

社 団 法 人
日本造船研究協会報告

第 16 号

昭 和 32 年 4 月

船舶の防蝕に関する研究 第 27 研究部会

Further Investigation on the Cathodic Protection of Ship
Hulls The 27th Research Committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan,
Tokyo, JAPAN
No. 16
April 1957

第27研究部会委員名簿

委員長	花田政明		
幹事	瀬尾正雄		
委員	石橋靖弘	伊藤伍郎	蒲田利喜藏
	川北維一	木藤正宏	黒川正典
	小林文雄	小松弘	榮幸雄
	坂本惇	重野隼太	篠原資八
	左右田徹志	徳岡泰弘	土井由之
	長石義雄	久松敬弘	藤田勇一
	松崎昇	南義夫	宮崎安太郎
	三好泉	村上長光	村田七郎
	森崎寿一	山県欽爾	山内俊平

Membership of the 27th Research Committee

Chairman Masaaki HANADA

Secretary Masao SEO

Members	Yasuhiro ISHIBASHI	Goro ITO	Rikizo KAMATA
	Yuichi KAWAKITA	Masahiro KITO	Masanori KUROKAWA
	Fumio KOBAYASHI	Hiroshi KOMATSU	Yukio SAKAE
	Jun SAKAMOTO	Hayata SHIGENO	Shihachi SHINOHARA
	Tetsushi SODA	Yasuhiro TOKUOKA	Yoshiyuki DOI
	Yoshio NAGAISHI	Takahiro HISAMATSU	Yuichi FUJITA
	Noboru MATSUZAKI	Yoshio MINAMI	Yasutaro MIYAZAKI
	Izumi MIYOSHI	Nagamitsu MURAKAMI	Shichiro MURATA
	Yasuichi MORISAKI	Kinji YAMAGATA	Shunpei YAMANOUCHI

Further Investigation on the Cathodic Protection of Ship Hulls

Abstract

Chapter 1. Outline of the Research

This research is closely concerned to "The Research on the Cathodic Protection of Ship Hulls" performed last year by the 20th Research Committee of the Association, and the study was concentrated mainly on the problem of

- i) the abnormal corrosion of ship hulls, and
- ii) the corrosion of ballast tank of oil tankers.

Since the phenomena are complicated and the method of cathodic protection is a recently developed and still progressing technique, it was impossible to get a concrete conclusion within a limited short period, but some of the results obtained such as follows can be applied to actual ships effectively.

I. Cathodic protection using zinc anodes has been applied to ships since 1824 traditionally, with uncertain effects, but when the composition, the fitting method and the amount of zinc be correct, it is sure that it can protect ship hulls perfectly. The amount of zinc depends on the condition of paintings and we can not conclude the correlation definitely at present state of investigation. Nevertheless zinc has many superior performances than magnesium as anodes for painted ship hulls.

II. Several possible causes of abnormal corrosion of ship hulls were pointed and they may be avoided carefully, and cathodic protection with zinc anodes is a very practical device both for ships in service and ships under construction too.

III. Though zinc anodes are preferable for ship hulls, it is somewhat questionable to use zinc anodes for protecting inside of oil tankers, as oil absorbed in the surface products of zinc anodes seems to cover the anodes and reduces the emitting protective current.

IV. Protective potential of iron is said to be -850 mV (Cu-CuSO₄ cell) but -800 mV

seems to be practically enough. Since vinyl paints withstand up to the potential -1000 mV, and oil paints withstand up to -950 mV (as shown by our tests) we recommend to hold the hull potential within the limit of -800 mV \sim -900 mV.

V. Suitable Amine inhibitor solved in oil floated on tank water can be used economically to protect tank tops, and other parts when empty.

VI. We propose 150 mm \times 300 mm (12" \times 6") zinc anodes as standard size for ship hull protection, but we hesitate to give standard size for ballast tank protection yet, while they are under investigating state.

The followings describes the detail item of the report and some of the data briefly.

Chapter 2. Investigation of abnormal corrosion of ship hulls and its protection

2-1. Several typical kinds of abnormal corrosion are reported and their possible causes were investigated.

2-2. Laboratory test of cathodically protected painted steel plates, showing effect of applied potential.

arrangement; Fig. 2 · 9.

specimen; Fig. 2 · 8. and result; table. 2 · 2.

2-3. Test results of cathodically protected painted steel plates submerged in sea water at Kobe & Innoshima.

Test at Kobe; specimen; Fig. 2 · 15 & Photo. 1.

Testing condition; Fig. 2 · 18 \sim 2 · 21.

Test result; Fig. page 21 \sim 23.

Test at Innoshima:

a. Preliminary test at Osaka Laboratory

Specimen & condition; table 2 · 5, 6. Fig. 2 · 23, 24

Test result; Fig. 2 · 27.

b. Test at seaside;

Specimen; Fig. 2 · 28 & table 2 · 9.

Testing condition; Fig. 2 · 35, 36.

Test result; page 36.

Additional Laboratory test:

Specimen: Fig. 2 · 37 & table 2 · 10, 11.

Testing apparatus: Fig. 2 · 38.

Conditions: Fig. 2 · 39, 40

Test result: Fig 2 · 41 ~ 44.

2-4. Test on actual ships.

a. Zinc anodes

Ships under test; table 2 · 13.

Kind of anodes applied; table 2 · 14.

Some of the test records; Fig. 2 · 46 ~ 2 · 49.

b. Mg anodes

Ships under test; table 2 · 19.

Test result; table 2 · 20.

c. Stray current measurement on "Hidakamaru" during its repair work was tried at Hakodate dock yards, these records were described in page 56~57.

d. Protective device on "Noes companion" was tried at Nagasaki dock yards, methods; Fig. 2 · 51 ~ 53, record; as shown in page 59.

e. Protective device on "Ikazuchi" applied at Kawasaki dock yard is described in page 60.

Chapter 3. Protective device of ballast tank of oil tankers

3-1 Survey of corrosion & protective device. Cathodic protection using Mg anodes were applied already on several oil tankers, the result show that the protective current of Ca. 0.1 Amp/m² is necessary, and 0.05 Amp/m² is too short for good protection.

i Record of "Kōei maru" as shown in page 61 ~ 66.

ii Record of "Persia maru" as shown in page 66 ~ 72.

iii Record of "Sumatra maru" as shown in page 73 ~ 74.

Vinyl paints & phosphate inhibitor applied for comparison on Kōei maru shows rather poor result, and Lon-tight paint applied on "Sumatra maru" shows also poor result.

3-2 Laboratory test of Amine inhibitor solved in oil shows some promissing results, as shown in page 74 ~ 78, but it contains some questionable problems too, and we needs more experiments in future.

3-3. Zinc anodes applied to oil tanks. Comparison test of zinc anodes and magnesium anodes was performed on "Arabia maru" & "Borneo maru". (page 79~83)

The result obtained at present shows possibility of defective zinc performance due to oil immersion, we needs a little more time to witness the fact, but the zinc anodes applied on trimming tank of "Bizan maru" which receives no oil immersion shows very good result (page 83).

Chapter 4. Miscellaneous items.

4-1. Literatures reffered

4-2. Paint-defect-detecting appalatus available on ships was intended, preliminary test were conducted in Laboratory as shown in Fig. 4·2, 4·3, and a model (Fig. 4·4 & 4·5) was constructed tentatively.

4-3. Standard size of zinc Anodes for ship hulls proposed as shown in Fig. 4·6.

船舶の防蝕に関する研究

目 次

第1章 研究成果の概要	(1)
第2章 船体外板の異常腐蝕対策の研究	(2)
2・1 腐蝕状況の調査	(2)
2・2 基礎調査	(7)
2・3 臨海模型実験	(11)
2・4 実船実験	(47)
第3章 油槽船舶壁腐蝕対策の研究	(60)
3・1 腐蝕状況並に防蝕状況の調査	(60)
3・2 基礎的研究	(74)
3・3 実船実験	(78)
第4章 その他の事項	(84)
4・1 文献調査	(84)
4・2 測定器の試作	(85)
4・3 船体防蝕用亜鉛設計上の統一案	(87)

船舶の防蝕に関する研究

第1章 研究成果の概要

本研究は前年度第20研究部会として実施した“船舶の陰極的防蝕法の研究”と密接な関連があり、研究の焦点を

船体外板の異常腐蝕対策の研究

油槽船船壁腐蝕対策の研究

の2つに絞つて重点的に実施されたものである。従つて新しい研究設備や研究対象とした実船も少くないが、第20研究部会の研究の継続のような性質の部分もある。

研究が進むと共に更に突つ込んだ研究が望まれる事項も出て来て如何にも研究未完の如き憾を懷くが、本研究の中心をなす電気防蝕法が最近に発展して来た新興の技術であり、腐蝕自体が長期に涉つて徐々に進行し、正体の把み難い性質を持つてるのでこれも止むを得ないと考える。然し現状に於ても把握し得た事実には貴重なものがあり、直ちに船舶界全般に応用して差支えなく実効は確実に期待できるものも少くない。少くとも次のことは断定して差支えないであろう。

1) 亜鉛による電気防蝕法は従来から不完全な形で慣習的に実施されているが、材質と装備方法が適当でなければ効果は期待できない。然し材質と装備方法が正しく、装備個数が適当であれば充分に効果を發揮し船体の腐蝕は完全に防止できる。但しその適当な個数は塗装との関連があつて明確な数値は今直ちに決められないが、電位の測定によつて結果の判定は装備直後に於てもできる。また亜鉛は鉄の防蝕電位と余り大きな開きのない電位を持つために、量や環境の変化に伴い鉄に及ぼす電位変化が比較的少ないので、若干ゆとりのある装備をしても実際問題としては塗膜の剥離を招くような危険は先ずない。この点で Mg 陽極より Zn 陽極の方が我が国の実情では優れていると考える。

2) 船体外板の異常腐蝕の原因となる可能性のある事項はいくつか挙げられたが、これを未前に防ぐには、これ等の諸項に注意すると共に本研究で実施した例に準じて、艤装中も充分な防蝕亜鉛を装備することが最も実際的である。勿論これに引き続き就航中も充分な亜鉛による防蝕策を講ずる必要がある。

3) 船体外板の防蝕陽極としては Zn が推奨されるが、油槽船のタンクには海水と油が交互に入れられるため、油が Zn 表面の腐蝕生成物に浸み込み発生電流を抑えるのではないかと思われるような実験結果もあるから、今少し経過を待つ必要がある。しかし Mg 陽極を適当に装備した場合には実船の実績から判断すると、その効果は確実に期待できるようである。

トリミングタンクのように油と水が交互に進入らぬ場合は Zn でも充分効果を挙げ得るようであるが、ビルジに廃油が溜つてゐるような場合は注意する必要があろう。

4) 鉄の防蝕電位は硫酸銅電極で -850 mV とされているが -800 mV になれば実用上は完全防蝕に近い成績を示しているようである。塗膜の剥離はビニル系で -1000 mV 油性系で -950 mV までは先ず起らないようであるから船体の電位は $-800 \text{ mV} \sim -900 \text{ mV}$ 程度に保持するのが実際的で

あろう。

5) 抑制剤による防蝕はこれを油に溶かして水に浮遊させる方法が短期間の対策及びタンク頂部の防蝕策としては有利なようである。理論的には充分可能性があるのでなお抑制剤の選択と施工法の改良を工夫すれば、その将来性は充分期待できるであろう。

6) 船体防蝕用亜鉛としては、現在最も広く使われている 150×300 ($6'' \times 12''$) のものに統一しても特殊の小型船 (50 トン以下) を除けば支障なく装備可能である。しかしその純度と装備方法には充分の注意が必要なので個々の造船所が入渠の都度間に合せて造るようなことでは完全を期し難いから、標準型を定めて信頼性の高い完成品を確実に即座に入手できるようにすることが船主側にも造船所側にも有利であると考えてこれに便なようボルト締方式と熔接方式の 2 標準型の案を定めた。今後その分析方法、試験方法等も逐次定めて完全な規格案にまで育てて行きたいと考えている。なおタンク内部用としては、これに適した別個の形状のものが望ましいが、未だ研究の途上にあるので標準案とすることは控えた。

第 2 章 船体外板の異常腐蝕対策の研究

2・1 腐蝕状況の調査

船体外板の異常腐蝕即ち外板の一部が局部的に他の部分に比して特に著しく腐蝕を示した例は過去に於て少くない。新三菱、三菱造船その他から貴重な資料の提出もあつたがその様相も單一でなく、この記録だけを組織的に取纏めて原因を簡単に 2 つか 3 つに整理してしまうことは難かしい。寧ろ個々の記録にこだわらず、海外の雑誌等に散見する有益な記事と我々が体験したいいくつかの実例を総合的に見て考え方を整理した方が全貌を誤らぬ判断を下し易いと考えた。

以上の考え方で整理して見ると大体に於て次のような代表的な場合に分類できるようである。

(イ) 機械的擦傷によつて船体塗膜の一部が破壊されて鉄板の一部が露出し、その部分が烈しく腐蝕する場合。錨鎖やワイヤーロープ等で船首部が擦傷を受け烈しく錆びた例、漁船のビルジキールの端面が腐蝕するもの等がこれに属する。一般には当然起るものとして異常腐蝕とは考えていないが、程度が烈しいと問題にされる。塗膜によつて防止することは實際問題としては不可能であるが、広菱丸や鉄栄丸¹⁾で相当大きく塗膜の剥れた部分も防蝕亜鉛かマグネシウムを充分取付ければ全然腐蝕を起さない実例を得ているので、これに解決の途を求めることが可能と考える。

(ロ) 塗膜が局部的過熱によつて破壊された場合。入渠中船内タンクのピッティングを起した部分に熔接肉盛をしたため外板の塗膜が加熱部分だけ直徑数吋の円形状に剥れた例があつた。これに気付かず出渠した場合やそのタッチアップを A/F だけに止めた場合は勿論であるが A/C A/F を他の部分に準じて実施した場合にも乾燥その他の關係上他に比べて不完全となり易い。しかも工事者の末端までは注意力がとどかぬために A/C が欠けたり A/C の下に A/F が一部塗られたりすることは起り勝ちと考える。このような場合にはその部分が他より侵され易いことは当然あり得る。

(ハ) 下地処理の不完全な部分の塗膜が早期に剥む場合。この現象は陸上の塗装工事にも往々例を

1) 本文 2・4 実船実験に詳述してある。



Fig. 2・1 350 ton 漁船の船首材
付近の異常腐蝕
Abnormal corrosion at the
stem of 350ton fishing boat.

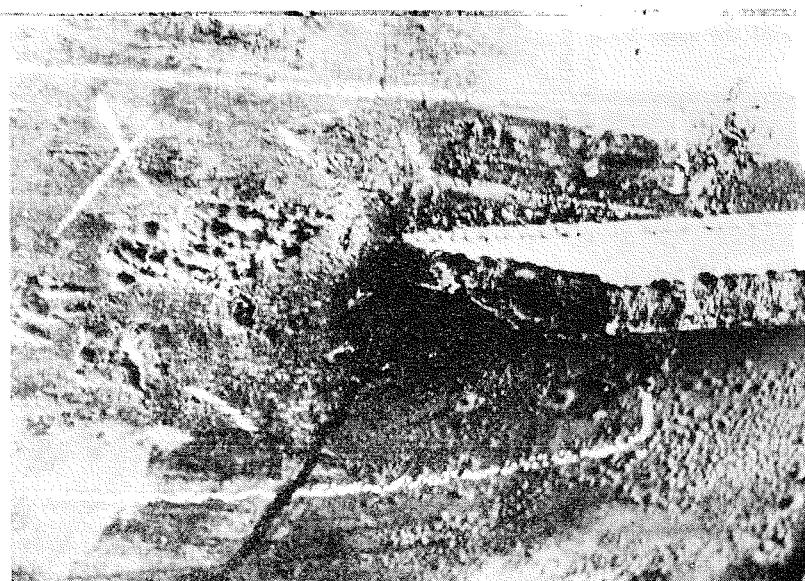


Fig. 2・2 同上漁船のビルジキール端面と付近の異常腐蝕
Abnormal corrosion at the bilge keel of the
same boat.

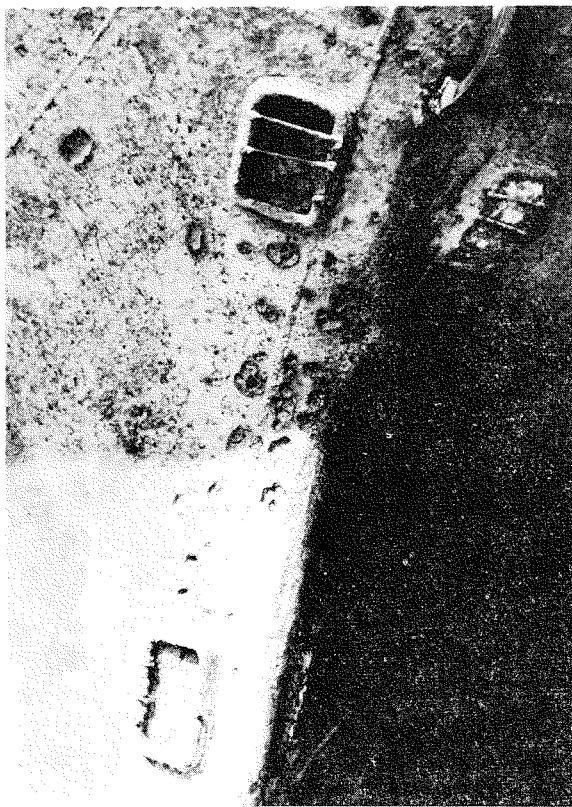


Fig. 2・3 同上漁船の船尾材付近の異常腐蝕

Abnormal corrosion at the stern
frame of the same boat.



Fig. 2・4 タンカー船底の溶接による塗膜破壊

Paint deterioration of tanker bottom
due to inside welding work.

けた場合には当然烈しい腐蝕が起る筈であり、異常腐蝕として問題になつた場合を見るとこのような

見るもので、鉄板に記した白墨のマーキングの跡等が数年後になつて発錆の原因となり、マーキングの文字や線が歴然と錆の形で出た例等もある。最近の完全な酸洗やサンドblastを施した鉄板でも、その後塗装直前までの間に施されたマーキングの跡、附着した汚れを充分に除くことを失念した跡、上方から流れて來た汚水が乾いた跡、塗装時天候不良のために塗膜の附着乾燥が部分的に不完全であつた場所等には起り得る。サンドblastまたは酸洗を充分に実施し、ミルスケールを完全に除去することの重要性²⁾は海外文献でも力説されているが、切角完全に処理された鉄板でも最後の工程に熔接工事があればその附近にはミルスケールが発生するから、その除去には細心の注意が必要である。もつとも塗膜さえ完全ならミルスケールの害は現れない³⁾と論じている文献もある。

(c) 比較的塗膜が薄く塗られ易く、しかも何等かの原因で迷走電流の流出があつた場合には電流が集中し易いと考えられるような個所——即ち鋸頭、ビルジキールの尖端部⁴⁾、船首金物等が局部的に烈しく腐蝕する場合。このような部分は一様に塗装しても他より厚さが薄くなり易い部分であり船体に防錆電流を与えた場合に一種のエレクトロコーティングができて入渠乾燥した後に白色を呈したと云う実例⁴⁾もあるほどである。従つて強力な迷走電流が流れた場合には当然他よりも先に塗膜が破壊される可能性がある。この破壊に気付かず航海を続

2) Paul Ffield, Corrosion June 1952 p. 34.

3) Corrosion Prevention and Control; 1956.

4) Corrosion; Jan. 1952 p. 32 Fig. 8.

腐蝕も伴つてゐる場合が多い。従つて迷走電流が異常腐蝕の原因のうち最も有力なもの一つであることは確かである。

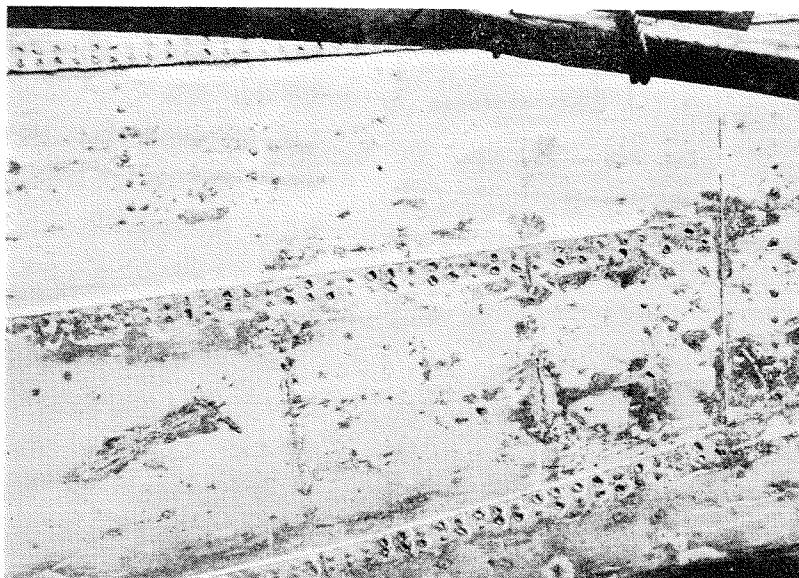


Fig. 2 . 5

10,000 D. W. 級貨物船就航 13 ヶ月後における右舷船首部の鉄の腐蝕状況。この船はオールビニル塗装船である。

Rivet corrosion of 10,000 D.W. cargo boat after 13 months service.

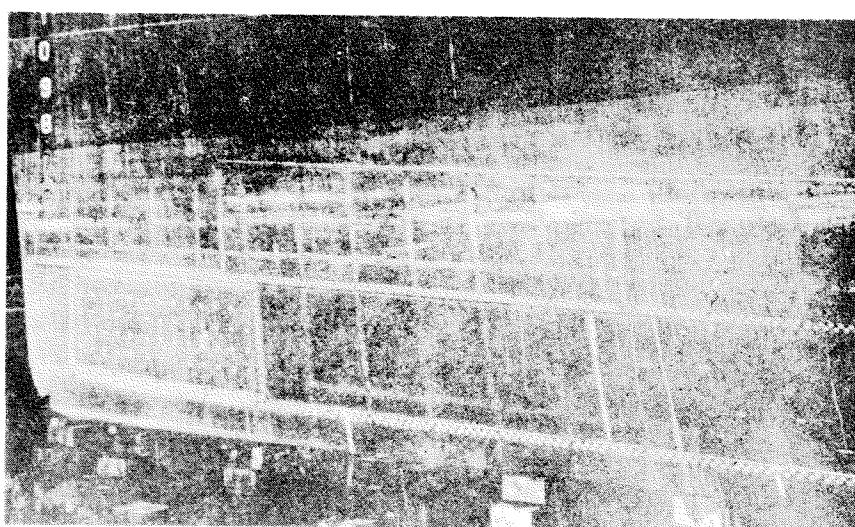


Fig. 2 . 6

船が電気熔接回路において陰極となつた場合の水面下船体の迷走電流によつて生ずる白色塩類付着物の例。

鉄頭並びに外板内面の電気熔接線に沿つて塗膜が熱影響で悪化しているところに付着物が集中していることに注意されたい。

White salt deposits due to stray current.

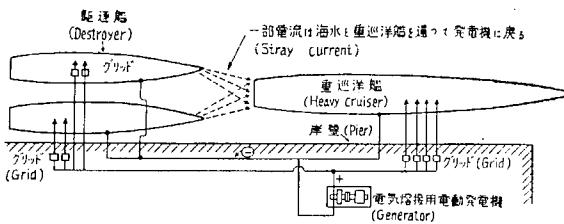


Fig. 2・7

二隻の駆逐艦と重巡洋艦に同時に艤装工事を実施しているときの熔接電流回路。駆逐艦の熔接電流が重巡洋艦に流れ、そこから負電流が発電機に帰る。

Circuit diagram of welding current during equipment works.

の調査(2・4)も行つたが適確な資料を扱ることはできなかつた。しかし落雷等と同じように強力な電流による塗膜の破壊は一瞬に起こることもあり得て、しかもこれによる腐蝕はその後の長期間の航海中連続的に進行し得るものであるから特に警戒をする必要が大きい。艤装中の船に電流を送るケーブルが不完全なために海中で気泡(電気分解による H_2 ?)を出していいた例を見たと云う話等もあるので、これらは厳に注意すべきであろう。また熔接器が交流であるからその心配はないと言ふ考え方も負荷の変動を考えると成立たないようである。

対策としては実船実験の例を参照されたい。

(ヘ) 硫酸銅による害。烈しい腐蝕を見た船の A/F が黒色に変色していた例もある。これは A/F 中の亜硫酸化銅が硫酸銅に変化したもので艤装中の海域が汚れていて H_2S がある場合等には可能性が考えられる。進水前に A/C を刷毛で塗り A/F をスプレーガンで塗つたため枕木の下で A/F が一部直接船体に接したような場合亜硫酸化銅が硫酸銅に変化するとこれは電気の良導体となるから銅と鉄の電池が局部的に形成されて烈しい腐蝕が起ることは当然考えられる。この硫化銅ができたら必ず異常腐蝕を起こすとは限らないが危険性を持つものであるから黒変した A/F 被膜は警戒を要するものである。汚れた海域で H_2S が発生することは米国にも例があり、大阪港の一部、名古屋港の一部等には実際発生している処もあるようである。

(ト) ピニール塗料によるとされているもの。従来の油性塗料に比べて遙かに優れた性質を持つ旨のピニール塗料を試みたところ、従来経験したことのないような激しい異常腐蝕を見たため問題となつた船もある。本研究の基礎実験でも、実船実験の例を見てもピニール塗料は明らかに他に比して優れた性質を示している(ただ臨海実験でフクレが出易いと云う事実はあるが)。また実船に応用して良い成績を挙げている例もある。にもかかわらず異常腐蝕の例がでた原因を考えて見ると次のようなことが考えられる。

今まで我々が使用していた防蝕亜鉛は数に於ても質に於ても充分でないためその発生電流が必要量より遙かに少ないものとなつていることが 29 年度研究(第 20 研究部会)に引継いで行われている

(ヘ) 迷走電流。上述の如く迷走電流が有力な原因の 1 つであるが、その起る原因としては、船体から船外に向けて出る漏電、つまり艤装中の船内の熔接工事や船内使用電力の配線不完全による漏電等が考えられ、電気熔接用変圧器は極力船内に設けること、陸上に設ける場合は配線に留意すること、隣接艦船の電気熔接工事により想わぬ障害を受けることもあること等も外国文献¹⁾で論ぜられている。

後述の如く艤装中の実船について 2, 3

4) Paul Ffield, Corrosion; Jan. p. 32, p. 31.

本研究の実船実験結果から判明している。その結果今までの塗料ならば全般的に薄く広く侵されたであろう船体が、優秀なビニル塗料を用いたために侵されなくなつたので、たまたま塗料に欠陥の生じた個所（ビニルがフクレを生じ易い塗料であることは関連があろう）はプロペラ等による腐蝕作用（塗料がよいため船尾に限らず腐蝕電流は船全体に及ぶ）がその欠陥部に集中されて激しく異常腐蝕を受けたものとすれば説明できる。

何によつてこの欠陥部ができたものかは問題であるが（前に挙げたような色々の原因が考えられるが）、欠陥があつたとしても亜鉛による電気防蝕法が充分に行われていたならば防止できる筈であり、ビニル塗料の場合には油性塗料の場合より防蝕亜鉛の量は少くすむ理であるから、ビニル塗料の如き優秀な塗料の採用には亜鉛の如き保護対策にも万全を期する必要が大になるが、それさえ充分なら塗料の特質もまた十二分に活用できる筈である。また電気防蝕法を実施する場合、今のところ最適の組合せを示す塗料はビニル系であると云えるようである。

2・2 基 础 調 査

29年度に実施した第20研究部会“船舶の陰極的防蝕法の研究”的一部として実施した塗膜の実験では電圧の調整を適確に行なうことが困難であつたために有益な比較資料は得られたが、数値的には余り適確なものが得られなかつた。また臨海基礎実験に於ても同様電圧変動のため正確な実験資料を得る上に困難を痛感したので、その対策を研究した結果、裸鉄板を試片と併列に取付けて充分余力のある電流を流す考案によりほぼ目的を達成し得ることを明らかにすることことができた。

これによつて基礎実験の基盤ができたので8種の防蝕塗料について陰極電流の影響の調査を行つた。その大要は次の通りである。

2・2・1. 試 験 法

(a) 塗装試片の作製法

寸法 $110 \times 50 \times 1\text{ mm}$ の軟鋼試片を240番コランダム布まで研磨仕上し、アルカリおよびアルコールにて脱脂洗滌後、供試塗料を所定の厚みになるまで刷毛にて数回塗布した。試片の上端には $1.8\text{ mm} \phi$ 、長さ 110 mm の鉄線をビス止めし、試片の懸垂と導電を兼ねさせた。塗装試片は $40 \times 70\text{ mm}$ の露出面を残して周縁および裏面をパラフィンで厚く被覆し、かつ露出膜面の中央には針にて二本の交叉した長さ 80 mm の切傷を入れた (Fig. 2・8)。

(b) 供試塗料

供試塗料はビニル船底塗料、ビニルクリヤ、油性船底塗料、フェノール樹脂系、クマロンインデン樹脂系、塩化ビニリデン系、塩化ゴム系および塩酸ゴム系の8種である。すべての試験には下塗としてウオッシュプライマーを1回塗布し、乾燥後直ちに供試塗料を数回塗布し、最終回塗布後20～30日間乾燥して試験に供した。塗膜の厚さは科研磁力式膜厚計或いはエルコメーターによつて測定し、 $0.11\sim0.15\text{ mm}$ の範囲に止まるように数回塗布したが、二三の試片はこれを超過したものもある。各試片の塗膜の厚さは試験結果の一覽表中に示してある。

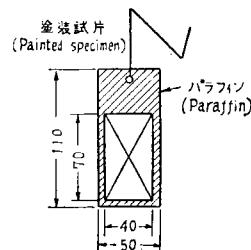


Fig. 2・8
塗装試片
(Painted specimen)

(c) 実験装置

実験装置およびその電気回路は Fig. 2・9 に示す。直径 320 mm、容量約 12 l の円形硝子槽に Table 2・1 に示す組成の人工海水 10 l を満し、これをさらに大型の鉄製恒温水槽に浸漬し、500 W 電熱器およびトルエン水銀レギュレーターによって液温を $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ に保つ。8 枚の塗装試片およびこれと同じ大きさの 10 枚の裸軟鋼板を試験液槽の上縁に設置した帶状銅板上のターミナルに取付け、槽の周壁に沿つて試験液中に交互に懸垂し、これらを外部直流電源の負極に接続する。また同時に槽の中央には 30 mm $\phi \times 300$ mm の炭素陽極を浸漬し、これを外部直流電源の正極に接続し、試片と裸鋼板に対し陰極電流を供給する。電位の測定には飽和甘汞電極と Leeds Northrup K 型電位差計を使用した。飽和甘汞電極は液間電位差を除去するため飽和 KCl の中間液を介して寒天塩橋（水 100 cc に寒天粉末 3 g と KCl 40 g を加え加熱後、外径 8 mm の硝子管中に挿入し冷却凝固させたもの）によって試験液と連絡してあり、かつ塩橋の先端は裸鋼板に軽く触れる程度の位置に設置する。また

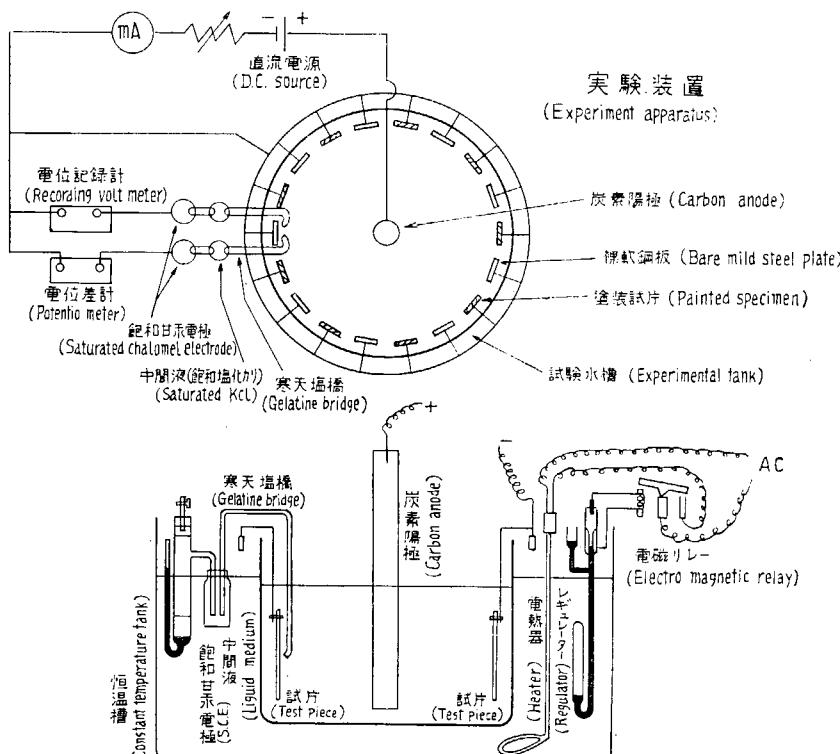


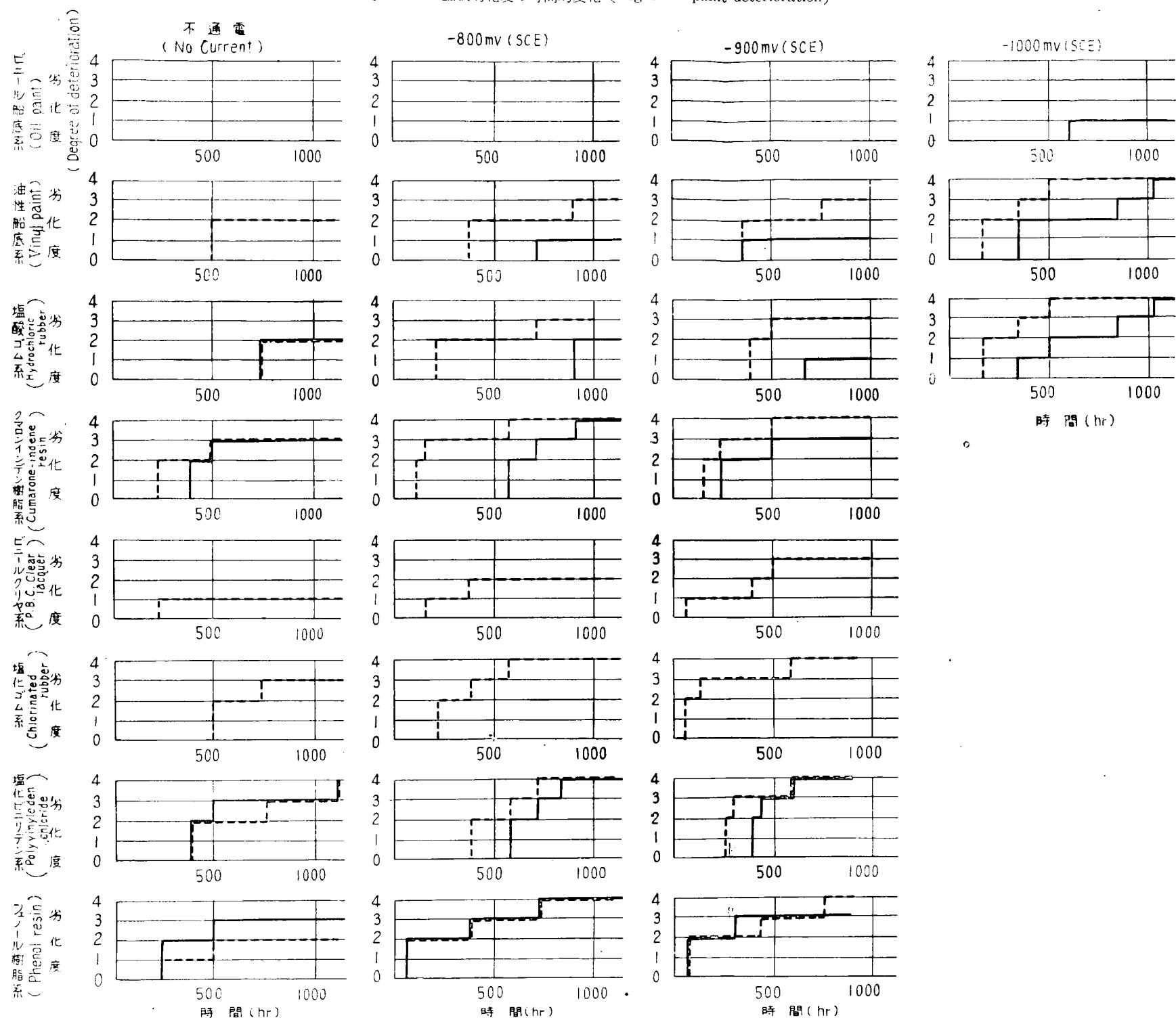
Fig. 2・9 実験装置 (Experiment apparatus)

