

本調査研究はモーターボート競走公益資金による
(財)日本船舶振興会の補助金を受けて実施したものである

第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59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58年度補助事業「海洋構造物の基礎的研究」の一部として、日本造船研究協会第182研究部会において実施した「海洋構造物の重防食に関する研究」の成果をとりまとめたものである。

第182研究部会委員名簿(敬称略・五十音順)

部会長	南 義夫			
幹事	在田正義 (船舶技術研究所)	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)	大野曾一 (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)	蔵野亘弘 (関西ペイント)		
	佐野俊一 (日本油脂)	嶋谷四郎 (三井造船)		
	瀬尾正雄	平井靖男 (日立造船)		
	広田正義 (中国塗料)	深迫紀夫 (川崎重工業)		
	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)	浅井彰 (新日本製鉄)	
		石田富之輔 (日本ペイント)	小川和彦 (カナエ塗料)	
		鐘ヶ江官朗 (日立造船)	神田三 (神東塗料)	
久野忠一 (川崎製鉄)		小島喜七郎 (住友重機械工業)		
堺由輝 (川崎重工業)		佐武二郎 (住友金属工業)		
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)		鈴木照雄 (免田化学工業)		
高橋堅太郎 (日本ビストンリング)		高橋弘孝 (日本アマコート)		
堤弘 (船舶織装品研究所)		武津邦雄 (神戸ペイント)		
平山昭邦 (ヘンベル塗料)		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)	植田健二 (三菱重工業)	
		大桑洋 (神東塗料)	岡本信昭 (関西ペイント)	
		岡本一 (三井造船)	織田凌司 (三井造船)	
	加門稔邦 (新日鉄)	清田正明 (中川防蝕工業)		
	小熊文雄 (中川防蝕工業)	柴田昭男 (三菱重工業)		
	杉山正佳 (日立造船)	高橋和敏 (中国塗料)		
	豊田絢一郎 (関西ペイント)	中島和昭 (東亜ペイント)		
	長浜修 (川崎重工業)	中村辰雄 (日本防蝕工業)		
	西垣丈志 (川崎重工業)	松田昭三 (川崎重工業)		
	松本直三 (神戸ペイント)	森田赴夫 (日本ペイント)		
	武藤博 (石川島播磨重工業)	吉田耕太郎 (新日鉄)		

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	21
2.1 防食性試験の目的	21
2.2 防食性試験	21
2.2.1 浮体式試験体の概要	21
2.2.2 気象, 海象の調査	22
2.2.3 防食性調査	22
2.3 浮体のひずみ測定	31
2.4 ま と め	47
3. 防食材料の寿命推定法に関する検討	48
3.1 促進試験と塗膜劣化判定法	48
3.1.1 目 的	48
3.1.2 実 験 方 法	48
3.1.3 結果と考察	49
3.1.4 ま と め	51
3.2 防食性評価技術に関する検討	58
3.2.1 目 的	58
3.2.2 実 験 方 法	58
3.2.3 実 験 結 果	59
3.2.4 実験結果の考察	61
3.2.5 ま と め	63
4. メンテナンス方法及び施工法の調査検討	99
4.1 メンテナンス方法の調査検討	99
4.1.1 目 的	99
4.1.2 浮体構造物の調査	99
4.1.3 浮体構造物のメンテナンス	101
4.1.4 上部構造物の調査	105
4.1.5 水中メンテナンス試験板の調査	105
4.1.6 洋上大気暴露試験板	107
4.1.7 水中硬化型塗料によるメンテナンス	116
4.1.8 水中補修材料の長期防食性試験	122
4.1.9 調査試験結果について	127
4.1.10 ま と め	130

4.2 防食施工法の調査検討	132
4.2.1 調査検討の目的	132
4.2.2 供試ライニング材料	132
4.2.3 ライニング材料の性状特性に関する調査検討	132
4.2.4 ライニング施工条件に関する検討	140
4.2.5 ま と め	142
あ と が き	155

ま え が き

過酷な腐食環境におかれ、しかも、多種多様にわたる海洋鋼構造物の防食対策に関しては、構造物の耐用寿命、メンテナンスの難易、さらに経済性を考慮し、最適な材料で最適な仕様を組み、最適な方法で施工して、選択した材料の防食機能を最大限に発揮させることが望ましい。そのためには、まず、各種防食材料の海洋環境下における機能や特性を認識し、さらにそれらの経済的な変化や挙動を事前に十分把握しておく必要がある。

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4年目である58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2.5箇年及び3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

56年度に長崎海域に設置した浮体式試験体に対して、2年経過後の防食性能を調査するとともに、試験体接続管(5本)について、そのひずみ量を測定して繰り返し応力を求めた。また、適用した被覆材の耐久性や試験体の動揺の関係を把握するため、試験体設置海域における気象・海象データの解析を行った。

(3) 防食材料の寿命推定法に関する検討

防食材料の性能を評価する方法として、イオン電極法による塗膜のイオン透過性について検討した。

また、極めて短時間に性能を評価する方法として、熱冷衝撃実験を行い、この実験前後の塗膜劣化判定法として、インピーダンス測定、付着力測定及び曲げ試験を実施した。さらに、過去における実験データとの相関性についても検討した。

(4) メンテナンス方法及び防食施工法の調査検討

メンテナンス方法については、55年度に設置した浮体構造物に対し、水中清掃と水中塗装を行った。また、別途水中補修塗装した試験板の2箇年経過時における調査も行った。さらに洋上大気暴露試験板について行った無塗装ゾーンの補修試験についても18箇月経過後の調査を行った。

防食施工法については、ライニング材を主体に、温度条件と粘度の関係やシンナー希釈率と粘度の関係を調査するとともに、塗装機器による施工条件と膜厚分布やパターン幅の関係、さらにシンナー希釈率の変化による施工性やタレ限界膜厚などについて検討した。

なお、参考のため、本研究における各調査検討項目について、5箇年の概要を下表に示す。

「海洋構造物の重防食に関する研究」5箇年計画の概要スケジュール

調査検討項目		研究実施年度		55年度	56年度	57年度	58年度 〔本年度〕	59年度	(備考)	
1. 重防食材料の調査	1.1 非金属防食材料の調査 (1)防食材料の調査 (2)機械強度と防食性	アンケート調査	アンケート調査	アンケート調査	追跡調査	追跡調査	追跡調査	(追跡調査と解析)		
		実験開始	実験開始	追跡調査						
	1.2 金属防食材料の調査	アンケート調査	アンケート調査							
2. 海洋環境下での構造物の防食性試験	1.3 数種防食法の併用効果の調査	試験体設計	試験体設計	試験体製作・設置	追跡試験	追跡試験	追跡試験	(追跡試験)	継続調査の予定	
		設置場所設定	設置場所設定							
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	実験計画・実験開始	実験計画・実験開始	実験	実験	実験	実験	(実験)		
4. メインテナンス方法の調査検討	3.2 防食性評価技術に関する検討	資料調査	資料調査							
		浮体構造物設置	浮体構造物設置	試験体増設	調査・観察	調査・観察	調査・観察	(調査・観察)		
5. 防食施工法の調査検討	3. 評価法の調査	資料調査	資料調査	水中塗基法	実験	実験	実験	(実験)		
				実験	追跡試験					
					実験	実験	実験	実験	(追加実験)	
									(実験)	
6. 海洋構造物の腐食防食状況の調査	5.1 施工前処理の検討 5.2 硬化と塗り重ね間隔の検討 5.3 施工性と機器の検討 5.4 施工マニュアルの作成	沖縄海洋博公園「アクアポリス」の調査	沖縄海洋博公園「アクアポリス」の調査							
		完了	完了	完了	完了	完了	完了			
		研究資料第341号	研究資料第347号	研究資料第357号	研究資料	研究資料	研究資料	研究資料		
(研究報告)										

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、各防食仕様皮膜の機械的な強度特性や劣化度ならびに防食性能など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。供試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)に示すとおりであり、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、合計8種の防食仕様を設定した。これらの防食仕様を表1.1に示す。

なお、これら8種の防食仕様は、本研究の開始時(昭和55年度)に設定したものであり、本研究部会の標準防食仕様として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

防食仕様皮膜に対する機械的強度試験及び防食性試験の種類やその試験方法は、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試験方法の概要を説明する。

(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いて、皮膜にきれつが発生するまでのたわみ量(mm)と38mmたわみ時における皮膜のはく離面積(cm^2)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鋼材面との付着性を評価する目的で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、高さ2.4mから重さ650gの鋼球を落下させ、撃心部の皮膜のはく離面積(cm^2)を調べる試験である。なお、本試験で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

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試験であり、JIS A 6909に準拠した引張付着力試験である。すなわち、円筒形試験ジグ(直径25mm)を皮膜に接着し、皮膜面に対して垂直に引張って破断荷重を測定し、引張付着の破断強さ(kgf/cm^2)を求める方法である。

(4) 硬さ試験

本試験は皮膜の硬さを評価する目的で実施するものであるが、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(塗装系仕様皮膜)に対してはJIS K 5400に準拠した鉛筆硬度試験を行い、一方、膜厚が1.5mm以上の皮膜(ライニング系仕様皮膜)に対してはASTM D 2583に準拠したパーコル硬さ試験を行った。

(5) 引張試験

皮膜の引張強さや伸びを評価する試験であり、各仕様皮膜の単離膜(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対してはJIS K 6734を、ライニング系仕様の皮膜に対してはJIS K 7113をそれぞれ準用した試験である。すなわち、各仕様の単離膜からダンベル状に切出加工して引張試

を行い、引張破断荷重から引張強さ (kg^f/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目的で実施する試験である。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」を製作して試験を実施している。

なお、この試験装置を用いて、今年度実施した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 応力付加条件（ひずみ量） : 10 kg^f/mm^2 (0.05%)
15 kg^f/mm^2 (0.072%) 及び
20 kg^f/mm^2 (0.092%)
- 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℃に加温した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

58年度においては、55年度に作製して天然海水浸漬試験に供した試験板に対して、25箇年及び3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、3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。

防食仕様165の皮膜のきれつ発生までのたわみ量は25箇年経過時において、一時的にやや高くなったが、3箇年経過時には少し減少した。他の塗装系防食仕様の各皮膜については、3箇年経過時において、きれつ発生までのたわみ量はわずかに減少しているが、大きな変動はないといえる。一方、38mmたわみ時のはく離面積については、防食仕様162の皮膜は経時とともに増加の傾向を示し、防食仕様164の皮膜では減少の傾向が見られた。

また、ライニング系仕様については、防食仕様168の皮膜ではきれつ発生までのたわみ量は経時とともにわずかに減少し、38mmたわみ時のはく離面積は増加する傾向にある。なお、レジンモルタル系の防食仕様166の皮膜はきれつ発生までのたわみ量は初期値とほぼ同程度であるが、海水浸漬後において38mmたわみ時のはく離面積は見られない。

(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、直接衝撃試験では各仕様皮膜ともに、3箇年経過まで、割れや、はく離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。

塗装系仕様のうち、防食仕様№2の皮膜は経時とともに離面積が増加しているが、他の塗装系仕様皮膜では、一度は離面積がわずかに増加したが、3箇年経過時には減少し、初期とほぼ同程度になった。

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、間接衝撃においても皮膜は離れは見られなかった。

(3) 附着特性

引張付着力試験の結果を図1.3(1)~(2)に示す。

塗装系防食仕様の中で、無機シンク塗料(I Z)を下塗りした防食仕様№1、№2及び№5の皮膜の引張付着力試験の結果では、その引張破断形態はすべてI Z塗膜の凝集破断であり、皮膜の真の付着力ではないが、破断強さは経時とともにわずかに低下する傾向にある。一方、I Z塗膜のない仕様№3及び№4の皮膜では、引張破断形態はいずれも皮膜の凝集破断であり、破断強さは経時において多少の変動があるが、いずれも初期の破断強さに比べ減少している。

また、ライニング系防食仕様のうち、仕様№6の皮膜は2.5箇年経過時において破断強さが大きくなり、3箇年経過時においても同程度の破断強さであった。しかし、仕様№7の皮膜では2.5箇年経過時まで、経時とともに破断強さが増加していたが、3箇年経過時において、大きな低下が見られ、本仕様皮膜については今後の傾向に注目したい。また、仕様№8の皮膜は他の2種のライニング系仕様皮膜に比べ、初期から引張破断強さが小さく、経時後においても多少の変動は見られるが、3箇年経過時においても破断強さ約 $30 \text{ kg}^f / \text{cm}^2$ で最も小さい値である。なお、ライニング仕様の各皮膜とも、引張付着力試験においてその破断形態はすべて皮膜の凝集破断であった。

(4) 皮膜の硬さ特性

皮膜の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(T E)を上塗りした仕様№2及び№4の皮膜硬さは初期から3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種の塗装系仕様皮膜の硬さは、経時によってごくわずかに変動が見られるが、特に注目すべき程度の変化ではない。

一方、ライニング系仕様の中で、仕様№6及び№8の皮膜硬さは経時によって多少の変動は見られるが、3箇年経過時の皮膜硬さは、初期に比べ、わずかに低下している。しかし、仕様№7の皮膜硬さは初期から最も低く、しかも経時とともに低下する傾向にある。

(5) 単離膜の引張特性

単離膜の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№3及び№4の2種の皮膜に対して調査しているが、これら両仕様皮膜とも、経時によって多少の変動は見られるが、初期に比べ、3箇年経過時の引張強さは大きくなっている。なお、エポキシ系(P E)仕様№3の皮膜とタールエポキシ系(T E)仕様№4の皮膜では、前者が後者より引張強さにおいて、約 $100 \text{ kg}^f / \text{cm}^2$ 大きく、経時的にもよく似た傾向を示している。

ライニング系仕様の中で、仕様№6の皮膜は初期から引張強さが小さく、海水浸漬することによってさらに低下するが、その後の経時変化はほとんど見られない。しかし、仕様№8の皮膜では、初期の引張強さは3種のライニング系皮膜の中で最も大きいですが、2箇年経過時まで、経時とともにかなり低下し、その後にはあまり低下していない。また、仕様№7の皮膜の引張強さは、経時において多少の変動は見られるが、初期に比べわずかに大きくなっている。

(6) 繰り返し応力付加特性

現在まで行ってきた繰り返し応力付加試験の状況をまとめて表1.2に示す。この表にも示すように、本研究開始時においては、応力付加条件として $10 \text{ kg}^f / \text{mm}^2$ (ひずみ量0.05%)で、 7.10×10^6 回(約2箇年間継続)の繰り返し試験を実施したが各仕様試験板ともに、皮膜には全く異常は認められず、この程

度の応力付加には十分耐えられることが判明した。

今年になって、応力付加条件を $15 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ (ひずみ量 0.072%) に高くしたところ、繰り返し数 1.02×10^5 回の時の観察において、防食仕様 166 の皮膜に 20 mm 長さの割れが発生していた。さらに同じ条件で、繰り返し数 1.01×10^6 回まで継続して試験を行ったが、仕様 166 の皮膜の割れはそのままの状態を維持されていた。なお、他の防食仕様を適用した試験板皮膜には異常は認められなかった。

また、応力付加条件を $20 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ (ひずみ量 0.092%) と高くして同一試験板に対して継続試験を行ったところ、繰り返し数が 1.10×10^5 回になった時の観察において、防食仕様 166 の試験板は素材から破断していた。他の防食仕様の試験板には異常が認められなかった。さらに、同条件で試験を継続し、繰り返し数 8.26×10^5 回になった時の観察では、防食仕様 168 の試験板皮膜に約 20 mm 長さの割れ発生が見られた。また、同条件で繰り返し数 1.00×10^6 回まで実施したが、その時の観察では仕様 165 の試験板皮膜に約 10 mm の割れ発生が認められた。その他の仕様の試験板には異常はなかった。

(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℃ 加温人工海水浸漬試験を実施中であり、これら各試験の 3 箇年経過後における試験板の観察結果を表 1.3 に示す。

いずれの試験においても、また各仕様皮膜とも割れ、はく離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。ただし、屋外暴露試験では、多少の差はあるが、すべての仕様皮膜にチョーキングが見られ、中でもエポキシ系 (PE) の仕様 163、166 及び 167 の 3 種の仕様皮膜はかなり著しいチョーキングが見られた。また、天然海水浸漬試験において、防食仕様 165 の皮膜に 4 F~6 F のふくれ発生が見られ、中にはふくれが破れているものもあった。さらに、加温人工海水浸漬試験においても、防食仕様 165 の皮膜に 8 F 程度のふくれが見られ、これらのふくれはいずれも PE、A/C と上塗 V の層間から発生していた。その他の各仕様皮膜はいずれも異常なく、防食性能は良好である。ただし、防食仕様 168 の皮膜の表面層の溶解がかなり進んでおり、加温人工海水浸漬試験では著しかった。

なお、浸漬試験用筏を利用して行っている天然海水浸漬試験では皮膜表面に多くの海棲生物が付着し、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して調査したが、いずれの皮膜とも付着生物による皮膜損傷 (皮膜へのフジツボなどのくい込みなど) は見られなかった。

1.5 ま と め

防食仕様 8 種の皮膜に対して実施した各種機械的強度試験や防食性試験の結果から、3 箇年経過時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 1.4 に示す。

(1) 防食仕様 161

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大きな変化はないといえるが、38 mm たわみ時のはく離面積は 1.5 箇年経時までわずかに減少するが、その後はほぼ一定の値に落ちついている。また引張付着力試験では、破断形態は経時に関係なくすべて I Z 塗膜の凝集破断であり、その破断強さは初期から 1 箇年経過時までに半減し、それ以降はほぼ同程度の値である。なお、防食性能は 3 箇年経過後も良好である。

(2) 防食仕様 162

曲げによる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 3 箇年経過時まで経時的にはほとんど変化しない。しかし、38 mm たわみ時のはく離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はく離面積が増加しており、塗装系仕様の中ではく離面積は最も大きい。さらに、皮膜に対する直接衝撃では割れやはく離は見られなかったが、間接衝撃に対しては曲げ特性とほぼ同じ傾向が見

られ、海水浸漬によって一時的にはく離面積は減少するが、その後には経時とともにく離面積が大きく増加している。また引張付着力試験においても、破断形態は経時に関係なく I Z 塗膜の凝集破断であり、その破断強さは塗装系仕様の中で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 I Z 塗膜は凝集力が小さく、しかも経時とともにさらに低下する傾向にあるといえる。なお、上塗りした T E 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、3 箇年経過時においても海棲付着生物による皮膜損傷は見られなかった。

(3) 防食仕様 163

曲げ試験におけるきれつ発生までのたわみ量は経時とともにわずかに減少し、38 mm たわみ時のはく離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皮膜の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低下し、3 箇年経過時には初期の破断強さの約 $\frac{1}{2}$ になっている。皮膜の硬さは塗装系仕様皮膜の中で最も硬く、鉛筆硬度 3 H 程度である。また、単離膜の引張強さは、海水浸漬後一時的に低下するが、経時とともにわずかではあるが増加している。防食性能については 3 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 164

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は経時的に多少の変動はあるが、3 箇年経過時には初期とほぼ同程度の値であり、38 mm たわみ時のはく離面積も一時的に増加したが、3 箇年経過時にはまた減少してきた。また、間接衝撃試験におけるはく離面積も初期と 3 箇年経過時まで大きな差は見られなかった。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、その破断強さは経時とともに少し低下し、3 箇年経過時の破断強さは初期の値より約 $10 \text{ kg}^f/\text{cm}^2$ 程度低下している。一方、単離膜の引張強さは経時とともにわずかに増加する傾向にあり、仕様 163 の P E 皮膜より約 $100 \text{ kg}^f/\text{cm}^2$ 程度低い値である。防食性能については、3 箇年経過後も良好である。

(5) 防食仕様 165

ビニル塗料 (V) 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 38 mm 以上であったが、2 箇年経過時まで経時とともに大きく低下し、それ以後ではきれつ発生までのたわみ量は約 20 mm 程度になっている。一方、38 mm たわみ時のはく離面積は 1.5 箇年経過時まで経時とともに増加していたが、その後ではほぼ一定のはく離面積となっている。引張付着力試験における皮膜破断形態は、仕様 161 及び 162 の場合と同様、経時に関係なくすべて I Z 塗膜の凝集破断であり、その破断強さは経時とともにごくわずかに低下している。上塗りしたビニル塗膜の硬さは、1 箇年経過後においてごくわずかに硬くなっており、曲げ特性におけるきれつ発生までのたわみ量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たと思われる。また、本仕様皮膜に対して繰り返し応力付加条件 $15 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ で繰り返し数 1×10^6 回まで異常は見られなかったが、応力付加条件 $20 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ で繰り返し数 1×10^6 回まで行った時に、皮膜に割れが発生した。さらに、海水浸漬試験において、2 箇年経過時に皮膜にふくれが見られ、3 箇年経過時にはこのふくれがわずかに大きくなっており、中にはふくれが破れているものもあった。なお、このふくれは P E、A/C とビニル塗膜の層間から発生している。

(6) 防食仕様 166

曲げ特性としてのきれつ発生までのたわみ量は経時的にわずかの変動が見られたが、3 箇年経過時には初期とほぼ同程度である。しかし 38 mm たわみ時のはく離面積は海水浸漬後において全く見られず、3 箇年経過後も同じである。さらに、間接衝撃試験においても全くはく離は見られない。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 2 箇年経過時まで経時とともに大

大きく低下していたが、その後の試験結果では再度増加している。この変動についてはさらに今後の傾向に注目したい。また、皮膜硬さや単離膜の引張強さも海水浸漬後には経時とともにわずかに低下する傾向にある。なお、繰り返し応力付加試験では本仕様皮膜は応力付加条件 $10 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ で繰り返し数 7.1×10^6 回まで皮膜に割れやはく離などの欠陥は見られなかったが、応力付加条件を $15 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ と高くした場合、繰り返し数 1×10^5 回の時の観察で皮膜に割れが発生し、さらに応力付加条件を $20 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ にした場合、繰り返し数 1.1×10^5 回の観察時に試験板素材から破断していた。以上のことから、本仕様皮膜は海水中では若干軟化するが、凝集力の低下が起こる。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離することはないが、 $15 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ 程度の繰り返し応力付加に耐えることができず、皮膜に割れが発生する。また、厚膜であることが加味されて、海中没水環境においては防食性に優れた皮膜であるといえる。なお、暴露環境ではチョーキングが著しく、光沢の消失がある。

(7) 防食仕様/67

曲げによるきれつ発生までのたわみ量は初期にくらべ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、 38 mm たわみ時のはく離面積は初期と3箇年経過時とはほとんど同程度である。引張付着力試験では破断形態はすべて皮膜の凝集研断であり、2.5箇年経過時まではその破断強さは経時とともに大きくなっており、3箇年経過時の試験では大きく破断強さが低下した。この現象については今後の傾向に注目したい。また皮膜硬さは経時とともに低下し、3種のライニング系仕様皮膜の中で最も軟い皮膜である。単離膜の引張強さは経時によって多少の変動はあるが、3箇年経過時の引張強さは初期よりも大きくなっている。なお、防食性能は良好であるが、暴露環境におけるチョーキングは著しい。

(8) 防食仕様/68

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、その量は 10 mm 程度であり、3箇年経過時にはさらに低下する傾向にある。一方、 38 mm たわみ時のはく離面積は最も大きく、2箇年経過時からさらに増加の傾向にある。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1.5箇年経過時まで大きく低下し、その後はまた大きくなる傾向にあり、この現象についても今後の傾向に注目したい。皮膜硬さは3種のライニング系仕様皮膜の中で最も硬い。しかし経時とともにわずかに硬さが低下する傾向にあるといえる。また、単離膜の引張強さについては、初期には非常に大きかったが2箇年経過時まで経時とともに大きく低下し、その後はほぼ一定の値になっている。なお、本仕様皮膜の繰り返し応力付加試験において応力付加条件 $15 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ までは異常は見られなかったが、応力 $20 \text{ kg}^f/\text{mm}^2$ の条件で、繰り返し数 8.26×10^5 回時の観察で、皮膜に約 20 mm 長さの割れが生じていた。しかしその後同じ応力付加条件で繰り返し数 1.0×10^6 回まで継続したが、皮膜の割れは 20 mm 長さ以上には進展していなかった。本仕様皮膜を海水中に没水した場合、皮膜ふくれやさび発生は見られなかったが、皮膜表面層が海水に溶解し、ガラスフレークが露出してくる。この傾向は加温海水中で著しく、また経時とともにガラスフレークが表面から脱落しているのが確認された。

表 1.1 防食仕様

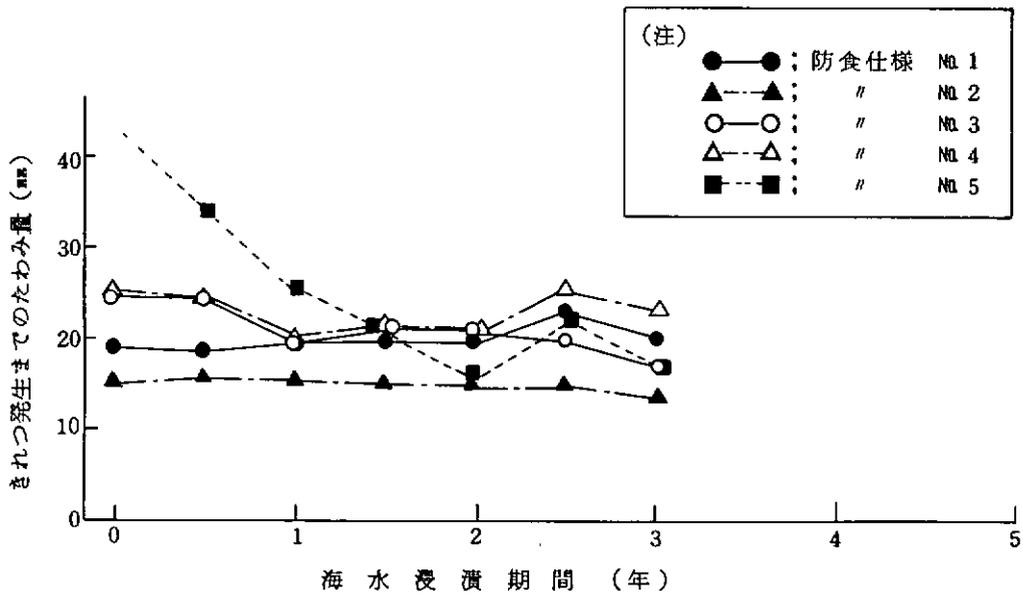
系統	防食仕様 No.	素地調整	s/p	材 料 と 塗 回 数						合計膜厚 (μm)	備 考 図 中 の 表示マーク
				1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目		
塗 装 系	1	Sh	IZP	IZ (75)	ミスコート	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・T/S (40)	PU・T/S (35)	●—●
	2	Sh	IZP	IZ (75)	ミスコート	TE (250)	—	—	—	—	▲—▲
	3	Sh	IZP	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	PE・T/S (40)	PE・T/S (40)	—	○—○
	4	Sh	IZP	TE (200)	TE (200)	—	—	—	—	—	△—△
	5	Sh	IZP	IZ (75)	ミスコート	PE・A/C (100)	PE・A/C (100)	V・[中塗] (60)	V・T/S (40)	—	■—■
ライニング系	6	Sd	—	PEM (5000)	—	—	—	—	—	—	□—□
	7	Sd	—	PEF (650)	PEF (650)	—	—	—	—	—	◇—◇
	8	Sd	—	ESF (750)	ESF (750)	—	—	—	—	—	▽—▽

(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)

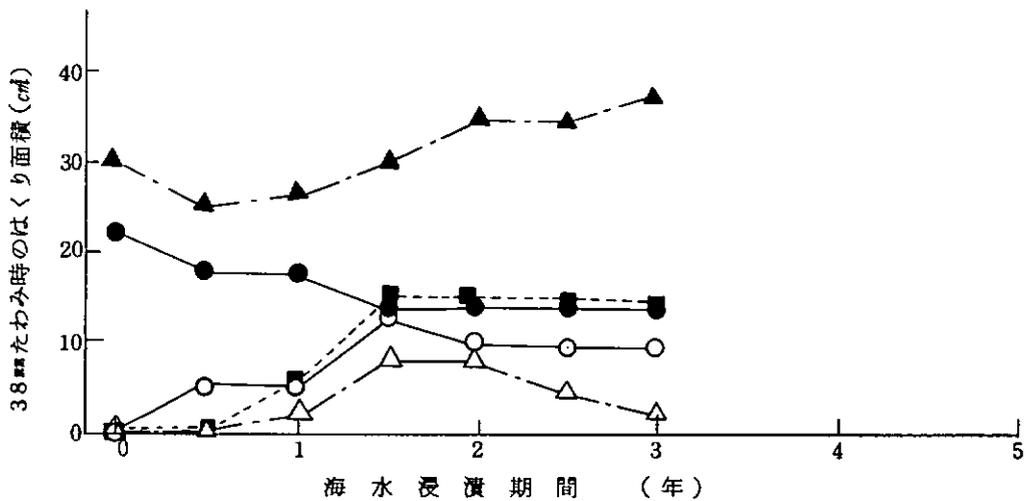
2. 材料と塗回数欄の()はその材料の膜厚 μm を示す。

3. 塗り重ね間隔はいずれも1日間(1 day 1 coat)である。

4. ミスコートは、いずれも3回目上塗塗料を専用シンナーで希釈したものを用了。

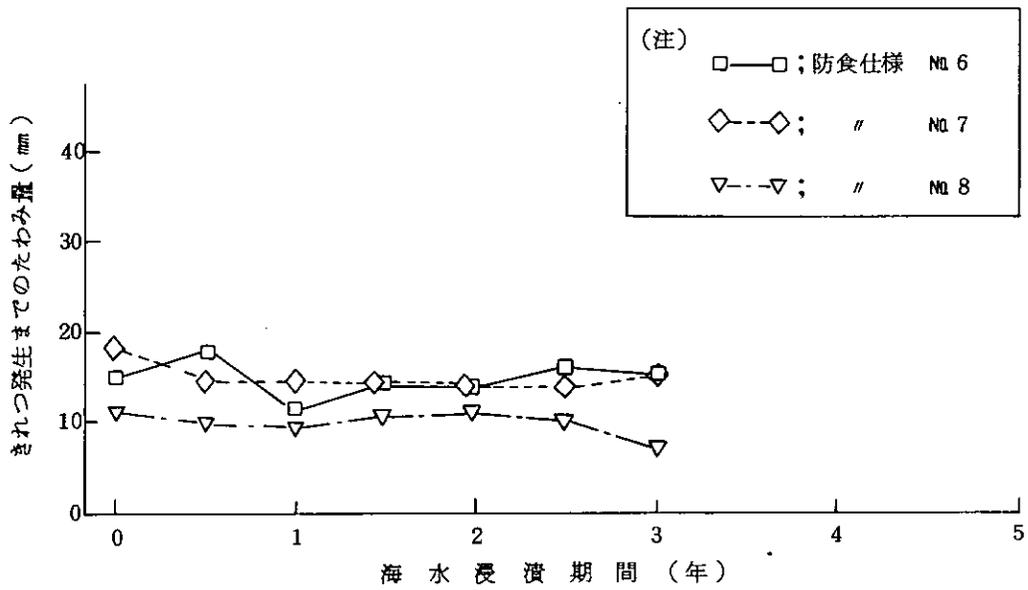


① 浸漬期間とされつ発生までのたわみ量の関係

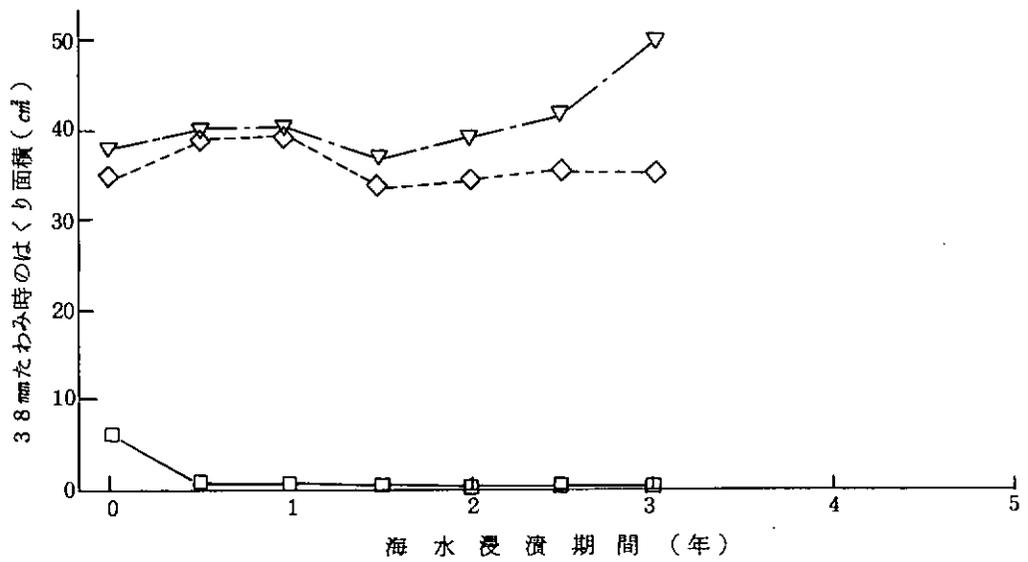


② 浸漬期間とはくり面積の関係

図 1.1 (1) 曲げ特性の経時変化 (塗装系仕様)

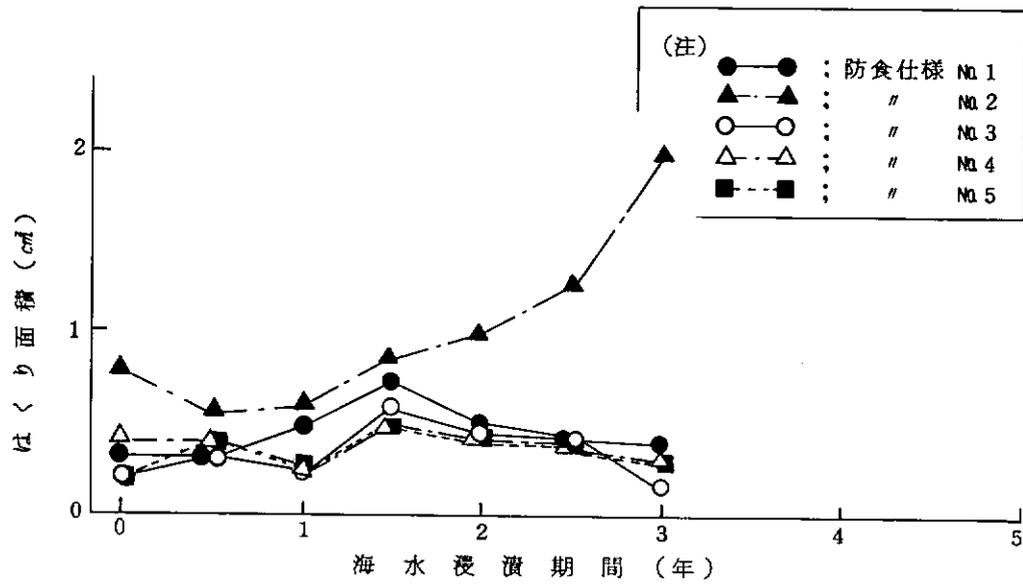


① 浸漬期間ときれつ発生までのたわみ量の関係

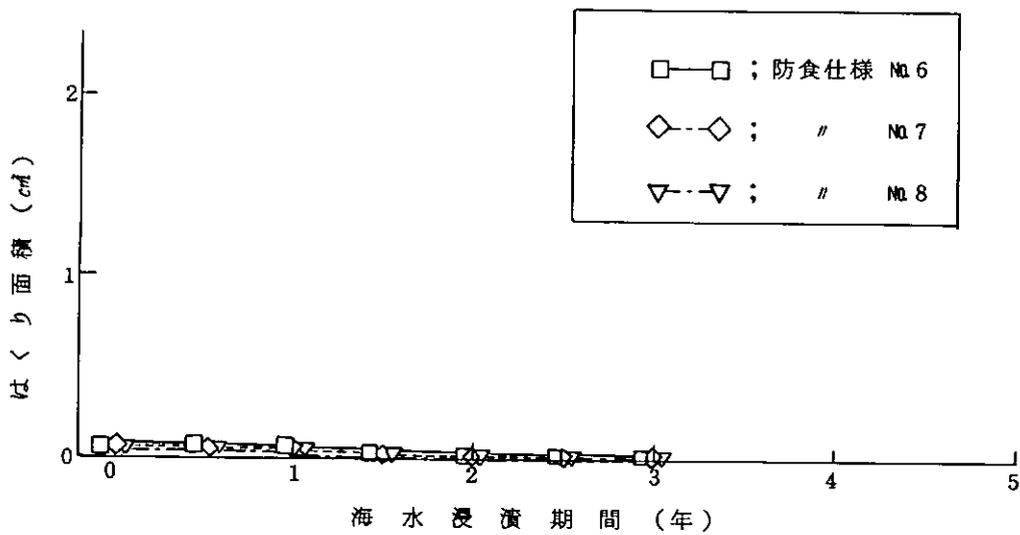


② 浸漬期間とはくり面積の関係

図 1.1 (2) 曲げ特性の経時変化 (ライニング系仕様)



① 浸漬期間とはくり面積の関係 (塗装系仕様)



② 浸漬期間とはくり面積の関係 (ライニング系仕様)

図 1.2 衝撃特性 (間接衝撃) の経時変化

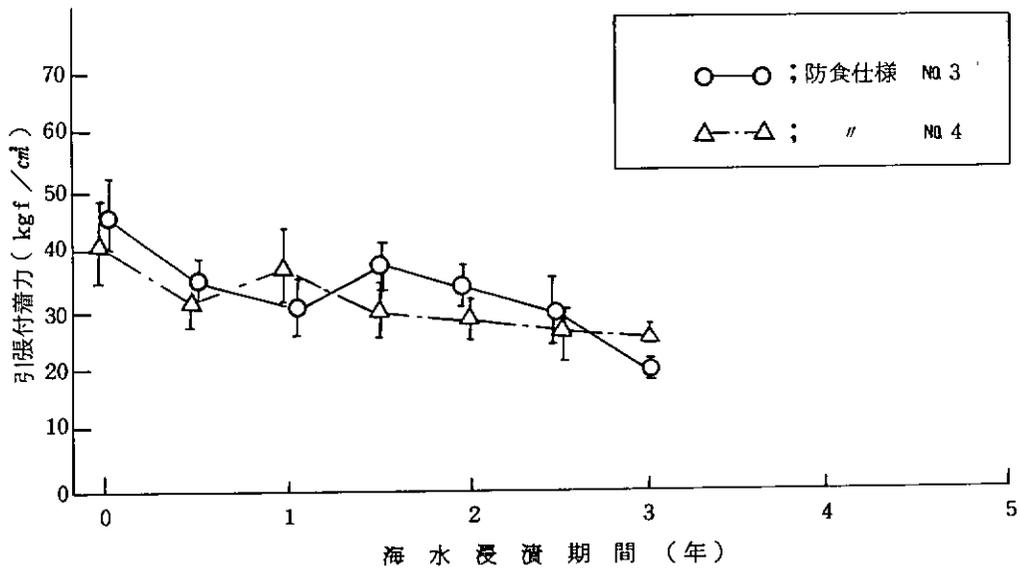
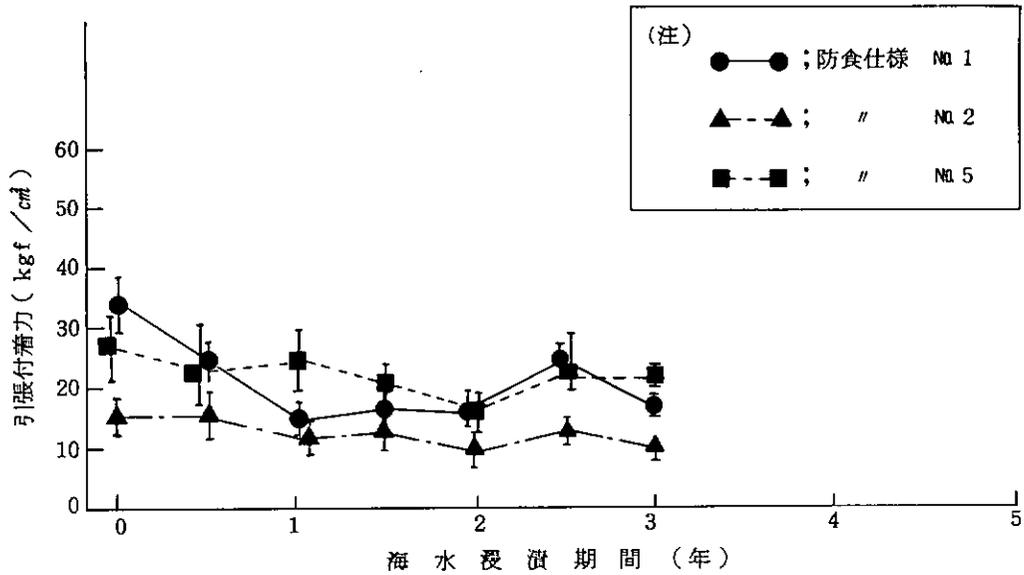


図 1.3(1) 引張付着力の経時変化(塗装系仕様)

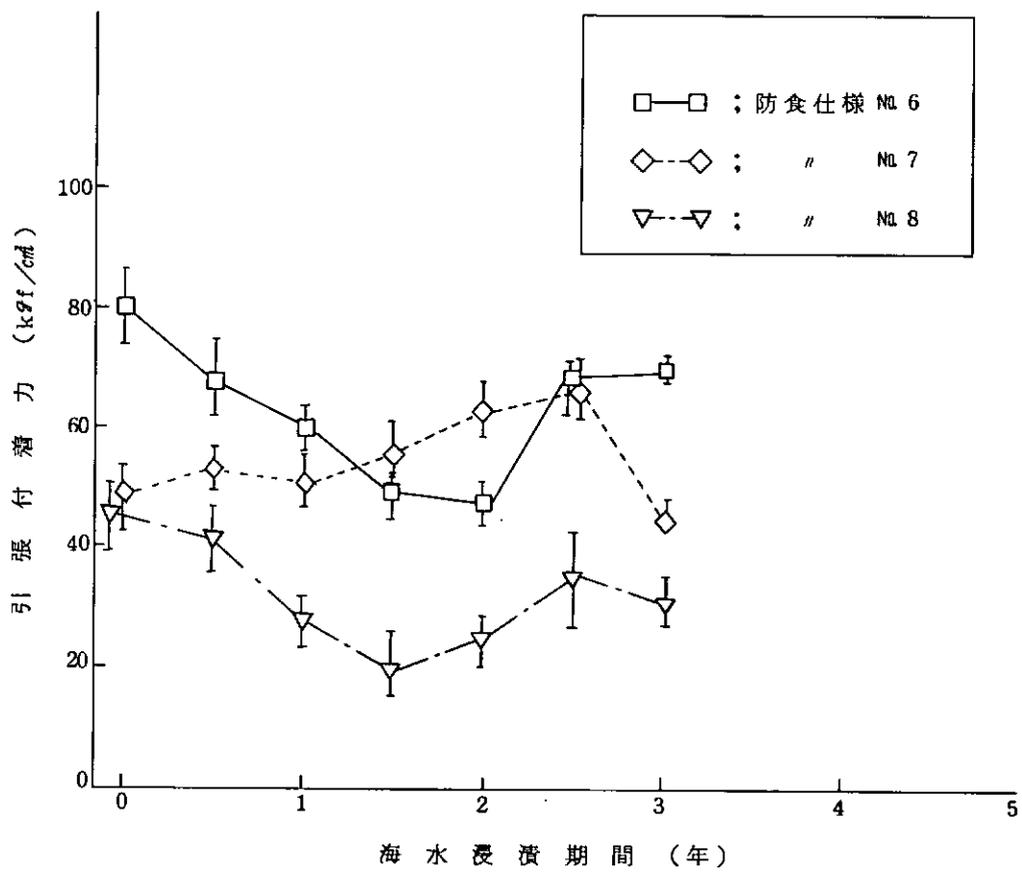
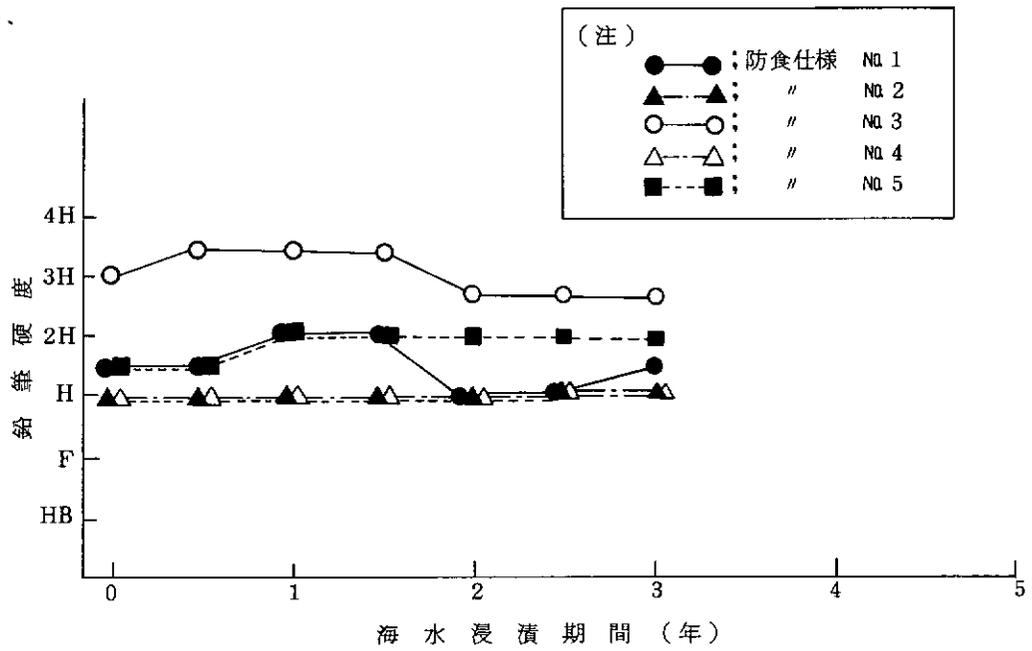
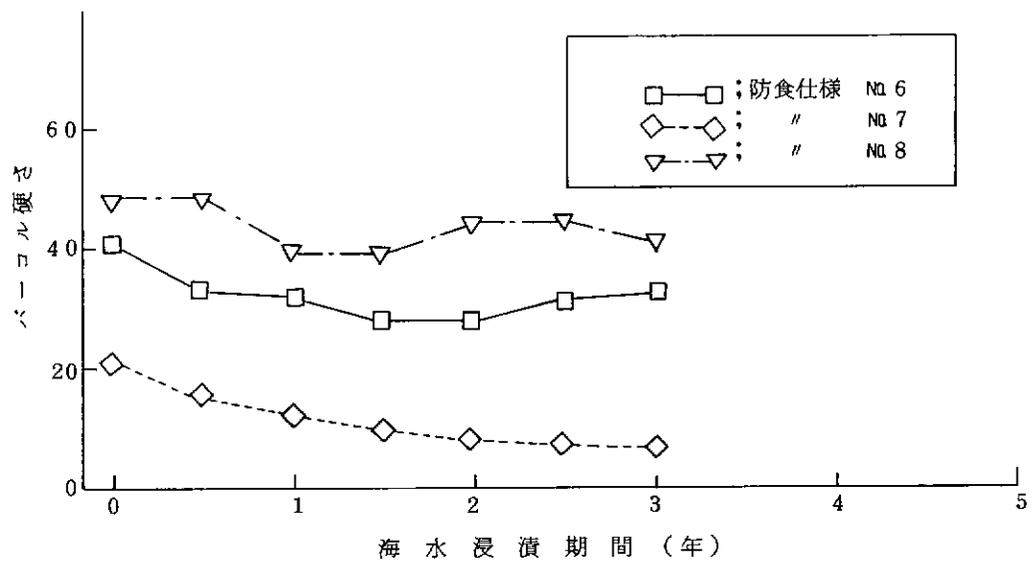


図 1.3 (2) 引張付着力の経時変化 (ライニング系仕様)



① 浸漬期間と鉛筆硬度の関係 (塗装系仕様)



② 浸漬期間とバーコル硬度の関係 (ライニング系仕様)

図 1.4 皮膜硬さの経時変化

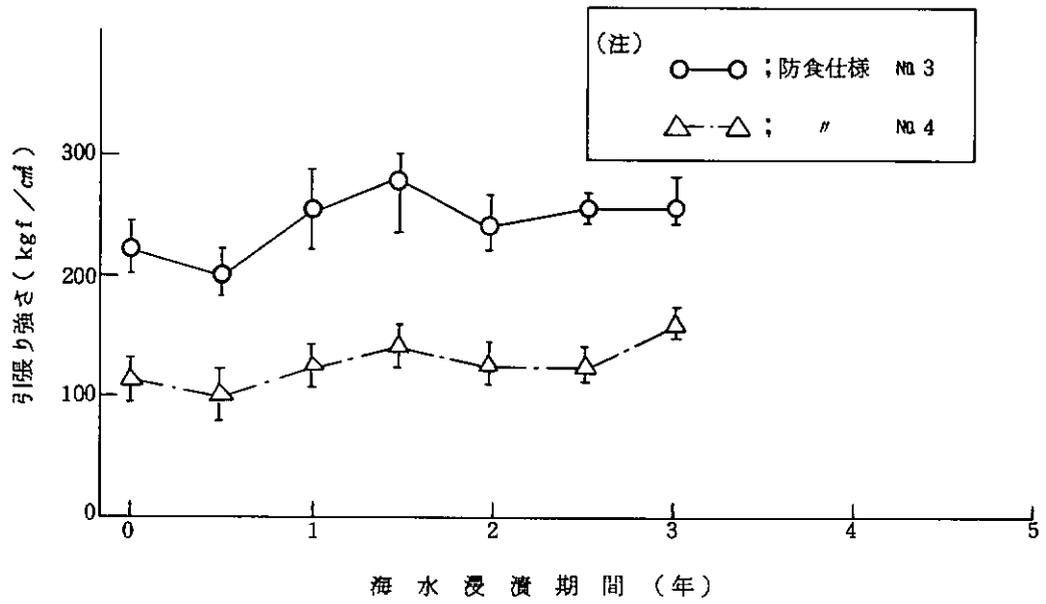


図 1.5 (1) 単離膜引張り強さの経時変化 (塗装系仕様)

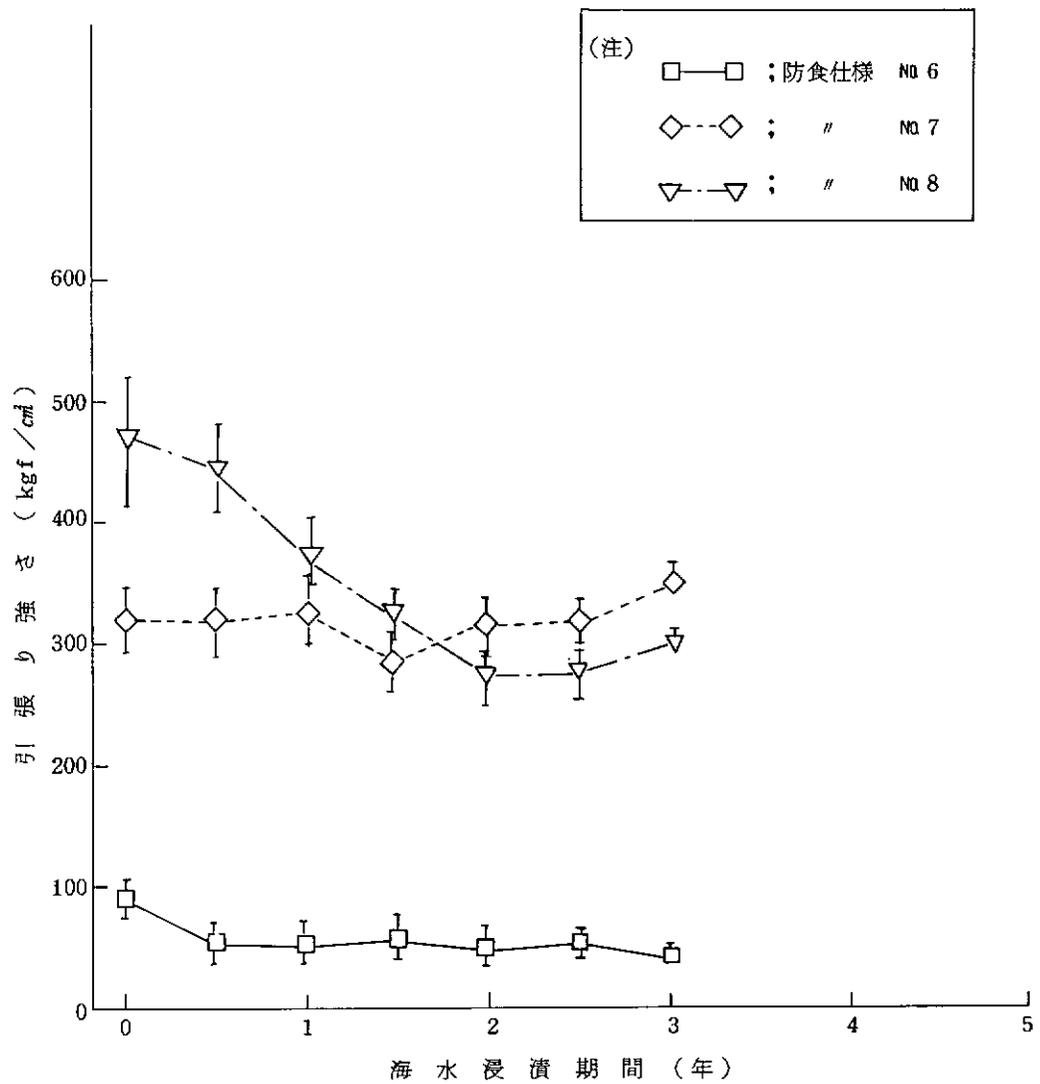


図 1.5(2) 単離膜引張り強さの経時変化(ライニング系仕様)

表 1. 2 繰り返し応力付加試験の結果

応力付加条件 (ひずみ量)	繰り返し数 (試験期間)	試験板観察結果
10 kgf/mm ² (0.05%)	7.10 × 10 ⁶ 回 (約2箇年間)	各仕様試験板ともに異常なし。
15 kgf/mm ² (0.072%)		1.02 × 10 ⁸ 回時の調査において、仕様№6の皮膜に20mm長さの割れが見られた他の仕様試験板は異常なし
	1.01 × 10 ⁸ 回 (約3.5箇月間)	仕様№6の皮膜に20mm長さの割れのまま他の仕様試験板は異常なし。
20 kgf/mm ² (0.092%)		1.10 × 10 ⁸ 回時の調査において、仕様№6の試験板は素材から破断。他は異常なし。
		8.26 × 10 ⁸ 回時の調査において、仕様№8の皮膜に20mm長さの割れ発生。他は異常なし。
	1.00 × 10 ⁹ 回 (約3.5箇月間)	仕様№8の皮膜に20mmの割れ発生のまま、仕様№5の皮膜に10mm長さの割れ発生。他の試験板は異常なく良好。

(注) 本繰り返し応力付加試験では、同一試験板を使用し、順次応力付加条件を高くして行った。従って、長いものは約2年7箇月間応力付加試験が行われたことになる。

表 1.3 防食性試験3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(PEA/Cと V[中塗]間)	ふくれ8F(PEA/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(中)	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1.4 防食仕様皮膜の諸特性とその傾向（3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	引張付着特性		硬さ特性	単離膜引張特性	防食性		性能		
	きれつ発生までのたわみ量 (mm)	3.8mmたわみ時のはくり面積 (cm ²)		破断強さ (kgf/cm ²)	破断形態			屋外暴露	天然海水浸漬		加温海水浸漬	
塗装系	1	19 → 21	22 → 13	0.4 ↘ 0.5	35 → 17	I Z 凝集破断	H → 2H → H → 2H	214 ↘ 250	チョーキング (中)	良好	良好	加温海水浸漬
	2	15 → 15	30 → 38	0.8 ↘ 2.0	15 → 10	I Z 凝集破断	H → H		チョーキング (中)	良好	良好	
	3	24 → 19	0 ↘ 10	0.2 ↘ 0.2	55 → 20	皮膜凝集破断	3H → 2H 3H		チョーキング (多)	良好	良好	
	4	25 → 25	0 ↘ 8	0.3 → 0.3	42 → 26	皮膜凝集破断	H → H	104 ↘ 160	チョーキング (中)	良好	良好	
	5	38 < 20	0 ↘ 15	0.2 ↘ 0.3	27 → 22	I Z 凝集破断	H → 2H → 2H		チョーキング (中)	ふくれ (4F~6F)	ふくれ (8F)	
	6	15 → 15	6 → 0	0 → 0	80 ↘ 72	皮膜凝集破断	41 → 34	80 → 50	チョーキング (多)	変色 (つや消失)	変色 (つや消失)	
	7	18 → 15	35 → 35	0 → 0	49 ↘ 46	皮膜凝集破断	22 → 7	326 ↘ 350	チョーキング (多)	良好	良好	
	8	11 → 7	38 → 50	0 → 0	46 ↘ 32	皮膜凝集破断	49 → 42	470 ↘ 320	チョーキング (中)	表面層溶解 (中)	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3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, → : ほぼ同程度, \ : 低下 (減少) などの傾向を示す。

(3) 防食性能については3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、浮体式試験体を製作して、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、他の項目における防食仕様と同一仕様のもので、実環境としては三菱重工機香焼工場外海（北緯 $32^{\circ}42'10.5''$ ，東経 $129^{\circ}49'10''$ ，水深約20 m）を選定している。

本年度は被覆材の耐久性と浮体式試験体の応力の関係を把握するために、2年後の防食性能を調査すると共に、応力計測結果及び気象・海象データ解析を行った。

2.2 防食性試験

2.2.1 浮体式試験体の概要

(1) 試験体仕様

- (a) 寸法 横巾1,500×縦巾5,000×高さ4,000 mmの浮体2基からなる双胴体試験体である。
- (b) 胴間 外径318.5 mm ϕ ×長さ6,000 mm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

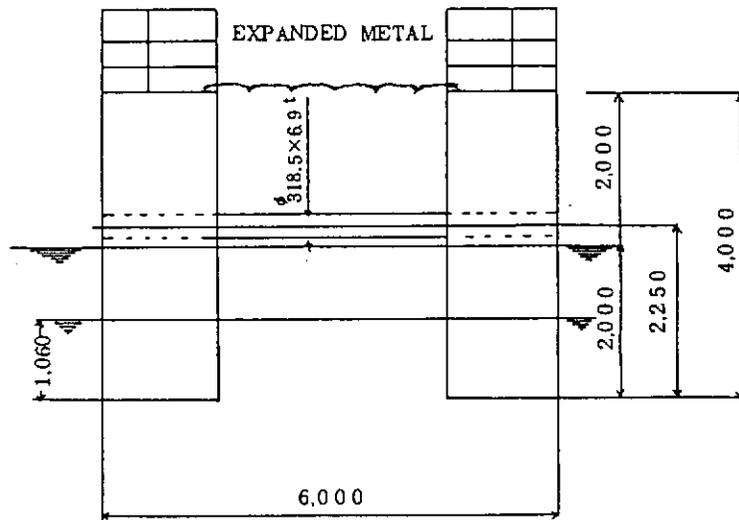


図 2.1.1 浮体式試験体

(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、飛沫部及び洋上大気部は他の検討項目と同一仕様である。

ショッププライマーには IZP を使用しているが、防食仕様によってはブラスト処理（スweepサンドブラスト又はサンドブラスト）によって殆ど除去されているものが多い。

2.2.2 気象、海象の調査

海上設置後2年目(S.58.1～S.58.12)の気温、日照、雨量を図2.1.2、風速を図2.1.3及び海水温度、比重について2年間の結果を図2.1.4、2.1.5に示す。

- ① 年間を通じて気温3～32℃、日照時間120～220h/月であり、例年と比べ特に異状は認められない。
- ② 雨量は20～280mm/月であり、前年と比べ7月(前年は長崎大水害)を除くと本年度はやや多い。
- ③ 2年間の海水温度はほぼ同じであるが、海水の比重は前年(S.57)に比較し、本年はやや低い傾向を示している。

2.2.3 防食性調査

(1) 調査要領

(a) 浮体本体

- ① 生物付着状況；生物付着名(一般名)及び生物付着量(Wet状態、kg/dm²)を調査した。
- ② 塗膜劣化調査；海水部、飛沫部、海上大気部の塗膜について、
ふくれ(ASTM D714-56標準写真；日本塗料検査協会編)及び
さび(ASTM D610、SSPC-Vis 2)の発生状況を調査した。

(b) 塗装試験片(長さ3mのアンクル材に塗装したもの)

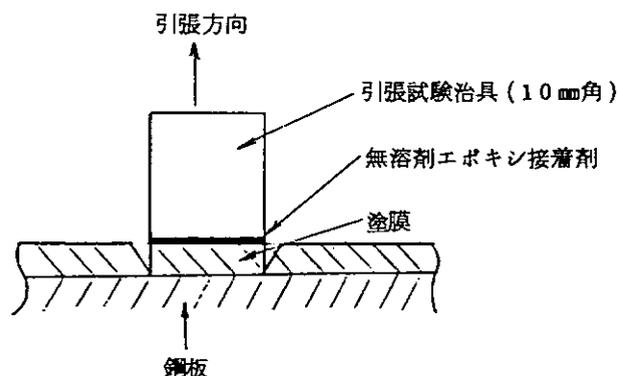
- ① 生物付着状況；前記(a)浮体本体と同じ
- ② インピーダンスの測定；浮体より取りはずし後、塗膜に損傷を与えないように注意して付着生物を除去し、さらに清水を使用して入念に水洗する。

