

社 団 法 人

日本造船研究協会報告

第 66 号

昭 和 43 年 6 月

長期防食防汚に関する研究 第75研究部会

Research on Durable Anticorrosion and Antifouling

..... The 75th Research Committee

Report No. 66

The Shipbuilding Research Association of Japan

Tokyo, JAPAN

June 1968

第75研究部会委員名簿

Membership of the 75th Research Committee

Chairman Yoshiyuki DOI

Secretaries Mutsuo ARAKI
Hideo GATA
Nobuo SATÔ
Hirotaka TAKA
Yoshio NOSE
Masao FUJII
Toyoo WAKE

Kumaji ARISAKA
Hiroshi KATO
Denji SUWABE
Toshimi CHIGUSA
Masaaki HANADA
Minoru MORI

Takashi IWAI
Yukio SAKAE
Masao SEO
Isao NEMOTO
Eiji FUKUTANI
Tōru YOSHII

Members	Wataru IKEDA	Takeshi ISHIGURO	Nobuo INOUE
	Takashi IMURA	Yoshinori ENOMOTO	Moritsuna ÔGI
	Yuzuru KASAHIARA	Yoshiro KASAMA	Hitomi KANAI
	Takashi KÔNO	Keisuke SANADA	Satoshi TSUNODA
	Shin-ichi DOI	Masanori NAGAHISA	Tomoyuki HIROWATARI
	Saburô FUKUI	Hiroshi HORINOUCHI	Yasusaburô MATSUMOTO
	Toshio MISAWA	Tomoo MINAKAMI	Yoshio MINAMI
	Takeshi MIYASHITA	Kiyoto MORIE	Takeo YAMAKAWA
	Hiroshi YAMAGUCHI	Mitsuharu YUKAWA	Motoaki YOKOI

Research on Durable Anticorrosion and Antifouling

1. Introduction

The Regulation for the Enforcement of Ship's Safety Law was revised and the maximum docking interval was approved of two years.

Recently cathodic protection has made greatly progress and the excellent paints of plastics types have been developed, and so anticorrosion and antifouling during two years may be considered to be possible.

However, there are many kinds of paints and many factors which have great influence on their performances, such as weather, temperature, condition of foundation, etc. at painting. Therefore, there are a few cases making a sharp difference in performance even in using the same paint. Cathodic protection is not only affected with painting, ship's condition, etc.; but there are considerable superiority and inferiority in zinc anodes used generally. And there also are indefinite points in utility of aluminum anodes newly developed.

Accordingly, the following items were studied in order to extend the docking interval and to establish durable anticorrosion and antifouling.

- (1) appropriate use of paint
 - (2) appropriate treatment of foundation
 - (3) durable anticorrosive and antifouling performance of paints (immersion test and actual ship test)
 - (4) economic and effective cathodic protection for long term

2. Summary and Conclusion

2. 1 Result of 2-year Marine Raft Test

Special antifouling paints which prepared experimentarily considering no docking during two years, and conventional antifouling paints were tested about two years hanging from the raft which floated on nine places in Japan. After two years, each of test panels was observed and antifouling performance is calculated by formula (1).

where X : antifouling performance

a : marine growth %

b : rusting %

c : blistering and other defects %

The results of the test are shown in Table I and following summaries are obtained.

- (1) From the results of two years marine test, special antifouling paints showed superior

Table 1

Kind of A/F paint	No. of test panel	Nagasaki (Mitsubishi)	Tamano (Mitsui)	Kobe (Mitsubishi)	Kobe (Brush) (Kawasaki)	Kobe (Spray) (Kawasaki)	Tsurumi (Nippon Kokan)	Yokohama (Mitsubishi)	Shimizu (Tokyo Shosen Univ.)	Tateyama (Ship Rese. Inst.)	Abratsubo (Ishikawajima-Harima)	Average
Conventional type	A-S	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
	B-S	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
	C-S	—	—	—	0	(43.3)	—	—	—	—	—	—
	D-S	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
	E-S	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
	F-S	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
Oleoresin type	D-1	5.5	0	(50.0)	0	0	(27.5)	35.5	(49.0)	(50.0)	35.0	12.0
	D-5	—	—	(50.0)	0	0	(0)	—	(33.0)	(50.0)	45.0	14.5
	G-2	0	27.5	—	0	0	—	—	—	(50.0)	—	—
	G-3	—	—	(35)	0	0	—	—	—	—	—	—
Special oleoresin type	A-2	0	12.5	(0)	37.5	37.5	(36.3)	38.8	(13.0)	(50.0)	45.0	28.5
	D-2	0.5	46.3	(43.3)	0	0	(25.0)	6.0	(49.0)	(50.0)	45.0	16.3
	D-4	—	—	—	0	0	(23.8)	—	(33.0)	(50.0)	0	—
	F-2	0	44.3	—	0	0	—	—	—	(50.0)	35.0	8.9
	F-3	0	—	(50.0)	—	—	—	—	—	—	—	—
	G-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vinyl type	A-1	11.5	45.8	—	45.0	30.0	(45.0)	40.8	(45.0)	(50.0)	47.5	36.8
	B-2	12.0	—	(50.0)	30.0	7.5	(25.0)	28.5	(33.0)	(50.0)	47.5	25.1
	C-1	10.5	49.3	(50.0)	30.0	0	(26.3)	3.0	(49.0)	(50.0)	50.0	23.9
	C-2	45.8	45.8	(50.0)	30.0	0	(49.8)	50.0	(45.0)	(50.0)	50.0	37.0
	C-3	—	—	—	0	0	—	—	—	(50.0)	—	—
	C-4	—	—	—	(41.8)	0	—	—	—	(50.0)	—	—
	D-3	20.3	—	—	(23.8)	0	(44.8)	—	—	(33.0)	—	—
	F-1	0	1.3	(7.3)	(32.5)	(50.0)	(20.0)	15.0	(33.0)	(50.0)	50.0	11.2
Epoxy type	G-1	26.3	43.3	(50.0)	(49.0)	(48.8)	(20.0)	11.3	(45.0)	(50.0)	50.0	31.5
	B-3	8.0	46.0	(50.0)	0	0	—	—	—	(49.5)	25.0	15.8
	E-1	8.0	0	(3.8)	0	0	(45.0)	2.8	(13.0)	(48.0)	0	1.8
Special bitumen type	E-2	0	0	(0.8)	0	0	(11.3)	0	(33.0)	(47.5)	50.0	8.7
	B-1	0.5	—	(46.8)	0	—	(30.0)	36.0	(33.0)	(47.5)	50.0	19.3
Blank	B-4	22.3	33.0	—	—	—	—	—	—	—	0	0
	Blank	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

() : Antifouling performance when it was impossible to observe by accident.

performance to conventional types.

(2) The performances of special antifouling paints varied with sea area.

(3) Vinyl type antifouling paints showed the highest performance of all.

2. 2 A Study on Bottom Paint System

2. 2. 1 Experiment Planning

The protective coatings for ship's bottom are composed of shop primer, anticorrosive paint (A/C paint) and antifouling paint (A/F paint). Then we planned three way layout experiment shown in Table 2.

Table 2

Factors		Leveles		
A : Kind of shop primer		2		
B : Film thickness of A/C paint		3		
C : Film thickness of A/F paint		3		

2. 2. 2 Paints Offered for Experiment and Procedure of Painting

The paints offered for test and painting procedures are shown in Table 3.

Table 3

No.	Type of A/C	Type of A/F	Type of shop primer		Film thickness/Number of coating (A/C)			Film thickness/Number of coating (A/F)		
			W / P	Z / E	B 1	B 2	B 3	C 1	C 2	C 3
(1)	Vinyl resin	Vinyl resin	13(μ)	15(μ)	50(μ)/2	100(μ)/4	150(μ)/6	37.5(μ)/1	75(μ)/2	112.5(μ)/3
(2)	Vinyl resin	Vinyl resin	13	13	50/2	100/4	150/6	30/1	60/2	90/3
(3)	Epoxy resin	Vinyl resin	13	15	50/1	100/2	150/3	45/1	90/2	135/3
(4)	Epoxy coaltar resin	Vinyl resin	13	13	67.5/1	135/2	202.5/3	50/1	100/2	150/3
(5)	Epoxy coaltar resin	Epoxy coaltar resin	15	15	115/1	230/2	345/3	75/1	150/2	225/3
(6)	Special oleoresin	Special oleoresin	13	13	35/1	105/3	175/5	42.5/1	85/2	127.5/3
(7)	Special bituminous resin	Special bituminous resin	13	13	37.5/1	112.5/3	187.5/5	50/1	100/2	150/3

2. 2. 3 Result of Fouling Test

After 2-year marine exposure test at Kawasaki Dockyard in Kobe, antifouling performances {X : formula (1)} of each paint system {(1)~(7) : Table 3} were observed and each of data was analyzed by three way layout analysis. The contribution rates are shown in Table 4. It was found that the film thickness of A/F paint (factor C) had the most

profound effect on the antifouling performances. The antifouling performances of typical A/F paints are shown in Fig. 1. The curve A shows typical A/F paint of vinyl types and the curve B shows typical A/F paint of special oleoresin and bitumen types.

Table 4

Factors \ Tested paints	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	—	—	—	—	—	—	—
B	—	—	—	—	—	—	—
C	88.72**	95.57**	94.46**	91.73**	—	65.85**	63.01**
A B	—	—	—	—	—	—	—
A C	—	—	—	—	—	—	—
B C	—	—	—	—	—	—	—
e	11.28	4.43	5.54	8.27	100.0	34.15	36.99

contribution rate=%, reliability : **=99%,

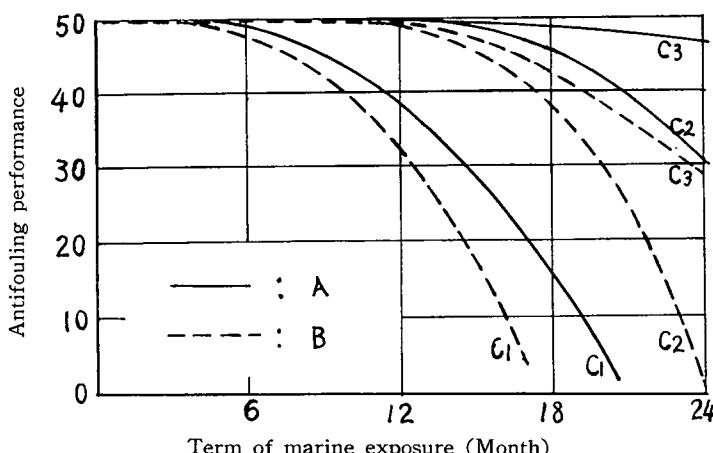


Fig. 1 Effect of variations in coating thickness on antifouling paint

2. 2. 4 Result of Immersion Test in the Artificial Sea Water

(i) Anticorrosive Performance

After 2-year immersion test in the artificial sea water, anticorrosive performances of each paint were observed and each of data was analyzed by three way layout analysis. The contribution rates are shown in Table 5. It was found that the film thickness of A/C paint (factor B) had the most profound effect on the anticorrosive performances. The anti-corrosive performances of typical A/C paint are shown in Fig.2. The curve A shows vinyl type A/C paint and the curve B shows special bitumen type A/C paint.

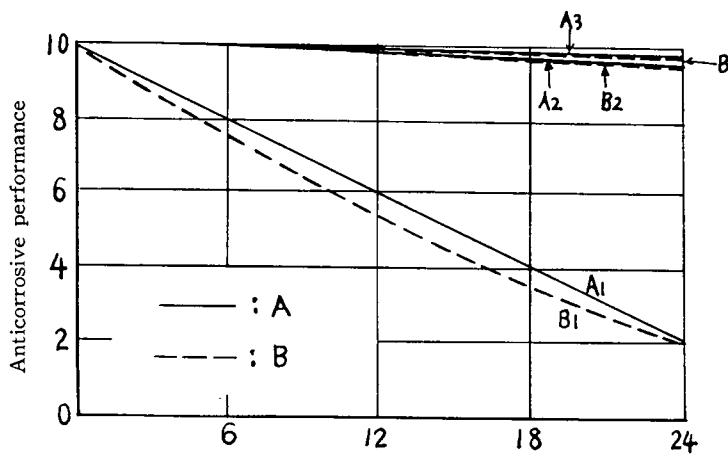
(ii) Result of Impedance Measurement at 1 KC

After 2-year immersion test in the artificial sea water, we measured the impedance

Table 5

Tested paints Factors \	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	—	—	—	—	4.38*	—	—
B	95.40**	84.83**	85.77**	—	22.81**	90.02**	97.88**
C	—	—	—	—	17.63**	—	—
A B	—	—	—	—	10.93**	—	—
A C	—	—	—	—	26.09**	—	—
B C	—	—	—	—	—	—	—
e	4.60	15.17	14.23	100.00	18.26	9.98	2.12

contribution rate : %, reliability : **=99%, * = 95%



Term of artificial sea water immersion (Month)

Fig. 2 Effect of variations in coating thickness on anticorrosive paint

of each paint { (1)~(7) : Table 3 } at 1 KC/dm² and analized each of them by three way layout analysis. The contribution rates are shown in Table 6. It was found that the film thickness of A/C paints (factor B) had the most profound effect on the impedance.

Table 6

Tested paints Factors \	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	—	—	—	—	—	—	—
B	81.29**	74.24**	88.82**	39.23**	84.36**	91.23**	97.18**
C	—	—	5.13**	—	—	—	—
A B	—	—	—	—	—	—	—
A C	—	—	—	—	—	—	—
B C	—	—	4.00**	—	—	—	—
e	18.71	25.76	2.05	60.77	15.64	8.77	2.82

contribution rate : %, reliability : **=99%,

The impedance of typical A/C paints is shown in Fig. 3. The curve A shows vinyl type A/C paint and the curve B shows special bitumen type A/C paint.

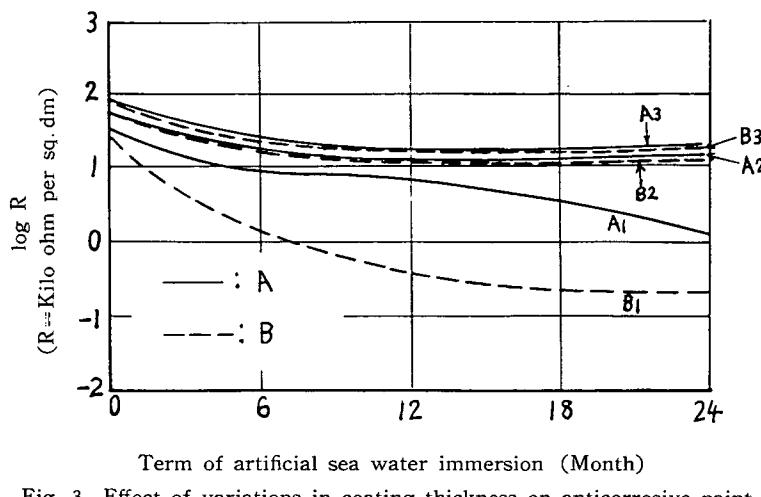


Fig. 3 Effect of variations in coating thickness on anticorrosive paint

2. 2. 5 Conclusion

- (1) On the paint system of ship's bottom, the most important factor which affected antifouling performances is the film thickness of the A/F paint and the other factors are the kind of shop primer and the film thickness of A/C paint affected it profoundly.
- (2) On the paint system of ship's bottom, the most important factor which affected anticorrosive performances is the film thickness of the A/C paint and other factors are the kind of shop primer and the film thickness of A/F paint affected it profoundly.
- (3) During the period of immersion tests, the variations of impedance of each paint system were in agreement with changes of the anticorrosive performances. Accordingly, it must be possible to use the impedance measurement as the evaluation degree for anti-corrosive performances on ship's bottom paint system.

2. 3 Performance Tests of A/C and A/F Paints Applied to the Actual Ships

2. 3. 1 The Ships Offered for Test

Table 7 shows ship's name, ship's owner and dead weight tonnages of each ship offered for test.

Table 7

Ship's name	Ship's owner	Type	Tonnage
Denmark maru	Kawasaki Kisen K.K.	Cargo	10,784 dwt
Shosei maru	Showa Kaiun K.K.	Tanker	61,370 dwt
Isuzugawa maru	Kawasaki Kisen K.K.	Tanker	118,000 dwt

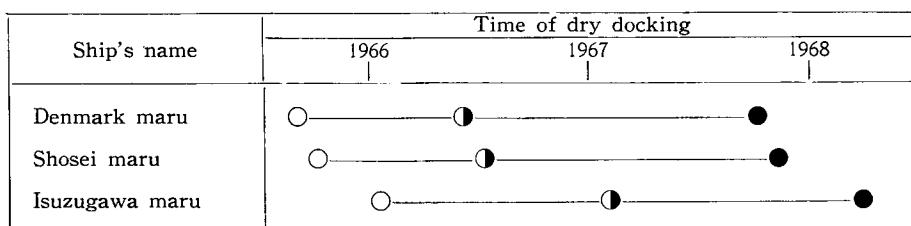
2. 3. 2 Service Route of the Three Ships

Table 8 shows the service route and the offering period of test. Table 9 shows the time schedule from delivery to docking of the offered ships.

Table 8

Ship's name	Service route	Term
Denmark maru	South Africa↔Japan↔Los Angeles	28 months
Shosei maru	Japan↔Persia	26 months
Isuzugawa maru	Japan↔Arabia	25 months

Table 9



○ : Delivery, ● : 1st dry dock, ■ : 2nd dry dock

2. 3. 3 Paints offered for Experiment and Procedure of Painting

Paints offered for experiment and procedures of painting are shown in Table 10, 11, and 12.

Table 10 (Denmark maru)

No.	Type of A/C	Film thickness of A/C (mil)	Type of A/F	Film thickness of A/F (mil)	Painting area (m^2)
(1)	Special bitumen	6.6	Special bitumen	5.4	50
(2)	Special oleoresin	5.7	Special oleoresin	4.2	50
(3)	Epoxy coaltar	9.2	Vinyl	5.3	50
(4)	Vinyl	6.6	Vinyl	3.9	50
(5)	Epoxy coaltar	13.5	Epoxy coaltar	4.7	50

Table 11 (Shosei maru)

No.	Type of A/C	Film thickness of A/C (mil)	Type of A/F	Film thickness of A/F (mil)	Painting area (m^2)
(6)	Special bitumen	7.0	Special bitumen	3.5	50
(7)	Special oleoresin	6.4	Special oleoresin	4.1	50
(8)	Epoxy coaltar	15.0	Epoxy coaltar	4.0	50
(9)	Epoxy	6.8	Vinyl	3.0	50
(10)	Vinyl	4.8	Vinyl	3.2	50

Table 12 (Isuzugawa maru)

No.	Type of A/C	Film thickness of A/C (mil)	Type of A/F	Film thickness of A/F (mil)	Painting area (m ²)
(11)	Special bitumen	4.5	Special bitumen	4.0	250

2. 3. 4 Results of Performance Tests of A/C and A/F Paints

(i) Fouling Resistance

General bottom parts of the three ships which coated with conventional paint system were touched up with A/C paint and the over coating of A/F paint at the 1st dry dock (after a year), and then a few square meter areas were remained as no repair part. We observed attachment of barnacles about 10 mm dia. in the remained area at the 2nd dry dock (after two years).

The areas offered for test of these ships were not repaired at the 1st dry dock, nevertheless we observed no fouling in the tested areas in investigation at the 2nd dry dock.

(ii) Corrosion Resistance

The changes of impedance of these ships at 1 KC/sec are shown in Fig. 4, 5, and 6.

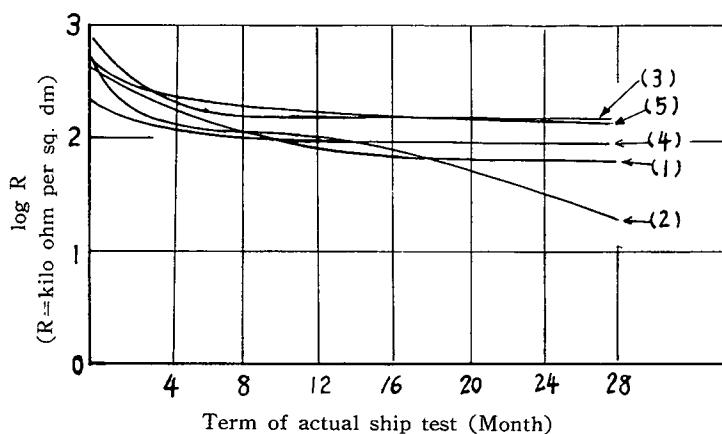


Fig. 4 Variations of impedance on Denmark maru test.

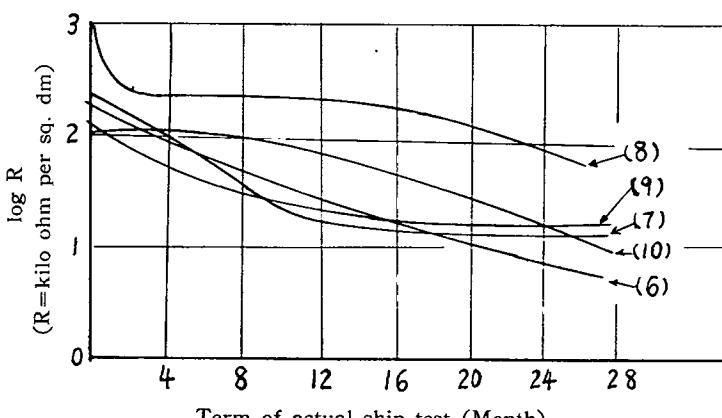


Fig. 5 Variations of impedance on Shosei maru test.

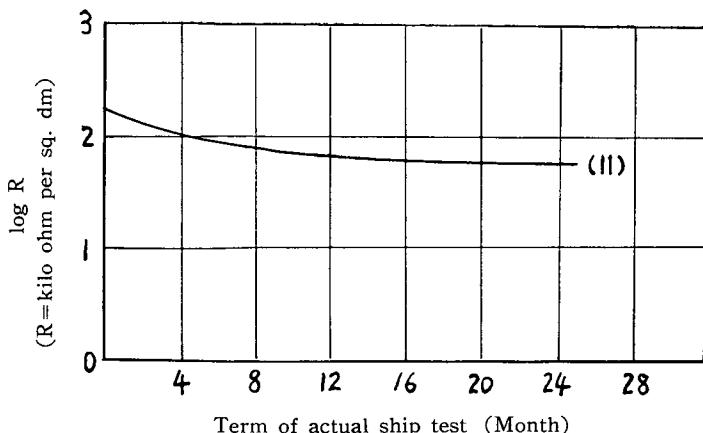


Fig. 6 Variations of impedance on Isuzugawa maru test.

During the period of actual ship tests, impedance of experimental paint systems showed the large values more than $10 \text{ K}\Omega/\text{dm}^2$. Accordingly the paints offered for experiment showed satisfactory corrosion resistance for 2-year no docking system.

2. 3. 5 Conclusion

During the period of actual ship tests, the painting systems which listed in Table 10, 11 and 12 showed the excellent fouling resistance and the satisfactory corrosion resistance. So we can recommend these painting systems as 2-year no docking system on ship's bottom.

2. 4 Research on the Cathodic Protection

The method of cathodic protection has been developed recently, but there are still many problems especially in practical use. This research has been carried out to solve some of them and results obtained are as follows.

(1) From the protection test with coated steel plate fitted in circulation tank, suitable fitting position and performance of galvanic anode were made considerably clear by this study.

The required quantity of anticorrosive electric current varies considerably with the surrounding factors, such as the quality of the paints, velocity of water, condition of metal surface, sort of metal, etc.

(2) The use of zinc rich primer showed less in rust than that of other wash primer.

(3) The performance tests with many kinds of aluminum anodes were also carried out. Results of them are as follows :

① Efficiency of aluminum anodes was about 80% in average and some of them showed more than 90%.

② Performance of aluminum anodes was rich in variety by the kinds.

長期防食防汚に関する研究

目 次

第 1 章 概 要.....	1
第 2 章 防食塗料の性能に関する研究.....	2
2. 1 各種塗料の性能比較試験.....	2
2. 2 エポキシジンクリッヂプライマにおける上塗性改善に関する研究.....	14
2. 3 エアレススプレイ塗装法の研究.....	19
2. 4 塗膜の電気的な測定結果.....	25
第 3 章 防汚塗料の性能に関する研究.....	34
3. 1 臨 海 実 驗.....	34
3. 2 塗料の厚みと防汚性能の関係.....	43
3. 3 色と生物の付着との関係.....	45
3. 4 水線部の防汚性能.....	46
✓ 第 4 章 船体外板の電気防食に関する研究.....	50
4. 1 塗装鋼板に対する各種流電陽極の防食範囲の確立と取り付け位置の研究.....	50
4. 2 性能が改善され実用化されつつあるアルミ陽極の性能試験.....	57
4. 3 高速流水中およびキャビテーションを発生した場合の所要防食電流の研究.....	62
第 5 章 実船適用試験.....	64
5. 1 大型新造船への適用試験.....	64
5. 2 中小型船舶での適用試験.....	78

「長期防食防汚に関する研究」

第1章 概 要

船舶安全法施行規則が改正され、入渠間隔は最大限2年ごとでよいことになつたが、最近、電気防食法が進歩し、優秀なプラスチック系塗料が開発されてきたので2年間の防食防汚は可能と考えられる。

しかし、塗料は種類が多い上、塗装時の天候、温度、下地の状態など影響ある諸元が多く、同一塗料でも著しい差異が生ずる場合がある。また電気防食は塗装や船舶の状態などによつて影響をうけるほか、一般に使用されている亜鉛陽極にはかなり優劣がある。また経済的に有利なアルミ陽極が開発されてきたが、その実用性には明らかでない点もある。

それゆえ、入渠間隔を延長するために

- 1) 各種塗料の適切な使用法
- 2) 適当な下地処理法
- 3) 塗料の長期防食防汚
- 4) 長期経済的な電気防食法

などの研究を行ない長期の防食防汚法を確立することを目的として実施した。

第2章 防食塗料の性能に関する研究

2. 1 各種塗料の性能比較試験

2. 1. 1 まえがき

船舶の入渠間隔は法令の改正により2年間に延長されたが、現用塗料および塗装系の耐用年数は1年程度といわれているため、そのまま使用するには不安がある。本研究では、国産7社から各種の新しい塗料および塗装系の提出を受け、船体各部の腐食環境に応じた促進試験を行なつて、長期防食の可能性について調査した。

2. 1. 2 供試塗料および塗装要領

船体を船底部、水線部、外舷部、デッキ部、上部構造物の5区分にわけ、国産A～G7社から長期防食型塗料の提供を受けた。そして

試験片の寸法 150×75×2 mm (SS 41)

表面処理 サンドブラストクリーニング¹⁾

塗装機器 Matoco-Binks Compact Spray Unit, CBA-86 25:1

塗装間隔 1 coat/1 day

の要領で塗装を行なつた。各塗料の塗装回数、塗装膜厚、塗布量は表2.1.1～表2.1.5に示したことである。なおこれらの各表で試験片番号にSを付した塗料は、それぞれの塗料メーカーにおける現用の標準塗料およびその塗装系である。

2. 1. 3 試験方法

船体各部の腐食環境に応じて表2.1.6に示したような促進試験と付着力試験を行なつた。

2. 1. 4 試験結果の観察ならびに評価方法

(1) 観察方法

防錆力試験関係は、試験開始後塗膜に欠陥を生じそれが成長してある段階（発錆^{2), 3)}ふくれ⁴⁾剝離⁵⁾、チョーキング⁶⁾、クラツキング⁷⁾、チエツキング⁸⁾）に達するに要した時間を記録した。

付着力試験関係は、遠藤、鶴氏の方法^{9), 10), 11)}が妥当ではないかと考えたのでこの方法によつた。

(2) 評価方法

防錆力試験関係は、記録した試験時間を表2.1.7のようなランクに分類して10点満点法で採点した。そして

防食性能=船体各区分ごとに行なわれた防錆力試験結果の評価点の和
付着力試験関係は下記の評価点で示した。

$$\text{付着性能} = W(\text{or } C) + E + D$$

W: 射水式回転剝離試験結果評価点（外的要因）

C: ゴバン目試験結果評価点 （外的要因）

E : エリクセン試験結果評価点 (内的要因)

D : デュポン衝撃試験結果評価点 (衝撃要因)

2. 1. 5 試験結果および考察

(1) 試験結果

試験結果は、表 2.1.8, 2.1.10, 2.1.12, 2.1.14 および表 2.1.16 に示したごとくである。ここに示した防食ならびに付着性能評価点は、前述のごとく各試験結果の評価点の和であるが、それらの内容の詳細は後述の資料^[12]を参照されたい。

結果のとりまとめ方法は、銘柄の比較ではなく塗装系の比較ということに重点をおいた。したがつて船体各区別に各塗装系ごとに平均点をとり、次に示すような指標で長期防食の可能性を示した。

防食指標 = 長期防食型塗装系防錆力平均点／現用塗装系防錆力平均点

付着指標 = 長期防食型塗装系付着力平均点／現用塗装系付着力平均点

(2) 防食指標、付着指標の検定

各塗装系によつて試験結果の評価点にはバラツキがあり、指標の数値を正しいものと認めてよいかどうかを検定するため、一元配置法^[13]により塗装系内の評価点変動と塗装系間の評価点変動を求め、分散比から各塗装系間の有意差（F 分布表の95%）を算出した。その結果は表 2.1.9, 2.1.11, 2.1.13 2.1.15 および表 2.1.17 に示したが、これらの各表におけるFの値が、9.55以上であれば、その塗装系間には95%で有意差があることになる。なお計算処理には電子計算機を用いた。

2. 1. 6 結論

実験室的なスケールで結論を下せば次のとくである。

(1) 防食性について

(a) 船底部

船底部供試塗料は、全塗装系共に評価点の上では従来の 2.9～3.8 倍の防食性能があり、防汚の問題をぬきにすれば長期防食の可能性は十分あるものと考えられる。

(b) 水線部

ビニール型、特殊れき青型、エポキシ型、エポキシタール型の各塗装系は、従来品と比較して評価点の上で約 2.5 倍の防食性があり、長期防食の可能性がある。特殊油性型は、1.5 倍であり従来品よりすぐれてはいるが、供試塗料中ではやや劣つた。

(c) 外舷部

外舷部塗装系の特徴は、各種船底 1 号塗料を錆止めに使用していることであつたが、いずれの塗装系も良好で評価点の上では現用塗装系の 2.1～2.5 倍であつた。したがつて長期防食の可能性は十分あるものと考えられる。

(d) デツキ部

デツキ部供試塗料は、全塗装系共に評価点の上では 1.4～1.7 倍の防食性能があり、従来品よりすぐれているといふことができる。

(e) 上部構造物

上部構造物塗装系のなかでは、Red あるいは White Lead 型、アクリル型が最もすぐれ評価点の

上では現用品の1.7倍であつた。ビニール1号塗料を錆止め塗料に使用した塗装系では、上塗り塗料をかけると非常に効果があがり現用品の1.4倍になつた。ジンクリツチ型塗料をショッププライマ以外に、錆止め塗料のかわりに再塗装した塗装系は現用品の0.7倍となりあまり効果がない。やはりジンクリツチ型塗料はショッププライマにとどめておくべきではないかと考えられる。

(2) 付着性について

船底部（1号と2号塗膜間を除く）、外舷部、デッキ部、上部構造物の各区分における各塗装系は、現用標準塗装系の付着力と差が認められなかつた。しかし水線部にビニール型塗装系を使用した場合には、評価点の上で現用品の1.3倍の付着性能を示した。

(3) 長期防食の可能性

以上に述べたごとく、試作提供を受けた供試塗料中には現用品の2倍以上の防食性能を示したもののがかなりあり、実験室的には長期防食の可能性は十分あるものと考えられる。

参考文献

- 1) Steel Structure's Painting Specification U.S.A. SSPC-SP 5-52-T
- 2) ASTM D610-43 Rusting accompanied by BLISTERING. No. 8-1
- 3) ASTM D610-43 Rusting accompanied by BLISTERING. No. 7-2
- 4) ASTM D716-56 Medium
- 5) ASTM D772-47 Degree of FLAKING. No. 2
- 6) ASTM D659-44 Degree of CHALKING. No. 2
- 7) ASTM D661-44 Degree of CRACKING. No. 2
- 8) ASTM D660-44 Degree of CHECKING. No. 2
- 9) 遠藤、鶴、第10回腐食防食討論会予稿集 A-301(宝塚) 1963
- 10) 生産技術協会船用塗料部会資料、25P-10-01
- 11) 同 上, 26P-10-01
- 12) S R-75 部会第2回部会昭和39年度終了報告 川重提出資料
- 13) 増山、小数例のまとめ方(1) 竹内書店 1964
- 14) 工業生産技術審議会品質管理専門委員会編、塗料試験方法
- 15) 特許、昭35-263167 出願者 日本油脂
- 16) 深谷、防錆管理、Vol. 3 No. 8
- 17) JIS Z 2371