Table. 2・1 合成海水の組成 (g/l) pH 7.6

(Composition of the synthetic sea water)

NaCl	MgCl ₂ · 6 H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂ · 2 H ₂ O	KCl	NaHCO ₃	KBr	H ₃ BO ₃	NaF
24.53	11.11	4.09	1.54	0.69	0.20	0.10	0.03	0.003

Fig. 2・10 塗膜劣化度の時間的変化 (Degree of paint deterioration)



註) 実線: 全面
破線: 切傷部近傍
Full line: (General surface), Dotted line: (Boundary of scratched line)

劣化度 (Degree of deterioration)	塗膜の状態 (Conditions of painted surface)	
	0	1
0	全然変化なし (No change)	
1	艶減少, 異色, 汚染などのように塗膜の保護能力には支障ない変化 (Slight change but no change in protective character)	
2	欠陥 (腫れ, 龟裂など) を僅かに認む (Slight defects such as swell or crack)	
3	欠陥がかなりある (bad)	
4	欠陥が多い (worst)	

電位の変動を観測するため別の同様な飽和甘汞電極を並置し、横河 ER 121 型電位記録計によつて試片の電位を記録しうるようにした。本試験において上述の如く塗装試片と一緒に面積比の大きな裸鋼板を陰極としたのは陰極を一定電位に限定するのを容易にするためで、裸鋼板が存在すると塗膜の劣化に伴つて塗装試片における電流条件に変化があつても大きい裸鋼板のためそれの電位の変動に及ぼす影響が小さいからである。この場合塗装試片に対する裸鋼板の面積比は 5 以上であるのが望ましかつた。

(d) 実験操作

炭素陽極によつて外部の直流電源から塗装試片と裸鋼板に対し陰極電流を継続して通電し、同時に試片の電位を測定して常に所定の電位を維持するように外部からの陰極電流を調節した。試験は飽和甘汞電極基準で -800 , -900 および $-1,000\text{ mV}$ 並びに不通電時についてそれぞれ約 1 ケ月余継続し、その間時々試片を液中より取り出し塗膜の劣化状況を拡大鏡で観察した。(また同時に試片の交流特性の変化についても測定したが、データ不充分のため本報告では省略する) 試験中、液の蒸発により試験液が減少するので蒸留水によつて補充した。また実験に際しては始め裸鋼板のみを浸漬して數十時間通電し、変動の大きい初期誘導期間を経過し、ほぼ所定の電位に安定した後、塗装試片を浸漬するように注意した。電位の調整は 1 日に 2 回程度行つたが、全試験時間を通じての電位の変動は、 $-1,000\text{ mV}$ および -900 mV (SCE) では $\pm 10\text{ mV}$ の範囲内の変動に止まつており、この種の試験には充分満足すべき精度内にあるものといえる。しかし -800 mV (SCE) ではその変動が大きかつた。これは -800 mV (SCE) 附近では僅かの電流変化が分極に対し大きな影響を及ぼし電位の変動が大きく表われるためであろう。従つて電位の調整はさらに微細に行う必要があつたものと思われる。

2・2・2 試験結果

試験は -800 , -900 および $-1,000\text{ mV}$ (SCE) の各電位並びに不通電時についてそれぞれ 1,128, 911, 1,245 および 1,244 hr 継続した。陰極電位を一定にするのに要する陰極電流は時間の経過と共に次第に減少するが、その値は -800 mV (SCE) では $5.0 \sim 2.0\text{ mA}$, -900 mV (SCE) では $6.0 \sim 3.5\text{ mA}$, また $-1,000\text{ mV}$ (SCE) では $12.0 \sim 4.5\text{ mA}$ であつた。

塗膜の劣化状態は Fig. 2・10 下欄に示す尺度によつて 5 段階の劣化度に分類し、その時間的変化を図示すると Fig. 2・10 のようになる。また各試片の試験終了時における劣化状態は Table 2・2 に示す通りである。

2・2・3 結論

以上の試験結果を総括すると次の如くになる。

(1) 不通電の場合においてもビニル系以外のものは膨れ或いは亀裂の発生を認めたが、陰極電流が供給された場合には塗膜の劣化が激化され、かつ陰極電位の低いほど促進される傾向がある。

(2) 切傷の近傍部の方が全面より早く塗膜の劣化を招く傾向がある。

(3) -800 mV および -900 mV (SCE) の陰極電位においてフェノール樹脂系、塩化ビニリデン系、クマロンインデン樹脂系および塩化ゴム系は膨れ或いは亀裂のような塗膜の損傷が甚しかつた。またビニルクリヤ、油性船底系および塩酸ゴム系は膨れの発生が比較的軽微であるが、 $-1,000$

Table 2・2 試験終了時における膜の劣化状態

種類	試験条件	塗装回数	膜厚 (mm)	塗膜の劣化状態
ビニル船底系	不通電	5	0.11	切傷部発錆、塗膜全く変化なし
	-800	7	0.11	全く変化なし
	-900	7	0.11	同上
	-1,000	5	0.12	僅かに塗膜の汚染を生じたのみ
油性船底系	不通電	3	0.14	切傷部発錆、その近傍に小膨れ数点
	-800	4	0.18	切傷近傍に小膨れ増加
	-900	4	0.17	同上
	-1,000	3	0.15	塗膜の変色著しく、大膨れ3個、切傷近傍は連続的 れ膨
塩酸ゴム系	不通電	3	0.11	切傷部発錆、その近傍に小膨れ数点
	-800	4	0.15	切傷近傍の小膨れ僅かに増加
	-900	4	0.15	同上
	-1,000	3	0.17	塗膜の変色著しく、大小の膨れ多数
クマロンインデン 樹脂系	不通電	3	0.14	切傷部発錆、全面に膨れ発生
	-800	4	0.15	全面に小膨れ多数、切傷近傍は大膨れとなる
	-900	5	0.14	同上
ビニルクリヤ系	不通電	6	0.12	切傷部発錆、その近傍は褐色に変ず
	-800	7	0.11	切傷近傍は褐色に変じ、小膨れを僅かに認む
	-900	7	0.11	同上、小膨れの数は増加
塩化ゴム系	不通電	3	0.12	切傷部発錆、その近傍に小膨れ群生
	-800	5	0.15	切傷近傍に小膨れ多数
	-900	5	0.15	同上
塩化ビニリデン系	不通電	5	0.12	切傷部発錆、全面に大小の膨れ多数
	-800	7	0.13	全面に大小の膨れ多数
	-900	7	0.15	同上
フェノール樹脂系	不通電	3	0.12	全面に網目状亀裂を生じ発錆
	-800	5	0.16	全面に網目状亀裂を生じ、それに沿い小膨れ
	-900	6	0.19	同上

mV (SCE) の陰極電位においては塗膜の変色と膨れが甚しくなつた。

(4) ビニル船底系は -1,000 mV (SCE) の陰極電位においてのみ僅かに塗膜の汚染を認めたが、耐蝕性を損するほどのものとは思われない。他の電位においては全く異状を認めず、供試塗料中最も優れていた。

(5) 塗装試片は切傷線上に発錆を起すが、陰極電流を適用したものはその電位が防蝕電位 (-770

mv (SCE)) 以下になつてゐるので全く発錆を認めない。

2・2・4 結び

上記の陰極電流を併用する浸没試験においては、供試塗料中ビニル船底塗料のみが良好な成績を示したが、今後さらに新試料を追加して試験を補いたい。また塗膜の交流特性の変化による劣化状態の判定法は定量的に求めうる利点があると思われるが、本試験のように切傷線のある塗装試片を使用したときには切傷線の影響が大きく現われ、塗膜の劣化状態を明確に判定し得なかつた。

29年度の実験で剝離を起したのは過大な電流により限度を越えた電位降下を起したためのものと考える可きで、つまり実験の不慣による失敗が大きく響いたものである。なお供試塗料は中国塗料および中川防錆工業の両社から提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

なお防錆に使用する亜鉛の純度に関しては 29 年度研究の報告以後も重野委員の手で引継ぎ行われその結果は“高純度亜鉛の流電陽極特性”として防錆技術第 5 卷 3 号 (1956) 6 月に発表されている。結論として亜鉛純度と陽極電位の時間的変化は Fig. 2・11 に示す如く少くも 99.99 以上の純度が望ましい。この場合には Fig. 2・12 に示すように発生電流効率も極めて高いことなどが更に明確にされた。また不純物中鉄の影響が特に大きいことがその後 “The effect of iron in galvanic zinc anodes in sea water” R. B. Teel, D. B. Anderson, Corrosion; (1956) July に発表されている。共に関連ある極めて重要な資料なので附記する次第である。

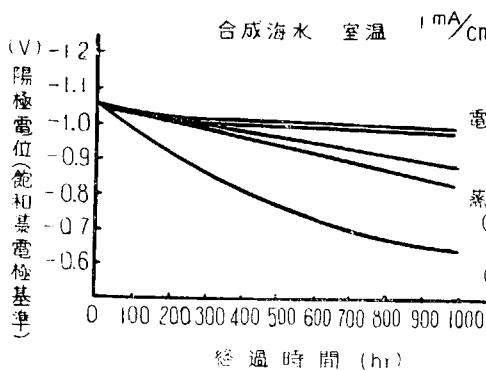


Fig. 2・11 陽極電位の時間的変化(平均)

Time change of anode potential.

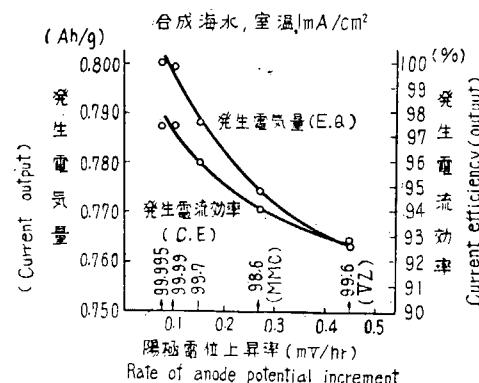


Fig. 2・12 Relations of the current efficiency

and current output on the rate of
anode potential increment.

2・3 臨海模型実験

電気防錆と塗膜との関連については既に 29 年度の研究（第 20 研究部会）でも基礎実験及び臨海実験によつて一応の定性的な判定の資料を得たのであるが未だ各種塗料系に対する許容防錆電位、防錆電流密度或は防汚効率の変化等の点は甚だ不明確であり傍々実験条件の不備もあつて、その結果を以つて直ちに実船施工の基準条件を導き出すには極めて困難であつたので本研究に於ては特に施工条件の確立を目標として臨海実験を行つたものである。

2・3・1 実験担当場所

日立造船 技術研究所（日立造船因島造船所構内）
新三菱重工 神戸港（神戸造船所構内）

の2ヶ所に於て実施し、なお日本ペイント本社研究所に於て実験室的試験を担当した。なお29年度に実施した三菱日本（横浜）と日本ペイント及び日本油脂の油槽湾内の試験は造船所の拡張工事、及び実験経過看視上の困難等の問題があつたので中止した。

2・3・2 実験方法

29年度臨海実験で得られた成果に基き今回は各塗装系に対する実用的（即ち塗膜が6ヶ月乃至1ヶ年健全なる程度の）防錆電流量、防錆電位を決定することを第1の目標とし、当初下記の如き実験方策を立ててスタートした。

油 性 系	下塗 塗料	塗 装 系			防 錆 電 流 密 度 mA/ft^2			
		回数	A/C	回数	A/F	回数	塗料提供	
性 系	ウォッシュプライマー	1	油性 A/C		油性 A/F	2	日本油脂	0.03
	"	0	"		"	2	"	0.05
ビニル系	ウォッシュプライマー 船底用	1			"	2	中国塗料	0.10
	シルバープライマー	3						0.15 の4段階
ビニル系	ウォッシュプライマー	1	ビニル A/C (鉛丹系)	4	ビニル A/F	2	日本ペイント	0.1 0.2 0.3 の3段階
	"	1	ビニル A/C (シルバー系)	4	"	2		

註 1. 塗料は現用品を主とし実船に即応した塗装系について行う。

註 2. ウォッシュプライマーは Mil-p-1538 規格品とする。

註 3. 初期設立が安定する迄 1~2 週間は短絡せずに浸漬する。

註 4. 耐久性の判定は 6 カ月以上の長期浸漬による。

即ち前回の経験により通電電流密度を絞り、電流量と電位の両面より実験条件を規正することを考えて、31年4月より浸漬試験を開始したのであるが試験片は疵なしの完全塗装となし且つ陽極として Zn 陽極を用いたため、ビニル塗装板にあつては容易に電流が流れずしかも分極作用が微少面積のピンホール、膨れ、破損部等に集中的に作用するため電流調節は著しい困難を來し殆んど不可能の状態にすらなつた。

そこで当部会で種々検討を加え、旁々東工試重野委員が行つた基礎実験に於ける電位調節法を参照し、当初の電流密度を主眼とする実験方法を切り換え防錆電位基準の実験方式に移行することとし、また陽極材料も電位の調節が比較的行い易い Mg 陽極に切り換えることとした。新三菱重工神戸造船所で行つた臨海試験の条件を例示すれば硫酸銅電極基準で油性系 -750 mV - 900 mV - 1,100 mV - 1,200 mV、ビニル系 -800 mV - 1,000 mV - 1,100 mV であつて、標準防錆電位を中心として稍々防錆不完全、過大防錆電位の各場合について塗膜変化の度合、防錆防汚効率の推移を検討し旁々電位と電流との相関性を調査したものである。一方日立造船所因島工場では稍々実験開始が遅れた関係もあり、前回の実験とラップして主として電流密度を変化せしめつつ、実験を進めた。

その詳細は本章の末尾に記すこととした。

2・3・3・ 成果概要

途中実験方法に変更もあり浸漬期間がやや充分でないので各塗装系についての詳細な結論は導き難いが、新三菱、日立の2場所及び日本ペイントに於ける基礎試験の結果を総合すると概ね下記の通りである。

- (1) 塗装系の比較ではビニル系の優れている点は前回と全く一致する。
- (2) 但しビニル系 A/C 防錆顔料（鉛丹、シルバー）の差及び油性下塗の優劣は余り明らかでなかつた。前回（第 20 研究部会）の所論では概してシルバー下塗が優れていたが今回の実験では普通或はウォッシュプライマーを用いたものとの明瞭な差は認められず、ただビニル系、油性系を通じてシルバー下塗のものは塗膜劣化に至る期間は遅いが、フクレの発生では比較的大フクレを生ずる傾向が観察された。
- (3) 塗装系の電気防蝕施工時に於ける適性についてはなお実験その他の経験をも積み重ねる要素があると思われる。単に防錆顔料の相異による区別では固より判断できない。ペヒクルの選択配合が重要な因子であると考えられる。
従来の諸結果から概略的には電気防蝕に適する塗料としては、先ずビニル系、次いでコールドプラスチックが良好で、また油性系では塗り回数、塗装下地処理が重要であるが、一般的にはフェノール樹脂等の耐水性ワニスをペヒクル中に配合したシルバー型下塗の使用がすすめられる。ウォッシュプライマーの使用も若干の効果があろう。
- (4) 各塗装系に対する許容防蝕電位は油性系で -950 mV ビニル系で -1000 mV 前後が塗膜保守上の限界値と見られ、対応する電流密度は夫々 $0.5 \sim 1.0 \text{ mA/m}^2$ $1.0 \sim 1.5 \text{ mA/m}^2$ 前後で予想よりも小なる電流値であり、これは防蝕施工設計上注意を要する点と思われる。この通電電流量は実験室的条件と臨海試験の環境とでは相当異なるようであるが、いずれにせよ 29 年度研究で行つた際の $10 \sim 5 \text{ mA/m}^2$ 通電量では比較的短期間に塗膜劣化が生じていたことより推しても、塗膜保守の見地よりすれば従来の設定値より更に小なる電流量で防蝕すべきであろう。但しこの値そのものは防蝕施工対策の分極抵抗その他により大巾に変動すると考えられるから、絶対値を云々することは不合理で、飽くまでも基準防蝕電位の維持を主眼となす可きで、電流値そのものは単に設計上の一応の目安に止る可きものである。（一見実船の数値と甚しく異なるようであるが、実船にはプロペラ表面等相当大きな銅系金属の裸の表面があり、これを鉄の防蝕電位 (-850 mV 硫酸銅) まで引き下げるのに非常に大きな電流を必要とするので船体表面積だけで計算した見かけの数値に大きな差が出るものであろう。今後研究を要する問題である）。
- (5) 電気防蝕と防汚力との関係については今回もなお明らかにはなし得なかつたが、一般に塗膜のフクレ剥離を生じた面には生物の付着がみられたことよりして、電気防蝕による cathodic coating 自体の防汚性は同じ程度と判断される。
- (6) 防蝕電位と通電量との間には大まかな相関関係が認められるようであるが、前述の如く被防蝕体の性状、環境によりこの関係が相当に変動するので、必ずしも対応した値とはならず、特に -1000 mV 前後の電位変化は激しく、これは塗膜に生じる微少な weak point の分極作用が原因かとも考

えられる。

(7) 臨海試験の方法について前年度及び本年度の実験を通じて得られた所論を要約すると下記のようである。

イ. 試験板は完全試験板を探らず、疵つきまたは塗り残し試験板を用いる必要がある。
ロ. 実験条件としては電位の調節を基準とし、併せて通電量を記録する方法がよく電位調節方式とすれば、ある程度の枚数までは1個の陽極ならびに抵抗で等電位を保つことが可能である。但し実験室的条件と臨海実験とでは、かなり電位の調節に難易があるので、一定電位（特に-1,000 mVより高電位の場合）に保つことが困難な場合は各試験片に夫々抵抗を挿入して電位を control する必要がある。

ハ. 通電量の変化は、塗膜劣化の時期を知る1つの目安ともなるので、できれば連続的に測定記録し得る方式が望ましい。

電位についても同様であるが、特に臨海実験では頻繁に抵抗を操作して電位調節を計ることが、極めて重要で今回の経験では ±50 mV 程度が臨海実験に於ける電位調節精度の限界であると認められた。

ニ. なお試験板及び陽極の絶縁パテとしてはビニルパテ、ポリエステルパテ、エポンパテが良好であった。

以上今回の臨海試験成績を取纏めたが、なお電気防蝕施工時に於ける塗料の選定、防蝕施工条件については、実船に於ける検討経過とも相俟つて今後下地処理、塗装方式、塗装回数或は防汚効果の問題など多々研究実験すべき点が残されていると思う。しかし一応本研究部会の成果として大体の許容防蝕電位の把握をなし得、傍々臨海試験条件をも確立し得たので、これを布石として更に一層の研究の進歩が望まれる。

新三菱重工業株式会社神戸造船所に於ける実験

I 実験の経緯

当協会報告 No. 7, 1956 に依ると

(1) 船体外板の防蝕には塗装と併用して Mg-Anode を用いる方法は非常に有効なるも電流電位の調節等細心の注意を要し現段階では Zn-Anode が適当であろう。

(2) この場合 Zn-Anode の材質は 99.995 % 級を使用すべきで、取付方法には陽極としての性能を失なわないだけの配慮が必要である。なお船体の完全防蝕を考えるとき Zn-Anode の取付個所、数量等には今後の研究に待つ必要がある。

更に当所で行つた塗装試験板に対する臨海試験結果では

(1) 塗膜劣化を生じない許容電流密度、電位については今回では決定するに至らなかつたが、大体 5~10 mA/m² 以下、-1,000 mV 以下が劣化が少いと考えられ、

(2) 従来の油性系船底塗料は劣化し易いが、下塗プライマーを併用するか、A/C の代りに Al-primer, wash primer の併用が良く、ビニル系、コールドプラスチック系はこれ等より格段に良好であつた。

(3) A/F 塗膜の防汚力の低下は特に認められなかつたが、塗膜損傷部には生物の附着を認めた。

(4) 塗装しない裸鋼板の腐蝕は電流密度 $10 \text{ mA}/\text{ft}^2$ で 98.8% の防蝕率に達した。

〔詳細は既報 QG 595 号（昭 31. 1. 10）「船舶の陰極防蝕法の研究（塗装試験板臨海浸漬試験成績）」参照〕

上記のような一応の結論が得られるに至つたが、更に詳細を検討するため第 27 研究部会の設立を見、当所及び日立造船技術研究所で臨海基礎実験、日本ペイント（株）研究所で実験室的研究を行うこととし、第 27 研究部会がこれが運営指導に當つた。その初期の計画では Table 2・3 の如き塗装系で、Zn-Anode を用いて 6 ヶ月間以上の長期浸漬に依り許容防蝕電流電位を検討することとした。

Table 2・3 塗装系及び防蝕電流密度 [27 研究部会臨海試験当初の計画案]

(Test condition of painting and protective current)

	塗装系 (Type of painting)						防蝕電流密度 (Protective current)	
	下塗塗料 (Base paint)	回数 (No. of painting)	A/C	回数	A/F	回数		
油性 系 (Oil paint)	Wash primer	1	油性 A/C	3	油性 A/F	2	日本油脂	0.03mA/ ft^2
			" A/C	3	" A/F	2	"	0.05 0.1 0.15
ビニール系 (Vinyl paint)	Wash primer	1						の 4 段階
	船底用 Silvax	3			油性 A/F	2	中国塗料	
	Wash primer	1	ビニル鉛丹系 A/C	4	ビニル A/F	2	日本ペイント	0.1mA/ ft^2
	"	1	ビニルシルバー A/C	4	" A/F	2	日本ペイント	0.2 0.3 の 3 段階

〔註〕 1. Wash primer は Mi-1P 1538 規格品とする。

2. 試験板は舷ナシ試験板のみとする。

上記に従い当所、日立造船所に於いて計画通り Zn-Anode を使用し実験を開始したが塗装初期の完全塗膜に対しては直ちに分極作用が起り目的とする電流調節が困難なるため種々委員会にても討議の結果初期の電流密度を主眼とする実験方法を切換え、防蝕電位基準の実験方法に移行することとなり、当所に於いては外部電源法、及び Mg-Anode 法に切替、更に最終的には電流、電位の調整が比較的行い易い Mg-Anode 法により実験を行うこととした。この間の使用陽極及び実験法の経緯は下記のようである。

実験開始	4 月 18 日 …… Zn-Anode を使用して開始。
昭和 31 年 約 130 日	8 月 10 日 …… Zn-Anode を中止して Mg-Anode 外電法とする。
	8 月 14 日 …… 上記で実験開始。
	8 月 18 日 …… 外電法を中止して全部 Mg-Anode とする。
70 日	8 月 22 日 …… 上記で実験再開始。
	10 月 31 日 …… 実験を終了した。

〔註〕 Zn-Anode、外電法で使用した試験板はひきつづき Mg-Anode による最終実験に継続して用いたが

この間約 130 日では試験板の変化は全く認められなかつた。

II 実験方法及び実験条件

(1) 供試塗料及び塗装回数

供試塗料	塗装回数
油性系	(日油) W/P×1+油性 A/C×3+油性 A/F×2
	(日油) 油性 A/C×3+油性 A/F×2
ビニル系	(中国) W/P×1+ Silver ×3+油性 A/F×2
	(日ペ) W/P×1+R/L×4+ビニル A/F×2
	(日ペ) W/P×1+Sil. ×4+ビニル A/F×2

(2) 陰極

Fig. 2・13 に示す寸法の軟鋼板を表面 Sand Blast しビニル導線を両懸垂孔中央部上面に半田付して後夫々の塗料を塗り試験に供した。なお下端部、懸垂孔附近、半田付部は最終塗装後更にタッピングアップし、陰極板として所定の試験に供した。

(3) 陽極

陽極として使用せる Mg-Alloy は Fig. 2・14 の如く鉄芯入りで $33 \text{ mm} \phi$ Dow Chemical (米) 製で同社の規格は Table 2・4 に、また取付方法等も同図に示した。

Table 2・4 Mg-Anode 化学成分 (Chemical composition of Mg-Anode)

%	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	Mg	不純物
Mg-Anode	5.3~6.7	2.5~3.5	>0.15	<0.3	<0.05	<0.003	<0.003	残	残

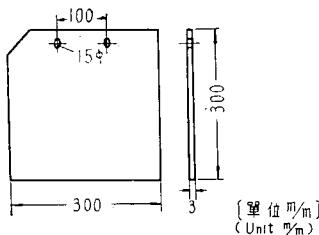
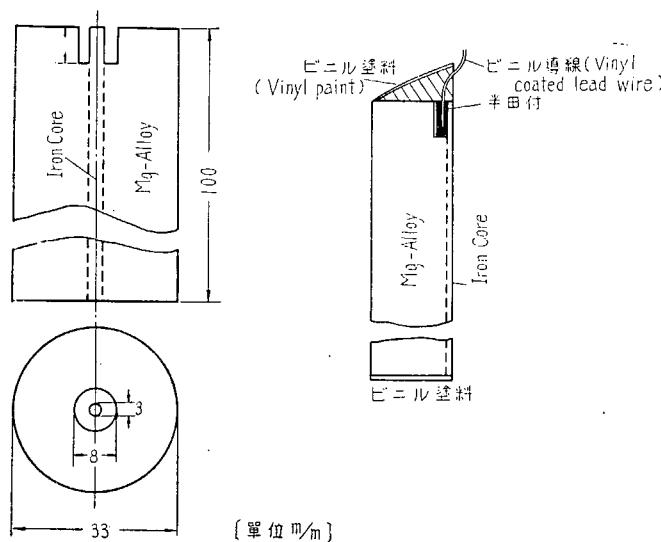


Fig. 2・13 陰極板寸法
(Cathodic plate tested)

Fig. 2・14
Mg-Anode 及び導線取付要項
(Vinyl coated lead wire)

(4) 試験場所及び実験方法概要

試験場所は当所第3ドック浸漬試験場で実施した。試験板の保持具は Fig. 2・15 及び Photo. 1 に示す如きの木製保持具を使用し、測定回路は Fig. 2・16 の如くで $500\sim1,000\Omega$ の可変抵抗器を用い、

油性系	- 750 mV	ビニル系	- 800 mV
	- 900 mV		- 1,000 mV
	- 1,100 mV		- 1,100 mV
	- 1,200 mV		

を目標として電位を調節し硫酸銅電極を基準帶用電位差計(東洋理化製)で電位を測定した。測定用硫酸銅電極を Fig. 2・17 に示す。

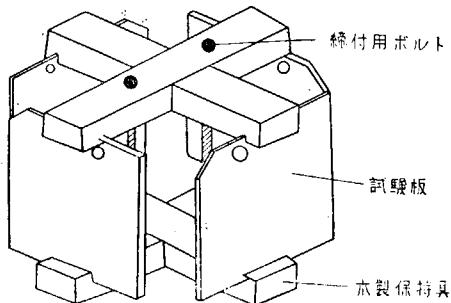


Fig. 2・15 木製試験板保持具
(Wooden test plate holder)



Photo. 1. 保持具及び試験板取付状況
(Fitting conditions of the
holder and test plates)

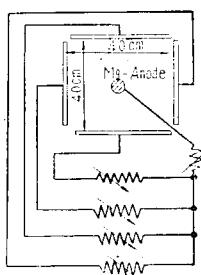


Fig. 2・16 測定回路
(Measuring circuit)

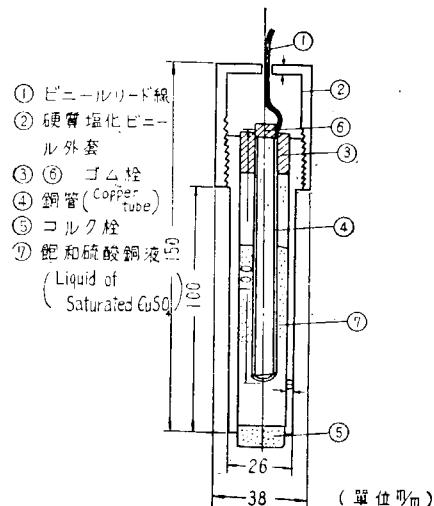


Fig. 2・17 硫酸銅電極
(CuSO_4 Half Cell)

III 実験結果

8月22日より10月31日に至るまでの約70日間 Mg-Anode の法に拠つて得られた結果を Fig. 2・18~21 までに示し、試験板の変化記録の一例を写真に示した。

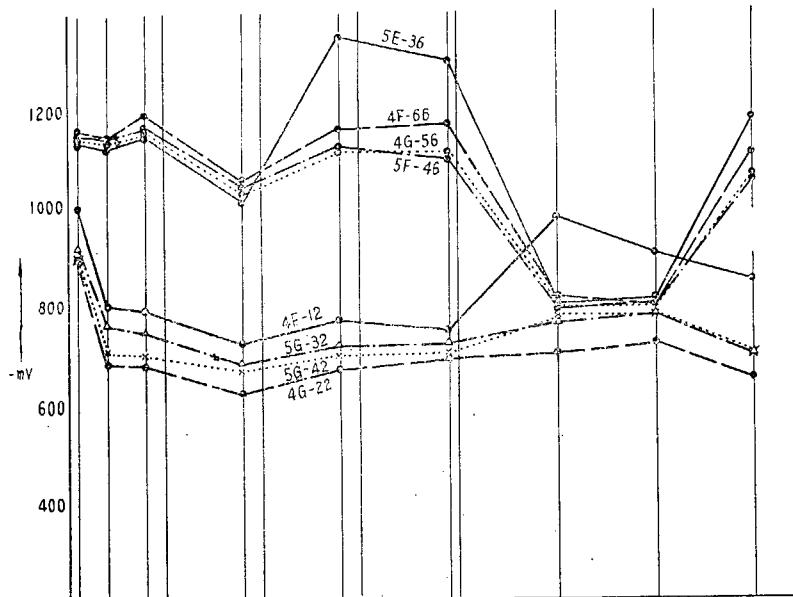


Fig. 2・18 試験板電位変化（ビニル系）
Potential variation of specimens. (vinyl paint)

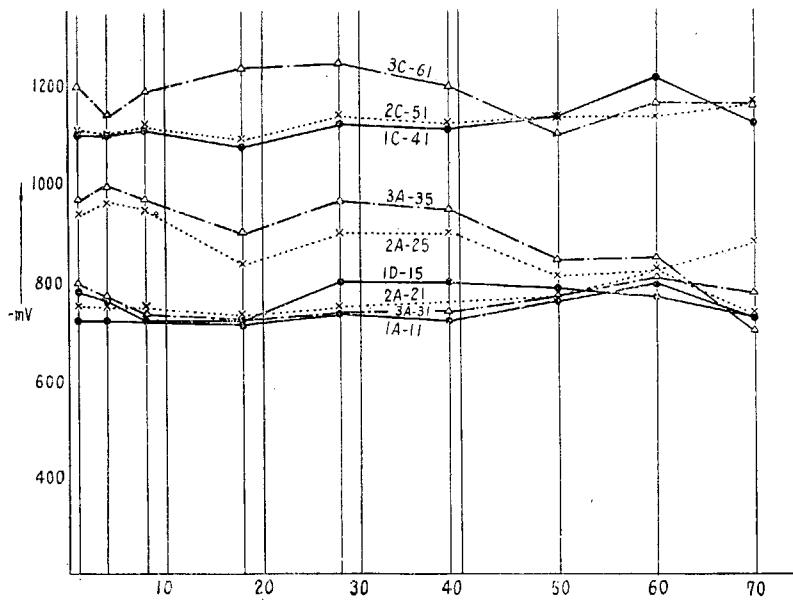


Fig. 2・19 試験板電位変化（油性系）
Potential variation of specimens. (oil paint)

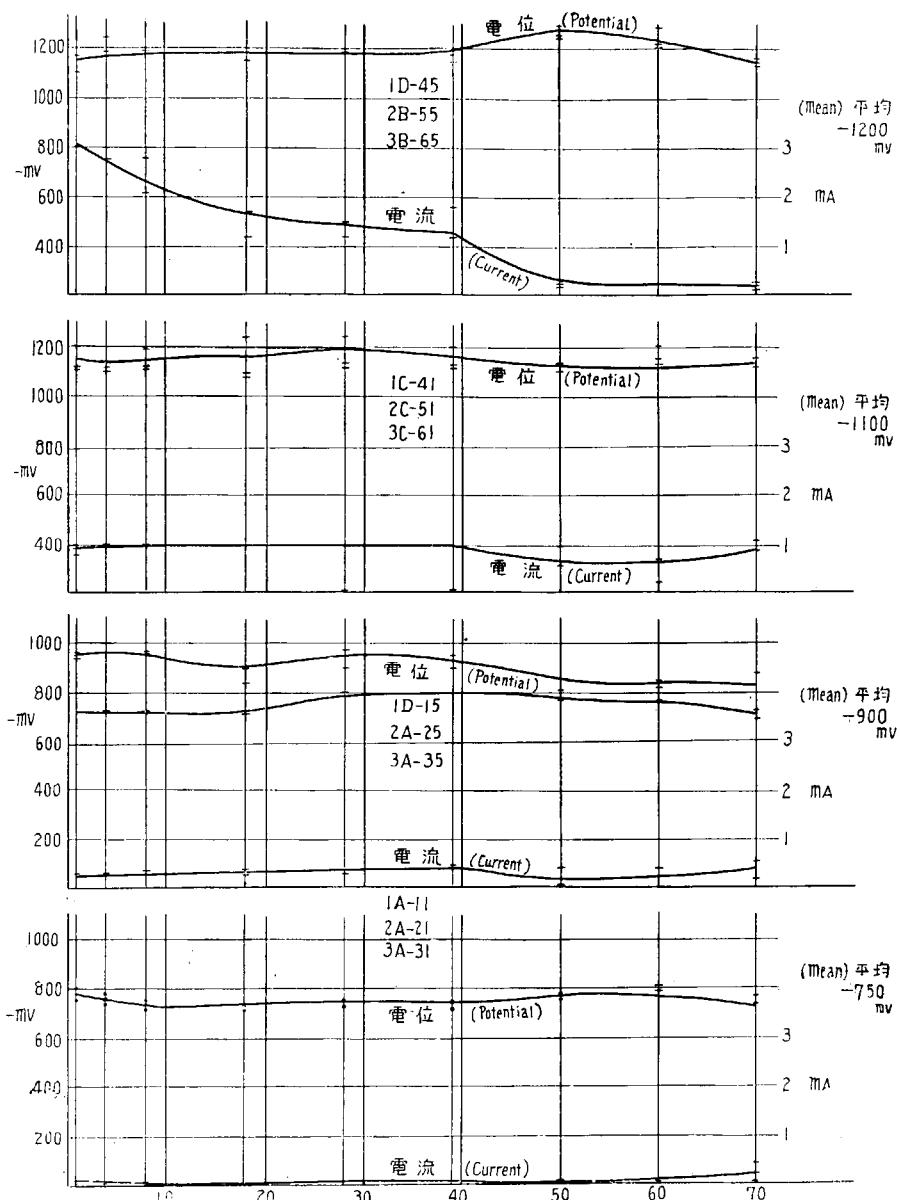


Fig. 2.20 試験板の電位及び電流変化の平均値（油性系）
Mean values of Potential and Ampere of specimens. (Oil paint)

IV 考 察

- (1) 油性系塗料、ビニル系塗料の比較に於いては従来と同様ビニル系が優つておる、
- (2) 下塗の相異に依る塗膜の陰極電流に対する耐久力は油性系では大差が認められなかつたが、油性 Silver 下塗が今回やや大きなフクレを生ずる傾向を認め、W/P+油性 A/C 系が比較的良いようと思われた。ビニル系の A/C の防錆顔料（鉛丹系と Silver 型）の差も油性系同様大差を認め難い。
- (3) ビニル系ではフクレを生じても亀裂までに油性系に比し長時間を要するため生物の附着は特

