

日本船舶振興会昭和57年度補助事業
“海洋構造物の基礎的研究”

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58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ン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ン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57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 昭三（三菱重工業）
	太田 元久（日本防蝕工業）	翁長一彦（船舶技術研究所）
	大野 鮑一（中川防蝕工業）	金山 尚逸（日本鋼管）
	川田 修（日本ペイント）	神例 昭一（住友重機械工業）
	佐野 俊一（日本油脂）	佐野 隆一（関西ペイント）
	嶋谷 四郎（三井造船）	瀬尾 正雄
	平井 靖男（日立造船）	広田 信義（中國塗料）
	外村 貞一（大日本塗料）	峰久 節治（日立造船）
	三好 貢	安田 健二（日本海事協会）
	柳瀬 元昭（川崎重工業）	
委員	青木 真一（川崎製鉄）	石田 富之輔（日本ペイント）
	高橋 弘孝（日本アマコート）	岡本 忠亮（新日本製鐵）
	小川 和彦（カナエ塗料）	鐘ヶ江 官朗（日立造船）
	久野 忠一（川崎製鉄）	小島 喜七郎（住友重機械工業）
	小山 一彦（沖電気工業）	堺 由輝（川崎重工業）
	佐武 二郎（住友金属工業）	佐藤 炎祐（神東塗料）
	里政 富（三井造船）	実藤 公一（三井金属鉱業）
	鈴木 茂（関西ペイント）	鈴木 昭雄（鬼田化学工業）
	高橋 堅太郎（日本ピストンリング）	堤 弘（船舶舾装品研究所）
	武津 邦雄（神戸ペイント）	諸江 昭洋（東亜ペイント）
	山崎 進吾（日本電気）	
討議参加者	飯田 勇（住友重機械工業）	岡本 一（三井造船）
	織田 凌司（三井造船）	清田 正明（中川防蝕工業）
	小林 韶治（船舶舾装品研究所）	柴田 昭男（三菱重工業）
	高田 光芳（日立造船）	高久 洋（日本鋼管）
	津田 岑（神東塗料）	津田 嘉樹（関西ペイント）
	照島 信樹（関西ペイント）	長瀬 亨（石川島播磨重工業）
	中島 和昭（東亜ペイント）	中村 辰雄（日本防蝕工業）
	中村 傑章（鬼田化学工業）	平林 健一（三井金属工業）
	広瀬 登（東亜ペイント）	村上 明（日本油脂）
	森田 赴夫（日本ペイント）	山本 彰利（川崎重工業）
	吉田 耕太郎（新日本製鐵）	

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 試験結果と皮膜特性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	20
2.1 防食性試験の目的	20
2.2 浮体試験体の概要	20
2.3 調査結果	22
2.3.1 気象・海象調査	22
2.3.2 防食調査	22
2.3.3 浮体の応力測定結果	27
2.4 まとめ	32
3. 防食材料の寿命推定法に関する検討	40
3.1 目的	40
3.2 供試防食材料と防食仕様	40
3.3 試験項目と試験方法	40
3.3.1 防食材料の劣化促進試験	40
3.3.2 防食材料欠陥の素地金属への影響	41
3.4 試験結果と考察	41
3.4.1 防食材料の劣化促進試験	41
3.4.2 防食材料欠陥の素地金属への影響	42
3.5 まとめ	42
4. メインテナンス方法の調査検討	56
4.1 目的	56
4.2 浮体構造物の調査	56
4.3 上部構造物の調査	61
4.4 水中メインテナンス試験板の調査	62
4.5 洋上大気暴露試験板	65
4.6 水中硬化型塗料によるメインテナンスの検討	72
4.7 調査、試験結果について	86
4.8 まとめ	89
5. 防食施工法の調査検討	91
5.1 調査検討の目的	91
5.2 ライニング施工におけるショットブライミング方式の適用性	91
5.2.1 供試材料とその仕様	91
5.2.2 試験内容	92
5.2.3 試験結果と考察	92

5.2.4 ショッププライミング方式の適用性に関するまとめ	93
5.3 ライニング材料の付着性に及ぼす素地調整の影響	103
5.3.1 供試ライニング材料と仕様	103
5.3.2 試験内容	103
5.3.3 試験結果と考察	103
5.3.4 素地調整の影響に関するまとめ	104
5.4 ライニング施工時の環境条件が皮膜硬化に及ぼす影響	108
5.4.1 供試ライニング材料	108
5.4.2 試験内容	108
5.4.3 試験結果と考察	108
5.4.4 皮膜硬化に及ぼす影響に関するまとめ	109
5.5 ライニングの塗り重ね間隔に関する検討	112
5.5.1 供試材料	112
5.5.2 試験内容	112
5.5.3 試験結果と考察	113
5.5.4 塗り重ねに関する検討のまとめ	114
5.6 まとめ	120
あとがき	122

まえがき

海洋構造物の種類によっては、その耐久寿命は適用される防食対策のいかんによって左右されるといつても過言ではあるまい。従って、海洋構造物の必要耐用年数によって、技術的にも経済的にも最も適用な防食方法を採用することが重要である。特に、過酷な腐食環境にあって、しかも、メインテナンスが困難な構造部位に対しては、建造時点において十分な防食施工を行っておく必要がある。

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、昭和55年度から5箇年計画で開始したものである。本研究の3年目である57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やライニング系の防食仕様8種について、海水浸漬1.5箇年及び2箇年経過時におけるそれらの仕様皮膜に対し、機械的特性を調査した。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

10種の防食仕様を適用し、56年度に長崎海域に設置した浮体式試験体に対して、外観調査を行った。また、試験体接続管についてそのひずみ量を測定するとともに、浮体の動搖（加速度）も計測した。さらに、7種の防食仕様を適用して同時に設置した試験片については外観調査とともに、塗膜インピーダンスや付着力測定も行った。なお、今後における応力や加速度測定結果の解析に参考とするため、長崎海域における気象・海象条件の調査も行った。

(3) 防食材料の寿命推定法に関する検討

長期防食材料の性能を短期間で評価するための促進試験法について検討した。性能評価として、防食材料自身の劣化と防食材料に欠陥が発生した場合の素地金属の腐食に及ぼす影響の2項目について検討した。

(4) メインテナンス方法の調査検討

4種の防食仕様を適用した試験体（浮体構造物）に対して、外観調査や生物付着状況を調査した。また、8種の防食仕様を適用した上部構造物の外観調査も行った。さらに、3種の水中硬化型塗料により水中補修塗装した試験板について、1箇年経過時における生物付着状況や生物除去後の塗膜状態も観察した。また、洋上大気暴露試験板に対しては18箇月後における外観調査、付着力試験及びインピーダンス測定を行うとともに、無塗装部に対しては補修塗装を行って、3箇月後に外観調査やインピーダンス測定を行った。さらに、3種の水中硬化型塗料の施工性についても検討した。

(5) 防食施工法の調査検討

主としてライニング材料の施工性について検討しており、ショットブライミング方式の適用性及び付着性に及ぼす素地調整の影響については56年度からの継続として1.5箇年経過後における付着性を調査した。さらに、57年度においては、環境条件と皮膜硬化の関係及びライニングの塗り重ね間隔に関する検討を行った。

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箇年の概要を下表に示す。

「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		57年度 〔本年度〕		58年度		59年度		(備考)
1. 防食材料の調査	1.1 非金属防食材料の調査	アンケート調査												
	料の調査	(1)防食材料の調査	実験開始	追跡試験	追跡調査									
	(2)機械強度と防食性													
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													
2. 海洋環境下での構造物の防食性試験		試験体製作・設計	試験体製作・設置	設置場所設定				追跡試験	追跡調査	追跡試験	追跡調査	追跡試験	追跡調査	継続調査の予定
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	実験	実験										
	3.2 評価法の調査	資料調査												
4. メイシンテナанс方法の調査検討	浮体構造物設置	試験体増設	調査・観察					追跡試験	追跡試験	追跡試験	追跡試験	追跡試験	追跡試験	
	資料調査	水中塗装法実験	実験											
5. 防食施工法の調査検討	5.1 施工前処理の検討							実験	追跡試験	実験	追跡試験	実験	追跡試験	
	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		沖縄海洋公園「アクアポリス」の調査												
(研究報告)		研究資料 第341号	完了	了	完了	了								
		研究資料 第347号												

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、塗料及びライニング材料により、合計8種の防食仕様を設定し、試験板に被覆施工して海岸暴露及び海水浸漬試験を行い、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を定期的に調査して、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、海洋構造物の長期防食用として期待される代表的な塗料及びライニング材料である。これらの防食材料により塗装系防食仕様5種とライニング系防食仕様3種を設定した。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、本研究の開始時(昭和55年度)に設定したものであり、各種防食材料の種類やその性状については、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、設定した各防食仕様は、本研究部会における基本的な標準防食仕様とし、各研究項目においても検討対象として採用している。

1.3 試験項目と試験方法

試験板に被覆施工した防食仕様皮膜に対する機械的強度試験や防食性試験の内容やその試験方法は、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や鋼材面との付着性などを評価する目的で実施するものであり、JIS G 3492に準拠した曲げ試験である。すなわち、試験板の屈曲時におけるきれつ発生までのたわみ量(mm)と38mmたわみ時における皮膜のはくり面積(cm²)を調べる試験である。

(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ために実施するものであり、本試験もJIS G 3492に準拠した衝撃試験である。すなわち、2.4m高さから650grの鋼球を落下させ、擊心部の皮膜はくり面積(cm²)を調べる試験である。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の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などを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。すなわち、円筒形試験シグ(直径25mm)を皮膜に接着し、皮膜面に対し垂直に引張って破断荷重を測定して引張付着の破断強さ(kgf/cm²)を求める。

(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であるが、本研究では皮膜の厚さによって試験方法を区別した。すなわち、膜厚が1.5mm以下の皮膜(塗装系仕様)に対してはJIS K 5400に準拠した鉛筆硬度試験を行い、膜厚が1.5mm以上の皮膜(ライニング系仕様)に対してはASTM D 2583に準拠したバーコル硬さ試験を行った。

(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であり、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、ライニング系仕様皮膜についてはJIS K 7113をそれぞれ準用した試験である。すなわち、各仕様の皮膜を単離膜とし、この単離膜からダンベル状に切出加工して引張試験を行い、引張破断荷重から引張強さ(kgf/cm^2)を求める。

(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、海水中における被覆鋼材に対して、一定の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/cm²)
- 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下記の3種の試験を実施している。

- (a) 屋外暴露試験
造船所工場岸壁付近の暴露台に試験板を取付けている。
- (b) 天然海水浸漬試験
浸漬用筏及び天然海水導入試験水槽を用いて浸漬している。
- (c) 加温人工海水浸漬試験
40°C加温の人工海水中に浸漬している。

1.4 試験結果と皮膜特性の経時変化に関する考察

57年度においては、55年度作製して天然海水浸漬試験に供した試験板に対して、1.5箇年及び2箇年経過後における皮膜の各種機械的強度試験を実施した。また、暴露や海水浸漬した試験板に対し、2箇年経過までの防食性も調査した。これらの各種試験結果及び皮膜特性の経時変化に関する考察は以下のとおりである。

(1) 曲げ特性

曲げ試験の結果を図1.1(1)～(2)に示す。

塗装系仕様のNo.1, No.2, No.3及びNo.4の皮膜においては、2箇年経過後におけるきれつ発生までのたわみ量は、それぞれ初期における値と大きな差は見られないが、仕様No.5の皮膜では経時とともにきれつ発生までのたわみ量がかなり大きく低下している。一方、塗装系仕様の各皮膜に対する38mmたわみ時におけるはくり面積については、各仕様によってそれぞれ特性が異なる傾向にある。すなわち、仕様No.1の皮膜では経時とともに、はくり面積がわずかに減少しているが、他の塗装系仕様の皮膜では経時とともにはくり面積が増加している。なお、塗装系仕様の皮膜については、下塗りとして無機ジンク塗料(IZ)を塗装した場合(仕様No.1, No.2及びNo.5)は、無機ジンク塗料を塗装しない仕様皮膜(仕様No.3及びNo.4)に比べてはくり面積が大きくなっている。

ライニング系仕様のNo.6, No.7及びNo.8の各皮膜では、きれつ発生までのたわみ量は各仕様皮膜とも、また経時的にも大きな差はないといえる。一方、38mmたわみ時はくり面積については、ガラスフレークを配合した仕様No.7及びNo.8の皮膜では初期からかなり大きくはくりし、しかも2箇年経過後においても初期と同程度のはくり面積である。しかし、レジンモルタル系の仕様No.6の皮膜では、海水浸漬後においてはくりは見られず、きれつ発生のみである。

(2) 衝撃特性

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2箇年経過後における各仕様皮膜とも、割れやはくりは見られず良好であった。従って、間接衝撃試験の結果を図1.2に示す。

塗装系仕様の各皮膜では、その擊心部裏面にごくわずかなはくりが見られ、最も大きいものでも仕様No.2の皮膜の約1cm²程度であった。

一方、ライニング系仕様の各皮膜では、初期と全く同じであり、はくりは見られなかった。

(3) 付着特性

引張付着力試験の結果を図1.3(1)~(2)に示す。

塗装系仕様No.1、No.2及びNo.5はいずれも無機ジンク塗料(IZ)を下塗りとした仕様であり、付着力試験の結果ではすべてIZ塗膜の凝集破断であった。なお、初期における引張破断強さは各仕様皮膜によって多少の違いが見られたが、いずれの仕様皮膜ともに引張破断強さは経時とともにわずかに低下する傾向にあり、2箇年経過後における付着力試験結果ではほぼ同程度の破断強さになっている。また、IZ塗膜のない仕様No.3及びNo.4の皮膜では、破断強さは経時において多少の変動をしているが、いずれも初期の破断強さに比べわずかに減少する傾向にある。しかし、両仕様皮膜とも引張破断形態は皮膜の凝集破断であり、その破断強さは30kgf/cm²以上である。

ライニング系仕様の中では仕様No.7の皮膜のみその破断強さは経時とともに大きくなっているが、他の2つの仕様皮膜は経時とともに破断強さが小さくなっている。なお、各仕様皮膜とも引張破断形態はすべて皮膜の凝集破断であった。

(4) 硬さ特性

硬さ試験の結果を図1.4に示す。

塗装系仕様の中でタールエポキシ塗料(TE)を上塗りした仕様No.2及びNo.4の皮膜の硬さは初期から2箇年経過後においても変化は見られず、鉛筆硬度でH程度である。他の3種の仕様皮膜では、経時によってごくわずかに硬さの変動が見られるが、特に注目すべき程度ではないと思われる。

ライニング系仕様の中で仕様No.6の皮膜硬さは経時とともにわずかに減少している。仕様No.8の皮膜はライニング系3種の中で最も硬いが、経時とともに変動しており、今後の傾向が注目される。また、仕様No.7の皮膜硬さは、ライニング施工条件(シンナー希釈量、塗布方法)によって多少異なるようであり、経時においても変動する傾向がある。

(5) 単離膜の引張特性

単離膜引張試験の結果を図1.5(1)~(2)に示す。

塗装系仕様の中では仕様No.3及びNo.4の2種の皮膜について調査しているが、両仕様皮膜とも初期引張強さに比べ海水浸漬することにより一時的に引張強さはわずかに低下するが、経時とともに大きくなる傾向にある。なお、エポキシ系(PE)仕様No.3の皮膜とタールエポキシ系(TE)仕様No.4の皮膜では、前者は後者の約2倍の引張強さであり、経時的にもよく似た傾向であるといえる。

ライニング系仕様3種については、それぞれかなり異なる傾向があるといえる。すなわち、仕様No.6の皮膜は初期の引張強さが小さく、海水浸漬することによってさらに強さが低下するが、その後の経時変化は見られない。仕様No.7の皮膜は経時において多少変動はあるが、初期の引張強さとほとんど同程度である。しかし、仕様No.8の皮膜は初期の引張強さは3種の中で最も大きいが、経時とともにかなり低下する傾向があり、2箇年経過後においては仕様No.7の皮膜強さよりも小さくなっている。

(6) 繰り返し応力付加特性

「繰り返し応力付加試験装置」により、試験板が常温人工海水中に浸漬された状態で連続試験を行った。試験期間約2箇年の間に 7.10×10^8 回の繰り返し応力付加を行ったが、8種の仕様皮膜とも

割れやはくりなどの欠陥は見られず良好であった。

(7) 防食性能

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行っている。これらの各試験において、2箇年経過後における試験板の観察結果を表1.2に示す。

各仕様皮膜とも、いずれの試験においても割れ、はくり及びさび発生など鋼板素地からの欠陥は見られなかった。しかし、屋外暴露試験では、すべての仕様皮膜にチョーキングが見られ、中でも仕様No.3、No.6及びNo.7の3種の仕様皮膜はその表面に著しいチョーキングが見られた。これらの3種はいずれもエポキシ系(PE)であり、耐候性に劣ることが判明した。また、天然海水浸漬試験と加温海水浸漬試験において、仕様No.5の皮膜にわずかのふくれが見られた。このふくれはPE・A/Cとビニル塗料(V[中塗])の層間から発生しており、これらの層間付着性が懸念される。さらに、加温海水浸漬試験において、仕様No.8の皮膜表面層が溶解してガラスフレークが露出した状態になっている。

なお、天然海水浸漬試験においては試験板の皮膜表面に多くの海棲生物が付着するが、観察時には皮膜に傷をつけないように注意して付着生物を除去する。その際に付着生物、特にフジシボによる皮膜の損傷度合(皮膜へのくい込みなど)も調査したが、いずれの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

防食仕様皮膜に対して行った各種機械的強度試験や防食性試験結果から、2箇年経過時点までの皮膜特性や防食性能について各仕様ごとに要約すると以下のとおりである。なお、皮膜の諸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

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は経時においてほとんど変化しないが、38mmたわみ時のはくり面積は経時とともにわずかに減少する傾向がある。また、引張付着力試験においては破断形態は経時に関係なくすべてIZ塗膜の凝集破断であり、その破断強さは初期から1箇年経過時までは半減したがその後大きな変化は見られない。なお、防食性能は2箇年経過後も良好である。

(2) 防食仕様No.2

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は塗装系仕様の中で最も小さいが経的にはほとんど変化しない。しかし、38mmたわみ時のはくり面積は海水浸漬によって一時的に減少するが、その後経時とともににはくり面積が増加しており、塗装系仕様の中でははくり面積は最も大きい。この傾向は間接衝撃特性においても同じである。また、付着特性において、引張破断形態はすべてIZ塗膜の凝集破断であり、その破断強さは初期から最も小さく、しかも、経時とともにわずかに減少している。これらのことから、本仕様に適用したIZ塗料の塗膜は凝集力の小さいものであるといえる。なお、上塗りしたTE塗膜の硬さは初期から鉛筆硬度でH程度であり、この硬さの経時変化は見られない。また、防食性能は良好であり、付着生物による皮膜損傷も見られなかった。

(3) 防食仕様No.3

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は初期に比べ大差はないといえるが、38mmたわみ時のはくり面積は経時とともに増加している。引張付着力試験における破断形態は経時に関係なくすべて皮膜の凝集破断であるが、破断強さは経時とともにわずかに低下する傾向がある。皮膜の硬さは塗装系仕様の中で最も高く、鉛筆硬度で3H~4H程度であり、極端な経時変化は見られない。また、単離膜の引張強さは、海水浸漬後一時的に低下はするが、経時とともにわずかではあるが増加する傾向がある。防食性能については2箇年経過後においても良好であり、特に問題はないが、屋外暴露試

験では経時とともにチョーキングが著しく進んでいる。

(4) 防食仕様No.4

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は仕様No.3の皮膜と全く同じ傾向であり、初期に比べ経時的に大差はないといえるが、38mmたわみ時はくり面は経時とともに増加している。また、引張付着力試験においても仕様No.3の皮膜と同様その破断形態はすべて皮膜の凝集破断であり、破断強さは経時とともに若干の低下が見られる。本仕様のTEは仕様No.2の上塗りと同じであり、従って皮膜硬さも全く同じで経時変は見られない。単離膜の引張強さは仕様No.3のPE皮膜のはば1/2程度であるが、その経時変化の傾向はPE皮膜の場合とよく似ている。防食性能については特に問題なく良好である。

(5) 防食仕様No.5

ビニル塗料を上塗りした本仕様皮膜の曲げ特性としては、初期におけるきれつ発生までのたわみ量は38mm以上であったが、経時とともに大きく低下し、2箇年経過時においては17mm程度のたわみ量できれつが発生するまで低下した。さらに、38mmたわみ時はくり面積は経時とともに増加している。引張付着力試験における破断形態は、仕様No.1及びNo.2の場合と同様、経時に関係なくすべてIZ塗膜の凝集破断であり、その破断強さは経時とともにわずかに低下する傾向がある。上塗りしたビニル塗膜の硬さについては、経時的に大きな変化はなく、ごくわずかに硬くなつた程度であるが、曲げ特性におけるきれつ発生までのたわみ屋が減少したことから判断すると、ビニル塗膜の伸展性が経時とともに低下しているものと思われる。なお、海水浸漬試験において、2箇年経過時にふくれが見られたが、このふくれはPE・A/Cとビニル塗膜の層間から発生しており、今後このふくれの進行に注目したい。

(6) 防食仕様No.6

曲げ特性としてのきたつ発生までのたわみ量は経時的にわずかに変動は見られたが、2箇年経過時では初期の値と同程度であり、大きな差異はない。しかし、38mmたわみ時はくり面積は海水浸漬後において全く見られなくなっている。また、間接衝撃試験においても初期からはくりは見られず、2箇年経過時の試験においても同じである。一方、引張付着力試験における破断形態はすべて皮膜の凝集破断であるが、その破断強さは経時とともに低下する傾向がある。さらに、皮膜硬さや単離膜の引張強さも経時とともにわずかに低下している。これらのことから、本仕様皮膜(PEM)は海水中では若干軟化し、凝集力の低下が起る。しかし、鋼板素材との付着性は良好であり、曲げや衝撃に対してもはくりすることなく、厚膜であることも加味されて、機械的特性に優れた皮膜であると思われる。ただし、暴露環境ではチョーキングが著しく、また、海中没水環境においても経時とともに光沢が消失し、特に温水中ではかなり変色する性質がある。

(7) 防食仕様No.7

曲げによるきれつ発生までのたわみ量は初期に比べて海水浸漬することによってわずかに低下するが、その後の経時変化はほとんど見られず一定である。また、38mmたわみ時はくり面積は8種の仕様皮膜の中で最も大きく、初期と2箇年経過時においてほとんど同じである。しかし、間接衝撃時のはくり面積は経時後において全く見られない。引張付着力試験では破断形態はすべて皮膜の凝集破断であり、しかも、本仕様皮膜のみ、経時とともに、その破断強さは大きくなっている。皮膜硬さについては、被覆施工時の諸条件によってかなり異なる傾向があるものと思われ、詳しい検討が必要である。確離膜引張強さについては、経時によってほとんど変化はなく、2箇年経過時における強さは初期の強さと同程度であった。なお、防食性能は良好であるが、暴露環境でのチョーキングは著しい。

(8) 防食仕様No.8

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は仕様皮膜の中で最も小さく10mm程度であるが、経時変化はほとんど見られない。さらに、38mmたわみ時はくり面積は仕様No.7の皮膜に次いで大きく、2箇年経過時はくり面積は初期と同程度である。しかし、間接衝撃によるはくりは初期から全く見られていない。引張付着力試験では、破断形態はすべて皮膜の凝集破断であるが、その破断強さは、仕様No.7の皮膜の場合と異なり、経時とともに低下している。皮膜硬さは3種のライニング系皮膜の中で最も硬い。また、単離皮膜の引張強さについては、初期では非常に大きく、470kgf/cm²程度もあったが、経時とともにかなり低下し、2箇年経過時では仕様No.7の皮膜強さよりも低くなっている。防食性試験において、海水浸漬した場合、皮膜表面層が海水に溶解し、ガラスフレークが露出しており、加温海水中ではこの傾向がさらに著しい。

表 1.1 防食仕様

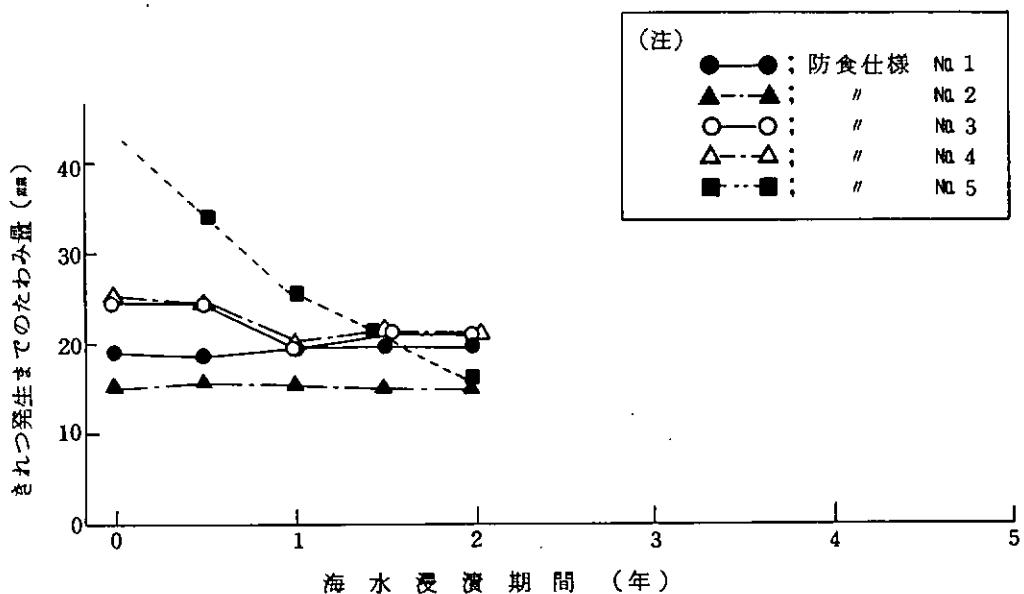
系統	防食仕様 No	素地調整	s/p	材 料 と 塗 回 数				() 内膜厚: μm	合計膜厚 [μm]	備考 図中○ 表示マーク
				1回目	2回目	3回目	4回目			
塗装系	1	Sh	IZP (75)	ミストコート	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・T/S (40)	PU・T/S (35)	35.0	●
	2	Sh	IZP (75)	ミストコート	TE (250)	—	—	—	3.25	▲..▲
	3	Sh	IZP (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・T/S (40)	PE・T/S (40)	—	3.80	○..○
	4	Sh	IZP (200)	TE (200)	—	—	—	—	4.00	△..△
	5	Sh	IZP (75)	ミストコート	PE・A/C (100)	V・T/S (60)	V・T/S (60)	—	2.75	■..■
	6	Sd	— (5000)	PEM	—	—	—	—	5.000	□..□
	7	Sd	— (650)	PEF	—	—	—	—	1.300	◇..◇
	8	Sd	— (750)	ESF	ESF (750)	—	—	—	1.500	▽..▽
ライニング系										

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)

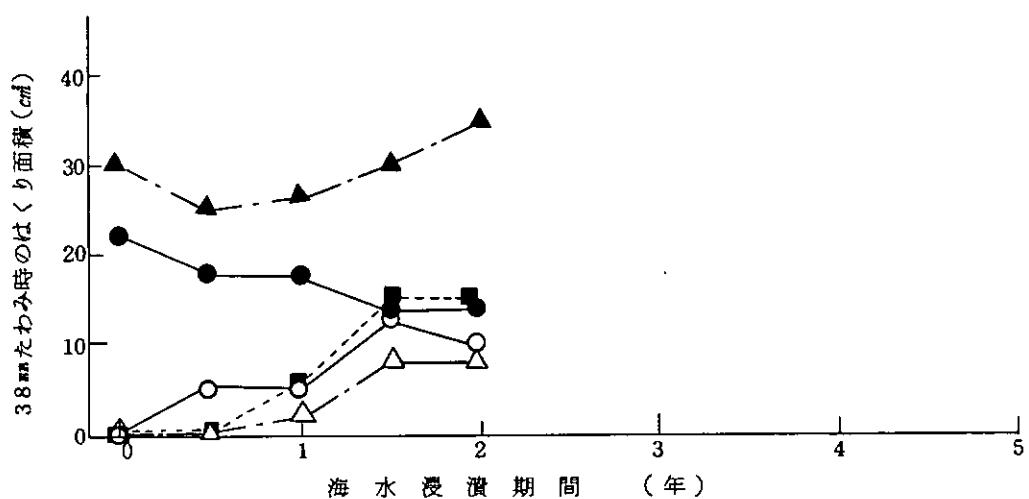
2. 材料と塗回数欄の()はその材料の膜厚 μm を示す。

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)

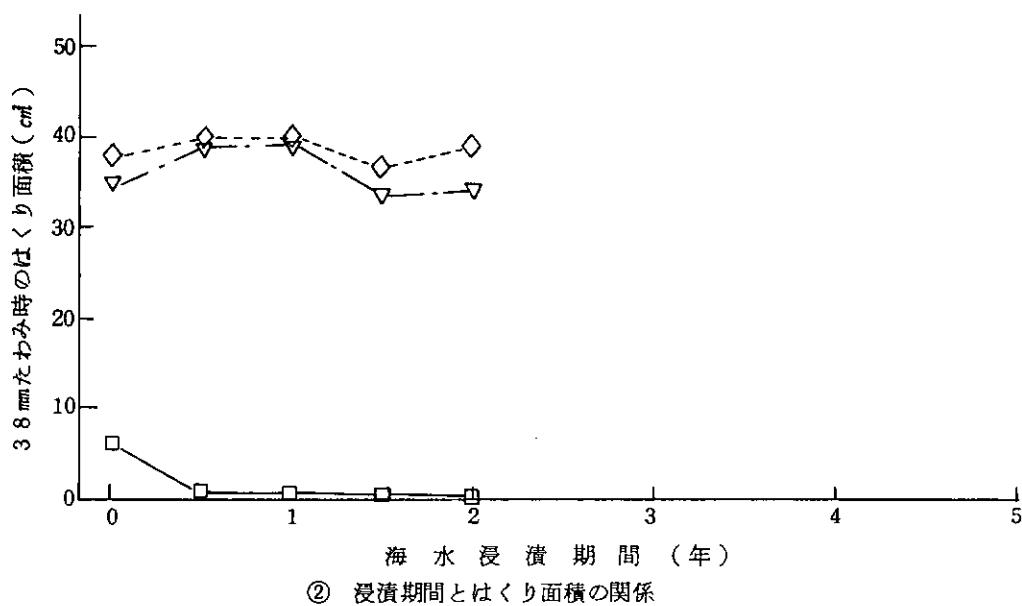
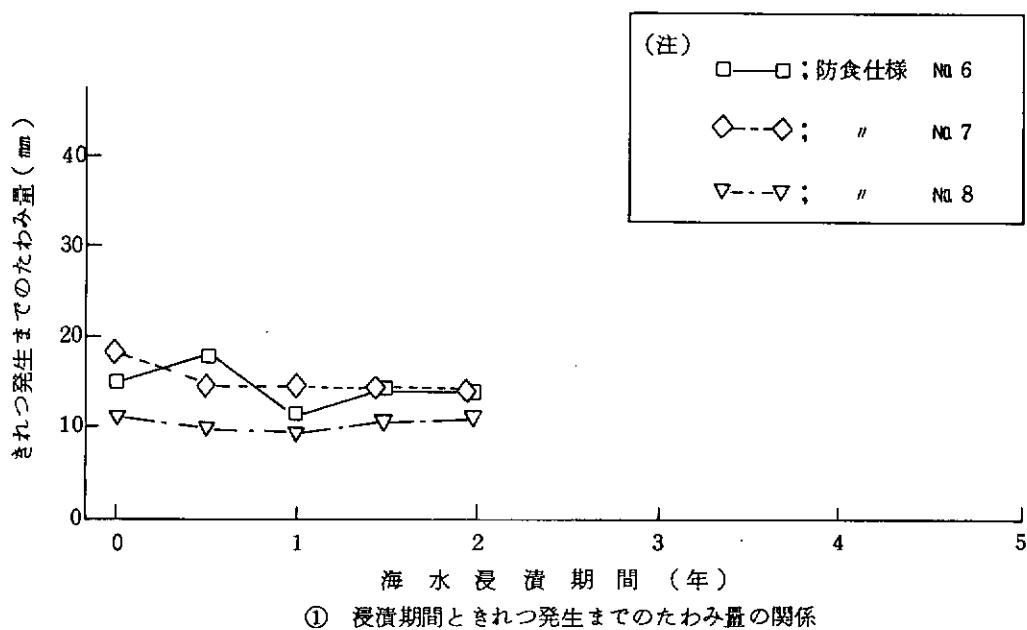
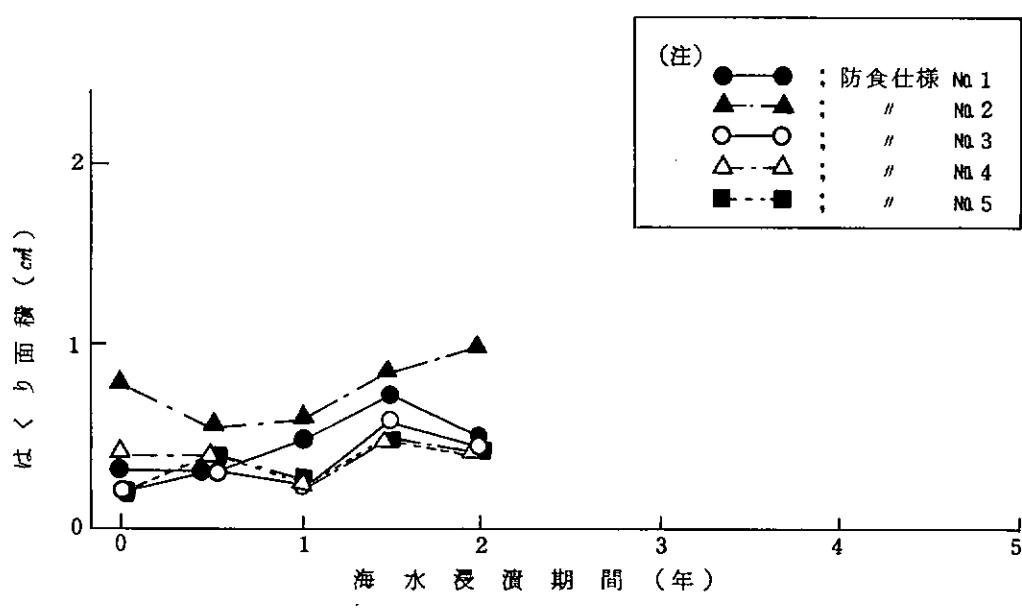
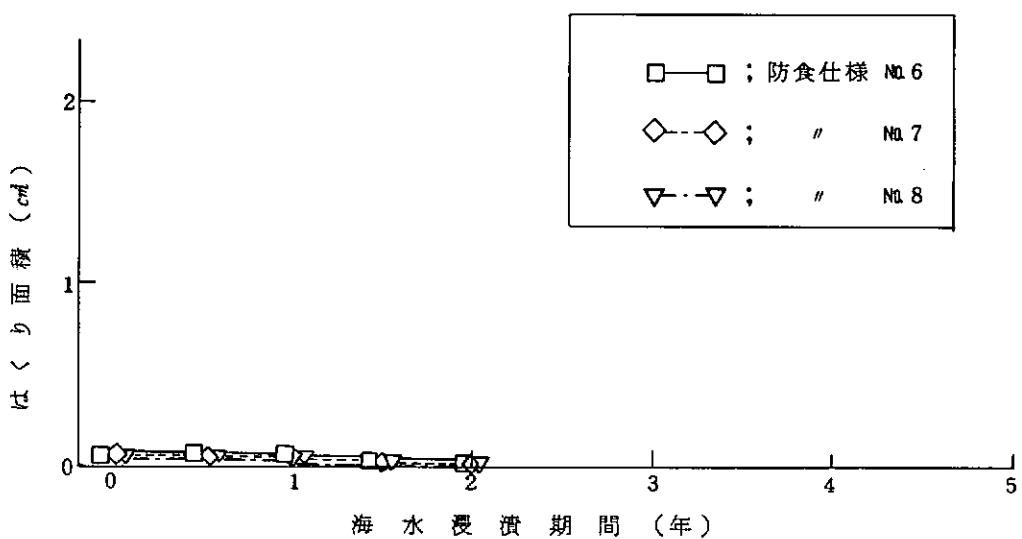


図 1.1(2) 曲げ特性の経時変化(ライニング系仕様)



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

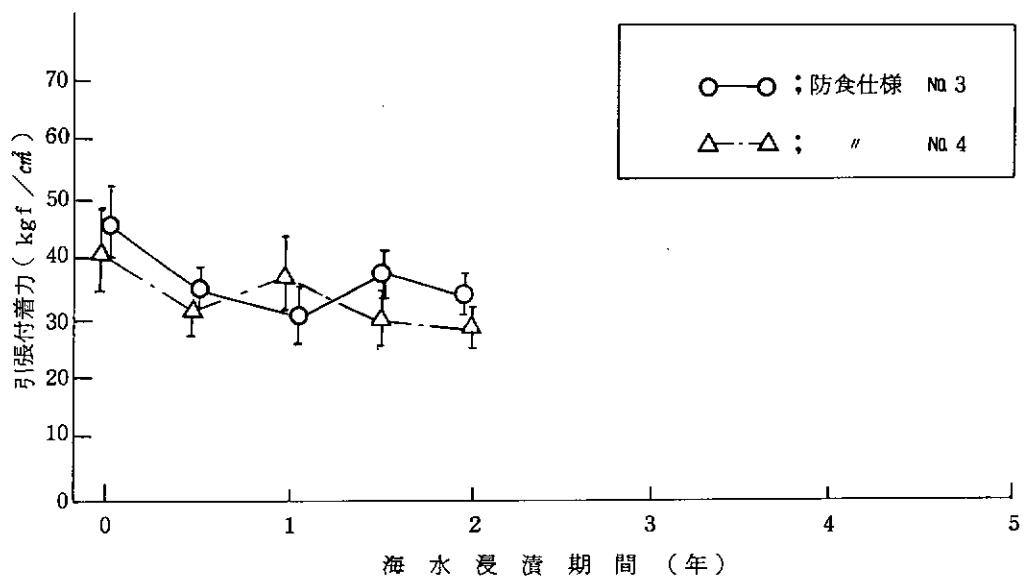
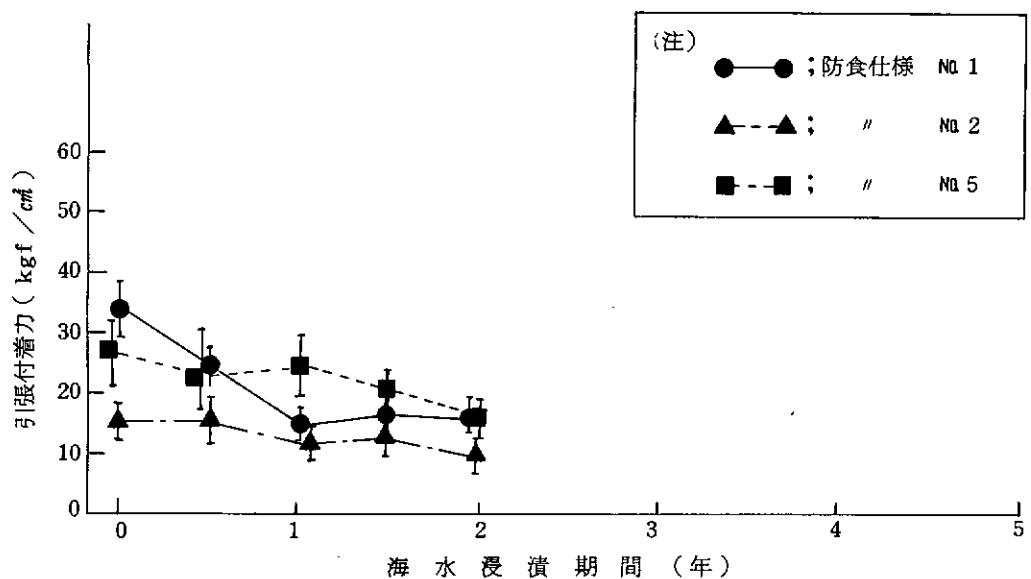


図 1.3(1) 引張付着力の経時変化(塗装系仕様)

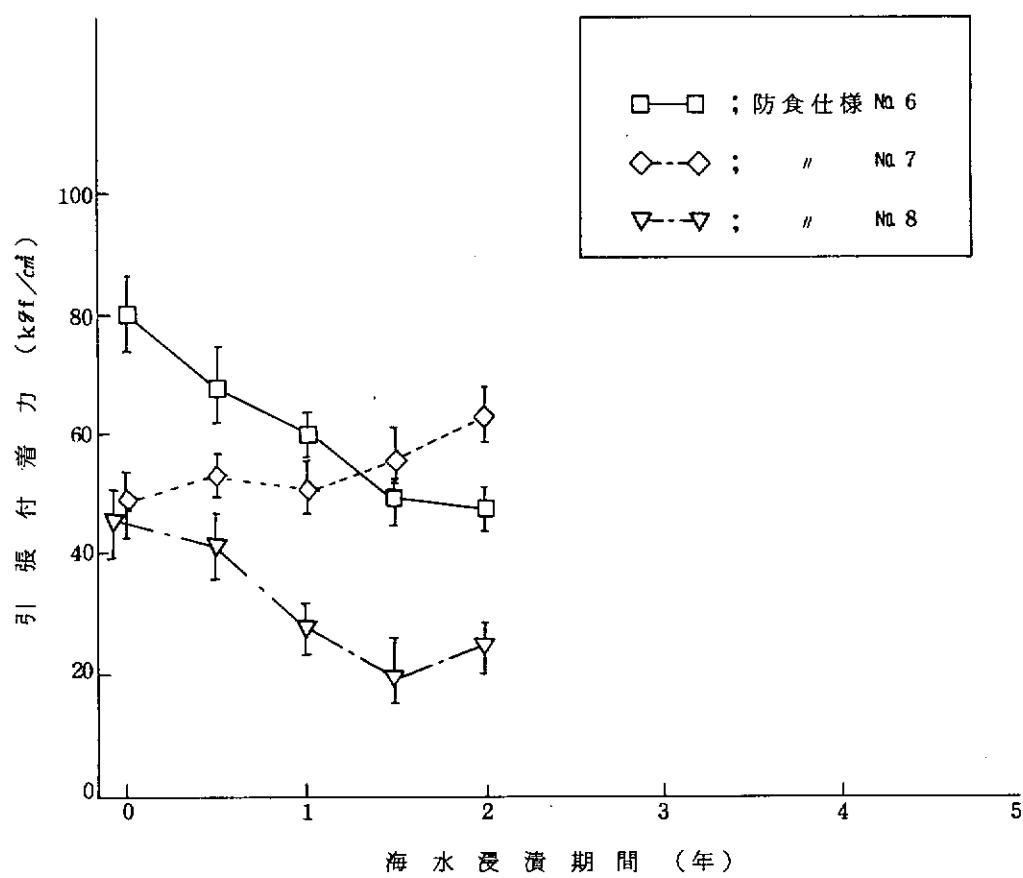


図 1.3(2) 引張付着力の経時変化(ライニング系仕様)