次に、湿度75%以下の室内で24h乾燥後、約25cm²の押当てセルを用い、KOKUYO社LCRメータ(KC-530型)1KHzで測定し、交流抵抗、電気容量及びtanδを算出した。試験は1試験片につき5回行い、平均値を求めた。

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

ここに、f；周波数 (Hz)
C；静電容量 (F)
R；抵抗 (Ω)

- ③ 素地との付着力；塗装試験片から、約50mm角のテストピースを切り出し、上記①同様の処理を行う。次に、下図に示すように無溶剤エポキシ接着剤で塗膜に引張試験治具を貼りつけ、一日室温で放置する。治具の周囲は治具に沿って素地に達する傷を入れ、引張試験機(島津社オートグラフS-500型)により引張速度50mm/minでの付着力(kgf/cm²)を測定した。試験は1試験片につき3回行い、その平均値を求めた。



(2) 調査結果及び概要

浮体試験体の調査は天候に恵まれず、浮上させることが困難であったため海中部は潜水夫の協力を得て調査した。また、浮体式試験体に取り付けている試験片は抜取り後、調査した。

これらの調査結果を表2.2、図2.2.1～2.2.4に示した。

(a) 浮体本体

- ① 海洋生物の付着のみで、皮膜の欠陥は全く認められない。

生物の種類としては、赤ふじつぼ、セルプラ等で付着厚さ50～100mm、付着量では4～11kg/0.25㎡であり、約2年間で多量の生物が着生している。

- ② PEM及びPEFの皮膜は生物除去時にごく一部に層間はがれの傾向が見られた。特にPEM皮膜は前年度面積よりもはがれ面積が拡大しており、メンテナンス施行時の塗り重ね条件にはこの種のテスト条件が必要である。

(b) 試験片

生物付着状況、塗膜インピーダンス及び付着力を調べた。

- ① 浮体本体と同様に海洋生物の付着のみで皮膜の欠陥は全く認められない。生物の種類としては前記の浮体本体と同様のものが付着しており、付着厚さ30～75mm、付着量では4.1～6.2kg/0.25㎡であり、前回の一年間に比較して付着厚さ及び付着量が少なかった。

前項2.2.2②、③の調査結果から、前回と異なる条件は雨量が多いことから雨水の流入による海水濃度(比重)が低いため、これが生物付着量に影響したものと推定される。

- ② 皮膜の種類と生物付着量の関係は明瞭でなく、また浮体本体と試験片ではその環境条件が異なっているため、同傾向の結果が得られていない。これらについては次年度の浮上後の調査で詳細に調べる予定である。

- ③ $\tan \delta$ が変化したのは前回と同様ESF(0.01→0.64→0.81)、PEM(0.15→0.24→0.40)、IZ+TE(0.15→0.09→0.38)及びPEF(0.07→0.26→0.26)の順序で小さく、TE、M1(ESF)、M2(TEF)は低下の傾向はない。

しかしながら、 $\tan \delta$ が低下している前者においても外観は異状なく、素地との付着力も一応の水準(20kgf/cm²以上)を保持している。

- ④ いずれの防食仕様も2箇年間で劣化はほとんど進行していないため、次年度には浮体させて浮体の防食性を調べる予定である。

表 2.1 浮体式試験体の防食仕様

部 位	防食仕様 №	防 食 仕 様	合計厚膜 (μm)
海 中 部 ・ 飛 沫 部	2	IZ+ミストコート+TE	325
	4	TE+TE	400
	6	PEM	5,000
	7	PEF+PEF	1,300
	8	ESF+ESF	1,500
	M1	ESF+ESF	1,500
	M2	TEF+TEF	1,500
洋上大気部	1	IZ+ミストコート+PE.A/C+PE.A/C+PE(中)+PU.T/S	350
	3	PE.A/C+PE.A/C+PE.A/C+PE.T/S+PE.T/S	380
	5	IZ+ミストコート+PE.A/C+V(中)+V.T/S	275
浮体内部	M3	(空槽部)ケレソ軽減型TE	250
	M4	(空槽部)ソルベントレス型TE	250
	M6	(海水バラスト部)電防(アノード)	—
デッキ	M5	(手 部)ガルバナイト塗装系	700

●—○	日最高気温の月平均
●—●	日平均気温の月平均
○—○	日最低気温の月平均

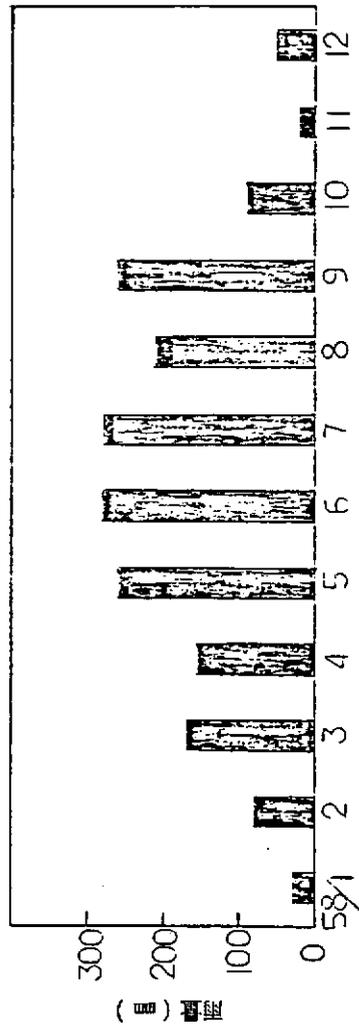
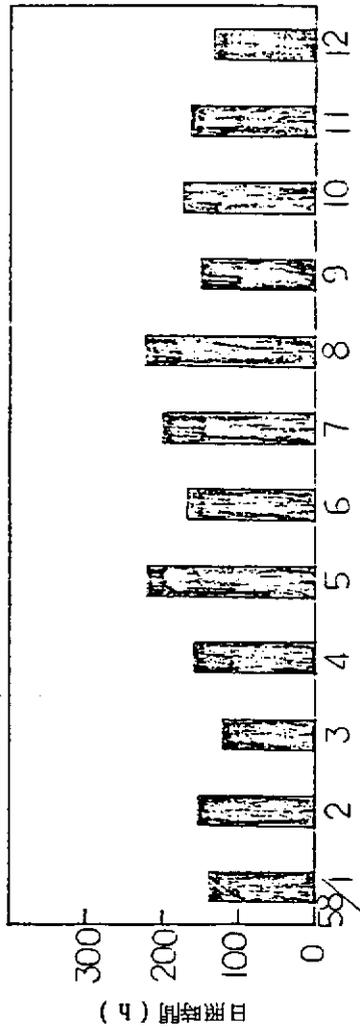
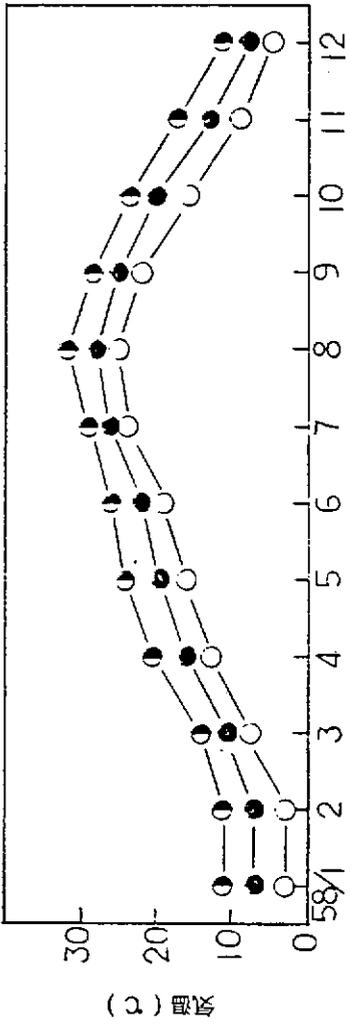


図 2.1.2 気温, 日照時間, 雨量 (長崎海洋气象台)

●—●	日最大風速(瞬間)の月Max値
○—○	日最大風速(10分間)の月Max値
●—●	日平均風速の月平均値

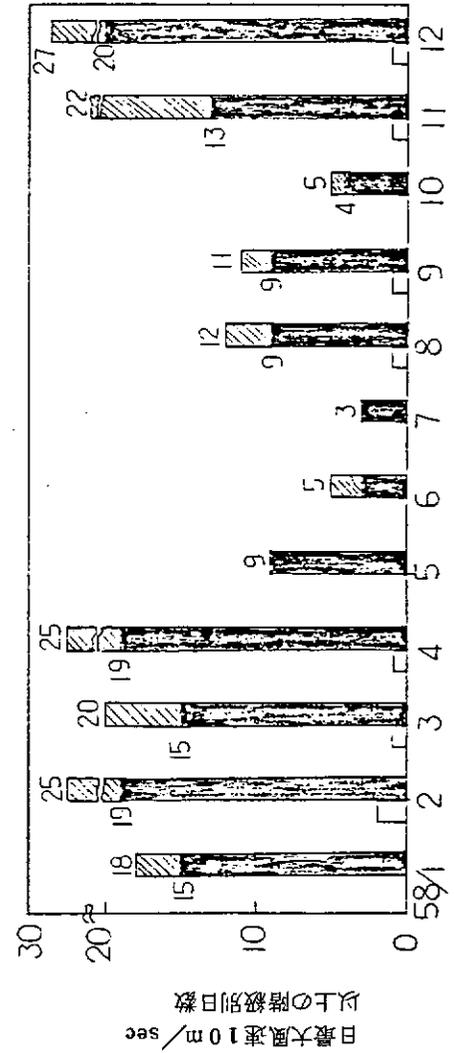
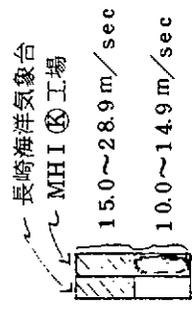
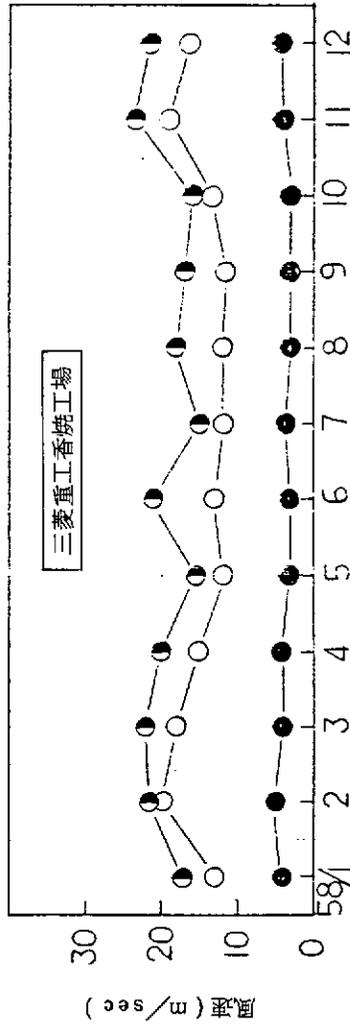
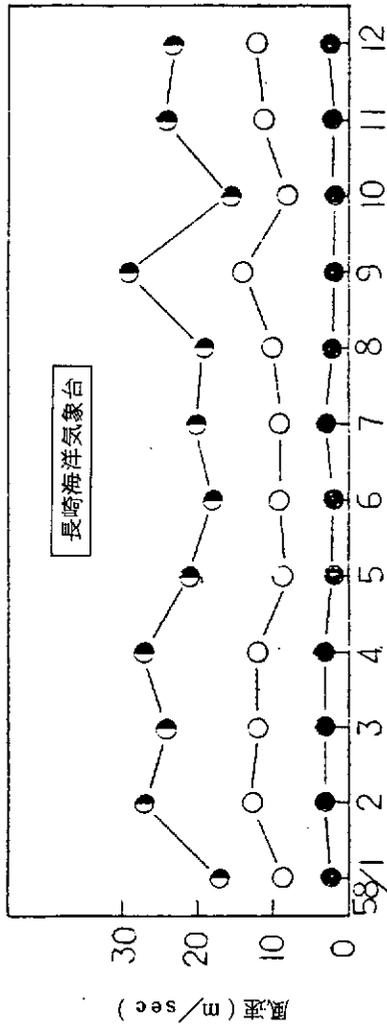


図 2.1.3 風速及び日最大風速 10 m/sec 以上の階級別日数

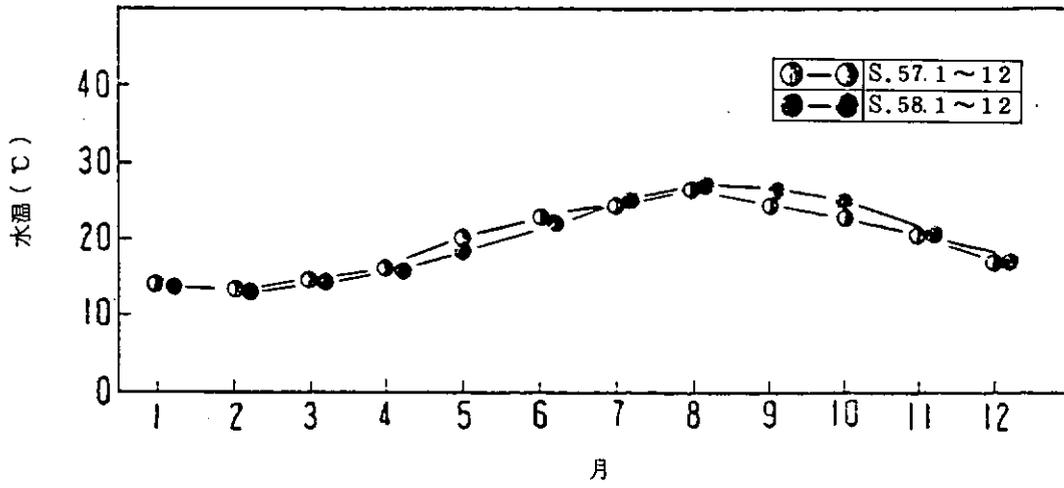


図 2.1.4 長崎港の水温 (長崎県水産試験場)

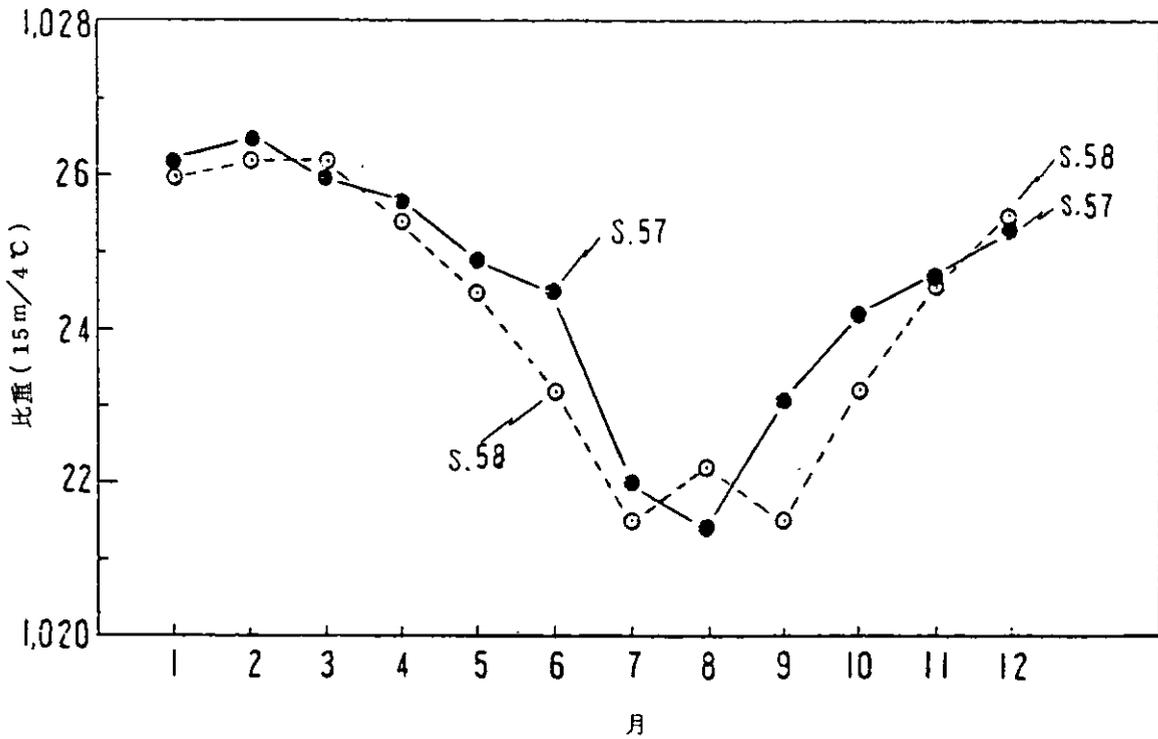
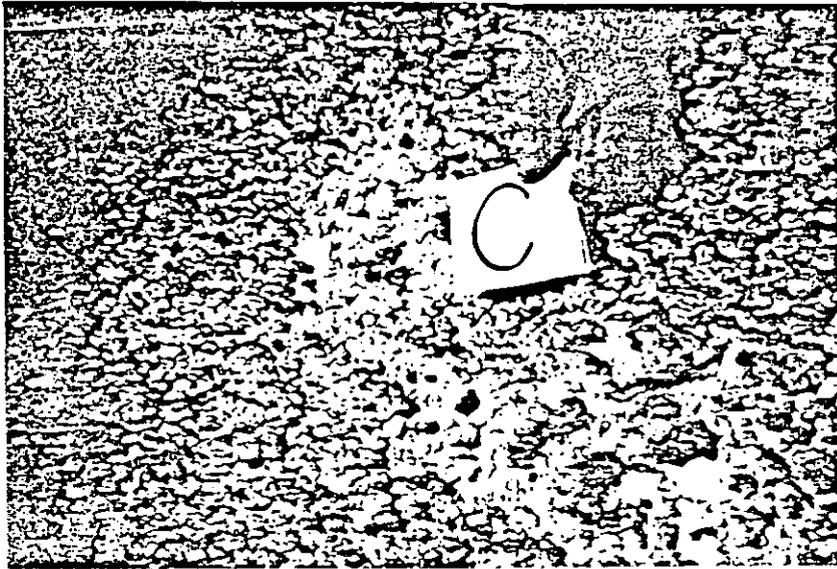


図 2.1.5 海水の比重 (長崎港内水深 3 m)

表 2.2 2 箇年後の外観調査結果

経過年数(年)	調査項目 対象品	生物付着状況				塗膜劣化状況他
		付着生物名	付着厚さ (mm)			
1	浮体本体	① ふじつぼ (20φ程度) ② からす貝 (45高さ×30幅) ③ セルプラ	60 ~ 90			<ul style="list-style-type: none"> 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 ふじつぼ (20φ程度) ② からす貝(45高さ×30幅) ③ セルプラの順で付着量が多い	<ul style="list-style-type: none"> 片側60~90mm 付着量(Wet状態) 10.3~13.0 kg/0.25㎡ 			
2	浮体本体	防食仕様	生物付着名	付着厚み (mm)	付着量 (Wet状態) kg/0.25㎡	さび、ふくれ他 さび、ふくれはいずれもなし。 (吃水から下は試験庁からの推定) チェーンにより、落された形跡あり。
		(2) IZ+TE	① 赤ふじつぼ (10~40φ程度)	50	3.7 5.0) 4.4	
		(4) TE		70	3.2 6.3) 4.8	
		(6) PEM	② セルプラ, ホヤの順で, 付着量が多い。	70	5.5 6.4) 6.0	
		(7) PEF		80	5.7 9.1) 7.4	
		(8) ESF		45	4.4 3.5) 4.0	
		(M1) ESF		50	6.9 7.5) 7.2	
		(M2) TEF	100	10.4 11.1) 10.8		
	(1) IZ+PE+PU (3) PE (5) IZ+PE+V				<ul style="list-style-type: none"> さび、ふくれはいずれもなし。 	
	試験片	防食仕様	生物付着名	付着厚み (mm)	付着量 (Wet状態) kg/0.25㎡	さび、ふくれ他 さび、ふくれはいずれもなし。 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。
		(2) IZ+TE	① 赤ふじつぼ (10~40φ程度)	—	—	
		(4) TE		—	—	
		(6) PEM	② からす貝 (45高さ×30幅)	40~75	6.1	
		(7) PEF		30~45	4.1	
(8) ESF		③ セルプラ, ホヤの順で, 付着量が多い。	30~75	6.2		
(M1) ESF			30~60	6.0		
(M2) TEF	30~60		5.9			

- (注) (1) 試験片の生物付着量は1年目及び2年目とも浸漬期間は1年間である。
 (2) 防食仕様№2及び№4の試験片は海底に落下し、潜水夫により引上時、付着物が落ちたため、付着量は調査できなかった。
 (3) 浮体本体の付着厚みは潜水夫による計測値で、また、付着量は採取面積(0.04㎡)から換算した。

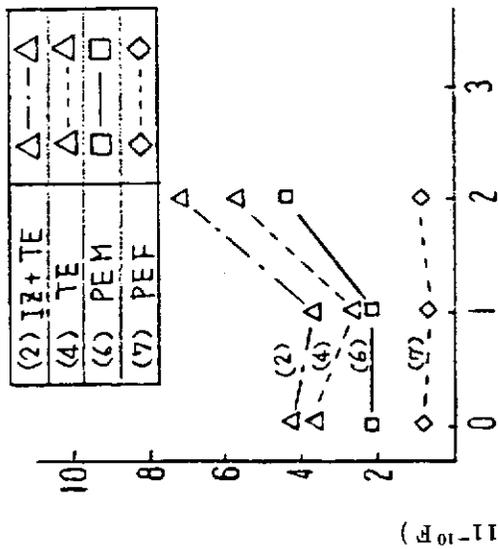


P E M

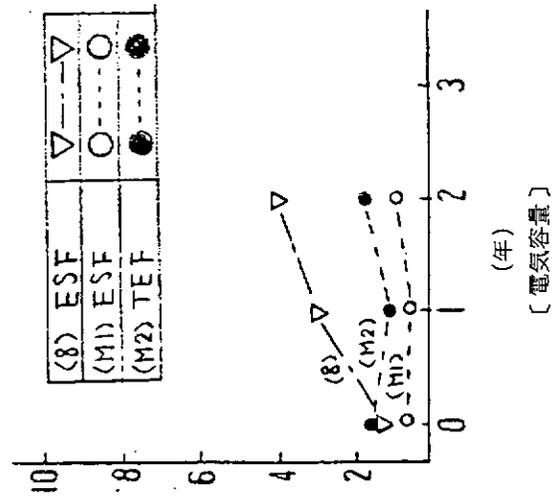
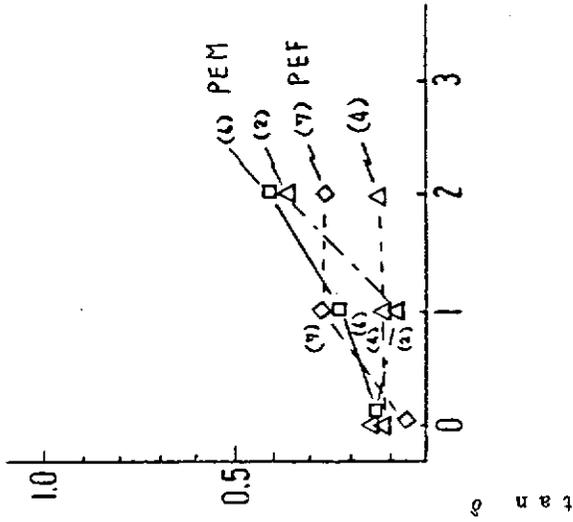
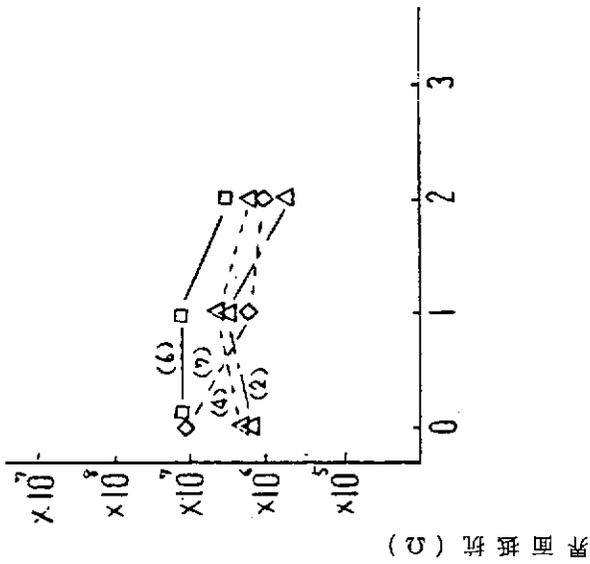
図 2.2.1 浮体本体の生物付着状況



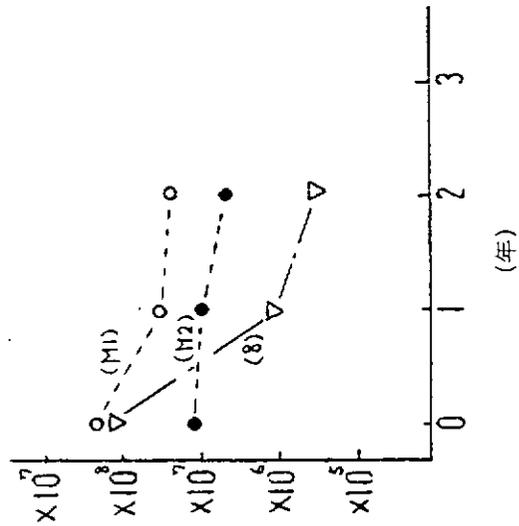
図 2.2.2 試験片の生物付着状況



($E_0-II \times$) 電位取器



(年) [電気容量]



(年) [界面抵抗]

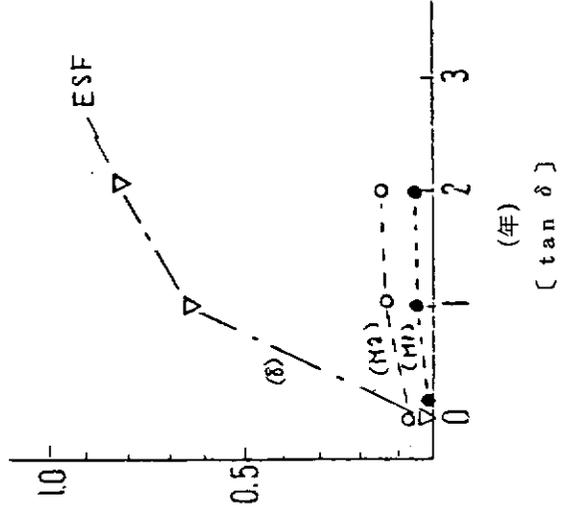


図2.2.3 実環境試験片膜のインピーダンス経時変化

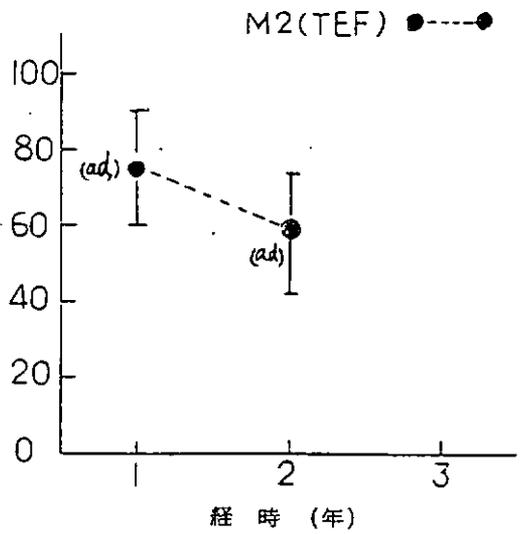
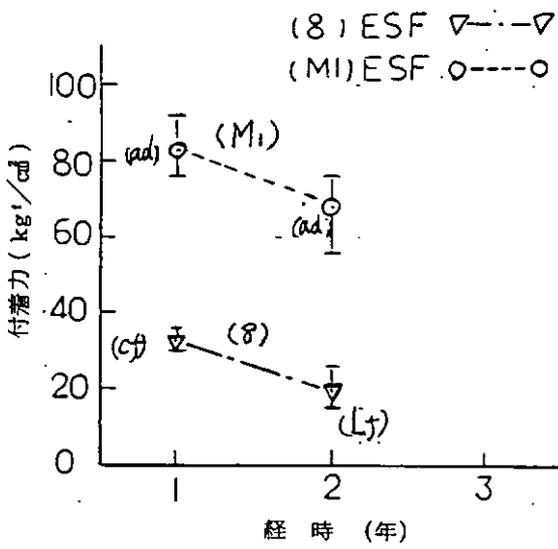
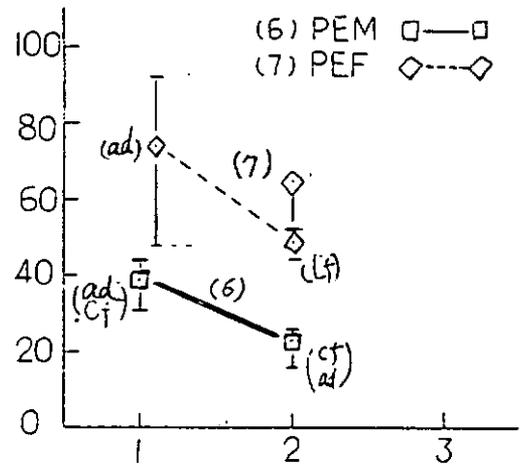
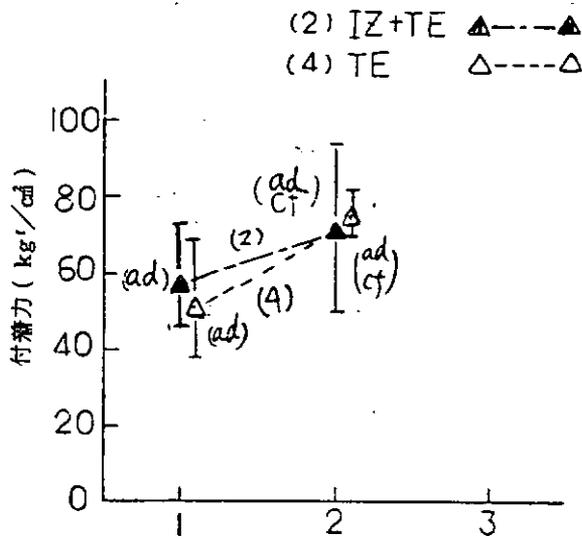


図 2.2.4 実環境試験膜の付着力(接着力)の経時変化
 (図中 ad : 接着剤のはがれ, cf : 塗膜の凝集破断)
 (Lf : 塗膜の層間のはがれ,

2.3 浮体のひずみ測定

海洋構造物に施行した塗装及びライニング材の耐久性は、塩害や風波風浪によって発生する応力で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事を目的に、浮体に応力集中部を設け、ストレングージを貼付け併せて浮体の動揺計測のために加速度計を取付けた。

データ収集はS.57.8からS.58.8までの一年間断続的に行ったが、この間計測器の塩害や高温によるトラブルが数回発生し、正味計測日数は156日間であった。

計測データはすべてアナログ信号としてデータレコーダに記録した。計測点数はひずみ、加速度合わせて17点であったが、長時間連続して記録できるレコーダは14チャンネルのため代表点を選んで計測した。

なお、全点計測は静天時、荒天時に数回行った。

データ収集期間は前にも述べたように通算約5箇月に過ぎないが、幸い風向、風速に関しては全期間のデータが収集できたため、このデータを活用して一年間の推定を行うことにした。

(1) 計測装置

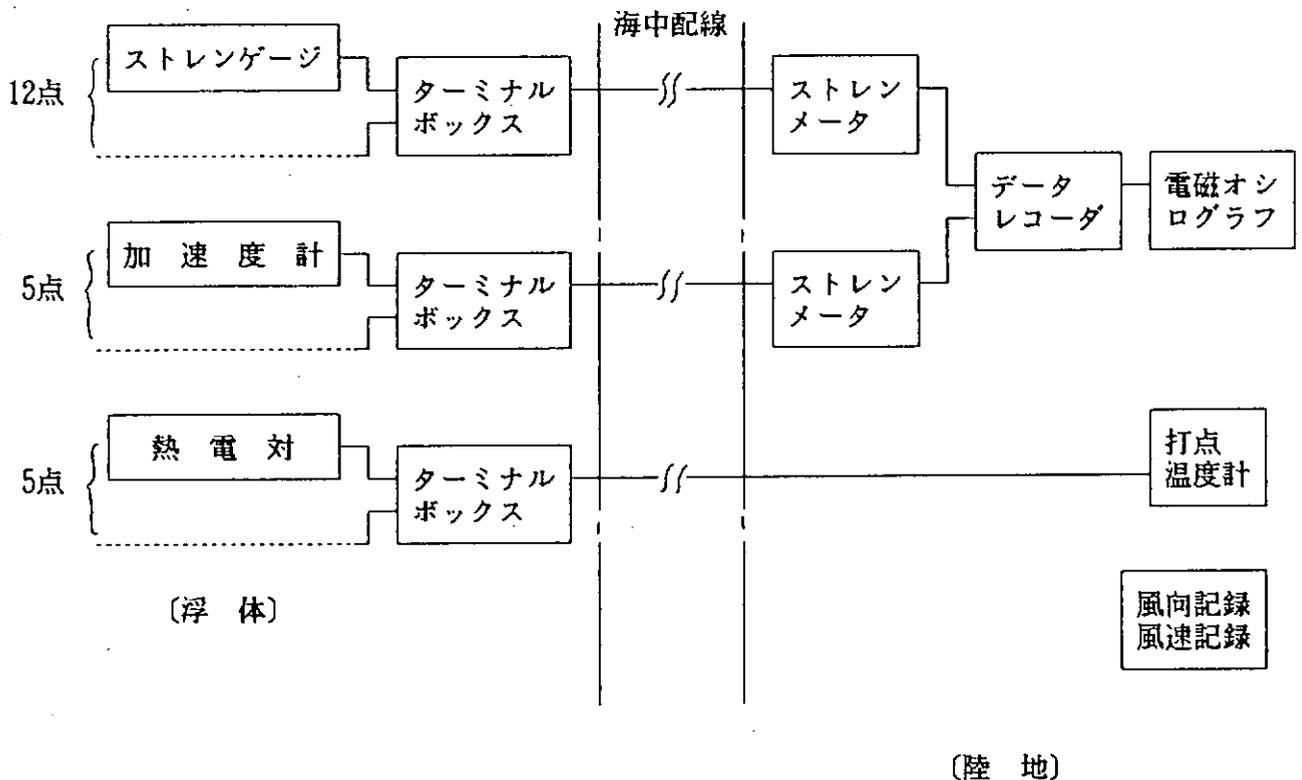
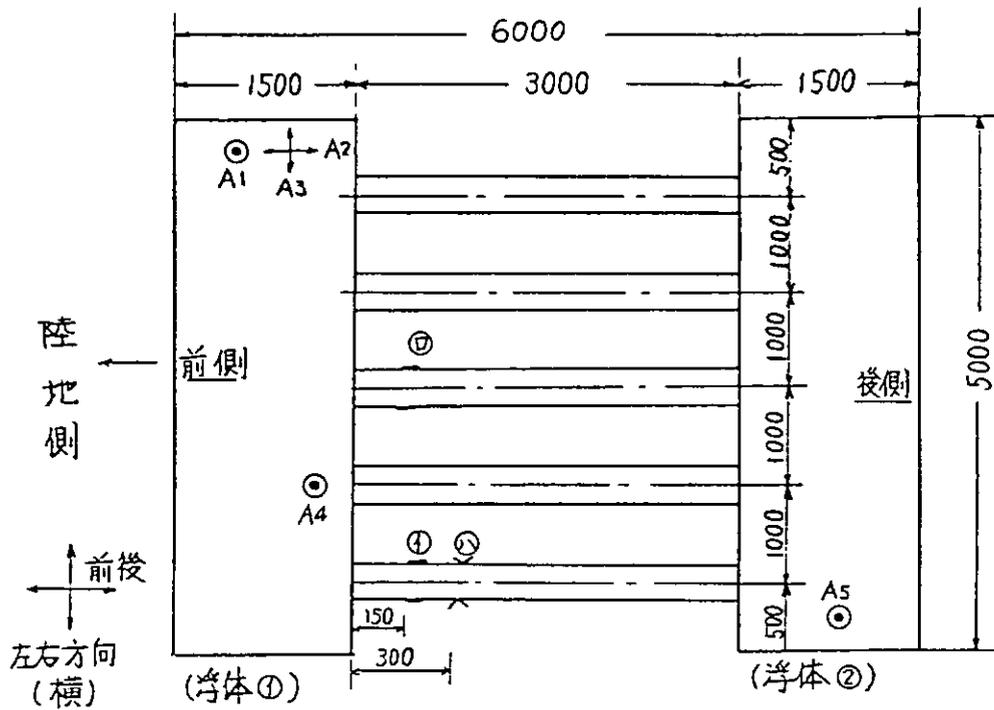


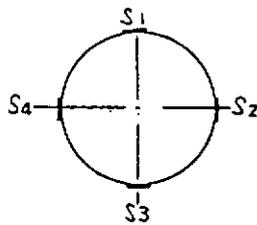
図 2.3.1 計測装置系統図

(2) 計測位置

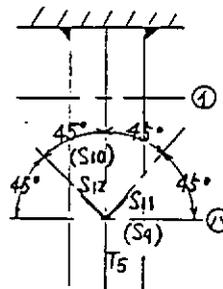
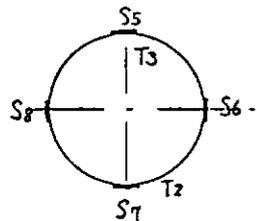
浮体における各種の計測位置を図 2.3.2 に示す。



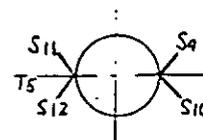
① 部詳細



② 部詳細



③ 部詳細



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

図 2.3.2 浮体式試験体における各種の計測位置

(3) 計測の概要

前にも述べたように計測は計測器のトラブル、ケーブルの断線などにより、連続したデータが少ない。計測期間を表 2.3.1 に示す。又、長期間計測のためストレンゲージ、加速度計、さらには陸地へのケーブルの故障があり、後半は計測点数も可成り減少した。表 2.3.2 に長期間レコーダでの計測点の推移を示す。この他ストレンゲージ貼付け位置の温度も測定し、約 13℃～20℃の範囲内であった。

次に風向、風速は図 2.3.3 に示すように浮体設置位置から約 500 m 離れた内陸側の 3 階建家屋上に取り付けられた風向、風速計のデータを利用した。また、参考資料として浮体設置場所から約 5 km 外海側の伊王島沖に設置された波高計のデータも S. 57. 12. 1～S. 58. 2. 28 の間収集した。この波高計は当社が設置したものでないため、これ以上のデータ収集は無理であった。

(4) 解析

データ解析は図 2.3.4 に示す現象解析フローチャートの手順に従って行い、風向、風速の一年間のデータから浮体各点のひずみ頻度を推定する事にした。

解析では応力値はひずみ量 (μ) で、動揺は ($\text{gal} = \frac{1}{980} \text{g}$) で整理した。したがって、ひずみ値から応力値への換算は下式で行う。

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

$$\sigma ; \text{応力} (\text{kg}^f/\text{mm}^2) \quad \epsilon ; \text{ひずみ} (\mu) \quad E ; \text{ヤング率} (\text{kg}^f/\text{mm}^2)$$

(a) データ収集

収集したデータの現象生波形は前回の報告書に記載したが、このうち管振りひずみ (S9～S12) は非常に小さいため、現象波形のみとし、これ以上の解析は行っていない。

(b) 周波数分析

分析は動揺、ひずみ共全点静天時と荒天時について行った。結果は気象に関係なく動揺、ひずみ共に 0.2 Hz～0.27 Hz が主成分となっている。最後の評価で行う繰返し回数の推定には平均周波数の 0.23 Hz を用いた。図 2.3.5 に周波数分析結果の一例を示す。

(c) 動揺、ひずみの頻度解析

解析は各連続計測期間毎に全点について行った。代表例として、S. 57. 11. 17～S. 57. 12. 3 間の頻度を図 2.3.6, 2.3.7 に示す。これは、ほぼ Rayleigh 分布に近い形になっている。

(d) 各計測点の相関関係

図 2.3.8 に浮体上下動揺 (A5) を基準とした各計測点の相関関係を示す。これは主に現象生波形から求めた。このグラフの各点を零点へ延長した場合、零位置が若干ずれる。これはオシロの読取り誤差、ストレンゲージの感度 (ひずみ値が非常に小さい) 不足及びノイズの影響などによるものと考えられるため相関係数は各々の勾配から求めた。又、波の方向によって係数に若干差が出ているようであるが、これは点のバラツキの範囲内とみて平均的な値を算出している。

(e) 風向、風速頻度

風向、風速データはペンレコーダに連続記録されているが、風速は常時 2～5 m/s の範囲で変動しており、又突風による大きな振れも度々記録されている。今回の解析ではこのような瞬間風速や風速変動の最高値、最低値は読み取らず振巾のほぼ中心線を一時間毎に読取った。したがって、気象台が発表する風速よりも可成り小さい値になっていると思う。図 2.3.9, 2.3.10 に各月毎の風速頻度を示すが、これは浮体動揺頻度や後述する波高頻度と同じく Rayleigh 分布状をしている。

(f) 波高頻度

解析は入手できた S. 57. 12. 1～S. 58. 2. 28 の 3 箇月分について各月毎と 3 箇月間の頻度を算出した。これは有義値で行った。

図 2.3.1.1 の左側に結果を示し、右側に同じ月の風速頻度を参考に記載した。両者は相似であり相関関係は十分にあるものと考ええる。このデータから浮体ひずみの一年間の推定は風向、風速のデータを用いて可能な事が推測される。

(g) 動揺と風向、風速との相関関係

図 2.3.1.2 に動揺と風速の相関関係を示す。これは、これまで行ってきた両者の頻度（ヒストグラム）から平均値を出してプロットしたものである。

このグラフから相関関係は四季によって変化している事がわかるが、これは季節によって風向きが変わるためと思う。したがって、一年間の平均の相関関係はこの各点のほぼ中心になるとみなした。なお、夏場のデータが少ないため線はやや下側になるように二次曲線で近似した。このグラフから図 2.3.1.3 に示すように一年間の風向、風速頻度から浮体の動揺頻度を推定した。

(5) 評 価

以上の解析結果から波浪により、浮体に発生するひずみ（応力）の一年間の推定繰返し回数は表 2.3.3 のようになる。

(6) 考 察

(a) この表 2.3.3 の一例としてひずみの最大値は S 7 の 200 μ （両振巾）になっており、これを応力に換算すると $\sigma = 200 \mu \times 2.1 \times 10$ （軟鋼）となり、約 4.2 kg^f/mm²になる。したがって、浮体は一年間で最大応力 4.2 kg^f/mm²（両振巾）の繰返し応力を 1×10^4 回うけたことになる。

(b) 同一管の対称位置に貼付したストレングージの出力（例 S 1 と S 3, S 5 と S 7）は同じ値になる筈であるが、計測点間の相関関係のところでも述べたように相互に若干の差があり、これが回数之差となって表れている。

(c) このデータは別途試験中の前項 1 重防食材料の調査における防食材料の機械強度との比較が必要になる。さらに、来年総合調査する浮体の調査時に応力集中部との相互評価が残されている。

表 2.3.1 浮体式試験体動揺・応力計測期間

年	日 月	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
S 57	8																
	9																
	10																
	11																
	12																
S 58	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																

表 2.3.2 長時間レコーダ計測点の推移

番号	計測点	年 月	S 57		S 58							
			11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
1	S 1	ひ ず み	←————→									
2	S 2		←————→		←————→							
3	S 3		←————→		←————→							
4	S 4		←————→		←————→	←————→						
5	S 5		←————→		←————→	←————→	←————→					
6	S 6		←————→		←————→	←————→	←————→	←————→				
7	S 7		←————→									
8	S 8		←————→									
9	A 1	動 揺	←———→									
10	A 2		←————→		←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→
11	A 3		←———→									
12	A 4		←————→		←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→
13	A 5		←————→		←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→	←————→

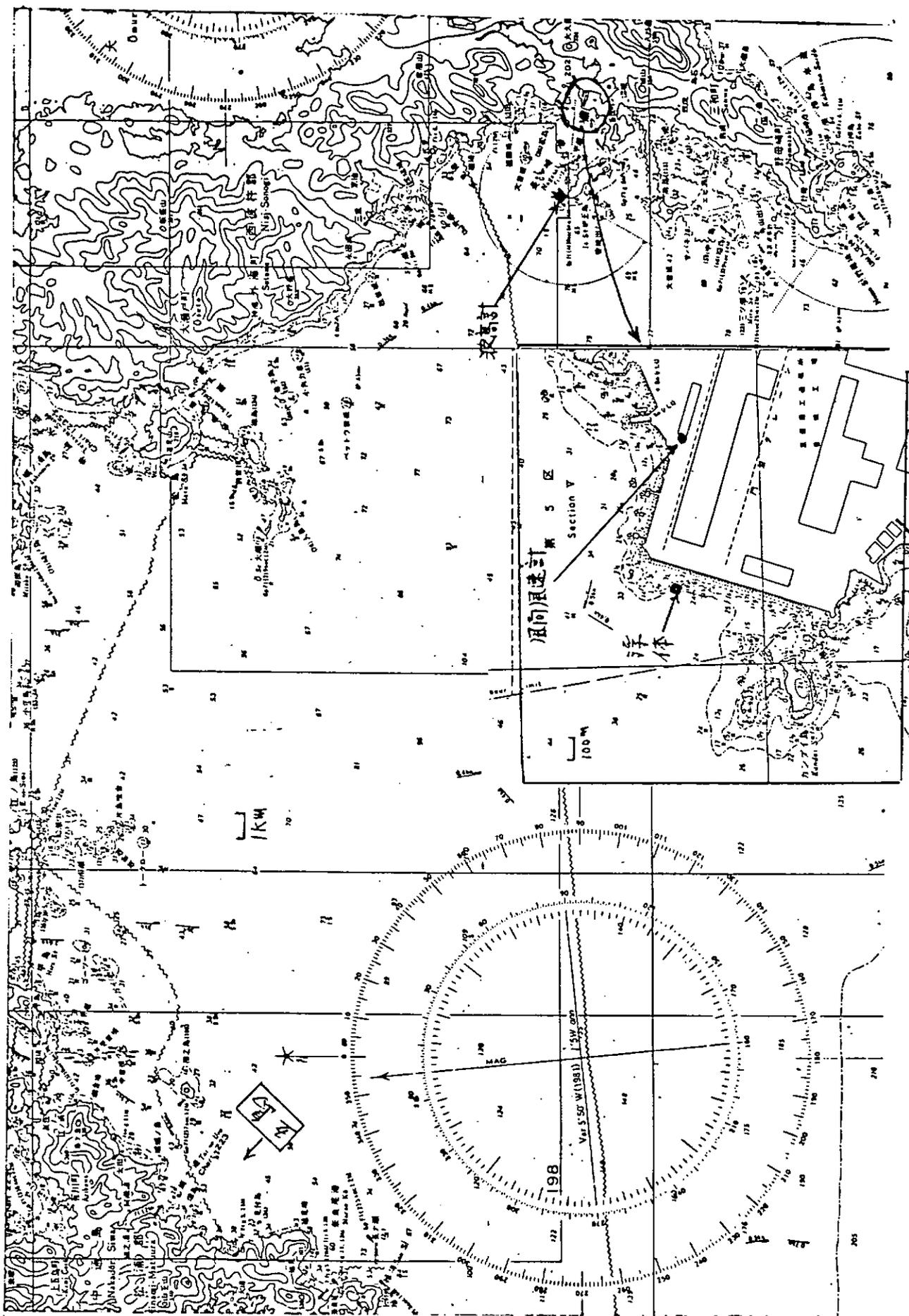


図 2.3.3 浮体設置位置周辺海図

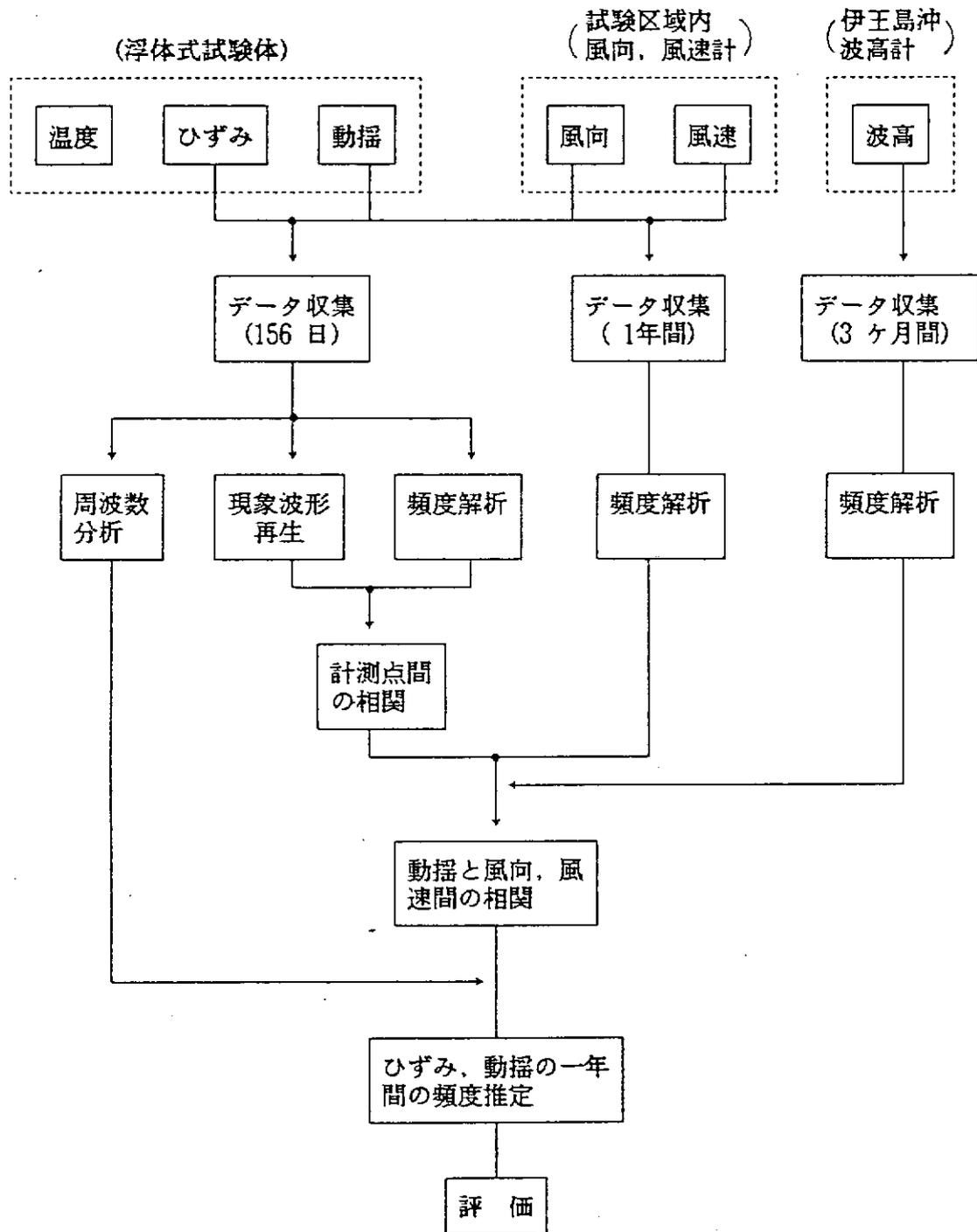


図 2.3.4 現象解析のフローチャート

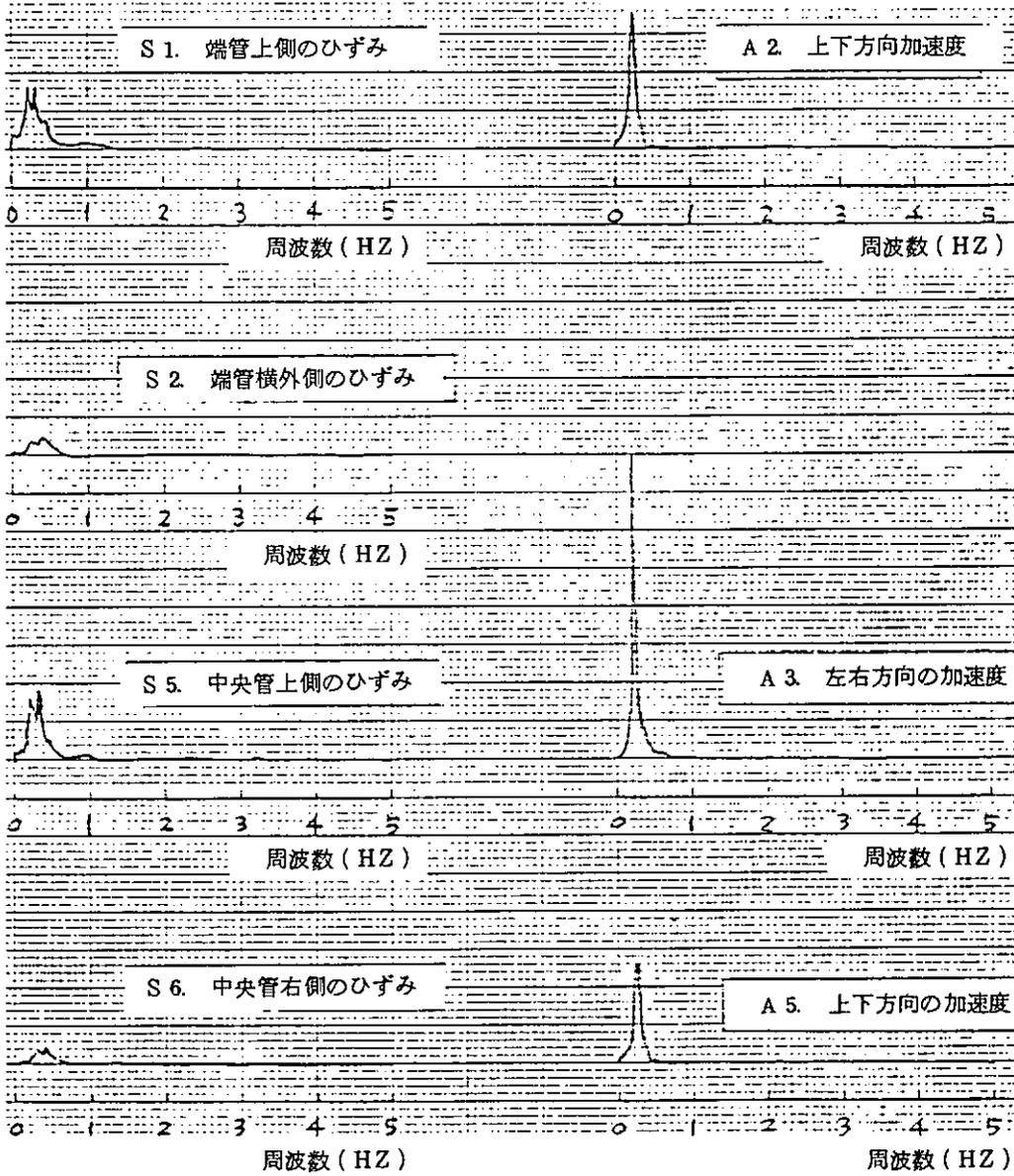


図 2.3.5 ひずみ, 加速度の周波数分析結果

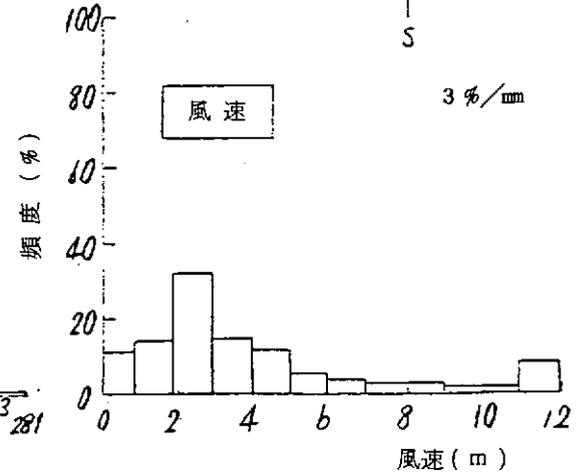
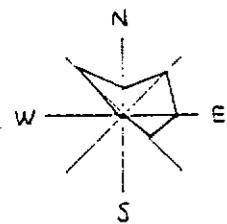
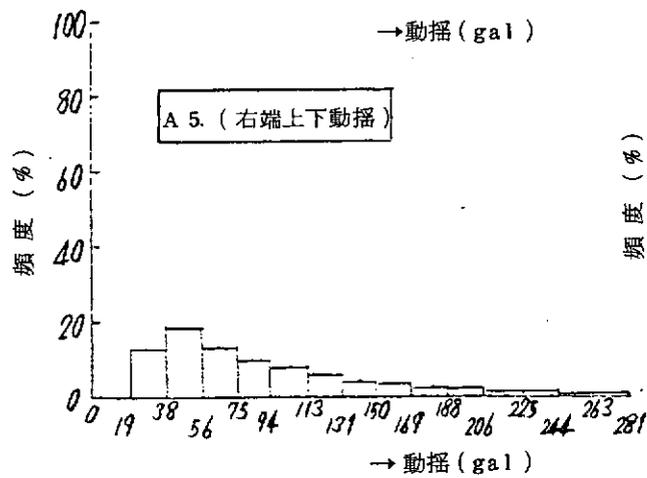
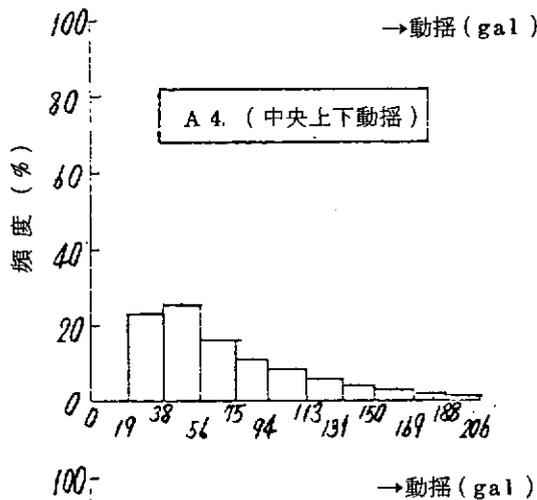
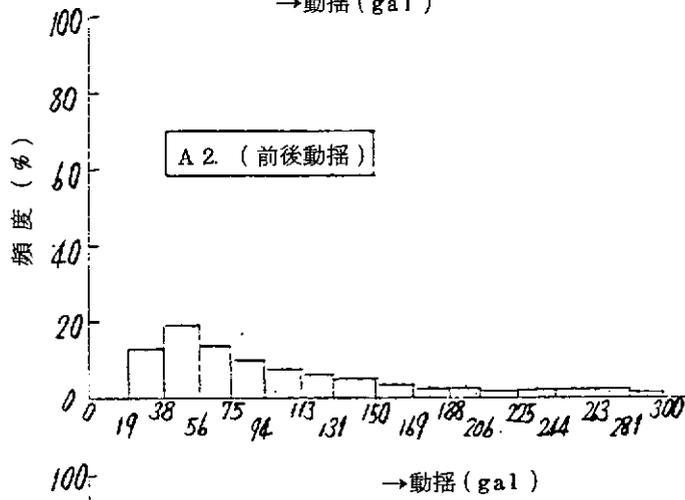
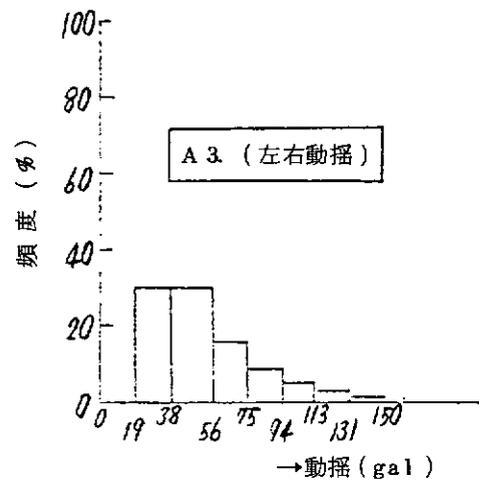
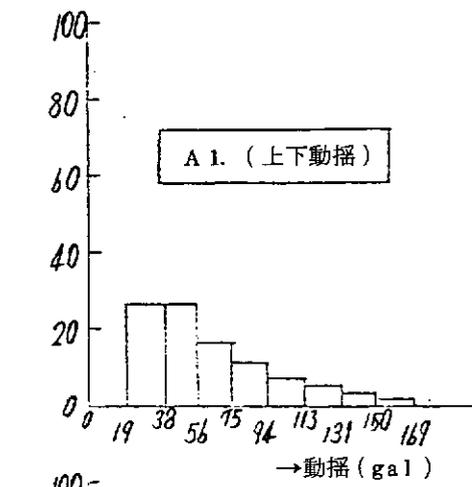