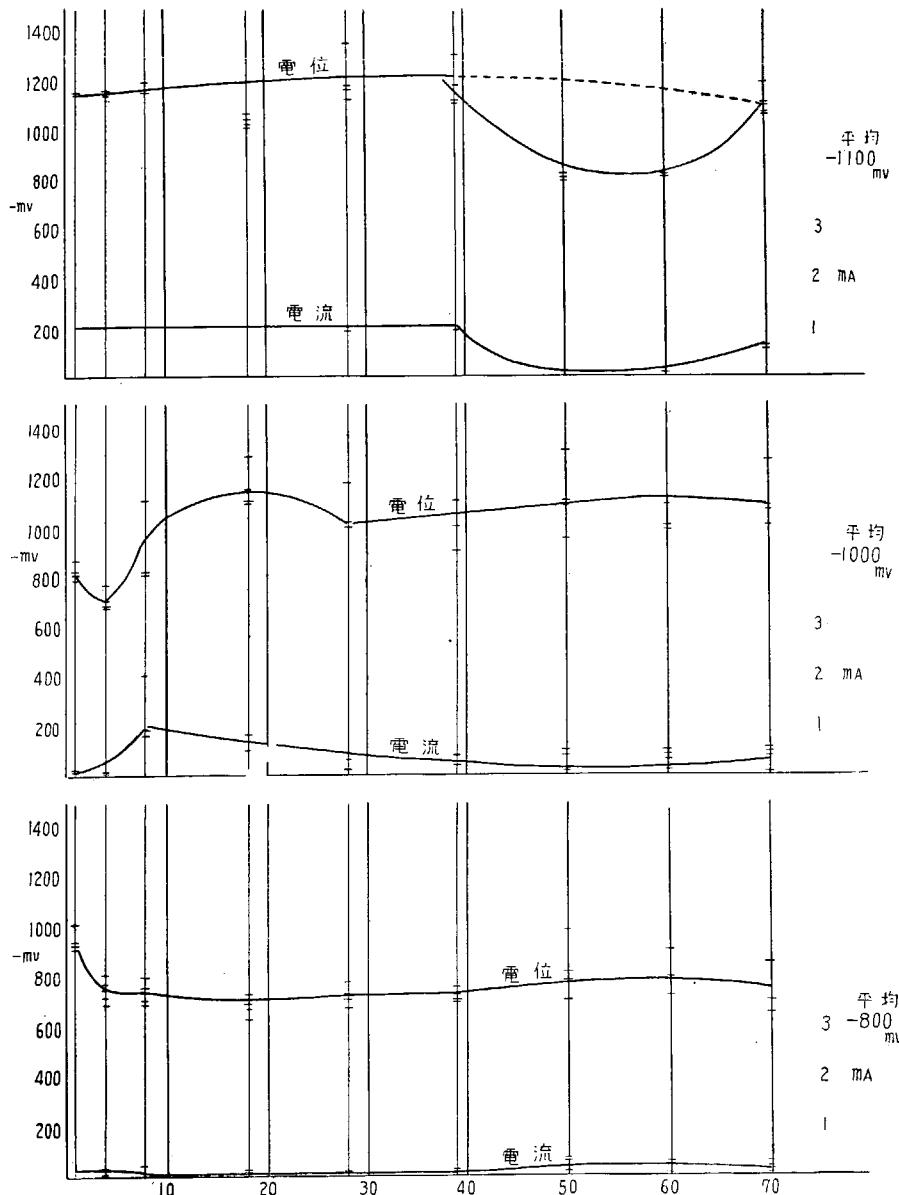


Fig. 2・21 試験板の電位及び電流変化の平均値 (ビニル系)
(Vinyl paint)

に油性系が著しい。

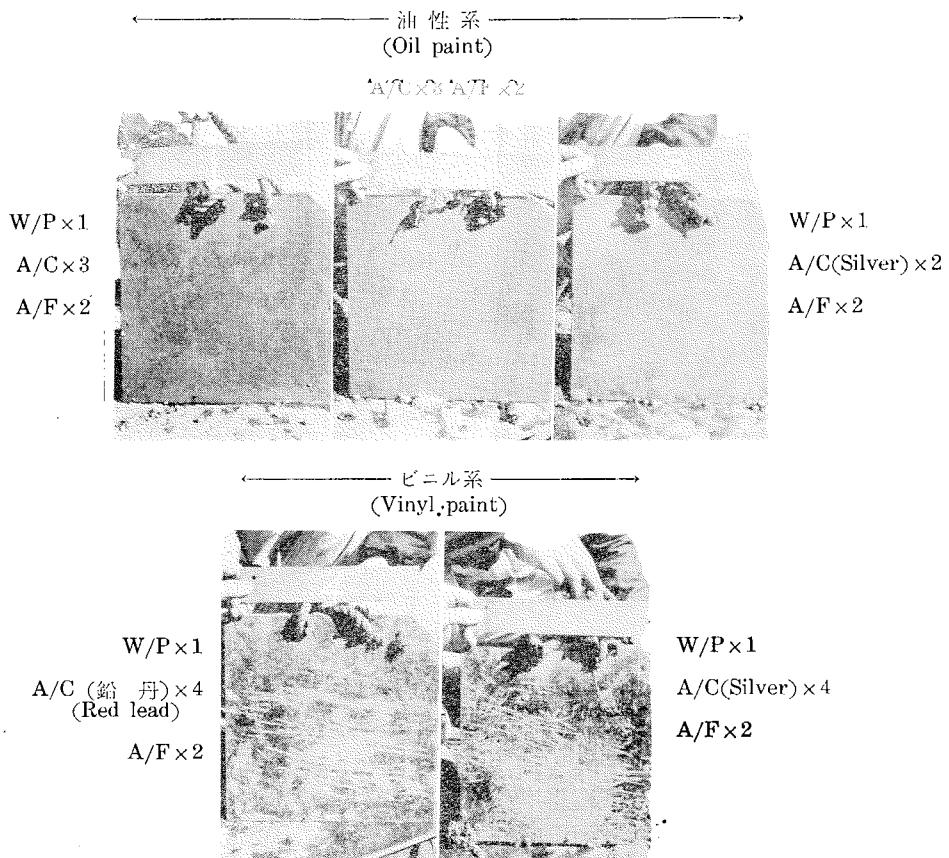
(4) 試験板の電流、電位はほぼ対応するが油性系の場合 $-1,000 \text{ mV}$ 前後の電位変化は特に激しいように感じた。これは塗膜に生じる微小 weak point の分極作用に原因を持ち、電流、電位の不並行の点は、分極点前後に於ける電位に対する電流の変化が対数的変化をするによるかと考えられる。

なお今回の臨海試験時の電位と電流との関係は大略次のようになる。

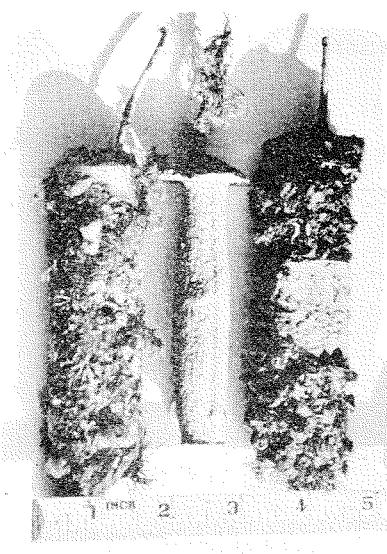
浸漬試験板外観写真 (Apperence of submerged test plates)

無通電試験板 (約 200 日間浸漬)

No current test plates. (submerged about 200 days)



試験後の Mg-Anode (Mg-Anode after tested)



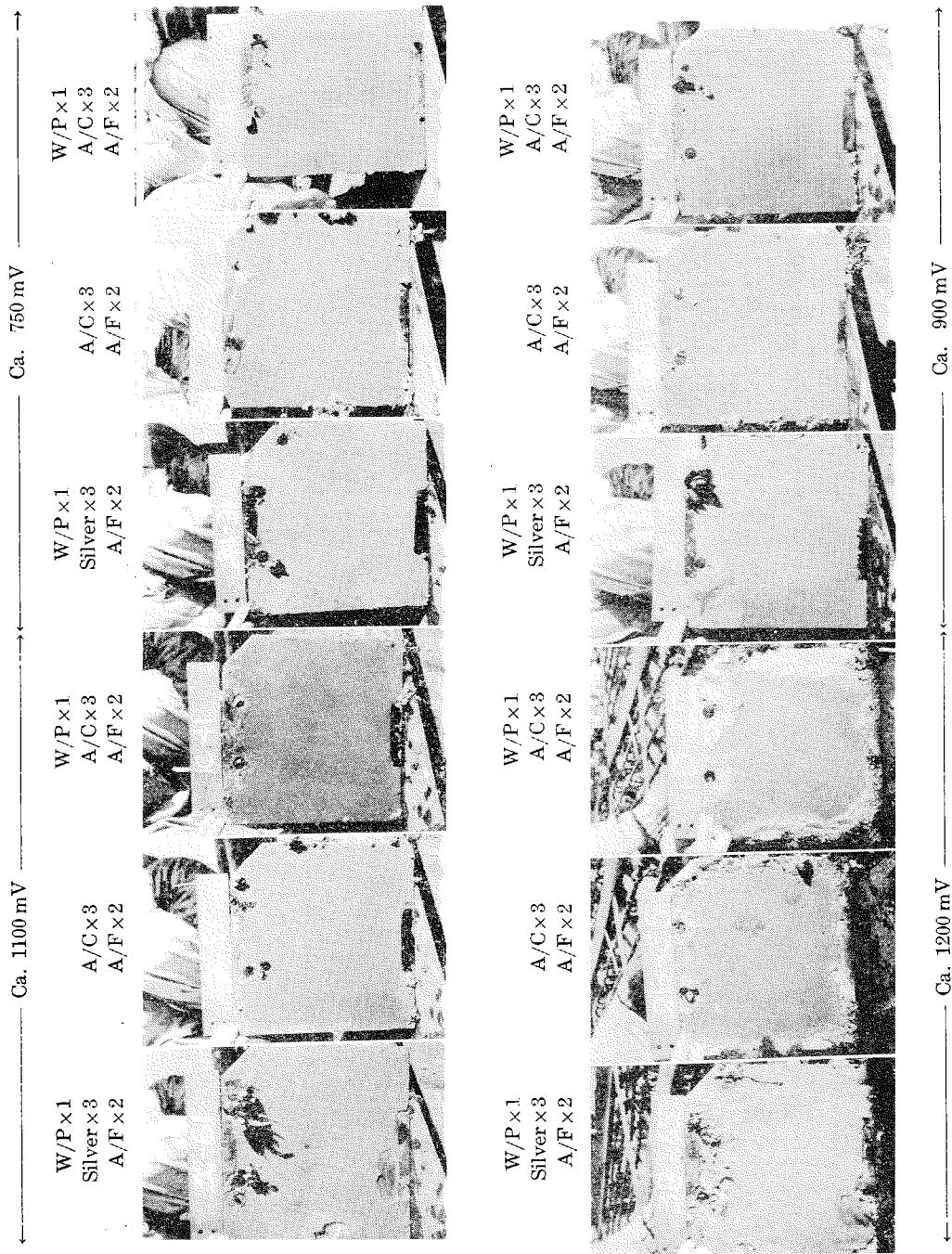
(註) 左の 2 本はポリエスチル
ペテを使用せるもので右
の 1 本はコールタールエ
ナメルで絶縁処理したも
の。

浸漬試験板外観写真

油性系
(oil paint)

Zn 130 日 (days)

Mg 70 日 (")

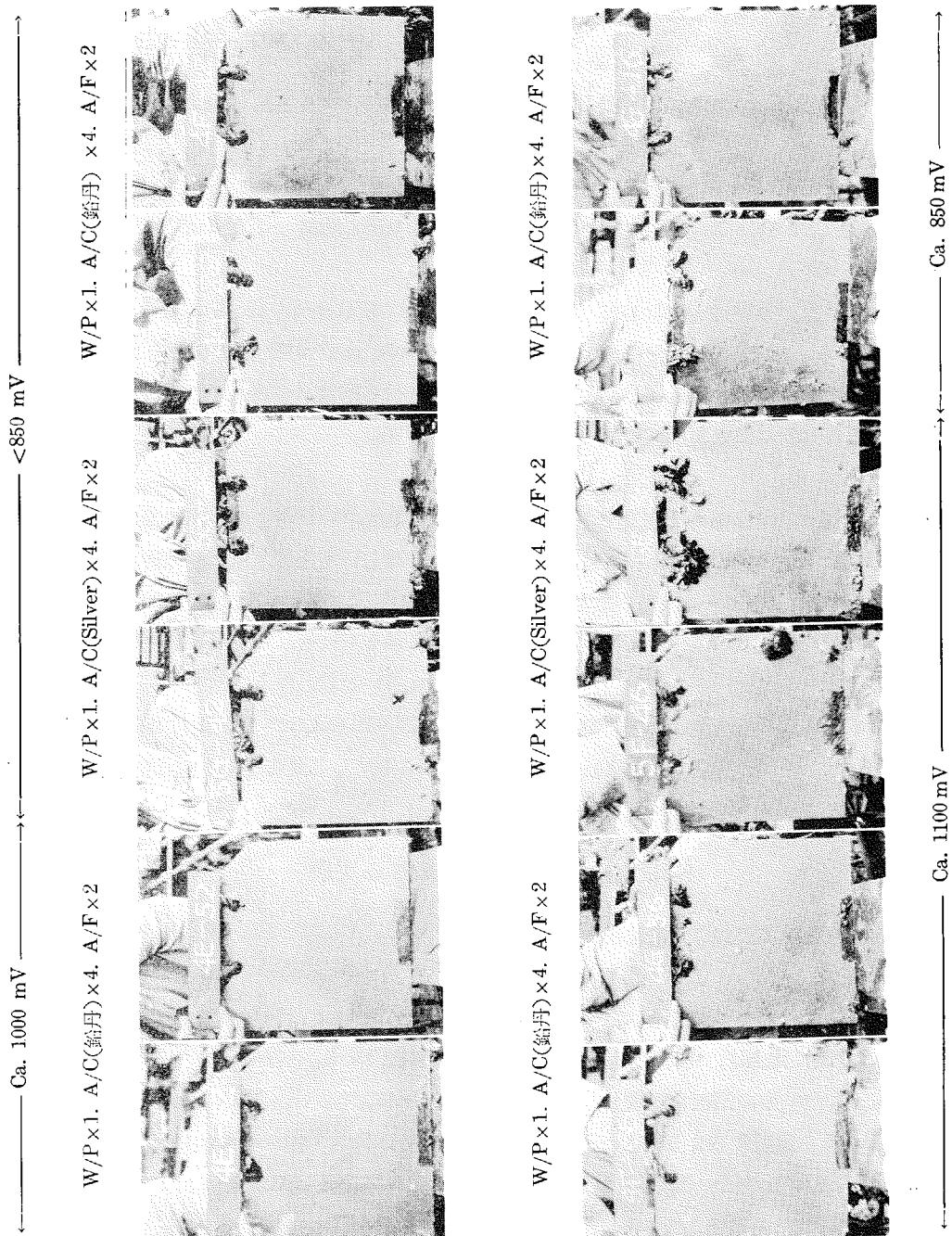


浸漬試験板外観写真

ビニル系
(Vinyl paint)

Zn 130 日 (days)

Mg 70 日 (")



	電位	電流	電位	電流	
	(-mV)		(-mV)		
油性系	1,200	……2 mA	ビニル系	1,100	……1 mA
	1,100	……1 mA		1,000	……0.2 mA
	900	……0.5 mA		800	……0.1 mA
	750	……0.05 mA			

[但し、油性、ビニル共通電後最初の1ヶ月～40日は上記の2mA, 1mAの電流が流れるが、以後は0.2～0.4mA程度で比較的電位の維持も安定していた。]

(5) 油性系では-800mV以下の電位で塗膜の損傷は殆んど認められず、これの許容電位は-950mV以下(0.5～1mA/m²)位と考えられ、またビニル系も同様-1,000mV(1～1.5mA/m²)以下と認められる。

(6) 電位変化の調整は一応は可能であるが、更に厳密に調整維持することに依り始めて塗装の併用に依り電気防蝕法が効果を示すもので、この点 automatic controller等の研究も必要と思う。

(7) なお本実験に於て Mg-Anode の取付個所等に於ける絶縁パテとして、ポリエステルパテを使用せるところ非常に良好な成績であつた。

V 結 言

各塗装系に対する許容電流、電位決定のため臨海浸漬実験を行い検討したが、塗膜に対する陰極防蝕電流の影響は電位の調節維持を行うことに依りほぼその著しい劣化ブリスターの影響は避け得ると結論され、その許容維持電位の概略値は油性系で-950mV以下ビニル系で-1,000mV以下であると認められ、この程度の電位に維持されれば当然完全防蝕も期待されるがなお電気防蝕併用塗料についての防汚力への影響、その他検討さるべき不明の点も多いと思われる。

また対応する防蝕電流密度は、従来塗膜存在の場合は20～10mA/m²と仮定して陽極個数等も設計されていたが、今回の実験結果では、塗膜保守の見地よりすると更に小なる電流密度(1～2mA/m²)で考慮すべきであると認められた。

日立造船株式会社に於ける実験

I. 船底塗料における防蝕電流密度の影響

1 実験方法

実験方法は鉄板、Mg合金陽極によるピーカテストを行つた。すなわちMg合金陽極は20×30×10mmの寸法に仕上げ、その一面に2mmφのねじ穴をつくり、ベークライト製のねじとナットを使用して10mm巾の銅板を固着し、周囲をパラフィンでおおい、銅板のついていない20×30mmの一面だけを露出するようにした。また鉄板試料は25×50×5mmの寸法につくり、グラインダー研磨仕上を行い、その一面の端に10mm巾の銅板を半田付けし、全表面および銅板をTable 2・5に示す船底塗料で塗装した。

これらの試料を3%NaClを入れた1lのピーカに浸漬し、あらかじめ実験により定めたTable 2・6に示す種々の固定抵抗を用い、Fig. 2・22のように後の測定に便なるごとくビニル線で配線接

続した。そして電流および電位の変化を電流計ならびに飽和甘汞電極と真空管電位差計により測定した。なお 3% NaCl 液は 1 週間ごとに新しい液と取り換えた。

Table 2・5 試料の塗装法
(Painting method of test paints)

塗料の種類 (Kind of paint)			塗布回数 (No. of painting)	塗布合計回数 (Total No. of Painting)
油性ペイント (Oil paint)	高田船底塗料	鉄船 1 号	2 回塗	3 回塗
		鉄船 2 号	1 回塗	
ビニール塗料 (Vinyl paint)	日本ペイント	アクティブプライマー (Active primer)	1 回塗	3 回塗
		プライマー (Primer)	1 回塗	
	ビニレックス	フィニッシュ (Finish)	1 回塗	

備考 塗装は 1 回ごとに 1 日乾燥し、3 回塗の後 7 日間室内で自然乾燥した後液中に浸漬実験を行つた。

Table 2・6 試料番号および挿入抵抗
(No. of paints tested and adjusting resistance used for them)

試料番号 No. of test paints	油性系 (Oil paint)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
No.	ビニール系 (Vinyl paint)	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	No. 19	No. 20
	予定電流 (A/m ²)	0.1	0.07	0.05	0.02	0.01	0.007	0.005	0.002	0.001	
	挿入抵抗 (kΩ)	2.4	3.8	5.1	13	27	36	51	140	170	ナシ

2 実験結果

実験測定は浸漬直後電流・電位を測定し、それ以後 2 日、3 日、5 日目、その後 3 日～4 日間隔に約 2 ヶ月 (60 日) 間測定を続け、その後 100 日目、110 日まで測定を続けた。その結果を Fig. 2・23～26 に示す。

(1) 発生電流の変化について (Fig. 2・23, 2・24)

この実験を始める前に予備実験で油性ペイントを塗布した資料について、可変抵抗器を用いて予定電流を流すに必要な抵抗値を求めた。若干のばらつきがあつたが、一応 Table 2・6 のごとき抵抗値で大体予定の発生電流が得られたので、その抵抗値だけ固定抵抗を使用することにした。しかるに、浸漬後この実験の測定を行えば大体予定よりも少ない電流しか生じないことがわかつた。これは主に塗膜の影響と思われたが、塗膜の状態を完全にそろえることはほとんど不可能であるので、そのまま実験

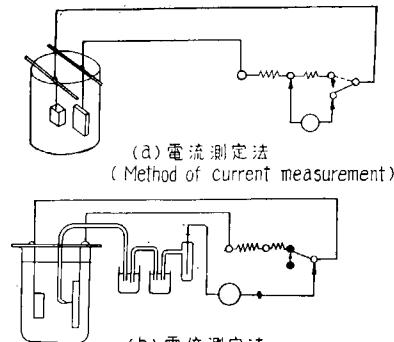


Fig. 2・22 配線および電流電位測定法

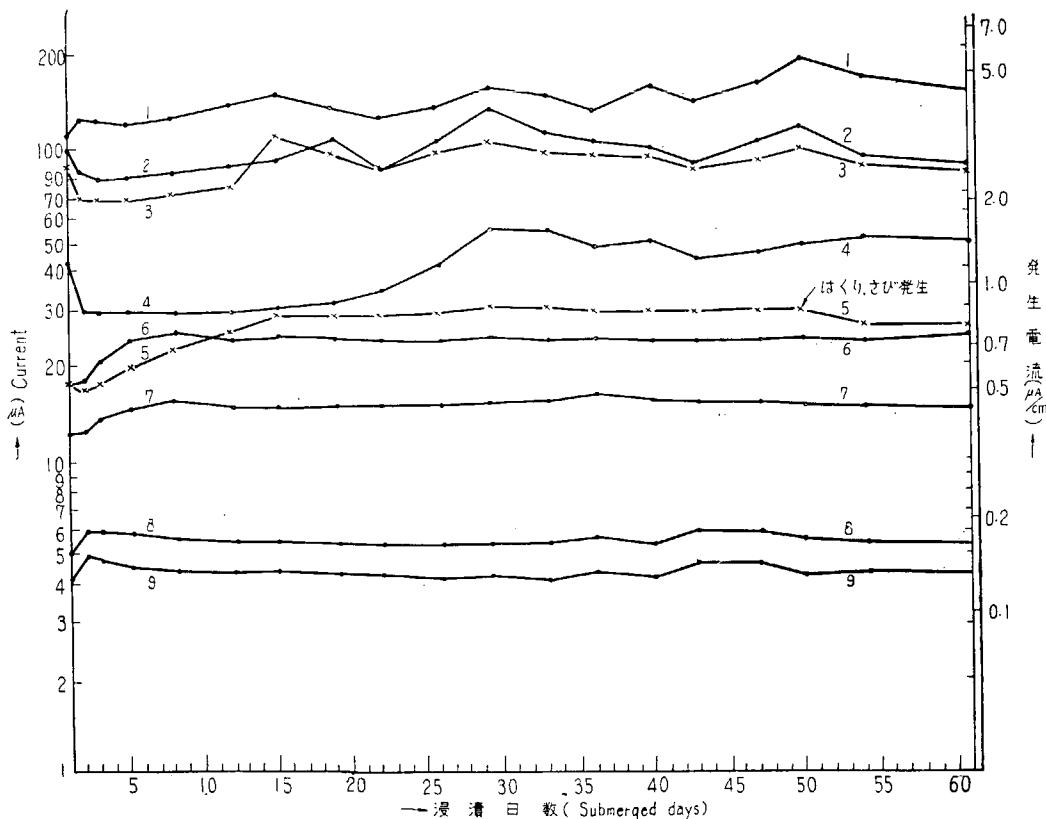


Fig. 2・23 浸漬日数による発生電流の変化 (油性ペイント)
 Variation of current relative to submerged time. (Oil paint)

を続けることにした。なお浸漬日数による発生電流を Fig. 2・23, 24 によりみれば、油性ペイント ピニール塗料いずれの場合も前に述べたように、予定通りには電流が発生しなかつた。油性ペイントではその塗膜の電気絶縁性が悪いためか、浸漬直後より通電が認められ、その電流量は予定よりも少ないものが多かつた。そして浸漬後数日間は多少変化するがその後の変動は割合になく、発生電流の多いものは初期には低下したが数日後より幾分増加の傾向があり、発生電流の少ないものは初期には増加の傾向にあるが、数日後よりはたいして変化がなく、幾分減少するかと思われる。そして塗膜のやぶれたところ（ふくれてあつた部分）には赤さびの生ずるのを見た。

ピニール塗料の場合は浸漬直後には発生電流がほとんど認められず、その後日の経つにつれ電流が増加して來たが、その電流値は油性ペイントのものと比べて非常に少い。その上電流値の傾向が挿入抵抗値により予定したものとは全く無関係であつた。そして約110日後において油性ペイントの場合、予定の順番に $5.0 \sim 0.15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($0.05 \sim 0.0015 \text{ A}/\text{m}^2$) の発生電流があつたがピニール塗料では $0.7 \sim 0.15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($0.007 \sim 0.0015 \text{ A}/\text{m}^2$) と非常に少なく、各資料に対する塗膜条件が一定しないため、発生電流にもばらつきとなつてあらわれ、特に No. 18 のごときは約110日後でもほとんど電流の発生が認められなかつた。このことはピニール塗膜が油性ペイント膜より欠陥が少なく、また絶縁性も良好なためと思われるが、実験の進行に対しては非常に困難をあたえている。

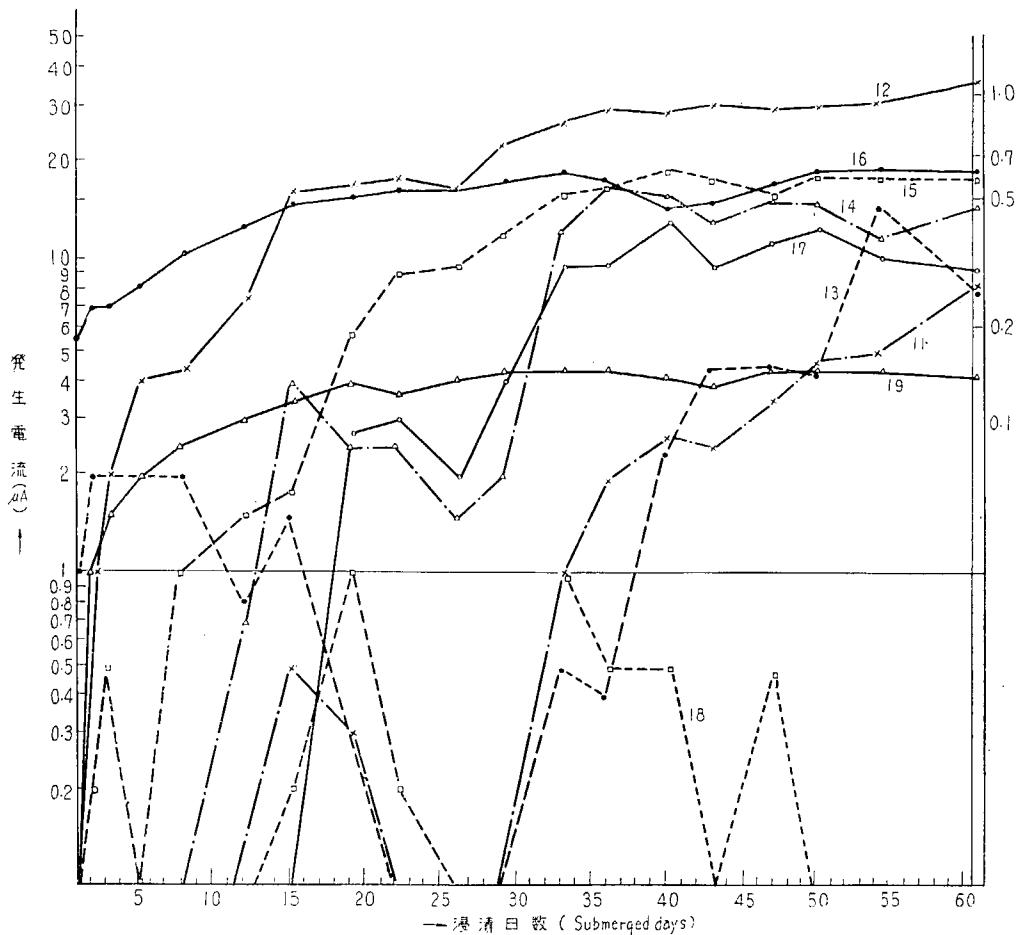


Fig. 2・24 浸漬日数による発生電流の変化 (ビニールペイント)
Variation of current relative to submerged time. (Vinyl paint)

(2) 電位の変化について (Fig. 2・25, 26)

電流については以上のごとき差異があつたが、電位についていえば、油性ペイントの場合、発生電流の大なるものは電位も卑な値を示しており、No. 1～No. 4 は $-0.7 \sim -0.8$ V よりも低いところの防蝕電位を保持しているが、No. 5～No. 9 は浸漬当初防蝕電位を十分もつていたものが時間の経過とともに電位が貴に変化し、 $-0.7 \sim -0.6$ V の非防蝕電位を保つていた。

ビニール塗料においては電位は大体漸減する傾向があるが、大部分のものは防蝕電位の範囲にあつたと思われ、その電位の傾向は予定の範囲内にあつた。しかし発生電流にはばらつきが多かつた点を考えると更に詳しく検討する必要が感じられる。

(3) 塗膜の表面状況

塗装資料は表面は電流量に応じて気泡(水素ガス)の発生付着があるが、浸漬日数の進むにつれて塗膜にふくれを生じ、試料によつてはさびのでたものもある。約 110 日後の表面状況を Fig. 2・27 に示す。

油性ペイント塗膜では No. 1 は全面的にふくれを生じ、No. 2, No. 3 と段々とふくれが少なく

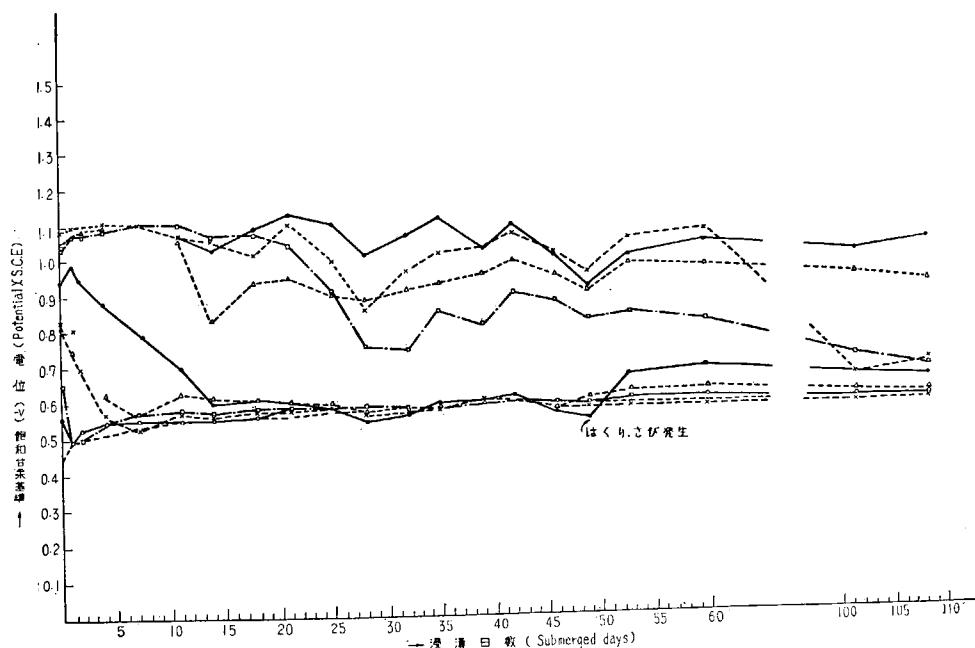


Fig. 2・25 浸漬日数による電位変化（油性ペイント）
Variation of potential relative to submerged time. (Oil paint)

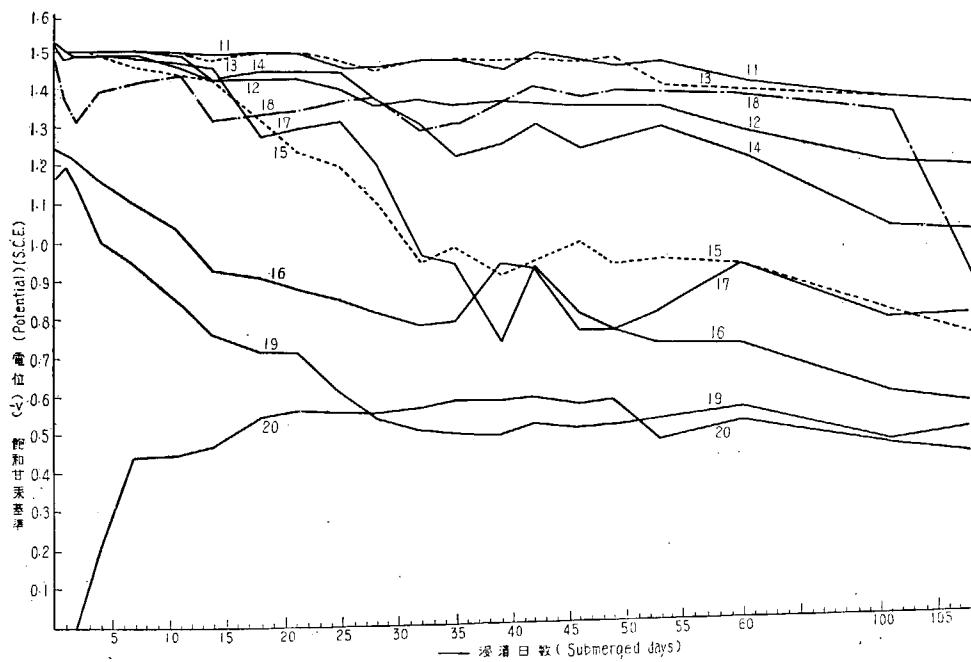
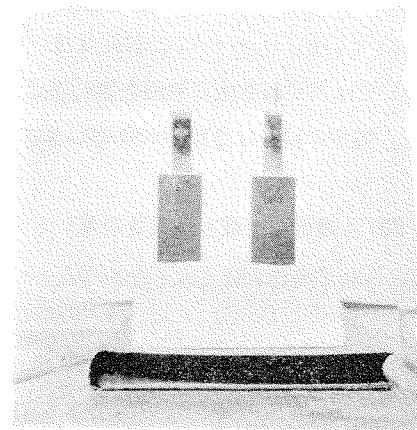
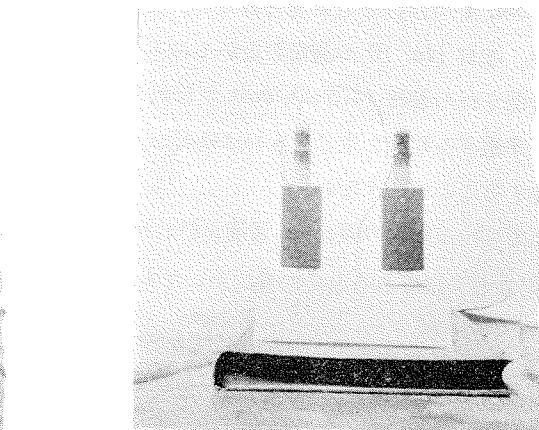


Fig. 2・26 浸漬日数による電位変化（ビニール塗料）
Variation of potential relative to submerged time. (Vinyl paint)