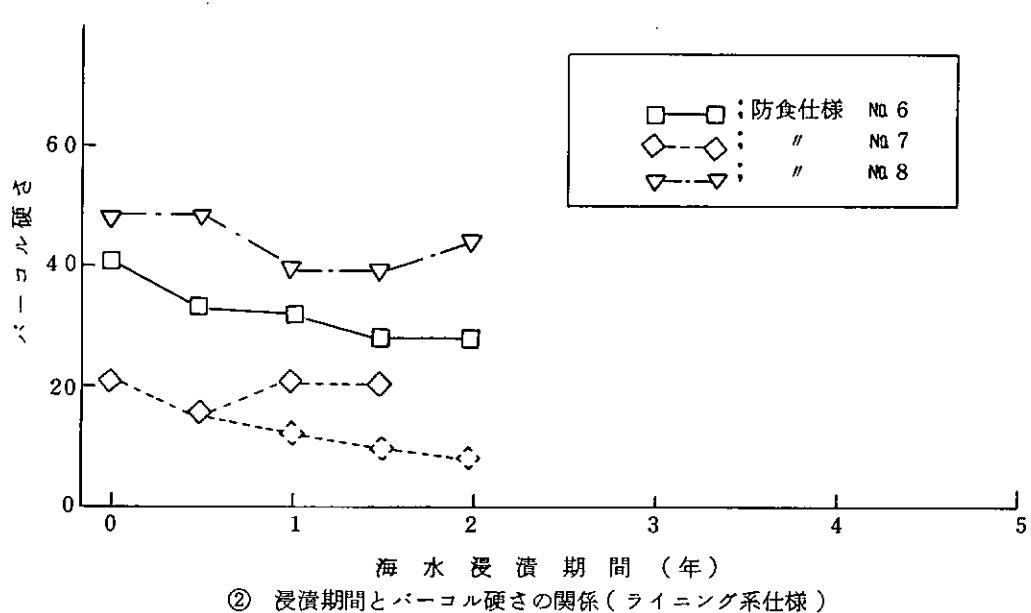
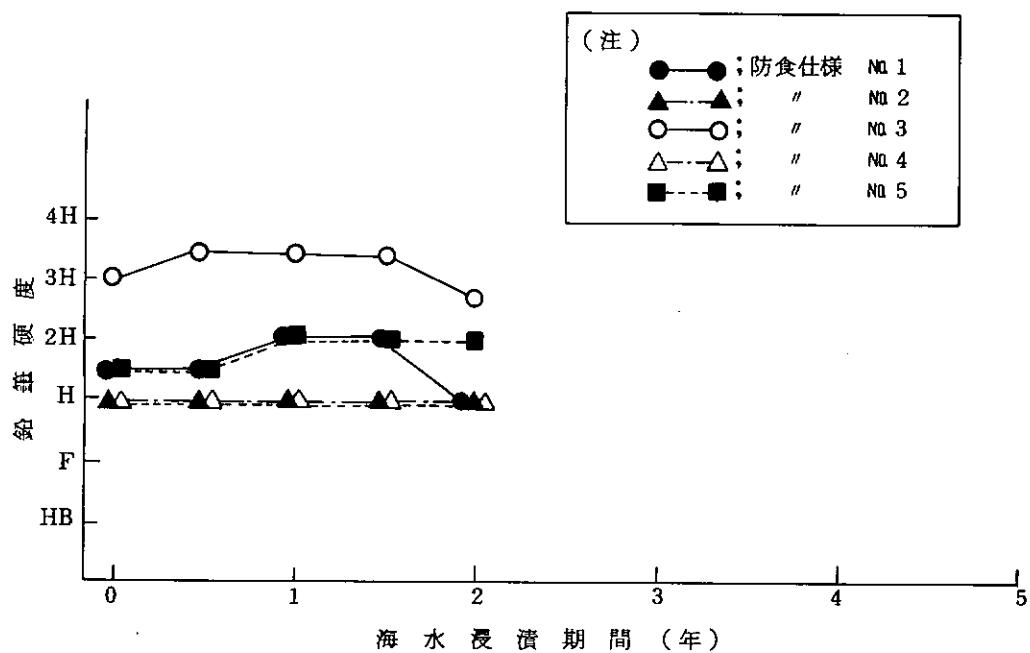


図 1.4 皮膜硬さの経時変化

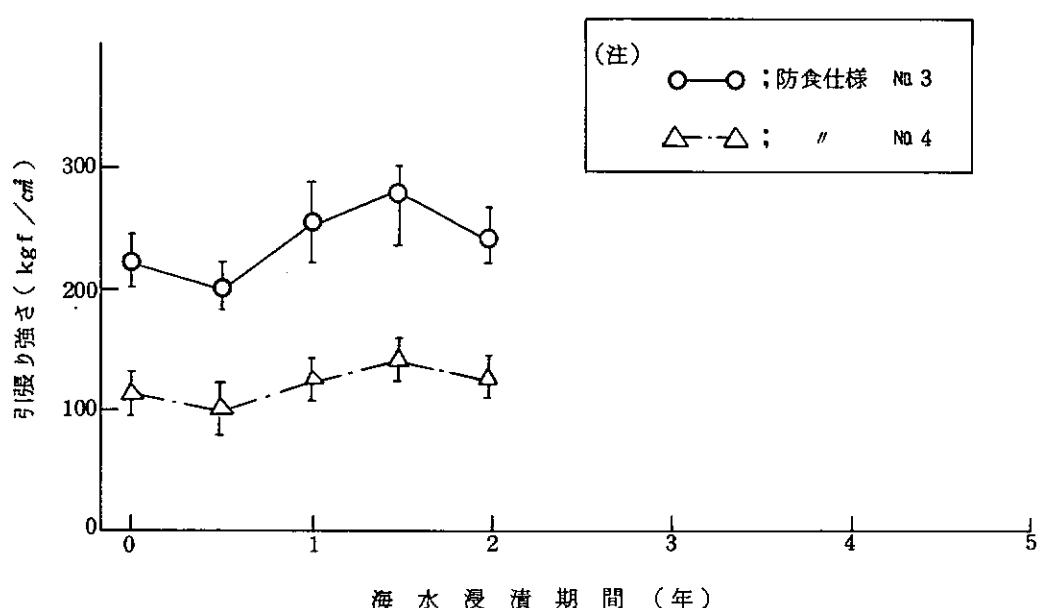


図 1.5 (1) 単離膜引張り強さの経時変化(塗装系仕様)

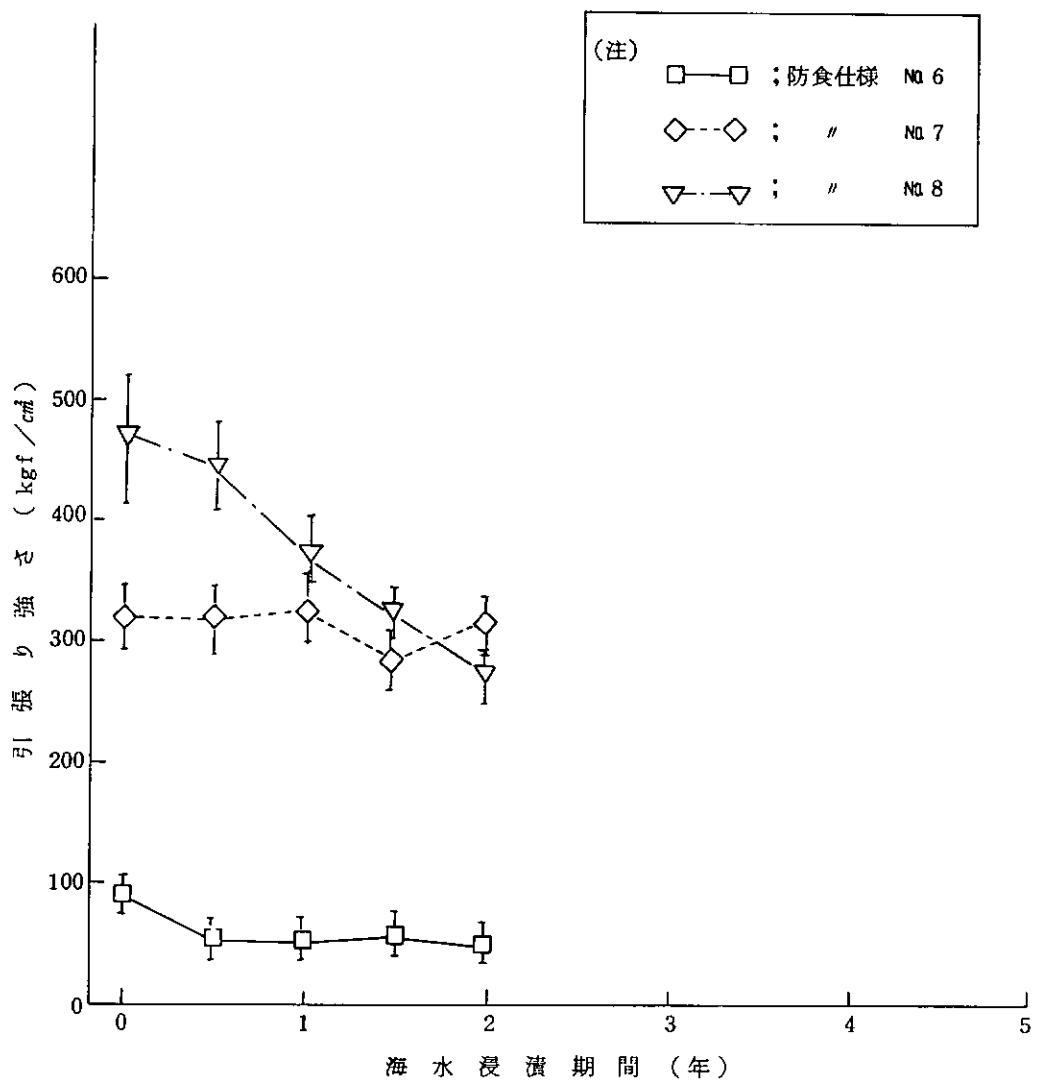


図 1.5 (2) 単離膜引張り強さの経時変化(ライニング系仕様)

表 1. 2 防食性試験 2箇年経過後の皮膜の状態

防食仕様 No	試験方法	屋外暴露試験 (造船所岸壁)	天然海水浸漬試験 (造船所近海の 試験用筏)	加温海水浸漬試験 (40℃人工海水)
塗装系	1	チョーキング(中)	良 好	良 好
	2	チョーキング(中)	良 好	良 好
	3	チョーキング(多)	良 好	良 好
	4	チョーキング(中)	良 好	良 好
	5	チョーキング(少)	ふくれ4F(^{PE A/Cと} V[中塗]間)	ふくれ8F(^{PE A/Cと} V[中塗]間)
ライニング系	6	チョーキング(多)	変色つや消失	変色つや消失
	7	チョーキング(多)	良 好	良 好
	8	チョーキング(中)	表面層溶解(少)	表面層溶解(大)

(注) (1) 塗膜のふくれはASTM D 714によって評価した。

(2) 天海水浸漬試験の試験板観察は皮膜面に付着した海棲生物を除去して行った。

表1.3 防食仕様皮膜の諸特性とその傾向（2箇年経過時まで）

調査項目と 調査内容 防食仕様 No.	曲げ特性		衝撃特性		付着特性		硬さ特性		単離膜 引張特性		防食性能	
	きれつ発生までのたわみ量 (mm)	3.8mmたわみ時のたわみ面積 (cm ²)	間接衝撃によるはくり面積 (cm ²)	破断強さ (kgf/cm ²)	破断形態	鉛筆硬度又は バーコル硬度	(kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	屋外暴露	天然海水浸漬	加温海水浸漬	
塗装系	1 19→20	22→13	0.4→0.5	3.5→1.7	IZ凝集破断	H→2H→H			チョーキング (中)	良好	良好	
	2 15→16	30→35	0.8→1.0	1.5→1.0	IZ凝集破断	H→H			チョーキング (中)	良好	良好	
	3 24→22	0→10	0.2→0.4	5.5→3.5	膜凝集破断	3H→3H	214→245	チョーキング (多)	良好	良好		
	4 25→22	0→8	0.3→0.4	4.2→3.0	膜凝集破断	H→H	104→125	チョーキング (中)	良好	良好		
	5 38→17	0→15	0.2→0.4	2.7→1.7	IZ凝集破断	H→2H→2H		チョーキング (少)	ふくれ (4F)	良好	良好	
	6 15→15	6→0	0→0	8.0→4.8	膜凝集破断	4.1→2.8	80→0	チョーキング (多)	変色 (つや消失)	良好	良好	
ライニング系	7 18→15	38→38	0→0	4.9→6.3	膜凝集破断	2.2→1.0	326→325	チョーキング (多)	良好	良好		
	8 11→12	35→35	0→0	4.6→2.5	膜凝集破断	4.9→4.5	470→275	チョーキング (中)	表面層 わすかに溶解 (少)	表面層 溶解 (大)		

(注) (1) 表中各欄の数値で左側は初期値、右側は2箇年経過時の値を示す。

(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) 防食性能については2箇年経過時における皮膜の外観状況を示す。

2. 海洋環境下での構造物の防食性試験

2.1 防食性試験の目的

実験室試験と実環境での耐久性の相関性を把握するため、浮体式試験体を作製して、実環境に設置して防食性を調査する。

この試験体に適用した防食仕様は、他の項目において検討しているものと全く同じ仕様のもので、実環境としては三菱重工(神戸工場)外海(北緯 $32^{\circ}42'10.5''$ 、東経 $129^{\circ}49'10''$ 、水深約20m)を選定した。

2.2 浮体式試験体の概要

(1) 試験体仕様

- (a) 尺 法 横巾1500×縦巾5000×高さ4000mmの浮体2基からなる双胴体試験体である。
- (b) 脇 間 外径318.5mmΦ×長さ6000mm 鋼管5本で接続した。
- (c) 双胴のデッキ上は、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ひずみが発生する。
- (d) 海水バラストによって水位調整が可能である。
- (e) 重 量 試験体総重量約17.5トン

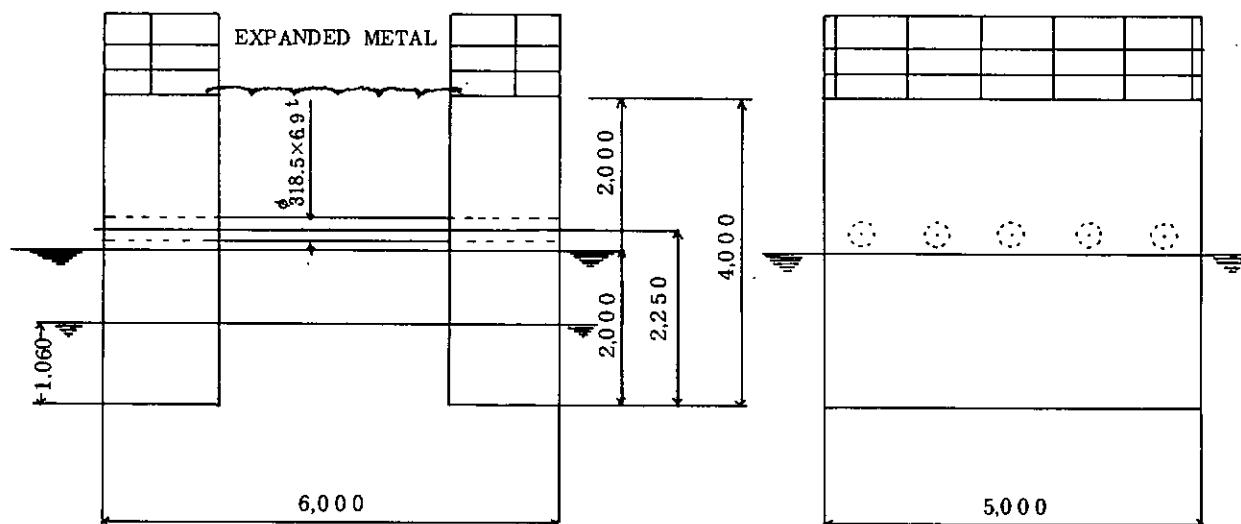


図 2.1 浮体式試験体の外観

(2) 浮体式試験体の防食仕様

浮体内外面の防食仕様を表2.1に示す。海中部・飛沫部及び海上大気部は他の検討項目と同一仕様である。ショッププライヤーにはIZPを使用しているが、防食仕様によってはプラスト処理(Sd又はSs)によってほとんど除去されているものが多い。

表 2.1 漂体式試験体の防食仕様

部位	場所	仕防 様 No	防 食	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)(35)	350
	⑨	"	"	"		" + " + " + " + " + " + "	350
	⑩	3	"	-		PE ^A / _C (100)+PE ^A / _C (100)+PE ^A / _C (40)+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
漂 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
	⑰	M6	"	-		(海水バラスト部) 電防 (アノード)	-
	⑰	M5	-	-		(手摺部) ガルバナイト塗装系	700

注 Ss : スイープサンドblast処理

Sd : サンドblast処理

慢となるため、施工配慮が必要と思われる。

5.4.4 皮膜硬化に及ぼす影響に関するまとめ

4種の供試ライニング材料に対して、環境条件と皮膜硬化特性について検討した結果、各供試ライニング材料ごとにまとめる以下のとおりである。

- (1) エポキシモルタルライニング(PEM)は5°Cの温度条件下においても12時間程度で指触乾燥する。しかし、その後、5°Cの環境下では皮膜硬さは変化せず、鉛筆の硬さ5B程度である。
- (2) エポキシガラスフレークライニング(PEF)は10°Cの温度条件下で指触乾燥にいたるには18時間程度必要であるが、その後低温環境でも皮膜硬さはかなり高くなり、7日間で鉛筆硬度H以上になる。
- (3) ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)は10°Cの温度条件でも指触乾燥まで36時間も要し、さらに5°Cになると4日近くも必要となる。しかし、指触乾燥後の皮膜硬さは非常に硬くなっている。5°Cの時でも鉛筆硬度3Hであり、7日後には5Hにもなっている。
- (4) タールエポキシガラスフレークライニング(TEF)は20°Cの時には6時間で指触乾燥するが、10°Cになると指触乾燥に30時間も必要とする。また、本試料は指触乾燥後7日程度では皮膜硬さに大きな変化はなく、鉛筆硬度3B以下であった。

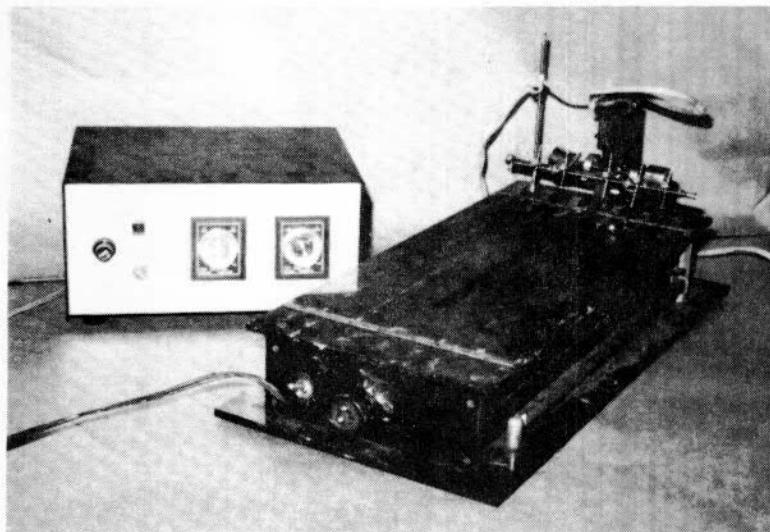


図 5.7 皮膜乾燥度測定装置

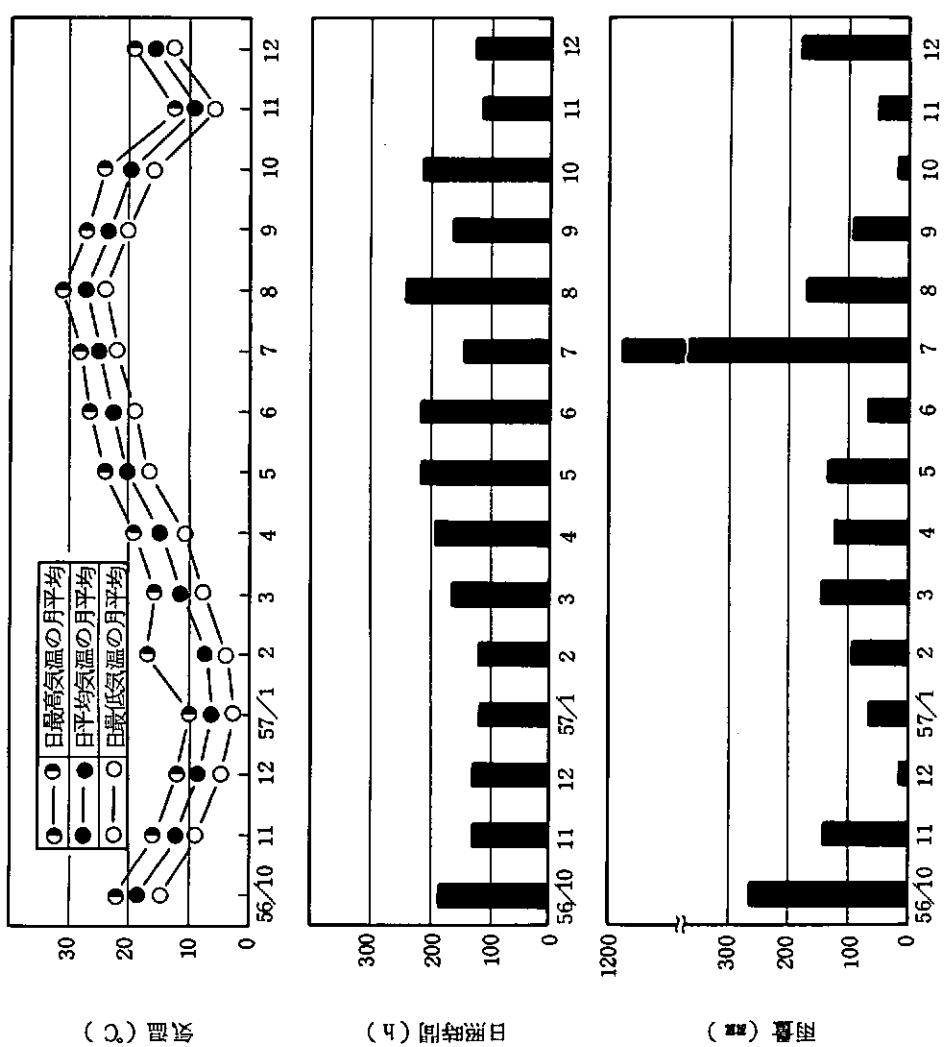


図 2.2 気温, 日照時間, 雨量(三菱重工業・香焼工場)

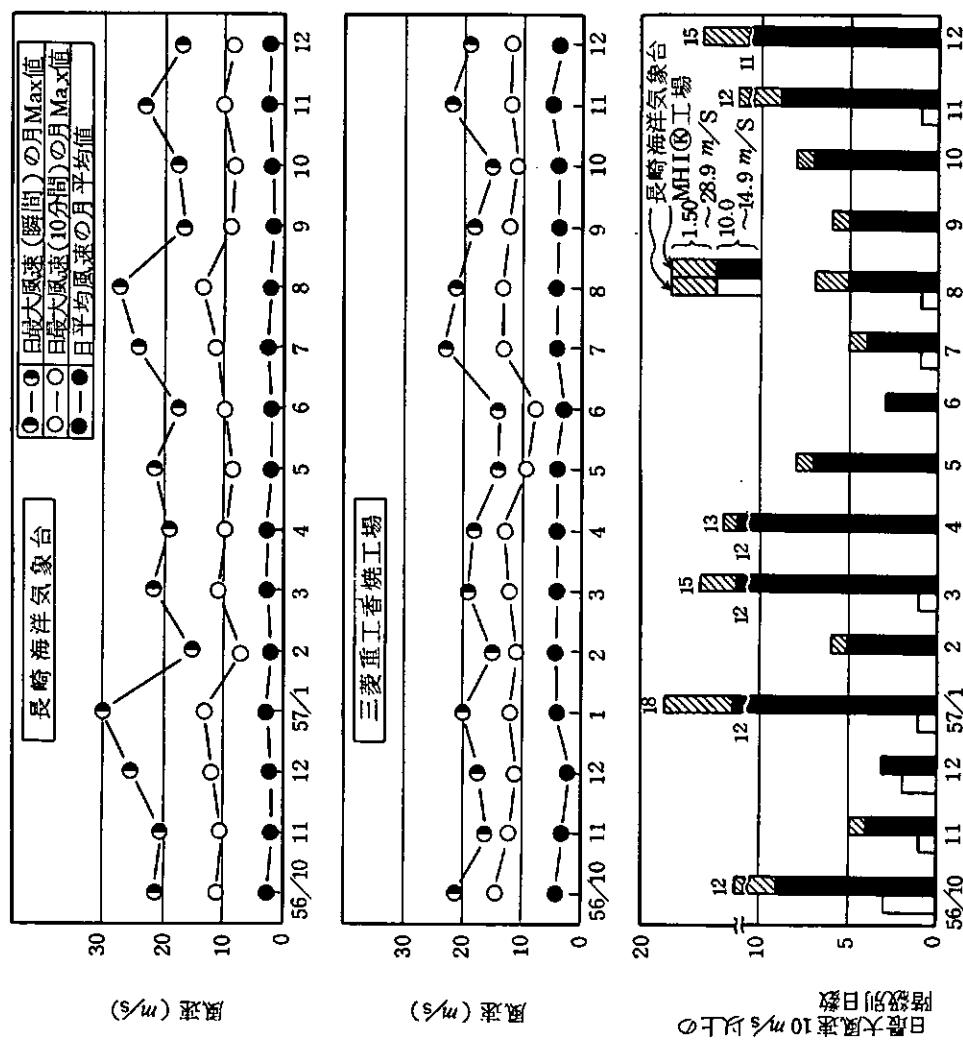


図 2.3 風速及び日最大風速 10 m/s 以上の階級別日数

表 2.2 1 節年後の外観調査結果

調査項目	生物付着状況		塗膜損傷・劣化状況
	付着生物名	付着厚さ (mm)	
浮体本体	①ふじつぼ (20φ程度) ②からす貝 (45長さ×30巾) ③セルプラ (下記の試験片からの推定)	60~90	・強風時に本体一部の工具落下によりパイプのごく一部に損傷 (補修済) ・上記を除くと、塗膜劣化は特に認められない。 (吃水より上部について)
試験片	①あかふじつぼ (20φ程度) ②からす貝 (45長さ×30巾) ③セルプラ の順で付着量が多い。	片側 60~90mm 付着量 (Wet 状態) 10.3~13.0kg/0.25m ² 18~21ℓ/0.25m ²	・PEM は生物除去時に、補修膜の一部に層間はがれ。 ・PEF は破壊テスト時に、ごく一部に層間はがれ。

(注) : 台風対策として約 2 節月後 (8/26~11/2), バラストをタンク内に注入し、吃水を 3 m まで沈めたため、飛沫部には生物が付着している。〔ふじつぼ (5~15φ), セルプラ, 付着厚さ 10~15mm〕

表2.3 試験片の塗膜測定結果〔1箇年後、()は平均値を示す〕

塗装区分	防食仕様	膜厚 (μm)	塗膜インピーダンス (1 KHz)				付着力※1) (オートグラフ法) (kgf/cm ²)		
			電気容量 ($\times 10^{-9}\text{F}$)	初期 1箇年後	初期 1箇年後	tan δ			
海水部 飛沫部	(2) IZ+TE	320~390 (355)	0.35~0.49 (0.42)	0.27~0.47 (0.36)	2.1~3.4 $\times 10^6$ (2.5 $\times 10^6$)	4.0~6.4 $\times 10^6$ (5.2 $\times 10^6$)	0.13~0.18 (0.15)	0.07~0.10 (0.09)	4.6~7.3 (5.7) ad
	(4) TE	350~450 (400)	0.34~0.44 (0.39)	0.26~0.30 (0.27)	2.4~3.6 $\times 10^6$ (3.0 $\times 10^6$)	5.2~6.5 $\times 10^6$ (6.0 $\times 10^6$)	0.12~0.16 (0.14)	0.09~0.11 (0.10)	3.8~6.8 (5.2) ad
	(6) PEM	1500~5000 > (0.09)	0.06~0.12 (0.07)	0.07 (0.07)	8.3~18.7 $\times 10^6$ (1.3 $\times 10^7$)	8.6~12.3 $\times 10^6$ (1.0 $\times 10^7$)	0.13~0.20 (0.15)	0.22~0.26 (0.24)	3.1~4.4 ad (3.9) cf
	(7) PEF	600~1180 (740)	0.16~0.31 (0.23)	0.21~0.23 (0.22)	0.7~1.2 $\times 10^7$ (1.0 $\times 10^7$)	2.7~3.0 $\times 10^6$ (2.9 $\times 10^6$)	0.06~0.09 (0.07)	0.25~0.27 (0.26)	4.7~9.3 (7.4) ad
	(8) ESF	1250~1700 (1450)	0.08~0.17 (0.13)	0.29~0.31 (0.30)	0.6~3.2 $\times 10^6$ (1.4 $\times 10^6$)	0.8 $\times 10^6$ (0.8 $\times 10^6$)	0.01~0.02 (0.01)	0.62~0.66 (0.64)	3.1~3.5 (3.3) cf
	(M ₁) ESF	1150~2100 (1450)	0.06~0.09 (0.07)	0.06 (0.06)	1.8~3.5 $\times 10^6$ (2.7 $\times 10^6$)	4.4~6.6 $\times 10^7$ (5.3 $\times 10^7$)	0.01 (0.01)	0.04~0.06 (0.05)	7.5~9.2 (8.3) ad
	(M ₂) TEF	900~1800 (1550)	0.12~0.21 (0.15)	0.11~0.12 (0.11)	0.8~2.2 $\times 10^7$ (1.6 $\times 10^7$)	1.0~1.1 $\times 10^7$ (1.0~10 ⁷)	0.06~0.09 (0.07)	0.13~0.16 (0.14)	6.0~9.0 (7.5) ad

(注) (1) 塗膜インピーダンス及び付着力は5回ずつ測定。

(2) ※1) 付着力試験の破断形態 ad ; 接着剤のはがれ, cf ; 塗膜の剥離破断

(1) 浮体式試験体

- (a) 海洋生物の付着以外には皮膜の欠陥は全く認められない。生物の種類としては、ふじつぼ、からす貝、セルプラ等で、付着厚さ 60~90 mm、付着量では 10~13 kg / 0.25 m² と約 1 年間で多量の生物が着生した。
- (b) PEM, PEF の皮膜で、生物除去特にごく一部に層間はがれの傾向がみられた。
- (2) 試験片

塗膜のインピーダンス及び付着力を調べた。

- (a) $\tan \delta$ が最も変化したのは ESF ($0.01 \rightarrow 0.64$) であるが外観的な異状ではなく、素地との付着力も一応の水準 (3.3 kgf/cm^2) にあり、次年度には本体も含めて詳細な調査が必要である。
- (b) $\tan \delta$ が次に変化を示したのは PEF ($0.07 \rightarrow 0.26$) で、鋼板素地との付着力は十分 (7.4 kgf/cm^2) であり、 $\tan \delta$ 低下の原因については次年度に調査する。
- (c) 他の 5 種はいずれも良好であり、劣化の傾向は全くみられない。
- (d) インピーダンスの測定結果はバラツキが大きいため、生物除去後水洗を十分に行い、約 24 時間後に測定したが、環境湿度によって結果がバラツキ、晴天時低湿度 (約 60 % RH) 時に測定した。測定面積は約 1.7 cm² である。
- (e) 1 箇年間では劣化が殆ど進行していないため、次年度には浮上させて浮体の防食性を調べる予定である。

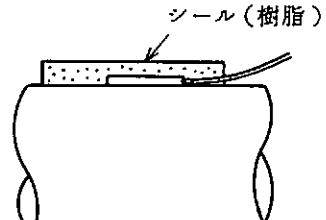
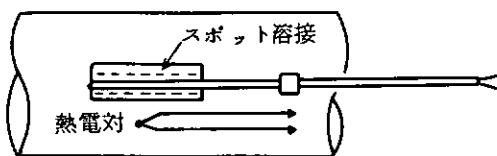
2.3.3 浮体のひずみ測定

海洋構造物に施工した塗装及びライニング材の耐久性は、塩害や風波、波浪によって発生する応力によって著しく影響を受ける。

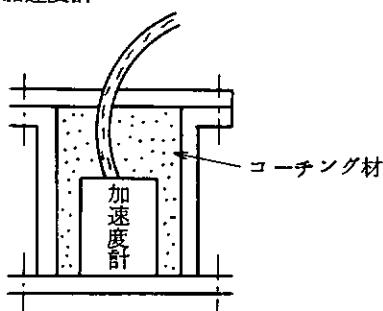
要因の一つである応力について、各気象、海象条件下で計測することを目的に、浮体に応力集中部を設け、ストレインゲージを貼付け、あわせて浮体の動揺計測のために、加速度計を取付けた。これらの概要を次に示す。

(1) センサ取付け要領

① ストレインゲージ (ひずみゲージ)

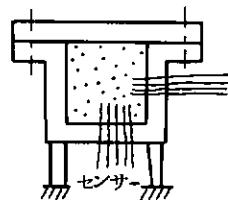


② 加速度計



加速度計 AS-ICS
(共和電業社)

③ ターミナルボックス



(2) 浮体と陸地間配線要領

ひずみ測定のための配線要領を図 2.4 に示し、その計測装置系統図を図 2.5 に示す。

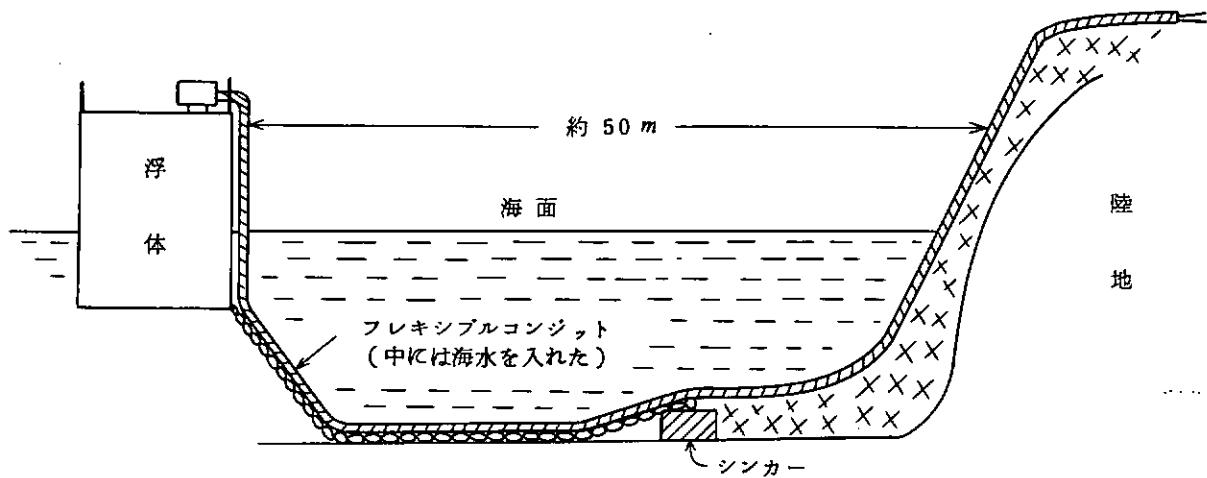


図 2.4 ひずみ測定のための配線要領

- 浮体 - 陸地間の信号線はフレキシブルコンジットを通した。
- " " 浮体固定用鎖にはわせた。
- ケーブルは海底をはわせた。

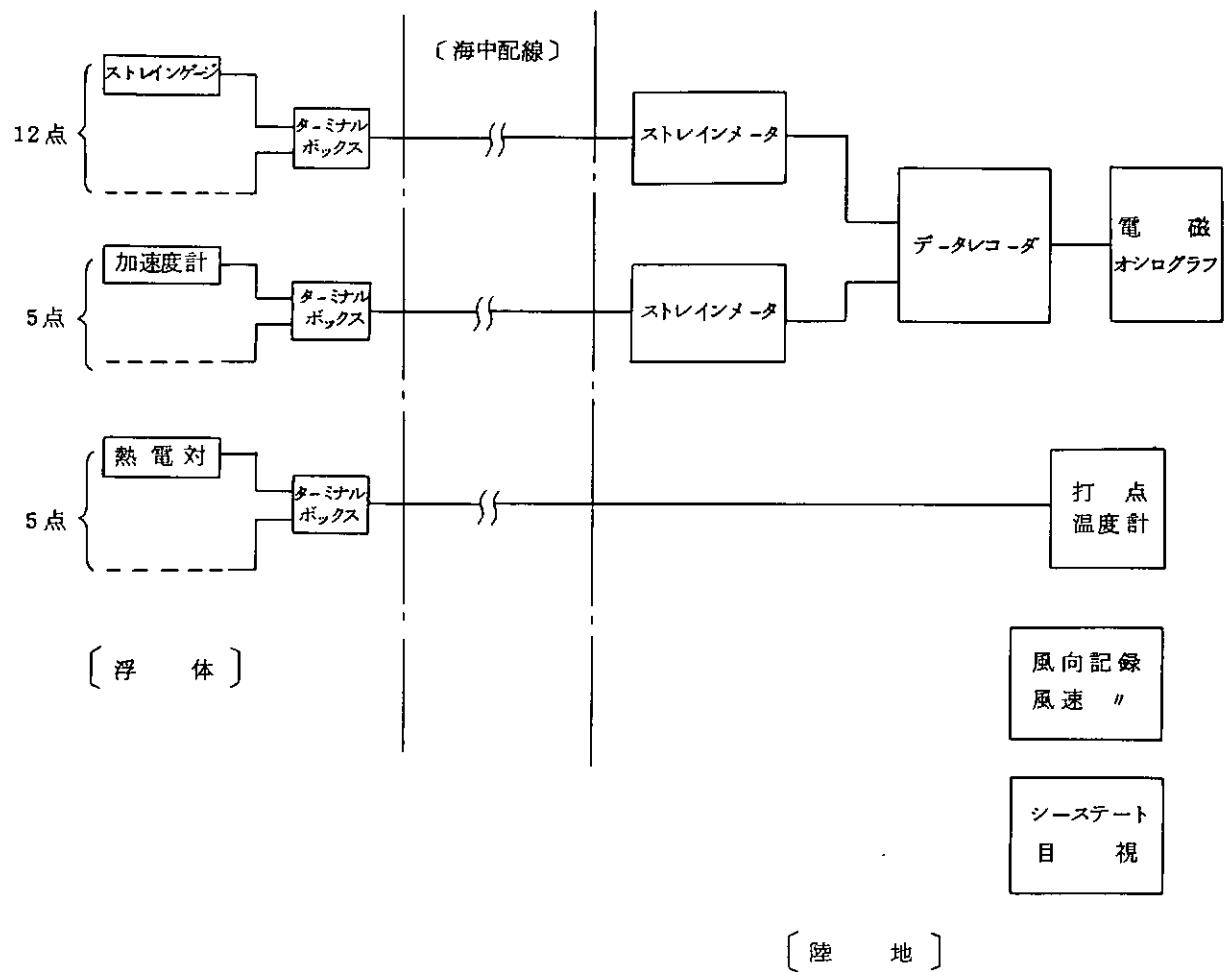
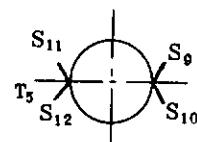
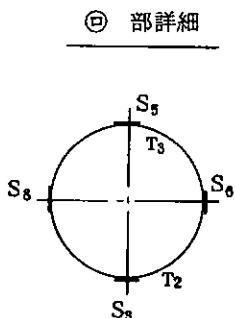
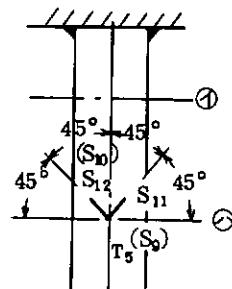
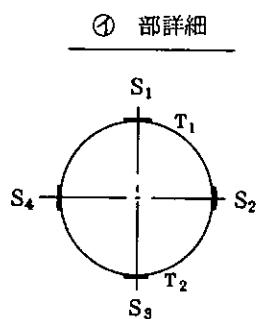
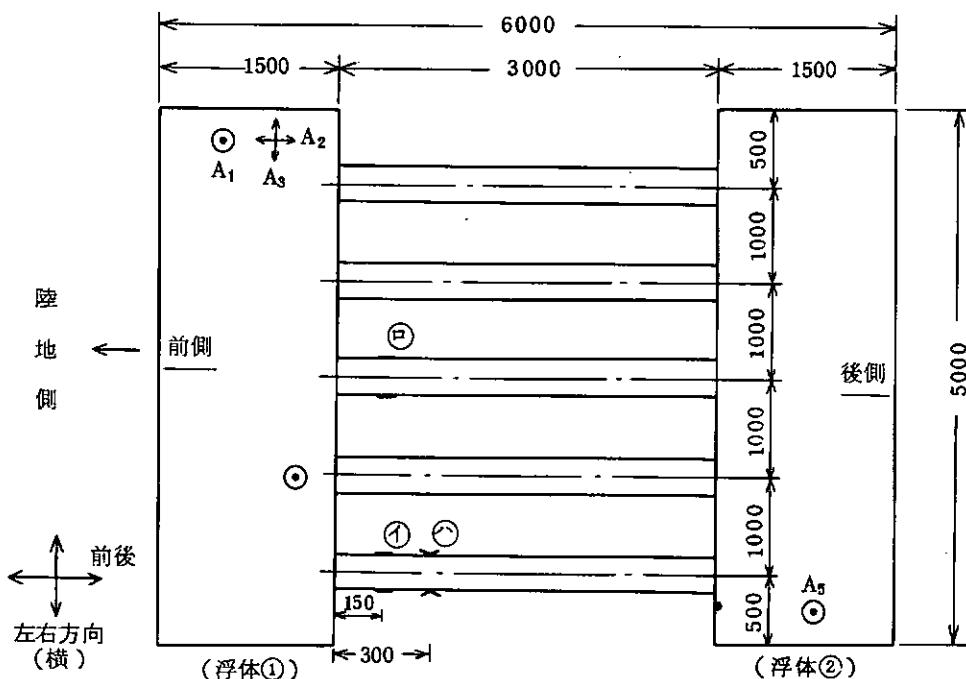


