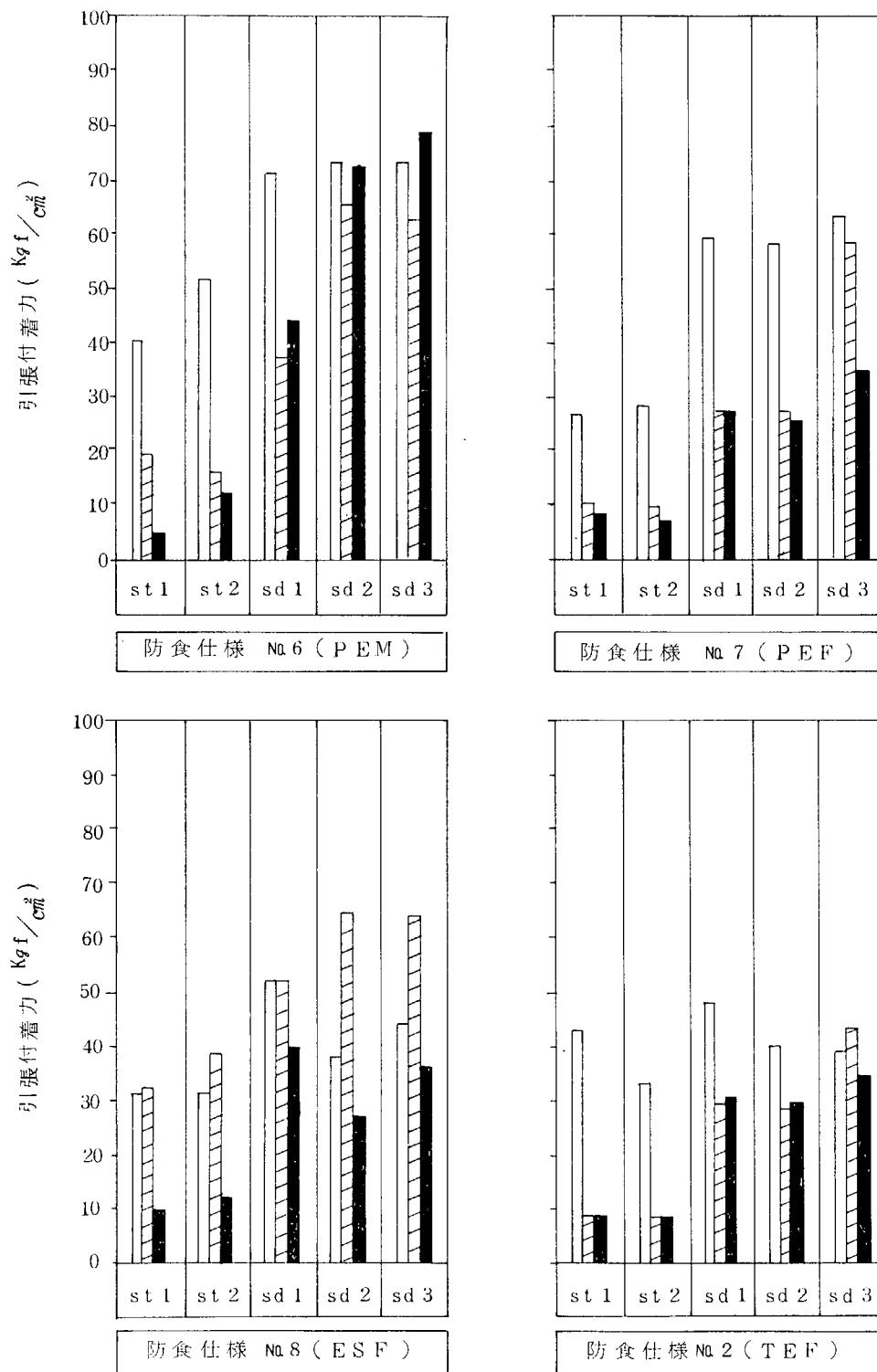


図 5.4 素地調整グレードと引張付着力との関係 (3%食塩水浸漬板)

あ と が き

本研究の2年目である56年度において実施した調査研究項目とその内容を要約すると以下のとおりである。

(1) 重防食材料の調査

塗装系仕様5種、ライニング系仕様3種合計8種の防食仕様を適用した試験板に対し、屋外暴露試験、天然海水浸漬試験及び加温人工海水浸漬試験を開始して1年7箇月が経過した。その間、天然海水浸漬6箇月及び1箇年経過時において、各仕様皮膜に対して各種の機械的強度試験を実施した。その結果、各種仕様皮膜の中には経時とともに機械的特性が変動する傾向にあるものが見られた。しかし、いずれの仕様皮膜とも塗り重ね層間からのはく離は見られず、さらに暴露や浸漬試験においても発さび、ふくれ、あるいは割れなどの皮膜欠陥もなく防食性能は良好であった。