表 2.1.1 船底部供試塗料および塗装要領

塗料 試験 片 番号	シヨツブ プライマ 片	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²	船底 1 号 塗 料			塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²	船底 2 号 塗 料			塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²
					船底 1 号 塗 料 (ワニス別に分類)	塗 装 回 数	塗 付 量 g/m ²				船底 2 号 塗 料 (ワニス別に分類)	塗 装 回 数	塗 付 量 g/m ²			
S	W/P	1	0.5	91	Oleoresin	3	4.5	354	Oleoresin	2	3.9	260				
A	1 Z/E	1	0.6	108	Vinyl	6	6.3	953	Vinyl	3	5.0	590				
	2 Z/E	1	0.6	108	Epoxy-coaltar	3	15.2	811	S.Oleoresin	3	5.2	487				
S	W/P	1	0.5	95	Oleoresin	3	4.0	462	Oleoresin	2	2.9	365				
B	1 Z/E	1	0.5	105	S.Bitumen	3	6.0	550	S.Bitumen	3	3.0	710				
	2 Z/E	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	9.3	655	Vinyl	3	3.1	692				
	3 Z/E	1	0.5	105	Epoxy	3	6.0	625	Epoxy	2	3.2	920				
S	W/P	1	0.5	95	Oleoresin	3	4.5	375	Oleoresin	2	3.8	368				
	1 Z/E	1	0.5	112	Vinyl	6	6.0	781	Vinyl	3	5.9	620				
C	2 Z/E	1	0.5	112	Vinyl	6	6.0	781	Vinyl OP	3	5.2	488				
	3 Z/E	1	0.5	112	Epoxy	3	6.2	590	Vinyl	3	5.9	620				
	4 Z/E	1	0.5	112	Epoxy	3	6.2	590	Vinyl OP	3	5.2	488				
S	W/P	1	0.5	120	Oleoresin	3	4.8	440	Oleoresin	2	3.2	405				
D	1 Z/E	1	0.5	122	Epoxy	3	13.5	892	Oleoresin	3	6.0	660				
	2 Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin	4	5.2	635	S.Oleoresin	3	5.7	641				
	3 Z/E	1	0.5	122	Vinyl	5	6.3	770	Vinyl	3	5.6	650				
	4 Z/E	1	0.5	122	Bitumen	3	5.2	440	S.Oleoresin	3	5.7	641				
	5 Z/E	1	0.5	122	Epoxy-coaltar	3	10.1	688	Oleoresin	3	3.8	368				
S	W/P	1	0.5	105	Oleoresin	3	3.8	432	Oleoresin	2	3.5	378				
E	1 W/P	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar F	1	3.9	315				
	2 Z/E	1	0.5	115	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar I	1	4.0	325				
S	W/P	1	0.5	103	Oleoresin	3	3.9	420	Oleoresin	2	3.2	403				
F	1 Z/E	1	0.5	123	Vinyl	4	4.6	482	Vinyl OP	2	3.1	393				
	2 Z/E	1	0.5	123	S.Oleoresin	4	5.4	586	S.Oleoresin	2	3.5	412				
S	W/P	1	0.5	121	Oleoresin	3	3.8	478	Oleoresin	2	3.5	360				
G	1 Z/E	1	0.7	148	Vinyl	6	6.2	880	Vinyl	2	4.8	687				
	2 Z/E	1	0.7	148	Epoxy	3	6.2	615	Epoxy	2	3.2	897				
	3 Z/E	1	0.7	148	Epoxy-coaltar	2	11.3	716	Vinyl	2	4.8	687				

表 2.1.2 水線部供試塗料および塗装要領

塗料 メー カ名	試 験 片 番 号	シ ョ ツ プ ラ イ マ	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²	水線用錆止め塗料			塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²	水線用上塗り塗料			塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²
						塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²				塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²			
	S	W/P	1	0.5	91	Oleoresin	3	4.5	354	Oleoresin	2	3.1	235				
A	1	Z/E	1	0.6	108	Vinyl	6	6.3	953	Vinyl	2	2.5	298				
	2	Z/E	1	0.6	108	Epoxy-coaltar	3	15.2	811	S.Oleoresin	2	2.9	288				
B	S	W/P	1	0.5	95	Oleoresin	3	4.0	462	Oleoresin	2	2.5	276				
	1	Z/E	1	0.5	105	S.Oleoresin	3	6.0	550	Vinyl	3	2.9	517				
	2	Z/E	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	9.3	655	Vinyl	2	2.0	362				
	3	Z/E	1	0.5	105	Epoxy	3	6.0	625	Epoxy	2	2.2	267				
C	S	W/P	1	0.5	95	Oleoresin	3	4.5	375	Oleoresin	2	2.5	233				
	1	Z/E	1	0.5	112	Vinyl	6	6.0	781	Vinyl	2	2.1	258				
	1	Z/E	1	0.5	112	Epoxy	3	6.2	590	Epoxy	2	3.5	264				
D	S	W/P	1	0.5	120	Oleoresin	3	4.8	440	Oleoresin	2	3.1	322				
	1	Z/E	1	0.5	122	Oleoresin	3	4.8	440	Oleoresin	2	3.1	322				
	2	Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin	3	3.8	396	Oleoresin	2	2.8	287				
	3	Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin	3	3.8	396	Oleoresin G	2	2.6	286				
	4	Z/E	1	0.5	122	Epoxy	3	13.5	892	Oleoresin G	2	2.6	286				
	5	Z/E	1	0.5	122	Vinyl	4	3.9	524	Vinyl	2	2.0	267				
E	S	W/P	1	0.5	105	Oleoresin	3	3.8	432	Oleoresin	2	3.0	256				
	1	W/P	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	2	3.5	328				
	2	Z/P	1	0.5	115	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	2	3.5	328				
F	S	W/P	1	0.5	103	Oleoresin	3	3.9	420	Oleoresin	2	3.1	247				
	1	Z/E	1	0.5	123	Vinyl	4	4.6	482	Vinyl	2	2.2	284				
	2	Z/E	1	0.5	123	S.Oleoresin	4	5.4	586	S.Oleoresin	2	2.8	288				
G	S	W/P	1	0.5	121	Oleoresin	3	3.8	478	Oleoresin	2	3.2	244				
	1	Z/E	1	0.7	148	Vinyl	6	6.2	880	Vinyl	2	2.0	275				
	2	Z/E	1	0.7	148	Epoxy-coaltar	2	11.3	716	Epoxy	2	5.2	416				

表 2.1.3 外舷部供試塗料および塗装要領

塗料 メー カ名	試 験 片 番 号	シ ョ ウ プ ラ イ マ	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚	塗 付 量	外舷用錆止め塗料 (ワニス別に分類)	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚	塗 付 量	外舷用上塗り塗料 (ワニス別に分類)	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚	塗 付 量
			(ミル)	g/m ²			(ミル)	g/m ²			(ミル)	g/m ²	
A	S	W/P	1	0.5	91	Long oil LZ	2	2.4	245	Alkyd	2	2.5	208
	1	Z/E	1	0.6	108	Vinyl A/C	6	6.3	953	Vinyl	2	2.1	280
	2	Z/E	1	0.6	108	Epoxy-coaltar	3	15.2	811	Alkyd	2	3.8	285
B	S	W/P	1	0.5	95	Long oil LZ	2	2.5	261	Alkyd	2	2.5	210
	1	Z/E	1	0.5	105	S.Bitumen	3	6.0	550	Vinyl	3	2.9	364
	2	Z/E	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	9.3	655	Vinyl	3	2.9	364
	3	Z/E	1	0.5	105	Epoxy	3	6.0	625	Epoxy	2	2.2	267
C	S	W/P	1	0.5	95	Long oil LZI	2	2.5	241	Alkyd	2	2.6	221
	1	Z/E	1	0.5	112	Vinyl A/C	5	5.0	614	Vinyl	2	2.2	266
	2	Z/E	1	0.5	112	Epoxy A/C	3	6.2	590	Epoxy	2	3.3	277
D	S	W/P	1	0.5	102	L.oil red lead	2	2.4	347	Alkyd	2	2.5	261
	1	Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin A/C	2	2.6	273	Alkyd	2	2.8	275
	2	Z/E	1	0.5	122	Epoxy A/C	2	8.5	602	Alkyd	2	2.8	275
	3	Z/E	1	0.5	122	Epoxy red lead	2	4.1	339	Epoxy	2	4.0	319
	4	Z/E	1	0.5	122	Vinyl A/C	4	4.2	561	Vinyl	2	1.9	278
	5	Z/E	1	0.5	122	Epoxy-coaltar	3	10.1	688	Alkyd	2	2.8	275
E	S	W/P	1	0.5	105	Oleoresin LZI	2	2.5	237	Alkyd	2	2.4	206
	1	W/P	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	2	3.5	332
	2	Z/E	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	2	3.5	332
F	S	W/P	1	0.5	103	Long oil LZI	2	2.5	249	Alkyd	2	2.5	221
	1	Z/E	1	0.5	123	Vinyl A/C	4	4.6	482	Vinyl	2	4.6	273
	2	Z/E	1	0.5	123	S.Oleoresin	4	5.4	586	Alkyd	2	2.5	221
G	S	W/P	1	0.5	121	Long oil LZ	2	2.7	262	Alkyd	2	2.8	296
	1	Z/E	1	0.7	148	Vinyl A/C	6	6.2	880	Vinyl	2	2.1	286
	2	Z/E	1	0.7	148	Epoxy-coaltar	2	11.3	716	Epoxy	2	4.5	356

表 2.1.4 デツキ部供試塗料および塗装要領

塗 料 メ ー カ 名 号	試 験 片 番 号	シ ョ ウ プ ラ イ マ	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 度 (ミル)	塗 付 量 (g/m ²)	塗 装 デツキ用錆止め塗料		塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 度 (ミル)	塗 付 量 (g/m ²)	塗 装 デツキ用上塗り塗料		塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 度 (ミル)	塗 付 量 (g/m ²)
						塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 度 (ミル)				塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 度 (ミル)			
	S	W/P	1	0.5	91	Long oil LZ	2	2.4	245	Alkyd	2	2.4	206		
A	1	Z/E	1	0.6	108	Vinyl A/C	4	4.2	566	Vinyl	2	2.6	290		
	2	Z/E	1	0.6	108	Z/E Long oil LZ	2	1.5 2.3	203 246	Alkyd	2	2.5	208		
	S	W/P	1	0.5	95	Long oil LZ	2	2.5	261	Alkyd	2	2.4	255		
B	1	Z/E	1	0.5	105	Z/E	1	1.0	202	Epoxy	2	2.3	265		
	2	Z/E	1	0.5	105	Vinyl A/C Long oil LZ	2	2.1 2.4	343 260	Alkyd	2	2.2	260		
	3	Z/E	1	0.5	105	Z/E Long oil LZ	2	1.0 2.5	202 261	Alkyd	2	2.2	260		
	S	W/P	1	0.5	95	Long oil LZI	2	2.5	241	Alkyd	2	2.4	207		
C	1	W/P	1	0.5	95	Vinyl A/C Long oil LZI	2	2.0 2.5	260 241	Alkyd	2	2.4	207		
	2	Z/E	1	0.5	112	Vinyl A/C Long oil LZI	2	2.0 2.5	260 241	Alkyd	2	2.4	207		
D	S	W/P	1	0.5	102	L.Oil red lead	2	2.4	347	Alkyd	1	1.6	156		
	1	Z/E	1	0.5	122	Vinyl A/C L.Oil red lead	1	1.0 1.2	134 168	Alkyd	1	1.6	156		
	2	Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin A/C	2	2.4	188	Alkyd	2	2.8	280		
	3	Z/E	1	0.5	122	Epoxy red lead	2	4.1	339	Epoxy	2	4.0	319		
	4	Z/E	1	0.5	122	Vinyl A/C	2	2.0	268	Vinyl	2	2.2	274		
E	S	W/P	1	0.5	105	Long oil LZ	2	2.4	246	Alkyd	2	2.5	227		
	1	W/P	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	2	3.5	332		
	2	Z/E	1	0.5	115	Epoxy white	2	3.5	335	Epoxy	3	5.5	459		
	S	W/P	1	0.5	103	Long oil LZ	2	2.6	268	Alkyd	1	1.5	134		
F	1	Z/P	1	0.5	123	Vinyl A/C	2	2.1	264	Vinyl	2	2.0	272		
	2	Z/P	1	0.5	123	S.Oleoresin	2	2.7	293	Alkyd	2	2.4	225		
G	S	W/P	1	0.5	121	Long oil LZ	2	2.7	269	Alkyd	2	2.4	209		
	1	Z/E	1	0.7	148	Vinyl A/C	4	4.0	522	Vinyl	2	2.0	286		
	2	Z/E	1	0.7	148	Z/E	1	1.0	244	Epoxy	3	5.6	446		

表 2.1.5 上部構造物供試塗料および塗装要領

塗 料 メ リ ー カ 名 号	試 験 片 番 号	シ ョ ツ ブ ラ イ マ	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 (g/m ²)	塗 装 上部構造物用鋸止 め塗料		塗 装 上部構造物用上塗 り塗料		塗 装 上部構造物用上塗 り塗料			
						回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 (g/m ²)	回 数	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 (g/m ²)		
S	W/P	1	0.5	91	Long oil LZ	2	2.4	245	Alkyd	2	2.5	210	
A	1	Z/E	1	0.6	108	Vinyl A/C	4	4.2	566	Vinyl	2	2.6	291
	2	Z/E	1	0.6	108	Z/E Long oil LZ	1 2	1.5 2.3	203 246	Alkyd	2	2.5	210
S	W/P	1	0.5	95	Long oil LZ	2	2.5	261	Alkyd	2	2.4	257	
B	1	Z/E	1	0.5	105	Z/E Long oil LZ	1 1	1.0 1.2	202 130	Alkyd	2	2.4	257
	2	Z/E	1	0.5	105	Acryl LZ	2	3.0	315	Acryl	2	3.2	295
S	W/P	1	0.5	95	Long oil LZI	2	2.5	241	Alkyd	2	2.2	204	
C	1	Z/E	1	0.5	112	Long oil white	3	3.2	309	Alkyd A	2	2.2	204
	2	Z/E	1	0.5	112	Long oil white	3	3.2	309	Alkyd B	2	2.3	215
S	W/P	1	0.5	102	L.oil red lead	2	2.4	347	Alkyd	2	2.7	286	
D	1	Z/E	1	0.5	122	Vinyl A/C L.oil red lead	1 1	1.0 1.2	134 168	Alkyd	2	2.7	286
	2	Z/E	1	0.5	122	Epoxy red lead	2	4.1	339	Epoxy	2	4.0	319
S	Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin A/C	1	1.2	144	Alkyd	2	2.7	286	
S	Z/E	1	0.5	122	Vinyl A/C	2	2.0	268	Vinyl	2	2.2	274	
S	W/P	1	0.5	105	Long oil LZ	2	2.4	246	Alkyd	2	2.5	216	
E	1	Z/E	1	0.5	115	Epoxy white	1	1.8	165	Epoxy	3	5.5	459
	2	Z/E	1	0.5	115	Z/E	1	1.2	235	Alkyd	3	3.7	316
S	W/P	1	0.5	103	Long oil LZ	2	2.6	268	Alkyd	2	2.4	260	
F	1	Z/E	1	0.5	123	S.Long oil LZ	2	3.2	306	Alkyd	2	2.4	260
	2	Z/E	1	0.5	123	Vinyl A/C	2	2.1	264	Vinyl	2	2.0	277
S	W/P	1	0.5	121	Long oil LZ	2	2.7	269	Alkyd	2	3.2	285	
G	1	Z/E	1	0.7	148	Vinyl A/C	4	4.0	522	Vinyl	2	2.0	286
	2	Z/E	1	0.7	148	Epoxy white	3	5.8	486	Vinyl	2	2.0	286

表 2.1.6 試験項目および試験方法

区分	防錆力試験項目	付着力試験項目																		
船底部	<ul style="list-style-type: none"> ○ 塩水浸漬試験 (A/Cまで, A/Fまで) (35°C, 3%食塩水中に浸漬する) 	<ul style="list-style-type: none"> 付着力試験は全区分共通 																		
水線部	<ul style="list-style-type: none"> ○ 塩水浸漬試験 (A/Cまで, B/Tまで) ○ (塩水浸漬4日 交互試験 (B/Tまで) 屋外曝露3日) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ エリクセン試験¹⁴⁾ 最大7mmまで押し出し。 ○ デュポン衝撃試験¹⁴⁾ 																		
外舷部	<ul style="list-style-type: none"> ○ 塩水噴霧試験¹⁷⁾ (錆止めまで, T/Sまで) ○ (塩水噴霧3日 交互試験 (同上, 同上) ウエザロ3日) 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>高さ(mm)</th> <th>荷重(kg)</th> <th>Dia(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250</td> <td>0.3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>1.0</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	高さ(mm)	荷重(kg)	Dia(mm)	250	0.3	10	500	0.3	10	500	0.5	10	500	0.5	10	500	1.0	10
高さ(mm)	荷重(kg)	Dia(mm)																		
250	0.3	10																		
500	0.3	10																		
500	0.5	10																		
500	0.5	10																		
500	1.0	10																		
部	<ul style="list-style-type: none"> ○ ウエザロ試験¹⁶⁾ 480 Hrs (T/Sまで) ○ 屋外曝露試験 8ヶ月 (T/Sまで) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基盤目試験¹⁴⁾ ○ 描画試験¹⁴⁾ 																		
デツキ部	<ul style="list-style-type: none"> ○ 塩水噴霧試験¹⁷⁾ (錆止めまで, 上塗りまで) ○ (塩水噴霧3日 交互試験 (同上, 同上) ウエザロ3日) ○ (塩水浸漬2日 交互試験 (同上, 同上) 屋外曝露5日) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 射水式回転剥離試験¹⁵⁾ 円板回転速度 3,600rpm 射水角度, 回転方向とは逆に45度。 																		
上部構造物	<ul style="list-style-type: none"> ○ ウエザロ試験¹⁶⁾ 480 Hrs (上塗りまで) ○ 屋外曝露試験 8ヶ月 (同上) 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>圧力</th> <th>7 kg/cm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ノズル径</td> <td>6 mm</td> </tr> <tr> <td>射水量</td> <td>130 ℥/min</td> </tr> <tr> <td>ノズル数</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	圧力	7 kg/cm ²	ノズル径	6 mm	射水量	130 ℥/min	ノズル数	2										
圧力	7 kg/cm ²																			
ノズル径	6 mm																			
射水量	130 ℥/min																			
ノズル数	2																			

表 2.1.7 評価点数

評価点数	欠陥を生ずるに至つた日数	欠陥を生ずるに要したサイクル数	評価点数	欠陥を生ずるに至つた日数	欠陥を生ずるに要したサイクル数
1	<30	1 - 4	6	131 - 150	19 - 22
2	31 - 60	5 - 9	7	151 - 170	23 - 25
3	61 - 90	10 - 11	8	171 - 190	26 - 28
4	91 - 100	12 - 14	9	191 - 200	29 - 30
5	111 - 130	15 - 18	10	>200	>30

表 2.1.8 船底部塗装系性能比較試験結果および防食、付着指數表

塗装系	防食性能および付着性能評価点（銘柄別）								平均点	防食指數付着指數
	3.0	5.0	6.0	6.0	5.0	5.0	4.0	4.9		
油性標準型	42.0	47.0	50.0	24.0	33.0	36.0	34.0	38.0	1.00	1.00
ビニール型および特殊瀝青型	20.0	16.0	17.0	17.0	16.0	4.0	20.0	15.7	3.20	1.09
エポキシ型および特殊油性型	44.0	44.0	44.0	39.0	44.0	36.0	41.0	41.7		
エポキシコールタール型	20.0	15.0	15.0	16.0	15.0	4.0	15.0	14.3	2.91	1.03
	42.0	40.0	40.0	32.0	44.0	42.0	36.0	39.4		
	15.0	20.0	19.0	20.0	20.0	20.0	19.0	19.0	3.87	1.00
	44.0	39.0	42.0	25.0	36.0	36.0	44.0	38.0		

各塗装系の評価点中、上段は防食性能、下段は付着性能を示す。

表 2.1.9 船底部塗装系の一元配置法による分散分析 F 検定表（各塗装系間の比較）

塗装系	油性標準型	ビニール型および特殊瀝青型	エポキシ型および特殊油性型	エポキシコールタール型
油性標準型		26.87**	24.84**	312.80**
ビニール型および特殊瀝青型	1.07		0.27	2.30
エポキシ型および特殊油性型	0.15	1.35		5.71*
エポキシコールタール型	0.00	1.77	0.23	

○右上半分：防食性能を比較した場合の F_0 の値

○左下半分：付着性能を比較した場合の F_0 の値

○ $F_0 > 9.33$ の場合 99%で有意**

○ $F_0 > 4.75$ の場合 95%で有意*

○ $F_0 < 4.75$ の場合 有意差が認められない。

表 2.1.10 水線部塗装系性能比較試験結果および防食、付着指數表

塗装系	防食性能および付着性能評価点（銘柄別）								平均点	防食指數付着指數
	9.0	11.0	11.0	12.0	11.0	10.0	10.0	10.6		
油性標準型	29.0	37.0	37.0	19.0	31.0	30.0	38.0	31.6	1.00	1.00
ビニール型および特殊瀝青型	29.0	25.0	26.0	26.0	25.0	29.0	28.0	26.9	2.53	1.35
エポキシ型およびエポキシコールタール型	42.0	42.0	42.0	40.0	50.0	39.0	45.0	42.9		
エポキシ型およびエポキシコールタール型	29.0	25.0	27.0	28.0	29.0	29.0	29.0	28.0	2.64	1.09
特殊油性型	42.0	37.0	38.0	27.0	24.0	31.0	43.0	34.6		
	14.0	12.0	23.0	18.0	20.0	13.0	16.0	16.6	1.56	0.99
	30.0	38.0	33.0	26.0	35.0	30.0	28.0	31.4		

各塗装系の評価点中、上段は防食性能、下段は付着性能を示す。

表 2.1.11 水線部塗装系の一元配置法による分散分析F検定表(各塗装系間の比較)

塗装系	油性標準型	ビニール型および特殊瀝青型	エポキシ型およびエポキシコールタール型	特殊油性型
油性標準型		453.35**	647.13**	14.91**
ビニール型および特殊瀝青型	15.35**		1.67	38.78**
エポキシ型およびエポキシコールタール型	0.64	7.09*		49.99**
特殊油性型	0.00	29.72**	0.97	

○右上半分：防食性能を比較した場合の F_0 の値○左下半分：付着性能を比較した場合の F_0 の値○ $F_0 > 9.33$ の場合 99%で有意**○ $F_0 > 4.75$ の場合 95%で有意*○ $F_0 < 4.75$ の場合 有意差が認められない。

表 2.1.12 外舷部塗装系性能比較試験結果および防食、付着指數表

塗装系	防食性能および付着性能評価点 (銘柄別)								平均点	防食指數	付着指數
	油性LZ, LZ I	標準型	ビニール1号型	特殊瀝青型およびエポキシRL型	エポキシ1号型	および特殊油性型	エポキシ	コールタール型			
油性LZ, LZ I 標準型	9.0 27.0 32.0	13.0 27.0 39.0	11.0 28.0 39.0	11.0 31.0 39.0	11.0 25.0 33.0	11.0 26.0 43.0	11.0 30.0 36.0	11.0 27.7 37.3	1.00 (1.00)	1.00	
ビニール1号型 特殊瀝青型および エポキシRL型	28.0 48.0 43.0	23.0 41.0 40.0	27.0 38.0 41.0	24.0 42.0 39.0	22.0 38.0 47.0	30.0 23.0 23.0	27.0 37.0 37.0	25.9 38.1 38.6	2.35 (1.37)	1.03	
エポキシ1号型 および特殊油性型	29.0 47.0 42.0	28.0 43.0 40.0	30.0 40.0 27.0	22.0 37.0 29.0	8.0 23.0 36.0	21.0 29.0 32.0	25.0 35.0 36.0	23.3 36.3 34.6	2.12 (1.31)	0.93	
エポキシ コールタール型	28.0 31.0 42.0	28.0 36.0 30.0	26.0 40.0 27.0	27.0 42.0 33.0	27.0 43.0 36.0	26.0 40.0 43.0	27.0 35.0 37.0	27.0 38.1 35.4	2.45 (1.37)	0.95	

各塗装系の評価点中、上段は鋸止めまで、中段は上塗りまでの防食性能、下段は付着性能を示す。また防食指數中、上段は鋸止めまで、カツコ内は上塗りまで。

表 2.1.13 外舷部塗装系の一元配置法による分散分析F検定表(各塗装系間の比較)

塗装系	油性LZ, LZ I 標準型	ビニール1号型 特殊瀝青型および エポキシRL型	エポキシ1号型 および特殊油性型	エポキシ コールタール型
油性LZ, LZ I 標準型		157.20** 12.07**	18.01** 7.13*	896.00** 33.03**
ビニール1号型 特殊瀝青型および エポキシRL型	0.16		0.70 0.19	1.00 0.00
エポキシ1号型 および特殊油性型	1.13	1.27		1.67 0.28
エポキシ コールタール型	0.48	0.75	0.08	

○右上半分：防食性能を比較した場合の F_0 の値○左下半分：付着性能を比較した場合の F_0 の値○ $F_0 > 9.33$ の場合 99%で有意**○ $F_0 > 4.75$ の場合 95%で有意*○ $F_0 < 4.75$ の場合 有意差が認められない。

表 2.1.14 デツキ部塗装系性能比較試験結果および防食、付着指數表

塗装系	防食性能および付着性能評価点 (銘柄別)									平均点	防食指數	付着指數
	9.0	14.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	1.00			
油性 LZ 標準型	27.0	23.0	19.0	22.0	28.0	32.0	21.0	24.6	1.00	1.00	(1.00)	
	35.0	41.0	24.0	14.0	41.0	44.0	47.0	35.1				
エポキシ型	23.0	14.0	20.0	22.0	14.0	19.0	17.0	18.4	1.67	0.82	(1.45)	
	38.0	27.0	43.0	41.0	35.0	29.0	36.0	35.6				
	34.0	33.0	21.0	22.0	33.0	30.0	29.0	28.9				
ビニール 1 号型 および特殊油性型	24.0	7.0	17.0	19.0	7.0	12.0	20.0	15.1	1.37	0.95	(1.53)	
	48.0	34.0	42.0	34.0	23.0	39.0	43.0	37.6				
	45.0	29.0	41.0	22.0	23.0	34.0	39.0	33.3				
(下塗り) ビニール 1 号 (中塗り) 油性 LZ 型	23.0	15.0	15.0	16.0	15.0	11.0	12.0	15.3	1.39	0.91	(1.08)	
	25.0	32.0	32.0	28.0	21.0	21.0	27.0	26.6				
	14.0	38.0	28.0	37.0	35.0	30.0	43.0	32.1				

各塗装系の評価点中、上段は錆止めまで、中段は上塗りまでの防食性能、下段は付着性能を示す。防食指數中、上段は錆止めまで、カッコ内は上塗りまで。

表 2.1.15 デツキ部塗装系の一元配置法による分散分析 F 検定表 (各塗装系間の比較)

塗装系	油性 LZ 標準型	エポキシ型	ビニール 1 号型 および特殊油性型	(下) ビニール 1 号型 (中) 油性 LZ 型
油性 LZ 標準型		25.27** 15.24**	2.60 13.56**	7.46* 0.67
エポキシ型	1.61		1.33 0.28	2.48 10.20**
ビニール 1 号型 および特殊油性型	0.11	1.26		0.00 9.71**
(下) ビニール 1 号型 (中) 油性 LZ 型	0.27	0.64	0.05	

○右上半分：防食性能を比較した場合の F_0 の値

○左下半分：付着性能を比較した場合の F_0 の値

○ $F_0 > 9.33$ の場合 99% で有意**

○ $F_0 > 4.75$ の場合 95% で有意*

○ $F_0 < 4.75$ の場合 有意差が認められない。

表 2.1.16 上構部塗装系性能比較試験結果および防食、付着指數表

塗装系	防食性能および付着性能評価点 (銘柄別)									平均点	防食指數	付着指數
	4.0	9.0	10.0	9.0	12.0	7.0	7.0	8.3	1.00			
油性 LZ 標準型	19.0	21.0	16.0	22.0	17.0	20.0	19.0	19.1	1.00	(1.00)		
	21.0	41.0	24.0	18.0	31.0	26.0	25.0	26.6				
アクリル型および RL 型、WL 型	20.0	7.0	14.0	7.0	19.0	15.0	15.0	14.1	1.70	1.08	(1.50)	
	34.0	19.0	25.0	32.0	31.0	28.0	28.0	28.1				
	31.0	22.0	35.0	26.0	23.0	30.0	33.0	28.6				
ビニール 1 号型 およびその他	15.0	4.0	15.0	10.0	3.0	11.0	10.0	9.7	11.7	1.31	(14.3)	
	37.0	29.0	32.0	29.0	15.0	22.0	27.0	27.3				
	47.0	32.0	32.0	42.0	16.0	40.0	35.0	34.9				
(下) ZIE	10.0	4.0	3.0	9.0	4.0	11.0	2.0	6.1	0.73	1.09	(0.75)	
	16.0	17.0	12.0	15.0	13.0	17.0	11.0	14.4				
(中) 油性 LZ 型	20.0	23.0	38.0	37.0	22.0	39.0	24.0	29.0				

各塗装系の評価点中、上段は錆止めまで、中段は上塗りまでの防食性能、下段は付着性能を示す。防食指數中、上段は錆止めまで、カッコ内は上塗りまで。

表 2.1.17 上構部塗装系の一元配置法による分散分析 F 検定表（各塗装系間の比較）

塗装系	油性 LZ 標準型	アクリル型および RL 型, WL 型	ビニール 1 号型 およびその他	(下) ZIE (中) 油性 LZ
油性 LZ 標準型		8.17* 19.14**	0.49 8.48*	1.58 14.92**
アクリル型および RL 型, WL 型	0.34		3.03 0.07	12.23** 42.34**
ビニール 1 号型 およびその他	3.07	2.22		2.45 20.59**
(下) ZIE (中) 油性 LZ 型	0.32	0.01	1.40	

○右上半分：防食性能を比較した場合の F_0 の値

○左下半分：付着性能を比較した場合の F_0 の値

○ $F_0 > 9.33$ の場合 99%で有意**

○ $F_0 > 4.75$ の場合 95%で有意*

○ $F_0 < 4.75$ の場合 有意差が認められない。

2. 2 エポキシジンクリツチプライマにおける上塗性改善に関する研究

（電気防食効果のあるショットプライマの塗装法の研究）

2. 2. 1 まえがき

最近新造船船の塗装に際し、ショットブラスト施工後エポキシ樹脂を展色剤とし、これに亜鉛末を配合したエポキシジンクリツチプライマがショットプライマとして使用される傾向が高まっており、現在一般に用いられている長期バクロ型ウォツシユプライマに代わり今後汎用される気運にある。

一般にショットプライマの必要特性としては、

- (1) 作業性が良く速乾性であること。
- (2) 塗膜の耐候性が良いこと。
- (3) 鋼材に対する付着性が良好でしかも各種の上塗塗膜に悪影響をおよぼさないこと。
- (4) 溶断、溶接などの加工に悪影響を与えないこと。

などが挙げられる。

エポキシジンクリツチプライマは防錆顔料として金属亜鉛末を多量に含むので、船底部のように常に海水に接する環境下においては、金属亜鉛による陰極防食作用により、船底上塗塗膜にフクレなどの塗膜欠陥を生ずる恐れがあり、現状では船底部に対するジンクリツチプライマの使用実績は比較的少なく、船底塗料の選択には慎重を要する。

このためエポキシジンクリツチプライマが船底塗膜など上塗塗膜に対する付着性、塗膜劣化傾向につき調査するとともに上塗りの改善性について検討を行なつた。

2. 2. 2 市販エポキシジンクリツチプライマの種類

現在市場にでているエポキシジンクリツチプライマの銘柄は多数にのぼつているが、これら市販品20種類について乾燥塗膜中の亜鉛含有量など塗膜組成を調査した結果は図 2.2.1 に示すとおりで、乾燥塗膜組成から大別すると、表 2.2.1 に示すようにジンクリツチ型とジンクダスト型に分類され、ジンクダスト型はさらに 3 種類に区分される。

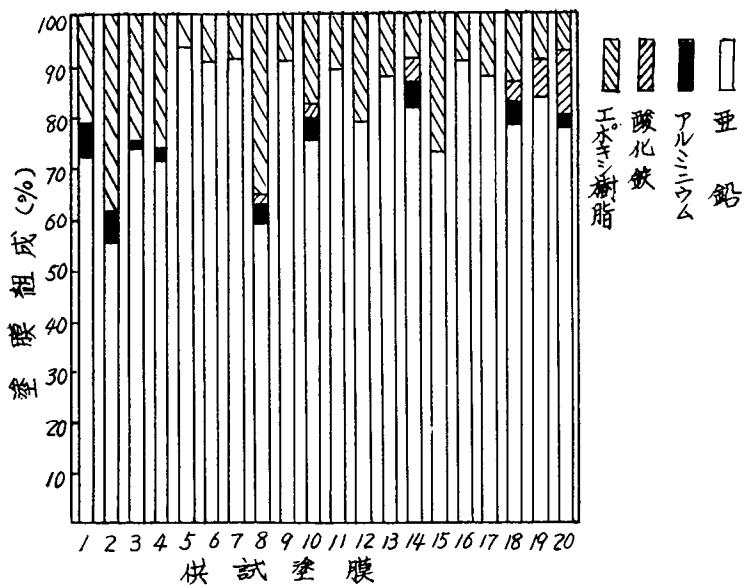


図 2.2.1

表 2.2.1 エポキシジンクプライマの種類

区分	乾燥塗膜組成
ジンクリツチ型	いわゆる高濃度亜鉛末塗料と言われる型で、亜鉛90%以上、残部エポキシ樹脂の塗膜を形成する。
	亜鉛70~80%，残部エポキシ樹脂の塗膜を形成する。
ジンクダスト型	亜鉛70~80%以外にアルミニウム粉末数%を添加、残部エポキシ樹脂の塗膜を形成する。
	亜鉛70~80%以外にアルミニウム粉末および酸化鉄をそれぞれ数%添加、残部エポキシ樹脂の塗膜を形成する。

2.2.3 試験項目および試験方法

(1) エポキシジンクプライマ単独膜の耐候性および鋼板に対する付着性試験

エポキシジンクプライマをサンドブラストした鋼板に塗装、室内10日放置後および屋外に4か月間曝露した後下記の付着性試験を行なう。

ゴバン目試験、屈曲試験、衝撃試験

なお上記試験は長期曝露型ウォツシユプライマについても実施する。

(2) 船底1号塗膜など上塗塗膜に対する影響試験

サンドブラストした鋼板にエポキシジンクプライマを塗装後、1か月および3か月間試験板を屋外に曝露した後、船底1号塗膜ならびに各種上塗塗膜を塗装、上塗塗膜に対する付着性、防錆効果におよぼす影響を試験した。

なお防錆効果におよぼす影響は塩水噴霧試験によつた。

(3) 水線部塗装系に対する影響試験

サンドblastした鋼板にエポキシジンクプライマを塗装後、屋外に3か月間曝露し、船底1号塗料、エポキシ樹脂系塗料を塗装、さらに水線塗料を塗装し下記の条件で乾湿交番試験を実施した。

1週間屋外曝露後1週間3%食塩水に没漬する操作を1サイクルとし4サイクル実施。

(4) 船底塗装系に対する影響試験

サンドblastした鋼板にエポキシジンクプライマを塗装、2か月間屋外に曝露し、船底1号塗料、エポキシ樹脂系塗料を塗装、さらに船底2号塗料を重ね塗りし、海中に3か月没漬した。