図 2.3.6 動揺, 風向, 風速の頻度 (S. 57. 11. 17 ~ 12. 3)

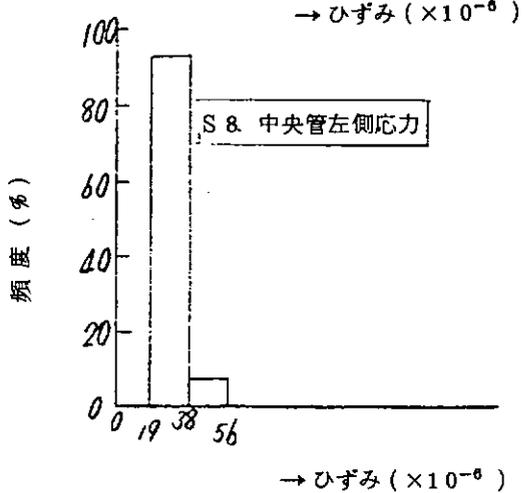
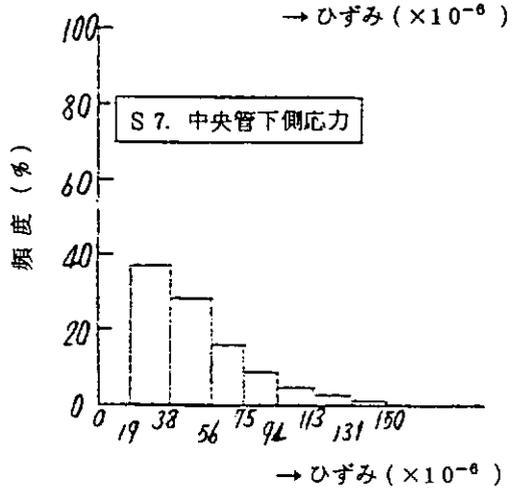
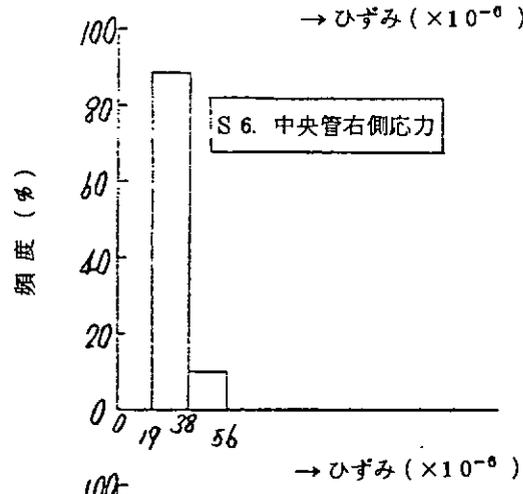
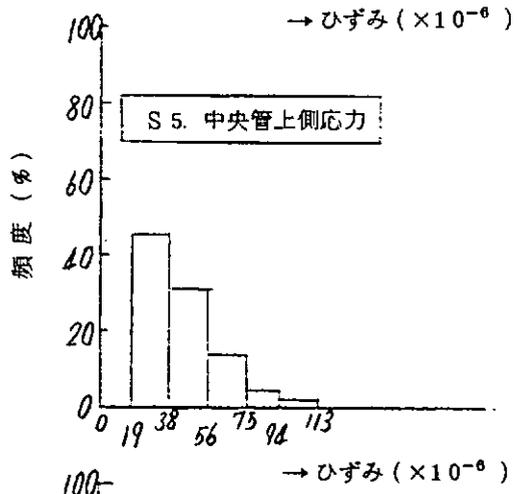
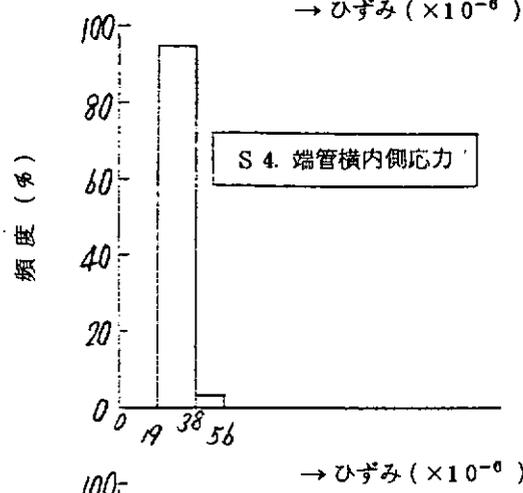
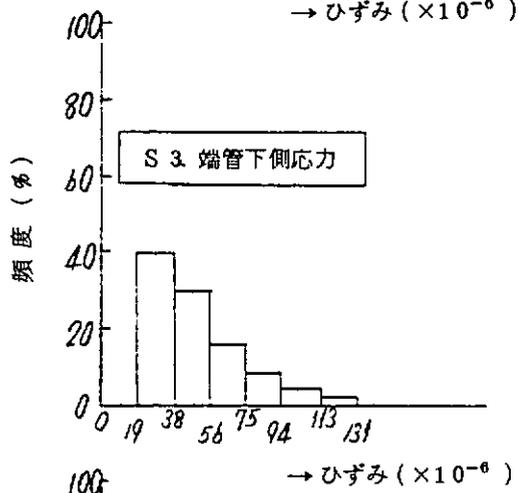
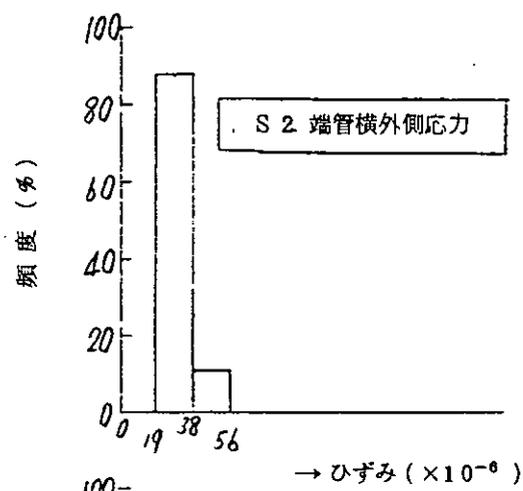
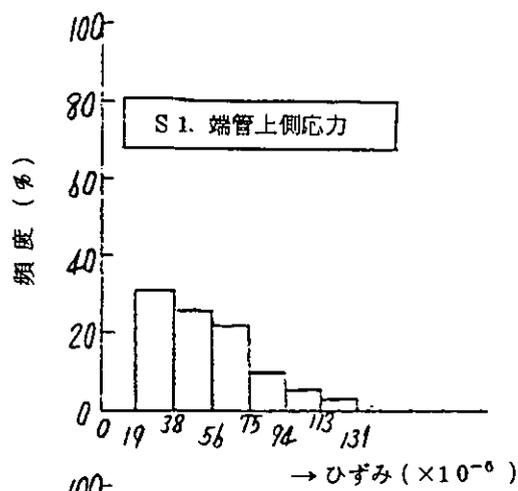


図 2.3.7 ひずみの頻度 (S.5.7. 11. 17~12.3)

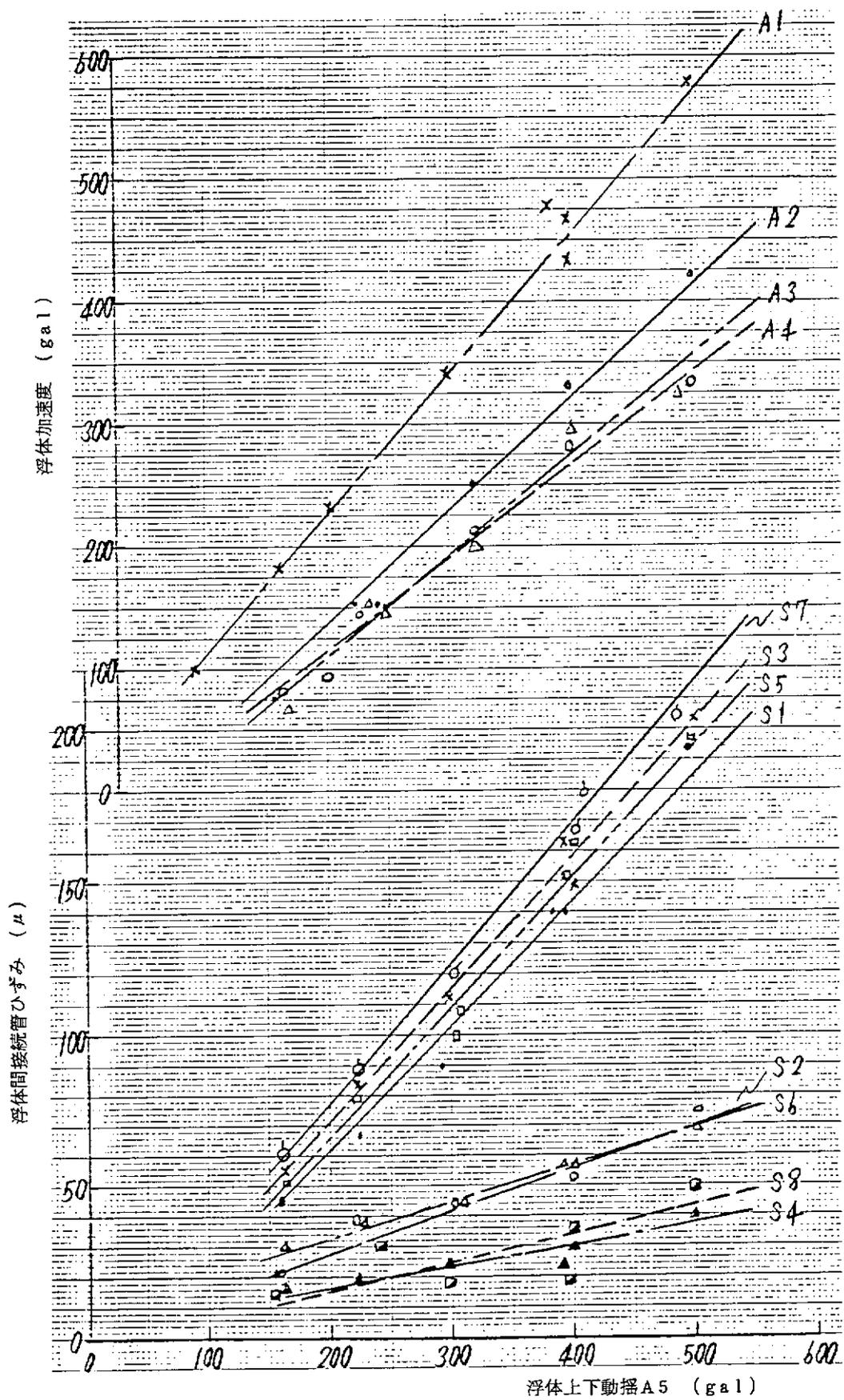


図 2.3.8 浮体動揺 (A5) と管ひずみ, 浮体動揺の相関

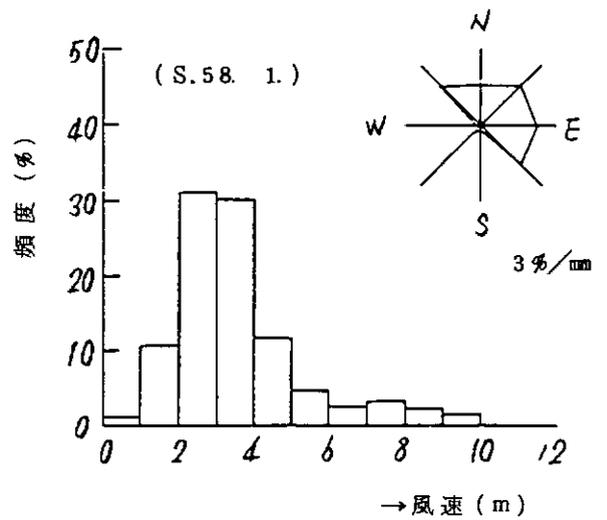
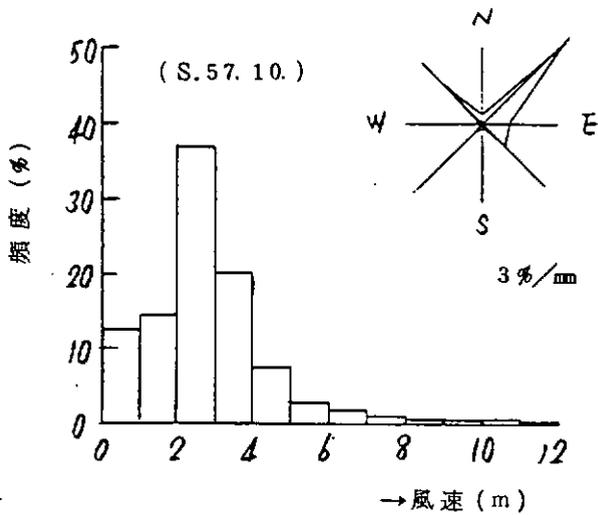
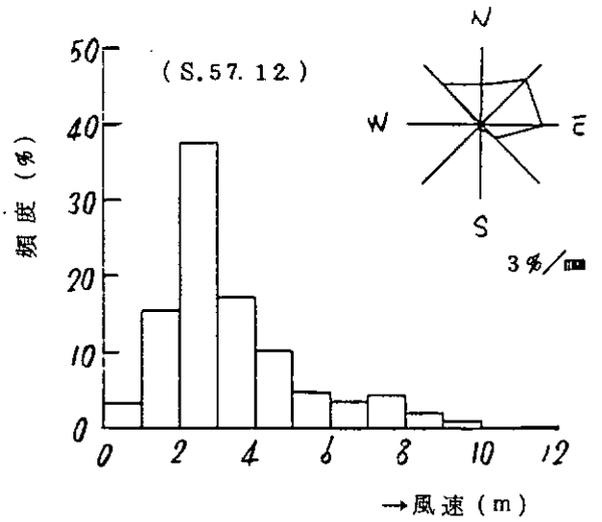
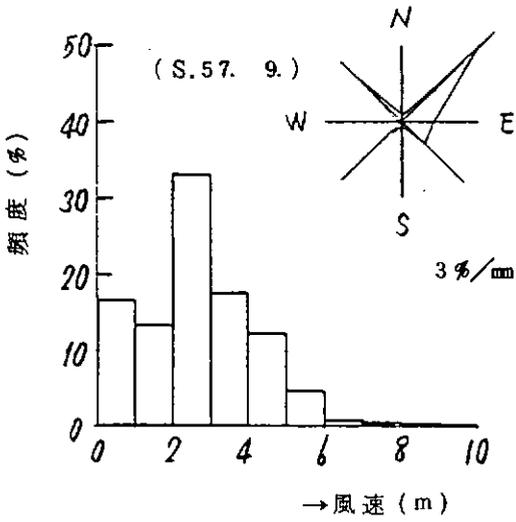
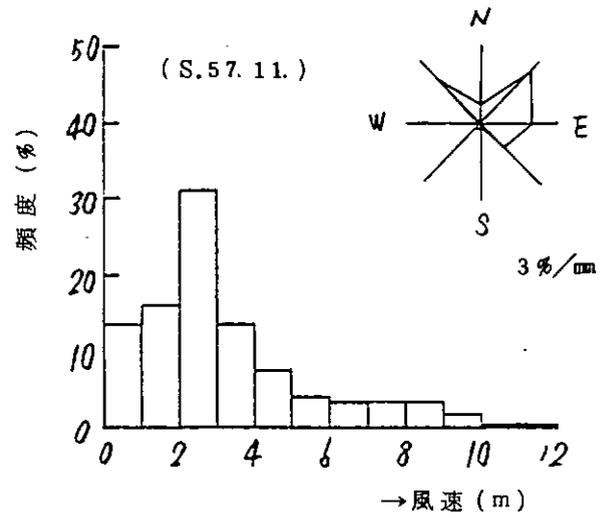
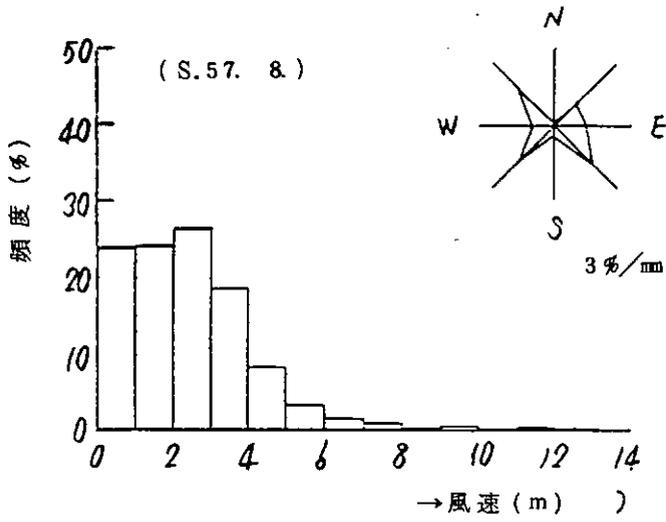


图 2.3.9 风向, 风速频度 (S.57.8 ~ S.58.1)

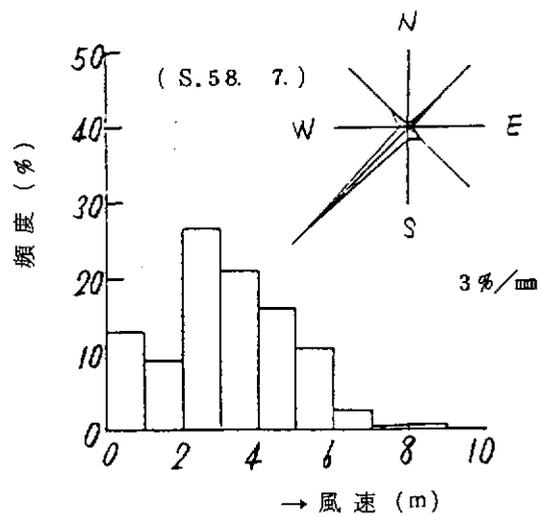
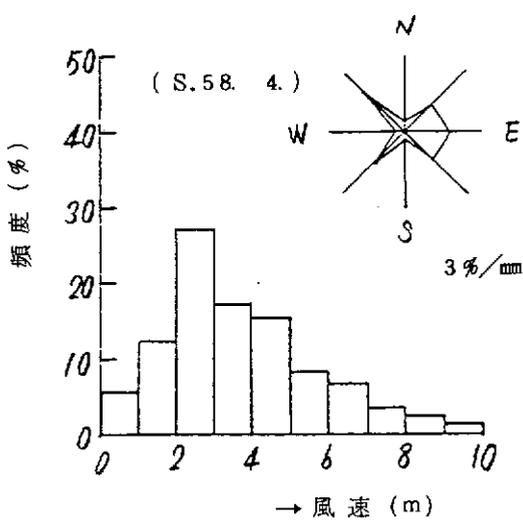
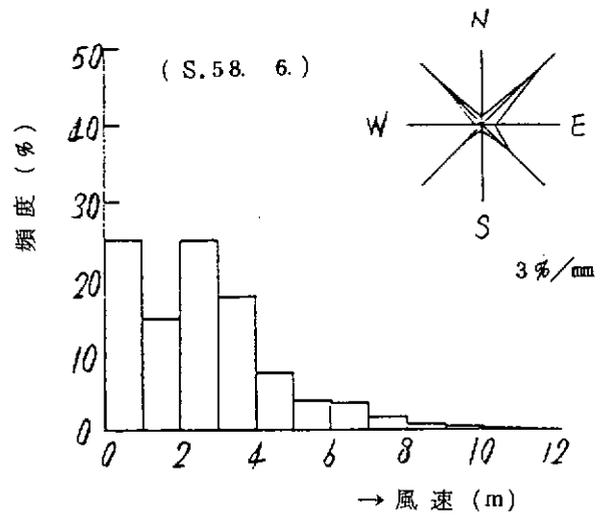
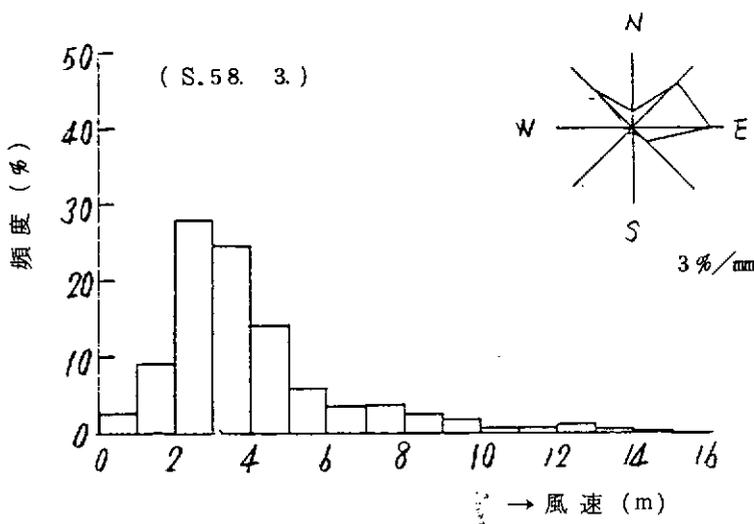
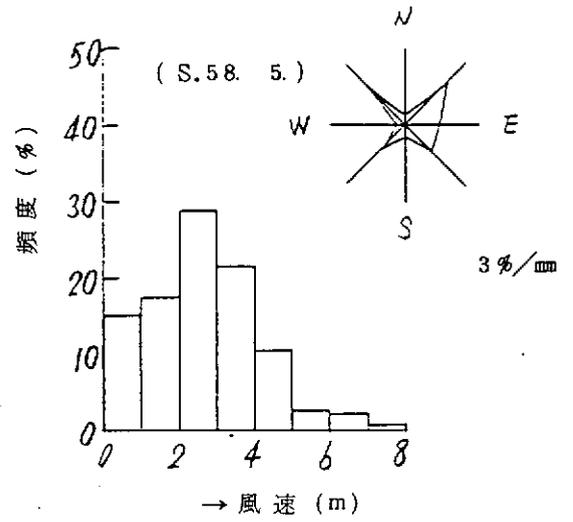
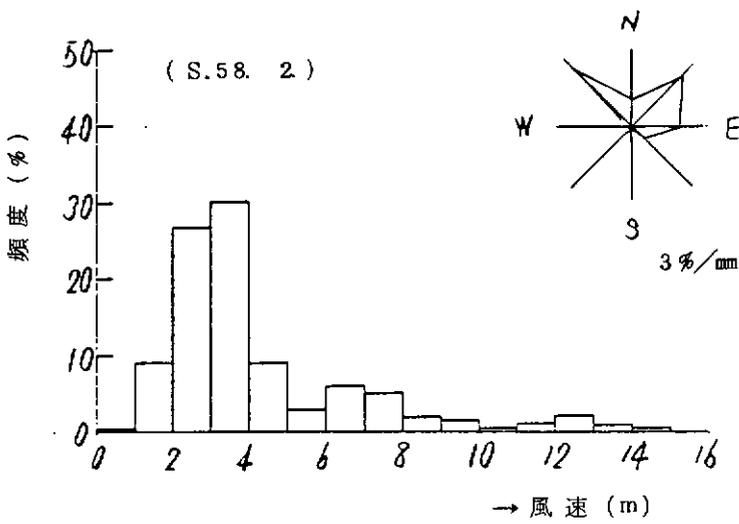


图 2.3.10 風向, 風速頻度 (S.58.2 ~ S.58.7)

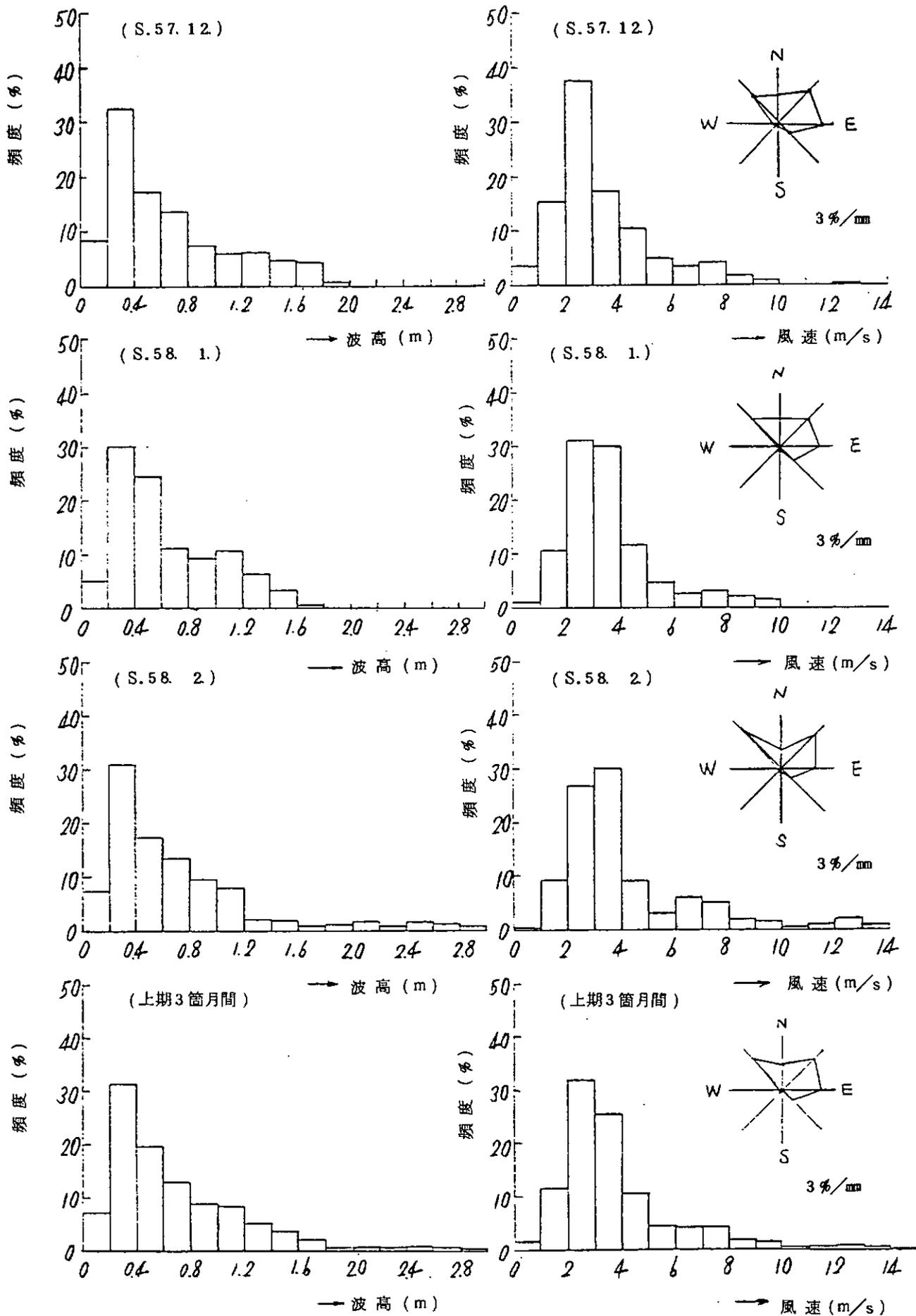


図 2.3.11 波高と風速の頻度

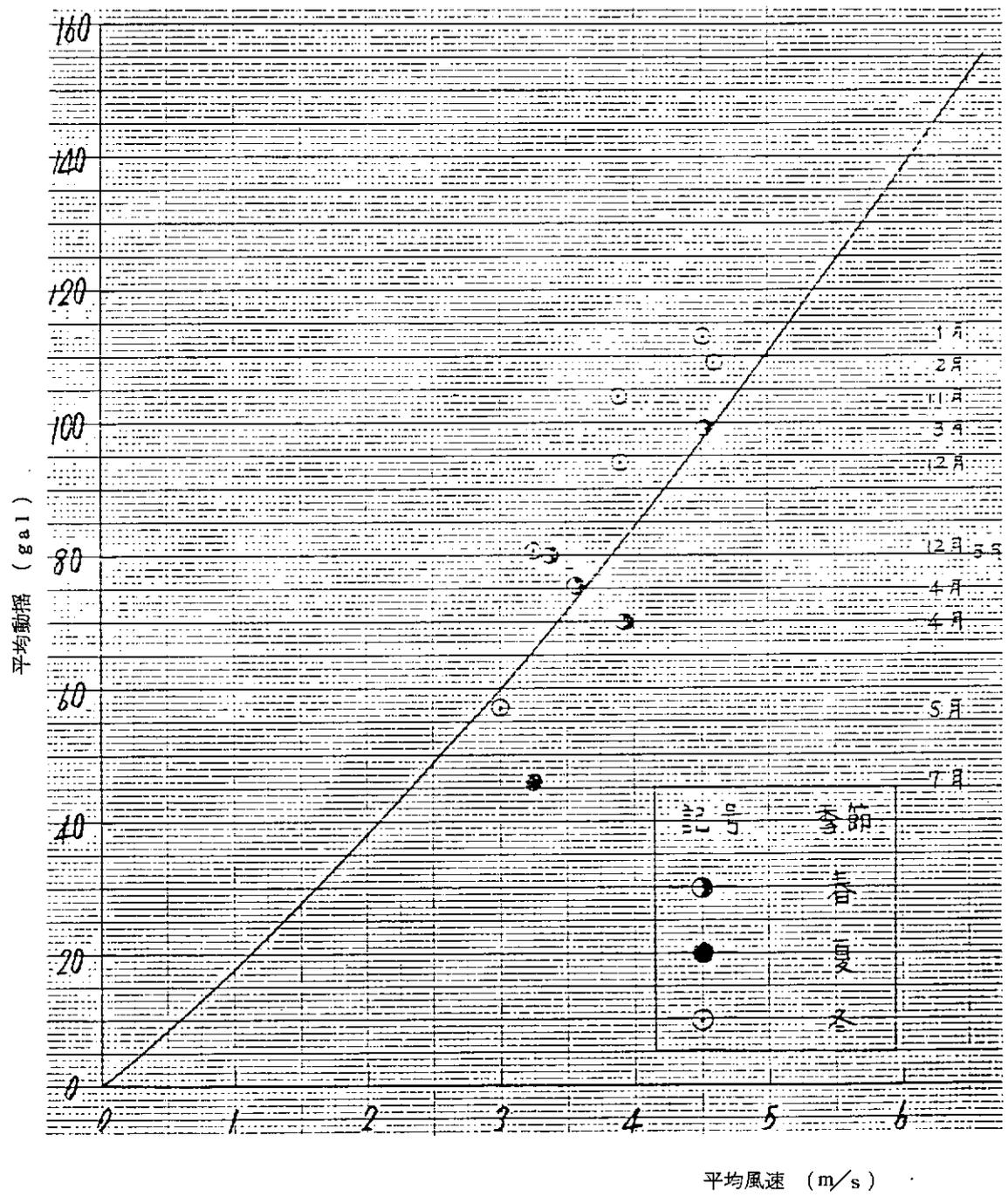


図 2.3.12 風速と浮体動揺の相関

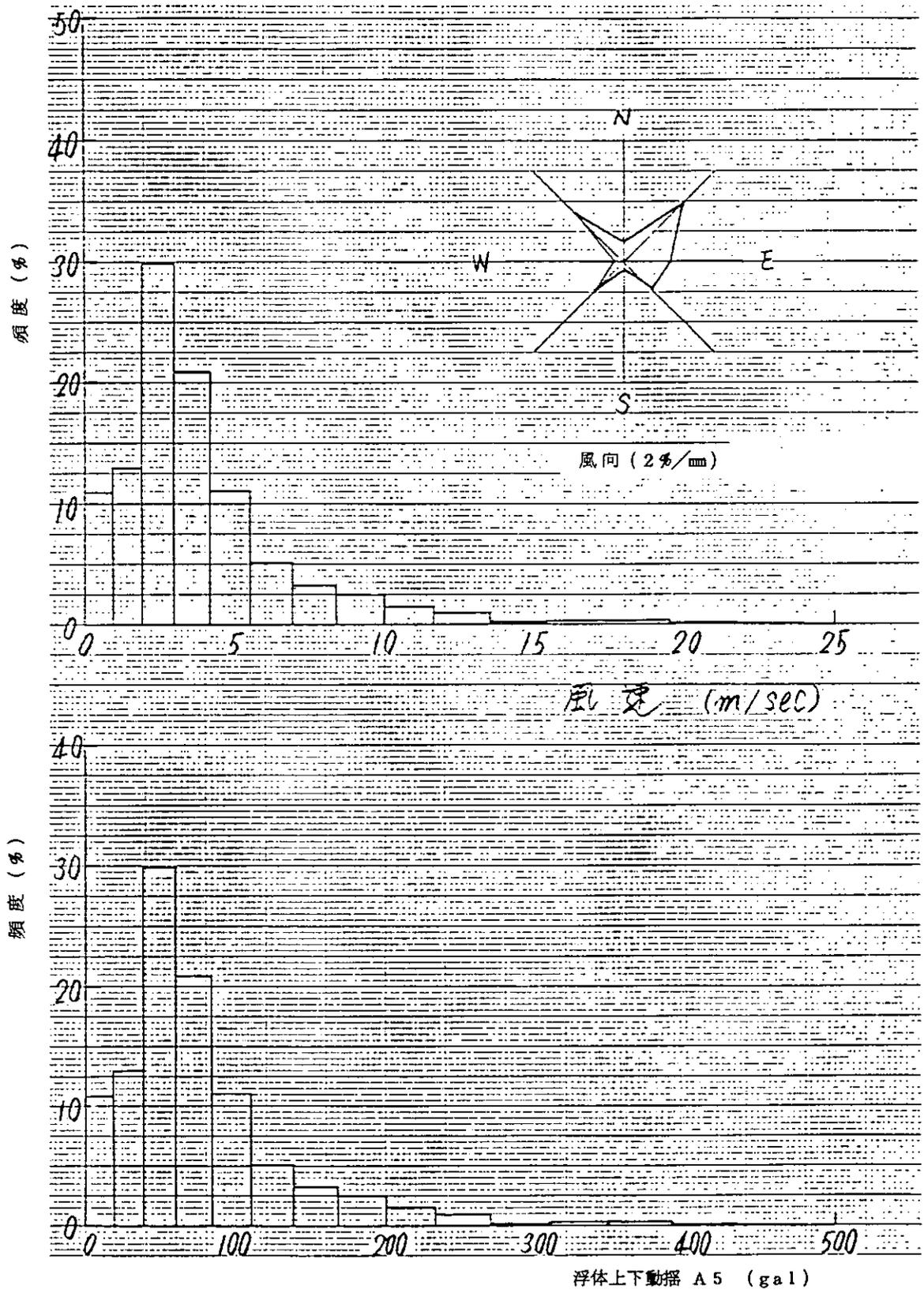


図 2.3.13 風向, 風速1年間の頻度及び浮体動揺推定頻度

表2.3.3 各計測点の繰返しひずみの回数(年間)

(推定)

(S. 57.8~S. 58.7)

計測位置 \ ひずみ ($\times 10^{-6}$)	0~30	31~60	61~90	91~120	121~150	151~180	181~210
S1	5×10^6	2×10^6	4×10^5	1×10^5	4×10^4	2×10^4	—
S2	7×10^6	2×10^5	6×10^3	—	—	—	—
S3	4×10^6	2×10^6	5×10^5	2×10^5	3×10^4	3×10^4	1×10^4
S4	7×10^6	4×10^3	—	—	—	—	—
S5	4×10^6	2×10^6	5×10^5	2×10^5	3×10^4	3×10^4	9×10^3
S6	7×10^6	1×10^5	—	—	—	—	—
S7	4×10^6	2×10^6	5×10^5	2×10^5	4×10^4	3×10^4	1×10^4
S8	7×10^6	6×10^4	—	—	—	—	—

繰返し回数の出し方

$$N = H_y \times f \times K$$

N ; 回数

H_y ; 一年間の時間(秒)

f ; 周波数(Hz)

K ; 頻度(%)

2.4 まとめ

長崎香焼沖に係留している海洋構造物のモデル浮体について、防食被覆材の実環境2年目の防食効果及び応力集中部での一年間の計測結果を解析した。

- (1) 海中部試験片に付着した海洋生物は付着厚さ30~75mm/年で前年度よりもやや少ない。海中部、飛沫部、大気部の外観劣化現象は殆ど認められない。
- (2) 海中部試験片で、一部の被覆材のインピーダンスに顕著な変化が認められるも、鋼板素地への影響はない。
- (3) 係留海域の波高と頻度及び風速と頻度の関係はRayleigh分布状を示し、波高と風速の相関性が得られた。
- (4) 期間中における応力集中部でのひずみの最大は200 μ 、これを軟鋼応力に換算すると約4.2 kg^f/mm²となり、一年間には最大約4.2 kg^f/mm²の繰返し応力が 1×10^4 回である。
- (5) 被覆材の劣化と応力の関係の解析は次年度(最終年度)に予定している。

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

3.1.1 目的

目的材料の性能を評価する指標の1つとして腐食因子の透過性が考えられている。この腐食因子のうち、水や酸素の透過性についてはその評価方法が種々考案され、また塗膜下の腐食との関係も明らかにされつつある。しかしながら、イオンの透過性については定量的な評価法が確立されておらず、防食性能との関係も明らかでないのが現状である。

本年度はイオン透過性の定量的な評価方法としてイオン電極法を検討し、イオンの透過速度を求めることを目的とした。

3.1.2 実験方法

(1) 供試防食材料

本項において供試した防食材料は表1.1の内の3種類であり、それらを表3.1に示す。膜厚は無希釈で欠陥のない膜を作製できる最低の厚さを目安とした。

(2) 試験片の調製

a) イオン透過速度測定試験片

ガラス板に両面テープで固定されたはく離紙上に圧送型エアースプレーにて所定の厚さに防食材料を塗布し、室温にて1週間乾燥後、はく離よりはがし遊離膜を得た。この膜から直径10cmの円板状のものを切り出し試験片とした。

b) インピーダンス測定試験片

グリットブラストクリーニングでS_t3に処理された150×75×3.2t mmの軟鋼板に導線をハンダ付けした後、圧送型エアースプレーにて所定の厚さに防食材料を塗布し試験片とした。

(3) イオン透過速度測定

防食材料のイオン透過性を定量的に評価する指標として、濃度の異なる2液間におかれた膜を通して移動する単位時間当たりのイオン量、すなわちイオン透過速度を用いた。イオン透過速度はイオン電極法により求めた。濃度の異なる2液としては、60℃飽和塩水溶液と60℃蒸留水を用い、透過断面の形状は直径6cmの円形とした。

a) 測定用セル

測定用セルの外観を写真1に示す。試験片は2つのセパラブルフラスコの枝管（フランジ外径10cmφ、内径6cmφ）の間にパッキンを介させクランプで固定した。右側のセパラブルフラスコ（以下Test側と称す）には飽和塩水溶液（以下Test液と称す）を1,500ml入れ左側のセパラブルフラスコ（以下Sample側と称す）には蒸留水（以下Sample液と称す）を1,500ml入れた。液の加熱と攪拌にはホイッピング型マグネチックスターラーを用いた。

b) 測定装置

写真2に装置の外観を示す。写真右のイオンメーター（フィリップス社製PW9415型）は応答電位を0.1mVまでデジタル表示できる。写真左はイオン電極、比較電極及び攪拌用のマグネチックスターラーである。使用したイオン電極の仕様は表3.2に示す。電極液によるSample液の汚染を防ぐため、比較電極には2重液絡型銀-塩化銀電極を用い、内筒液として飽和KCl、外筒液として1M KNO₃水溶液をそれぞれ用いた。

c) 標準液の調製

NaClあるいはNaIを化学天秤で正確0.05モル秤量し、蒸留水に溶解して500mlとした。この0.1 mol/lの溶液を標準液の母液とした。5種類の標準液はこの母液を希釈して調製した。

d) イオン電極法によるイオン透過速度の決定

イオン電極と比較電極の間の電位差を応答電位としてイオンメーターにより測定した。イオン濃度はネルンスト応答（応答電位が濃度の対数に比例する）領域外の希薄領域に対して用いられている5点検量線法で求めた。この方法は濃度の異なる5つの標準液の濃度の対数(x)と応答電位(y)の関係を $y = ax^2 + bx + c$ の2次曲線に回帰し、測定したSample液の応答電位(Y_{samp})よりxを求める。アニオンの場合のxをx_a、カチオンの場合のxをx_cとすると、x_a、x_cはそれぞれ(3.1a)式、(3.1b)式より求められる。

$$x_a = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac - 4ay_{samp}}}{2a} \quad (3.1a)$$

$$x_c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac - 4ay_{samp}}}{2a} \quad (3.1b)$$

イオン濃度はx_aあるいはx_cから次式により算出される。

$$C = 10^{x_a \text{ or } x_c} \quad [\text{mol/l}] \quad (3.2)$$

イオン透過速度は濃度の変化が定常状態に達したときの単位時間当りの濃度変化 $\Delta c / \Delta t$ を用い(3.3)式により算出される。

$$v = m \times \frac{\Delta c}{\Delta t} \times 1.5 \quad [\text{g/h}] \quad (3.3)$$

ここで、mはイオンの原子量であり、Cl⁻の場合35.5 (g/mol)、I⁻の場合126.9 (g/mol)である。

測定に際しては、Sample液を100ml取り出し、室温まで放冷し標準液と温度を等しくした後測定した。

(4) インピーダンス測定

tan δ 測定装置（新電子工業社製CJA3型）の一方の端子に鋼板に取り付けた導線、もう一方に電解質糊で塗膜表面に貼り付けた50×50mmのアルミ箔を継ぎ、電気抵抗及び電気容量を測定した。

(5) 塗膜断面のイオン濃度分布測定

X線マイクロアナライザー（EPMA）の線分析により、透過試験後の膜断面のCl⁻イオン濃度分布を測定し、イオンの浸透状態を調べた。分析は試験片1枚につき5箇所行った。

3.1.3 結果と考察

(1) イオン透過速度の測定

a) 検量線とブランクテスト

異なった日に5点検量線法により求めた3本の検量線を図3.1に示す。図からも明らかのように電極の感度低下などの影響により検量線が若干変化するため、検量線はSample液のイオン濃度を測定することにした。

図3.2はPEF試験片のブランクテストにおける塩素イオン濃度の測定結果である。ブランクテストとは図中左上に示したように、セルのTest側に試験片、Sample側にガラス板がくるよう重ねて装着し、両側に蒸留水を1,500mlづつ満し、60℃に維持してSample液の測定と同様にしてイオン濃度を測定することを意味する。すなわち、Sample側は蒸留水(BT1)、Test側は試験片から

の溶出イオンを含む蒸留水 (BT2) の測定結果となる。図 3.2 から明らかなように、BT1, BT2 と同じ傾向を示し、PEF の場合塩素イオン濃度測定に試験片より溶出するイオンの影響はほとんど無視できることがわかった。しかし、BT1 は濃度がほぼ零であるはずなのに測定結果では $3 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ 程度の濃度を示すことがある。逆に言えばこの程度の測定誤差はさげられないことになると考えられる。

Na^+ 電極の使用可能濃度下限はカタログ値では 10^{-5} mol/l となっている。そこで、 Cl^- イオン濃度と並行して Na^+ イオン濃度も測定した。その結果を図 3.3 に示す。 Na^+ 電極は実際に使用してみると、イオン濃度が $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ mol/l}$ の範囲では検量線の勾配が小さく、再現性も悪いため、実用上の使用可能濃度下限は 10^{-4} mol/l 程度と思われる。そのため、測定結果はほとんどすべて使用可能濃度下限以下となり、本実験のように希薄濃度の測定が要求される場合には Na^+ 電極は精度上不適当であると判断し、途中より測定を中止した。

b) 塩素イオンの透過性

図 3.4 は試験片に PEF 350 μm を用い 20 日間にわたり測定した結果である。10 日目以後は、濃度の増加があまり認められない。

図 3.5 はその防食機構のちがいから PEF よりイオンを透過させやすいと思われる PEM を用いて測定した結果である。厚さは 490 μm であり測定期間は 30 日間である。これらの結果からは透過速度を決定できるような明確な濃度の変化は認められなかった。

以上 2 つの結果から

- ① 測定期間を長くする
- ② 薄い膜を用いる

の 2 点を考慮して TE 137 μm を試験片として 75 日間測定することにした。その結果を図 3.6 に示す。この図から判断して濃度変化が完全に定常状態に達したとは断言できないが、濃度の増加傾向が見られるため以下に述べる方法で透過速度を求めてみた。

イ) プロットに対して最小 2 乗法により指数関数をあてはめると、(3.4) 式が求まる。その軌跡を図中に点線で示した。

$$y = 3.89 \times 10^{-5} \exp(0.0169x) \quad (3.4)$$

ロ) 80 日目でこの曲線に接する接線を求めると (3.5) 式となる。その軌跡を図中に一点鎖線で示した。

$$y = 2.59 \times 10^{-6} x - 5.37 \times 10^{-5} \quad (3.5)$$

ハ) 接線の傾きは 24 時間当りの濃度変化であるためこれを 24 で割った値を $\Delta c / \Delta t$ として (3.3) 式より透過速度を求める。

$$v = (35.453) \times (1.08 \times 10^{-7}) \times (1.5) = 5.74 \times 10^{-6} \text{ [g} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (3.6)$$

ニ) 透過係数を P とすると、60℃ 飽和 NaCl 水溶液と 60℃ 蒸留水の 2 液間におかれた TE (タールエポキシ) の P は (3.7) 式となる。

$$P = \frac{v \times l}{S} = \frac{(5.74 \times 10^{-6}) \times (0.0137)}{(28.26)} \\ = 2.8 \times 10^{-9} \text{ [g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (3.7)$$

ここで V は透過速度 ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$)、l は膜厚 (cm)、S は透過断面積 (cm^2) である。

この値は必ずしも定常状態での値と一致しないかもしれないが一つの目安として示した。

c) ヨウ素イオンの透過性

ヨウ素イオン電極の使用可能濃度下限は 10^{-7} mol/l であり、塩素イオン電極の約 100 倍の感度を有する。したがって、 I^{-} イオンが各種防食材料に対し Cl^{-} イオンの透過性と相似した結果を示すことが確認できれば、 I^{-} イオンを用いてより精度よくイオン透過性を判断できると考えられる。図 3.7 は塩素イオン透過性で用いたのと同種の防食材料を用いて測定したヨウ素イオン濃度の経時変化である。TE の結果は多少濃度に変動が見られるが、PEF、PEM の場合、ほとんどは使用可能濃度下限以下でありこの場合は零とした。このことより、もし実際にイオンの透過が $10^{-6} \sim 10^{-7}$ mol/l 程度のごく微量としても、塩素イオンのときのような測定誤差がなく精度的にすぐれていると考えられる。

しかし、 I^{-} イオンは Cl^{-} イオンに比べイオン半径が約 1.2 倍程度大きいので、透過速度がおそいと予想され、定常状態に達するまでに時間がかかりすぎるので実用には適さないかもしれない。これらの点については今後検討する必要がある。

(2) インピーダンス測定

イオン濃度と並列して測定した塗膜の電気抵抗 (R_x) と電気容量 (C_x) の経時変化を図 3.8, 図 3.9 に示した。 R_x , C_x とも初期の変化は水の浸透によるものと考えられる。イオン透過速度が求められていないのでインピーダンスとの関係は見いだせなかった。

(3) 塗膜断面のイオン濃度分布測定

図 3.10 は先にイオン透過測定に用いた PEF 350 μm 試験片の Cl^{-} イオン線分析の結果である。イオン濃度は平均して表面より $1/4$ 程度の所までは高いが、それより遠い所では低く濃度勾配はほとんどない。したがって、Sample 液のイオン濃度変化をイオン電極法で測定できるようになるには、さらに 3~4 倍の期間が少なくとも必要であると思われる。

図 3.11 は同じく PEM 490 μm の分析結果である。PEF に比べ全体に濃度が高く高濃度部も遠くまで達していることがわかる。加えて、膜の末端付近にも大きなピークが見られることから、イオンが微量ながら膜を貫通して透過している可能性があると考えられる。

このように、膜断面のイオン濃度分布を調べることにより、イオン透過速度を求める上での有効な情報が得られ、より信頼性の高い測定が可能になると考えられる。

(4) その他

イオン電極法によりネルンスト応答しない希薄領域の測定を精度よく行うために注意すべき点をまとめて以下に示す。

- 応答電位は攪拌の影響を著しく受ける。したがって攪拌速度を一定しなければならない。塩素電極はその影響が大きいため一定時間攪拌後、静止状態で測定する。
- 検量線は測定前に新しく調製した標準液を用いて作成する。
- 比較電極の外筒液は保管中に内筒液の KCl により汚染されるため測定前に新しい液と入れかえる。
- 電極は少なくとも測定 1 日前には希薄液中に浸してエージングしておき、感度低下の影響をなくするため測定前に感応膜面をロ紙などで研磨する。
- 応答時間はカタログ値では数秒~数十秒となっているが低濃度の場合は 5 分程度必要である。

3.1.4 まとめ

イオン電極法を用いて塗膜のイオン透過性について検討を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

- 60 $^{\circ}\text{C}$ 飽和 NaCl 水溶液と 60 $^{\circ}\text{C}$ 蒸留水との 2 液間に 75 日間置かれた約 150 μm 厚さの TE 塗膜

(タールエポキシ)のCl⁻イオン透過係数Pは 2.8×10^{-9} [g・cm⁻¹・hr⁻¹]であった。一方、約350 μm厚さのPEF塗膜(エポキシガラスフレーク)及び約500 μm厚さのPEM(エポキシモルタル)では、60℃、20~30日ではCl⁻イオンの透過は認められなかった。

- (2) 同様に飽和NaCl水溶液のかわりに飽和NaI水溶液を使用した場合、約150 μm厚さのTE塗膜では60℃、30日で若干I⁻イオンの透過が認められるようであるが明確には判らなかった。一方、約350 μm厚さのPEF塗膜、及び約500 μm厚さのPEM塗膜では60℃、30日でI⁻イオンの透過は認められなかった。なお、ヨウ素電極は塩素電極に比べ100倍の検出感度を有しているため、イオン透過測定に有効に利用されると考えられる。

本年度はイオン電極法により比較的容易にイオン透過の定量的な評価が可能であることがわかった。今後、この方法により多くのデータを集積することにより、イオン透過性と防食性能との関係を明らかにしていきたい。

表3.1 供試防食材料

系 統	防 食 材 料	略 号	膜厚(μm)
塗 装 系	タールエポキシ	T E	150
ライニング系	エポキシモルタル	PEM	500
	エポキシガラスフレーク	PEF	350

表3.2 使用したイオン電極の仕様(メーカーカタログ値より)

項 目	電 極 名	ナトリウム電極	塩素イオン電極	ヨウ素イオン電極
測定イオン		Na^+	Cl^-	I^-
測定濃度範囲 (mol/l)		$10^{-5} \sim 10^0$	$10^{-5} \sim 10^0$	$10^{-7} \sim 10^1$
実用PH範囲		6 ~ 11	2 ~ 14	0 ~ 12
使用濃度範囲 (℃)		0 ~ 60	0 ~ 50	0 ~ 50
応答速度 [95% 指示]		5 ~ 10 秒	3 ~ 5 秒	10 ~ 20 秒
選 択 係 数		$\text{Li}^+, \text{K}^+ = 10^3$ $\text{NH}_4^+ = 10^3$ $\text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Zn}^{2+} = 10^3$	$\text{S}^{2-} = \text{共存不可}$ $\text{I}^- = 10^{-5}$ $\text{Br}^- = 10^{-2}$ $\text{NO}_3^- = 10_3$	$\text{S}^{2-} = \text{共存不可}$ $\text{Br}^- = 10^4$ $\text{Cl}^- = 10^5$ $\text{NO}_3^- = 10^5$

(注) 選択係数が 10^x とあるのは共存イオンが測定イオンの 10^x 倍含まれて始めて同じ指示を与えることを示す。

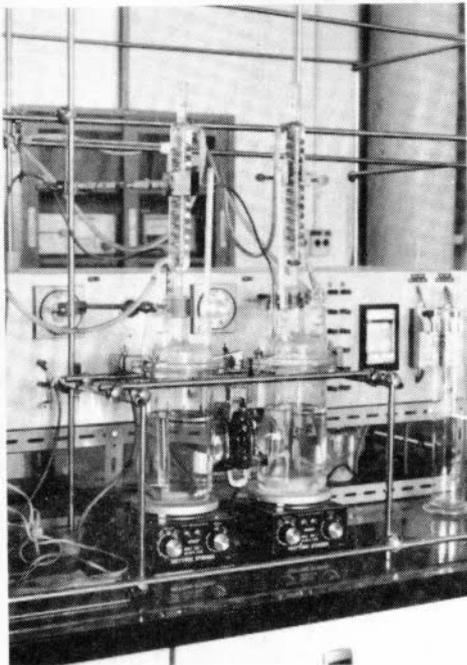


写真1. イオン透過測定用セル



写真2. イオン濃度測定装置

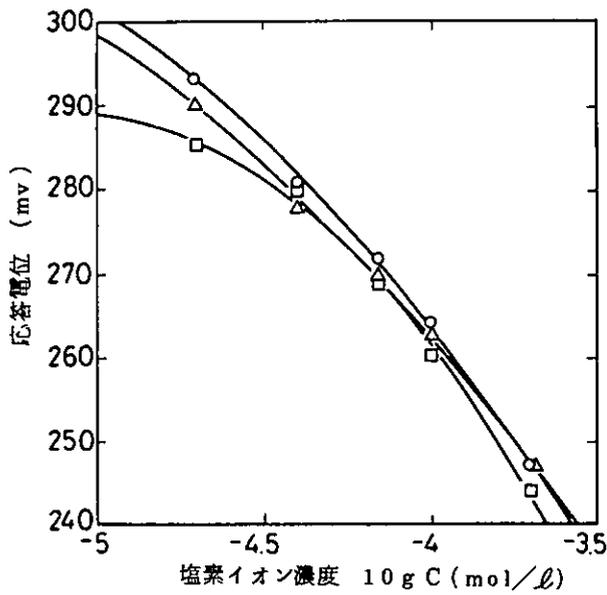


図 3.1 5点検量線法による塩素イオンの検量線

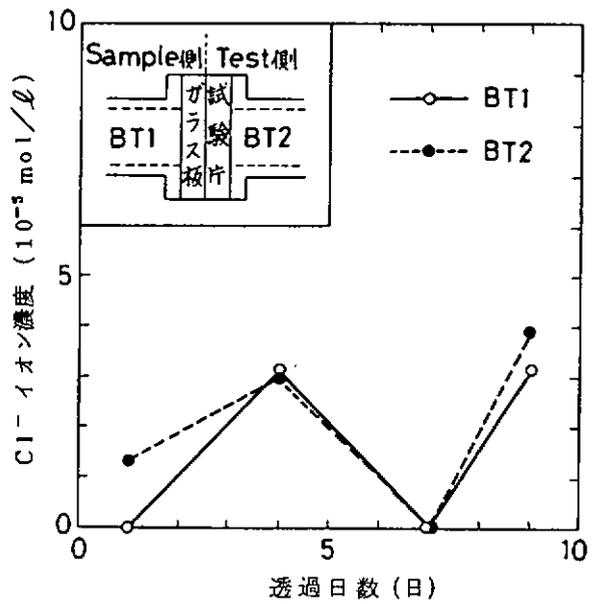


図 3.2 ブランクテストによる塩素イオン濃度の経時変化
(試験片: PEF, 液温: 60℃)

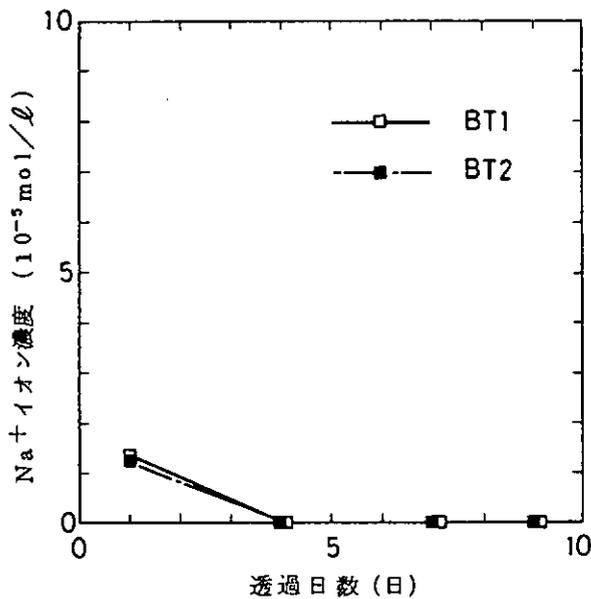


図 3.3 ブランクテストによるナトリウムイオン濃度の経時変化
(試験片: PEF, 液温: 60℃)

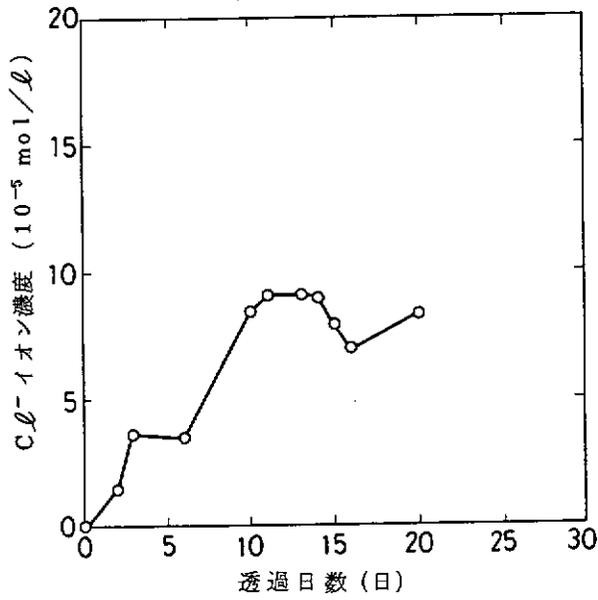


図3.4 塩素イオン濃度の経時変化
 (試験片: PEF 350 μm, Test液温度: 60℃,
 Sample液温度: 60℃)

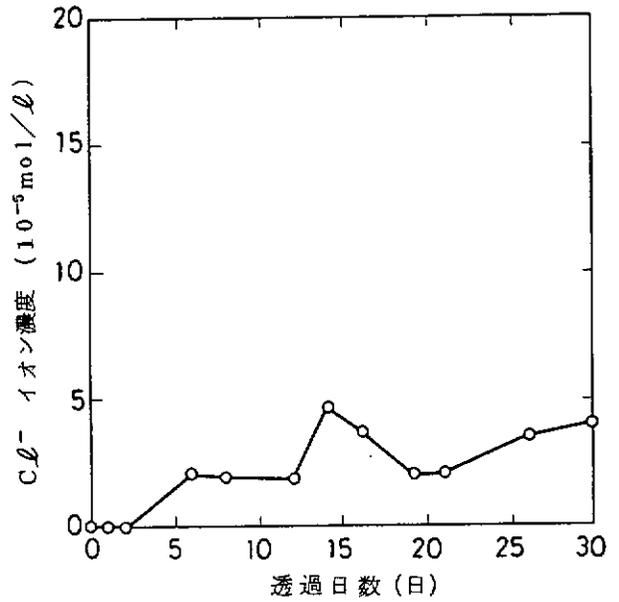


図3.5 塩素イオン濃度の経時変化
 (試験片: PEM 490 μm, Test液温度: 60℃,
 Sample液温度: 60℃)

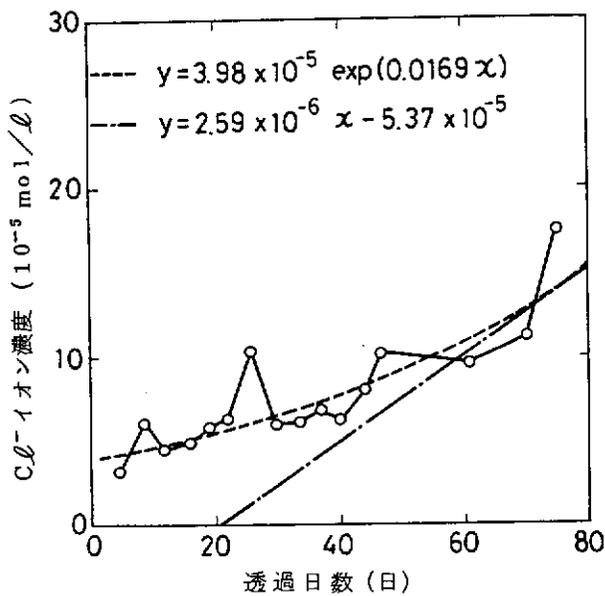


図3.6 塩素イオン濃度の経時変化
 (試験片: TE 137 μm, Test液温度: 60℃,
 Sample液温度: 60℃)