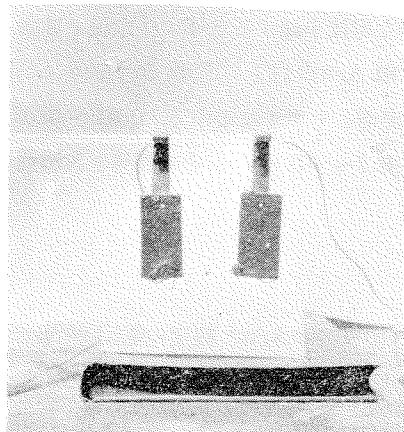
No. 1



No. 2

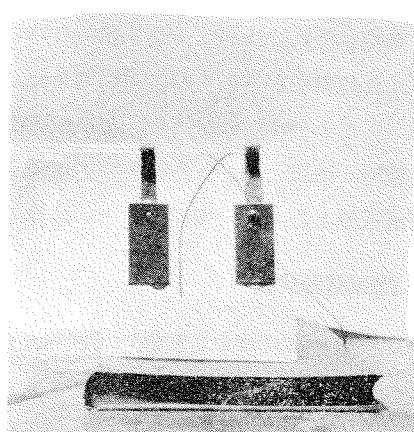
No. 3

No. 4



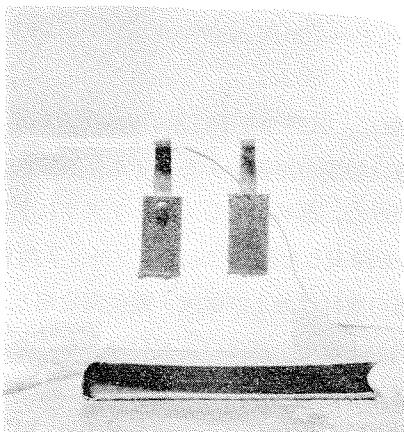
No. 4

No. 6



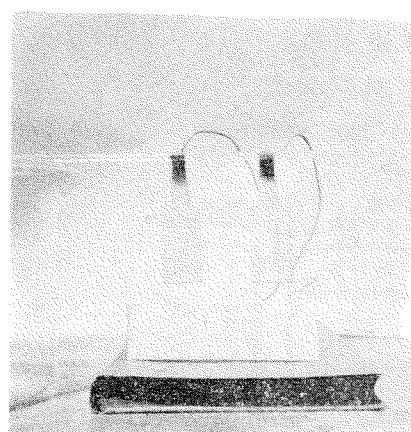
No. 7

No. 8



No. 9

No. 10



No. 11

No. 20

Fig. 2・27 塗膜の表面状況（4カ月後の状態）

Appearance of painted surfaces. (after 4 months)

注 (1) No. 1～No. 10 油性ペイント試料 (Oil paint)

(2) No. 5～No. 10 赤錆を生ず (Red rust is observed)

なり、No. 4 ではほとんど見られない。しかし No. 5~No. 10 のものは塗膜を破つて赤さびを生じていた。なお No. 10 の通電のないものも全面的にさびがでていた。したがつて No. 4 のごとく適度に通電されたもの ($1.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ すなわち $0.015 \text{ A}/\text{m}^2$) ではふくれを生じ塗膜を弱めることがないが、多過ぎる電流を生じたものは塗膜のふくれを促進し、過少の場合は塗膜の欠陥部にさびの発生を防止することができない。

またビニール塗膜の場合は、通電を行わない試料 (No. 20) も通電した最も通電量の多いもの (No. 11, 12 など) はもちろんその他においてもさびは全く認められず変化もほとんどなかつた。

3 結果の考察

以上の実験結果より考えると塗装の影響・電流・電位測定法にも若干の問題がないでもないが、大体の傾向としてビニール塗膜は油性塗膜よりも明らかに健全で比較的わずかな電流によつても防錆電位となつた。

油性塗膜はそれに比べてかなり弱いものであるが、適當な電流を流すことにより塗膜を補強し、さびやふくれの発生を防止することができた。すなわち、 $0.01 \text{ A}/\text{m}^2$ 以下の電流では赤さびが生じ、それ以上になるとさびは認められないが塗膜にふくれを促進しやすくなるので、 $0.01 \sim 0.02 \text{ A}/\text{m}^2$ が程度の電流が適當と思われた。そして電位についても $-0.7 \sim -0.8 \text{ V}$ がその限界と思われる（ただし防錆電位としては -0.78 V といわれている）。

II. 臨海腐蝕試験

Mg 陽極の塗料に対する基礎的なピーカテストの結果、 $10 \sim 20 \text{ mA}/\text{m}^2$ 程度の電流が適當と思われた。しかし実際の海中では海の温度・濃度変化・海草・貝がらなどの微生物の影響などが加わり、さらに塗料被膜の塗布法・面積などの影響を考えられるので、臨海試験を行つてさらに防錆電流と塗膜の関係について検討した。

1 実験要領

(1) 供試鉄板

大きさ $300 \times 300 \times 3 \text{ mm}$ の Fig. 2・28 のごとき軟鋼板に、試料つり下げ用の穴 ($1.5 \text{ mm } \phi$) 2 個をつくり、周辺部は塗膜の損傷を少なくするためにかどを削り、適当に丸味をつけた。前処理としてサンドブラストを十分行い、ミルスケールを除去した後、りん酸アンモン 3% 液のはけ塗りを行い、陽極の取付けおよび電流・電位測定用として単心ビニール線を試料の上縁中央部にはんだ付けした。その後で後記する塗装をほどこし、後記の配線法を行つて海面下 1 m のところに浸漬した。

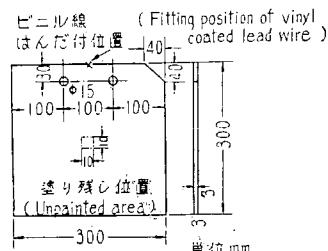


Fig. 2・28 鉄板資料の形状
(Type of iron plate tested)

$33 \text{ mm } \phi$ Dow Chemical (米) 製のもので、同社の規格では Table 2・7 に示す成分のものである。これを Fig. 2・29 に示すように $33 \phi \times 50l \text{ mm}$ の大きさに作り、鉄心の一端に単心ビニール

(2) Mg および Zn 陽極

(a) Mg-陽極 陽極として使用した Mg は鉄心入り

線をはんだ付して、鉄心およびはんだ付部分の浸水と、陽極上下端面の溶失を防ぐために上・下面をエポラック樹脂でコーティングした。

(b) Zn 陽極 Zn 陽極としては Table 2・7 にその化学成分を示すとき三井金属製防蝕用亜鉛 (ZAP) を使用し、寸法取付方法は Fig. 2・30 に示すとおりである。

Table. 2・7 使用 Mg, Zn 陽極の化学成分
(Chemical composition of Mg, Zn Anodes used)

	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	不純物	Mg
Dow 社 Mg 陽極	5.3~6.7	2.5~3.5	>0.15	<0.03	<0.05	<0.003	<0.003	<0.3	残
三井金属 ZAP		>99.99							

備考 いづれも各社の規格値

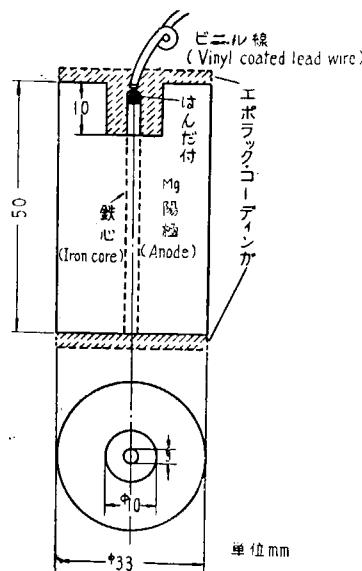


Fig. 2・29 Mg 陽極及び導線取付図
(Mg Anode and fitting of lead wire)

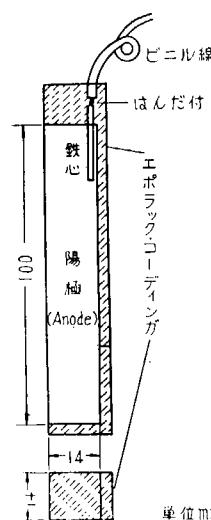


Fig. 2・30 Zn 陽極及び導線取付図
(Zn Anode and fitting lead wire)

(3) 塗料および塗装回数

この実験に使用した塗料は油性系 5, コールドプラスチック系 2, ビニル系 2 で Table 2・8 のごとき塗装回数にて使用した。

なお塗装は 1 日に 1 種類 1 回のはけ塗りを行い、4 日～7 日間にわたって実施し、試料表面を完全に塗つたものと、中央部に 10 mm 角の塗り残しをつくつたものをつくり、塗布後 1 日おいて海中へ浸漬した。

(4) 浸漬試験場所および浸漬法

因島の日立造船三庄工場内で現在使用していない 4 号ドック内を試験場とした (Fig. 2・31)。

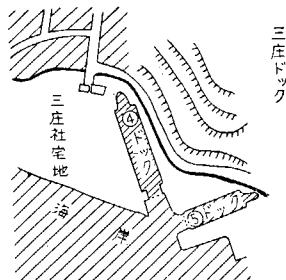
同ドックにはドックゲートはあるが海水の出入は自由になされ、外海のごとき激しい潮流はないが、干満により海水は絶えず移動している。さらに嵐による被害が最少にとどめうる非常に恵まれた

Table 2・8 塗装要領
(Methods of painting)

油性系 (Oil type)	(日ペ)	—	油性 A/C × 2	+	油性 A/F × 2	
	(日油)	シルバー下塗 × 1	+	油性 A/C × 2	+	油性 A/F × 2
	(日油)	ジンクロ下塗 × 1	+	油性 A/C × 2	+	油性 A/F × 2
	(日油)	ジンクロ下塗 × 1	+	油性 A/C × 4	+	油性 A/F × 2
コールドプラスチック系 (Cold plastic type)	(日ペ)	光明丹下塗 × 1	+	油性 A/C × 2	+	油性 A/F × 2
	(日ペ)	—	コールドプラスチック A/C × 4	+	コールドプラスチック A/F × 2	
ビニール系 (Vinyl type)	(日油)	W/P × 1 + ビニール A/C (シルバー) × 4	+	ビニール A/F × 2		
	(日油)	W/P × 1 + ビニール A/C (ジンクロ) × 4	+	ビニール A/F × 2		

実験場所である。この中にドラム缶を使用した木製いかだを浮べ、臨海浸漬試験を行つた。

試験片の配置は Fig. 2・32 の配置法のように鉄板をロープで海面下約 1 m のところに下げ、ロープの他端を海面上約 0.5 m のいかだに留め、また Mg, Zn 陽極はビニール線で鉄板より約 300 mm はなれたところにつりさげ、鉄板および陽極よりつながつてているビニール導線をいかだ上に設置した配線箱内で Fig. 2・33, 34 のごとき方法で配線して電流・電位の測定が容易になるようにした。



4号ドック 130.02×17.45×8.53 (6000 G/T)

5号ドック 85.45×13.38×7.03 (1900 G/T)

Fig. 2・31 試験場所概要

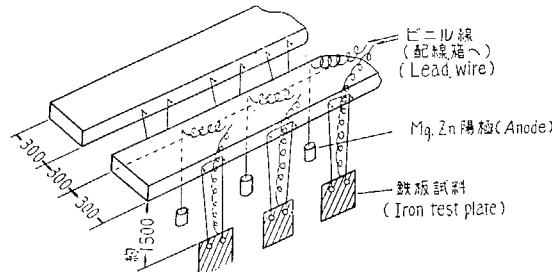


Fig. 2・32 試験場所概要
(Arrangement of painted test plates)

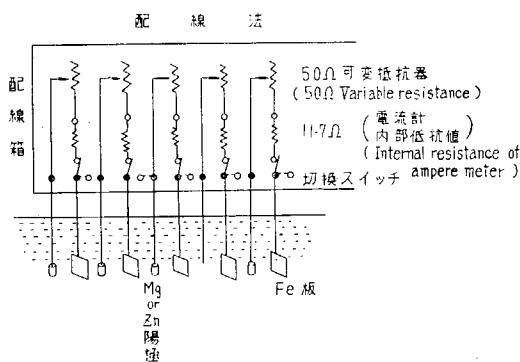
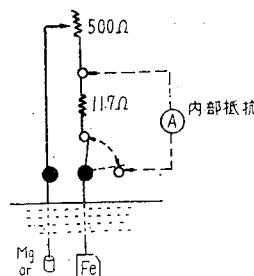


Fig. 2・33 配線法 (Diagram of wiring)



----- は電流測定用回路
(Circuit for Ampere reading)

Fig. 2・34 配線法 (Diagram of wiring)

なお、電流測定は Fig. 2・34 点線のごとく測定の都度アンメータを挿入し、測定以外のときはアンメータの内部抵抗 (11.7Ω) と等しい抵抗を入れ、それと直列に入っている 500Ω の可変抵抗によつて鉄板へ流入する電流を調節した。また電位の測定には飽和かんこう電極と真空管電位差計（横河電機製）を初期に使用し、その後電位計（東洋理化製）を使用した。

(5) 試験方法

以上のごとく準備した塗装鉄板および塗り残し鉄板に Mg および Zn 陽極を接続し、可変抵抗により電流を 1.8 mA (10 mA/m^2) に調節し、抵抗および電位を測定した。なお裸鉄板のうち MOO, ZOO については 23 mA (127 mA/m^2) に調節するようにし、また ZS については Zn を短絡状態に接続した。なお試料番号と各条件を Table 2・9 に示す。

Table 2・9 試験片番号と塗装及び陽極条件

試料板番号			塗装系						塗布総回数	
Mg 陽極使用	Zn 陽極使用	陽極なし	下塗塗装		1号塗料(防錆)		2号塗料(防腐)			
			種類	回数	種類	回数	種類	回数		
M O O	Z O O	O O O	ナ	シ	ナ	シ	ナ	シ	ナシ	
M O 1	Z C 1	O O 1	ナ	シ	A/C	2	A/F	2	4	
" X 1	" X 1	" X 1	"	"	"	"	"	"	"	
M O 2	Z O 2	O O 2	シルバー	1	A/C	2	A/F	2	5	
" X 2	" X 2	" X 2	"	"	"	"	"	"	"	
M O 3	Z O 3	O O 3	ジンクロ	1	A/C	2	A/F	2	5	
" X 3	" X 3	" X 3	"	"	"	"	"	"	"	
M O 4	Z O 4	O O 4	ジンクロ	1	A/C	4	A/F	2	7	
" X 4	" X 4	" X 4	"	"	"	"	"	"	"	
M O 5	Z O 5	O O 5	光明丹	1	A/C	2	A/F	2	5	
" X 5	" X 5	" X 5	"	"	"	"	"	"	"	
M O 6	Z O 6	O O 6	コブツラク	ナ	C.P.A/C	4	C.P.A/F	2	6	
" X 6	" X 6	" X 6	ルス塗料	"	"	"	"	"	"	
M O 7	M O 7	O O 7	完全塗装	W.P.	1	ビニール A/C シルバー	3	ビニール A/F	2	6
" X 7	" X 7	" X 7	"	"	"	"	"	"	"	
M O 8	M O 8	M O 8	完全塗装	W.P.	1	ビニール A/C ジンクロ	3	ビニール A/C	2	6
" X 8	" X 8	" X 8	"	"	"	"	"	"	"	
		Z.S.	塗装ナシ	—	—	—	—	—	—	

2 試験結果

試験片を海中に浸漬した後、3日間は毎日電流の測定調節を行い、その電位・抵抗を測定し、その

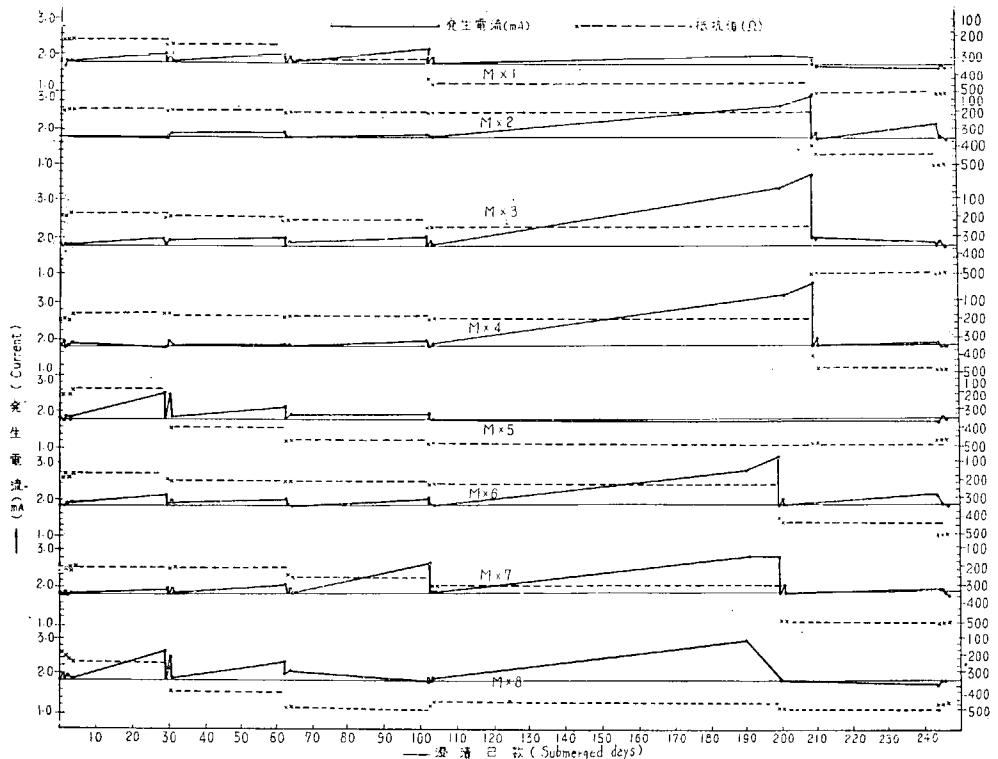


Fig. 2・35 発生電流及び挿入抵抗の変化 ((Mg 陽極使用, 塗残有)
(Variations of current and adjusting resistance relative to time.)

後は 29, 30, 62, 63, 102, 103, 200, 209, 210, 244, 245, 246 日に測定調節を行つた。そして全資料のうち 10 mm 角塗り残し試料に対する測定を実施した（ただし 11 月～翌年 7 月の 8 ヶ月間）。

(1) 発生電流の変化について (Fig. 2・35 に 1 例を示す)

塗装鉄板では 1.8 mA (10 mA/m^2), 無塗装鉄板では $20 \sim 23 \text{ mA}$ ($111 \text{ mA/m}^2 \sim 127 \text{ mA/m}^2$) を目標に抵抗を変えることにより調節を行つたが、試料によつては電流の増加するものが多く、1 ヶ月ごとの調節では電流の調節が相当困難であつた（もちろん非常にうまく調節のできたものもあつた）。

そして塗り残しのあるものの電流変化の大きいことは予期のとおりであつた。

また Mg 陽極では実験初期より十分な発生電流を生じたが、Zn 陽極では当初においては電流の発生が少なく予定電流に達したのは 30～100 日後であつた。

無塗装のものに対しては Mg 陽極は防錆電流値以上の十分な発生電流を維持していたが、Zn 陽極では電流発生の低下が著しかつた。しかし塗装鉄板の必要とする電流値に比較すればなお数倍程度の電流を発生していた。

(2) 電位の変化について (Fig. 2・36 に 1 例を示す)

電位の測定は前半、後半において測定器が変つたので、それに原因するが測定値にも変化がみられるようにも考えられる。また中に -0.4 V 近くの値を示したときが相当あり、疑問が持たれたが、それと同時に測定した Mg 陽極の値が -1.5 V 附近にある（たとえば MX6 の 244～246 日目）ことを考えると必ずしも誤りと断定しかねるようと思われる。

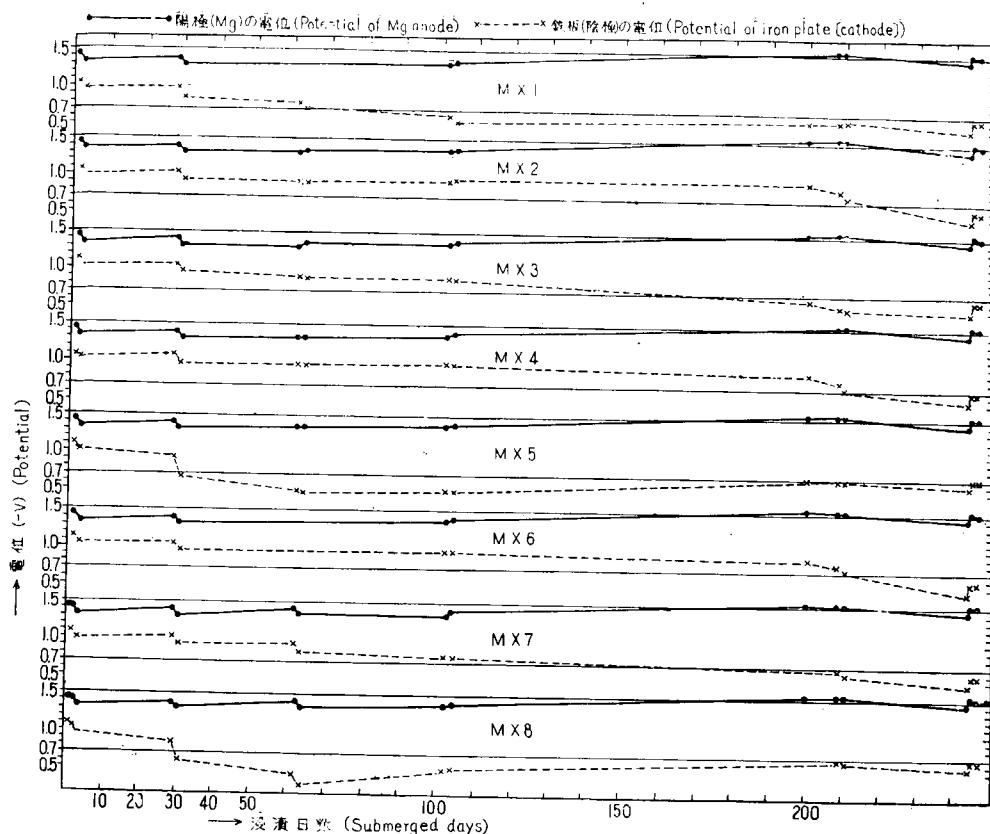


Fig. 2・36 電位の変化 (Mg 陽極使用, 塗残有)
Variation of potential. (Mg Anode is used and unpainted part exists)

このように、測定に対して問題があるかもしれないが、この実験の範囲では実験末期は防錆電位の -0.76 V より貴に高い値を示しているのが多かつた。

(3) 塗膜の表面状況について

陽極を使用しない単に鉄板に各種塗装を行つたものは一般にふくれが少ないが、陽極を使用したものは通電による陰極面に生ずる水素またはそれによるアルカリにより塗膜にふくれを生じやすく、塗料の種類によつてその差が著しく異なつていた。

光明丹下塗のものは無陽極においてもはくりを生ずるが、陽極のある場合は非常にはげしくはくりを生じている。

ジンクロ系下塗のものではふくれが著しい。しかし A/C の塗布回数の多いものは幾分ふくれが少なくなつていた。

コールドプラスチック系は塗膜そのものが厚く、強いように思われる。鉄素地よりはくりしても塗膜が破れることなく、非常に大きなふくれとなつていた。シルバー下塗周辺部に小さなふくれが少しあつたが、全体的にみて最も良好であつた。

また下塗のないものも非常に良好な状態を示しているが、塗り残しのある試料で Mg 陽極を使用したものはかなりのふくれがあつた。なお陽極を使用しないものは塗膜状況は良好であるが、塗り残

し部分に激しく赤さびを生じている。他方陽極を使用したものでは赤さびの生ずる程度が非常に少なく（電流が少し不足気味のためさびがでていた），その上シルバー系（油性系），ビニール系のものでは塗膜の損傷もなく良好であつた。

3 結果の考察

以上約8ヶ月にわたる臨海腐食試験を行つた結果，電流の調節は1ヶ月間隔程度では予期以上に困難であり，更に電位測定についても若干の問題があると考えられるが，大体次のようなことが考えられる。

(1) 塗料の種類について

コールドプラスチックは塗膜は強いようで，はくりはしないが，大きなふくれが生じやすい。かえつてビニール系の方が良好と思われる。

油性系でも下塗により影響がことなり，シルバー系のものはビニール系のものより良い結果を示し，下塗りのないものも良好であつた。シンクロ系，光明丹系は非常に悪い状態である。したがつて電気防蝕法施行にあたつては塗料を十分検討すべきで，この実験の範囲ではシルバー系の下塗を行つたものが最もよく，油性系でも十分使用しうることがわかつた。

(2) 陽極の種類について

Zn 陽極は発生電流が少ないが，塗膜の変化に影響することが少なく，電流調整を行わない場合には Mg 陽極より有利のように思われる。

(3) 電流・電位について

電流・電位の変化のみで塗膜の状況を推察することは困難のようである。少なくとも電流を調整する場合には抵抗値の変化を考慮しなければならない。

(4) 防汚性について

塗装鉄板にはすべて A/F を使用したので，防汚性について十分判断することはできなかつたが，裸鉄板で陽極を使用したものに「ほや」その他の附着物があつたことより防汚力は十分とはいえない。

III. 結 言

塗料に対する影響について，ピーカテストおよび臨海腐食試験によつて検討した。その結果には相当のばらつきがあり，また試験方法にも検討する余地があり，更に多数の試験片について実験を行う必要のあることを知つたが，大体の傾向は推察しうると思われる。すなわち，

陽極として Mg 合金は電流の発生・継続が良いが，適当に電流発生を調節しなければ損耗が激しく，また塗料と併用する場合は過大電流による影響が大である。したがつて電流調節が困難なる場合は Zn 陽極の使用が有利と思われる。

塗料の種類については一般にはビニール系の方が油性系より良いが，塗料の種類および塗装回数により影響がことなる。この実験の範囲ではシルバードラフ1回，A/C 2回，A/F 2回は非常に良好であり，また下塗りのないものも良かつた。

防汚力については必ずしも十分とはいえないようと思われる。

なお電流調節については塗膜の損傷により通電量が多くなるが、それを初期に計画した一定電流に調節することは、結局防錆電流密度の低下を来たすようと思われる。そして、鉄板表面に生じた Ca 塩被膜によりある程度防錆性がカバーされている場合もあつたようであるが、その効果を明らかにすることはできなかつた。したがつて電流の調節は防錆電流を目標にするより防錆電位を目標にすべきと思われた。しかし、この点について詳しく検討することができなかつたので、今後検討を加える予定である。

日本ペイント株式会社に於ける実験

I. 試験材料

1. 供試塗料

実験に使用した塗料は下記の 3 種である。

- a. 油性系 W/P×1, 油性 A/C×3, 油性 A/F×2
- b. ピニル系 W/P×1, ピニル A/C×4, ピニル A/F×2
- c. コールド・プラスチック系 W/P×1, C.P. A/C×3, 油性 A/F×2

2. 試験板

Fig. 2・37 の如き寸法 ($200 \times 150 \times 3 \text{ mm/m}$) の軟鋼板をサンドブラストし、上部にピニル導線をハンダ付けした後所定の塗装を行なう。塗料が乾燥したら試験板の裏面・周辺及び上部 4 cm をパラフィンで絶縁シールして、試験に供した。

3. 陽極

$10 \times 10 \times 50 \text{ mm/m}$ の四角なグラファイト棒の上部に穴をあけ、ここにビスを通してピニル導線を固定し、この部分をパラフィンで絶縁シールした後、外部電源方式の陽極として使用した。

4. 電源

本実験では、便宜上外部電源方式にした。室内試験の場合に Mg 陽極や Zn 陽極等を用いると浸漬液中に Mg や Zn の塩類が多量に溶解して困るからである。2 V の鉛蓄電池を使用した。 -1000 , -1200 mV 維持目標の試験板には 2 ケの電池を直列に連結して 4 V として使用した。

5. 浸漬容器及び浸漬液

内径 $130 \times 190 \times 200 \text{ mm/m}$ のガラス槽に 3% 食塩水を $4.5l$ 満たし、1 ケの槽に試験板 2 枚の割合で浸漬する。

II. 試験方法

1. 試験条件

塗料の種類、維持電位、及び塗膜の性状の 3 因子について夫々次の如く、数種類に分け、これ等を色々と組合せ、合計 70 枚の試験板に就いて試験を行つた。

a. 塗料の種類 (Kind of paints)

i. 油性系 (Oil paint) (以下“油”と略記する)

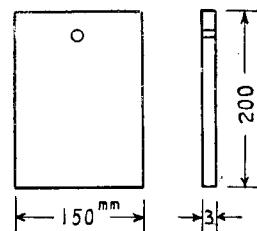


Fig. 2・37

- ii. ビニル系 (Vinyl paint) (V)
 - iii. コールド・プラスチック系 (Cold plastic paint) (CP)
 - iv. 油性/ビニル塗分け (Oil/Vinyl paints) (油/V)
- b. 維持電位 $\left(\frac{10}{3}N\right)$ 甘汞電極基準, 以下すべてそうである)
- i. 自然放置 (無通電) (以下“自”と略記する)
 - ii. -700 mV (7)
 - iii. -800 mV (8)
 - iv. -900 mV (9)
 - v. -1000 mV (10)
 - vi. -1200 mV (12)
- c. 塗膜の状態 (Condition of painting)
- i. 完全塗膜 (途中よりピンホールを作つた) (。で表わす)
(Completely painted)
 - ii. 対角線状に切傷を針でつけた塗膜 (×)
(Diagonal line is scratched with pin)
 - iii. 中央部に 10 mm 四角の塗残し (□)
(Unpainted part [$10 \times 10 \text{ mm}$] is reserved at centre of the plate)

次に試験板番号とこれ等三因子の条件の組合せを Table 2・10 に示す。

Table 2.10 試験板番号と試験条件 (Experiment No. and conditions)

番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition	塗膜 番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition	塗膜 番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition	塗膜 番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition
1 (Oil) 油		7	×	13	C P	8	×	25	油	10	×	37	C P	12	×
2 油		7	□	14	C P	8	□	26	油	10	□	38	C P	12	□
3 V		7	×	15	油/V	8	×	27	V	10	×	39	油/V	12	×
4 V		7	□	16	油/V	8	□	28	V	10	□	40	油/V	12	□
5 C P		7	×	17	油	9	×	29	C P	10	×	41	油/V	7	○
6 —		—	—	18	油	9	□	30	C P	10	□	42	油/V	7	○
7 油/V		7	×	19	V	9	×	31	油/V	10	×	43	V	7	○
8 —		—	—	20	V	9	□	32	油/V	10	□	44	C P	7	○
9 油		8	×	21	C P	9	×	33	油	12	×	45	油	8	○
10 油		8	□	22	C P	9	□	34	油	12	□	46	油/V	8	○
11 V		8	×	23	油/V	9	×	35	V	12	×	47	V	8	○
12 V		8	□	24	油/V	9	□	36	V	12	□	48	C P	8	○

番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition	塗膜 塗装	番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition	塗膜 塗装	番号 No.	塗料 Paint	Potential 電位	Painting Condition	塗膜 塗装		
49	油	9	○	55	V	10	○		61	油	自	×	67	油/V	自	×
50	油/V	9	○	56	C P	10	○		62	油	自	□	68	油/V	自	□
51	V	9	○	57	油	12	○		63	V	自	×	69	油	自	○
52	C P	9	○	58	油/V	12	○		64	V	自	□	70	油/V	自	○
53	油	10	○	59	V	12	○		65	C P	自	×	71	V	自	○
54	油/V	10	○	60	C P	12	○		66	C P	自	□	72	C P	自	○

2. 塗装仕様、塗布量等について

塗装仕様、塗布量を Table 2・11 に示す。なお 油/V 試験板は左縦半分を油性、右縦半分をビニルで 1 m/m づつ重ねて交互に塗重ねた。裏面は全面ビニル塗装にした。塗布量は同一種類の試験

Table 2・11 塗装仕様及び塗布量 (Methods and Amounts of painting)

塗 布 量 (Amount of Painting)	塗装日 (Date)	回数 (No. of painting)	W/P	A/C					A/F			
				1	1	2	3	4	計	1	2	計
油 性 (Oil paint)	9/14	g/18枚	塗布量測定せず	83	91	80	—	254	9/19	103	124	227
		g/枚		4.6	5.1	4.4	—	14.3	9/20	5.7	6.9	12.6
		g/m ²		86	94	82	—	262		106	128	234
ビニル (Vinyl paint)	9/14	g/18枚		77	91	97	87	352		130	147	277
		g/枚		4.3	5.1	5.4	4.8	19.5		7.2	8.2	15.4
		g/m ²		79	94	100	90	363		134	151	285
コールド・プラスチック (Cold plastic paint)	9/14	g/17枚		56	70	67	—	193		105	114	219
		g/枚		3.3	4.1	3.9	—	11.3		6.2	6.7	12.9
		g/m ²		61	77	73	—	211		115	125	240
油 性/ビニル (Oil/Vinyl)	9/14	g/17枚	W/P	19	20	18	—	57	9/19	27	30	57
		g/4枚		1.12	1.18	1.06	—	3.36	9/20	1.59	1.77	3.36
		g/m ²		83	87	79	—	249		118	131	249
油 性/ビニル (Oil/Vinyl)	9/14	g/17×3/4枚		63	68	73	71	275	9/19	100	120	220
		g/4枚		3.7	4.0	4.3	4.2	16.2	9/20	5.9	7.1	13.0
		g/m ²		92	99	106	203	400		146	175	321

板全部に対する平均値で示した。なお塗装はすべて刷毛塗りである。

浸漬開始日…：9月27日（木）

塗装日の天候・気温は次の通りである。

	9/15 (土)	9/16 (日)	9/17 (月)	9/18 (火)	9/19 (水)	9/20 (木)
天候	晴	雨	雨	晴	晴	晴
気温	25°C	24°C	24°C	24°C	26°C	26°C

3. 実験装置の回路及び電位の調節等について

実験装置の回路図を Fig. 2・38 に示す。

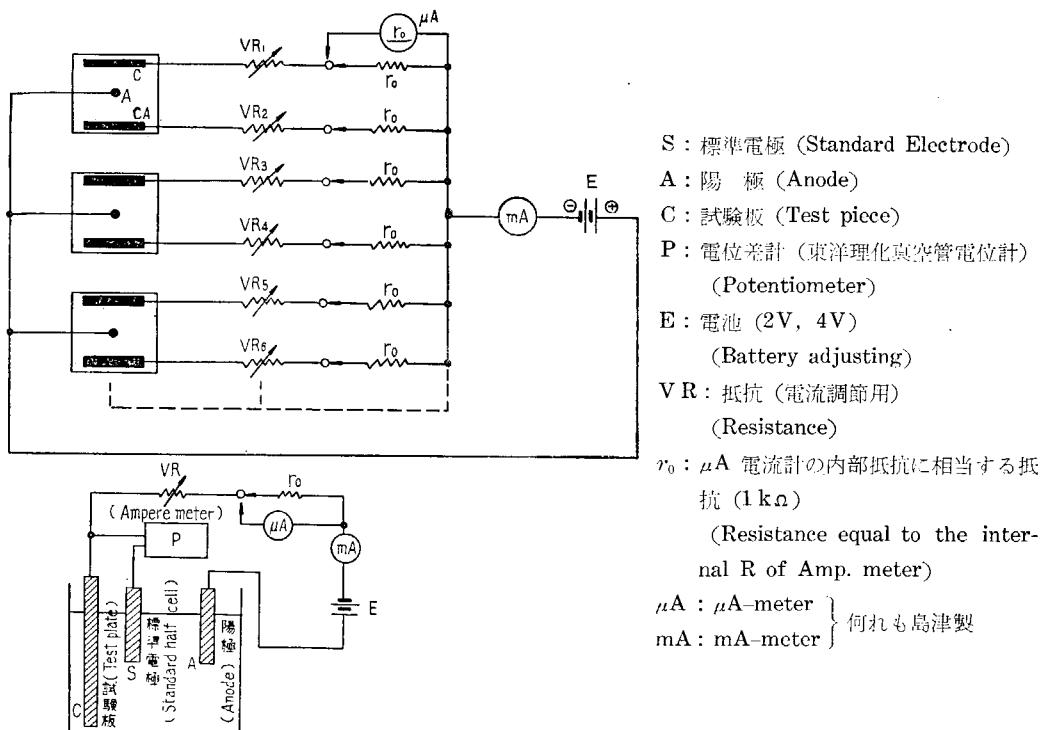


Fig. 2・38 実験装置の回路図 (Circuit diagram of testing apparatus)