2. 2. 4 試験結果

(1) エポキシジンクプライマ単独膜の耐候性および鋼板に対する付着性試験結果

表2.2.2に示すようにエポキシジンクプライマの耐候性は長期曝露型ウォツシユプライマに比し防錆効果は優れていますが、耐候性は良好である。

また鋼板に対する付着性は銘柄によって可撓性のやや劣るものも存在したが、長期曝露型ウォツシユプライマに比し遜色はなく、屋外曝露によつても一部銘柄は耐衝撃性の低下したものも認められたが、付着性の低下は著しくない。

(2) 船底1号塗膜など上塗塗膜に対する影響試験結果

(a) 船底1号塗膜など各種上塗塗膜に対する付着性

試験結果は表2.2.3～2.2.4に示すとおりで、油性、ビニル系などの各種船底1号塗膜およびエポキシ樹脂系塗膜などに対する付着性は比較的良好である。ただし塩水に没漬後の付着性はエポキシジンクプライマおよび上塗塗膜の種類によつてはかなり低下するものも認められた。

表2.2.2 各種プライマの付着性および屋外曝露試験結果

供試プライマ種類	鋼板に対する付着性試験結果						(曝露期間: 4か月)	
	室内10日間放置後			屋外4か月間曝露後				
	ゴバン目	屈曲	衝撃	ゴバン目	屈曲	衝撃		
エポキシジンクプライマ	A	○	○	○	○	△	発錆その他の欠陥なし	
	B	○	△	○	○	×	点状錆わずか発生	
	C	○	○	○	○	○	発錆その他の欠陥なし	
	D	○	△	○	○	×	"	
	E	○	△	○	○	○	点状錆わずか発生	
	F	○	○	○	○	○	発錆その他の欠陥なし	
	G	○	○	○	○	○	"	
長期曝露型ウォツシユライマ	a	○	○	○	○	△	ハケ目に沿つて若干発錆	
	b	○	○	○	○	○	点状錆わずか発生	
	c	○	○	○	○	○	ハケ目に沿つて発錆少	
	d	○	○	○	△	○	"	
	e	○	○	○	△	△	ハケ目に沿つて発錆多し	
	f	○	○	○	△	×	"	

なおジンクリツチ型とジンクダスト型の上塗塗膜に対する付着性の影響は明確な差は認められなかつたが、ジンクダスト型の方がやや良好な傾向を示した。

(b) 船底1号塗膜、エポキシ樹脂系塗膜に対する防食性の影響

各種船底1号塗膜、エポキシ樹脂系塗膜に対する防食性および上塗塗膜に対する劣化傾向を試験した結果は表2.2.3に示すとおりである。

油性船底1号塗膜はフクレの発生傾向がやや著しく、特にジンクダスト型よりジンクリツチ型の方が劣化作用が大きい。

ビニル系は油性系に比しフクレの発生は少なく、タールエポキシおよびエポキシ樹脂塗料は塗膜の欠陥は認められなかつた。

(3) 水線部塗装系に対する影響試験結果

エポキシジンクプライマに各種船底1号塗料および油性、ビニル系水線塗料を重ね塗りし、乾湿交替試験を行ない、エポキシジンクプライマの上塗塗膜に対する影響を調査した結果、各塗装系とも塗膜欠陥は認められなかつた。

(4) 船底部塗装系に対する影響試験結果

表2.2.3 各種A/Cに対する付着性、防食性における影響

試験片 No.	供試塗装系 プライマの種類	上塗りA/Cの種類	付着性試験 ゴバン目衝撃		塩水噴霧試験 5%塩水、1000Hr
1	長期曝露型ウォツシユープライマ	油性A/C	○	○	点状錆若干発生
2	"	"	○	○	"
3	エポキシジンクリツチ型	"	○	△	小フクレ(1mmφ以下) 多数
4	"	"	△	△	"
5	"	"	○	○	小フクレ(1mmφ以下) 小数
6	エポキシジンクダスト型	"	○	○	小フクレ(1mmφ以下) わずか
7	"	"	○	○	異状なし
8	"	"	○	△	"
9	エポキシジンクリツチ型	ビニルA/C	○	○	小フクレ(1mmφ以下) わずか
10	"	"	○	△	異状なし
11	エポキシジンクダスト型	"	○	○	"
12	"	"	○	○	"
13	エポキシジンクリツチ型	コールタールエポキシ塗料	○	△	"
14	"	"	○	○	"
15	エポキシジンクダスト型	"	○	△	"
16	"	"	○	△	"
17	エポキシジンクリツチ型	エポキシ樹脂塗料	○	○	"
18	"	"	○	○	"
19	エポキシジンクダスト型	"	○	○	"
20	"	"	○	△	"

ジンクリツチ型エポキシジンクプライマに油性系船底塗料を塗装した塗装系のうち、1種類に径1mm程度の小フクレが認められた以外、他の塗装系は特に欠陥は認められなかつた。

表 2.2.4 各種上塗りに対する付着性試験結果

エポキシジンク プライマ種類	上塗塗料 試験条件	コールタール エポキシ樹脂 塗料		油性系船底 1号塗料		タールエマル ジョン塗料		油性錆止め塗 料(L/Z型)		アルミニウム ペイント	
		D	W	D	W	D	W	D	W	D	W
ジンクリツチ型		◎	×	○	○	○	×	○	○	◎	○
		◎	◎	○	○	◎	◎	○	△	○	○
		◎	◎	○	○	◎	○	△	×	◎	×
		◎	×	◎	○	○	○	○	◎	○	○
乾燥塗膜中に亜鉛を 90%以上含む		○	×	△	△	○	○	△	×	○	×
		◎	△	◎	○	◎	◎	○	○	○	○
		◎	×	○	○	○	×	△	×	○	×
		◎	×	◎	○	○	○	○	○	○	×
乾燥塗膜中に亜鉛を70~80%含む		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		◎	×	△	△	○	×	○	×	○	×
		◎	△	○	○	○	○	○	○	○	○
		◎	×	○	○	○	○	○	○	○	○
ジンクリツダスト型	乾燥塗膜中に亜鉛を70~80%含み, その他アルミニウム粉末を数%含む	△	×	△	△	△	△	○	×	○	×
		△	×	△	△	○	○	○	○	○	○
		△	×	△	△	○	○	○	△	○	×
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ト	乾燥塗膜中に亜鉛を70~80%含み, その他アルミニウム粉末, 酸化鉄 を数%含む	△	×	△	×	△	○	△	×	○	×
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

備考：試験条件 D 1か月屋外曝露後上塗→乾燥
W " → 7日後に3%食塩水に80日間没漬 } 後ゴバン目試験実施
ただしゴバン目は3mm

2.2.5 試験結果の総括

以上試験結果を総合すると、

- (1) 市販エポキシジンクリツチプライマは乾燥塗膜の組成からジンクリツチ型とジンクリツダスト型に大別される。
- (2) エポキシジンクリツチプライマの耐候性は長期曝露型ウォツシュプライマに比し優れ、鋼材に対する付着性も一部鉻柄を除き良好である。
- (3) 船底塗料など上塗り塗膜に対する付着性は塩水没漬によりプライマ、上塗塗料の鉻柄によつてはかなり低下するものも存在した。

また油性船底塗料を上塗りした場合には、亜鉛末を高濃度に含むジンクリツチ型はフクレの発生傾

向が著しい。しかしジンクダスト型の場合には塗膜劣化は少ない傾向が認められた。なお上塗りがビニル系の場合にはフクレの発生は軽微で、コールタールエポキシ樹脂塗料、エポキシ樹脂塗料では全く欠陥は認められなかつた。

2. 2. 6 結 論

船舶の船底部など没水部を対象としてエポキシジンクリツチプライマの適用性を検討し、次の結論が得られた。

- (1) 船底没水部に対しては、亜鉛を高濃度に含むジンクリツチ型より、亜鉛濃度を多少低下し、アルミニウム、酸化鉄などを含むジンクダスト型を使用することにより船底塗膜に対する劣化作用は軽減され、上塗性も改善される。
- (2) 船底上塗塗料にはコールタールエポキシ樹脂塗料のように耐水性の優れた塗膜を中塗りすることにより上塗塗膜に生ずるフクレなどの欠陥を防止することができる。

2. 3 エアレス・スプレイ塗装法の研究

2. 3. 1 ま え が き

船体外板、タンク類などの防食塗装においては従来ほとんどハケまたはローラ塗装が汎用され、その塗装費の大半が人工費で占められている。これに対しエアレススプレイ塗装方式は塗装回数を減らし大幅に塗装工数の節減をなしうるので、これの実用化の諸条件の確立を図るとともにエアレススプレイ塗装による形成塗膜の耐久性について検討を加える。

2. 3. 2 塗料メーカーおよび造船所からのアンケート

(1) 塗料メーカーからのアンケートとりまとめ結果

- (a) 各造船所所有のエアレススプレイ装置に適応した各塗料を供給する態勢にあるようである。
- (b) 各塗料メーカーで推奨する各塗料のエアレススプレイ塗装条件の概略は表2.3.1のようである。

表 2.3.1 各塗料メーカー推奨のエアレススプレイ塗装条件

項 目	ショットププライマ	普通粘度塗料	高粘度塗料
塗料稠度 (フォードカップ #4秒)	10~20	40~100	
吐 出 量 (ml/分)	600~1300	610~1300	1000~2000
吐 出 圧 (kg/cm ²)	100~150	100~150	>150
パ タ ー ン 幅 (mm/30cm)	200~450	200~360	200~400
ガ ン 移 動 速 度 (m/分)	20~70	20~70	20~60
塗 付 量 (g/m ²)	80~140	90~170	170~350
塗 厚 (μ)	13~30	30~50	80~250

(2) 造船所からのアンケートとりまとめ結果

- (a) 数社造船所を除きエアレススプレイ塗装を全船に採用するまでに至つておらず、その多くは実用試験段階にあるようである。
- (b) 塗装条件も各社まちまちで、塗装工数節減に重点をおき使用しているようである。

表 2.3.2 各造船所所有エアレススプレイ機 (39.11 現在)

造船所		造船所		造船所	
石 播 (東京)	7	笠 戸	4	日 立 (向 島)	5
" (相 生)	25	浦 賀	24	" (因 島)	22
日 鋼 (浅 野)	11	大 阪 造 船	10	三 菱 (横 浜)	12
" (清 水)	14	佐 世 保	14+(7)	" (広 島)	6
新 潟 鉄 工	2	三 井 (玉 野)	32	" (長 崎)	8
川 重	31	日 立 (桜 島)	6	" (神 戸)	22

(注) () は手配中

表 2.3.3 各造船所のエアレススプレイ実船塗装条件

項目	ショットブプライマ	普通粘度塗料	高粘度塗料
塗料稠度 (フォードカップ #4秒)	14~50	21~120	
吐 出 量 (ml/分)	800~2300	400~2000	800~1600
吐 出 圧 (kg/cm ²)	80~160	80~170	110~170
パ タ ー ン 幅 (mm/30cm)	200~950	250~550	200~500
塗 装 距 離 (mm)	250~400	300~500	300~500

2.3.3 エアレススプレイ塗装に関する試験

(1) 本試験使用のエアレススプレイ塗装機

グラコスプレイMS-5型

ノズルチップ

チップ No.(163—)	513	515	517	519
理論吐出量 (ml/分)	610	800	1020	1290
" パターン幅 (mm/30cm)	250~310			

(2) 試験結果

代表的な測定例(一例)を次に示す。

(a) 塗料塗装条件

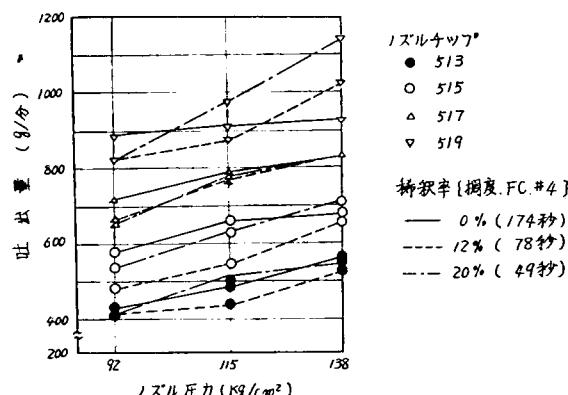


図 2.3.1 ノズルチップ、稀釀率、吐出圧および吐出量の関係(一例)

表 2.3.4 各種塗料(粘度)の吐出量(g/分)

塗料 ノズル チップ No.	油性 A/C 粘度 kg/cm ²	油性 A/C			ビニル A/C						エポキシ			タールエポキシ		
		77			174			78			68			64		
		92	115	138	92	115	138	92	115	138	92	115	138	92	115	138
513	400	520	584	426	486	556	418	436	526	500	608	656	344	464	546	
515	524	596	744	576	654	680	484	542	658	692	792	860	504	588	672	
517	760	856	968	720	788	830	660	768	828	904	1024	1112	580	712	840	
519	1060	1140	1228	882	1006	1024	818	968	1016	1146	1300	1440	782	916	1054	

(注) 粘度はフォードカツプ #4 の値(秒)

(b) 各種塗料とパターン幅

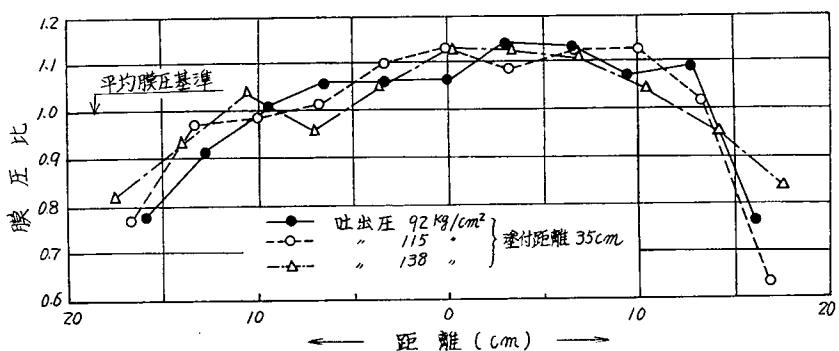
表 2.3.5 各種塗料とパターン幅

(一例)

塗料	粘度FC #4(秒)	吐出圧 ノズルチップ	115kg/cm ²			
			513	515	517	519
油性 A/C	70~75		405 mm	445 mm	470 mm	390 mm
ビニル A/C	80~85		330	350	355	340
長油性フタル酸	58		280	390	410	390
エポキシ	65~70		200	300	340	340
タールエポキシ	60~65		280	410	310	355

上表でみられるように、同一塗料条件にあつても塗料の種類によりパターン幅はかなり相違する。

(c) 膜厚と膜厚分布



(注) 塗料:油性 A/C, 稀釈率: 0%, チップ: 519

図 2.3.2 エアレススプレー塗装による膜厚分布(一例)

適正なエアレススプレー塗装による膜厚分布は図 2.3.2 に示すように他塗装方式に比べてやや山高であり、均一性には富むが形成される塗膜の膜厚は塗料組成、塗付量により異なる。

スプレー塗装における平均膜厚の基本式は次のような。

$$t = \frac{Q(1-\alpha)}{b \cdot V \cdot \delta} \quad \text{ただし } t = \text{理論膜厚 (cm)}$$

 $Q = \text{吐出量 (g/sec)}$ $\alpha = \text{スプレイロス (\%)}$

b =パターン幅 (cm)

V =スプレイ速度 (cm/sec)

δ =乾燥塗膜の密度 (g/cm³)

したがつてエアレススプレイ塗装では特に塗装条件により膜厚が左右される。

(d) エアレススプレイ塗装速度

本塗装方式により下記条件で塗装した場合の理論所要時間を上式を用いて求めると約7分程度となる。

塗装面積	100m ² ,	乾燥塗膜密度	1.3 g/cm ³ ,
1回塗装膜厚	50μ,	吐出量	1000 g/min,
スプレイロス	5%,	有効パターン幅	30 cm,

上式でも分るように吐出量、パターン幅の大きいノズルを用いることによりさらに理論塗装所要時間を短縮しうるが、実際には作業員、機器の位置移動などによりこれを上回る時間をする。

(e) 限界ガソリン移動速度測定結果

表 2.3.6 限界ガソリン移動速度(一例)

条件		吐出圧 138 kg/cm ² , チップ 519, 距離 35 cm		
項目	塗料	油 料 A/C	ビニル A/C	エポキシ
最高 ガソリン速度 (mm/s)		480	515	640
最低		110	115	135
(粘度フォードカッブ#4秒)		77	108	68
吐出量 (g/min)		1228	1000	1440

以上の試験結果に基づき考察するとともに、試験塗装に関して気付いた点は次のようである。

- ハケ塗り程度の粘度 (F C #4で160秒程度) でもエアレススプレイ塗装 (吐出圧: 92~138 kg/cm³, チップ: 513~519) は可能であるが、タールエポキシのように粘弾性の大きい塗料は更に粘度を落すか、吐出圧をあげ、ノズル口径の大きいものを使用する要がある。
- エアレススプレイ塗膜は均一性に富むが、塗料の種類により同一塗装条件にあつてもパターン幅はかなり相違する。塗装時の塗膜のラップは連続形成膜幅の $1/8 \sim 1/10$ 程度でよい。
- エアレススプレイ塗装方式による理論塗装速度は約7分/100m²台とハケ、ローラ塗装に比し著しく短時間で塗装ができる。
- なお、一般ハケ塗り塗料でも塗装は可能であるが、連続塗装を行なうためには、顔料はより微細化したものの方が有利である。また塗料へのゴミの混入は極力防止するとともに塗装前後の清掃点検を十分に行なう要がある。

2.3.4 エアレススプレイ塗装とハケ塗装との塗膜性能試験

油性A/C, タールエポキシ塗料について、エアレススプレイおよびハケ塗装塗膜の付着性は両者とも良好であつた。なお塗装回数、膜厚の相違による塗膜耐久性試験は、下記のように調製した試験板を3%食塩水中に常温浸漬して実施したが、40日経過後もいずれも変化がなかつた。したがつてエアレススプレイ塗装方式により塗装回数を1回削減しても従来のハケ塗り回数で得られる膜厚を有する

ならば、耐久性は実用上支障ないものと思われる。

表 2.3.7 試験板の塗装回数と膜厚

油 性 A/C			タールエポキシ		
組	エアレス	ハケ	組	エアレス	ハケ
1	65(1), 71(1)	68(2)	1	62(1), 55(2)	66(1),
2	76(1), 80(2)	88(2)	2	163(2), 155(3)	144(2),
3	106(2), 112(2)	98(3), 108(3)	3	496(3), 580(3)	512(3), 546(3) 568(4), 780(5)

(注) 数字は膜厚 μ , () は塗装回数

2.3.5 実船適用試験

(1) 当所建造 941 番船のエアレススプレイ塗装実績

- ① 使用台数および作業員数：2台／4人
- ② 塗料：Red Hand 社 Latenac Sealer 506 Light
- ③ エアレススプレイ塗装機：旭大隅AOS型
- ④ ノズルチップ：20C-11 (パターン幅 27.9 cm/25 cm, 吐出量 1000 ml/分)
- ⑤ 塗装吐出圧力：130 kg/cm²
- ⑥ 膜厚：35 μ

上記実績値から、従来採用されているハケおよびローラ塗装と作業能率を比較し、表 2.3.8 に示す。

表 2.3.8 各塗装法の塗装能率

項目	エアレススプレイ塗装	ローラ塗装	ハケ塗装
塗装面積	2500m ²		
塗装工数	36 h + 8 h (2台の機器保守に要する工数)	83 h	125 h
時間当たり施工面積	57m ²	30m ²	20m ²

(2) 千鳥丸エアレススプレイ塗装実績

- ① 使用台数および作業員：1台／2人
- ② エアレススプレイ塗装機（チップ）：グラコーMS5型 (719)
- ③ 塗料および塗装条件：表 2.3.9 に示す。

表 2.3.9 千鳥丸塗装実積

メカ	塗 料	塗装日 (月/日)	シンナ 添加量 (Wt%)	粘度 (F C #4) (秒/ $^{\circ}$ C)	塗付量 (kg/17m ²)	吐出圧 (kg/cm ²)	塗装時間 (分/17m ²)	備考
中 国	ビスコンAC・AL	6/8	7	164/28.7	4.5	115	6	右 舷
	"	6/9	7	167/28.0	4.3	99	8	
	A/F AAL	6/11	5	34/27.5	4.0	92	5	
	"	6/11	5	35/26.4	4.2	97	5	
	"	6/12	5	38/23.5	3.7	95	6	

関	エポシールEH	6/8	5	230/32.8	4.0	92	5	左
	A/F KF-3	6/10	5	39/30.6	3.8	88	9	
ペ	A/F KF-1	6/11	0	15/27.9	3.3	76	5	
	"	6/12	3	20/24.5	3.6	83	5	舷

(注) 千鳥丸塗装系(サンドブラスト施工, Near-White Metal Blast)

右舷: エピコンジンクリツチプライマB×1+ビスコンAC, AL*×1+同左×2+A/F AAL×3

左舷: SDジンクリツチZEプライマ×1+エポシールLH*×1+同EH×1+A/F KF-3×1

+A/F KF-1×2

* - 一部はハケ塗り

なお参考までに川崎重工業㈱での塗装実績を表2.3.10に示す。

表2.3.10 エアレススプレイ塗装による各種塗料の塗装実績

塗 料	膜 厚 (μ)	吐 出 圧 (kg/cm ²)	チ ツ プ 口 径 (mm)	作 業 量 (m ² /台・h)*
ショツブプライマ	Z/P 20	150	0.43	2000~3000m ² /日
	W/P 15	150	0.43	〃 **
船底塗料(油性A/C, A/F)	25, 30	140	0.48	66
水 線 塗 料(油 性)	25	140	0.48	50
外 舶 塗 料(マリンタイプ)	25	140	0.48	34
上部構造物塗料(")	25	140	0.48	34
タ ン ク 塗 料(ビ ニ ル)			0.48	40

(注) 作業量 * 塗装機1台に2人

** 自動塗装

2.3.6 結 論

以上エアレススプレイ塗装条件および本塗装による塗膜性能などについて検討を加えた結果次の結論をうることができた。

(1) 一般船底塗料程度の粘度(ハケ塗り用)でも十分塗装可能であるが、連続塗装を行なう場合塗料をより微細化した塗料が望ましい。

なお、タールエポキシ塗料など塗装条件(シンナ添加、または吐出圧をあげノズル孔径を大きくするなど)をかえる要がある。

(2) 同一条件下で塗装しても塗料の種類により吐出量、パターン幅などが異なるが、ハケ・ローラ塗装塗膜に比べて均一性に富む。

エアレススプレイ塗装時の塗膜ラップ幅はパターン幅の $1/8 \sim 1/10$ 程度でよい。

(3) 正常な条件下でエアレススプレイ塗装した塗膜の性能は、ハケ塗りした塗膜の性能と遜色がない。ただ防食性にあつてはハケ塗り塗膜と同程度の膜厚が必要である。

なお実船塗装で時折り見られるように、ガンと塗装面との距離が著しく離れることもあるが、このような場合の塗膜の性能については、塗料の種類により異なると思うが今後検討を加える必要がある。

(4) ハケおよびローラ塗装に比べてエアレススプレイ塗装は極めて能率的であるが、塗装機の保守は入念に行なう必要がある。

2. 4 塗膜の電気的な測定結果

2. 4. 1 供試塗料および塗装要領

表 2.1.1 に示した塗料および塗装膜厚にもとづいて行なつた。

2. 4. 2 試験片の製作要領

(1) 試験片の寸法および材質

図 2.4.1 に示したごとくである。

(2) エッジ部のシール

試験片のエッジおよびコーナは丸く仕上げ、所定の塗装を終了したあと、測定部を残してれき青塗料で厚塗りシールした。

2.4.3 測定裝置

誘電特性測定装置 CJA-1 型 (新電子工業(株)製)

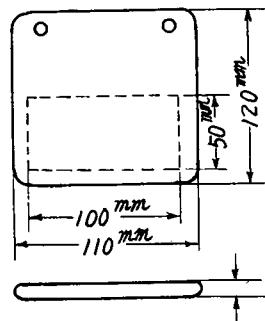


図 2.4.1 試 験 片

2. 4. 4 测定方法

塗装を終了した試験片は、所定の乾燥硬化時間を経過後、図 2.4.2 のような方法で、浸漬開始20分後の 1 kc (周波数) における R (抵抗値) および C (容量) を測定した。

測定が終つた試験片は、別に用意された人工海水水槽（常温）中に浸漬しておき、10日、1か月、2か月、6か月、12か月、18か月および24か月後にひきあげて、同じ方法で R および C を測定した。なおこの実験に使用した試験片には、2号塗料が塗装してあるので、水槽中の銅イオン濃度が、飽和状態になる以前に人工海水をとりかえた。

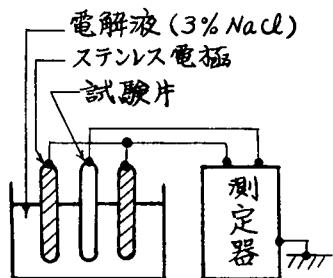


図 2.4.2 測定要領

また同じ塗装系試験片の、肉眼観測による防食性能の評価¹¹⁾ もあわせて行なつた。

2. 4. 5 測定結果のとりまとめ方法

測定された R および C は、(2.1)～(2.3) 式によつてインピーダンス、電気容量変化率および誘電損失に換算した。

1) 社団法人日本造船研究協会 昭和39年度実施研究成果概要 75-2

2) 電気化学便覧 391 (1953)

3) M.Shaw Official Digest 30,620 (1958)

$$\tan \delta = 1/2 \pi f R C^4 \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

また比較検討のため、(2.1)式による臨海実験結果の防汚性能点および第75研究部会昭和39年度研究において、採用した方法による防食性能点¹⁾（水槽実験における試験片の肉眼観察）への換算も行なつた。

以上の結果を3元配置法により分散分析⁵⁾し、F検定⁵⁾後有意な要因の寄与率⁵⁾および信頼限界⁵⁾を求めた。

2. 4. 6 各因子の寄与について

表 2.4.4～表 2.4.4に各因子の役割24か月後における寄与率を示した。それらの表における塗装系の番号は、表 2.1.1と同じである。

表 2.4.1 各因子のインピーダンスに対する
寄与率一覧表 (単位%)

塗装系		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
因子	子	—	—	—	—	—	—	—
A		—	—	—	—	—	—	—
B		74	81	89	39	84	91	97
C		—	—	5	—	—	—	—
A B		—	—	—	—	—	—	—
A C		—	—	—	—	—	—	—
B C		—	—	4	—	—	—	—
A B C		—	—	—	—	—	—	—

表 2.4.3 各因子の誘電損失に対する寄与率
一覧表 (単位%)

因子	塗装系						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	—	—	—	—	—	6	8
B	46	80	71	—	—	59	65
C	—	—	—	—	—	4	—
AB	—	—	—	—	—	10	22
AC	—	—	—	—	—	—	—
BC	—	—	—	—	—	—	8
ABC	—	—	—	—	—	—	—

表 2.4.2 各因子の電気容量変化率に対する寄与率一覧表 (単位%)

塗装系		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
因子	A	3	3	—	—	—	14	17
	B	44	36	24	—	—	39	38
	C	14	16	—	—	—	—	—
	A B	—	6	—	—	—	30	36
	A C	—	—	—	—	—	—	—
	B C	21	32	—	—	—	—	—
	A B C	—	—	—	—	—	—	—

表 2.4.4 各因子の防食性に対する寄与率一覧表
(単位 %)

因子 塗装系	溶剂系						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	—	—	—	—	4	—	—
B	85	95	86	—	23	90	98
C	—	—	—	—	18	—	—
A B	—	—	—	—	11	—	—
A C	—	—	—	—	26	—	—
B C	—	—	—	—	—	—	—
A B C	—	—	—	—	—	—	—

(1) インピーダンスと船底塗装系因子の関係

インピーダンスに対する支配的な塗装因子は1号塗料の膜厚で、その寄与率は塗装系(4)を除き約80%以上を示した。塗装系(4)は一般に交流電気抵抗値の変化率が少なく、したがつて寄与率は少ないが

4) 電気化学便覧 258 (1953)

5) 田中玄一 実験計画法 上、下巻 丸善(昭38)

支配的な要因は1号塗料の膜厚である。

(2) 交流電気容量変化率と船底塗装系因子の関係

各塗装系の電気容量変化率に対する寄与率は、1号塗料の膜厚効果が最も大きい。したがつて電気容量変化率に対する主支配的な要因は1号塗料の膜厚である。塗装系(4), (5)では変化率が少なかつたため有意な要因が検出されなかつた。また塗装系(1), (2)では1号塗料と2号塗料の交互作用および2号塗料単独の効果が、塗装系(6), (7)では1号塗料とショツッププライマの交互作用およびショツッププライマ単独の効果がそれぞれ検出された。

(3) 誘電損失と船底塗装系因子の関係

塗装系(4), (5)を除き誘電損失に対する支配的な要因は1号塗料の膜厚である。塗装系(4), (5)では変化率が少なかつたため有意な要因が検出されなかつた。また塗装系(6), (7)では1号塗料とショツッププライマ交互作用などが検出されているが、ショツッププライマの種類による効果は単独の寄与率として少ないでたいした問題ではない。

(4) 防食性と船底塗装系因子の関係

塗装系(4), (5)を除き防食性に対する支配的な要因は1号塗料の膜厚で、その寄与率は85%以上である。塗装系(4)は防食性能点の変化率が少なく、したがつて有意な要因が検出されなかつた。塗装系(5)では2号塗料の防食性に対する効果が18%検出されているが、これは2号塗膜に発生したクラックの欠点数を防食性能点から差し引いたためであり、防食性能に対する支配的な要因は1号塗料の膜厚効果であろう。

2. 4. 7 支配的な因子の関係グラフ

分散分析によつて有意であると判定された要因のなかから主支配的な因子をえらび、以下に示した。

(1) インピーダンスと1号塗料の膜厚

インピーダンスと1号塗料の膜厚、浸漬期間には、図2.4.3～図2.4.9のような関係がある。

ビニル船底塗装系および特殊れき青船底塗装系は同じような傾向を示し表2.1.1の条件B1の場合インピーダンスの低下率が大きかつた。

エポキシ船底塗装系および特殊油性船底塗装系では、1号塗料の膜厚（グラフには塗装回数で示してある）とインピーダンスの値、およびその低下率はほぼ比例した。

エポキシタール船底塗装系ではインピーダンスの低下率が小さかつた。したがつて理想的な条件で塗装が行なわれるならば、エポキシンおよびエポキシタール型船底塗料が最もすぐれていることになる。

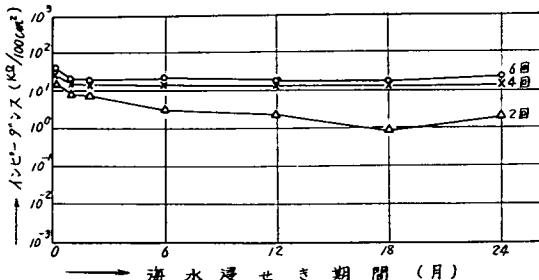


図 2.4.3 ビニル船底塗装系 (A) における
1号塗装回数とインピーダンス (1kc)

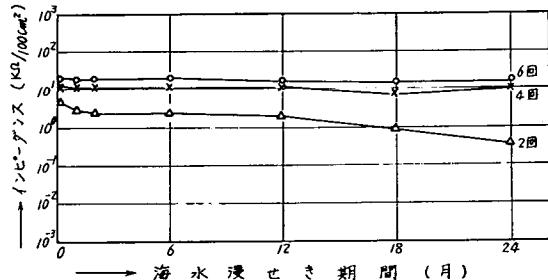


図 2.4.4 ビニル船底塗装系 (D) における
1号塗装回数とインピーダンス (1kc)

しかし Brown⁶⁾によれば塗膜性能と塗装条件の間には図2.4.10のような関係があり、エポキシおよびエポキシタル型塗装系は図のA、特殊油性および特殊れき性型塗装系はむしろ図のCの性能にちかいと考えられるので、実際の応用面では更に検討の余地がある。

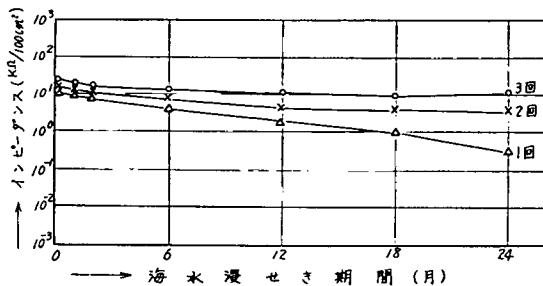


図 2.4.5 エポキシ 1号、ビニル 2号船底塗装系における 1号塗装回数とインピーダンス (1 kc)

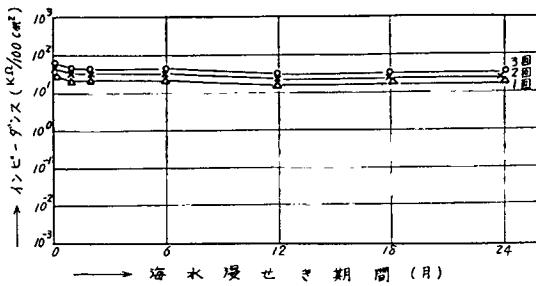


図 2.4.6 エポキシタル 1号、ビニル 2号船底塗装系における 1号塗装回数とインピーダンス (1 kc)

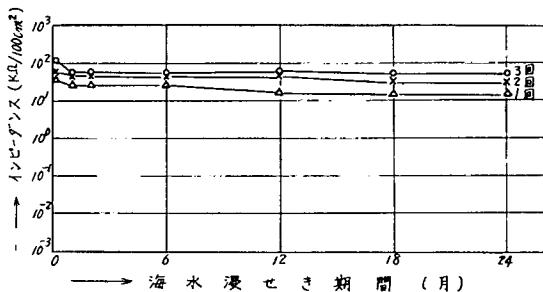


図 2.4.7 エポキシタル 1号、エポキシタル 2号船底塗装系における 1号塗装回数と交流電気抵抗値 (1 kc)

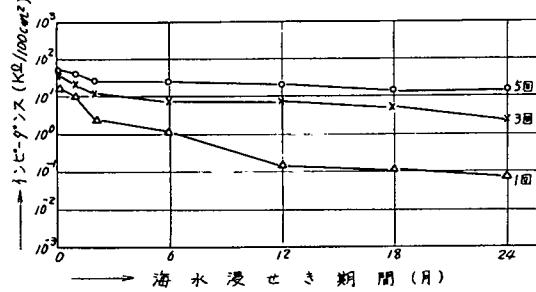


図 2.4.8 特殊油性船底塗装系における 1号塗料塗装回数と交流電気抵抗値 (1 kc)