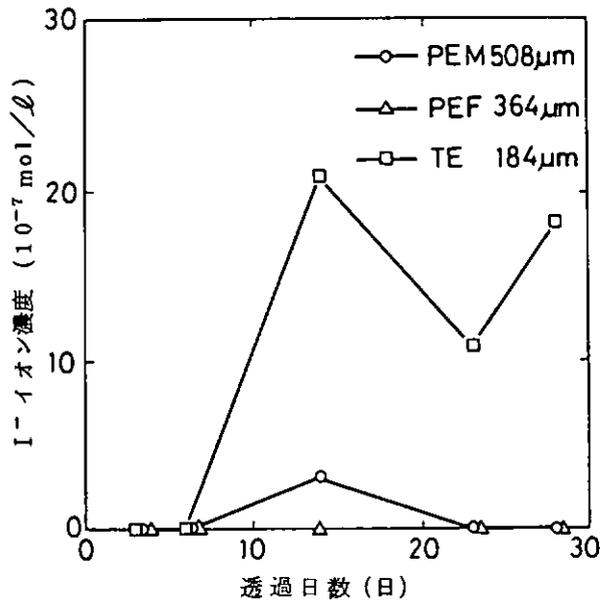


図 3.7 ヨウ素イオン濃度の経時変化
(Test 液温度: 60℃, Sample 液温度: 60℃)

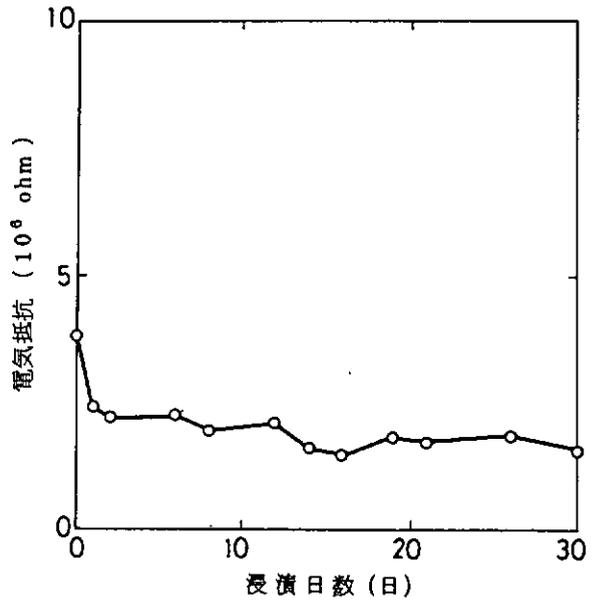


図 3.8 塗膜の電気容量の経時変化
(試験片: PEM570 μm, 浸漬液: 60℃飽和 NaCl 水溶液)

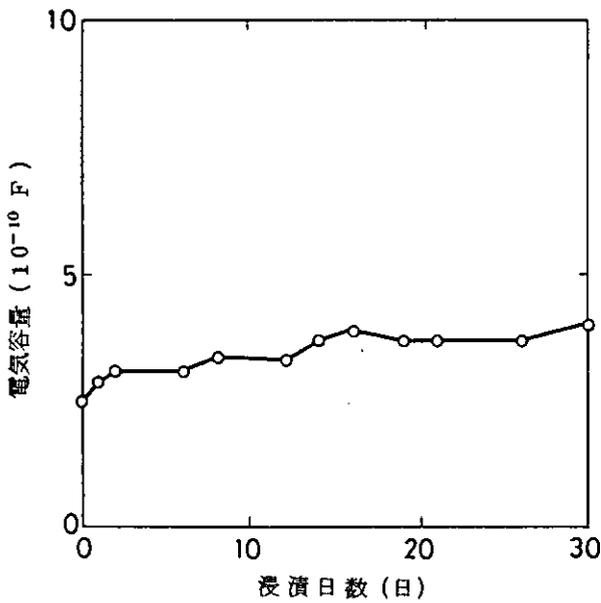


図 3.9 塗膜の電気容量の経時変化
(試験片: PEM570 μm, 浸漬液: 60℃飽和 NaCl 水溶液)

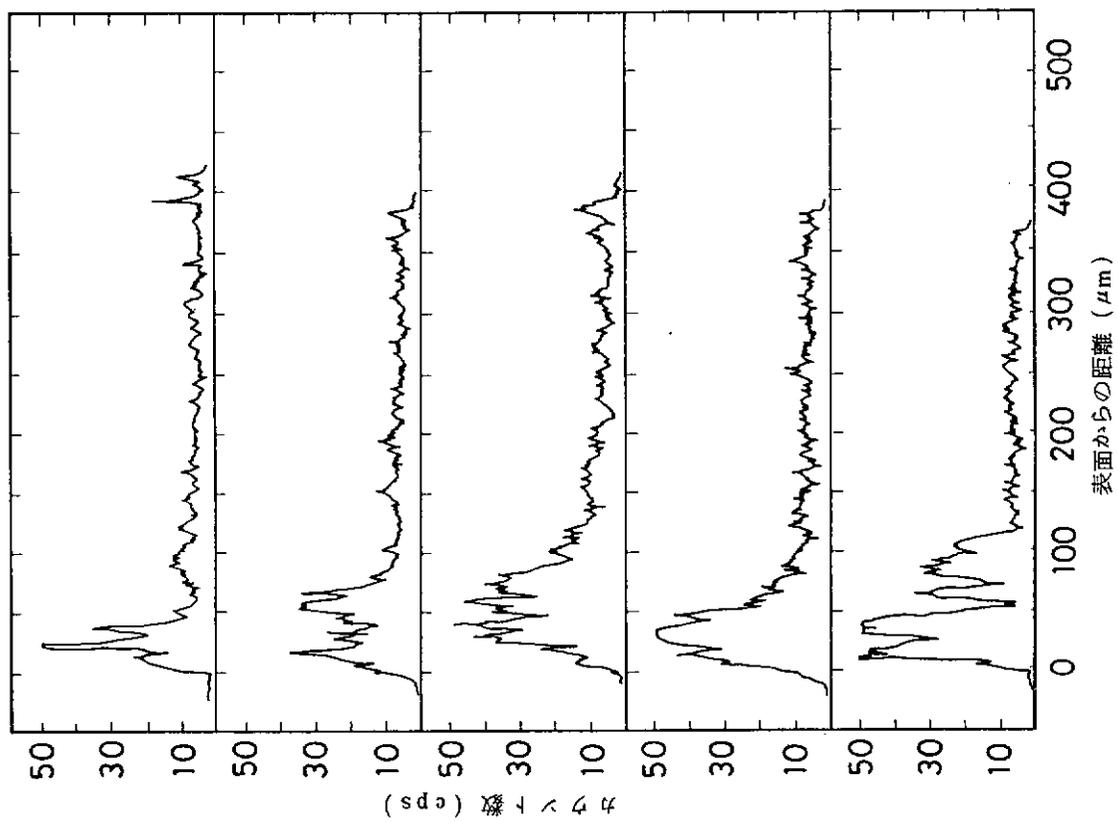


図3.10 EPMA線分析による塗膜断面の塩素イオン濃度分布
 (試験片: PEF350 μm , 透過時間: 20日)

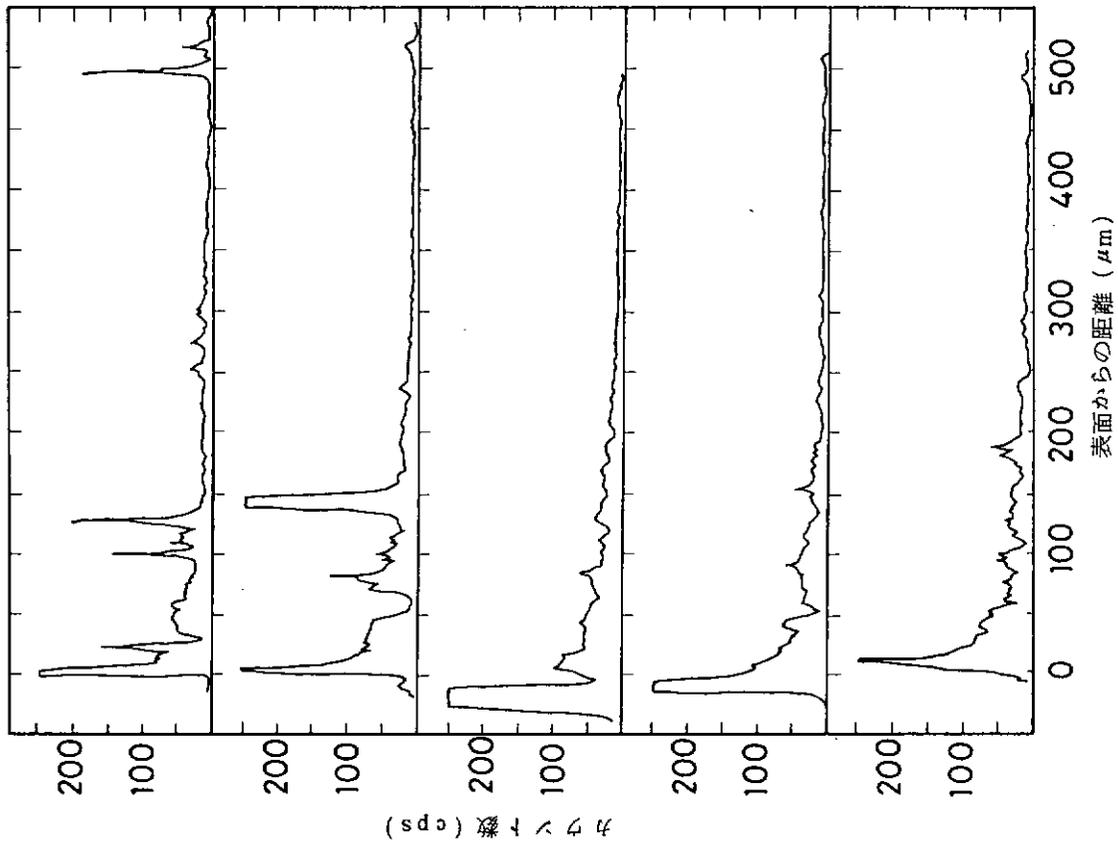


図3.11 EPMA線分析による塗膜断面の塩素イオン濃度分布
 (試験片: PEM490 μm , 透過時間: 34日)

3.2 防食性評価技術に関する検討

3.2.1 目的

長期防食材料の性能を極めて短時間に評価する技術について検討した。その方法の一つとして、水を媒質とする熱衝撃を加えることを試みた。

劣化の評価法に対する検討、促進劣化と自然劣化との対応、さらに防食上重要な要素となる塗膜厚の分布についてのデータ集積も行った。

3.2.2 実験方法

(1) 試験片

本項目に使用した防食材料及び防食仕様は表 1.1 に示したものと同一である。

ベース鋼板は SS41，板厚 4 mm のものであり、劣化の評価の一つとして 3 点曲げ試験を行なえるよう、長さ 300 mm，幅 100 mm とした。形状を図 3.2.1 に示す。

塗装開始前に実施したショットブラスト及びサンドブラストの 1 例を図 3.2.2 に示す。この例での粗さは次のようになる (JIS B 0601-1982 表面粗さによる)

ショットブラスト (仕様 1~5)

最大高さ 50 μm 基準長さ 8 mm

十点平均粗さ 38 μm 基準長さ 8 mm

サンドブラスト (仕様 6~8)

最大高さ 43 μm 基準長さ 8 mm

十点平均粗さ 36 μm 基準長さ 8 mm

仕様 1~5 については、エアスプレー、防食仕様 6~8 については、ナイフコーター (各々のメーカーにて施工) にて塗装した。

IZP, IZ については、塗装後、各々 1 週間程度の間隔をとった。但し仕様 2 については、IZP のあと 2 日後に IZ を塗布した。塗り重ねについては、1 日 1 回塗りとした。

仕様 1 については、製作直後よりふくれが多数存在し、ピンホールも存在した。原因はミストコート of 失敗と考えられるが、この報告では、ふくれのあるものについて実験した結果である。

(2) 試験項目と実施方法

i) 大気中暴露によるインピーダンス変化

インピーダンスの初期値を測定した試験片を、大気中 (海から十分離れている 3 階建ビルの屋上) に暴露し、半年後の変化を測定した。

ii) 熱冷衝撃試験

予めインピーダンスを測定した試験片を用意する。所定温度の水道水のタンクを 2 つ準備し、一方は熱バス、他方を冷バスとする。試験片をこの熱バスと冷バスに交互に漬すことによって、塗膜層の厚さ方向に温度差を発生させる。温度差が存在する間は塗膜に内部応力が存在することになる。

一定回数熱・冷サイクルを繰り返したのち、インピーダンス、付着力、曲げ試験におけるピンホールの発生を測定した。

表 3.2.1 に試験条件を一覧表にして示す。

iii) 膜厚分布の測定

製作した試験片 1 枚につき表裏各 3 点合計 6 点の膜厚を測定し、仕様ごとに目標値とのずれ、膜厚分布の特徴を調べた。

iv) その他

温度差水槽によるふくれ発生試験

温度の異なる水槽を2つ並べ、両水槽の境界に試験片を設置して、塗膜のふくれ発生を促進することを試みた。予備試験が成功したことのみを記す。

高温塩水中浸漬試験

60℃の3%食塩水中に試験片を、70日間浸漬し、インピーダンス、付着力、曲げ試験におけるピンホール発生傾向の変化を調べた。

(3) 劣化判定法

劣化の判定はインピーダンス、付着力及び3点曲げによるピンホールの発生、塗膜のはがれによった。

i) インピーダンス

塗膜をドリルにより掘り、素地金属までの穴を明け、電極の一端を素地に固定する。塗膜面に50mm×50mmのアルミ箔を電解質の糊(3%NaCl溶液に溶解したカルボキシルメチルセルロース)で張り付け、対極とした。この両極間の交流抵抗R及び容量Cを誘電体損測定装置TRS-IT型(安藤電気製)を用いて測定した。R及びCの測定で用いた並列等価回路を図3.2.3に示す。測定は、変形器ブリッジ方式によるものである。

RとCの測定後、 $\tan \delta$ の値を、3.2.1式によって計算した。式中 f は周波数である。

$$\tan \delta = \frac{1}{2\pi fCR} \quad (3.2.1)$$

測定した周波数は、0.11, 0.33, 1, 3, 10 KHzの各々についてである。

各種暴露試験を行う試験片では、ドリル孔にアラルダイト接着を流し込み、孔が欠陥となって錆等が発生しないようにする工作後、試験に供した。

ii) 付着力測定方式

付着力の測定は、英国Elcometer Instruments Ltd製のMODEL 106 ADHESION TESTER(密着度試験器)を用いた。最大容量70 kg/cm²のものである。

測定要領は、図3.2.4に示す。まず塗装面をエチルアルコールで清浄にする。この面にドーリーDOLLY(当盤)をアラルダイト接着剤により張りつける。接着剤乾燥後、ドーリー周囲の塗装部を切る。爪でメータの底にあるつめでドーリーをはさみ、ハンドルによりネジを締め、ドーリーを上方へ引き上げる。

iii) 曲げ試験

曲げ試験要領を図3.2.5に示す。曲げ試験用の治具は、JIS G 3492-1977「水道用鋼管コーラルエナメル塗覆方法」の塗装試験片の曲げ試験法に則っている。

中央を下部より支えられた塗装試験片に、上部からの2支点によって曲げを加え、歪の最も大きくなる中央部上面をピンホール探知器(サンコウ電子研究所製、TRE-10A型、探知電圧5~23 kv)の電極ブラシで掃き、ピンホールを探した。探知電圧は5 kv、探知間隔は、曲げ撓み量1mm~2mm毎に行った。本探知器により、ピンホールの数が少ないものでは、その数を知ることが出来る。試験機としては、島津オートグラフ(荷重容量(5トン))を用いた。

3.2.3 実験結果

i) 大気中暴露によるインピーダンス変化

図3.2.6.1~3.2.6.8に塗装仕様№1から№8まで図3.2.6.1のインピーダンス変化、R、C、 \tan

δ の値を、周波数に対して示す。各値は、仕様が同一であればほぼ同一の値を示すため、試験片毎の点を区別することなく示した。各点の平均値として、周波数に対する $R.C. \tan \delta$ の変化を直線で与えた。

図 3.2.7.1～7.3 に、大気中暴露、6ヶ月後の $R.C. \tan \delta$ の変化を、初期値との比で示す。試験片によりばらつきがあるが、ここでは塗装仕様ごとに2～5本の試験片について測定した平均値のみを示した。

ii) 熱・冷衝撃試験

熱・冷衝撃実験1 (0℃～100℃) の結果

0℃冷バス40秒、100℃熱バス20秒の結果である。

図 3.2.8.1～8.5 に、インピーダンス変化 $R.C$ を示す。付着力、付着力試験後の塗装破断面の様子、曲げ試験におけるピンホールの発生たわみ、たわみの増加とピンホール検出数の増減の関係を表 3.2.1.1～3.2.1.3 に示す。表 3.2.1.1 は初期値であり、熱冷衝撃2 (0℃～60℃) の場合にもこれを初期値とした。

図 3.2.9 に付着力の変化を横軸に熱冷衝撃回数をとり示した。

なお、熱バスと冷バスの温度は、投げ込み式ヒーター及び氷にて目標温度保持につとめたが、実験上では次のように変化した。

熱冷10回の場合 (経過時間約10分)

熱バス温度 95℃→90℃

冷バス温度 25℃→5℃

熱冷20回の場合 (経過時間約20分)

熱バス温度 95℃→85℃

冷バス温度 0℃→4℃

熱・冷衝撃実験2 (0℃～60℃) の結果

熱・冷衝撃実験1で用いた100℃近い温度が塗膜の温度そのもの (温度差ではない) による材質変化 (ガラス転移点……塗膜自体の特性であるが、加熱速度にも依存する……を越える材質の場合) を起す可能性を考えこの熱・冷衝撃実験2では、対象とした塗装仕様 $\#1$ から $\#5$ のいずれもが、ガラス転移点を起さない温度として60°を選定した。

実験は、0℃の冷バスと60℃の熱バスの間を各バス30秒ずつ浸漬して往復するものである。

図 3.2.10.1～3.2.10.5 にインピーダンスの変化 (抵抗) を図 3.2.11.1～3.2.11.5 にインピーダンスの変化 (容量) を示す。図 3.2.12 に付着力の変化を示す。表 3.2.4.1～4.5 に結果をまとめて示す。

iii) 膜厚分布

塗装仕様 $\#1$ ～ $\#6$ 及び $\#7$ について、試験片の表裏の中央部及び端部より40mmでの塗膜厚を計測した。用いた厚さ計は、ELEKTRO-PHYSIK社製のMINITEST FD-digital (測定範囲0～1250 μ m、誤差 $\pm 3\%$) を用いた。

塗装仕様 $\#6$ 、 $\#8$ については、マイクロメーターにより、表および裏面の塗膜厚に鋼板厚を含めた厚さをマイクロメーターで測定し、鋼板厚を除き、残りの値を2等分して、膜厚とした。

全仕様の測定試験片枚数は次の通りである。

仕様番号	試験片枚数	測定点	備考
1	198	1188	表裏各3点
2	50	300	同上
3	50	300	同上
4	50	300	同上
5	50	300	同上
6	50	150	表裏の平均を測定
7	50	300	表裏各3点
8	50	150	表裏の平均を測定

これらの測定点の分布をヒストグラムで示したものが図3.2.13.1～13.8である。図中 target として示したのは、塗膜のドライ膜厚値として設定したものである。

図3.2.14.1, 14.2は、膜厚分布を塗装系（防食仕様161～165）とライニング系（防食仕様166～167）に分けて、同一図上に折線で示したものである。

3.2.4 実験結果の考察

i) 大気中暴露によるインピーダンスの変化

半年のみの変化であるので他のデータと比較するまでには至らないが主な特徴のみを述べる。

3年間に及ぶ同種の海洋環境におけ試験結果は、第1章に示されているが、引張付着力は、防食仕様8を除いて、経年と共に低下している。一般に、この劣化の傾向は、インピーダンスにおける抵抗値の低下、容量値の増加として現われると考えられる。そこで図3.2.7を見ると、

① 容量の変化は、ほとんど現われていない。

② 抵抗の変化は

- ・ 仕様161, 165（いずれも第1層はIZ（無機ジंक塗料））では、ほとんど変化がない。
- ・ 仕様162, 164（いずれもTE（タールエポキシ）系塗料）及び仕様163, 166（いずれもエポキシ系）ではかなりの上昇を、全周波数で示す。
- ・ その他のものでは、ばらつきが大きく、又、周波数により傾向が異なる。

③ $\tan \delta$ は、仕様168（ポリエステルガラスフレーク）の0.3及び1 Hzで大きい上昇がある以外は変化が少い。

ii) 熱・冷衝撃は、劣化促進に使えるか

熱・冷衝撃実験1の結果のうち、塗装仕様163について、インピーダンス、付着力、曲げ試験でのピンホール発生状況を調べてみる。図3.2.8.3, 図3.2.9, 表3.2.2.1～表3.2.2.3参照。

上記表中の最右欄のピンホール発生に関する型は、次のように定義した。

O型—規定の曲げ試験で、たわみ量が38mmを越えるまで、ピンホールが検出されないもの。但し、ピンホール検出電圧は5KVとした。

I型—上記曲げ試験で、一旦ピンホールが検出されるが、たわみを増加させても、その数が増加しないか、全く検出されなくなるもの。

II型—上記曲げ試験で、あるたわみ量でピンホールが検出されると、その後のたわみ量の増加につれて、ピンホールの量が加速度的に増加するもの。

一般に、劣化はO型→I型→II型の順で進行する（どの型から始まるかは、塗膜により決まると考える）。

以上から、塗装仕様3の変化をみると、熱冷衝撃回数の増加につれ、

- 抵抗値……………一旦増加後減少する。
- 容量……………一旦減少後増加する。
- 付着力……………一旦増加後減少する。
- 曲げ試験におけるピンホールの検出 — O型→I型→II型と推移。

と各値が変化している。抵抗、容量、付着力における初期の一見強化の傾向は、すでに他の試験で実証されており、温度が高いほど顕著に現われるもので、養生期間に関係した現象と考えられる。

劣化が進行すれば抵抗は下り、容量は増し、ピンホールは出易くなるであろうと予想すれば、このことを単時間の熱冷衝撃で再現したことになる。

仕様3で調べた傾向は、仕様№1.2についても同様の傾向であり、仕様№4.5についても抵抗値、容量、付着力間の対応は、同一傾向である。この2者では、付着力がピークに達するには、衝撃回数を増加させる必要があると考えられる。

これらの対応を表3.2.4に示す。

次に熱・冷衝撃実験2の実験結果について上述の傾向が当て嵌まるかを調べてみる。図3.2.10., 図3.2.11, 図3.2.12, 表3.2.3.1~3.5参照。抵抗、容量、付着力についてまとめて示したのが表3.2.5である。この表中付着力に着目する。衝撃回数に対し、付着力が一旦上昇したのちかなり明確に減少に転じている仕様2をみると凹凸はあるにしても抵抗は、一旦上昇したのち下降、容量は減少したのち増加の傾向を示している。他の仕様については、必ずしも傾向がはっきりしない。

そこで仕様3について0.3, 3.10% NaCl溶液の温度を、常温、40℃、60℃とかえ、空気吹き込みを行って1週間、1ヶ月及び3ヶ月浸漬し、塗膜劣化を促進させた実験結果(SR182報告, 研究資料№347, 昭和57年3月, 3章)と比較してみる。ここで比較出来るのは付着力と抵抗値である。

図3.2.15に付着力(初期値ベース)と抵抗値の相関を示す。図中小円, 小三角, 小四角で示したのは浸漬試験結果である。ここでプロットしたのは、空気吹き込みの場合のみで、小円, 小三角, 小四角の区別は、水温が常温、40℃、60℃の場合に対応し、付着力及び抵抗値(周波数1KHzの場合)は、初期値との比で示してある。

図中の破線は、初期値である座標(1,1)を通り、概略最小自乗法により浸漬試験結果を近似した直線である。

図3.2.15.1の中で、大きい塗り潰し三角は、熱・冷衝撃実験1の結果である。破線からは大きく離れているが、破線を横軸に沿って右方向に平行移動すれば、のってくる関係にあると見ることも可能である。この平行移動の必要は、熱バス温度がガラス転位点を越していたことにより、塗膜の材質そのものが変質したことが原因の一つと考えられる。

図3.2.15.2の中には、熱・冷衝撃実験2の結果を大きい塗り潰した四角で示した。四角印が破線の近傍に分布していることが認められる。このことは、熱冷衝撃による塗膜の劣化、促進における付着力とインピーダンス(抵抗のみであるが)変化の関係が、長期浸漬による両者の関係に近いことを示している。

こうしたことから、熱・冷衝撃実験2においては、実環境での劣化に近い現象が塗膜内で起きている可能性が強いと考えられる。但し、図3.2.15に示されたのは、付着力、抵抗の初期値比とも1.0より大きい部分が殆んどであり、強化過程の部分ないし、劣化過程であっても、初期値より付着力が大きい部分であることは注意を要する。

iii) 膜厚分布について

分布についての詳しい解析は行っていないが、いくつかの特徴について述べる。

- ① 平板部分のみを対象とした膜厚であっても、目標値と大きい違いがある。
- ② 試験片として製作する場合は、目標値より厚めに塗られ易い。仕様5の例外を除けば、いずれの場合もこの傾向がかなり強く認められる。

3.2.5 結 論

8種の塗装仕様により塗装を施した試験片(材質SS41, 素材寸法4×100×300)を作り、塗膜厚測定、大気中暴露試験、60℃の3%食塩水への浸漬試験、温度差水槽によるふくれ促進試験、水を媒質とする熱冷衝撃による塗膜劣化の促進を試み、次の結論を得た。

- 1) 塗膜の厚さは、平面部分であっても相当にばらつく。また試験片として作った場合の現象とも考えられるが、目標の厚さに比し、実際の厚さは、かなり厚い方に偏って分布する。
- 2) 大気中暴露6ヶ月後のインピーダンス。容量、 $\tan \delta$ の変化は少い。抵抗はかなり上昇するグループと、低下ないし周波数により低下したり上昇するグループに分れる。
- 3) 熱冷衝撃の繰返しにより、塗膜の初期強化過程、これに次ぐ劣化過程を再現出来る可能性がある。この劣化促進による塗膜のインピーダンス、接着力、3点曲げ試験によるピンホールの発生傾向の間に、相関関係が認められる。
- 4) 熱冷衝撃の繰返しにより劣化を促進した塗膜の抵抗値の変化と接着力の変化の関係は、温塩水中で劣化試験を行った塗膜の両者の関係に近い。

註；本項の研究の一部には、科学技術庁の昭和57、58年度科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として行われたものも含む。

表 及 び 図 一 覧

表 3.2.1	熱冷サイクル試験条件	66
3.2.2.1	付着力, 曲げ試験結果 初期値	67
3.2.2.2	" 熱冷衝撃 1 (仕様№ 1, 2, 3)	68
3.2.2.3	" " (仕様№ 4, 5)	69
3.2.3.1	付着力, 曲げ試験結果 熱冷衝撃 2 (塗装仕様 1)	70
3.2.3.2	" " (" 2)	71
3.2.3.3	" " (" 3)	72
3.2.3.4	" " (" 4)	73
3.2.3.5	" " (" 5)	74
3.2.4	熱冷衝撃実験 1 の総括表	75
3.2.5	" 2 "	76
図 3.2.1	使用した試験片	77
3.2.2	ショットブラスト及びサンドブラスト面の粗さ分布	77
3.2.3	塗膜の並列等価回路	78
3.2.4	付着力試験要領	78
3.2.5	曲げ試験要領	78
3.2.6.1	インピーダンスの初期値 (仕様 1)	79
3.2.6.2	" (" 2)	79
3.2.6.3	" (" 3)	80
3.2.6.4	" (" 4)	80
3.2.6.5	" (" 5)	81
3.2.6.6	" (" 6)	81
3.2.6.7	" (" 7)	82
3.2.6.8	" (" 8)	82
3.2.7.1	大気中暴露半年間のインピーダンス変化 (抵抗)	83
3.2.7.2	" (容量)	83
3.2.7.3	" ($\tan \delta$)	84
3.2.8.1	熱冷衝撃 1 によるインピーダンス変化 (仕様 1)	84
3.2.8.2	" (" 2)	85
3.2.8.3	" (" 3)	85
3.2.8.4	" (" 4)	86
3.2.8.5	" (" 5)	86
3.2.9	熱冷衝撃 1 による付着力の変化	87
3.2.1 0.1	熱冷衝撃 2 による抵抗の変化 (仕様 1)	87
3.2.1 0.2	" (" 2)	88
3.2.1 0.3	" (" 3)	88
3.2.1 0.4	" (" 4)	89
3.2.1 0.5	" (" 5)	89
3.2.1 1.1	熱冷衝撃 2 による容量の変化 (仕様 1)	90

図 3.2.1 1.2	熱冷衝撃 2 による容量の変化(仕様 2)	90
3.2.1 1.3	" (仕様 3)	91
3.2.1 1.4	" (仕様 4)	91
3.2.1 1.5	" (仕様 5)	92
3.2.1 2	熱冷衝撃 2 による付着力の変化	92
3.2.1 3.1	膜厚分布(仕様 1)	93
3.2.1 3.2	" (仕様 2)	93
3.2.1 3.3	" (仕様 3)	94
3.2.1 3.4	" (仕様 4)	94
3.2.1 3.5	" (仕様 5)	95
3.2.1 3.6	" (仕様 6)	95
3.2.1 3.7	" (仕様 7)	96
3.2.1 3.8	" (仕様 8)	96
3.2.1 4.1	膜厚分布のまとめ(塗装系)	97
3.2.1 4.2	"(ライニング系)	97
3.2.1 5.1	付着力変化と抵抗値変化の相関(熱冷衝撃 1)	98
3.2.1 5.3	" (仕様 2)	98

表3.2.1 熱冷サイクル試験条件

実験シリーズ	熱冷サイクル回数	供試試験片番号	冷バス			熱バス		
			浸漬時間 (目標) sec	初期 温度 ℃	最終 温度 ℃	浸漬時間 (目標) sec	初期 温度 ℃	最終 温度 ℃
その 1	10	1-40, 2-19, 3-17 4-17, 5-17	20	25	5.0	40	95.0	90.0
	20	1-41, 2-17, 3-19 4-19, 5-15	30	0.0	4.0	30	95.0	85.0
その 2	10	1-38, 2-23, 3-20 4-20, 5-20	10	0.5	4.0	10	61.5	58.6
	20	1-42, 2-24, 3-21 4-21, 5-21	10	0.5	4.0	10	61.5	58.6
	30	1-43, 2-25, 3-22 4-22, 5-	10	0.5	3.0	10	62.0	58.8
	40	1-148, 2-26, 3-23, 4-23	10	1.0	1.9	10	62.3	59.7
	50	1-149, 2-27, 3-24, 4-24	10	0.0	1.0	10	62.5	59.1

表 3.2.2.1 付着力, 曲げ試験結果 初期値

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
INITIAL VALUE

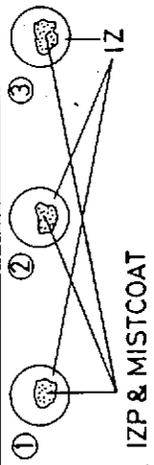
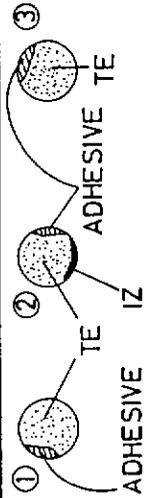
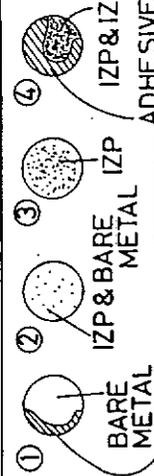
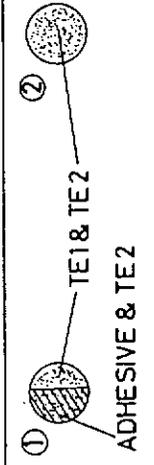
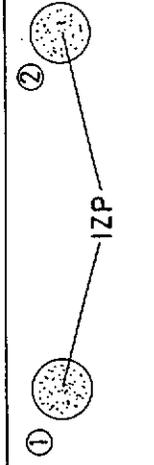
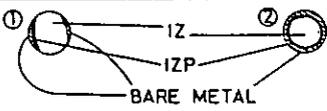
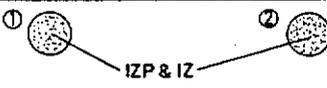
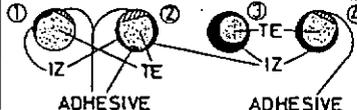
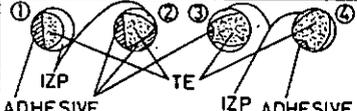
SPEC. NO. (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN \bar{P} pkg/cm ²)	FRCTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY		
1 (1-39)	① 13 ② 18 ③ 10 (\bar{P} =14)		0	TYPE I
2 (2-18)	① 30 ② 42 ③ 32 (\bar{P} =35)		—	TYPE 0
3 (3-18)	① 18 ② 40 ③ 18 ④ 37 (\bar{P} =28)		—	TYPE 0
4 (4-18)	① 30 ② 45 (\bar{P} =38)		—	TYPE 0
5 (5-18)	① 2 ② 6 (\bar{P} =4)		24	TYPE II

表 3.2.2.2 付着力, 曲げ試験結果 熱冷衝撃 1 (仕様№ 1, 2, 3)

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
0°C (20SEC) ↔ 100°C (40SEC) SPEC. NO.1

NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN Pkg/cm ²)	FRACTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
10 (1-40)	① 23.5 ② 31 (\bar{P} =27)		0	TYPE I
20 (1-41)	① 8 ② 8 (\bar{P} =8)		18	TYPE II

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
0°C (20SEC) ↔ 100°C (40SEC) SPEC. NO.2

NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN Pkg/cm ²)	FRACTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
10 (2-19)	① 32 ② 55 ③ 27 ④ 47 (\bar{P} =40)		17	TYPE I
20 (2-17)	① 23 ② 39.5 ③ 30 ④ 31.5 (\bar{P} =31)		—	TYPE 0

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
0°C (20SEC) ↔ 100°C (40SEC) SPEC. NO.3

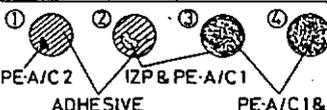
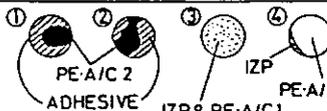
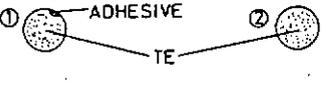
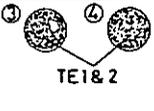
NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN Pkg/cm ²)	FRACTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
10 (3-17)	① 48 ② 57 ③ 41 ④ 33 (\bar{P} =45)		18	TYPE I
20 (3-19)	① 24 ② 36.5 ③ 22.5 ④ 41.5 (\bar{P} =31)		20	TYPE II

表 3. 2. 2. 3 付着力, 曲げ試験結果 熱冷衝撃 1 (仕様 No. 4, 5)

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
0°C (20SEC) ↔ 100°C (40SEC) SPEC. NO.4

NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN \bar{P} kg/cm ²)	FRACTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
10 (4-17)	① 41.5 ② 30 (\bar{P} =36)	①  ADHESIVE TE	—	TYPE 0
20 (4-19)	① 26.5 ② 58.5 ③ 36 ④ 42 (\bar{P} =41)	①  ADHESIVE TE ②  TE & 2	—	TYPE 0

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
0°C (20SEC) ↔ 100°C (40SEC) SPEC. NO.5

NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN \bar{P} kg/cm ²)	FRACTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
10 (5-17)	① 5 (\bar{P} =5)	①  COMBINATION OF IZP & IZ	12	TYPE II
20 (5-19)	① 10 ② 10.5 (\bar{P} =10)	①  COMBINATION OF IZP & IZ ② 	15	TYPE II

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
0°C ↔ 60°C 10 SEC EACH

SPEC. NO.1

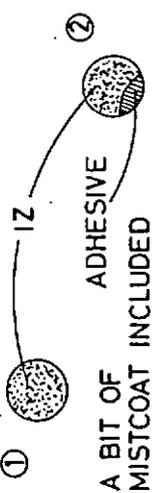
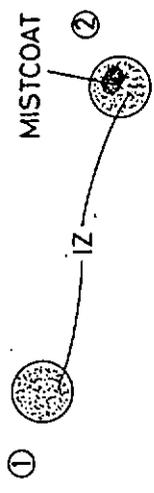
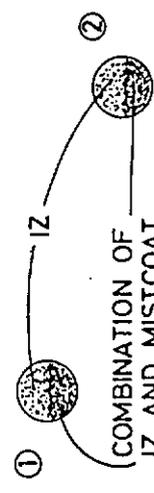
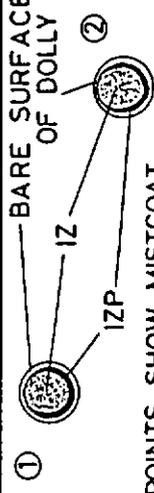
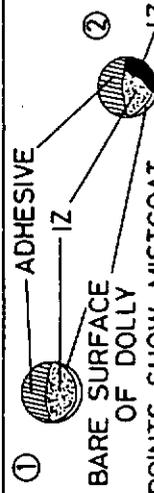
NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN \bar{P} kg/cm ²)	FRCTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY		DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)
10 (1-38)	① 11		0	TYPE III
	② 11 ($\bar{P}=11$)			
20 (1-42)	① 11		0	TYPE III
	② 12 ($\bar{P}=12$)			
30 (1-43)	① 11		0	TYPE III
	② 15 ($\bar{P}=13$)			
40 (1-148)	① 12		0	TYPE II
	② 18 ($\bar{P}=15$)			
50 (1-149)	① 22		0	TYPE I & III
	② 35 ($\bar{P}=29$)			

表 3.2.3.2 付着力, 曲げ試験結果 熱冷衝撃結果 熱冷衝撃 2 (塗装仕様 2)

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST

0°C ↔ 60°C 10 SEC EACH

SPEC. NO.2

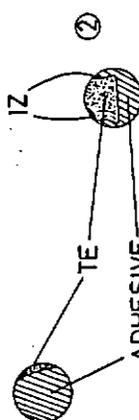
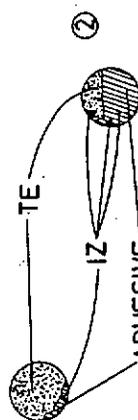
NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		FRCTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
	ADHESIVE FORCE P (kg/cm ²) (MEAN P (kg/cm ²))	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)			
10 (2-23)	① 50 ② 51 (\bar{P} =51)			18	TYPE I&II
20 (2-24)	① 68 ② 50 (\bar{P} =59)			32	TYPE II
30 (2-25)	① 47 ② 40 (\bar{P} =44)			—	TYPE 0
40 (2-26)	① 35 ② 49 (\bar{P} =42)			—	TYPE 0
50 (2-27)	① 36 ② 40 (\bar{P} =38)			36	TYPE II

表 3.2.3.3 付着力, 曲げ試験結果 熱冷衝撃 2 (塗装仕様 3)

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST
 0°C ↔ 60°C 10 SEC EACH
 SPEC. NO.3

NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)	FRCTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	DEFLECTION AT INITIATION OF PINHOLE (mm)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
10 (3-20)	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN Pkg/cm ²) ① 33 ② 21 (P̄ = 27)	① COMBINATION OF IZP & PE-A/C1 (POINTS) ② COMBINATION OF PE-A/C1&2	0	TYPE II
20 (3-21)	① 62 ② 40 (P̄ = 51)	① PE-A/C3 (BACKGROUND) PE-A/C2 (SPOTS) IZP ② COMBINATION OF IZP & PE-A/C1	0	TYPE QUASI II
30 (3-22)	① 27 ② 33 (P̄ = 30)	① IZP COMBINATION OF IZP & PE-A/C1 PE-A/C2&3 PE-A/C3 BARE SURFACE OF DOLLY ②	0	TYPE II & III
40 (3-23)	① 56 ② 38 (P̄ = 47)	① PE-A/C3 (BACKGROUND) PE-A/C2 (SPOTS) IZP ② COMBINATION OF IZP & PE-A/C1 (POINTS)	20	TYPE II
50 (3-24)	① 37 ② 61 (P̄ = 49)	① PE-A/C3 (BACKGROUND) PE-A/C2 (SPOTS) IZP ② COMBINATION OF IZP & PE-A/C1 (POINTS)	30	TYPE II

表 3.2.3.4 付着力, 曲げ試験結果 熱冷衝撃 2 (塗装仕様 4)

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST

0°C ↔ 60°C 10 SEC EACH

SPEC. NO.4

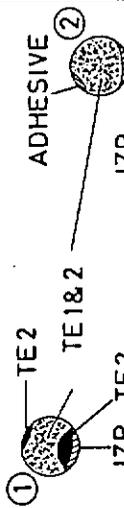
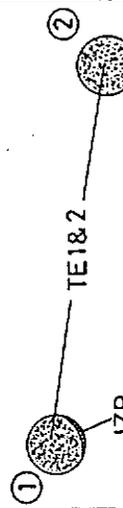
NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)
	ADHESIVE FORCE Pkg/cm ² (MEAN \bar{P} kg/cm ²)	FRCTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY	
10 (4-20)	① 57 ② 49 (\bar{P} =53)		TYPE 0
20 (4-21)	① 38 ② 73 (\bar{P} =56)		TYPE 0
30 (4-22)	① 59 ② 46 (\bar{P} =53)		TYPE 0
40 (4-23)	① 38 ② 38 (\bar{P} =38)		TYPE 0
50 (4-24)	① 67 ② 41 (\bar{P} =54)		TYPE 0

表 3.2.3.5 付着力, 曲げ試験結果 熱衝撃 2 (塗装仕様 5)

RESULTS OF THERMAL SHOCK TEST

0°C ↔ 60°C 10 SEC EACH

SPEC. NO.5

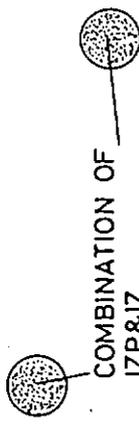
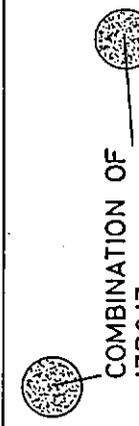
NUMBER OF THERMAL SHOCK CYCLES (TEST SPECIMEN NUMBER)	ADHESION TEST (DIAMETER OF DOLLY=20.3mm)		BEND TEST (DEFLECTION SPEED=10mm/min)	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE (PH)
	ADHESIVE FORCE P ₁ /cm ² (MEAN P ₁ /cm ²)	FRCTURED SURFACE OF COATING AT DOLLY		
10 (5-20)	① 10		0	TYPE II&III
	② 10 ($\bar{P}=10$)			
20 (5-21)	① 14		8	TYPE II
	② 16 ($\bar{P}=15$)			

表 3.2.4 熱冷衝撃実験 1 の総括表

	VARIATION OF RESISTANCE FROM INITIAL VALUE AT 1kHz	VARIATION OF CAPACITANCE FROM INITIAL VALUE AT 1kHz	VARIATION OF ADHESIVE FORCE FROM INITIAL VALUE	BEHAVIOUR AFTER INITIATION OF PINHOLE
SPEC. 1				→ II
SPEC. 2				0 → I → 0
SPEC. 3				0 → I → II
SPEC. 4				0 → 0 → 0
SPEC. 5				II → II → II

表 3.2.5 熱冷衝撃実験2の総括表

	VARIATION OF RESISTANCE FROM INITIAL VALUE AT 1kHz	VARIATION OF CAPACITANCE FROM INITIAL VALUE AT 1kHz	VARIATION OF ADHESIVE FORCE FROM INITIAL VALUE
SPEC. 1			
SPEC. 2			
SPEC. 3			
SPEC. 4			
SPEC. 5			

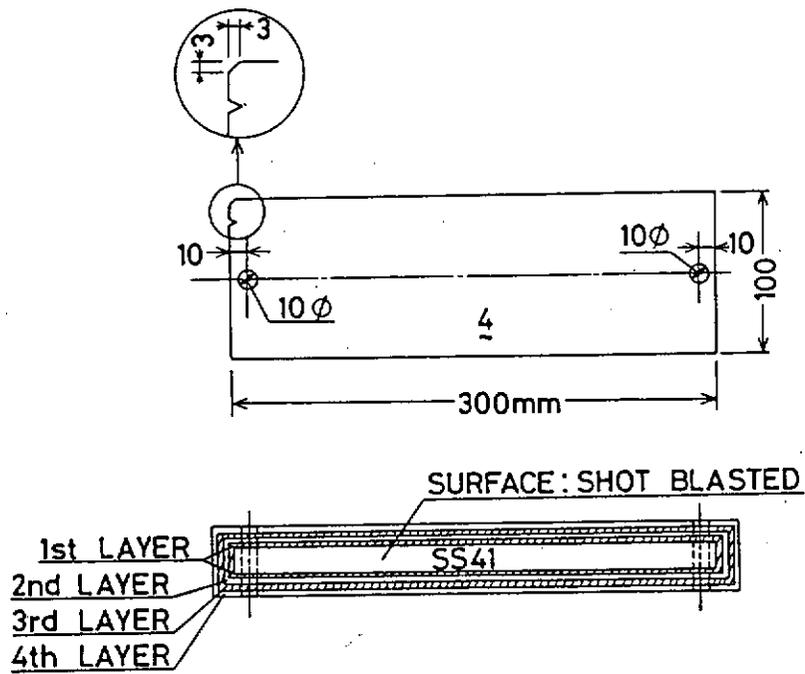


図3.2.1 使用した試験片

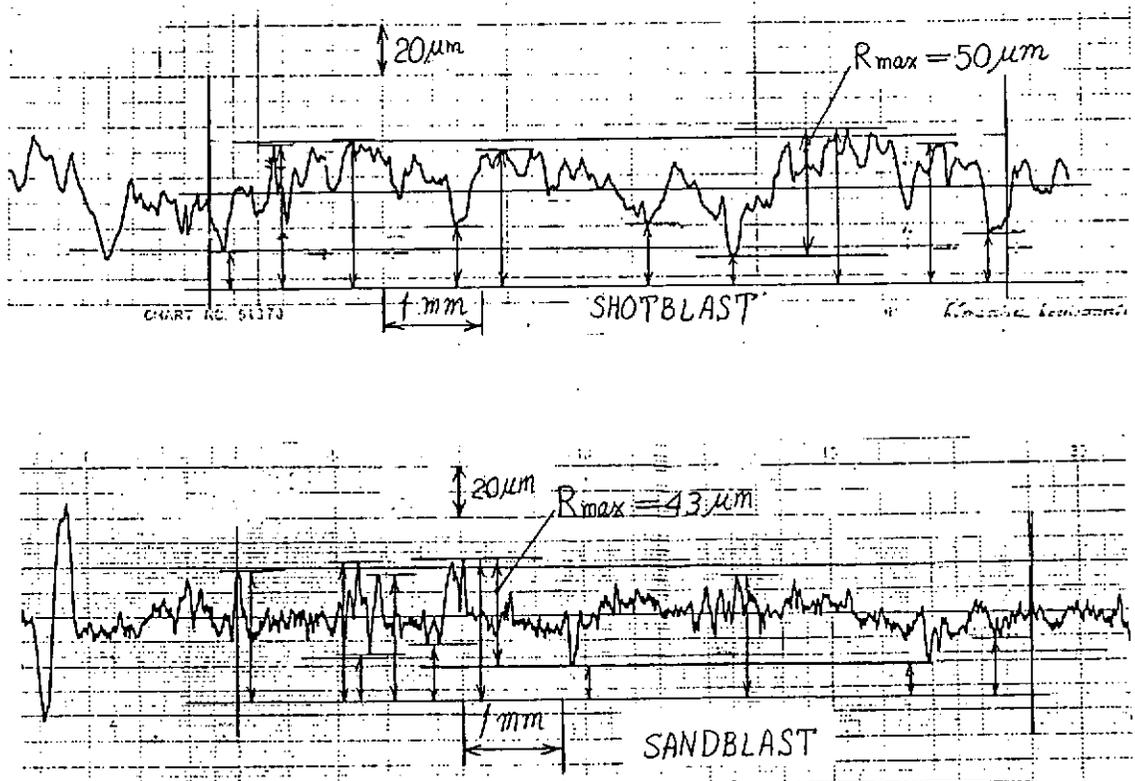


図3.2.2 ショットブラスト及びサンドブラスト面の粗さ分布

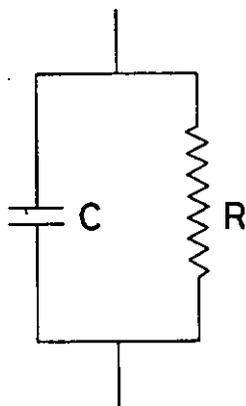


図 3. 2. 3 塗膜の並列等価回路

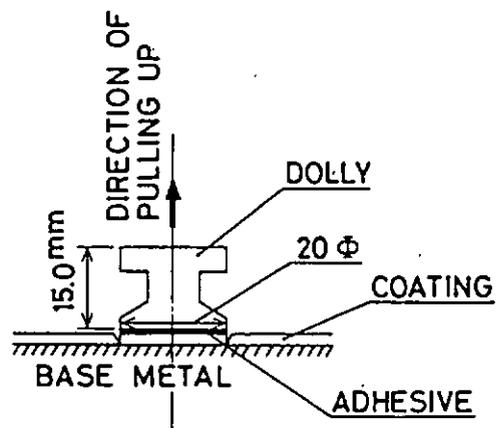
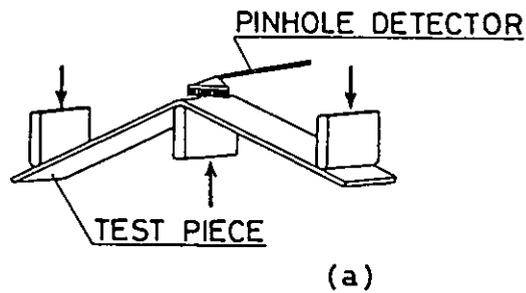
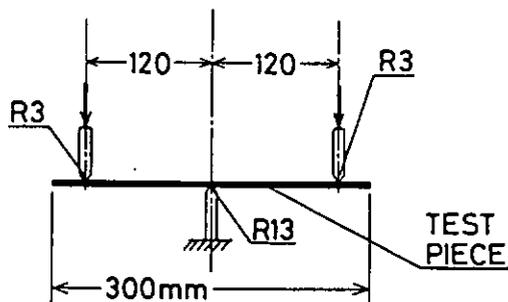


図 3. 2. 4 付着力試験要領



(a)



(b)

図 3. 2. 5 曲げ試験要領

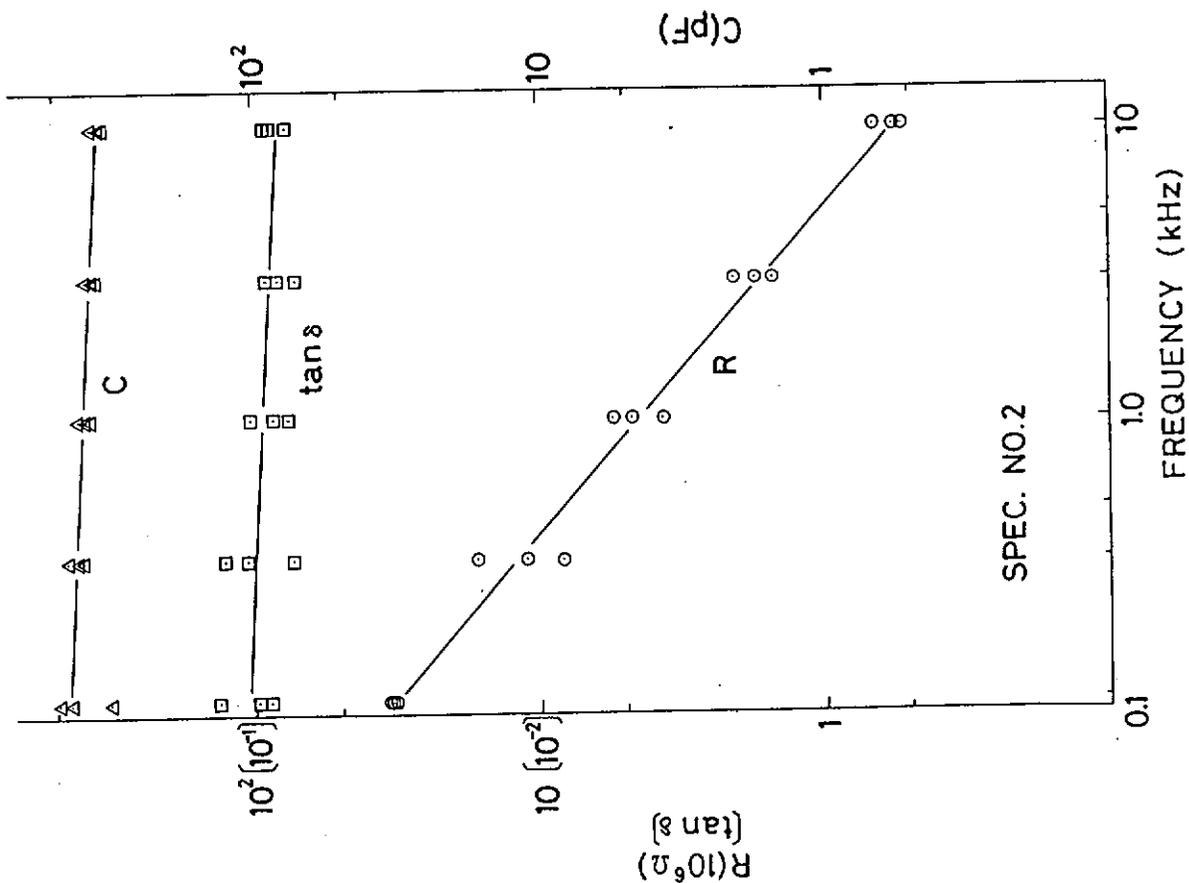


図 3.2.6.2 インピーダンスの初期値 (仕様 2)

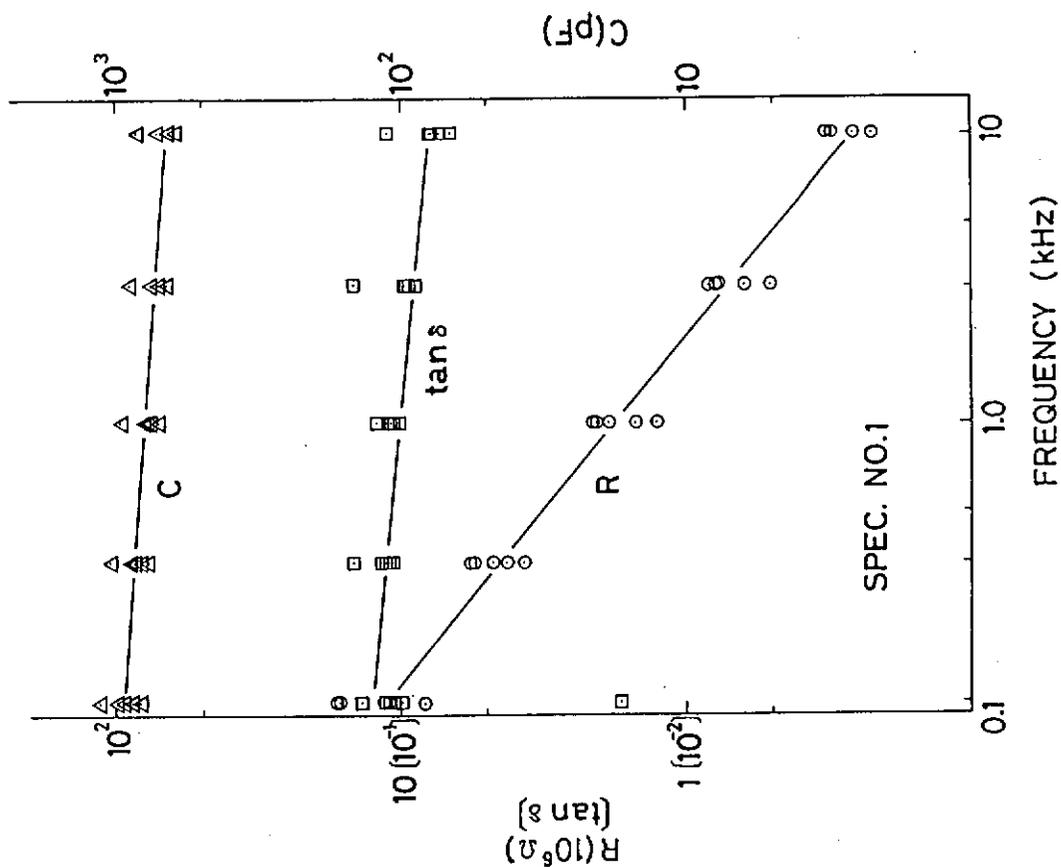


図 3.2.6.1 インピーダンスの初期値 (仕様 1)

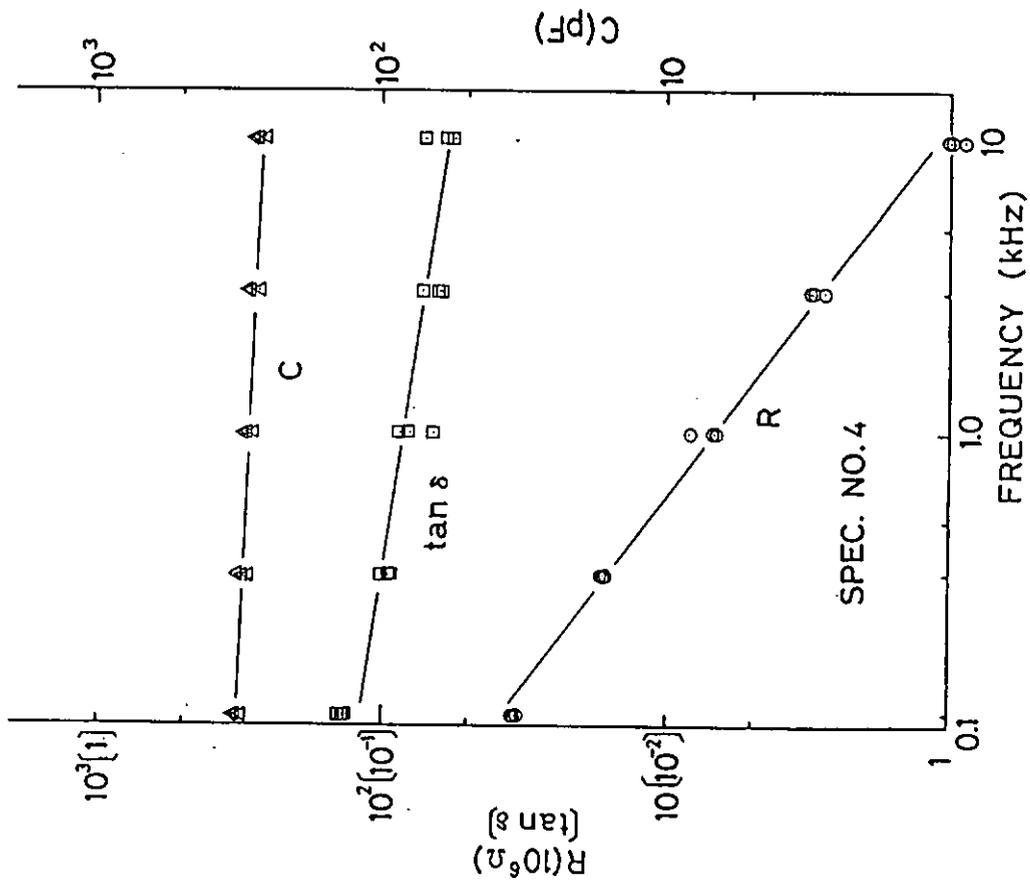


図 3.2.6.4 インピーダンスの初期値 (仕様 4)

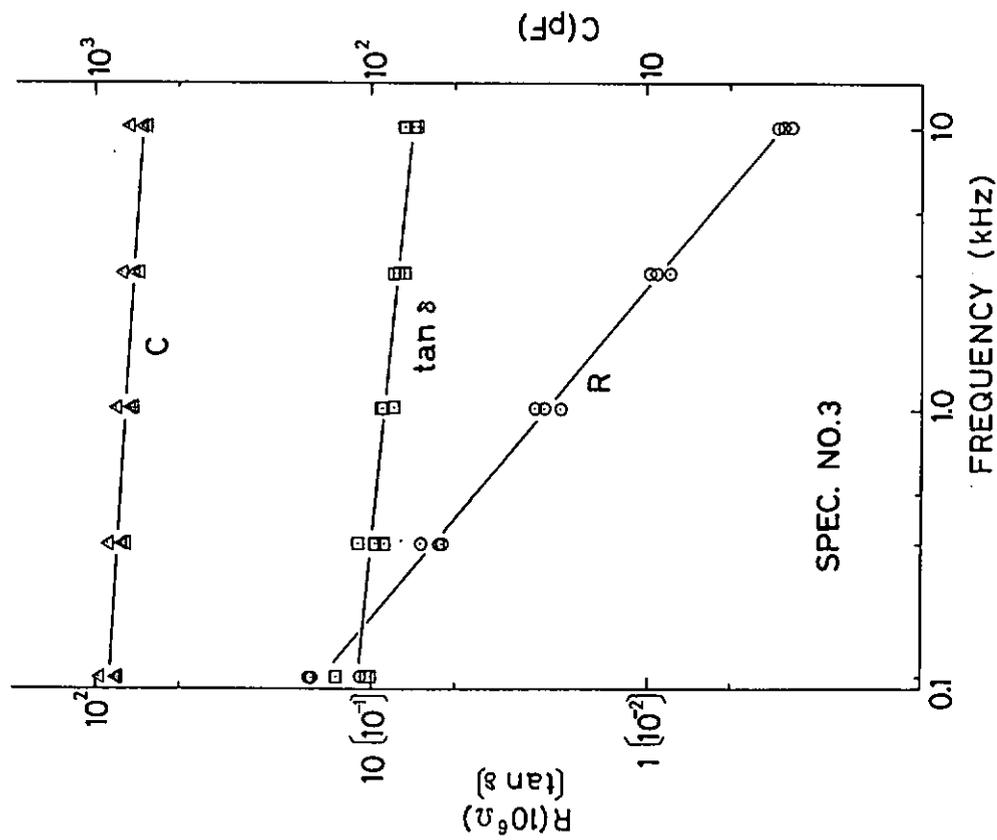


図 3.2.6.3 インピーダンスの初期値 (仕様 3)