標準電極…堀場製 pH 計用 $\frac{10}{3}$ カロメル電極

$$E_0 = 0.254 - 0.0004(t - 18^\circ\text{C}) \text{ Volt}$$

電位の調節は VR で行つた。これはラジオ用の抵抗を適当に差し変えて行つた。電位の測定は最小1日に1回は行つて目標電位の維持につとめた。なお同時に電流を測定した。

4. 浸漬期間及び経過

浸漬開始: 31. 9. 27 } 50 日間
 浸漬終了: 31. 11. 16 }

最初はすべて 2V の電源で目標電位を維持させる予定であつたが、 μA アンメーターの内部抵抗

補償用の $1\text{k}\Omega$ が挿入してあるため、 -1000 , -1200 mV 維持目標の試験板では電位が下らない。そこでこれ等の試験板には 15 日目より 4 V の電源を使用し、目標電位を維持することができた。

完全塗装板では電気絶縁性が強く、1ヶ月後に於いても電流は全く流れず、従つて電位の測定もできなかつた。本実験の予定期間が約 2 ヶ月であつたのでこれでは折角の実験の意義がなくなるので、33 日目に各試験板に針でピンホールを開け、実験を継けた。

III. 実験結果

1. 電位・電流測定値

試験板の電位を夫々 -700 , -800 , -900 , -1000 及び -1200 mV を目標に VR で調節した。電位は極く僅かの環境変化にも敏感で非常に不安定である。従つて始終 VR を調節することが必要である。実験初期は 1 日に 2 回、後半は 1 日に 1 回の割で電位を測定し、VR で電位の維持に務めた。手動調節ではこれ以上正確に維持させることは困難であつた。なお電位の測定と同時に電流をも測定した。各試験板の電位・電流測定値の一例を Fig. 2・39, 2・40 に示す。

a. 電位

自然放置（無通電）の試験板は何れも $-650 \sim -680\text{ mV}$ 位であつて変動は比較的少なく、安定している。 $-700 \sim -900\text{ mV}$ 目標のものは割合に変動が大きく調節に苦労した。 $\pm 50\text{ mV}$ 以内に保つのがやつとである。 -1000 mV 及び -1200 mV の試験板は比較的安定であつて $\pm 10\text{ mV}$ 以内に保つことができた。

b. 電流

極めて概略的に電位・塗膜・塗料等と所要電流との関係を表にすると Table 2・12 の如くなる。これによると \times の試験板は \square の試験板より多量の電気が流れている。試験板では極めて少量の電流で目標電位に達している。これは電流の流れる有効面積が $\times > \square \gg$ の順になつてゐるためである。これから見ても電位を決定するのは電流ではなく電流密度であり、然も塗装試験板の有効面積は明確には判らないから電流によつて防錆の基準とすることは無理であつて、どうしても電位に基準を求めることが必要である。次に一般的傾向として油性や CP 塗装板に比べてビニルの方が多量の電流を要している。これも恐らくは有効面積がビニルの方が大きいためと考えられる。この傾向は \times 板で著しく \square 板では余り認められない。第三に、 -700 , -800 及び -900 mV 維持に要する電流は大体同じ程度であつて、 -1000 mV になると約 1.5~2 倍に増加し、 -1200 mV になると更に急激に増加している。なお試験板の浸水面積は $15 \times 15\text{ cm}^2$ であるから所要電流を見掛けの電流密度で表わすと、 $50\text{ }\mu\text{A}$ の場合で 2.4 mA/m^2 になる。この数値は一般の例

Table 2・12 電流値 (μA)

電位	塗膜	\times		\square	.
		油	その他	15	0.1
7	その他	25	40	15	0.1
8	油, CP V, 油/V	25	45	15	1
9	油, CP V, 油/V	25	50	15	1
10	油 その他	40	60	25	1
12	油 その他	100 150~200	V 200	50~100	1

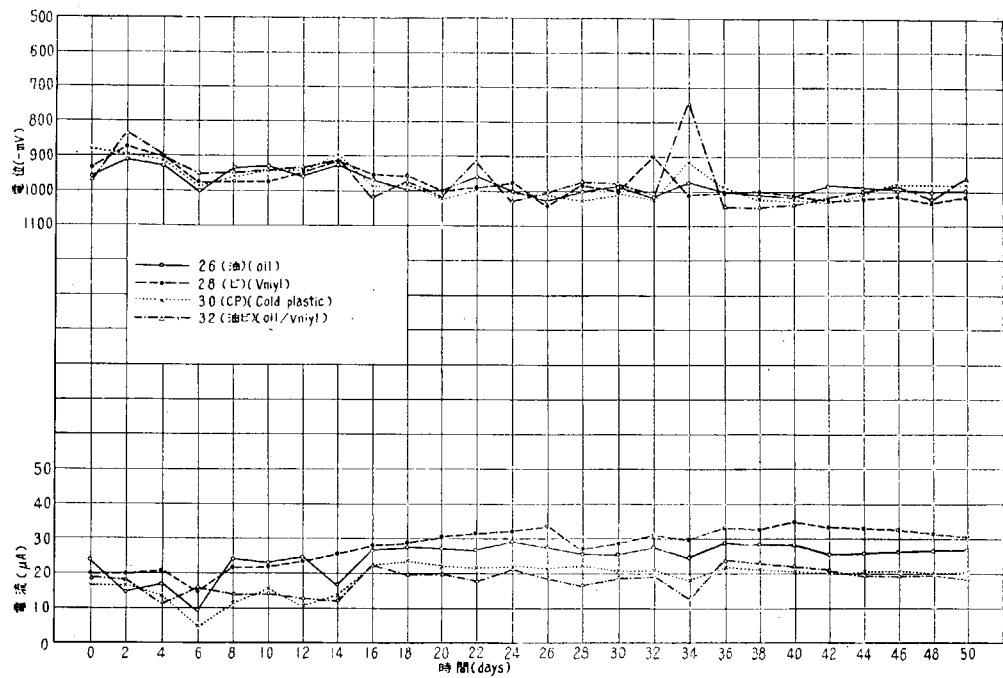


Fig. 2 · 39

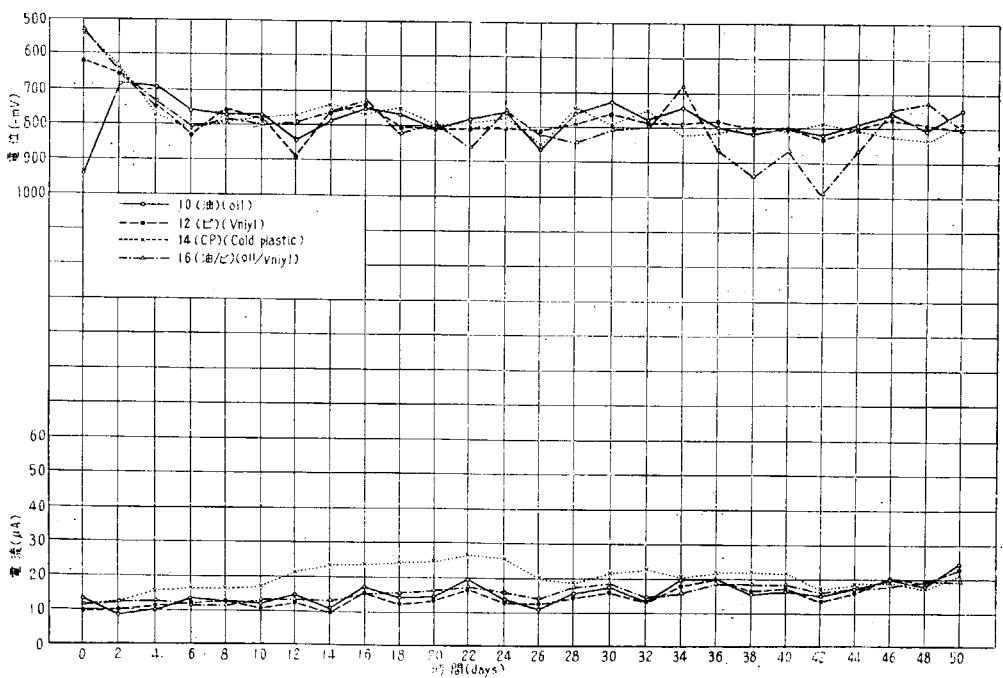


Fig. 2 · 40

に比べてかなり小さい値である。CP で -1200 mV に維持した×試験では所要電流が急激に増加している。これは塗膜が脆化、剝離、脱落して行くために露出鉄面が増加するからと考えられる。○試験板ではピンホールのあき具合によつて電流が著るしく異なる。 $0.1 \mu\text{A}$ 位から数 μA までバラツキが大きい。

2. 試験板の腐蝕状況

試験板の腐蝕状況はその代表的な例を Fig. 2・41～2・44 示して置いたが、概要を述べると通電した試験板は腐蝕は殆んど認められず、電気防蝕の効果がよく發揮されている。無通電の自然浸漬板では相当激しく腐蝕している。次に各維持電位毎に説明する。

(1) 無通電試験板

何れも著るしく腐蝕し、切傷及び塗残しの部分には赤錆が蓄積している。×板では所々に錆が集中し、 $1/2 \text{ mm}$ も掘れている。錆びない部分は全く錆びず、局部電池作用のあとがはつきりと見られる。□板では比較的平均に錆びて、ピッティングは認め難い。

(2) -700 mV 板

何れも軽度に錆んでいる。ひどい発錆は見られず、鉄面も掘れてはいない。 -700 mV に維持すると、完全に防蝕はできないが、腐蝕速度は著るしく減少することが判る。これは所要電流が -800 mV の場合と余り変わらぬことから見てもうなづけるところである。

(3) -800 mV～ -1200 mV 板

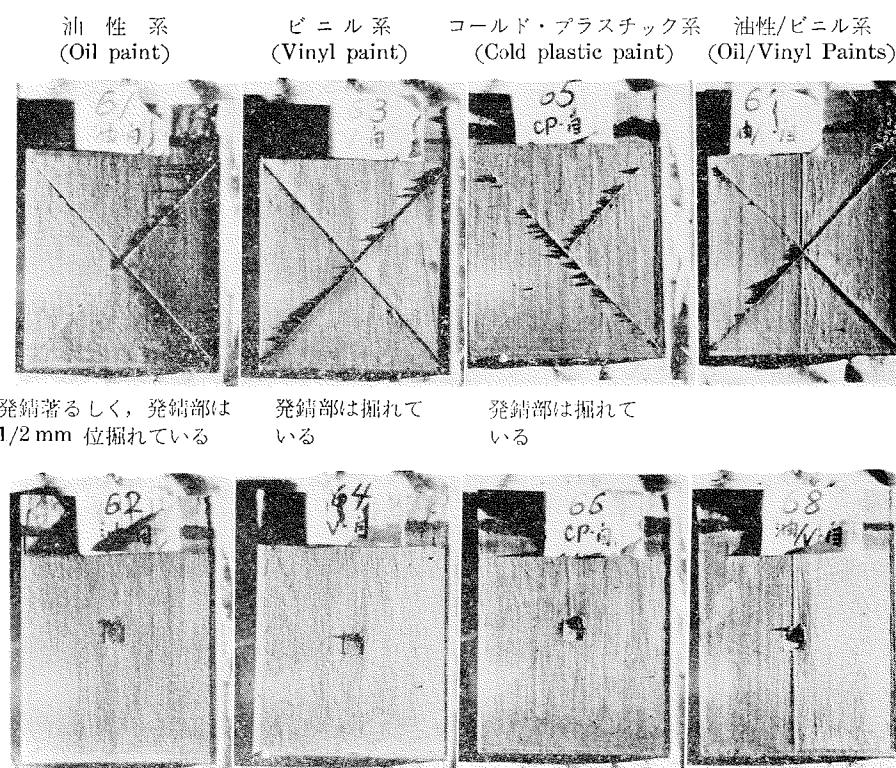


Fig. 2・41 自然放置 No current

完全に防錆されていると判定しても良いであろう。時々極めて薄い錆が見られるが、これは電位の維持が難しく、時折 -770 mV 以上になる時があり、その折に錆たものと考えられる。従つて発錆の程度も極めて軽微である。 -1000 , -1200 mV 試験板では電位が防錆電位以上になることがないため全く発錆は見られない。

以上のことより -800 mV 以下の試験板は発錆しないと断言できる。

3. 塗膜の状態

浸漬終了後の塗膜の状態の1例を Fig. 2・41~2・45 に示す。塗膜の脆化、膨れ、密着性の低下、剥離、脱落等について調査した。先づ塗料別に述べると

(1) 油 性 系

自~10までの試験板では何れも異常なく完全である。

12の試験板では×, □板のどちらも露出鉄面の周辺の塗膜は膨れを生じ、且つ著しく脆化している。実船の場合には当然剥離、脱落を招いていたと思われる。

(2) C P 系

9までは異常なく 10では露出鉄面に隣接する部分の塗膜が或る程度脆化している。12になると塗膜の劣化著しく、殆んど塗膜の原形をとどめぬまでに脆化している。露出鉄面から約 4 cm 位の内で完全に劣化している。×, □共供試塗料中最悪である。

(3) ビニル系

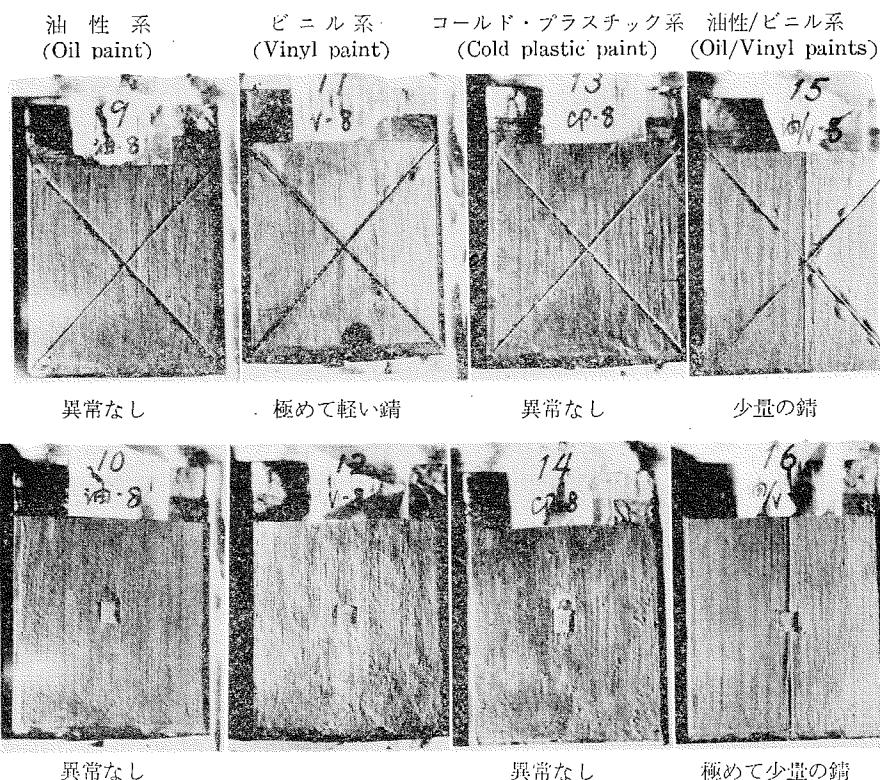


Fig. 2・42 -800 mV

油性系
(Oil paint)

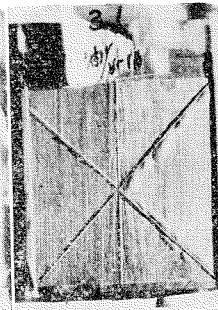
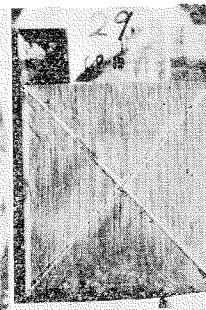


異常なし

ビニル系
(Vinyl paint)

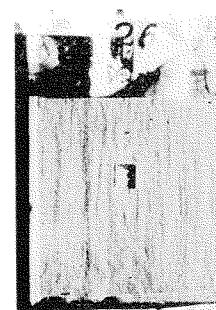


コールド・プラスチック系
(Cold plastic paint)



油性/ビニル系
(Oil/Vinyl paints)

傷に接する部分の塗膜は
脆化、容易に脱落する



異常なし



露出部の隣接塗膜
は脆化



Fig. 2·43 -1000 mV

塗膜の脆化は殆んど起つておらず、12の試験板でも完全である。然るに膨れ、塗膜の密着性については不良である。写真に見られる如く、無通電の試験板でも塗膜の膨れが存在する。傷の周辺が膨れるのはビニル系の最大の欠陥と云えよう。なお膨れと共に傷の周辺では塗膜の密着性が低下している。密着性の低下は W/P と A/C の間で起つてゐるようである。密着性を調べるために 2 mm 間隔で碁盤目試験を行つた。この試験で剥離する部分を図に記入してある。この試験によると電位が低くなつても密着性の低下の程度は余り変らない。と云うよりも電流を流さなくとも密着性の低下は起り、余り遠くまでは拡がらないであろう。

(4) 油性/ビニル系

塗分けによる特殊な現象は見られずそれぞれ油性、ビニル単独の場合と同様の性状を示した。

以上塗料別に述べたが何れの試験板も塗膜の異常は切傷及び塗残しの部分の隣接部に限られており、完全な塗膜の部分は異常がない。このことから判断すると最終的結論を出すには実験期間が短か過ぎるようである。

次に目標電位維持の面から眺めると、ビニルが無通電に於いても膨れを生じる以外では、無通電より -900 mV では塗膜に異常なく、-1000 mV では CP が僅かに劣化を起し、-1200 mV では全ての塗膜が著しく劣化している。ビニルは -1200 mV でも塗膜の劣化は起らない。これ等の点を総合すると、-780~ -900 mV に電位を維持すれば完全に防錆の目的を果し且つ塗膜に異常を招く

油性系
(Oil paint)

ビニル系
(Vinyl paint) コールド・プラスチック系
(Cold plastic paint) 油性/ビニル系
(Oil/Vinyl paints)

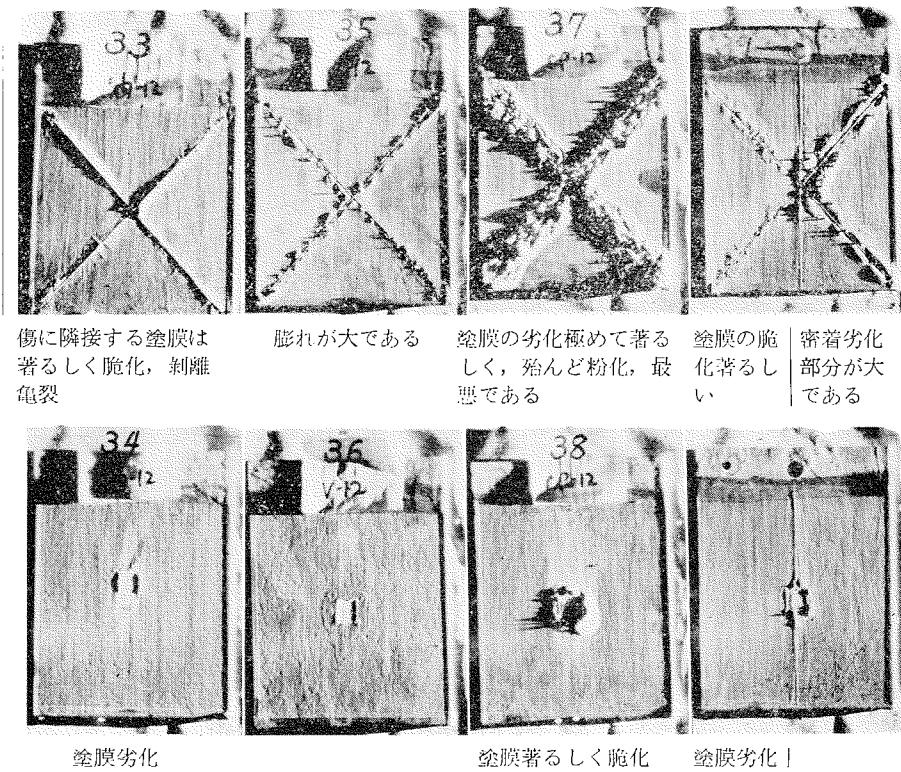


Fig. 2.44 -1200 mV

こともないと云える。

IV. 考察

本実験によつて塗膜に対する防蝕電流の影響は、 -900 mV までは問題にならず、 -1000 mV になるとその影響が現れ初め、 -1200 mV では著るしく劣化すると云える。塗料別に述べると油性及び CP では -1000 mV になると塗膜の脆化が起る。ビニルでは、塗膜の劣化は殆んど起らず、その代り傷のある場合は傷の周辺に膨れを生じ易い。両者の長所を採り、短所を補つた塗料即ちビニルの如く耐アルカリ性、電気絶縁性が良好で然もアルカリによつて密着性の低下や膨れを生じない塗料の出現が望まれる所以である。Zn 陽極を使用する場合は電位が -1000 mV 以下になることは稀であるから本試験に供した塗料は安心して併用できるであろう。Mg 陽極の場合は適用を誤ると塗膜の劣化を起す危険がある。

油性と CP では少くとも本実験では油性がやや良好と云えるが、これ等の塗料とビニルでは果してどちらが秀れているのであろうか。本試験では恰も油性の方が良い結果を示しているように見られるが、必ずしもそうとは云えない。実船の結果や各種文献によればむしろビニルの方が良いことを明らかにしている。何處に差異の原因があるのであろう。油性や CP が過大電流の下では著るしくアルカリによる脆化を生じ易いが、適正電位の下では変化しない。これに比ベニルは塗膜劣化は起り

難く、電気抵抗等も大であるが、傷などがあるとその部分に電流が流れ、生じたアルカリにより、傷の周辺が膨れ易い。これ等の特質によるものと考えられる。油性とビニルに就いてこの点を考察して見た。第一に完全塗装試験板を海中浸漬し、電気防蝕を実施した場合に就いて考えて見よう。ビニル系では電気抵抗が高く、イオンも通過し難い。従つて長期間にわたつて電流は流れず、塗膜密着性の低下や膨れも生じない。即ち長期間極めて優秀な成績を示す筈である。このことは日本ペイントの研究室でも実験的に証明済であり、文献にもビニル塗膜が電気防蝕の有無に拘らず $10^7 \Omega$ 以上の電気抵抗を有することが報告されている。油性系の場合には、最初は比較的高い電気抵抗を有するが、時間と共に低下し、長期間の間には比較的塗膜の薄かつた部分等から電流が流れるようになる。またイオン透過性も大であるから塗膜内にアルカリを生ずる。塗膜の耐アルカリ性が良好でないから脆化し、鉄面を露出するようになる。この場合はビニル系が良好であることは明らかである。第二に大きい試験板に完全塗装し、これに小さい傷をつける、或は小面積を塗残した場合について考えてみよう。これは塗装面積に対する傷や塗残しの面積の割合が最も実船の場合或は通常の注意の下で試験板に塗装した場合に近い。ビニルでは傷の周辺は膨れを生ずるがその他の部分は健全である。油性では傷の部分は勿論であるが、その他の部分でも長期間の間には膨れ、塗膜の劣化を招くようになる。全体的に判断すればやはりビニルが一段と良好であろう。第三に今回の試験の如く塗装面積に対し、傷付部の割合の大きい場合に就いて考察してみよう。ビニルではやはり傷の周辺のみが膨れるが、塗膜全体に対する割合が大であるから全体的に観察するとかなり悪いことになる。油性でも長期間にわたつた場合には傷の周辺やその他の部分でも塗膜の脆化及び膨れを生ずるから、ビニルと同様またはそれ以上の悪い評価を受ける。然し適正電位に保たれた場合は油性は余り膨れないから今回の実験の如く、かえつてビニルより良好な成績を示すのである。

実船に最も適合し得るデータを得るには、できるだけ大きい試験板に完全塗装したもの及びそれに小さい傷をつけたものを海中に浸漬し、目標電位にできるだけ正確に保ち、完全塗装板でも脆化が起るまで長期間試験を続けて始めて正確な塗料に関する知識が得られると思う。

V. 結 論

代表的な船底塗料三種（油性、CP、ビニル）に就いて、防蝕電流に対する耐久性を試験した結果、 -1000 mV 以下にならぬように注意すれば一層塗膜の劣化は起らぬことが判つた。即ち Zn 陽極を使用する場合は安心して使える。また Mg 陽極の場合は適用に注意しないと塗膜劣化を招く。従来電気防蝕に併用するには最適と見做されているビニル系でも塗装が不完全で傷が存在する時は仮に適正電位に保つても傷の周辺には膨れを生ずる。*over protection* されると油性、CP は、塗膜自体が脆化するのに対し、ビニルでは塗膜は健全で傷の周辺で密着性の低下、膨れを生ずる傾向にある。

2・4 実 船 実 験

実船実験としては第 20 研究部会で着手した第 1 鉄榮丸、第 2 鉄榮丸以下諸船の実験を継続して前回電流密度の調節に失敗したものはこれに改良を加える等、事情の許す限り対策を講じつつ経過を観

察した。瀬尾委員が主として調査を担当したが、次のような結果を得ている。

I. 実験船

Zn 陽極を装備した船は第2鉄栄丸、空知丸及び瀬戸丸の三船であつて、第2鉄栄丸は船全体を完全防蝕できるように十分な Zn 板を船尾附近とビルジキールに装備した。空知丸は従来装備されていたように船尾のみに Zn 板を取付けた。瀬戸丸は両者の中間で全船が大体防蝕できる最小限の Zn 板を装備した。なおこの三船の外三菱金属では日の出丸及び広島丸で、また三井金属では三池丸で実験中であるのでこれ等の成績も参考とした。この三隻は皆曳船であつて Zn 板の装備要領は第2鉄栄丸とほぼ同程度である。

第1鉄栄丸と檜山丸には Mg 陽極を装備した。第1鉄栄丸は第2鉄栄丸とほほ同じ大きさの船で第2鉄栄丸と同様船全体が完全に防蝕できる程度の多量の Mg を装備した。そして発生電流量を調節するため Mg と船体の間に可変抵抗器と電流計を入れた。檜山丸は空知丸の姉妹船であつて空知

Table 2・13 実験船の要目

船名	第2鉄栄丸	空知丸	瀬戸丸	第1鉄栄丸	檜山丸
屯数(t)	159.7	3428	1462.5	143.6	3428
長さ(m)	27	113.2	72	26	113.2
幅(m)	7.1	17.4	13	6.8	17.4
深さ(m)	3.37	6.8	5	3.35	6.8
浸水面積(m ²)	230	2000	1280	240	2000
プロペラ数	2	2	2	2	2
プロペラ面積(m ²)	4.9	6.2	4.5	4.9	6.2
塗装の状態	古い塗表の上に A/C A/F 各 1	ウォッシュプラ 1 イマ シルバックス 3 A/F 1	ウォッシュプラ 1 イマ A/C A/F 各 2	第2鉄栄丸と同じ	ウォッシュプラ 1 イマ シルバックス 2 A/C A/F 2

Table 2・14 陽極の装備状況

船名	第2鉄栄丸	空知丸	瀬戸丸	第1鉄栄丸	檜山丸
種類	Zn	Zn	Zn	Mg	Mg
大きさ	300×100×25	300×150×25	350×150×20	75  × 800 125	300×150×30
個数	60	20	30	30	20
重量(kg)	321	152	180	360	56
取付け法	心金熔接	ボルト締め	同左	同左	同左
"位置	20 船尾 40 ビルヂキール	船尾のみ	20 船尾 10 ビルヂキール	10 船尾 20 ビルヂキール	船尾のみ
計	1 個の発生電流(A)	0.16	0.22	0.71	0.3
	防蝕電流(A)	9.6	4.5	22.5	6.0
画	平均防蝕電流(mA/m ²)	42	2.3	93.7	3.0
	使用年限(年)	2.7	2.9	1.8	1.0

注 1. 陽極の重量は心金共に計量したものである。

2. 使用年限は計画通りの発生電流として陽極が全部消耗するまでの期間を示す。

丸と同様船尾のみに Mg を装備した。これら実験船の要目の大要是 Table 2・13 の通りで流電陽極の装備状況は Table 2・14 の通りである。

II. 試験期間

入渠工事より入渠工事までを期として成績を纏めた。第1及び第2鉄栄丸では1, 2期の実験を終り第3期の実験中である。その他は第1期の実験を終り試験を終了した。その概況は Table 2・15 の通りである。

Table 2・15 実験期間

船名		第2鉄栄丸	空知丸	瀬戸丸	第1鉄栄丸	椎山丸
第一期	開始	30. 4. 2	30. 8. 5	30. 9. 28	30. 3. 22	30. 8. 5
	終了	30. 9. 28	31. 5. 21	31. 3. 6	80. 9. 5	31. 7. 9
第二期	開始	30. 9. 28			30. 9. 5	
	終了	31. 6. 23			31. 3. 10	

III. 実験成績

(a) Zn 陽極を使用した場合

(1) 船体の電位：船体の電位は硫酸銅電極を使用して計測した。即ち防蝕電位は -850 mV である。第2鉄栄丸では同期間中全船が -850 mV 以下であり、初期には -1000 mV にも達した。空知丸は初期に於ては船尾の Zn 板の影響は約 110 m 離れた船首にまで達し、電位は -900 mV 附近にまで低下した。しかしその後は次第に電位は上昇し、数ヶ月後には船尾附近を除いては電位は防蝕電位より高くなり、5ヶ月目には船尾も防蝕電位より高くなつた。瀬戸丸は工事中一時防蝕電位より高くなつたが殆んど全期間全船が -850 ~ -900 mV に保持された。Fig. 2・45~47 は船体の舷側で外板の水際に沿つて計測した電位であつて、第2鉄栄丸及び瀬戸丸では船尾と船首で大差ないが、空知丸では船尾以外の電位は、かなり高くなつてゐる。Fig. 2・48 及び Fig. 2・49 は船体の船尾及び船首から 1/3 間近の電位の変化状況である。船尾附近の電位

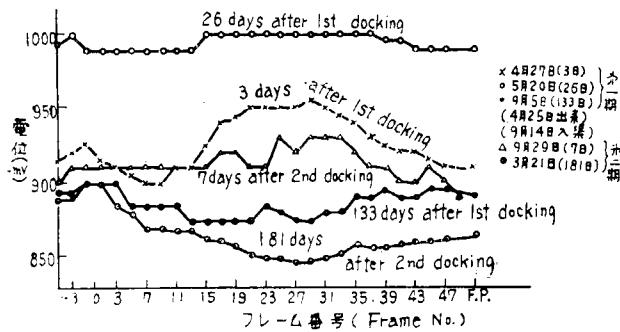


Fig. 2・45 第2鉄栄丸の電位

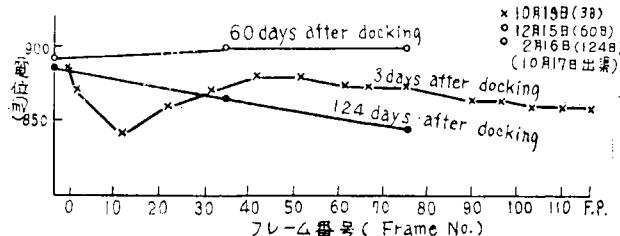


Fig. 2・46 瀬戸丸の電位

の変化は三船共比較的類似しているが、船首に近いところは空知丸の変化が大きい。

(2) 外板の状況 第2鉄栄丸及び瀬戸丸では発錆は認められなかつた。特に第2鉄栄丸では外板の一部の塗装を剥いで裸の鐵板を出したままにしておいたが、腐蝕は認められなかつた。空知丸では船尾附近には全々腐蝕はなかつたが、中央附近より先は所々軽微な発錆や塗装の下が変色しているところが認められた。生物類の附着はいずれも少かつた。海藻類の附着は従来と大差なかつた。第2鉄栄丸の第1期実験に於ては電位が -1000 mV 以上にも達したためか、塗装が僅ながら劣化の傾向が認められたが、その他の船では塗装への影響は全く認められなかつた。

(3) Zn 陽極 Zn 板の表面は軟かい Zn のかす状のもので覆われており、その上に少量の海藻が附着していた。かす状のものは wire brush で容易に除去できる程度のもので、これを分析したところ、その成分は Table 2・16 の通りで、大部分が Zn の化合物であつた。入渠時 Zn 板の

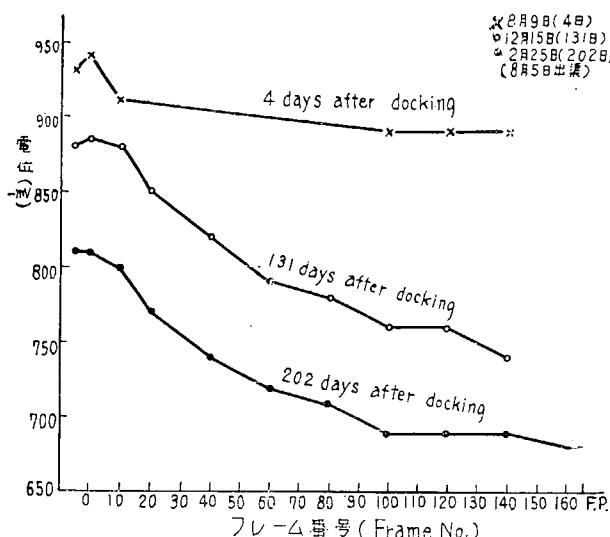


Fig. 2・47 空知丸の電位

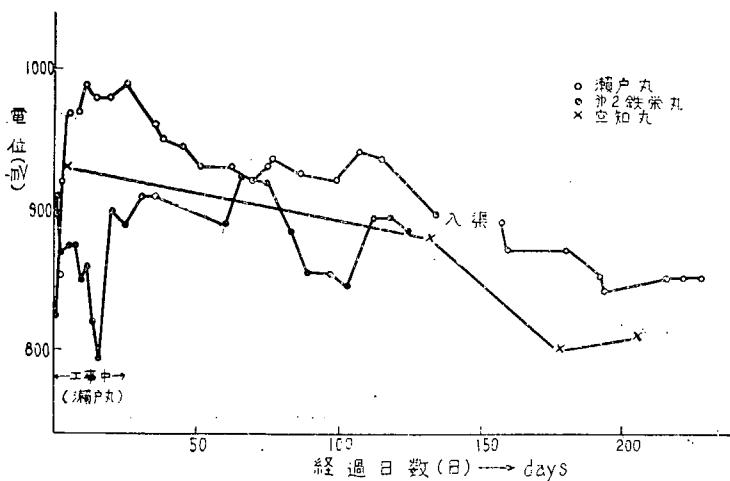


Fig. 2・48 船体の電位 (船尾水際) Potential of hulls (at the stern by W.L.)

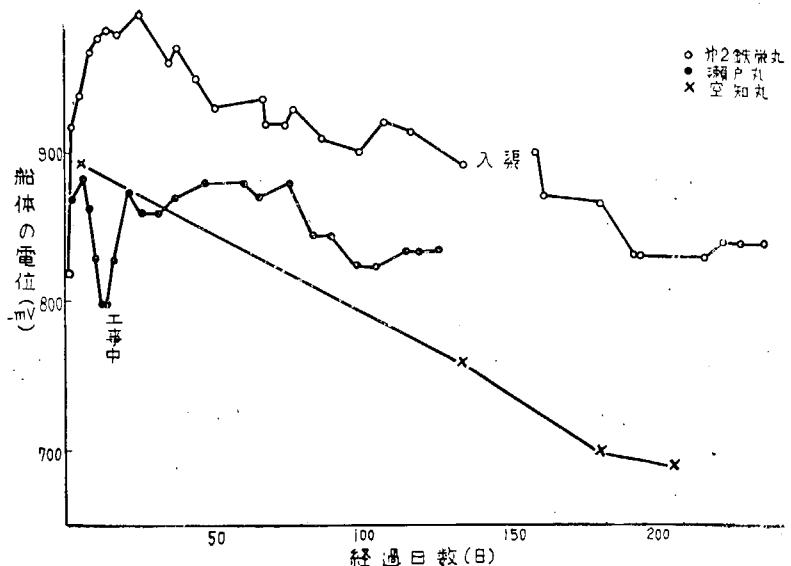


Fig. 2・49 船体の電位 (船首より 1/3 L 付近水際)
Potential of hulls (at 1/3 L from F.P. by W.L.)