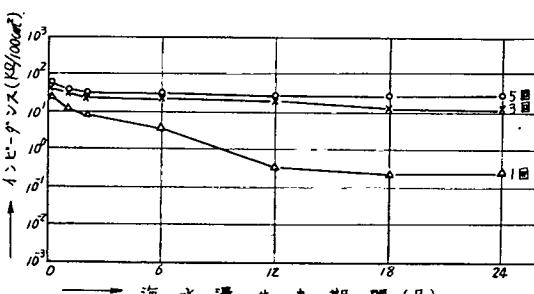


図 2.4.9 特殊れきせい船底塗装系における 1号塗料塗装回数と交流電気抵抗値 (1 kc)

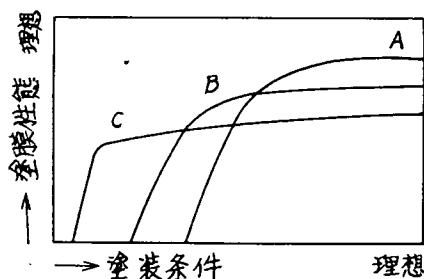


図 2.4.10 Brown の図

(2) 電気容量変化率と1号塗料の膜厚

電気容量変化率と1号塗料の膜厚（グラフでは塗装回数）の関係は図2.4.11～図2.4.17に示した。エポキシタル型塗装系を除きいずれの場合も表2.1.1の条件B 1のとき変化率が大きくなつた。条件B 2以上になると大差が認められなかつた。また特殊油性および特殊れき性船底塗装系で1号塗料の塗装回数が1回の場合、ショッッププライマの効果がありW/P型を使用したときの変化率がZ/E型より大きかつた。

エポキシタール船底塗装系では一般に電気容量変化率が小さく、有意な要因が検出されなかつたのでグラフ化しなかつた。

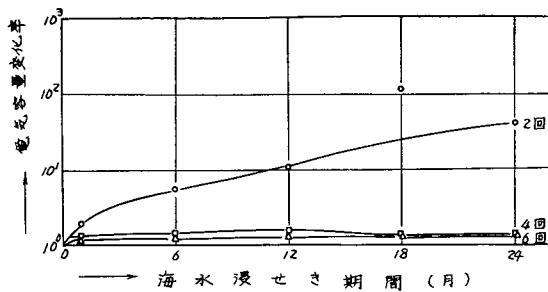


図 2.4.11 ビニル船底塗装系 (A) における 1 号塗装回数と電気容量変化率 (1 kc)

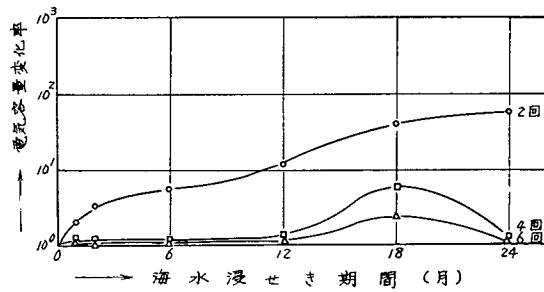


図 2.4.12 ビニル船底塗装系 (D) における 1 号塗装回数と電気容量変化率 (1 kc)

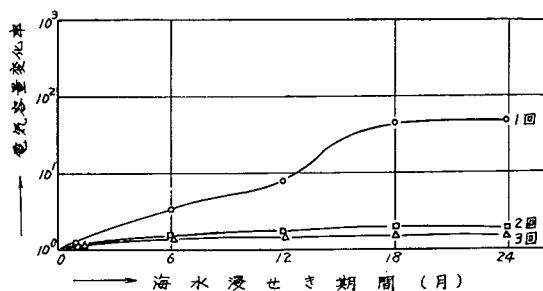


図 2.4.13 エポキシ 1 号、ビニル 2 号船底塗装系における 1 号塗装回数と電気容量変化率 (1 kc)

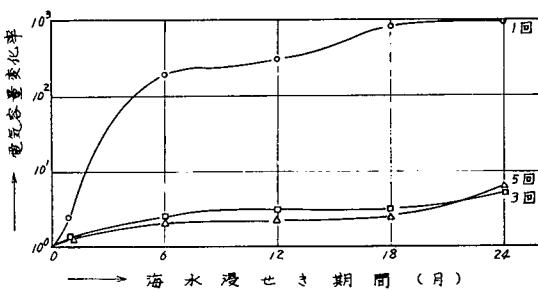


図 2.4.14 特殊油性船底塗装系においてショッッププライマに W/P を使用した場合の 1 号塗装回数と電気容量変化率

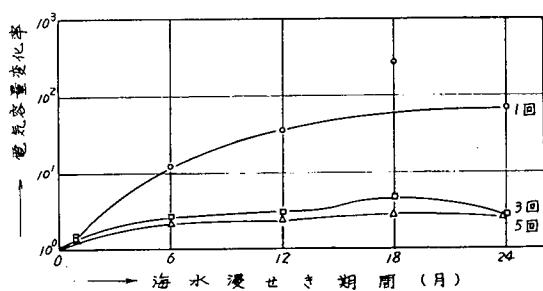


図 2.4.15 特殊油性船底塗装系においてショッッププライマに Z/E を使用した場合の 1 号塗装回数と電気容量変化率

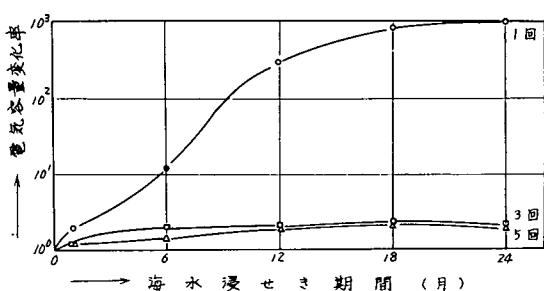


図 2.4.16 特殊れき青船底塗装系においてショッッププライマに W/P を使用した場合の 1 号塗装回数と電気容量変化率

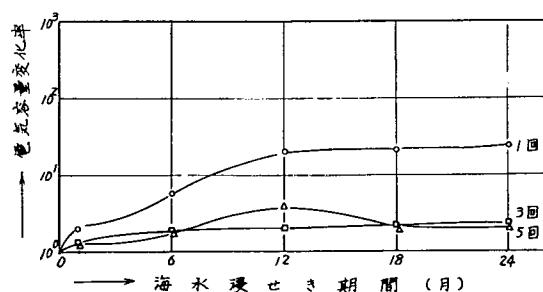


図 2.4.17 特殊れき青船底塗装系においてショッッププライマに Z/E を使用した場合の 1 号塗装回数と電気容量変化率

(3) 誘電損失と1号塗料の膜厚

誘電損失と1号塗料の膜厚（グラフでは塗装回数）の関係は図2.4.18～図2.4.22に示した。ビニル船底塗装系では条件B1のとき $\tan \delta$ の値が極端に大きくなつた。エポキシ、特殊油性および特殊れき青船底塗装系では、 $\tan \delta$ の値は1号塗料の膜厚に反比例して大きくなつた。

エポキシタール船底塗装系では一般に $\tan \delta$ の変化率が小さく、有意な要因が検出されなかつたのでグラフ化しなかつた。

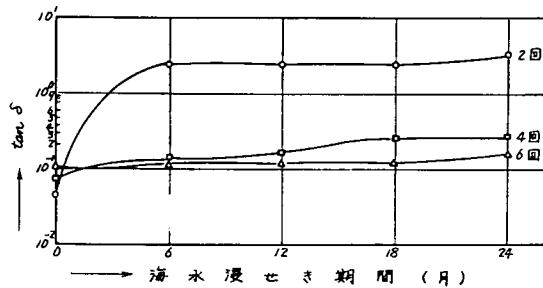


図 2.4.18 ビニル船底塗装系（A）における1号塗装回数と $\tan \delta$

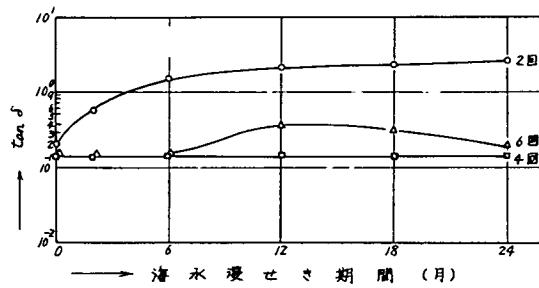


図 2.4.19 ビニル船底塗装系（D）における1号塗装回数と $\tan \delta$

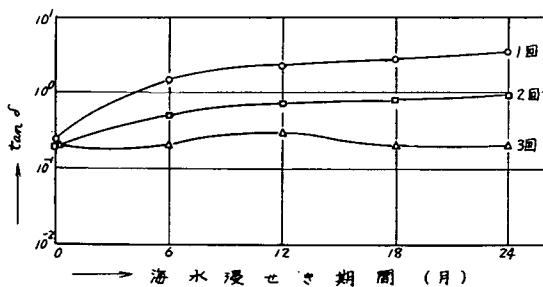


図 2.4.20 エポキシ1号、ビニル2号船底塗装系における1号塗装回数と $\tan \delta$

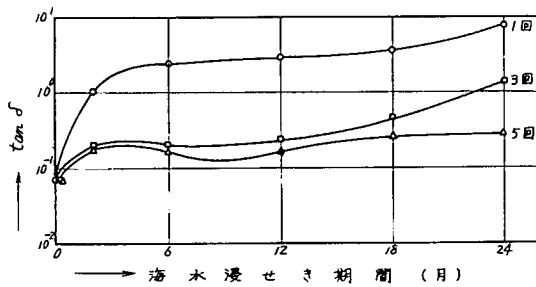


図 2.4.21 特殊油性船底塗装系における1号塗装回数と $\tan \delta$

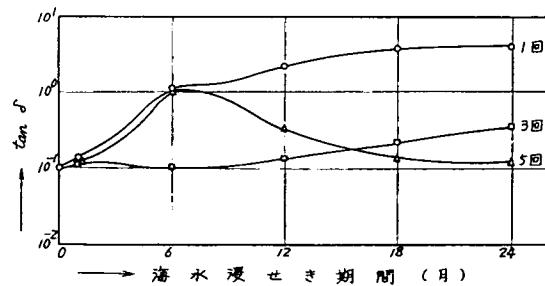


図 2.4.22 特殊れき青船底塗装系における1号塗装回数と $\tan \delta$

(4) 防食性能点と1号塗料の膜厚

防食性能点と1号塗料の膜厚（グラフでは塗装回数）の関係は図2.4.23～図2.4.29に示した。

ビニルおよびれき青船底塗装系では条件B1における性能低下が大きかつた。エポキシおよび特殊油性船底塗装系では1号塗料の膜厚と防食効果が一致した。またエポキシタール船底塗装系では防食性能の低下率が小さかつた。

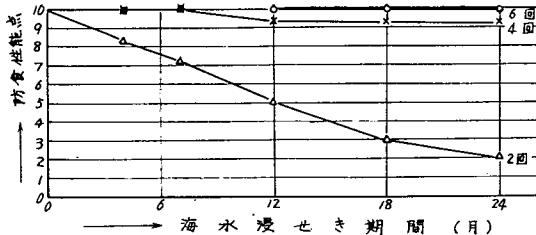


図 2.4.23 ビニル船底塗装系(A)における1号塗装回数と防腐性能点

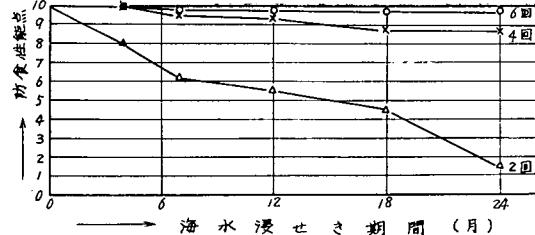


図 2.4.24 ビニル船底塗装系(D)における1号塗装回数と防腐性能点

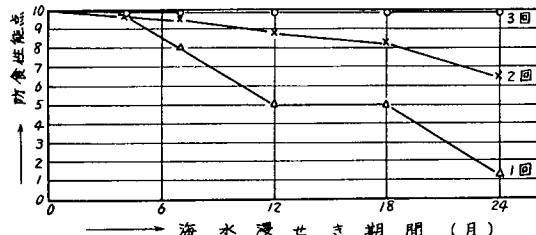


図 2.4.25 エポキシ1号、ビニル2号船底塗装系における1号塗装回数と防腐性能点

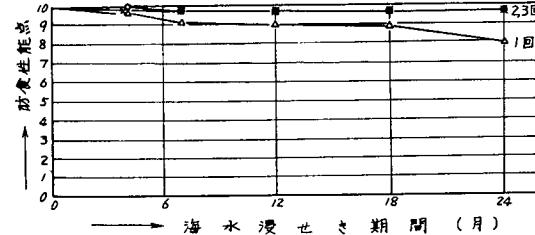


図 2.4.26 エポキシタール1号、ビニル2号船底塗装系における1号塗料の塗装回数と防腐性能点

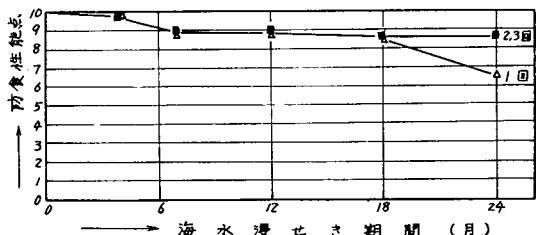


図 2.4.27 エポキシタール1号、同2号船底塗装系における1号塗料の塗装回数と防腐性能点

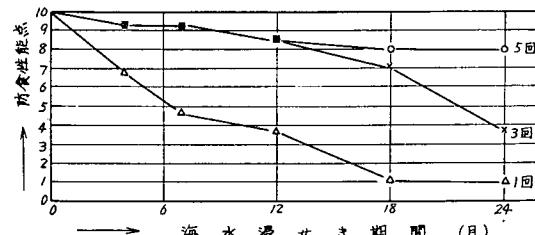


図 2.4.28 特殊油性船底塗装系における1号塗料塗装回数と防腐性能点

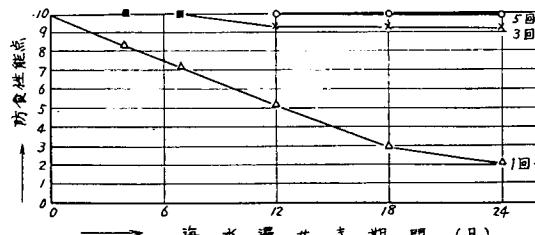


図 2.4.29 特殊れき青型船底塗装系における1号塗料塗装回数と防腐性能点

2.4.8 電気的な測定結果と実際との関連性

(1) インピーダンスと防腐性能の関係

肉眼で判定した防腐性能点とインピーダンスの経時変化の代表例は図2.4.30のとおりである。防腐性能を維持するのに必要な1kcインピーダンスの臨界値は $10^4\text{k}\Omega/100\text{cm}^2$ で、この図のC, DとC', D'およびA, BとA', B'をそれぞれ比較すればあきらかである。また海水浸漬6か月以内にインピーダンスの値が $10^4\text{k}\Omega/\text{cm}^2$ を下回る塗装系は2年間の防腐性能を維持することができない。

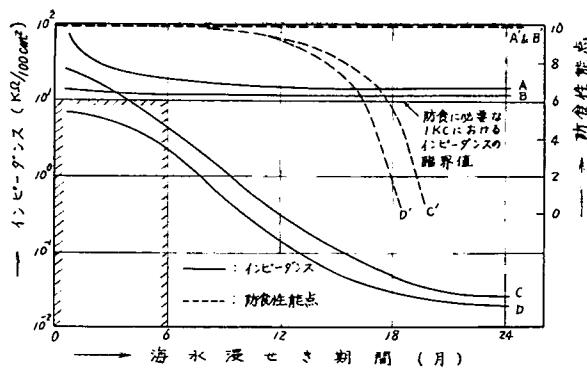


図 2.4.30 船底塗装系の 1kc におけるインピーダンス値 ($1\text{kc}, \text{k}\Omega/100\text{cm}^2$)
と内眼判定による防食性能点のモデル図

(2) 電気容量変化率と防食性能の関係

肉眼で判定した防食性能点と電気容量変化率経時変化の代表的な例は図2.4.31に示したとおりである。防食性能を維持するのに必要な 1kc における電気容量変化率は 2 以下である。この図の A, B, C と A', B', C' をそれぞれ比較すれば測定値と実際の状態に関連性のあることはあきらかである。

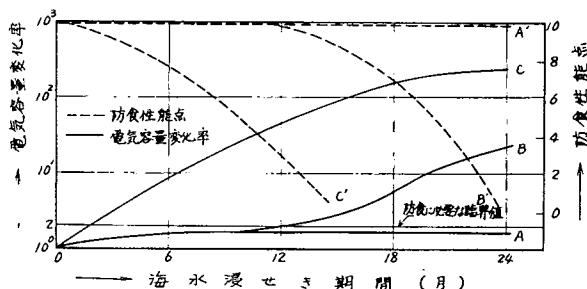


図 2.4.31 船底塗装系の 1kc における電気容量変化率と内眼判定による防食性能点のモデル図

(3) 誘電損失と防食性能の関係

肉眼で判定した防食性能点と誘電損失 ($\tan \delta$) 経時変化の代表的な例は図 2.4.32 に示したとおりである。防食性能を維持するのに必要な 1kc における $\tan \delta$ は、ビニル、エポキシおよびエポキシタール船底塗装系の場合 0.2 以下、特殊油性および特殊れき青船底塗装系の場合 0.4 以下である。A'

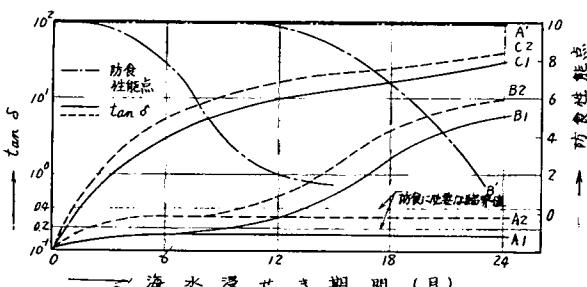


図 2.4.32 船底塗装系の 1kc における $\tan \delta$ と内眼判定による防食性能点のモデル図

A₁, B₁, C₁: ビニル 1 号, エポキシ 1 号, エポキシタール 1 号などを使用した船底塗装系

A₂, B₂, C₂: 特殊油性 1 号, 特殊れき青 1 号を使用した船底塗装系

A', B', C': A₁, A₂, B₁, B₂, C₁, C₂ に対応する各船底塗装系の防食性能点

B' , C' と $A1$, $B1$, $C1$ および $A2$, $B2$, $C2$ をそれぞれ比較すれば測定値と実際の状態に関連性のあることはあきらかである。

2. 4. 9 む す び

これまでに実施した実験の結果をまとめると船底塗装系の機能は表 2.4.5 のようになる。防汚性能に関しては 2 号塗料の膜厚効果が支配的であり、防食性能に関しては 1 号塗料の膜厚効果が支配的である。そして交流電気特性値はいずれも 1 号塗料の膜厚効果を受けるから、防食性能と密接な関係があり、防汚性能とはほとんど関連性がない。

2 年間ノードッキングに必要な 1 号および 2 号塗料の塗装回数および膜厚は表 2.4.6, 表 2.4.7 にそれぞれ示した。

表 2.4.5 船 底 塗 装 系 の 機 能

性 能 項 目	主支配的要因	支配的要因の性能 (2年間)に対する寄与率	信頼度 %	性能維持に必要な数値	備 考
防 汚 性 能	2 号塗料膜厚	60%~90%	99	—	肉眼判定
防 食 性 能	1 号塗料膜厚	85%~95%	99	—	同 上
インピーダンス	同 上	80%~90%	99	$>10^4 \text{ k}\Omega$	—
$\tan \delta$	同 上	60%~80%	95~99	<0.2 ビニル, エポキシ油性 <0.4 特殊耐水性	測定の時期によつては信頼度が $<95\%$ になるこ とがある。
電気容量変化率	同 上	20%~40%	95~99	<2	

表 2.4.6 2 年間ノードッキングに必要な 1 号塗料回数

1 号 塗 料 の 種 類	塗装回数	乾燥膜厚 μ/coat	備 考
ビ ニ ル	4	25	
エ ポ キ シ	3	50	
エ ポ キ シ タ ー ル	2	68~115	○施工時温度 $>10^\circ\text{C}$ ○1号 \leftrightarrow 1号 1号 \leftrightarrow 2号などの塗装間隔に制限がある。
特 殊 油 性	5	35	
特 殊 澄 青	3	38	

表 2.4.7 2 年間ノードッキングに必要な 2 号塗料塗装回数

2 号 塗 料 の 種 類	塗装回数	乾燥膜厚 μ/coat	備 考
ビ ニ ル	3	30~50	ビニル, エポキシ, エポキシタール 1 号と併用
特 殊 油 性	3	43	特殊油性 1 号と併用。
特 殊 澄 青	3	50	特殊澄青 1 号と併用。

参 考 文 献

- 1) 青木敬雄 防食技術 241 Vol. 10 No. 6 (1961)
- 2) Brasher J.Appl. Chem. 4. 62 (1954)

第3章 防汚塗料の性能に関する研究

3.1 臨海実験

船舶のスピード低下因子の一つに船底部への海洋生物付着があげられる。一方現用2号塗料の防汚性能は、過去における実績、経験等から約1年程度と考えられるので、入渠間隔を1年以上2年まで延長するためには新らしい2号塗料の開発が必要である。

本研究では塗料メーカー7社から各種の長期防汚型船底塗装系の試作提出を願い、長崎一東京間の各海域で共通の試験片による臨海実験を行なつて防汚性能を調査した。

3.1.1 供試塗料および塗装要領

(1) 供試塗料

塗料メーカーA～G社から表3.1.1に示したような船底塗装系が提出され、原則として2銘柄／1社の要領で実験担当所が塗装系を選択した。

(2) 試験片の形状および塗装方法

実験担当各所における試験片の塗装は表3.1.2の要領で行なわれた。そして各塗料に対しては表3.1.1に示された塗料メーカー指定の塗装回数、塗付量で所定の塗膜が得られるよう塗装したが、バラツキの範囲は表3.1.3のごとくであつた。なおその中で総膜厚のバラツキが比較的大きいのは、2号塗膜がやわらかかつたため測定値にかなりの誤差を生じたものと考えられる。

3.1.2 臨海実験方法

臨海実験は長崎一東京間8海域で表3.1.4の要領で行なわれた。なお浸漬方法は各所共フロート(筏)から試験片を1枚づつビニールコードで吊り下げる方式を採用したが、日本鋼管では陸上からの吊り下げによつたため、潮の干満によつて浸漬深さに差を生じた。また東京商船大学においては、同学既存の保持枠に6枚1組で一括浸漬する方法をとつた。(表3.1.5参照)

3.1.3 試験片の観察および評価方法

(1) 観察方法

浸漬開始後2～3か月ごとに試験片表面(裏、おもて共)の付着生物、発錆、塗膜の剥離、ふくれなどの面積比率を測定した。観察はJIS Z 2912の方法を応用して30mm×30mmのゴバン目枠を作り、これを試験片上に当て上記欠陥発生のゴバン目をかぞえた。

(2) 評価方法

採点方法は次式によつた。

$$X = \{100 - (a + b + c)\} \times \frac{50}{100}$$

X：防汚性得点

a：海洋生物付着面積(%)

b：さび発生面積(%)

c：剥離、ふくれ発生面積(%)

表 3.1.1 船底供試塗料および塗装要領

塗料 メー カ名	試 験 片 番 号	シ ョ ウ ツ プ ラ イ マ	塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル) g/m ²	船底 1 号塗料			塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル) g/m ²	船底 2 号塗料			塗 装 回 数	塗 装 膜 厚 (ミル) g/m ²	塗 付 量 g/m ²		
					塗 装 付 量 g/m ²	塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²			塗 装 膜 厚 (ミル)	塗 付 量 g/m ²	塗 装 膜 厚 (ミル)					
A	S	W/P	1	0.5	91	Oleoresin	3	4.5	354	Oleoresin	2	3.9	260	3	5.0	590	
	1	Z/E	1	0.6	108	Vinyl	6	6.3	953	Vinyl	3	—	—				
B	2	Z/E	1	0.6	108	Epoxy-coaltar	3	15.2	811	S.Oleoresin	3	5.2	487	—	—	—	
	S	W/P	1	0.5	95	Oleoresin	3	4.0	462	Oleoresin	2	2.9	365				
C	1	W/P	—	—	—	S.Bitumen	—	—	—	S.Bitumen	—	—	—	3	3.1	692	
	2	Z/E	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	9.3	655	Vinyl	3	—	—				
D	3	Z/E	1	0.5	105	Epoxy	3	6.0	625	Epoxy	2	3.2	920	3	3.0	710	
	4	Z/E	1	0.5	105	S.Bitumen	3	6.0	550	S.Bitumen	3	—	—				
E	S	W/P	1	0.5	95	Oleoresin	3	4.5	375	Oleoresin	2	3.8	368	3	5.9	620	
	1	Z/E	1	0.5	112	Vinyl	6	6.0	781	Vinyl	3	—	—				
F	2	Z/E	1	0.5	112	Epoxy-coaltar	3	13.7	844	Vinyl OP	3	5.2	488	3	5.9	620	
	3	Z/E	1	0.5	112	Epoxy	3	6.2	590	Vinyl	3	—	—				
G	4	Z/E	1	0.5	112	Epoxy	3	6.2	590	Vinyl OP	3	5.2	488	3	6.0	660	
	S	W/P	1	0.5	120	Oleoresin	3	4.8	440	Oleoresin	2	3.2	405				
H	1	Z/E	1	0.5	122	Epoxy	3	13.5	892	Oleoresin	3	6.0	660	3	5.7	641	
	2	Z/E	1	0.5	122	Bitumen	3	5.2	440	S.Oleoresin	3	—	—				
I	3	Z/E	1	0.5	122	Vinyl	5	6.3	770	Vinyl	3	5.6	650	3	5.7	641	
	4	Z/E	1	0.5	122	S.Oleoresin	4	5.2	635	S.Oleoresin	3	—	—				
J	5	Z/E	1	0.5	122	Epoxy-coaltar	3	10.1	688	Oleoresin	3	3.8	368	—	—	—	
	S	W/P	1	0.5	105	Oleoresin	3	3.8	432	Oleoresin	2	3.5	371				
K	E	1	W/P	1	0.5	105	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	1	3.9	315	1	4.0	325
	2	Z/E	1	0.5	115	Epoxy-coaltar	3	14.1	913	Epoxy-coaltar	1	—	—				
L	S	W/P	1	0.5	103	Oleoresin	3	3.9	420	Oleoresin	2	3.2	403	2	3.1	393	
	1	Z/E	1	0.5	123	Vinyl	4	4.6	482	Vinyl OP	2	—	—				
M	2	Z/E	1	0.5	123	S.Oleoresin	4	5.4	586	S.Oleoresin	2	3.5	412	2	3.5	412	
	3	W/P	1	0.5	123	S.Oleoresin	4	5.4	586	S.Oleoresin	2	—	—				
N	S	W/P	1	0.5	121	Oleoresin	3	3.8	478	Oleoresin	2	3.5	360	2	4.8	687	
	1	Z/E	1	0.7	148	Epoxy-coaltar	2	6.7	568	Vinyl	2	—	—				
O	2	Z/E	1	0.7	148	Epoxy-coaltar	2	6.9	612	Oleoresin	2	3.8	425	2	4.6	435	
	3	Z/E	1	0.7	148	Epoxy-coaltar	2	11.3	716	Oleoresin OP	2	—	—				

表 3.1.2 試験片の形状および塗装要領

実験担当所	材質	形状	表面調整	塗装方法		塗装間隔
三菱長崎	JIS G 3305	300×300mm	サンドblast	はけ		
三井玉野	S S 鋼板	300×300mm	サンドblast	はけ		
三菱神戸	軟 鋼	300×300mm	ショットblast	はけ		
川崎重工	S S 4 1	300×300mm	サンドblast	はけ, スプレイ		原則として 1 coat/1 day
日本鋼管	軟 鋼	300×150mm	サンドblast	はけ		
三菱横浜	軟 鋼	300×300mm	サンドblast	はけ		
東京商船大学	鋼 板	250×100mm	サンドblast	はけ		
船 研	鋼 板	300×300mm	サンドblast	はけ		
石川島播磨	S S 鋼板	300×300mm	ピツクリング	はけ		

表 3.1.3 塗付量、膜厚のバラツキ

塗装系		塗付量のバラツキ			総膜厚のバラツキ
1号塗料	2号塗料	1号塗料	2号塗料		
ビニル型	ビニル型	±3.7%	±3.6%		±16.6%
エポキシタール型	ビニル型	±5.9%	±3.6%		±5.6%
エポキシタール型	エポキシタール型	±9.3%	±17.3%		±24.8%
特殊油性型	特殊油性型	±1.4%	±3.3%		±15.1%
エポキシ型	エポキシ型	±11.5%	±19.0%		±16.0%
速乾れき青型	速乾れき青型	±1.9%	±8.9%		±28.0%

各地（日本鋼管、三菱神戸、三井玉野、川重）で塗装された試験片の塗付量（硬化乾燥後の重量で比較）、総膜厚（硬化乾燥後の膜厚）の平均値からのバラツキ範囲。

表 3.1.4 各海域における臨海実験要領

実験担当所	最終2号塗装後海中浸漬までの時間	浸漬深さ	浸漬開始日		最終観察日	浸漬期間	浸漬場所
			日	月			
三菱長崎		1.0m	39.8.14	41.4.27	20カ月	長崎港内小管	
三井玉野		1.5m	39.8.15	41.7.15	23カ月	三井造船所港内	
三菱神戸		1.0m	39.8.11	40.7.15	11カ月*	神戸港、第3ドック	
川崎重工	原則として 24~30時間	1.5m	39.7.15	41.7.15	24カ月	神戸港、川重東浜沖	
日本鋼管		0.5~2.5m	39.7.28	40.7.27	12カ月*	日本鋼管鶴見造船所内	
三菱横浜		1.5m	39.9.10	41.8.4	23カ月	横浜港内	
東京商船大学		1.5m	39.9.1	40.7.10	10カ月*	清水市折戸湾内	
船研		1.5m	39.7.23	40.1.10	5カ月*	千葉県館山港内	
石川島播磨		1.5m	39.8.27	41.5.27	21カ月	神奈川県油壺港内	

* 事故のため観察不能となつた。

表 3.1.5 東京商船大学における評価記号と推定点の換算規準

評価記号	推定海洋生物付着、塗膜欠陥 %	評価点に換算した場合の得点範囲	推定点（得点範囲の平均）
a	0～ 4%	50～48	49
b	5～ 15%	47～43	45
c	16～ 50%	42～25	33
d	50～100%	24～ 0	13

3. 1. 4 試験結果および考察

(1) 試験結果

臨海実験を担当した各地では、各試験片の観察結果を3.1.3(b)の採点方法で評価点（50点満点）に換算した。その結果を表3.1.6（約1年目）および表3.1.7（約2年目）に示した。

なお東京商船大学では、試験片の形状が異なりゴバン目法での観察が不適であつたので、

a：最良、汚れ皆無、塗膜正常

b：aに次ぐ、汚れ僅少、塗膜にやや欠陥がある。

c：bに次ぐ、汚れ少量、塗膜にかなり欠陥がある。

d：cに次ぐ、汚れやや多量、塗膜に著しい欠陥がある。

という評価方法をとつた。このままでは他海域での結果との比較がはつきりしないので、表3.1.5に示したような推定点をあわせ記載した。

試験結果は銘柄別、海域別に平均点をだしてあるので、これを比較すれば一般的な傾向がわかる。（油性型標準品は*印を除いた川重での平均点、銘柄の平均点は5海域以上で臨海実験を行なつたもの、船研館山での結果は平均点の計算から除外）

(a) 一般的にみた塗膜の欠陥

表3.1.6に示した評価点は、海洋生物の付着、錆の発生、ふくれ、剝離等の欠点因子を除いた残点であるが、大部分の塗装系では海洋生物の付着が重要欠点因子となつた。例外はエポキシ型1号、2号塗装系、エポキシ型1号、油性型2号塗装系、エポキシタル型1号、油性2号またはビニル2号塗装系で、これらの塗装系では1号～2号塗膜間での剝離が重要欠点因子となつた。

(b) 塗装系（銘柄）による差

供試塗装中から7海域（6海域の場合は欠測海域での平均値を代入）で共通浸漬された塗装系14と、油性型標準品塗装系（川重での7銘柄を代入）1とを合わせた15塗装系（銘柄）の1年目の結果を一元配植法（因子に防食防汚性能をとり、水準に銘柄をとつた。）で分散分析し各塗装系間での有意差を求めた。その結果は表3.1.8に示したごとくである。この結果、ビニル型塗装系中の2銘柄が特にすぐれた結果を示したこと、またエポキシ型およびエポキシタル型塗装系は、油性型標準品との優劣はないが提出された長期防食防汚型船底塗装系中では、性能的には不良であること等が判明した。2年目の結果はデータが不足で統計的解析はやめたが、同時にテストした標準品との比較値としては有意であるから、そのような見地から、防汚性能の順位を示すと以下のごとくである。

1位：ビニル型2号船底塗装系

2位：特殊油性および特殊れき青型 2号船底塗装系

3位：油性型 2号船底塗装系

4位：標準品（現用品）

(c) 各海域による差

同様にして各海域における塗料の性能差から、各海域間の海洋生物等による塗膜の汚損の難易を分散分析したのが表 3.1.9 である。ただしこの場合一元配置法でわりつけた塗装系（ビニル型塗装系）を主体とした。この塗膜の性能は、各地での塗装条件、塗装方法等によつて有意差がなく同じであたとの仮定が入る。

表 3.1.9 の右上半分は分散分析の F の値、左下半分は各海域間での評価点の絶対値で斜線のワク内には有意差があることを示す。また図 3.1.1 には各海域での長期防食防汚型塗装系の評価点平均値を示した。なおこの図には昭和32年度に行なわれた一般船底塗装系の各海域における平均値^{1), 2)}（本研究の場合と浸漬期間が異なる以外は全く同じ要領）を参考までに記入した。