図 2.5 計測装置系統図

(3) 計測位置

浮体における各種の計測位置を図 2.6 に示す。



(S₁～S₈) : 浮体間接続パイプ曲げ軸力ひずみ
 (S₉～S₁₂) : " " 振りひずみ
 (A₁～A₅) : 加速度計
 (T₁～T₅) : 热電対

図 2.6 浮体式試験体における各種の計測位置

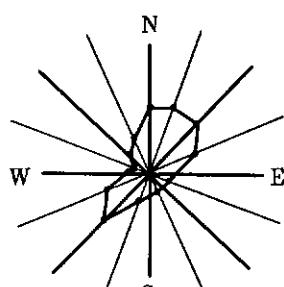
(4) 測定結果概要

(a) 現在までの計測データからオシロ解析した条件を表 2.4 に示す。

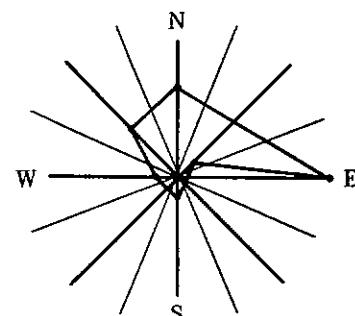
表 2.4 浮体のひずみ測定時における気象条件

測定月／日	風 方 向	風 速 (m/sec)	備 考
8/24	東	5 ~ 6	
8/27	西北西	7 ~ 8	◎(台風接近時)
8/30	北北西	4	
8/20	北	2.5	
11/21	北北東～東北東	3	◎
11/22	東～東北東	3.5	
11/22	北	2	
11/24	北	2.5	
11/26	東北東	2	
11/27	東～東北東	3	
11/28	東	3	◎
11/28	東	3	
11/29	南南西	8	◎
11/30	北北西	10	◎
12/1	北西	8	◎
12/1	西北西	5	◎
12/2	西南西	4	
12/3	東	2.5	

◎ ひずみ測定データ添付



長崎港の風向（平均）
(1956～1960)



ひずみ測定時風向

(b) ひずみ測定は昭和 57 年 8 月から 12 月にかけて 18 回実施した。

風向、風速については表 2.4 の下段に示すように年間平均を代表していない。例年 3 月から 9 月にかけて南西の風向が多くなり、この海域はこの条件時に波高・波長がきびしい環境となるため、この期間にも計測しなければ年間の解析は不十分である。

- (c) 浮体から陸上に配線している計測線は、すでに数回切断し、が補修を行って計測している。
- (d) 十分な解析は次年度に予定しているが、現時点では下記のことが判明している。
 - (i) 浮体間接続鋼管に生ずるひずみは、上下方向の動搖の位相が約90°異なるので、完全な繰り返し曲げひずみが生じている。
 - (ii) 浮体①と浮体②の個々の左右の上下の動搖は同一である。
 - (iii) 浮体①と浮体②の上下方向の動搖は約90°の位相が生じている。
 - (iv) 浮体間接続鋼管の左右方向については浮体①と浮体②の剛性が大きいため、ひずみが小さくなっている。
- (e) 以上のひずみ及び加速度測定結果の数例について1/4縮尺図を図2.7(1)~2.7(7)に示した。図中の記号を下記に示す。

$S_1 \sim S_4$: 管軸方向のひずみ(管端)

$S_5 \sim S_8$: " " ("

A_1 : 浮体の横方向加速度

A_2 : 浮体の前方向の加速度

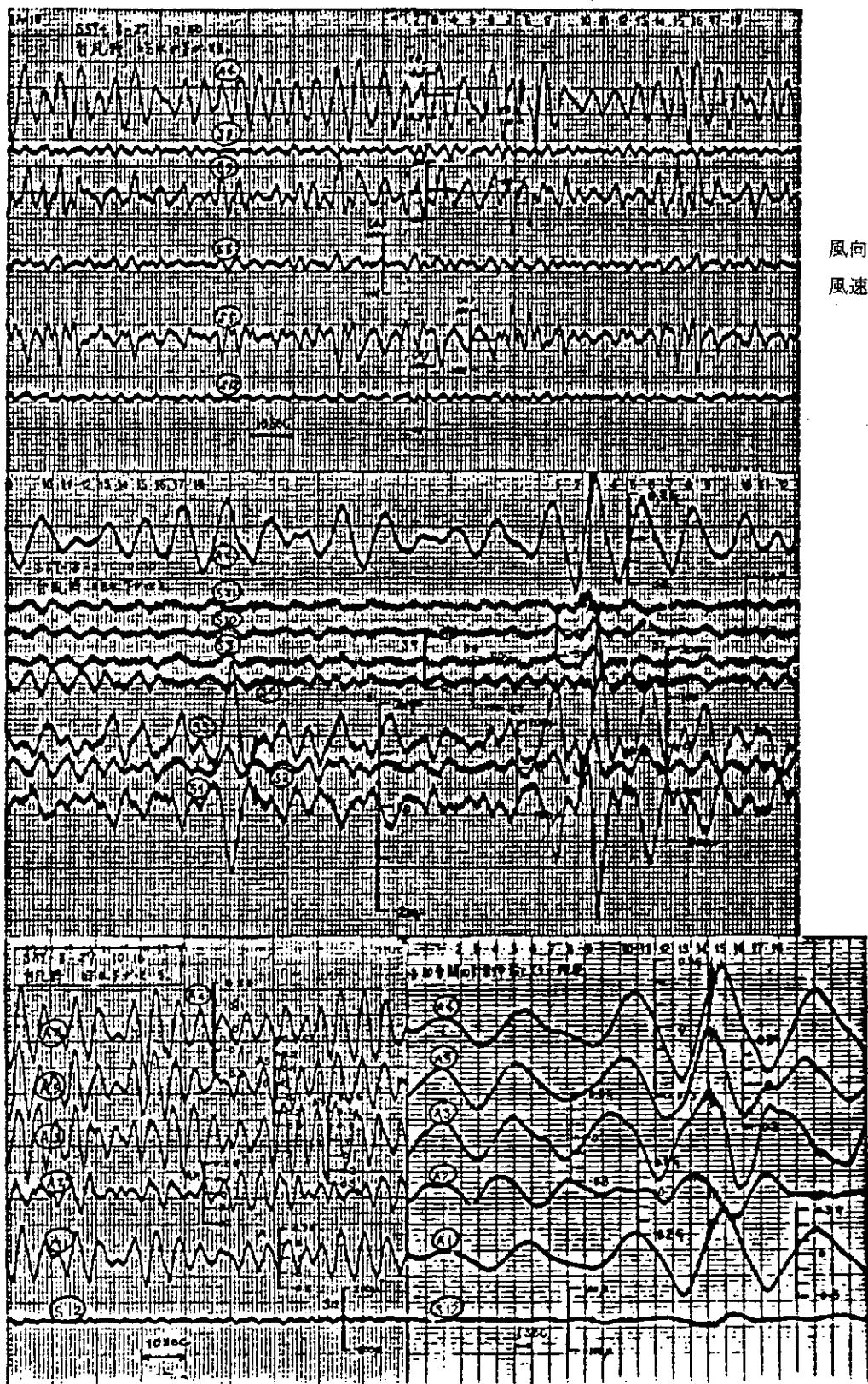
$A_3 \sim A_5$: 浮体の上下方向の加速度

- (f) 今回の計測データ中最大のひずみ量は 200μ (ひずみ率0.02%)であり、風向は西北西、風速 $7 \sim 18\text{m/s}$ の時である。

2.4 まとめ

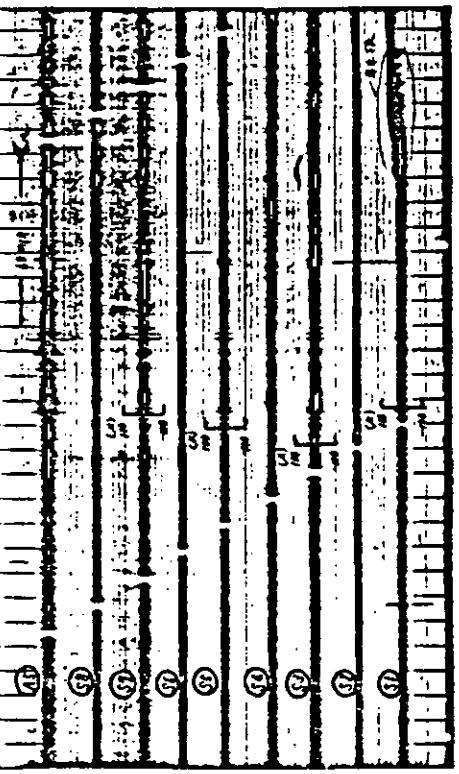
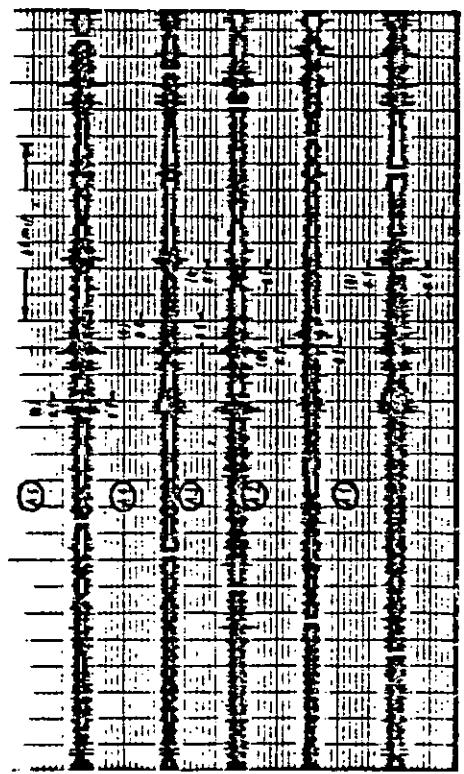
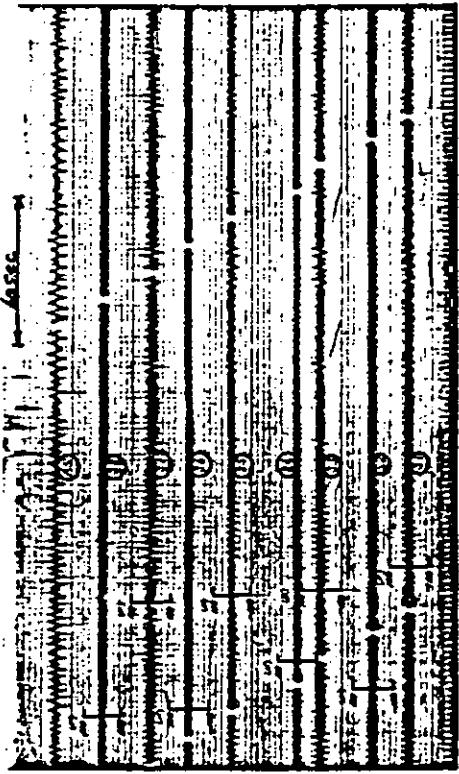
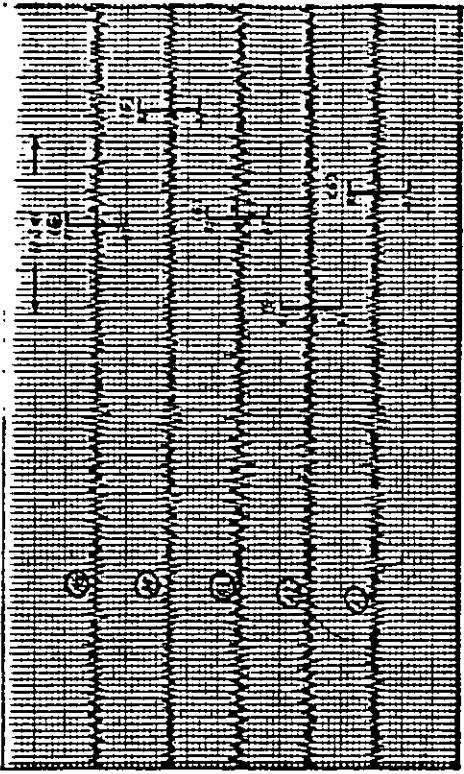
海洋構造物の防食仕様について、実験室テストと実環境における防食性能の相関性を把握するため、三菱重工業(株)長崎香焼工場外海に浮体式試験体を昭和56年11月に設置し、約1年間を経過した。

- (1) 浮体式試験体本体及び大型試験片いずれも、防食材の外観的劣化は認められず、良好である。
- (2) 海中没水部の防食被覆表面には、大量の海洋生物(厚さ60~90mm)が付着しているが、膜への浸食はない。
- (3) 大型試験片についてのインピーダンス測定結果で、ESFの $\tan\delta$ 劣化の傾向が認められるが、鋼板素地との付着力には異状はない。
- (4) PEM, PEFの皮膜で、生物除去時にごく一部に層間はがれの傾向が見受けられる。
- (5) 浮体タンク2個を接続するひずみ測定用鋼管でのひずみの傾向及び浮体の動搖(加速度)が明確になった。詳細な解析は次年度に行うが、本年の測定結果からは、最高ひずみ量 200μ (ひずみ率0.02%, 風速 $7 \sim 18\text{m/s}$ 時)が判明した。
- (6) 上記(5)の測定では2~3月に荒海となるこの海域でのデータが不足しているため、引き続きひずみと浮体の加速度を測定する予定である。



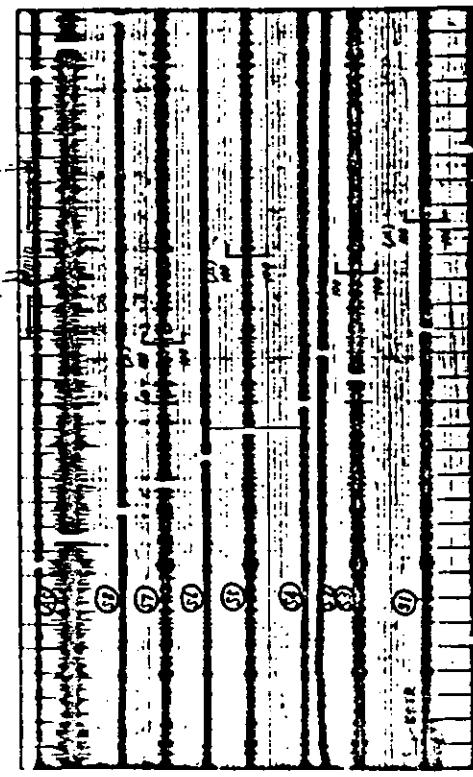
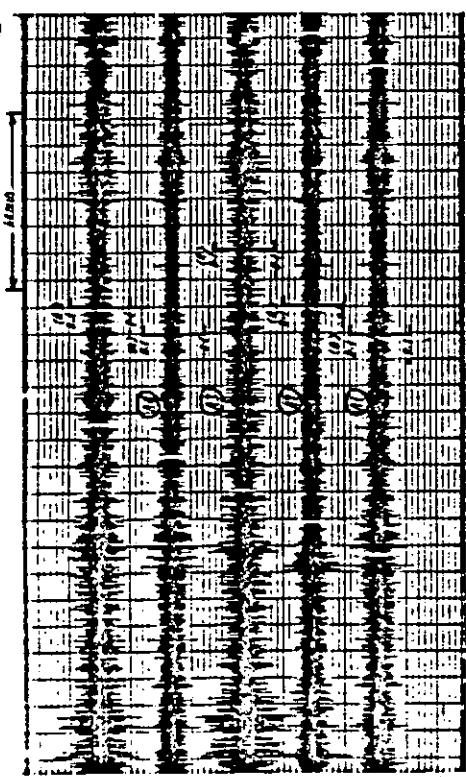
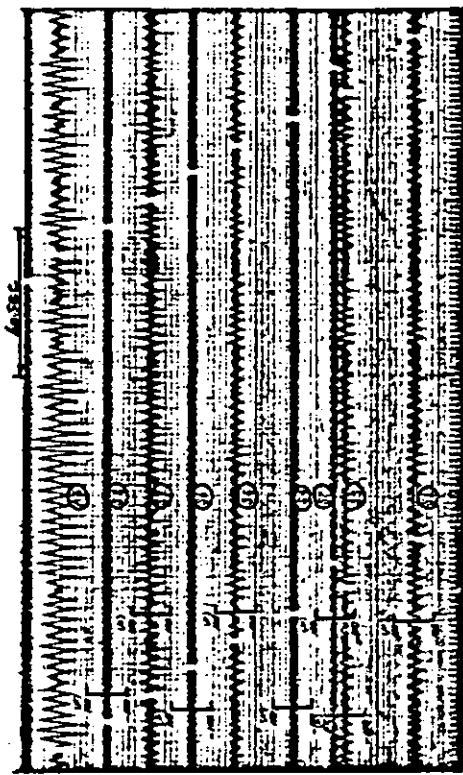
風向 西北西
風速 7 ~ 18 m/s.

図 2.7(1) ひずみ及び加速度 (S57-8-27 台風接近, 浮体の吃水下がっている)



風向 北北東～東北東
風速 3 m / s

図 2.7(2) ひずみおよび加速度 (S57-11-21)



風向 東
風速 3 m / s

図 2.7(3) ひずみおよび加速度 (S 57-11-28)

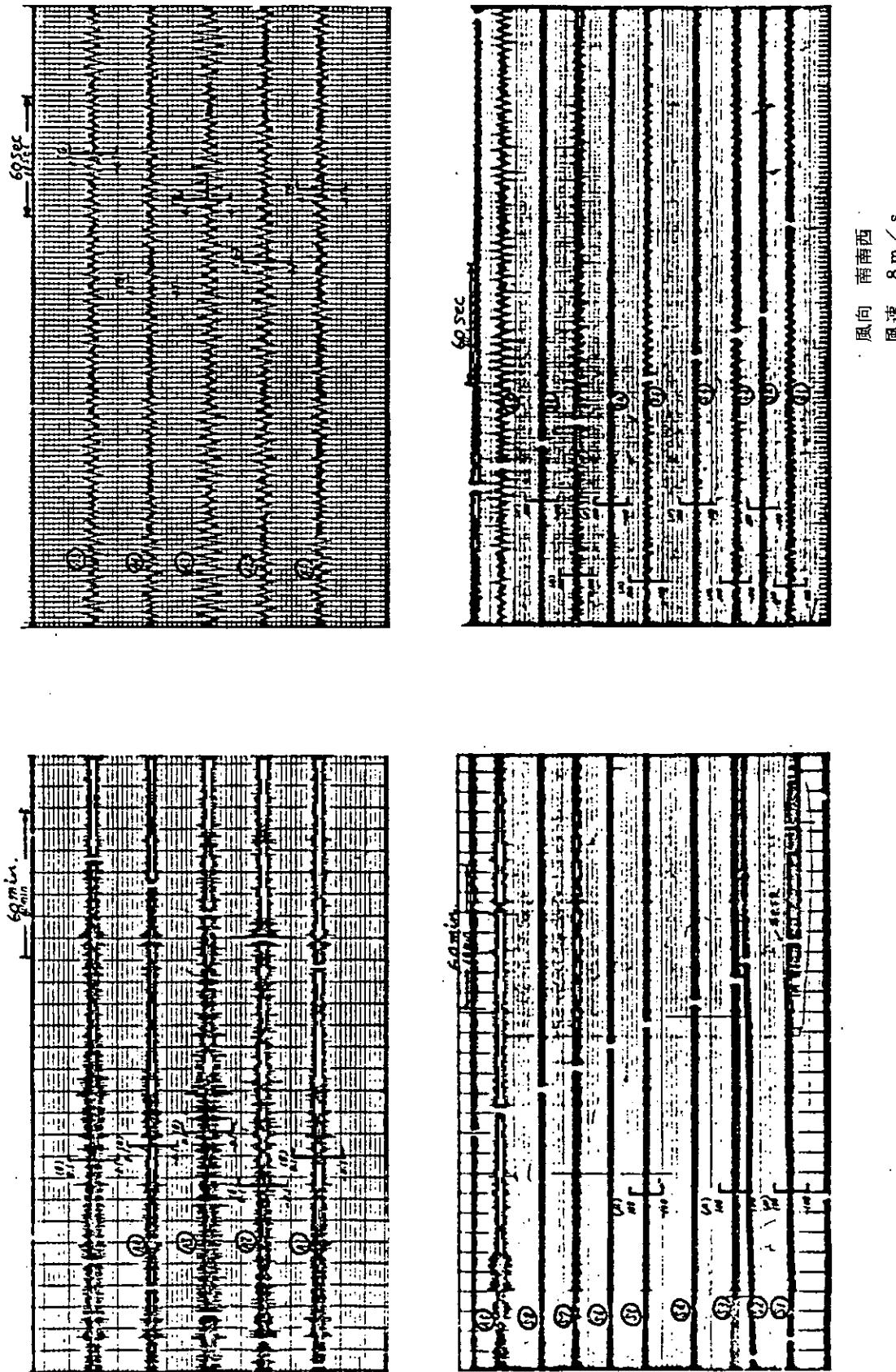
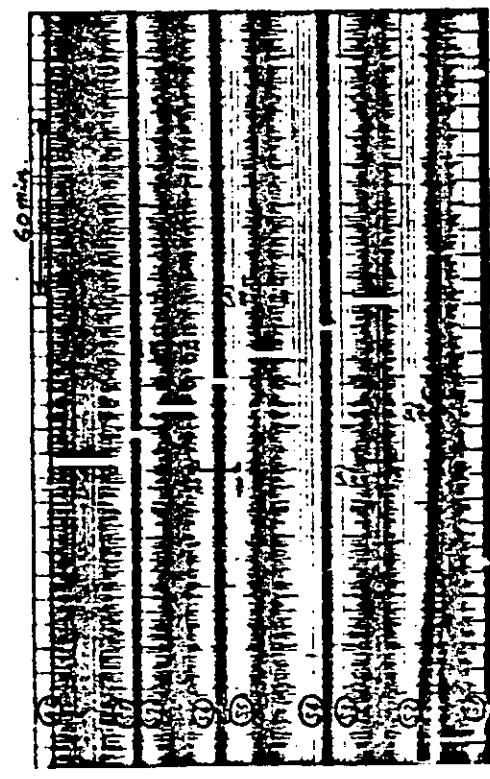
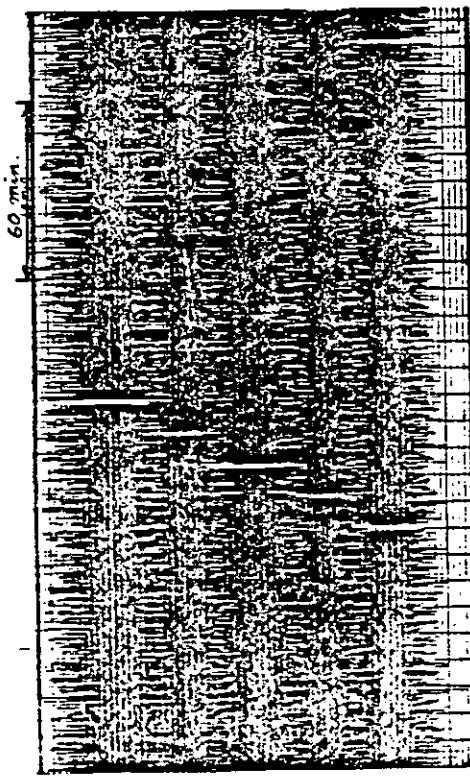
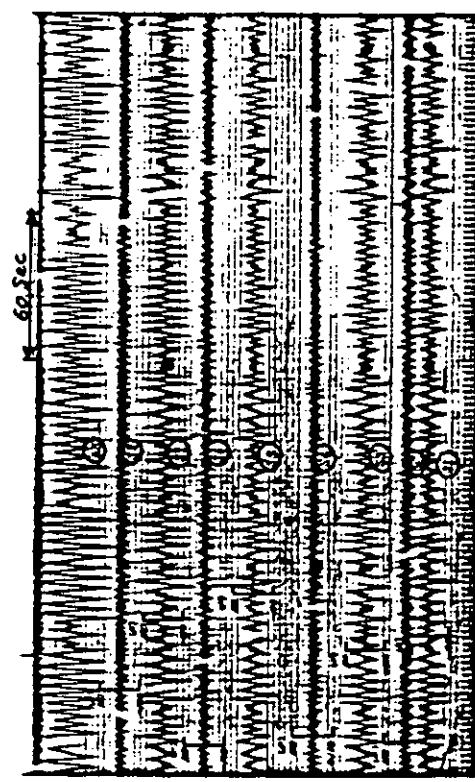
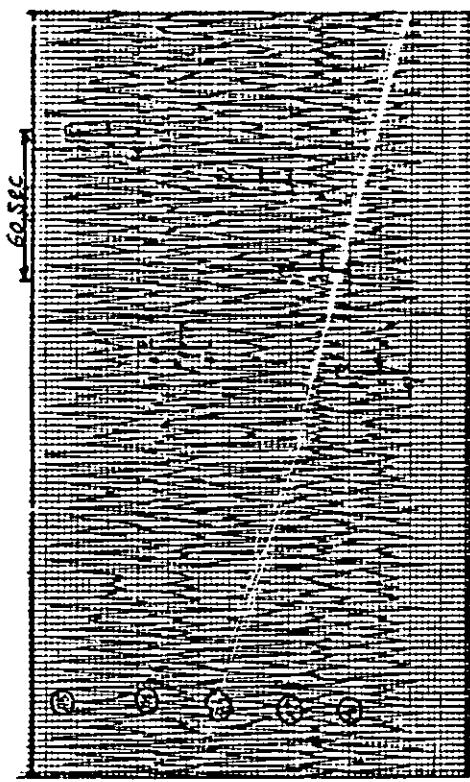


図 2.7(4) ひづみおよび加速度 (S57-11-29)

風向 南南西
風速 8 m / s



風向 北北西
風速 10 m/s

図 2.7(5) ハオヌおよび加速度 (S57-11-30)

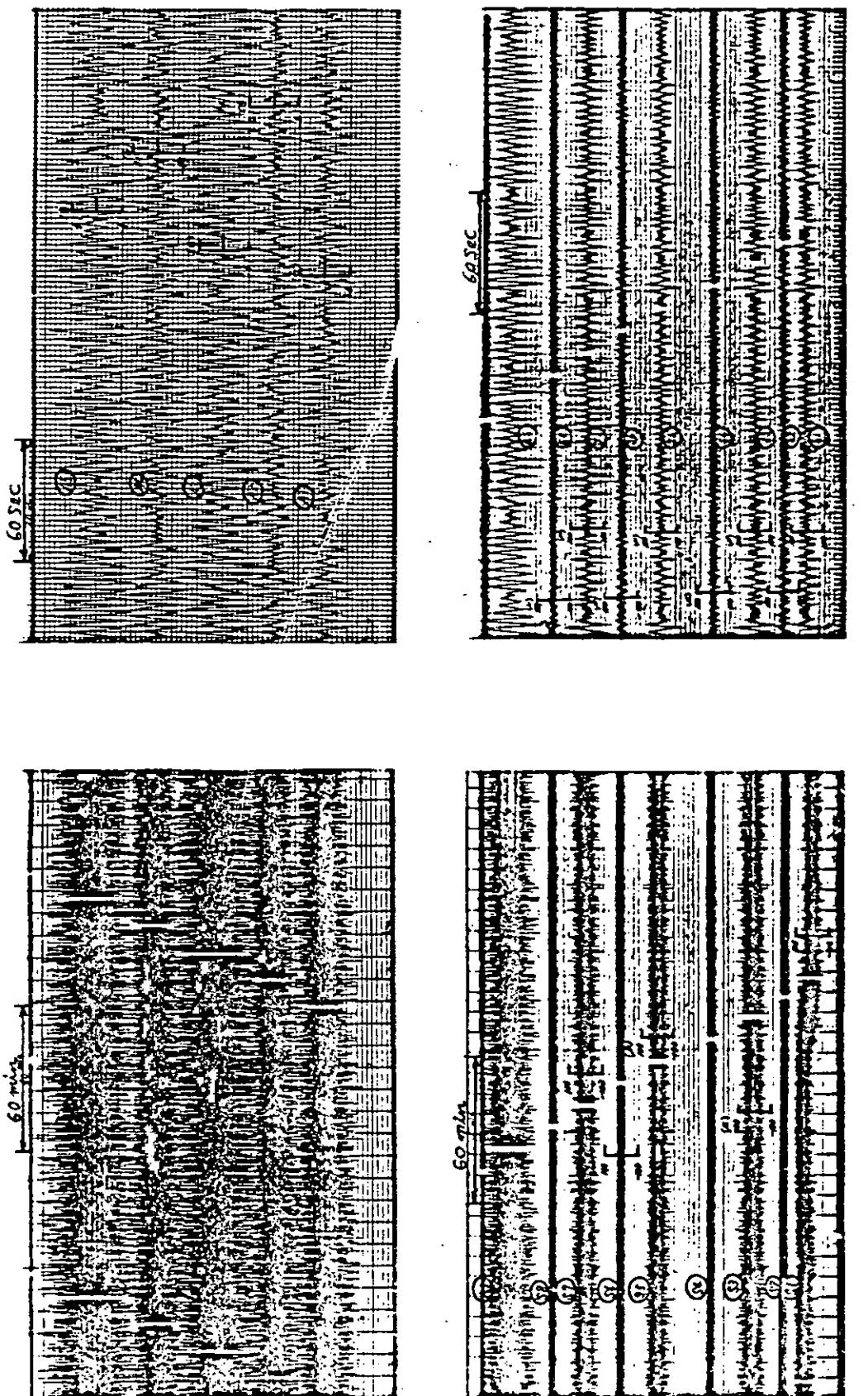
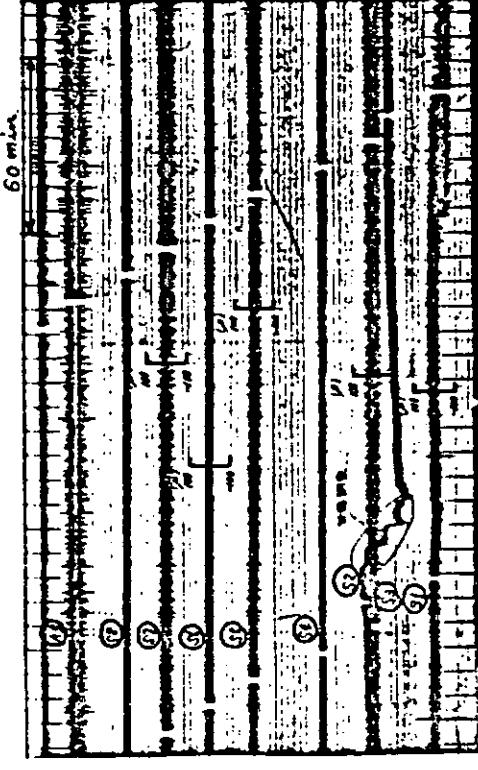
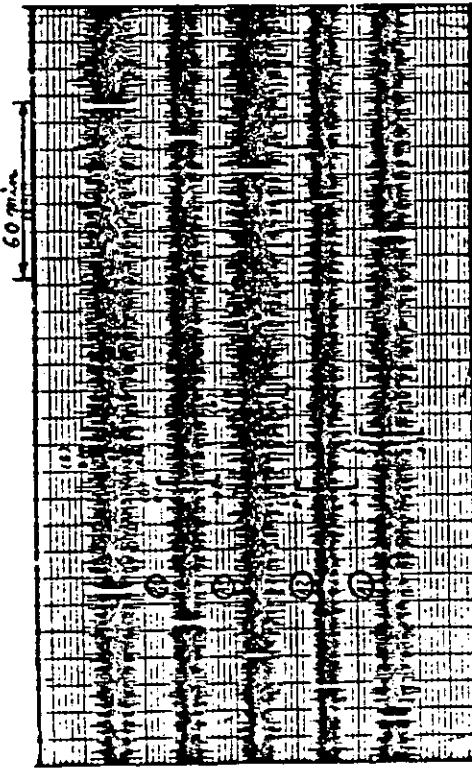
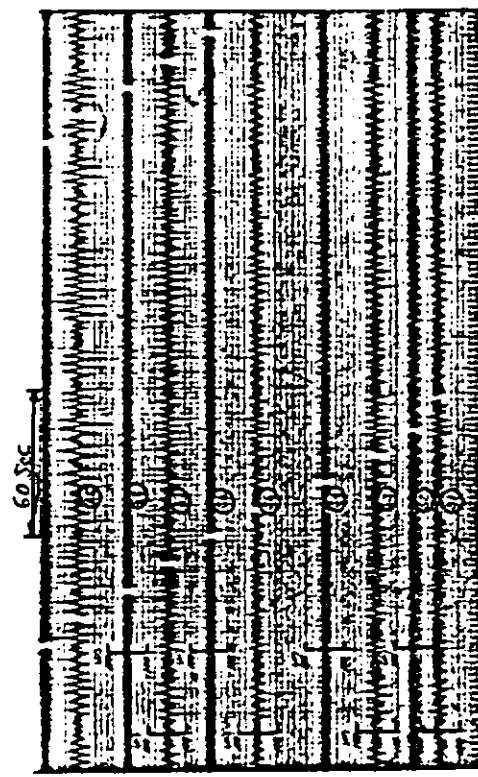
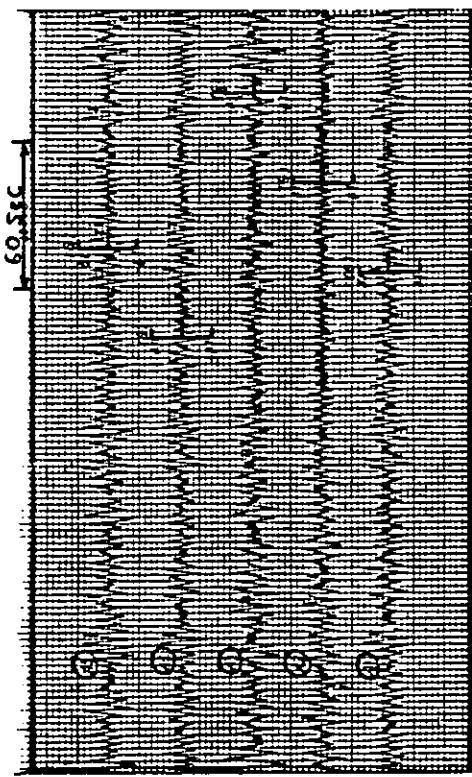


図 2.7(6) ひずみおよび加速度 (S57-12-1)

風向 北西
風速 8 m / s



風向 西南西
風速 4 m/s

図 2.7(7) ひづみおよび加速度 (S57-12-2)

3. 防食材料の寿命推定法に関する検討

3.1 目的

長期防食材料の性能を短期間で評価するための促進試験法について検討する。防食材料の性能評価として、防食材料自身の劣化と防食材料に欠陥が発生した場合の素地金属の腐食に及ぼす影響の2項目について検討した。

3.2 供試防食材料防食仕様

本項目において供試した防食材料及び防食仕様は表1.1に示したものと同じである。

3.3 試験項目と試験方法

3.3.1 防食材料の劣化促進試験

(1) 試験板の材質及び形状

材質 : SS41 (グリットブラスト処理)

寸法 : 150 × 75 × 3.5 mm

(2) 試験片の作製

試験板を溶剤にて脱脂後、防食仕様No.1～5についてはエアースプレー、防食仕様No.6～8についてはナイフコーナーにて、表1.1に示す膜厚で塗装し、試験片とした。塗り重ねは1日1回塗りとし、IZへの塗り重ねのみ1週間とした。

(3) 試験方法及び試験条件を表3.1に示す。なお塩水浸漬装置の概略を図3.1に示す。

(4) 劣化判定法

インピーダンスの経時変化及び付着力の経時変化より試験後の劣化を判定した。インピーダンス及び付着力の測定方法を以下に述べる。

(a) インピーダンスの測定法

測定は一方の極を素地金属とし、対極を塗膜面に電解質糊（カルボキシルメチルセルロースを3%食塩水に溶解して作る）と貼りつけた50×50 mmのアルミニウム箔とした。両極を誘電性測定装置（新電子工業社製、CJA-3D型）につなぎ防食材料の等価並列抵抗値Rx、及び容量値Cxを測定し(3.1)式によってtan δ値を算出した。

測定用ブリッジ回路を図3.2に示す。

$$\tan \delta = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot Cx \cdot Rx} \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

ここでf:周波数(1000Hz)

(b) 付着力の測定方法

付着力の測定は、図3.3に示す要領で引張り試験治具を張り付け、1日室温で放置した後、アドヒージョンテスター（エルコメーター社製）を用いて付着力を測定し、その時の破壊箇所を観察した。

3.3.2 防食材料欠陥の素地金属腐食への影響

(1) 試験板の材質及び寸法

材質：ミガキ及びグリットblast処理SS 41鋼板

寸法： $50 \times 50 \times 3.2$ mm

(2) 試験片の作製

3.3.1(2)に準じて作製した試験片の塗膜ドリルにて素地に達する穴を開け、防食材料欠陥とした。

防食材料欠陥の直径は 0.2 mm ϕ , 0.5 mm ϕ の2水準とした。防食材料欠陥の数は試験片の中央に1つのものと、1 cm間隔の基盤目の交差点に16個あけたものの2水準とした。

(3) 試験方法及び試験条件

海水浸漬試験及び塩水浸漬試験は、表3.2に示す条件で行い、塩水噴霧試験はJIS K 5400に準じて3箇月間行った。

(4) 評価方法

防食材料欠陥部からの腐食の広がり幅を測定して評価した。

測定は、欠陥部を外側にして中央部で試験片を約 90° 折り曲げることにより素地より防食材料をはがし、素地金属の腐食広がり幅を折り曲げ軸方向にノギスで計測して行った。なお、測定値より防食材料欠陥の直径を引いた値を腐食広がり幅とした。また、防食材料欠陥を16個もつ試験片では、中央部4個の腐食広がり幅の平均値を採用した。

3.4 試験結果と考察

3.4.1 防食材料の劣化促進試験

(1) インピーダンス測定

塩水浸漬試験の結果を図3.4～3.6に、海水浸漬試験の結果を図3.7～図3.9に示す。図3.6の塩水浸漬試験の $\tan \delta$ の経時変化では、防食仕様No.8を除いて大きな増加は見られず、逆に減少している防食仕様も存在する。しかし図3.4の R_x の経時変化では防食仕様No.2を除いてすべて R_x が減少しており、図3.5の C_x の経時変化では、 C_x がすべて増加している。このことは防食材料の吸水により R_x は減少し、 C_x が増加するが、必ずしも R_x 、 C_x の変化が $\tan \delta$ を増加させるように変化するとは限らず、 R_x の減少に比べて C_x の増加の割合が大きければ(3.1)式より $\tan \delta$ が減少することから説明できる。たとえば素地まで短絡した欠陥がなく水を吸収した防食材料の場合、誘電率が大きくなるため C_x は大きくなるが、 R_x の変化は小さいため $\tan \delta$ は減少することになる。それに比べ防食仕様No.8は典型的な防食材料劣化を示す変化が見られた。

すなわち、防食仕様No.8の場合、防食材料劣化により損傷が生じ、その損傷部の抵抗はその部分を満す溶液の抵抗かまたは金属面の電極反応抵抗となるため防食材料自身の抵抗に比べ著しく小さくなり、結果 R_x が大きく減少した。一方、損傷部の容量は電気二重層または電極反応に基づく容量であるため、防食材料自身の容量に比べ著しく大きくなり、結果 C_x は大きく増加したと考えられる。図3.9の海水浸漬試験における防食仕様No.8の $\tan \delta$ の大きさの変化は、図3.7の R_x の経時変化からわかるように R_x の減少によるものではなく、図3.8の C_x の経時変化に見られる C_x の減少によるものである。従って、塩水浸漬試験の場合のように $\tan \delta$ 値の変化が塗膜の劣化を表わしているとは判断しがたい。

図3.10は海水浸漬試験における R_x の変化率(試験後の R_x /初期の R_x)を横軸に塩水浸漬試験における R_x の変化率を縦軸として防食仕様ごとにプロットしたものである。試験前の変化率と試験とも1であることは変化率の定義より明らかである。点(1.1)と各プロットを結ぶ直線の傾きが塩水浸漬試験の海水浸漬試験に対する促進率となる。従って、もし図中の破線上有プロットがある場合の促進率は1であり破線より下にプロットがある場合は促進効果があるといえる。図3.11は同様

にして C_x の変化率をプロットしたものである。 C_x の場合は破線より上にプロットがあれば促進効果がある。

(2) 付着力の測定

付着力の測定結果を表 3.3 に示す。海水浸漬試験の結果では、防食仕様 No.8 を除いて付着力、破断形態とも大きな変化は見られず防食材料の劣化は、ほとんど生じていないと考えられる。防食仕様 No.8 にしても、付着力は著しく低下しているが、破断形態は防食材料のごく表層部（引張試験治具面にごくわずかガラスフレークの付着が見られる程度）であり、防食材料劣化というほどのことはないと考えられる。塩水浸漬試験の結果でも、防食仕様 No.1 ~ 7 では付着力、破断形態とも防食材料の劣化を示すような変化を示さなかった。ただ防食仕様 No.3 の破断形態が素地との界面で生じたが素地金属面には発錆は見られなかった。しかし、防食仕様 No.8 では先のインピーダンス測定の結果と同様、防食材料の劣化を示す典型的な変化が見られた。すなわち、防食仕様 No.8 の場合防食材料の劣化が進むにつれ、初期の段階では十分であった素地との付着力が素地界面での水の凝縮、腐食の発生等が原因で低下したため、小さな引張り力で素地との界面破断が生じた。

以上の結果から付着力の測定においては、破断形態を詳細に観察することが重要であると考える。そして破断が小さな引張り力で素地との界面で生じるようになった時、その防食仕様は十分な防食効果が期待出来ないと判断して良いと考える。しかしインピーダンス及び付着力の測定結果から、促進試験といえども明確な劣化を判定出来るまでにはかなり長期間の試験が必要であると思われる。