Table 2・16 Zn 陽極付着物成分
(Chemical compositions of the deposit on Zn Anode)

船名 (Name of ships)	Zn	Pb	Cd	Cu	Fe	Ca	灼減	比重
第2鉄錆丸	42.87	0.017	0.009	0.049	0.12	0.00	28.2	1.64
瀬戸丸 A	42.48	tr	tr	0.02	0.17	0.02	—	—
” B	47.02	”	”	0.03	0.13	0.04	—	—

Table 2・17 Zn 板の重量及び発生電流

船名	第2鉄錆丸(1期)			第2鉄錆丸(2期)			空知丸			瀬戸丸			
	Zn の位置	両舷	船尾	計 (平均)	両舷	船尾	計 (平均)	推進器付	舵	計 (平均)	両舷	推進器付	舵
原重量 (kg)	214	107	321	196.2	85.4	281.6	45.6	106.4	152.0	60	48	72	180
入渠時重量 (kg)	196.2	85.4	281.6	171.4	66.9	238.3	27.0	47.5	74.5	56.26	41.9	59.5	157.66
Zn の減量 (kg)	17.8	21.6	39.4	24.8	18.5	43.3	18.6	58.9	77.5	3.74	6.1	12.5	22.34
減量の割合 (%)	45.2	54.8	100	57.3	42.7	100	24.0	76.0	100	16.7	27.3	56.0	100
原重量に対する割合 (%)	8.3	20.0	(12.2)	12.6	21.6	(15.4)	40.8	55.3	(51.0)	6.2	12.7	17.3	(12.4)
発生電気量 (Ah)	13,172	15,984	29,156	18,350	13,700	32,050	13,764	43,586	57,350	2,780	4,520	9,250	16,550
” 電流 (mA/cm ²)	0.24	0.59	(0.38)	0.18	0.27	(0.21)	0.52	0.73	(0.655)	0.15	1.3	0.42	(0.3)

註 空知丸は Zn 板中 4 枚くなつていたので他の重量より推定した。

重量を計測したところ Table 2・17 の通りであつた。第2鉄栄丸（第1期）と瀬戸丸の減量は比較的少く計画と大差なかつた。第2鉄栄丸の第2期実験では数ヶ月間岸壁に繫留したままであつたから期間が長い割合に船尾 Zn の消耗が少く、そのため平均値はかなり計画より下回つた。空知丸の減量は計画より著じるしく多かつた。船尾附近はプロペラがあり流速が早いため、及び陽極数が少いから電位差が大きいため発生電流が増加したからである。またこの外本船は Zn 板を取付けたあと、かなり工事期間があつたため熔接電流等の影響も考えられる。なお Zn 板の上部より下部の減少が多かつたのは工事中上方の約 6 個が水面以上に出ていたためである。

(4) 発生電流及び防蝕電流 実船に於ける Zn 陽極の発生電流のデータは少いが大体 0.3 mA/cm^2 程度とされている。しかし勿論船体の電位、装備位置、Zn の純度、使用期間等に依つて当然差異を生ずる。今回の実験に於ける Zn 板の減量より効率を 90% として計算すれば発生電気量は Table 2・17 の通りとなる。これより Zn 板の単位表面積からの発生電流を算出した。ビルジキールの Zn 板に比べ船尾のものは発生電流が多く約 2 倍である。平均値は第2鉄栄丸（第1期）及び瀬戸丸では $0.3 \sim 0.4 \text{ mA/cm}^2$ で計画と大差なかつたが、第2鉄栄丸の第2期実験では船の繫留期間が長かつたため発生電流は少く、空知丸の場合は反対に船尾のみに取付けたため、非常に多くなつている。なおこれ等の数字より防蝕電流を計算すると Table 2・18 の通りとなり、空知丸以外は計画値より少かつたが、空知丸ではかなり多くなつている。それでも拘らず電位が高かつた。この原因は流速と復極に關係があるので Zn 板の発生電流の実測と共に流速の影響等を調査の予定である。

Table 2・18 防 蝕 電 流

船 名	第2鉄栄丸（1期）	第2鉄栄丸（2期）	空 知 丸	瀬 戸 丸
全 電 流 (A)	8.68	5.0	8.25	4.86
単位面積当たりの電流 (mA/m^2)	37.7	21.8	4.18	3.8

(b) Mg 陽極を使用した場合

(1) 船体の電位 第1鉄栄丸は 0.3Ω の可変抵抗を入れて船体の電位を $-850 \sim -1000 \text{ mV}$ に調節する予定であつたが船尾の Mg が短絡し、電流計は 0 のままで多量の電流が発生したため、船尾の電位は著じるしく低下し、最低 -1200 mV となつた。その後両舷 Mg 陽極の抵抗を最大として、電位の上昇を計つたが、船尾は $-1050 \sim -1150 \text{ mV}$ 、ビルジキール附近は $-950 \sim -1050 \text{ mV}$ で終始した。第1期試験終了後入渠し、短絡箇所を調査したが発見できなかつた。配線の一部を取り換えて出渠したが、約 2 ヶ月後には再び船尾が短絡し、電流計の示度は 0 となつた。入渠時塗装を広範囲に scrape したため就航後の電位の低下は遅く、各抵抗器を 0 にしてもかなりの期間防蝕電位よりやや高かつた。しかし出渠後 1 ヶ月目頃には電位は -850 mV 以下となり、その後次第に低下して -1000 mV 近くまでになつた。電流は抵抗器の接触がやや不良なためか、かなり変動があつたが両舷は $1.5 \sim 2.5 \text{ A}$ に落着いた。檜山丸は Mg 陽極 1 個について 1.6Ω の抵抗 2 つ入れた。即ち 0.8Ω の固定抵抗を入れてあつたが発生電流は計画に比べかなり多く、そのため電位は著じるしく低下した。船

尾の電位は最低 -1200 mV 近くとなり、その時は船首でも -970 mV になつた。しかしその後急速に電位は上昇し、出渠後4ヶ月目頃には船尾附近が -790 mV となり、船首は -720 mV となつた。調査したところ、Mg 陽極は殆んど消耗してしまつていて新らしく6個新替えた。電位は船尾 -850 mV、船首 -770 mV となつた。その後1ヶ月目には夫々 -920 及び -830 mV になつたが6ヶ月目の入渠直前には全船 $-720\sim-730$ mV となつていた。

(2) 外板の状況 第1鉄栄丸では短絡のため過大電流が流れ、短期間水素が発生し塗装がかなり広範囲に剥離した。剥離しなかつた部分も塗装が劣化していた。塗装の剥離によつて防汚効果がなくなつたため、生物類や海藻の附着は甚だしかつた。しかし、腐蝕は全くなかつた。入渠後は船体を scrape して劣化した塗装の大部を落して船底2号塗料を1回塗布しただけで就航した。第2期実験に於ては電位は最低 -1000 mV 程度であつたから塗装の剥離は比較的少く、腐蝕は全くなかつた。汚れも第1期に比べると少かつた。なお両舷ビルジキールの上方に 1×0.5 m の大きさで数種の塗料を塗装しておいたところ、ビニル塗料が最も良好で剥離やふくれのないことは勿論、海藻や生物の附着も殆んどなかつた。コールド・プラスチック塗料は生物や海藻の附着は少かつたが、少数のふくれが認められた。光明丹プライマ及びシンクロプライマを下塗して船底1号及び2号を塗布したものは共に剥離が甚だしく、多くの海藻類と少数の生物が附着していた。アルミニウムプライマを2及び3回下塗りした後船底2号塗料を塗つたものは剥離はなかつたが、少数のふくれがあり、多量の海藻類が附着していた。檜山丸は7月中旬入渠の予定であつたので船体状況は未調査である。

Table 2・19 Mg 陽極の発生電流と表面付着物

船名	第1鉄栄丸(1期)			第1鉄栄丸(2期)			檜山丸
	両舷	船尾	右舷	左舷	船尾		
1個の発生電気量(Ah)	1,000	6,215	2,530	3,520	5,300	2,640	
" 電流(A)	0.3	1.68	0.56	0.78	1.18	1.1	
単位表面積電気量(mA/cm ²)	0.15	0.82	0.28	0.39	0.59	1.5	
付着物の有無	有	無	有	無	無	無	

Table 2・20 Mg 陽極の減量

名船	第1鉄栄丸(1期)			第1鉄栄丸(2期)				檜山丸
	両舷	船尾	計	右舷	左舷	船尾	計	
原重量(kg)	240	120	360	120	120	63.5	233.5	56
入渠時重量(kg)	220	63.5	283.5	87	78	15.3	180.3	8
減量(kg)	20	56.5	76.5	23	32	48.2	103.2	48
発生電気量(Ah)	22,000	62,150	84,150	25,300	35,200	53,020	113,520	52,800
発生電流(A)	5.9	16.8	22.7	5.6	7.8	11.8	25.2	22.0
同上(電流計)(A)	0.6×2	—	—	約2	約3	—	—	—

註 Mg の表面には付着物が多かつたので減量の中にはこれを除去する際たたき落された Mg も含まれている。

(3) Mg 陽極 Mg 板の表面は発生電流の多い場合と少い場合で大差がある。即ち発生電流の多い場合は Mg の金属面が出てほぼ一様に消耗し、滑かな表面をしているが発生電流が少い場合は海藻や生物類が一面に附着し、それ等の間際に孔を掘つたようになつて Mg の金属面が出ている。表面の状態と発生電流との関係は Table 2・19 の通りで 0.39 mA/cm^2 以上の電流が流れた場合は海藻や生物の附着は少い。入渠時 Mg 陽極の重量を計測したところ Table 2・20 の通りで第1期 76.5 kg, 第2期 103.2 kg であつた。Mg 陽極の減量から効率を 50% として発生電流を計算すると第1期では 22.7 A, 第2期では 24.6 A の防蝕電流が流れたことになる。しかし電流を計測し得た両舷ビルジキールの電流と Mg の減量から計算した電流ではかなり大きい差がある。特に差の大きい第1期の場合は抵抗が大きく、周辺の電位が低かつたので電流は発生しにくく、減量の相当部分が自己腐蝕であつたと思われる。檜山丸の Mg 陽極の減量はかなり大きい抵抗を入れたに拘らず、案外に多かつた。いろいろなデータより推定した値とはかなり相異があつたが、その原因は空知丸の場合と同様流速等の問題であろう。防蝕電流は単位面積当たり第1鉄糸丸第1期では 95 mA/m^2 , 第2期では 105 mA/m^2 で両舷の電流計を信頼して自己腐蝕が異常に多かつたと考えてもこの約 $1/2$ の電流となる。第1期実験では塗装が比較的厚かつたから防蝕電流が多いので、電位が著しく低下したが、第2期実験ではほぼ同じ電流に拘らず、塗装が薄かつたため電位はやや高かつた。

IV. 結 言

(a) 陽極の取付け

Zn 陽極の取付けは Fig. 2・50 に示すように心金をボルト締めするか、心金を溶接する方法が良い。

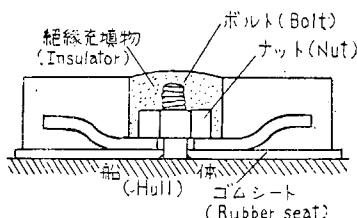


Fig. 2・50 陽極の取付け
(Fitting of anode)

Zn 陽極は心金を通じて船体と接続する。そしてその他の部分はできるだけ絶縁すると共に水の浸入を防ぎ、Zn 板の不要の消耗と、がたつきを防止する。この取付け方法は Zn 板の取換えは容易であるが、取付けはやや複雑である。Zn 板に心金を入れ、その両端で船体に溶接する取付け法は、取付が容易で簡単で良いが、取換え毎に溶接をはずし新に溶接しなければならない。Mg 陽極は発生電流が大きいから船体との間に可変抵抗器を使用して、発生電流を調節することが望ましいが工事が複雑になり、また短絡等の事故を起しやすいので固定抵抗を使用してもよい。この場合は抵抗はナットと心金の間に入れる。

(b) 電位の分布

船体の塗装が良好な場合は船尾に取付けた Zn や Mg 陽極の電流は 100 m 余離れた船首にまで達し、船全體が防蝕電位になるが発生電流の減少、塗膜の電気抵抗の減少に伴つて防蝕範囲は船尾附近のみに限られるようになる。それ故船全體を防蝕するためにはビルジキール等に陽極を取付けることが必要であり、比較的少量でその目的を達し得る。

(c) 流電陽極の発生電流

Zn 陽極の発生電流は Table 2・17 の通りで、取付け位置や船の状態によつてかなり相異があ

る。ビルジキールのものは少いが船尾のものは多い。特に舵につけたものが最も多い。 Mg 陽極の発生電流は第1鉄梁丸の場合は頗ると自己腐蝕が多いため、あまり正確でなかつた。檜山丸の場合は計画よりかなり多かつた。これは Zn 陽極の場合と同様装備位置の影響である。 Mg 陽極の使用を計画する場合はある程度以上の発生電流にしないと附着物や自己腐蝕が増加する。

(d) 防 蝕 電 流

所要の防蝕電流は船体の状態や使用条件によつて、かなり相異がある。第2鉄梁丸の場合は浸水面積に平均して 49 mA/m^2 で十分であつた。瀬戸丸は約 4 mA/m^2 でやや不足であつた。それ故船体の塗装が良好な状態では $5\sim10 \text{ mA/m}^2$ で良いと思われる。

(e) 陽極の所要量

流電陽極の所要量に關係する因子は多くあり、それ等の状態や影響で未だ明かでないものが多いから正確な規準を得るには今後の多くの実験に待つ外ないが、今回の実験結果より見れば次の通りである。防蝕電流は船の状況より考慮して $5\sim10 \text{ mA/m}^2$ の適当な値を採用する。 Zn の発生電流は船尾附近のものは $0.4\sim0.6 \text{ mA/m}^2$ 、ビルジキールに取付けるものは $0.2\sim0.3 \text{ mA/m}^2$ として船の状態より適当な値を採用し、これ等を規準として Zn の所要量を決めるよい。なお陽極の数が少いと船体の電位は高くなり、電位差が大きくなるため発生電流は増加し、消耗は早くなる Mg 陽極では小型のものは特種な用途以外はあまり望ましくない。所要量は現在実施中の第1鉄梁丸第3期実験の結果が参考となるであろう。

(f) Zn 陽極と Mg 陽極の優劣

Mg 陽極は鉄面との電位差が大きいため多量の電流を流し得るから、船体を防蝕電位に保つことが容易であり、また少量でも有効に作用する等の長所があるが、発生電流の調節が難かしく、またそのために電位が下りすぎて塗装を剥離するようなことがある。 Zn 陽極は発生電流が小さく、そのため多量に装備する必要があるが取付けが簡単であり、使用上間違いは少い。また船体のように良好な塗装をしている場合は Zn 陽極によつても十分船体を防蝕できるので、国産であるといふことも考慮すれば船体外板の防蝕は陽極で十分である。

(g) 電気防蝕の価値

最近船底塗料は極めて優秀なものが作られ使用されるようになつてきたが、塗布する場合に *pin-hole* を生じたり、鉄の附近、板の継目等に塗り残る部分があつたり、錨鎖等で疵ついたりする部分ができることはまぬがれない。こうした部分は特にピッキングを生じやすいが比較的少量の電気防蝕の併用によつてこれを防止することができる。また船体を適当な電位に保つておれば塗装をいためるることは少く塗装の下から錆が出るようなこともないので塗膜は良好に保持される。そのため *scrape* したり *sand blast* をかけたりして再塗装するということも非常に少くなるので経済的にも有利である。

これと併行して、2, 3 艦装中の船舶に対し迷走電流の測定や、或る程度の迷走電流を予想した亜鉛による防蝕対策を試みたのでその大要を次に記す。

イ) 日高丸の迷走電流調査

日高丸は國鉄の連絡船で函館造船所で陸岸に繫留し、船内の熔接工事が実施されるのを機会に調査

を行つたものである。

1. 試験成績

(1) 12月9日ドック内は空のままで熔接している船体と陸岸のレールとを接続して熔接船体と陸岸との間にどの程度の電流が流れているか計測した。勿論この場合の電流量は電線や電流計の抵抗によつて差異があるから回路の抵抗は正確に調査した。電流計は AC 及び DC のメータを使用して計測したところ次表の通りであつた。即ち船体と陸岸では電位の差があり、電流が流れている。そして小量ではあるが直流通じつていた。

回路の抵抗は DC メータの 0.3 mA range の場合 799Ω , 1.0 range の場合 351Ω , 3.0 range の場合 164Ω であつた (AC 30 mA range は 67Ω)

AC	1.3	2.9	1.9	5.85	7.1	1.85	3.2	15.5	5.3	10.6	7.8	10.9	15.0*	12.45	4.3*	5.1
DC	0.13	0.11	0.1	0.1	0.13	0.07	0.1	0.2	0.19	0.13	0.1	0.45*	0.13	0.06*	0	-0.1*
Range	AC 30 mA					AC 30 mA		AC 30 mA								
	DC 1 mA					DC 3 mA		DC 3 mA								

註 電流は熔接の状態によつて影響されるのでかなり振れがあつた。

* は振れている針の最小又は最大値である。

(2) 12月10日熔接停止中熔接機のアース側のみ接続して DC 電流を計測したところ (1 mA range) 0.1~0.12 mA で AC 電流 (30 mA range) は 0 であつた。その後熔接使用台数が増加した。この場合の前記回路を流れる電流は次表の通りであつた。本試験はドックに注水しながら実施した。8時58分船底が水に漬りその後は DC 電流は減少した。(使用熔接機 41台)

時刻	8.30	32	34	35	36	53	54	55	56	57	58	59	9.00	01
AC	6.0	5.1	5.2	5.45	6.3	2.17	1.54	3.0	2.6	1.7	1.7	2.3	0.6	0.4
DC	0.2	0.16	0.08	0.18	0.17	0.18	0.13	0.13	0.18	0.14	0.08	0.08	0.05	0.02
Range	AC 10 mA													
	DC 0.3 mA													
時刻	9.02	03	04	05	06	07	08	09	10	11.05				
AC	0.8	2.3	1.85	0.95	0.78	0.57	0.68	0.61	1.23	3.6	5.0*	1.0*	2.4	4.5
DC	0.04	0.04	0.04	0.027	0.025	0.03	0.031	0.031	0.034	0.024	0.018	0.047	0.067*	0*
Range	AC 10 mA													
	DC 0.3 mA													

注 1) 最大 AC 28 mA, DC 0.31 mA, 最小は夫々 0.1 及び 0.02 mA

2) AC 10 mA range の内部抵抗は 196Ω である。

* 短時間の最大最小。

(3) 船体と陸岸の間に鉄板を吊し、それぞれの間に直流の電位差を計測したところ次表の通りでレール側が船体及び鉄板より電位が高かつたので調査したところ、レールは岸壁の水道管より約 150 mV 電位が高かつた。即ちこのレールはクレインに使用しているため岸壁のその他の施設より電位

が高かつたのである。

(4) 熔接機のアースを取はずし船体に直接交流電流を流して前記回路に流れる電流を計測したところ次表の通りであつた。

電流 (mA)	流した電流 (A)		0 (アース有)	0 (アース断)	5.7	10.8	15.6	メータ使用 Range
	AC	DC	0	0	3.2	5.78	5.81	
船 体	AC	0	0	0	2.78	5.4	7.5	10 mA
	DC	0.023	0.012	0.012	0.01	0.01	0.01	0.3 mA
鉄 板	DC	0.28	0.42	0.5	0.65	0.8	0.8	3 mA
	レールと の電位差	—	120 mV	140 mV	140 mV	150 mV	—	—

(5) 再び熔接中の AC 及び DC 電流を計測したところ次表の通りで船体から前記回路を通じて流れる AC 電流の最大は 7.4 mA であり、また鉄板から流れる DC 電流は 0.83 mA であつた。これは前表の 15 A の電流を船体に流した場合に相当している。

時 刻	13.39	40	41	42	43	43.5	44	44.5	45
船 体	AC	3.4	4.8	3.9	3.6	4.8	6.1	4.9	2.6
	DC	0.04	0.023	0.12	0	0.032	-0.004	0.001	-0.014
鉄 板	DC	0.64	0.55	0.83	0.67	0.63	0.57	0.14	0.36
	DC	0.39	0.47	0.5	0.55	0.57	0.44	0.27	0.18
時 刻	45.5	46	46.5	47	47.5	48	48.5	49	50
船 体	AC	1.4	2.1	5.7	2.1	6.2	7.4	3.9	2.2
	DC	4.006	0.02	0.023	0.031	-0.012	-0.02	-0.01	-0.01
鉄 板	DC	0.39	0.47	0.5	0.55	0.57	0.44	0.27	0.05

(6) 船体水面附近の電位を硫酸銅電極により計測したところ、次表の通りで熔接時、停止時と通電時では大差なかつた。

計測位置	熔接中	熔接停止	通電中
左船尾より 1/3	-490 mV	-490 mV	-510 mV
舷 2/3	-545 "	-550 "	-530 "
船 尾	-480 "	-500 "	-500 "
右舷中央	-470 "	—	—
舷 首	-460 "	—	—

注 電位の整定にはかなり時間を要するが今回は状態変更後短時間で計測した。

2. 結 言

この測定は始めての試みで適當な測定方法も未確であり、測定機器も間に合せのものであつたが、儀装中の船には特に激しい迷走電流を心配させるような變つた扱のない場合でも當時電流の変化があ

り、何等かの事情で配線等に誤りがあれば充分船底塗膜を破壊するようなこともあり得ることが想像される。今後更に測定方法や測定機器類を研究して一層充分な資料を得ることが望まれる。

(口) Naes Companion 号の防蝕対策

長崎三菱で新造艤装中の船で艤装期間も比較的長い(31. 1. 16 進水, 6. 29 入渠まで 5.5 ケ月)ので亜鉛陽極によりこの間の防蝕を計ると共にこの亜鉛が迷走電流に対しても避雷針の如き作用をして船底塗膜の破損を招かぬようしたるものである。

使用亜鉛陽極純度 99.997 %, 鉄心入り

形状と個数 CPZ 4 B $32 \times 32 \times 600$ (12 φ 鉄心入り) 40ヶ

CPZ 1 R $25 \varphi \times 300$ (6 φ 鉄心入り) 100ヶ

前者は 5 個を連結して船側に垂下する。後者は電位測定後補正用に使用する。

垂下要領と連結方法は Fig. 2・51, Fig. 2・52 に示す通りである。

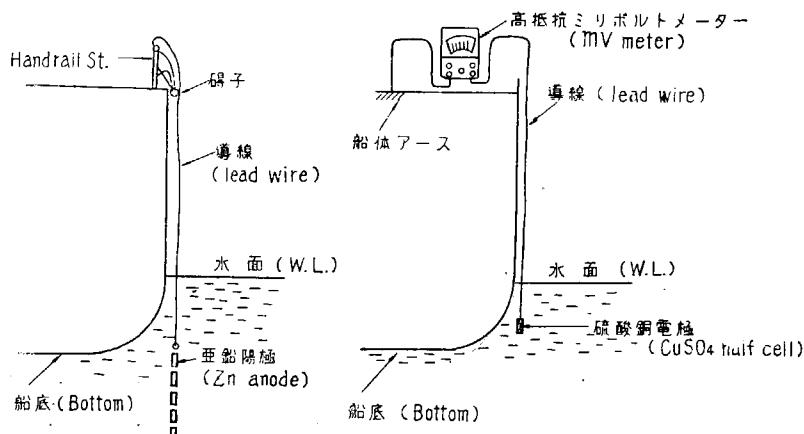


Fig. 2・51 陽極吊下状況

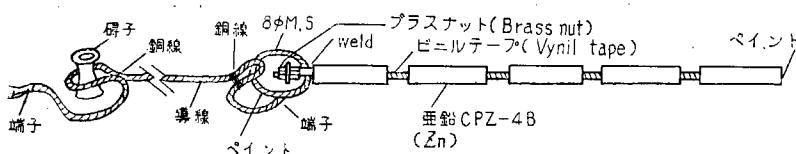


Fig. 2・52

船体要目寸法 631呎×88呎×45呎

吃水船首 1.44 m 中央 2.44 m 船尾 3.43 m

浸水表面積約 48,000 ft² (5,200 m²)

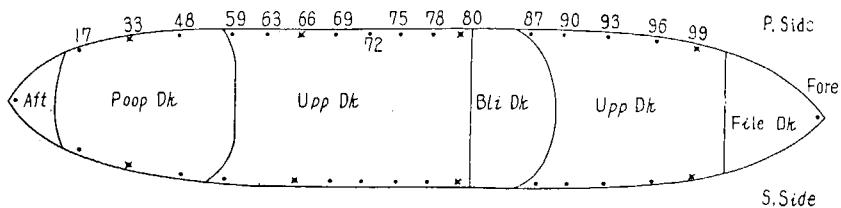
計画発生電流 CPZ 4 B 0.3~0.6 Amp

 CPZ 1 R 0.1~0.2 Amp

平均電流密度 0.3 mA/ft² として所要電流 14.4 Amp

CPZ 4 B 40ヶの発生電流 12~24 Amp

電位測定位置



• 計測点を示す。(34箇所)

* 計測点の中陽極吊下位置を示す

数字は Frame Number を示す

Fig. 2.53

測定箇所は 34 個所に及び海面から深さも 4 種に変えて計測しているが、±30 mV 以下の差異に止まつていてるから、下表にその代表的な数値だけを記した。

計測経過

月 日	内 容	進水後日数	通電後日数	測定結果その他摘要
1. 16	進 水	0		
2. 18	陽極垂下	33		4B×5 を 4ヶ、計 20ヶを左舷に吊す
2. 18	第一回計測	33	0.2	電位 -650 mV 内外
2. 20	陽極垂下	35		4B×5 を 4ヶ計 20ヶを右舷に追加す
3. 2	第2回計測	45	12	電位 -780 mV 内外
3. 17	第3回計測	60	27	電位 -800 mV 内外
4. 17	第4回計測	91	58	電位 -780 mV 内外
5. 14	第5回計測	118	85	電位 -830 mV 内外
6. 14	第6回計測	149	116	電位 -760 mV 内外、電位上昇大
6. 16	陽極追加	151		各群に 1R×6 計 48ヶを追加す
				CPZ-43 Weld CPZ-IR×6
6. 17	第7回計測	153	120	電位 -820 mV 内外に戻る
6. 26	予行試運転	161		
6. 28	第8回計測	163	130	
6. 29	陽極吊上入渠	164		
6. 30	船底調査	165		

船底調査 この種の評価は個人差が大きいのでアンケートによつて関係者の意見を求めたところ下表の如きものとなつた。

これまでの、普通の艤装期間による船舶の船底状況と比較して本船は如何？

調査項目	極めて良好	良 好	やや良好	同 等	やや不良	不 良	備 考
ペイントの剥離状態	○	○○					RIV、付近にフクレあるも電気防錆のためとは思われる
海中生物その他の付着	○	○	○	○			右舷の方に汚れが多い
点蝕の発生状態	○○○						
一般的な発錆状態	○○	○					

所 見

この 5.5 月の期間は梅雨期を含み腐蝕、汚損共に不利な条件にかかりわらず、A/F も充分残つていた。ロープ等でできた傷跡にも全く腐蝕の兆候が見られないので上表のような評価となつた。特に点蝕を入念に探したが遂に見出さず、これは電気防蝕の効果と考えてよいであろう。Fore Poppet の Block の当つた所と進水台に接していたと考えられる B-Strake の A/F 面が一部黒変しており、この部分に海中生物の附着が甚しい。黒変部は表面に蜘蛛糸状の脈があり、黒色部をこすり取ると赤色の A/F 面が現れた。艤やキールプレート附近の Rivet Line にペイントのフクレが見られたが、これは A/F 自身のフクレらしく、防蝕電流による水素発生の事故とは考えられない。右舷側が左舷側より生物附着が多いのは南側で太陽の照射が良いためである。

工作船などが横付されると電位上昇があつた。このようなことも今後は注意を要する。陽極間の距離は 42 米も離れていたが充分船体の電位は平均した値を示している。

通電後 116 日目の測定では船体電位と共に陽極電位も上昇していた。引揚げて観察すると黒色のかなり強固な腐蝕面に覆われていた部分がかなりあつて、最初から溶解していない。この点はなお研究を必要とする。CPZ 1 R 48 本を追加し、この黒色部をワイヤブラシで除去した後は再び充分な電位降下を示した。

(ハ) いかづち

海上自衛隊の船で、川崎重工で新造中のものに艤装中の腐蝕を考慮して防蝕亜鉛を垂下したものである。大体の要領は長崎三菱と似ているが、測定結果は中間のものを長石委員から報告があり、委員の見学会も実施されたが、成績は前者と大同小異であるから省略する。

これを要するに、艤装中の船舶も就航中の船舶と同様防蝕亜鉛によって防蝕電位を保持できれば、腐蝕は完全に防止可能なことは実証された。万一迷走電流の激しいものがあつたとしても防蝕亜鉛が避雷針の如き作用を兼ねるので、船体塗膜を破壊する危険は著しく緩和されるであろう。装備要領は航行中の抵抗を考える必要がないから舷外に垂下する方法によれば途中で電流の調節や検査も簡単に実施できる。また電流分布も非常によく平均したものとなることも明らかにされた。

第 3 章 油槽船艤装壁腐蝕対策の研究

3・1 腐蝕状況並に防蝕状況の調査

Mg 陽極を使用した防蝕対策は光榮丸、ペルシャ丸に試みられて以来逐次多くの船に試みられるようになつて來ており、従来防蝕対策を講じなかつた時代に比べると著しく腐蝕状況は改善されて來ていることは一部の関係者には充分認識されているが、正確な記録となると船の行動に制限されて調査の機会が少ないので測定方法や表示方法が難しいために普遍性のあるものを造るのは非常にわずらわしい問題である。比較的精しい資料の得られた、光榮丸、ペルシャ丸及びすまとら丸の記録を代表的なものとして次に抄録することとした。実船の内には特に腐蝕の烈しい底面を対象として側面上半は対象としない設計で Mg 陽極を装備したものもあるが大体に於いて 0.1 Amp/m^2 以上の電流密度ならば充分な防蝕効果があり、 0.05 Amp/m^2 程度のものには効果不充分のものもあるよう

ある。

I. 光榮丸のタンク防蝕記録

(1) 概 要

油槽船光榮丸の油槽内面の防蝕を目的として種々の処理を行い、1年間就航したのでタンク内面状況並にタンク内に取付けた試験片によつて成績を比較した。マグネシウム陽極をタンク底に取付けたタンクは腐蝕最も少く内面が清潔であり、試験板の腐蝕も最も少く防蝕効果が最も大きい。ビニル塗装を内底板及びガーダー上面に施行したタンクは塗装した部分の発錆はないが既に塗膜老化の徵候が認められ、且つ塗装のない部分の発錆が著しい。今後の再塗装は極めて困難なので塗装は初期腐蝕防止程度しか期待されない。磷酸塩をバラスト海水に添加したタンクは腐蝕は多少軽減されたが、マグネシウムを取付けたタンクより劣り、添加量を増して防蝕効果を上げることにも経済的に限界がある。

以上三方法を比較してマグネシウム陽極による電気防蝕法が最も有効な方法と認められる。なお今回までに消耗した No. 6 C 及び No. 8 C タンクの陽極は補充し、更に No. 4 C 及び No. 4 ウィングタンクにも陽極を新設することになった。

(2) 運航状況

本船の運航状況は Table 3・1 の通りである。

Table 3・1 貨物油積載状況

次 航	行 先	往航バラスト期間(日)		復 航 積 荷	
		# 6	# 8	# 6	# 8
第 1 次	アバダント	23	23	ガス油	ベンズン
第 2 次	"	20	20	軽油	軽油
第 3 次	サンフランシスコ ロスアンゼルス	17	17	モビル油	ガソリン
第 4 次	ラスタヌラ	19	19	C重油	ディーゼル油
第 5 次	"	20	20	重油	"
第 6 次	アバダント	22	22	"	"
第 7 次	ラスタヌラ	20	20	"	重油
		計 141	141 日		

(3) 油艤内腐蝕状況

油艤内の腐蝕は肉眼検査によれば画触タンクよりも海水バラストを積む機会の多いセンタータンクの方が比較的腐蝕が多いように思われる。センタータンクでは Mg 陽極を取付けた 6, 8 番が割合に良好である。波型隔壁の角等のミルスケールの剥脱が著しく比較的清潔であつた。カルシウムコーティングは前回と同様殆んど認められなかつた。ビニール塗装を施した 3 番タンクも塗装した内底板やパイプ、トランスバース等の上面は良好であるが、塗装部以外の隔壁上部、甲板裏等は相当腐蝕し

厚い赤錆に蔽われている。塗膜は小さなフクレが無数に認められ大部分老化している。磷酸塩を海水バラストに投入したタンクもこのような処理を行わない。No. 3 センタータンクよりやや良好と思われる。

センタータンクの 4, 6, 8 番及び 4 番右舷タンクの内底板のピッティングの深さを測定した結果及び Mg 陽極の消耗は Table 3・2, 3・3 の通りでピッティングはバラスト量の最も多いと思われる 4 番センターが最も深く 6, 8 番の 2~3 倍である。6, 8 番のピッティングは陽極の近傍では浅く、陽極から離れたロンヂの陰になつていている部分が深い傾向がある。

Mg 陽極は 8 番タンクでは殆んど消耗しており 6 番タンクでは Mg 陽極の消耗と共に導通不良となり、防蝕電流が流れずあまり消耗していないものが相当あつた (Table 3・3 参照)。

Table 3・2 油槽内底板の腐蝕

油槽番号	積荷油		バラスト (日)	防蝕処理	内底板の点蝕		試験板 腐蝕重量 (kg)	点蝕の深さ (mm)	判定
	種類	回数			平均 (mm)	最大 (mm)			
No. 3C	ベンズン	1	140	内底板のみビニル塗装	点 蝕	な し	0.15	0.8 ~1.5	内底板は優 試験板は不良
	ガソリン	1							
	軽油	1							
No. 4C	重油	3							
	ガス油	1	140	ヘキサメタ磷酸塩 10 p.p.m.	0.92~1.59	2.5	0.20 ~0.23	0.3 ~0.5	良
	(ディーゼル油)								
	軽油	1							
No. 4P	モビル油	1							
	重油	4							
No. 6C	同	前	140	同上	0.7 ~1.28	2.8			良
No. 6C	軽油	1	140	Mg 陽極 (米国製)	0.22~0.47	1.0	0.013~0.016	0.1 ~0.45	◎優
	モビル油	1							
No. 8C	重油	5							
	ベンズン	1	140	Mg 陽極 (当所製)	0.36~0.6	0.8	0.027~0.047	0.2 ~0.45	◎優
No. 8C	ガソリン	1							
	軽油	4							
No. 6P	重油	1	0	なし	—	—	0.019~0.023	0.03~0.4	◎優
No. 6P	ガソリン	1							
	重油	4							

バタワース洗浄は第二航以後毎航行う。

Table 3・3 Mg 陽極の消耗と防蝕電流

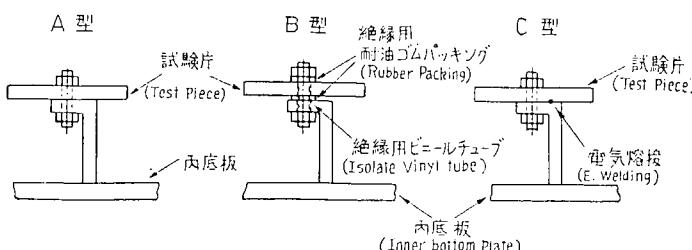
油槽番号	Mg 陽極取付	同 1 年後の状況	陽極全消耗量 (kg)	計画防蝕電流 (A)	Mg の消耗より計算した電流(A)	防蝕電流密度 (mA/m ²)	
						計画	Mg の消耗よりの推定値
No. 6C	17Lb (7kg)	16ヶ	2kg 以下	4ヶ	48	42	103
	16Lb	2ヶ	2~3kg	3ヶ			
	総 計	126kg	3~4kg	9ヶ			
No. 8C	4~5kg (抵抗 0~300 Ω)		4~5kg	2ヶ	46	95	100
	20Lb 角型	15ヶ	殆ど零	4ヶ			
	21Lb 円筒型	1ヶ	100~200g	12ヶ			
	総 計	150kg	(抵抗全部 0)		204		