その結果、三井玉野海域は川重、日本钢管、三菱横浜、東京商船大学（推定値）の各海域と比較して塗膜の汚損度が低いことが判明した。また昭和32年度に行なわれた一般船底塗装系（6か月の浸漬）、および本研究での川重油性型標準品塗装系（12か月の浸漬）に比較して、今回提出された新しい塗装系は各海域（商船大を除く）において性能評価点平均では上まわつており、これは防食防汚の水準が高くなつたことを示している。

(2) その他の考察

(a) 試験片の裏と表について

川重での臨海実験結果を例にして、分散分析を行ない有意差を求めたが差は認められなかつた。³⁾他の海域での結果は、川重の試験結果とほぼ同様であり計算処理をまたずして有意差の無いことはあきらかであつた。

(b) はけ塗りとスプレイ塗りの差について

川重での臨海実験結果を分散分析したが有意差は認められなかつた。³⁾

(c) 統計計算処理について

計算処理はすべて川重造船事業部電子計算機室（主計算機名 FACOM 231）で行なつた。

3. 1. 5 結論

各海域で行なわれた臨海実験結果から長期防食防汚の可能性を推定すると

(1) ビニル型塗装系が最も可能性があろう。

(2) 特殊油性型、特殊れき青型、油性型の塗装系は、特定の海域において防汚性が非常に悪い場合があり、それをさければ可能性があろう。

(3) エポキシ型 1号に同 2号あるいは油性型 2号塗装系、エポキシタル型 1号に特殊油性型 2号あるいはビニル型 2号塗装系では、1号～2号塗膜間の剥離が起り易い傾向が認められたので、この問題に対する今後の研究が必要であろう。

(4) エポキシタル型 1号に同 2号塗装系は、防汚性能がやや不足ぎみであるからその原因（塗装条件、塗装方法と毒物の溶出機構等）を追求し、品質の改良が必要であろう。

表 3.1.6 各種船底塗装系臨海実験結果

A/F の 種 類	塗 装 系 名	三 菱 長 崎	三 井 玉 野	三 井 玉 野	川 重		日本 鋼 管	三 菱 横 浜	商 船 大 学	東 京	石 川 島 播 磨	船 研	平均 点	
					Brush	Spray								
油 性 型 標準 品	A-S				47.8	36.3								
	B-S				25.0	0								
	C-S				42.0	40.3								
	D-S	—	—	—	23.3	30.3	—	—			—	—	23.8	
	E-S				0	0*								
	F-S				25.0	49.0*								
	G-S				15.0	4.55*								
油 性 型	D-1"	44.0	50.0	50.0	28.5	19.5	27.5	35.0	49.0	a	45.0*	50.0*	40.6	
	D-5				47.3	40.3					50.0*			
	G-2	11.5	37.5	50.0	0	1.8	0		33.0	c	50.0*	50.0*	19.1	
	G-3				35.0	49.8					50.0*			
特殊 油 性 型	A-2"	45.8	37.5	0	47.5	47.0	36.3	40.0	13.0	d	50.0*	50.0*	31.4	
	D-2"	47.8	50.0	43.3	47.8	36.0	25.0	45.0	49.0	a	0	50.0*	44.0	
	D-4				48.5	23.5								
	F-2"	22.8	48.0		25.0	48.0*	23.8		33.0	c	35.0*	50.0*	33.4	
	F-3"	33.0		50.0							40.0*	50.0*		
ビ ニ ル 型	A-1"	49.3	49.5		49.5	50.0	45.0	50.0	45.0	b	50.0*	50.0*	48.3	
	B-2"	50.0		50.0	47.5	48.8	25.0	48.8	33.0	c	50.0*	50.0*	43.3	
	C-1"	49.8	50.0	50.0	48.3	31.8	26.3	0	49.0	a	50.0*	50.0*	39.1	
	C-2"	50.0	48.0	50.0	48.8	49.8	49.8	50.0	45.0	b	50.0*	50.0*	48.8	
	C-3				48.3	33.3					50.0*			
	C-4				48.3	49.5								
	D-3	50.0			23.8	48.0					50.0*			
	F-1"	49.8	49.0	7.3	19.3	48.0*	50.0	43.0	33.0	c	50.0*	50.0*	35.9	
	G-1"	50.0	47.5	50.0	49.0	48.8*	20.0	42.5	45.0	b	50.0*	50.0*	43.3	
ルキ及エ 型シビボ タエキ ポシ	B-3	42.5	49.0	50.0	0	47.8					45.0*	49.5*	37.9	
	E-1"	32.0	49.5	3.8	46.0	0*	45.0	22.5	13.0	d	0*	48.0*	30.3	
	E-2"	0	44.8	0.8	41.0	28.3*	11.3	35.0	33.0	c	30.0*	50.0*	23.7	
き 青 速 乾 れ 型	B-1"	48.0		46.8	0	48.5	30.0	47.5	33.0	c	50.0*	47.5*	36.4	
	B-4	50.0	50.0								50.0*	47.5*		
Blank		0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	—	0*	0*	0	
平均点		40.4	47.2	35.9	33.0	35.7	29.6	35.2	36.1	—	44.2	—		

* 印は平均点の算出から除外。

表 3.1.7 各種船底塗装系臨海実験結果

A/F の 種 類	塗 装 系 名	三菱 長崎	三井 玉 野	*三菱 神 戸	川 重	川 重	*日本 鋼 管	三菱 横 浜	*商 船 大 学	東 京	石 川 島 播 磨	*船 研	平均 点	
					Brush	Spray								
油 性 型 標 準 品	A-S				0	0								
	B-S				0	0								
	C-S				0	(43.3)								
	D-S	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—	—	
	E-S				0	0								
	F-S				0	0								
	G-S				0	0								
油 性 型	D-1	5.5	0	50.0	0	0	27.5	35.5	49.0	a	35.0	50.0	12.7	
	D-5	—	—		0	0	—	—	—	—	—	—		
	G-2	0	27.5	50.0	0	0	0	—	33.0	c	45.0	50.0	14.5	
	G-3	—	—		(35)	0	—	—	—	—	—	50.0		
特殊 油 性 型	A-2	0	12.5	0	37.5	37.5	36.3	38.8	13.0	d	45.0	50.0	28.5	
	D-2	0.5	46.3	43.3	0	0	25.0	6.0	49.0	a	45.0	50.0	16.3	
	D-4	—	—		0	0	—	—	—	—	—	—		
	F-2	0	44.3		0	0	23.8	—	33.0	c	0	50.0	8.9	
	F-3	0	—	50.0	—	—	—	—	—	—	35.0	50.0		
ビ ニ ル 型 型	A-1	11.5	45.8		45.0	30.0	45.0	40.8	45.0	b	47.5	50.0	36.8	
	B-2	12.0	—	50.0	30.0	7.5	25.0	28.5	33.0	c	47.5	50.0	25.1	
	C-1	10.5	49.3	50.0	30.0	0	26.3	3.0	49.0	a	50.0	50.0	23.9	
	C-2	45.8	45.8	50.0	30.0	0	49.8	50.0	45.0	b	50.0	50.0	37.0	
	C-3	—	—		0	0	—	—	—	—	—	50.0		
	C-4	—	—		(41.8)	0	—	—	—	—	—	—		
	D-3	20.3	—		(23.8)	(44.8)	—	—	—	—	50.0	—		
	F-1	0	1.3	7.3	0	(32.5)	50.0	15.0	33.0	c	40.0	50.0	11.2	
	G-1	26.3	43.3	50.0	(49.0)	(48.8)	20.0	11.3	45.0	b	45.0	50.0	31.5	
ルキ及エ 型シジボ タエキ リボシ	B-3	8	46.0	50.0	0	0	—	—	—	—	25.0	49.5	15.8	
	E-1	8	0	3.8	0	0	45.0	2.0	13.0	d	0	48.0	1.8	
	E-2	0	0	0.8	0	0	11.3	0	33.0	c	0	50.0	0	
き 青 速 乾 れ	B-1	0.5	—	46.8	0	10	30.0	36.0	33.0	c	50.0	47.5	19.3	
	B-4	22.3	33.0		—	—	—	—	—	—	50.0	47.5		
Blank		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		

* 事故、その他で実験の継続が不能となつたので、1年目あるいはそれ以前の最終観察値を記載した。

() 試験片が落下した時点での観察値を示した。

表 3.1.8 塗装系(鉛柄)による差

A/F 銘柄		従来品						油性および特殊油性型						ビニル型						エポキシおよびエポキシタル型						特殊漆打型					
A/F の種類	銘柄	S	D-1	A-1	D-2	F-2	A-2	B-2	C-1	C-2	F-1	G-1	G-2	E-1	E-2	B-1															
従来品	S	1.46	0.25	3.71	0.37	8.33*	3.76	1.02	8.89**	0.96	4.05	1.02	0.06	0.24	0.73																
特油	D-1		0.46	0.67	0.80	4.56	0.72	0.00	5.18*	0.02	0.93	5.71*	2.13	3.41	0.09																
特殊油 油性よ り性よ り型び	A-1			1.95	0.00	5.76*	2.00	0.29	6.26*	0.23	2.26	2.42	0.55	1.07	0.12																
D-2					4.23	2.96	0.00	0.47	3.73	0.74	0.05	10.36**	4.76*	7.20*	1.01																
F-2						16.96**	4.17	0.42	18.61**	0.35	4.52	3.50	0.79	1.61	0.19																
A-2	+19.5		+14.9		+14.9		2.21	2.52	0.38	3.55	1.35	18.35**	9.80**	14.41**	4.12																
B-2								0.52	2.81	0.79	0.03	10.29**	4.79*	7.17*	1.07																
C-1										2.83	0.01	0.66	4.19	1.54	2.40	0.04															
C-2	+20.1	+10.3	+15.5		+15.6						3.97	1.78	19.18**	10.38**	15.20**	4.57															
F-1													0.98	4.25	1.48	2.38	0.02														
G-1														10.64**	5.10*	7.52*	1.28														
G-2	-19.5		-23.9		-29.2	-24.2		-29.9		-15.0			0.58	0.31	3.72																
E-1					-16.7		-21.9	-16.8		-22.6		-17.6			0.06	1.19															
E-2					-18.7		-24.0	-19.0		-24.7		-19.8				1.99															
B-1																															

右上半分：分散分析のFの値 (*95%, **99%で有意)

左下半分：塗装系間の得点差（有意差のあるもののみ記載）

+ : 銘柄の頂たての行が比較対象される横の行銘柄に対し、評価点の上ですぐれていることを示す。

- : 銘柄の頂たての行が比較対象される横の行銘柄に対し、評価点の上で劣っていることを示す。

表 3.1.9 海洋生物等による 2号塗膜汚損の地域差
(分散分析のFの値: 右上半分, 各地域間得点差の絶対値: 左下半分)

没漬場所名	三菱長崎	三井玉野	三菱神戸	川崎重工	日本鋼管	三菱横浜	商船大学	東京	船研	石川島播磨
三菱長崎		1.77	0.50	0.34	2.76	0.24	0.36			
三井玉野	7.5		3.67	5.24*	18.28**	6.71*	10.10**			
三菱神戸	3.6	11.1		0.03	0.46	0.11	0.11			
川崎重工	3.8	11.3	0.2		0.92	0.03	0.01			
日本鋼管	9.8	17.3	6.2	6.0		1.77	1.67			
三菱横浜	2.6	10.1	3.0	0.7	7.2		0.01			
東京商船大学	3.3	10.8	0.3	0.5	6.5	0.7				
船研										
石川島播磨										

*95%, **99%で有意を示す。

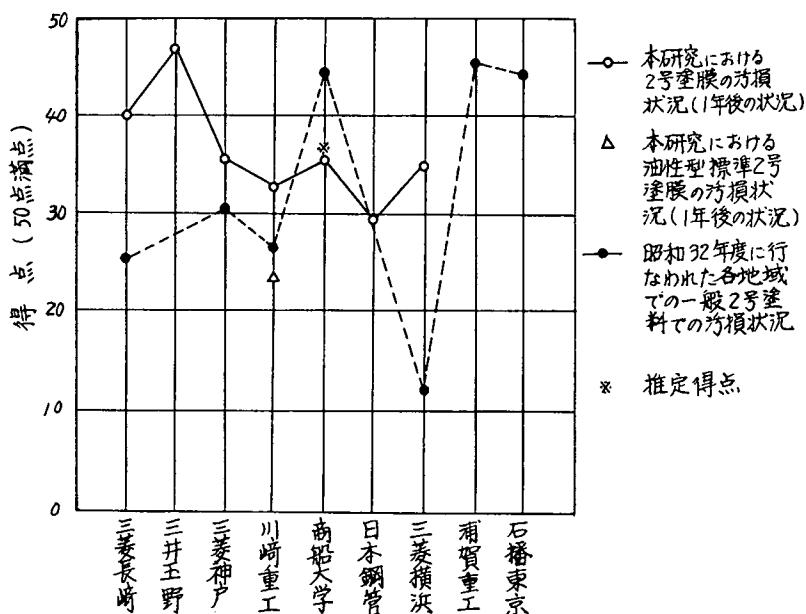


図 3.1.1 各地域における 2号塗膜の汚損状況 (平均値による比較)

参考文献

- 1) 生産技術協会資料 17P-17-01
- 2) 生産技術協会資料 16P-84-01
- 3) 川重研究報告 第 0231 号

3. 2 塗膜の厚みと防汚性能の関係

3. 2. 1 供試塗料および塗装膜厚

本実験では、表 3.2.1 に示した 7 種類の船底塗装系を供試塗料とした。

表 3.2.1 供試塗料および塗装膜厚(単位ミクロン Dry Film)

No.	1号塗装系	2号塗装系	プライマ		1号膜厚			2号膜厚		
			A1 (W/P)	A2 (Z/E)	B1	B2	B3	C1	C2	C3
(1)	ビニール(A)	ビニール(A)	13	15	50	100	150	37.5	75	112.5
(2)	ビニール(D)	ビニール(D)	13	13	50	100	150	30	60	90
(3)	エポキシ	ビニール	13	15	50	100	150	45	90	135
(4)	エポキシタル	ビニール	13	13	67.5	135	202.5	50	100	150
(5)	エポキシタル	エポキシタル	15	15	115	230	345	75	150	225
(6)	特殊油性	特殊油性	13	13	35	105	175	42.5	85	127.5
(7)	特殊瀝青	特殊瀝青	13	13	37.5	112.5	187.5	50	100	150

(1) 設定因子と水準

表 3.2.2 設定因子と水準

表 3.2.2 のごとく、因子と水準をきめた。

(2) 試験片の製作要領

(a) 試験片の寸法および材質

300 × 300 × 2 mm S S41

(b) 表面調整

サンドブラスト後、塗料メーカー指定のショッププライマを塗装した。

(c) 涂装要領

表 3.2.1 にもとづき、スプレイ塗装した。

(3) 臨海実験方法

川崎重工機内東浜沖（神戸港）に設定された臨海実験用フロートから、ビニールロープで水面下1.5mになるようつりさげた。浸漬期間は24か月である。

3. 2. 2 観測および評価方法

海中に浸漬した試験片は、2か月に1回フロートの上にひきあげ、 $10 \times 10\text{ mm}$ の等間隔ごとん目金網をあてて、海洋生物の付着面積 a 、発錆面積 b 、はがれ、ふくれおよびその他の異常面積 c を測定した。なお、防汚性能の評価は(3.1)式¹⁾によつた。

3. 2. 3 実験結果の解析

(1) 解析方法²⁾

³元配置法による分散分析²⁾後、F検定²⁾により有意な要因をだし、その寄与率²⁾(%), 信頼限界²⁾

1) 社団法人 日本造船研究協会 昭和39年度実施研究成果概要 75-38ページ

2) 田口玄一 実験計画法 上, 下巻 丸善 (昭38)

等を求めた。

(2) 各因子の寄与率一覧表

各因子の臨海実験24か月後における防汚性に関する寄与率は表3.2.3のごとくである。

3.2.4 2号膜厚と防汚性について

表3.2.3からみて、防汚性に対する寄与率は、2号塗料の膜厚効果が支配的である。

なお表3.2.5に示した塗装系(5)は、臨海実験における防汚性が悪く、2号塗料の膜厚とは無関係に海洋生物が付着したので有意な因子が検出されず、従つて寄与率はない。

表3.2.3 各因子の防汚性に対する寄与率一覧表 (単位%)

塗装系 因子	塗装系 因子						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	-	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-
C	98	89	94	92	-	66	63
AB	-	-	-	-	-	-	-
AC	-	-	-	-	-	-	-
BC	-	-	-	-	-	-	-
ABC	-	-	-	-	-	-	-

3.2.5 各因子の防汚性能との関係について

表3.2.3からみて臨海実験24か月後では、プライマの種類および1号塗料の膜厚などの因子は有意

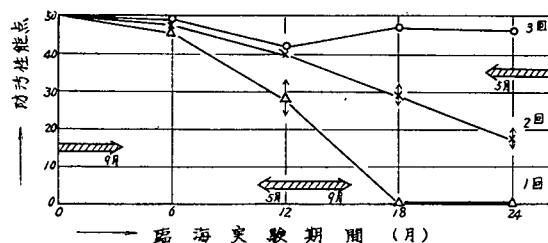


図3.2.1 ビニル船底塗装系(A)における2号塗装回数と防汚性能

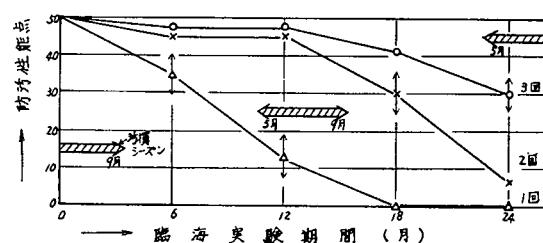


図3.2.2 ビニル船底塗装系(D)における2号塗装回数と防汚性能

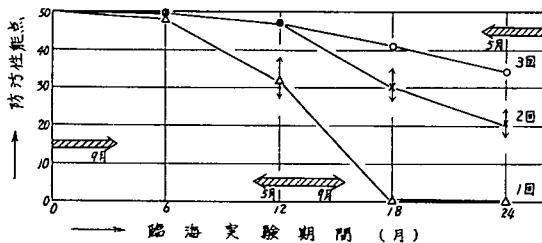


図3.2.3 エポキシ1号、ビニル2号船底塗装系における2号塗装回数と防汚性能

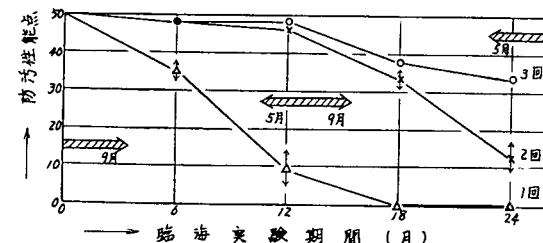


図3.2.4 エポキシソーラー1号、ビニル2号船底塗装系における2号塗装回数と防汚性能

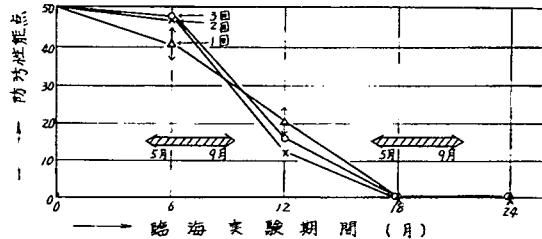


図3.2.4 エポキシソーラー1号、エポキシソーラー2号船底塗装系における2号塗装回数と防汚性能

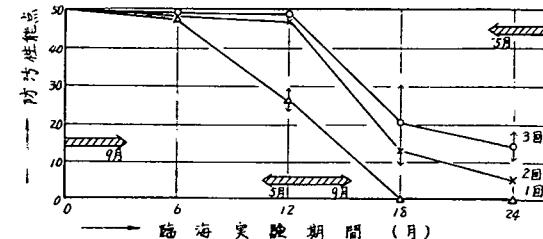


図3.2.6 特殊油性1号、特殊油性2号船底塗装系における2号塗装回数と防汚性能

な要因として検出されず従つて防汚性に對しては効果がない。

防汚性に對しては2号塗料の膜厚効果が支配的であるから、その状態を図3.2.1～図3.2.7に示した。

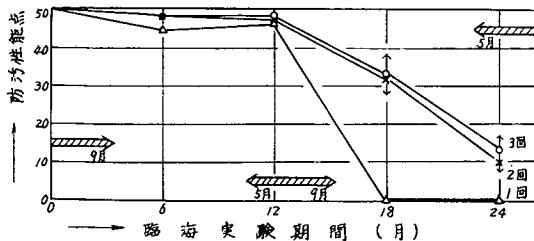


図3.2.7 特殊れき青1号、特殊れき青2号船底塗装系における2号塗装回数と防汚性能

3.2.6 むすび

(1) 船底塗装系のなかで、海洋生物の付着に対し最も影響をあたえる因子は、2号塗料の膜厚である。防汚性は2号塗料の膜厚にはほぼ比例し、臨海実験期間が長くなると次第に低下したが、2号塗料の膜厚が図3.2.1のC1の場合低下率が大きく、浸漬18か月後には海洋生物の付着面積率は100%になつた。

(2) ショッププライマの種類および1号塗料の膜厚などはほとんど防汚性能に寄与しない。

3.3 色と生物の付着との関係

3.3.1 供試塗料

ビニル系のワニスを用いた白、黄、緑、赤、青、紫、黒およびシルバーの8種類の塗料を使用した。

3.3.2 試験片寸法、材質および表面処理

SS 41を $300 \times 300 \times 2$ mmに加工し、塗装前にサンドblast処理した。

3.3.3 試験要領

各色塗料をはけで3回塗装して1週間乾燥し、2.1.2の(c)の要領で1か月間(6月)臨海実験を行なつた。

3.3.4 観測方法

3.2.2と同じであるが、評価点への換算はしなかつた。

3.3.5 試験結果

各色に対する海洋生物の付着状況は表3.3.1のごとくである。

表 3.3.1 色と生物の付着の関係（昭和40年6月）

色 生物の種類	白	黄	緑	赤	青	紫	黒	ビニル 1号
ふじつぼ	20	50	70	90	95	95	95	25
ふさごけ	40	35	30	0	0	0	0	40
合 計	60	85	100	90	95	95	95	65

(単位 海洋生物付着面積)

3.3.6 むすび

(1) “ふじつぼ”的選択性について

“ふじつぼ”は、白およびシルバーのような光が反射しやすい試験片への付着が少ない。可視光線部では、波長の範囲が5,100Å～5,900Å（緑～黄）のところで、“ふじつぼ”的付着が少なくなるが、それ以外の範囲では、ほとんど全面に付着した。

(2) “ふさごけむし”について

“ふさごけむし”は、“ふじつぼ”と逆の傾向にある。しかしこれは、“ふさごけむし”に付着の選択性があるというよりも、“ふじつぼ”的方が生活力が強いので、“ふさごけむし”が脱落したと考えるのが妥当であろう。

3.4 水線部の防汚性能

水線部の防汚性能を調査するため瀬戸内海、神戸付近および東京湾館山で浸漬試験を行なつた。

3.4.1 瀬戸内海の場合

(1) 供試塗料

本実験では、表3.4.1に示した18種の水線塗料を使用した。

(2) 試験要領

(a) 試験片寸法、材質および表面処理

表 3.4.1 水線部供試塗料

記号	メーカ	塗装系	記号	メーカ	塗装系
(1)	A		(11)	A	
(2)	B		(12)	B	
(3)	C	油性系1号	(13)	C	ビニル1号
(4)	D	3回塗り	(14)	D	4回塗り
(5)	E	油性系水線塗料	(15)	E	ビニル水線塗料
(6)	F	2回塗り	(16)	F	2回塗り
(7)	G		(17)	G	
(8)	—	JIS K 5631 B/T	(18)	—	JIS K 5634 B/T
(9)	—	JIS K 5631 A/F	(19)	—	ブランク

表 3.4.2 付着した「あおさ」の長さ

記号	あおさの長さ	記号	あおさの長さ
(1)	—	(11)	—
(2)	—	(12)	—
(3)	50mm	(13)	—
(4)	—	(14)	—
(5)	25mm	(15)	—
(6)	—	(16)	粉失
(7)	—	(17)	—
(8)	100mm	(18)	—
(9)	75mm	(19)	100mm

SS 41 を $250 \times 600 \times 3.4$ mm に加工し、塗装前にサンドブラスト処理した。

(b) 臨海実験要領

水線間を想定して、試験片の上部 300 mm を海面上に残し、下部 300 mm を海中に浸漬した。浸漬場所は 3.2.1 と同じ、浸漬期間は昭和41年 1月～同年 5月である。

(3) 試験結果

表 3.4.2 に示したごとくである。なお臨海実験海域には、流木、廃油およびその他の異物が多く、試験片にきずがつき、これ以上の実験継続は無意味となつたので中止した。

3.4.2 東京湾の場合

本試験では水線付近と浸漬部の付着物の差異と各種単独毒物の選択性の調査を主とした。

(1) 供試塗料

表 3.4.3 に示す17種類の防汚塗料を使用した。

表 3.4.3 試験塗料

No. 記号	W/P	A/C	A/F	備考
1 B	長曝用 W/ P 1回	船底用 ビニル 4回	なし	プランク 以下各系とも 2は 毒物量が多く 1は 少ない。
2 M-2			混合有機物系 2回	
3 M-1			"	
4 As-2			有機砒素系 2回	
5 As-1			"	
6 Cl-2			有機塩素系 2回	
7 Cl-1			"	
8 Hg-2			無機水銀系 2回	
9 Hg-1			"	
10 C-2			有機カルバメート系 2回	
11 C-1			"	
12 Sn-2			有機錫系 2回	
13 Sn-1			"	
14 Cu-2			無機銅系 2回	
15 Cu-1			"	
16 MP			Sn-1 Cu-1 As-1 各1回重ね塗り	
17 SR			SR 船底塗料 2号 3回	

(2) 試験要領

(a) 試験片

900 × 150 × 1.5 mm の長方形のものを縦に 2枚続けたものを 1組として使用した。

(b) 臨海実験要領

水面上を約 100 mm、水面下約 1,700 mm として浸漬した。

(c) 試験結果

浸漬12か月の結果を表3.3.4に示す。概要は次のとおりである。

表3.4.4 試験片観察結果

得50点は点万点とし目測により採点したもので、スライムの付着に対しては付着程度により多少減点した。

記号	生物付着状況							
	7/15(1.5ヶ月)	得点	10/9(4 ¹ /3ヶ月)	得点	41年2/22(8 ² /3ヶ月)	得点	6/21(12 ² /3ヶ月)	得点
B	ふさごけ、ふじつ ぼ全面	0	ふさごけ、ふじつ ぼ、セルプラ全面	0	同左(引上げ)	0		
M-2	変化なし	50	変化なし	50	黒色スライム	45	ふじつぼ約50%	10
M-2	ほとんど変化なし、 あおさ少々	48	ほとんど変化なし、 スライム少々	48	" 水面ふさごけ	40	"	10
As-2	変化なし	50	"	50	"	40	ふじつぼ、ふさごけ、 ほとんど全面	0
As-1	"	50	"	50	"	40	"	0
Cℓ-2	ふさごけ、ほや全 面	0	ふさごけ、ほや、 セルプラ全面	0	同左	0	同左(引上げ)	0
Cℓ-1	"	0	"	0	"	0	" (")	0
Hg-2	スライム、ふさご け、あおさ少々	45	ふじつぼ、ふさご け、セルプラ	5	同左	0	" (")	0
Hg-1	"	45	"	5	"	0	" (")	0
C-2	スライム、ふじつ ぼ少々	48	ふじつぼ、スライ ム	5	"	0	" (")	0
C-1	"	48	"	5	"	0	" (")	0
Sn-2	ほとんど変化なし	50	スライム、やや厚 く全面	40	セルプラ、ふさご け	5	ふじつぼ、ふさご け全面	0
Sn-1	"	50	"	40	"	5	"	0
Cu-2	"	50	"	40	スライムの他変化 なし	40	スライムのみ	40
Cu-1	"	50	"	40	"	40	"	40
MP	変化なし	50	ほとんど変化なし	50	"	45	ふじつぼ10mmφ 20個	10
SR	ほとんど変化なし	50	スライム薄く	50	"	45	スライムのみ	40

- i) 単独毒物としては無機銅系が有効で“スライム”が付着したほかはほとんど変化なく良好であった。有機砒素系も8か月までは有効であつたがその後“ふじつぼ”等の付着が増加した。
- ii) 有機塩素系は約1.5か月で全面に海藻類が付着した。
- iii) 無機水銀系、有機カルバメート系は約4か月で“ふじつぼ”“ふさごけむし”等が全面に付着した。
- iv) 有機錫系は約4か月では“スライム”のみであつたが、8か月では“セルプラ”“ふさごけむし”等が全面に付着した。
- v) 混合毒物(M-1, M-2, MP)は比較的良好であり、8か月では“スライム”のみであつたが12か月では“ふじつぼ”が付着しはじめた。
- vi) 水線付近の付着生物の状況は浸漬部と大差ないが、時期により“あおさ”, “あおのり”が水線下約200mm位の幅で付着したことがあつた。

3.4.3 むすび

(1) JIS規格耐候型油性水線塗料、JIS規格油性船底塗料およびプランク(1号のみ)に“あおさ”が付着した。また提出された長期防汚型水線塗料のなかでも、油性系2種に“あおさ”が

付着した。

(2) ビニル系、塩化ゴム系および前述の2種類を除く油性系水線塗料は、少なくとも現用水線塗料より防汚性に富んでいる。

(3) 生物は試験片にはほぼ一様に付着したが“あおさ”、“あおのり”は水線付近20mmくらいの幅にやや厚く付着した。

第4章 船体外板の電気防食に関する研究

4.1 塗装鋼板に対する各種流電陽極の防食範囲の確立と取り付け位置の研究

4.1.1 まえがき

船底外板のような被塗装物の長期防食をはかるために、従来から Zn あるいは Al 系の流電陽極材による陰極防食が併用されている。陰極防食の設定にさいしては、被防食体の対象表面積に所要防食電流密度 (mA/m^2) を乗じて算出する方法がとられている。所要防食電流密度は船底外板の塗装状態によつて大幅に異なり、他方、流電陽極材料についても Zn 系、Al 系とでは、その性能を異にしており、前述のような不確定要素が含まれているため、被塗装物に対する流電陽極による防食範囲が不明確となつていた。

本研究では船体の長期防食をより効果的にするために、塗装した被防食体と流電陽極材料の関係において、陽極発生電流量、被防食体の分極状態を測定して、陽極の取りつけ位置と防食範囲を推定しようと考えた。そのために、鋼製回流水槽の内面を被防食面とした電気防食効果測定用の鋼製回流水槽を試作し、この装置を使って静止・流水状態での分極状況を解析することにした。

4.1.2 実験方法

図 4.1.1 に示すような電気防食効果測定用の鋼製回流水槽を製作、1,200mm幅 × 5,000mm の平行水流の区画を本体と絶縁フランジ・ボルトで取りつけて絶縁区画を設定、本装置内面に人工海水約 20 t をいれ、20HP モータで 3 翼プロペラを回転 (180 rpm) させ、1.6 m/sec の水流が測定水路でえられるように設計した。この平行水流の絶縁区画を被防食体（船底外板に仮定）とし、塗装された陰極面とした。

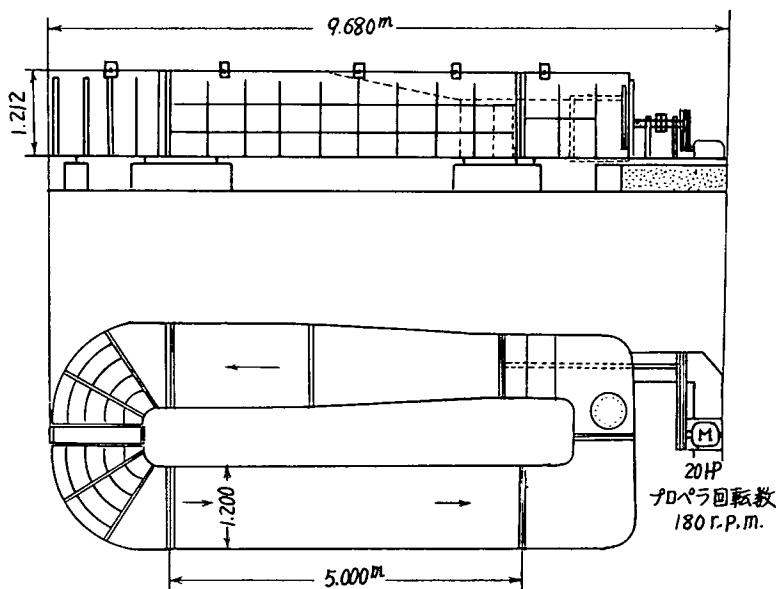


図 4.1.1 電気防食効果測定用鋼製回流水槽

図4.1.2は被防食区画の展開図で、底面には塗装および無塗装の試験片を、本装置と電気的に接触させ、防食効果の測定に供しうるようになした。陽極は実験区画の底面に、Zn系は $100 \times 150 \times 30\text{mm}$ 、Al系は $370 \times 25 \times 30\text{mm}$ の寸法に、市販の陽極から切りだしてボルト埋めこみ式に加工したうえ、発生電流測定のため本体と陽極の間に小さな抵抗(0.006Ω)を介して取りつけ、両端の電位差を測定して陽極の発生電流量を計測できるようにした。

4.1.3 塗装面と流電陽極の関係

この実験において、陰極の関係は表4.1.1に示すとおりである。

A塗装系を適用した実験塗装区画とは、1次プライマとしてEpoxy Zinc Rich Primer(以下E.Z.R.P.)を下塗りしてから、船底1号塗料としてタール・エポキシ樹脂系塗料、2号塗料として同系の防汚塗料を組合せた塗装系で、この塗装系は近時ヨーロッパ系船主が要求している、いわゆる重防食型塗装系である。本実験槽の塗装区画で測定したA塗装系の全塗膜厚は $330\sim390\mu$ であつた。

B塗装系は1次プライマとして長期曝露型ウオツシユプライマ(以下W/P)を下塗りした後、2A/C、2A/Fの油性系、標準船底塗装仕様のことで、本実験では、 $200\sim230\mu$ の塗膜厚が計