3.4.2 防食材料欠陥の素地金属腐食への影響

欠陥部よりの腐食進行に影響する要因として表 3.2 に示す 5 つの要因をあげ、その主効果、及び 2 要因間の交互作用について分散分析を行いその要因効果を求めた。ここで 3 要因間以上の交互作用はすべて誤差として扱った。その分散分析表を表 3.4 に示す。F 検定の結果、暴露環境、下地処理、防食仕様の主効果及び交互作用が 1 % で有意であった。有意差が認められた要因、交互作用の効果図を図 3.12 ~ 図 3.17 に示す。図 3.12 から暴露環境では、塩水噴霧より塩水浸漬の方が腐食広がりの促進効果が大きいことがわかった。下地処理では、図 3.13 より、グリットプラス処理した方が腐食広がり幅が小さいことがわかった。これは表面粗さによる素地との付着力の向上効果（図 3.18 によりわかる）が腐食の広がりの抑制に寄与しているためと考えられる。図 3.14 にも示すように下層に IZ を含む防食仕様（No.1, No.2 及び No.5）では、本試験条件の範囲において腐食を生じていない。このことは亜鉛の電気防食効果によると考えられる。2 要因間の交互作用については、図 3.15 より、ミガキ鋼板では塩水浸漬試験の方が腐食広がり幅が大きく、グリットプラス処理鋼では逆に塩水浸漬試験の方が腐食広がり幅が大きいことがわかった。また、図 3.16 より、防食仕様によっては、塩水浸漬試験と塩水噴霧試験で異なる成績を示すことがわかった。たとえば、防食仕様 No.8 の場合、塩水浸漬試験では、成績が良くないが、塩水噴霧試験では、比較的良好な成績を示した。さらに図 3.17 よりライニング系仕様（防食仕様 No.6, No.7 及び No.8）がミガキ鋼板で腐食広がり幅が大きくグリットプラス処理鋼板ではそれが小さいことがわかった。このことは、ライニング系仕様では、下地処理としてプラス処理することが欠陥部より腐食の広がりを小さくする上で不可欠であることを示す。

3.5 まとめ

3.5.1 防食材料の劣化促進試験

本年度の劣化促進試験は昭和 56 年度研究の塩水浸漬試験条件に紫外線照射試験条件を加えた。そこで劣化促進効果の差異を比較して図 3.19 及び図 3.20 に示す。その結果 R_x 変化率（塩水浸漬試験 3

箇月後の Rx / 試験前の Rx) でみると防食仕様 No. 1 及び No. 4 は昭和 57 年度の試験結果の方が促進効果が大となった。一方 Cx の変化率 (塩水浸漬試験 3 箇月後の Cx / 試験前の Cx) では防食仕様 No. 6 を除き他の防食仕様は昭和 57 年度の試験結果の方が促進効果が大となった。

3.5.2 防食材料欠陥の素地金属への影響

防食材料欠陥部からの素地金属の腐食への影響は本実験の範囲では、防食材料欠陥の大きさ、欠陥の数によるのではなく、下地処理及び防食仕様の要因効果が大である結果が得られた。

表 3.1 試験方法及び試験条件

試験方法	試験条件
塩水浸漬試験	塩水濃度 3 % 浸漬液温度 60 ℃ 溶存酸素 O ₂ 吹込み 紫外線照射 あり 浸漬期間 3 箇月
海水浸漬試験	海水 神戸港から汲み上げ 浸漬液温度 室温 溶存酸素 空気吹込み 浸漬期間 3 箇月

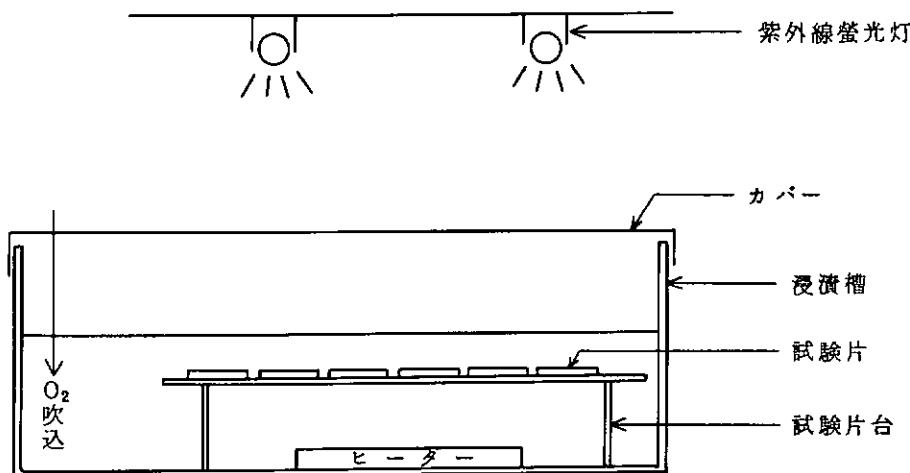


図 3.1 塩水浸漬試験装置の概要

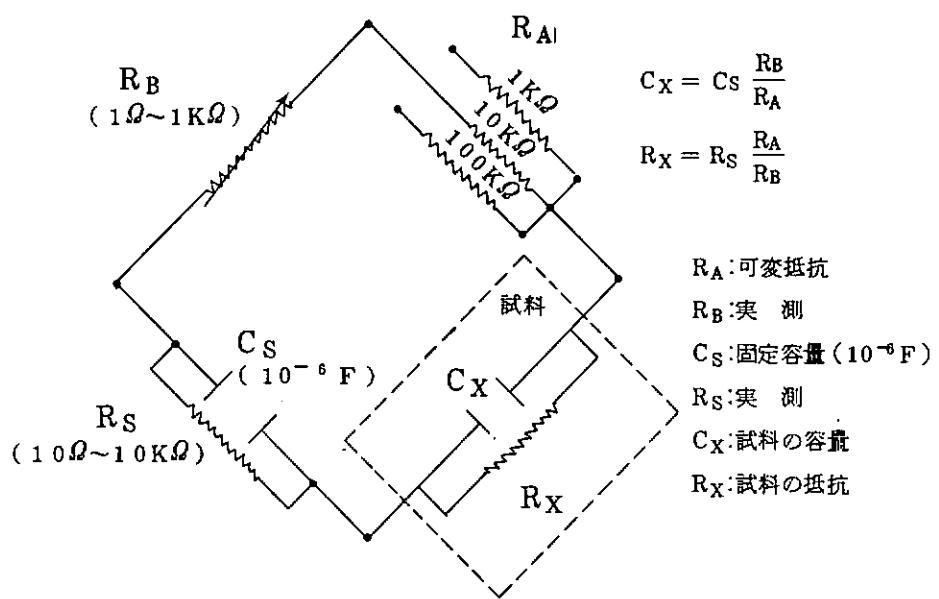


図 3.2 $\tan \delta$ 検定用ブリッジ回路

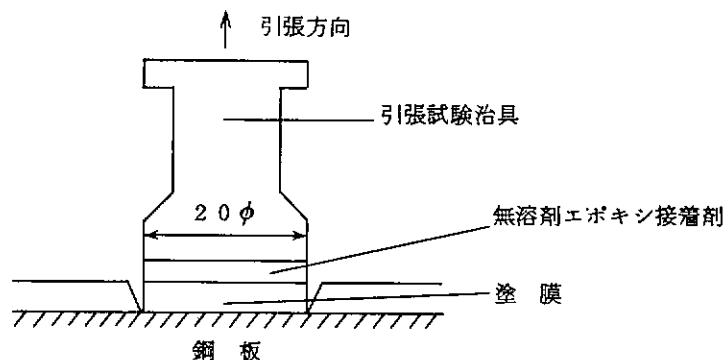


図 3.3 付着力試験要領

表 3.2 防食材料欠陥の素地金属腐食への影響する要因とその水準

要 因	水 準
暴 露 環 境	イ 海水浸漬 ロ 塩水浸漬 ハ 塩水噴霧
下地処理(表面粗さ)	1. ミガキ鋼板 2. グリットblast処理鋼板 (表面粗さ $2\mu m$) (表面粗さ $50\mu m$)
防 食 仕 様	No. 1 ~ 8
防食材料欠陥の直径	1. $0.2 mm\phi$ 2. $0.5 mm\phi$
防食材料欠陥の数	1. 1 個 2. 16 個

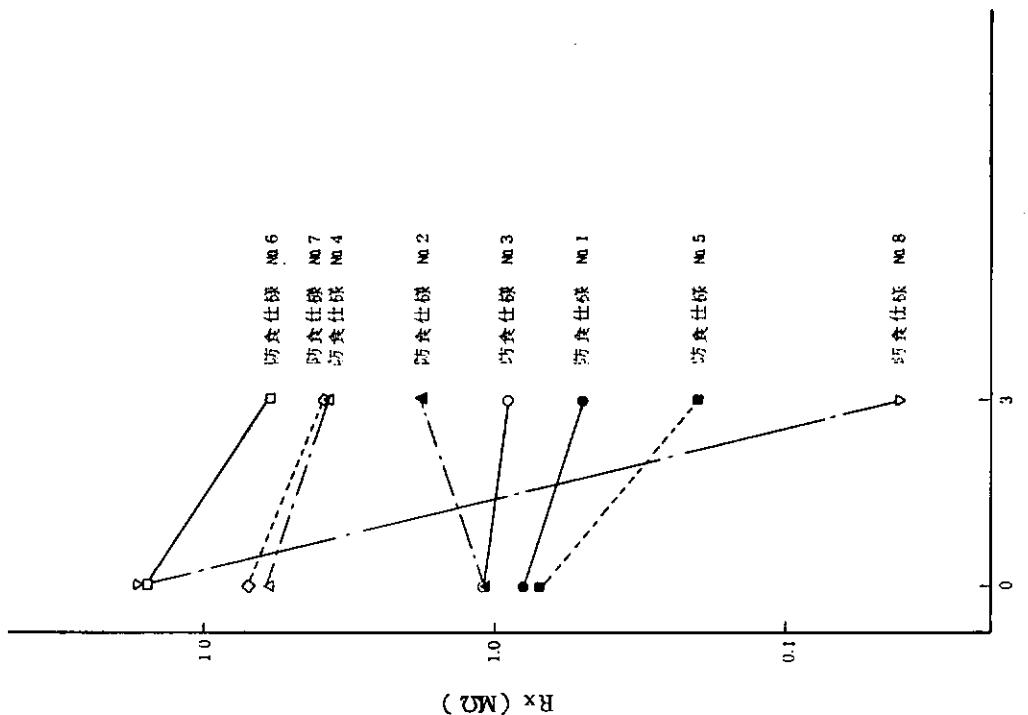


図 3.4 塩水浸漬試験における抵抗値の経時変化
(測定周波数 1 000 Hz)

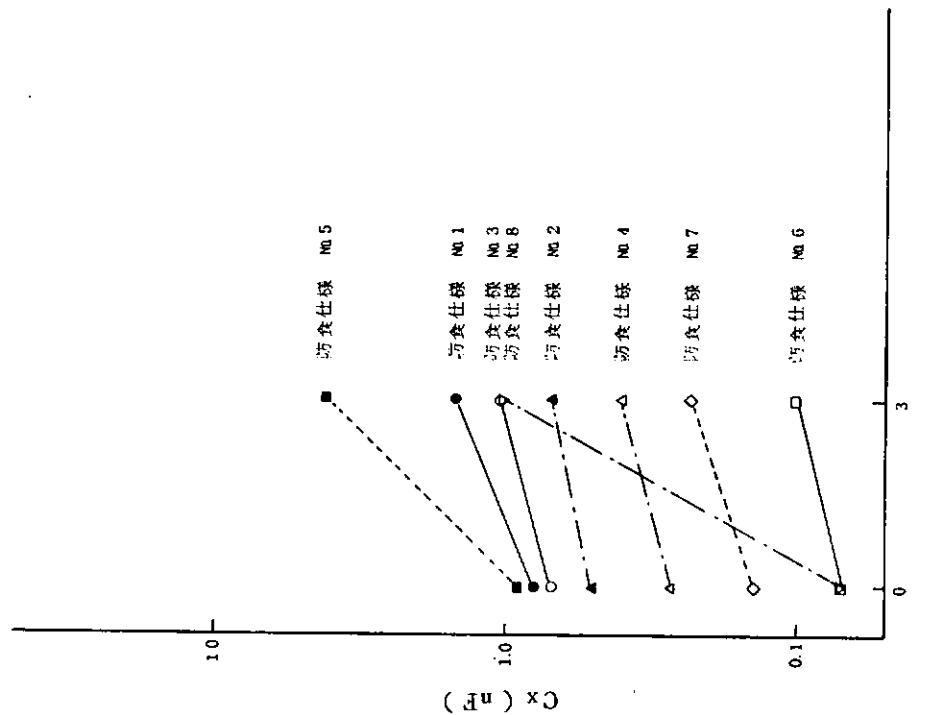


図 3.5 塩水浸漬試験における容量値の経時変化
(測定周波数 1 000 Hz)

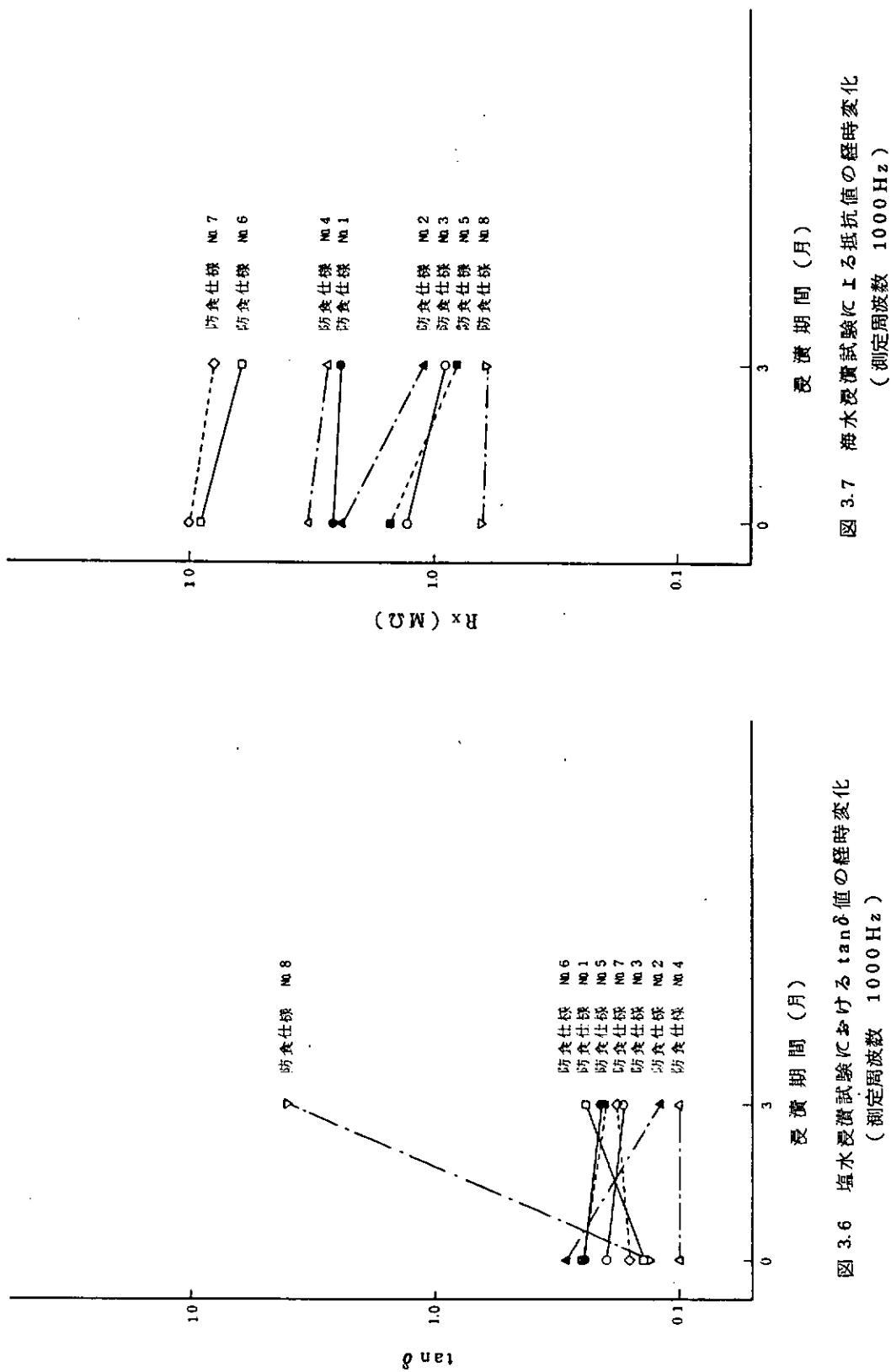


図 3.6 塩水浸漬試験における $\tan \delta$ の経時変化
(測定周波数 1000 Hz)

図 3.7 海水浸漬試験による抵抗値の経時変化
(測定周波数 1000 Hz)

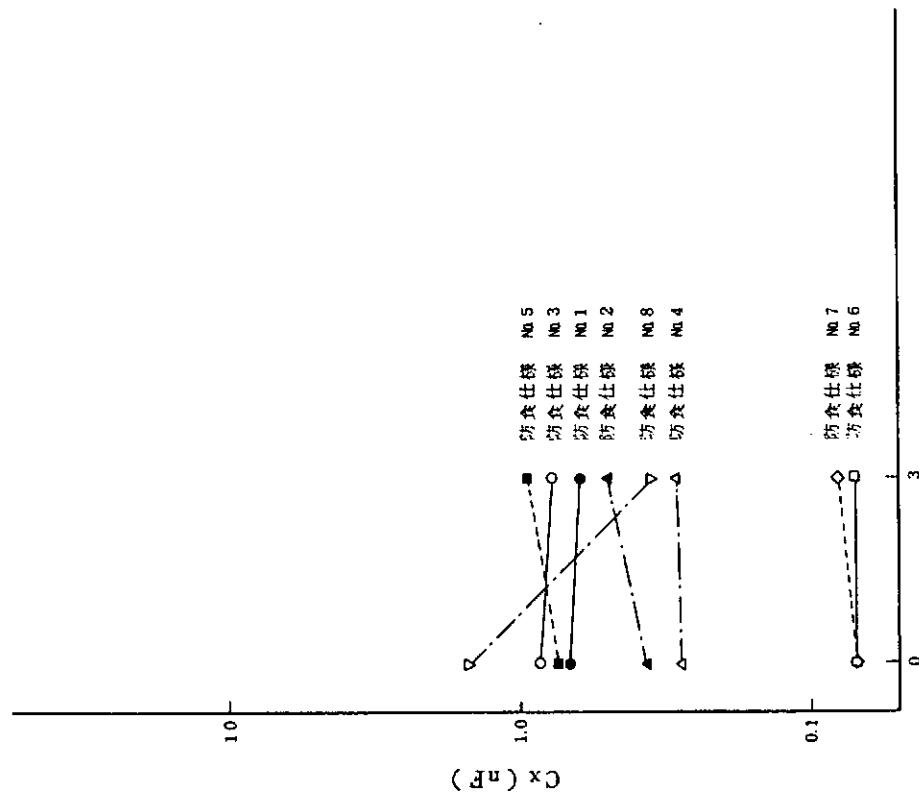


図 3.8 海水浸漬試験による容量値の経時変化
(測定周波数 1000 Hz)

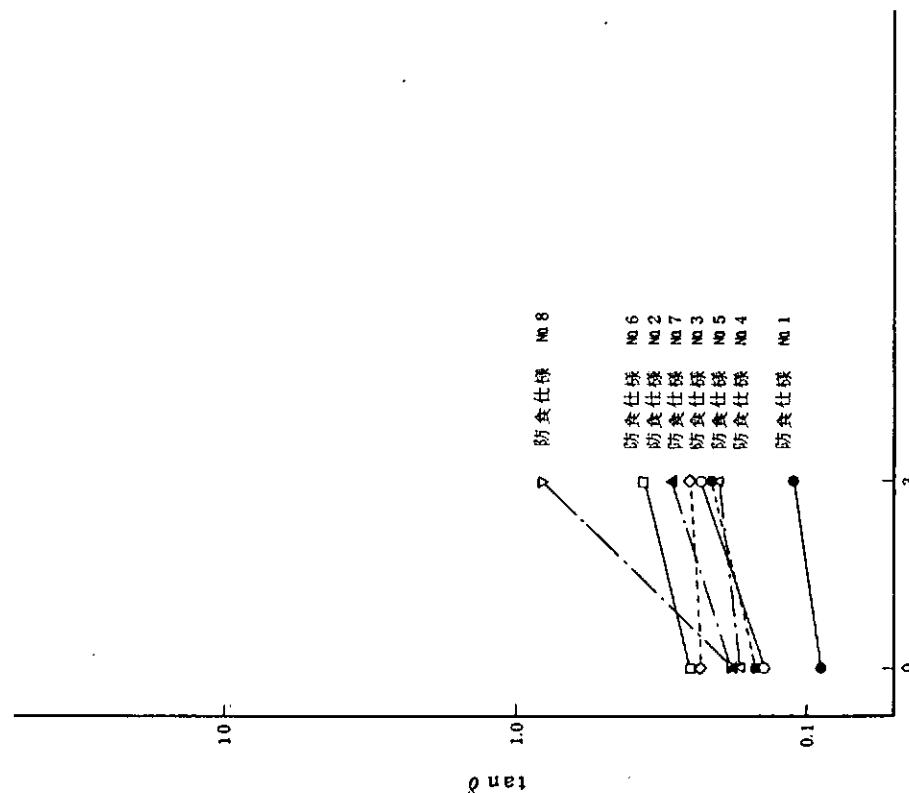


図 3.9 海水浸漬試験による $\tan \delta$ 値の経時変化
(測定周波数 1000 Hz)

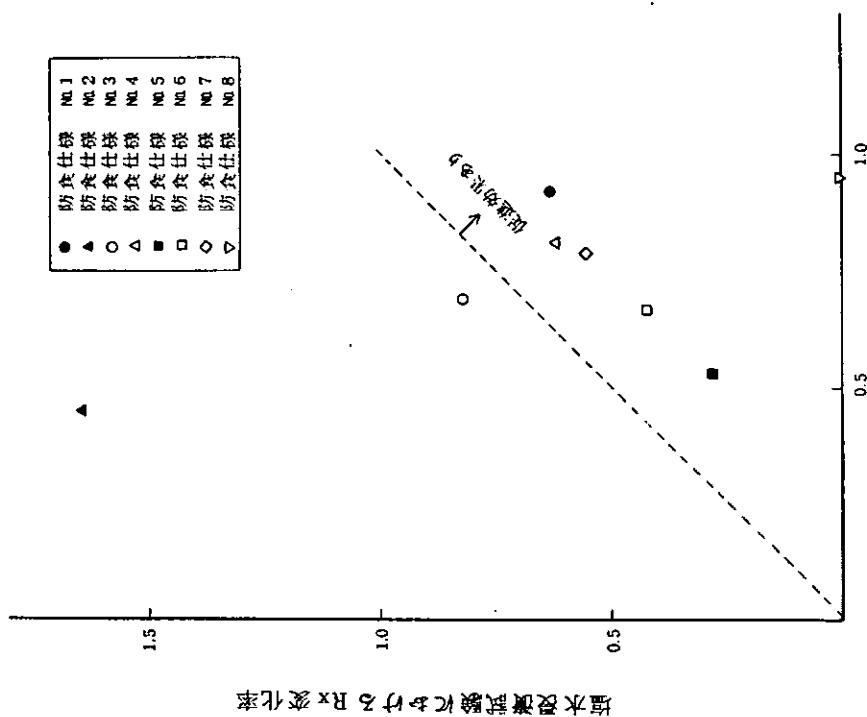


図 3.10 海水浸漬試験と塩水浸漬試験における Rx 変化率の関係

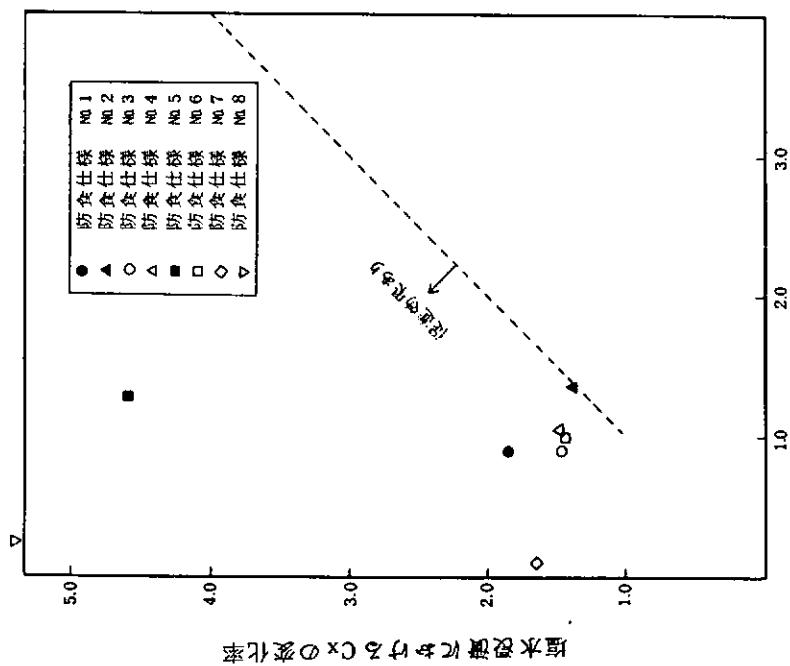
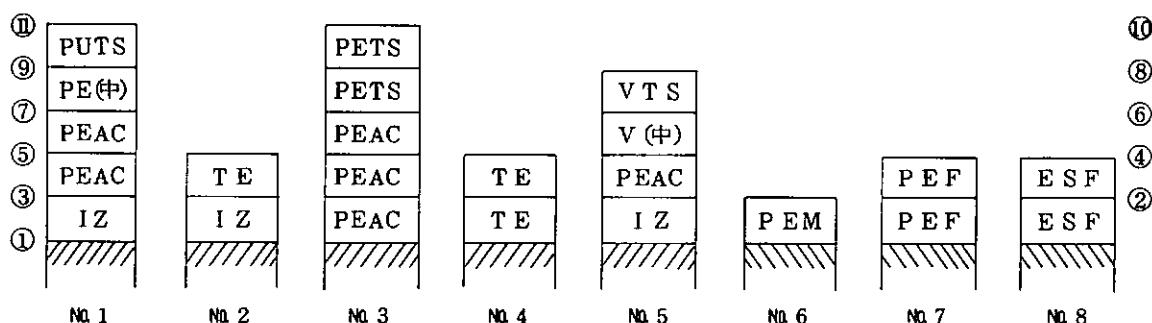


図 3.11 海水浸漬における Cx の変化率の関係

表 3. 3 付着力測定結果

試験条件	防食仕様 No.	初期		3箇月	
		付着力 kgf/cm^2	破断箇所	付着力 kgf/cm^2	破断箇所
海水浸漬	1	15 - 21	(4)	28 - 31	(4) (6)
	2	16 - 18	(2) (5)	28 - 32	(2) (4)
	3	20 - 22	(2)	29 - 32	(2)
	4	35	(2) (5)	30 - 34	(5)
	5	35	(4) (9)	28 - 34	(2)
	6	35 - 45	(2) (5)	35 - 55	(2) (5)
	7	30 - 35	(4) (5)	27 - 32	(4) (5)
	8	35 - 45	(4) (5)	10 - 13	(4)
塩水浸漬	1	18 - 21	(4)	27 - 40	(4)
	2	12 - 21	(2)	15 - 20	(2)
	3	28 - 33	(2)	28 - 32	(1)
	4	24 - 30	(2) (5)	33 - 40	(2) (5)
	5	19 - 24	(2) (4)	24 - 40	(2)
	6	29 - 31	(2) (3)	45 - 50	(2)
	7	28 - 35	(4) (5)	35 - 40	(4)
	8	25 - 26	(4) (5)	12 - 20	(1) (2)

破断箇所の表示法

1) ██████████ はショップライヤー塗装鋼板

██████████ はショップライヤー無塗装鋼板を示す。

2) 奇数は界面破断、偶数は凝集破断を示す。

3) 接着界面破断は最上層の上の界面番号で示す。

表 3.4 分 散 分 析 表

要 因	平 方 和	自 由 度	平 方 平 均	F
暴 露 環 境 A	2 2.0	2	1 1.0	7.3 3 **
下 地 处 理 B	1 5.0	1	1 5.0	1 0.0 **
防 食 仕 様 C	5 9.9	7	8.6	5.7 3 **
防食材料欠陥の直径D	0.0	1	0.0	0.0
防食材料欠陥の数E	0.1	1	0.1	0 0 6
A × B	1 9.5	2	9.8	6.5 3 **
A × C	1 2 5.2	1 4	8.9	5.3 9
A × D	0.7	2	0.3 5	0.2 3
A × E	2.1	2	1.1	0.7 3
B × C	7 3.6	7	1 0.5	7.0 **
B × D	0.1	1	0.1	0.0 6
B × E	0.0	1	0.0	0.0
C × D	2.7	7	0.3 9	0 2 6
C × E	3.4	7	0.4 9	0 3 3
D × E	0.6	1	0.6	0 4
誤 差 ℓ	2 0 0.4	1 3 5	1.5	
	5 2 5.3	1 9 1		

** 1 %で有意を表わす。

図 3.13 下地処理の要因効果図

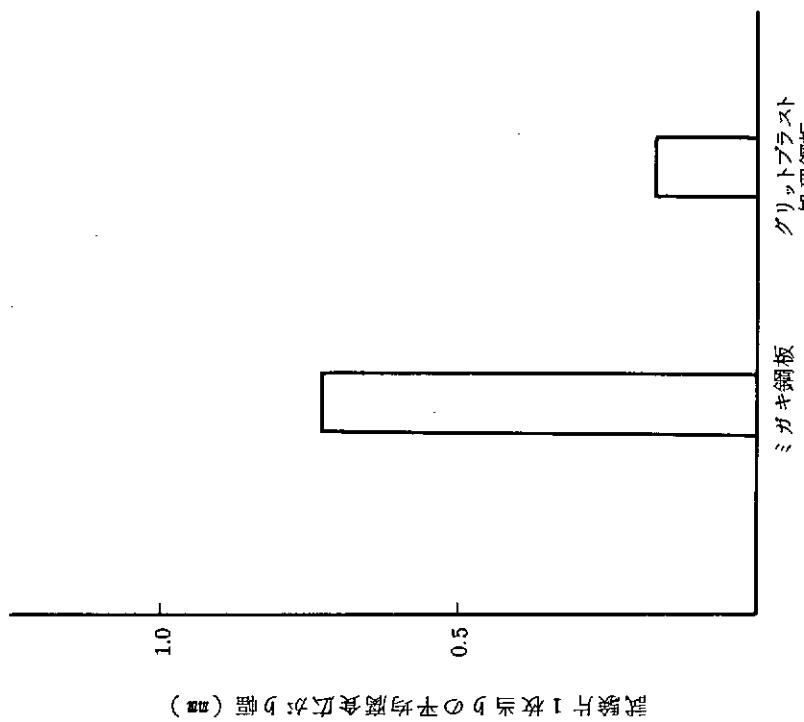


図 3.12 暴露環境の要因効果図

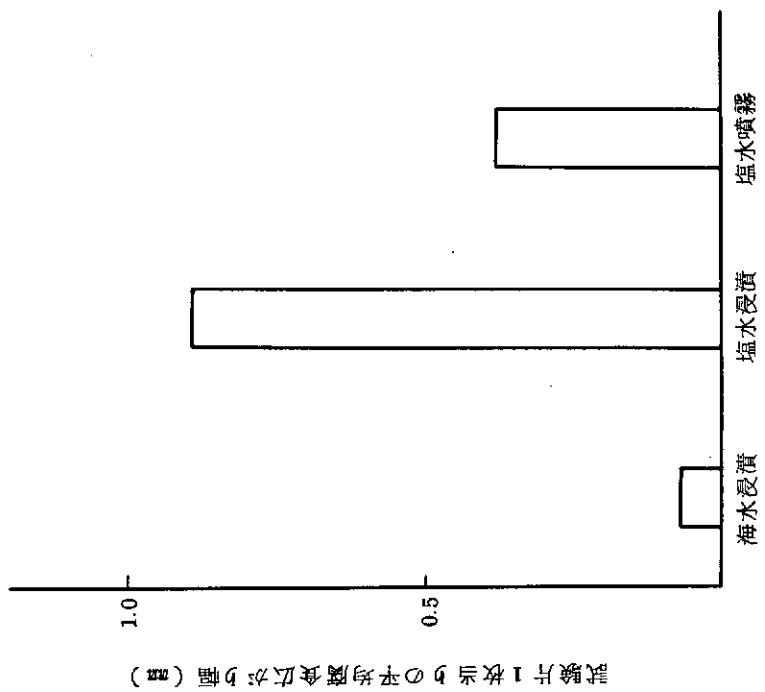


図 3.15 暴露環境と下地処理の交互作用効果図



図 3.14 防食仕様の要因効果図

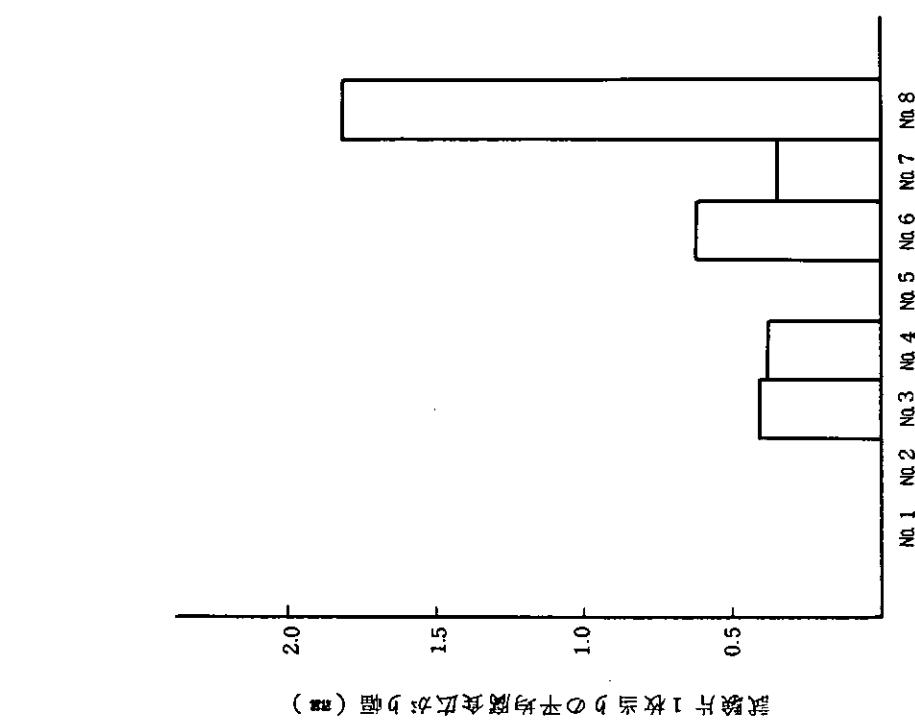


図 3.17 下地処理と防食仕様の交互作用効果図



図 3.16 暴露環境と防食仕様の交互作用効果図



試験片 1 枚あたりの平均表面粗さ (Ra) (μm)

4.0

3.5

3.0

2.5

2.0

1.5

1.0

0.5

0.0

試験片 1 枚あたりの平均表面粗さ (Ra) (μm)

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0.5

0.0

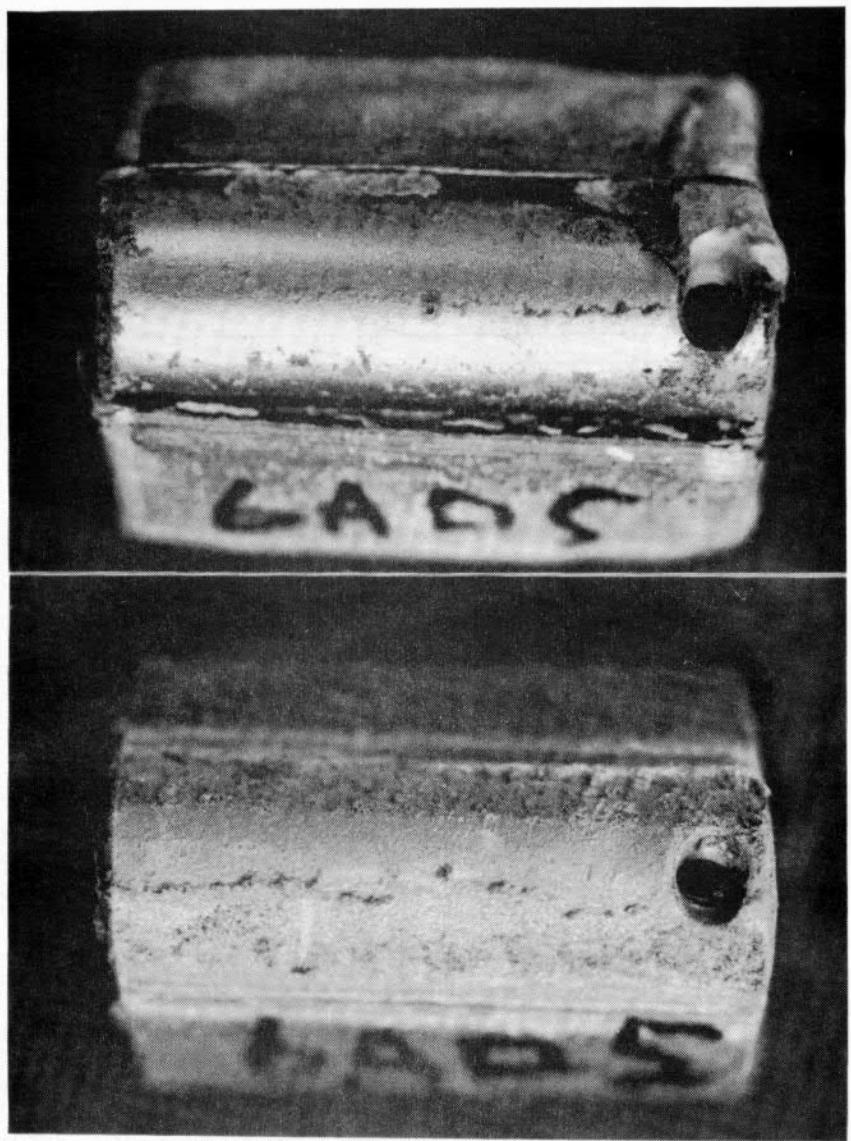


図 3.18 下地処理（表面粗さ）による素地との付着力の差、上：ミガキ鋼板、下：グリットプラスト処理鋼板。（防食仕様No. 8 塩水浸漬試験）

写真上では素地との界面破断が生じ金属光沢を呈しているが、写真下では界面近くでの凝集破断が多い。

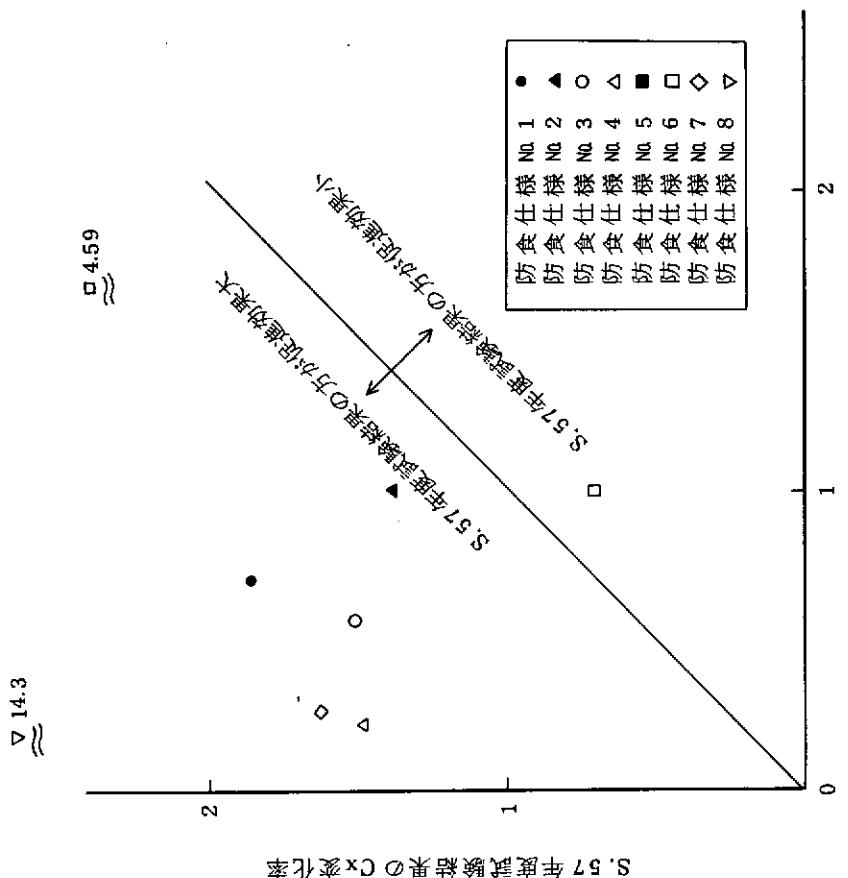


図 3.20 試験法の違いによるCx変化率の相關性

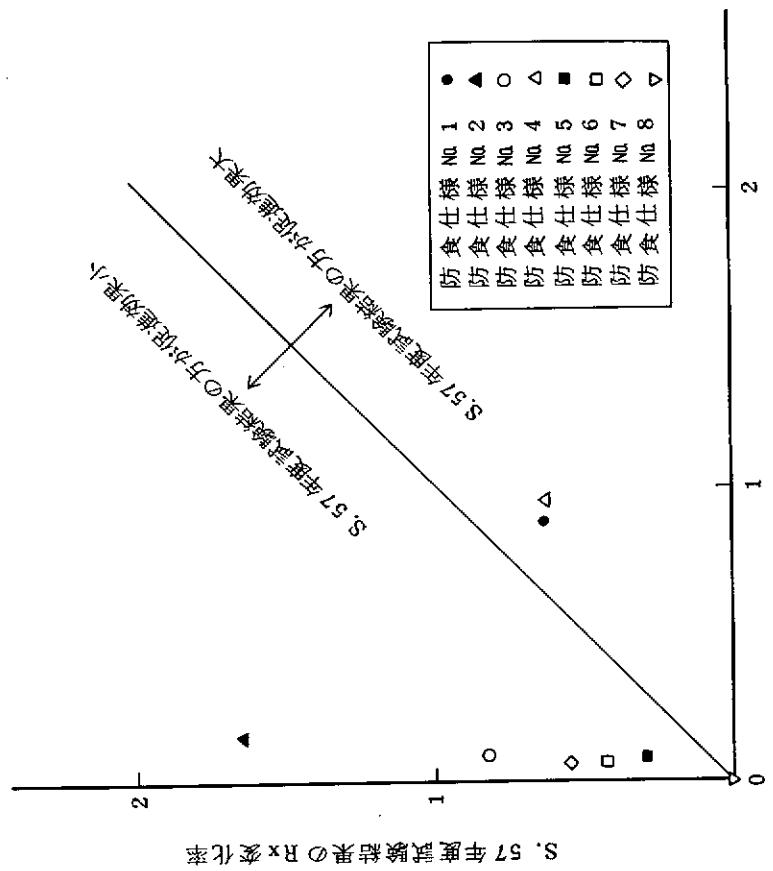


図 3.19 試験法の違いによるRx変化率の相關性

図 3.20 試験法の違いによるCx変化率の相關性

4. メインテナンスの方法の調査検討

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、海塩粒子、風雨、波浪流氷、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にある。しかも海岸構造物では、定期的な入渠補修が困難なものが多く、これらに用いられる重防食塗装系の洋上におけるメインテナンス方法の指針を得るため、試験体及び試験板の海上設置を行い、部位別に調査検討しようとするものである。