海水バラスト期間 140 日

Table 3.4 光榮丸油槽内試験片腐蝕状況

油槽	試験板番号	表面状況				重量変化			防錆施行法
		上面	下面	初重量 (29-2) (kg)	5カ月後 (29-7-23) (kg)	重量減少 (kg)	比		
3C	3A1	点蝕の大きさ (mm) 周辺著し	点蝕の深さ (mm) 0.8~1.5	点蝕の大きさ (mm) 全面	点蝕の深さ (mm) 0.3~0.5	4.5255	4.3755	0.1500	1
	3A2	3~8φ 周辺著し	1~1.5	2~3φ 全面	0.4~0.6	4.5125	4.3605	0.1520	ビニル塗装
4C	4A1	2~3φ 全面	0.3~0.5	3~7φ 全面	0.4~0.7	4.8765	4.6740	0.2025	1.35
	4A2	同上	同上	2~8φ 全面	0.4~0.8	4.6020	4.3730	0.2290	1.53
6C	6B1	2~3φ 一部 分	0.1~0.4	2~5φ 部分的	0.4~0.75	4.6675	4.6405	0.0270	0.18
	6B2	2~4φ 全面	0.2~0.4	2~5φ 全面	0.15~ 0.3	4.6710	4.6420	0.0290	0.19
6C	6C1	1~2φ 周辺のみ	0.1~0.2	1~3φ やや少し	0.25~ 0.45	4.4575	4.4440	0.0135	0.09
	6C2	1~3φ やや少し	0.25~ 0.45	2~3φ やや少し	0.25~ 0.6	4.6765	4.6605	0.0160	0.107
8C	8B1	1~2φ	0.1~0.3	浅い点蝕	0.3~0.35	4.5145	4.4765	0.0380	0.25
	8B2	3~5φ 全面	0.4~0.8	0.3~0.5φ 小点蝕全面	0.4~0.8	4.6390	4.6030	0.0360	0.24
8C	8C1	2~3φ 全面	0.2~0.45	4~8φ 周辺甚し	0.2~0.4	4.5295	4.5030	0.0265	0.177
	8C2	1~5φ 全面	同上	2~4φ 周辺甚し	同上	4.5235	4.4770	0.0465	0.31
9C	9A1	点蝕が発展し、帶状になる	0.3~0.4	1~3φ 帶状	0.2~0.4	4.6840	4.5395	0.1445	0.996
	9A2	同上	0.25~ 0.4	同上	0.2~0.5	4.4905	4.2955	0.1950	1.30
6P	61	1~2φ 全面点蝕	0.03	2~10φ 周辺に多 い点蝕	0.25	4.5190	4.5000	0.0190	0.127
	62	1~2φ 点蝕周辺 に烈しい	0.2~0.4	同上	0.2~0.45	4.4720	4.4490	0.0230	0.153

試験片 M.S. 300×150×14 (酸洗を行つて表面を清浄にした)



陽極取付用のボルト頭部及びナットを被覆した重合硅酸塩セメントは耐油性耐火性共充分でそのまま残存していたが、絶縁用のビニルシートは脆化して裂けていたものが見られ、合成ゴム（ハイカ系）シートは異状がなかつた。

(4) 試験板腐蝕状況

昭和 29 年 2 月第 4 航後に本船が三菱日本横浜造船所に入渠したので代表的の油槽内に試験板を取付けて防蝕効果を定量的に比較しようとした。この結果は Table 3・4 の通りでこれを要約すると

1) 点蝕の状況

1. 海水バラストに何等の処置をしていない No. 3C タンクの点蝕は大きさも深さも最大である。
2. 磷酸塩をバラストに加えた No. 4C, No. 9C のものは、加えないタンクに比べて点蝕が浅く 1/3~1/4 に低下している。
3. Mg 陽極を取付けたタンクのものは更に点蝕は残く No. 3C に比べ 1/4~1/7 に減少している。但し点蝕の数は肉眼的に見て No. 3C と大差はない。
4. 海水バラストを積まない No. 6P タンクの点蝕は Mg 陽極を取付けた場合と同程度である。
5. 試験板裏面にも点蝕が存在するが、その程度は上面より軽微で傾向は上面と同様である。

2) 試験板の重量変化 (Table 3・4 参照)

1. 磷酸塩投入したものは投入しないものより 30~50 % 壷蝕減量は大きい。
2. Mg 陽極を取付けたタンク内のものは前者の 9~31 % である。この場合船体と絶縁して取付けた試験板の腐蝕も少く 18~25 % である。
3. バラストを積まないタンク内のものはバラスト積載の場合の 13~15 % の腐蝕で Mg 陽極を取付けたバラストタンクと同じ程度である。

(5) 今回の防蝕工事

三種類の防蝕工事の結果を比較すると磷酸塩は或る程度有効とは考えられるが多少疑問もあり、

Table 3・5 今回の防蝕工事

油槽番号	防 蝕 法	従来の防蝕法	今 回 の 防 蝕 工 事			
			Mg 陽 極	Dow 社製	51 Lb	14ヶ
No. 4P	Mg 陽 極	無 处 理	"	"	"	19ヶ
No. 4C	"	重合磷酸塩 10g/T	"	"	"	14ヶ
No. 4S	"	無 处 理	"	"	"	14ヶ
No. 6C	"	Mg 陽 極 Dow 社製 17 Lb 16ヶ " 32 Lb 1ヶ (切断して 2ヶに使用)	殆んど消耗した 4ヶは除去して、51 Lb 4ヶを追加し、導通不良のためあまり消耗しなかつた他の 14ヶはネジ閉ガス管をネジ込んで導通を完全にした。			
No. 8C	"	Mg 陽 極 当 所 製 20 Lb 15ヶ " 21 Lb 1ヶ	既設陽極は殆んど消耗していたのでそのままにしておき、新たに 51 Lb 8ヶを追加した。			
No. 7C	重合磷酸塩	重合磷酸塩 10g/T	従来通り行う			
No. 9C	"	"	"			

註 今回の 51 Lb 陽極は耐用年数約 2 年を目標としたもので発生電流 3~5 Amp, 電流密度は 50~80 mA/m² である。

Mg 陽極は最も有効と判断されるので引続きこの方法を採用実施することになった。

その工事要領は Table 3・4 及び Fig. 3・1, 3・2, 3・3 の通りである。

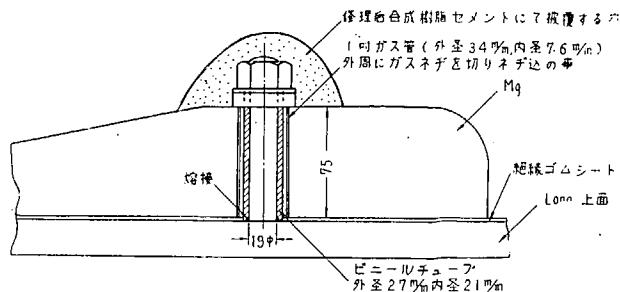


Fig. 3・1 No. 6 T_K. (C) の既設 17LbD 型陽極の加工要領

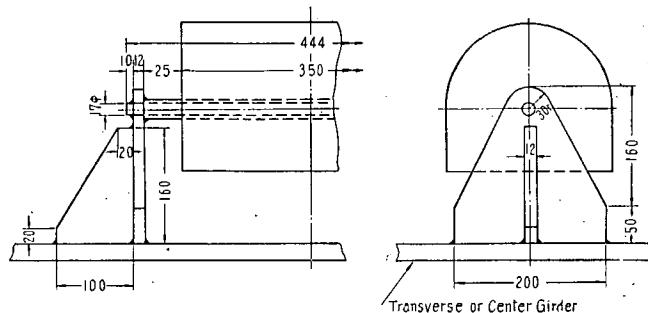


Fig. 3・2 Trns. & Centre Girder 上の陽極取付要領

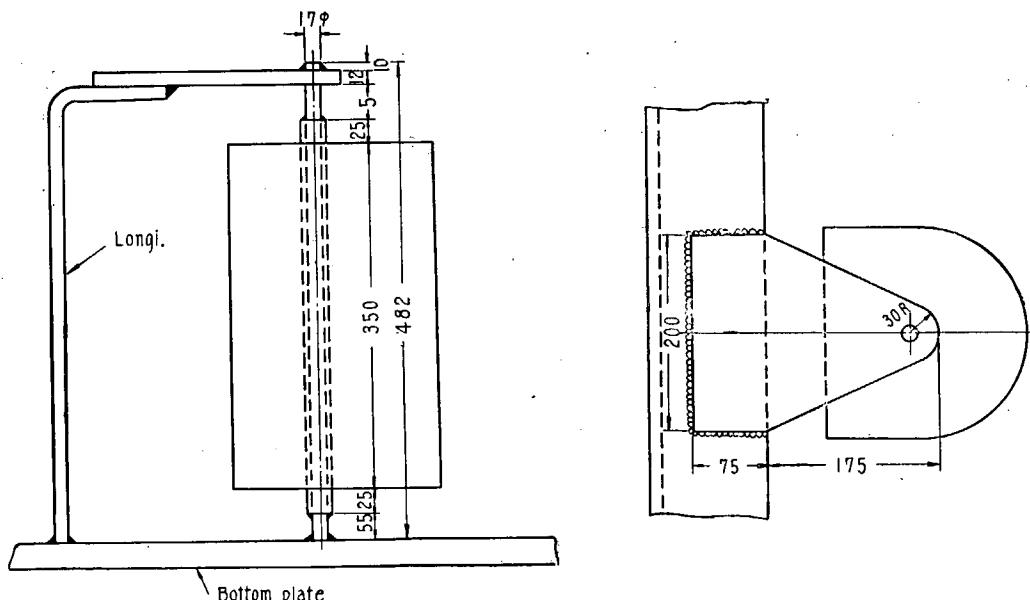


Fig. 3・3 Bottom 上の Mg 陽極取付要領 (1/5)

(6) 結 言

油船内の防蝕法として Mg 陽極取付、重合磷酸塩処理、ビニル塗装を行つた光榮丸の 1 年後に於ける腐蝕状況は次の通りである。

- 1) 油船内の腐蝕は海水バラストを積む機会の多いセンタータンクが比較的著しい。
- 2) ビニル塗装を行つた3番タンクは塗装した内底板やトランスバース、パイプ等の上面は殆んど腐蝕を認めないが、塗装のない部分は相当腐蝕され、しかも老化した塗膜を塗り替えることは極めて困難であるから新造船の場合にしか適用は困難と思われ、初期腐蝕を防止するのを目的とすべきであろう。
- 3) 重合磷酸塩による防蝕は試験板の点蝕は減少しているが、油船内の状況、試験板の重量減少等からは効果が不充分で素材の腐蝕が多い。果して効果がないのか或は現在の使用量(10g/Ton)では少いのか不明である。従てて適当な1つのタンクに50g/Ton* 使用して比較しなければ効果が確定されない。
- 4) センタータンクではMg陽極を取付た6,8番が最も良好で内底板の点蝕も最も軽微で試験片の結果もこれを裏書きしている。陽極材質の差は今回の結果では認められず、優良な地金を使用すれば当所製品で充分使用し得ると思われる。空荷の時の露や残存海水の附着による点蝕を完全に防止することは本船の場合には出来なかつたが、バタワース洗浄をしなければ石灰質皮膜の生成によつて或る程度期待できよう。

II. べるしや丸タンク防蝕記録

タンカーに電気防蝕を施した後、長期に涉る正確な記録をとることは困難が多いので例が少いが、“べるしや丸”的記録は比較的信頼性が高いので、次に三菱造船所谷口技師の報告から記録部分を再録する。

1. べるしや丸の要目と運航状況、及び防蝕計画

要 目 竣工 ~ 昭和28年11月5日
 船 主 ~ 日本油槽船株式会社
 建 造 ~ 三菱長崎造船所
 主 寸 法 ~ 167.0 M × 22.3 M × 12.3 M
 吃 水 ~ 9.506 M
 Cargo Capacity ~ 26,961.35 M³
 Dead Weight ~ 20,938.39 T
 Gross Tonnage ~ 13,290.45 T
 Main Engine ~ 9,200 SHP
 Speed (max.) ~ 16.32 KTS
 船 級 ~ AB・NK
 航 路 ~ 横浜—印度洋—ペルシャ湾—ラスタン
 航海日数 ~ 1航海約40日～43日
 年間航海 ~ 約8航海

* 東京工業試験所重野隼太委員の実験では、重合磷酸塩(カルゴン)50g/Tの添加で防蝕効果は68.7%と報告されている。防蝕技術資料 Vol. 2 No. 4 p. 332 (1953)

積荷～Stabilized Arabian Crude Oil

運航状況

本船就航前に計画するために、姉妹船あらびあ丸の運航実績を基礎として検討した。

あらびあ丸の Cargo Oil Tank の腐蝕状態

タンク番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
腐蝕度(10を最高とす)	8	5	4	4	4	10	4	4	8

Corrosion の激しさの順序は

1. Tank Cleaning (バタワースによる) 後にバラストを取るタンク。
2. 油で汚れたままの状態でバラストを取るタンク。
3. 油で汚れたままの状態で空船であるタンク。

と云われ、どの Tank も積荷の前には Cleaning されるのは勿論であるが、その時期までの使用状態が異なるので、腐蝕の速度に差がある。

べるしや丸の場合、どの Tank に施工するのが最適かについて乗組の方々と相談したが、あらびあ丸と同じように 6 番センタータンクに最も多く Clean Ballast を取るものと推定して、これに決定した。当時準備可能な Mg 陽極は 10 個しかなく、被防蝕面積も船底部約 28 メートル深さまで艦寄りの半分の面積、即ち諸管を含め、約 420 m^2 を対象としたので試験的工事の意味が強かつた訳である。

あらびあ丸の運航状況は、日本出港時航海用として Dirty Ballast を取り、南支那海で好天の日に約 6 個のタンクを Cleaning し、直ちに Clean Ballast を取るか、またはペルシアのオーマン湾でこれを行い、次に残りの Dirty Tank を Cleaning してラスタヌラに到着、積荷、帰途につくと云う段取りの由であったので、6 C. Tank の Clean Ballast 期間は約 2 週間と仮定し、年間 8 航海とすれば 120 日間の Ballast となり、これが陽極の実働日数となるのであるが、陽極の出力を制限しないで取り付ければ、Coating は早く付く代りに陽極の消耗が早く 100 日ももてなくなる筈である。

従つて半年後の入渠時に、同タンク内の全表面を防蝕するだけの Mg 陽極を新しく取付ける予定にして、一応計画が決定した。

この間、船主側の防蝕に対する理解と熱意は著しいもので、遅滞なくことが運んで、出港までに 10 個の陽極はそれぞれの位置に固定された。

(2) 陽極とその取り付け法

使用陽極～25 ポンド 国産陽極 10 個

これは止むを得ず国産にしたもので、地金は Dow の Mg インゴット、鋳造は三菱日本重工業横浜造船所で自家製のフラックスを使用して溶解し、Dow の角型陽極に似せて作つた。

被防蝕面積～目標は 410 m^2 ($4,420 \text{ ft}^2$) であるが、バラストを Tk 一杯に取れば、遠方へも電流が流れるので、相当広範囲となり電流密度は減少すると思われるが、この場合止むを得ないとした。

取付方法～船体に直接ボルトを立てる方法もあるが、重要部分の水密が保たれない懼れがあるので、取付台を作り、陸上で充分注意しながら組立てて、船内へ運び接続した。この方法であれば今後の移動取外し取替に便利で、仕事も町寧にやれると考えられる。

成分分析表～

Mg 合金	成分(%)	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	その他の不純物	Mg
Dow Chemical Co. 規 格	5.3~6.7	2.5~3.5	>0.15	<0.3	<0.05	<0.003	<0.003	<0.3	残 余	
國產陽極(横船分析)	6.28	2.99	0.15	0.06	0.003	—	0.02	—	90.49	
Dow Metal Sample (長 船 分 析)	6.86	3.03	0.81	0.04	0.01	nil	0.01	—	残 余	

陽極附属品の検討～Mg 合金の下に敷く絶縁板は確質化ビニルシートに決定した。バタワースの温度から考えて大丈夫との判断ができたからである。Back fill として PA 511 を用いたが適当でなく、以後は防水キヤップと合成ゴムによる方法に改良するのが当然と思われた。

3. 対海水電位の測定

これは工事の Check として行われるもので陽極取付後海水を張つた中で鋼材表面の電位が防蝕電位まで低下したか否かを調べるものであるが、期日の余裕がないので約 68.5 時間にわたり陽極上面から約 200 mm 深さに漲水して通電した。

水 温 17°C 気 温 18°C

pH 約 6.2 (試験紙にて)

比抵抗 24.0Ω cm (15°C にて)

測定には高抵抗ミリボルト計と硫酸銅電極 (Half Cell) を使用し、(−) 側を船体にとり (+) 側を硫酸銅電極に結び、これを水中にある鋼材面の各点に接触させて電位を記録した。

結果は予定した被防蝕面積の範囲内で -700 ~ -800 mV 程度の電位降下が見られ、陽極の近くでは一部に白い Coating の附着を認めた。また Mill scale が浮き上つて容易に剝離するものもあり、防蝕電流の作用が明かに認められ、更に分極作用が進めば、軟鋼の対海水電位は防蝕電位 -850 mV 以下になるものと予想される。

4. 本船就航後の調査

Tanker のタンク内部は一旦就航すると、隨時点検できないので防蝕状況の調査は仲々厄介なのであるが、本船側の絶大な協力によつて 4 航海にわたる記録をとることができた。

調査を依頼した諸項目は

- (1) 6.C タンクの使用経過
- (2) Ballast Water の採取と測定
- (3) Mg 陽極の消耗状況 (スケッチ、寸法測定)
- (4) Coating 形成の状況と成分分析
- (5) 概 惡

以上を各航海毎に記入できるような用紙を作つて渡し、帰国の都度長崎造船所、日本防蝕工業に送附して貰うようにした。

5. 調査結果

(1) 6番センタータンク使用経過

航 次	項 目	塔 載 物	場 所	年 月 日	量	記	通 算 日 数		
							海 水	貨 油	空 船
一 次 航	海水バラスト	長崎港	28.11.1	89 KT	注水				
	海水バラスト	こしき列島沖	28.11.8	595 KT	注水				
	海水バラスト	南支那海	28.11.12	850 KT	注水				
	海水バラスト Stabilized Arabian Crude oil	ラスタヌラ	28.11.25	1,534 GrossKL	排水				
	Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	28.11.25	485.35 Gr.KL	積荷				
	Stabilized Arabian Crude oil	横浜	28.12.16	777.35 Gr.KL	揚荷	24	21	0	
二 次 航	海水バラスト	オーマン湾	29.1.3	1,524 KT	注水				
	海水バラスト Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	29.1.5	1,524 KT	排水				
	Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	29.1.5	1,464 Gr.KL	積荷				
	Stabilized Arabian Crude oil	横浜	29.1.15	1,457.79 Gr.KL	揚荷	2	20	18	
三 次 航	海水バラスト	オーマン湾	29.2.12	1,586 KT	注水				
	海水バラスト Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	29.2.17	1,586 GKL	排水				
	Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	29.2.17	991.22 GKL	積荷				
	Stabilized Arabian Crude oil	横浜	29.3.9	1,208.03 GKL	揚荷	5	20	18	
四 次 航	海水バラスト	アラビア海北部	29.3.26	1,517 KT	注水				
	海水バラスト Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	29.3.29	1,517 GKL	排水				
	Stabilized Arabian Crude oil	ラスヌタラ	29.2.17	837 GKL	積荷				
	Stabilized Arabian Crude oil	横浜	29.4.18	1,185.21 GKL	揚荷	3	19	18	
	空船	長崎	29.5.1	Dock in					13

計 34日 + 80日 + 67日 = 181日

注：揚荷量が積荷量より多いものがあるが、これは航海中マリムの関係で他より流し込んだからである。

上記の記録から考えると、一航海について、Crude oil の入っている期間が 20 日、海水バラスト若くは空船の期間が 22 日という平均になる。バラスト期間が一次航以外は短くて、予定の 2 週間バラストと違つたのは、従来南支那海で行つた Tank Cleaning を印度西岸で行い、鋼材面をできるだけ、長い間油膜で保護しようとする本船側の方針によるものである。

Tank Cleaning 後注水せずに空船にしておいた日数のみ拾うと合計 38 日となるが、この期間が最も腐蝕し易い状況にあるわけである。

(2) Ballast water について

pH については何れの場合も中性からややアルカリ性を示し、また従来比抵抗は $20 \Omega \cdot \text{cm}$ をとつ

ていたが、バラスト水の温度が一定しないので決定的ではなく、おそらくそれ以下の数字をとつてもよいのではないかと思われる。

航 次	採取年月日	採 取 場 所	水 温	pH (本船)	pH(Beccman 計) 自 本 防 飽	比 抵 抗 (Ω·cm)
一 次 航	28.11. 9	甑 列 島 沖	26.5°C	8.3*	7.79 (12.3°C)	25.0 (13.5°C)
	28.11.12	南 支 那 海	30.0°C	7.9*	7.89 (12.3°C)	25.0 (13.5°C)
	28.11.25	ラ ス タ ヌ ラ	26.7°C	9.0*	7.97 (12.3°C)	25.3 (13.5°C)
二 次 航	29. 1. 3	オ ー マ ン 湾	24°C	7.6*	8.1 (10°C)	26.7 (10°C)
	29. 1. 5	ラ ス タ ヌ ラ	21°C	7.6*	7.7 (10°C)	25.8 (10°C)
三 次 航	29. 2.13	オ ー マ ン 湾	18.3°C	7.0△	8.0 (9°C)	24.2 (10°C)
	29. 2.16	ラ ス タ ヌ ラ	16.7°C	7.0△	8.1 (9°C)	23.6 (10°C)
四 次 航	29. 3.26	ア ラ ピ ア 海 北 部	27.0°C	6.8△	7.6 (?)	
	29. 3.29	ラ ス タ ヌ ラ	19.0°C	6.6△	7.6 (?)	

*印は pH 計の故障時の値だから探らないよう本船より申し入があつた。

△印は試験紙によるものである。

(3) 陽極の消耗状況（測定寸法から算出）

浸漬番号	0 日	24 日	26 日	31 日	34 日	入渠時の表面状態	入渠時の抵抗値 (Ω)
1	100	67	70	65	63	凸凹多し片減	0
2	100	78	83	71	68	凸凹多し	0
3	100	78	74	68	63	割にきれい	0.011
4	100	60	60	54	54	表面きれい	0
5	100	84	79	74	70	凸凹多し	0.022
6	100	82	78	77	76	凸凹多し	0.030
7	100	75	65	75	73	凸凹多し	0.007
8	100	83	77	75	74	凸凹特に多し	0.702
9	100	80	78	76	75	凸凹多し	0.420
10	100	80	77	72	72	凸凹多し	0.047

最初に Mg 体積を 100 とし、各航次に測つた寸法から求めた体積を%として示してある。

Mg 陽極の消耗の状態は上表の通りであるが、寸法測定の誤差があるので不合理な数値もある。陽極表面の甚しい凸凹は Mg 自身の分析腐蝕及び組織の問題を示していると思われるが、No. 4 陽極だけは形状も整い表面も均等に消耗しており、理想的な活動をしたものと想像される。国産陽極であつても No. 4 のような減り方であれば文句はないので、本船側から「蛸の頭のような凸凹がある」と批評された陽極は矢張り完全な製品とは云えないであろう。

この 10 個を取り外した後、取付台と陽極の間の抵抗を測つたのが表中右端の数字で抵抗座金を入れてなく、組立状態も堅固であるにも拘らず、相当の抵抗値を示したのは、Mg 中に鋳込んだ芯金が

Mg とよく接触していないためと判明した。No. 8, 9 などは、異状に抵抗大きく電流を遮られて防蝕効果が薄かつたことと思われるので、このような小電流を扱う工事は特に注意を払わねば船底保護面鉛のように不経済なものとなる危険がある。

表面の凸凹は抵抗の大きいものに進しい傾向もあるようである。

全体的にみて陽極消耗は約 30 % で、まだ使用できる状態にあつたので、この 10 個を取付台ごと 1 番センタータンクに移設した。

6 番センタータンクには、Dow の Galbo Slab 15 S と云う角型陽極が出力 1.3 A.Y. に制限されて 100 個新設された。

(4) Coating 形成の状況と成分分析

1 次航～

船底部、艤寄りの半分、即ち初期の被防蝕面積程度には薄い Coating ができたけれども、ミルスケールは余り落ちていなかつた。鋼材面の錆は他のバラストタンクに較べて非常に少く、従つて船底に溜る泥状の錆も他のタンクの 1/4 程度であつたと報告されている。他のタンクには厚さ 30 m/m 位溜つた由である。

2 次航～

Coating の範囲が減つて陽極の周囲約 1 米四方位となつてゐる。理由はバタワースによつて、表面に Coating の附いたスケールが落ちたのか Coating そのものが落ちたためと思われる。但し鋼材面の錆は殆どない由。

3 次航～

2 次航の場合と同じ観察記録である。

4 次航～

1 次航後約 10 日間のバラスト期間を経ているが、予定した面積には油分で着色した表面を scrap すれば明かに白色 Coating が現れる。Bhd. Plate も底面上約 3 m 位は Coating が認められた。この Coating を詳細に見ると鋼材表面の薄く滑かなミルスケールの表面を覆い、その外から油膜や錆が覆つている状態のものが大部分で、ミルスケールの剥げた所は直接鋼材の地肌に Coating が付いているのが判つた。この Coating の付き方であつても、錆の発生は明かに少く、他のタンクと比較して差別がつけられる。しかし或る電流密度では、ミルスケールが剥げ落ちると云われてゐるから最初予想した通り陽極数が不足であつたためであろう。陽極の附近には溶けた Mg が油に混じて堆積しており、バタワース時に取除き難かつた由であるが、この辯は止むを得ないので Stripper でよく洗つて欲しいものである。

防蝕効果がはつきり判るのは鋼材の「かど」が立つてゐることと、附いているミルスケールがハンマーで叩くと比較的容易に剥げて綺れいな地肌が現われることである。また Pitting は今までのところ見出せなかつたが、同航路の同型船では半年後に既に Stiffener 上面の Pitting が現れてゐる。

H. A. Humble の論文によれば Coating の成分が Ca 塩と、Mg 塩の等量またはそれに近いとき理想的な Coating となると述べており、そのための電流密度を示してゐるが、F. L. Laque は

“防蝕被膜形成には最大、または最小と云つたはつきりした電流密度は決められないと信ずる、電流は事情に応じて決めればよい”と述べて $11 \text{ mA}/\text{ft}^2$ で鋼製タンク内部に Coating を作り 2ヶ月間 $4 \text{ mA}/\text{ft}^2$ に落した例をあげて 低電流密度でも充分防蝕可能なことを説いている。べるしや丸の場合は電流密度が足りないことは明かであるが、それでも Coating は出来、防錆効果のあつたことは上述の説を裏付けたものと云えよう。

Coating の分析

採取場所	航次	Na_2O	CO_2	SiO_3	Cl	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	SO_3	CaO	MgO
陽極付近 (約 1m 以内)	1	0.53	10.88	—	0.60	—	32.7	6.08	1.01	12.88	16.09
	2	1.69	11.08	0.68	0.56	3.02	43.28	9.20	0.62	12.06	9.58
	3	—	7.20	0.72	0.18	0.37	52.18	9.62	1.58	12.46	2.38
	4	—	13.70	2.82	0.20	0.21	31.77	11.59	1.72	14.62	8.61
陽極付近 (約 1~2 m)	1	0.16	2.97	—	0.48	—	75.62	6.66	0.46	2.62	1.56
	2	1.86	7.90	0.60	0.88	1.50	57.33	14.80	0.45	6.82	1.66
	3	—	4.86	1.10	1.57	0.26	60.43	13.81	0.89	4.34	1.50
	4	—	5.44	1.00	0.18	0.26	64.46	6.17	1.65	4.74	2.27
陽極遠方 (約 2~4 m)	1	0.36	3.33	—	0.94	—	72.37	12.08	0.67	3.46	1.55
	2	1.64	3.30	0.26	0.88	1.69	34.33	39.94	0.59	2.58	1.37
	3	—	5.80	0.68	0.18	0.16	64.14	11.59	0.72	4.14	1.33
	4	—	5.02	0.94	0.49	0.42	60.94	9.62	1.23	5.48	2.46

(数字は%を示す)

Coating 採取位置を予め厳密に示さなかつたので、陽極からの距離が不確定なのであるが、4航次の資料から比較的似通つた場所のものを集めたのが上表である。Ca 塩と Mg 塩の比率 Coating 中で占める%，錆の占める%など、場所による差が表われているのが判る。この Coating はバタワースその他の外力で剥離してもバラスト時に其処に集中的に電流が流れるので、すぐに補修される。しかし電流の節約のためにはできるだけ剥離させない考慮が大切と思われる。上表の Coating 中の Ca, Mg 成分比は Humble の Curve によると Useful Coating の範囲に入つている。陽極附近では Best Coating の範囲内である。従つて大電流密度で短期間に Coating を作る方法でなくとも、小電流で時間をかけければ、Coating に関しては目的を達することが判る。ただ Coating がすべて、ミルスケールの落ちたあと軟鋼地肌に附着した状態を以つて、完全な Coating とするならば電流密度を上げるか、更に長期間のバラストを行つて調査する必要がある。

(5) 概況

報告用紙には概況を知るために、6番センタータンクからの Scale の排出量を記入してもらうことにしていたが、本船は新船であるために、Scale は少く排出する程の量を見ていらない。個々の概況は(1)～(4)までに述べた通りで、本船側として明かに効果を認められ、Cathodic Protection に対する理解も深くなつた次第である。試験としては、6ヶ月の期間が短かすぎたことと、調査項目選

定の不備のために、詳細な資料を作り得なかつたのは残念であるが、具体的な防蝕効果を説明するに足るものと考えている。

III. すまとら丸のタンク防蝕記録

この記録は乗員と造船所修繕部の第3者的立場から Mg 陽極と Lon-tight 塗装を試みた以後の経過を肉眼的に観察し評点でその効果を示したもので、精度は数字的に表示されないが、防蝕しない場合との比較が総合的な観察結果として示されている処に特長がある。防蝕工事は最初不足気味であつたので、後に一部追加している。

経過

30年4月防蝕工事実施

No. 1 C.T. No. 4 C.T. No. 6 C.T. No. 8 C.T. No. 9 C.T. に Mg 陽極各 20 ケ装備。

No. 2 W.T. No. 4 C.T. No. 9 C.T. に Lon-tight 施工。

30年9月 中検の際調査し記録 (Fig. 3・4) を得た。No. 1 C.T. に 8 ケ、No. 6 C.T. に 10 ケ Mg 陽極を追加す。

31年8月 第2回の調査をして記録 (Fig. 3・5) を得た。

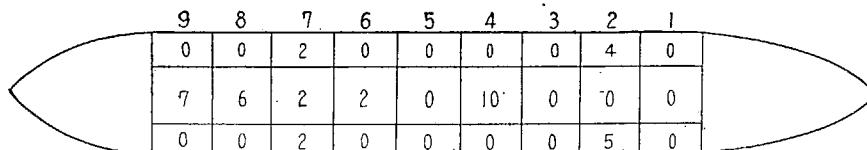
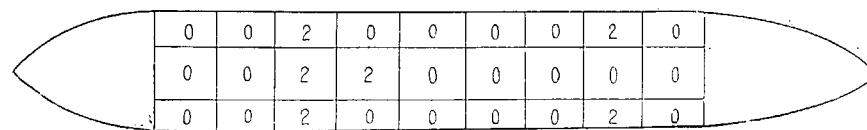


Fig. 3・4 油船内腐蝕現状 (30年9月中検)
Condition of tank corrosion Sep. 1955)



合入渠時 (30年4月) 以降の腐蝕の進行状況
Corrosion rate of the tank (from April '55 to Sep. '55)

註：1. 一番腐蝕の進んでいる No. 4 C.T. を 10 として各タンクを比較してみると、大体上表の如くである。
しかし最大腐蝕タンク No. 4 C.T. と雖も殆んど問題とする程腐蝕はしていない。

Note: 1. Visual impression of corrosion rate and condition of corrosion are expressed by degree referring the worst tank No. 4 as 10. The condition of No. 4 tank is not so bad, the corrosion is very slight.

2. 防蝕状況 (Preventive device)

No. 1. C.T.		No. 2. W.T.	
No. 4. "	Cathodic Protection (各タンク Mg 陽極×20)	No. 9. C.T.	
No. 6. "		No. 4. "	Lontight
No. 8. "			
No. 9. "			

今回 No. 1 C.T. に 8 ケ、No. 6 C.T. に 10 ケ Mg 陽極増設

8 Mg Anodes to No. 1 centre tank, and 10 Mg Anodes to No. 6 centre tank are added on Sept. 1955.

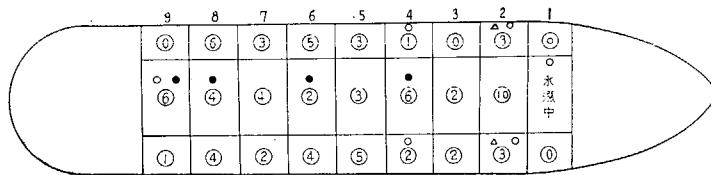


Fig. 3・5 すまとら丸油槽内腐蝕状況 (Aug. 6, '56)
(condition of tank corrosion)

註：上表腐蝕調査は主として Pitting Corrosion を対称として検査した。

Note: The survey was performed considering the pitting corrosion essential.

No. 2 C.T. の腐蝕を ⑩ として他のタンクを比較した。但し ⑩ と雖も Pitting Corrosion は左程大したことではない。

The degree expressed referring the condition of No. 2 C.T. as ⑩, but its condition is not too bad.