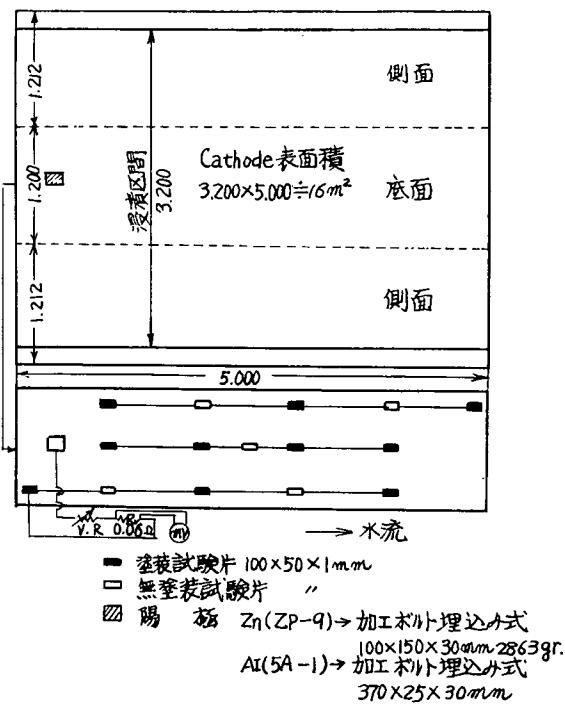


図4.1.2 塗装実験区画および陽極試験片取付け要領

表4.1.1 要 目

陰 極 側		陽 極 側
A—塗装系 浸漬表面積 E.Z.R.P	16m^2 1回	亜鉛 陽極 寸法 $100 \times 150 \times 30\text{mm}$ 重量 埋めこみボルト・パテを含め $2,863\text{gr}$
タール・エポキシ系 A/C " A/F	2回 1回	表面積 約 450cm^2
Total 塗膜厚	$330\sim390\mu$	陽極の自然電位 -1,050 mV (塩化銀電極基準)
取付けた試験片 同上塗装試験片 (1×50×100) 無塗装試験片 (1×50×100)	10枚 5枚	cathode/anode 面積比 約 $355/1$
B—塗装系 浸漬表面積 長バク型ウオツシユプライマ	16m^2 1回	アルミ合金陽極 寸法 $25 \times 30 \times 370\text{mm}$ 重量 埋めこみボルト・パテを含め 949gr
油 性 系 A/C " A/F	2回 2回	表面積 約 422cm^2
Total 塗膜厚	$200\sim230\mu$	陽極の自然電位 -1,170mV (塩化銀電極基準)
取り付けた試験片 同上塗装試験片 (1×50×100) 無塗装試験片 (1×50×100)	10枚 5枚	cathode/anode 面積比 約 $380/1$

測された。この塗装系は古くから慣用されており、年1回入渠の新造船では、実績が多い塗装系の代表とした。

流電陽極材料としてはZn系、Al系、Mg系が考えられるが、本実験では前2者のみを対象とし、市販の陽極から切りだし加工をおこなつたものを使用した。Zn系については-1,050mV、Al系のものは-1,170mV（塩化銀電極基準）の自然電位を人工海水中で示すものを用いた。これらの陽極は、いずれも同一表面積で陰極側に作用させて比較する予定であつたが、Zn陽極は1/355、Al陽極では1/380となつた。

4.1.4 実験結果

(1) A塗装系にZnおよびAl系陽極の併用

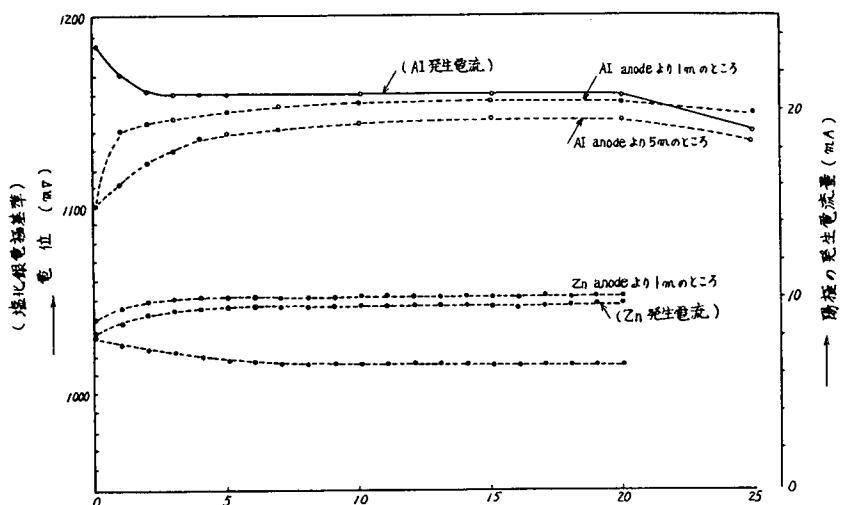


図 4.1.3 A一塗装系/Zn・Al の組合せにおける電位・電流一時間曲線（静止）

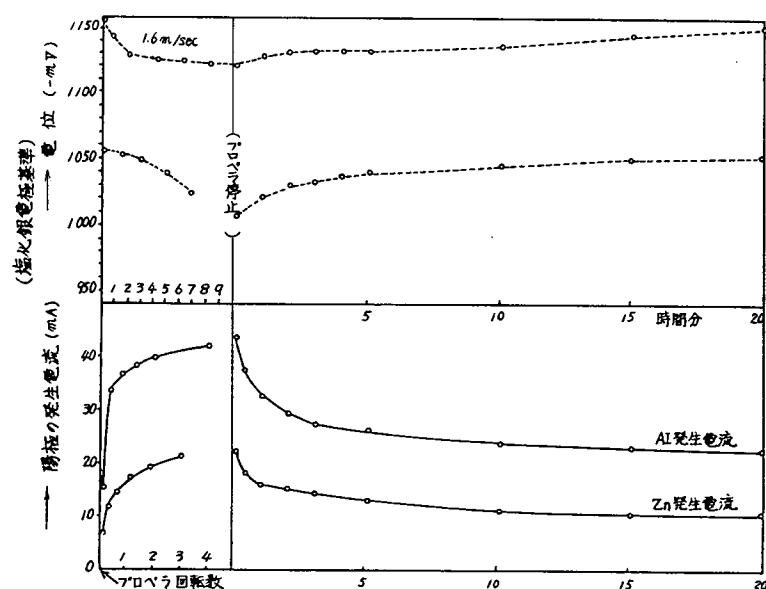


図 4.1.4 A一塗装系/Zn・Al の組合せにおける電流・電位・時間曲線（流動状態）

図 4.1.3 に A 塗装系／Zn, Al 静止状態における電位・電流の時間曲線を示した。この実験にさいし、図 4.1.2 に示した $100 \times 50 \times 1$ mm の A 塗装系塗装試験板（クロスカットをいたた）と、無塗装試験板 5 板を水槽面に取りつけ、同時に防食効果の判定もおこなつた。これらの関係を表 4.1.2 に一括した。

この組合せの流動状態 (1.6 m/sec) における電位・電流・時間の関係を図 4.1.4 に示す。なお、その結果を表 4.1.3 に要約した。

(2) B 塗装系に Zn および Al 陽極の併用

図 4.1.5 は静止状態において B 塗装系／Zn・Al 陽極の場合にえられた電位・電流・時間曲線で、図 4.1.6 はこれらの組合せにおいて流動状態でえられた電位・電流の時間曲線である。図 4.1.7 は 1.6 m の流速を与えたときの、試験水槽の状態を示している。なお B 塗装系と Zn および Al 陽極の組合せでえられた結果を表 4.1.4 に一括した。

表 4.1.2 A 塗装系と Zn・Al 陽極 (静止)

組 合 わ せ	時間	測 定 内 容				
		平均発生電流	陽 極 消 耗	電 位 分 布		電位分布差
A 塗装系／Zn 陽極	20 日			陽極より 1 m のところ	陽極より 5 m のところ	
	6.5 mA	7.0 gr	-1,050 mV	-1,045 mV	5 mV	
	<ul style="list-style-type: none"> 無塗装 T.P anode より 1 m, 2 m, 2 m 5, 3 m, 4 m の 5 板とも錆の発生は認めず、全面石灰質被覆で覆われている。 A 塗装系塗装鋼板 クロスカット部分発錆なし、塗膜異常なし 					
A 塗装系／Al 陽極	25 日	平均発生電流	陽 極 消 耗	電 位 分 布		電位分布差
				1 m のところ	5 m のところ	
		21.5 mA	5.5 gr	-1,145 mV	-1,133 mV	12 mV
		<ul style="list-style-type: none"> 無塗装 T.P 上記同様 A 塗装系塗装鋼板 クロスカットの部分発錆なし、塗膜クロスカットの部分でフクレを生じた。 				

表 4.1.3 A 塗装系と Zn・Al 陽極 (1.6 m/sec)

	発 生 電 流	陽 極 よ り 1 m の 電 位	静 止 状 態 と の 対 比	
			発 生 電 流	電 位
Zn 陽 極	21 mA	-1,005 mV	14.5 mA 増	45 mV 貴
Al 陽 極	42 mA	-1,120 mV	20.5 mA 増	25 mV 貴

4.1.5 実験結果の解析

(1) 被防食面の塗装状態の差異

A 塗装系は現在の船体外板塗装系中、防食効果の面からは最も優れているもので、B 塗装系は現在

表 4.1.4 B塗装系と Zn・Al 陽極

流速	陽極	時間	測定内容						
0 m/ses	Zn	25日間	発生電流	陽極消耗	電位分布		電位分布差		
			8.0 mA	9.0 gr	1 m	5 m			
			• 無塗装試験片 anode より 1, 2, 2.5, 3, 4 m の 5 枚とも錆の発生は認めず、全面石灰質被覆で覆われている。 • B塗装系塗装鋼板 クロスカットの部分発錆なし。塗膜異常なし						
1.6 m/sec	Al	25日間	発生電流	陽極消耗	電位分布		電位分布差		
			18.0 mA	3.5 gr	1 m	5 m	37 mV		
			• 無塗装試験板 } ともに上記同様 • B塗装系塗装鋼板 }						
発生電流			電位分布		静止状態との対比				
			0	1 m	電流	電位			
Zn	27 mA	1,005 mV	980 mV	19 mA増	70 mV貴				
Al	43 mA	1,095 mV	1,040 mV	25 mA増	77 mV貴				

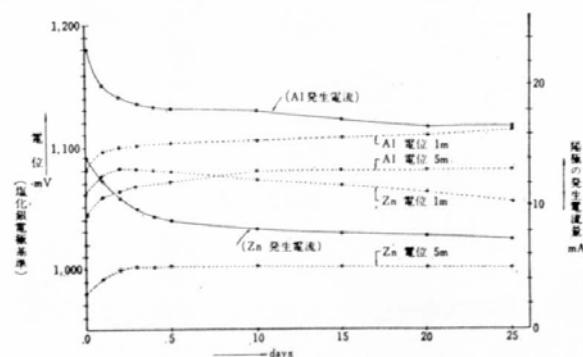


図 4.1.5 B一塗装系/Zn・Alの組合せにおける電位・電流・時間曲線（静止）

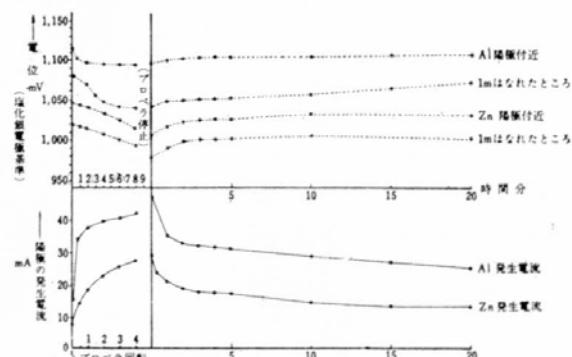


図 4.1.6 B一塗装系/Zn・Alの組合せにおける電流・電位・時間曲線（流動状態）

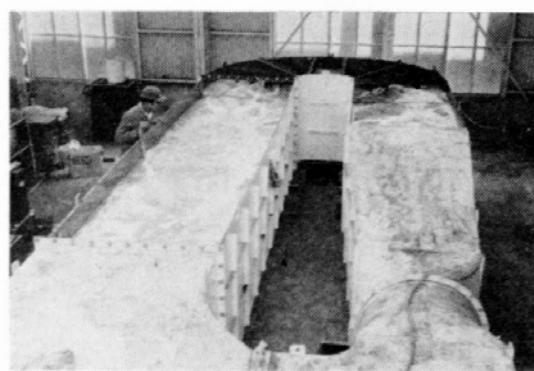


図 4.1.7

新造船の外板塗装系として、一般的に用いられているものである。防食電流密度は陰極となる船底外板面の塗膜状態によつて、大幅に異なることが指摘されているが、本実験の結果でも表 4.1.5 のような結果がえられた。一般的には表 4.1.6 に示す被防食面と防食電流密度の関係が慣用されているが、本実験の場合、被防食面のうちには無塗装試験板 5 枚 (0.05 m^2)、およびクロスカットをいたした塗装試験板が含まれているので、この部分に防食電流がかなり消費されていることを考慮しても、表 4.1.6 の防食電流密度をかなり下回つている。

表 4.1.5 塗装条件と防食電流密度の関係

外板の塗装条件		陽極	静止状態		1.6 m/sec (3 kt)	
塗装系	塗膜の状態		陽極の発生電流	mA/m ²	陽極の発生電流	mA/m ²
A 330~390 μ	非常によい	Zn	6.5 mA	0.4	21 mA	1.3
		Al	21.5 mA	1.3	42 mA	2.6
B 200~230 μ	普通	Zn	8.0 mA	0.5	27 mA	1.7
		Al	18.0 mA	1.1	43 mA	2.6

表 4.1.6 海水中の所要防食電流密度 (mA/m²)

陰極面の条件	静水	流速 20kt*
裸軟鋼	30~50	80~100
ビニル(塗装直後)	1~10	2~20
ビニル(1年経過)	10~20	20~40

* 静止水中すでに分極されているものに対する値

(2) 流電陽極による防食範囲

流電陽極の有効範囲は、被防食面の塗装条件によつて大きく左右される。船底外板の場合、A・B 塗装系を例にとれば、anode/cathode 面積比は Zn 1/355, Al 1/380 で実験した結果、静止～1.6 m/sec の条件下では、陽極から 5 m 離れたところでも完全防食状態になることは、無塗装試験板およびクロスカットをいたした塗装試験板でも認められた。一方、被防食面付近の電位分布を測定した結果を表 4.1.7 に対比させた。

表 4.1.7 被防食面の電位分布差

塗装系	陽極	被防食面の電位分布差			
		静止状態		1.6 m/sec	
A	Zn	1~5m間	5 mV	—	—
	Al	1~5m間	12 mV	—	—
B	Zn	1~5m間	50 mV	0~1m間	70 mV
	Al	1~5m間	37 mV	0~1m間	77 mV

この結果から、A 塗装系は B 塗装系よりも電位分布差が少ないことがわかる。つまり、塗装条件のよいほうが流電陽極の有効防食範囲が広くなることを意味している。したがつて、陽極を取りつける位置は A のような重防食型塗装系では疎に、B のような塗装系では密にすることが必要である。

(3) 陽極材料

表 4.1.8 は A・B 両塗装系における Zn, Al 陽極の特性を一覧したもので、

- i) 陽極の自然電位は Al > Zn
- ii) 陽極の発生電流 Al > Zn
- iii) 陽極の消耗 みかけ Al > Zn, 重量 Zn > Al

となるが、本実験に供した Al 陽極は試験中の発生電流量は重防食塗装系において多く、B 塗装系のほうが小さいという逆の結果が認められた。これは Al 陽極の溶解状態に起因していると考えるべきであろう。

同一塗装条件では Al 陽極の発生電流は Zn 陽極の 2 ~ 3 倍で、それに対する陽極消耗量は 1/1.5 ~ 1/2 となるが、Zn 陽極の比重は約 7.1, Al は約 2.7 であるから、陽極の消耗量は Al 陽極が少ないが、みかけ比重は約 2.6 倍となり、みかけの陽極消耗は Al 陽極のほうが大きくなる。分極電位は Al 陽極、陽極消耗の点からは Zn 陽極が有利となる。

表 4.1.8 流電陽極材料の特性

陽極材料	自然電位	塗装系	試験中の発生電流	陽極付近電位	陽極消耗量
Zn	-1,050 mV	A	6.5 mA	-1,050 mV	7.0 gr
		B	8.0 mA	-1,070 mV	9.0 gr
Al	-1,170 mV	A	21.5 mA	-1,145 mV	5.5 gr
		B	18.0 mA	-1,110 mV	3.5 gr

(4) その他の

A 塗装系に Al 陽極を併用した場合、クロスカットをいれた塗装試験板で小さなフクレを生じた。しかし、B 塗装系に Al 陽極の併用の場合は生じなかつた。前例の場合は Al 陽極の発生電流量が多かつたためか、あるいは下塗りの E.Z.R.P. による影響が判然としないが、この組合せでの塗装と、電気防食の併用をおこなう場合は考慮すべきである。後者でフクレを生じなかつたのは、このときの Al 陽極が孔食をともなつて局部溶解したために、発生電流が少なかつたことに起因していると考えられる。

4. 1. 6 むすび

船底外板の長期防食をはかるためには、塗装と流電陽極による陰極防食の併用がとられる。そのさいの所要防食電流密度として表 4.1.6 が慣用されているが、船底外板面の塗装状態によつて大幅に異なるといわれている。

本実験において、一般的な船底外板塗装仕様 (B 塗装系), タールエポキシ型重防食塗装仕様 (A 塗装系) の両者について、静止および流水 (1.6 m/sec) 中での所要防食電流密度を測定した結果、従来慣用されている所要防食電流密度をかなり下回つて、完全防食されていることがわかつた。また、各塗装系による電流密度の差異は、船底塗料の品質的な向上のためか、実験当初考えていたほどなかつた。

しかし、被塗装面の電位分布差を測定した結果 (表 4.1.7) からは、重防食塗装仕様のほうが流電

陽極の有効防食範囲が広くなる。したがつて重防食塗装系では、流電陽極材の取りつけを疎にすることができる。

つぎに、流電陽極を併用する場合、ZnあるいはAl合金系が対象となるが、本実験からはZn陽極の併用がよいと考えられる。

4.2 性能が改善され実用化されつつあるアルミ陽極の性能試験

4.2.1 まえがき

従来船底外板の電気防食には主としてZn合金が流電陽極として多く使用されてきたが最近優秀なAl合金陽極が開発され実用化されつつある。したがつてこれらAl合金の性能を調査し、併せて国外製品との比較試験も行ない、Al合金を使用した場合の適切な防食法を確立する。

4.2.2 試験方法

試料は国産現用品および試作品と輸入品の合計10種類（内1種類は比較のためのZn陽極）とし、成分は表4.2.1に示すとおりである。試験は次に示す電流効率試験と、分極性能試験、試験タンクによる比較試験を行なつた。前2者の場合はJIS規格に準じた人工海水を使用し、タンク試験では瀬戸内海の海水を使用した。

(1) 電流効率試験

試験装置は図4.2.1(a)および(b)に示すとおりで10種類の試料を直列に接続した。電流密度は0.1～2.0mA/cm²の間で7点をとり試験時間（通電時間）は120時間とした場合と、試料の計量が容易な程度とした場合がある。なお試験時間の差異による影響は別に試験したがその影響の少ないことを確認した。

(2) 分極性能試験

ポテンショスタットを使用して定電流による分極性能試験を実施した。各試料とも0.1mA/cm²の電流密度で1か月使用した陽極について各2回試験を行ない平均値を求めた。

(3) タンク試験

表4.2.5に示す陽極を4.8×6.4mのタンクに底より5.0cmの距離に図4.2.2のごとく配置した。各陽極は約0.09Ωの固定抵抗を通してタンクに接続した。タンク中の水深を加減してタンク電位を-850～-900mVに保つようにして、各陽極の発生電流を測定し、電流効率を求めた。なお各陽

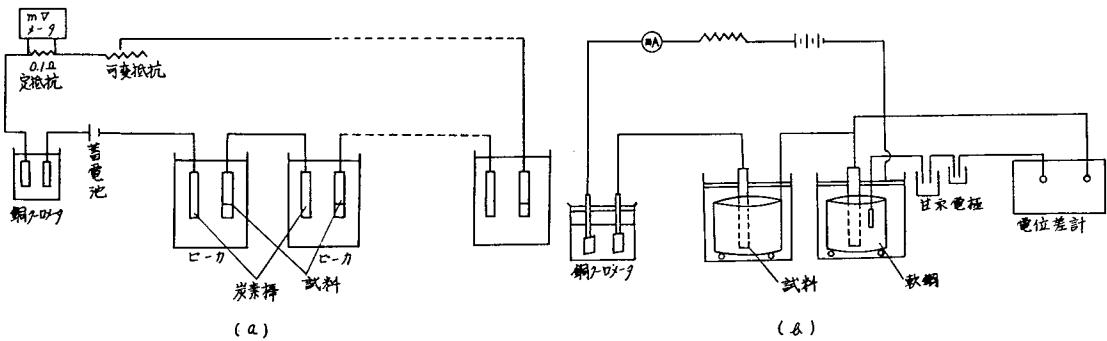


図4.2.1 電流効率試験装置

表 4.2.1 試料の種類と成分

種類	成 分	分析値(%)						理論発電量 (Ah/g)
		Zn	In	Sn	Cd	Al	Hg	
S R-75-A 1	Al-Zn-Sn-Si	5.16	—	0.06	—	—	—	2.894
" A 2	Al-Zn-In	16.70	0.04	—	—	—	—	2.619
" B 1	Al-Zn-In	2.01	0.02	—	—	—	—	2.936
" B 2	Al-Zn-In-Cd	1.90	0.02	—	0.002	—	—	2.939
" B 3	Al-Zn-Sn	1.86	—	0.10	—	—	—	2.910
" B 4	Al-Zn-In-Cd	1.93	0.03	—	0.002	—	—	2.932
" B 5	Al-Zn-In-Cd	2.01	0.03	—	0.002	—	—	2.936
" B 2 n	Zn-Hg-Al	—	—	—	—	0.33	0.33	0.826
" H P 7	輸入品	5.62	—	0.10	—	—	—	2.856
" Alcan	"	3.72	—	0.08	—	—	—	2.898

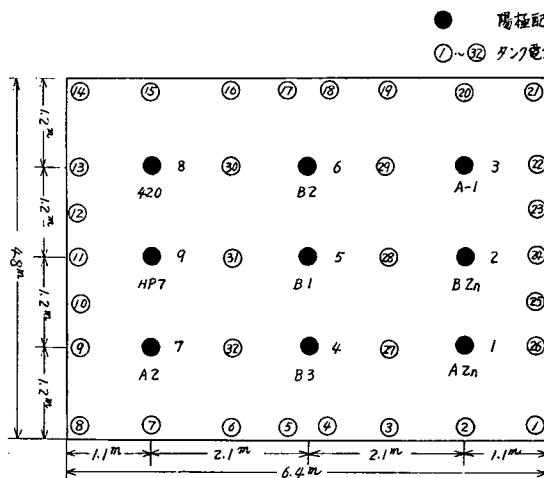


図 4.2.2 電極位置および電位測定箇所

極は表面積を大体 $800\sim850 \text{ cm}^2$ とし重量も計測した。

4. 2. 3 試 驗 結 果

各試験の結果は次のとおりである。

(1) 電流効率試験

(a) 図 4.2.1(a) の装置により試験した結果は表 4.2.2 のとおりである。また図 4.2.1(b) の装置により 120 時間の通電試験をした結果は表 4.2.3 のとおりである。

試験の結果はアルミ陽極としては電流効率は良好で、比較的低い電流密度でも80%以上のものが多かつた。なおバラツキが大きかつたため優劣を判定することが困難であつた。その原因是陽極の溶出が不均一でピツチング状を呈したことにもよるであろう。

(b) 電流効率試験時に陽極電位の変化を計測した。 0.6 mA/cm^2 および 2.0 mA/cm^2 の場合を図 4.2.3 に示す。

表 4.2.2 電 流 効 率

試験 No.	1	2	3	4	5
電流密度(mA/cm ²)	0.1	0.6	1.0	1.5	2.0
試験時間(h)	192	163	171	120	90
電気量(Ah)	0.212	0.928	3.301	3.344	3.426

試験 No. 項目 料	1	2	3	4	5					
	減量(g)	効率(%)	減量(g)	効率(%)	減量(g)	効率(%)				
S R -75-A 1	0.0882	83.09	0.3367	95.25	1.3538	84.25	1.3962	82.76	1.3909	86.01
" A 2	0.0995	81.38	0.3951	89.70	1.5428	81.70	1.5658	81.54	1.6749	78.92
" B 1	0.0861	83.85	0.3589	88.12	1.3549	82.98	1.3238	86.04	1.4331	82.28
" B 2	0.1104	65.38	0.3869	81.71	1.3720	81.87	1.3232	85.99	1.3985	84.23
" B 3	0.0969	75.21	0.3420	93.22	1.2886	88.03	1.2880	89.22	1.3186	90.22
" B 4	0.1088	66.45	0.3613	87.65	1.3049	86.28	1.2706	89.76	1.3715	86.09
" B 5	0.0973	74.22	0.3935	80.35	1.2720	88.39	1.2314	92.49	1.3066	90.25
" B2n	0.3078	83.45	1.1639	96.52	4.0172	99.48	4.2313	95.68	4.2617	98.35
" HP 7	0.0920	80.72	0.3586	90.60	1.3966	82.76	1.3087	89.47	1.3784	87.94
" Alcan	0.0931	78.75	0.3594	89.05	1.3494	84.41	1.3087	88.17	1.3561	88.09

表 4.2.3 電 流 効 率

試料	電流密度 0.15 mA/cm ²	0.30	0.60	1.00	1.50	2.00
S R -75-A 1	79.00	86.50	86.00	86.48	86.90	86.56
" A 2	78.19	76.51	80.45	80.49	80.74	80.72
" B 1	84.58	92.26	84.28	93.23	94.06	89.07
" B 2	75.39	90.08	84.19	88.21	86.89	90.39
" B 3	92.73	98.75	94.18	93.84	92.56	91.29
" B 4	86.18	87.12	94.38	94.29	95.86	91.23
" B 5	85.34	91.61	94.24	88.99	94.70	94.40
" B2n	91.01	95.92	97.13	97.80	99.06	99.66

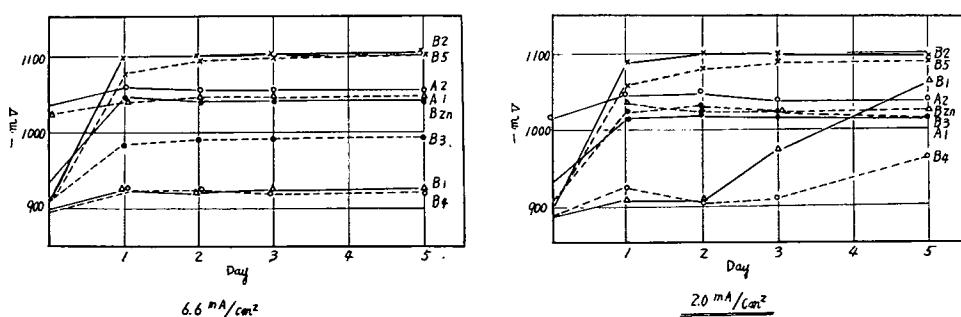


図 4.2.3 陽極電位の変化

アルミ陽極は大気中で表面酸化して電位が高くなっているが通電により電位は低下する。電流密度が小さい場合には容易に電位が低下するものと電位の低下が遅いものがある。

なお自然電位の変化を1か月にわたって計測したところ、図4.2.4のとおり電位の低いB2, B5と中間のA1, A2, B2n, B3のグループと電位の高いB1, B4のグループに分かれた。

(c) 120時間通電後の溶液のpHを計測したところ図4.2.5のとおりで、電流密度の増大とともにpHは低下した。亜鉛陽極とアルミ陽極ではかなり違いがある。pHの低下が電流効率におよぼす影響を調査するため、pH=4.5とpH=7.6の溶液にて 1 mA/cm^2 での電流効率試験を行なつたところ、表4.2.4の通りであつた。またNaOHによりpHの調節を行ないその影響を調査したが、その結果は表4.2.4(b)のとおりで、いずれの場合もpHの影響は少なかつた。

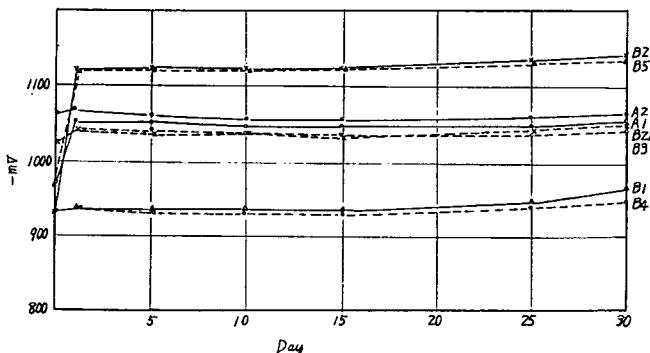


図4.2.4 自然電極電位

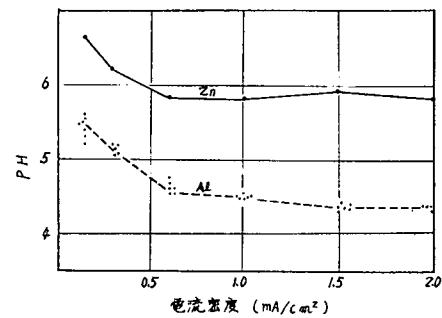


図4.2.5 電流密度とpHの影響

(2) 分極性能試験

0.1 mA/cm^2 で30日間通電した試料の表面状態を変化しないように留意しながら 10 mA/cm^2 程度の定電流分極試験を行なつた結果は、図4.2.6に示すとおりでB1, B2が良好であつた。

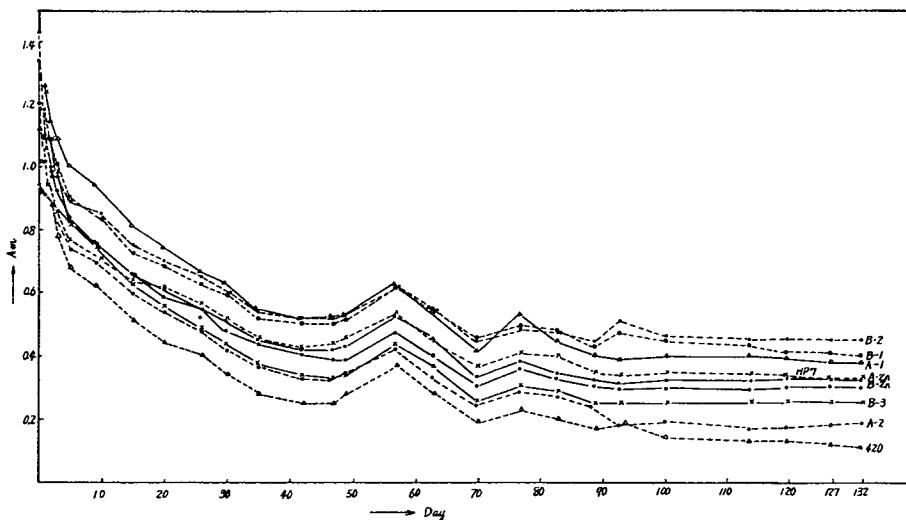


図4.2.6 分極性能試験結果

(3) タンク試験

約130日間の試験をした結果、陽極の発生電流は図4.2.7のとおりでB2が最も大きかつた。電流

表 4.2.4 電流効率におよぼす pH の影響 (a)

pH \ 試料	A 1	A 2	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 2n
7.6	86.48	80.49	93.23	88.21	93.84	94.29	88.99	97.80
4.5	85.72	81.43	91.16	92.15	93.30	93.76	95.12	99.45

(b)

陽極	溶液		電流効率 (%)
	量 (ℓ)	pH 調節の有無	
電流密度 (mA/cm²)	表面積 (cm²)		
2.0	10	0.5	無 91.06
2.0	10	"	有 89.22
1.0	20	"	無 82.95
1.0	20	10.0	" 84.71

表 4.2.5 試料の種類と成分 (タンク試験用)

種類	成 分	分 析 値 (%)					
		Zn	In	Sn	Cd	Al	Hg
S R—75—A 1	Al—Zn—Sn—Si	7.0					
" A 2	Al—Zn—In	21.0	0.04				
" A2n							
" B 1	Al—Zn—In	2.59	0.024				
" B 2	Al—Zn—In—Cd	2.40	0.022	0.014			
" B 3	Al—Zn—Sn	2.47					
" B2n	Zn—Hg—Al					0.30	0.035
" Alcoa HP	輸 入 品	5.64		0.10			
" Alcan 420	"	3.72		0.08			

表 4.2.6 電流効率 (タンク試験)

試料	A 1	A 2	A2n	B 1	B 2	B 3	Alcan 420	Alcoa HP 7	B2n
電流効率 (%)	91.10	69.67	86.45	80.78	80.37	79.03	46.91	66.85	85.49

効率は表 4.2.6 のとおりで、一般に実験室内ビーカ試験よりも低かつた。特に Alcan—420, Alcoa—HP 7, A 2, B 3 は水酸化物の付着が非常に多く、水洗後ワイヤブラシにて削り落しても十分処理できなかつたことにも原因がある。A 1 の効率がビーカ試験に反して良好であった理由は明らかでない。B 1, B 2, B 3 および B 2n の効率が他に比較してよいのはビーカテストと同じである。