4.2 浮体構造物の調査

昭和55年度に製作した浮体構造物（適用防食仕様4種）は、設置から1年経過した昭和56年10月に水中清掃を行い、付着生物の除去及びその付着量を把握している。昭和58年1月時点（没水から27箇月後）の浮体構造物の調査結果を次に示す。

(1) 外観調査（水線部以上）

浮体構造物の水線部以上の外観調査結果を表4.1に示す。

表4.1 浮体構造物の外観（水線部以上）27箇月後

対象 防食仕様	さび	ふくれ	われ	退色
No.6 P E M	OK	OK	OK	表面白化 チョーキング
No.7 P E F	"	"	"	表面やや黄変 チョーキング
No.8 E S F	"	"	"	チョーキング
E S (F R P)	"	"	"	"

（注）OK：異常なし

(2) 生物付着状況

浮体構造物の没水部塗膜は、設置から1年経過後に水中清掃を実施済である。この水中清掃から14箇月経過した時点で、浮体構造物を陸上に引上げ生物付着、付着量等を調査した。

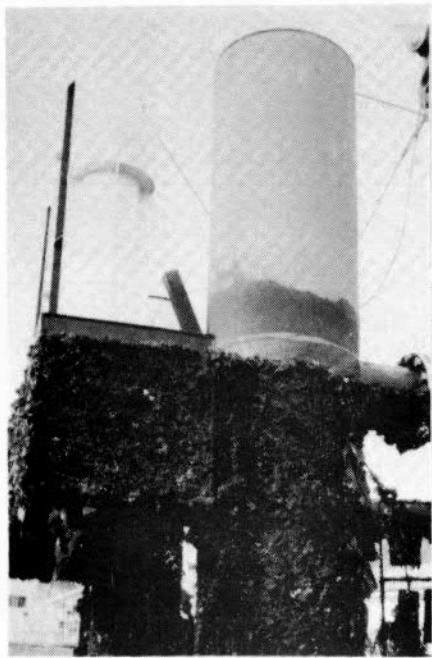
供試塗装系毎の生物付着状況等を表 4.2 及び図 4.1 に示し、付着量調査後の塗膜状態を図 4.2 に示す。

表 4.2 生物付着状況、付着量（水中清掃から 14箇月後）

付着生物 防食仕様	緑藻	褐藻	ふじつぼ	チゴケ	複合ボヤ	ナギサコケ虫	その他	※付着量kg/m ² (wet)		生物除去後の塗膜状態
								南面	北面	
No. 6 P E M	十	廿	卅	廿	廿	十	十	3.6	4.0	異常なし
No. 7 P E F	十	廿	卅	廿	廿	十	十	3.8	4.4	"
No. 8 E S F	十	廿	卅	廿~卅	廿	十	十	3.1	3.6	"
E S (F R P)	十	廿	卅	廿~卅	廿~卅	十	十	4.4	5.3	"

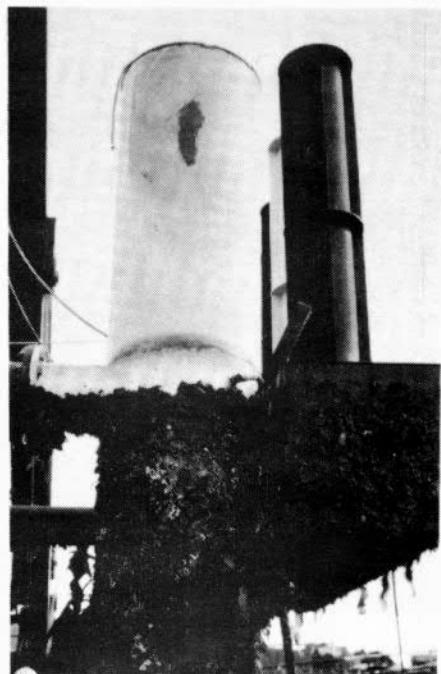
(注) (1) 付着量評価 廿:大 廿:中 十:小

(2) ※付着量kg/m²(wet) : 水深 1 m, 15 cm × 15 cm からの採取量から換算



水

線



没

水

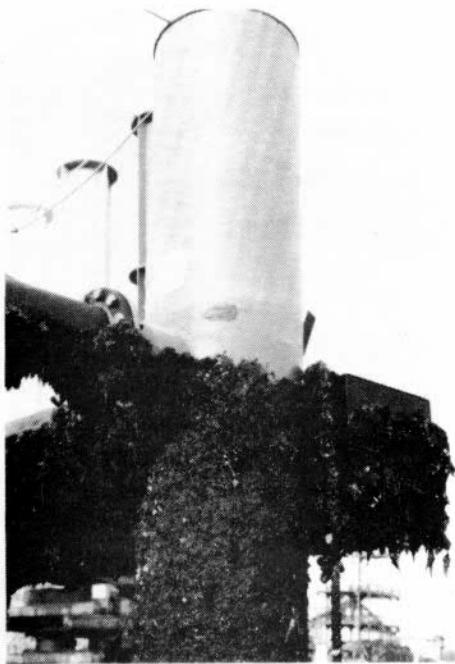
部



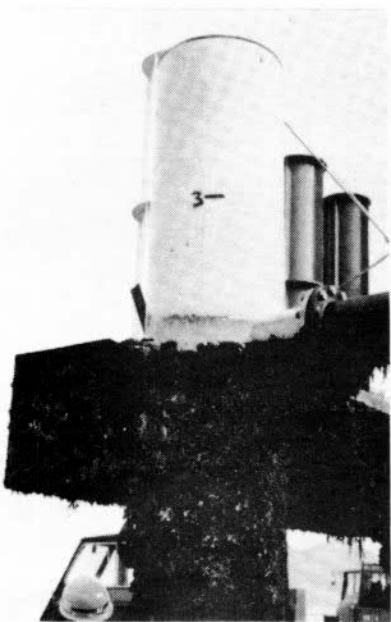
Na 6 P E M

Na 7 P E F

図 4.1(1) 生物付着状況



水



線



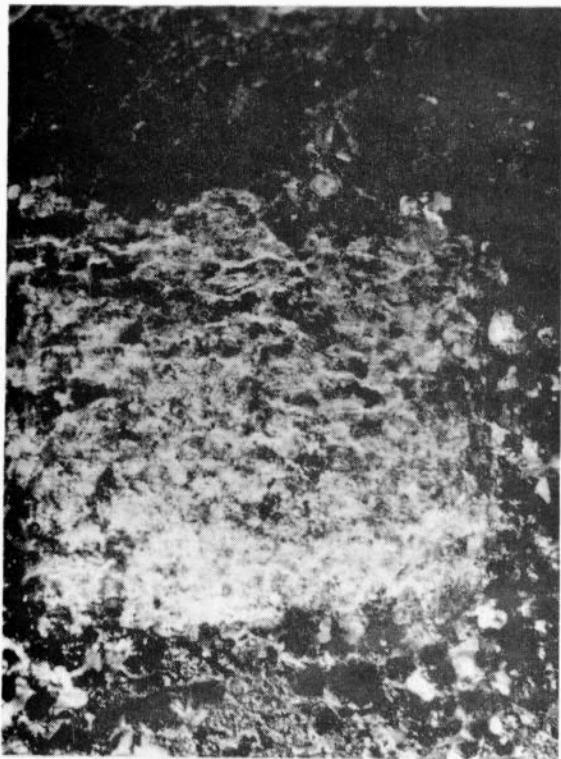
没
水
部



E S (F R P)

No 7 E S F

図 4.1(2) 生物付着状況



No. 6 P E M



No. 7 P E F



No. 6 P E M



No. 8 E S F

図 4.2 付着生物除去後の塗膜(南面, 水深1m, 15cm×15cm)

4.3 上部構造物の調査

昭和56年度に製作し洋上暴露雰囲気で12箇月及び、18箇月経過した上部構造物の外観調査結果を表4.3に示す。

表4.3(1) 上部構造物の外観(12箇月)

対象 防食仕様	パイプ面	立板	フランジ	溶接ビート	天板
No 1	OK	OK	OK	OK	OK
No 2	"	"	"	"	"
No 3	"	"	"	"	"
No 4	"	"	"	"	"
No 5	"	"	"	"	"
No 6	"	"	"	"	"
No 7	"	"	"	"	"
No 8	"	"	"	"	"

(注) OK:さび、ふくれ等なし。但し、チョーキング:No.1,8少し No.2~7多い

変色:No.6

表4.3(2) 上部構造物の外観(18箇月)

対象 防食仕様	パイプ面	立板	フランジ	溶接ビート	天板
No 1	OK	OK	OK	OK	OK
No 2	"	"	"	"	"
No 3	"	"	"	"	"
No 4	"	"	"	"	"
No 5	"	"	"	"	"
No 6	"	"	"	"	"
No 7	"	"	"	"	"
No 8	"	エッヂ部 点さび(一部)	"	"	"

(注) OK:さび、ふくれ等なし。但し、チョーキング:No.1,8少 No.2~7多い

変色:No.6

4.4 水中メインテナンス試験板の調査

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、図4.2に示す要領で3種類の水中硬化型塗料にて水中補修塗装した試験板（昭和56年度実施）は、補修後12箇月経過した時点で次の調査を行った。

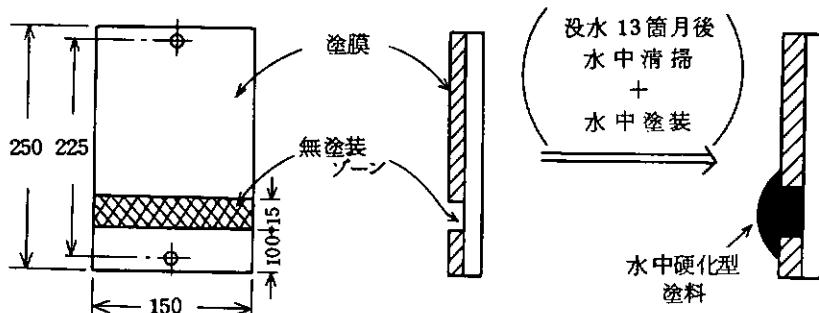


図4.2 水中メインテナンス試験板

(1) 生物付着状況（試験板は水面下0.5mに浸漬）

水中補修塗装から12箇月経過後の生物付着状況を表4.4(1)～(3)に示す。

表4.4(1) 水中硬化型塗料「A」にて補修した試験板（12箇月後）

生物 防食仕様	緑藻	褐色	ふじ っぽ	チゴケ	セル プラ	複合材	ナギサ コケ虫	ヒドロ虫	その他	付着重量kg/m ² (wet)	
										旧塗膜	補修塗膜
No.1	+	+	卅	卅	+	廿	廿		+	2.7	3.0
No.2	+	+	卅	卅	+	廿	廿			2.5	2.0
No.3	+	+	卅	卅	+	廿	卅			2.7	3.0
No.4	+	+	卅	卅	+	十	廿			2.3	2.0
No.5	+	+	卅	卅	+	廿	卅	+	+	2.8	2.0
No.6	+	+	卅	廿	十	廿	廿		+	2.7	2.0
No.7	+	+	廿	廿	十	廿	廿			1.9	2.0
No.8	+	+	卅	卅	十	廿	卅			2.3	3.0

(注)

(1) 生物付着量 廿：大

(2) 約付着重量kg/m² (wet) : 旧塗膜3.2 m², 補修塗膜

廿：中

0.5 m²からの換算

十：小

表4.4(2) 水中硬化型塗料「B」にて補修した試験板(12箇月後)

生物 妨食 仕様	緑藻	褐色	ふじ っぽ	チゴケ	セル プラ	複合材	ナギサ コケ虫	ヒド ロ虫	その他	付着重量 kg/m ² (wet)	
										旧塗膜	補修塗膜
No. 1	十	十	卅	卅	十	廿	廿	十		2.8	2.0
No. 2	十	十	卅	卅	十	廿	廿		十	2.7	2.0
No. 3	十	十	卅	卅	十	廿	廿	十	十	3.1	6.0
No. 4	十	十	卅	卅	十	廿	廿			2.5	4.0
No. 5	十	十	卅	卅	十	廿	廿	十		2.7	5.0
No. 6	十	十	卅	卅	十	廿	廿			2.5	2.0
No. 7	十	十	卅	卅	十	廿	廿			1.9	2.0
No. 8	十	十	卅	卅	十	廿	廿			2.7	3.0

(注)

(1) 生物付着量 廿: 大 (2) 付着重量 Kg/m²(wet) : 旧塗膜 3.2 dm², 補修塗膜 0.5 dm²
 廿: 中 から換算
 壴: 小

地 4.4(3) 水中硬化型塗料「C」にて補修した試験板（12箇月後）

生物防食仕様	緑藻	褐色	ふじつぼ	チゴケ	セルプラ	複合材	ナギサコケ虫	ヒドロ虫	その他	付着重量g/m ² (wet)	
										旧塗膜	補修塗膜
No.1	+	+	艸	艸	+	+	艸			2.0	2.1
No.2	+	+	艸	艸	+	+	艸	+	+	2.7	1.4
No.3	+	+	艸	艸	+	+	艸			1.7	1.4
No.4	+	+	艸	艸	+	+	艸			1.5	1.4
No.5	+	+	艸	艸	+	+	艸	+	+	3.3	4.3
No.6	+	+	艸	艸	+	+	艸			2.0	1.4
No.7	+	+	艸	艸	+	+	艸			1.7	1.4
No.8	+	+	艸	艸	+	+	艸			1.5	1.4

(三)

(1) 生物付着量 **艸**: 大 (2) 付着重量 **Kg/m² (wet)**: 旧塗膜 3.0 dm², 補修塗膜 0.7 dm²
艸: 中
十: 小 からの換算

(2) 生物除去後の状態

水中補修試験板の生物除去は、陸上にてスケラを用いて実施した。この方法で生物除去を行った。

防食仕様No. 1～8 の塗膜及び、水中硬化型塗料3種の塗膜の状態を図4.3と表4.5に示す。

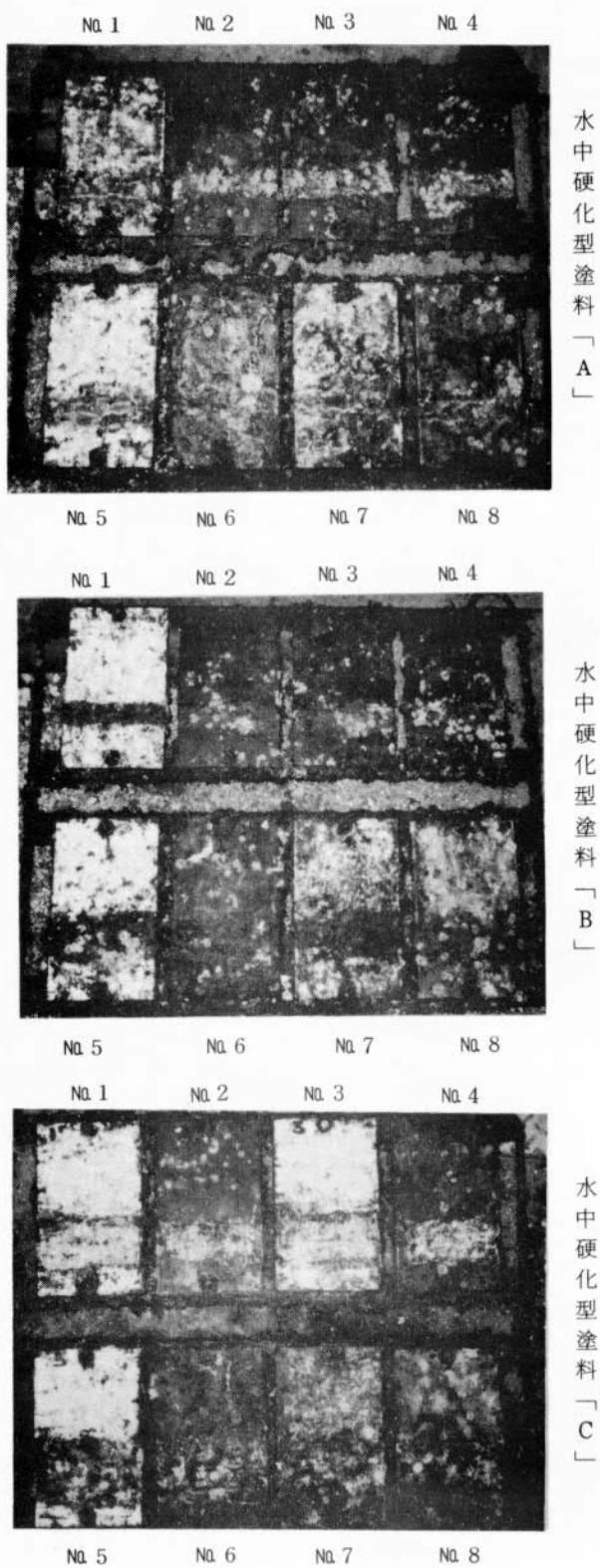


図 4.3 水中補修試験板、生物除去後の状態

表 4.5 生物除去後の状態

防食仕様 水中硬化型塗料	対象	水中補修試験板		
		旧塗膜	旧塗膜と補修塗膜の境界	補修塗膜
No.1	A	OK	OK	OK
	B	ふじつぼ除去時はくり 5Ø	"	"
	C	OK	"	"
No.2	A	ふじつぼ除去時はくり 8Ø	"	"
	B	OK	"	"
	C	"	"	"
No.3	A	"	"	"
	B	"	"	"
	C	"	"	"
No.4	A	ふじつぼ除去時はくり 15Ø	"	"
	B	OK	"	"
	C	"	"	"
No.5	A	"	"	"
	B	"	"	"
	C	"	"	"
No.6	A	"	"	"
	B	"	"	"
	C	"	"	"
No.7	A	"	"	"
	B	"	"	"
	C	"	"	"
No.8	A	"	"	"
	B	"	"	"
	C	"	"	"

(注) OK:生物除去によるダメージなし

4.5 洋上大気暴露試験板

昭和56年度に洋上大気暴露雰囲気へ設置した試験板について、次に示す調査及びメインテナンスを実施した。

(1) 外観調査

洋上大気暴露雰囲気にて12及び18箇月経過した無加工及び、無塗装ゾーン設定試験板の外観調査結果を表4.6(1)~(4)に示す。

表 4.6(1) 無加工試験板 (12箇月後)

対象 防食仕様	さび	われ	ふくれ	退色
No.1	OK	OK	OK	チョーキング 小
No.2	"	"	"	" 大
No.3	"	"	"	"
No.4	"	"	"	"
No.5	"	"	"	"
No.6	"	"	"	表面白化 チョーキング 大
No.7	"	"	"	チョーキング 大
No.8	"	"	"	チョーキング 小

(注) OK: 異常なし

表 4.6(2) 無加工試験板 (18箇月後)

対象 防食仕様	さび	われ	ふくれ	退色
No.1	OK	OK	OK	チョーキング 小
No.2	"	"	"	チョーキング 大
No.3	"	"	"	"
No.4	"	"	"	"
No.5	"	"	"	"
No.6	"	"	"	表面白化 チョーキング 大
No.7	"	"	"	チョーキング 大
No.8	"	"	"	チョーキング 小

(注) OK: 異常なし

表 4.6(3) 無塗装ゾーン設定試験板 (12箇月後)

対象 防食仕様	無塗装ゾーンと塗膜境界部の状態
No.1	OK
No.2	"
No.3	"
No.4	"
No.5	"
No.6	"
No.7	"
No.8	"

(注) OK: ふくれ、われ、はくり等の欠陥発生なし

表 4.6(4) 無塗装ゾーン設定試験板 (18箇月後)

対象 防食仕様	無塗装ゾーン塗膜境界部の状態
No.1	OK
No.2	"
No.3	"
No.4	"
No.5	"
No.6	"
No.7	"
No.8	"

(注) OK:ふくれ、われ、はくり等の欠陥発生なし

(2) 付着力試験

測定は塗膜に瞬間接着剤を用いてドリーを接着させ、約10分経過後ドリー円周に沿って素地に達する切り傷を入れ、アドヒジョンテスター（エルコメータ社製）を用い付着力を測定した。防食仕様No.1～8塗装系の12箇月及び18箇月後の調査結果を表4.7に示す。

表 4.7 付着力測定結果

経時月数 調査	12箇月後		18箇月後		
	防食仕様	付着力(kg f/cm²)	破断形態	付着力(kg f/cm²)	破断形態
No.1	30, 30	A/C cf	30, 30	A/C cf	
No.2	31, 48	I Z cf	30, 30	I Z cf	
No.3	36, 30	A/C cf ad	52, 53	A/C cf	
No.4	53, 54	ad	41, 40	ad	
No.5	33, 30	A/C cf ad	24, 22	A/C cf ad	
No.6	50, 60	ad	60, 60	ad	
No.7	55, 55	ad	55, 70	ad	
No.8	40, 46	cf ad	60, 56	cf ad	

(注) 破断形態 ad : 接着剤はがれ

cf : 塗膜凝集破断

(3) インピーダンスの測定

3%食塩水へカルボキシル×チルセルロース(CMC)を溶解させた電解質の糊で5×20cmのアルミニウム箔を貼付し、電研式塗膜劣化器(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。防食仕様No.1～8塗装系の12箇月及び、18箇月後の測定結果を表4.8(1)に示す。

更に、アルミニウム箔を5×5cm(他項目でのインピーダンス測定方法と電極面積を同じにした)とした測定結果を表4.8(2)に示す。

表 4.8(1) インピーダンス測定結果 (A) 箔 $5 \times 20 \text{ cm}$

経時 調査 防食仕様	12箇月後				18箇月後			
	f (kHz)	C (vF)	R (kΩ)	1kHzの $\tan \delta$	f (kHz)	C (vF)	R (kΩ)	1kHzの $\tan \delta$
M1	0.2	0.0041	4,000	0.019	0.2	0.0043	4,000	0.026
	0.5	0.0040	2,500		0.5	0.0042	2,400	
	1.0	0.0041	2,000		1.0	0.0043	1,400	
	2.0	0.0039	1,000		2.0	0.0041	900	
M2	0.2	0.0048	3,000	0.025	0.2	0.0050	3,000	0.023
	0.5	0.0047	2,300		0.5	0.0049	2,000	
	1.0	0.0048	1,300		1.0	0.0049	1,400	
	2.0	0.0046	700		2.0	0.0048	800	
M3	0.2	0.0047	4,000	0.017	0.2	0.0049	4,000	0.023
	0.5	0.0046	2,500		0.5	0.0048	2,000	
	1.0	0.0047	2,000		1.0	0.0049	1,400	
	2.0	0.0045	1,000		2.0	0.0047	1,000	
M4	0.2	0.0026	4,000	0.032	0.2	0.0037	5,000	0.022
	0.5	0.0025	3,000		0.5	0.0036	3,000	
	1.0	0.0025	2,000		1.0	0.0037	2,000	
	2.0	0.0024	1,000		2.0	0.0035	1,000	
M5	0.2	0.0026	5,000	0.021	0.2	0.0049	3,000	0.034
	0.5	0.0024	4,000		1.5	0.0047	1,500	
	1.0	0.0025	3,000		1.0	0.0047	1,000	
	2.0	0.0023	2,000		2.0	0.0045	600	
M6	0.2	0.0024	6,000	0.021	0.2	0.0026	5,000	0.041
	0.5	0.0023	5,000		1.5	0.0025	3,000	
	1.0	0.0025	3,000		1.0	0.0026	1,500	
	2.0	0.0023	2,000		2.0	0.0024	1,000	
M7	0.2	0.0031	4,000	0.034	1.2	0.0033	3,000	0.041
	0.5	0.0021	2,000		1.5	0.0031	2,000	
	1.0	0.0031	1,500		1.0	0.0032	1,200	
	2.0	0.0028	1,000		2.0	0.0030	800	
M8	0.2	0.0030	6,000	0.018	1.2	0.0030	7,000	0.027
	0.5	0.0028	4,000		0.5	0.0029	4,000	
	1.0	0.0030	3,000		1.0	0.0030	2,000	
	2.0	0.0028	2,000		2.0	0.0028	1,000	

表 4.8(2) インピーダンス測定結果 (Al 箔 5 × 5 cm)

防食 仕様 No.	18箇月後			
	f (kHz)	C (vF)	R (kΩ)	1kHzの $\tan \delta$
No. 1	0.2	0.0028	7,000	0.127
	0.5	0.0028	4,000	
	1.0	0.0029	2,000	
	2.0	0.0027	1,000	
No. 2	0.2	0.0031	6,000	0.026
	0.5	0.0030	3,000	
	1.0	0.0031	2,000	
	2.0	0.0029	1,000	
No. 3	0.2	0.0031	6,000	0.021
	0.5	0.0030	4,000	
	1.0	0.0031	2,500	
	2.0	0.0029	1,200	
No. 4	0.2	0.0028	7,000	0.028
	0.5	0.0027	4,000	
	1.0	0.0028	2,000	
	2.0	0.0027	1,500	
No. 5	0.2	0.0031	6,000	0.026
No. 6	0.5	0.0030	3,000	
No. 6	1.0	0.0031	2,000	
No. 6	2.0	0.0029	1,500	
No. 7	0.2	0.0024	8,000	0.025
No. 7	0.5	0.0024	4,000	
No. 7	1.0	0.0025	2,500	
No. 7	2.0	0.0023	2,000	
No. 8	0.2	0.0026	7,000	0.031
No. 8	0.5	0.0025	4,000	
No. 8	1.0	0.0026	2,500	
No. 8	2.0	0.0025	2,000	
No. 8	0.2	0.0026	7,000	0.024
No. 8	0.5	0.0025	4,000	
No. 8	1.0	0.0026	2,500	
No. 8	2.0	0.0024	2,000	

(注) 試験板: 水洗→24 h 室内放置→Al 極貼付
→1 h 後測定

(4) 無塗装ゾーン試験板のメインテナンス

(a) 補修要領

無塗装ゾーン設定試験板の補修要領を図 4.4(1)~(2)に示す。

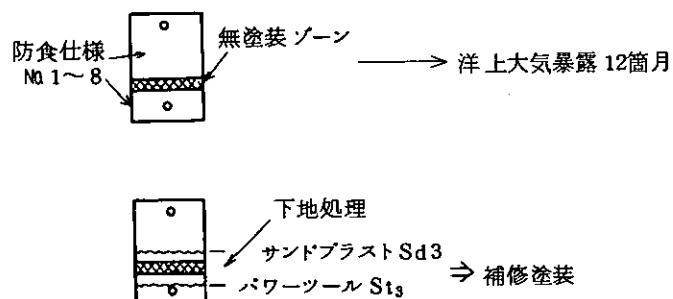


図 4.4(1) 補修の概略

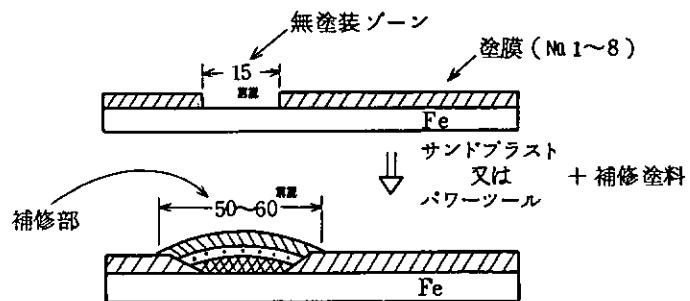


図 4.4(2) 補修要領

(b) 補修塗装仕様

各防食仕様に対して補修に用いた塗装仕様を表 4.9 に示す。

表 4.9 補修塗装仕様の詳細

防食 仕様 No.	補修 仕様 1回回目 (μm)	2回回目 (μm)	3回回目 (μm)	4回回目 (μm)	目標 膜厚(μm)	実測膜厚 (μm)	塗 装 方 法
No. 1	PE・A/C (150)	PE・A/C (150)	PU T/S (35)	—	335	500~600	刷毛
No. 2	TE (125)	TE (125)	—	—	250	240~280	"
No. 3	PEM (350)	PE・T/S (140)	—	—	390	480~550	"
No. 4	TE (125)	TE (125)	—	—	250	250~350	"
No. 5	NT・A/C (100)	PE・A/C (100)	V・(中塗) (60)	V・T/S (40)	300	290~370	"
No. 6	PEM (5000)	—	—	—	5,000	4,000~6,000	"
No. 7	PEF (650)	PEF (650)	—	—	1,300	1,200~1,300	"
No. 8	ESP (750)	ESP (750)	—	—	1,500	1,000~1,100	"

(c) 補修塗装後の外観及びインピーダンス測定結果

防食仕様 No. 1 ~ 8 を補修した試験板の 3箇月後の調査結果を表 4.10 に示す。なお、インピーダンスは補修部分の中央に 5 × 5 cm の Al 箔を貼付し測定した。

表 4.1 0(1) 無塗装ゾーン補修試験板 (下地処理: Sa 3)

調査 防食 仕様	インピーダンス(3箇月後)				外観
	f (KHz)	C (vF)	R (kΩ)	1KHzの $\tan \delta$	
No. 1	0.2	0.0029	6,000	0.027	OK
	0.5	0.0028	4,000		
	1.0	0.0029	2,000		
	2.0	0.0027	1,000		
No. 2	0.2	0.0028	5,000	0.028	"
	0.5	0.0027	3,000		
	1.0	0.0028	2,000		
	2.0	0.0027	1,000		
No. 3	0.2	0.0026	5,000	0.024	"
	0.5	0.0026	3,000		
	1.0	0.0027	2,500		
	2.0	0.0025	1,500		
No. 4	0.2	0.0027	5,000	0.028	"
	0.5	0.0027	3,000		
	1.0	0.0028	2,000		
	2.0	0.0026	1,500		
No. 5	0.2	0.0029	4,000	0.037	"
	0.5	0.0028	3,000		
	1.0	0.0029	1,500		
	2.0	0.0028	1,000		
No. 6	0.2	0.0024	8,000	0.021	"
	0.5	0.0024	6,000		
	1.0	0.0025	3,000		
	2.0	0.0023	2,000		
No. 7	0.2	0.0024	7,000	0.016	"
	0.5	0.0024	5,000		
	1.0	0.0025	4,000		
	2.0	0.0023	3,000		
No. 8	0.2	0.0025	6,000	0.016	"
	0.5	0.0024	5,000		
	1.0	0.0025	4,000		
	2.0	0.0024	3,000		

表 4.1 0(2) 無塗装ゾーン補修試験板 (下地処理: St 3)

調査 防食 仕様	インピーダンス (3箇月後)				外観
	f (KHz)	C (vF)	R (kΩ)	1kHzの $\tan \delta$	
No 1	0.2	0.0030	6,000	0.027	OK
	0.5	0.0029	4,000		
	1.0	0.0030	2,000		
	2.0	0.0028	1,300		
No 2	0.2	0.0028	6,000	0.028	"
	0.5	0.0027	3,000		
	1.0	0.0028	2,000		
	2.0	0.0027	1,500		
No 3	0.2	0.0026	6,000	0.031	"
	0.5	0.0025	4,000		
	1.0	0.0026	2,000		
	2.0	0.0025	1,300		
No 4	0.2	0.0027	5,000	0.029	"
	0.5	0.0026	4,000		
	1.0	0.0027	2,000		
	2.0	0.0026	1,400		
No 5	0.2	0.0028	6,000	0.028	"
	0.5	0.0027	3,000		
	1.0	0.0028	2,000		
	2.0	0.0027	1,000		
No 6	0.2	0.0024	7,000	0.021	"
	0.5	0.0023	4,000		
	1.0	0.0025	3,000		
	2.0	0.0023	2,000		
No 7	0.2	0.0025	7,000	0.021	"
	0.5	0.0024	4,000		
	1.0	0.0025	3,000		
	2.0	0.0024	2,000		
No 8	0.2	0.0025	8,000	0.021	"
	0.5	0.0024	5,000		
	1.0	0.0025	3,000		
	2.0	0.0024	2,000		

4.6 水中硬化型塗料によるメインテナンスの検討

海洋構造物の各部位にあって①鋼材腐食の著しい飛沫部②防食皮膜が機械的ダメージを受け易く、かつ電気防食効果が充分に及ばない干溝部③波浪の影響の大きい水線付近などを対象に、メインテナンス方法の指針を得るため、水中硬化型塗料の実験を行った。

(1) 補修用塗料

補修に用いた水中硬化型塗料3種の性状を表4.1 1に示す。

表 4.1.1 水中硬化型塗料の性状

性状 塗料種	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：白色バテ状 硬化剤：黒色バテ状 (高粘度)	主 : 硬 1 : 1	2 h	45 min	1.6
B (エポキシ系)	主 剤：黄色バテ状 硬化剤：黒色バテ状 (高粘度, Aより低い)	1 : 1	6 h	1.0 h	1.4
C (ポリエステル ／エポキシ系)	主 剤：白 硬化剤：半透明 (流動性・有)	10 : 1	8 h 以内	40 min	1.7

(2) 実験の組み合せ

海洋構造物の飛沫部、干溝部、没水部（水線近傍）を補修の対象とし、各部位における維持補修の指針を得るため表 4.1.2 に示すような条件を組み合せた。

表 4.1.2 水中硬化型塗料 実験の組合せ

文様部位 下地の状態 要因	飛 沫 带			千 溝 潮 带		没水部（水線付近）	
	鋸 面	塑 料 面	※ 旧 塗 膜	鋸 面	塑 料 面	防 食 仕 様 ※ 1～8 旧塗膜	鋸 面
1. 塗 料 種	3	3	3	3	3	3	3
2. 被 塗 面 気 囲 気	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	水 中	水 中
3. ケレン種	< 手 工 具 Power Tool	塑 料		< 手 工 具 Power Tool	塑 料	水 中 清 振	水 中 清 振
4. ケレン～塗 装インターバル	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0.24 h	0, 6, 24 h
5. 没水までの インター バル	—	—	—	0 h	3 h 6 h	0 h 3 h	—
6. 整 生	—	—	—	(ポリエチレン) シート ネット な し	—	—	(ポリエチレン) シート ネット な し
備 考			※ 6 7 8 ES(FRP)				

(3) 補修対象面の詳細

(a) 飛沫部、干満部の無塗装面

(i) 試験板

試験板は $150 \times 250 \times 4.5\text{mm}$ (SS 41 サンドブラスト処理) を岸壁に設置した架台に取付け、同じ環境下で 3箇月放置した。

(ii) 発錆部

飛沫部：全面赤錆（干満部より錆層、薄い）

干満部：全面層状の赤錆

(iii) 補修塗装前の下地処理

飛沫部：サンドブラスト処理 (SIS Sa 2.5~3)

手工具処理 (ワイヤブラシによる SISC, St 1~2)

干満部：パワーツール処理 (ディスクサンダーによる SISC, St 3)

手工具処理 (ケレンハンマー、ワイヤブラシによる除錆困難につきジェットタガネ処理

SIS DS t 3)

パワーツール処理 (ジェットタガネ処理 SIS DS t 3 : ピッキング及び黒色の錆残存)

(b) 飛沫部の旧塗装面

(i) 補修塗装対象塗膜

浮体構造物の防食仕様 #6, 7, 8 ES (FRP)とした。

(ii) 塗装前処理

旧塗膜面は健全であり、ウェス拭きとした。

(c) 没水部（水線部）の無塗装面

(i) 試験板の設置状態

試験板は $150 \times 250 \times 4.5\text{mm}$ (SS 41 サンドブラスト処理) を水位変動のない水線部に 3 箇月間放置した。

(ii) 発錆状況

試験板は全面赤錆に加え、スライム、緑藻等の生物が付着。

(iii) 塗装前下地処理

水中清掃機 (コーン型ワイヤホイル) により処理し、金属光沢面を得た。

(d) 没水部の旧塗装膜面

(i) 補修対象塗膜

防食仕様 #1 ~ 8 塗装試験板 (前年度に浸漬しておいたもの、浸漬約 1 年)

塗装試験板サイズ : $150 \times 250 \times 4.5\text{mm}$

(ii) 生物付着状況

防食仕様 #1 ~ 8 塗膜共にスライム、緑藻、褐藻、ふじつぼ等の付着が著しい。

(iii) 塗装前処理

水中清掃機 (コーン型ワイヤホイル) により処理し、付着生物は完全除去した。

但し、防食仕様 #6 のみ黒色スライムが残存していた。

(4) 発生に用いた材料

(i) ポリエチレンシート : 厚み $50\mu\text{m}$ のものを使用

(ii) ポリエチレンネット : 網目 4.7mm , 芯線 0.8ϕ

(5) 実験結果

(a) 各部位への適応性

飛沫部から没水部における水中硬化型塗料の実験結果を表 4.1 3(1)~(4)に示す。

なお、実験は気温：30～31℃、水温：26～27℃で行った。塗装完了後の試験板設置状態を示す。

(b) 外観調査

水中硬化型塗料にて補修した各試験板の3箇月経過後の状態を表 4.1 4 に示す。

(c) 塗装作業性

水中硬化型塗料の作業性を表 4.1 5 に示す。

表 4.1 3(1) 飛沫部への適応性

下地 塗料	鋳面		ブロスト面	旧塗膜（浮体試験構造物）			
	手工具処理	パワーツール処理		M6 PEM	M7 PEF	M8 ESP	ES (FRP)
A	○	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○	○

(注) 被塗面：Dry

○：付着性良好

塗装方法：ヘラ塗り

ケレンから塗装までのインターバル：0 h

表4.1.3(2) 干渉部への適応性

処理 温度(度) 塗 料(膜厚) μm	手工具(鏡面)			パワーツール(鏡面)			プラスト		
	0 h	3 h	6 h	0 h	3 h	6 h	0 h	3 h	6 h
A (1,000~ 1,500) μm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B (1,500~ 7,000) μm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C (1,000~ 1,500) μm	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(注)

被塗装状態: Dry

塗装方法: ヘラ塗り

○: 付着性良好

(△): 滂膜外観不良

表 4.1 3(3) 没水部(旧塗膜)への適応性

処理 水中 塗装系 塗料 硬化型	水中清掃(旧塗膜上の生物除去)											
	防食仕様	△1	△2	△3	△4	△5	△6	△7	△8	△9	△10	△11
A (1,000~ 2,000μm)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B (2,000~ 3,000μm)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C (1,000~ 2,000μm)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

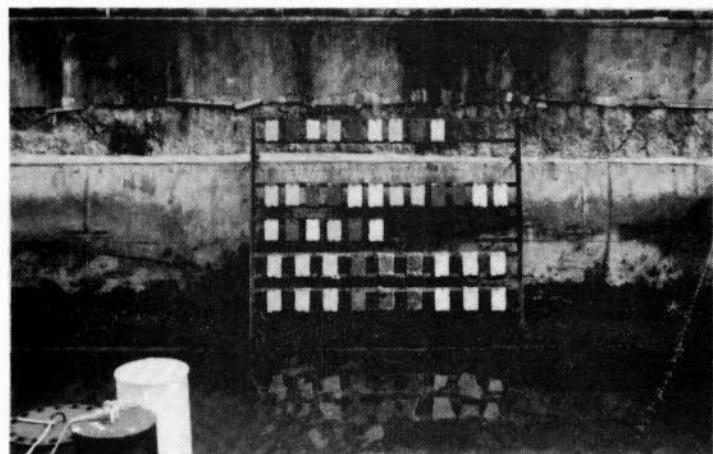
(注) (塗装方法) ヴェットバンド又はヘラ塗り (評価) ○:付着性良好 △:付着性やや不良 ×:付着性不良

表 4.1 3(4) 没水部(鏡面)への適応性

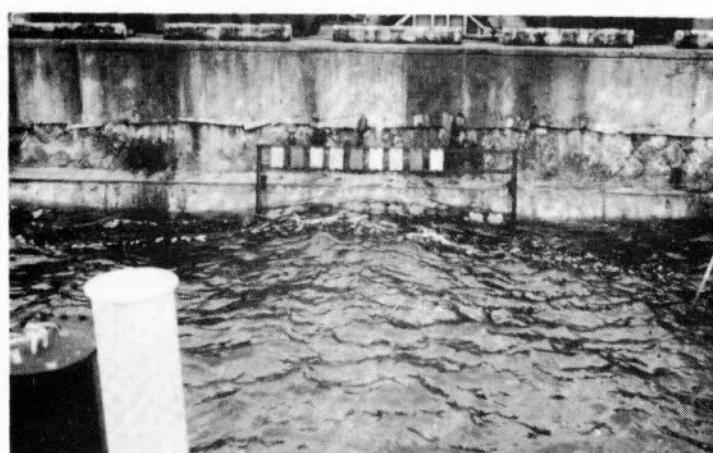
処理 水中 塗装系 塗料 生	水中清掃～塗装				水中清掃～塗装			
	インスターバル: 0 h	インスターバル: 6 h	インスターバル: 24 h	※2	インスターバル: 6 h	インスターバル: 24 h	※2	※2
A (2,000~ 4,000μm)	※1 ○	※1 ○	○	○	○	○	○	○
B (2,000~ 4,000μm)	○	○	○	○	○	○	○	○
C (1,500~ 2,500μm)	○	○	○	○	○	○	○	○

(注) (塗装方法) ヴェットバンド又はヘラ塗り (評価) ○:付着性良好

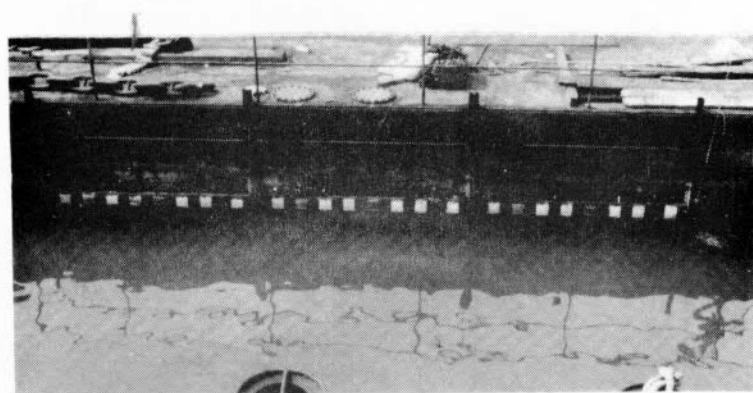
※1: 1回目付着せず、再試験で付着
 ※2: 被塗面の錆をウェスにて払拭
 ポリエチレンシート: 塗装 24時間後除去
 ポリエチレンネット: 塗膜と一体化の為、除去せず



飛沫部～干満部（干潮時）



飛沫部～干満部（満潮時）



没水部（水線）

図 4.5 試験板設置状態

表 4.1.4(1) 飛沫部の外観 (3箇月後)

下地 塗料	鋳面		プラスチック面	旧塗膜(浮体試験構造物)			
	手工具処理	パワーツール処理		M6 PEM	M7 PEF	M8 ESF	ES (FRP)
A	○	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○	○