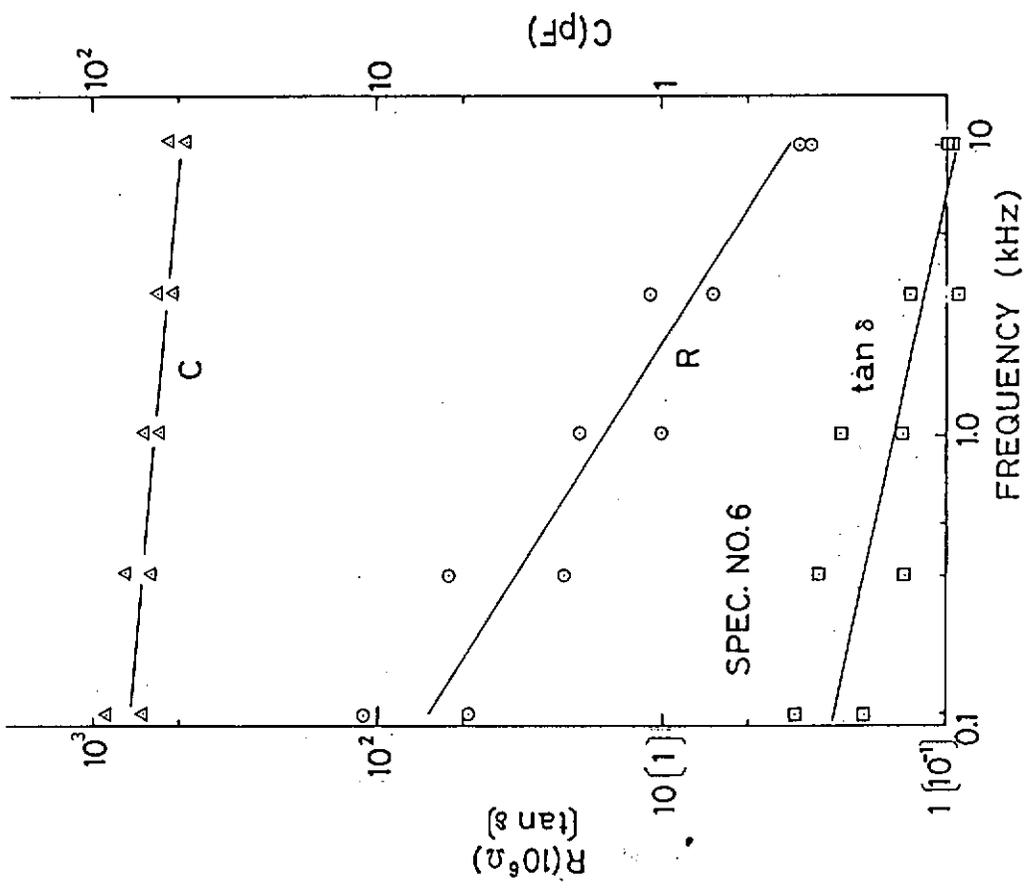


図 3.2.6.6 インピーダンスの初期値 (仕様 6)

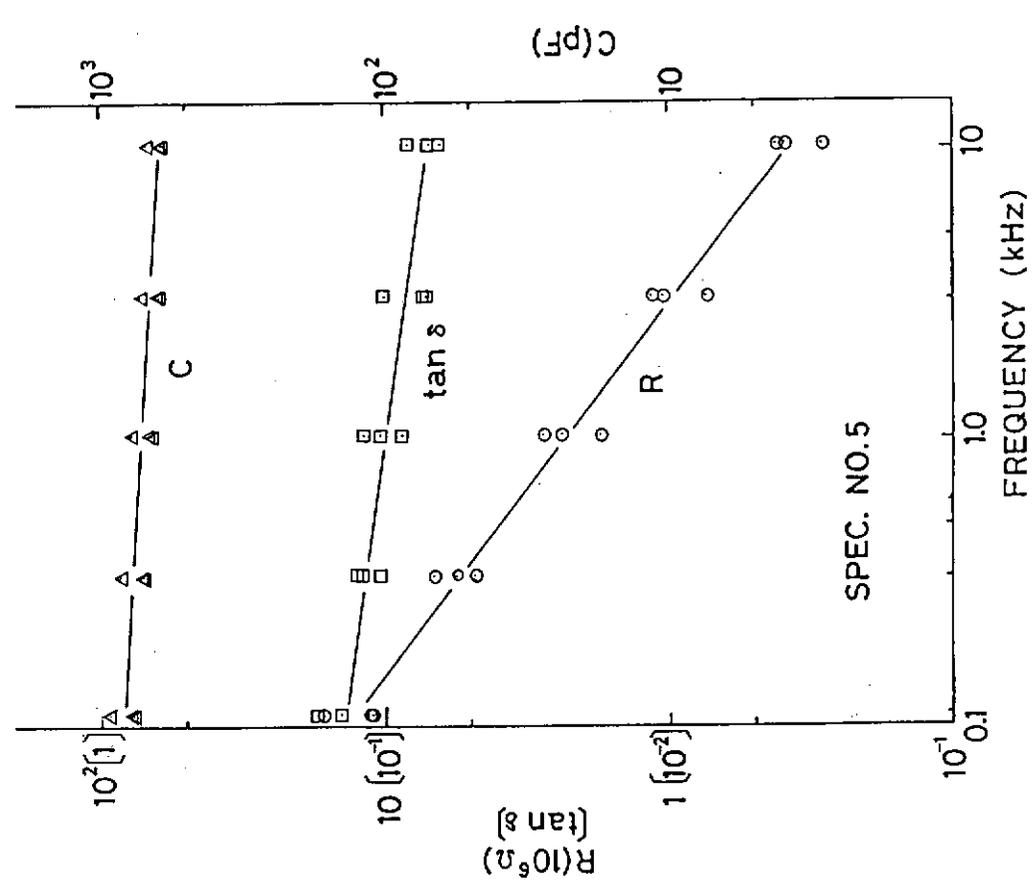


図 3.2.6.5 インピーダンスの初期値 (仕様 5)

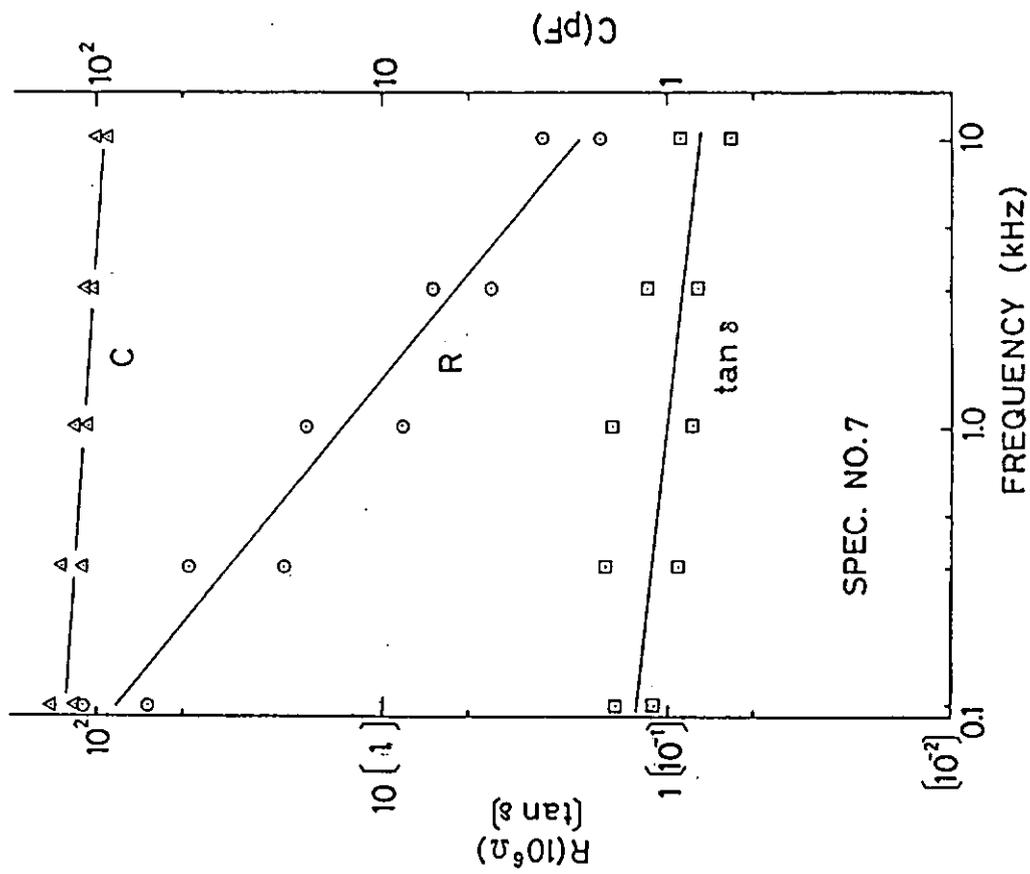


図 3.2.6.7 インピーダンスの初期値 (仕様 7)

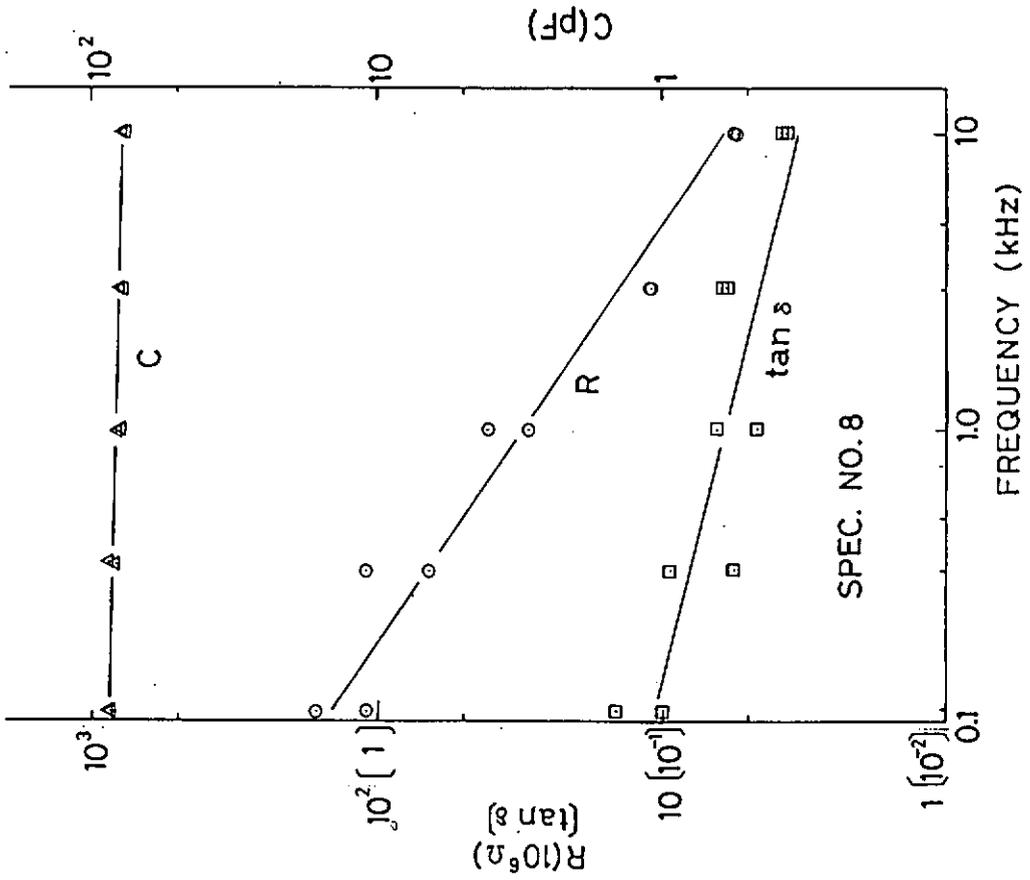


図 3.2.6.8 インピーダンスの初期値 (仕様 8)

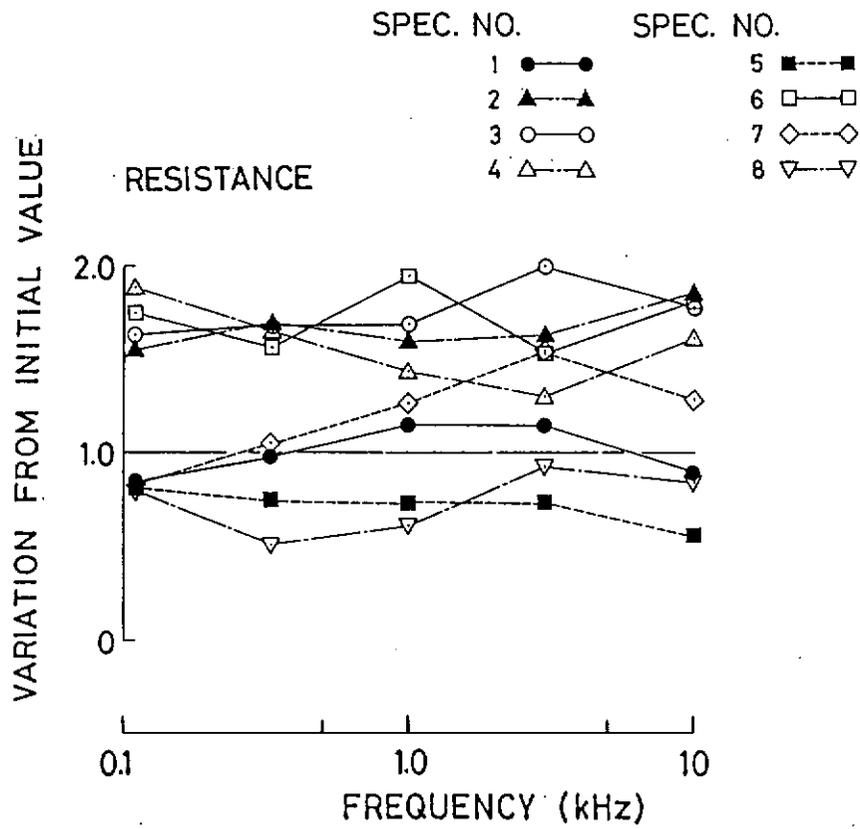


図 3.2.7.1 大気中暴露半年間のインピーダンス変化(抵抗)

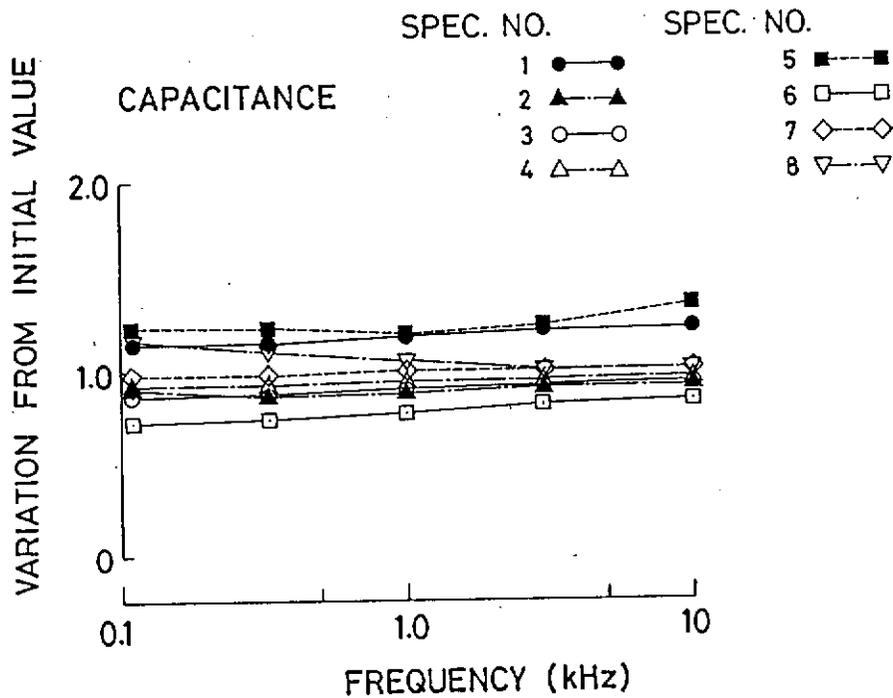


図 3.2.7.2 大気中暴露半年間のインピーダンス変化(容量)

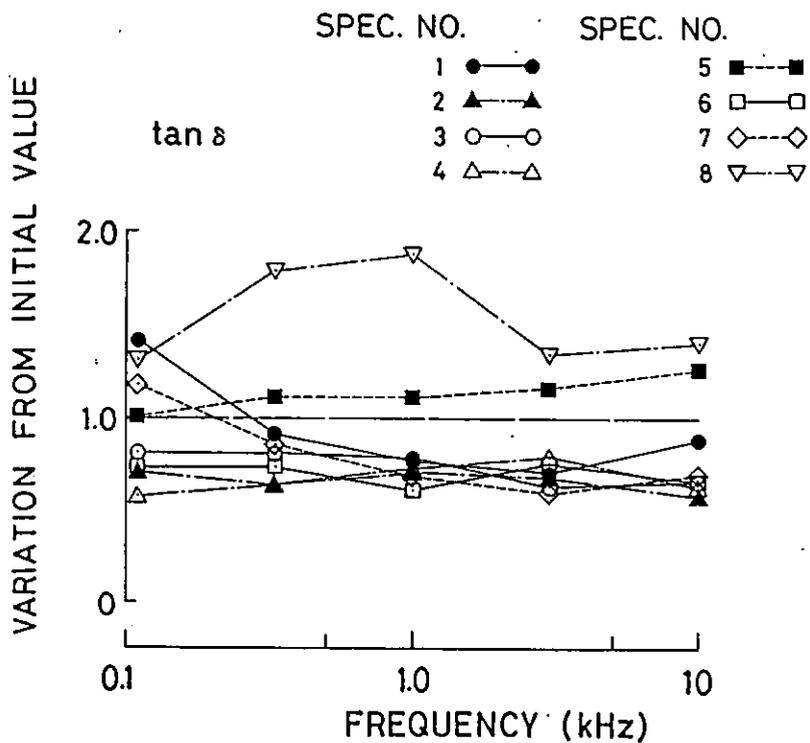


図3.2.7.3 大気中暴露半年間のインピーダンス変化 (tan δ)

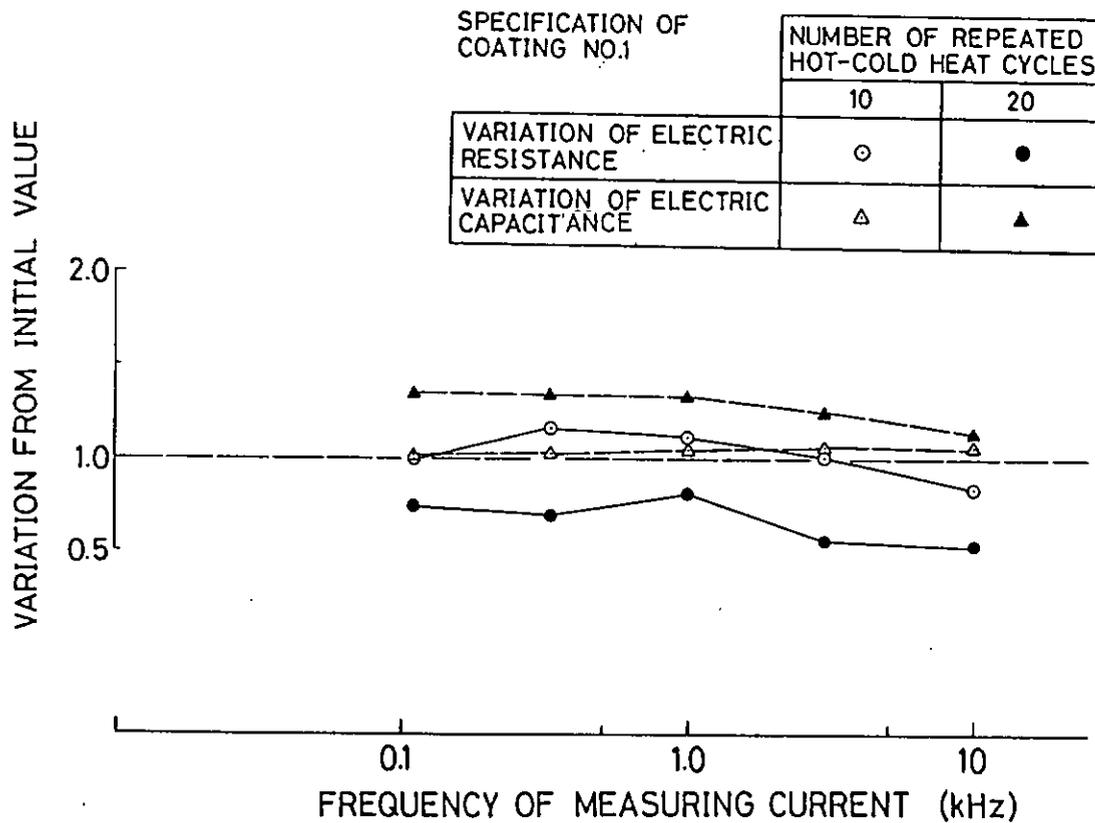


図3.2.8.1 熱冷衝撃1によるインピーダンス変化 (仕様1)

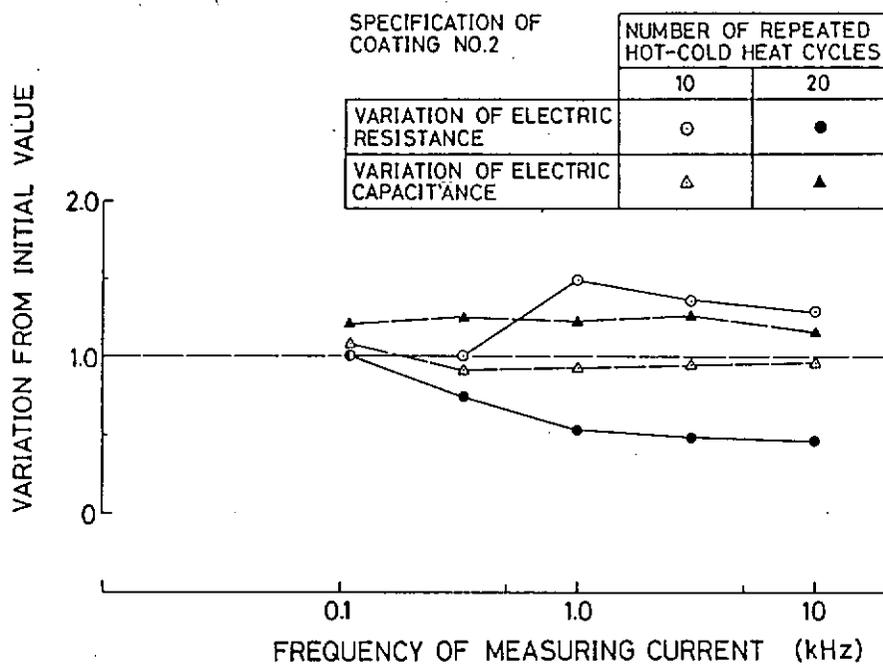


図 3.2.8.2 熱冷衝撃1によるインピーダンス変化(仕様2)

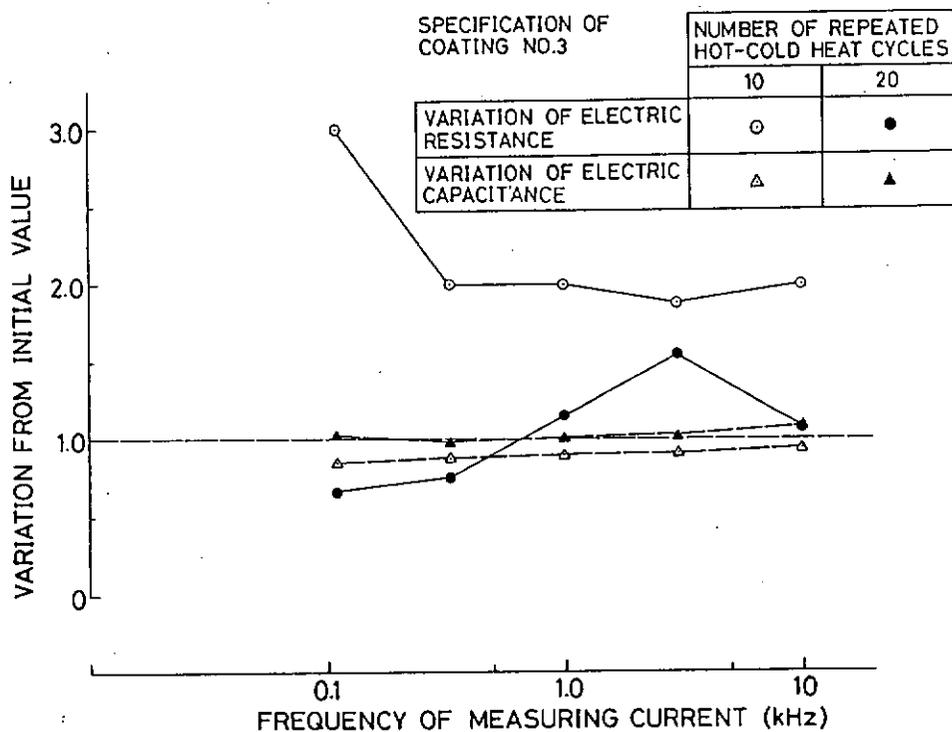


図 3.2.8.3 熱冷衝撃1によるインピーダンス変化(仕様3)

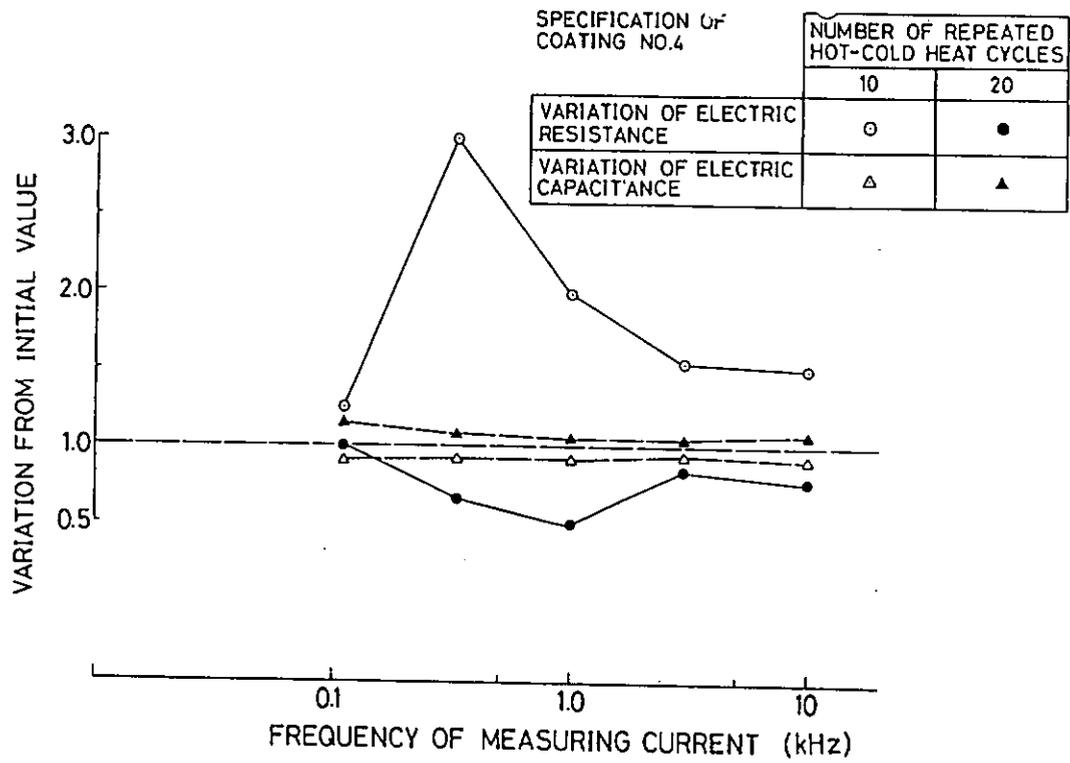


図 3.2.8.4 熱冷衝撃 1 によるインピーダンス変化 (仕様 4)

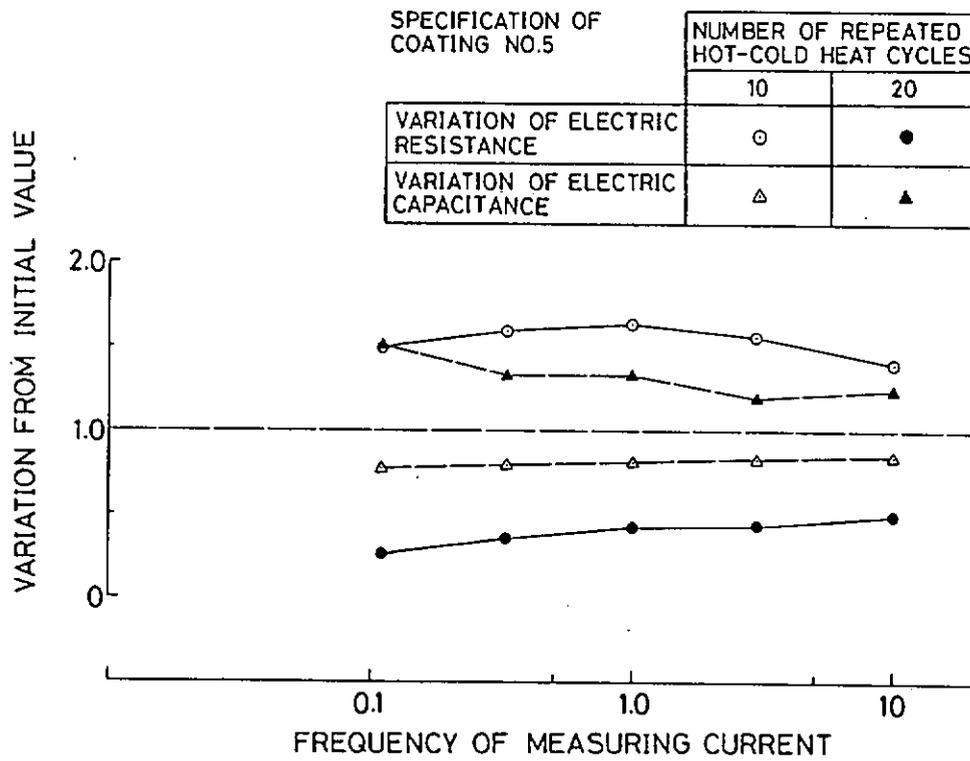


図 3.2.8.5 熱冷衝撃 1 によるインピーダンス変化 (仕様 5)

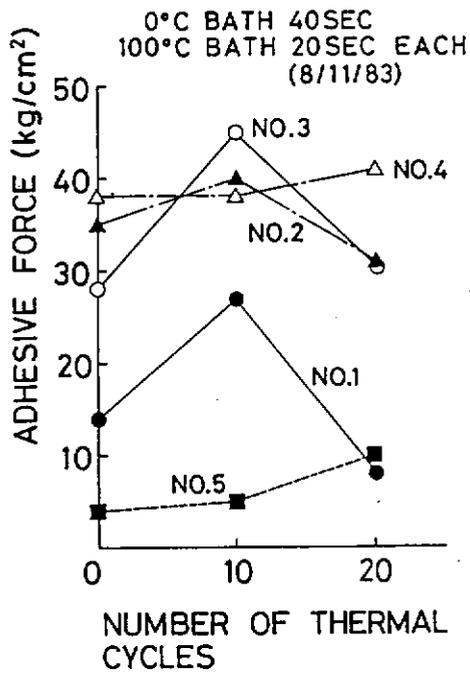


図 3.2.9 熱冷衝撃 1 による付着力の変化

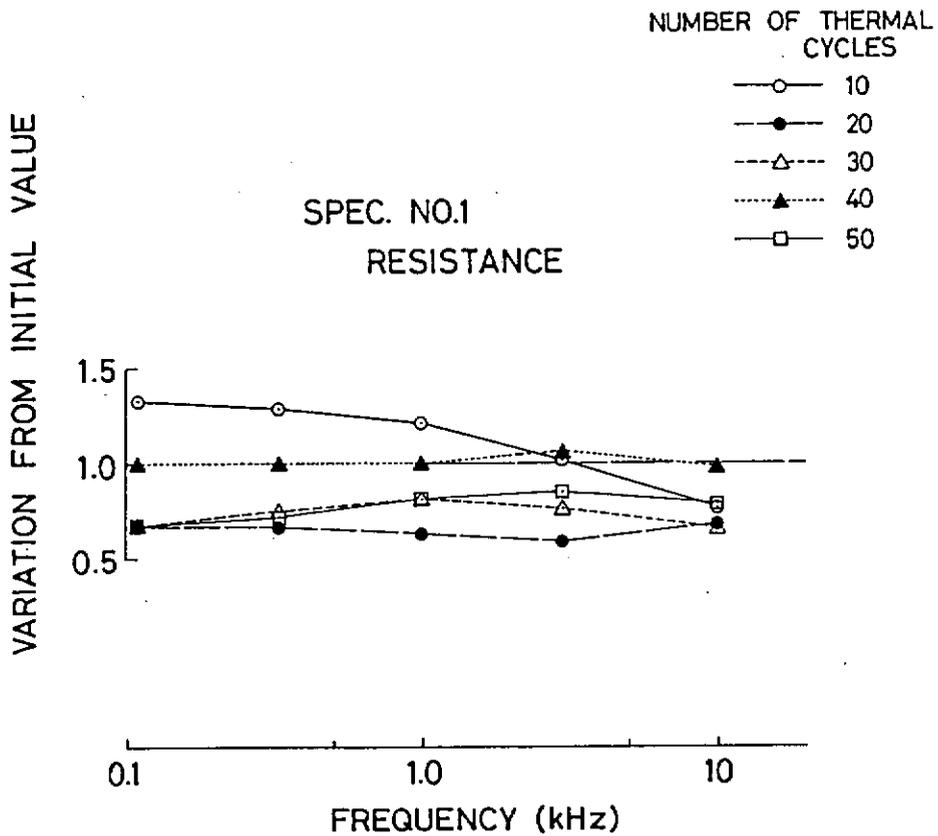


図 3.2.1 0.1 熱冷衝撃 2 による抵抗の変化 (仕様 1)

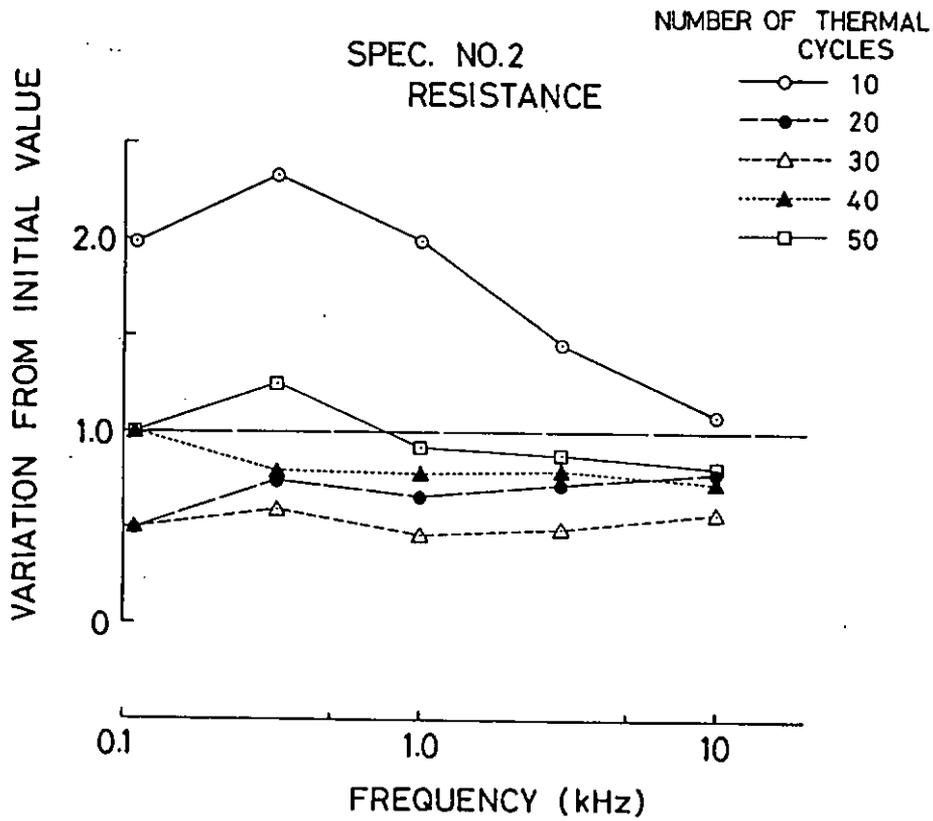


図 3.2.1 0.2 熱冷衝撃 2 による抵抗の変化 (仕様 2)

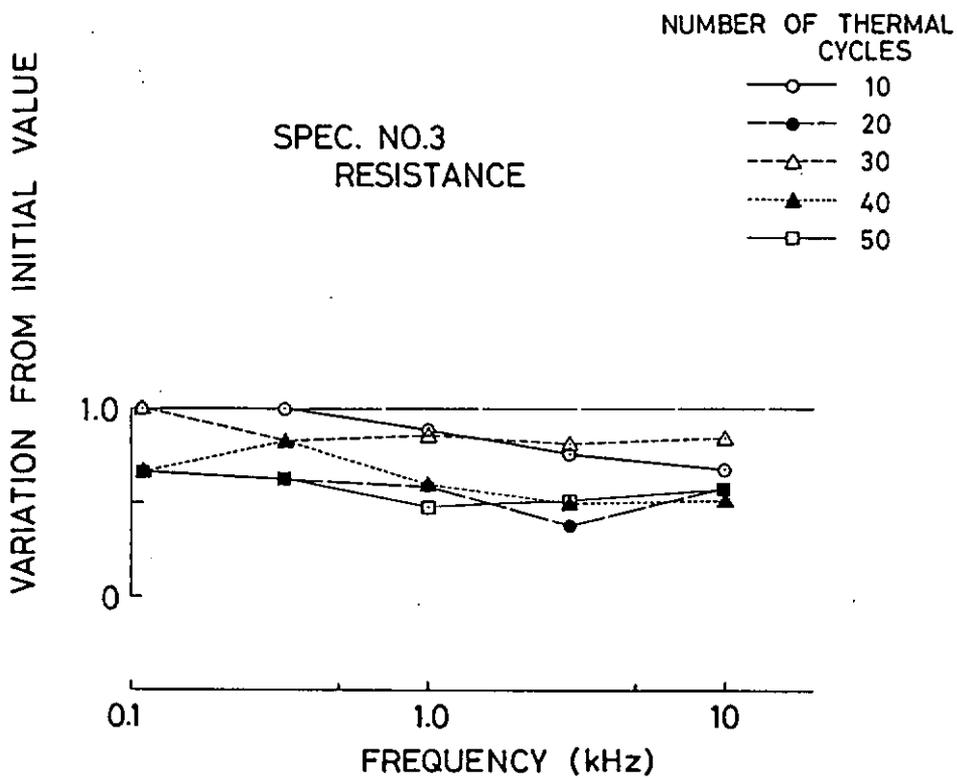


図 3.2.1 0.3 熱冷衝撃 2 による抵抗の変化 (仕様 3)

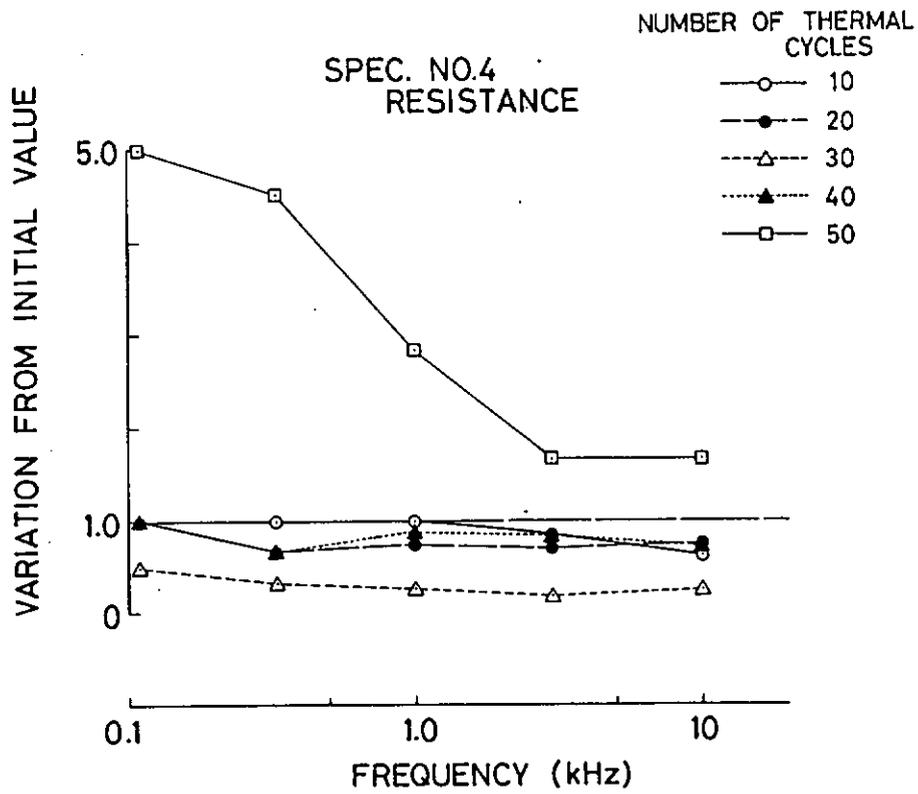


図3.2.1 0.4 熱冷衝撃2による抵抗の変化(仕様4)

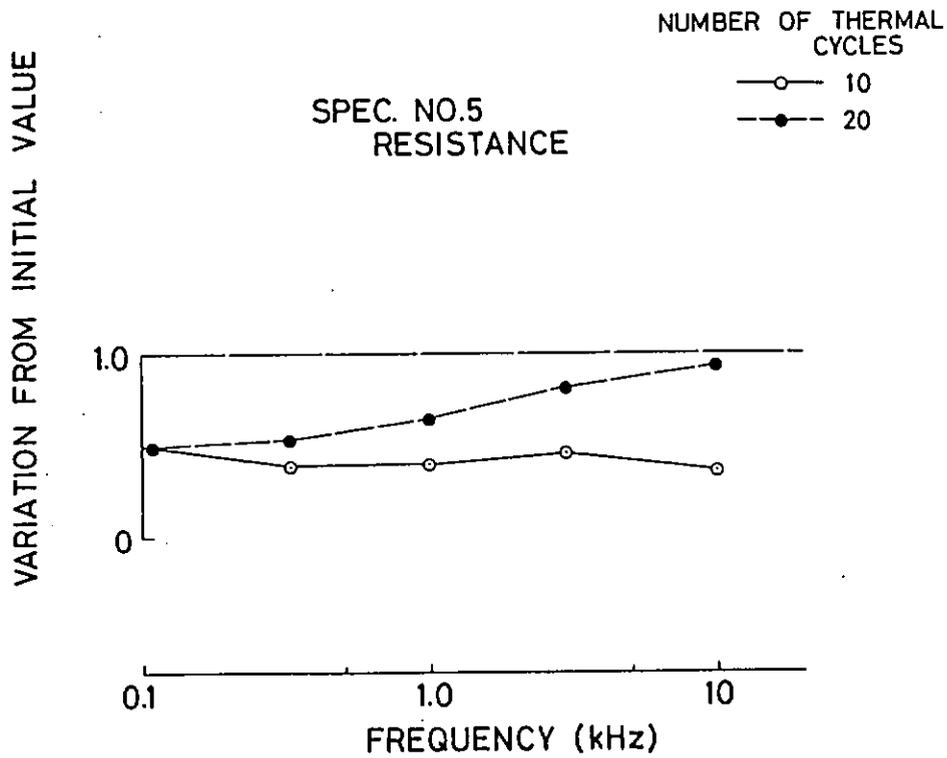


図3.2.1 0.5 熱冷衝撃2による抵抗の変化(仕様5)

VARIATION FROM INITIAL VALUE

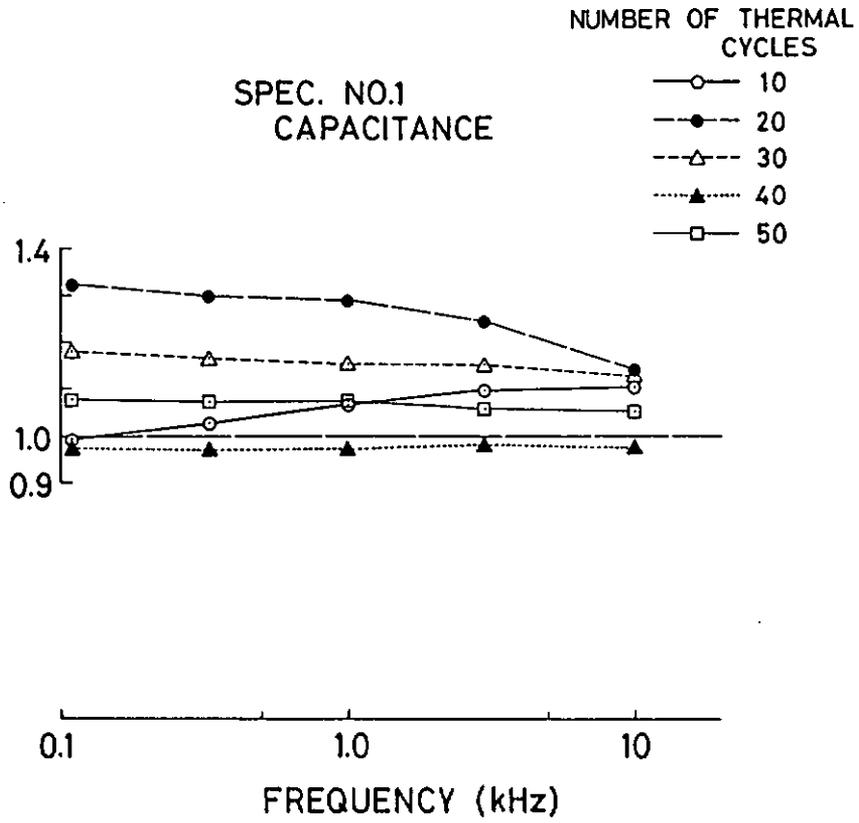


図 3.2.1 1.1 熱冷衝撃 2 による容量の変化 (仕様 1)

VARIATION FROM INITIAL VALUE

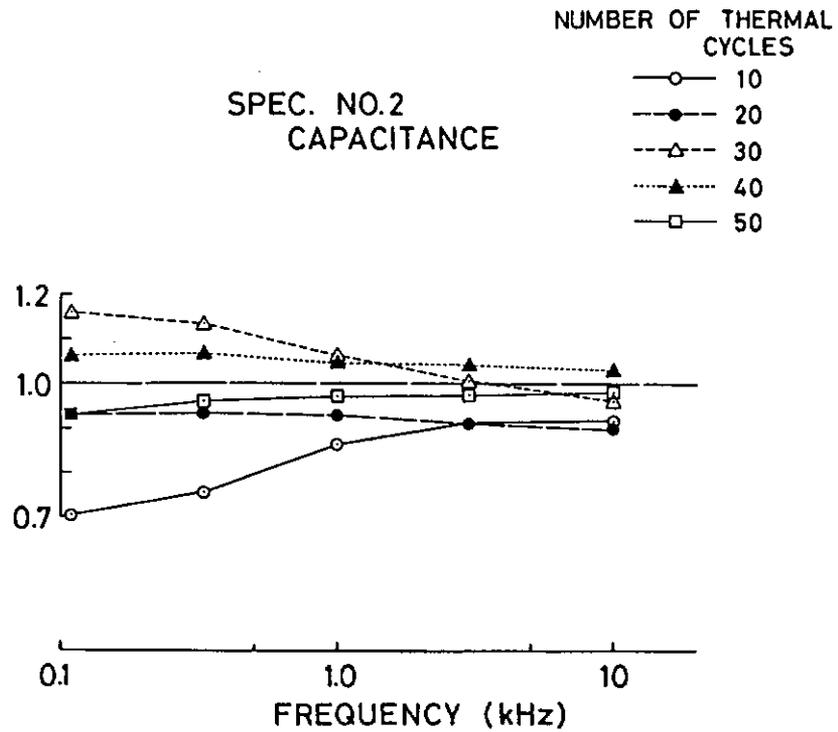


図 3.2.1 1.2 熱冷衝撃 2 による容量の変化 (仕様 2)

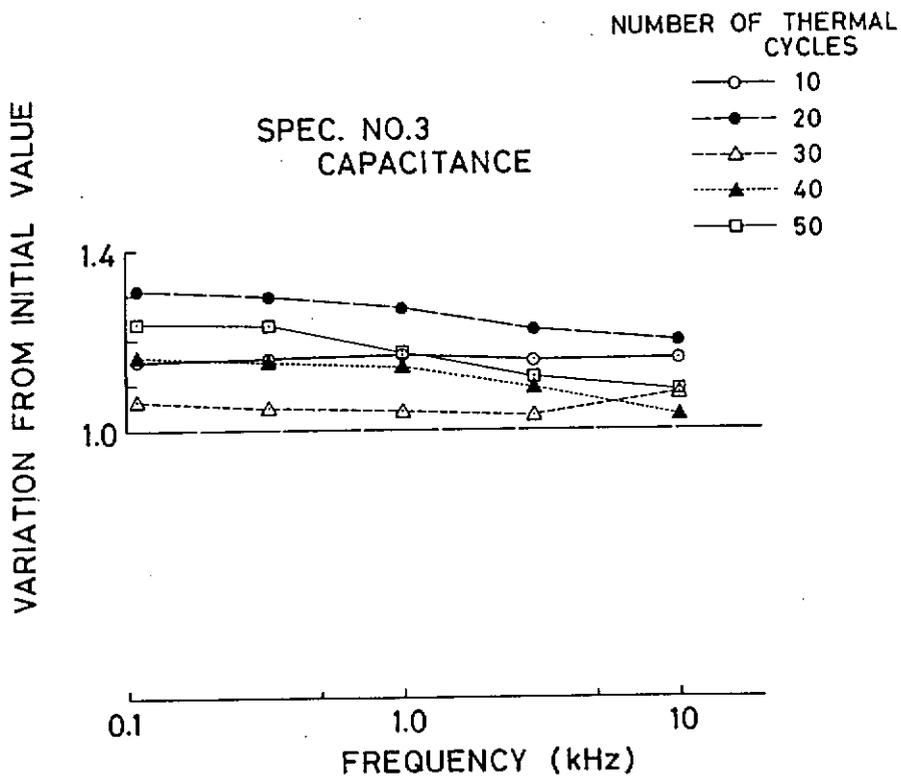


図 3.2.1 1.3 熱冷衝撃 2 による容量の変化 (仕様 3)

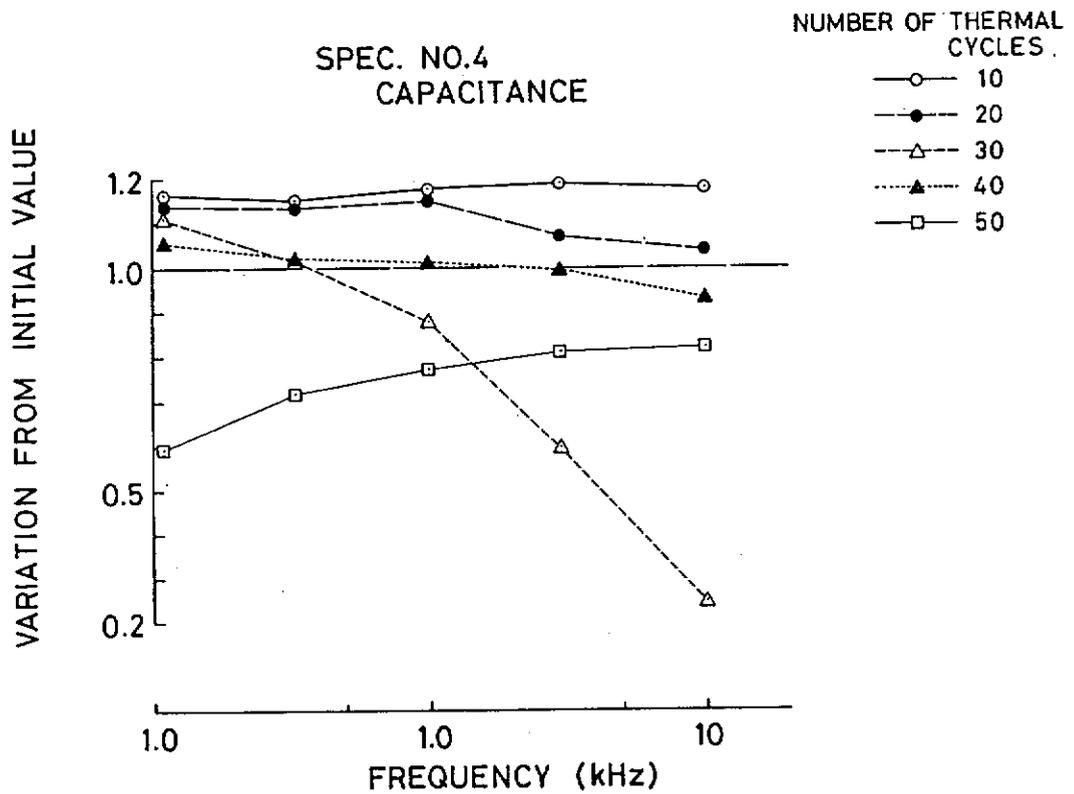


図 3.2.1 1.4 熱冷衝撃 2 による容量の変化 (仕様 4)

VARIATION FROM INITIAL VALUE

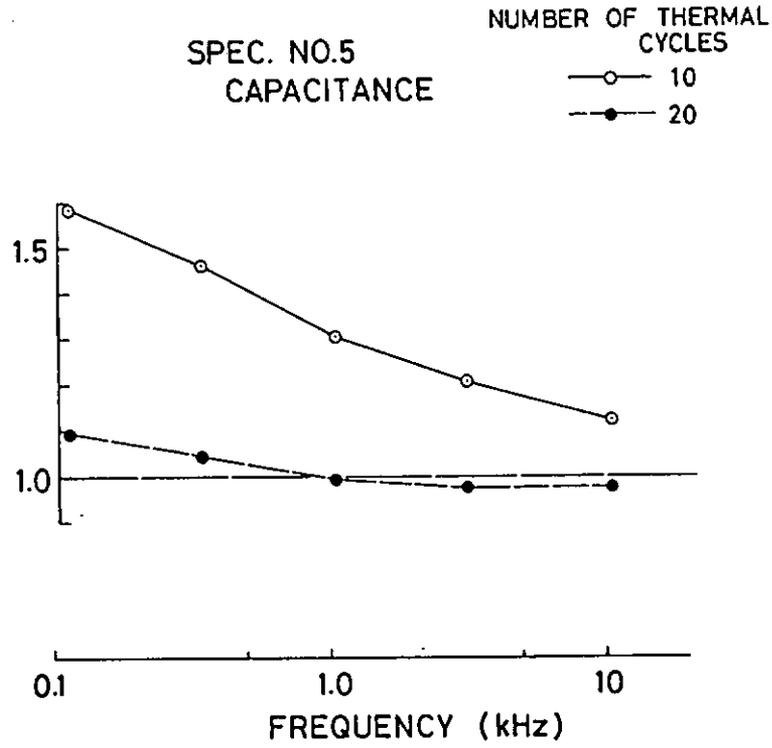


図 3.2.1 1.5 熱冷衝撃 2 による容量の変化 (仕様 5)

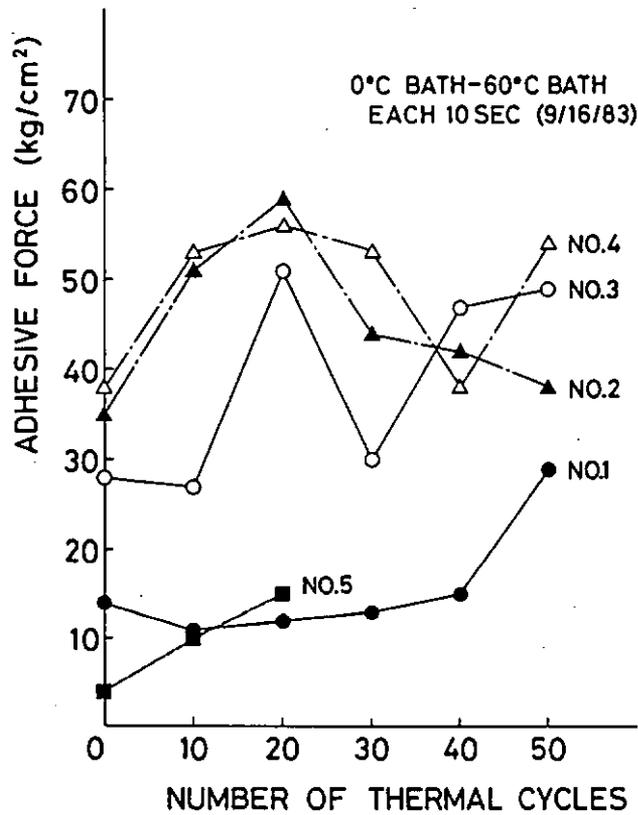


図 3.2.1 2 熱冷衝撃 2 による付着力の変化

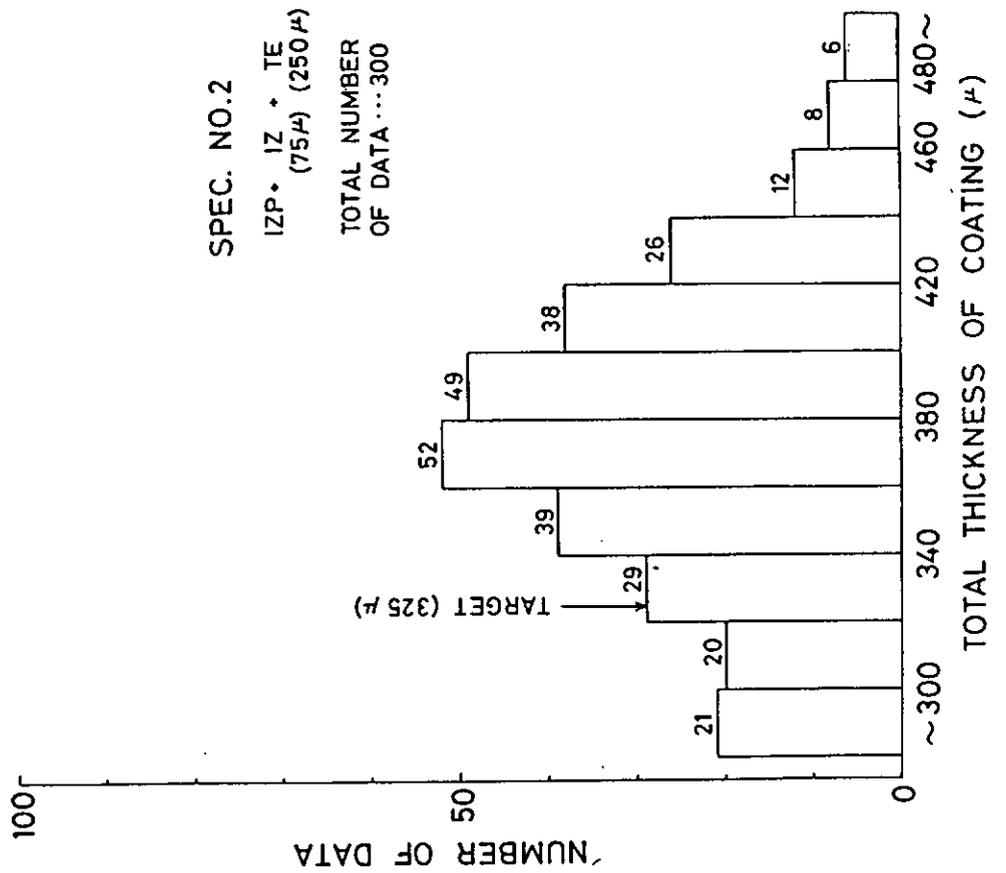


図 3.2.1 3.2 膜厚分布 (仕様 2)