● Mg. 陽極取付タンク (Mg Anode installed)

○ Lon-Tight 塗装タンク (Lon-Tight painted)

△ 今回 Mg 陽極新設したタンク (Mg Anode added this time)

なおこの間のバラスト回数及びクリーニング回数は Fig. 3・6, 3・7 に示す通りである。

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	63	46	33	77	34	37	33	5	22
2	4	5	3	0	5	3	7	56	10
3	3	4	3	3	3	3	4	7	3
1	1	4	10	7	36	2	0	35	10
2	89	52	7	103	4	86	11	0	76
3	9	9	4	9	3	9	4	3	9
1	63	46	33	77	34	37	33	5	22
2	4	5	3	0	5	3	7	56	10
3	3	4	3	3	3	3	4	7	3

Fig. 3・6 すまとら丸 Cargo Oil Tank Ballast Data
(No. 1—No. 10 Voy. 8—15—'54~8—31—'55)

Remark; 1. Dirty Ballasted Days

2. Clean

3. Number of Tank Cleaning.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	21	31	0	40	31	0	31	0	0
2	4	5	0	0	5	0	7	0	3
3	1	2	1	1	1	1	2	0	1
1	0	0	0	0	10	0	0	10	4
2	29	36	0	41	0	36	0	0	36
3	3	3	1	3	1	3	1	1	3
1	21	31	0	40	31	0	31	0	0
2	4	5	0	0	5	0	7	0	8
3	1	2	1	1	1	1	2	1	1

Fig. 3・7 すまとら丸 Cargo Oil Tank Ballast Data
(Voy. No. 7~Voy. No. 10 after Dry Docking)

Remark; 1. Dirty Ballasted Days

2. Clean " "

3. Number of Tank Cleaning

3・2 基礎的研究

前記の通り Mg 陽極による防蝕方法は既に実用実験の域に達しているが、タンク上面等海水に浸されぬ部分及び新造中タンク水圧試験後就航するまでの期間内タンク全面はこの方法によつては理論的にも防蝕されないことになる。これに対して最近急速な発達を示しつつある抑制剤を使用できれば

面白いので簡単な基礎実験を試みた。タンクのような容積の大きなものに海水に抑制剤を溶かすのでは高価になるが、海水の表面に油性の抑制剤を浮かせれば船の動揺によつて水面と空気と接する部分を塗布することになり、操作も簡単で量も少くて済み、経済的にも実効が挙るのではないかとの予想に基づくものである。結果は若干不満な点もあつたが相当の効果は期待できるので、この結果に關係なく実船実験も実施することにした。抑制剤は種類も多く改良に改良を重ねられつつあるから、この実験だけで結論を下すのは尙早である。

(1) 供試品

タンク防蝕剤	PTC	No. 1	浮遊用
"		No. 2	"
"		No. 101	水圧試験用
"		No. 102	" 及び塗装用
"		No. 1001	" "

(2) 試験成績

(2)-1 浮遊試験

(i) Fig. 3・8 の如く鉄板製小型容器に合成海水を入れ、その上に防蝕剤を浮遊させ、1日1回程度容器を振とうした。14日間経過後内部を調査したところ防蝕剤の附着した水面附近には全然発錆はなかつた。容器内の水面附近に吊した試験片の腐蝕量を調査したところ次の通りであつた。なお容器は室内に置いてあつたために冬期は温度の変化は大きく日中はストーブのため20°C以上となり、夜間は0°C附近に下つた。

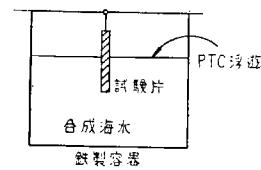


Fig. 3・8

防 蝕 剤		腐 蚀 量		防蝕率	備 考
種 類	量	全 量 (gr)	単位当たり (gr/cm²)	(%)	
PTC No. 2	0.2	0.0106	0.000331	86.3	6.24～7.7
"	0.4	0.0049	0.000153	93.7	
"	1.0	0.0065	0.000203	91.6	
なし	0	0.0773	0.002415	—	
PTC No. 1	5.0	0.0032	0.000100	95.9	12.10～12.24
PTC No. 2	3.0	0.0051	0.000160	93.4	
"	5.0	9.0077	0.000241	90.0	

註：PTC の付着した部分は発錆なく防蝕率は殆んど 100% であるが、容器を振とうしても試験片の上端と下端は水面と接することが少なく、PTC が付着しないため発錆するので防蝕率はこれに影響された。

(ii) 船舶に使用した場合を想定して上記容器を木箱に入れ、プールの上に浮かせて試験した。その場合も前記と同様 PTC の付着部には腐蝕は皆無であつた。試験片の腐蝕は次表の通りであつた。

防 蝕 剤		腐 蚕 量 (gr)		防 蚕 率	備 考
種 類	量	全 量 (gr)	単位当り (g/cm ²)	(%)	
PTC No. 1	5.0	0.0020	0.000063	96.4	1.9~1.23
" No. 2	5.0	0.0029	0.000091	94.8	
な し	0	0.0559	0.001749	—	

(2)-2 水圧試験

鉄製容器の底部に小孔を開け、PTC を浮遊させた。容量内の合成海水を排除した後長期間放置し容器及び試験片の腐蝕状況を調査した。

(i) 水面降下速度 1 m/h にて海水を排除した後、10 日間屋外に放置した場合の試験片の腐蝕量は次の通りであつた。

防 蚕 剤		腐 蚕 量 (gr)		防 蚕 率 (%)		備 考
種 類	量	中 央 部	底 部	中 央 部	底 部	
PTC No. 101	1.5	0.0009	0.0010	94.5	90.0	1.28~2.7
" No. 102	"	0	0.0012	100	87.7	
" No. 1001	"	0.0005	0	97.0	100	1.28~2.7
な し	0	0.0164	0.0098	0	0	

註：中央部に使用した試験片は表面積約 30 cm²、重量 32 gr のものであり、底部に使用したものは表面積約 10.6 cm²、重量 12 gr のものである。

(ii) 容器内試験片を中央部及び底部共各 3 個としてその内 1 個は排水後取り出して屋外に放置した。残りの 2 個はそのまま実験室に置いたままで 1 及び 2 ヶ月後の腐蝕量を計測した。

番 号	防 蚕 剤	水温	速 度	1 カ 月 の 腐 蚕 量 (実 験 室)				
				中 央 部		底 部		
	種 類	量	(°C)	m/h	全 量(g)	防 蚕 率(%)	全 量(g)	防 蚕 率(%)
1	PTC No. 101	1.5	10	0.9	0.005	90.9	0.0025	87.6
2	"	"	"	3.7	0.0019	96.5	0.0016	92.1
3	"	"	20	0.9	0.0032	94.2	0.0015	92.6
4	PTC No. 102	"	10	0.9	0.0028	94.9	0.0016	92.1
5	"	"	"	2.0	0.0024	95.6	0.0016	92.1
6	"	"	"	3.7	0.0019	96.5	0.0020	90.1
7	"	"	20	0.9	0.0019	96.5	0.0014	93.1
8	PTC No. 1001	"	10	0.9	0.0017	96.9	0.0016	92.1
9	"	"	"	2.0	0.0016	97.1	0.0016	92.1
10	"	"	"	3.7	0.0007	98.7	0.0019	90.6
11	な し	0	"	0.9	0.055	0	0.0202	0

番 号	2カ月の腐蝕量(実験室)				1カ月の腐蝕量(屋外)			
	中央部		屋外		中央部		屋外	
	全 量 (g)	防 蝕 率 (%)	全 量 (g)	防 蝕 率 (%)	全 量 (g)	防 蝕 率 (%)	全 量 (g)	防 蝕 率 (%)
1	0.0097	94.0	0.0022	96.9	—	—	0.008	81.9
2	0.0045	93.2	0.0079	88.8	—	—	0.0106	76.0
3	0.0088	94.5	0.0044	93.8	0.0307	73.9	0.0053	88.0
4	0.0055	96.6	0.0035	95.0	0.0516	56.1	0.0064	85.5
5	0.0015	92.9	0.0028	96.0	0.0424	64.0	0.0056	87.3
6	0.0038	97.6	0.0041	94.2	0.030	74.5	0.0032	92.8
7	0.0056	96.5	0.0051	92.8	0.0284	75.9	0.0083	81.2
8	0.0012	99.3	0.0018	98.3	0.0231	80.4	0.0023	94.8
9	0.0043	97.3	0.0021	97.0	0.0307	73.9	0.0032	92.8
10	0.0045	97.2	0.0034	95.2	0.0424	64.0	0.0052	88.2
11	0.1616	0	0.0706	0	0.118	0	0.0442	0

註：本表中水温としたのは容器内合成海水の温度である。また速度とは水面の降下速度で試験中の最大値を示した。

(2)-3 塗布試験

PTC を試験片に塗布して腐蝕量を計測した。

(i) 塗布後屋外に放置した場合の腐蝕量は次表の通りであつた。

防 蝕 剤 種 類	腐 蝕 量		塗 布 量 (g)	備 考
	全 量 (g)	防 蝕 率 (%)		
PTC No. 102	0.0064	94.8	0.0572	—
" No. 1001	0.0050	95.9	0.0606	5.19~6.6
なし	0.1220	0	なし	

(ii) 塗布後1ヶ月間屋外及び実験室内に放置した場合の腐蝕量は次表の通りであつた。

防 蝕 剤 種 類	試験片場所	腐 蝕 量		塗 布 量 (g)	備 考
		全 量 (g)	防 蝕 率 (%)		
PTC No. 102	実験室内	0.0017	92.7	0.0424	—
" No. 1001	"	0.0016	92.6	0.0694	
なし	"	0.0217	0	なし	8.17~9.18
PTC No. 1001	"	0.0105	94.6	0.0671	
なし	"	0.1947	な し	0	

(iii) 塗布直後及び1, 3日目に合成海水中に1日間浸漬した後実験室内に1ヶ月間放置して腐蝕

量を計測したところ次表の通りであつた。

塗布より浸漬までの日数	防 蝕 剤	腐蝕量 (g)	防蝕率 (%)
0	P T C No. 102	0.0105	95.8
1		0.0195	92.2
3		0.0246	90.1
0	P T C No. 1001	0.0060	97.6
1		0.0110	95.6
3		0.0061	97.5
—	な し	0.2485	0

(3) 結 言

(3)-1 PTC を浮遊させて使用すると、水面附近は防蝕剤を反復使用することになるので防蝕は良好である。それ故空気と水とに交互に触れるため、比較的腐蝕の多い水面附近を有効に防蝕し得る。

(3)-2 水圧タンク等に使用することは防蝕剤を水に混合する場合に比べ、比較的少量の防蝕剤でかなり濃度の高い防蝕剤をタンクに附着せしめ得る上、塗装等の手間がかからない等の利点がある。なおこの用途に使用する場合は防蝕剤が附着する機会は漲水と排水時の短時しかないから、水温、粘度、界面張力、使用量、水面降下速度等に対し、相互関係を慎重に考慮する必要がある。

(3)-3 塗布して使用する場合も極めて有効で、室内等の雨水のかからないところでは数ヶ月の防蝕が容易であるが、屋外の場合は状況によりかなり差がある。

なお本研究と時期を同うして三井造船玉野造船所に於て、重野委員、久松委員、左右田委員の指導の下に Zn 陽極による大型模型水槽の防蝕実験が行われた。当部会の研究と不可分の関係にある貴重な研究資料であるから題目と出所を記して置く。

“海水タンク陰極防蝕試験第1報 アマルガム化アルミニウムによる電解被覆と高純度亜鉛陽極の併用”，防蝕技術第5巻第5号、昭和31年10月。

“Boosting Anode としてのアマルガメーテッドアルミニウム陽極”，防蝕技術第5巻第5号、昭和31年10月。

3・3 実船実験

Mg 陽極によるタンクの防蝕は 3・1 腐蝕状況並に防蝕状況の調査に記したように、既に或る程度実用実験の域に入つている。しかし実験後未だ日が浅いので、広範囲に余り精しい正確な資料を取揃えることは困難なので、比較的資料の揃つている3船の例を挙げるに止めたのであるが、現在 Mg 陽極材料は未だ国産化されておらず、これを Zn 陽極に置換えることができれば、更に望ましい。また電気防蝕の効果が期待できない部分に抑制剤が活用できれば、その欠点も補い得るので、この二点を重点的に考えて、次に記すような実船実験を実施した。

船名	試験の種類
さんべとろ丸	電気防蝕及び防蝕剤比較試験
あらびあ丸	Zn 及び Mg 陽極による防蝕試験
ぼるねお丸	"
贈山丸	Zn 陽極と防蝕剤比較試験

(1) さんべとろ丸試験

本船では寒タンクの外ビーカに試験片を吊したものと船に乘せた航海の試験を行つた。その成績の大要は次の通りであつた。

(a) ビーカによる試験

(i) 第1回は次表の通りで防蝕剤の効果及び実験室で使用している合成海水とパラストに使用した海水の差を調査したところ防蝕剤の効果は少く、また合成海水と海水の差は少なかつた。

Table 3・6 ビーカ試験第1回の腐蝕量

試験液	防蝕剤種類	試験日数 (日)	腐蝕量	
			重量(g)	単位面積当り(g/cm ²)
合成海水	なし	50	0.219	0.00687
"	inhibitor A	"	0.227	0.00711
海水	"	"	0.22*	0.0044
海水原油	"	海水 16 日 原油 34 日	0.16*	0.0032
海水	inhibitor B	50	0.624	0.0195

註: * は試験片の表面積が異なる。inhibitor は 100 ppm

(ii) 第2回は電気防蝕及び防蝕剤を使用した外、電気防蝕には浮遊性防蝕剤の併用も行つた。そ

Table 3・7 ビーカ試験の第2回腐蝕量

試験片種類	防 蝕 方 法	腐 蝕 量		防 蝕 率 (%)
		重量(g)	単位面積当り (g/cm ²)	
全 沢	inhibitor A	100 ppm	0.3302	0.010996
"	"	200 "	0.3018	0.01005
"	" B	100 "	0.2761	0.009094
"	Zn 陽極	1 cm ²	0.0317	0.001056
"	Zn 1 cm ² +PTC	1.6 g	0.0061	0.000203
"	ブランク		0.2661	0.01053
半 沢	inhibitor A	100 ppm	0.4236	0.014106
"	"	200 "	0.3949	0.01315
"	" B	100 "	0.3944	0.013133
"	Zn 陽極	1 cm ²	0.0370	0.001292
"	Zn 1 cm ² +PTC	1.6 g	0.0084	0.00028
"	ブランク		0.4581	0.015255

のため水面附近の腐蝕量を比較するため試験片の一部は水中、空気中半々に漬るようにした。試験成績は Table 3・7 の通りで電気防蝕が最も有効であり、浮遊性防蝕剤も効果があつた。

(b) カーゴタンク

(i) 第1回は No. 3C タンクには 51D の Mg 陽極 14 個を No. 5C タンクには防蝕剤 A を第1航海で 100 ppm 2回以後は 30 ppm 使用した。防蝕剤 B は第1回に 100 ppm 以後は 50 ppm 使用した。4 航海後試験片を取出して調査したところ Table 3・8 の通りであつた。

Table 3・8 さんべとろ丸第1回タンク内試験片の腐蝕量

タンク番号	防 蝕 法	試 験 片	腐 蝕 量		防 蝕 率 (%)
			(g)	(g/cm ²)	
No. 3C	Mg 陽 極	No. 1	36.5	0.0354	81.5
"	"	" 2	22.0	0.0214	88.2
"	ブ ラ ン ク	" 3	197.0	0.1912	0
No. 5C	防 蝕 剤 A	" 4	43.5	0.0422	77.9
"	" A	" 5	105.0	0.102	46.7
No. 6C	" B	" 6	40.0	0.0388	79.7

(ii) 第2回は No. 3C タンクに浮遊性防蝕剤、No. 7 左舷タンクに防蝕剤 A を 100 ppm., No. 7 右舷タンクに防蝕剤 B を 100 ppm 使用して比較したがいずれも大差なかつた。

Table 3・9 さんべとろ丸第2回タンク内試験片の腐蝕量

タンク番号	防 蝕 方 法	腐 蝕 量	
		全 量 (g)	単位面積当り (g/cm ²)
No. 3C	浮遊性防蝕剤	1.808	0.0165
No. 7C	防 蝕 剤 A	2.154	0.0198
No. 7S	" B	2.016	0.0185

(2) あらびあ丸及びぼるねお丸試験

電気防蝕の効果を調査すると共に Mg 陽極及び Zn 陽極の性能を比較した。

(i) 実験に使用したタンク及び流電陽極の取付け状態は Table 3・10 の通りであつた。

Table 3・10 タンク及び陽極

タ ン ク	船 名	あ ら び や 丸		ぼ る ね お 丸	
		番 号 (No.)	No. 5-S	No. 5-P	No. 2-P
	容 量 (m ³)	約 450	約 450	771	771
	大 き さ (m)	5.4×7×12	同 左	約 5.6×11×12.5	同 左
	表 面 積 (m ²)	590	590	830	830

船名		あらびや丸		はるね丸	
陽	種類	Zn	Mg	Zn	Mg
	型式	CPZ 15 FT	15 S	CPZ 15 FT	15 S
極	1側の重量	16.5	6.5	16.5	6.5
	個数	38	20	59	22
計	全電量	627	130	990	143
	抵抗	なし	0.1Ω	なし	なし
面	発生電気量 (Ah)	464,000	143,000	733,000	157,000
	防錆電流 (A)	26.2	40.0	40.7	66
	〃 (mA/m²)	44.3	67.8	49	79.5
	使用期間 (年)	2.0	0.47	2.0	0.31

註：1. 防錆電流 (mA/m²) はタンク単位面積当たりの防錆電流を示す。
 2. 使用期間は連続使用の場合極板が全部消費する期間である。実際の場合は年間のパラスト期間が 100 日あまりであるから使用期間はこの数倍になる。

(ii) 陽極を取付けたあと電位を調査したところ Table 3・11 の通りで Zn 板の方が電位が低く良好であつた。

Table 3・11 油槽船タンクの電位

船名	計測日時 注水より (日)	計測位置 底より (m)	Mg 陽極			Zn 陽極		
			最高	最低	平均	最高	最低	平均
あらびや丸	0	0	980	640	762	820	630	760
		1	820	585	740	920	735	848
		2	700	520	593	1000	730	808
		3	620	500	555	860	690	761
(No. 5-S) P	1	0	1,020	680	841	910	800	840
		1	860	670	825	930	850	905
		2	780	650	723	940	830	870
		3	820	640	693	880	780	838
はるね丸	3.5	0	1,140	720	881	900	840	871
		1	940	730	874	940	880	913
		2	880	700	778	960	840	893
		3	800	650	734	920	830	865
(No. 2-S) P	4	0	880	690	782	870	760	821
		1	880	705	791	950	790	849
		2	840	695	745	870	710	783
		3	780	670	733	770	670	716
		4	760	645	697	755	675	707

(iii) あらびあ丸は流電陽極を取付けて約 6.5 ケ月間就航した後、日立因島工場に入渠したのでその状況を調査した。

a) 試験タンクの電位を計測したところ Table 3・12 の通りで陽極に近い部分を除いては電位は著しく高かつた。

Table 3・12 No. 5 タンクの電位

深さ	No. 5 P タンク (Mg)					No. 5 S タンク (Zn)				
	A	B	C	中央	平均	A	B	C	中央	平均
1 (底面)	713	745	762	674	724	680	718	666	720	696
2	695	718	703	568	671	572	795 (最高820)	700	770	709
3	531	566	571	486	538	490	665	615	605	594
4	446	470	465	431	453	444	550	529	482	501
5	391	410	406	405	403	392	480	436	415	430
6 (水面)	375	380	388	404	387	383	400	405	380	392

(備考) 数字は飽和甘汞電極を基準とした電位-mV である。

b) 試験タンクの外 No. 2 C タンク(Mg 陽極 15 S, 24 個を抵抗なしで取付けてある約 1,000 t のタンク)で満水状態で電位を計測したところ Table 3・13 の通りで電位は更に高かつた。

Table 3・13 No. 2 タンク 電位

深さ	1 (底面)	2 (0.5)	3	4	5	6	7	8	9	10	11
電位	601	640	572	480	438	412	393	377	368	360	358

c) タンク内水面近くの電位は著しく高かつたので、水面附近の水溜り、発錆した部分等の電位を計測したところ次表の通り高かつた。特に油滓の附着している部分の電位は高い。

Table 3・14 タンク内部の電位

タンク番号	No. 5 P タンク			No. 5 S タンク						
	赤さびの部分	655	673	607	478	484	473	444	437	
さびの出でない部分					587	417 437				
油の付着した部分					405	284				

d) 試験タンクは底面より 2~3 m 以上の部分では水平向の鉄面にはかなり多く赤さびが発生していた。底部の錆は比較的少なかつたが、ピッティングはかなり多く、特にバアタホースの下部には多かつた。しかし発生の時期及び進行状況は明かでないが、いずれも黒色で古い腐蝕のようであつた。Zn 陽極と Mg 陽極とでは大差なかつた。腐蝕を調査するため取付けてあつたタンク内の試験片を No. 5 の両舷タンクより各 3 個ずつ取出して計量したところ Table 3・15 の通りで、中段附近に取付けた試験片の腐蝕が著しく多かつた。

Table 3・15 No. 5 タンク内試験片の腐蝕量

試験片 位置	No. 5 P		No. 5 S	
	腐 蝕 (g)	腐 蝕 (g/cm ²)	腐 蝕 (g)	腐 蝕 (g/cm ²)
中 段	35,066	0.195	41.287	0.229
底 部	3.994	0.0222	3.930	0.0218
同 上 (ブランク)	4.508	0.0251	4.769	0.0265

e) Mg 陽極の表面は附着物は少く良態で金属面が出ていた。減量は計測しなかつたが厚さで 5~10 mm 減っていた。Zn 陽極の縦型及び横型の上面には油の混じたかす状のものが厚さ 2~3 mm 程度附着していた。横型のものの裏面にはかなり厚く (5~6 mm) 油と Zn のかす状のものが附着していた。使用期間が比較的少いから今回は Mg, Zn 陽極とも計量も表面のブラッシングも行わなかつた。

(3) 眉山丸トリミングタンク防蝕試験

連絡船のトリミングタンクは貨車の載せおろしのとき、船の傾きを修正するタンクで 1 日に何回となく海水を注排水する。実験に使用したタンクは大きさ $6.7 \times 2.5 \times 5$ m で容量は約 75 t である。内部はさび落したあと、油性の船底一号塗料を塗つたものである。これに重量約 6 kg の Zn 板 8 個を左舷タンクに取付け右舷はそのままにした。約 7 ヶ月後に入渠したが、Zn 板を取付けたタンクの電位は入渠直前で約 -820 mV であつたが、右舷は -620 mV であつた。入渠時タンク内を調査したところ、左舷はタンクおよび試験片ともほとんど腐蝕はしていなかつたが右舷はいちじるしく腐蝕していた。なお、水面附近を防蝕するため浮遊性防蝕剤を使用した。水面附近に取付けた試験片の腐蝕量は Table 3・16 の通りで大差があつた。

Table 3・16 トリミングタンク試験片の腐蝕量

項 目	左 舷	右 舷
試験片重量 (g)	161.7888	162.3191
腐 蝕 量 (g)	5.5436	0.3818
" (g/cm ²)	0.0358	0.00246
防 蝕 率 (%)	0	93.1

なお、Zn 板を取はずして計量したところ、減量は 10.2 kg であつた。これより発生電流、防蝕電流 Table 3・17 などを計算すると次表に示す通りとなり、両方とも比較的多かつた。

Table 3・17 眉山丸タンクの Zn 陽極

Zn の 減 量	10.2 kg	防 蝕 電 流	1.57 A
" 発生電気量	7,500 Ah	"	26.2 mA/m ²
発 生 電 流	0.37 mA/cm ²		

(4) 結論

(a) 防 蝕 剤

1) ピーカ試験等では防蝕剤の 100 ppm 程度では殆んど効果がなかつたが、実タンクでは効果があつた。この原因はタンク内の水が常に移動していること、防蝕剤が酸化されにくいくこと、被防蝕面積に対する防蝕剤の絶対量が多いこと等に起因すると思われる。これ等の原因についても基礎実験を行つて影響のあることを確認したが、その程度は研究を要する。

2) 浮遊性防蝕剤は比較的濃度の高い被膜を附着し得るからトリミングタンクの如く水面の変動するものには極めて有効であつた。しかし油槽船タンク等に於ける電気防蝕との併用効果についてはなお研究を要する。

(b) 電 気 防 蝕

1) 海水タンクの防蝕には電気防蝕は有効であるが油タンクの場合、電位が予想以上高い場合もあつたから、その適当な使用法等については今後更に研究を要する。少くとも現在程度の使用量ではタンクの完全防蝕は難かしい。

2) 完全防蝕するに要する流電陽極の量はかなり多くなるから、ブースターアノード等の利用については研究を要する。

3) Zn 陽極と Mg 陽極では大差なかつたが、陽極の所要数が増加した場合及び長期間使用した場合等を考えなお研究してみる必要がある。

第 4 章 その他の事項

4・1 文 献 調 査

本研究開始前に出た海外文献及びその後に出た海外文献で本研究と関連のあるものはその都度委員間に連絡または資料の配布等の手段を探つて、これに遅れないよう努めてきた。その主なものは次の通りである。

- 米海軍規格
Buships 9190 4 B (12, April 1955)
Spec. Mil-A-18001 B (11, April 1956)
- Cathodic Protection of the Interior of Cargo Compartments in Oil Tankers. by John Lamb. E.V. Mattios. W. Godfreg Waite; The Ship Builder and Marine Engine Builder, June 1954 370-377.
- Internal Corrosion of Tankers; Corrosion; Nov. 1953 388-424 by William B Jupp……
Part 1. the Nature of Corrosion and its Control.
by J.V.C. Malcolmo, W.S. Quimby……Part 2. Inhibitors in Cargo.
Garendolyn D. Pingrey J.C.D. Ooster Haut. by A.B Kurz……Part 3. Corrosion Control in Practice.

- Some Aspects of Ship Bottom Corrosion by Paul Ffield; Corrosion Jan. 1952 29~48
1953 Feb. 69~79.
- The Effect of Iron in Galvanic Zinc Anodes in Sea Water by R. B. Teel, D. B. Anderson; Corrosion July 1956 343 T~349 T.
- Cathodic Protection its Application to Ships and Establishments of Royal Navy, by J.T. Crennell; Chemistry and Industry Feb. 20, 1954 p. 204~209.
- Cathodic Protection of Active Ships in Sea Water with Graphite Anodes by K. N. Barnard G.L. Christie, J.H. Green Blatt.
Corrosion 9, No. 8 246~249 Aug. 1953
- Cathodic Protection as applied to Royal Canadian Naval Vessels in Active Service by K.N. Barnard; Chemistry & Industry Feb. 13, 1954 p. 172~182.
- Navy Experimental Work with Cathodic Protection, by Irving D. Gessaw.
Corrosion 12; No. 3 100 T~106 T March 1956
- The Cathodic Protection of Ships against Sea Water Corrosion by L. T. Cater, J. T. Crennell; The Ship Builder & Marine Engine Builder Vol. 62, 425~432 July 1955
- Cathodic Protection in Oil Tankers by Tohn Lamb, E.V. Mathias, W. Godfrey Waite; The Shipping World March 31, 1954.
- Protective Coatings for Ships and Marine Installations by J. C. Hudson; Chemistry and Industry June 1954
- The Use of Cathodic Protection in Conjunction with Paint Coating by W. L. Crosby; Corrosion 11.
- Some Factors affecting Paint Performance on Cathodically Protected Steel by A. T. Eichoff, D.L. Hawke; Corrosion 7, No. 2 Feb. 1952

なお Guardion 法に関しては日立造船所に於いて英國 Hughes 社の手によつて実施された新造船を見学する機会が得られたので、多数の委員によつてその装備状況の見学を実施した。実施の効果は確認されていないが、既に米国のみならず英國に於ても Mg 陽極によるタンク内防蝕が実行期に移り、遠く日本に登録されている油槽船にまで普及されていることを知つて、一層の憤起をうながせられた次第である。

4・2 測定器試作

船底塗膜の状況が劣化した場合にこれを入渠または上架のような手数をかけなければ発見できない現状であるが、手軽に海上に浮上したままで判定できる方法があれば異常腐蝕等の徵候を余り腐蝕が激化しない前に予知できる可能性が考えられる。

よつて塗膜の破れを電気的に測定する方法の予備実験として、i) 抵抗変化による方法、ii) 電位変化による方法、を試みた。その大要は次の通りである。

i) 抵抗変化による方法

塗膜の破れがあれば抵抗は変化する筈であるので、Fig. 4・1 の如き 25 mm^2 の破れのある場合と 4 mm^2 の破れのある場合につき、電流一定として ($70 \mu\text{A}$) 抵抗を測定すると Fig. 4・2 のようになる。

ii) 電位変化による方法

塗膜の破れた部分は電流が集中するので、膜の健全な部分との間に電位差を生ずる。それを Fig. 4・3 のようにして塩橋の先で採ると Fig. 4・3 の曲線のようになる。

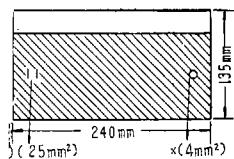


Fig. 4・1

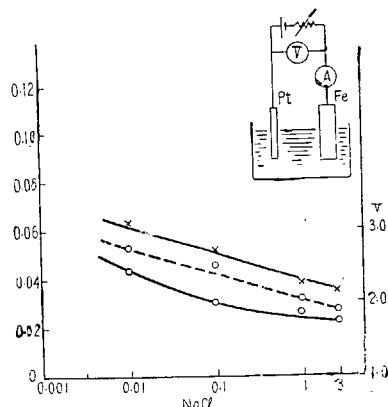


Fig. 4・2

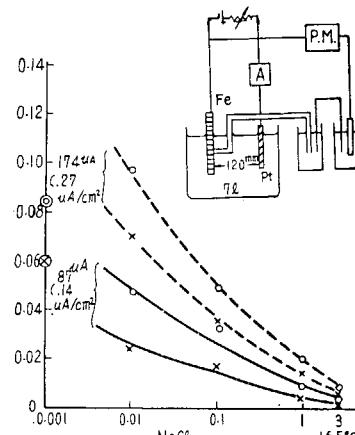


Fig. 4・3

両方法共に水の抵抗が大きいときには検出可能であるが、水の抵抗が減ると共に膜の破れによる差は少くなる。 3% NaCl でこの実験の程度の寸法ではあまり精度はよくないと云う結論になつた。但し完全な塗膜と塗膜の破れた部分との比較を他の影響を受けないように区切つた箇内で行うならば抵抗の変化に伴う電流の変化によつて判定できる可能性が考えられるので、小型模型品を試作することとした。

船底塗膜状況測定器 (Fig. 4・4~4・5 参照)

原理は船底の一端にビニル製の枠①を当てて、その内側に Mg 棒②を置き、この Mg と船体を電気的に結線すれば Mg と船体との電位差によつて、この間に電流が流れるが、その量はこの枠で囲まれた部分の塗膜の良否によつて大きく差が出る。従つてこの電流量を電流計 ④ で求めれば塗膜に剥離があつたり、劣化の程度が著しい場合は電流量が大きく出るので、この数値によつて大体の状況が判定できる。

この枠を船底各部に移動させて、各部の状況を比較しながら判定を進めて行くのである。

この枠が他の部分と海水を完全に区切ることができれば、正確な測定ができる筈であるが、実際問題としてはこの程度に応じて精度が落ることになる。

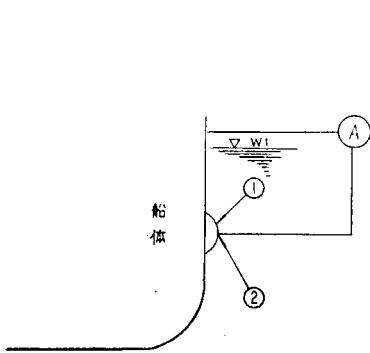


Fig. 4・4

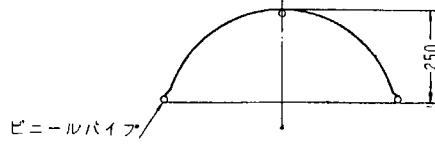
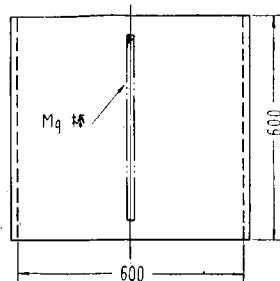


Fig. 4・5

図に示した試作品は板の寸法 600×600 のものである。

4・3 船体防蝕用亜鉛設計上の統一案

第 20 研究部会に於て船体防蝕用亜鉛及びマグネシウム形状の案を提案したが、その後の経過によつて Fig. 4・6 の如き訂正を加えたい。

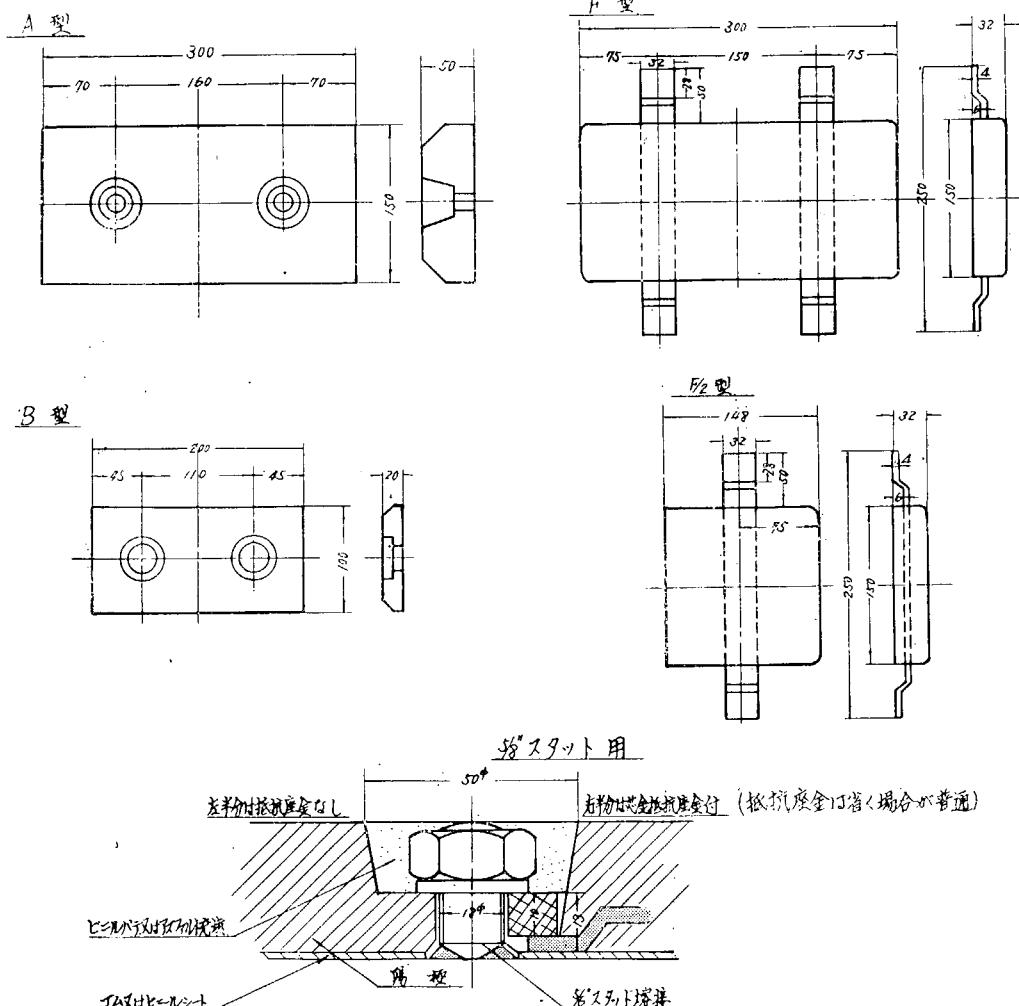
(1) 形状には A, B, C, D, E の 5 種を示したが、D, E を削り、B は特に必要と認めた場合の他務めて使用せぬこととし、主として A 案を採用する。

(2) A と同一外形寸法を有し、芯金を熔接によつて船体と結合させる F 型を新しく追加する
理由 (1) A 型の寸法は前回の調査で最も広く採用されているものであり、特殊の小形船を除けばこの方式だけで、個数の変化だけで船体外板の防蝕には支障のないことが判明したから、出来るだけ簡素化する意味でこの寸法に統一する。

(2) 芯金熔接の方式は米海軍が採用しておるものであり、我が國の現状としてこれも使用する。必要の生ずることは当然考えられることである。その外形寸法も A 型と同一である。

(3) 取付方法を熔接方式とするか、ボルト締方式とするかは今簡単に優劣を定める時期でないから両者を共存させて置くのが妥当であるが、外側寸法だけは統一して置く方が設計その他に対し便利である。

なおタンク内部の防蝕に関して Mg 陽極に比べて電位差の少ない Zn が充分な発生電流を得られるよう、今回の試験には 200×500 の平板状のものを試用したが Guardion の方式を見ても 3 種類を同時に使用しているし、Dow の方式もこれと全然異なる形状のものを使用しているので、今形式を統一する案を立てることはやや早計と考えるから、今少し経過を見ることとしたい。



船底外板用 Zn 陽極案

1. 亜鉛の寸法は長さ 300mm, 幅 150mm, 厚さは 25~50mm, (適宜) とし、取付方法は、締付ボルト式 (A型) と、芯金熔接式 (F型) の2種とする。
2. 極めて小型の船舶等、特殊の場合を考慮し、B及 F/2 型を設ける。
3. 亜鉛の純度は当分の間 99.995 % 程度とする。
4. A型、B型、F型、F/2 型の概略寸法はF図に示す通りとする。
5. 第 20 研究部会として提案した C.D.E 型は取り止める。

昭和32年4月20日 印刷
昭和32年4月25日 発行

日本造船研究協会報告 第16号

発行人 出 潤・ 畿

発行所 社團法人日本造船研究協会

東京都中央区京橋1ノ2
セントラルビル5階
電話 (28) 1409

印刷人 笠 井 朝 義

印刷所 笠井出版印刷社

東京都港区芝南佐久間町1~53
電話 (50) 3640, 3641, 9212