(注) ○ = ふくれ、さび、われ、はくり等の欠陥なし

表 4.14(2) 干満部の外観 (3箇月後)

(註) 但し、手工具、パワーツール処理、没水までのインターバル0 hのみ、生物（スライム、ふじつば等）付着

○ = ふくれ、さび、われ等の欠陥なし。

表 4.1.4(3) 没水部(対象:旧塗膜)の外観(3箇月後)

処理 養生 水中 塗装系 硬化型 塗料	水中清掃												M 8
	防水仕様M 1		M 2		M 3		M 4		M 5		M 6		
0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h
A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	(○)	○	○	○

(注) 緑草、褐草、ふじつぼ等の生物付着あり ○=ふくれ、はくり等の欠陥なし () 内付着塗膜部のみの判定

表 4.1.4(4) 没水部(対象:鏡面)の外観(3箇月後)

処理 養生 水中 塗装系 硬化型 塗料	水中清掃～塗装			水中清掃～塗装			水中清掃～塗装			(注)
	インター バル: 0 h	インター バル: 6 h	インター バル: 24 h	インター バル: 6 h	インター バル: 24 h	インター バル: 24 h	インター バル: 6 h	インター バル: 24 h	インター バル: 24 h	
A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 4.1.5 水中硬化型塗料の作業性

項目 水中 硬化型 塗料	混 合 性	可 使 時 間 (at 30~31°C)	そ の 他
A	粘度(主剤、硬化剤)高く攪拌困難。人力による大量の攪拌は不可能。	20分程度 1kg以下の混合にしないと攪拌中に固化する懸念あり	塗装時、海水中へ塗料成分による白濁が認められる
B	粘度(主剤、硬化剤)稍高い。人力による大量攪拌の限界に近い粘度。	40分程度	"
C	攪拌性良好	40分程度	白濁なし

(d) 補修塗装後の付着力試験

付着力試験は飛沫部、干満部、没水部における下地処理種との組み合せで実施した。飛沫部、干満部の塗膜については没水までのインターパルを対象としていない。

従って、付着力測定は水中硬化型塗料3種の対象部位における下地処理の影響を求めたものであり、経年後の調査に対するプランク値的意味をもたせた。

各部位での初期付着力測定結果を表4.1.6に示す。

表4.1.6(1) 飛沫部での付着力（初期）

水中 硬化型 塗料	部位	飛沫部（塗装後7日）		
		手工具処理	パワツール処理	プラスト処理
A	40K(pf 100)	50K(ad 100)	55K(ad 100)	
	50K(pf 100)	58K(ad 100)	60K(ad 100)	
B	41K(pf 100)	64K(ad 100)	60K(ad 100)	
	42K(pf 100)	62K(ad 100)	65K(ad 100)	
C	40K(pf 100)	58K(ad 100)	52K(ad 100)	
	39K(cf ad 80)	51K(ad 100)	57K(ad 100)	

(注)(1)内は破断形態名

ad：接着剤がれ

cf：塗膜の凝集破断

pf：素地からの破断

(2) 破断強さ

K : kgf/cm²

表4.1.6(2) 干満部、没水部での付着力（初期）

水中 硬化型 塗料	部位	干満部（塗装後7日）			没水部（塗装後7日）
		手工具処理	パワツール処理	プラスト処理	
A	40K(pf 100)	59K(cf 100)	60K(ad 100)	20K(cf 100)	
	45K(pf 100)	50K(cf 100)	55K(ad 100)	22K(cf 100)	
B	30K(pf 100)	65K(pf 100)	65K(ad 100)	28K(cf 85)	
	28K(pf 100)	62K(cf 90)	60K(ad 100)	35K(cf 85)	
C	40K(ad 80)	35K(cf 100)	56K(ad 100)	25K(cf 60)	
	39K(ad 100)	40K(cf 90)	53K(ad 100)	25K(pf 100)	

(e) 水中硬化型塗料の諸性質

(i) 硬化性

水中硬化型塗料3種の気中及び水中(10°C, 20°C)における硬化性を鉛筆硬度試験により調査した。その結果を図4.6に示す。

(ii) 耐電気防食性

水中硬化型塗料3種の耐電気防食性は図4.7に示す要領で調査中である。

海水浸漬3箇月後の状態を表4.1.7に示す。

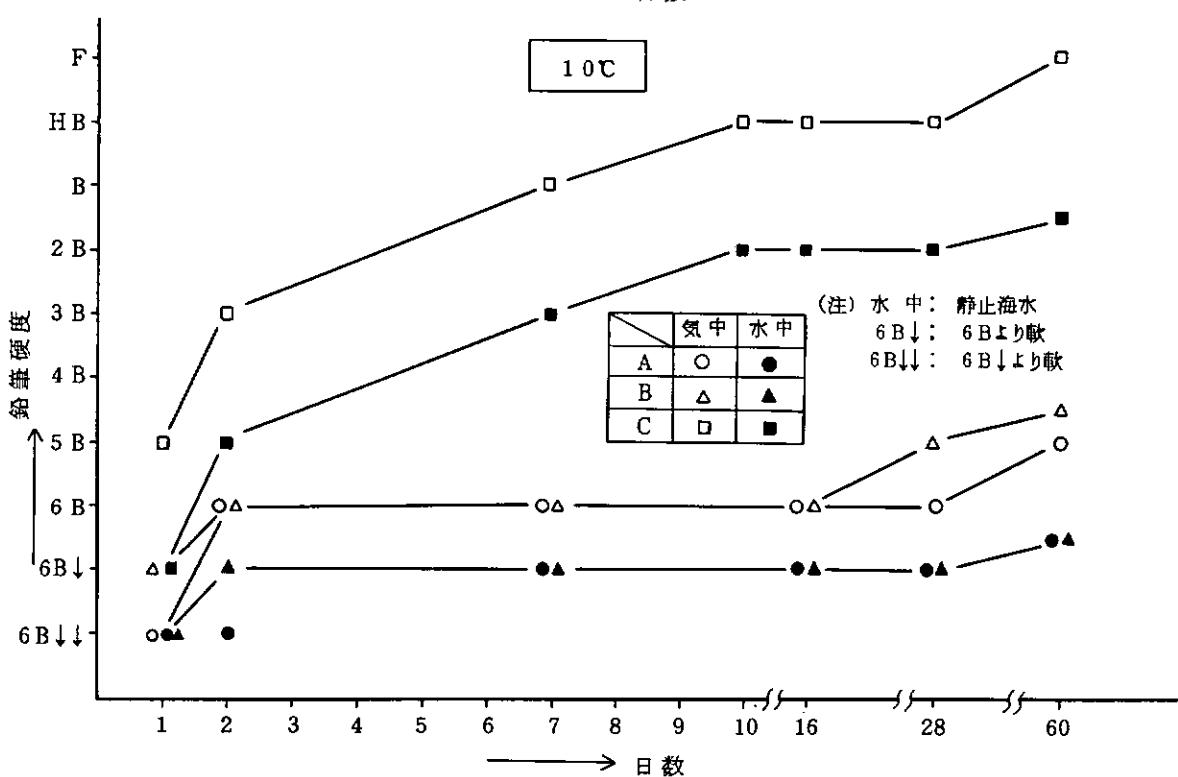
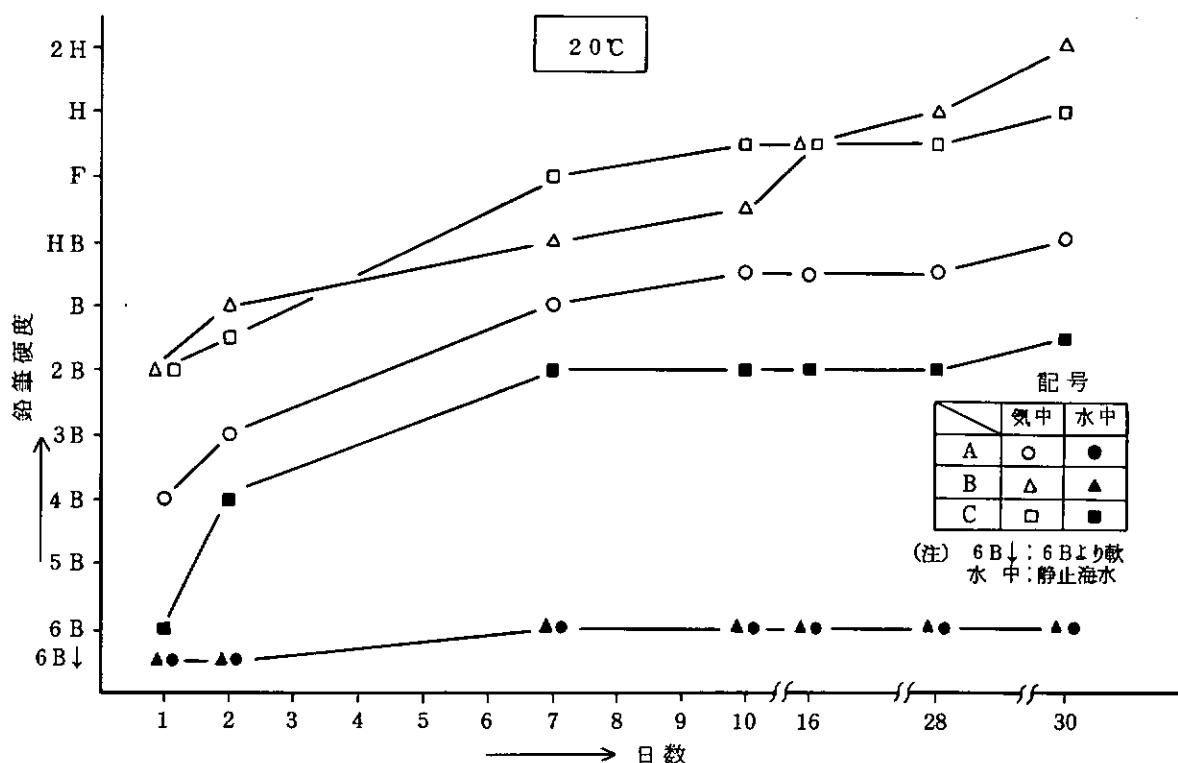


図 4.6 水中硬化型塗料の硬化性

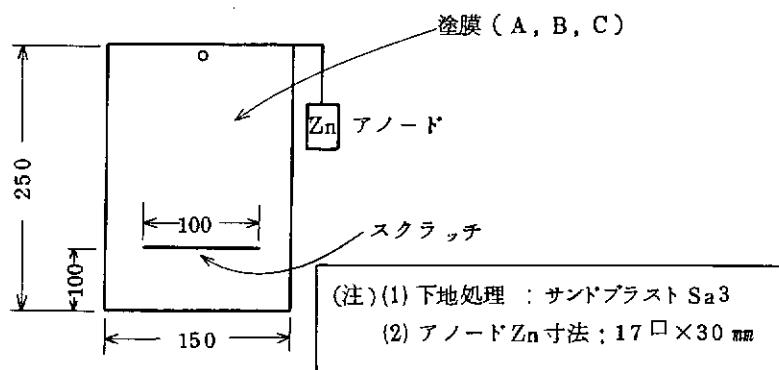


図 4.7 耐電気防食性試験要領

表 4.17 耐電気防食性（3箇月後）

塗料種	個所	一般部	スクラッチ部
A (1,000~1,500μm)		OK	OK (デポジット付着)
B (1,500~2,000μm)		"	"
C (1,000~1,500μm)		"	"

(注)

OK：異常なし

(ii) 耐衝撃性

水中硬化型塗料 3 種の耐衝撃性は表 4.18 に示す条件で調査した。その結果を表 4.19 に示す。

表 4.18 試験条件

試験板	サンドblast S a 3 (材質SS41)
塗装条件	気中, 水中 (常温, ヘラ塗り)
試験条件	デュポン式衝撃試験機 重錐: 1kg, 落下高: 50cm, 芯棒, 受台: 1/2"
試験種	直接衝撃, 間接衝撃

表 4.19 耐衝撃性

水中硬化型塗料 試験種	気中 (7日後)		水中 (7日後)	
	直接衝撃	間接衝撃	直接衝撃	間接衝撃
A (2,000~3,000μm)	OK	30φ クラック	OK	30φ クラック
B (2,000~3,000μm)	OK	14φ クラック	OK	14φ クラック
C (1,000~1,500μm)	OK	30φ クラック	OK	10φ クラック

(注) OK: 異常なし

4.7 調査、試験結果について

(1) 浮体構造物

昭和55年度の実海域設置からすでに約2年経過しているが現時点における防食仕様4種(No.6～8及びES(FRP))は、洋上大気暴露雰囲気での変色、又はチョーキングが認められる程度である。

没水部塗膜は、水中清掃から約1年経過しており、各供試塗装系に生物付着が著しい。その付着量は水深1m付近において、1m²当り3.1～5.3kgであり、南面と北面及び塗装系による差異はない。付着量測定のため、生物を除去した塗膜においても欠陥はない。本年度は浮体構造物全面に対する生物除去は実施していないが、これは前回の水中清掃が没水1年後であり、清掃後再浸漬2箇年後とではどの様な違いがあるのかを調査するためである。従って、水中清掃は次年度に実施し詳細な検討を加える予定である。

(2) 上部構造物

浮体構造物を実海域に設置し、その約1年後に増設した上部構造物(適用した防食仕様No.1～8)は、洋上大気暴露雰囲気で1.5年経過している。

現時点においては、チョーキング、又は変色が認められる程度で防食仕様8種に顕著な差異はない。

しかし、一部の防食仕様においては、塗装困難箇所(エッジ部)でわずかに点錆が発生しているのが認められている。

(3) 水中補修塗装試験板

昨年度、無塗装ゾーンを設けた試験板(防食仕様No.1～8)は、実海域へ1年浸漬したのち水中清掃して水中塗装により補修している。本年度は、水中補修塗装後、実海域に1年浸漬された試験板について、生物付着量や生物の塗膜への影響を調査した。

生物除去は陸上でスケラを用いて実施したが、一部の塗装仕様においてふじつぼ除去に対するスケラの刃先角度が不適当であったためか、塗膜の一部にはく離したものがあった。補修に用いた3種の水中硬化型塗料の塗膜は、海水の浸入による層間はく離及び他の欠陥も認められなかった。

これら試験板での生物種は藻類、ふじつぼ、チゴケ虫、セルプラ、ナギサコケ虫が主体で付着量としては、1m²当り1.5kg(最小)～3.5kg(最大)である。試験板に付着した生物の除去は前述した様にスケラを用いて陸上で実施した。しかし、昨年度用いた水中清掃機に比べスケラの場合は、塗膜に傷をつけ易く、かつその除去性も極端に低いといえる。

(4) 洋上大気暴露試験板

上部構造物の増設と同時に、洋上大気暴露雰囲気に設置した試験板(防食仕様No.1～8)は、同一環境において1.5年経過している。現時点における防食仕様塗膜の状態は次の様である。

- (a) 外観：チョーキング又は変色は認められるが、さび、ふくれ、われ等の欠陥発生はない。
- (b) 付着力：初期と同様の付着力及び破断形態を示し、経時変化は認められない。
- (c) インピーダンス：各周波数における抵抗値、容量値は初期と18箇月後において、殆んど経時変化がない。更に、アルミニウム電極5×20cmに対し、5×5cmで測定(18箇月後のみ)したデータについては抵抗値の増加、容量値の減少があるものの、tanδ値は近似することが確認された。

- (d) 無塗装ゾーンの錆の進行：無塗装ゾーンの全面に赤から褐色の錆が発生しているが、塗膜との境界部でのふくれ、はくり等は認められない。

洋上メインテナンスとして無塗装ゾーン設定試験板(防食仕様No.1～8)を用いてサンドブラスト及びパワーツール処理による補修塗装を実施した。実構造物の洋上補修塗装を想定すればそのおかかる気象、海象条件等から、なるべく短期で補修を完了するのが望ましいので、補修塗装仕様はインターバル及び塗り回数の少ないものを求め、補修塗装前処理としてはサンドブラスト及びパワーツールの2種類

とした。補修塗装仕様は対象とする防食仕様によって当然異なり、オリジナルの防食仕様と同一なものは $\#4$, 6 , 7 , 8 であり、 $\#1$, 2 , 5 はIZを省略し、PE, TE, NTでその代替とし、 $\#3$ はPEの塗り回数をPEMでカバーした仕様である。

補修塗装を完了した試験板は、洋上大気暴露雰囲気に再設置しており、3箇月経過時点での外観及びインピーダンス調査において異常はなく、下地処理差の影響もあらわれていない。

(5) 水中硬化型塗料によるメインテナンスの検討

メインテナンスの対象は無塗装面においては、飛沫部、干溝部、没水部（水線近傍）であり、塗装面においては飛沫部と没水部である。

(a) 補修塗装前処理

飛沫部から没水部の無塗装面は、blast処理鋼板を3箇月間その環境において放置したものである。その発錆状況は部位によって異なっており、最も錆層が厚く成長していたのは内部に黒錆層をもつ干溝部である。また、緻密な赤錆の形態を示すのが飛沫部であり、赤錆であっても軟弱な形態が没水部である。

従って、除錆に関して飛沫部のワイヤブラシ（手工具）、ディスクサンダ（動力工具）、blast処理は容易で、没水部の水中清掃機処理も比較的容易である。しかし、干溝部ではワイヤブラシ、ディスクサンダ等での除錆は困難であるため、例えばジェットタガネの様な衝撃作用を有する動力工具が能率的であった。

一方、塗装面では没水部（防食仕様 $\#1 \sim 8$ ）において水中清掃機を用いた処理を行った。この処理方法については、前年度報告（研究資料 $\#347$ ）に詳細に述べているので省略する。飛沫部（浮体構造物の防食仕様 $\#6 \sim 8$, ES(FRP)）の塗膜に対しては、それらが活膜であるためウェス拭き処理とした。

(b) 塗装

水中硬化型塗料による飛沫部から干溝部の塗装（ヘラ塗り）は下地処理種にかかわらず、塗料の付着は良好であり、作業は比較的容易であった。ただし、塗装面積は 3.75 d m^2 の試験片で小規模なため、大面积の場合には何らかの機械的塗装（圧送ローラ高粘度用スプレイ装置付等）が必要と思われる。

没水部に関しては、ウェットハンド法又はヘラ塗りにて水中塗装を行った。一部初期付着不良を示したものもあったが、全般的に付着性の問題は認められない。水中清掃から塗装までのインターバルの適否調査において、防食仕様 $\#1 \sim 8$ は清掃後24時間経過しても塗装が可能である。一方、無塗装面の場合は清掃後6及び24時間放置すると表面に赤錆が生成しているが、この赤錆をウェス等で払拭すれば、塗装は可能であった。

(c) 塗装完了後、没水までのインターバルの影響（干溝部から飛沫部）

実験を行った海域は内海であり、波浪は穏やかで屈状態に近い海象である。従って、外海等に比べ試験条件が不適当な面もあるが、没水までのインターバルの影響は次の様である。

0時間：塗料粘度、硬化時間と波浪の影響度は大きいと思われる。しかし屈状態では塗膜の流失、損傷等は発生しなかった。

3時間：大気中で、ある程度塗膜硬化しており、問題はない。

6時間：3時間と同様である。

この0, 3, 6時間の塗膜に関しては経年変化を追跡調査する。

(d) 養生の効果（干溝部、没水部）

塗装完了後、未硬化塗膜は波浪による流失や損傷をうけ易い。この作用を防止する方策としてのポリエチレンネット及びポリエチレンシートによる養生の効果は次の様である。

ポリエチレンネット：硬化が比較的遅い水中硬化型塗料（B及びC）ではネットと塗料が一体化し、流失を防ぐが、硬化後ネットを除去することは出来ない。一方、硬化の速い塗料（A）に対しては塗料と一体化することなく、単に塗装表面にあって波浪の衝撃解消を行うので完全硬化後にネットの除去は可能である。

ポリエチレンシート：塗料種にかかわらず、塗膜表面全面に水があるか又は、全くない場合に良好な塗膜が得られる。しかし、塗膜表面に水が点在した状態で被覆すると、塗膜表面に凹凸を発生し易い傾向がある。このシートに関しては、いずれの塗料共に硬化後、簡単に除去可能である。

これらの効果に関しては、穏やかな海象状態で実験を行ったため明確ではないが、ネット、シート共に塗膜上で均一な力で被覆すれば、充分その効果はあるものと思われる。

(e) 水中硬化型塗料の作業性

水中硬化型塗料3種の内、塗料Aは板金用パテに近い高粘度、塗料B及びCは比較的流動性を有する粘度である。従って、パテに近い粘度の塗料は主剤、硬化剤の混合が困難で、かつ可使時間の制約もあり、大量の使用には問題がある。

前者に比べ、やや流動性を有す2種の塗料では可使時間はやや長く、主剤と硬化剤の混合性も良好であり、大量の使用が可能である。水中塗装時の状態としては、塗料A及びCでは海水への塗料成分の懸濁が認められた。

(f) 補修塗装後の付着力

水中硬化型塗料3種の各部位における付着力を下地処理との関係で求め、次の様な結果が得られた。

飛沫部：パワーツール及びサンドblast処理面では3塗料共に良好な付着性を示した。しかし、塗料A及びBは手工具処理面において付着力40～50kgf/cm²であったが、素地（鏡面）から破断している。

干満部：飛沫部と類似した傾向である。塗料Bはパワーツール処理面において付着力60kgf/cm²であったが、素地（鏡面）から破断している。

没水部：飛沫部、干満部の場合に比べ付着力は低く、塗膜強度も低い傾向が認められる。

(g) 水中硬化型塗料の諸性質

(i) 硬化性

気中及び水中（10℃及び20℃）における塗膜の硬化性を、鉛筆硬度試験により調査し、次の様な結果が得られた。

① 気中10℃：ポリエステル／エポキシ系の塗料Cは60日後でF、エポキシ系の塗料A及びBは4B～5Bであり、前者の低温硬化性は良好である。

② 水中10℃：気中10℃と同様な傾向である。ただし、60日後でポリエステル／エポキシ系の塗料CはB～2B、エポキシ系の塗料A及びBは6B以上を示し、気中に比べると塗膜は軟らかい。

③ 気中20℃：ポリエステル／エポキシ系の塗料C及びエポキシ系の塗料Bは、60日後でH～2Hに硬化し、他のエポキシ系の塗料AはHBである。気中10℃に比べ硬度の上昇が顕著であり、気中では硬化に対する温度の影響は大きいといえる。

④ 水中20℃：ポリエステル／エポキシ系の塗料Cは60日後でB～2B、エポキシ系の塗料A及びBは6B以上を示し水中10℃の場合と比べ硬化は進まず、水中では硬化に対する温度の影響は小さいといえる。

水中硬化型塗料は、水中での硬化性が重要な因子となる。エポキシ系の塗料A及びBは塗料中に親水基をもった材料を有するためか、表層部は10℃、20℃共に水で膨潤した塗膜であり、その

内部に硬化膜が存在する形態である。静止海水中で見られたこの膨潤膜部は、実海域での水中塗装で認められた懸濁成分になるものと思われる。ポリエステル／エボキシ系の塗料Cについては、硬化は進んでいないが、親水基を少なくしているためか膨潤は見られなかった。

(ii) 耐電気防食性

水中硬化型塗料3種の塗膜にスクラッチ（素地まで達する切傷）を設け、Zn陽極による電気防食の影響を調査中である。電気防食下ではスクラッチ部での腐食は進行せず、その近傍の塗膜にふくれ等が発生し易いが、3箇月経過時点ではいずれの塗膜にも異常は認められない。

(iii) 耐衝撃性

水中硬化型塗料3種の塗膜に対し、直接（塗膜表面）及び間接（試験片の裏側）衝撃試験を実施し、耐衝撃性を調査した。気中及び水中で塗装した各3種の塗膜は、直接衝撃においてはく離、われ等は生じなかった。一方、間接衝撃においてはいずれの塗膜にもわれを生じている。しかし、実構造物においては直接衝撃が大部分であるため、この傾向は大きな問題とはならない。

4.8 まとめ

(1) 防食仕様

浮体構造物、上部構造物の防食仕様に関して、特に問題となるような塗膜欠陥等は認められていない。これらの防食仕様に関しては同時に作製された塗装試験板を用いて、様々な劣化作用の影響を調査中であり、今後更に継続調査を行う予定である。

(2) 水中メインテナンス

(a) 浮体構造物、試験板（防食仕様№1～8）

水中清掃から1年経過後において、塗膜劣化に対する生物付着の影響は認められない。

(b) 水中塗膜試験板（無塗装ゾーン補修試験板）

水中硬化型塗料3種にて補修塗装を実施した。試験板は、没水から1年経過後において、補修塗膜の損傷に対する生物付着の影響は認められない。

以上2件に加え、本年度作製した水中硬化型塗料3種の没水部塗膜について、継続調査する。なお、次年度において浮体構造物の防食皮膜に、比較的大面積の強制的なダメージを与え、水中補修塗装を行う予定である。

(3) 洋上メインテナンス

防食仕様№1～8の無塗装ゾーン試験板を用いて、一般的な補修塗装前処理を行い、補修塗装（補修塗装仕様7種）を実施した。この補修塗装仕様についてはインピーダンス測定等により、その適性を継続調査する。

(4) 水中硬化型塗料による海洋構造物の補修について

重防食仕様の海洋構造物であっても、何らかの補修を要す場合を考えられ、その補修を水中硬化型塗料で施行する場合、多くの問題点を持っている。水中硬化型塗料による補修に関して、様々な要因に対する検討から、現時点で判明している事柄は次のとおりである。

(a) 飛沫部、干渉部：無塗装面における塗装性は、塗料種及び下地処理差にかかわらず差異はない。しかし、塗装後の付着性は、いずれの塗料においても鋸の残存度の高い手工具処理に比べ、パワーツール及びサンドblast処理が良好な傾向である。

(b) 没水部：無塗装面及び塗装面共に、水中清掃処理から24時間経過しても、水中で軽くウエス拭きする程度で塗装可能である。ただし、気中塗装に比べ、付着力及び塗膜硬度は低くなる傾向がある。

(c) 塗装から没水までのインターバル

及び養生の効果：風に近い状態の海象条件下で実験を行ったため、インターバル及び養生の効果は明確でない。ただし、干満部におけるポリエチレンシートは、塗膜面に水が点在したまま被覆すると、硬化後の塗膜は外観不良となる傾向がある。

これらの試験板については、防食性、付着性等を継続調査すると共に、塗装面積等の関係で初期の付着力試験を行っていない塗装面（旧塗膜）に対する補修塗膜に関しては、何らかの方法で追跡調査を行う予定である。

5. 防食施工法の調査検討

5.1 調査検討の目的

厚膜被覆材であるライニング材料を海洋構造物などの鋼構造物に適用する場合、一般に高グレードの前処理が要求されたり、被覆施工時における環境条件（温度・湿度条件）や塗り重ね間隔（インターバル）に制約があるなど、造船所などにおいて実績の多い塗料の塗装施工とかなり異なる場合が多い。そこで、本項目ではライニング材料を対象に、その被覆施工上の問題点を明らかにすることを目的として調査検討するものであり、各種の施工条件とライニング皮膜の性能特性との関係について、56年度から実施している。

57年度においては、56年度からの継続項目に新規項目を加え、下記の4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次表面処理とライニング材料の付着性との関係について、経時変化を調査した。

(2) ライニング材料の付着性に及ぼす素地調整法の影響

鋳鋼板に対する素地調整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、暴露及び海水浸漬後の経時変化を調査した。

(3) ライニング施工時の環境条件が皮膜硬化に及ぼす影響

ライニング施工時の温度条件と皮膜硬化速度の関係及び温度条件と経時後の皮膜硬さの関係について調査した。

(4) ライニングの塗り重ね間隔に関する検討

同種ライニングの塗り重ね間隔及びライニング皮膜上への機能塗装材料を塗り重ねる場合のインターバルが層間付着性に及ぼす影響について調査した。

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

本項目は56年度に作製して屋外暴露及び加温塩水浸漬した試験板に対して、1.5箇年経過後に付着力試験を行って付着特性の経時変化を調査したものである。従って、供試材料や試験内容に関しては、56年度報告書（研究資料第347号）に述べたとおりであるが、参考のため下記に再記述する。

5.2.1 供試材料とその仕様

(1) 供試ショッププライマー

- Ⓐ 無機ジンクプライマー (I Z P ; 標準膜厚 17 μm)
- Ⓑ 有機ジンクプライマー (O Z P ; 標準膜厚 15 μm)
- Ⓒ ノンジンクプライマー (N Z P ; 標準膜厚 20 μm)

(2) 供試ライニング材料

- Ⓐ エポキシモルタルライニング (P E M)
- Ⓑ エポキシガラスフレークライニング (P E F)
- Ⓒ ポリエステルガラスフレークライニング (E S F)
- Ⓓ タールエポキシガラスフレークライニング (T E F)

(3) 供試材料による防食仕様

前述の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。なお、S/P面の2次処理を表5.2に示す。

5.2.2 試験内容

(1) 防食性試験

防食性試験としては5~6年度に継続して行っている下記の2種類の試験である。

(a) 屋外暴露試験

造船所内の岸壁近くに設置した暴露台を使用している。

(b) 3%食塩水浸漬試験

40°Cに加温した食塩水に浸漬し、エアーを吹き込んでいる。

(2) 付着力試験

JIS A 6909に準拠した引張付着力試験である。なお、この引張付着力試験における皮膜の破断形態を下記の5つに分類した。

- 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 シ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凝集強さなどを示したもので、仕様皮膜としての付着性は良好であると評価できる。しかし、実際の試験結果では、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最も多い破断形態で評価することにした。

5.2.3 試験結果と考察

屋外暴露及び3%食塩水浸漬1.5箇年経過後までの付着力試験の結果をそれぞれ図5.1(1)~(2)~図5.4(1)~(2)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No.6（エポキシモルタルライニング：PEM）

屋外暴露及び食塩水浸漬1.5箇年経過後における引張付着力は、いずれのS/Pにおいても、また、いずれの2次表面処理においても初期値より高くなっている。しかもその破断形態はライニング皮膜の凝集破断が主であった。特にS/Pがノンシンクプライス（NZP）の場合、塩水浸漬環境では経時後においても引張付着の破断強さは非常に大きく、すべて皮膜の凝集破断となっている。これらのことから、エポキシモルタルライニング（PEM）はいずれのS/Pに対しても適合性を有しており、中でもノンシンクプライマー（NZP）が優れていると評価できる。

(2) 防食仕様No.7（エポキシガラスフレークライニング：PEF）

屋外暴露及び塩水浸漬1.5箇年経過後における引張付着力試験の結果、いずれのS/P面に対してても無処理（N）の場合には破断強さも小さく、しかもすべてS/P面からの界面（層間）破断であった。なお、S/Pが無機シンクプライマー（IZP）の場合、パワーソール処理を行っても破断形態に界面破断が見られ付着性に問題があると思われる。また、S/Pが有機シンクプライマー（OZP）で表面処理を行って被覆施工した場合、特に浸漬環境下においてはすべて鋼材面からの破断ではあるが、その破断強さはかなり小さくなっている。さらに、本供試材はS/Pの種類にかかわらず、また、多少ともS/P塗膜が残っている場合、塩水浸漬環境下では経時とともに破断強さが低下し、鋼材素地やS/P塗膜の凝集破断になっている。以上のことから判断すると、エポキシガラスフレークライニング（PEF）はショッププライニング方式の適用性はなく、ショッププライマーの塗装面に適用する場合には、高グレードの処理が必要であり、ショッププライマー塗膜をほとんど除去する必要がある。

(3) 防食仕様No.8（ポリエステルガラスフレークライニング；ESF）

屋外暴露1.5箇年経過後の引張付着力試験の結果では、6箇月経過時の試験結果に比べ、すべてのS/Pや2次表面処理においてその破断強さはわずかに減少しているが、破断形態はほとんど同じである。しかし、塩水浸漬1.5箇年経過後の試験結果では、S/Pが有機ジンクプライマー(OZP)の場合のみ6箇月経過時の試験結果と破断強さや破断形態は同じ傾向であるが、他の2種のS/Pについては多少異なる傾向が見られた。すなわち、S/Pが無機ジンクプライマー(IZP)の場合、2次表面処理によってはS/P塗膜との界面破断が見られ、破断強さもかなり低下している。また、S/Pがノンジンクプライマー(NZP)の場合には、2次表面処理がパワーツール処理(T₁及びT₂)ではS/P塗膜との界面破断が見られ、ブラスト処理(B₁及びB₂)ではS/P塗膜の凝集破断や鋼板面からの破断が見られるようになった。

以上のことから判断すると、ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)に適するS/Pは有機ジンクプライマー(OZP)のみであり、他のS/P塗装面に被覆施工する場合には、S/P塗膜をブラスト処理により60～70%以上除去する必要がある。

(4) 防食仕様No.M2（タールエポキシガラスフレークライニング；TEF）

屋外暴露1.5箇年経過後における引張付着力試験では、S/Pの種類やその2次表面処理にかかわらず、かなり高い破断強さで破断し、しかもその破断形態はライニング皮膜の凝集破断又はS/P塗膜(S/PがOZPの場合)の凝集破断であった。しかし、塩水浸漬1.5箇年経過後の試験結果では、S/Pの種類やその2次表面処理の違いにより、6箇月経過時における試験結果に比べ、かなり異なる傾向が見られた。すなわち、S/Pが無機ジンクプライマー(IZP)の場合、いずれの処理面においても破断強さは高いが、S/P塗膜の除去程度が60～70%以下ではプライマー塗膜面からの界面破断が見られた。また、S/Pが有機ジンクプライマー(OZP)の場合には、S/P塗膜の凝集破断や鋼板面からの破断であり、しかも破断強さは経時とともに低下してきている。さらに、S/Pがノンジンクプライマー(NZP)の場合、ブラスト処理でS/P塗膜をかなり除去したグレード(B₂)以外では、S/P塗膜面からの界面破断が見られ、しかも破断強さは非常に小さくなっている。

これらの結果から、タールエポキシガラスフレークライニング(TEF)のS/Pに対する適合性については、環境によって大きく左右され、特に塩水没水環境下におかれる場合にはブラスト処理によって、S/P塗膜を除去することが好ましい。

なお、本供試ライニング材料の屋外暴露6箇月経過時における引張付着力試験の破断強さが極端に低い値であったが、1.5箇年経過後の試験結果では破断強さが高くなってしまい、破断形態もほぼ同じ傾向にあることから、判断すると、6箇月経過時の引張付着力試験のやり方に何らかの不都合があったものと思われる。

5.2.4 ショッププライミング方式の適用性に関するまとめ

4種の供試ライニング材料と3種のS/Pとの適合性に関して、特に層間付着性の観点で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(PEM)

本供試ライニング材料は、供試した3種のいずれのS/Pに対しても適合性を有しており、ショッププライミング方式の適用性があると思われる。特に、S/Pとしてはノンジンクプライマー(NZP)が優れている。

(2) エポキシガラスフレークライニング(PEF)

本供試ライニング材料はショッププライミング方式の適用性ではなく、ブラスト処理などによりS/P塗膜をほとんど除去する必要がある。

(3) ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)

本供試ライニング材料に適する S/P は有機シンクプライマー(OZP)のみであり、他の S/P の場合にはその塗膜をブラスト処理により 60~70% 以上除去する必要がある。

(4) タールエポキシガラスフレークライニング(TEF)

本供試ライニング材料と S/P との適合性に関しては、環境によって大きく左右される。特に浸水部の構造物に適用する場合には S/P との適合性に難点があり、ブラスト処理によって S/P 塗膜を除去することが好ましい。

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 塗膜 (μm)	備 考
			1 回 目	2 回 目		
6	Sh	I Z P	P E M (5 0 0 0)		5 0 0 0	
		O Z P				
		N Z P				
7	Sh	I Z P	P E F (6 5 0)	P E F (6 5 0)	1 3 0 0	
		O Z P				
		N Z P				
8	Sh	I Z P	E S F (7 5 0)	E S F (7 5 0)	1 5 0 0	
		O Z P				
		N Z P				
M2	Sh	I Z P	T E F (7 5 0)	T E F (7 5 0)	1 5 0 0	
		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 ショットプ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 处 理	S/P が全面に塗布されている状態	N
パワーツール処理	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
ブラスト処理	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

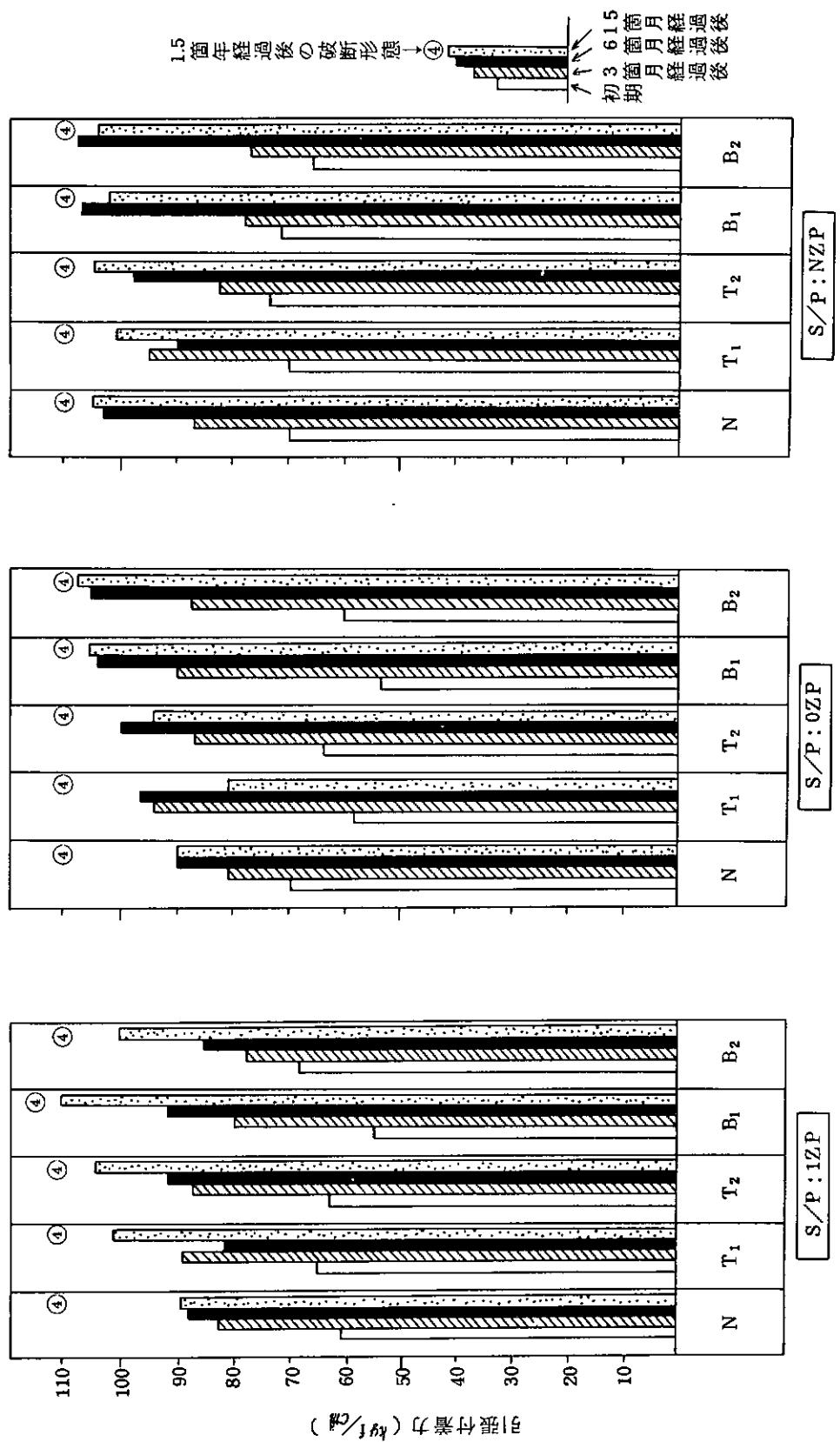


図 5.1(1) S/P面の2次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様№6, 屋外暴露板）

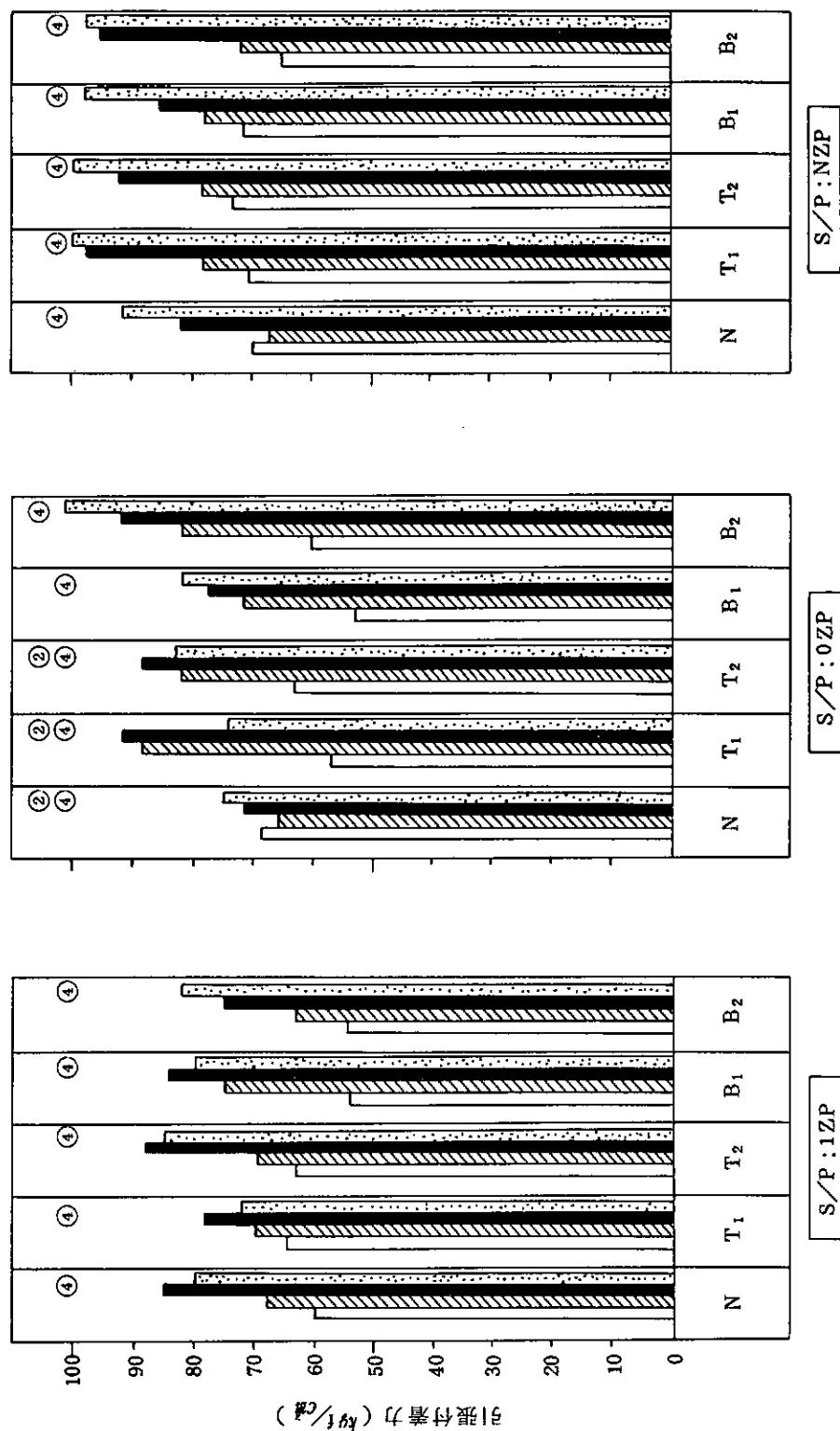


図 5.1(2) S/P面の2次表面処理と引張付着力との関係(防食仕様 No. 6, 塩水浸漬板)