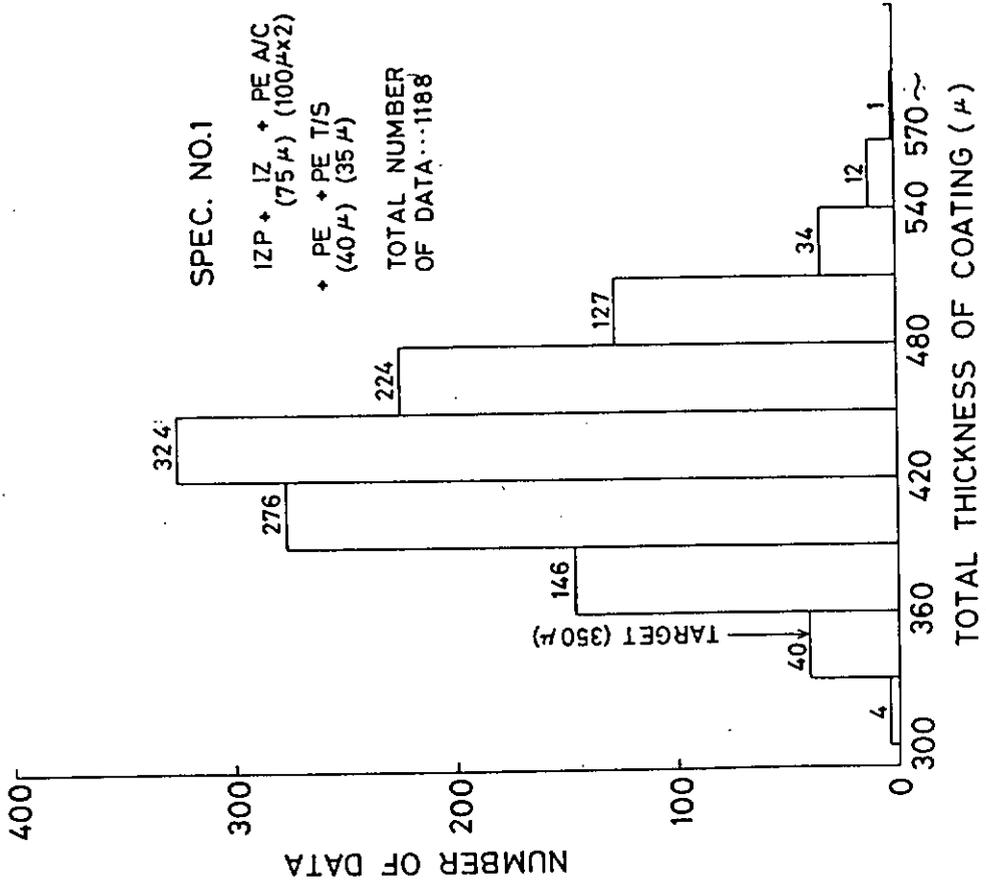


図 3.2.1 3.1 膜厚分布 (仕様 1)

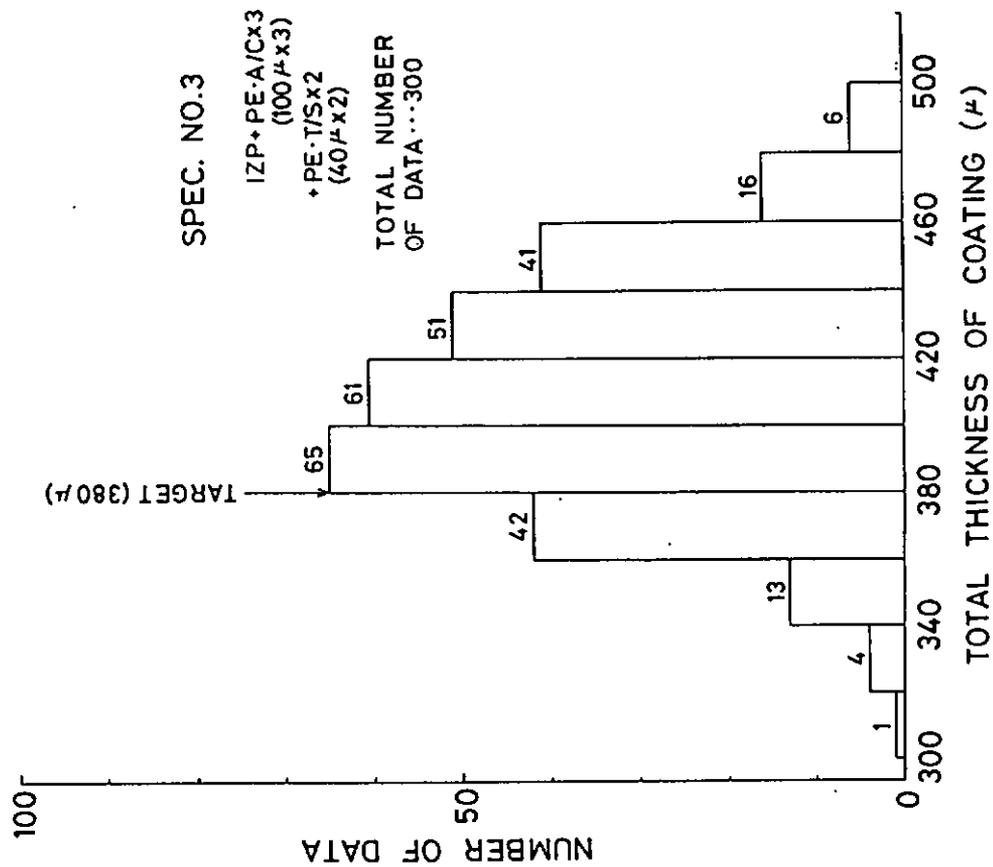


図 3.2.1 3.3 膜厚分布 (仕様 3)

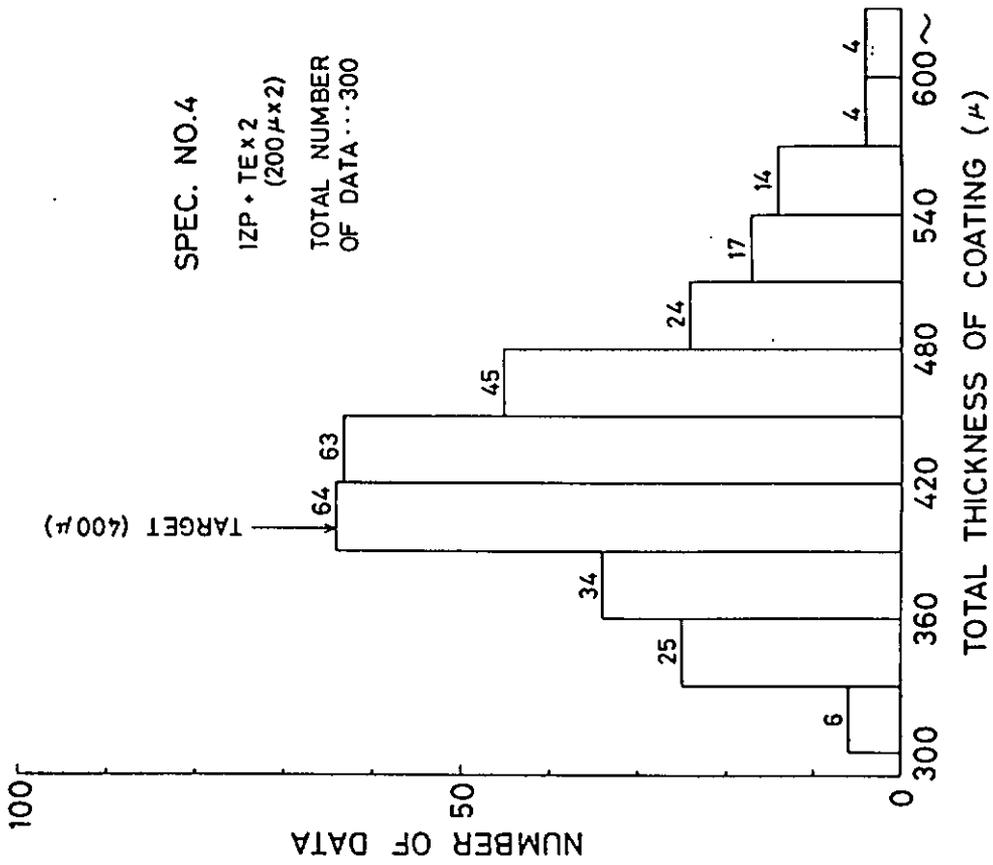


図 3.2.1 3.4 膜厚分布 (仕様 4)

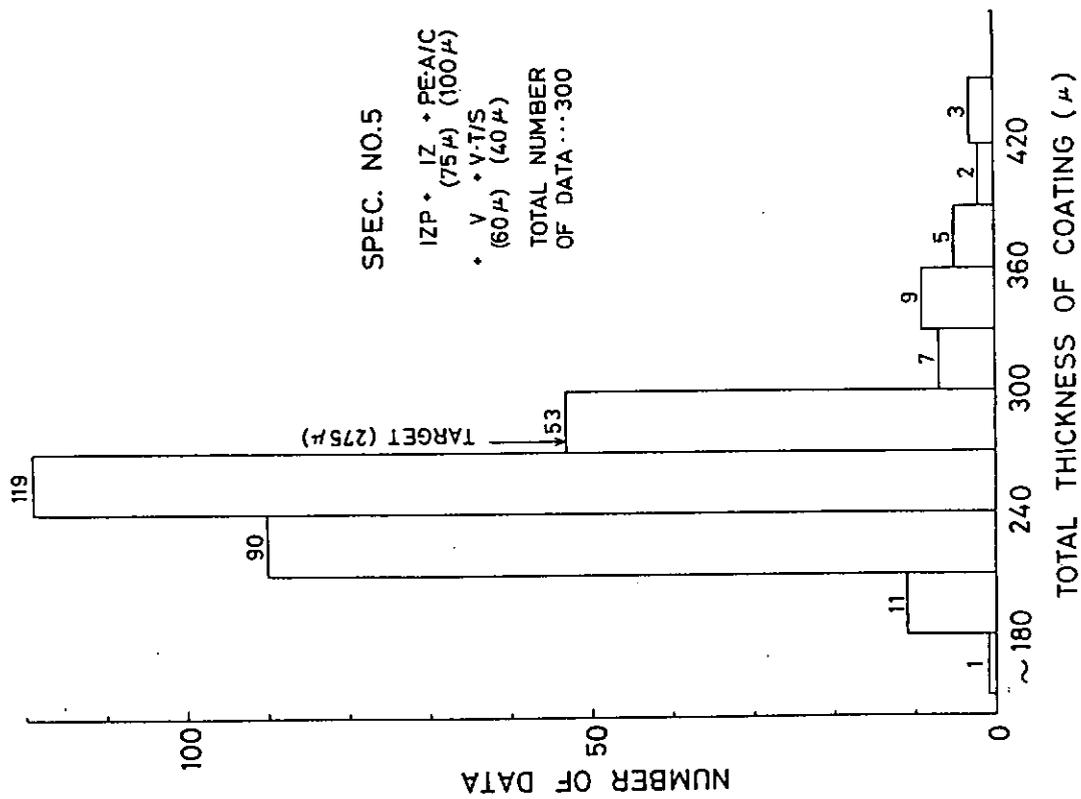


图 3.2.1 3.5 膜厚分布 (仕様 5)

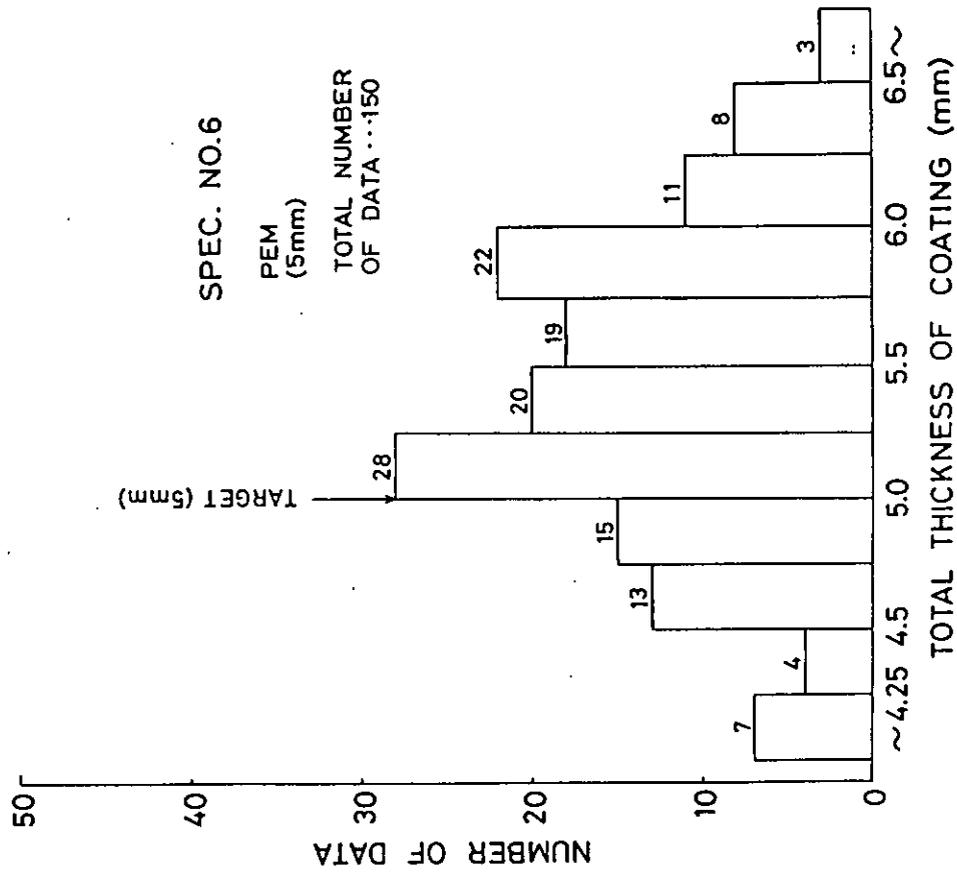


图 3.2.1 3.6 膜厚分布 (仕様 6)

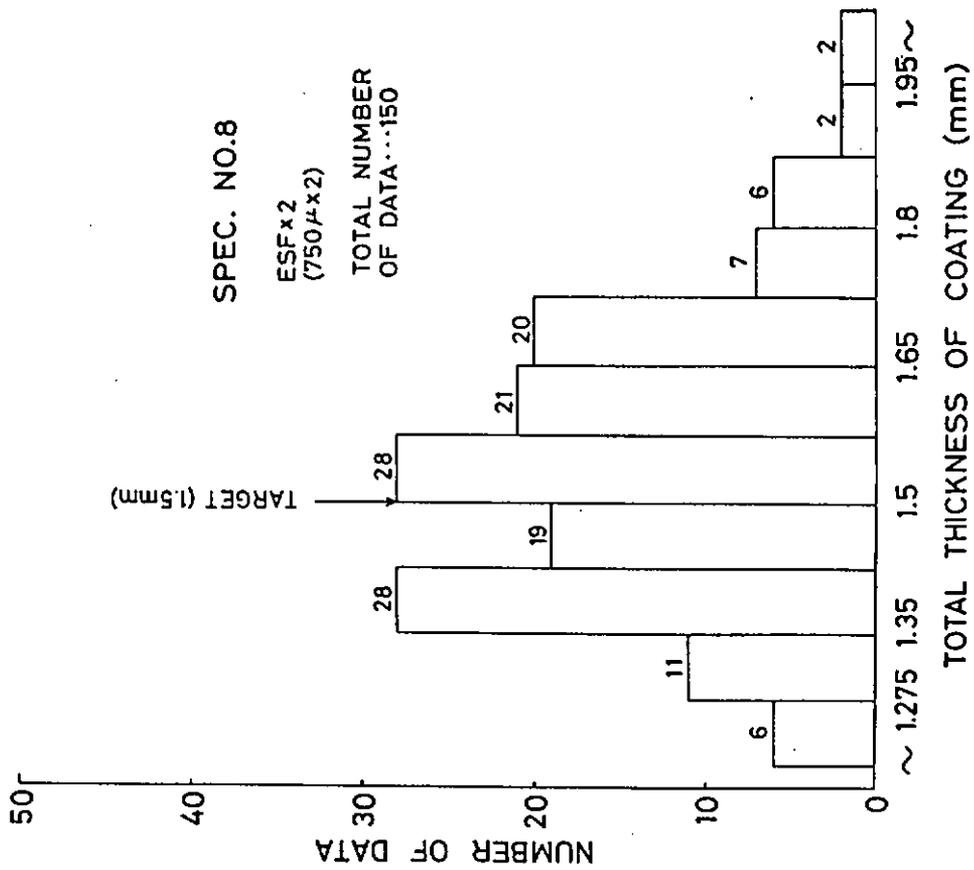


图3.2.1 3.8 膜厚分布(仕様8)

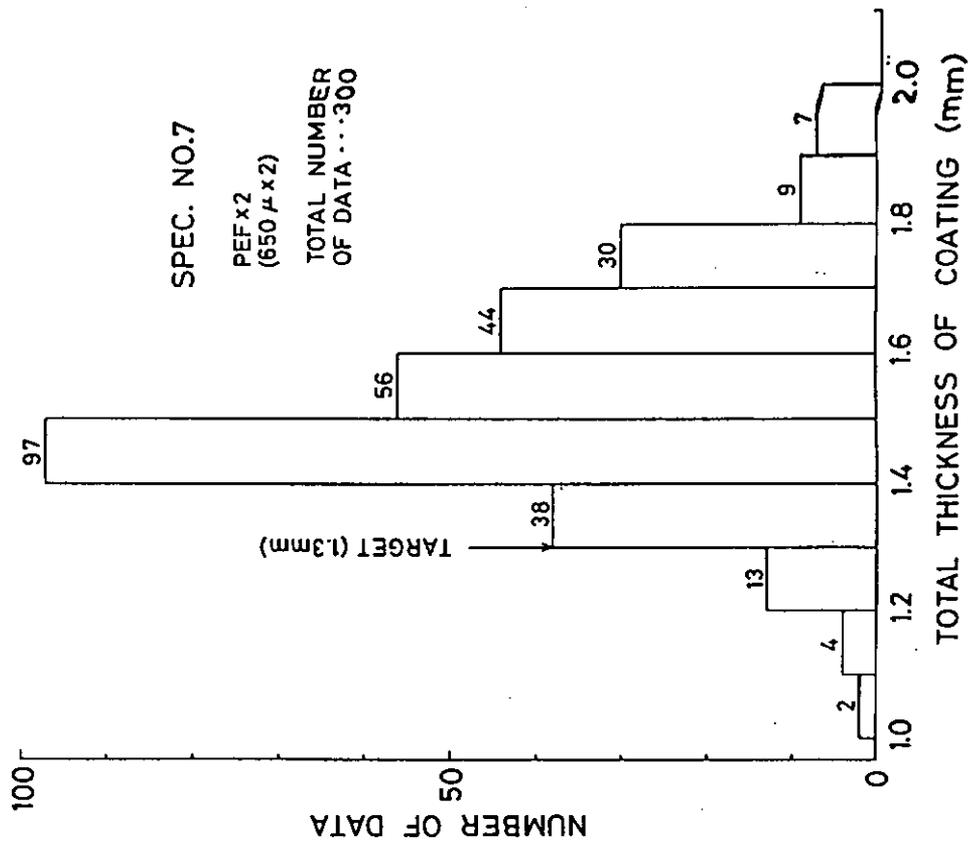


图3.2.1 3.7 膜厚分布(仕様7)

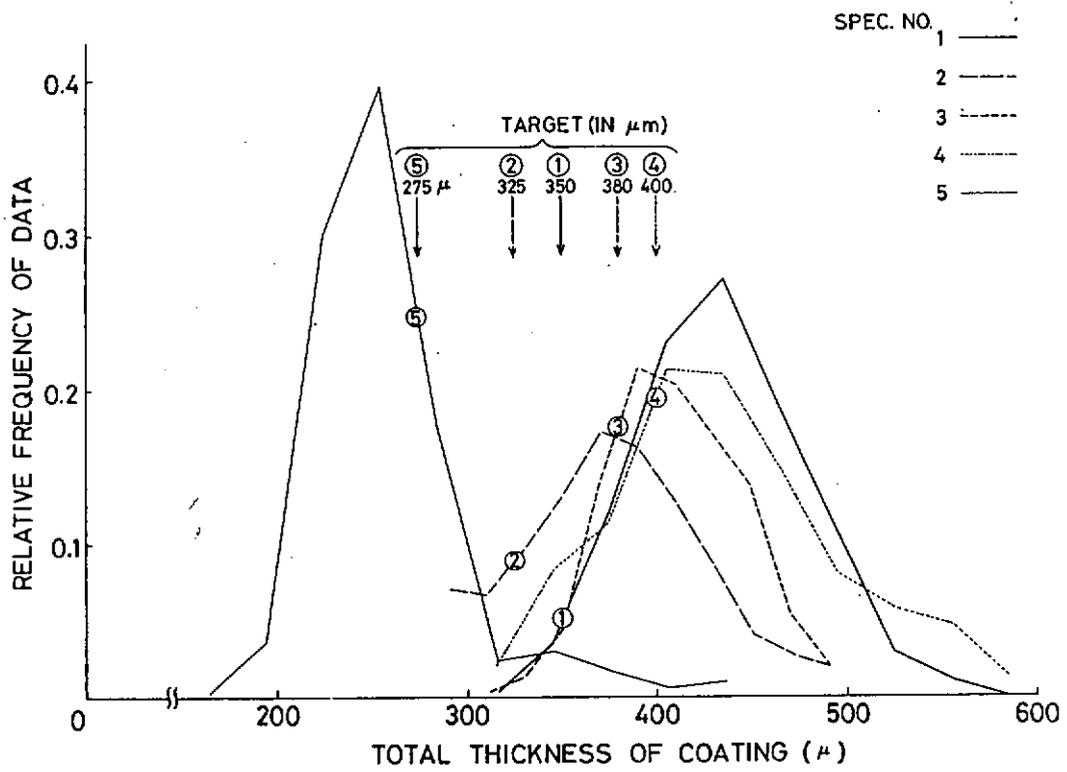


図 3.2.1 4.1 膜厚分布のまとめ(塗装系)

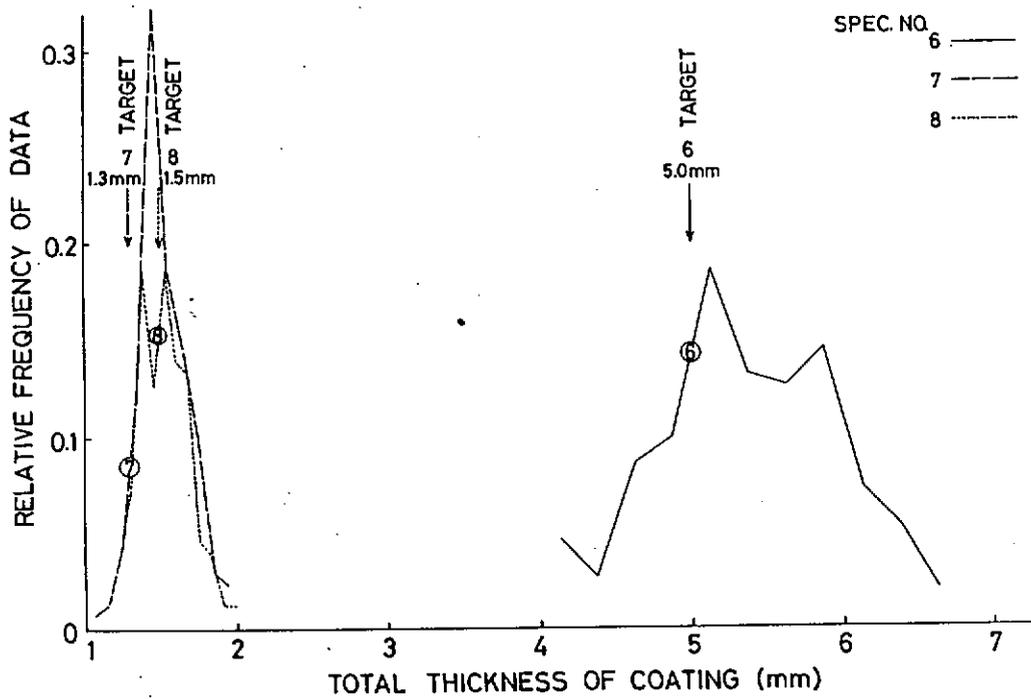


図 3.2.1 4.2 膜厚分布のまとめ(ライニング系)

○ EXPERIMENTAL RESULTS
IN SALT WATER TANK

△ EXPERIMENTAL RESULTS
BY THERMAL SHOCK CYCLE
NO.2

SPEC.
NO.3

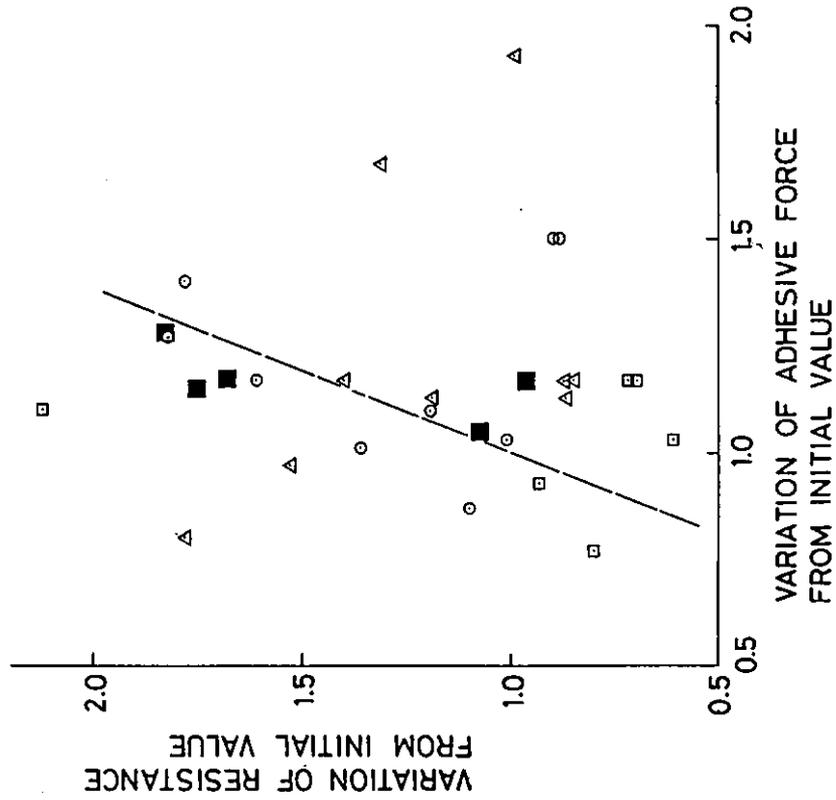


図 3.2.1 5.2 付着力変化と抵抗値変化の相関 (熱衝撃 2)

○ EXPERIMENTAL RESULTS
IN SALT WATER TANK

△ EXPERIMENTAL RESULTS
BY THERMAL SHOCK CYCLE
NO.1

SPEC.
NO.3

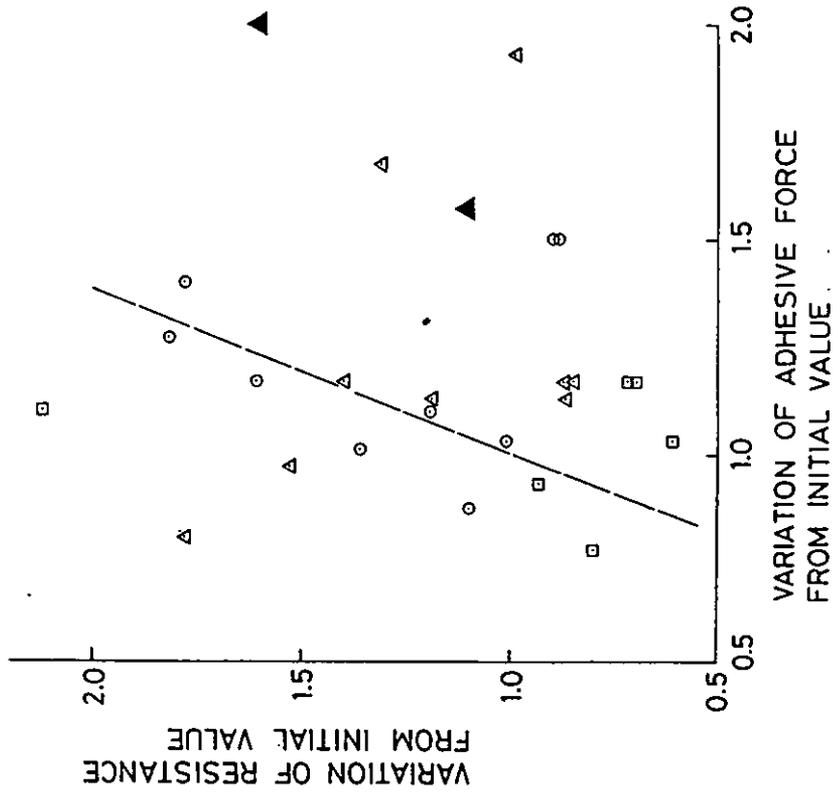


図 3.2.1 5.1 付着力変化と抵抗値変化の相関 (熱衝撃 1)

4. メンテナンス方法の調査, 検討

4.1. メンテナンス方法の調査, 検討

4.1.1 目的

海洋構造物は、一応メ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、種々の劣化因子の影響があり腐食環境として苛酷な条件下にある。しかも海洋構造物では入渠困難なものも多く、これらに用いられる重防食塗装系の洋上におけるメンテナンス方法の指針を得るため、試験体や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。

4.1.2 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13箇月経過した昭和56年10月に水中清掃を行い、付着生物の除去及び付着量を把握している。本年度は水中清掃から2箇年経過後の生物付着量並びに水中清掃による生物除去後の塗膜観察を実施した。

浮体構造物に関する調査結果を次に示す。

(1) 外観(水線部以上)

浮体構造物の3箇年経過後の外観調査結果を表4.1.1に示す。

表4.1.1 浮体構造物の外観(3箇年後)

対象 防食仕様	さび	ふくれ	われ	退色
№6 PEM	○	○	○	表面自化 チョーキング
№7 PEF	○	○	○	表面やや黄変 チョーキング
№8 ESF	○	○	○	チョーキング
ES (FRP)	○	○	○	〃

○: 異常なし

(2) 生物付着状況

浮体構造物が水中清掃から2箇年経過した時点で構造物を陸上に引き上げ生物付着状況を調査した。防食仕様毎の生物付着状況を表4.1.2に示し、付着量調査後の塗膜状態を図4.1.1に示す。更に没水部塗膜における経時の生物付着量を表4.1.3に示す。

表4.1.2 生物付着状況と除去後の塗膜状態

防食仕様	生物	スライム	褐藻	ふじつぼ	チゴケ虫	単ボヤ	複合ボヤ	ヒルブラ	※付着量kg/m ² (wet)		生物除去後の塗膜状態
									南	北	
№6	+++	僅少	+++	+	+	++	++	2.4	3.3	異常なし	
№7	+++	〃	+++	++	+	僅少	僅少	3.6	3.3	〃	
№8	+++	〃	+++	僅少	+	+	+	2.7	1.8	〃	
ES (FRP)	+++	〃	+++	+	+	+	+	2.4	3.6	〃	

注(1) 付着量評価 +++:大 ++:中 +:小

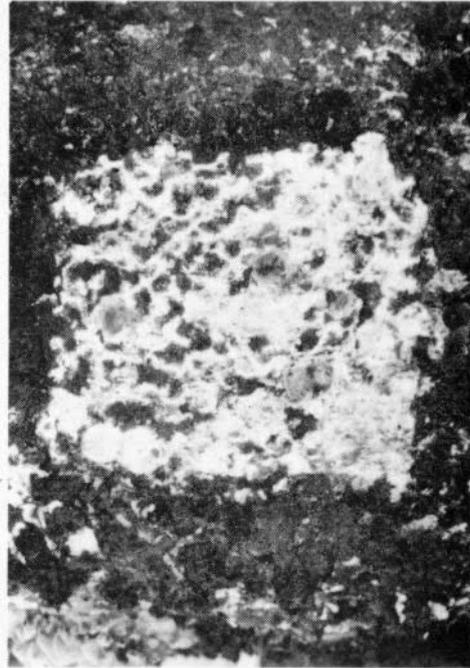
(2) 付着量kg/m²(wet): 水深1m付近15cm×15cmの採取量から換算

表 4.1.3 経時の付着量 kg/m^2 (wet)

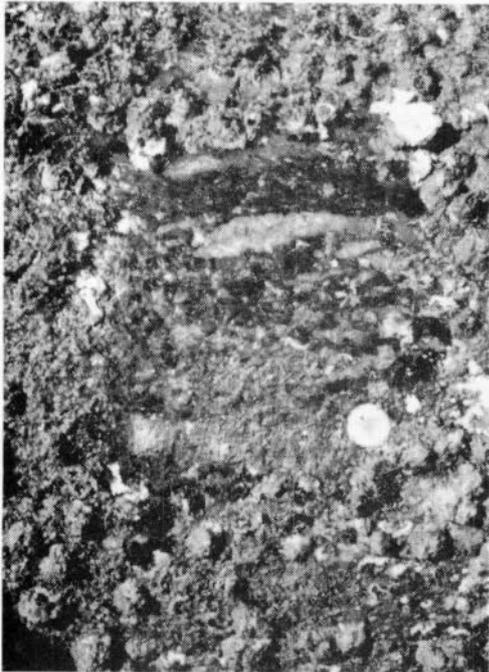
防食仕様 位置	期間		S56.10~57.12		S56.10~S58.10	
	南	北	南	北	南	北
№6	3.1	—	3.6	4.0	2.4	3.3
№7	2.5	—	3.8	4.4	3.6	3.3
№8	2.6	—	3.1	3.6	2.7	1.8
ES (FRP)	2.8	—	4.4	5.3	2.4	3.6



№ 7



ES (FRP)



№ 6



№ 8

図 4.1.1 付着生物除去後の塗膜

4.1.3 浮体構造物のメンテナンス

(1) 水中清掃

浮体構造物没水部塗膜は既に一回水中清掃を行っているが、前回の水中清掃から2箇年経過した時点で、生物除去のため水中清掃を実施した。実験に用いた水中清掃機並びに周辺機器は、前回と全く同一である。（研究資料№347参照）

水中清掃作業は、強固に付着した生物をコーン型ディスクで荒落し、仕上げをコーン型ワイヤホイールで行った。

浮体構造物、防食仕様毎の清掃性を表4.1.4に前回分と併記する。

表4.1.4 浮体構造物の清掃性

防食仕様	期間 結果	S55.9～S56.10		S56.10～S58.10	
		清掃の 難 場	清掃後の 塗膜状態	清掃の 難 場	清掃後の 塗膜状態
№6	△	△	ふじつぼ台座とれない 凹部多く清掃困難	△	ふじつぼ台座のこる 凹部多く清掃困難 黒変部あり
№7	○	○	付着生物完全除去	○	若干シミがのこる
№8	○～△	○～△	わずかにふじつぼの台 座のこる	○～△	ふじつぼ台座が若干の こる
ES (FRP)	○	○	付着生物完全除去	○～△	凹部清掃困難 上塗りの剝離（一部）

(2) 水中塗装

(a) ダメージの付与

比較的大面積の水中塗装を行うため浮体構造物を昭和58年4月に揚陸させ没水部（水深1.3m付近、20cm巾、50cm径全周）防食塗膜をエアーツール（チゼル）にて強制剝離した。

(b) ダメージ付与時の状況

- (i) 防食仕様№6：比較的大きな破片（5cm口位）でプライマ面から剝離する。プライマ面にさびは認められない。
- (ii) 防食仕様№7：細長い小さな破片（2～3cm×1cm位）で序々にはく離する。素地にさびは認められない。
- (iii) 防食仕様№8：№7と同様である。
- (iv) ES（FRP）：FRPがプライマ面から大面積（20cm²）ではく離する。プライマ面にはさび1～3%（ASTMD610-68）が一部に認められ各防食仕様の強制はくり後の状態を図4.1.2に示す。

(c) 水中硬化型塗料による補修

(i) 水中ケレン及び塗装方法

浮体構造物ダメージ付与部は6箇月海水中で放置したのち、コーン型カッター方式の水中清掃機により、ダメージ付与部を水中ケレンした。ケレン前、後の状態を図4.1.3に示す。

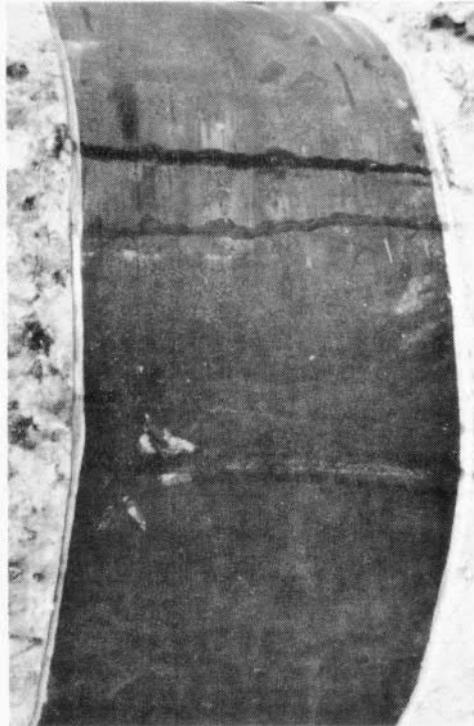
塗装方法は表4.1.5に示す性状の水中硬化型塗料を用い、ダイバーによるウェットハンド法又はヘラ塗りとした。

表 4.1.5 水中硬化型塗料の性状 (気中データ)

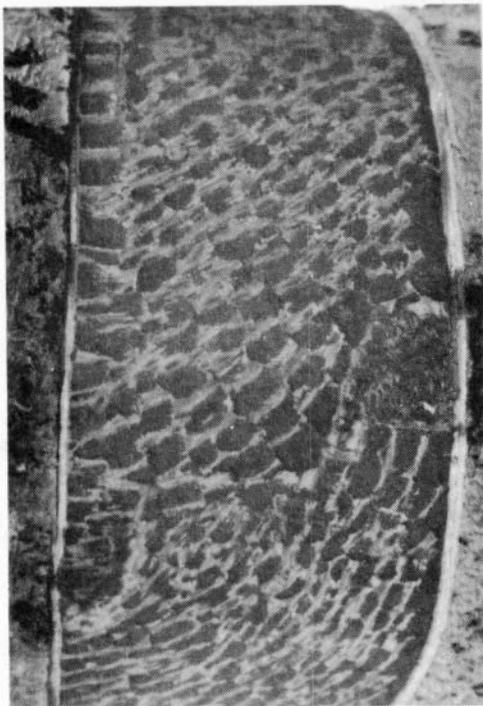
塗料種	性状	外 観	粘 度	混 合 比	初期硬化	可使時間	比 重
				(重量)	時間20℃	20℃	(混合後)
A	(エポキシ系)	主 剤：白色パテ状 硬化剤：黒色パテ状	高 い 流動性なし	主：硬 1：1	2h	45 min	1.6
B	(エポキシ系)	主 剤：黄色パテ状 硬化剤：黒色パテ状	高 い Aより低い	1：1	6h	1 h	1.4
C	(エポキシ ポリエステル系)	主 剤：白色 硬化剤：半透明	流 動 性 あ り	10：1	8h	40 min	1.7
D	ポリエステル系	主 剤：銀色 硬化剤：透明	#	100：1	24h	15 min	1.3



№ 7



ES (FRP)

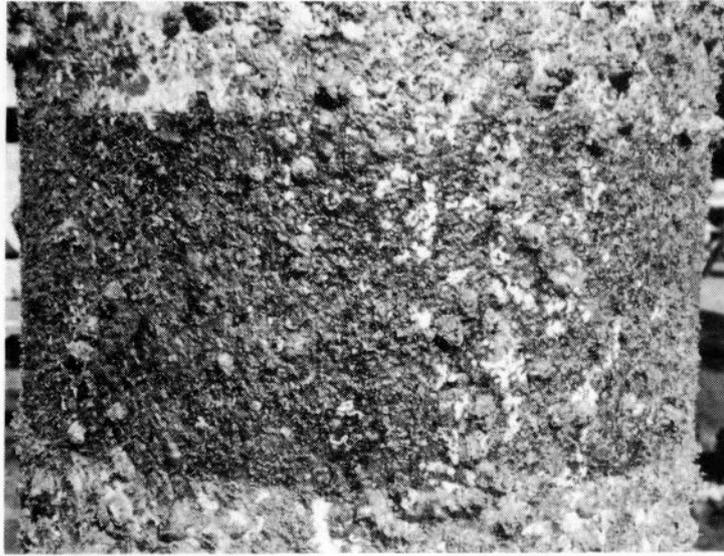


№ 6

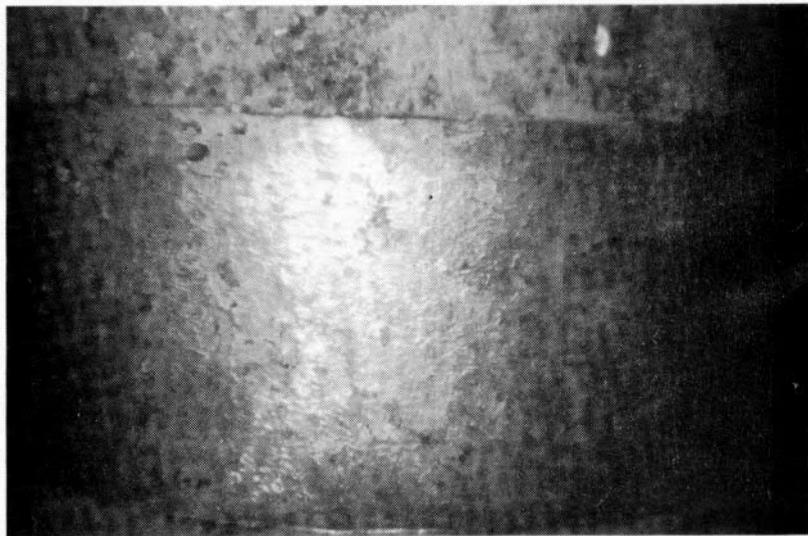


№ 8

図 4.1.2 ダメージ付与 (強制剝離) 時の状態



ケレン前



ケレン後(水中写真)

図 4.1.3 水中ケレン前, 後の状態(ダメージ付与部)

(ii) 補修塗装結果

浮体構造物ダメージ付与部の補修範囲を図 4.1.4 に示す。各塗料の補修性は次の様であった。

塗料A：防食仕様№8に適用し、ウェットハンド法で塗装。補修部全周の $\frac{1}{10}$ 程度に付着したのみで付着不良であった。（残存部は塗料Dで補修した。）

塗料B：防食仕様№6に適用し、ウェットハンド法で塗装。付着塗膜は補修部全周を皮覆している。一部に水を含んだままの状態がある。

塗料C：防食仕様№7に適用し、ヘラ塗りで塗装を行ったが、付着性不良で補修は出来なかった。（気中ウェット状態で補修した。）

塗料D：ES (FRP)に適用し、ヘラ塗りで塗装、付着性は良好で1パスで付着する。塗膜は補修部全周を皮覆している。

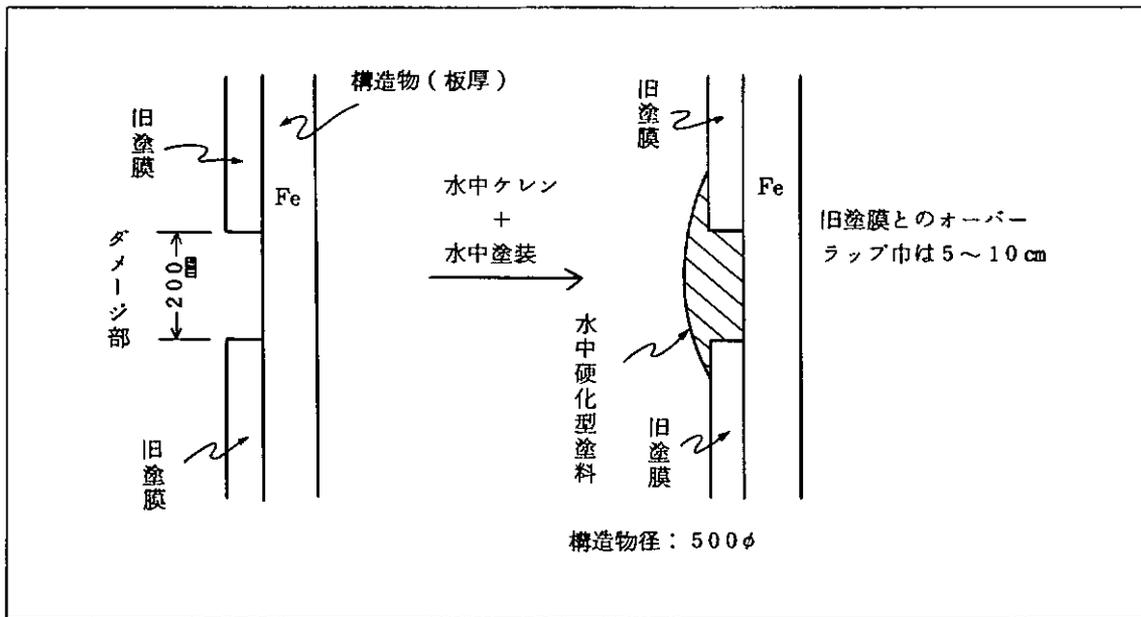


図 4.1.4 ダメージ部の補修範囲

4.1.4 上部構造物の調査

昭和56年度に製作し洋上暴露雰囲気中で24箇月及び30箇月経過した上部構造物の外観調査結果を表4.1.6に示す。

表 4.1.6(1) 上部構造物の外観 (24 箇月)

対象 防食仕様	パイプ面	立板	フランジ	溶接ビード	天板
№1	○	○	○	○	○
№2	〃	〃	〃	〃	〃
№3	〃	〃	〃	〃	〃
№4	〃	〃	〃	〃	〃
№5	〃	〃	〃	〃	〃
№6	〃	〃	〃	〃	〃
№7	〃	〃	〃	〃	〃
№8	〃	エッジ部 点さび(一部)	〃	〃	〃

○：異常なし。但し、いずれもチョーキング。№1,8少し
№2～7多し

表 4.1.6(2) 上部構造物の外観 (30 箇月)

対象 防食仕様	パイプ面	立板	フランジ	溶接ビード	天板
№1	○	○	○	○	○
№2	〃	〃	〃	〃	〃
№3	〃	〃	〃	〃	〃
№4	〃	〃	〃	〃	〃
№5	〃	〃	〃	〃	〃
№6	〃	〃	〃	〃	〃
№7	〃	〃	〃	〃	〃
№8	〃	エッジ部 点さび(一部)	〃	〃	〃

○：異常なし。但し、いずれもチョーキング。№1,8少し
№2～7多し

4.1.5 水中メンテナンス試験板の調査

防食仕様№1～8の無塗装ゾーン設定試験板を、水中補修塗装した試験板は、補修後24箇月経過した時点で次の調査を行った。

(1) 生物付着量 (試験板は水面下0.5mに浸漬)

前回の付着量調査から12箇月経過後の調査結果を表4.1.7(1)～(3)に示す。生物種は、いずれの試験板共に同様でありチゴケ虫、セルブラ、ホヤ類、ふじつぼが主体であった。

表 4.1.7(1) 水中硬化型塗料「A」にて補修した試験板

防食仕様	調査	期間 S56.10~S57.10(前回分)		S57.10~S58.10	
		※付着量kg/m ² (wet)		※付着量kg/m ² (wet)	
		旧塗膜	補修塗膜	旧塗膜	補修塗膜
№1		2.7	3.0	0.6	1.0
№2		2.5	2.0	0.9	1.4
№3		2.7	3.0	0.9	1.2
№4		2.3	2.0	0.9	1.0
№5		2.8	2.0	1.1	1.0
№6		2.7	2.0	0.7	1.0
№7		1.9	2.0	0.5	3.2
№8		2.3	3.0	0.9	1.6

※付着量kg/m²(wet) 旧塗膜 3.2 dm² 補修塗膜 0.5 dm²からの換算

表 4.1.7(2) 水中硬化型塗料「B」にて補修した試験板

防食仕様	調査	期間 S56.10~S57.10(前回分)		S57.10~S58.10	
		※付着量kg/m ² (wet)		※付着量kg/m ² (wet)	
		旧塗膜	補修塗膜	旧塗膜	補修塗膜
№1		2.8	2.0	0.6	1.2
№2		2.7	2.0	0.8	1.0
№3		3.1	6.0	0.7	1.4
№4		2.5	4.0	0.9	1.0
№5		2.7	5.0	1.0	1.0
№6		2.5	2.0	0.8	1.0
№7		1.9	2.0	0.6	1.4
№8		2.7	3.0	0.8	1.6

※付着量kg/m²(wet) 旧塗装 3.2 dm² 補修塗装 0.5 dm²からの換算

表 4.1.7(3) 水中硬化型塗料「C」にて補修した試験板

防食仕様	調査	期間 S56.10~S57.10(前回分)		S57.10~S58.10	
		※付着量kg/m ² (wet)		※付着量kg/m ² (wet)	
		旧塗膜	補修塗膜	旧塗膜	補修塗膜
№1		2.0	2.1	0.7	1.1
№2		2.7	1.4	0.7	1.0
№3		1.7	1.4	0.7	1.3
№4		1.5	1.4	0.8	1.3
№5		3.3	4.3	0.8	1.1
№6		2.0	1.4	0.8	1.1
№7		1.7	1.4	0.7	0.9
№8		1.5	1.4	0.7	1.3

※付着量kg/m²(wet) 旧塗膜 3 dm² 補修塗膜 0.7 dm²からの換算

(2) 生物除去後の状態

試験板の付着生物は、陸上にてスケラを用いて除去した。この方法で生物除去した防食仕様№1～8の塗膜及び補修塗膜の状態を表4.1.8に示す。

表 4.1.8 生物除去後の状態

防食仕様	資料	対象	旧 塗 膜	旧と補修塗膜の境界	補 修 塗 膜
№ 1	A		○	○	○
	B	さび 5φ位1ヶ		〃	〃
	C		○	〃	〃
№ 2	A	さび 9φ位1ヶ		〃	〃
	B		○	〃	〃
	C		〃	〃	〃
№ 3	A		〃	〃	〃
	B		〃	〃	〃
	C		〃	〃	〃
№ 4	A	さび 15φ位1ヶ		〃	〃
	B		○	〃	〃
	C		〃	〃	〃
№ 5	A		〃	〃	〃
	B		〃	〃	〃
	C		〃	〃	〃
№ 6	A		〃	〃	〃
	B		〃	〃	〃
	C		〃	〃	〃
№ 7	A		〃	〃	〃
	B		〃	〃	〃
	C		〃	〃	〃
№ 8	A		〃	〃	〃
	B		〃	〃	〃
	C		〃	〃	〃

○印
異常なし

4.1.6 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防食仕様№1～8の試験板、並びに昭和57年度、それらの無塗装ゾーン設定部を補修塗装した試験板について、下記に示す調査を行った。

(1) 外観調査

洋上大気暴露雰囲気にて24, 30箇月経過した無加工及び無塗装ゾーン設定試験板の調査結果を表4.1.9に示す。更に同雰囲気にて12, 18箇月経過した無塗装ゾーン補修試験板の調査結果を表4.1.10に示す。

(2) 付着力試験

測定は、塗膜にエポキシ系無溶剤型接着剤を用いて測定用端子(以下ドリ)を接着させ24時間経過後、鋭利な刃物でドリ円周に沿って素地まで達する切り傷を入れアドヒージョンテスト(エルコメ

ータ社製)にて付着力を測定した。防食仕様№1～8塗膜の24, 30箇月経過後の調査結果を表4.1.11に示す。なおデータは初期値から30箇月後までを併記した。

(3) インピーダンスの測定

測定は、3%食塩水にカルボキシルメチルセルロース(CMC)を溶解させた電解質の糊で50×50mmのAノ箔を塗膜表面へ貼付し、電研式塗膜劣化検査器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№1～8の無加工試験板の24, 30箇月経過後の測定結果を表4.1.12に示し無塗装ゾーン補修試験板の12, 18箇月経過後の測定結果を表4.1.13に示す。なお各試験板の経時データとして初期から現在までのtanδ値を併記した。

表4.1.9(1) 無加工試験板(24箇月後)

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

○: 異常なし

表4.1.9(2) 無加工試験板(30箇月後)

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

○: 異常なし

表 4.1.9(3) 無塗装ゾーン設定試験板(24箇月後)

防食仕様	対象	無塗装ゾーン	塗膜との境界部
No 1		褐色錆	○
No 2		"	"
No 3		"	"
No 4		"	"
No 5		"	"
No 6		"	"
No 7		"	"
No 8		"	"

○：異状なし

表 4.1.9(4) 無塗装ゾーン設定試験板(30箇月後)

防食仕様	対象	無塗装ゾーン	塗膜との境界部
No 1		褐色錆	○
No 2		"	"
No 3		"	"
No 4		"	"
No 5		"	"
No 6		"	"
No 7		"	"
No 8		"	"

○：異状なし

表 4.1.10(1) 無塗装ゾーン補修塗膜の外観(12箇月後)

防食仕様	対象	さび	われ	旧塗膜との境界部	退色
No 1	S	○	○	○	チョーキング 小
	P	"	"	"	"
No 2	S	"	"	"	" 大
	P	"	"	"	"
No 3	S	"	"	"	"
	P	"	"	"	"
No 4	S	"	"	"	"
	P	"	"	"	"
No 5	S	"	"	"	" 小
	P	"	"	"	"
No 6	S	"	"	"	" 大
	P	"	"	"	"
No 7	S	"	"	"	"
	P	"	"	"	"
No 8	S	"	"	"	"
	P	"	"	"	"

※処理 S：サンドブラスト P：パワーツール ○：異状なし

表 4.1.1 0(2) 無塗装ゾーン補修塗膜の外観(18箇月後)

防食仕様	対象 ※処理	さび	われ	旧塗膜との 境界部	退色	
№1	S	○	○	○	チョーキング	小
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№2	S	〃	〃	〃	〃	大
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№3	S	〃	〃	〃	〃	〃
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№4	S	〃	〃	〃	〃	〃
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№5	S	〃	〃	〃	〃	小
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№6	S	〃	〃	〃	〃	大
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№7	S	〃	〃	〃	〃	〃
	P	〃	〃	〃	〃	〃
№8	S	〃	〃	〃	〃	〃
	P	〃	〃	〃	〃	〃

※処理 S：サンドブラスト P：パワーツール ○：異常なし

表 4.1.1.1 付着力試験結果（初期～30箇月後まで）

期間 防食仕様	暴露前		6箇月後		12箇月後		18箇月後		24箇月後		30箇月後	
	付着力	破断箇所	付着力	破断箇所	付着力	破断箇所	付着力	破断箇所	付着力	破断箇所	付着力	破断箇所
№1	34K	AC.Cf	30K	AC.Cf	30K	AC.Cf	30K	AC.Cf	32K	IZ.Cf	28K	ACCf,IZCf
№2	35K	ad	31K	"	31K	IZ.Cf	30K	IZ.Cf	32K	"	32K	ACCf,IZCf
№3	40K	AC.Cf	32K	IZ.Cf	31K	IZ.Cf	30K	IZ.Cf	32K	IZ.Cf	25K	IZ.Cf
№4	38K	ad	31K	"	48K	"	30K	"	33K	"	25K	IZ.Cf
№5	33K	IZ.Cf	38K	AC.Cf	36K	AC.Cf	52K	AC.Cf	50K	AC.Cf	35K	AC.Cf
№6	45K	ad	32K	"	30K	ad	53K	"	37K	"	32K	AC.Cf
№7	40K	ad	48K	ad	53K	ad	41K	ad	65K	ad	40K	ad
№8	36K	ad	55K	"	54K	"	40K	"	62K	"	42K	"
			30K	AC.Cf	33K	AC.Cf	24K	AC.Cf	60K	ACCf,ad	25K	AC.Cf
			31K	"	30K	ad	22K	ad	30K	"	28K	AC.Cf
			45K	ad.Cf	50K	ad	60K	ad	77K	ad	50K	ad
			52K	"	60K	"	60K	"	73K	"	70K	"
			75K	ad	55K	ad	55K	ad	70K	ad	55K	ad
			90K	"	55K	"	70K	"	73K	"	70K	"
			30K	"	40K	ad	60K	Cf	50K	ad	60K	ad
			35K	"	46K	Cf	56K	ad	60K	"	60K	"

※ 付着力K = Kg_f/cm²

破断箇所

ad : 接着剤はがれ

AC : 下塗り塗膜

Cf : 塗膜の凝集破断

IZ : 無機亜鉛末塗膜

表 4.1.1 2(1) 無加工試験板のインピーダンス測定結果

期間 項目 防食 仕様	24箇月後				30箇月後			
	f (KHz)	C (μ F)	R (K Ω)	1KHz のtan δ	f (KHz)	C (μ F)	R (K Ω)	1KHz のtan δ
No 1	0.2	0.0029	6000	0.027	0.2	0.0030	5000	0.027
	0.5	0.0028	4500		0.5	0.0029	3000	
	1	0.0030	2000		1	0.0030	2000	
	2	0.0027	1000		2	0.0028	1000	
No 2	0.2	0.0031	6500	0.024	0.2	0.0024	7000	0.025
	0.5	0.0031	3500		0.5	0.0024	4000	
	1	0.0032	2000		1	0.0025	2500	
	2	0.0030	1500		2	0.0023	1500	
No 3	0.2	0.0030	6000	0.017	0.2	0.0032	5000	0.025
	0.5	0.0030	4000		0.5	0.0031	3000	
	1	0.0031	3000		1	0.0032	2000	
	2	0.0029	1000		2	0.0030	1000	
No 4	0.2	0.0027	8000	0.019	0.2	0.0028	5000	0.028
	0.5	0.0027	5000		0.5	0.0027	3000	
	1	0.0028	3000		1	0.0028	2000	
	2	0.0026	2000		2	0.0026	1500	
No 5	0.2	0.0029	8000	0.027	0.2	0.0026	3000	0.037
	0.5	0.0029	4000		0.5	0.0024	2000	
	1	0.0030	2000		1	0.0025	1500	
	2	0.0028	1000		2	0.0023	1000	
No 6	0.2	0.0024	8000	0.021	0.2	0.0025	7000	0.025
	0.5	0.0024	6000		0.5	0.0024	4000	
	1	0.0025	3000		1	0.0025	2500	
	2	0.0023	2000		2	0.0023	2000	
No 7	0.2	0.0025	8000	0.029	0.2	0.0026	7000	0.029
	0.5	0.0025	3000		0.5	0.0026	4000	
	1	0.0027	2000		1	0.0027	2000	
	2	0.0025	1000		2	0.0025	1500	
No 8	0.2	0.0025	8000	0.020	0.2	0.0025	7000	0.020
	0.5	0.0025	6000		0.5	0.0025	4000	
	1	0.0026	3000		1	0.0026	3000	
	2	0.0024	2000		2	0.0024	2000	

※AL箔：5×5cm

$$\tan \delta = \frac{1}{2\pi fCR}$$

表 4.1.1 2(2) 無加工試験板の経時の $\tan \delta$

防食 仕様	項目 期間	経時の $\tan \delta$ (1KHz)					
		※ 暴露前	※ 6箇月	※ 12箇月	18箇月	24箇月	30箇月
N_1		0.019	0.019	0.019	0.027	0.027	0.027
N_2		0.044	0.023	0.025	0.026	0.024	0.025
N_3		0.035	0.018	0.017	0.021	0.017	0.025
N_4		0.029	0.023	0.032	0.028	0.019	0.028
N_5		0.036	0.024	0.021	0.026	0.027	0.037
N_6		0.017	0.020	0.021	0.025	0.021	0.025
N_7		0.018	0.037	0.034	0.031	0.029	0.029
N_8		0.013	0.018	0.018	0.024	0.020	0.020

※: AL 箔: 5×20 cm, 他は 5×5 cm

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

表 4.1.1 3(1) 無塗装ゾーン補修試験板のインピーダンス(12箇月後)

補修前処理 防食仕様	サンドブラスト (Sa 3)				パワーツール (St 3)			
	f (KHz)	C (μ F)	R (K Ω)	1 KHz の $\tan \delta$	f (KHz)	C (μ F)	R (K Ω)	1 KHz の $\tan \delta$
No 1	0.2	0.0029	6000	0.018	0.2	0.0029	6000	0.018
	0.5	0.0028	4000		0.5	0.0028	4000	
	1.0	0.0029	3000		1.0	0.0029	3000	
	2.0	0.0027	2000		2.0	0.0027	2000	
No 2	0.2	0.0028	7000	0.019	0.2	0.0028	7000	0.028
	0.5	0.0027	4000		0.5	0.0027	4000	
	1.0	0.0028	3000		1.0	0.0028	2000	
	2.0	0.0027	2000		2.0	0.0026	1500	
No 3	0.2	0.0026	7000	0.020	0.2	0.0026	7000	0.020
	0.5	0.0025	4000		0.5	0.0025	4000	
	1.0	0.0026	3000		1.0	0.0026	3000	
	2.0	0.0025	2000		2.0	0.0025	2000	
No 4	0.2	0.0028	6000	0.019	0.2	0.0027	6000	0.020
	0.5	0.0026	4000		0.5	0.0026	4000	
	1.0	0.0027	3000		1.0	0.0027	3000	
	2.0	0.0026	2000		2.0	0.0026	2000	
No 5	0.2	0.0027	5000	0.019	0.2	0.0028	5000	0.028
	0.5	0.0027	4000		0.5	0.0027	3000	
	1.0	0.0028	3000		1.0	0.0028	2000	
	2.0	0.0026	2000		2.0	0.0027	1000	
No 6	0.2	0.0023	8000	0.021	0.2	0.0025	8000	0.021
	0.5	0.0024	6000		0.5	0.0024	5000	
	1.0	0.0025	3000		1.0	0.0025	3000	
	2.0	0.0024	2000		2.0	0.0023	2000	
No 7	0.2	0.0025	8000	0.021	0.2	0.0025	8000	0.020
	0.5	0.0024	5000		0.5	0.0024	5000	
	1.0	0.0025	3000		1.0	0.0026	3000	
	2.0	0.0024	2000		2.0	0.0024	2000	
No 8	0.2	0.0025	7000	0.021	0.2	0.0025	7000	0.021
	0.5	0.0024	5000		0.5	0.0024	5000	
	1.0	0.0025	3000		1.0	0.0025	3000	
	2.0	0.0024	2000		2.0	0.0024	2000	