4. 2. 4 結論

(1) アルミ陽極の電流効率はいずれも良好で低電流密度でも 80% 以上のものがあり、高電流密度では 90% 以上のものがあつた。

しかし、バラツキが多く大部分のものがピツチング状の溶出を示していた。

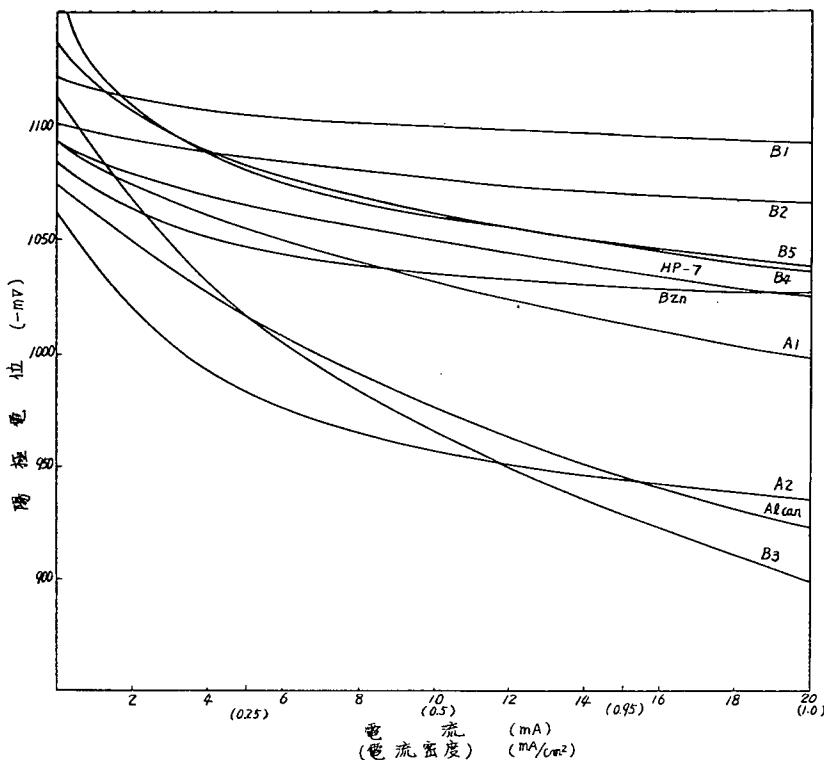


図 4.2.6 陽極分極曲線(定電流)

(2) アルミ陽極の分極性能はかなり優劣があり、B 1, B 2 は良好であつたが B 3, A 2, Alcan 等はやや劣つた。

(3) 約 130 日間のタンク試験の結果、かなり性能の低下したものもあり優劣を生じた。この場合の成績は分極性能試験の結果とほぼ同じ傾向を示し、B 1, B 2 は良好であつたが Alcan, A 2, B 3 は良好でなかつた。

4. 3 高速流水中およびキャビテーションを発生した場合の所要防食電流の研究

4. 3. 1 まえがき

船体の電気防食は著しく進歩してきたが、高速流水中やキャビテーション時の防食方法はまだ不明な点が多いのでこれを解明するために実施した。

4. 3. 2 試験方法

試験装置は図 4.3.1 に示すとおりで、試験に供した回転円板は鋼および Mn 青銅でその寸法は直径 150 mm 軸径 30 mm, 厚さ 5 mm で表面積は片面を絶縁し、約 170 cm²とした。なお試験板以外の軸系は全部絶縁塗料を被覆した。試験電位を -800 mV とし手動またはポテンショスタットにより定電位分極試験を行ない。流速に対する所要防食電流を計測した。なおキャビテーションを発生させるため円板の表面に 60° 每に 2.5 mm の突起を取り付け平板試験片と比較した。

4. 3. 3 試験結果

試験の結果は図 4.3.2 のとおりで静止中の所要電流は比較的小さかつたが、回転数を増加すると鋼

および Mn青銅の場合とも著しく増加した。防食電流は磨いた試験板ではほぼ回転数に比例したが、試験板の海水浸漬時間が長くなるほど回転数增加の影響が少なくなつた。突起をつけた試験板は平板試験板より約 1 割所要電流が大きかつた。

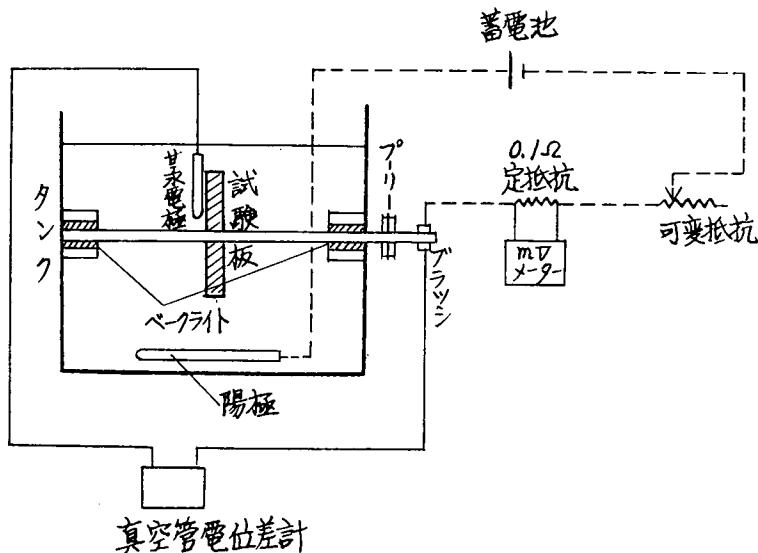


図 4.3.1 所要防食電流試験装置

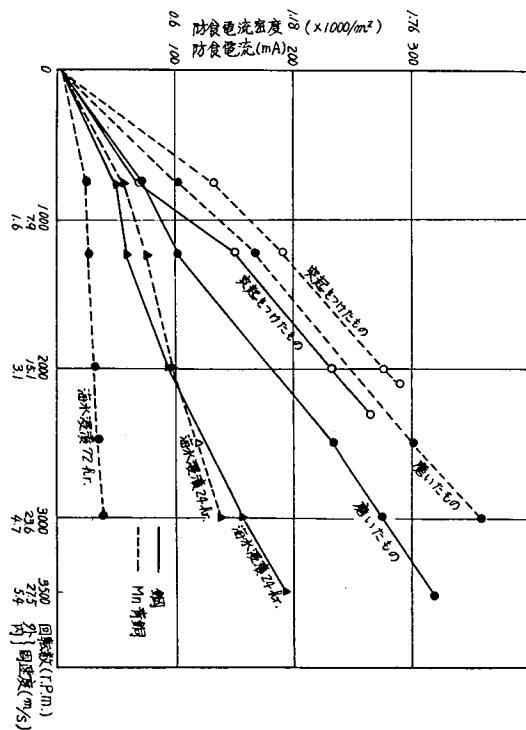


図 4.3.2 防食電流と流速の関係（電位 -800 mV）

第5章 実船適用試験

前年度浸漬試験を実施した各種塗料のうち比較的良好と思われるものを主として実船に塗装し、就航状態における性能比較試験を実施した。供試船については、就航海域、船の大きさ等を考慮して大型船（外航）3隻、中型船（国鉄連絡船）1隻、小型船（曳船）3隻の計7隻を使用した。

5.1 大型新造船への適用試験

5.1.1 供試船および試験塗装部

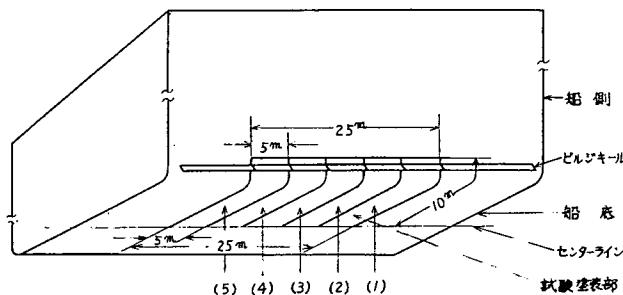
供試船は貨物船1隻、油槽船2隻の合計3隻で、各船のトン数および試験塗装部面積などは表5.1.1に示した。

また各船の試験塗装位置および塗りわけ区画などは図5.1.1に示した。

なおデンマーク丸、五十鈴川丸の試験塗装部は左舷側、昭星丸の場合は右舷側であつた。

表 5.1.1 供試船および試験塗装部

船名	船主	船種	トン数(DWT)	試験塗装部	
				船底部	水線部
デンマーク丸	川汽	カーゴ	10,784	250m ²	—
昭星丸	昭海	タンカー	61,370	250m ²	—
五十鈴川丸	川汽	"	118,000	250m ²	約 500m ²



$$5 \text{ m(長さ)} \times 10 \text{ m(幅)} \times 5 \text{ (鉛柄)} = 250 \text{ m}^2$$

図 5.1.1 実船試験塗装部

5.1.2 各船就航状況および調査スケジュール

各船の航路および調査日程は表5.1.2に示したとおりである。2年目の入渠は各船ともおくれ、デンマーク丸は就航後28か月、昭星丸は26か月後であつた。五十鈴川丸も同様当初の予定から約2か月おくれる見込みである。

各船とも一般塗装部は1年目の入渠時に1号塗料のタツチアップ塗装および2号塗料の全面塗装を実施した。しかし試験塗装部は特殊な損傷部を除きそのままの状態で出渠した。

表 5.1.2 各船就航状況および調査スケジュール

船名	航路	40年			41年			42年			43年	
		7月	12月	1月	6月	12月	1月	6月	12月	1月	7月	
デンマーク丸	日本→ロスアンジ エルス 西アフリカ	←	→	←	1年目 調査	→	2年目 調査					
昭星丸	日本→ペルシャ	←	→	→	1年目 調査	→	2年目 調査					
五十鈴川丸	日本→アラビア		←	→	1年目 調査	→	2年目 調査					

なおデンマーク丸の場合、比較のため一般塗装部の一部に無補修の部分を例外的に設けた。

5. 1. 3 各船試験塗装要領

各船の試験塗装部に使用した塗料（プライマ、1号塗装系、2号塗装系）、塗装回数およびトータル膜厚などは表 5.1.3～表 5.1.5 に示した。

表 5.1.3 デンマーク丸実船試験塗装要領（膜厚：ミル）

No.	プライマ			1号塗装系			2号塗装系		
	種類	膜厚	回数	塗装系	トータル膜厚	回数	塗装系	トータル膜厚	回数
(1)	Z/E	0.5	1	特殊瀝青	6.6	4	特殊瀝青	5.4	3
(2)	W/P	0.8	"	"油性	5.7	"	"油性	4.2	"
(3)	Z/E	0.5	"	エポキシタール	9.2	3	ビニル	5.3	"
(4)	"	"	"	ビニル	6.6	6	"	3.9	"
(5)	W/P	0.8	"	エポキシタール	13.5	3	エポキシタール	4.7	2

表 5.1.4 昭星丸実船試験塗装要領（膜厚：ミル）

No.	プライマ			1号塗装系			2号塗装系		
	種類	膜厚	回数	塗装系	トータル膜厚	回数	塗装系	トータル膜厚	回数
(1)	Z/E	0.5	1	特殊瀝青	7.0	4	特殊瀝青	3.5	3
(2)	W/P	0.8	1	"油性	6.4	4	"油性	4.1	3
(3)	"	"	1	エポキシタール	15.0	3	エポキシタール	4.0	3
(4)	Z/E	0.5	1	エポキシ	6.8	3	"	3.0	3
(5)	"	"	1	ビニル	4.8	5	"	3.2	2

表 5.1.5 五十鈴川丸実船試験塗装要領（膜厚：ミル）

No.	プライマ			1号塗装系			2号塗装系		
	種類	膜厚	回数	塗装系	トータル膜厚	回数	塗装系	トータル膜厚	回数
(1)	Z/E	0.5	1	特殊瀝青	4.5	3	特殊瀝青	4.0	2
(2)	"	0.5	1	"	4.5	3	耐あおさ*	5.5	3

* 水線塗料

デンマーク丸と昭星丸の場合、図 5.1.1 に示した試験塗装部ナンバーと表 5.1.3、表 5.1.4 に示した各塗装系のナンバーは一致するようになつている。

なお五十鈴川丸の場合は、表 5.1.5 の (1) が図 5.1.1 の試験塗装部の全面に塗装してあり、同表の (2) は、SR-75 研究部会とは無関係に船主、造船所および塗料メーカーの責任において実施した試験塗装部である。

5. 1. 4 実船試験結果

(1) 塗膜性能の評価方法

(a) 肉眼による評価結果の表示方法

表 4.1.6 に示したとおりである。

表 5.1.6 塗膜の評価記号

評価記号	塗膜の状態
◎	塗膜に全く異常がなく、きわめて良好な状態を示す。
○	塗膜にほとんど異常がなく、良好な状態を示す。
△	塗膜にやや欠陥があり、手なおしを必要とした状態を示す。
×	きわめて不良、80~100%まで手なおしを必要とした状態を示す。

(b) 1 kc における交流電気抵抗値および容量の計測

i) 測定器

誘電特性測定装置 CJA-3 型（新電子工業社製）

ii) 測定要領

実船における測定方法は図 5.1.3 ~ 図 5.1.5 によつた。測定周波数 1 kc の R (交流電気抵抗) および C (交流電気容量) を測定した。

iii) 測定場所

図 5.1.2 に示したとおりである。

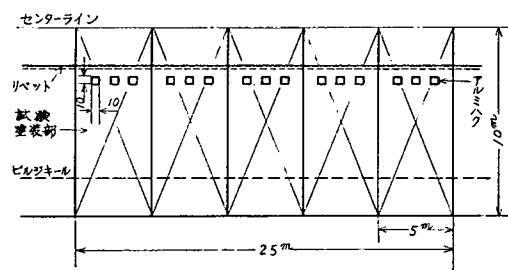


図 5.1.2 R, C の測定位置

iv) 測定時期

- | | |
|-------|-------------|
| 第 1 回 | 進水直前 |
| 第 2 回 | 引渡し前ぎ装入渠時 |
| 第 3 回 | 就航 1 年後の入渠時 |
| 第 4 回 | 就航 2 年後の入渠時 |

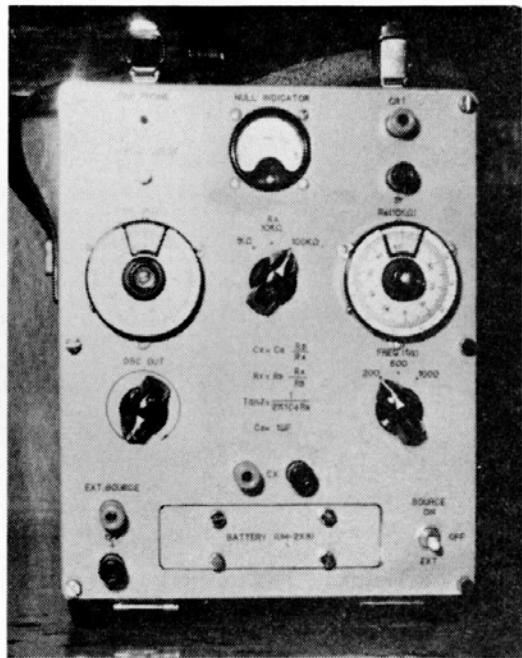


図 5.1.3 誘電特性測定装置

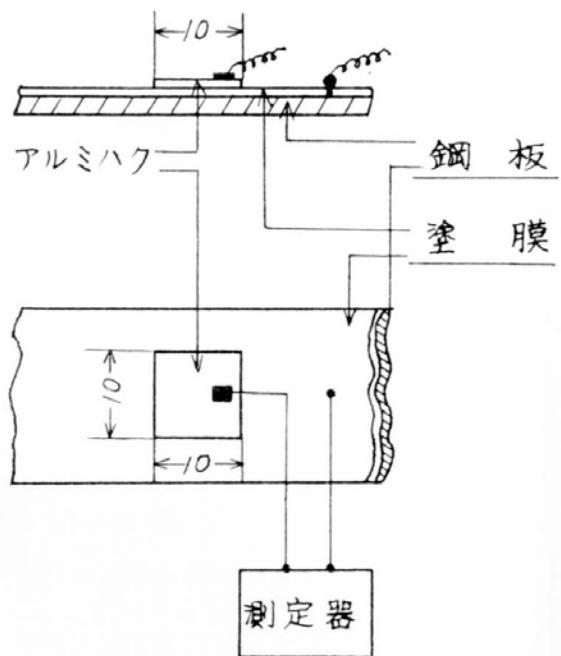


図 5.1.4 実船での測定要領

アルミハク／塗膜面は 3% NaCl-CMC で接着した。

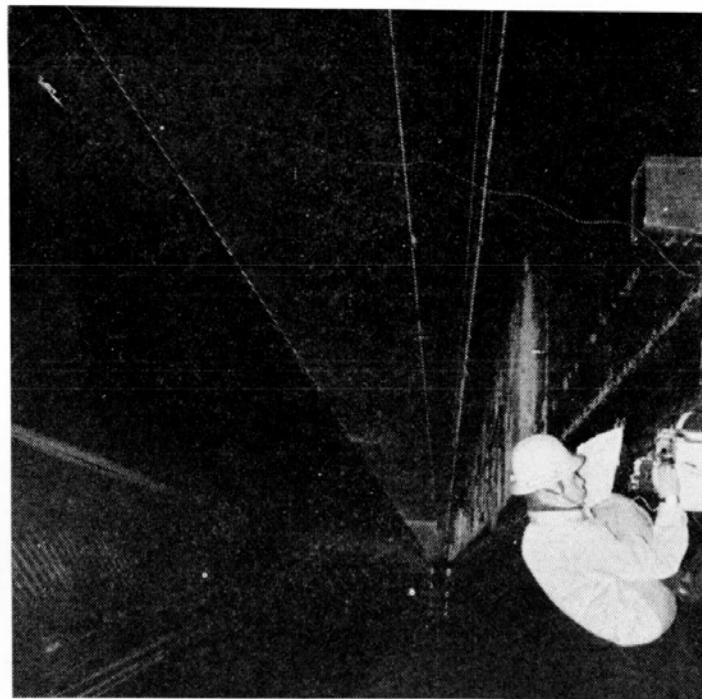


図 5.1.5 実船での測定状況

(2) 実船試験結果

(a) ぎ装入渠 就航 1 年後の塗膜状態

表 5.1.7 デンマーク丸実船試験結果

No.	ぎ装入渠時の塗膜状態					1年間就航後塗膜状態				
	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考
(1)	◎	◎	◎	◎	良好	◎	◎	◎	◎	良好
(2)	◎	◎	◎	◎	良好	◎	◎	◎	◎	"
(3)	◎	◎	◎	◎	盤木あと一部剥離	◎	◎*	◎	◎	"
(4)	◎	◎	◎	◎	良好	◎	◎	◎	◎	"
(5)	◎	×	◎	◎	盤木あと剥離	◎	-	◎	◎	"

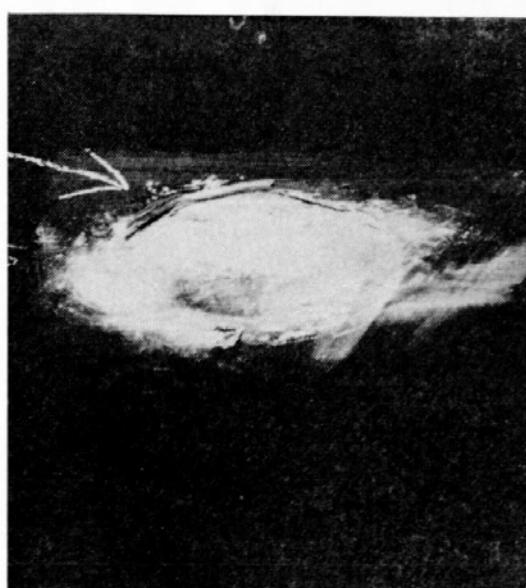
* ぎ装入渠時に剥離したところを除く。

表 5.1.8 昭星丸実船試験結果

No.	ぎ装入渠時の塗膜状態					1年間就航後塗膜状態				
	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考
(1)	◎	◎	◎	◎	良好	◎	◎	○	◎	良好
(2)	◎	◎	◎	◎	"	◎	◎	○	◎	"
(3)	◎	×	△	◎	剥離	△	-	△	◎	はく離
(4)	◎	△	◎	◎	"	△	△	○	◎	"
(5)	◎	◎	◎	◎	良好	◎	◎	○	◎	良好

表 5.1.9 五十鈴川丸実船試験結果

No.	ぎ装入渠時の塗膜状態					1年間就航後塗膜状態				
	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考
(1)	◎	◎	◎	◎	良好	◎	◎	◎	◎	良好
(2)	-	-	◎	-	"	-	-	×	-	あおのり付着

図 5.1.6 進水前タールエポキシ 1号、2号塗装系
ツヅあと剥離の1例（デンマーク丸）図 5.1.7 ぎ装入渠時一般塗装部の一部にふじっぽ
の付着あり。（昭星丸）

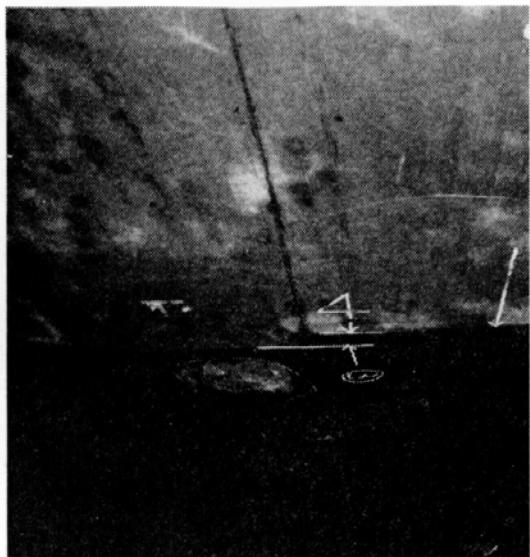


図 5.1.8 ぎ装入渠時試験塗装部の1例。エポキシ1号, ビニル2号(昭星丸)

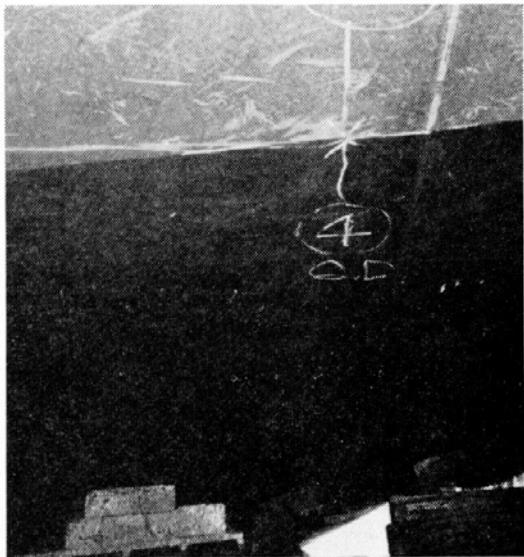


図 5.1.9 ぎ装入渠時試験塗装部の1例。手前ビニル1号, 同2号。向側特殊れき青1号, 同2号(デンマーク丸)



図 5.1.10 就航1年後の状態(昭星丸)

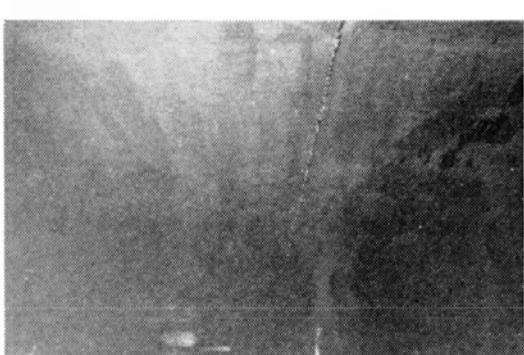


図 5.1.11 就航1年後の状態(デンマーク丸)



図 5.1.12 就航1年後の状態(五十鈴川丸)

(b) 就航 2 年後の塗膜状態

表 5.1.10 就航 2 年後の塗膜状態

No.	デンマーク丸						昭星丸					
	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考	溶接シーム リベット	盤木あと	側面	フラットボトム	備考		
(1)	○	○	—	○	良好好	○	○	—	○	良好好		
(2)	○	△	—	○	"	○	○	—	○	"		
(3)	○	○	—	○	"	△	—	—	○	条件つきで良好		
(4)	○	○	—	○	"	△	△	—	○	"		
(5)	○	—	—	○	条件つきで良好	○	○	—	○	良好好		



図 5.1.13 一般塗装部で 1 年目入渠時に 2 号塗料を塗装しなかつた部分 (デンマーク丸)

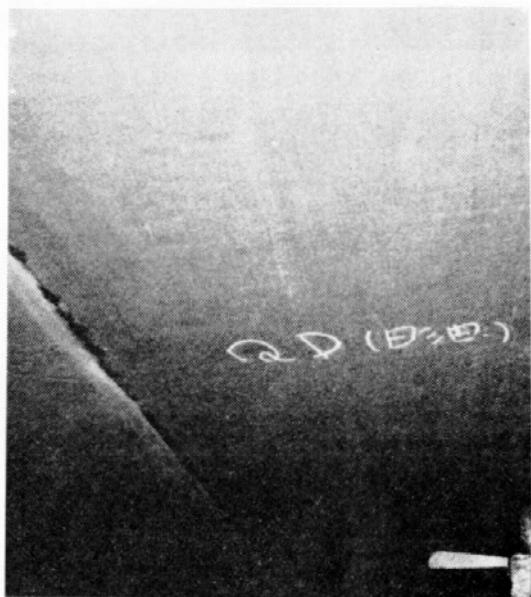


図 5.1.14 特殊れき青 1 号, 同 2 号船底塗装系 (デンマーク丸)



図 5.1.15 特殊油性 1 号, 同 2 号船底塗装系 (デンマーク丸)



図 5.1.16 エポキシタール 1 号, ビニル 2 号船底塗装系 (デンマーク丸)

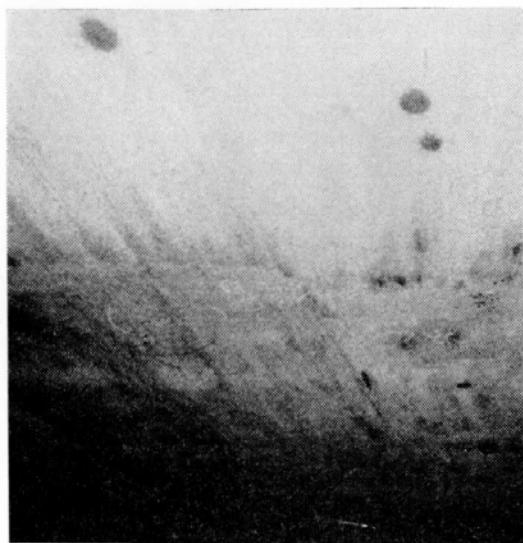


図 5.1.17 ビニル 1号, 同 2号船底塗装系
(デンマーク丸)

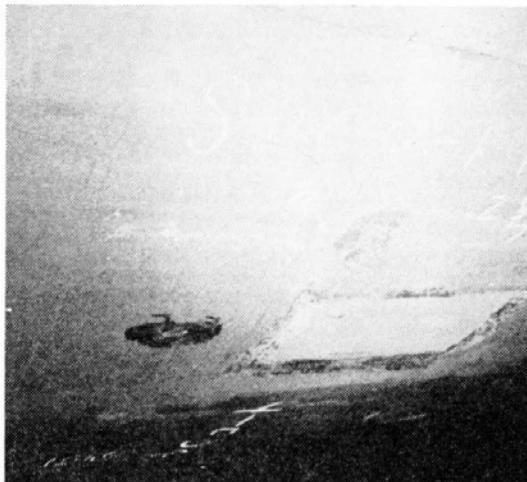


図 5.1.18 エポキシタール 1号, 同 2号船底塗
装系 (デンマーク丸)



図 5.1.19 一般塗装部, 1年目入渠時に2号
塗料を全面塗装した。(昭星丸)

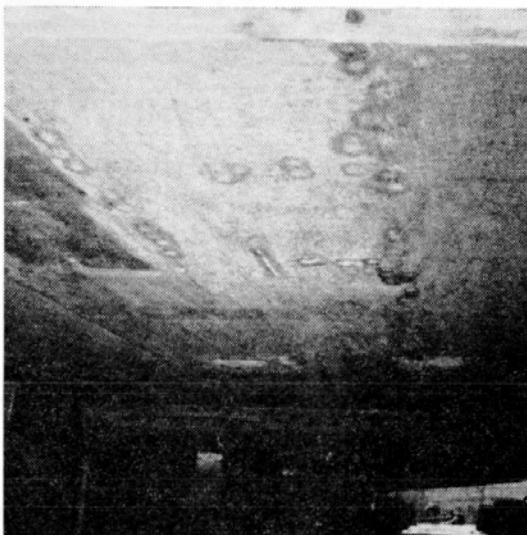


図 5.1.20 特殊れき青 1号, 同 2号船底塗装系
(昭星丸)

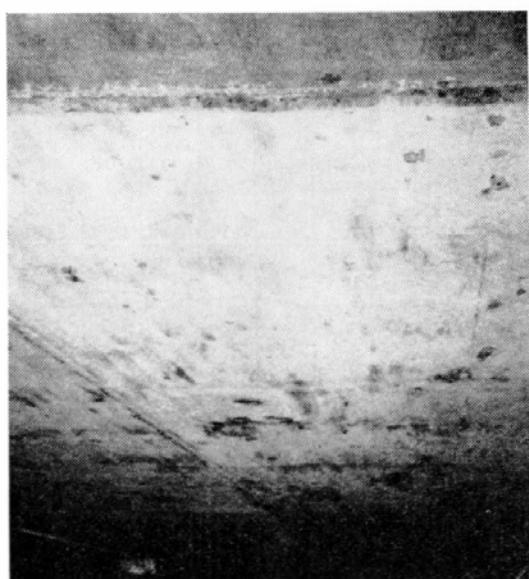


図 5.1.21 特殊油性 1号, 同 2号船底塗装系
(昭星丸)



図 5.1.22 エポキシタール 1号, 同 2号船底塗
装系 (昭星丸)



図 5.1.23 エポキシ 1 号, ビニル 2 号船底塗装系 (昭星丸)

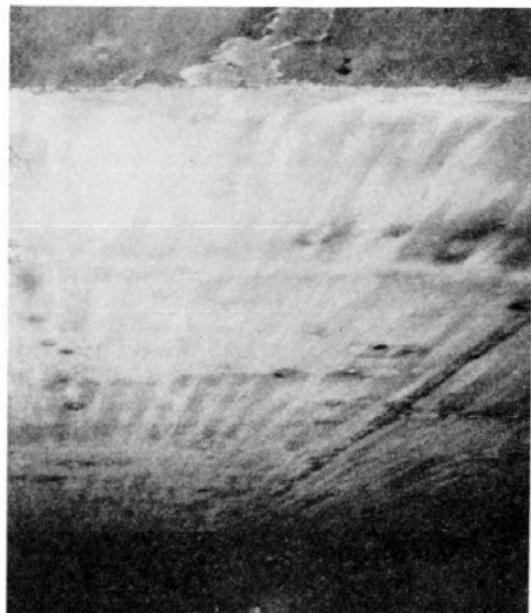


図 5.1.24 ビニル 1 号, 同 2 号船底塗装系 (昭星丸)

(3) 交流電気抵抗および容量測定結果

実船における測定結果と試験片におけるそれとの比較は図 5.1.25～図 5.1.35 に示した。各グラフにおける記号は表 5.1.11 のようである。

表 5.1.11 グラフの記号一覧表

測定項目	グラフの記号	記号の説明
電気抵抗	—●—	実船での測定結果
	—○—	試験片での測定結果
電気容量	—▲—	実船での測定結果
	—△—	試験片での測定結果