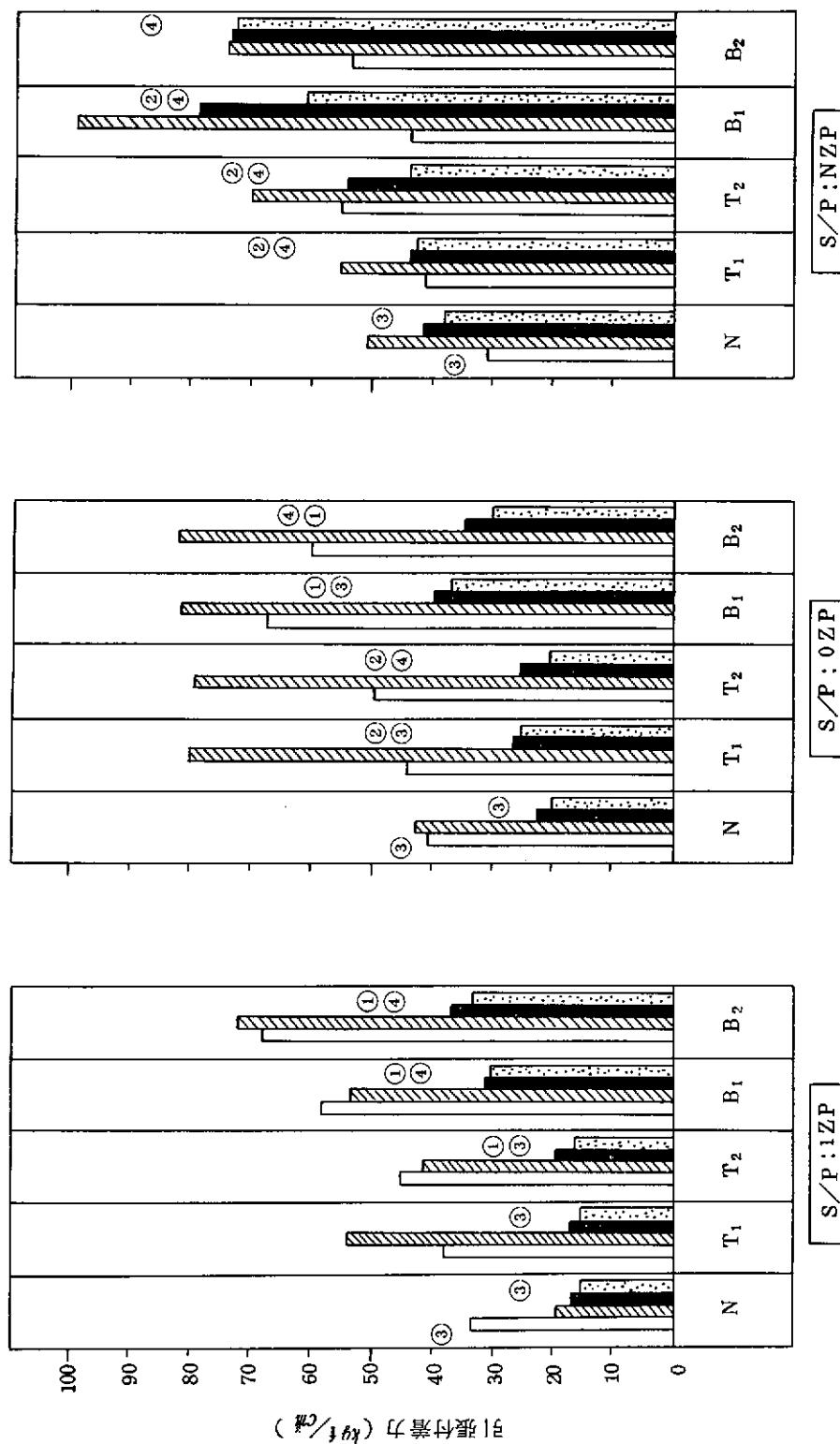


図 5.2 (1) S/P面の2次表面処理と引張付着力との関係(防食仕様№7, 屋外暴露板)

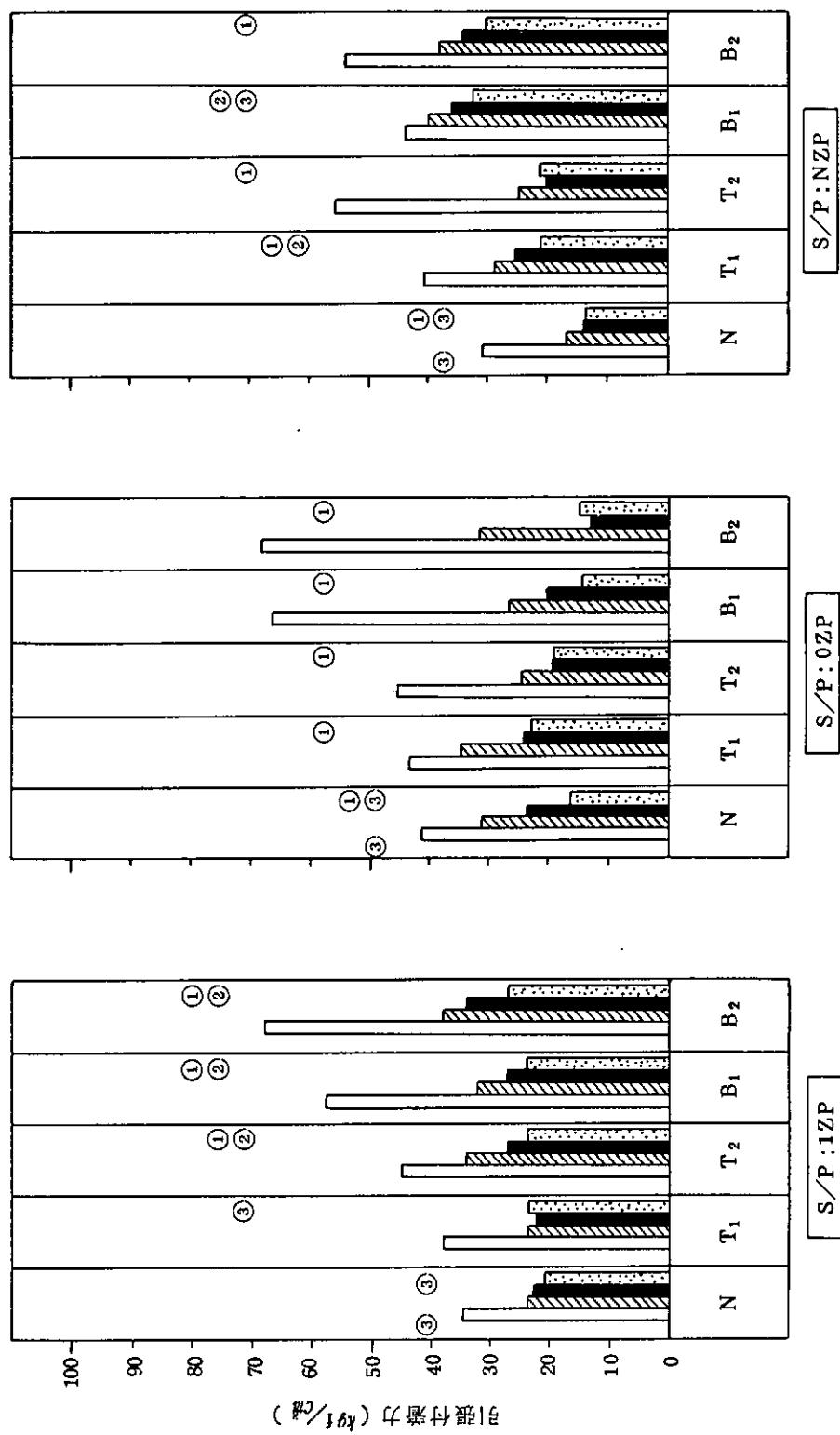
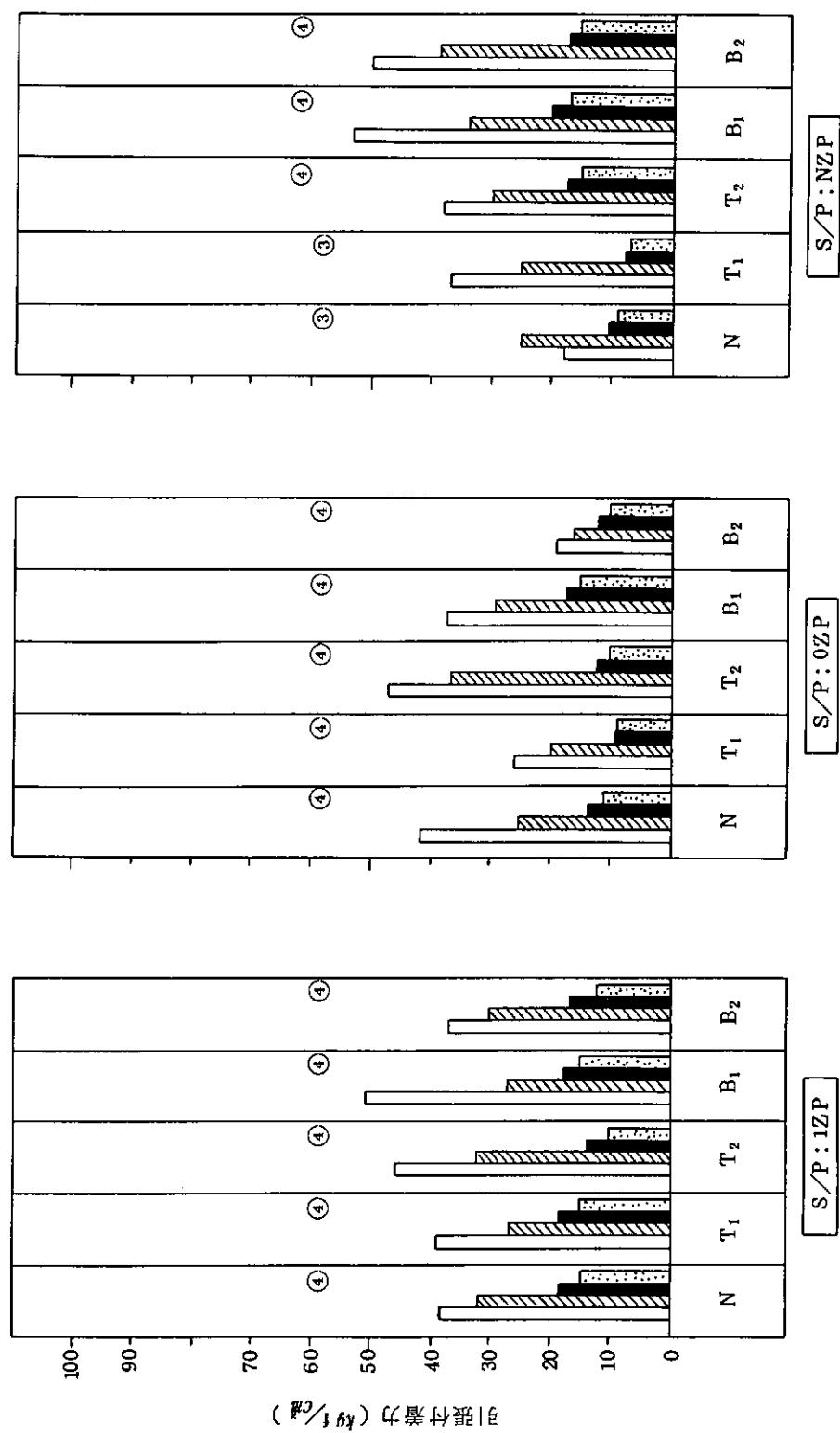


図 5.2(2) S/P面の2次表面処理と引張付着力との関係(防食仕様No.7, 塩水浸漬板)



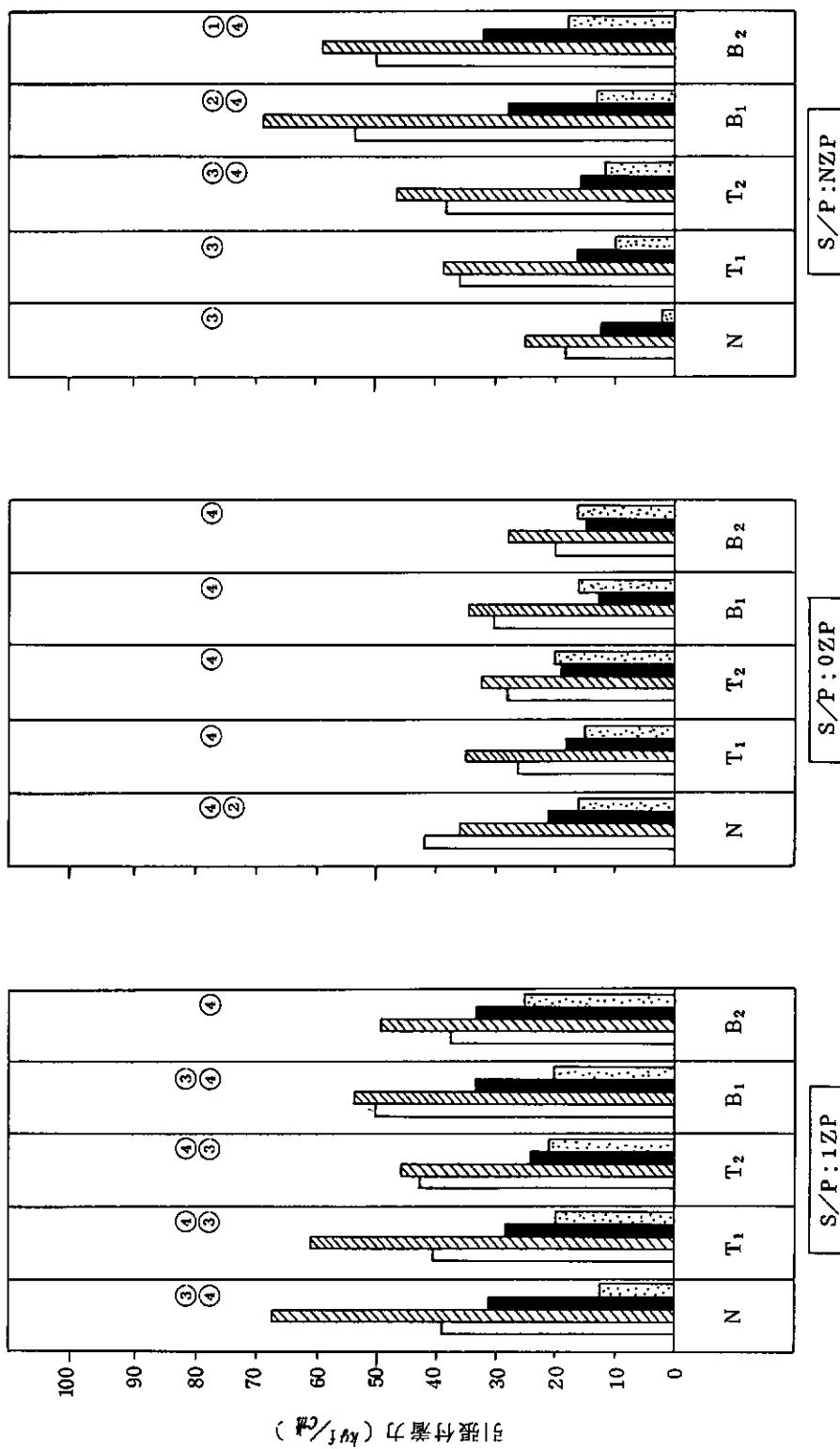


図 5.3(2) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様 No. 8、塩水浸漬板）

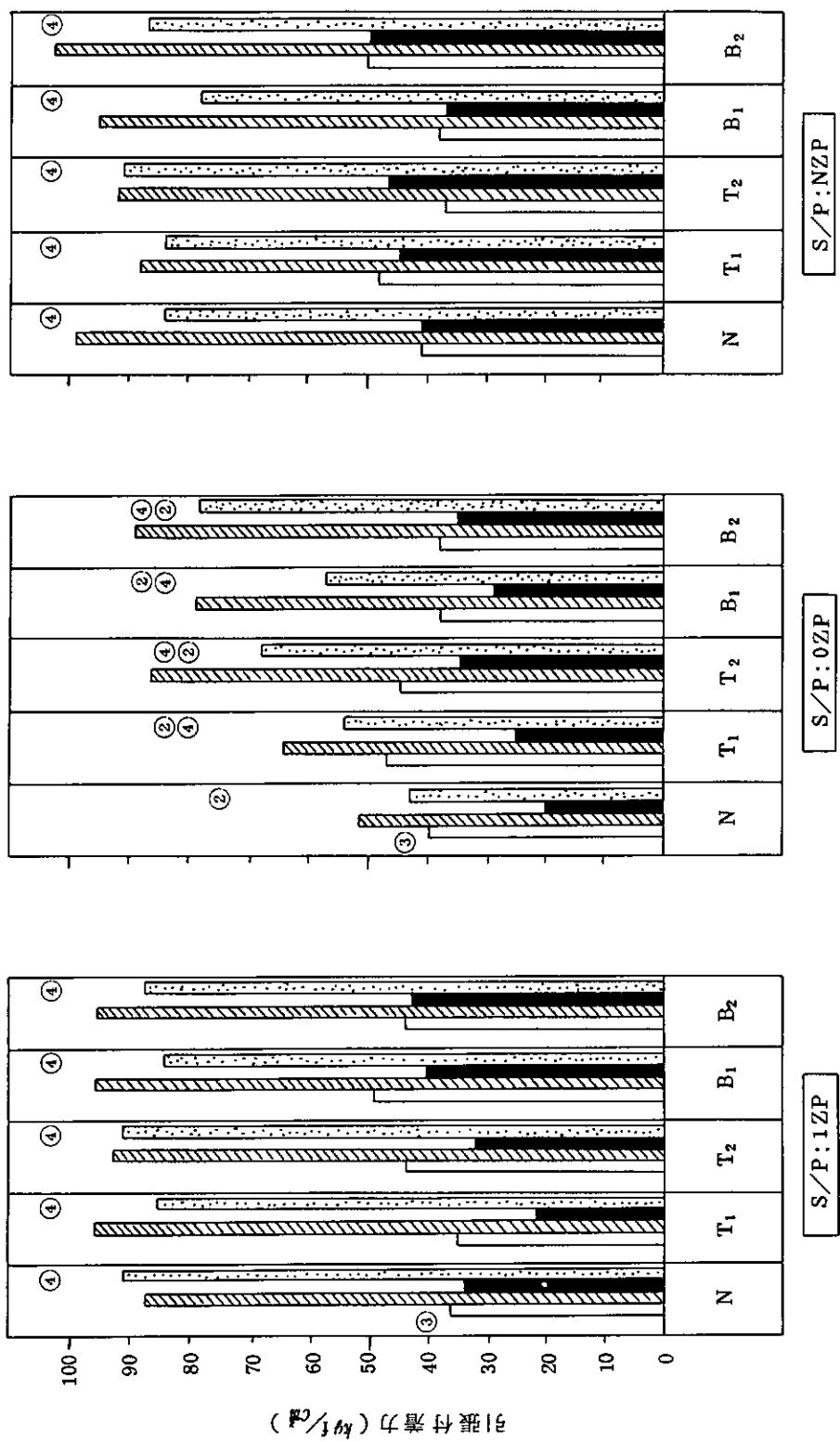


図 5.4(1) S/P面の2次表面処理と引張付着力との関係(防食仕様M-2, 屋外暴露板)

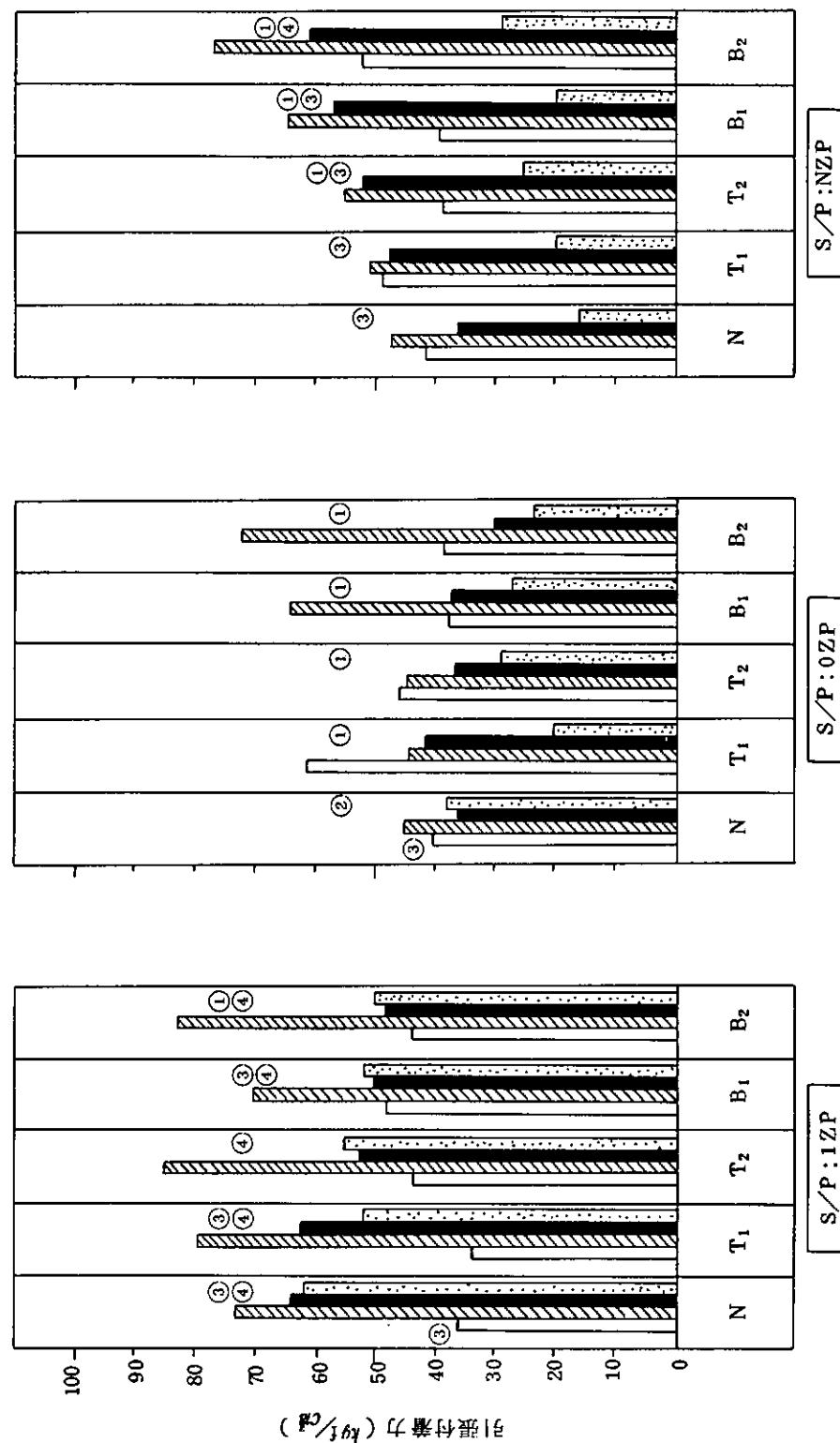


図 5.4(2) S/P 面の 2 次表面処理と引張付着力との関係（防食仕様 M 2, 塩水浸漬板）

5.3 ライニング材料の付着性に及ぼす素地調整の影響

本項目も前項と同様、56年度に継続して実施したものであり、屋外暴露及び加温塩水浸漬1.5箇年経過後において、引張付着力試験を行って付着特性の経時変化を調査した。

5.3.1 供試ライニング材料と仕様

本検討項目において供試した材料やその仕様についても、56年度に述べたとおりであるが、参考のため、下記に示す。

(1) 供試ライニング材料

- Ⓐ 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)

(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を表5.3に示す。また、これらの仕様における素地調整については表5.4に示す。

5.3.2 試験内容

(1) 防食性試験

防食性試験も前項と同様、屋外暴露試験と40℃加温の3%食塩水浸漬試験である。

(2) 付着力試験

JIS A 6909に準拠した引張付着力試験である。また、この引張付着力試験における皮膜の破断形態についても、前項に準じて下記の3つに分類して示す。なお、これらの破断形態の中で、本項目で特に問題となるのは①である。

- ① 鋼材面からの破断
- 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

5.3.3 試験結果と考察

屋外暴露及び塩水浸漬1.5箇年経過後までの付着力試験の結果をそれぞれ図5.5及び図5.6に示す。

これらの結果から、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№6(エポキシモルタルライニング: PEM)

屋外暴露1.5箇年経過後においては、パワーツールとプラスト処理の違いによって引張付着の破断強さとその破断形態に大きな差異が見られ、パワーツール処理では破断強さも40kgf/cm²程度であり、その破断形態は鋼板面からの破断であるが、プラスト処理ではすべて破断強さは100kgf/cm²以上で、しかも皮膜の凝集破断である。一方、塩水浸漬1.5箇年経過後の試験結果では、パワーツール処理面の付着力は大きく低下し、プラスト処理面でもSd₂程度の処理では一部鋼材面からの破断が見られた。これらのことから、エポキシモルタルライニング(PEM)の施工に際しては、少なくともSPSS Sd₃程度のプラスト処理が必要であるといえる。

(2) 防食仕様№7(エポキシガラスフレークライニング: PEF)

屋外暴露1.5箇年経過後における試験結果では、パワーツール処理面では破断強さも小さく、鋼板面からの破断であり、プラスト処理面でも破断強さは40kgf/cm²程度あるが、鋼板面からの破断が見られる。さらに、塩水浸漬後ではプラスト処理面でも、破断強さは初期の約1/3で20kgf/cm²程度まで

低下し、しかも、すべて鋼板面からの破断であった。以上の結果から、エポキシガラスフレークリーニング(PEF)に適する素地調整はかなり入念なプラスト処理を行い、しかもある程度の表面粗さが必要であると思われる。

(3) 防食仕様No.8(ポリエステルガラスフレークリーニング:EST)

屋外暴露1.5箇年経過後における試験結果では素地調整の影響は顕著でなく、破断強さはすべて同程度で小さいがそれらの破断形態はすべて皮膜の凝集破断であった。一方、塩水浸漬1.5箇年経過後の試験では、パワーツール処理面の破断強さは10kgf/cm²以下で、鋼板面から破断しており、プラスト処理面での破断強さは20kgf/cm²以上で、プラスト処理グレードに関係なく皮膜の凝集破断を一部鋼板面からの破断が見られた。なお、これらの引張付着力試験における鋼板面からの破断部を詳細に観察した結果、パワーツール処理やプラスト処理のSd₁及びSd₂の処理の場合、鋼板面に錆が進行しており、さらに経時後においては付着力が低下するものと思われる。これらの状況から判断して、ポリエステルガラスフレークリーニング(ESF)を施工する場合の素地調整としては、PEFの場合と同様、入念なプラスト処理で、ある程度の粗さが必要であると思われる。

(4) 防食仕様No.M2(タールエポキシガラスフレークリーニング:TEF)

1.5箇年経過後における試験結果では、屋外暴露と塩水浸漬とでは破断強さにかなりの相違が見られた。すなわち、屋外暴露の場合、パワーツール処理面では鋼材面からの破断であるが、破断強さは大きく、プラスト処理面では皮膜の凝集破断であり、その破断強さはさらに大きい。しかし、塩水浸漬では破断強さはかなり小さく、しかもすべて鋼板面からの破断であった。

これらのことから、タールエポキシガラスフレークリーニング(TEF)についても、素地調整としてはプラスト処理が好ましく、その処理グレードは高い方がより良いものと思われる。

5.3.4 素地調整の影響に関するまとめ

4種のライニング材料の付着性に及ぼす素地調整の影響についてまとめ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(PEM)を裸鋼材に施工する場合、SPSS Sd 3程度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リーニング(PEF)に適する素地調整としては、かなり入念なプラスト処理(Sd 3程度)を行い、さらに付着性を高めるため大きな表面粗さをつけることが好ましい。
- (3) ポリエステルガラスフレークリーニング(ESF)を施工する場合の素地調整としては、PEFの場合と同様、入念なプラスト処理を行い、ある程度の表面粗さが必要である。
- (4) タールエポキシガラスフレークリーニング(TEF)についても、施工前素地調整は、プラスト処理が好ましく、その処理グレードは高い方がより高い付着性が得られる。

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 (5000)	—	5000
7	(5種類)	P E F (650)	P E F (650)	1300
8	(5種類)	E S F (750)	E S F (750)	1500
M2	(5種類)	T E F (750)	T E F (750)	1500

(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	処理状況	記号
パワーツール処理	S I S St 2 相当	St 2
	S I S St 3 相当	St 3
プラスチック処理	S P S S Sd 1 相当	Sd 1
	S P S S Sd 2 相当	Sd 2
	S P S S Sd 3 相当	Sd 3

(注) ショットプラスチック鋼板を約1箇月間屋外暴露したさび鋼板に対してこの処理を行った。

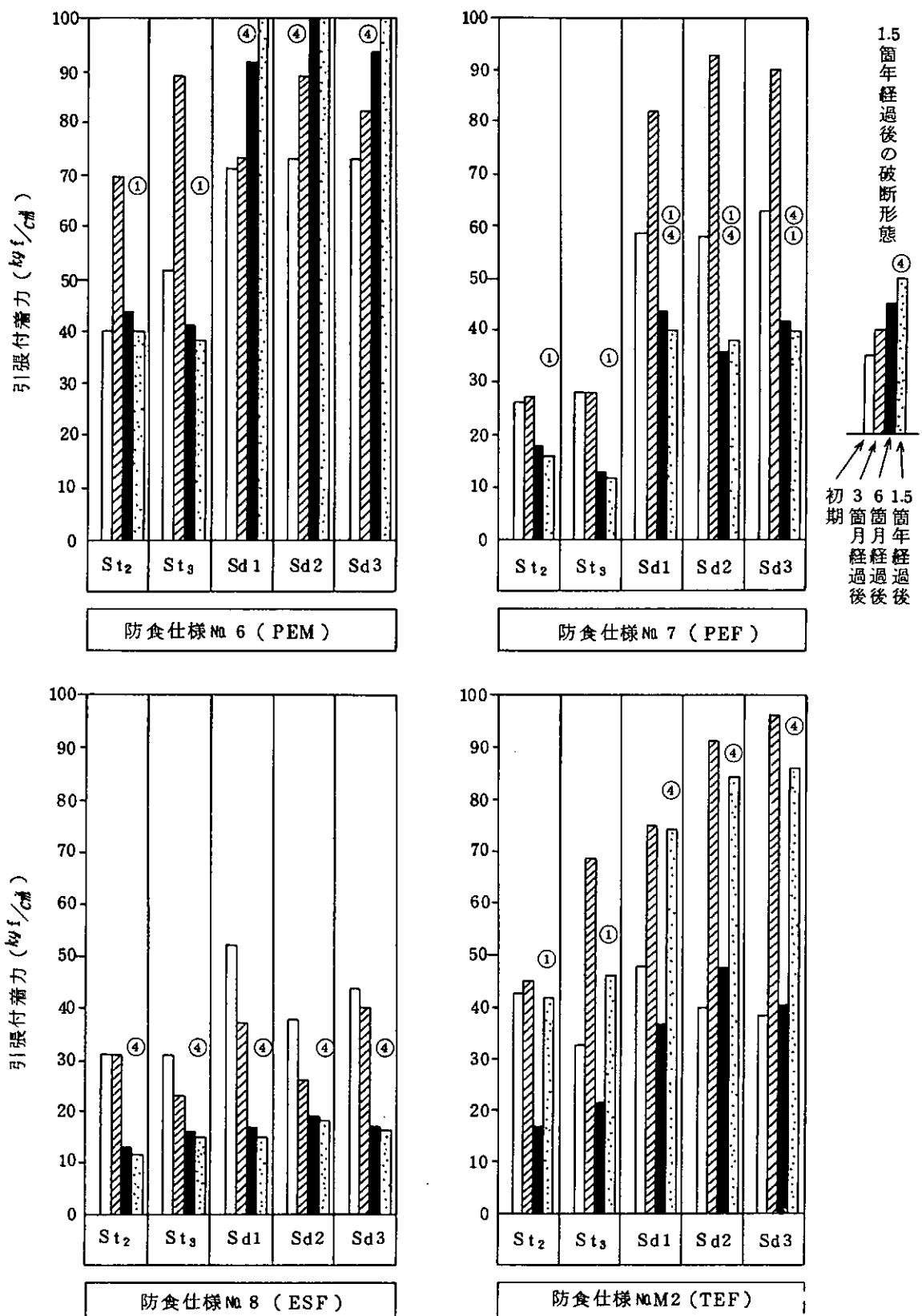


図 5.5 素地調整グレードと引張付着力との関係(屋外暴露板)

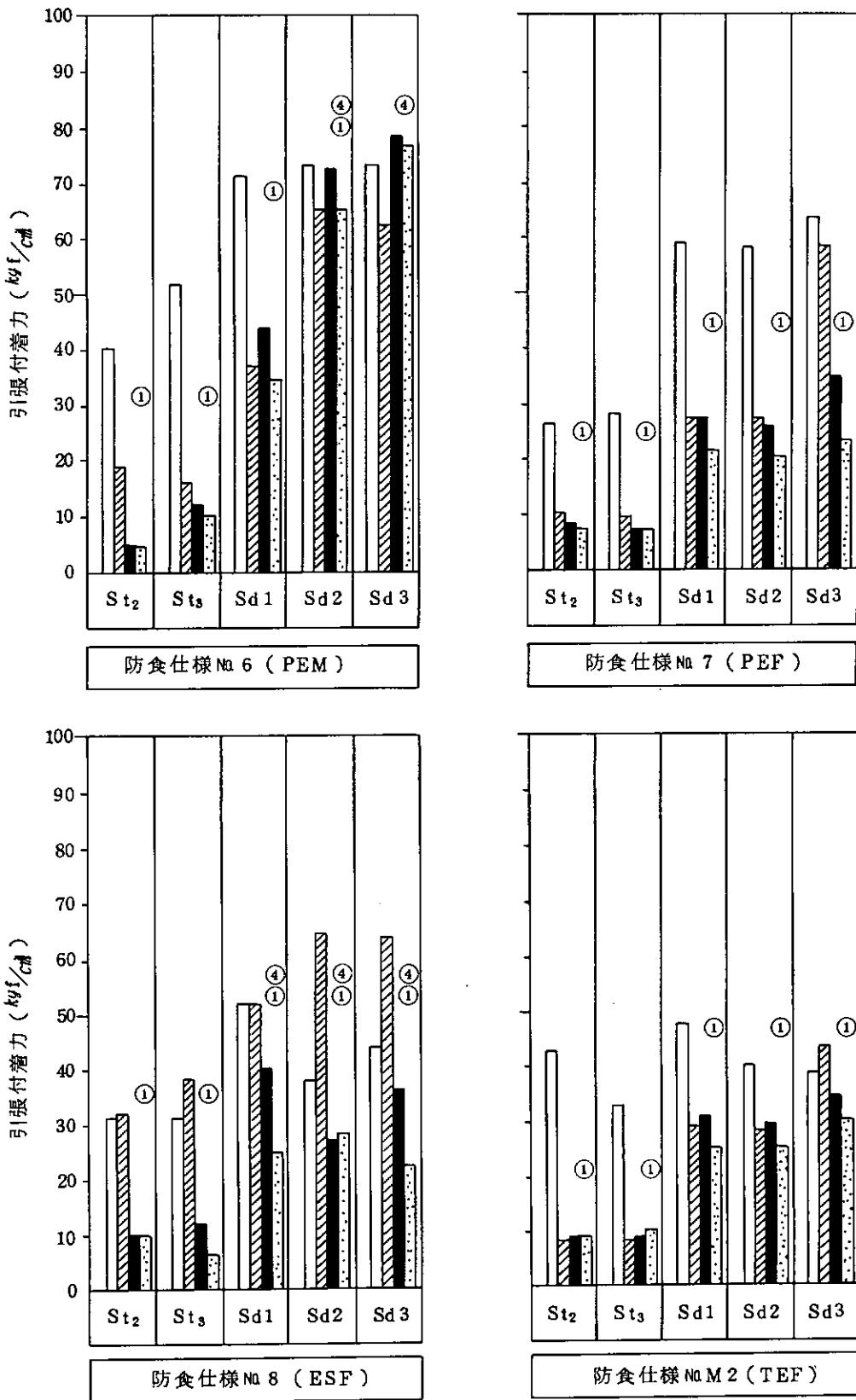


図 5.6 素地調整グレードと引張付着力との関係 (3%食塩水浸漬板)

5.4 ライニング施工時の環境条件が皮膜硬化に及ぼす影響

5.4.1 供試ライニング材料

本項目において供試するライニング材料は下記の4種類であり、これらは本研究の供試ライニングと同じものである。

- Ⓐ 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リайнイング (PEF)
- Ⓒ ポリエステルガラスフレークリайнイング (ESF)
- Ⓓ タールエポキシガラスフレークリайнイング (TEF)

5.4.2 試験内容

試験板に対し、上に示したライニング材料をバーコート方式によりそれぞれ規定膜厚(標準Wet膜厚)に塗装した。塗装した試験板の皮膜硬化(指触乾燥)の測定は表5.5の温度条件に保持した恒温恒湿槽に入れ、打点式皮膜乾燥度測定装置により行った。

また、指触乾燥後の皮膜硬さは鉛筆硬度により調べた。

表5.5 温 度 条 件

①	②	③	④
5℃	10℃	20℃	30℃

注) 相対湿度は各温度に対し70%一定とした。

なお、打点式皮膜乾燥速度測定装置は一定速度で移動する針を皮膜面に一定時間ごとに落下させ、落下時に生ずる皮膜傷が付かなくなる時間を測定し、皮膜硬化を調べるものである。

なお、今回使用した針の重量は5g、落下高さは20mmであり、この条件下で測定した皮膜硬化は指触乾燥過程を見るものである。図5.7にこの皮膜乾燥度測定装置を示す。

5.4.3 試験結果と考察

各ライニング材料の指触乾燥測定結果を図5.8に示し、指触乾燥後の鉛筆硬度測定結果を図5.9に示す。これらの結果から、各供試材料の皮膜硬化を考察すると以下のとおりである。

- (1) 指触乾燥はいずれの供試材料においても温度10℃以下では長時間を必要とし、特にポリエステルガラスフレーク(ESF)及びタールエポキシガラスフレーク(TEF)は30時間以上必要であった。エポキシモルタル(PEM)は温度5℃でも12時間であり、供試ライニング材料の中で最も速い指触乾燥であった。
- (2) 指触乾燥後の皮膜硬さはエポキシモルタル(PEM)及びエポキシガラスフレーク(PEF)の場合、温度20℃以上の環境下では乾燥日数5日程度で4H～5Hと一定になるが、温度10℃以下では皮膜硬さが十分に上らず、皮膜硬化が緩慢であった。特にエポキシモルタル(PEM)は温度5℃では乾燥7日後においても硬さには変化なく、硬化が進まなかった。しかし、ポリエステルガラスフレーク(ESF)は指触乾燥後の皮膜硬さが急速に上昇し、温度5度の場合でも指触乾燥1日後で3Hを示した。
- (3) タールエポキシガラスフレーク(TEF)は温度30℃、指触乾燥7日後においても3日であり、この材料は皮膜が軟らかい特性があると思われる。

以上の結果のように各ライニング材料の皮膜硬化状態はそれぞれ異った特性を有しており、施工に当っては十分な皮膜硬化特性を把握することが必要である。特に環境温度10℃以下では皮膜硬化が緩

慢となるため、施工配慮が必要と思われる。

5.4.4 皮膜硬化に及ぼす影響に関するまとめ

4種の供試ライニング材料に対して、環境条件と皮膜硬化特性について検討した結果、各供試ライニング材料ごとにまとめる以下のとおりである。

- (1) エポキシモルタルライニング(PEM)は5°Cの温度条件下においても12時間程度で指触乾燥する。しかし、その後、5°Cの環境下では皮膜硬さは変化せず、鉛筆の硬さ5B程度である。
- (2) エポキシガラスフレークライニング(PEF)は10°Cの温度条件下で指触乾燥にいたるには18時間程度必要であるが、その後低温環境でも皮膜硬さはかなり高くなり、7日間で鉛筆硬度H以上になる。
- (3) ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)は10°Cの温度条件でも指触乾燥まで36時間も要し、さらに5°Cになると4日近くも必要となる。しかし、指触乾燥後の皮膜硬さは非常に硬くなつておらず、5°Cの時でも鉛筆硬度3Hであり、7日後には5Hにもなっている。
- (4) タールエポキシガラスフレークライニング(TEF)は20°Cの時には6時間で指触乾燥するが、10°Cになると指触乾燥に30時間も必要とする。また、本試料は指触乾燥後7日程度では皮膜硬さに大きな変化はなく、鉛筆硬度3B以下であった。