※ A ℓ 箔: 5 × 5 cm $\tan \delta = \frac{1}{2\pi fCR}$

表 4.1.1 3(2) 無塗装ゾーン補修試験板のインピーダンス (18箇月後)

補修前修理 防食仕様	項目	サンブラスト (Sa 3)				パワーツール (St 3)			
		f (KHz)	C (μ F)	R (K Ω)	1 KHz の $\tan \delta$	f (KHz)	C (μ F)	R (K Ω)	1 KHz の $\tan \delta$
No 1	No 1	0.2	0.0029	5000	0.027	0.2	0.0031	6000	0.026
		0.5	0.0028	3000		0.5	0.0030	4000	
		1	0.0029	2000		1	0.0031	2000	
		2	0.0027	1500		2	0.0028	1000	
No 2	No 2	0.2	0.0029	5000	0.037	0.2	0.0028	5000	0.028
		0.5	0.0028	3000		0.5	0.0027	3000	
		1	0.0029	1500		1	0.0028	2000	
		2	0.0027	1000		2	0.0027	1000	
No 3	No 3	0.2	0.0027	6000	0.029	0.2	0.0026	6000	0.031
		0.5	0.0026	4000		0.5	0.0025	3000	
		1	0.0027	2000		1	0.0026	2000	
		2	0.0026	1500		2	0.0025	1500	
No 4	No 4	0.2	0.0028	6000	0.028	0.2	0.0028	5000	0.022
		0.5	0.0027	3000		0.5	0.0028	3500	
		1	0.0028	2000		1	0.0029	2500	
		2	0.0026	1500		2	0.0027	1500	
No 5	No 5	0.2	0.0029	5000	0.027	0.2	0.0029	5000	0.027
		0.5	0.0028	3000		0.5	0.0028	3000	
		1	0.0029	2000		1	0.0029	2000	
		2	0.0027	1300		2	0.0027	1000	
No 6	No 6	0.2	0.0025	7000	0.025	0.2	0.0024	7000	0.021
		0.5	0.0024	5000		0.5	0.0024	4000	
		1	0.0025	2500		1	0.0025	3000	
		2	0.0023	1500		2	0.0023	2000	
No 7	No 7	0.2	0.0025	7000	0.025	0.2	0.0025	7000	0.031
		0.5	0.0024	4000		0.5	0.0024	4000	
		1	0.0025	2500		1	0.0026	2000	
		2	0.0024	1500		2	0.0024	1600	
No 8	No 8	0.2	0.0025	7000	0.025	0.2	0.0024	7000	0.021
		0.5	0.0024	3500		0.5	0.0024	4000	
		1	0.0025	2000		1	0.0025	3000	
		2	0.0024	1500		2	0.0023	2000	

表 4.1.1 3(3) 無塗装ゾーン補修試験板の経時 $\tan \delta$

期間 防食仕様	暴露 3 箇月		暴露 12 箇月		暴露 18 箇月	
	Sa 3	St 3	Sa 3	St 3	Sa 3	St 3
No 1	0.027	0.027	0.018	0.018	0.027	0.026
No 2	0.028	0.028	0.019	0.028	0.037	0.028
No 3	0.024	0.031	0.020	0.020	0.029	0.031
No 4	0.028	0.029	0.019	0.020	0.028	0.022
No 5	0.037	0.028	0.019	0.028	0.027	0.027
No 6	0.021	0.021	0.021	0.021	0.025	0.021
No 7	0.016	0.021	0.021	0.020	0.025	0.031
No 8	0.016	0.021	0.021	0.021	0.025	0.021

4.1.7 水中硬化型塗料によるメンテナンス

海洋構造物の各部位にあって①鋼材腐食の激しい飛沫部②防食皮膜が機械的ダメージを受け易く、且つ電気防食効果が十分に及ばない干満部③波浪の影響の大きい水線付近を対象とした水中硬化型塗料によるメンテナンス実験から12箇月経過後において、次の様な調査を行った。尚、実験の詳細は昨年度報告書研究資料No.357を参照して頂きたい。

(1) 外観調査

水中硬化型塗料3種による補修試験板の12箇月経過後の外観調査結果を表4.1.14に示す。

表 4.1.14(1) 飛沫部の外観

下地 塗料	錆 面			旧 塗 膜 (浮体試験構造物)			
	手工具処理	パワーツール 処 理	ブラスト	PEM	PEF	ESF	ES FRP
A	○	○	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	○	○

○=異常なし。但し、チョーキングA, B>C

表 4.1.14(2) 干満部の外観(対象:鉄素地)

処理 後のイン ターバル 養生 塗料	手 工 具					パ ワ ー ツ ー ル					ブラスト	
	0		3	6	0		3	6	0	3	0	3
	ネット	シート	なし	なし	なし	ネット	シート	なし	なし	なし	なし	なし
A	○	○	○	○	○	※○	※○	※○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○	※○	※○	※○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○	※○	※○	※○	○	○	○	○

シート:補修後7日経過した時点で除去

○=異常なし

※=ふじつば カキの付着大

表 4.1.1 4(3) 没水部 (対象:鉄素地)

塗料	処理 養生	水中清掃			同左			同左		
		塗装までのインターバル: 0			塗装までのインターバル: 6h			塗装までのインターバル: 24h		
		※ ネット	シート	なし	※ ネット	シート	なし	※ ネット	シート	なし
A		○	○	はく離 100%	○	○	○	○	はく離 80%	はく離 100%
B		○	○	○	○	はく離 10%	○	○	○	○
C		○	○	○	○	はく離 10%	○	○	○	○

シート: 補修後 7 日経過した時点で除去
 ○=異常なし ※=ネット内のふじつぼ成長によりネットが持ち
 上げられている。
 試験板への生物付着は緑藻 ふじつぼが主体である。

表 4.1.1 4(4) 没水部 (対象:旧塗装)

塗料	処理 防食仕様(旧 塗装 インターバル h)	水中清掃																
		No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		No.7		No.8		
		0	24	0	24	0	24	0	24	0	24	0	24	0	24	0	24	
A		○	○	はく離 100%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	はく離 100%	○	○
B		○	○	ふくれ No.2F	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	はく離 10%	○	○

○=異常なし A, B, C 塗膜上の生物(緑藻, 褐藻, ふじつぼはスケラに
 て除去)

ふくれ: ASTM0714-56による

(2) 付着力試験

水中硬化型塗料 3 種による補修試験板の 1 2 箇月経過後における付着力試験結果を表 4.1.1 5 に示す
 尚, 試験は試験板全数とせず代表的なもののみについて実施した。

表 4.1.15(1) 飛沫部の付着力試験結果 (対象:鉄素地)

処理 期間 塗料	手 工 具		パ ワ ー ツ ー ル		ブ ラ ス ト	
	初 期	12箇月後	初 期	12箇月後	初 期	12箇月後
A	40K(pf100)	5K(pf100)	50K(ad100)	33K(ad100)	55K(ad100)	50K(ad100)
	50K(pf100)		58K(ad100)		60K(ad100)	
B	41K(pf100)	18K(ad100)	64K(ad100)	21K(ad100)	60K(ad100)	35K(ad100)
	42K(pf100)		62K(ad100)		65K(ad100)	
C	40K(pf100)	16K(pf 70 ad 30)	58K(ad100)	20K(ad100)	52K(ad100)	40K(ad100)
	39K(cf 20 ad 80)		51K(ad100)		57K(ad100)	

K = kgf / cm² ()内は破断形態 % ad : 接着剤はがれ
 cf : 塗膜の凝集破断
 pf : 素地からの破断

表 4.1.15(2) 干満部の付着力試験結果 (対象:鉄素地)

処理 浸水 後のイン ターバル 期間 塗料	手 工 具				パ ワ ー ツ ー ル				ブ ラ ス ト		
	—	0	3	6	—	0	3	6	—	0	3
	初期	12箇月後			初期	12箇月後			初期	12箇月後	
A	40K (pf100)	5K	5K	5K	59K (cf100)	32K	17K	28K	60K (ad100)	30K	40K (pf 35 cf 45 ad 20)
	45K (pf100)	(pf100)	(pf100)	(pf100)	50K (cf100)	(pf100)	(pf100)	(pf 50 ad 50)	55K (ad100)	(ad100)	
B	30K (pf100)	5K	18K	10K	65K (pf100)	30K	23K	17K	65K (ad100)	40K	30K
	28K (pf100)	(pf100)	(pf100)	(pf100)	62K (pf 90 cf 70)	(cf 30 ad 70)	(pf100)	(pf100)	60K (ad100)	(cf 40 ad 60)	(cf 60 ad 40)
C	40K (pf 20 ad 80)	10K	5K	10K	35K (cf100)	38K	31K	25K	56K (ad100)	22K	32K
	39K (ad100)	(cf 10 ad 85)	(cf 10 ad 85)	(pf 80 ad 20)	40K (cf 10 ad 90)	(cf 10 ad 70)	(pf100)	(cf 70 pf 30)	53K (ad100)	(ad100)	(ad100)

()内は破断形態 % K = kgf / cm²
 ad : 接着剤はがれ
 cf : 塗膜の凝集破断
 pf : 素地からの破断
 ※ pf はがれでは素地面に黒錆が確認できる
 試験板はネット, シート等の養生なしのものを用いた

表 4.1.15(3) 没水部の付着力試験結果(対象:鉄索地)

塗料	没水 処理 迄のイン ターバルh	水 中 清 掃		
		—	0	24
期間		初 期	12箇月後	
A	20K (cf100) 22K (cf100)		〔自然〕 〔はく離〕	〔自然〕 〔はく離〕
B	28K (pf 15) cf 85 35K (pf 15) cf 85	※ 10K (pf100)	※ 10K (pf100)	
C C	25K (pf 60) cf 40 25K (pf100)	10K (pf100)	10K (pf100)	

注) 試験板はネット, シート等の養生なしのものを用いた
 ()内は破断形態
 ad : 接着剤はがれ
 cf : 塗膜の凝集破断
 pf : 索地からののはがれ

※ 水が素地面に確認できる

表 4.1.15(4) 没水部の付着力試験結果(対象:旧塗膜)

処理	塗料 塗装 までのイン 防食仕 様 ターバ ルト h	A			B			C		
水	No 1	0	18K(ad100)	30K(ad100)	50K(Accf40 cf60)					
		24	28K(ad100)	15K(pf40 ad60)	10K(pf100)					
中	No 2	0	自然はくり	18K(pf40 ad60)	32K(pf60 ad40)					
		24	10K(pf100)	※1 5K(pf100)	32K(IZcf5cf65) pf30)					
清	No 3	0	20K(ad100)	20K(cf5 ad95)	20K(pf60 ad40)					
		24	18K(ad100)	10K(cf40 ad60)	20K(ad100)					
掃	No 4	0	18K(ad100)	33K(pf80 ad20)	30K(ad100)					
		24	※2 6K(pf100)	※2 3K(pf100)	27K(pf20 cf80)					
水	No 5	0	18K(ccf30 cf20ad50)	21K(Accf70 ad30)	18K(Accf60 ad40)					
		24	18K(Accf100)	20K(cf5 ad95)	22K(Accf55 cf45)					
中	No 6	0	28K(ad100)	24K(cf70 ad30)	21K(pf70 ad30)					
		24	自然はくり	※1 2K(pf100)	自然はくり					
清	No 7	0	39K(ad100)	20K(ad100)	42K(ad100)					
		24	※2 6K(pf100)	21K(cf10 pf30ad60)	29K(pf70 ad10)					
掃	No 8	0	31K(Na8cf30 cf20ad50)	10K(Na8cf100)	18K(Na8cf75 ad25)					
		24	※2 6K(pf100)	8K(Na8cf100)	15K(Na8cf100)					

()内 破断形態

- ad : 接着剤はがれ K = kgf/cm²
 cf : 塗膜の凝集破断 Ac : 旧塗膜の下, 中塗り
 pf : 素地からのはがれ
 (旧塗膜)

※1 層間に水が確認できる

※2 塗膜浮膜気味

(3) 衝撃試験

実験現場での塗膜の耐衝撃性を求めるため、2ポンド片手ハンマーの柄の一端を支点(半径200mm)とした振り式衝撃を用いた。

その結果、試験対象となる水中硬化型塗料による補修塗膜は、いずれもわれ、はく離等の欠陥発生は認められなかった。

(4) 耐電気防食性

水中硬化型 料3種の耐電気防食性は図4.1.5に示す方法で、海水浸漬を実施した。12箇月経過後の状態を図4.1.16に示す。

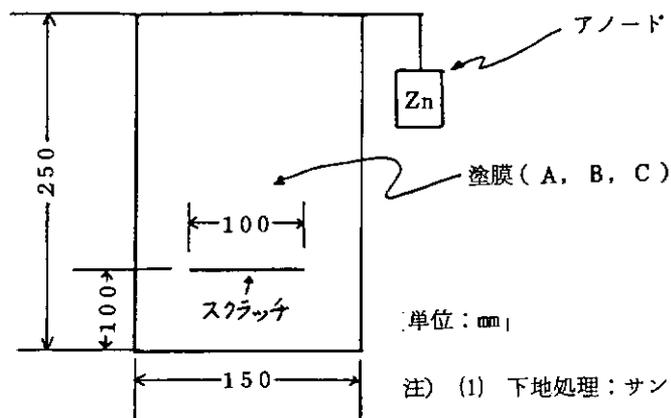


図 4.1.5 耐電気防食性試験

表 4.1.16 耐電気防食性試験 (12箇月後)

塗料 \ 箇所	一般部	スクラッチ部
A	○	(デポジット [○] 付着)
B	○	"
C	○	ふくれNo 2 F

○ : 異常なし
ふくれ: ASTM D714-56による

4.1.8 水中補修材料の長期防食性試験

海洋構造物メンテナンス用としての各種水中補修材料の過酷な条件下における耐食、耐久性を調査するため、海浜干満帯へ図4.1.6に示す形式の鋼管試験体を設置した。鋼管は図4.1.7に示す概略の様に300φ×3.5mで中央部付近に溶接ビードを設けており、試験体設置時の表面状態は、ブラスト処理とした。設置直後の調査でこの試験体は満潮時に1m程度没水し、海水飛沫は、その上部へ十分に付着することを確認した。

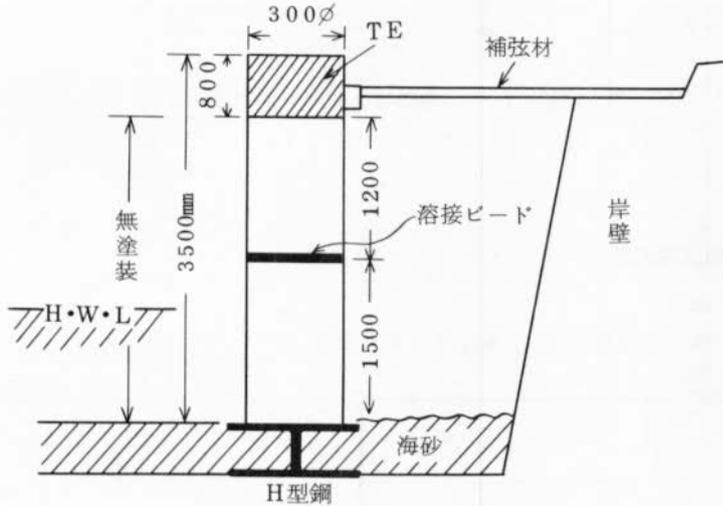


図4.1.7 試験体概略



図4.1.6 鋼管試験体

(1) 補修前の発錆状況

試験体設置期間：4箇月

発錆状況：溶接ビード(1.5m部)+10cmまでは全面層状(厚み：1~2mm)赤錆
それ以上の高さの部分は全面褐色の錆

(2) 補修用下地処理

干潮時に下記に示す除錆を実施した。

満潮時の没水部：コーン型カッター方式の水中清掃機にて除錆，仕上りのグレードはSIS C St3
以上(h=0~700mm付近)

層状赤錆部：ジェットタガネにて除錆，仕上りのグレードはSIS D St2~St3(h=700~
1600mm付近)

褐色錆部：ワイヤーホイールにて除錆，仕上りのグレードはSIS C St2~St3(h=1600
mm以上)

除錆作業所要時間：鋼管1本(約3m²)につき約1時間消費。

除錆後の状態を図4.1.8に示す。

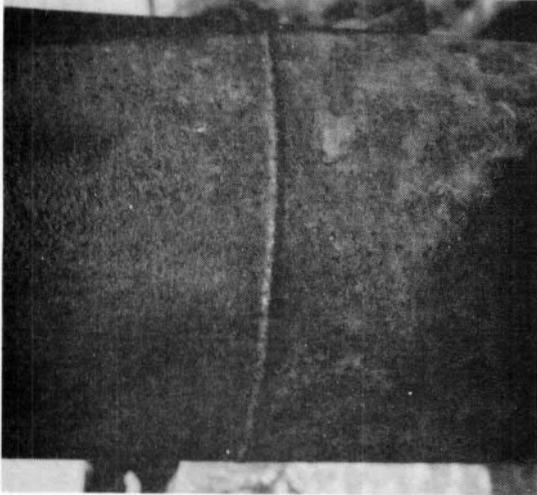
(3) 補 修

鋼管試験体の補修に用いた材料の詳細を表 4.1.17 に示す。

表 4.1.17 補修材料の詳細

性状 材料種	外 観	混 合 比 (重量)	初期硬化時間 (20℃)	可使時間 (20℃)	比 重 (混合比)	備 考
水中硬化型塗料 A (エポキシ系)	主 剤：白色パテ状 硬化剤：黒色パテ状	主：硬 1：1	2 h	45min	1.6	「F」と併用 h = 0~1.6m 付近に適用
水中硬化型塗料 B (エポキシ系)	主 剤：黄色パテ状 硬化剤：黒色パテ状	1：1	6 h	1 h	1.4	
水中硬化型塗料 C (エポキシ/ ポリエステル系)	主 剤：白 色 硬化剤：半透明	10：1	8 h以内	40min	1.7	
水中硬化型塗料 D (ポリエステル系)	主 剤：銀 色 硬化剤：透 明	100：1	24 h以内	15min	1.3	「D」と「E」 で鋼管1本を 塗装。
水中硬化型塗料 E (ポリエステル系)	主 剤：灰 色 硬化剤：透透明	100：1	”	”	1.3	分割は縦割½ とした
水中硬化型塗料 F (エポキシ系)	主 剤：青 色 硬化剤：白 色	1：1	9 h	30	1.7	「A」と併用 し、飛沫部に 適用
汎用タールエポ キシ塗料 (タールエポキシ)	主 剤：黒 色 硬化剤：透 明	9：1	24h以内	5 h	1.2	補修材料のブ ランク的意図
PTC 工法	1st：グリス状ペースト400g/m ² 塗布 2nd：ペトロラタムテープ55φラップで巻付 3rd：FRP(5mm厚)カバー取付 4th：真鍮ボルトにて締付					

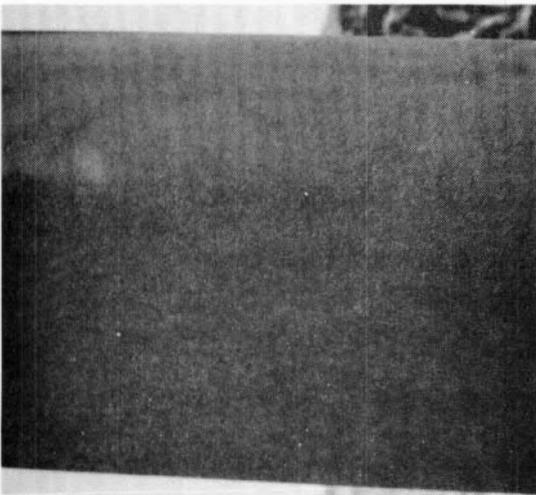
溶接ヒート部
飛沫部（満潮時）



没水部
（満潮時）



気中部
（満潮時）



乾湿交播部
（満潮時）

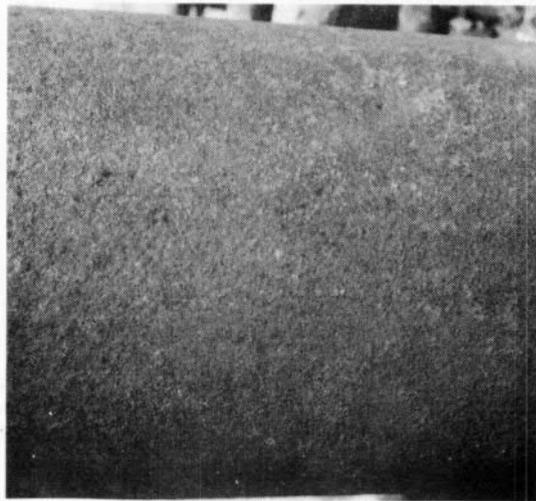
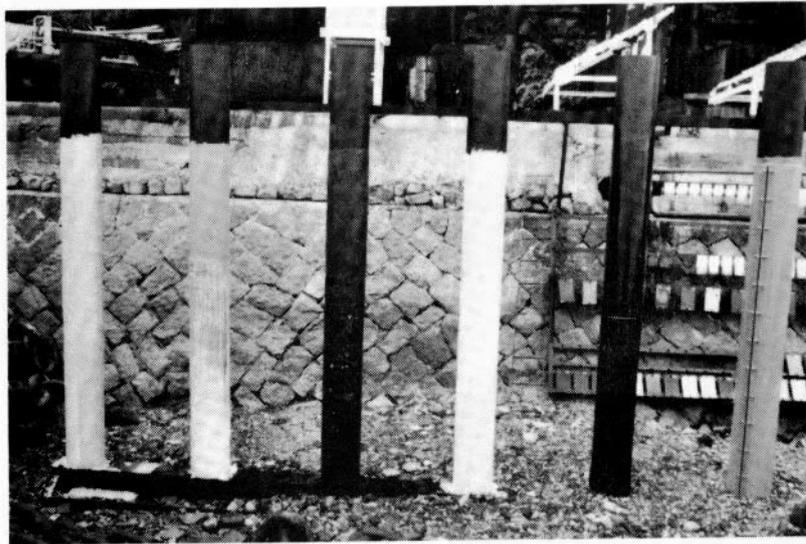


図 4.1.8 除錆後の状態

(4) 補修作業の結果

各種補修用材料の施工性のまとめを表 4.1.18 に示し，補修完了後の状態を図 4.1.9 に示す。



↑↑
E D

上 = F
下 = A

↑
B

↑
C

↑
TE

↑
PTC

図 4.1.9 補修完了後の状態

表 4.1.18 各種補修材料の施工性

No	塗料名	塗装面積	塗装時間	塗料使用量	工数		塗装終了から浸漬開始までの時間	塗装方法	評価			気温・湿度
					混合	塗装			混合作業性	塗装作業性	仕上り状態	
1	A	1 m ² (下からピット上)	60分	20kg×1セット ロス込み (20kg)	2人	7人	2時間	へラ困難 ウェットバンド法	混合困難 ××	×	×	24 / 27.5 °C
2	B	3 m ²	60分	50kg×5セット ロス込み (約20kg)	3人	7人	3時間	へラ	×	△~×	△	65 / 77 % RH
3	C	3 m ²	60分	2kg×4.5セット ロス込み (約9kg)	1人	2人	3時間	へラ	△	○~△	△	77 % RH
4	D	1.5m ²	40分	2kg×3セット ロス込み (6kg)	2人	2人	5時間	へラ	△	○~△	△	22 / 24 °C
5	E	1.5m ²	40分	2kg×2セット ロス込み (4kg)	2人	2人	4時間	へラ	○	△	×	84 / 92 % RH
6	F	1 m ² (Aと併用)	40分	5kg×1セット ロス込み (5kg)	2人	3人		へラ	×	△~×	△~×	
7	タールエポキシ塗料	3 m ²	10分	Wet×350×450μ ロス込み 5kg	1人	1人	4時間	エアレス(30:1), 次庄7.0kg/600ml, ホース40m(2分), チップ163-319	○	○	○	
8	PTC工法	3 m ²	(施工時間) 40分		ペースト塗 布テープ巻 2人	(ポルト はじめ) 4人	5時間		ポルトはじめに時間消耗 —	○	○	

※ No.1~6は水中硬化型塗料

○:良好 ×:困難(不良)
△:やや困難 ××:非常に困難
(やや不良)

4.1.9 調査・試験結果について

(1) 浮体構造物

(a) 外観、付着生物及び生物の除去

昭和55年度の実海域設置からすでに約3箇年経過しているが、現時点における防食仕様4種〔No.6～8 ES(FRP)〕は、洋上大気暴露部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2箇年経過しており生物付着が著しい。

その付着量は、水深1m付近において1㎡当り1.8～3.6kgであり、南面と北面及び防食仕様種による差異はなく、生物を除去した塗膜に欠陥も認められない。経時の付着量は、今回の2年放置に比べ、それ以前の1年放置が1㎡当り3.1～5.3kgと多く没水年数が多いほど生物付着量が比例的に増加する傾向は認められなかった。むしろ生物が棲息するための海洋環境の影響が大きいと判断される。

水中清掃機による付着生物の除去は、没水から1年後に1度実施しており、今回はそれから2年経過後に実施した。両者の清掃難易性を比較すれば、生物付着量が同程度であったため大差はない。しかし塗膜表面の仕上り状態は、若干2年放置がシミ状の斑点を残存し易い傾向が認められる。

(b) 水中補修塗装

浮体構造物没水部(防食仕様4種)の塗膜を鉄素地が露出するように強制的に剥離させ昭和58年4月～10月の6箇月間実海域に放置したのち、水中補修塗装を行った。

塗膜の強制剥離個所及び範囲は、水深1.3m付近、20cm幅(構造物の径:50cm)であり、補修面積は旧塗膜とのオーバーラップを含め約1㎡となる。

塗膜の強制剥離時に素地の状態を観察した結果、防食仕様No.6～8にさび等の欠陥は認められなかった。しかしES(FRP)は一部に点さびが認められ、この部分は没水から30箇月程度で腐食因子が浸透していると判断される。

水中での補修塗装は、水中清掃機を用いてダメージ部が金属光沢面となるほど下地処理を行ったのち水中硬化型塗料4種により、ウェットハンド法又は、ヘラ塗り法で実施した。

その結果、4塗料中「A」、「C」の2塗料は、初期付着不良を生じダメージ部の補修はできなかった。塗料「B」は被塗面の水との親和性が良好で補修部全周を皮覆できたが、一部の塗膜に水を含んだままの状態が認められた。この塗料による作業時間はウェットハンド法で約20分であった。

塗料「D」は、被塗面の水排除性が良く初期付着が非常に良好で補修部全周をヘラ塗り1パスで皮覆し、作業時間は約10分であった。

これらの比較的大きな面積に対する水中補修塗装から水中硬化型塗料は水中での被塗面になじみ易く、かつその部分の水排除性を有すること即ち初期付着性が非常に重要であることを確認した。

(2) 上部構造物

昭和56年度に追加設置した上部構造物(防食仕様No.1～8)は、洋上大気暴露雰囲気では30箇月経過している。現時点においては、変色又はチョーキングが認められる程度で防食仕様8種に顕著な差異はない。防食仕様No.8のみ塗装困難個所(エッジ部)で、わずかの点さびが発生している。

(3) 水中補修試験板

昭和56年度に無塗装ゾーンを設定した防食仕様No.1～8の試験板は、実海域へ1箇年浸漬したのち、水中清掃と水中塗装により補修している。昨年度は、水中補修塗装後、実海域に1箇年浸漬された試験板について、生物付着量や生物の塗膜劣化への影響を調査した。本年度はその調査から実海域浸漬で12箇月経過した試験板について、同様な調査を行った。水中補修塗装試験板での付着生物はチゴケ虫、セルブテラ、ホヤ類、ふじつぼが主体であった。付着量は、1㎡当り0.7～1.0kgと前回の浸漬1年分のデータ、1㎡当り1.5～3.5kgに比べ少ない。生物除去は、陸上にてスケラを用いて実施したが、塗膜の剥離等は認められず、補修物の塗膜に関しても海水の浸入による層間剥離や他の欠陥も認められなかった。

(4) 洋上大気暴露試験板

上部構造物の増設と同時に、当該雰囲気を設置した防食仕様№1～8の試験板は、30箇月経過している。現時点における各防食仕様の状態は次の様である。

(a) 外観

変色又はチョーキングは認められるが、さび、われ、ふく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、特に経時変化は認められない。

(c) 無塗装ゾーンのさびの進行

無塗装ゾーンは全面褐色のさびを発生しているが、塗膜との境界部でのふくれ、はくり等は認められない。

(d) インピーダンス

各共振周波数における抵抗値と容量値に異常は認められず初期から30箇月経過後において経時変化も殆んど認められない。

経時の $\tan \delta$ 値は、若干のバラツキがあるものの、特に異常な値を示すものはない。

(e) 無塗装ゾーン補修試験板

防食仕様№1～8塗膜の無塗装ゾーン設定部をパワーツール又はサンドブラスト処理し、7種の補修塗装仕様で補修した試験板は、洋上大気暴露雰囲気中で18箇月経過している。これら試験板のインピーダンス測定結果は、各共振周波数における抵抗値、容量値に下地処理差による差異はなく、経時の変化も殆んど認められない。経時の $\tan \delta$ 値もバラツキはあるが、特に異常な値を示すものはない。補修部塗膜の外観はチョーキングが認められる程度で、他の欠陥発生はない。

(5) 水中硬化型塗料によるメンテナンスの検討

水中硬化型塗料3種を用いて、飛沫部～没水部の試験板を補修したが、12箇月経過後の状況は次の様である。

(a) 外観

飛沫部、干満部(対象:鉄素地)での補修試験板すべてにおいて、さび、われ、はく離等の欠陥は認められない。

没水部(対象:鉄素地)では、水中清掃から水中塗装までのインターバルや養生方法に拘らず塗料「A」で補修した試験板に塗膜全面はく離が比較的多数認められた。塗料「B」「C」で補修した試験板では、養生シートを用いた系で塗膜のごく一部にはく離が認められた。

ネットにて養生を施した試験板は、いずれも塗膜上に付着したふじつぼの成長によりネットが持ち上げられており、ネットは塗膜中へ完全に埋没するような塗装方法が望ましいと判断される。

飛沫部、没水部(対象:旧塗膜)での補修試験板において、飛沫部では3塗料共に異常は認められない。没水部では塗料「A」を用いて防食仕様№2、7を補修した系で全面はく離し、塗料「B」を用いて防食仕様№2を補修した系でふくれが認められた。全般的には3塗料共に外観は比較的良好と判断できる。

(b) 付着力試験

(i) 飛沫部(対象:鉄素地)

水中硬化型塗料3種共にパワーツール又はブラスト処理では、初期と同等の良好な付着力を示した。しかし低級下地処理の手工具処理において塗料「A」、「C」は5～16 kgf/cm²と付着力も低下し素地からはがれ易い傾向が認められた。

(ii) 干満部(対象:鉄素地)

3塗料共に、各下地処理種において付着力は、低下の傾向にある。下地処理差による3塗料の付着

力は、ブラスト処理が最も良好であり、パワーツール処理では付着力はブラスト処理と大差ないが、やや素地からはがれ易い傾向がある。手工具処理では5～18 kgf/cm²と比較的低い引張り力で素地からの破断形態を示し、初期値に比べ大幅に低下している。

3塗料の塗装から没水までのインターバルの影響は、下地処理差の影響が大きいため顕著でない。

(iii) 没水部(対象:鉄素地)

水中清掃から塗装までのインターバルの影響は3塗料共に認められない。

3塗料中、塗料「A」は全面はく離を生じ付着力試験は不可能であった。更に、塗料「B」、「C」は、はく離を生じていないが、その付着力は共に10 kgf/cm²で素地からの破断を示した。しかし、破断面にさびは発生していないことを確認した。

塗料「B」の破断面、即ち、塗膜と素地間に水の存在を確認したが、この水は塗膜が水を吸収し易い性質となっていることから、塗装初期に存在したものでなく塗膜を浸透した水と思われる。

(iv) 没水部(対象:旧塗膜)

3塗料共に旧塗膜の水中清掃から塗装までのインターバル、0hが24hに比べ全般的に良好な傾向を示した。24h後に塗装した塗膜は、0hに比べ付着力が低いか又は旧塗膜との層間からはがれ易い傾向が認められる。従って水中塗装は水中清掃直後に実施することが望ましいと判断される。

更に、旧塗膜8種のうち、防食仕様№8は、いずれの組み合わせにおいても、他の防食仕様では発生しなかった塗膜内部破壊による破断形態を示しており表面層付近が破壊し易い傾向であった。なお、補修塗膜の自然のはく離が多発した防食仕様№6、インターバル24hは、水中補修塗装時、既に付着不良であり、この影響である。

(c) 衝撃試験

飛沫部～没水部(対象:鉄素地)の補修試験板について2ポンド片手ハンマーによる衝撃試験を実施したが、3塗料共に異常は認められなかった。(但し、自然のはく離を生じた塗膜は除外)

同様に浮体構造物(防食仕様4種)の飛沫部に塗布した3塗料についても異常は認められなかった。

(d) 耐電気防食性

3塗料中、塗料「C」のスクラッチ部周辺にふくれの発生が認められ、塗料「A」、「B」に異常は認められない。エポキシ樹脂を併用した「C」は、やや耐電気防食性が低いと判断される。

(6) 水中補修材料の長期防食性試験

海浜干満帯へ設置した無塗装の鋼管杭(300φ×3.5m・6本)を対象に、干潮時を利用した方法で補修を行った。補修材料は水中硬化型塗料6種、FRPカバー1種と一般のタールエポキシ系塗料1種である。本年度は、これら材料の施工性を調査し、次の事柄を得た。

- ① 水中硬化型塗料:水中での塗装を前提として塗料化されているため、やや気中での大面積塗装には、困難を伴う。塗料の混合～塗装に関して機械化が要望される。
- ② FRPカバー方式:ベースト塗布、ベトロラムテープ巻付の作業は比較的容易である。縦1/2分割式の(PTC工法) FRPカバー取付時のボルト・ナット締結(13ヶ/2.7m×2)に時間を消費する。更に設計値ではフランジ間隔10mm締結とされているが現場の状態に合わせる必要があり慣熟を要する。
- ③ TE塗料:今実験の様な干潮時を利用した構造物の補修で最も多く用いられる防食塗料である。塗装後、没水までのインターバルが4h程度確保できたこともあり、波浪による塗膜の流失、損傷は生じなかった。但し、塗膜の一部に黄変が認められる。

4.1.10 ま と め

(1) 防食仕様

浮体構造や上部構造物に適用した防食仕様に関して、特に問題となるような塗膜欠陥は認められない。これらの防食仕様については、試験板を用いて様々な劣化作用の影響を調査中であり、今後更に継続調査する。

(2) 水中メンテナンス

(a) 浮体構造物〔防食仕様№6～8 ES(FRP)〕

水中清掃から2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。水中清掃から1年放置と2年放置の生物の着量は、前者が1㎡当り1kg程度多く浸漬年数と生物付着量に比例関係は認められない。生物付着量は浸漬年数の影響もあろうが、それらが棲息するための自然環境の影響も大きいといえる。

更に、水中清掃の難易性は、生物付着量の影響もあり、1年放置と2年放置に大差ない。若干、2年放置の塗膜にシミ状の斑点(黒色スライム?)が残存し易い傾向はある。

(b) 水中補修塗装試験板

防食仕様№1～8の無塗装ゾーンを水中硬化型塗料3種にて補修した試験板は、浸漬24箇月経過後において、その塗膜に対する生物付着の影響はなく、海水の浸透等によるふくれ、はく離等の欠陥もない。

(c) 浮体構造物ダメージ部の水中補修塗装

浮体構造物の防食皮膜を強制剥離させたのち、6箇月間実海水中で放置した。その部分はさびや付着生物で覆れており、水中清掃機を用いてそれらを除去したのち、水中硬化型塗料4種による補修を行った。補修面積が約1㎡とやや大面積であったせいか、4塗料中2塗料は初期付着不良を生じ補修不可能であった。補修可能であった2塗料のうち、エポキシ系塗料は完成塗膜の一部に水を含んだままの状態が認められた。ポリエステル系塗料は、初期付着が良好で完成塗膜にも異常は認められなかった。これらの塗膜については、今後更に追跡調査を行う。

(3) 洋上メンテナンス

防食仕様№1～8の無塗装ゾーンを一般的な補修前下地処理を行ったのち補修塗装(補修仕様7種)を実施した試験板は18箇月経過後において外観、インピーダンス共に異常は認められない。次年度においてこれらの補修仕様を用いて上部構造物を対象に塗替実験を実施する。

(4) 水中硬化型塗料による補修

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る場合が考えられ、その補修を水中硬化型塗料で施行する際の様々な要因に対する検討を行い、現時点で次の事柄が判明している。

(a) 飛沫部、干満部(対象:鉄索地)

補修塗装前の下地処理として、さび残存度の高い手工具処理に比べパワーツール又はブラスト処理が12箇月後においても付着性良好である。パワーツールとブラスト処理の比較では、付着力に大差ないが、パワーツール処理はやや索地がはがれ易い傾向がある。

(b) 没水部(対象:鉄索地)

水中清掃から塗装までのインターバルに拘らず3塗料中1塗料に全面自然はく離が認められた。他の2塗料ははく離を生じてないが、付着力は初期値の1/5程度(10kgf/cm²)である。更に塗装時、養生方法でネットを用いた系では、ネットと塗膜間のふじつぽが成長しネットを持ち上げており、養生時、ネットは塗膜中へ埋没させるか、塗膜硬化後撤去できるようにすべきである。

(c) 没水部(対象:旧塗膜)

防食仕様№1～8塗膜の水中清掃から塗装までのインターバル24hで3塗料共に付着性不良を示し、

インターバルOh が良好である。旧塗膜を水中清掃直後に補修塗装した系は、前記の鉄素地面より強大な付着力を維持しており、水中硬化型塗料での補修は、防食塗膜が完全に劣化した時点で行うより、健全塗膜が残存している時点で実施すべきと思われる。

(d) 耐衝撃性

飛沫部～没水部を対象として補修塗装した試験板において、3塗料共に直接衝撃による塗膜はく離等は認められず特に問題はない。

(e) 耐電気防食性

3塗料中エポキシ系の2塗料は問題ないが、エポキシ/ポリエステル系の併用タイプは、スクラッチ部にふくれを発生しており、やや耐電気防食性が劣っている。

(5) 水中補修材料の長期防食性

海浜干満帯に設置した無塗装鋼貨杭を対象に水中硬化型塗料、FRPカバー及びTE塗料による補修を実施した。補修は干満時間を利用し気中での施工とした。

本年度はこれら材料の施工性を把握したが、各種の水中硬化型塗料は塗料混合や塗装に困難さがあり、機械化が切望される。FRPカバー方式ではボルト・ナット締結作業にやや困難さがあるものの外観は最も秀れている。TE塗料は、この様な条件下で最も多く用いられており、 blanks 値的意図で適用した。

各材料共に施工後、没水までのインターバルは2～5時間と比較的長時間であり波浪等による塗膜流失等のダメージはない。これらの材料については今後更に防食性を追跡調査する。

4.2 防食施工法の調査検討

4.2.1 調査検討の目的

一般に有機樹脂ライニング材料には液状樹脂が使用され、有機溶剤を極力少なくしたものが多い。従って、樹脂、顔料及び骨材などを配合する場合、それらの種類や量によって、ライニング材の性状や特性がかなり異なっている。特に施工性に大きく影響する粘度はライニング材によってそれぞれ大きく違っている。また、粘度は環境温度によって変動し、さらに反応硬化型のライニング材は混合後の粘性挙動も一様でない。

また、海洋構造物を建造する造船所などにおいては、現在、塗料の施工に汎用している塗装機を使用してライニング材の施工を行う場合が多い。その際の施工性についても十分に検討を加えておく必要があり、さらに多量のシンナー希釈はむしろ皮膜性能に悪影響を及ぼす恐れがあるため、シンナー希釈率と皮膜形成性などの関係を追究しておく必要がある。

そこで58年度においては、下記の2項目について検討した。

(1) ライニング材料の性状特性に関する検討

ライニング材料の混合時における温度条件と粘度の関係やシンナー希釈率と粘度の関係について調査した。

(2) ライニング施工条件に関する検討

汎用エアレス塗装機あるいは特殊塗装機により、各種ライニング材の施工条件と膜厚分布やパターン幅の関係、さらに、シンナー希釈率の変化による施工性やタレ限界膜厚などについて検討した。

4.2.2 供試ライニング材料

本項目において検討対象としたライニング材料は表4.2.1に示す4種類である。なお、これらの供試ライニング材料は、本研究の各項目において検討対象としているライニング系防食仕様に適用されているものである。

表4.2.1 供試ライニング材料

ライニング材の一般名称 (略号)	荷姿	混合割合 [wt比]	備考
エポキシモルタルライニング (PEM)	2液型	(主剤) (硬化剤) 100 : 50	防食仕様No.6に適用
エポキシガラスフレークライニング (PEF)	2液型	(主剤) (硬化剤) 82.5 : 17.5	防食仕様No.7に適用
ポリエステルガラスフレークライニング (ESF)	3液型	(主剤)(硬化剤)(促進剤) 400 : 4 : 0.5	防食仕様No.8に適用
タールエポキシガラスフレークライニング (TEF)	2液型	(主剤) (硬化剤) 80 : 20	防食仕様No.M2に適用

4.2.3 ライニング材料の性状特性に関する調査検討

(1) 試験内容

(a) 各温度における粘度の経時変化

各供試ライニング材の主剤及び硬化剤を温度条件7℃、20℃及び30℃に設定した恒温槽中に入れ、設定温度になった主剤及び硬化剤を容器中に全量500g採取し、混合した。混合後の粘度を経時ごとに測定し、各試料の硬化状態を調べた。

なお、粘度計はB型粘度計（東京計器機製）を用いた。

(b) シンナー希釈率と粘度との関係

各供試ライニング材を(a)と同じ温度条件、方法で混合した後、各温度条件設定のシンナーで希釈率（wt%）3%、5%、10%にそれぞれ希釈した。希釈後の粘度をB型粘度計で経時ごとに測定し各試料の硬化状態を調べた。

(2) 試験結果

(a) 各温度における粘度の経時変化

試料PEM、PEF、ESF及びTEFの粘度経時変化を各温度ごとに調べた結果をそれぞれ図4.2.1(1)~(4)に示す。これらの図から各試料ごとの特性は以下のとおりである。

試料PEMの場合、温度7℃、及び20℃では材料粘度が高く、粘度測定ができなかった。このため、シンナー希釈率5%状態における粘度を測定した。

この場合の粘度は混合直後520ポイズであったが6時間経過後950ポイズに上昇した。しかし、材料は流動状態であり、硬化は緩慢であった。また、温度20℃では混合直後150ポイズであったが、2時間経過後、急速に粘度上昇を示し3時間後では750ポイズとなり、4時間後には硬化した。

シンナー希釈のない温度30℃状態では急激な硬化を示し、混合後の粘度は800ポイズであったが、1時間経過後では完全に硬化している。

試料PEFの場合はいずれの温度条件においても粘度は混合後ある時間経過後急激に上昇し、その急激に上昇する経過時間は7℃、20℃及び30℃のそれぞれの場合、3時間、1.7時間及び1時間後である。この時の粘度はそれぞれ115、75、及び40ポイズであり、急激な温度上昇前の粘度は異なっている。

試料ESFの場合においても粘度変化は試料PEFと同じ傾向を示し、温度20℃、及び30℃の場合では2時間後及び5時間後に急激な温度上昇を示している。この急激な粘度上昇前の粘度はそれぞれ54ポイズ及び50ポイズであった。温度7℃では粘度上昇はほとんどなく、5時間経過後においても粘度は42ポイズであり、混合直後とほぼ同じであった。

試料TEFの場合、温度30℃では2時間経過後、急激に粘度が上昇し、3時間後には硬化している。急激な粘度上昇前の粘度は20ポイズである。温度7℃及び20℃の場合の粘度変化は緩慢であり、ほとんど同じような粘度上昇を示している。6時間経過後においても材料は流動状態であり、この時の粘度は95ポイズ及び100ポイズである。

図4.2.2(1)~(4)に温度変化と粘度との関係を示す。

なお、粘度は混合直後のものを示した。試料PEMは材料粘度が高く、シンナー希釈5%状態の粘度変化を示した。この場合、温度20℃及び30℃では粘度に殆んど差はなく110及び160ポイズであるが、温度7℃では430ポイズの高粘度状態となっている。このことからシンナー希釈前の低温時では相当高い粘度となると考えられる。

試料PEFの場合では温度が高温になるに従い、ほぼ比例的に粘度が低下し、温度が10℃上昇すると粘度は約300ポイズ低下している。

試料ESFの場合、いずれの温度においても粘度は変わらずほぼ40ポイズを示している。

試料TEFの場合、温度上昇とともに粘度は低下するが、その度合はわずかであり、粘度値も7℃の場合で28ポイズであった。

(b) シンナー希釈率と粘度との関係

試料PEM、PEF及びTEFのシンナー希釈率と粘度との関係をそれぞれ図4.2.3(1)~(3)に示す。なお、粘度は希釈直後のものを示した。

試料PEMの場合、シンナー希釈なしの場合は高粘度のため粘度測定できなかったがシンナー3%

希釈することにより非常に粘度が低下し、350ポイズとなった。希釈率5%から10%に増加した場合、わずかな粘度低下であり、希釈率を増加しても比例的に粘度は低下していない。

試料PEFの場合、シンナーなしの状態では520ポイズであったが、3%シンナーで希釈すると220ポイズとなり、粘度低下が大きかった。3%以上のシンナー希釈では粘度は比例的に低下するが、その低下度合はわずかである。

試料TEFの場合ではシンナー希釈することにより、ほぼ比例的に低下するが、その低下度合はわずかとなっている。試料PEM及びPEFにみられたようなシンナーなしから3%希釈することによる大きな粘度低下はなかった。

(3) 性状特性に関するまとめ

いずれのライニング材においても温度が高くなるに従い、硬化は早くなるが、特に試料PEMにおける温度条件30℃では1時間以内で硬化する。その他の材料においても温度条件30℃では3時間以内に硬化するため、このような高温状態下での材料可使用時間について注意しながら塗装する必要がある。一方、温度条件が7℃のような低温時では6時間以上の硬化時間を要するため、皮膜の乾燥あるいは塗り重ね間隔などについて十分な注意が必要である。

シンナー希釈による粘度変化についてはシンナー希釈なしの状態からシンナーを3%希釈することにより、粘度が非常に低下する。この傾向は特に試料PEM及びPEFにみられた。なお、試料PEMは他試料と比べ粘度が10倍程度高いライニング材である。