(2) 海洋環境下での構造物の防食性試験

製作した浮体式試験体は横幅1,500mm、縦幅5,000mm、高さ4,000mmの浮体2基を外径約318mmの鋼管5本で接続して総横幅6,000mmとした双胴形のもので、総重量は17.5トンである。この試験体外面に合計10種の防食仕様を適用した。また、この試験体は長崎海域において、水深約20mの所に4本のチェーンを用いて保留された。なお、この試験体には次年度以降において応力を計測するため、浮体や鋼管など17箇所にストレインゲージ(溶接式)をあらかじめ取り付けた。

(3) 防食材料の寿命推定法に関する検討

防食材料の劣化を促進させる試験として、促進耐候性試験、塩水浸漬試験及び熱サイクル試験を行った。また、これらの促進試験後における塗膜の劣化状態を評価判定する方法として、鋼板との付着力、体積抵抗率、インピーダンス、単離膜の引張強度及びガス透過率などを測定した。その結果、促進試験における塗膜の劣化要因としては塩水浸漬試験による浸漬液の温度の効果が大きく、その劣化状態を評価判定する方法としてはインピーダンス測定による抵抗及び $\tan \delta$ の変化量をとらえることが有効であることが判明した。

(4) メインテナンス方法の調査検討

55年度において製作、設置した浮体構造物に対し、10箇月経過後に外観調査と生物付着状況調査を行った。その結果、いずれの防食仕様皮膜ともに発さび、ふくれあるいは割れなどの欠陥は認められなかった。なお、生物付着状況としては緑藻類、フジツボ、ホヤ類及びナギサコケムシなどが多く、それらの付着重量は水深1mの所で50～80g/225cm²であった。さらに、水中メインテナンスを検討するため別途浸漬した試験板なども用いて水中清掃法や水中塗装法についても実験した。この水中清掃にはコーン型の水中清掃機を用いた。また、水中塗装は3種類の水中硬化型塗料により8種の防食仕様を適用した試験板に対して施工した。

なお、次年度以降において洋上暴露部におけるメインテナンス法を検討するため、浮体構造物に200A×1,500mmのパイプ構造体8本を浮力タンクとともに上部構造物として増設した。さらに、別途大気暴露試験板も設置した。これらのパイプ構造体や試験板に対してはそれぞれ8種の防食仕様を適用し、特に試験板に対しては初期付着力試験とインピーダンス測定を行った。

(5) 防食施工法の調査検討

ライニング材料の施工性に関して、ショップブライミング方式の適用性と素地調整の影響について特に付着性の観点で検討した。屋外暴露及び食塩水浸漬6箇月経過時における付着力測定の結果から、概略以下のようない傾向があるといえる。エポキシモルタルライニング(P EM)はショップブライマー(S/P)との適合性を有しているが、S/Pの無い場合の素地調整はSPSS Sd1以上のプラスチック処理が好ましい。エポキシガラスフレークリайн(P EF)はS/Pとの適合性に問題があり、S/Pの有無にかかわらず、プラスチック処理が必要である。ポリエステルガラスフレークリайн(E SF)はS/Pに対して選択性があり注意を要する。また、S/Pの無い場合の素地調整としては、SPSS Sd1以上のプラスチック処理が好ましい。

エボキシガラスフレークライニング(PEF)は S/Pとの適合性に問題があり、 S/Pの有無にかかわらず、 ブラスト処理が必要である。ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)は S/Pに対して選択性があり注意を要する。また、 S/Pの無い場合の素地調整としては、 SPSS Sd1以上のブラスト処理が好ましい。タールエボキシガラスフレークライニング(TEF)も S/Pに対して選択性を有しており、 S/Pの種類によってはパワーソールにより S/P塗膜を 30~40 %除去する必要がある。 S/Pの無い場合にはSPSS Sd1以上のブラスト処理が必要である。

なお、本研究において選定した防食仕様に採用している防食材料は、 いずれも現在市販されている代表的な製品ではあるが、 これらと同系統の防食材料は他にも非常に多く、 検討できなかった同系統の防食材料すべてが必ずしも同じ特性を有するとは限らない。従って、 これらの研究データは、 あくまでも、 採用検討した各防食材料の特性とその傾向であることをお断わりしておきます。