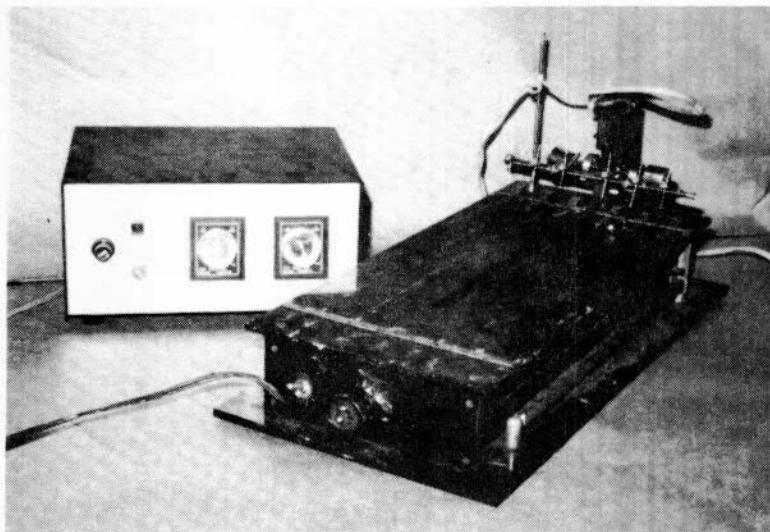


図 5.7 皮膜乾燥度測定装置

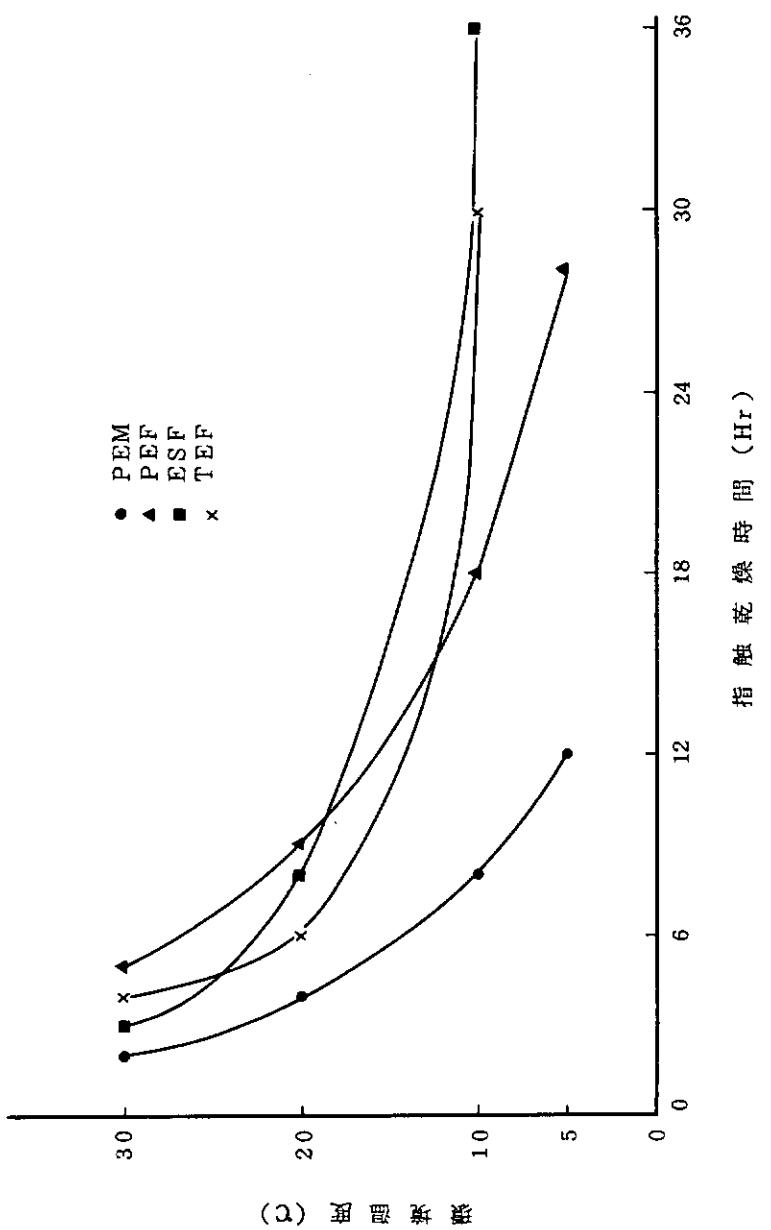


図 5.8 ライニンク皮膜の乾燥度測定結果（指触乾燥）

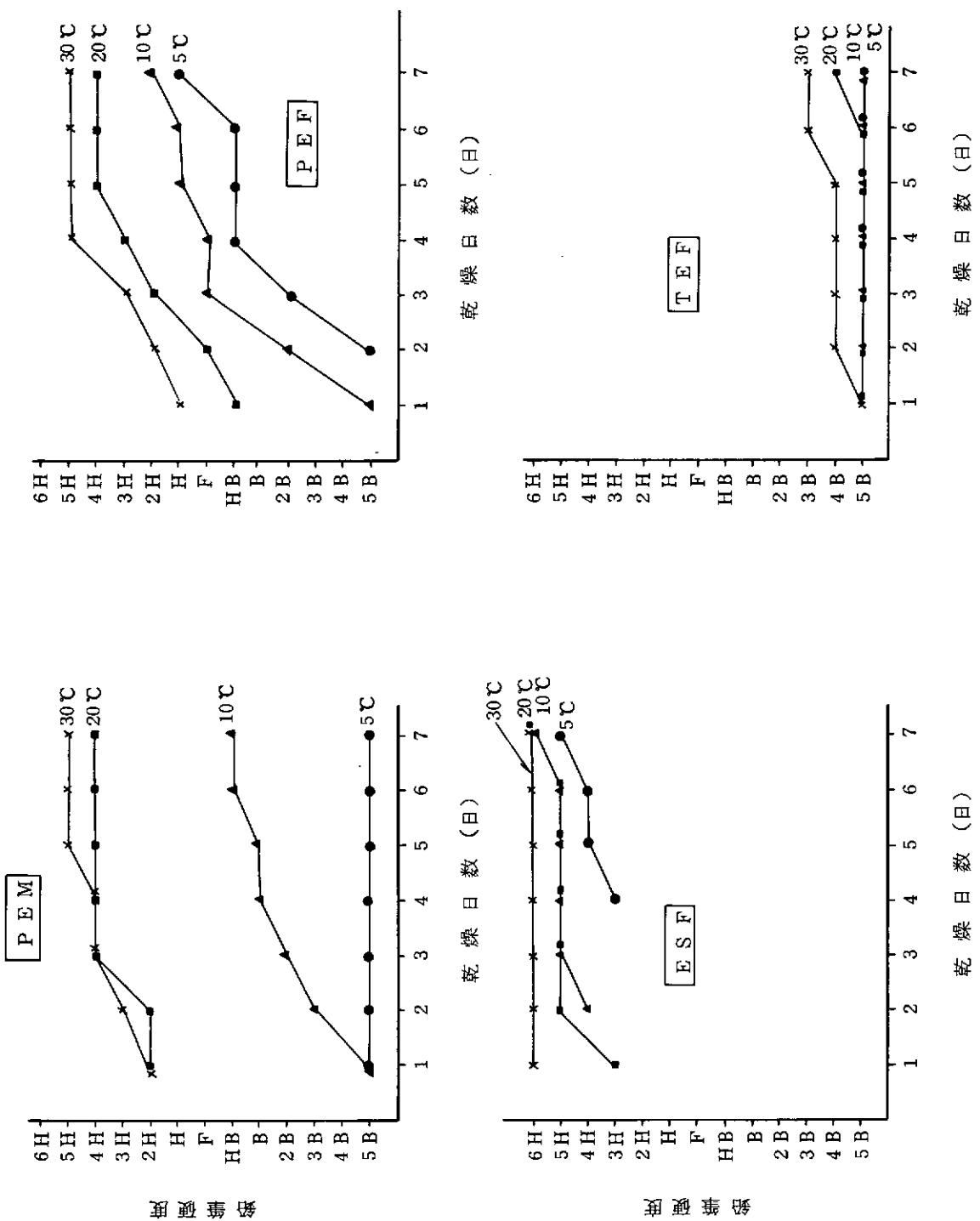


図 5.9 ライニング薄膜の乾燥日数と鉛筆硬度との関係

5.5 ライニングの塗り重ね間隔に関する検討

本項目では、同種ライニング材料の塗り重ね間隔と付着性の関係及びライニング皮膜面への機能塗装材料の塗り重ね間隔と付着性の関係について検討した。

5.5.1 供試材料

(1) 供試ライニング材料

本項で供試したライニング材料とその膜厚を表5.6に示す。なお、これらのライニング材料は前項のものと全く同じものである。

表5.6 供試ライニング材料とその膜厚

ライニング材料(略号)	膜厚 [μm]		適用 防食仕様
	Wet	Dry	
Ⓐ エポキシモルタルライニング(PEM)	5,500	5,000	No.6
Ⓑ エポキシガラスフレークライニング(PEF)	700	650	No.7
Ⓒ ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)	800	750	No.8
Ⓓ タールエポキシガラスフレークライニング(TEF)	800	750	No.M2

(2) 供試機能塗装材料

ライニング皮膜面に上塗りする機能塗装材料としては、船舶用塗料の中から外舷塗料(T/S)と防汚塗料(A/F)を選択した。それらを表5.7に示す。

表5.7 供試機能塗装材料

機能塗料材料の一般名称(略号)	標準乾燥膜厚 [μm]
① エポキシ樹脂系外舷部上塗塗料(PE-T/S)	40
② ウレタン樹脂系外舷部上塗塗料(Pu-T/S)	40
③ ビニル樹脂系外舷部上塗塗料(V-T/S)	20
④ 塩化ゴム系船底防汚塗料(CR-A/F)	40

5.5.2 試験内容

(1) 同種ライニングの塗り重ね間隔と付着性の関係

サンドブラスト鋼板に表5.6のライニング材料をスプレー方式で塗装し、表5.8に示すそれぞれの塗り重ね間隔日数を経過後、同種ライニング材料を塗装した。なお、2回目の塗装前処理はウェス拭きとした。

この塗装板を屋外暴露及び40°C加温塩水浸漬試験を行い、経時的に付着性を調べた。

なお、付着性は引張付着力試験方法により評価した。

表5.8 塗装間隔

屋外暴露期間(日)			
3	7	15	30

(2) ライニング皮膜への機能塗装材料の塗り重ね間隔と付着性の関係

サンドblast鋼板に表5.6のライニング材料をスプレー方式で塗装し、表5.8の塗装間隔日数を経過後、機能塗装材料を塗装した。なお、塗り重ね時の塗装前処理はウェス拭きとした。

この試験板を屋外暴露及び40°C塩水浸漬試験を行い、経時的に付着性を調べた。

なお、付着性は引張付着力試験方法により評価した。

5.5.3 試験結果と考察

同種ライニングの塗り重ね間隔と付着性との調査結果を図5.10に示す。

また、ライニング皮膜と機能塗装材料との塗り重ね間隔と付着性との関係を調査した結果を図5.11(試験板作成初期)、図5.12(40°C加温食塩水浸漬試験3箇月後)及び図5.13(屋外暴露3箇月後)に示す。

これらの結果から、各防食仕様別に塗り重ね間隔と付着性との関係を考察すると以下のとおりである。

(1) 同種ライニングの塗り重ね間隔と付着性の関係

(a) 防食仕様No.6(エポキシモルタルライニング: PEM)

試験板作成初期、40°C加温食塩水浸漬及び屋外暴露3箇月後ではいずれの塗り重ね間隔においても皮膜破断形態は凝集破断であり、また破断強さの低下もなく、良好な付着性と評価できる。このことから、エポキシモルタルライニング(PEM)は塗り重ね間隔に関して30日程度であれば特に問題はないと思われる。

(b) 防食仕様No.7(エポキシガラスフレークライニング: PEF)

40°C加温食塩水浸漬及び屋外暴露3箇月後では塗装間隔7日のものに一部層間破断が認められたが、塗装間隔3日ではいずれの場合でも凝集破断であり、破断強さも良好であると評価できる。このことから、エポキシガラスフレークライニング(PEF)の塗り重ね間隔はmax. 3日と思われる。

(c) 防食仕様No.8(ポリエステルガラスフレークライニング: ESF)

試験板作成初期及び屋外暴露3箇月後ではいずれの塗り重ね間隔においても良好な付着性であったが、40°C加温食塩水浸漬3箇月後では塗り重ね間隔15日のものに一部層間破断が認められた。このことから、ポリエステルガラスフレークライニング(ESF)を没水環境下で適用する場合の塗り重ね間隔はmax. 7日が望ましいと思われる。

(d) 防食仕様No.M2(タールエポキシガラスフレークライニング: TEF)

試験板作成初期、40°C加温食塩水浸漬及び屋外暴露3箇月後のいずれにおいても塗り重ね間隔7日のものに一部層間破断が認められたが、3日のものは良好な付着状態であった。このことから、タールエポキシガラスフレークライニング(TEF)の塗り重ね間隔はmax. 3日と思われる。

(2) ライニング皮膜への機能塗装材料の塗り重ね間隔と付着性の関係

(a) 防食仕様No.6(PEM)と機能塗装材料との付着性

PE-T/Sの場合はいずれの試験後においても塗り重ね間隔15日以降のものに一部層間破断が認められ、付着性が劣った。このため、PE-T/Sの塗り重ね間隔はmax. 7日程度と思われる。

U-T/Sの場合はいずれの塗り重ね間隔においても層間破断が認められた。このため、U-T/Sを塗り重ねる場合は問題があると思われる。

V-T/Sの場合は40°C加温食塩水浸漬及び屋外暴露3箇月後において、塗り重ね間隔7日以降のものに一部層間破断が認められた。このことから、PEM皮膜とV-T/Sとの塗り重ね間隔はmax. 3日程度と思われる。

CR-A/Fの場合は40°C加温食塩水浸漬3箇月後の結果ではいずれの塗り重ね間隔においても

CR・A/F の凝集破断であり、良好な層間付着性であった。

この場合の塗り重ね間隔は 30 日程度であれば問題はないと思われる。ただし CR・A/F 塗装後長期暴露はさける必要がある。

(b) 防食仕様 No.7 (PEF) と機能塗装材料との付着性

PE・T/S, U・T/S, V・T/S および CR・A/F は 40 ℃ 加温食塩水浸漬及び屋外暴露 3箇月後において、いずれの塗り重ね間隔でも層間破断を生じた。このため PEF 皮膜への各機能塗装材料の塗り重ねは問題があり、対策が必要である。

(c) 防食仕様 No.8 (ESF) と機能塗装材料との付着性

PE・T/S 及び U・T/S は 40 ℃ 加温食塩水浸漬、及び屋外暴露 3箇月後のいずれにおいても塗り重ね間隔に関係なく層間破断が認められ、塗り重ねに問題があると思われる。

V・T/S の場合は塗り重ね間隔 3 日における 40 ℃ 加温食塩水浸漬 3箇月後の付着性では良好であったが、屋外暴露 3箇月後では層間破断が認められ、付着性に問題があった。このため、V・T/S の塗り重ねは適用環境状態を考慮して塗り重ね間隔を決めることが望ましいと思われる。

CR・A/F の場合は 40 ℃ 加温食塩水浸漬 3箇月後の付着状態がいずれの塗り重ね間隔においても層間破断であり、付着性に問題があると思われる。

(d) 防食仕様 No.M2 (TEF) と機能塗装材料との付着性

TEF 皮膜に PE・T/S, U・T/S, V・T/S 及び CR・A/F の各機能塗装材料の塗り重ねにおいてはブリード防止のためにシーラコートをはさんだ。このため、TEF 皮膜とシーラコートとの付着性を見る形となった。その結果は 40 ℃ 加温食塩水浸漬及び屋外暴露 3箇月後とも TEF 皮膜とシーラコートとの層間破断であった。このためシーラコートの選定あるいは塗装前処理等の対策が必要と思われる。

5.5.4 ライニングの塗り重ねに関する検討のまとめ

同種ライニング材料及びライニング皮膜と機能塗装材料をそれぞれ一定期間経過後に塗り重ねた試験板について、屋外暴露または 40 ℃ 加温食塩水浸漬 3箇月後に付着性を調査した。それらの結果から皮膜破断状況をまとめて表 5.9 及び表 5.10 に示す。なお、今回の検討においては、塗り重ね間隔が最短でも 3 日であり、また、塗り重ね塗装時の前処理はウェス拭き程度であったため、特にライニング皮膜面への機能塗装材料の塗り重ねにおいて、層間破断が多く、不本意な結果となっている。従って、塗り重ね間隔を 1 日程度とし、さらに適当な塗装前処理を行うことによって、塗り重ね適性が見い出されるかもしれない。また、タールエボキシガラスフレークリайн (TEF) 皮膜面への機能塗装材料の塗り重ねについても、適当なシーラコートの選定により、塗り重ねの可能性はあるものと思われる。

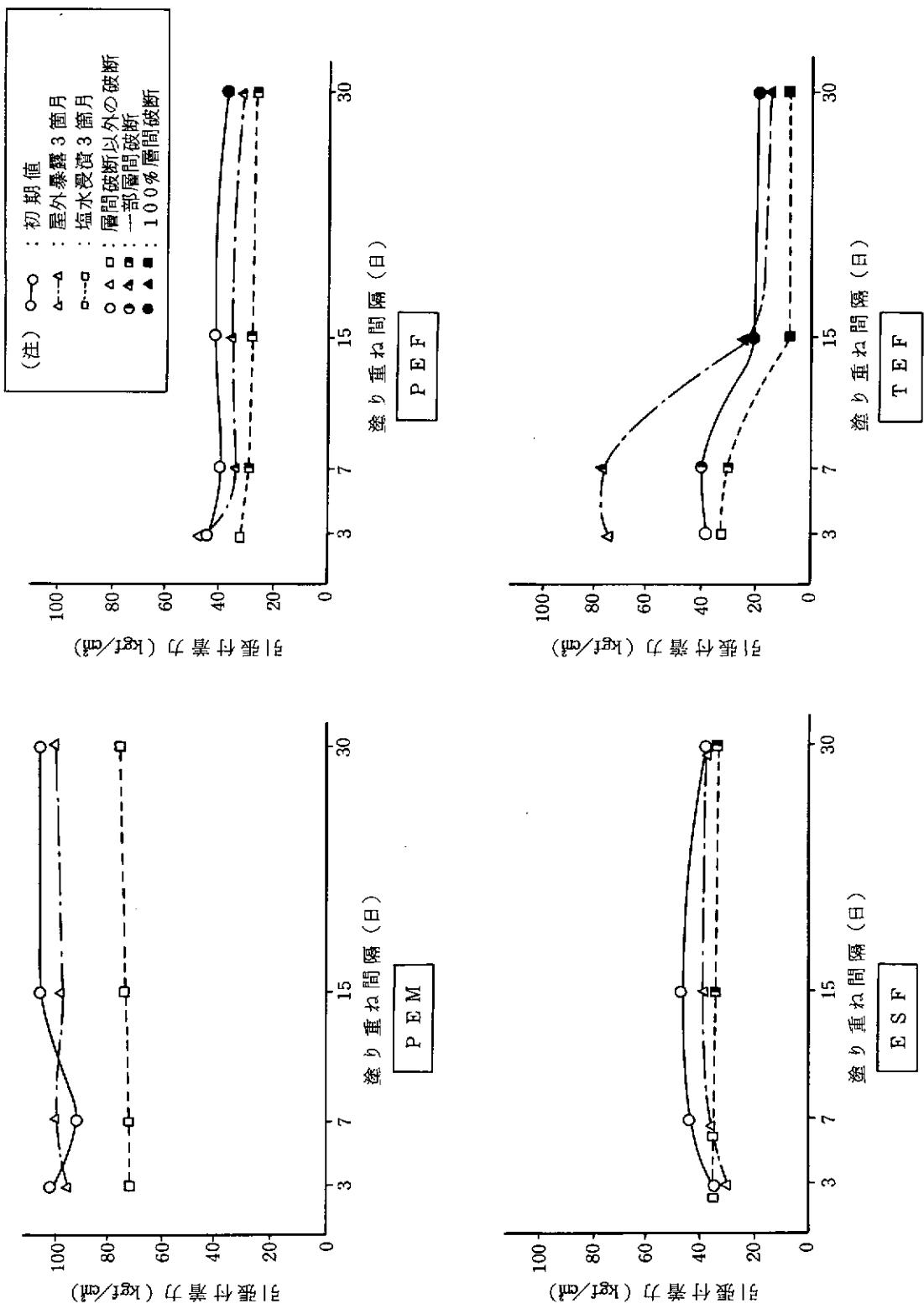


図 5.10 同種ライニングの塗り重ね間隔と付着性との関係

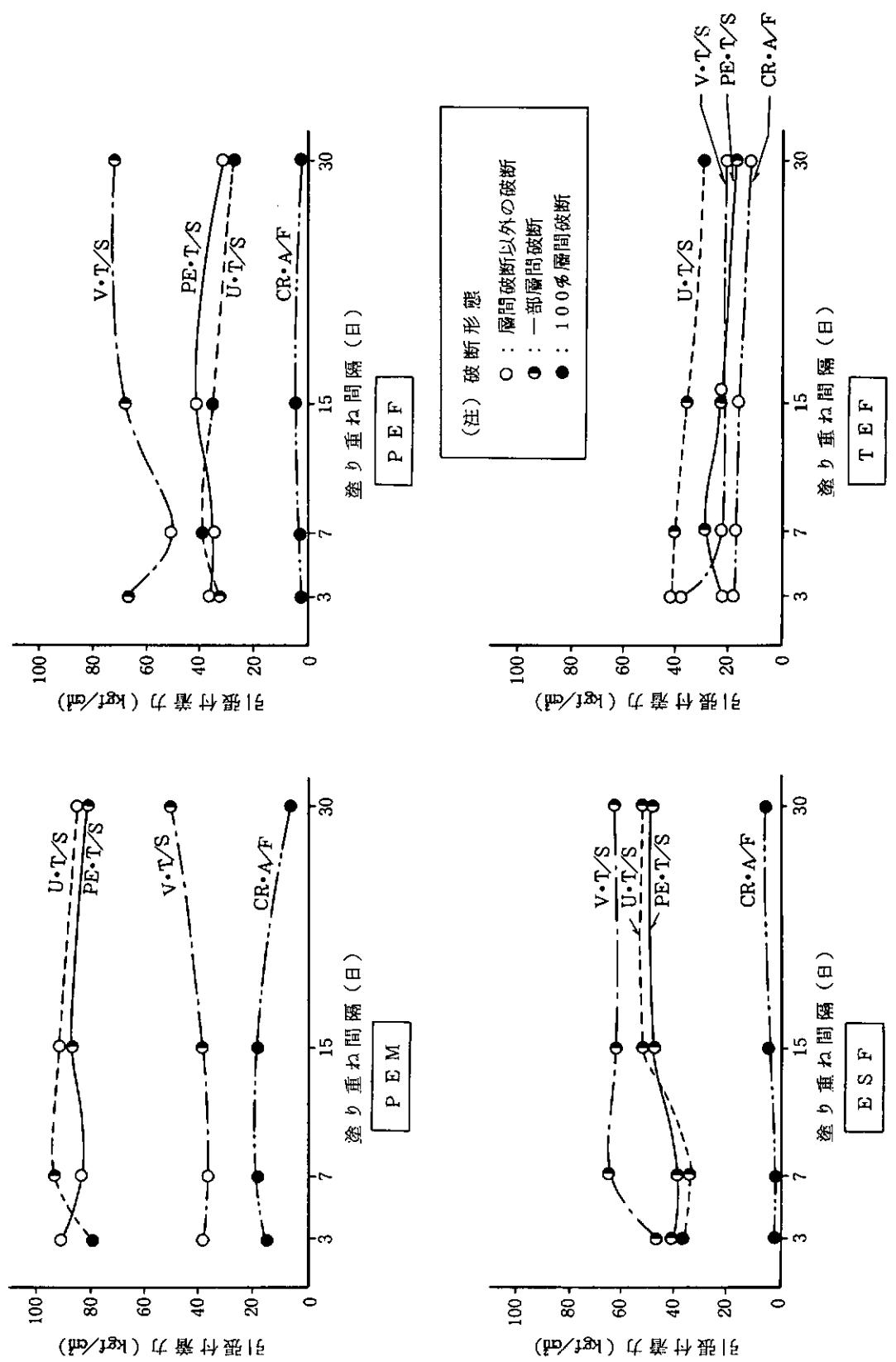


図 5.11 ライニングと機能塗装材料との塗り重ね間隔と付着性との関係(試験板作成初期)

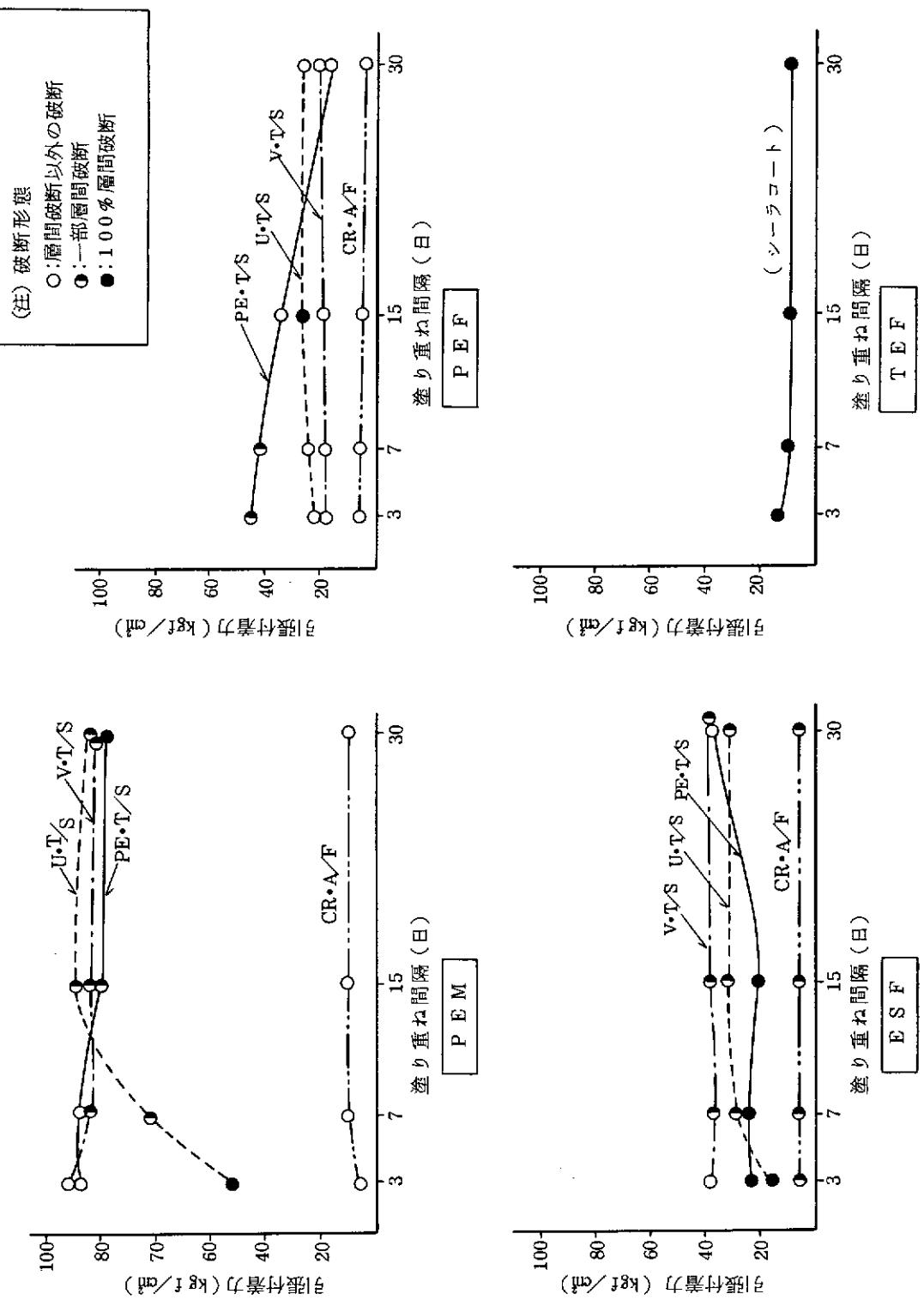


図5.12 ライニング材と機能塗装材との塗り重ね性と付着性との関係(40℃, 3%食塩水浸漬 3箇月後)

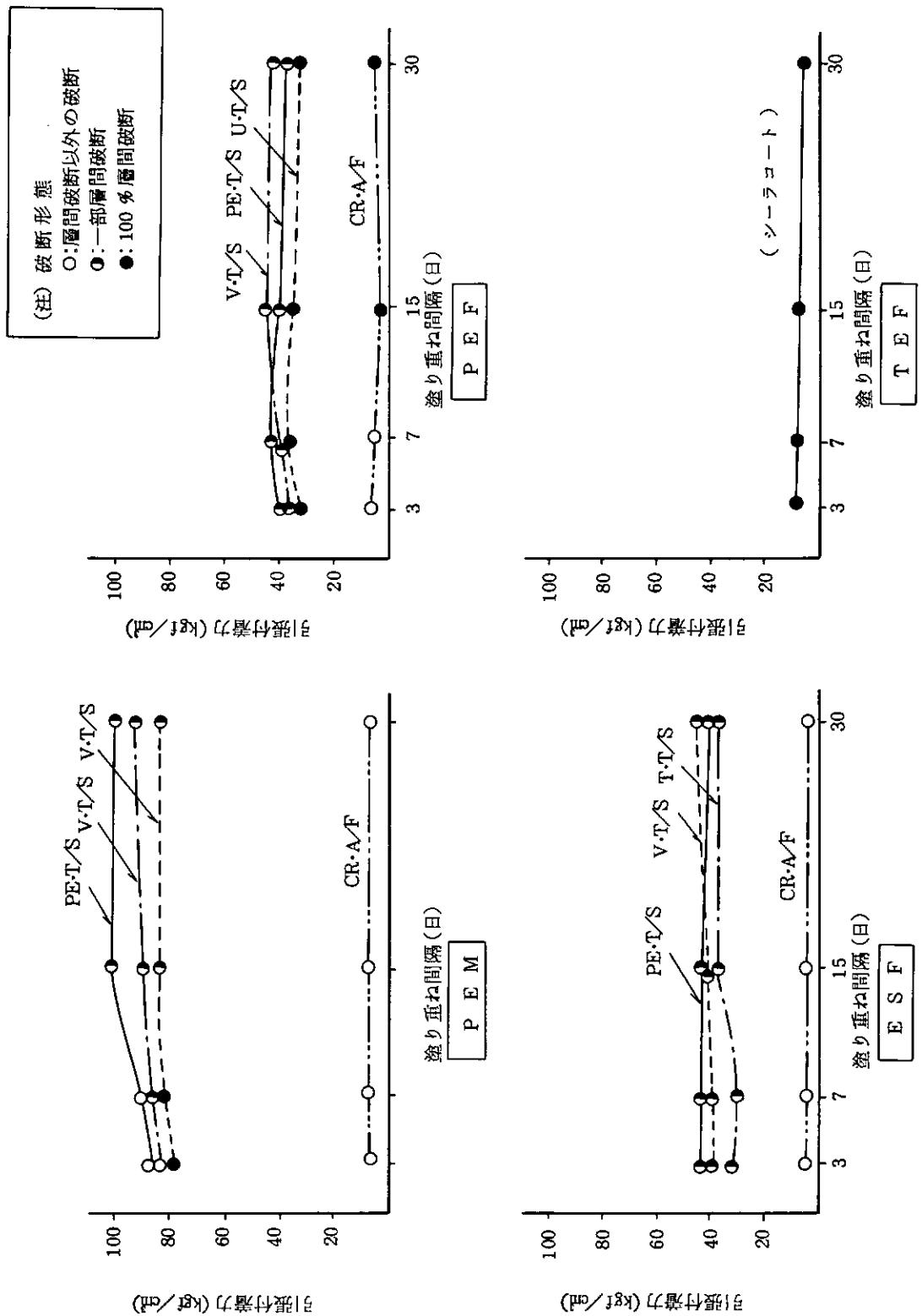


図 5.13 ライニング材と機能塗装材との塗り重ね間隔と付着性との関係(屋外暴露 3箇月後)

表5.9 同種ライニングの塗り重ね間隔と皮膜破断形態

ライニング	塗り重ね間隔	3日	7日	15日	30日
P E M		○	○	○	○
P E F		○	▨	▨	▨
E S F		○	○	▨	▨
T E F		○	▨	▨	▨

(注)

- : 層間破断以外の破断
- ▨ : 1部層間破断
- ▨ : 100%層間破断

表5.10 ライニングと機能塗装材料との塗り重ね間隔と皮膜破断形態

ライニング	塗り重ね間隔	3日	7日	15日	30日	備考
P E M	PE・T/S	○	○	▨	▨	
	U・T/S	▨	▨	▨	▨	
	V・T/S	○	▨	▨	▨	
	CR・A/F	○	○	○	○	A/F塗装後長期暴露はさけること。
P E F	PE・T/S	▨	▨	▨	▨	
	U・T/S	▨	▨	▨	▨	
	V・T/S	▨	▨	▨	▨	
	CR・A/F	▨	▨	▨	▨	
E S F	PE・T/S	▨	▨	▨	▨	
	U・T/S	▨	▨	▨	▨	
	V・T/S	▨	▨	▨	▨	
	CR・A/F	▨	▨	▨	▨	
(注)シーラコートあり	PE・T/S					シーラコートの選定が重要であり、検討を要する。
	U・T/S					
	V・T/S					
	CR・A/F					

5.6 まとめ

供試ライニング材料4種に関する施工法の調査検討において、現在までに判明した内容についてまとめ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(PEM)

ショップブライミング方式の適用性を有し、特にS/Pとしてはノンジンクプライマー(NZP)が優れている。しかし、裸鋼材に施工する場合にはSPSS Sd3程度のプラスト処理が必要である。また、本ライニング材料を常温環境条件下で塗り重ねる場合、塗り重ね間隔については特に制約はなく、30日以内であればウェス拭き程度で問題はない。さらに、本ライニング皮膜面に一般塗料を塗り重ねる場合には塗料の種類によってその塗り重ね間隔に問題を生じる場合があり、PE系では7日以内、ビニル(V)系では3日以内、CR系A/FではCR系A/F塗装後長期暴露しなければ30日以内は付着性に問題はないといえる。しかし、ウレタン系(U)を上塗塗装する場合、何らかの前処理が必要である。なお、本ライニング材料は5°Cの温度条件でも12時間程度で指触乾燥するが、皮膜硬さは高くならず、皮膜硬さを高くするには環境温度を20°C程度に上げる必要がある。

(2) エポキシガラスフレークリайнイング(PEF)

ショップブライミング方式の適用性はなく、プラスト処理によってS/P塗膜をほとんど除去する必要がある。また、裸鋼材に施工する場合においても入念なプラスト処理(Sd3程度)を行い、さらに付着性を高めるため粗さが必要である。本ライニング材料を塗り重ねる場合には3日以内であればウェス拭き程度の前処理でよい。

しかし、一般塗料を塗り重ねる場合には、いかなる塗料でも塗り重ね間隔3日以上であればウェス拭き程度の前処理では層間付着性に問題が生じる。なお、本ライニング材料は10°Cの温度条件では指触乾燥に18時間必要であるが、指触乾燥後7日程度で皮膜はかなり硬くなる。

(3) ポリエステルガラスフレークリайнイング(ESF)

ショップブライミング方式として適用可能なS/Pは有機ジンクプライマー(OZP)のみである。一方、裸鋼材に施工する場合には入念なプラスト処理を行い、表面粗さも必要である。また、本ライニング材料を塗り重ねる場合、7日以内であればウェス拭き程度の前処理でよい。しかし、一般塗料を塗り重ねる場合、塗り重ねる間隔3日以上でもウェス拭き程度ではいかなる上塗塗料にも付着性に問題がある。本ライニング材料は10°Cの温度条件でも指触乾燥に36時間も要し、5°Cでは4日近くも必要である。しかし、指触乾燥後における皮膜は低温環境条件下でも非常に硬くなっている。

(4) タールエポキシガラスフレークリайнイング(TEF)

本ライニング材料は没水部への適用が多いことから判断するとショップブライミング方式の適用性はないといえる。さらに裸鋼材に施工する場合にはプラスト処理が好ましく、その処理グレードは高い方が良い。また、本ライニング材料を塗り重ねる場合、塗り重ね間隔3日以内であればウェス拭き程度の前処理でよい。しかし、一般塗料を上塗塗装する場合、付着性を高めるため、シーラコートを中塗りするが、そのシーラコートの選択が重要であり、現在までの検討結果では最適なシーラコートは見い出せなかつた。

本ライニング材料は20°Cの温度条件下では6時間で指触乾燥するが、10°Cになると指触乾燥に30時間も必要となる。また、本ライニング材料の施工後7日間程度では温度に関係なく、皮膜硬さは高くならず鉛筆硬度3B以下である。

なお、これらの結果をまとめて表5.11に示す。

表 5.11 ライニング材料の施工性に関する調査検討結果のまとめ

供試ライニング 材料(略号)	施工法 検討項目	ショットブライミング方式 の適用性	裸鋼材に対する 素地調整法	塗り重ね間隔(日数) ※1)				皮膜硬化特性 ※2)									
				同種 ライニング	機能塗装材料	PE-T/S	U-T/S	V-T/S	CR-A/F	5°C	10°C	20°C	30°C	5°C	10°C	20°C	30°C
Ⓐ エポキシモルタルライニング (PEM)		有 特にノンジンクプライマーが良好	S P S S Sd3	30日	7日	間隔3日以上では不可	3日	30日 長期曝露は不可		12	8	4	2	5B	HB	4H	5H
Ⓑ エポキシガラスフレーカーライニング (PEF)		無	S P S S Sd3 (粗さも必要)		3日	間隔3日以上では不可				28	18	9	5	H	2H	4H	5H
Ⓒ ポリエステルガラスフレーカーライニング (ESF)		有 み	S P S S Sd3 (粗さも必要)		7日	間隔3日以上では不可				約4日	36	8	3	5H	6H	6H	6H
Ⓓ タールエオキシガラスフレーカーライニング (TEF)		無	S P S S Sd3	3日	適性シーラコートの選択が必要				約4日	30	6	4	5B	5B	4B	3B	

- (注) 1) ※1) 塗り重ね時の表面処理はウェス拭きのみ
 2) ※2) 7日の皮膜硬さは同温度条件に保持した時の硬さ、但し5B～6Hの範囲で調査した結果。

あとがき

本研究の3年目である57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) 重防食材料の調査

8種の防食仕様を適用した試験板に対し、屋外暴露、天然海水浸漬及び加温海水浸漬などの各種試験を開始して2年7箇月が経過した。その間、天然海水浸漬1年6箇月及び2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、仕様皮膜の中には経時とともに機械的諸特性がかなり大きく変化するものが見られた。しかし、いずれの仕様皮膜とも暴露や浸漬試験において発さび、われなどの皮膜欠陥は見られなかつたが、暴露試験においてはチヨーキングが著しく、また、浸漬試験においては一部の皮膜にふくれや変色あるいは表面層の溶解など仕様皮膜の表面層からの劣化が進行している仕様も見られた。

(2) 海洋環境下での構造物の防食性試験

浮体式試験体(横幅1,500mm、縦幅5,000mm、高さ4,000mm)2基を接続した鋼管(外径約318mm)に取り付けたストレインゲージにより計測した最大のひずみ量は200 μ (ひずみ率0.02%)であった。また、試験体に取り付けた塗膜測定用試験片について、1箇年経過時のインピーダンス測定の結果、防食仕様No.8(E SF)の皮膜のtan δ が最も大きく変化したが外観的な異常は見られず、今後の詳細な調査が必要である。さらに、これらの試験体及び試験片に対する生物付着状況を調査した結果、ふじっぽ、からす貝、セルプラなどが多く、その付着厚さは60~90mmであった。なお、今後の参考のため、長崎海域(試験体設置近海)における気温、日照時間、雨量、風速、風向など気象・海象条件についても計測した。

(3) 防食材料の寿命推定法に関する検討

防食材料の劣化促進試験としては、56年度の浸漬試験液の種類と温度及び溶存酸素に、57年度は紫外線照射条件を加え、劣化促進効果の差異を比較した。その結果、試験前後における防食材料の等価並列抵抗値(R_x)や容量値(C_x)の変化率を調べることにより、ある種の仕様皮膜に対しては促進効果を有することが判った。また、防食材料の欠陥部からの素地金属の腐食への影響に関しては、実施した実験の範囲で考察すると、下地処理及び防食仕様の要因効果が大きく、欠陥の大きさや欠陥の数は大きな影響を及ぼさないという結果が得られた。

(4) メインテナンス方法の調査検討

浮体構造物及び上部構造物に適用した各種防食仕様については皮膜欠陥は認められていない。水中において補修塗装した試験板に対する1箇年経過後の調査においても特に異常は認められない。また、大気暴露試験においてもさび、われ、ふくれではなく、付着力試験結果でも経時変化はなかった。インピーダンス測定結果でも経時変化は見られなかった。さらに、無塗装部の補修塗膜も良好であった。なお、3種の水中硬化型塗料に関して、気中や水中における硬化性、耐電気防食性、及び耐衝撃性などの諸特性とともに、施工性について検討し、今後追跡調査を行ってその適用性を評価する予定である。

(5) 防施工法の調査検討

エポキシモルタルライニング(PEM)はショップブライミング方式の適用性を有しており、特にノンジンクブライマー(NZP)が好ましい。しかし裸鋼材に施工する場合にはSPSS Sd3のプラス処理が必要である。また、同種材料を塗り重ねる場合、塗装間隔30日以内であればウェス拭き程度の前処理で良いが、一般塗料を塗り重ねる場合には、塗料の種類によって塗り重ね間隔に制約があるため注意を要する。硬化特性は比較的良好である。しかし、ある程度の皮膜硬さを得るには20℃程度の環境が好ましい。エポキシガラスフレークライニング(PEF)はショップブライミング方式の適用性はなく、裸鋼材の場合

と同様、高度なプラスト処理が必要である。また、同種ライニング材料の塗り重ね間隔は3日以内であり、一般塗料の塗り重ねについては再度検討をする。低温時の硬化にはやや時間を要するが、指触乾燥後7日程度でかなり硬い皮膜となる。ポリエスチルガラスフレークリайнイング(ESF)は有機ジンクプライマー(OZP)のみショッププライミング方式の適用性を有するが、他のS/Pや裸鋼材の場合、高度のプラスト処理が必要である。同種ライニング材料の塗り重ね間隔は7日まで可能であるが、一般塗料の塗り重ねについては再検討をする。低温時の硬化は非常に長時間をするが、指触乾燥でもかなり硬い皮膜となる。タルエボキンガラスフレークリайнイング(TEF)はS/Pの有無に関係なく、最高のプラスト処理が必要である。また、同種ライニング材料の塗り重ね間隔は3日以内であり、一般塗料の塗り重ねについては適性シーラコートの選択が必要である。本ライニング材料も低温時の硬化に長時間を要し、しかも、高温環境下においても皮膜は比較的軟らかい。

なお、本研究の56年度の研究資料、第347号にも述べたが、本研究において選定した各種防食仕様に対し、採用した防食材料はいずれも代表的な市販製品ではあるが、これらと同系統の防食材料は他にも非常に多く、しかも、すでにかなりの使用実績があるものも多い。本報告書に述べる研究データは、採用検討した各種供試防食材料の特性とその傾向であり、本研究で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や傾向を有するとは限らない。従って、防食材料の適用にあたっては、ユーザー・や材料メーカーにおいて、この種の検討を行い、少しでも多くのデータが公開されることを期待している。