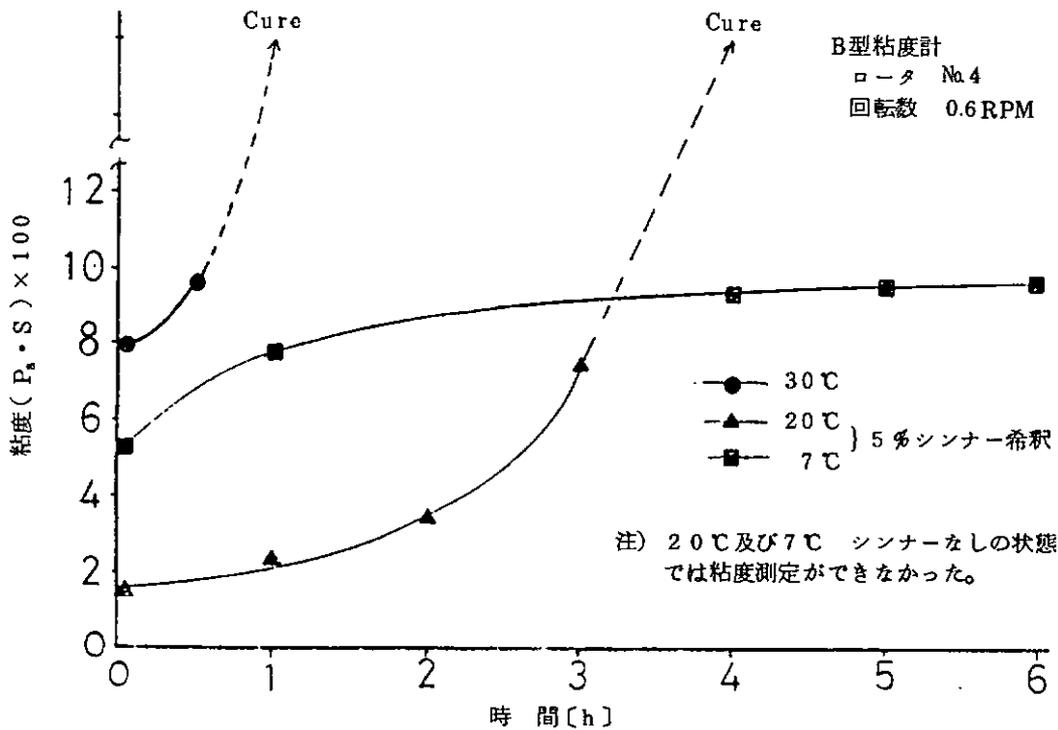


図 4.2.1 (1) PEMの粘度経時変化

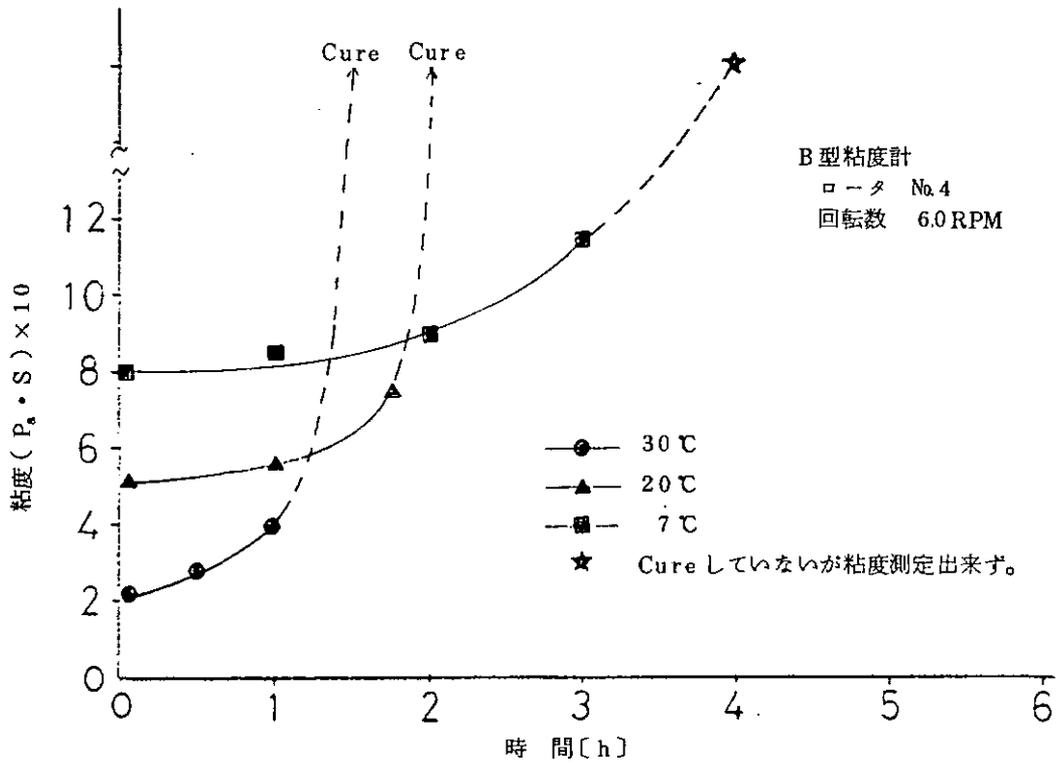


図 4.2.1(2) PEFの粘度経時変化

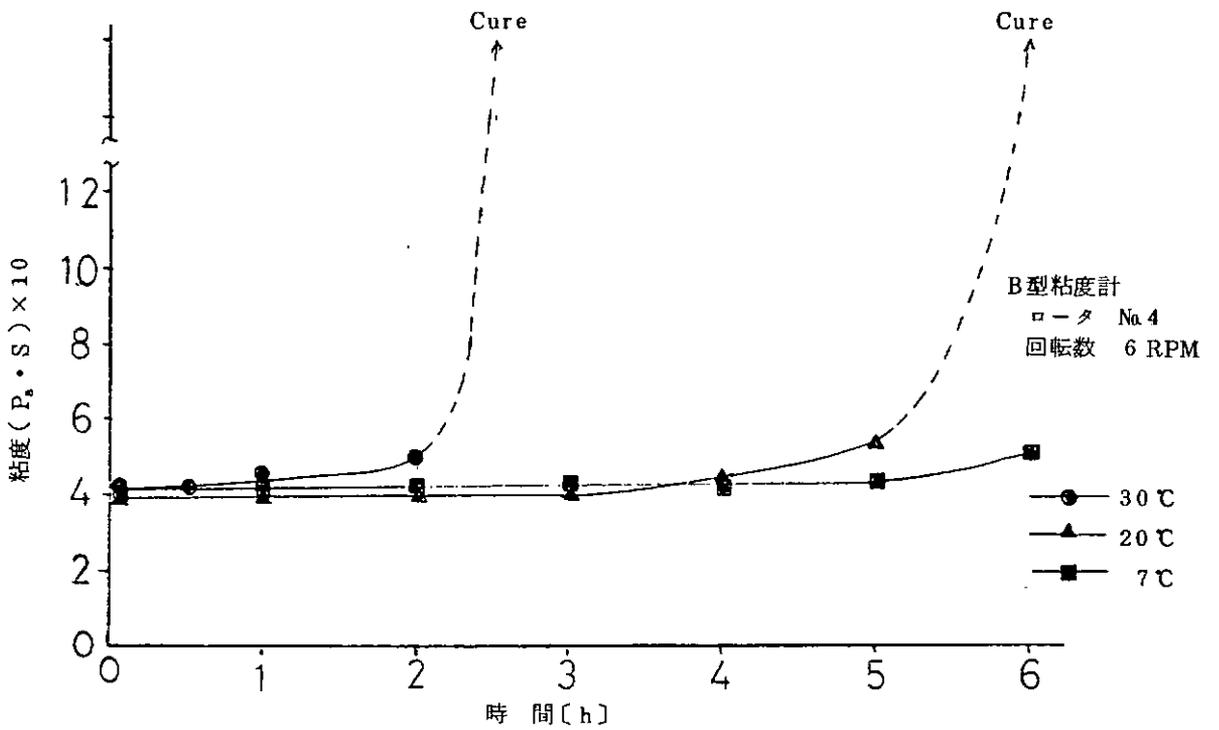


図 4.2.1(3) ESFの粘度経時変化

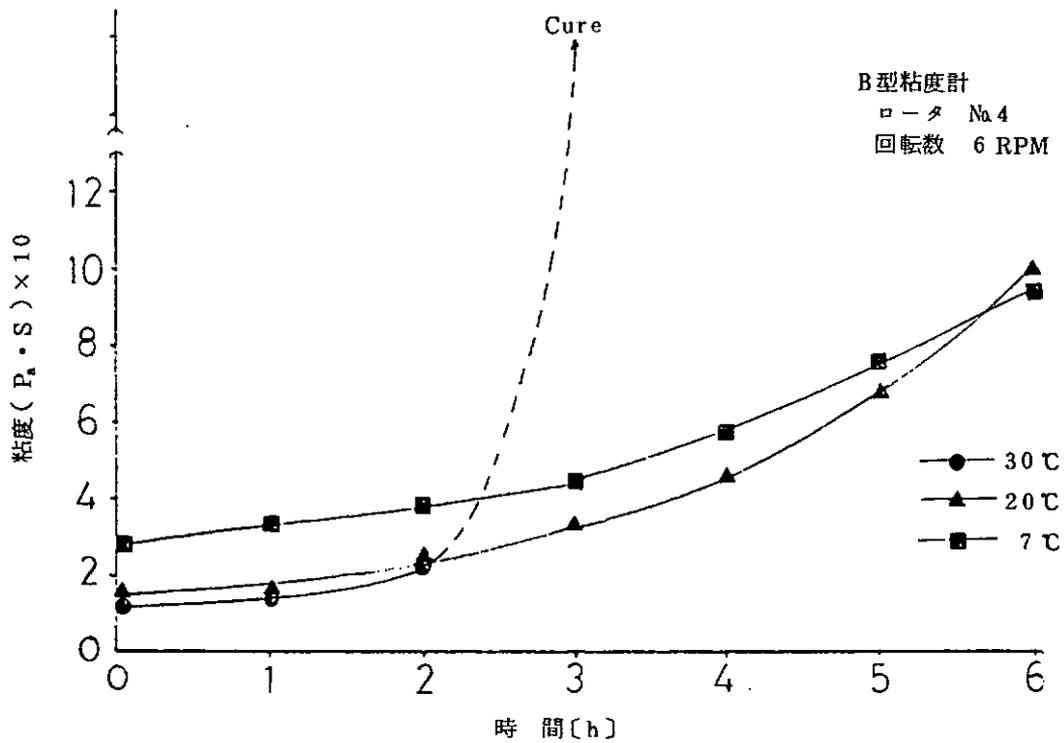


図 4.2.1(4) TEFの粘度経時変化

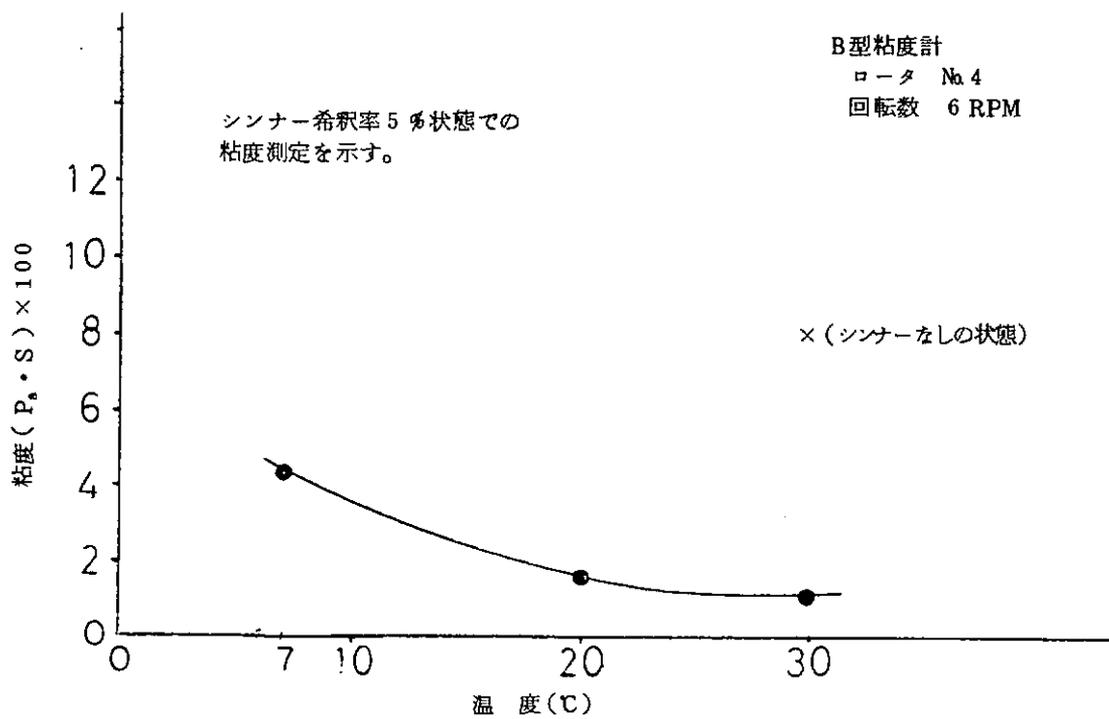


図 4.2.2(1) PEMの温度変化と粘度との関係

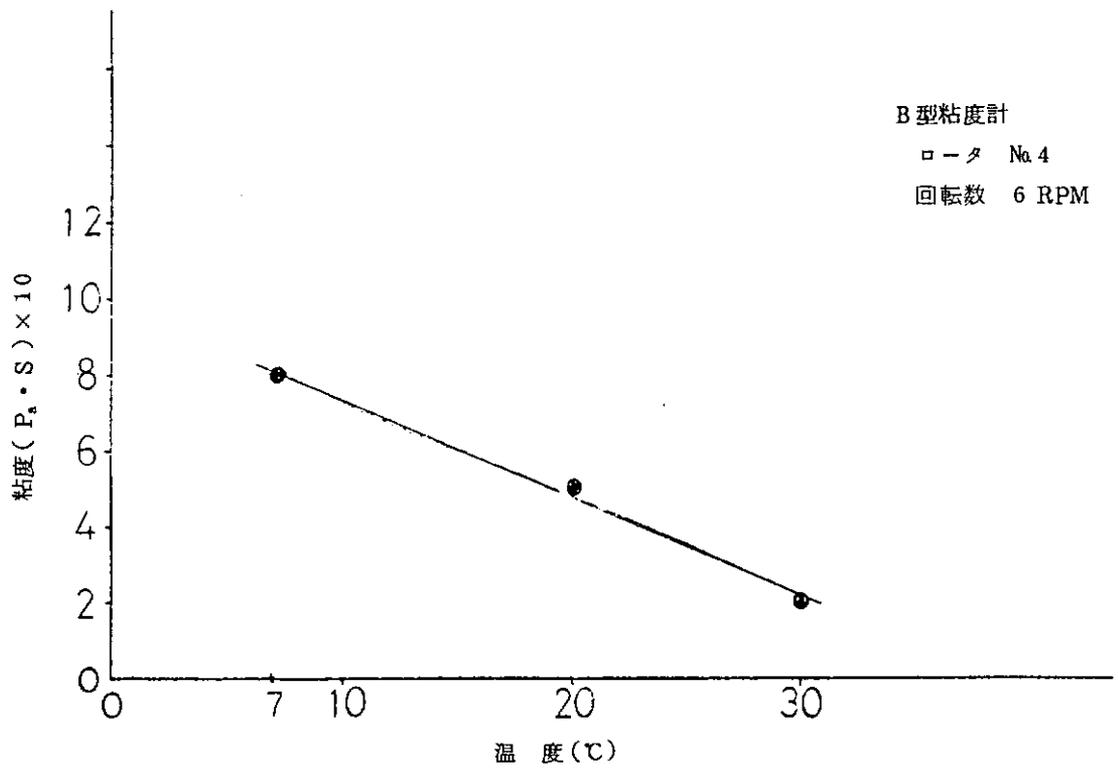


図 4.2.2(2) PEFの温度変化と粘度との関係

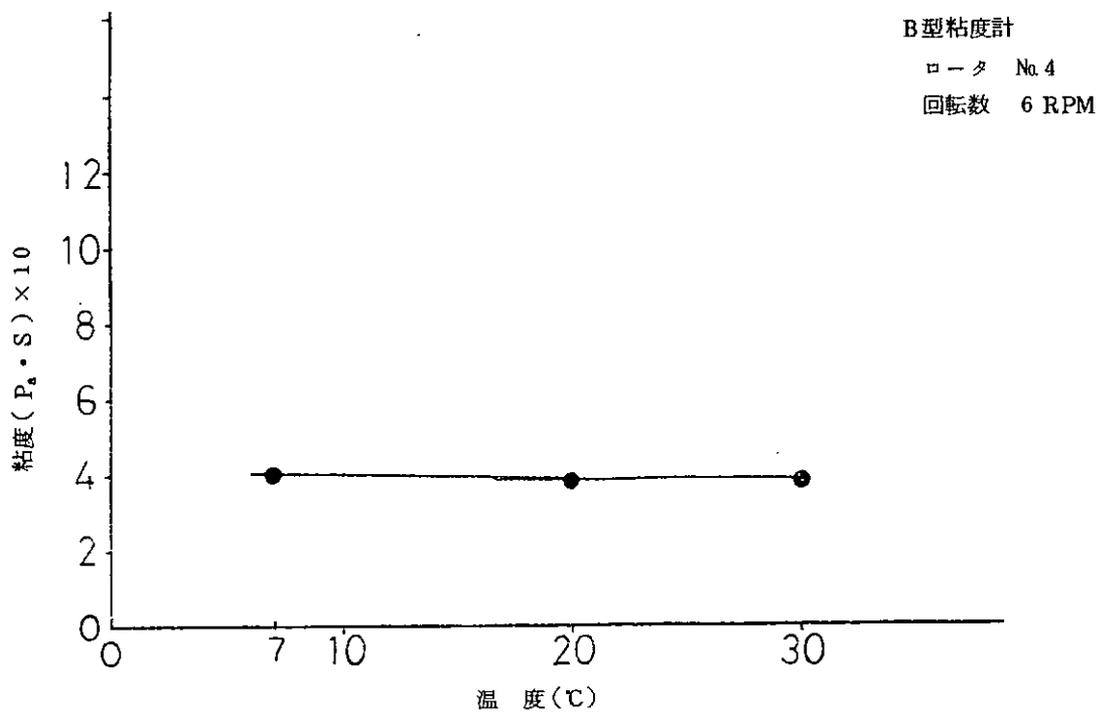


図 4.2.2(3) ESFの温度変化と粘度との関係

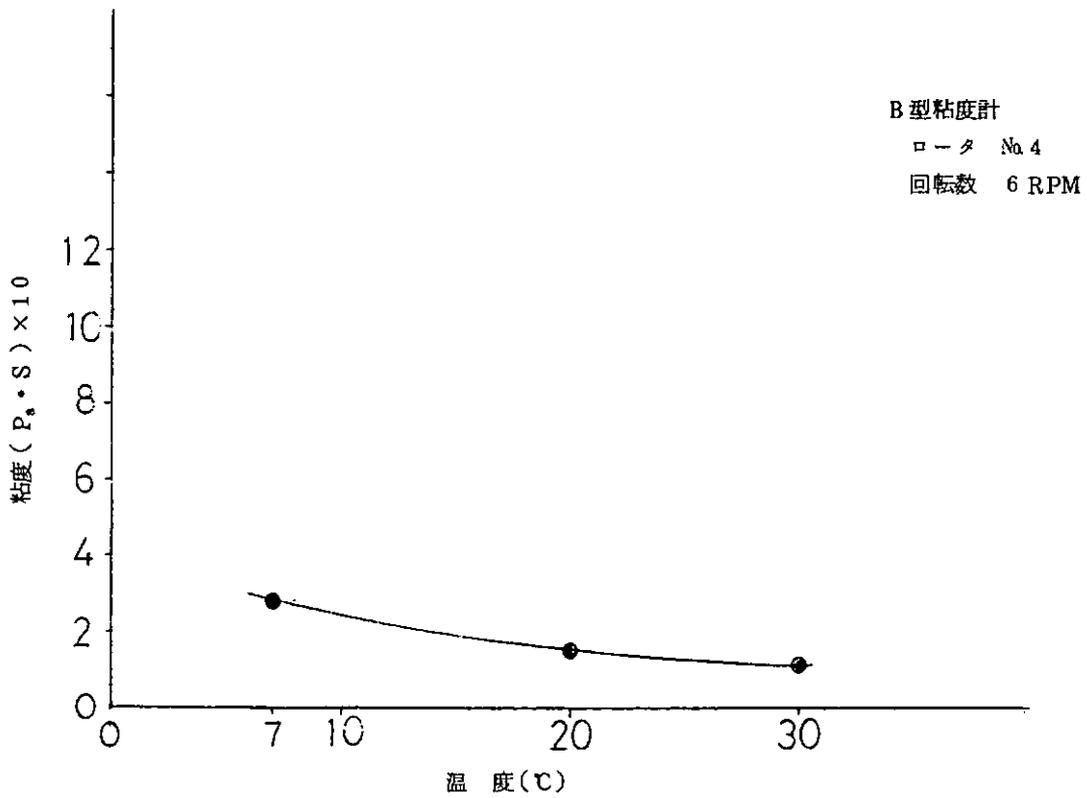


図 4.2.2(4) TEFの温度変化と粘度との関係

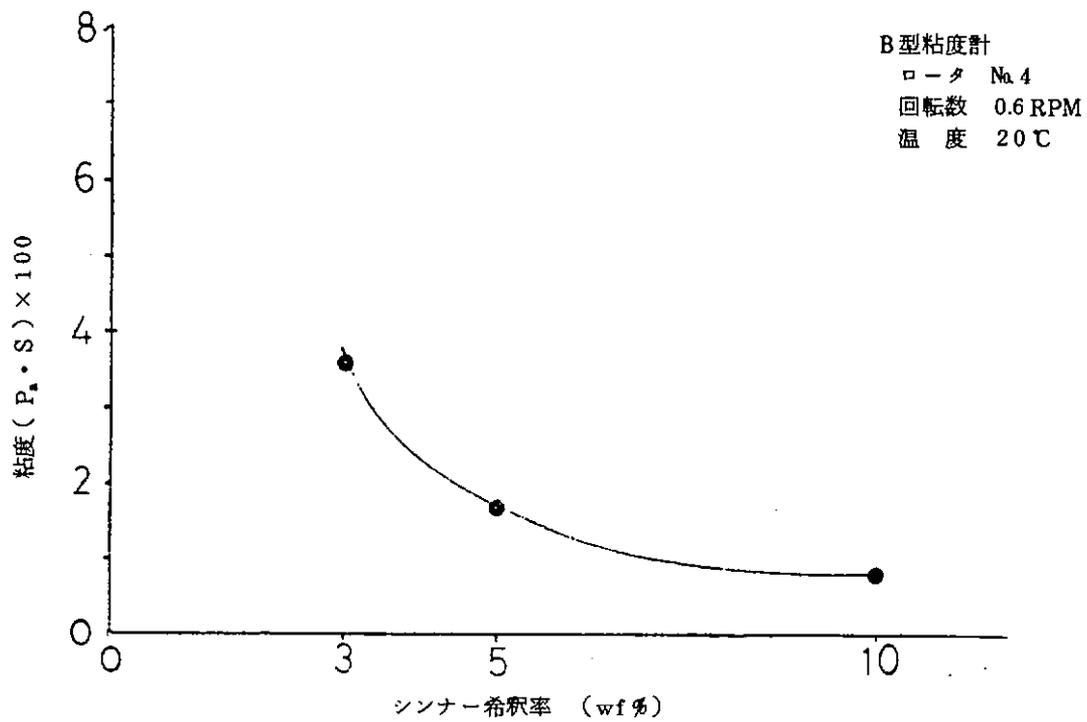


図 4.2.3(1) シンナー希釈率と粘度との関係 (PEM)

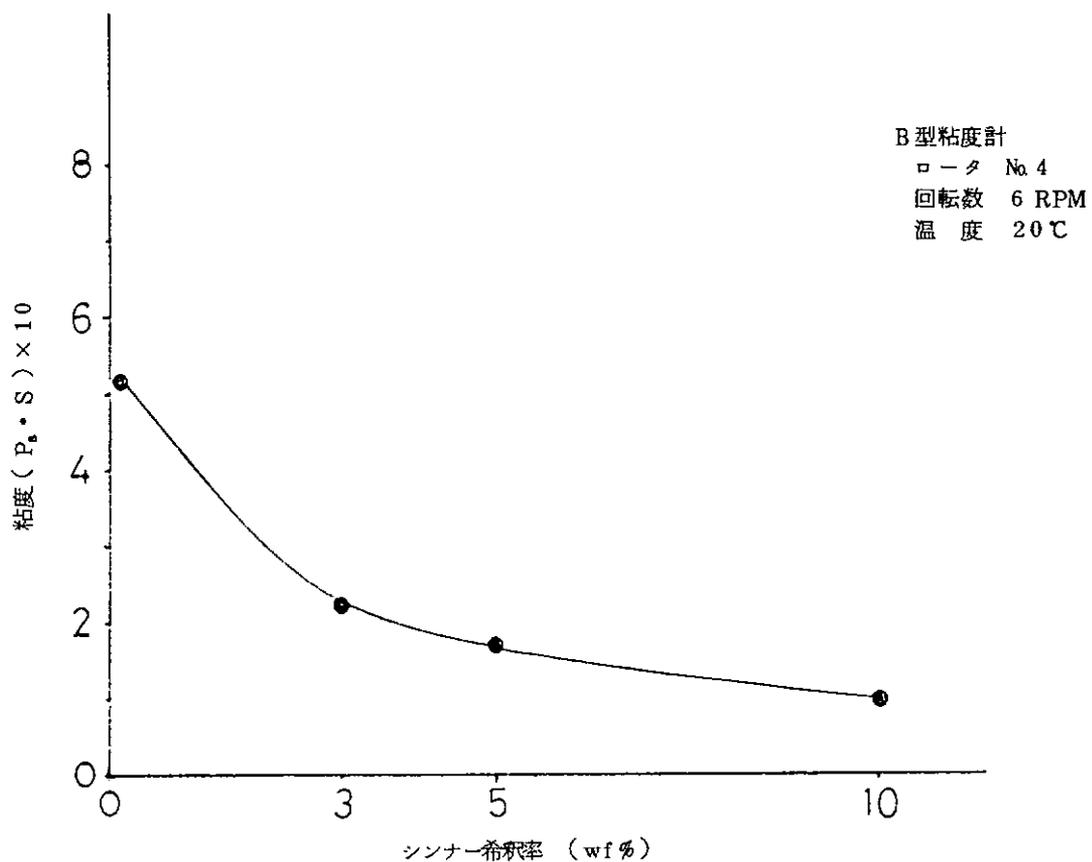


図 4.2.3(2) シンナー希釈率と粘度との関係 (PEF)

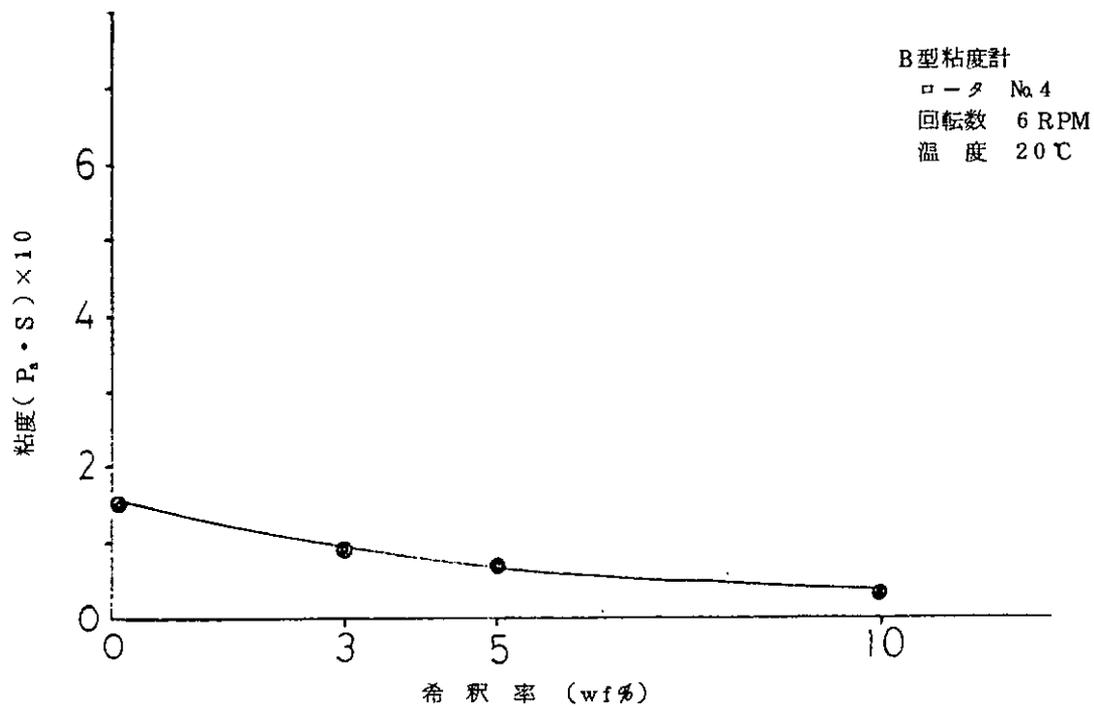


図 4.2.3(3) シンナー希釈率と粘度との関係 (TEF)

4.2.4 ライニング施工条件に関する検討

(1) 試験内容

(a) スプレー性調査

試料 PEM は非常に高粘度であり、通常のエアレス塗装が困難であるため、図 4.2.4 の高粘度被覆材塗装用特殊スプレー機を使用した。この塗装機は高粘度材料のポンプへの吸引を容易にするため、容器内で材料を加圧し、さらにポンプで加圧して、特殊スプレーガンの先端で霧化エアによりスプレーするものである。この圧送スプレータイプの塗装機において、材料のスプレー性は材料の吐出量を調整するポンプ用エア圧力（以下ポンプ圧力と呼ぶ）及び吐出する材料を霧化させる霧化用エア圧力（以下霧化圧力と呼ぶ）のバランスが重要である。このような観点から実験条件は表 4.2.2 とし、スプレー性は材料の吐出量及び材量をスプレーした時の粒化状態から評価した。

他の燃料 PEF、ESF 及び TEF の塗装は通常のエアレス塗装機を用い、スプレーチップは各試料ともに同一サイズを使用した。また、シンナー希釈可能な試料 PEF 及び TEF はシンナー希釈率を変えてスプレー性を調べた。スプレー性は表 4.2.3 の実験条件でスプレーした場合の膜厚分布及びパターン幅から評価した。

(b) シンナー希釈率とタレ限界

シンナー希釈が可能な試料 PEM、PEF 及び TEF はシンナー希釈率、3.5 及び 10 % にそれぞれ希釈してスプレーした時の皮膜のタレ限界を調べた。なお、試料 ESF はシンナー希釈を行わなかった。

(c) シンナー希釈率と皮膜状態

各試料の硬化皮膜断面を顕微鏡観察し、皮膜中の顔料分散状態、気泡発生度合を調べた。

(2) 試験結果

(a) スプレー性調査

試料 PEM をシンナー希釈率、3 %、5 %、及び 8 % 状態でスプレーした時の材料の粒化状態をそれぞれ図 4.2.5 (1)~(3) に示す。これらの結果から次のことがわかる。

シンナー希釈率 3 % の場合、ポンプ圧力 1 kgf/cm^2 で、霧化圧力 4 kgf/cm^2 及び 5 kgf/cm^2 の条件では材料が微粒化しており、塗装に適する状態である。しかし、その他の条件下では材料が粒化せず糸状になっており、皮膜形成には適さない状態である。

シンナー希釈率 5 % の場合、ポンプ圧力 1 kgf/cm^2 で、霧化圧力 3 kgf/cm^2 、 4 kgf/cm^2 、及び 5 kgf/cm^2 のいずれにおいても材料は微粒化状態となっており、塗装に適する状態である。また、ポンプ圧力 1.5 kgf/cm^2 、霧化圧力 5 kgf/cm^2 においても良好な微粒化状態になっている。

シンナー希釈率 8 % の場合はシンナー希釈率 5 % と同様な材料の粒化状態であり、シンナー希釈率増加によるスプレー性向上は認められていない。

なお、シンナー希釈のない場合はポンプ圧力、霧化圧力を変化させても良好な粒化状態とはならなかった。

以上の結果において、塗装適性があった塗装条件のうち、シンナー希釈率 5 %（ポンプ圧力 1 kgf/cm^2 、霧化圧力 5 kgf/cm^2 ）の場合の皮膜表面状態を図 4.2.6 及びその断面状態を図 4.2.7 に示す。皮膜状態はかなり凹凸があり、膜厚が均一でないが、ローラ押えすることにより皮膜表面は滑らかとなっている。

スプレー性は施工能率の面から材料の吐出量が多い状態で微粒化する条件が最適である。この観点から各条件下の材料の吐出量をみてみると図 4.2.8 になる。この図の(A)はポンプ圧力 1 kgf/cm^2 の時のシンナー希釈率と吐出量との関係を示したものであり、(B)はポンプ圧力 1.5 kgf/cm^2 の場合である。吐出量はシンナー希釈率及びポンプ圧力の増大とともに増加している。シンナー希釈率の増加は皮膜の

タレ性に悪影響を及ぼし、皮膜の形成にも悪影響を及ぼすと考えられるのでシンナー希釈はスプレーができる最小限にとどめるべきと思われる。当然のことであるが、霧化圧力は吐出量にはほとんど影響しない。

以上、材料の粒化状態及び吐出量の実験結果から試料 PEM のスプレー適性条件をまとめると表 4.2.4 になる。

試料 PEF, ESF 及び TEF のスプレー性はポンプ圧力、シンナー希釈率を変えてスプレーした時の膜厚分布及びパターン幅から検討した。

図 4.2.9(1)~(3)はそれぞれ試料 PEF, EST, 及び TEF の膜厚分布を示したものであり、表 4.2.5 はパターン幅を示したものである。これらの結果から次のことがわかる。

試料 PEF の場合、シンナー希釈率 3 % 及び 5 % 状態ではポンプ圧力 3 kgf/cm^2 , 4 kgf/cm^2 , 5 kgf/cm^2 のいずれにおいても良好なスプレー性が得られず、膜厚分布も大きなバラツキを生じている。シンナー希釈率 10 % 状態ではいずれのポンプ圧力においてもほぼ良好な膜厚分布となっており、良好なスプレー状態である。有効パターン幅はポンプ圧力が増加するに従い広くなり、有効パターン比率もポンプ圧力 5 kgf/cm^2 の場合が最も高くなっている。

試料 ESF は通常シンナー希釈を行わず施工できるといわれており、スプレー性調査もシンナー希釈なしの状態を実施した。スプレー後の膜厚分布状態はいずれのポンプ圧力においても良好であり、また有効パターン比率も高い状態である。

試料 TEF の場合、シンナー希釈率 3 % 状態ではポンプ圧力 3 kgf/cm^2 及び 4 kgf/cm^2 において膜厚分布に少しバラツキがあるが、ポンプ圧力 5 kgf/cm^2 ではほぼ良好な膜厚分布状態となり、有効パターン比率も最も高い状態となっている。

シンナー希釈 5 % 及び 10 % 状態ではいずれのポンプ圧力においても膜厚分布はほぼ同様状態であり、シンナー希釈率 5 % から 10 % への増加による向上は認められていない。しかし、有効パターン幅はシンナー希釈率 5 % より 10 % の方が広くなり、有効パターン比率も高くなっているが、シンナー希釈率 5 % 及び 10 % とともにポンプ圧力 4 kgf/cm^2 と 5 kgf/cm^2 に対しては有効パターン比率には差がなく、ほぼ一定である。したがって、シンナー希釈 5 % 及び 10 % 時ともポンプ圧力は 4 kgf/cm^2 で十分と思われる。

なお、シンナー希釈なしの状態ではいずれのポンプ圧力においても霧化しなかった。

以上のスプレー性結果から各試料のスプレー適性条件をまとめると表 4.2.6 のようになる。

(b) シンナー希釈率とタレ限界

各試料をスプレーした場合、皮膜にタレが生じない膜厚限界（皮膜タレ限界）を測定して、まとめた結果を図 4.2.10 に示す。

試料 PEM の場合、シンナー希釈率 5 % 及び 8 % では皮膜にタレが生じ易く、このライニング材の標準膜厚である 5 mm 以下でタレが生じている。標準膜厚 5 mm を得るにはシンナー希釈は 3 % 程度にとどめるべきと思われる。

試料 PEF の場合、このライニング材は前述スプレー性試験において、シンナー希釈率 5 % では良好なスプレー性が得られず、シンナー希釈率 10 % 状態で塗装が可能であった。シンナー希釈率 10 % での皮膜タレ限界膜厚は 7 mm であり、標準膜厚 0.655 mm 以上ではあるが、その膜厚差はわずかであり、皮膜タレについて十分な注意が必要である。

試料 ESF の場合、シンナー希釈なしの状態のみのタレ性をみたが、そのタレ限界は 1.3 mm であり、標準膜厚 0.8 mm を得るには十分な皮膜タレ限界を示している。

試料 TEF の場合、シンナー希釈 5 % 及び 10 % では標準膜厚 0.8 mm 以下でタレが生じており、標準膜厚以上を得るにはシンナー希釈は 3 % 程度にとどめるべきと思われる。

(c) シンナー希釈率と皮膜状態

各試料の皮膜断面の顕微鏡写真(倍率50)を図4.2.11に示す。

試料PEM、PEF及びTEFはシンナー希釈率を変化させても皮膜断面状態に殆んど差異が認められなかったため、代表として希釈率5%の状態を示した。試料ESFはシンナー希釈なしの状態である。

試料PEMの皮膜断面は骨材の分散とともに気泡が点在した状態となっている。この気泡は供試試料中最も大きく、0.2~0.5mm程度であった。なお、気泡の発生はシンナー希釈率の変化と関係なく発生しており、この材料の気泡は本施工法ではさけられないものと思われる。

試料PEFの皮膜断面には多くの気泡が点在しており、その大きさは0.1~0.3mm程度であった。この気泡は試料PEMと同様で、シンナー希釈率に殆んど関係なく認められ、本施工法ではさけられないものと思われる。なお、フレーク顔料は塗板、平行に分散されているが気泡部分では平行に分散されない状態となっている。

試料ESFの場合は気泡もなく、フレーク顔料も塗板に平行に分散されており、良好な皮膜断面状態である。

試料TEFの皮膜断面はわずかに気泡の存在が認められる程度であり、その大きさも0.1mm以下の比較的小さなものが殆んどである。しかし、この気泡はシンナー希釈率に殆んど関係なく認められ、本施工法ではさけられないものと思われる。

(3) 施工条件に関するまとめ

各供試ライニング材のスプレー性については希釈率、塗装時のポンプ圧力などを変化させてスプレーした時の皮膜状態を観察した。その他、皮膜のタレ限界や皮膜の形成状態についても調査した。その結果、スプレー性では各試料の最適塗装条件を見出すことができたが、今回の実験では環境温度が9~12℃の比較的低温時のスプレー性を調べたものである。ライニング材料は環境温度、すなわち材料の温度状態により、その材料特性は変化するものである。このため、今回の実験環境温度と異った条件下での塗装では別途確認が必要と思われる。

また、皮膜タレ限界及び皮膜形状観察についても同様のことが云える。

4.2.5 ま と め

ライニング材の性状特性としての粘度特性及び施工条件について検討した結果について、各試料ごとに要約すると以下のとおりである。

- (1) 試料PEM 非常に高粘度材料であり、シンナー希釈なしの状態では混合した場合、適温度条件下(30℃)では1時間以内に硬化する。また、施工には特殊塗装機を必要とし、しかもシンナー希釈5%であれば最適な施工条件が得られる。ただし、この場合タレ限界は小さく、しかも皮膜中に気泡が残存し易い特性がある。
- (2) 試料PEF 高温条件下(20℃以上)でシンナー希釈しない場合2時間以内に硬化する。一方、施工性においてはシンナー希釈5%程度でも、しかも、かなりポンプ圧力を高くしても均一な皮膜が得られず、シンナー希釈10%が必要でさらにポンプ圧力5kgf/cm²が必要である。ただし、この場合にはタレ限界が標準膜厚とほぼ同程度であり、施工時に注意を要する。また、この試料は皮膜中に気泡が多く残存する。
- (3) 試料ESF シンナー希釈なしでも温度条件によって粘度は殆んど変化しない。ただし、30℃では3時間以内に硬化する。また、施工性は良好であり、有効パターン幅も大きい。しかも、タレ限界膜厚も大きく、皮膜中には気泡の存在しない良好な膜が形成される。
- (4) 試料TEF シンナー希釈しない場合、30℃では3時間以内に硬化するが、20℃以下ではか

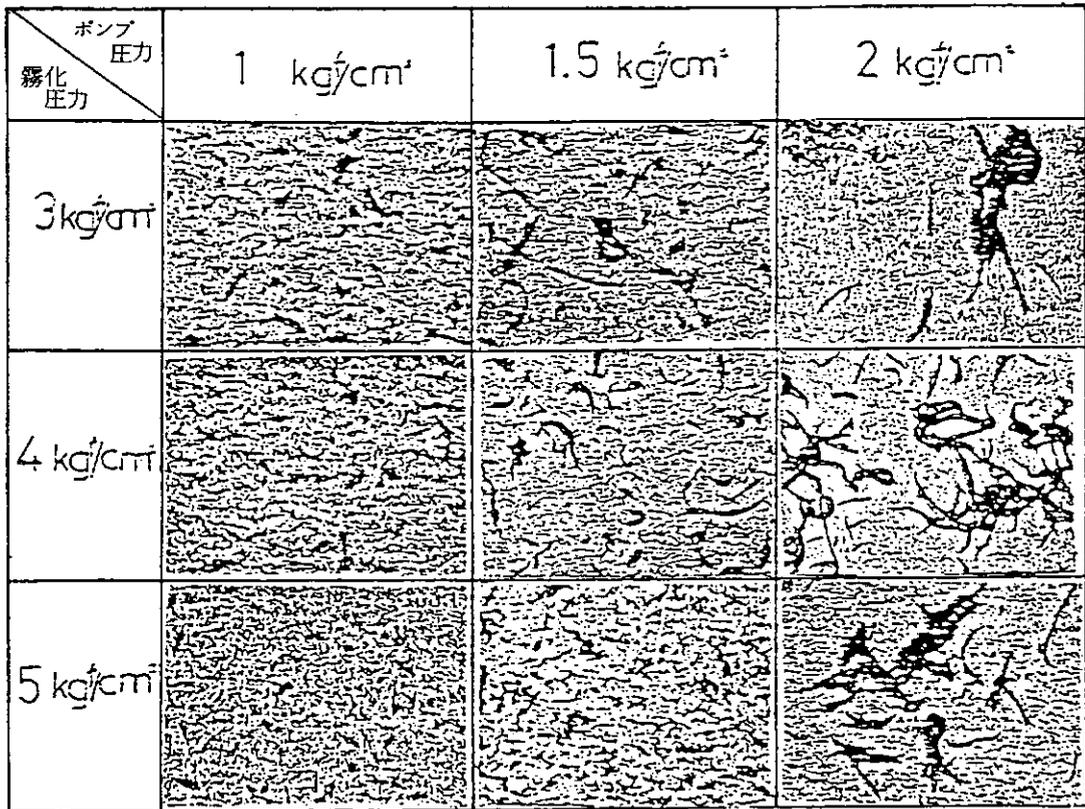


図 4.2.5(2) PEM塗装時の皮膜粒子(シンナー希釈; 5%) [倍率 $\times 3$]

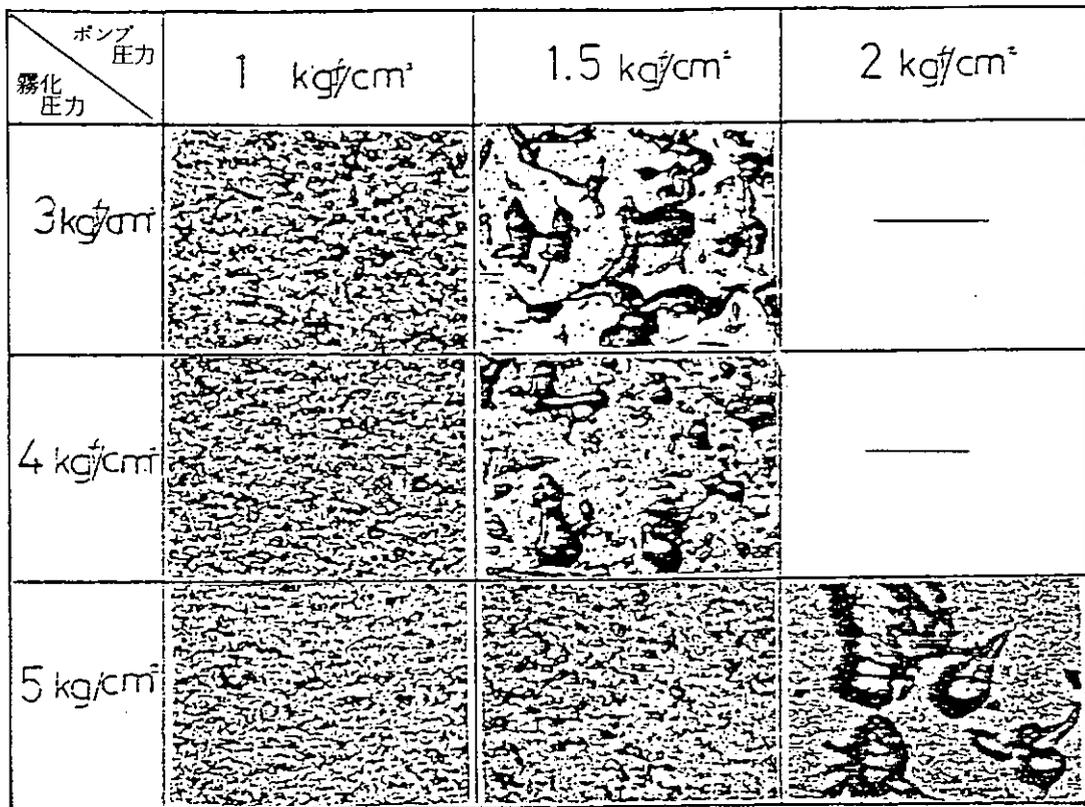


図 4.2.5(3) PEM塗装時の皮膜粒子(シンナー希釈; 8%) [倍率 $\times 3$]

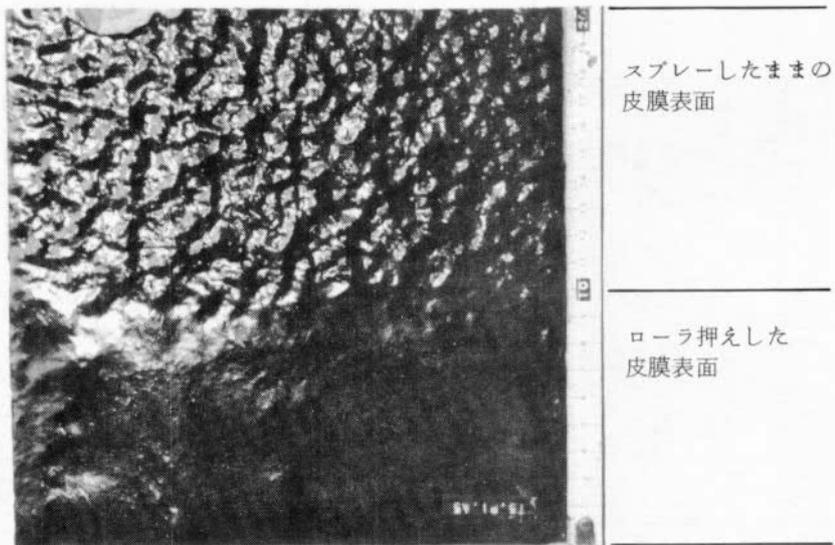
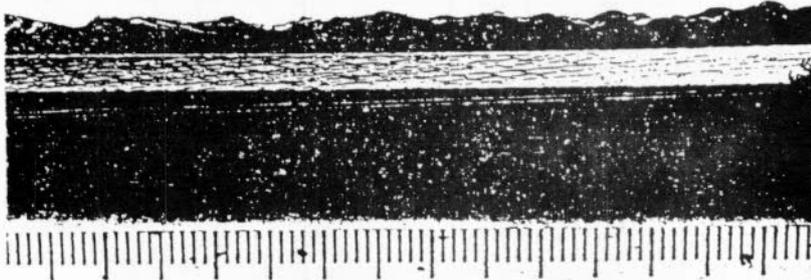


図 4.2.6 PEM皮膜の表面状態

スプレーしたままの皮膜断面



ローラ押えした皮膜断面

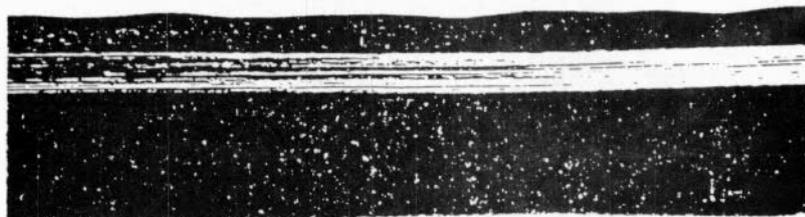
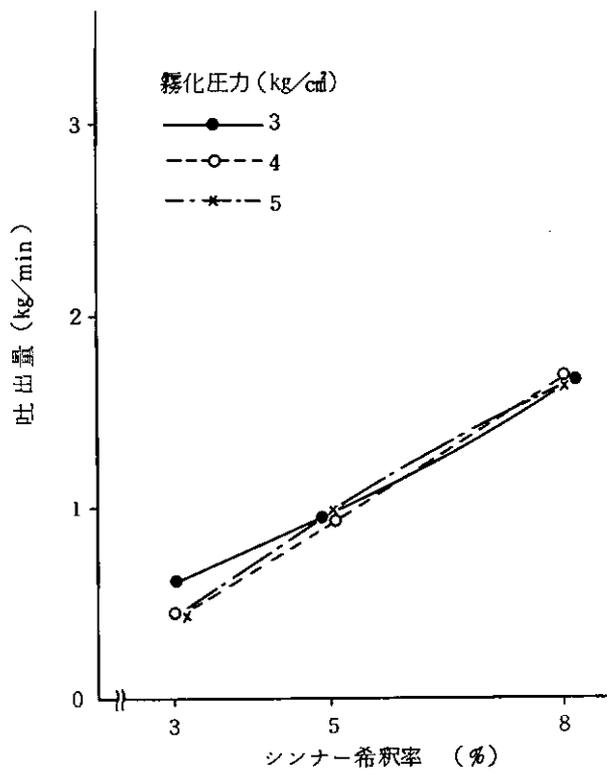
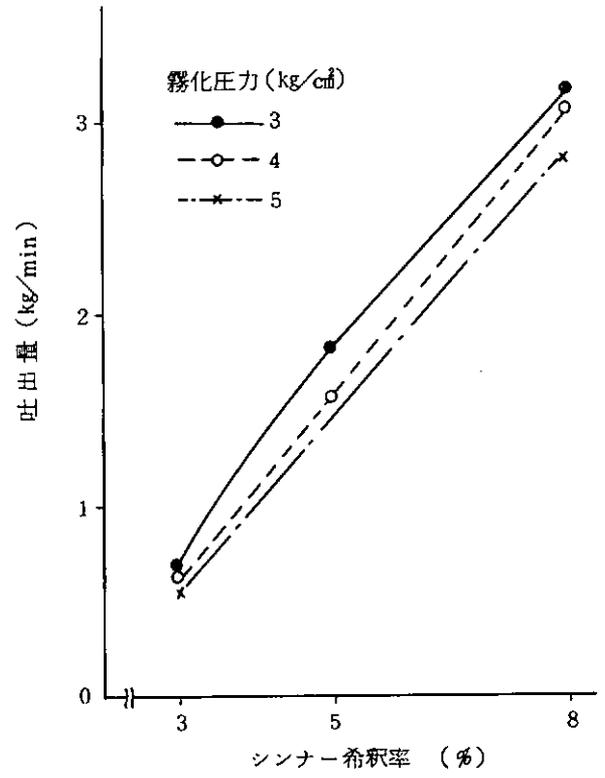


図 4.2.7 PEM皮膜の断面状態



(A) ポンプ圧力 1 kgf/cm² の場合



(B) ポンプ圧力 1.5 kgf/cm² の場合

図 4.2.8 シンナー希釈率変化による PEM 吐出量

表 4.2.4 PEM の塗装適性条件

シナー 希釈率 霧化 圧力 ポンプ 圧力	3 %			5 %			8 %		
	3kgf/cm ²	4kgf/cm ²	5kgf/cm ²	3kgf/cm ²	4kgf/cm ²	5kgf/cm ²	3kgf/cm ²	4kgf/cm ²	5kgf/cm ²
1kgf/cm ²	×	○	○	○	○	○	○	○	○
1.5kgf/cm ²	×	×	×	×	×	◎	×	×	◎
2kgf/cm ²	×	×	×	×	×	×	×	×	×

注 ○印は塗装可能状態を示し，◎印は最適塗装状態を示す。
×印は適用不可を示す。

表 4.2.6 PEF, ESF及びTEFの塗装適性条件

シナー 希釈率 ポンプ 圧力 試料	0 %又は3 % ※			5 %			10 %		
	3kgf/cm ²	4kgf/cm ²	5kgf/cm ²	3kgf/cm ²	4kgf/cm ²	5kgf/cm ²	3kgf/cm ²	4kgf/cm ²	5kgf/cm ²
PEF	×	×	×	×	×	×	○	○	◎
ESF	○	○	◎	—	—	—	—	—	—
TEF	×	○	○	○	◎	○	○	◎	○

注 (1)※ 0 %の場合は試料 ESF を示し，3 %の場合は試料 PEF 及び TEF を示す。
(2) ○印は塗装可能状態を示し，◎は最適塗装状態を示す。×印は適用不可を示す。

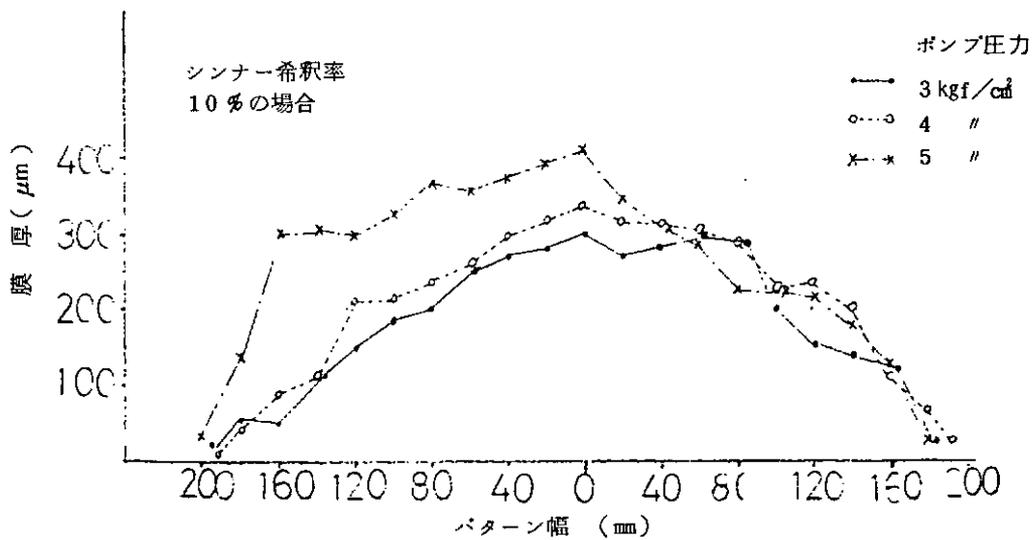
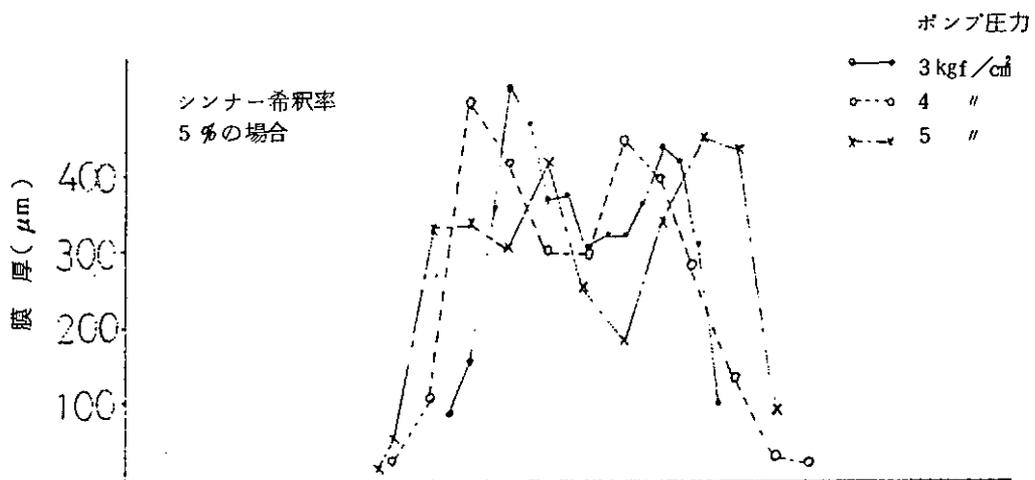
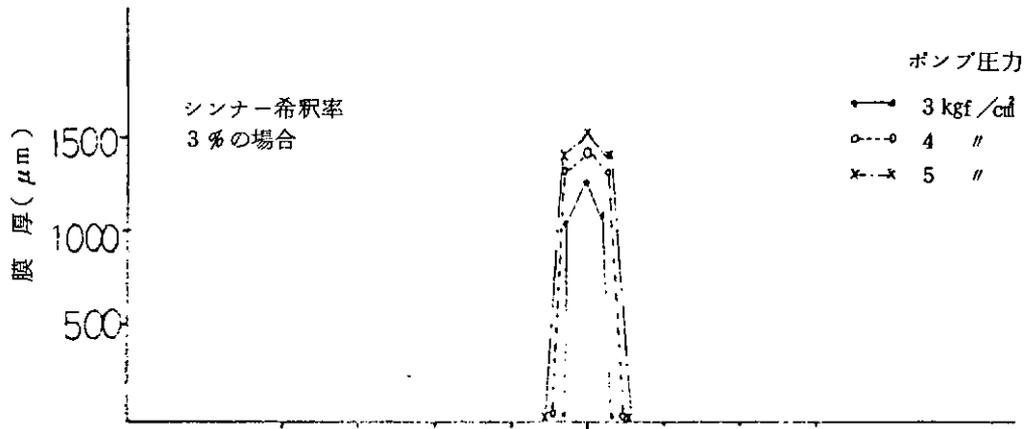


図 4.2.9(1) PEFの膜厚分布

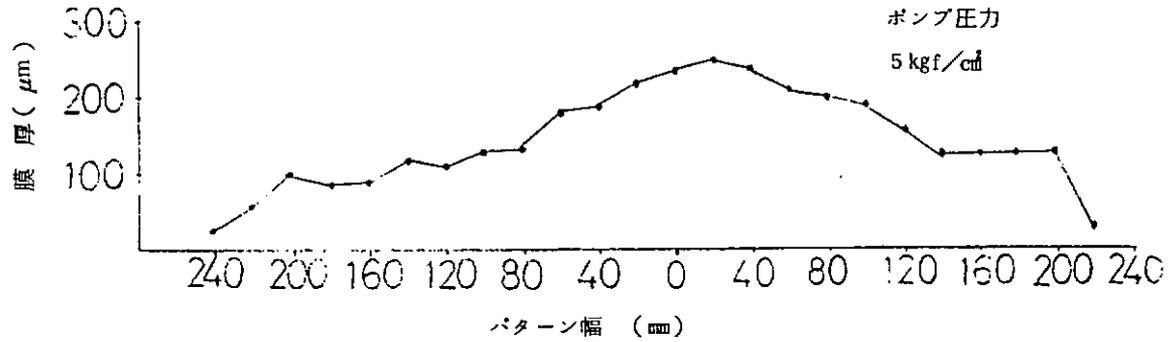
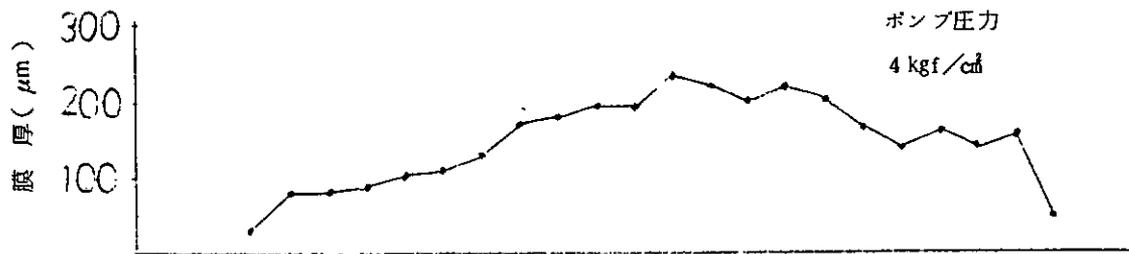
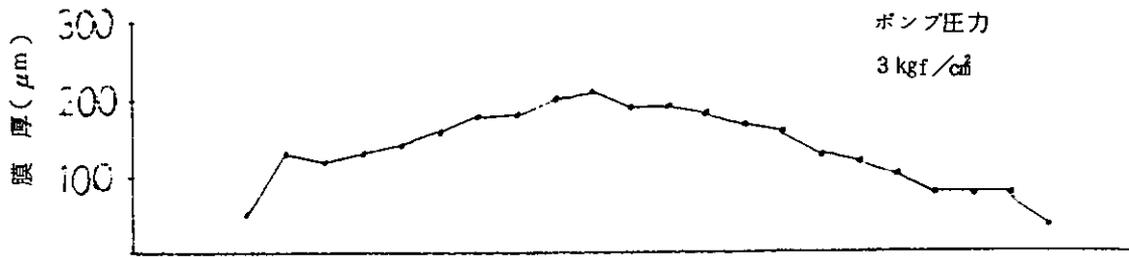


図4.2.9(2) E S Fの膜厚分布(シンナー希釈なし)

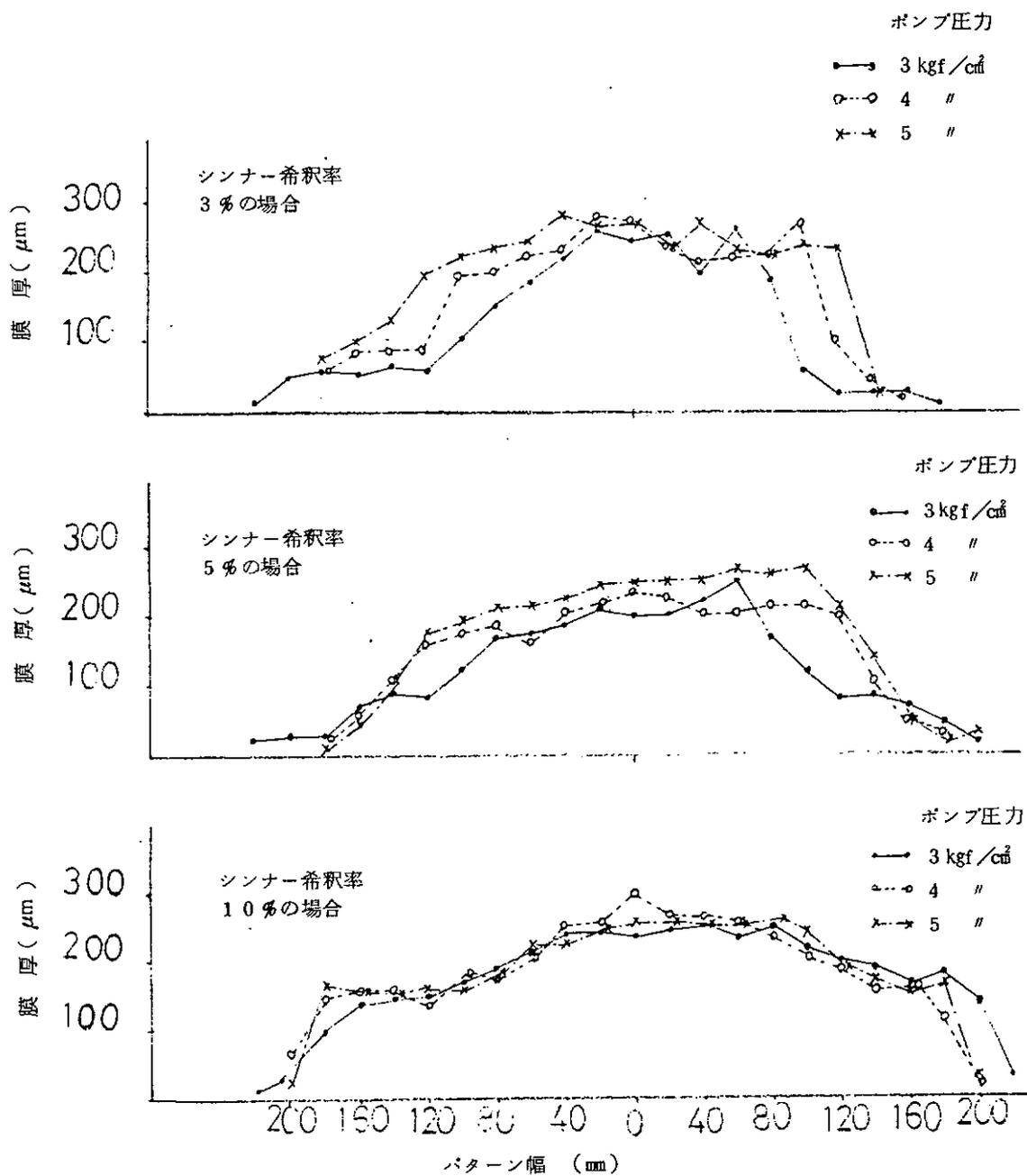


図 4. 2.9(3) TEFの膜厚分布

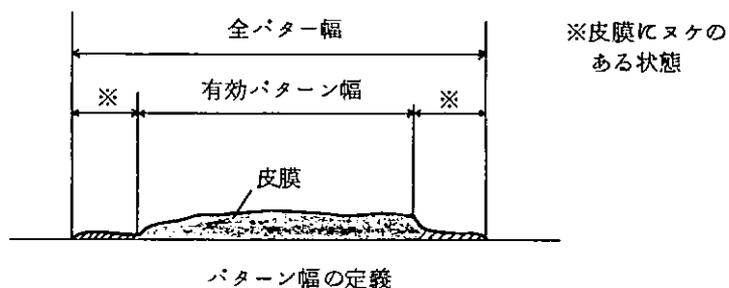
表 4.2.5 各試料のシンナー希釈率とパターン幅の関係

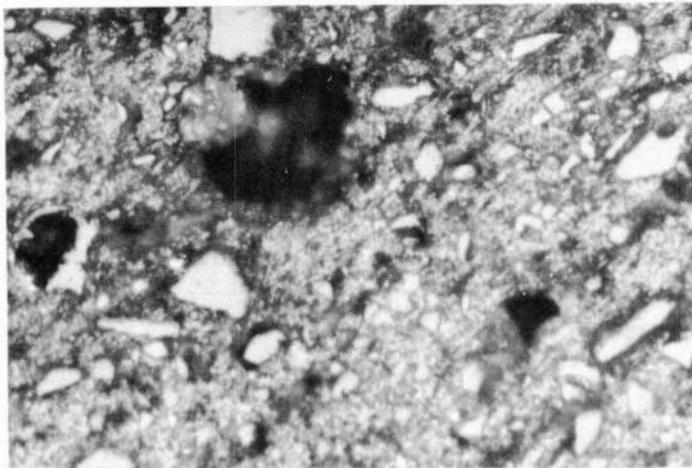
単位：mm

試料	ポンプ圧力 (kgf/cm ²)	シンナー希釈率 (%)			
		0	3	5	10
PEF	3	霧化せず	25	120 (0.50)	220 (0.52)
	4	霧化せず	25	150 (0.68)	320 (0.84)
	5	霧化せず	25	180 (0.82)	350 (0.92)
ESF	3	390 (0.93)	—	—	—
	4	400 (0.95)	—	—	—
	5	430 (0.95)	—	—	—
TEF	3	霧化せず	185 (0.46)	230 (0.53)	280 (0.74)
	4	霧化せず	230 (0.68)	280 (0.75)	360 (0.93)
	5	霧化せず	250 (0.78)	275 (0.75)	375 (0.94)

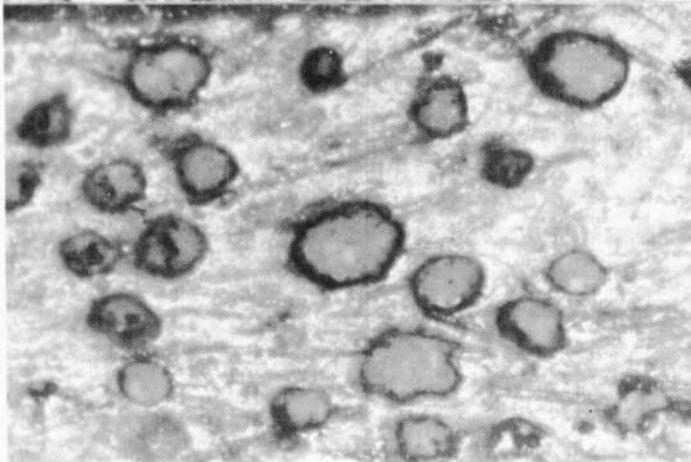
註 (1) 上段は有効パターン幅 (mm) を示し、下段 () 内は全パターン幅に対する有効パターンの比率 (%) を示す。

(2) 有効パターン幅と全パターン幅は下図に示すとおりとした。

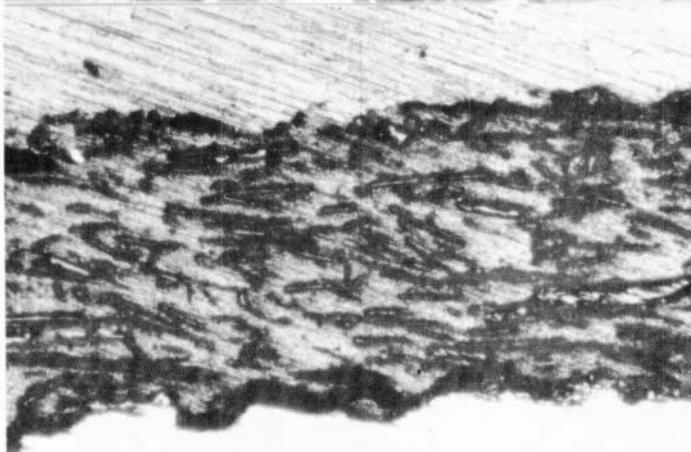




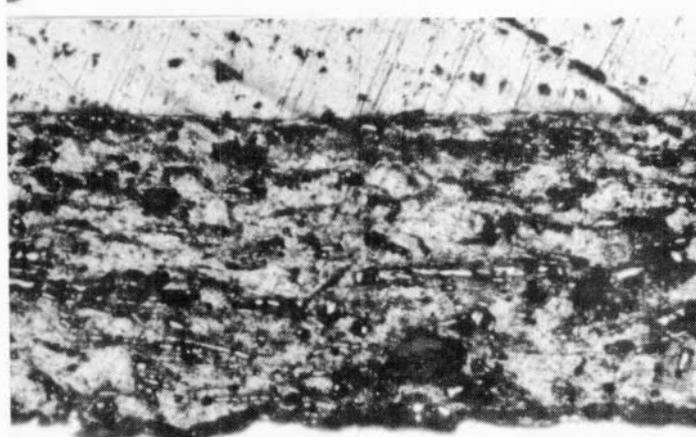
PEM
(シンナー希釈：5%)



PEF
(シンナー希釈：5%)



ESF
(シンナー希釈なし)



TEF
(シンナー希釈：5%)

図 4.2.11 各試料の皮膜断面状態 (倍率×50)

あ と が き

本研究の4年目である58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

防食仕様8種を適用した各試験板に対し、屋外暴露、天然海水浸漬及び加温海水浸漬など各試験を開始して3年5箇月が経過した。その間、天然海水浸漬2.5箇年及び3箇年経過時において、各仕様皮膜に対し、各種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低下するものが見られた。また、特に繰り返し応力付加試験において、応力付加条件が高くなるにつれて皮膜に割れが生じてくるものも見られた。しかし、いずれの仕様皮膜とも暴露や浸漬試験において、発さびや割れなど防食上重大な皮膜欠陥は見られなかったが、暴露試験においてはチョーキングが著しく、また、浸漬試験においては一部の皮膜に上塗塗膜からの層間ふくれや表面層の変色あるいは溶解など皮膜表面からの劣化が進行しているものもあった。

(2) 海洋環境下での構造物の防食性試験

浮体式試験体及びこの本体に取付けた大型試験片に施工した各種防食仕様皮膜については、海中部、飛沫部及び大気部ともに外観の劣化現象はほとんど認められない。ただし、試験片の海中部で、一部の被覆材のインピーダンスに顕著な変化が認められたが、鋼材素地への影響は見られない。

また、浮体式試験体の接続管における応力及び浮体動揺の計測結果から、接続管には年間 7×10^6 回の繰り返し応力が発生し、最大ひずみとしては 200μ 程度のもので 9×10^3 回であった。なお、参考資料として、試験体係留海域の波高・風速の頻度等の関係データが得られた。

(3) 防食材料の寿命推定法に関する検討

イオン電極法により、タールエポキシ(TE)、エポキシモルタル(PEM)及びエポキシガラスフレーク(PEF)の3種の皮膜に対し、 Cl^- イオン及び I^- イオンの透過量を測定した。また、塗膜断面に対してX線マイクロアナライザー(EPMA)の線分析により Cl^- イオンの浸透状態を調べた。その結果、TE塗膜については電極法による Cl^- イオンの透過が確認され、 Cl^- イオンの透過係数を求めた。PEM及びPEF皮膜については Cl^- イオンの透過は認められなかったがEPMA法により Cl^- イオンの浸透が確認できた。

一方、塗装系防食仕様を主対象に熱冷衝撃試験を行い、試験前後のインピーダンス測定、付着力測定及び曲げ試験の結果から熱冷衝撃により、塗膜の劣化促進を行う可能性があることが判明した。

(4) メンテナンス方法及び防食施工法の調査検討

メンテナンス方法の中で、水中硬化型塗料による水中メンテナンスに関しては、塗装前の下地処理、インターバル、塗装材料の種類、さらに適用部位によってそれぞれ特長があり、防食性については今後さらに追跡調査が必要である。

また、ライニング材を対象に行った防食施工法の中で、性状特性に関しては、ライニング材の種類によってかなり異なり、施工時にはシンナー希釈を必要とするもの、高温条件(30℃)下では可使時間の短いもの、さらにタレ限界膜厚が小さく、施工時に特に注意を要するものなど各種各様の特長を有することが判明した。