(a) デンマークの場合

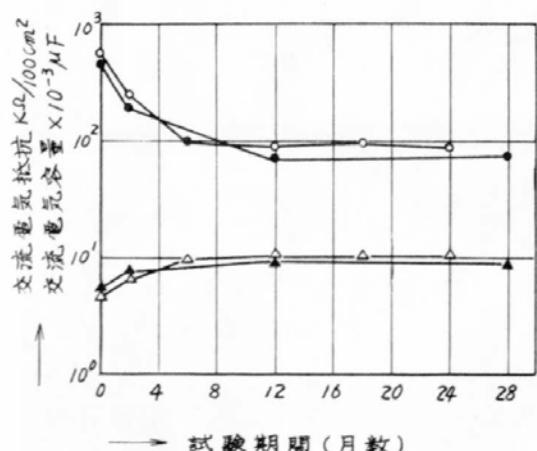


図 5.1.25 特殊れき青 1 号, 同 2 号塗装系

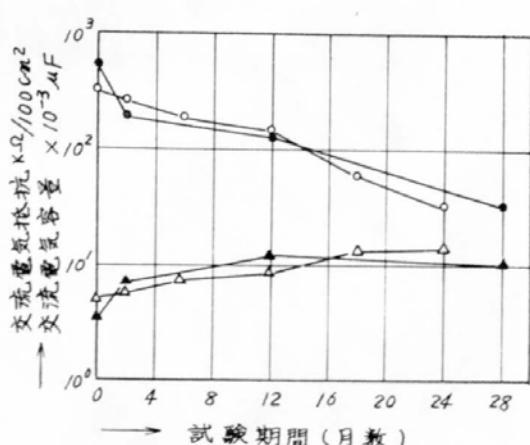


図 5.1.26 特殊油性 1 号, 同 2 号塗装系

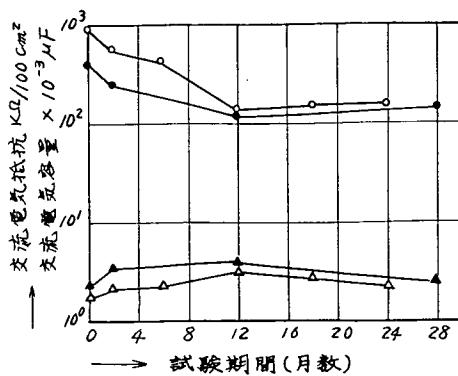


図 5.1.27 エポキシタール 1号, ビニル 2号塗装系

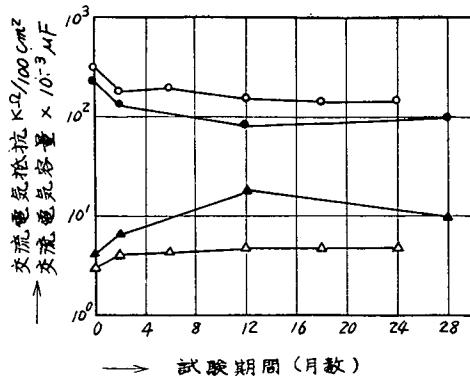


図 5.1.28 ビニル 1号, 同 2号塗装系

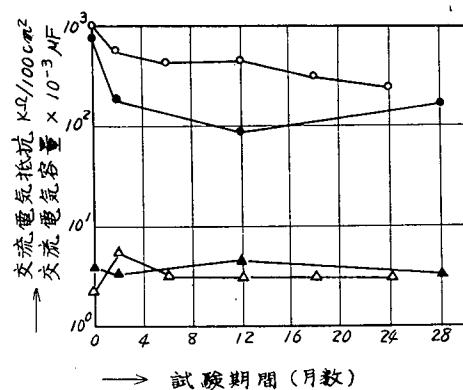


図 5.1.29 エポキシタール 1号, 同 2号塗装系

(b) 昭星丸の場合

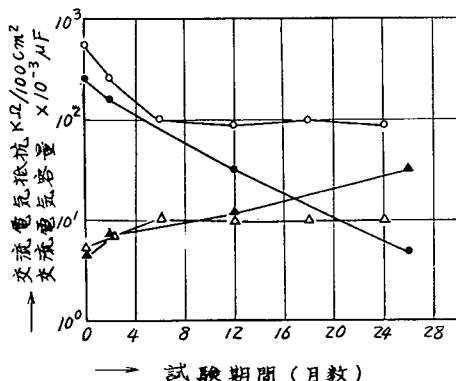


図 5.1.30 特殊れき青 1号, 同 2号塗装系

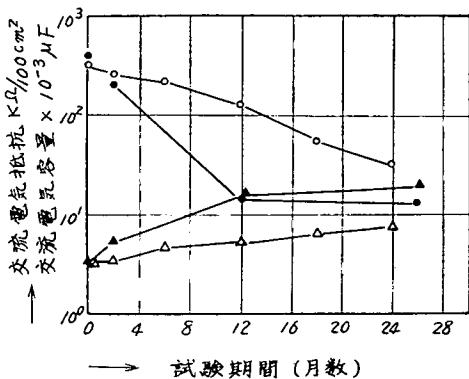


図 5.1.31 特殊油性 1 号, 同 2 号塗装系

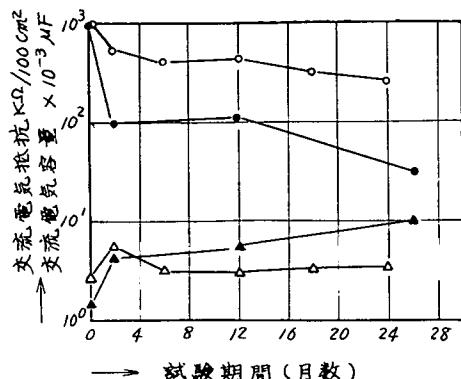


図 5.1.32 エポキシタール 1 号, 同 2 号塗装系

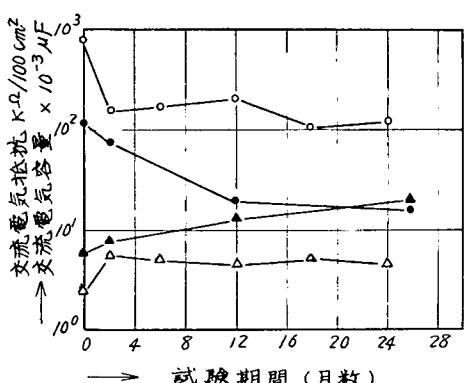


図 5.1.33 エポキシ 1 号, ビニル 2 号塗装系

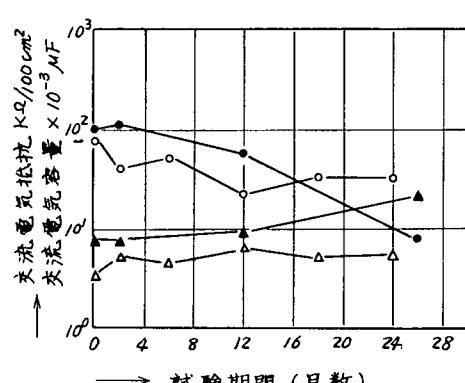


図 5.1.34 ビニル 1 号, 同 2 号塗装系

(c) 五十鈴川丸の場合

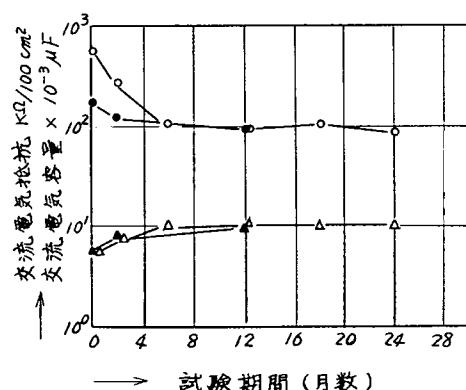


図 5.1.35 特殊れき青 1 号, 同 2 号塗装系

5. 1. 5 実船試験結果考察

(1) 肉眼による塗膜の性能評価

肉眼による評価とは、所定の就航をおえた（本研究の場合は2年間）試験塗装部に、海洋生物の付着あるいは塗膜の劣化部分などが存在したかどうかを確認することである。したがつて各船の塗膜状況は立会い観察者（デンマーク丸の場合約40名、昭星丸の場合約10名）の頭脳に記録されているが、これを定量的な値として報告書に扱うことは不可能であるから表5.1.6のような評価記号で間接的に、また代表的な試験塗装部は写真によつて表示した。しかしこれだけでは説明不足であるから以下に考察を述べる。

(a) 海洋生物の付着

各船の塗膜状況で観察者の頭脳に共通の事実として記録されたことは、ビルジキールからフラットボトムへかけての試験塗装部に海洋生物の付着が全く認められなかつたことである。

船側立ち上り試験塗装部（ビルジキールから上）は就航中に付着した油などで汚れがひどく、試験塗装部として不適当であると判断したので就航1年後の入渠で中止した。なおその部分へは、あおのりが付着した。

(b) 塗膜の劣化

特に目立つた欠点としてエポキシ1号、およびある種のエポキシタール1号を塗装した船底塗装系では、建造時においてすでにばん木あと、「ツヅ」あとなどにクラツク、剥離などを生じた。このような部分は他の速乾型船底塗料で進水前に補修したので試験塗装観察部から除外した。

就航2年後の入渠時塗膜（試験塗装部）状況として、全試験塗装部の約97%はほぼ満足すべき状態であつたといえるが、建造時のばん木あと、「ツヅ」あとおよび溶接シームなどの一部に少量のふくれ発錆が認められた。やはりこのような特殊な部分の塗膜性能は、一般塗装部より低下するようである。特に昭星丸の試験塗装部溶接シームでは、エポキシ1号（ふくれ）、エポキシタール1号（剥離）塗装部の性能低下率が大きかつたが、これは建造時塗装工程で表面調整(SIS St 2)後、サンプル（塗料）入手と塗装日程の都合で他社製品のショツッププライマをタツチアップしたことも関与しているのであろう。

(c) まとめ

実船試験の結果、部分的には不満足な点もあるが2年間ノードッキングのための防食、防汚の目的を達成したと考えている。

(2) 交流電気特性値による塗膜性能評価

交流電気特性値で塗膜性能を評価すれば、肉眼判定の場合と異なり定量的な数値で扱うことができる。既報^{1),2)}では実験室的な水槽浸漬試験における各種試験片の交流電気特性値と肉眼判定結果を2年間にわたつて調査解析し、これらの間には関連性があることを確認した。そしてそれらの関係に対する考え方、防食に必要な電気特性値の基準などを定めたが、それが実船において成立するかどうかを確認するために本実験を行なつた。

測定部は肉眼観察で健全であるという判定を受けた部分（全体の97%）を対象にしており、剥離、ふくれおよび発錆のあつた劣化部（全体の約3%）は除外した。この理由は、目で観察してすでに悪いと判定できるような塗膜部は計測値による判断を必要としないと考えたからである。

(a) 電気抵抗値について

各船における交流電気抵抗値 ($K\Omega/100\text{cm}^2$) の経時変化をみると特殊れき性 1 号, 同 2 号, ビニル 1 号, 同 2 号, エポキシ 1 号, エポキシタール 1 号, 同 2 号などの塗装系は, 一・二の例外を除き 2 ~ 6 か月後の値がほぼ一定になる。しかし特殊油性 1 号, 同 2 号塗装系の場合は次第に低下する傾向がみられた。

進水前の塗膜の交流電気抵抗ではエポキシタール 1 号を使用した塗装系の値が特に大きいが, 就航 1 年後あるいは 2 年後の値は他の塗装系とほぼ同じような値を示すようになった。

ビニル船底塗装系では, 膜厚の差がそのまま交流電気抵抗の値におきかわっているが, その他の塗装系では, 特に 2 年後の値で比較すると, 塗装膜厚と抵抗の値とは必ずしも一致していない。(ここでいう塗装膜厚は試験塗装部の平均膜厚のことであり, 交流電気抵抗測定部の膜厚とは一致しない場合がある。)

同じ塗装系の場合, 昭星丸 2 年後の値はデンマーク丸の場合より一般に低いが, これは後で述べる塗膜の吸水率の差が原因であろうと推定している。なお肉眼判定の結果では, 定量的な比較はできないまでも昭星丸試験塗装部の方がデンマーク丸の場合より, 幾分悪かつたという意見もあつた。

実船と同じ要領で塗装した試験片との比較では, デンマーク丸試験塗装部の各交流電気抵抗値は試験片とほぼ一致またはやや低い程度であつたが, 昭星丸試験塗装部の場合は一般にかなり下回った値を示した。

就航 2 年後の交流電気抵抗値は 1 例を除きいずれも $10 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ 以上の値を示した。

(b) 交流電気容量について

交流電気容量値 ($\times 10^{-3} \mu\text{F}/\text{cm}^2$) の経時変化をみると, デンマーク丸の場合浸漬 2 ~ 6 か月以内が上昇期であり, それ以後はほぼ一定の値を示したが, 昭星丸の場合就航年数とともに増加の傾向がみられた。そして同じ塗装系の場合は昭星丸における値の方が大きな値を示した。一般に塗膜の交流電気容量値は, 吸水率³⁾, 塗膜のふくれなどによる変形⁴⁾, 発錆⁴⁾などと関係があるといわれているが, 各船の場合とも測定部塗膜に変形, 発錆などの現象が外観上認められなかつたので, 主として試験塗装部塗膜の吸水率が関与していると思われる。この論法でいけばデンマーク丸試験塗装部よりも昭星丸の場合の方が吸水率が高いということになるが, その原因についてはあきらかでない。ただし両船に使用した供試塗料の成分, 施工時の諸条件および入渠測定時の測定諸条件(昭星丸の場合ドライアップ後 17 時間, デンマーク丸の場合 14 時間である。また電極として使用したアルミハク + 3% NaCl · C.M.C. のセット時間は両船とも 20 分, 測定時の温度は昭星丸の場合 15°C, デンマーク丸の場合 20°C ……,) などが同じであつたとすれば, その原因は就航の影響としか考えられない。

また電気容量変化率の特に大きかつた塗装系の場合, 電気抵抗値の減少がめだつた。

実船と同じ要領で塗装した試験片との比較では, 一般に実船で得られた電気容量値の方が大きかつたが, この原因は試験片の場合水槽中の静止の状態で浸漬されていたのに対し実船では流動条件下におかれたためであろう。

(c) まとめ

- i) 一般に 6 か月以内の水槽浸漬試験で $10 \text{k}\Omega/\text{dm}^2$ 以上の交流電気抵抗値 (1 kc) を示す塗装系は 2 年間の防食性能があると考えてよい。実船と実験室での結果^{1), 2)} がよく一致した。
- ii) 防食性能にかぎれば, 水槽実験より実船環境の方が過酷である。また同じ実船環境でも航路, 就航条件などによつて塗膜の劣化度(交流電気特性値で判定した劣化度)が異なる場合がある。

iii) デンマーク丸実船試験塗装部で調査した結果によると、塗膜欠陥が発生した面積率%はおよそのめやすとして図5.1.36のようである。このなかでa, b, cは、測定された交流電気特性値から年間の防食性能を保証し得ると予想し当りはずれた面積率である。したがつて2年間の就航後の当りはずれ面積率は約1.5%あつたことになる。（ただしこの1.5%のなかには損傷による塗膜剥離部を含んでいる）昭星丸の場合もほぼ同程度であると考えてよい。

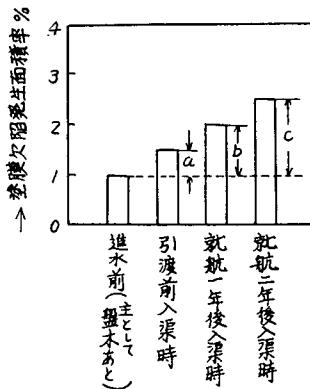


図 5.1.36 デンマーク丸試験塗装部における塗膜欠陥発生率
(昭星丸の場合もほぼ同じ)

5. 1. 6 結 論

(1) 防汚効果

本研究で用いた各種船底塗装系を利用すれば、外航定期貨物船、大型油槽船などの2年間防汚が可能である。

(2) 防食効果

2年間防食も上記同様可能であるが、船底塗装系は予期せぬ外傷を受ける場合があり、また外傷がなくても危険率を考えておかねばならない。したがつて電気防食を併用しなければならず、その設計が必要である。最近の話題である外部電源方式の適用は、有効な手段の一つとしてあげられよう。

(3) 交流電気特性値の利用

交流電気特性値は、入渠時に測定すれば塗膜の補修の程度をきめる目安として、また塗装試験片で測定すれば防食性能追求の一手段としてそれぞれ有効である。

参 考 文 献

- 1) 森、橋田、川重研究報告 第0311号 (1967)
- 2) 森、橋田、川崎技報 No. 31, 117 (1967)
- 3) D. M. Brasher A. H. Kingsbury. J. Appl. Chem., 4, 62 (1954)
- 4) 岡本、諸住、電気化学 23, 15 (1955), 24, 259 (1956)

5. 2 中小型船舶での適用試験

5. 2. 1 供 試 船

前述のとおり中型船として国鉄宇高航路の鷺羽丸、小型船として国鉄の曳船第1、第2鉄栄丸の2隻と三菱神戸造船所の港内船千鳥丸の計4隻を使用した。各船の要目は表5.2.1に示す。

表 5.2.1 供 試 船 要 目

船 名	屯 数	長 さ	幅	浸水面積
千 鳥 丸	6.78 t	9.28m	2.3m	40m ²
第 1 鉄 栄 丸	144	26	6.8	約 225
第 2 鉄 栄 丸	159.7	27	7.1	約 225
鷺 羽 丸	1,463	72	1.3	1,280

(注) 鷺羽丸は同型船瀬戸丸の要目を参考とした。

5. 2. 2 試験経過および試験結果

(1) 千鳥丸

40年6月5日入渠、後記塗装工程に従い試験塗装を行ない6月14日出渠した。しかし6月22日水線付近のA/F一部が剥離したので再入渠補修塗装を行ない、7月19日出渠神戸港内に就航中である。

(a) 試験経過

i) 塗装区分

船底部約40m²をサンドブラスト処理し、左舷、右舷の2区分とした。(図5.2.1参照)

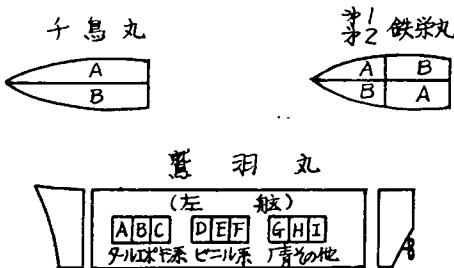


図 5.2.1 塗装区分

ii) 塗装および塗付量

表5.2.2に示す。

iii) 塗装工程

塗装経過とともに表5.2.3に示す。

(b) 試験結果

i) 第1回調査、40年11月27日約5.5か月後の結果は“あおさ”“ふじつぼ”“ふさこけむし”等の生物がわづかに付着していた。生物付着面積はA区で3～5%，B区で約1%であつた。

ii) 第2回調査、41年2月10日約8か月後の結果は前回調査時に比較して両区とも著しい変化は認められなかつたが、付着物として“あおさ”的生長および“水あか”的付着がやや目立つた。生物付着面積はA区で約5～6%，B区で約1%であつた。

表 5.2.2 塗料および塗付量

千鳥丸

区分	塗料名	塗回数	使用量(kg)	塗付量(kg/m ²)
A	プライマ エポキシジンク	1	5	0.25
	A/C タールエポキシ	3	11.2	0.56
	A/F 塩化ビニル	3	11.9	0.60
B	プライマ エポキシジンク	1	5	0.25
	A/C タールエポキシ	1 2	1 6.5	0.33
	A/F 塩化ゴム	1 2	1 10.7	0.54

第1鉄栄丸

区分	塗料名	塗回数	使用量(kg)	塗付量(kg/m ²)
A	プライマ エバボンドK	1	15	0.13
	A/C ビスコンAC-AL	3	90	0.8
	A/F エビコンマリン A/F	3	110	0.98
B	プライマ ジンクプライマR	1	30	0.27
	A/C BC #3000H	2	105	0.94
	A/F ビニル船底 A/F	3	125	1.1

第2鉄栄丸

区分	塗料名	塗回数	使用量(kg)	塗付量(kg/m ²)
A	プライマ エバボンドK	1	16	0.14
	A/C ビニル船底塗料 1号	6	142	1.23
	A/F " 2号	3	123	1.08
B	プライマ ガルバー #400	1	25	0.22
	A/C SR船底塗料 1号	4	68	0.6
	A/F " 2号	3	110	0.98

(注) BのA/C, A/Fに-1, -2とあるは塗料組成が若干異なる。

iii) 第3回調査、41年7月6日約13か月後の結果は前回調査時とほとんど変化なかつたが、前回見られたような生長した“あおさ”はみられず(枯死)それ以後に付着生長した“あおさ”(長約30~50mm)がところどころに付着していた。また“ふじつぼ”的一部も死亡剥落したものもあつた。生物付着面積はA区で5~6%, B区で1%強であつた。なおA区はB区に比べ、“水あか”的付着は少ないが“ふじつぼ”などはかなり多く、防汚効果はやや劣るものと考えられる。

以上約13か月の調査の結果を考察すると本船に使用した塗料については過去数度にわたりこの種試験を実施しており、5.5か月の浸漬により今回のような生物の付着を見た例はなく、この原因については従来の経験から大型船に比べ本船のような小型艇は著しく汚損効果が大きく、すなわち汚損に対してかなりか酷な環境であつたためか、あるいはタールエポキシ塗料と密着性を図るため塗料組成を変えたためか、その他の原因によるものか明らかでない。この点についてはさらに検討の要があろ

表 5.2.3 塗装工程および塗装経過(千鳥丸)

塗装工程

項目	6/5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
引揚げ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
清掃および乾燥	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
サンドブラスト処理	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
塗装	左舷(B区) 右舷(A区)	□ □	S/P □	□ —	— —	A/C —	— —	— —	— —	A/F —
着水	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(注) S/P, ショッププライマ, S/P, A/C □ハケ塗装, A/C, A/F—エヤレススプレー塗装

塗装経過

月日	天気	区分	塗料	項目		温 (°C)	湿 (%)	塗料使用量 (kg)	塗装使用時間 (min)	塗膜性状			備考
				稀釀 度 (%)	粘 度 (sce)					測定温度 (°C)	粘 度 (sce)	測定温度 (°C)	
6/5	晴		B S/P エポキシジンク	25	20	5	20						ハケ塗装 作業員3人/ 片舷
			A " "	"	"	"	"						
7	"		B A/C タールエポキシ-1	28.4	51	2.5	36						
			A " "	"	"	2.4	45						
8	"		B " " -1	24.6	31	4	5	5	230	32.8	5	エアレスス レイ塗装1台 塗装機(グラ コMS-5) チップ(163 -919)	
			A " "	"	"	"	4.5	6	7	164	28.7	"	
9	"	"	" "	27	47	4.3	7	"	167	28	"		
10	"	B A/F 塩化ゴム-1	30	30	3.8	9	5	39	30.6	6			
11	暴		" " " -2	27.3	53	3.3	5	—	15	27.9	5.5	エアレスス レイ塗装1台 塗装機(グラ コMS-5) チップ(163 -919) 作業員2人/ 片舷	
			A 塩化ビニル	27	"	4	"	5	34	27.5	"		
			" " "	27.3	"	4.2	"	"	35	26.4	"		
12	"		B 塩化ゴム-2	22	75	3.6	"	3	20	24.5	5~5.5		
			A 塩化ビニル	"	"	3.7	6	5	38	23.5	"		

(注) 粘度 フォードカッブ #4

う。しかし、今回ある程度の生物付着をみた塗装系でも前述のように大型船に適用した場合はこの程度の浸漬期間では十分な防汚効果を維持するものと考える。また本試験においては数%の生物付着をみたが、その後の経過からして今後そのままの状態を維持することも考えられるので、さらに長期継続調査を行なう予定である。

(2) 第1鉄栄丸

40年6月6日瀬戸田造船に入渠、試験塗装を行ない、40年6月12日出渠高松港に就航、41年6月9日尾道造船所に入渠したので1年目の船体の状況を調査した。引き続き高松港において曳船として稼動、42年5月11日三菱神戸造船所に入渠したので2年目(最終)の船体の状況を調査した。

(a) 試験経過

i) 塗装区分 船底部約225m²をサンドブラスト処理し、4つ割りとし、A,Bの2区分とした。（図5.2.1参照）

ii) 塗装および塗付量 表5.2.2に示す。

iii) 塗装行程 40年6月6日サンドブラスト処理を行ない6日間で全塗装（ハケ塗り）を終り6月12日出渠した。

(b) 試験結果

i) 1年目

41年6月9日尾道造船所に入渠したので6月10日船体の状況を調査した。その概要は次のとおりで、従来の塗装（油性）に比べ著しく良好で、発錆および塗膜のふくれ剝離等は全くなかった。

イ) 船尾の一部に塗装してあつた従来の油性塗料と画然と区別されていた。しかし試験塗装部もところどころに“ふじつぼ”“セルプラ”“ふさこけむし”等が付着していた。

ロ) 生物の付着していた部分は鉄板の継目の凹部、ビルジキールの裏面が多かつた。

ハ) A, B区の塗装の境は明確でないが、A区がB区に比べると付着が多かつた。

ii) 2年目（最終）

試験塗装後約2年を経過した42年5月11日三菱神戸造船所に入渠したので、その状況を調査した結果次の通りであつた。

イ) 外板全面にふじつぼの付着が散在しており大きいもので約40mmφ位であつた。船底と舷側とを比較すると船底部が多く、左右区分の差はほとんど認められなかつた。しかし船尾の一部に従来品の塗装を行なつており、この区分は年の経過にかかわらず試験塗装部より更に多くの付着生物が見られた。

ロ) ふじつぼ以外の付着物はスライムが全面に、またふさこけむし、セルプラが所々付着していた。

ハ) 水線付近（比較的水面に近い部分）に穴あきがかなり付着していた。

ニ) 付着物の量はイ)の通り左右ほとんど差が認められなかつたが、全体として左舷が多いように思われた。この原因については本船が停泊中常に左舷を南面（日射を受ける）にする場合が多いことにもよると考えられる。

ホ) 船底部においては特にビルジキール裏面の付着が多かつた。

ヘ) 塗膜の状態はほとんど変化なく淡緑色(Cu₂O)で、発錆ふくれ等は認められず良好であつた。（一部接触箇所に鉄面が見られたが特に発錆は認められなかつた。）

ト) 板も全部平均に消耗していたが、1～2枚消耗の少ないと思われるものをスクレーパで当てて見ると表面がぼろぼろ落ち消耗していた。

(3) 第2鉄丸

40年5月20日三菱神戸造船所に入渠、試験塗装を行ない5月26日に出渠。宇野港に就航。41年6月24日因島田熊造船所に入渠したので1年目の船体の状況を調査した。引続いて宇野港において稼動、42年6月22日三井玉野造船所に入渠したので2年目（最終）の船体の状況を調査した。

(a) 試験経過

i) 塗装区分 船底部約225m²をサンドブラスト処理し、4つ割りとし、A, Bの2区分

とした。（図 5.2.1 参照）

ii) 塗料および塗付量 表 5.2.2 に示す。

iii) 塗装行程 40年 5月 21日 サンドblast処理し、5日間で全塗装（ハケ塗り）を終り 5月 26日出渠した。

(b) 試験結果

i) 1年目

41年 6月 24日因島田熊造船所に入渠したので 6月 25日船体の状況を調査した。その概要は次のとおりで、舷側、船底とも“スライム”以外の付着物はなく非常にきれいであり、付着した“スライム”もデツキブラシで簡単に除くことができた。

イ) 試験塗装部は前述のとおり付着物は“スライム”のみであつたが、盤木のあとが長方形にはつきりと残り、その部分は 20~30mm の“ふさこけむし”，直径 10~20mm の“ふじっぽ”，“セルプラ”，“ほや”的なものが全面に付着していた。

ロ) A, B区の差はほとんど認められなかつたが、B区の船底の一部に白い網状の“かび”的な付着物がみられた。この付着物も手でこする程度で簡単に落ちた。

ハ) 第 1 鉄栄丸に比べ本船の方が良好であつた。その原因は明らかでないが就航海域の差、すなわち宇野港は繫船所付近もかなり潮流があり、高松港と相異するためとも考えられる。

ii) 2年目（最終）

試験塗装後 2年 1か月を経過した 42年 6月 22日三井玉野造船所に入渠したので、その状況を調査したところ次の通りであつた。

イ) 1年経過時においてはスライム以外の付着物はほとんど認められなかつたが、今回の調査では両舷、船底とも全面にわたつて生物、海藻の付着が散在していた。

ロ) 付着物は水線付近にあおさ、あおのり、船底溶接部にふさこけむしが多く、左舷の一部にいがいの付着が見られたが、ふじっぽはほとんど見られなかつた。

ハ) 付着物は船体に比べむしろ Zn 板に多く、ほとんどの Zn 板が生物でおおわれていた。これは Zn 板取付け個所の塗装が悪かつたものと思われる。また傾向として右舷は海藻類が多く左舷はふさこけむし、セルプラ等の生物が多かつた。

ニ) A, B区画の差はあまり認められなかつたが、防汚性については B区（塩化ゴム系）が A区（ビニル系）に比べわずかに劣るようである。

ホ) ジェット水洗 (50 kg/cm²) 後の状況から判断して A/F 塗膜は非常に薄膜となり、防汚性能は限界に達しているように思われた。

(4) 鶴羽丸

40年 6月 16日呉造船所に入渠、試験塗装を行ない 6月 23日出渠、国鉄宇野—高松航路に就航した。10月 27日から 10月 31日まで中間ドック（田熊造船所）を行ない、その後約 12か月後の 41年 6月 12日呉造船所に入渠したので船体の状況を調査した。引続いて宇高航路に就航、42年 6月 23日四国ドックに入渠したので、その状況を調査した。

(a) 試験経過

i) 塗装区分 左舷船底中央部をサンドblast処理し、一区画を 1.5×1.4m とし、タルエポキシ系、ビニル系、れき青、他の 3 グループ 9 区画とした。（図 5.2.1 参照）

表 5.2.4 塗 料 お よ び 塗 付 量

鷺 羽 丸

区分	塗 料 名		塗 回 数	使用量 (kg)	塗付量(kg/m ²)
A	プライマ	ジンクライト 7 R型	(塗装日程を考慮し割愛した)		
	A/C	S P C コート # 402	2	1.65	0.79
	A/F	S D C 防汚塗料 F	1	0.95	0.45
B	プライマ	ジンクプライマ R	1	0.56	0.4
	A/C	B C # 3000H	3	2.73	1.3
	A/F	ビニル A/F	3	2.52	1.2
C	プライマ	エバボンド K	1	0.25	0.1
	A/C	ビスコン AC-AL	2	1.1	0.5
	A/F	エピコンマリン A/F	3	1.65	0.75
D	プライマ	エバボンド K	1	0.25	0.1
	A/C	ビニル船底塗料 1号	5	1.53	0.7
	A/F	" 2号 AAL	3	1.65	0.75
E	プライマ	ニッペジンキ # 8000	1	0.65	0.31
	A/C	ビニレツクス#2600 A/C	6	1.7	0.81
	A/F	ビニレツクス#2710 A/F TV-70	3	1.28	0.61
F	プライマ	ウォツシユプライマ長曝用	1	0.32	0.15
	A/C	船底用ビナル 1号	4	1.8	0.84
	A/F	" OG	3	1.9	0.90
G	プライマ	ガルバー # 400	1	0.7	0.35
	A/C	S R 船底塗料 1号	4	3.5	1.64
	A/F	" 2号	3	2.0	0.96
H	プライマ	バクロン	1	0.15	0.15
	A/C	高田 Q D 1号	4	1.7	0.8
	A/F	" 2号	3	1.6	0.75
I	プライマ	S R-75-D 2 プライマ	1	0.23	0.11
	A/C	" A/C	4	1.25	0.6
	A/F	" A/F	2	0.8	0.38

ii) 塗料および塗付量、表 5.2.4 に示す。

iii) 塗装工程 41年 6月 19日 サンドブラスト処理し 6 日間で全塗装（ハケ塗り）を終り 6月 23日出渠した。

(b) 試験結果

i) 1年目

約 4か月後の中間ドックの調査結果は各区とも“水あか”以外の付着物はなく良好であつた。41年 6月 12日呉造船所に入渠したので船体の状況を調査した。その概要は、次のとおりで E 区に“青のり”

が少量付着しており、D区は“あおさ”が最も少なかつた他は大差なかつた。また発錆およびフレ、剥離等は全くなかつた。

イ) A区は茶緑色の“あおさ”が一面に付着していたが生物の付着はなかつた。

ロ) B区とC区は大差なく、A区より“あおさ”はやや少ない。

ハ) D区は“あおさ”的付着は最も少なく生物の付着もない。

ニ) E区は比較的濃い“あおさ”が付着しており“青のり”状の長いものが1カ所あつた。

ホ) F区は上部に試験部以外からの塗料が流れたような跡があり、下部には比較的濃い“あおさ”があつた。

ヘ) G, H, I区はA～C区と大差なく一面に茶緑色の“あおさ”が付着していた。

ト) ビルジキールのZn板は消耗が甚だしく全表面に金属面がでており発生電流密度が大きかつたようである。船尾のZn板はこれと対称的に表面に腐食生成物が付着したものが多く消耗は少なかつた。これは取付の不良に起因しているものと思われる。

ii) 2年目(最終)

試験塗装後2年を経過した42年6月23日四国ドックに入渠したので、その状況を調査したところ次の通りであつた。全般的に塗膜の状況は良好であつた。しかし一部の区画では膜厚が非常に薄く鉄面が露出していた部分もあつた。以下各区画別の状況について示す。

A区画(タールエポキシ SR-75-G)

全面にあおさが付着(よごれのため黒色となる)、なお付着したふじっぽの上に新らしいあおさが付着していた。ふじっぽは他の区画に比べ一番多く約50～60個程度付着していた。

B区画(タールエポキシ SR-75-G)

あおさが薄く付着上部の一部(傷あと)に穴あおさ、ふじっぽが付着しているほかはほとんど変化なく良好であつた。

C区画(タールエポキシ SR-75-G)

B区に大差ないがあおさがやや厚くふじっぽは5～6個付着していた。

D区画(ビニル SR-75-C)

C区に大差なくあおさが全面に付着、ふじっぽは少なく2～3個であつた。

E区画(ビニル SR-75-A)

前回ドックの結果が悪く下部 $\frac{1}{2}$ を残してあつたが、あおさもかなり厚く5～10cmの長いものも付着していた。ふじっぽも20～30個付着していた。(註)本区画は試験開始時試験部上部のA/Cがかなり多くテスト部に流れている。

F区画(ビニル SR-75-F)

E区と同様前回のドックで下半分を残してあつたが、今回の調査ではあおさはほとんどなく黒色スライムが付着していた。しかし塗膜は薄く鉄面の露出している部分もあつた。

G区画(塩化ゴム SR-75-F)

あおさの長いものが付着、上面には穴あおさも付着していた。

H区画(れき青 SR-75-B)

B区に大差なく、ふじっぽは2～3個であつた。

I区画(れき青 SR-75-D)

あおさはC, D区と大差なく、黒色スライムがわずかに付着していた。ふじつぼは2~3個であつた。

5. 2. 3 ま と め

中小型船4隻について実船実験を行なつた結果について考察をのべると次の通りである。

初期の目的であつた2年間ノードツキングという意味においては充分な効果を上げ得ず、さらに開発研究の要があろう。

しかし、2年間の長期にわたる試験結果としては生物の付着も若干認められたものの、従来品の1年経過時に比べかなり良好であり、塗膜の状態も一部を除きほとんど変化がなかつた。さらに1年目のドツクにおいてジェット水洗を行ない数日間乾燥状態にあつたこと、また実験船は連絡船、曳船等で比較的停泊時間が多いため等を考慮すれば、試験成績としてはかなり良好であつたものと考える。

5. 2. 4 同一塗料による実船と試験板の比較

大型船の場合は塗膜の電気的な測定法によつたが、中小型船については実船に使用したものと同じ試料を同要領で塗付した試験板を館山港内に浸漬し観察した。

(1) 試験要領

試験塗料およびその塗付量は表5.2.5に示す通りで試験板は300×300×2mmのものを使用した。

表 5.2.5 試験塗料および塗付量

会社名	塗料の種類	塗付量(g/m ²) × 回数		
		プライマ	A/C	A/F
A	ビニル	160×1	110×6	180×3
B	瀝青	70×1	140×4	290×3
C	タールエポキシ	80×1	120×3	150×3
C	ビニル	80×1	120×6	160×3
D	瀝青	90×1	100×4	120×3
E	タールエポキシ	なし	170×2	140×2
F	塩化ゴム	170×1	110×3	140×3
F	ビニル	80×1	110×3	110×3
G	タールエポキシ	110×1	140×3	220×3

(2) 試験結果

40年7月15日浸漬、その後3~4か月毎に観察を行ない、42年8月15日2年を経過したので試験を終了した。観察結果の概要は次の通りである。

- 約7か月後の状態は全試験板とも“スライム”的付着のみでほとんど変化がなかつた。
- 12か月後の結果では一部の試験板の周辺部に“ふさこけむし”等の付着が見られたが、ほとんどの試験板は“スライム”付着のみで変化がなく実船試験12か月の結果と大差なかつた。
- 2年経過後(最終)の結果は一部の試験板(約1/3)はかなり良い結果を示しており、実船試験2年後の成績と比べ塗装条件も良いためか、一般に成績は良好であつた。

昭和43年6月20日 印刷
昭和43年6月28日 発行

日本造船研究協会報告 第66号

発行人 菅 四 郎

発行所 社団法人日本造船研究協会

東京都港区芝琴平町35

船舶振興ビル8階

電話 (502) 2371~80

内線 (421~429)

印刷所 船舶印刷株式会社

東京都台東区東上野1-28-3

電話 (831) 4181~4